1

ప్రమాణాలు మరియు కొలతలు

పరిచయం

విజ్ఞానశాస్త్రంలో ప్రత్యేకించి భౌతికశాస్త్రంలో సాధ్యమైనంత వరకు కొలతలు కచ్చితంగా తీసుకునే ప్రయత్నంచేస్తాము. విజ్ఞానశాస్త్ర చరిత్రలో, కచ్చితమైన కొలతలు కొత్త ఆవిష్కరణలు లేదా ముఖ్యమైన అభివృద్ధికి దారిచూపాయి. ప్రతి కొలత ఏదో ప్రమాణాలలో చెప్పాల్సి ఉంటుందని స్పష్టమవుతోంది. ఉదాహరణకు మీ గది పొడవును కొలవవలసి వచ్చినప్పుడు, తగిన ప్రమాణాల్లో దానిని చెప్పాల్సి ఉంటుంది. అదే విధంగా రెండు సంఘటనల మధ్య వ్యవధిని మీరు కొలచినపుడు, దానిని మరొక ప్రమాణాల్లో చెప్పాల్సి ఉంటుంది. ఒక భౌతికరాశి యొక్క ప్రమాణాన్ని ఉత్పాదిస్తారు, అంతర్జాతీయంగా ఆమోదించబడి స్థిరపరచిన ప్రాథమిక ప్రమాణాలలో దానిని చెబుతారు. ప్రాథమిక ప్రమాణాల భావన మితుల కల్పనకు త్రోవచూపింది. దీనికి భౌతికశాస్త్రంలో ఎన్నో అనువర్తనాలు ఉంటాయని క్రమంగా మనకు తెలుస్తుంది.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరువాత, మీరు ఈ క్రింది విషయాలు తెలుసుకోగల్గుతారు.

- ప్రాథమిక మరియు ఉత్పాదక రాశుల మధ్యతేడాలు
- అంతర్జాతీయంగా ఆమోదించిన ప్రమాణాల వ్యవస్థ
- కొలతలలో సార్థక సంఖ్యలను గుర్తించడం వాటి ప్రాముఖ్యతను తెలుసుకొనుట.
- అనేక భౌతికరాశులకు మితులు రాయడం.
- ఒక సమీకరణం యొక్క యదార్థతను పరీక్షించేందుకు మితుల విశ్లేషణ వినియోగించడం, తెలియని రాశుల మితి స్వభావాన్ని నిర్ణయించడం తెలుస్తుంది.

1.1 కొలతల ఆవశ్యకత

విజ్ఞానశాస్త్రంలో ఒక విభాగం అయిన భౌతికశాస్త్రం ప్రకృతి మరియు ప్రకృతి సహజమైన దృగ్విషయాల గురించి అధ్యయనం చేస్తుంది. భౌతిక రాశుల గురించి పూర్తిగా అవగాహన చేసుకోవాలంటే రాశుల యొక్క కొలతల గురించి తెలియాలి. ఉదాహరణకు గమనంలో ఉన్న ఒక కణం గురించి తెలుసుకోవడానికి ఆక్షణంలో దాని యొక్క స్థానభ్రంశం, వేగం మరియు త్వరణం యొక్క కొలతలు కచ్చితంగా తెలియాలి. అలాగే వాయువు యొక్క స్థితిని తెలుసుకోడానికి ఘనపరిమాణం, పీడనం మరియు ఉష్ణోగ్రతల కొలతలు కచ్చితంగా తెలియాలి.

అలాగే ద్రవాలపై ఉష్ణోగ్రత ప్రభావం తెలుసుకోవాలంటే, ద్రవ్యరాశి, ఘనపరిమాణం ఘనపరిమాణం మరియు ఉష్ణోగ్రతల కొలతలు గురించి కచ్చితంగా తెలియాలి. దీనిని బట్టి కొలతల యొక్క ఆవశ్యకత ఎంతో తెలుస్తుంది.

1.2 కొలప్రమాణం

కొలతకు అనువైన ఏరాశినైనా భౌతికరాశిగా పరిగణిస్తారు. భౌతికశాస్త్రంలో సూత్రాలు, భౌతికరాశులయిన దూరం, వేగం, కాలం, బలం, ఘనపరిమాణం, విద్యుత్ఛక్తి మొదలయిన అంశాల పరంగా వ్యక్తపరుస్తారు. ఏ భౌతికరాశి అయితే వాటి పరిమాణాలను కొలవడానికి వేరే భౌతికరాశుల పరిమాణాలపై ఆధారపడదో అటువంటి భౌతిక రాశులను **ప్రాథమిక** లేదా **మూల భౌతిక రాశులు** (fundamental or base quantity) అంటారు. ప్రాథమిక రాశులను ఉపయోగించి, వ్యక్తపరిచే రాశులను **ఉత్పన్న రాశులు** (derived quantity) అంటారు. కొలత కోసం, ప్రతి భౌతికరాశికి ప్రమాణం ఇవ్వబడింది. ఉదాహరణకు కాలాన్ని నిముషాలు, గంటలు లేదా రోజులలో కొలవవచ్చు. భిన్న వ్యక్తుల మధ్య ఉపయుక్తమైన సందేశాలు పంపుటకు ఈ ప్రమాణం అందరి ఆమోదం పొందిన ఒక ప్రామాణిక ప్రమాణంతో సరిపోల్చేదిగా ఉండాలి. మరొక ఉదాహరణగా, మనం ముంబాయి-కోల్‌కతా మధ్య దూరం దాదాపు 2,000 కిలోమీటర్లు అని చెప్పినప్పుడు సరిపోల్చుకునేందుకు మన మనసులో ప్రాథమిక ప్రమాణం కిలోమీటరు ఉంటుంది. మీకు బాగా తెలిసిన మరికొన్ని ప్రమాణాలు, ద్రవ్యరాశికి కిలోగ్రాము మరియు కాలానికి సెకను. ప్రతి ఒక్కరూ ఈ ప్రామాణిక ప్రమాణాలు అంగీకరించాలి. అప్పుడు మనం 100 కిలోమీటర్లు లేదా 10 కిలోగ్రాములు లేదా 10 గంటలు అని చెప్పినప్పుడు మన భావము ఏమిటో ఇతరులకు అర్థం అవుతుంది. విజ్ఞానశాస్త్రంలో, ప్రాథమిక ప్రమాణాలపై అంతర్జాతీయ అంగీకారం ఎంతో అవసరం. లేకపోతే ప్రపంచంలో ఒక వైపు శాస్త్రవేత్తల పరిశోధనా ఫలితాలు మరొకవైపున గల శాస్త్రవేత్తలకు అర్థంకావు. ఒక భౌతికరాశిని కొలవడంలో వచ్చిన ఫలితాన్ని ఒక సంఖ్యగా వ్యక్తం చేస్తూ దానికి ఒక ప్రమాణాన్ని సూచిస్తారు. ఉదాహరణకి పొడవు 10 మీటర్లు (10 m) అయితే దీనిలో 10 సంఖ్యను మీటరు (m) అనేది ప్రమాణాన్ని సూచిస్తుంది. భౌతికరాశులు అనేకంగా ఉన్నప్పటికి వాటిని వ్యక్తం చేయడానికి పరిమిత సంఖ్యలో మాత్రమే ప్రమాణాలు అవసరమవుతాయి. ఎందుకంటే ఆరాశులన్నీ పరస్పర సంబంధాన్ని కలిగి ఉంటాయి. ప్రాథమిక లేదా మూల భౌతిక రాశుల కుండే ప్రమాణాలను **ప్రాథమిక లేదా మూల ప్రమాణాలు** (fundamental or base quantity) అంటారు. ఉదాహరణకు పొడవు, ద్రవ్యరాశి మరియు కాలం అనేవి ప్రాథమిక రాశులు. వాటి ప్రమాణాలు వరసగా మీటరు, కిలోగ్రాము మరియు సెకను. ప్రాథమిక ప్రమాణాల సంయోగంగా వ్యక్తపరిచే ఇతర భౌతిక రాశుల ప్రమాణాలను ఉత్పన్న ప్రమాణాలు అంటారు. ఉదాహరణకు వైశాల్యం, పీడనం మరియు సాంద్రతలు ఉత్పన్నరాశులు. వాటి ప్రమాణాలు వరసగా చదరపు మీటరు, పాస్కలు మరియు kgm^{-3}.

1.3 ప్రమాణాల వ్యవస్థ

ప్రాథమిక రాశులు అయిన పొడవు, ద్రవ్యరాశి మరియు కాలాలను కొలవడానికి మూడు వ్యవస్థలు ఉపయోగంలో ఉండేవి. అవి

(1) FPS లేదా బ్రిటిష్ పద్ధతి (2) CGS, (3) MKS లేదా మెట్రిక్ పద్ధతి

పట్టిక - 1.1

		ప్రమాణాలు		
క్రమ సంఖ్య	పద్ధతి	పొడవు	ద్రవ్యరాశి	కాలం
1	FPS	అడుగు	పౌండు	సెకను
2	CGS	సెంటీమీటరు	గ్రాము	సెకను
3	MKS	మీటరు	కిలోగ్రాము	సెకను

తరువాత కాలంలో పొడవు, ద్రవ్యరాశి, కాలాలతోపాటు మరో నాలుగు భౌతిక రాశులును ఉష్ణగతిక ఉష్ణోగ్రత, కాంతి తీవ్ర, విద్యుత్ ప్రవాహం మరియు పదార్థరాశి లను కూడా ప్రాథమిక భౌతిక రాశులుగా పరిగణించారు. ఈ ఏడు రాశులతో పాటు మరో రెండు అనుబంధ రాశులు, సమతల కోణం మరియు ఘనకోణాలని కూడా నిర్వచించారు.

1.4 SI ప్రమాణాల వ్యవస్థ

1971లో జరిగిన తూనికలు-కొలతలకు సంబంధించిన 14వ సాధారణ సమావేశంలో ఏడు ప్రాథమిక ప్రమాణాలను అంగీకరించారు. ఈ ప్రమాణాలే SI ప్రమాణాలు. దీనినే అంతర్జాతీయ ప్రమాణ వ్యవస్థ అంటారు. ఫ్రెంచి భాషలో దీనిని Le Systeme International d'Unites అంటారు. దీనినే మెట్రిక్ విధానం అని కూడా అంటారు. SI ప్రమాణాలు వాటి సంకేతాలు దిగువ పట్టికలో ఇవ్వబడినవి.

పట్టిక - 1.2 : SI లో ప్రాథమిక రాశులు

ప్రాథమిక భౌతికరాశి	ప్రమాణం	ప్రమాణ సంకేతం
పొడవు	మీటరు	m
ద్రవ్యరాశి	కిలోగ్రామ్	kg
కాలం	సెకను	s
విద్యుత్ ప్రవాహం	ఆంపియర్	A
ఉష్ణోగ్రత	కెల్విన్	K
కాంతి తీవ్రత	కేండిలా	cd
పదార్థరాశి	మోల్	mol
సమతల కోణం	రేడియన్	rad
ఘనకోణం	స్టెరేడియన్	sr

SI పద్ధతి అంటే మెట్రిక్ పద్ధతే. వీటిని ఉపయోగించడం తేలిక. భౌతికరాశుల కొలతలు అత్యల్పంగాను లేదా అత్యధికంగాను ఉన్నప్పుడు ఆ భౌతికరాశి ప్రమాణాలకు పూర్వలగ్నాన్ని (Prefix) చేర్చుతారు. SI ప్రమాణాల గుణాంకాలు, ఉపగుణాంకాలుగా తెలిపేందుకు వాడే పూర్వలగ్నాలను పట్టిక 1.3లో ఇవ్వడం జరిగింది.

పట్టిక - 1.3 : పది ఘాతాంకాలకు పూర్వలగ్నాలు

పది ఘాతాంకము (Power of ten)	పూర్వలగ్నం (Prefix)	సంకేతం (Symbol)	ఉదాహరణ (Example)
10^{-18}	ఆటో	a	ఆటోమీటరు (am)
10^{-15}	ఫెమ్‌టో	f	ఫెమ్‌టోమీటరు (fm)
10^{-12}	పైకో	p	పైకోఫారడ్(pF)
10^{-9}	నానో	n	నానోమీటరు (nm)
10^{-6}	మైక్రో	m	మైక్రాన్ (mm)
10^{-3}	మిల్లీ	m	మిల్లీగ్రాము (mg)
10^{-2}	సెంటీ	c	సెంటీమీటరు (cm)
10^{-1}	డెసీ	d	డెసీమీటరు (dm)
10^{1}	డెకా	Da	డెకాగ్రాము (Dag)
10^{2}	హెక్టా	H	హెక్టామీటరు (Hm)
10^{3}	కిలో	K	కిలోగ్రాము (Kg)
10^{6}	మెగా	M	మెగావాట్ (MW)
10^{9}	గిగా	G	గిగాహెర్ట్జ్ (GHz)
10^{12}	టెరా	T	టెరాహెర్ట్జ్ (THz)
10^{15}	పీటా	P	పీటాకిలోగ్రాము (Pkg)
10^{18}	ఎక్సా	E	ఎక్సాకిలోగ్రాము (Ekg)

పట్టిక - 1.4 : కొన్ని ద్రవ్యరాశుల పరిణామక్రమం

ద్రవ్యరాశి	కిలోగ్రాము (Kg)
ఎలక్ట్రాన్	10^{-30}
ప్రోటాన్	10^{-27}
ఎమినో ఆమ్లం	10^{-25}
హిమోగ్లోబిన్	10^{-22}
ఫ్లూ వైరస్	10^{-19}
జయంట్ అమిబా	10^{-8}
వర్షపు బిందువు	10^{-6}
చీమ	10^{-2}
మనిషి	10^{2}
శని 5 రాకెట్	10^{6}
పిరమిడ్	10^{10}
భూమి	10^{24}
సూర్యుడు	10^{30}
పాలపుంత	10^{41}
విశ్వం	10^{55}

పట్టిక - 1.5 : కొన్ని పొడవుల పరిమాణ క్రమం

పొడవు	Magnitude (మీ)
ప్రోటాన్ వ్యాసార్ధం	10^{-15}
పరమాణు వ్యాసార్ధం	10^{-10}
వైరస్ వ్యాసార్ధం	10^{-7}
జయంట్ అమీబా వ్యాసార్ధం	10^{-4}
వాల్‌నట్ (అక్రోటు చెట్టు కాయ) వ్యాసార్ధం	10^{-2}
మనిషి ఎత్తు	10^{0}
అతి ఎత్తుగా ఉండే పర్వతం ఎత్తు	10^{4}
భూ వ్యాసార్ధం	10^{7}
సూర్యుని వ్యాసార్ధం	10^{9}
సూర్యునికి - భూమికి దూరం	10^{11}
సౌర వ్యవస్థ వ్యాసార్ధం	10^{13}
సమీప నక్షత్రానికి దూరం	10^{16}
పాలపుంత (గెలాక్సీ) వ్యాసార్ధం	10^{21}
దృశ్యవిశ్వం వ్యాసార్ధం	10^{26}

పట్టిక - 1.6 : కొన్ని కాలవ్యవధుల వరస పరిమాణం

కాల వ్యవధి	సెకన్లు
పరమాణు కేంద్రకాన్ని కాంతి దాటేందుకు పట్టేకాలం	10^{-23}
దృశాకాంతి పీరియడ్	10^{-15}
సూక్ష్మతరంగాల పీరియడ్	10^{-10}
మ్యుయాన్ అర్ధ జీవితకాలం	10^{-6}
అత్యధిక శ్రావ్య ధ్వని పీరియడ్	10^{-4}
మనిషి గుండె చప్పుడు పీరియడ్	10^{0}
స్వేచ్ఛా న్యూట్రాన్ అర్ధాయుష్షు	10^{3}
భూభ్రమణం పీరియడ్ (రోజు)	10^{5}
భూమి వృత్తాకార భ్రమణం పీరియడ్ (సంవత్సరం)	10^{7}
మనిషి జీవిత కాలం	10^{9}
ప్లూటోనియం - 239 అర్ధాయుష్షు	10^{12}
పర్వత శ్రేణుల జీవిత కాలం	10^{15}
భూమి వయస్సు	10^{17}
విశ్వం వయస్సు	10^{18}

1.4.1 ద్రవ్యరాశి, పొడవు, కాలముల ప్రామాణికత

SI పద్ధతిలో ప్రమాణాలను ఉపయోగించాలని నిర్ణయించుకున్నాం. అందుచేత ఈ ప్రమాణాలలో కొలిచేందుకు వాటి ప్రామాణికతను నిర్ణయించుకోవాలి. అందుకే ద్రవ్యరాశి, పొడవు, కాలముల యొక్క ప్రామాణికతలను నిర్వచించుకోవాలి.

ద్రవ్యరాశి: ద్రవ్యరాశి యొక్క SI ప్రమాణం కిలోగ్రాము 1887లో ఈ ప్రామాణిక కిలోగ్రాము నిర్ణయించబడినది. ఫ్రాన్స్ దేశంలో పారిస్ సమీపంలో Sevres వద్ద అంతర్జాతీయ తూనికలు - కొలతలు సంస్థవారు ఉంచిన ప్లాటినమ్-ఇరిడియమ్ మిశ్రధాతు లోహపు (90% Pt మరియు 10% Ir alloy), నమూనా ముద్ద ద్రవ్యరాశే ఈ ప్రమాణం.

పటం. 1.1 : కిలోగ్రాము నమూనా

ఇటువంటి ఈ మిశ్రమధాతు లోహపు ముద్దలను ప్రపంచ వ్యాప్తంగా అన్నిదేశాలవారికి పంపిణి చేశారు.

మన భారత దేశంలో, జాతీయ నమూనా కిలోగ్రాము నెంబరు 57. దీనిని న్యూఢిల్లీలోని నేషనల్ ఫిజికల్ లేబరేటరీలో ఉంచారు. (పటం 1.1.).

పొడవు: పొడవుకు SI ప్రమాణం మీటరు. దీనికి కాంతి వేగ పరిభాషలో నిర్వచనాన్ని ఇచ్చారు. ఈ నిర్వచనాన్నే ప్రస్తుతం ప్రామాణికంగా తీసుకోవడమైంది.

ఒక సెకను కాలంలో శూన్యంలో కాంతి ప్రయాణం చేసిన దూరంలో 299 792 458 వంతు దూరం ఒక మీటరు.

శూన్యంలో కాంతి 299 792 458 ms^{-1} వేగంతో ప్రయాణిస్తుంది అనే విషయం ప్రాతిపదికగా మీటరును నిర్వచించారు.

కాలం: కాలానికి SI ప్రమాణం సెకను. సీసియమ్ - 133 (^{133}CS) పరమాణువులో భూస్థితిలోని రెండు అతి సున్నిత స్థాయిల మధ్య సంక్రమణం జరిగినపుడు ఉద్గారమయ్యే వికిరణం ఆవర్తన కాలానికి 9192 631 770 రెట్ల కాలాన్ని ఒక సెకను అని నిర్వచించారు.

సెకను నిర్వచనం పరమాణు గడియారాన్ని అభివృద్ధిపరచడంలో సహాయపడింది. భారతదేశంలో నేషనల్ ఫిజికల్ లేబరేటరీలో ఉంచబడిన సీసియమ్ పరమాణు గడియారంకు అనిశ్చత $\pm 1 \times 10^{-12}$ s ఉంటుంది. అంటే ఇది ఒక సెకను కాల వ్యవధిలో ఒక పికో సెకను ($\pm 1 \times 10^{-12}$ s) కచ్చితత్వంతో ఉంటుంది.

ఇప్పుడు 10^{15} లో 5 భాగాలు అనిశ్చతగల గడియారాలు అభివృద్ధిపరచారు. అంటే ఈ గడియారం 10^{15} సెకనుల కాలం పనిచేస్తే, అది 5 సెకనులు హెచ్చు లేదా తగ్గుదలకు గురికావచ్చు. 10^{15} సెకనులను సంవత్సరాల్లోకి మార్పుచేసి తెలుసుకుంటే ఆశ్చర్యకరమైన ఫలితాలు మీకు తెలుస్తాయి. ఈ గడియారం 6 మిలియన్ల సంవత్సరాలు పనిచేస్తే అప్పుడు అది ఒక సెకను ఎక్కువ లేదా తక్కువ తిరగవచ్చు. అంతే కాదు నిరంతరం దీని కచ్చితత్వం మరింత పెరిగేందుకు పరిశోధనలు చేస్తున్నారు. చివరకు 10^{18} సెకనులు పనిచేసే గడియారం 1 సెకను ఎక్కువ లేదా తక్కువ తిరిగే విధంగా తయారవుతుందని మనం ఆశించవచ్చు.

ఈ సాంకేతిక విజయం మీకు అవగాహన అయ్యేందుకు ఈ విషయం తెలుసుకోండి. విశ్వ ఆవిర్భావ సమయంలో, అంటే బిగ్ బ్యాంగ్ సంఘటన సమయంలో ఈ గడియారం పనిచేయడం ప్రారంభించిందనుకొందాం, ఇప్పటికి అది **ఒక సెకను ఎక్కువ** లేదా **తక్కువ** చూపిస్తూ తిరుగుతూ ఉంటుందని అర్థం.

1.5 కొలిచే పరికరాల యదార్థత, కచ్చితత్వం - కొలతల్లో దోషాలు

కొలతలు భౌతిక పరిమాణం యొక్క సంఖ్య విలువలు. భౌతిక పరిమాణాలను కొలుచుటకు అనేక పరికరాలను వాడతారు. కొలత అనేది వాడుతున్న పరికరం, ప్రయోగ విధానం, పర్యావరణ ప్రభావం మరియు పరికరాన్ని ఉపయోగించే వ్యక్తి యొక్క నైపుణ్యం మీద ఆధారపడి ఉంటుంది. ఏపరికరంతో నైనా తీసుకునే ప్రతికొలతలోను కొంత అనిశ్చితత్వం ఉంటుంది. ఈ అనిశ్చితత్వాన్నే దోషం (error) అంటారు. కొలత యొక్క విశ్వశనీయత ఫలితం యొక్క కచ్చితత్వంపై ఆధారపడి ఉంటుంది. కొలిచిన విలువ నిజవిలువకు దగ్గరగా ఉంటే దానిని యదార్థ విలువ అంటారు. భౌతిక పరిమాణాన్ని పదేపదే కొలిచినప్పుడు కొలిచిన విలువల సాన్నిహిత్యం యొక్క భావనను కచ్చితత్వం అంటారు.

యదార్థత : కొలిచిన విలువ, నిజవిలువకు దగ్గరగా ఉంటే దానిని యదార్థ విలువగా నిర్వచిస్తాం.

కచ్చితత్వం : భౌతిక పరిమాణాన్ని ఏదైనా పరికరంలో పదేపదే కొలచినప్పుడు కొలచిన విలువల సాన్నిహిత్యం యొక్క భావనను కచ్చితత్వం అంటారు.

దోషం : తప్పులు లేకుండా చేసిన కొలతలో యదార్థత మరియు కచ్చితత్వం లేకపోవడాన్ని దోషం అంటారు.

1.6 దోషాల రకాలు

కొలతలో ఎదురయ్యే దోషాలను స్థూలంగా క్రమదోషాలు (Systematic errors) మరియు యాదృశ్చిక దోషాలు (Random errors) గా వర్గీకరించవచ్చు.

1.6.1 క్రమదోషాలు

కచ్చితమైన కారణం మరియు ఒక నిర్దిష్టమైన నియమాన్ని అనుసరించే దోషాన్ని క్రమదోషం అంటారు. ఉదాహరణకి పరికరం వల్ల కలిగే దోషాలు సిద్ధాంత దోషాలు మరియు వ్యక్తిగత లేదా పారలాక్స్‌దోషాలను క్రమదోషాలుగా పరిగణించవచ్చు.

పరికరం వల్ల కలిగే దోషాలు : అసమగ్ర రూపకల్పన లేదా పరికరాన్ని అసమగ్రంగా క్రమాంకనం చేయడం వల్ల ఉత్పన్నమయ్యే దోషాలను పరికరం వల్ల కలిగే దోషాలు అంటారు. శ్రేష్ఠమైన పరికరాలను ఉపయోగించడం, అవసరమైనప్పుడు శూన్య సవరణ చేయడం ద్వారా క్రమదోషాలను సాధ్యమైనంత మేరకు సవరణ చేయవచ్చు. ఉదాహరణకు స్క్రూగేజీలో శూన్యదోషం + 0.04mm ఉంటుంది. పరిశీలన కోసం శూన్యసవరణ − 0.04 అవుతుంది. ఈ స్క్రూగేజిని ఉపయోగించి ఒక తీగ వ్యాసం

10.04 mm గా కొలవబడింది. సవరణ తర్వాత దాని విలువ 10.04 – 0.04 = 10.00 mm. అవుతుంది. ఈ పరికరాన్ని వాడి కొలిచే ప్రతికొలతలోను ఈ దోషం +0.04 mm ఉత్పన్నమవుతుంది.

సైద్ధాంతిక లోపం: సూత్రాన్ని పొందడంలో ఉజ్జాయింపులు కారణంగా కలిగే దోషాలను సైద్ధాంతిక దోషాలు అంటారు. ఉదాహరణకి, లఘులోలకం ఆవర్తన కాలాన్ని కొలిచేటప్పుడు θ విలువ తక్కువగా ఉంటే $\sin\theta \approx \theta$ గా పరిగణిస్తారు. కంపనపరిమితి 3° అయితే ఆవర్తన కాలంలో దోషం 0.02% ఉంటుంది. కంపనపరిమితి పెరిగితే దోషం కూడా పెరుగుతుంది. కనుక కంపన పరిమితిని తగ్గించడం ద్వారా దోషాన్ని కనిష్ఠ పరచవచ్చు.

వ్యక్తిగత దోషం : మానవ ఇంద్రియాల పరిమితుల కారణంగా పరిశీలనలను తీసుకొనడంలో కలిగే లోపాలను వ్యక్తిగత దోషం అంటారు. ఉదాహరణకు పరిశీలకుడు రీడింగు తీసుకునేటప్పుడు తన దృష్టిని వంపుగా ఉంచడం ద్వారా గమనించిన విలువలను అధిక లేదా తక్కువగా చదువవచ్చు. ఇటువంటి లోపాన్ని పారలాక్స్ (parallax) లోపం అని కూడా అంటారు.

1.6.2 యాదృచ్ఛిక దోషాలు (Random Errors)

భౌతికరాశిని ప్రభావితం చేసే అనియంత్రిత అవాంతరాల వల్ల క్రమరహితంగా ఏర్పడే లోపాలను యాదృచ్ఛిక దోషాలు అంటారు. ఉదాహరణకు లైన్ వోల్టేజిలో మార్పు కారణంగా విద్యుత్ పరికరాల రీడింగులో వచ్చే దోషాలు, స్క్రూగేజి, స్పెరామీటరు మరియు ప్రయాణ సూక్ష్మదర్శినిలలో ఉండే బ్యాక్‌లాష్ లోపాలు మొదలైనవి యాదృచ్ఛిక దోషాలు. పరిశీలనలను అనేకసార్లు పునరావృతం చేస్తూ అన్ని పరిశీలనల అంకమధ్యమాన్ని తీసుకోవడం వంటి వాటితో ఈ దోషాలను తగ్గించవచ్చు.

1.7 పరమదోషం, సాపేక్షదోషం మరియు దోషశాతం

1.7.1 పరమదోషం

అనేక కొలతల్లో పొందిన విలువలు వరుసగా $a_1, a_2, a_3 \ldots a_n$ అనుకోండి. ఈ విలువల అంకమాధ్యమాన్ని (a_m) రాశికి సాధ్యమయ్యే నిజవిలువగా పరిగణిస్తారు.

$$a_m = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \ldots + a_n}{n}$$

భౌతికరాశి నిజవిలువకు, వ్యక్తిగత కొలతకు వచ్చే విలువకు మధ్యగల తేడాని ఆ కొలతలోని పరమదోషం అంటారు. ఇది ధనాత్మకము లేదా ఋణాత్మకం కావచ్చు. దీనిని Δa తో సూచిస్తారు.

$$\Delta a_1 = a_m - a_1$$
$$\Delta a_2 = a_m - a_2$$
$$\Delta a_3 = a_m - a_3$$

.....

.....

$$\Delta a_n = a_m - a_n$$

1.7.2. మధ్యమ పరమదోషం

అన్ని పరమదోషాల అంకమధ్యమాన్ని భౌతికరాశి a యొక్క మధ్యమ పరమదోషంగా తీసుకుంటారు. దీనిని $\Delta a_{\text{మధ్యమం}}$ తో సూచిస్తారు.

$$\Delta a_{\text{మధ్యమం}} = \frac{|\Delta a_1| + |\Delta a_2| + |\Delta a_3| + ...+|\Delta a_n|}{n}$$

కొలత యొక్క తుదిఫలితం $a = a_m \pm \Delta a_{\text{మధ్యమం}}$.

సాపేక్షదోషం: మధ్యమపరమదోషానికి ($\Delta a_{\text{మధ్యమం}}$) భౌతికరాశికి ఉండే సగటు విలువ (a_m)కు ఉండే నిష్పత్తిని సాపేక్షదోషం అంటారు. దీనిని δa తో సూచిస్తారు.

$$\delta a = \frac{\Delta a_{\text{మధ్యమం}}}{a_m}$$

1.7.3 సాపేక్ష దోష శాతం

సాపేక్ష దోషాన్ని శాతంలో వ్యక్తం చేస్తే దాన్ని దోషశాతం అంటారు.

$$\text{దోషశాతం} = \frac{\Delta a_{\text{మధ్యమం}}}{a_m} \times 100$$

ఉదాహరణ 1.1

వరస కొలతలలో లఘులోలకం డోలనావర్తన కాలం రీడింగులు **2.63, 2.56, 2.42, 2.71** మరియు **2.80** అయితే పరమదోషం, మధ్యమ పరమదోషం, సాపేక్ష దోషం మరియు దోషశాతాలను లెక్కించండి.

సాధన : లోలక సగటు డోలనా వర్తన కాలం

$$a_m = \frac{2.63 + 2.56 + 2.42 + 2.71 + 2.80}{5}$$

$$a_m = \frac{13.12}{5} = 2.624\,s$$

పరమదోషాలు : $\Delta a_1 = 2.62 - 2.63 = -0.01$ s

$\Delta a_2 = 2.62 - 2.56 = 0.06$ s

$\Delta a_3 = 2.62 - 2.42 = 0.20$ s

$\Delta a_4 = 2.62 - 2.71 = -0.09$ s

$$\Delta a_5 = 2.62 - 2.80 = -0.18 \text{ s}$$

మధ్యమ పరమ దోషం : $\Delta a_{\text{మధ్యమం}} = \dfrac{|-0.01| + |0.06| + |0.20| + |-0.09| + |-0.18|}{5}$

$$\Delta a_{\text{మధ్యమం}} = \frac{0.54}{5} = 0.108\text{s} = 0.11$$

సాపేక్ష దోషం : $\delta a = \dfrac{\Delta a_{\text{మధ్యమం}}}{a_m} = \dfrac{0.11}{2.62} = 0.04198 = 0.04$

దోషశాతం $= \dfrac{\Delta a_{\text{మధ్యమం}}}{a_m} \times 100 = 0.04 \times 100 = 4\%$

1.8 దోషాల సంయోగం

అనేక కొలతలతో కూడిన ప్రయోగాన్ని మనం చేసినప్పుడు అన్ని కొలతలలోని దోషాలను ఎలా సంయోగం చేయాలో కూడా తెలుసుకుందాం. ఉదాహరణకు పదార్థ ద్రవ్యరాశిని దాని ఘనపరిమాణంతో భాగించడం ద్వారా సాంద్రతను పొందుతాం. ఆ వస్తువు ద్రవ్యరాశిని మరియు ఘనపరిమాణాన్ని కొలవడంలో దోషాలు ఉన్నాయని అనుకుంటే సాంద్రతలో ఎంత దోషం ఏర్పడుతుందో తెలుసుకోవచ్చు. ఇలాంటి అంచనాను కట్టేందుకు వివిధ గణితప్రక్రియల్లో దోషాలను ఎలా సంయోగం చెందుతాయో తెలుసుకుందాం.

కూడికకు చెందిన దోషం

a, b లు రెండు భౌతిక రాశుల కొలతలు అయితే వాటి మొత్తం $x = a + b$ అనుకుందాం.

$\Delta a \rightarrow$ a కొలతలో పరమదోషం

$\Delta b \rightarrow$ b కొలతలో పరమ దోషం

$\Delta x \rightarrow$ x కొలతలో పరమదోషం

అయితే,

$$x + \Delta x = (a \pm \Delta a) + (b \pm \Delta b)$$
$$x + \Delta x = a + b \pm \Delta a \pm \Delta b$$
$$\Delta x = \pm (\Delta a + \Delta b)$$

x కొలతలో గరిష్ఠంగా కలిగే దోషం

$$\Delta x = \Delta a + \Delta b$$

తీసివేతకు చెందిన దోషం

$x = a - b$ అనుకొంటే

$$x \pm \Delta x = (a \pm \Delta a) - (b \pm \Delta b)$$
$$x \pm \Delta x = a \pm \Delta a - b \pm \Delta b$$
$$x \pm \Delta x = (a - b) \pm (\Delta a \pm \Delta b)$$
$$\Delta x = \Delta a + \Delta b$$

కావున నియమం: రెండు రాశులను కూడినప్పుడు గాని, తీసివేసినప్పుడు గాని వచ్చే తుది ఫలితంలోని పరమదోషం అనేది ఆ రెండు వైయుక్తిక (individual) రాశుల్లోని పరమదోషాల మొత్తానికి సమానం.

లబ్ధంకు చెందిన దోషం

$x = ab$ అనుకుంటే

$$x \pm \Delta x = (a \pm \Delta a)\,(b \pm \Delta b)$$

$$x\left(1 \pm \frac{\Delta x}{x}\right) = ab\left(1 \pm \frac{\Delta a}{a}\right)\left(1 \pm \frac{\Delta b}{b}\right)$$

$$1 \pm \frac{\Delta x}{x} = 1 \pm \frac{\Delta a}{a} \pm \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta a}{a}\frac{\Delta b}{b}$$

$\frac{\Delta a}{a}\frac{\Delta b}{b}$ విలువ చాలా తక్కువ. కావున వదిలి వేయవచ్చును.

$$\pm \frac{\Delta x}{x} = \pm \frac{\Delta a}{a} \pm \frac{\Delta b}{b}$$

కావున x లో గరిష్ఠ సాపేక్ష దోషం $\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$

ఇదేవిధంగా భాగాహారం విషయంలో కూడా నిజమని సులువుగా నిర్ధారించగలము.

నియమం : రెండు రాశులను గుణించి లేదా భాగహరించినప్పుడు వచ్చే ఫలితంలోని సాపేక్ష దోషం ఆ గుణిజాల్లోని సాపేక్ష దోషాల మొత్తానికి సమానం.

1.9 సార్థక సంఖ్యలు

పైన చర్చించిన విధంగా ప్రతికొలత లోను దోషం ఉంటుంది. కాబట్టి కొలత యొక్క ఫలితాన్ని కొలత యొక్క కచ్చితత్వాన్ని సూచించే విధంగా నమోదు చేయాల్సి ఉంటుంది. సాధారణంగా ఒక కొలత యొక్క నమోదు చేసిన విలువ ఒక సంఖ్య. ఈ సంఖ్యలో నమ్మదగినదనిపించే అంకెలతో పాటు, అనిశ్చిత మనిపించే మొదటి అంకె కూడా చేరి ఉంటాయి. ఈ నమ్మదగిన అంకెలతో పాటు మొదటి అనిశ్చిత అంకెను కలిపి సార్థక అంకెలు లేదా సార్థక సంఖ్యలు అంటారు. ఉదాహరణకు ఒక గీత యొక్క పొడవు 6.82 అయితే 6 మరియు 8 అంకెలు నమ్మదగినవి కాగా, 2 అనిశ్చితత్వాన్ని కలిగి ఉంటుంది. అంటే కొలిచిన విలువ మూడు సార్థక

సంఖ్యలను కలిగి ఉంటుంది. అలాగే ఒక వస్తువు పొడవు 647.5 cm గా నమోదు చేస్తే, దీనిలో సార్థక సంఖ్యలు నాలుగు. వీటిలో 6, 4, 7 అంకెలు నిశ్చితత్వాన్ని కలిగి ఉంటే 5 అనిశ్చితిని కలిగి ఉంటుంది.

1.9.1 సార్థక సంఖ్యల్లోని అంకెలును లెక్కించడానికి నియమాలు

i. శూన్యేతర సంఖ్యలన్నీ సార్థక సంఖ్యలే. ఉదాహరణకి 315.58 లో 5 సార్థక సంఖ్యలు ఉన్నాయి.

ii. రెండు శూన్యేతర అంకెల మధ్య, దశాంక బిందువు ఎక్కడ ఉన్నా కూడా, ఉండే సున్నాలన్నీ సార్థక సంఖ్యలే. ఉదాహరణకి 5300405.003 లో 10 సార్థక సంఖ్యలు ఉన్నాయి.

iii. దశాంక బిందువు కలిగి ఉండే సంఖ్యలు చివరి సున్నాలు సార్థక సంఖ్యలు అవుతాయి. ఉదాహరణకి 50.00 లో 4 మరియు 7.40 లో 3 సార్థక సంఖ్యలు ఉన్నాయి.

iv. దశాంక బిందువు లేని సంఖ్య విషయంలో శూన్యేతర అంకె తరువాత ఉండే చివరి సున్నాలు సార్థక సంఖ్యలు కావు. 5000 సంఖ్య ఒకే ఒక సార్థక సంఖ్యను కలిగి ఉంది. దశాంక బిందువు ఉన్న సంఖ్యలో చివరి సున్నాలు సార్థక సంఖ్యలు అవుతాయి. ఉదాహరణకి 3.500 సంఖ్యలో 4 సార్థక సంఖ్యలు ఉన్నాయి.

v. ఇచ్చిన సంఖ్య విలువ ఒకటి కంటే తక్కువైనప్పుడు దశాంశ బిందువుకు కుడివైపున ఉండే మొదట శూన్యేతర అంకెకు ఎడమవైపున ఉండే సున్నాలు ఏవీ సార్థక సంఖ్యలు కావు. ఉదాహరణకి $\underline{0}.\underline{0}\,\underline{0}$ 72 మరియు $\underline{0}\,.\,\underline{0}\,\underline{0}\,\underline{0}\,\underline{0}72$ లలో కింద గీత ఉండే సున్నాలు సార్థక సంఖ్యలు కావు. పై అంకెల్లో రెండు సార్థక సంఖ్యలు ఉన్నాయి.

vi. సార్థక సంఖ్యలను నిర్ణయించడంలో 10 యొక్క ఘాతాలను సార్థక సంఖ్యలుగా పరిగణించము. ఉదాహరణకి 1.4×10^7 లో రెండు సార్థక సంఖ్యలు ఉన్నాయి.

vii. కొలతకు ఉపయోగించే భిన్న ప్రమాణాలను మార్చినప్పటికి సార్థక సంఖ్యలోని అంకెలు మారవు. ఉదాహరణకి ఒక వస్తువు కొలత 348.6 cm అయితే, 4 సార్థక సంఖ్యలు ఉన్నాయి. ఇదే కొలతను 3.486 m. రాసినప్పుడు కూడా నాలుగు సార్థక సంఖ్యలే ఉంటాయి.

1.9.2 కొలతలో సార్థక సంఖ్యల ప్రాముఖ్యత

సార్థక సంఖ్యలు కొలత కచ్చితత్వాన్ని సూచిస్తాయి. కొలతకుండే కచ్చితత్వం దానికి ఉపయోగించిన పరికరం కనీసపు కొలతపై ఆధారపడి ఉంటుంది. ఒక నాణం వ్యాసం 2 cm. ఒక విద్యార్థి మీటరు స్కేలు వాడి కొలిస్తే 2.0 cm గా రాస్తాడు. (ఎందుకంటే మీటరు స్కేలు 0.1 cm వరకే కొలవగలదు.

అదే వెర్నియరు కాలిపర్సుతో కొలిస్తే 2.00 cm అంటే 3 సార్థక సంఖ్య వరకు రాయగలం. (ఎందుకంటే వెర్నియరు కనీసపు కొలత 0.01 cm కాబట్టి) అదే స్క్రూగేజితో కొలిస్తే 2.000 cm అంటే 4 సార్థక సంఖ్యల వరకు రాయగలం. స్క్రూగేజి కనీసపు కొలత 0.001 cm కదా)

1.9.3 అనిశ్చిత అంకెల సవరణకు నియమాలు

(i) చివరి సార్థక అంకెకు, తరువాత ఉండే అంకె 5 కంటే తక్కువగా ఉంటే చివరి సార్థక అంకెను మార్చకుండా వదిలి వేయాలి. ఉదాహరణకి x = 7.82 ను రెండు సార్థక సంఖ్యల వరకు సవరిస్తే 7.8గా రాస్తారు.

(ii) ఒకవేళ 5 కంటే ఎక్కువగా ఉంటే దాని ముందున్న అంకెకు 1 కలపాలి. ఈ నియమం ప్రకారం ఉదాహరణకి x = 6.87 అయితే 6.9 గా రాస్తారు.

(iii) చివరి సార్థక అంకెకు తరువాత ఉండే అంకె 5 అయి తరువాత శూన్యాంకేతర అంకె ఉంటే చివరి సార్థక అంకెకు 1 కలపాలి. ఉదాహరణకి x = 16.351 ని మూడు సార్థక సంఖ్యలకు సవరిస్తే 16.4 గా రాయాలి.

(iv) సార్థకత లేని అంకె 5 లేదా 5 తరువాత సున్న అయి ఉండి, ఒకవేళ ముందున్న అంకె సరిసంఖ్య అయితే సార్థకత లేని అంకెను వదిలేస్తాం. ఉదాహరణకి x = 3.250 ని రెండు సార్థక సంఖ్యల వరకు సవరిస్తే 3.2గా రాస్తాం.

(v) ఒకవేళ ముందున్న అంకె బేసి సంఖ్య అయితే దానికి ఒకటి కలపాలి. ఉదాహరణకి x = 3.750 ని రెండు సార్థక సంఖ్యలకు సవరిస్తే 3.8 గా రాస్తాం.

1.9.4 సార్థక సంఖ్యలతో జరిపే అంకగణిత ప్రక్రియలకు ఉండే నియమాలు

కూడిక మరియు తీసివేత – ఉదాహరణకు 2.7 m, 3.68 m మరియు 0.486 m. ల సాధారణ కూడిక వల్ల వచ్చే మొత్తం 6.848 m ఇందులోని కనిష్ఠ కచ్చితత్వ కొలత గల 2.7 m, ఒకే దశాంశ స్థానం వరకు మాత్రమే సరియైనది కాబట్టి తుదిఫలితాన్ని 6.8 m. గా సవరించాలి.

ఉదాహరణకు 2.65×10^3 cm మరియు 2.63×10^2 cm కూడడానికి ముందు రెండు సంఖ్యల పది యొక్క ఘాతాలను సమానం చేయాలి. అప్పుడు ఈ సంఖ్యలు 2.65×10^3 cm మరియు 0.263×10^3 cm. అవుతాయి. కనిష్ఠ ఖచితత్వ కొలత గల మొదటి సంఖ్యలో రెండు దశాంశ స్థానాల వరకు మాత్రమే ఉన్నాయి. కాబట్టి

2.65×10^3cm + $.263 \times 10^3$ cm = 2.91×10^3 cm. గా రాయవచ్చు.

ఇదే నియమాన్ని తీసివేయతకు కూడా వాడాలి.

ఉదాహరణకి 4.6 cm – 2.38 cm = 2.22 cm కి

బదులు 2.2 cm గా సవరించాలి.

గుణకారం మరియు భాగాహారం – గుణకారం లేదా బాగాహారంలో వచ్చే, తుదిఫలితం కనిష్ఠ సార్థక సంఖ్యలతో కూడిన వాస్తవ సంఖ్యలో ఎన్ని సార్థక సంఖ్యలు ఉన్నాయో అన్ని సార్థక సంఖ్యలను కలిగి ఉండాలి. ఉదాహరణకి ఒక పళ్ళెం పొడవు 3.003 m మరియు వెడల్పు 2.26 m. సాధారణ గుణకారం వల్ల దాని వైశాల్యం 6.78678 m^2 అవుతుంది. ఈ సంఖ్యలో 6 సార్థక సంఖ్యలు ఉన్నాయి. కాని వీటిలో కనిష్ఠ సార్థక సంఖ్య 2.26 లో 3 సార్థక సంఖ్యలు ఉన్నందున వైశాల్యాన్ని 6.79 m^2 గా సవరించాలి.

మరొక ఉదాహరణ 248.57 ను 56.9 తో భాగాహరిస్తే 4.3685413 గా వస్తుంది. కాని పై నియమం ప్రకారం 4.37 గా సవరించాలి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 1.1

1. ఈ కింది సంఖ్యలలో సార్థక సంఖ్యలు ఎన్ని ఉంటాయో తెలపండి.
   (i) 426.69 (ii) 4200304.002 (iii) 0.3040 (iv) 4050 m (v) 5000

2. ఒక వస్తువు పొడవు 3.486 m అయితే దీనిని సెం.మీలలో చేప్పినప్పుడు (అంటే 348.6 cm) సార్థక సంఖ్య అంకెలలో ఏదైనా మార్పు ఉంటుందా?

3. సూర్యుని ద్రవ్యరాశి 2×10^{30} కిగ్రా ప్రోటాన్ ద్రవ్యరాశి 2×10^{-27} కిగ్రా సూర్యుడు కేవలం ప్రోటాన్‌లతో తయారయి ఉంటే సూర్యుడిలోని ప్రోటాన్‌ల సంఖ్య ఎంత?

4. గతంలో కాంతి తరంగదైర్ఘ్యాన్ని యాంగ్‌స్ట్రామ్స్‌లో తెలియచెప్పేవారు. ఒక యాంగ్‌స్ట్రామ్ 10^{-8} cm లకు సమానం. ఇప్పుడు తరంగదైర్ఘ్యాన్ని నానోమీటర్లలో చెబుతున్నారు. ఎన్ని యాంగ్‌స్ట్రామ్స్ ఒక నానోమీటర్ అవుతాయి?

5. ఒక రేడియో కేంద్రం 1370 కిలో హెర్ట్జ్‌ల పౌనఃపున్యం వద్ద పనిచేస్తుంది. ఈ పౌనఃపున్యాన్ని గిగా హెర్ట్జ్‌లలో చెప్పండి.

6. ఒక డెకామీటరులో ఎన్ని డెసీమీటర్లు గలవు? ఒక గిగా వాట్‌లో ఎన్ని మెగా వాట్‌లు ఉన్నాయి?

ఆల్బర్ట్ అబ్రహమ్ మైకేల్‌సన్ (1852 – 1931)

మైకేల్‌సన్ జర్మన్ – అమెరికన్ భౌతికశాస్త్రవేత్త. ఇతడు ప్రయోగాలు చేయడంలో దిట్ట. అనేక కొత్త విషయాలు కనుక్కొన్నాడు. మోర్లేతో కలసి తాను రూపొందించిన మైకేల్‌సన్ వ్యతికరణ మాపకంతో ఈథర్ పరంగా భూమి తిరిగే వేగాన్ని కనుక్కోవాలని ప్రయత్నించి విఫలుడయ్యాడు. అయితే ఈ ప్రయోగ వైఫల్యం శాస్త్ర ప్రపంచాన్ని ఆలోచనలో పడవేయడం పాత సిద్ధాంతాలపై పునరాలోచించేటట్లు చేయడం జరిగింది. చివరకు భౌతికశాస్త్రంలో సరికొత్త ప్రపంచావిష్కరణకు దారితీసింది.

దూరదర్శనుల పృథీకరణ సామర్థ్యం పెంచేందుకు కొన్ని అదనపు దర్పణాలను జతపరచి కొత్త టెక్నిక్స్ రూపొందించాడు ఇతడు. తన నక్షత్ర వ్యతికరణ మాపకంతో హూక్స్ దూరదర్శిని ఉపయోగించి నక్షత్రాలకు సంబంధించిన కచ్చితమైన కొలతలు కొలవగలిగాడు.

1.10 భౌతికరాశుల మితులు

మీరు చదవబోయే అనేక భౌతికరాశులను అయిదు ప్రాథమిక మితులయిన ద్రవ్యరాశి (M), పొడవు (L), కాలం (T), విద్యుత్ కరెంటు (I) మరియు ఉష్ణోగ్రత (θ)లలో వ్యక్తపరచవచ్చు. యాంత్రికశాస్త్రంలోని అన్ని భౌతికరాశులను ద్రవ్యరాశి, పొడవు, కాలాలలో చెప్పవచ్చు. అందుకే ప్రస్తుతం ఈ మూడు మితులతో మన పని పూర్తిచేసుకోగలం. ఈ క్రింది ఉదాహరణలలో భౌతికరాశుల మితులను ఏవిధంగా M, L మరియు Tల ఘాతాంకాలతో ఎలా చెప్పవచ్చునో తెలుస్తుంది.

i. ఘనపరిమాణం తెలియాలంటే పొడవులో 3 కొలతలు కావాలి. అందుకే దానికి పొడవులో 3 మితులు ఉంటాయి (L^3).

ii. సాంద్రత అంటే ద్రవ్యరాశిని ఘనపరిమాణంతో భాగిస్తే వస్తుంది. అందుకే సాంద్రత మితిఫార్ములా ML^{-3}.

iii. ప్రమాణ కాలంలో వస్తువు ప్రయాణించిన దూరం దాని వడి లేదా వడి అంటే పొడవును కాలంతో భాగిస్తే వస్తుంది. అందువల్ల వడి మితి ఫార్ములా LT^{-1}.

iv. ప్రమాణ కాలంలో వేగంలోని మార్పును త్వరణం అంటారు. అంటే పొడవు/ప్రమాణ కాలం/ప్రమాణ కాలం. దీని మితి ఫార్ములా LT^{-2}.

v. ద్రవ్యరాశి, త్వరణాల లబ్ధం బలం అవుతుంది. అందువల్ల బలం యొక్క మితి ఫార్ములా MLT^{-2}.

ఈ విధంగానే ఇతర భౌతికరాశుల మితి ఫార్ములాలను కూడా రాయవచ్చు.

భౌతికరాశులతో ఉండే అంకెలకు మితులపరంగా ఎటువంటి ప్రాముఖ్యత ఉండదని గమనించండి. x యొక్క మితి L అయితే 3x యొక్క మితి కూడా L మాత్రమే అవుతుంది. ద్రవ్యరాశి, వేగాల లబ్ధమయిన ద్రవ్యవేగం మితి ఫార్ములా రాయండి. అదే విధంగా బలం, స్థానభ్రంశాల లబ్ధమయిన పని మితి ఫార్ములా కూడా రాయండి.

మితులు, ప్రమాణాలు ఒకటే కాదని గుర్తుంచుకోండి. ఉదాహరణకు వడిని మీ సె$^{-1}$ ($m\ s^{-1}$) లేదా గంటకు కిలోమీటర్లలో కొలవవచ్చు. కాని దాని మితి ఫార్ములా ఎప్పుడూ LT^{-1} మాత్రమే.

ఒక రాశి లేదా కొన్ని రాశుల కలయిక యొక్క మితులను పరీక్షించే ప్రక్రియనే మితి విశ్లేషణ అంటారు. ఈ మితి విశ్లేషణలో ముఖ్యమైన విషయం "ఒక సమీకరణంలో ఇరువైపులా ఉండే ఒకే భౌతికరాశికి తప్పనిసరిగా ఒకే మితులు ఉండాలి."

ఉదాహరణకు $x = p + q$ అనుకుందాం. అప్పుడు p మరియు q లకు x కి ఉండే మితులు మాత్రమే ఉంటాయి. సమీకరణాల యాదార్థతను పరీక్షించడంలో ఇది సహకరిస్తుంది లేదా సమీకరణాన్ని ఉపయోగించుకుని ఒక రాశి యొక్క మితులు కనుకొనేందుకు కూడా ఇది ఉపయోగపడుతుంది. ఈ దిగువ ఉదాహరణ మితి విశ్లేషణ ఉపయోగాన్ని వివరిస్తుంది.

ఉదాహరణ 1.2 : m ద్రవ్యరాశిగల ఒక కణం యొక్క గతిశక్తి $\frac{1}{2}mv^2$ అని మీకు తెలుసు. దాని స్థితిశక్తి mgh. ఇక్కడ కణం వేగం v, భూమి నుండి కణం h ఎత్తులో ఉంది, g గురుత్వత్వరణం ఈ రెండు సమీకరణాలు ఒకే భౌతికరాశి (శక్తి)ని తెలియచేస్తున్నాయి కాబట్టి వాటి మితి ఫార్ములా ఒకే విధంగా ఉండాలి. ఈ విషయాన్ని ఈ రెండింటికి మితులు రాసి నిరూపిద్దాం.

సాధన:

$\frac{1}{2}mv^2$ యొక్క మితులు $= M\,(LT^{-1})^2 = ML^2T^{-2}$ (సంఖ్యలకు మితులు ఉండవని నేర్చుకున్నారు) mgh యొక్క మితులు $= MLT^{-2}L = ML^2T^{-2}$ స్పష్టంగా ఈ రెండూ ఒకటే మితి ఫార్ములా కలిగి ఉన్నాయి. అంటే ఈ రెండూ ఒకే భౌతికరాశిని సూచిస్తున్నాయి.

ఒక భౌతికరాశిని ఇతర భౌతికరాశులలో వ్యక్తపరచేందుకు మరొక ఉదాహరణ తీసుకొందాం.

ఉదాహరణ 1.3

సమత్వరణంతో నిశ్చల స్థితి నుండి బయలుదేరిన కారు ప్రయాణం చేసిన దూరం x, కాలం t, త్వరణం a లపై ఆధారపడి ఉంటుందని మన అనుభవం చెబుతుంది. ఇప్పుడు మితి విశ్లేషణ పద్ధతి ద్వారా కారు ప్రయాణంచేసిన దూరానికి ఒక సమీకరణం కనుగొందాం.

సాధన:

x అనేది t యొక్క m వ ఘాతం మీద, a యొక్క nవ ఘాతం మీద ఆధారపడి ఉందనుకొందాం. అంటే మనం ఈ విధంగా రాసుకోవచ్చు.

$$x \propto t^m a^n$$

ఇరువైపులా మితులు రాయగా,

$$L^1 \propto T^m \left(LT^{-2}\right)^n$$

లేదా $$L^1 \propto T^{m-2n}\, L^n$$

ఇరువైపులా L మరియు T ల ఘాతాలు సరిపోల్చితే మనకు

n = 1, మరియు m = 2. అని వస్తుంది.

అందువల్ల $x \propto t^2 a^1$ లేదా $x \propto at^2$ అని వస్తుంది.

ఇంతవరకు మితి విశ్లేషణతో సాధించగలం. సమీకరణంలో ఉండే సంఖ్యా సంబంధిత అంశాలు ఈ పద్ధతిలో రావు. ఎందుకంటే వాటికి మితులు ఉండవు. ఈ సంఖ్యలు తెలియాలంటే ప్రయోగాలు లేదా సిద్ధాంతం ఆసరాగా చేసుకోవాలి. ఈ సందర్భంలో మనకు తెలిసిన విషయం అనుసరించి

$$x = \frac{1}{2}at^2$$ అవుతుంది.

సంఖ్యలకు మాత్రమే మితులు లేకపోవడం కాదు, కోణాలు, త్రికోణమితిలోని సైన్, కొసైన్ మొదలయిన వాటికి ఆర్గుమెంట్స్, ఎక్సుపోనెన్షియల్, లాగర్‌థమిక్, ఫంక్షన్లకు కూడా మితులు ఉండవు. సైన్ x లో x అనేది సైన్ ఫంక్షన్ యొక్క ఆర్గుమెంట్. e^xలో ఎక్సుపోనెన్షియల్ ఫంక్షన్ యొక్క ఆర్గుమెంట్ x.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 1.2

1. లఘులోలకం ప్రయోగంవల్ల దాని ఆవర్తన కాలం దాని పొడవు (l) మరియు గురుత్వత్వరణం (g) ల మీద ఆధారపడి ఉంటుందని తెలిసింది. మితి విశ్లేషణ విధానం ఉపయోగించి l మరియు g లపై ఆవర్తన కాలం ఏవిధంగా ఆధారపడి ఉంటుందో కనుక్కోండి.
2. r వ్యాసార్ధంగల వర్తులాకార మార్గంలో కదులుతున్న కణాన్ని తీసుకోండి. ఇది v వేగంతో a త్వరణంతో (కేంద్రం వైపు) కదులుతోంది. మితి విశ్లేషణ విధానం అనుసరించి, $a \propto v^2/r$ అనిచూపండి.
3. mv = Ft అనే సమీకరణం మీకు ఇవ్వబడింది. ఇక్కడ m ద్రవ్యరాశి, v వడి. F బలం మరియు t కాలం. ఈ సమీకరణం యదార్థతను మితి విశ్లేషణతో పరీక్షించండి.

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- సార్థక సంఖ్యలు కొలత కచ్చితత్వాన్ని సూచిస్తాయి.
- ప్రతి భౌతికరాశి ఏదో ఒక ప్రమాణంలో కొలవబడాలి. దానిని ఆప్రమాణంలో చెప్పాలి. విజ్ఞానశాస్త్ర ప్రకటనలకు SI విధానాన్ని ఆమోదించి అందరూ జగత్ వ్యాప్తంగా అనుసరిస్తున్నారు.
- SI పద్ధతిలో ప్రాథమిక రాశులైన ద్రవ్యరాశి, పొడవు, కాలాలకు వరసగా ప్రమాణాలు కిగ్రా, మీ మరియు సె అయి ఉన్నాయి. (kg, m, s) ఈ ప్రాథమిక ప్రమాణాలకు తోడుగా ఉత్పన్న ప్రమాణాలు ఉన్నాయి.
- ప్రతి భౌతిక రాశికి మితులు ఉన్నాయి. ఒక సమీకరణం యదార్థతను పరీక్షించేందుకు మితి విశ్లేషణ ఒక మంచి సాధనం.

ముగింపు అభ్యాసం

1. చాలా ఎక్కువ దూరాలు కొలుచటకు ఉపయోగించు ప్రమాణం కాంతి సంవత్సరం. ఇది ఒక సంవత్సర కాలంలో కాంతి ప్రయాణించే దూరానికి సమానం. కాంతి సంవత్సరాన్ని మీటర్లలో చెప్పండి. కాంతి వేగం 3×10^8 m s^{-1} గా తీసుకోండి.

2. ఈ కింది అంకెలలో సార్థక సంఖ్యలు ఎన్ని ఉన్నాయో తెలపండి.

   (a) 5769

   (b) 0.042

   (c) 0.08420

   (d) 6.033

   (e) 3.56×10^8

3. రెండు కర్రల పొడవులు వరసగా 12.132 cm మరియు 12.4 cm. (a) ఈ కర్రలను ఒకదాని చివర మరొక దాని చివరకు తాకునట్లు అమర్చితే మొత్తం పొడవు ఎంత? (b) రెండింటిని ఒకదాని పక్క మరొకటి అమర్చితే పొడవులో వ్యత్యాసం ఎంత?

4. ఒక కణం u తొలి వేగంతో బయలుదేరింది. t కాల వ్యవధిలో అది a త్వరణంతో ప్రయాణం చేసిన దూరం $s = ut + \frac{1}{2}at^2$. ఈ సమీకరణం యదార్థతను మితి విశ్లేషణా పద్ధతిలో పరీక్షించండి.

5. న్యూటన్ గురుత్వాకర్షణ నియమం ప్రకారం m_1 మరియు m_2 ద్రవ్యరాశులు గల రెండు కణాలు r దూరంలో ఉన్నప్పుడు వాటి మధ్య ఉండే బల పరిమాణం $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ అవుతుంది. ఇక్కడ G అనేది విశ్వగురుత్వాకర్షణ స్థిరాంకం. దీని మితులు కనుక్కోండి.

6. కొలతలలో వచ్చే వివిధ రకాల దోషాలు ఏవి? వివరించండి.

7. ప్రాథమిక మరియు ఉత్పన్న ప్రమాణాల మధ్య తేడాలను తెలపండి.

8. కొలతను సూచించే అంకెలో సార్థక సంఖ్యలు అంటే ఏమిటి?

పాఠంలోని ప్రశ్నలకు జవాబులు

1.1

1. (i) 5 (ii) 10 (iii) 4 (iv) 4 (v) 1

2. మార్పు ఉండదు. రెండు సందర్భాలలో సార్థక సంఖ్యల అంకె 4

3. సూర్యుని ద్రవ్యరాశి $= 2 \times 10^{30}$ kg; ప్రోటాన్ ద్రవ్యరాశి : 2×10^{-27} kg;

   సూర్యునిలోని ప్రోటాన్‌ల సంఖ్య : $\frac{2 \times 10^{30}}{2 \times 10^{-27}} = 10^{57}$

4. 1 యాంగ్ స్ట్రామ్ ($\mathring{A}$) = 10^{-8} cm = 10^{-10} m

1 నానో మీటరు (nm) = 10^{-9} m

$\therefore$ 1 nm/1 యాంగ్ స్ట్రామ్ = 10^{-9} m/10^{-10} m = 10. అందువల్ల 1 nm = 10 $\mathring{A}$

5. 1370 kHz = 1370 × 10^3 Hz = (1370 × 10^3) /10^9 GHz = 1.370 × 10^{-3} GHz

6. 1 డెకా మీటరు (dam) = 10 m, 1 డెసీ మీటరు (dm) = 10^{-1} m;

$\therefore$ 1 dam =100 dm

1 MW= 10^6 W

1 GW = 10^9 W

1 GW = 10^3 MW

1.2

1. పొడవు మితి = L; కాలం మితి = T; g మితి = LT^{-2}

ఆవర్తన కాలం $t \propto l^{\alpha}$ మరియు $t \propto g^{\beta}$ అనుకుందాం

$\therefore t \propto l^{\alpha} . g^{\beta}$

ఇరువైపులా మితులు రాయగా

$T = L^{\alpha} (LT^{-2})^{\beta} = L^{\alpha + \beta} T^{-2\beta}$

L మరియు T ల ఘాతాలు ఇరువైపులా సమానం చేయగా

$\alpha + \beta = 0, 2\beta = -1 \Rightarrow \beta = -1/2$ మరియు $\alpha = ½$

$\therefore t \propto \sqrt{\frac{l}{g}}$

2. a యొక్క మితి = LT^{-2}; v యొక్క మితి = LT^{-1}; r యొక్క మితి = L

$a \propto v^{\alpha}$ మరియు $a \propto r^{\beta}$ అనుకుందాం.

అంటే $a \propto v^{\alpha} r^{\beta}$

మితుల ప్రకారం

$LT^{-2} = (LT^{-1})^{\alpha} L^{\beta} = L^{\alpha + \beta} T^{-\alpha}$

L మరియు T ల ఘాతాలు ఇరువైపుల సమానం చేయగా

$\alpha + \beta = 1$, $\alpha = 2$ మరియు $\beta = -1$

అందువల్ల $a \propto v^2 r^{-1}$ అంటే $a \propto v^2/r$

3. mv యొక్క మితులు = MLT^{-1}; Ft యొక్క మితులు = $MLT^{-2}\ T^1 = MLT^{-1}$;

ఇరువైపులా మితులు సమానంగా ఉన్నాయి. అందువల్ల సమీకరణం, మితుల పరంగా ఒప్పుగానే ఉంటుంది.

ముగింపు అభ్యాసం

1. 1 కాంతి సంవత్సరం = $9{,}4673 \times 10^{15}$ m
2. (a) 4 (b) 2 (c) 4 (d) 4 (e) 3
3. (a) 24.5 cm (b) 0.3 cm

2

సరళరేఖ వెంబడి చలనం

పరిచయం

విశ్వంలో కొన్ని వస్తువులు నిశ్చలంగా ఉన్నా, చలించే వస్తువులను మనం చాలానే గమనిస్తుంటాము. ఉదాహరణకు మానవులు, జంతువులు వాహనాలు లాంటివి నేల మీద చలిస్తూ ఉండటం చూస్తుంటాము. చేపలు, కప్పలు ఇతర జలచర జంతువులు నీటిలో చలిస్తాయి. పక్షులు, విమానాలు గాలిలో కదులుతూ ఉంటాయి. మనం నివసిస్తున్న భూమి కూడా తన అక్షం గుండా తన చుట్టూ తాను తిరుగుతూ, సంవత్సరానికి ఒకసారి సూర్యుని చుట్టూ భ్రమణం చేస్తూ ఉంటుంది. అంటే మనం నిరంతరం స్థిర చలనం గల ప్రపంచంలో నివసిస్తున్నామనే విషయం స్పష్టమవుతోంది. కావున మన చుట్టూ ఉండే భౌతిక ప్రపంచం అర్థం చేసుకోవాలంటే, చలనంపై అధ్యయనం తప్పని సరిగా చేయాలి. కాలానుగుణంగా ఒక వస్తువు స్థానంలో కలిగే మార్పే గమనం చలనం సరళరేఖ వెంబడి (1D), తలం వెంబడి (2D) లేదా ప్రాదేశికం వెంబడి (3D) ఉండవచ్చు. వస్తు చలనం ఒకే దిశలో ఉంటే, దాన్ని సరళరేఖ వెంబడి చలనం అంటారు. తిన్నని రోడ్డుపై చలించే బస్సు, సరళంగా ఉన్న పట్టాలపై వెళుతున్న రైలు, స్వేచ్ఛగా కిందికి పడుచున్న వస్తువు, చలించే లిఫ్ట్ మొదలగునవి ఉదాహరణలుగా పేర్కొనవచ్చు.

ఈ పాఠంలో మీరు సరళరేఖ వెంబడి చలనం గురించి నేర్చుకుంటారు. దీని తరువాత పాఠాల్లో తలంలో గమనం, చలన సూత్రాలు మరియు ఇతర రకాల గమనాల గురించి అధ్యయనం చేస్తారు.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం అధ్యయనం చేసిన తరువాత కింది విషయాలు తెలుసుకోగలుగుతారు.

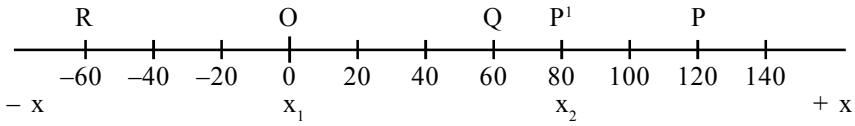
- దూరము మరియు స్థానభ్రంశం, వడి మరియు వేగాల మధ్య తేడాలు.
- క్షణ వేగం, సాపేక్షవేగం, సగటు వేగం పదాలను వివరించడం.
- త్వరణం, తక్షణ త్వరణాలను నిర్వచించడం
- ఏకరీతి మరియు అసమరీతి చలనాలకు సంబంధించి స్థానం-కాలం, వేగం-కాలం గ్రాఫ్‌లకు అర్థ వివరణ చేయగలుగుతారు.
- స్థిర త్వరణంతో చలించే వస్తువులకు చలన సమీకరణాలు ఉత్పాదించగలుగుతారు.
- గురుత్వ త్వరణంలోని చలనాన్ని వర్ణించగలుగుతారు.
- చలన సమీకరణాలపై ఆధారపడిన సమస్యలను సాధించగలుగుతారు.

2.1 దూరము మరియు స్థానభ్రంశం

కాలంతో పాటు ఒక వస్తువు స్థానంలో మార్పు కలిగితే, ఆ వస్తువు చలనంలో ఉంది అంటాం. వస్తువు స్థానాన్ని నిర్ధారించడానికి రేఖ మీద ఒక నిర్దేశ బిందువును గాని లేదా అక్షాల సమితిని గాని ఉపయోగిస్తాము. నిర్దేశ బిందువును మూల బిందువు అని అంటారు. మూలబిందువుకు కుడివైపున ఉన్న స్థానాలను ధనాత్మకంగా, ఎడమ వైపున ఉన్న స్థానాలను రుణాత్మకంగా తీసుకుంటాము.

దూరం

ఒక వస్తువు సరళరేఖ వెంబడి చలిస్తున్నదని అనుకుందాం. వస్తువు గమన మార్గాన్ని ఏకీభవించేటట్లు x-అక్షాన్ని, రేఖపై వస్తువు గమనాన్ని ప్రారంభించిన బిందువును ఆధార బిందువుగా అనగా $t = 0$ వద్ద వస్తువు $x = 0$ వద్ద ఉంది అని అనుకుందాం. (పటం. 2.1) వేరే వేరు కాలాల వద్ద వస్తువు స్థానాలను P, Q, R లు సూచిస్తాయి.



పటం 2.1 : సరళరేఖ వెంబడి గమనం

మొదటి వస్తువు O నుంచి P వద్దకు జరిగింది అనుకుందాం. అప్పుడు వస్తువు ప్రయాణించిన పథం పొడవు OP = +120 m. ఇప్పుడు వస్తువు O నుండి P కి మరియు P నుంచి Q కు ప్రయాణించిందని అనుకుందాం. ఈ చలనంలో వస్తువు ప్రయాణించిన పథం పొడవు $OP + PQ = (+120 + 60)\ m = +180\ m$.

కావున చలనంలోని వస్తువు ప్రయాణించిన పథం పొడవును, దూరం అని అంటారు. ఇది అదిశ పరిమాణం మాత్రం కలిగి ఉంటుంది. దిశ ఉండదు.

స్థాన భ్రంశం

t_1 కాలం వద్ద ఒక వస్తువు స్థానం x_1 మరియు t_2 కాలం వద్ద ఆ వస్తువు స్థానం x_2 అనుకుందాము. (పటం. 2.1). అప్పుడు వస్తువు స్థానభ్రంశము చెందింది అంటాం. వస్తువు తుది మరియు తొలిస్థానాల మధ్య గల భేదంను స్థానభ్రంశం అంటారు. స్థానభ్రంశంను Δx తో సూచిస్తారు..

$\Delta x = x_2 - x_1$

$x_2 > x_1$ అయితే, Δx ధనాత్మమకం మరియు $x_2 < x_1$ అయితే Δx ఋణాత్మకం.

సామాన్యంగా రెండు స్థానాల మధ్యగల అతి తక్కువ దూరాన్నే స్థానభ్రంశం అంటాము. స్థానభ్రంశం దిశను కలిగి ఉంటుంది. స్థానభ్రంశం ఒక సదిశ రాశి ఇది దిశను మరియు పరిమాణంను కలిగి ఉంటుంది. ఉదాహరణకు వస్తువు O నుంచి P కి ప్రయాణించిన, దాని స్థానభ్రంశం.

$\Delta x = x_2 - x_1 = (+80\ m) - 0\ m = +80\ m$

స్థానభ్రంశం 80 m పరిమాణం కలిగి, ధనాత్మక x-అక్షం దిశలో దిశను కలిగి ఉంటుంది. దీనిని + గుర్తుతో సూచిస్తాము. అలాగే వస్తువు P నుంచి Q కి ప్రయాణించినప్పుడు స్థానభ్రంశం

$$+60\ \text{m} - 120\ \text{m} = -60\ \text{m}.$$

రుణాత్మక (–) గుర్తు స్థానభ్రంశం దిశను తెలియచేస్తుంది.

2.1.1 వడి మరియు వేగం

కాలంతో మారే దూరం రేటును వడి అంటారు. వడి అదిశ రాశి

$$\text{వడి} = \frac{\text{దూరం}}{\text{కాలం}}$$

స్థారంభ్రంశంలోని మార్పు రేటును వేగం అంటారు. వేగం సదిశ రాశి. వేగం SI ప్రమాణం ms^{-1}.

$$\text{వేగం} = \frac{\text{స్థానభ్రంశం}}{\text{కాలం}}$$

1-D చలనంలో, సదిశ దిశను గుర్తించేందుకు '+' లేదా '–' గుర్తులను ఉంచుతారు. ఒకే మితిలో చలనానికి సంబంధించిన స్థానభ్రంశం, వేగం మరియు త్వరణాలకు సదిశ గుర్తులు వాడవలసిన అవసరం లేదు.

సగటు వేగం మరియు సగటు వడి

ఒక వస్తువు కొంత దూరం వేరువేరు వేగాలతో ప్రయాణంచేసినప్పుడు, దాని చలనాన్ని సగటు వేగంతో చెబుతారు. ప్రమాణకాలానికి స్థానభ్రంశాన్ని వస్తువు సగటు వేగంగా నిర్వచిస్తారు. t_1 మరియు t_2 క్షణాల్లో వస్తువు స్థానాలు వరసగా x_1 మరియు x_2 అనుకొందాం. గణిత పరంగా వస్తువు సగటు వేగం $\bar{v}$ను ఇలా వ్యక్తపరచవచ్చు.

$$\bar{v} = \frac{\text{స్థానభ్రంశం}}{\text{పట్టిన కాలం}}$$

$$= \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (2.1)$$

ఇక్కడ $x_2 - x_1$ స్థానంలో మార్పును తెలియచేస్తుంది. (Δxతో సూచిస్తారు) దానికి అనుసంధానమైన కాలంలోని మార్పు $t_2 - t_1$ (Δt తో సూచిస్తారు). వేగం v పై గీసిన గీత సగటు వేగం సూచించే ప్రామాణికమైన సంకేతం. సగటు వేగాన్ని v_{av} తో కూడా సూచించవచ్చు.

స్థానభ్రంశం లాగా సగటు వేగం కూడా ఒక సదిశ రాశి.

వస్తువు ప్రయాణం చేసిన సగటు వడి పొందేందుకు మొత్తం ప్రయాణంచేసిన దూరాన్ని ప్రయాణానికి పట్టిన మొత్తం కాలంతో భాగించాలి.

$$\text{సగటు వడి} = \frac{\text{మొత్తం ప్రయాణం చేసిన దూరం}}{\text{తీసుకున్న మొత్తం సమయం}} \qquad (2.2)$$

చలనం సరళరేఖలో ఒకే దిశలో ఉన్నట్లయితే, సగటు వడి సగటు వేగం పరిమాణంతో సమానంగా ఉంటుంది. అయితే ఎల్లవేళలా ఇదే సందర్భం ఉండదు. సగటు వడికి, సగటు వేగానికి మధ్య గల తేడాను అర్థం చేసుకోవడానికి కింది ఉదాహరణలు తీసుకుందాం.

ఉదాహరణ 2.1

ఒక కారు ఒక సరళరేఖ వెంబడి గమనంలో ఉండి బిందువు O నుంచి P వరకు 3 సెకనులలో 120 m ల దూరం ప్రయాణించింది అనుకుందాం. (పటం 2.1). ఆ వస్తువు మరల P నుంచి బిందువు Qను 2 సెకనులలో 60 m ల దూరం ప్రయాణించి చేరింది. (a) O నుంచి Pను చేరినప్పుడు (b) O నుంచి Pను, అను నుంచి తిరిగి Qను చేరినప్పుడు వస్తువు సగటు వేగం, సగటు వడిని కనుగొనండి.

సాధన :

(a) కారు O నుంచి P ని చేరినప్పుడు,

కారు స్థానభ్రంశం = +120 m

కారు ప్రయాణించిన పథపొడవు లేక దూరం = 120 m

కాలం = 3 సెకనులు

$$\text{సగటు వేగం} = \frac{\text{స్థానభ్రంశం}}{\text{కాలం}} = \frac{+120}{3} = +40\,\text{ms}^{-1}$$

$$\text{సగటు వడి} = \frac{\text{దూరం}}{\text{కాలం}} = \frac{120}{3} = 40\,\text{ms}^{-1}$$

ఈ సందర్భంలో సగటు వేం పరిమాణం సగటు వడి పరిమాణంకు సమానంగా ఉంది.

(b) కారు O నుంచి P వరకు మరల వెనుతిరిగి Q ను చేరినప్పుడు,

కారు స్థానభ్రంశం = +120 m – 60 m = +60 m

కారు ప్రయాణించిన పథం పొడవు లేక దూరం = 120 m + 60 m = 180 m

కాలం = 3 s + 2 s = 5 s

$$\text{సగటు వేగం} = \frac{\text{స్థానభ్రంశం}}{\text{కాలం}} = \frac{+60}{5} = +12\,\text{ms}^{-1}$$

$$\text{సగటు వడి} = \frac{\text{దూరం}}{\text{కాలం}} = \frac{180}{5} = 36\,\text{ms}^{-1}$$

ఈ సందర్భంలో సగటు వడి, సగటు వేగ పరిమాణంకు సమానం కాదు. ఈ గమనంలో దిశలో మార్పు ఉండటం వల్ల పథం పొడవు, స్థానభ్రంశ పరిమాణానికి కంటే ఎక్కువ అవుతుంది. అందువల్ల ఇలా జరుగుతుంది.

ఉదాహరణ 2.2

ఒక వ్యక్తి 300 m వర్తులాకారపు బాటపై పరుగెడుతూ బయలుదేరిన స్థానానికి 200 s లో తిరిగివచ్చాడు. అతడి సగటు వడి, సగటు వేగం గణించండి.

సాధన: ఇచ్చినవి

మొత్తం బాట పొడవు = 300 m

ఈ పొడవు పూర్తి చేయుటకు పట్టిన మొత్తం కాలం = 200 s

అందువల్ల,

$$\text{సగటు వడి} = \frac{\text{మొత్తం ప్రయాణం చేసిన దూరం}}{\text{తీసుకున్న మొత్తం సమయం}} = \frac{300}{200} = 1.5\ \text{ms}^{-1}$$

వ్యక్తి బయలుదేరిన స్థానానికి తిరిగి వచ్చాడు కాబట్టి స్థానభ్రంశం సున్నా అవుతుంది. అందువల్ల సగటు వేగం సున్నా అవుతుంది.

2.1.2 సాపేక్ష వేగం

ఒక కారు ఉత్తరం వైపు 20 km/h^{-1} తో వెళుతున్నదని మనం చెప్పినట్లయితే, కారు ఉత్తర దిశలో గంటకు 20 km దూరం బయలుదేరిన స్థానం నుండి ప్రయాణిస్తున్నదని దాని అర్థం. పైన పేర్కొన్న వేగం ఏదో ఒక నిర్దేశిత బిందువు పరంగా అనే భావం ఇందులో ఇమిడి ఉంది. నిజానికి ఒక వస్తువు వేగం ఎల్లప్పుడూ మరొక వస్తువు పరంగానే చెప్పబడుతుంది. అన్ని వస్తువులు చలనంలో ఉంటాయి కాబట్టి, ప్రతి వేగం ప్రకృతిలో సాపేక్షంగా ఉంటుందని మనం చెపుతాం.

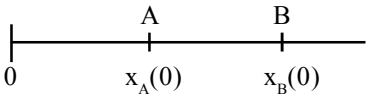
ఒక వస్తువు పరంగా మరొక వస్తువు సాపేక్షవేగం అంటే అది ఆ వస్తువు లేదా బిందువు పరంగా సాపేక్షంగా దాని స్థానంలోని మార్పురేటు అవుతుంది. ఉదాహరణకు ఒక సరళరేఖ వెంబడి రెండు వస్తువుల వేగాలు v_A మరియు v_B అనుకొందాం. వస్తువు A పరంగా వస్తువు B యొక్క సాపేక్ష వేగం $v_B - v_A$ అవుతుంది.

ఒక వస్తువు పరంగా మరొక వస్తువు యొక్క సాపేక్ష స్థానంలోని మార్పురేటును మొదటి వస్తువు పరంగా ఆ వస్తువు యొక్క సాపేక్ష వేగం అంటారు.

నిర్దేశిత వస్తువు నిశ్చల స్థితిలో ఉంటే, చలించే వస్తువు చలనం సులువుగా వర్ణించగలుగుతాం. నిర్దేశిత వస్తువు కూడా చలిస్తూ ఉంటే, ఒక నిశ్చల పరిశీలకునికి ఆ చలనం రెండు వస్తువుల వ్యవస్థగా కనిపిస్తుంది. సాపేక్ష చలనం భావనను ఇందులో ప్రవేశపెట్టి దీన్ని బాగా సూక్ష్మీకరించవచ్చు. A, B అను రెండు వస్తువులు ధన X-దిశలో v_A, v_B వేగాలతో చలిస్తున్నాయని అనుకుందాం.

$t = 0$ కాలం వద్ద A మరియు B అనే రెండు వస్తువుల తొలిస్థానాలు $x_A(0)$ మరియు $x_B(0)$ అనుకొందాం. t సెకనుల తరవాత వస్తువులు A మరియు B స్థానాలు ఈ విధంగా ఉంటాయి.

$$x_A(t) = x_A(0) + v_A t$$
$$x_B(t) = x_B(0) + v_B t$$



అందువల్ల, A నుండి B యొక్క సాపేక్ష వియోగం ఈ విధంగా ఉంటుంది.

$$x_{BA}(t) = x_B(t) - x_A(t) = x_B(0) - x_A(0) + (v_B - v_A)\, t$$

$$= x_{BA}(0) + v_{BA}t$$

ఇక్కడ $v_{BA} = (v_B - v_A)$. దీన్నే A పరంగా B యొక్క సాపేక్ష వేగం అంటారు. ఈ విధంగా సాపేక్ష వేగం భావనను ప్రయోగించి రెండు వస్తువుల సమస్యను ఒక వస్తువు సమస్యగా తగ్గించవచ్చు.

ఉదాహరణ 2.3

ఒక రైలు A, ఉత్తరం వైపు నుండి దక్షిణానికి సరళ రైలు మార్గం వెంబడి 60 $km h^{-1}$ వడితో వెళుతున్నది. మరొక రైలు B, దక్షిణం నుండి ఉత్తరం వైపుకు 70 $km h^{-1}$ వడితో కదులుతోంది. (a) రైలు A పరంగా, రైలు B యొక్క సాపేక్ష వేగం ఎంత? (b) B పరంగా నేల యొక్క వేగం ఎంత?

సాధన :

దక్షిణం నుండి ఉత్తరం గల దిశను ధనాత్మకంగా పరిగణిస్తే, కింది విధంగా సూచించవచ్చు.

(a) B రైలు వేగం $(v_B) = +70 \ km\, h^{-1}$

మరియు, A రైలు వేగం $(v_A) = -60 \ km\, h^{-1}$

అందువల్ల రైలు A పరంగా, రైలు B యొక్క సాపేక్ష వేగం $= v_B - v_A$

$$= 70 - (-60) = 130 \ km\, h^{-1}$$

పై ఉదాహరణలో ఒక రైలు సాపేక్ష వేగం మరొక రైలు పరంగా ఆ రెండు రైళ్ళ వరస వేగాల మొత్తానికి సమానం అని మీరు తెలుసుకున్నారు. అందుకే మీరు ప్రయాణిస్తున్న రైలుకి వ్యతిరేక దిశలో ప్రయాణిస్తున్న రైలు చాలా వేగంగా వస్తున్నట్లు మీకు అనిపిస్తుంది. ఆ విధంగా కాక మీరు ప్రయాణిస్తున్న రైలు దిశలోనే రెండవ రైలు కదులుతూ ఉంటే ఆ రెండవ రైలు చాలా నెమ్మదిగా కదులుతున్నట్లు మీకు అనిపిస్తుంది.

(b) B పరంగా, నేల సాపేక్ష వేగం $= 0 - v_B = -70 \ km\, h^{-1}$

2.1.3 త్వరణం

బస్సులో లేదా కారులో ప్రయాణం చేసేటప్పుడు ఒకొక్కప్పుడు దానివడి పెరగడం, మరొకప్పుడు తగ్గడం మీరు గమనించి ఉంటారు. అంటే కాలంతో దాని వేగం మారుతూ ఉంటుంది. వేగాన్ని ఏవిధంగా స్థానభ్రంశంలోని మార్పురేటు అని నిర్వచిస్తామో, త్వరణాన్ని కూడా వేగంలోని మార్పురేటు అని నిర్వచిస్తాం. త్వరణం సదిశరాశి. దాని SI ప్రమాణం ms^{-2}. ఒకే తలంలో, త్వరణం గురించి ప్రస్తావించినప్పుడు దాన్ని సదిశ సంకేతంతో రాయాల్సిన అవసరం లేదు. వేగం విషయంలో కూడా ఇదే నియమం పాటించాం. ఒక వస్తువు యొక్క సగటు త్వరణం ఇలా రాయవచ్చు.

$$\text{సగటు త్వరణం } (\bar{\mathbf{a}}) = \frac{\text{తుది వేగం - తొలి వేగం}}{\text{వేగంలోని మార్పుకు పట్టిన కాలం}}$$

$$= \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad (2.3)$$

ఇక్కడ v_1, v_2 లు, t_1, t_2 కాలాల వద్ద గల వస్తువు వేగాలు.

ఒకే తలంలోని చలనాలకు, త్వరణం వస్తుచలనం లేదా వేగం దిశలో ఉంటే (సాధారణంగా దీన్ని ధన దిశగా తీసుకుంటాం) త్వరణాన్ని ధనాత్మకంగా పరిగణిస్తాం. కాని త్వరణం వస్తు చలనానికి వ్యతిరేక దిశలో కూడా ఉండవచ్చు. అప్పుడు త్వరణం రుణాత్మకం అవుతుంది. రుణాత్మక త్వరణాన్ని రుణ త్వరణం అంటారు. అంటే వస్తువు వేగంలోని వృద్ధి మార్పు రేటును త్వరణం అని, వస్తువు వేగంలోని క్షీణ మార్పు రేటును రుణ త్వరణం అని అంటారు.

ఉదాహరణ 2.4:

తూర్పు వెళుతున్న ఒక కారు వేగం 0 నుండి 12 ms^{-1} కు 3.0 sలలో పెరిగింది. దాని సగటు త్వరణం కనుక్కోండి.

సాధన :

తొలి వేగం, v_1 $= 0\ ms^{-1}$

తుది వేగం, v_2 $= 12\ ms^{-1}$

కాలం, t $= 3\ s$

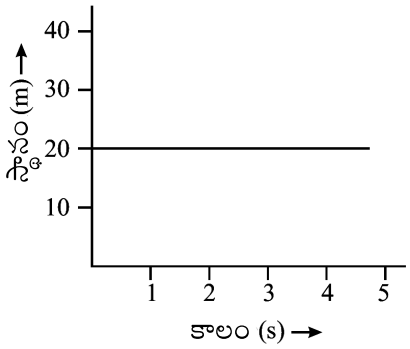
త్వరణం, a $= \frac{12-0}{3} = 4\ ms^{-2}$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 2.1

1. ఏదైనా ఇచ్చిన కాల వ్యవధిలో చలించే వస్తువుకు సున్నా కాని సగటు వడి, సున్నాగా ఉండే సగటు వేగం ఉండటం సాధ్యమా? అలాగైతే, వివరించండి.
2. మరొక వస్తువు పరంగా చలించే ఒక వస్తువుకు సున్నా సాపేక్ష వేగం ఉంటుందా? ఉదాహరణ ఇవ్వండి.
3. ఒక రైలు భోగిలో ఒక వ్యక్తి 1.0 ms^{-1} వేగంతో రైలు ప్రయాణిస్తున్న దిశలో వెడుతున్నాడు. రైలు 3.0 ms^{-1} వేగంతో కదులుతూ ఉంటే ఆ వ్యక్తి యొక్క (a) భోగిలోని ప్రయాణీకులకు కనిపించే వేగం (b) ప్లాట్‌ఫారంపై నిశ్చలంగా కూర్చున్న వ్యక్తి పరంగా వేగం గణించండి.

2.2 స్థానం - కాలం గ్రాఫ్

వస్తువు చలనాన్ని స్థానం - కాలం గ్రాఫ్‌తో సూచించవచ్చు. చలించే ఒక వస్తువు వేరు వేరు సమయాల్లో, వేరు వేరు స్థానాల్లో ఉంటుంది. వేరువేరు స్థానాలు దానికి సంబంధించిన సమయాలను గ్రాఫ్ కాగితంపై గుర్తిస్తే మనకు ఒక వక్ర రేఖ వస్తుంది. అటువంటి వక్రరేఖను స్థానం-కాలం వక్రరేఖ అంటారు. సామాన్యంగా కాలాన్ని x-అక్షం మీద, వస్తువు స్థానాన్ని y-అక్షం మీద సూచిస్తారు. నిశ్చల స్థితిలో ఉన్న ఒక వస్తువుకు స్థానం. కాలం గ్రాఫ్ గీసినట్లయితే, కాలం అక్షానికి సమాంతరంగా ఉన్న సరళరేఖ వస్తుంది.



పటం. 2.2 : నిశ్చలస్థితిలో ఉన్న వస్తువు స్థానం - కాలం గ్రాఫ్

ఉదాహరణకు మూల బిందువు నుండి 20 మీ దూరంలో నిశ్చల స్థితిలో ఉన్న వస్తువు స్థానం-కాలం గ్రాఫ్ గీద్దాం. కాలం అక్షానికి సమాంతర రేఖగా గ్రాఫ్ పటం 2.2లో చూపినట్లుగా ఉంటుంది.

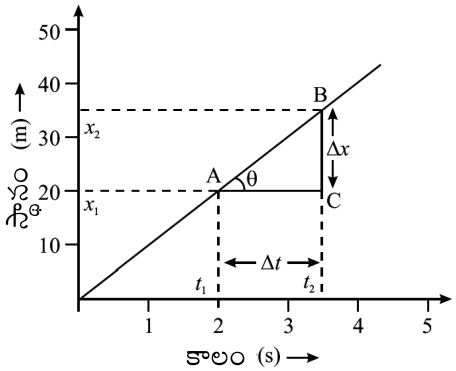
2.2.1 ఏకరీతి (సమరీతి) చలనానికి స్థానం-కాలం గ్రాఫ్

ఇప్పుడు సమాన కాల వ్యవధుల్లో సమాన దూరాలు ప్రయాణం చేసే వస్తువు విషయం పరిగణిద్దాం. ఉదాహరణకు ఒక వస్తువు 10 m దూరాన్ని 5 సెకనుల కాలం ప్రతి సెకనులోను ప్రయాణం చేసిందనుకొందాం. వేరువేరు కాలాల్లో వస్తువు యొక్క స్థానాలు ఈ దిగువ పట్టికలో చూపబడినవి.

కాలం (t) సెకనులలో	1	2	3	4	5
స్థానం (x) మీ లలో	10	20	30	40	50

పటం 2.3 లో చూపిన విధంగా స్థానం-కాలం గ్రాఫ్ ఉంటుంది.

గ్రాఫ్ x-అక్షానికి వాలుగా ఉండే సరళరేఖగా ఉంటుంది. చలించే వస్తువు యొక్క వేగం స్థిరంగా ఉండే చలనాన్ని ఏకరీతి చలనం అంటారు. దీని స్థానం - కాలం గ్రాఫ్ కాలం అక్షానికి వాలుగా ఉండే సరళరేఖగా ఉంటుంది. అంటే చలించే వస్తువు సమాన కాలవ్యవధుల్లో సమాన దూరాలు ప్రయాణిస్తే ఆ వస్తువు ఏకరీతి చలనంలో ఉందని అంటాం.

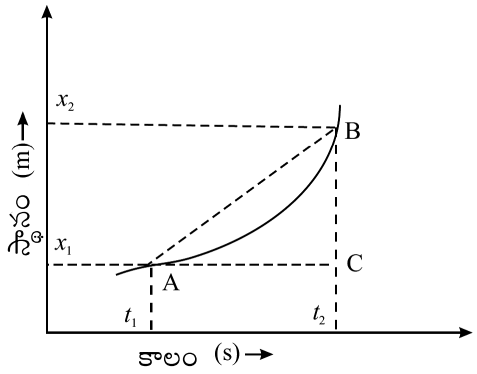


పటం 2.3 : ఏకరీతి చలనానికి స్థానం-కాలం గ్రాఫ్

2.2.2 అసమరీతి చలనానికి స్థానం - కాలం గ్రాఫ్

ఇప్పుడు ఒక ఉదాహరణ తీసుకుందాం. ఒక స్టేషన్ నుండి రైలు బయలుదేరి, వడి అందుకొని కొంత సమయం ఏకరీతి వేగంతో ప్రయాణంచేసి రాబోయే స్టేషన్‌లో ఆగేందుకు వేగం తగ్గించుకుని ప్రయాణం చేస్తుంది. ఈ సందర్భంలో

సమాన కాల వ్యవధుల్లో సమాన దూరాలు రైలు ప్రయాణం చేయకపోవడం మీరు తెలుసుకుంటారు. ఇటువంటి చలనాన్ని అసమరీతి చలనం అంటారు. సమాన కాలవ్యవధుల్లో చలించే ఒక వస్తువు సమాన దూరాలు ప్రయాణించన్లయితే, ఆ వస్తువు చలనాన్ని అసమరీతి చలనం అని అంటారు. వరస కాల వ్యవధుల్లో ప్రయాణంచేసే దూరం పెరుగుతూ ఉంటే ఆ చలనాన్ని త్వరణీకరణ చలనం అంటారు. అటువంటి వస్తువు స్థానం-కాలం గ్రాఫ్ పటం 2.4లో చూపబడింది.



పటం. 2.4 : త్వరణీకరణం చెందిన చలనానికి అవిచ్ఛిన్న వక్రరేఖగా స్థానం-కాలం గ్రాఫ్

త్వరణీకరణం గల చలనం యొక్క స్థానం-కాలం గ్రాఫ్ అవిచ్ఛిన్న వక్రరేఖ అని గమనించండి. అంటే వస్తువు వేగం అవిచ్ఛిన్నంగా మారుతూ ఉంటుంది. ఇటువంటి సందర్భంలో, చాలా తక్కువ కాల వ్యవధి పరంగా సగటు వేగం లేదా తక్షణ వేగాన్ని నిర్వచించడం సముచితం.

2.2.3 స్థానం-కాలం గ్రాఫ్ అర్థ వివరణ

స్థానం-కాలం గ్రాఫ్‌లు చలించే వేరువేరు వస్తువులకు భిన్న రకాల ఆకృతులుగా (పటం (2.2)) ఉంటాయి. గ్రాఫ్ కాలం అక్షానికి సమాంతరంగా సరళంగా ఉంటే, వస్తువు నిశ్చల స్థితిలో ఉందని అంటాం. ఈ సరళరేఖ కాలం అక్షానికి ఏటవాలుగా ఉంటే వస్తు చలనం ఏకరీతిగా ఉందని చెపుతుంది. (పటం (2.3)). అవిచ్ఛిన్నమైన వక్రం అవిచ్ఛిన్నంగా వేగం మారుతోందని తెలియచేస్తుంది.

(a) స్థానం - కాలం గ్రాఫ్ నుండి వేగం: స్థానం-కాలం సరళరేఖ గ్రాఫ్ వాలు, చలనంలో ఉన్న వస్తువు సగటు వేగాన్ని ఇస్తుంది. వాలు కనుక్కోవడానికి (పటం 2.3)లోని సరళరేఖపై రెండు దూరంగా ఉన్న బిందువులు (A మరియు B అనుకొందాం) ఎన్నుకుంటాం. ఈ బిందువుల నుండి x మరియు y అక్షాలకు సమాంతర రేఖలు గీసి ఒక త్రిభుజాన్ని ఏర్పరుస్తాం. ఇప్పుడు వస్తువు సగటు వేగం

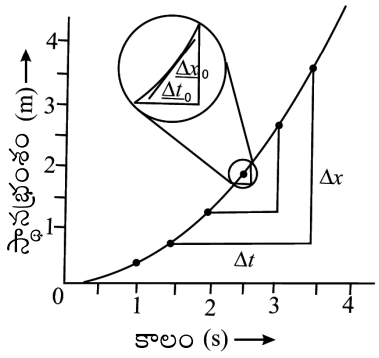
$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{BC}{AC} \qquad (2.4)$$

అంటే, వస్తువు సగటు వేగం సరళరేఖ AB యొక్క వాలుకు సమానం.

స్థానం-కాలం గ్రాఫ్ యొక్క సరళరేఖ వాలు ($\Delta x / \Delta t$) విలువ ఎక్కువ అయినకొద్దీ సగటు వేగం విలువ ఎక్కువ అవుతుందని ఇది చూపుతుంది. ఈ వాలు ఈ సరళరేఖ క్షితిజ సమాంతర రేఖతో చేసే కోణం యొక్క టాంజెంటుకు సమానం కావడం గమనించండి. అంటే $\tan\theta = \Delta x / \Delta t$ వాలును కనుగొనేందుకు రెండు అనురూపమైన Δx మరియు Δt వ్యవధులను ఉపయోగించుకోవచ్చు. ఈ విధంగా ఈ కాల వ్యవధిలో సగటు వేగం కనుక్కోవచ్చు.

(b) తక్షణ వేగం: ఒక సరళరేఖ వెంబడి ఏకరీతి వేగంతో చలించే వస్తువుకు ఏ క్షణంలోనైనా ఒకే వేగం ఉంటుందని నేర్చుకున్నారు. కాని వస్తువు అసమరీతి వేగంతో చలించేటప్పుడు పటం 2.5 లో చూపినట్లు

దాని స్థానం - కాలం గ్రాఫ్ ఒక వక్రరేఖ. దీని ఫలితంగా, వాలు లేదా సగటు వేగం ఎంచుకున్న కాల వ్యవధి పరిమాణాన్నిబట్టి మారుతూ ఉంటుంది. ఒక నిర్దిష్ట కాలం వద్ద లేదా దాని మార్గంలో ఏదో బిందువు వద్ద కణం యొక్క వేగాన్ని తక్షణ వేగం అంటారు.



పటం 2.5 : అసమరీతి చలనానికి స్థానభ్రంశం-కాలం గ్రాఫ్

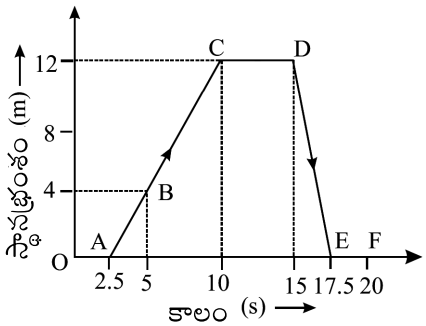
Δt కాల వ్యవధిలో సగటు వేగం ఈ విధంగా వస్తుంది.

$\overline{v} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$ ఇందులో Δt చిన్నది, చిన్నదిగా అయ్యేకొద్దీ సగటు వేగం తక్షణ వేగాన్ని సమీపిస్తుంది.

Δt సున్నాను సమీపిస్తుంటే $\Delta t \to 0$, వక్రానికి ఒక బిందువు వద్ద గీసిన స్పర్శరేఖ యొక్క వాలు $(\Delta x / \Delta t)$ ఆ బిందువు వద్ద తక్షణ వేగాన్ని ఇస్తుంది. ఏకరీతి చలనం విషయంలో సగటు వేగం, తక్షణ వేగం సమానంగా ఉంటాయి.

ఉదాహరణ 2.5

20 సెకనులు చలనంలో ఉన్న ఒక వస్తువు యొక్క స్థానం-కాలం గ్రాఫ్ పటం 2.6లో చూపబడింది. కింది కాల వ్యవధుల్లో అది ఏఏ దూరాలు, ఏఏ వేగాలతో ప్రయాణం చేస్తుంది? (i) 0 s నుండి 5 s (ii) 5 s నుండి 10 s (iii) 10 s నుండి 15 s



పటం. 2.6 : స్థానం-కాలం గ్రాఫ్

సాధన :

(i) 0 s నుండి 5 s కాల వ్యవధిలో,

ప్రయాణం చేసిన దూరం = 4 m

$$\therefore \text{ వడి} = \frac{\text{దూరం}}{\text{కాలం}} = \frac{4\,\text{m}}{(5-0)\text{s}} = \frac{4\,\text{m}}{5\,\text{s}} = 0.8\,\text{ms}^{-1}$$

(ii) 5 s నుండి 10 s కాల వ్యవధిలో ప్రయాణం చేసిన దూరం = 12 - 4 = 8 m

$$\therefore \text{ వడి} = \frac{(12-4)\text{m}}{(10-5)\text{s}} = \frac{8\,\text{m}}{5\,\text{s}} = 1.6\ \text{ms}^{-1}$$

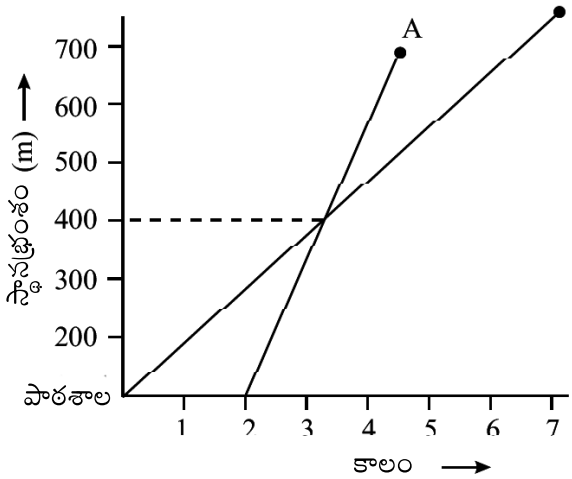
(iii) 10 s నుండి 15 s కాల వ్యవధిలో ప్రయాణం చేసిన దూరం 12 – 12 = 0 m

$$\therefore \text{ వడి} = \frac{\text{దూరం}}{\text{కాలం}} = \frac{0}{5} = 0$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 2.2

1. సున్నా త్వరణంగల చలనానికి స్థానం - కాలం గ్రాఫ్ గీయండి.

2. ఇద్దరు A మరియు B విద్యార్థులు పాఠశాల నుండి బయలుదేరి ఇంటికి చేరేందుకు సంబంధించిన స్థానభ్రంశం-కాలం గ్రాఫ్‌ను కింది పటం చూపిస్తుంది. గ్రాఫ్‌ను జాగ్రత్తగా పరిశీలించి కింది ప్రశ్నలకు జవాబులు వ్రాయండి.



(i) ఇద్దరూ పాఠశాలను ఒకే సమయంలో వదిలారా?

(ii) ఎవరు పాఠశాలకు దూరంగా ఉన్నారు?

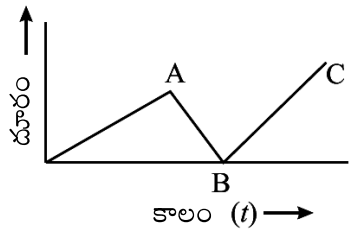
(iii) ఇద్దరూ వారి వారి ఇళ్ళకు ఒకే సమయంలో చేరారా?

(iv) ఎవరు త్వరగా వెళ్ళారు?

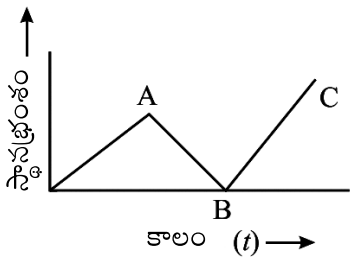
(v) పాఠశాల నుండి ఎంత దూరంలో ఒకరికొకరు ఎదురుపడతారు?

3. ఎటువంటి పరిస్థితుల్లో వస్తువు యొక్క సగటు వేగం దాని తక్షణ వేగానికి సమానం అవుతుంది?

4. కింది వాటిలో ఏ గ్రాఫ్‌లు సాధ్యం కావు? మీ జవాబుకు కారణాలు వ్రాయండి.



(a)



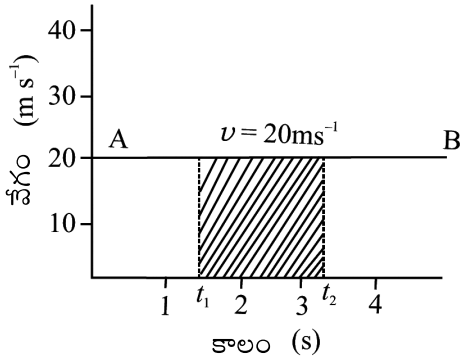
(b)

2.3 వేగం - కాలం గ్రాఫ్

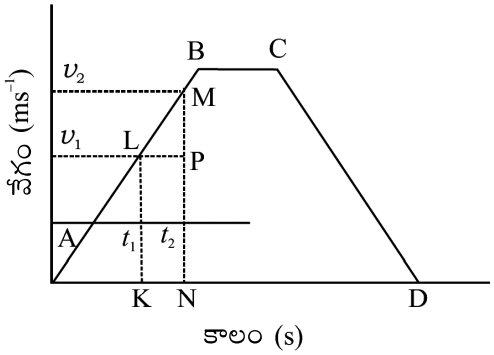
స్థానం - కాలం గ్రాఫ్ మాదిరిగానే మనం వేగం-కాలం గ్రాఫ్‌ను గీయవచ్చు. వేగం - కాలం గ్రాఫ్ గీసేటప్పుడు సామాన్యంగా కాలాన్ని x-అక్షం మీద వేగాన్ని y-అక్షం మీద తీసుకుంటాం.

2.3.1 ఏకరీతి చలనానికి వేగం-కాలం గ్రాఫ్

ఏకరీతి చలనంలో వస్తువు వేగం స్థిరంగా ఉంటుందని మీకు తెలుసు. అంటే కాలంతో వేగంలో మార్పు ఉండదు. అటువంటి ఏకరీతి చలనానికి వేగం-కాలం గ్రాఫ్ కాలం అక్షానికి సమాంతరంగా ఒక సరళరేఖగా పటం 2.7లో చూపినట్లుగా ఉంటుంది.



పటం. 2.7 : ఏకరీతి చలనానికి వేగం-కాలం గ్రాఫ్



పటం. 2.8 : మూడు భిన్నస్థాయిల స్థిరత్వరణం గల చలనానికి వేగం-కాలం గ్రాఫ్

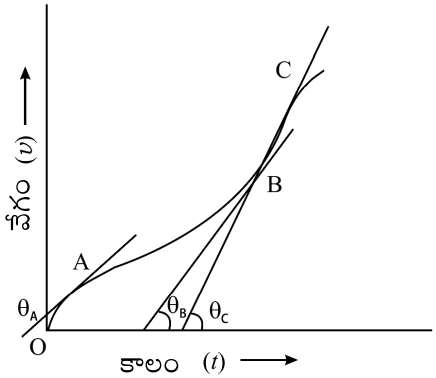
2.3.2 అసమరీతి చలనానికి వేగం - కాలం గ్రాఫ్

కాలంతోపాటు వస్తువు వేగం ఏకరీతిగా మారుతూ ఉంటే, దాని త్వరణం స్థిరంగా ఉంటుంది. అటువంటి చలనానికి వేగం-కాలం గ్రాఫ్ కాలం అక్షానికి ఏటవాలుగా ఉండే సరళరేఖలాగా ఉంటుంది. పటం 2.8లో సరళరేఖ AB గా చూపడం జరిగింది. సమాన కాల వ్యవధుల్లో వేగం సమాన పరిమాణాల్లో పెరుగుతున్న విషయం గ్రాఫ్‌లో స్పష్టమవుతుంది. వస్తువు యొక్క సగటు త్వరణం కింది విధంగా వస్తుంది.

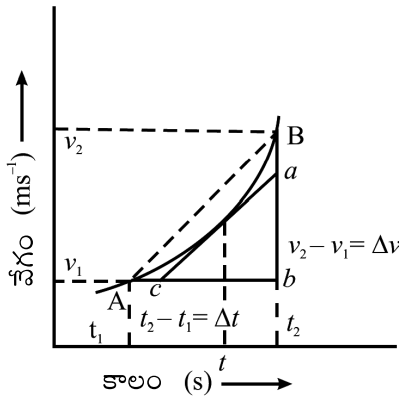
$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{MP}{LP}$$

= సరళరేఖ వాలు.

ఈ సరళరేఖ వాలు స్థిరంగా ఉంది కాబట్టి, వస్తువు సగటు త్వరణం స్థిరంగా ఉంటుంది. అయినప్పటికీ వేగంలోని మార్పురేటు స్థిరంగా ఉండకపోవచ్చు. అటువంటి చలనాన్ని అసమరీతి త్వరణీకరణ చలనం అంటారు. అటువంటి పరిస్థితుల్లో పటం 2.9 లో చూపినట్లు వేగం-కాలం గ్రాఫ్ వాలు ప్రతి క్షణంలో మారుతూ ఉంటుంది. A, B మరియు C బిందువుల వద్ద θ_A, θ_B మరియు θ_C లు వేరువేరుగా ఉండడం చూడవచ్చు.



పటం. 2.9 : మారుతున్న త్వరణంగల చలనానికి వేగం-కాలం గ్రాఫ్



పటం. 2.10 : అసమరీతి త్వరణీకరణ చలనం యొక్క వేగం-కాలం గ్రాఫ్

2.3.3 వేగం - కాలం గ్రాఫ్ అర్థ వివరణ

చలించే వస్తువు వేగం (v) - కాలం (t) గ్రాఫ్‌ను ఉపయోగించి, వస్తువు ప్రయాణం చేసిన దూరం, వేరువేరు క్షణాల్లో వస్తువు త్వరణాన్ని మనం కనుక్కోగలం.

(a) వస్తువు ప్రయాణంచేసిన దూరం కనుక్కోవటం: పటం 2.8లో చూపిన వేగం-కాలం గ్రాఫ్‌ను మరొకసారి తీసుకొందాం. ఇందులో AB భాగం స్థిర త్వరణంగల చలనాన్ని, భాగం CD స్థిరంగా మందగిస్తున్న చలనాన్ని చూపుతుంది. BC భాగం ఏకరీతి చలనాన్ని (అంటే సున్నా త్వరణం గల చలనం) సూచిస్తుంది. ఏకరీతి చలనానికి, t_1 నుండి t_2 కాలంలో వస్తువు ప్రయాణించిన దూరానికి సమీకరణం

$s = v\,(t_2 - t_1) =$ t_1 మరియు t_2 ల మధ్యగల వక్రరేఖ కిందగల వైశాల్యం

ఈ ఫలితాన్ని పటం 2.8కు సామాన్యీకరిస్తే, కాలం t_1 నుండి t_2 మధ్య వస్తువు ప్రయాణంచేసిన దూరం

$s =$ సమలంబ చతుర్భుజం KLMN వైశాల్యం

$= (½) \times (KL + MN) \times KN$

$= (½) \times (v_1 + v_2) \times (t_2 - t_1)$

(b) వస్తువు యొక్క త్వరణం కనుక్కోవడం : కాలంతో వస్తువు యొక్క వేగంలోని మార్పురేటును దాని త్వరణం అంటారు. పటం 2.10లో ఇచ్చిన వేగం-కాలం గ్రాఫ్‌ను మీరు చూసినట్లయితే, చాపం AB యొక్క వాలు సగటు త్వరణాన్ని సూచిస్తుందని మీరు గమనించగలరు. దాని విలువ

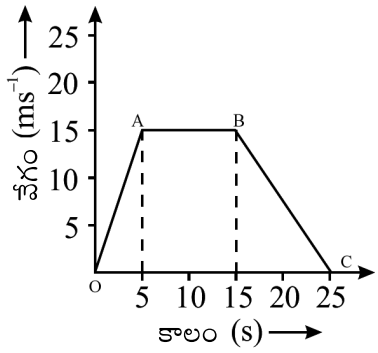
$$\text{సగటు త్వరణం } (\bar{a}) = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

కాల వ్యవధి Δt మరీ చిన్న, చిన్నగా చేస్తే, సగటు త్వరణం, తక్షణ త్వరణం అవుతుంది. అంటే, తక్షణ త్వరణం

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \text{ అనగా } (t = t) \text{ వద్ద స్పర్శరేఖ వాలు } = \frac{ab}{bc}$$

ఆ విధంగా వేగం-కాలం గ్రాఫ్‌లో ఏ బిందువు వద్దనైనా గీసిన స్పర్శరేఖ వాలు ఆ సమయంలో ఉండే త్వరణాన్ని ఇస్తుంది.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 2.3



1. పక్కన ఉన్న v – t గ్రాఫ్‌లో సరళరేఖ వెంబడి చలిస్తున్న వస్తువు చలనం చూపబడింది.

   (i) వేగం, త్వరణం మరియు ప్రయాణించిన దూరం అంశాల పరంగా చలనాన్ని అభివర్ణించండి.

   (ii) సగటు వడిని కనుగొనండి.

2.4 చలన సమీకరణాలు

ఒక వస్తువు యొక్క చలనాన్ని వర్ణించడానికి, భౌతిక రాశులయిన దూరం, వేగం, త్వరణం వంటి వాటిని ఉపయోగిస్తాం. స్థిర త్వరణం గల సందర్భాల్లో, ఇచ్చిన సమయంలో వస్తువు పొందిన వేగం, ప్రయాణించిన దూరం లాంటివి గణించేందుకు మూడు సమీకరణాలలోని ఒకటి లేదా అంతకు ఎక్కువ సమీకరణాలను ఉపయోగిస్తాం. ఈ సమీకరణాలను స్థిర త్వరణానికి సంబంధించిన చలన సమీకరణాలు లేదా శుద్ధగతిక సమీకరణాలు అని అంటారు, వీటిని ఉపయోగించడం తేలిక. అనేక ఉపయోగాలు వీటికి ఉంటాయి.

2.4.1 ఏకరీతి చలనానికి సమీకరణాలు

ఈ సమీకరణాలు ఉత్పాదించడానికి తొలి కాలం సున్నాగా తీసుకుందాం. అంటే $t_1 = 0$. అప్పుడు మనం గతించిన కాలం t ని $t_2 = t$ గా తీసుకుందాం. వస్తువు యొక్క తొలిస్థానం (x_0 గను) మరియు తొలి వేగం u అనుకుందాం. t సమయంలో సగటు వేగం

$$\overline{v} = \frac{x - x_0}{t} \quad \text{అవుతుంది.} \qquad (2.5)$$

2.4.2 ఏకరీతి త్వరణీకరణ చలనం యొక్క మొదటి సమీకరణం

ఏకరీతి త్వరణీకరణ చలనానికి సంబంధించిన మొదటి సమీకరణం వస్తువు త్వరణం, ప్రయాణం చేసిన కాలం తెలిస్తే దాని తుది వేగం కనుక్కోగలుగుతుంది. నిర్వచనం ప్రకారం

$$\text{త్వరణం}(a) = \frac{\text{వేగంలోని మార్పు}}{\text{తీసుకున్న కాలం}} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$t_1 = 0$ వద్ద $v_1 = u$ అయిన $t_2 = t$ వద్ద $v_2 = v$ అవుతుంది. అప్పుడు

$$a = \frac{v - u}{t} \qquad (2.6)$$

$$\Rightarrow \qquad v = u + at \qquad (2.7)$$

ఉదాహరణ 2.6

నిశ్చల స్థితి నుండి బయలుదేరిన కారు 10 మీ.సె$^{-2}$ త్వరణంతో ఉంది. 4 సెకనుల తరవాత అది ఎంత వేగంతో వెళుతుంది?

సాధన :

ఇచ్చినవి,

తొలి వేగం $u = 0$

త్వరణం $a = 20\ ms^{-2}$

కాలం $t = 4\ s$

మొదటి చలన సమీకరణం ఉపయోగించగా

$$v = u + at$$

t = 4 సెకనులకు, తుది వేగం

$$v = 0 + (20\ ms^{-2}) \times (4 \text{ సెకనులు})$$

$$= 80\ ms^{-1}.$$

2.4.3 ఏకరీతి త్వరణీకరణ చలనం యొక్క రెండవ సమీకరణం

వస్తువు స్థిర త్వరణం a తో చలిస్తూ ఉంటే t కాలం తరవాత వస్తువు ఏ స్థానంలో ఉన్నది గణించుటకు రెండవ చలన సమీకరణం ఉపయోగపడుతుంది.

$t = 0$ వద్ద $x_1 = x_0$; $v_1 = u$ మరియు $t = t$ వద్ద $x_2 = x$; $v_2 = v$ అనుకుందాం.

ప్రయాణంచేసిన దూరం = v – t గ్రాఫ్ వైశాల్యం

= సమలంబ చతుర్భుజం OABC వైశాల్యం

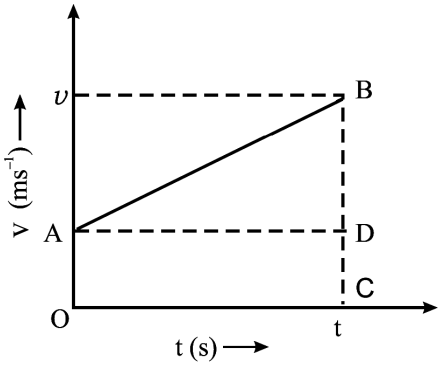
$$= \frac{1}{2}(CB + OA) \times OC$$

$$x - x_0 = \frac{1}{2}(v + u)t$$

$v = u + at$, అని మనకు తెలుసు, కాబట్టి

$$x - x_0 = \frac{1}{2}(u + at + u)t$$

$$= ut + \frac{1}{2}at^2$$



పటం. 2.11 : ఏకరీతి త్వరణీకరణ చలనానికి v–t గ్రాఫ్

లేదా $$x = x_0 + ut + \frac{1}{2}at^2 \qquad (2.8)$$

ఉదాహరణ 2.7

ఒక సరళమైన రోడ్డు మీద ఒక కారు A, 60 kmh^{-1} ఏకరీతి వడితో ప్రయాణిస్తున్నది. దీన్ని కారు B, 70 kmh^{-1} ఏకరీతి వేగంతో వెంబడిస్తున్నది. ఆ రెండింటి మధ్య దూరం 2.5 km ఉండగా కారు B కి 20 kmh^{-2} రుణత్వరణం కలుగచేయబడింది. ఏ సమయంలో ఎంత దూరంలో B కారు A కారును పట్టుకోగలదు?

సాధన: B కారు A కారును ని దూరంలో B కాలం తరవాత పట్టుకోగలదు అనుకుందాం.

A కారు, t కాలంలో ప్రయాణంచేసే దూరం, $x = 60 \times t$

A కారు, t కాలంలో ప్రయాణంచేసే దూరం

$$x' = x_0 + ut + 1/2\ at^2$$

$$= 0 + 70 \times t + ½\ (-20) \times t^2$$

$$x' = 70\ t - 10\ t^2$$

కాని రెండు కార్ల మధ్య దూరం

$$x' - x = 2.5$$

$\therefore \quad (70\ t - 10\ t^2) - (60\ t) = 2.5$

లేదా $\quad 10\ t^2 - 10\ t + 2.5 = 0$

ఇది $t = ½$ గంట అని తెలియచేస్తుంది.

$\therefore \quad x' = 70\ t - 10\ t^2$

$$= 70 \times ½ - 10 \times (½)^2$$

$$= 35 - 2.5 = 32.5 \text{ కి.మీ.}$$

2.4.4 ఏకరీతి త్వరణీకరణ చలనం యొక్క మూడవ సమీకరణం

వస్తువు యొక్క త్వరణం, స్థానం, తొలివేగం తెలిసి, కాలం t తెలియకపోయినా, తుదివేగం కనుక్కొనేందుకు ఈ మూడవ సమీకరణాన్ని ఉపయోగిస్తారు.

సమీకరణం 2.8 నుండి మనం ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$x - x_0 = ½\ (v + u)\ t.$$

సమీకరణం 2.7 నుండి మనం కింది సమాకరణం రాయవచ్చు.

$$t = \frac{v-u}{a}$$

t విలువను పై సమీకరణంలో ప్రతిక్షేపించగా

$$x - x_0 = \frac{1}{2}(v + u)\left(\frac{v-u}{a}\right)$$

$$\Rightarrow \qquad 2a\left(x - x_0\right) = v^2 - u^2$$

$$\Rightarrow \qquad v^2 = u^2 + 2a\left(x - x_0\right) \qquad (2.9)$$

అందువల్ల, స్థిర త్వరణానికి మూడు సమీకరణాలు

$$v = u + at$$

$$x = x_0 + ut + \frac{1}{2}at^2$$

మరియు $\qquad v^2 = u^2 + 2a\left(x - x_0\right)$

ఉదాహరణ 2.8

ఒక వస్తువు, సరళమైన రోడ్డు వెంబడి 4 ms^{-2} స్థిరత్వరణంతో వెళుతున్నది. మొదట్లో వస్తువు స్థానం 5 m ఉండి 3 ms^{-1} వేగంతో ఉంటే, కింది వాటిని గణించండి.

(i) t = 2 సె సమయంలో వస్తువు స్థానం, వేగం

(ii) వస్తువు వేగం 5 ms^{-1} ఉన్నప్పుడు దాని స్థానం

సాధన : ఇచ్చినవి

$$x_0 = 5 \text{ m}, \; u = 3 \text{ ms}^{-1}, \; a = 4 \text{ ms}^{-2}.$$

(i) (2.8) సమీకరణం ఉపయోగించుకొంటే

$$x = x_0 + ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$= 5 + 3 \times 2 + \frac{1}{2} \times 4\,(2)^2 = 19 \text{ మీ}$$

సమీకరణం (2.7) నుండి

$$v = u + at$$

$$= 3 + 4 \times 2 = 11 \text{ ms}^{-1}$$

వేగం, $v = 11 \text{ ms}^{-1}$.

(ii) కింది సమీకరణం ఉపయోగించుకొని

$$v^2 = u^2 + 2a\,(x - x_0)$$

$$(5)^2 = (3)^2 + 2 \times 4 \times (x - 5)$$

$\Rightarrow \quad x = 7$ m

కావున వస్తువు స్థానం (x) = 7 m.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 2.4

1. స్థిర త్వరణంతో ఒక వస్తువు నిశ్చలస్థితి నుండి బయలుదేరి 4 s కాలంలో 40 m దూరం సరళరేఖా మార్గంలో ప్రయాణంచేసింది. దాని తుది వేగం, మొత్తం దూరంలోని సగం దూరం ప్రయాణం చేయడానికి అది తీసుకునే కాలాన్ని గణించండి.
2. ఒక కారు సరళమైన రోడ్డు వెంబడి స్థిర త్వరణం 5 ms^{-2} తో చలిస్తోంది. 5 m వద్ద దాని తొలి వేగం 3 ms^{-1} అయితే t = 2 s వద్ద దాని స్థానం, వేగం గణించండి.
3. ఒక వస్తువును ఎంతవేగంతో పైకి విసిరితే అది 25 m ఎత్తుకు వెళుతుంది? ఎంత సమయం అది గాలిలో ఉంటుంది?
4. గాలిలోకి ఒక బంతి పైకి విసరబడింది. విసరబడినప్పుడుగాని లేదా ఆ తరవాతగాని దాని త్వరణం ఎక్కువగా ఉంటుందా?

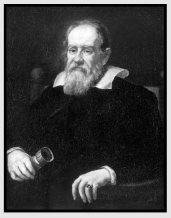
2.5 గురుత్వత్వరణంలో చలనం

మనం కొంత ఎత్తు నుండి వస్తువును కిందకి వదిలితే, అది భూమి వైపుకు పయనిస్తుంది. ఇలా జరగడానికి కారణం వస్తువు మీద భూమ్యాకర్షణ బలం ప్రవర్తించడం. ఈ భూమ్యాకర్షణ బలం గురుత్వాకర్షణ బలం నిటారుగా లంబదిశలో ప్రవర్తిస్తుంది. అందువల్ల గురుత్వాకర్షణ ప్రభావం వల్ల వస్తు చలనం సరళరేఖా మార్గంలో ఉంటుంది. ఇది ఒక తలంలో ఉండే చలనం. భూమి వైపు స్వేచ్ఛా పతనం చెందే వస్తువు స్థిర త్వరణంలో చలించే వస్తువుకు ఒక సాధారణ ఉదాహరణ. గాలి నిరోధకం లేకపోతే, అన్ని వస్తువులు, వాటి పరిమాణం, బరువుతో నిమిత్తం లేకుండా, ఒకే త్వరణంతో పతనంచెందుతాయి. ఎత్తునుబట్టి గురుత్వత్వరణం మారినప్పటికీ, భూ వ్యాసార్ధంతో పోలిస్తే చిన్న దూరాలకు వస్తువు పతనం అయ్యేటంత మేర ఇది స్థిరంగా ఉంటుంది. మన ప్రాయోగిక ఉపయోగాలకు, గాలి నిరోధ ప్రభావాన్ని ఉపేక్షిస్తాం.

స్వేచ్ఛగా పతనం చెందే వస్తువు యొక్క భూమ్యాకర్షణ త్వరణాన్ని వీ తో సూచిస్తాం. భూమి మీద లేదా భూమికి సమీపంలో దీని పరిమాణం సుమారుగా 9.8 ms^{-2} గా ఉంటుంది.

గెలిలీయో గెలీలి (Galileo Galilei)

(1564 – 1642)



ఇటలీలోని పైసాలో 1564 లో ఈయన జన్మించాడు. కిందకుపడే వస్తువులకు సంబంధించిన సూత్రాలను ఈయన ప్రవచించాడు. ఒక దూరదర్శినిని రూపొందించి దాని సహాయంతో ఖగోళ పరిశీలనలు చేసేవాడు. ఈయన ప్రధానమైన పరిశోధనలు ప్రపంచంలోని రెండు పెద్ద వ్యవస్థలకు సంబంధించిన డైలాగులు, రెండు కొత్త విజ్ఞానశాస్త్రాల సంబంధించిన సంభాషణలు, సూర్యుని చుట్టూ భూమి తిరుగుతోందనే భావనను ఈయన సమర్ధించాడు.

ఉదాహరణ 2.9

50 m ఎత్తు నుండి ఒక రాయిని జారవిడిచారు. అది స్వేచ్ఛగా పతనం చెందుతోంది. (i) రెండు సెకన్లలో అది ప్రయాణంచేసిన దూరం (ii) నేలను తాకే ముందు దాని వేగం మరియు (iii) 3 సెకన్లకు దాని వేగం, ప్రయాణం తరవాత 3 సెకన్లకు గణించండి.

సాధన : ఇచ్చినవి

ఎత్తు $h = 50$ m మరియు తొలి వేగం $u = 0$

తొలి స్థానం (y_0)ను సున్నాగా తీసుకుందాం. మూల బిందువును బయలుదేరే బిందువుగా పరిగణిద్దాం. అంటే y-అక్షం దిగువ భాగం (లంబాక్షం) రుణాత్మకంగా ఉంటుంది. త్వరణం కిందవైపుకు ఉండి రుణాత్మక y-దిశలో ఉంటుంది, అందువల్ల a విలువ $a = -g = -9.8\ ms^{-2}$.

(i) సమీకరణం (2.8) ప్రకారం

$$y = y_0 + ut + \frac{1}{2}at^2$$

ఇచ్చిన దత్తాంశం ప్రకారం

$$y = 0 + 0 - \frac{1}{2}gt^2 = -\tfrac{1}{2} \times 9.8 \times (2)^2$$

$$= -19.6 \text{ m.}$$

రుణ గుర్తు బయలుదేరిన బిందువుకు కింది దిశలో దూరం ఉందని తెలియచేస్తుంది.

(ii) భూమి వద్ద $y = -50$ m.

సమీకరణం (2.9) ప్రకారం

$$v^2 = u^2 + 2a\,(y - y_0)$$

$$= 0 + 2\,(-9.8)\,(-50 - 0)$$

$$v = 9.9\ ms^{-1}.$$

(iii) $v = u + at$, సమీకరణం ప్రకారం $t = 3$ సెకన్ల వద్ద

$$\therefore \quad v = 0 + (-9.8) \times 3$$

$$v = -29.4 \text{ ms}^{-1}$$

$t = 3$ సెకన్లకు రాయి యొక్క వేగం 29.4 ms^{-1} అని, అది కింది దిశలో ఉందని తెలియచేస్తుంది.

గమనిక: శుద్ధగతిక సమీకరణాల్లో ఒక ముఖ్య విషయం పేర్కొనాలి. మనం కొన్ని సంజ్ఞలను సాంప్రదాయకంగా ఉపయోగిస్తాం. రాశులను పైకి, కుడివైపుకు పంపినప్పుడు ధనాత్మకంగా పరిగణిస్తాం. కిందవైపుకు, ఎడమవైపుకు పంపినప్పుడు రుణాత్మకంగా పరిగణిస్తాం.

2.6 అవకలనం, సమాకలనం భావనలు

భౌతికశాస్త్రం లోని సూత్రాలు, వివిధ భౌతిక రాశుల మధ్య గల సంబంధాలను వివరించడానికి గణితశాస్త్రం లోని అన్ని శాఖలు ఎంతో ఉపయోగపడతాయి. ఇంతవరకు బీజగణితం, త్రికోణమితి ఏవిధంగా ఉపయోగిస్తారో, మీకు తెలుసు. ఇప్పుడు భౌతికశాస్త్రం అధ్యయనం చేయడానికి మీరు అవకలనం (అవకలన కలన గణితం), సమాకలనం (సమాకలన గణితం) ను తెలుసుకుంటారు. గణితశాస్త్రం పుస్తకాలలో మీరు వీటి గురించి వివరంగా నేర్చుకోబోతున్నప్పటికీ ఈ భావాలను క్లుప్తంగా ఈ క్రింది విధంగా పరిచయం చేస్తాం.

ముందుగా ఈ క్రింది పదాల నిర్వచనాలను తెలుసుకుందాం.

స్థిరాంకం : గణితాత్మక సంక్రియలు పనిచేసినప్పటికీ ఏ రాశి విలువ మారదో అటువంటి రాశిని స్థిరాంకం అని అంటారు. ఉదా: 1, 2, 3, ... పూర్ణాంకాలు, భిన్నాలు, π, e, మొ॥.

చలరాశి: గణితాత్మక సంక్రియల ద్వారా ఏ రాశి విలువ మారుతుందో అటువంటి రాశిని చరరాశి అంటారు. సాధారణంగా చరరాశిని x, y, z మొ॥ వాటితో సూచిస్తారు.

ప్రమేయం: ప్రతి x విలువకు, y ఒక నిర్దిష్టమైన విలువను కలిగి ఉంటే, y ను x ప్రమేయంగా నిర్వచించి ఈ క్రింది సమీకరణంతో సూచిస్తాం.

$$y = f(x)$$

అంటే y, x యొక్క ప్రమేయం అని అర్థం.

అవకలన గుణకం: y, x యొక్క ప్రమేయం అనుకుందాం.

$$\text{i.e. } y = f(x)$$

x విలువ δx అను అతి చిన్న విలువకు పెరిగింది అనుకుందాం. y కూడ δy అను విలువకు పెరుగుతుంది అనుకుందాం. అప్పుడు $y + \delta y$, $x + \delta x$ ప్రమేయం అవుతుంది.

లేదా $$y + \delta y = f(x + \delta x)$$

లేదా $\delta y = f(x + \delta x) - y$

లేదా $$\frac{\delta y}{\delta x} = \frac{f(x+\delta x) - f(x)}{\delta x}$$

$\frac{\delta y}{\delta x}$ ను పెరుగుదల నిష్పత్తి అంటారు. ఇది x పరంగా y లోని సగటు మార్పు రేటును x మరియు $(x + \delta x)$ వ్యాప్తి మధ్యగల కాల వ్యవధిలో సూచిస్తుంది.

x పరంగా y తక్షణ మార్పు రేటును కనుగొనడానికి మనం, δx సున్నా విలువను సమీపిస్తున్నప్పుడు $(\delta x \to 0)$ $\frac{\delta y}{\delta x}$ నిష్పత్తి అవధిని లెక్కించాలి.

i.e. $$\underset{\delta x \to 0}{\text{Lt}} \frac{\delta y}{\delta x} = \underset{\delta x \to 0}{\text{Lt}} \frac{f(x+\delta x) - f(x)}{\delta x}$$

కాబట్టి x పరంగా y లో కలిగే తక్షణ మార్పు రేటును $\underset{\delta x \to 0}{\text{Lt}} \frac{\delta y}{\delta x}$ గా రాస్తారు. దీనినే x పరంగా y అవకలన గుణకం అని అంటారు. దీన్ని $\frac{dy}{dx}$ తో సూచిస్తారు.

సమాకలనం

సమాకలనం, అవకలనం యొక్క ఉత్క్రమం. ఈ సమాకలన భావాన్ని అర్థం చేసుకోవడానికి, **F** అనే స్థిర బలం ఒక వస్తువుపై ప్రయోగించడం వలన అది **S** దూరం ప్రయాణించిందని అనుకుందాం. వస్తువు గమన కాలంలో దానిపై బలం చేసిన పని, W = **F.S**.

కాని **F** అనేది మార్పు చెందే బలం అయితే బీజగణితం ద్వారా ఏ పద్ధతి ప్రకారమైన మనం పనిని కనుగొనలేము.

ఉదాహరణకు, భూమి ఉపరితలంపై నుంచి ఒక వస్తువు పైకి ప్రయాణిస్తున్నప్పుడు, దాని మీద గురుత్వబలం పనిచేస్తుంది. వస్తువు పైకి ప్రయాణించిన కొలది గురుత్వబలం మారుతూ ఉంటుంది. ఇటువంటి సందర్భంలో సమాకలనం అనే పద్ధతిని ఉపయోగించి పనిని లెక్కిస్తారు.

మార్పు చెందే బలం చేసిన పనిని కనుగొనడానికి,

$$W = \Sigma F(x)\,\Delta x$$

Δx, అతి చిన్న విలువలకు

$$W = \sum_{\lim \Delta x \to 0} F(x)\Delta x$$

దీనికి

$$W = \int F(x)\delta x \text{ గా రాస్తారు.}$$

పై సమాసాన్ని x పరంగా $F(x)$ ప్రమేయం యొక్క సమాకలనం అని అంటారు. సమాకలన గుర్తు $\int$ సాగదీసిన S అక్షరంలా ఉంటుంది.

సాధారణంగా ఉపయోగించే కొన్ని సమాకలన, అవకలన సూత్రాలు

(i) $\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} (\text{for } n \neq -1)$	(i) $\frac{d}{dx} x^n = nx^{n-1}$
(ii) $\int x^{-1} dx = \int \frac{1}{x} dx = \log x$	(ii) $\frac{d}{dx}(\log x) = \frac{1}{x}$
(iii) $\int dx = \int x^0 dx = \frac{x^1}{1} = x$	(iii) $\frac{d}{dx}(x) = 1$
(iv) $\int cxdx = c\int xdx (\text{c is a constant})$	(iv) $\frac{d}{dx}(cu) = c\frac{d}{dx}(u)$
(v) $\int (u \pm v \pm w) dx = \int udx \pm \int vdx \pm \int wdx$	(v) $\frac{d}{dx}(u \pm v \pm w) = \frac{du}{dx} \pm \frac{dv}{dx} \pm \frac{dw}{dx}$
(vi) $\int e^x dx = e^x$	(vi) $\frac{d}{dx}(e^x) = e^x$
(vii) $\int \sin xdx = -\cos x$	(vii) $\frac{d}{dx}\{\sin(x)\} = +\cos x$
(viii) $\int \cos xdx = \sin x$	(viii) $\frac{d}{dx}(\cos x) = -\sin x$
(ix) $\int \sec^2 xdx = \tan x$	(ix) $\frac{d}{dx}(\tan x) = \sec x$
(x) $\int \text{cosec}^2 xdx = -\cot x$	(x) $\frac{d}{dx}(\cot x) = -\cos ec^2 x$

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- చలించే వస్తువు ప్రయాణించిన మొత్తం పథంను దూరం అని అంటారు.
- వస్తువు తుది స్థానం మరియు తొలి స్థానంల మధ్యగల అతి తక్కువ దూరాన్ని స్థానభ్రంశం అని అంటారు. ఇది దిశను కలిగి ఉంటుంది.

- ఒక వస్తువు యొక్క స్థానభ్రంశానికి దానికి తీసుకున్న కాలానికిగల నిష్పత్తి ఆ వస్తువు సగటు వేగం అవుతుంది.
- మొత్తం ప్రయాణం చేసిన దూరాన్ని తీసుకున్న కాలంతో భాగిస్తే సగటు వడి వస్తుంది.
- ఒక వస్తువు పరంగా మరొక వస్తువు యొక్క సాపేక్ష స్థానంలోని మార్పు రేటును తొలి వస్తువు పరంగా దాని సాపేక్ష వేగం అవుతుంది.
- ప్రమాణ కాలంలో వేగంలోని మార్పును త్వరణం అంటారు.
- నిశ్చలంగా ఉన్న వస్తువు యొక్క స్థానం–కాలం గ్రాఫ్ సరళరేఖగా ఉండి కాలం అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది.
- ఏకరీతి చలనంగల వస్తువు యొక్క స్థానం–కాలం గ్రాఫ్ సరళరేఖగా ఉండి కాలం అక్షానికి ఏటవాలుగా ఉంటుంది.
- కాలవ్యవధులు ఎంత చిన్నవైనా, వస్తువు సమాన కాల వ్యవధుల్లో సమాన దూరాలు ప్రయాణంచేస్తే దాన్ని ఏకరీతి చలనం అంటారు.
- ఏదైనా క్షణంలో ఒక కణం యొక్క వేగం లేదా దాని మార్గంలో ఏదైనా బిందువు వద్ద గల వేగాన్ని దాని తక్షణ వేగం అంటారు.
- స్థానం – కాలం గ్రాఫ్ వాలు సగటువేగాన్ని ఇస్తుంది.
- స్థిర త్వరణంతో చలించే వస్తువు యొక్క స్థానం – కాలం గ్రాఫ్ సరళరేఖగా ఉండి కాలం అక్షానికి ఏటవాలుగా ఉంటుంది.
- వేగం – కాలం గ్రాఫ్ ఆవరించి ఉండే వైశాల్యం వస్తువు స్థానభ్రంశాన్ని ఇస్తుంది.
- వస్తువు యొక్క సగటు త్వరణాన్ని దాని వేగం–కాలం గ్రాఫ్ యొక్క వాలును బట్టి గణించవచ్చు.
- ఒక వస్తువు యొక్క చలనాన్ని కింది సమీకరణాలతో వర్ణించవచ్చు.

  (i) $v = u + at$

  (ii) $x = x_0 + u\,t + \frac{1}{2}at^2$

  (iii) $v^2 = u^2 + 2a\,(x - x_0)$

ముగింపు అభ్యాసం

1. C అనే కారు సరళమైన రోడ్డు మీద 65 $km\,h^{-1}$ వడితో M అనే మోటారు సైకిలు ముందు వెళుతోంది. కారు వెళ్లే దిశలోనే మోటారు సైకిలు 80 $km\,h^{-1}$ వడితో వెళుతోంది. కారు C పరంగా మోటారు సైకిలు M సాపేక్షవేగం ఎంత?

2. నిశ్చలతలో ఉన్న ఒక కారు 2.0 ms^{-2} త్వరణంతో బయలుదేరింది. 30 m వెళ్లాలంటే అది ఎంత కాలం తీసుకొంటుంది?

3. ఒక మోటారు సైకిలు రెండు ప్రదేశాల మధ్య దూరంలో సగం దూరం 30 $km\ h^{-1}$ వడితోను మిగిలిన సగం దూరం 60 $km\ h^{-1}$ వడితోను ప్రయాణంచేసింది. మోటారు సైకిలు సగటు వడి ఎంత? గణించండి.

4. ఒక పావురం శీతాకాలం దక్షిణంవైపుకు ఎగురుతూ వెళుతోంది. ఇది 20 $km\ h^{-1}$ స్థిర వేగంతో ఎగురుతూ 25 km వెళ్లింది. ఈ దూరం ఎగరడానికి దానికి ఎంత కాలం పడుతుంది.

5. గాలి మార్గంలో బెంగళూరు-ఢిల్లీల మధ్య దూరం (సరళరేఖా మార్గంలో) 1200 km రైలు మార్గంలో వాటి మధ్య దూరం 1500 km. గాలిలో ప్రయాణంకు 2 గంటలు, రైలు ప్రయాణానికి 20 గంటలు తీసుకొంటే వాటి వడిల నిష్పత్తిని గణించండి.

6. ఒక సరళమైన రోడ్డు మీద ఒక కారు నిశ్చలస్థితి నుండి బయలుదేరి 5 s కాలంలో 50 $km\ h^{-1}$ వేగం పొందింది. దాని సగటు త్వరణం పరిమాణం ఎంత?

7. ఒక వస్తువు 2.0 ms^{-1} తొలివేగంతో వెళ్తోంది. 3 s కాలం దానికి 8.0 ms^{-2} త్వరణీకరణం చెందించారు

   (i) వస్తువును త్వరణీకరణం చెందించిన సమయంలో అది ఎంతదూరం ప్రయాణం చేసింది

   (ii) అది ప్రారంభంలో నిశ్చలస్థితిలో ఉంటే ఎంత దూరం ప్రయాణంచేసి ఉండేది?

8. 10 ms^{-1} వేగంతో ఒక వస్తువును నిటారుగా పైకి విసిరారు. దాని గరిష్ఠ ఎత్తువద్ద దాని వేగం, త్వరణం విలువలు ఎంత ఉంటాయి?

9. ఒక మహిళ మార్కెట్‌కు 8 $km\ h^{-1}$ వడితో వాహనాన్ని నడుపుకుంటూ వెళ్ళింది. మార్కెట్ మూసి ఉండటంతో ఆమె వెనుదిరిగి ఇంటికి 10 $km\ h^{-1}$ వడితో చేరింది. మార్కెట్ ఆమె ఇంటికి 2 km దూరంలో ఉంటే, ఆమె సగటు వేగం, సగటు వడిని గణించండి.

10. స్థిర త్వరణంతో ఒక వస్తువు నిశ్చలస్థితి నుండి బయలుదేరి 4 s కాలంలో 40 m దూరం సరళరేఖ మార్గంలో ప్రయాణం చేసింది. దాని తుదివేగం / మొత్తం దూరంలోని సగం దూరం ప్రయాణం చేయడానికి అది తీసుకునే కాలాన్ని గణించండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలకు జవాబులు

2.1

1. అవును, వస్తువు దాని తొలిస్థానానికి వచ్చేసరికి దాని వేగం సున్నా అవుతుంది. కాని వడి సున్నా కాదు.

2. అవును, ఒకే దిశలో ఒకే వేగంతో చలించే రెండు కార్ల సాపేక్షవేగం ఒకదాని పరంగా మరొకదానికి సున్నా అవుతుంది.

3. (a) 1 ms^{-1} (b) 2 ms^{-1}

2.2

1. పటం 2.2 చూడండి.
2. (i) కాదు (ii) B (iii) లేదు (iv) A (v) 400 m
3. ఏకరీతి చలనంలో
4. (a) అది తప్పు, ఎందుకంటే కాలంతోపాటు ప్రయాణంచేసిన దూరం తగ్గదు లేదా సున్నా కాదు.

2.3

1. (i) వస్తువు సున్నా వేగంతో బయలుదేరుతుంది.

బయలుదేరిన బిందువు నుండి 5వ సెకను వరకు వస్తువు చలనం ఏకరీతిగా త్వరణీకరణం చెందబడింది. దీన్ని OA గీతపై సూచించడం జరిగింది.

$$a = \frac{15-0}{5-0} = 3\,ms^{-2}$$

5వ మరియు 10వ సెకన్ల మధ్య వస్తు చలనం ఏకరీతి చలనం.

(AB రేఖతో సూచించబడింది). $a = \frac{15-15}{15-5} = \frac{0}{10} = 0\ ms^{-2}$

15వ మరియు 25వ సెకనుల మధ్య వస్తుచలనం ఏకరీతిగా రుణత్వరణీకరణం చెందబడింది

(BC రేఖతో సూచించబడింది). $a = \frac{0-15}{25-15} = -1.5\ ms^{-2}$

(ii) $$\text{సగటు వడి} = \frac{\text{ప్రయాణం చేసిన దూరం}}{\text{తీసుకున్న కాలం}} = \frac{\text{OABC వైశాల్యం}}{(25-0)}$$

$$= \frac{\left(\frac{1}{2}\times 15\times 5\right)+(15\times 10)+\left(\frac{1}{2}\times 15\times 10\right)}{25} = \frac{525}{50} = 10.5\,ms^{-1}$$

2.4

1. సమీకరణం $x = x_0 + ut + \frac{1}{2}at^2$ ఉపయోగించగా

$$40 = \frac{1}{2}\times a\times 16 \quad \Rightarrow \quad a = 5\,ms^{-2}$$

తరవాత $v^2 = u^2 + 2a(x - x_0)$ ఉపయోగించగా

$v = 20\ ms^{-1}$,

$20 = 0 + \frac{1}{2} \times 5 \times t^2 \quad \Rightarrow \quad t = 2\sqrt{2}$ సె.

2. సమీకరణం (2.9)ని ఉపయోగించగా $x = 21\ m$

సమీకరణం (2.6)ని ఉపయోగించగా, $v = 13\ ms^{-1}$.

3. గరిష్ఠ ఎత్తు వద్ద, $v = 0$, సమీకరణం (2.10) ఉపయోగించగా,

$u = 7\sqrt{10}\ ms^{-1} = 22.6\ ms^{-1}$.

వస్తువు గరిష్ఠ ఎత్తుకు చేరేందుకు పట్టేకాలానికి రెట్టింపు కాలం వస్తువు గాలిలో ఉంటుంది.

4. వస్తువును పైకి విసిరినప్పుడు దాని త్వరణం ఎక్కువగా ఉంటుంది.

ముగింపు అభ్యాసం జవాబులు

1. $15\ km\ h^{-1}$
2. 5.47 s
3. $40\ ms^{-1}$
4. 1.25 గం.
5. 8 : 1
6. $2.8\ ms^{-2}$ (లేదా $3000\ km\ h^{-2}$)
7. (i) 42 m (ii) 36 m
8. 0 మరియు $9.8\ ms^{-2}$.
9. సగటు వేగం = 0, సగటు వడి = $8.89\ km\ h^{-1}$
10. $v = 20\ ms^{-1}$, $t = 2\sqrt{2}$ s

3

తలంలో గమనం

పరిచయం

గత అధ్యాయంలో రేఖీయ గమనానికి సంబంధించిన దూరం, స్థానభ్రంశం, వేగం మరియు త్వరణం భావనలను చదువుకున్నాము. ఏకమితీయంలో రెండు దిశలు మాత్రమే సాధ్యం కనుక స్థానభ్రంశం, వేగం, త్వరణం దిశలను ధనాత్మకంగా కాని లేదా ఋణాత్మకంగా కాని సూచిస్తాం. కాని వస్తువుల గమనాన్ని ఒక తలంలో అంటే ద్విమితీయంగా వివరించడానికి కొన్ని భావనలను ప్రవేశపెట్టవలసి వస్తుంది. భూమి నుండి క్షితిజ సమాంతరంలో కొంత కోణం చేస్తూ విసరిన బంతి ద్విమితీయ గమనానికి ఆసక్తికరమైన ఉదాహరణ. ఈ గమనాన్నే ప్రక్షేపక గమనం అంటారు. ప్రక్షేపక చలనం మరియు వృత్తాకార చలనంలను ఈ అధ్యాయంలో మనం వివరంగా తెలుసుకుందాం. సాధారణంగా వృత్తాకార చలనం, క్షితిజ సమాంతర వృత్తంలోని చలనంను సూచిస్తుంది. ఈ రకమైన చలనాలను వివరించుటకు మనం కోణీయ వేగం, అభికేంద్రత్వరణం మరియు అభికేంద్ర బలం భావనలను తెలుసుకుందాం.

లక్ష్యాలు

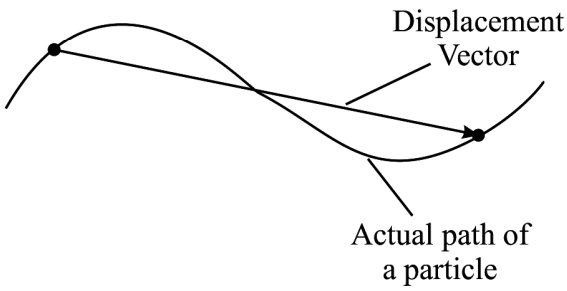
ఈ పాఠం చదివిన తరువాత క్రింది విషయాలను మీరు తెలుసుకుంటారు.

- సదిశ, అదిశ రాశుల మధ్య తేడాలు, వాటికి ఉదాహరణలు ఇవ్వడం.
- రెండు సదిశలను కలపడం, తీసివేయం మరియు ఒక సదిశను దాని అంశాలుగా విభజించడం
- రెండు సదిశల లబ్ధాన్ని గణనం చేయడం
- ప్రక్షేపక చలనం మరియు వృత్తాకార చలనం వివరణ
- ప్రక్షేపక పథానికి సమీకరణం రాబట్టడం
- ప్రక్షేపకం గరిష్ఠఎత్తు, పలాయన కాలం మరియు వ్యాప్తిలకు సమీకరణాలను రాబట్టడం
- వృత్తాకార చలనంలో ఉన్న కణం వేగం మరియు త్వరణంలను నిర్వచించడం.

3.1 అదిశలు మరియు సదిశలు

3.1.1 అదిశ మరియు సదిశరాశులు

భౌతికశాస్త్రంలో భౌతికరాశులను రెండు వర్గాలుగా విభజిస్తాం. ఒక సందర్భంలో, భౌతికరాశి పరిమాణాన్ని ప్రమాణాలతో చెపితే దాని పూర్తి వివరణ సరిపోతుంది. ఉదాహరణకు ద్రవ్యరాశిని తీసుకుందాం. ఒక బంతి ద్రవ్యరాశి 50 g (50 g) అని చెపితే సరిపోతుంది. మరి ఏమీ దానికి కలిపి చెప్పవలసిన అవసరం ఉండదు. బంతి ద్రవ్యరాశి ఎంతో మనకు అర్థం అవుతుంది. అదే విధంగా నీటి సాంద్రత 1000 కిగ్రామీ$^{-3}$ (1000 kg m^{-3}) అని చెపితే సాంద్రత యొక్క పూర్తి వివరణ చెప్పినట్లే. ఇటువంటి రాశులను అదిశరాశులు అంటారు. అదిశ రాశికి పరిమాణం మాత్రమే ఉంటుంది. దిశ ఉండదు.



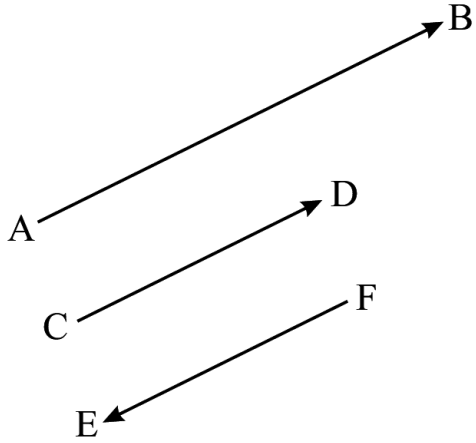
పటం 3.1 : స్థానభ్రంశ సదిశ

మరికొన్ని రాశులకు పరిమాణం, దిశ రెండూ ఉంటాయి. ఈ రెండింటిని చెపితేగాని ఆరాశి వివరణ పూర్తిగా తెలియదు. ఒక రైలు వేగం 100 km h^{-1} (గంటకు 100 కిమీ) అని చెప్పినంత మాత్రాన పూర్తిగా అర్థవంతంగా చెప్పినట్లు కాదు. అది ఏ దిశలో వెడుతున్నది కూడా చెప్పాల్సి ఉంటుంది. అటువంటి మరొక రాశి బలం. కేవలం బలం పరిమాణం ఒకటి చెపితే సరిపోదు. అది ఏ దిశలో పనిచేస్తున్నది కూడా చెప్పాల్సి ఉంటుంది. ఇటువంటి రాశులను సదిశరాశులు అంటారు. సదిశరాశులకు పరిమాణం దిశ రెండూ ఉంటాయి.

యాంత్రికశాస్త్రంలో మీరు నేర్చుకునే కొన్ని సదిశరాశులకు ఉదాహరణలు తెలుసుకుందాం. స్థానభ్రంశం (పటం 3.1), త్వరణం, ద్రవ్యవేగం, కోణీయ ద్రవ్యవేగం మరియు టార్క్ మొదలయినవి.

3.1.2 సదిశలను తెలియచేయడం

ఒక గీత, బాణం గుర్తుతో సదిశను తెలియచేస్తారు. బాణం గుర్తు దిశను తెలియచేస్తుంది. **పటం 3.2**లో సదిశ AB ని తీసుకోండి. AB గీత పొడవు ఏదో స్కేలు పరంగా దాని పరిమాణాన్ని తెలియచేస్తుంది. బాణం గుర్తు దిశను చెబుతుంది. సదిశ CD కూడా AB సదిశ దిశలోనే ఉంది కాని పరిమాణంలో చిన్నది. సదిశ EF పరిమాణం సదిశ CD తో సమానం అయినప్పటికి దాని దిశ తేడాగా ఉంది.

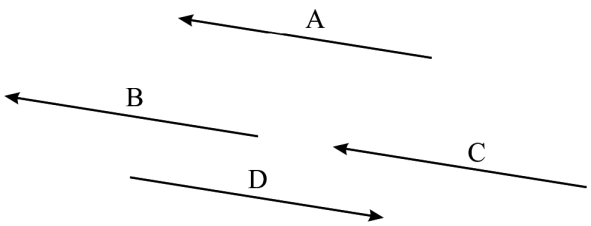


పటం 3.2 : సదిశల పరిమాణాలు, దిశలు

జ్యామితీయంగా సదిశను ఒక బాణంతో సూచిస్తారు. బాణం పొడవు సదిశ పరిమాణానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. బాణం తల సదిశ దిశను సూచిస్తుంది. బాణం AB స్థానభ్రంశ సదిశను సూచిస్తోంది. సదిశ తొలి బిందువు (AB లో ను A బిందువు) ను సదిశతోక అని, తుది బిందువు (AB లో B బిందువు)ను సదిశ తల అని అంటారు.

సదిశను సూచించేందుకు ఆ అక్షరంపై బాణం గుర్తు వేసి చెబుతారు. ఉదాహరణకు $\vec{A}$. ఇందులో సదిశ $\vec{A}$ యొక్క పరిమాణం A లేదా $|\vec{A}|$. అచ్చులో సదిశను బోల్డు ప్రింటులో చూపుతారు. **A** గా ప్రింటు చేస్తారు.

రెండు సదిశలు పరిమాణంలో సమానంగా ఉంటూ ఒకే దిశలో ఉంటే ఆ రెండూ సమానమైన సదిశలు అంటారు. అంటే సమాన పరిమాణాలుగల అన్ని సదిశలు సమాంతరంగా ఉండి ఒకే దిశలో ఉంటే అవన్నీ సమానం అని అర్థం. **పటం 3.3**లో చూపిన A, B మరియు C సదిశలు సమానం. అంటే **A = B = C** అంటాం. కాని **D** మాత్రం **A** తో సమానం కాదు.



పటం 3.3 : మూడు సదిశలు సమానం. నాల్గవ సదిశ D మిగిలిన వాటితో సమానం కాదు

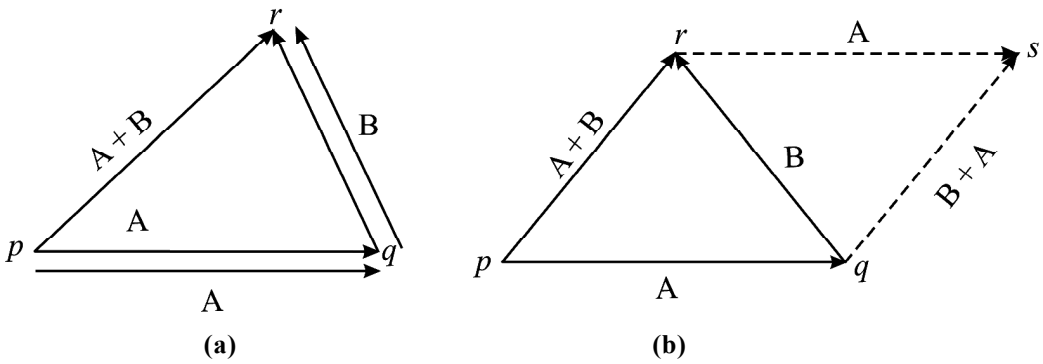
ఒక సదిశ (ఇక్కడ D) పరిమాణం సదిశ A పరిమాణంతో సమానంగా ఉన్నప్పటికి దిశ వ్యతిరేకంగా ఉంది. అంటే ఇది A కు వ్యతిరేకంగా ఉంది. లేదా –A అంటే D = –A.

పరిమాణ పరంగా ఒక సదిశను చెప్పాలంటే తప్పనిసరిగా అనులోమానుపాతంలో ఉండే ఒక స్కేలును ఎంచుకోవాలి. ఉదాహరణకు ఢిల్లీ–ఆగ్రాల మధ్య సదిశ స్థానభ్రంశం 300 కిలోమీటర్లు ఉంటుంది. 100 కిమీ = 1 సెమీ (100 km = 1 cm) స్కేలును ఎంచుకుని దీనిని సూచించవచ్చు. అదే విధంగా 30N బలాన్ని 3cm పొడవైన సదిశతో సూచించవచ్చు. కాకపోతే స్కేలు 10N = 1 cm గా తీసుకోవాలి.

ఒకే సదిశను దానికే సమాంతరంగా ఏమార్పు లేకుండా కదపవచ్చును అని స్పష్టమవుతోంది. ఈ ముఖ్యమైన ఫలితం సదిశల సంకలనంలో ఉపయోగపడుతుంది.

3.1.3 సదిశల సంకలనం

ఒకే రకానికి చెందిన రెండు సదిశలను సంకలనం చెందించవచ్చు. ఉదాహరణకు రెండు బలాలు లేదా రెండు వేగాలను సంకలనం చెందించవచ్చు.



పటం 3.4 : A మరియు B సదిశల సంకలనం

రెండు సదిశలు **A** మరియు **B** లను సంకలనం చేద్దాం. పటం 3.4 (a) లో చూపినట్లు సదిశ **A** ను తిరిగి గీయాలి. దీని కోసం సదిశ **A**కు సమాంతరంగా ఒక గీత (pq అనుకుందాం) గీయాలి. ఈ గీత pq పొడవు **A** సదిశ యొక్క పరిమాణానికి సమానంగా ఉండాలి. తరవాత సదిశ **B** ను గీయాలి. ఎలా గీయాలంటే దాని తోక సదిశ **A** తలతో ఏకీభవించునట్లు గీయాలి. దీని కోసం సదిశ **A** తల (బిందువు q నుండి) నుండి సదిశ **B** కు సమాంతరంగా pr గీత గీయాలి. ఇప్పుడు ఈ రెండు సదిశల మొత్తాన్ని ఈ విధంగా కనుక్కోవచ్చు. మొదటి సదిశ **A** తొలి బిందువును, రెండవ సదిశ **B** తుది బిందువును కలుపుతూ ఒక బాణాన్ని గీయాలి. ఇదే pr గీత. ఈ pr గీత ఆ రెండు సదిశల మొత్తాన్ని (ఫలిత సదిశను) సూచిస్తుంది. సదిశల సంకలనం స్థిత్యంతరం (commutative) అని సులువుగా మీరు నిరూపించగలరు. అంటే $\mathbf{A}+\mathbf{B}=\mathbf{B}+\mathbf{A}$ అని. పటం 3.4(b) లో చూడండి. పటం 3.4 (b) లో pqr ఒక త్రిభుజం. అందులో రెండు భుజాలు pq మరియు qr లు వరసగా సదిశలు **A** మరియు **B** లను పరిమాణాత్మకంగాను, దిశ పరంగాను సూచిస్తున్నాయి. దీని మూడవ భుజం pr ఫలిత సదిశను సూచిస్తోంది. దాని దిశ p నుండి r వైపుకు ఉంది. ఇది రెండు సదిశలను సంకలనం చేసేందుకు ఒక నియమాన్ని తెలియచేస్తోంది.

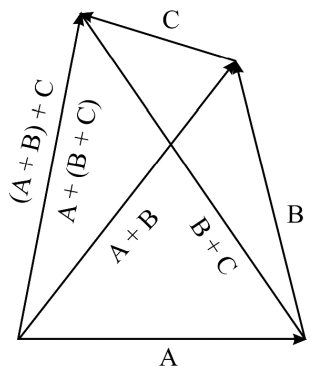
రెండు సదిశలను ఒక త్రిభుజం యొక్క భుజాలుగా దిశలోనూ, పరిమాణంలోనూ ఒక క్రమంలో సూచిస్తే, త్రిభుజాన్ని పూర్తిచేసే మూడవ భుజం వ్యతిరేక క్రమంలో ఆ సదిశల ఫలిత సదిశను (మొత్తాన్ని) దిశలోను, పరిమాణంలోనూ తెలుపుతుంది. ఇది సదిశ త్రిభుజ బల నియమం.

రెండు అంత కంటె ఎక్కువ సదిశల మొత్తాన్ని ఫలిత సదిశ అంటారు. పటం 3.4(b) లో సదిశలు **A** మరియు **B** ల ఫలిత సదిశ **pr**. ఒకే దిశలో త్రిభుజం మూడు భుజాల వెంబడి ప్రవర్తించే మూడు బలాల ఫలిత బలం ఎంత? అది శూన్యం అని మీరు అనుకుంటే మీ ఆలోచన సరియైనదే.

ఇప్పుడు రెండు కన్నా ఎక్కువ సదిశల యొక్క ఫలిత సదిశను కనుగొనే పద్ధతి నేర్చుకుందాం.

రెండు సదిశల ఫలిత సదిశను ఏవిధంగా కనుగొన్నామో అదే విధంగా రెండు కన్నా మించిన సదిశల ఫలిత సదిశను కనుక్కోవచ్చు.

ఉదాహరణకు **A**, **B** మరియు **C** సదిశల ఫలిత సదిశను కనుక్కోవాలనుకుందాం. ముందు **A** మరియు **B** సదిశల ఫలిత సదిశ (**A**+**B**) కనుక్కోవాలి. తరవాత ఈ ఫలిత సదిశ (**A**+**B**), **C** సదిశల ఫలిత సదిశను కనుక్కోవచ్చు. లేదా సదిశ **B**, సదిశ **C** లను ముందు సంకలనం చేసి ఆ తరవాత సదిశ **A** ను $(\mathbf{B}+\mathbf{C})$ లకు కలపవచ్చు. (పటం 3.5). ఈ రెండు సందర్భాల్లోను ఫలిత సదిశ ఒకే విధంగా వస్తుంది. ఇది సహచర సదిశ సంకలనం. అంటే $\mathbf{A}+(\mathbf{B}+\mathbf{C}) = (\mathbf{A}+\mathbf{B})+\mathbf{C}$.



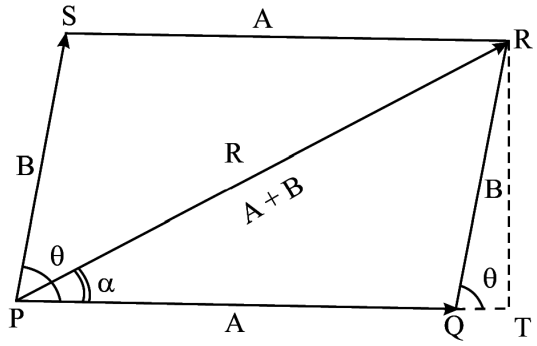
పటం 3.5 : రెండు భిన్న దిశలలో గల మూడు సదిశల సంకలనం

మూడు సదిశల కన్నా ఎక్కువ సంకలనం చేసినపుడు, ఫలిత సదిశ తొలి సదిశ తోకను తుది సదిశ. తలను కలిపితే వస్తుందని మీరు కనుక్కోగలుగుతారు.

చాలా సందర్భాల్లో సదిశలు ఒకే బిందువు మీద ప్రయోగిస్తారు. అటువంటి సందర్భాల్లో సదిశల సమాంతర చతుర్భుజ నియమం ఉపయోగించడం సౌకర్యంగా ఉంటుంది. దాని గురించి ఇప్పుడు నేర్చుకుందాం.

3.1.4 సదిశల సంకలన సమాంతర చతుర్భుజ నియమం

పటం 3.6లో చూపినట్లు **A** మరియు **B** లు రెండు సదిశలు. వాటి మధ్య కోణం θ. ఈ సదిశల మొత్తం కనుగొనేందుకు సమాంతర చతుర్భుజాన్ని పూర్తిగా నిర్మిస్తాం. ఇందులో ఒక భుజం **PQ** సదిశ **A** ను సూచిస్తుంది. మరొక భుజం **PS** సదిశ **B** ను సూచిస్తుంది. సమాంతర చతుర్భుజం కర్ణం PR ఫలిత సదిశ **R** ను సూచిస్తుంది. ఫలిత సదిశ **R** సదిశలు **A + B** ల మొత్తం అని గుర్తుపట్టారా? దీనినే సదిశలు **A** మరియు **B** ల ఫలిత సదిశ అంటారు. ఈ ఫలిత సదిశ, సదిశ **A** దిశతో α కోణం చేస్తున్నది. సదిశలు **PQ** మరియు **SR** లు **A** కు సమానం, అదే విధంగా సదిశలు **PS** మరియు **QR** లు **B** కు సమానం అని గుర్తుంచుకోవాలి. ఫలిత సదిశ **R** పరిమాణం తెలుసుకునేందుకు, పటంలో చూపిన విధంగా లంబం RT గీయాలి. పరిమాణం పరంగా



పటం 3.6 : సదిశల సంకలన సమాంతర చతుర్భుజ నియమం

$$(PR)^2 = (PT)^2 + (RT)^2$$

$$= (PQ + QT)^2 + (RT)^2$$

$$= (PQ)^2 + (QT)^2 + 2PQ.QT + (RT)^2$$

$$= (PQ)^2 + [(QT)^2 + (RT)^2] + 2PQ.QT \qquad \ldots (3.1)$$

$$= (PQ)^2 + (QR)^2 + 2PQ.QT$$

$$= (PQ)^2 + (QR)^2 + 2PQ.QR\ (QT / QR)$$

$$R^2 = A^2 + B^2 + 2\ AB.\cos\theta$$

∴ **R** యొక్క పరిమాణం $|\mathbf{R}| = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB.\cos\theta}$ (3.2)

సదిశ **R** యొక్క దిశ తెలుసుకునేందుకు

$$\tan\alpha = \frac{RT}{PT} = \frac{RT}{PQ+QT} = \frac{B\sin\theta}{A+B\cos\theta} \qquad (3.3)$$

ఫలిత సదిశ దిశను ప్రాథమిక సదిశతో అది చేసే కోణంలో చెప్పవచ్చు.

ప్రత్యేక సందర్భాలు:

రెండు సదిశలు **A** మరియు **B** లు సమాంతరంగా ఉంటే $\theta = 0°$, $\cos\theta = 1$ వీటి ఫలిత సదిశ వాటి దిశలోనే వాటి పరిమాణాల మొత్తానికి సమానంగా ఉంటుంది. $\mathbf{R} = \mathbf{A} + \mathbf{B}$

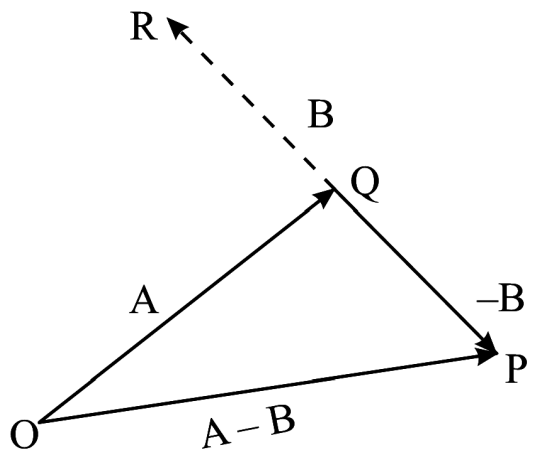
రెండు సదిశలు ఒకదాని కొకటి లంబంగా ఉంటే $\theta = 90°$ $\cos\theta = 0$. వీటి ఫలితదిశ $\mathbf{R} = \sqrt{\mathbf{A}^2 + \mathbf{B}^2}$

రెండు సదిశలు వ్యతిరేక సమాంతర దిశల్లో (anti-parallel) ఉంటే $\theta = 180°$ $\cos\theta = -1$ వీటి ఫలిత సదిశ **A** లేదా **B** వెంబడి ఉంటుంది. ఇది ఏ సదిశకు ఎక్కువ పరిమాణం ఉంటుందో దాని మీద ఆధారపడి ఉంటుంది.

$$\mathbf{R} = \mathbf{A} - \mathbf{B}$$

3.1.5 సదిశా వ్యవకలనం

ఒక సదిశ నుండి మరొక సదిశను ఎలా వ్యవకలనం చేస్తారు? రెండు సదిశల తేడాను గుర్తుచేసుకోగలిగితే, అంటే **A – B**, ఇది నిజానికి **A + (–B)**కి సమానం. అంటే సదిశల సంకలనం చేసే పద్ధతిని అనుసరించవచ్చు. ఇది **పటం 3.7**లో వివరించబడింది. సదిశ **–B** ను సదిశ **A**తల నుండి గీయాలి. సదిశ **A** తోక సదిశ – **B** తలను కలపాలి. ఫలిత సదిశ **(A – B)** సదిశలు **A** మరియు **B** ల వ్యవకలనం అవుతుంది.



పటం 3.7 : సదిశ **A** నుండి సదిశ **B**ను వ్యవకలనం చేయుట

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 3.1

సదిశలు $\xrightarrow[\mathbf{A}]{}$ మరియు $\nearrow \mathbf{B}$ లు ఇవ్వబడినవి.

1. ఈ దిగువ సదిశలు చూపేందుకు కావలసిన పటాలు గీయండి.

   (a) **B – A**, (b) **A + B**, (c) **A – 2B** (d) **B – 2A**.

2. రెండు సదిశలు **A** మరియు **B** 10 ప్రమాణాలు, 12 ప్రమాణాలు గలవి ప్రతి-సమాంతరంగా ఉన్నాయి. **A + B** మరియు **A – B** కనుక్కోండి.

3. **A** మరియు **B** సదిశలు ఒకదానికొకటి 60 డిగ్రీల కోణంలో ఏటవాలుగా ఉన్నాయి. వాటి పరిమాణాలు **A** = 30 ప్రమాణాలు, **B** = 60 ప్రమాణాలు అయితే ఫలిత సదిశ కనుక్కోండి.

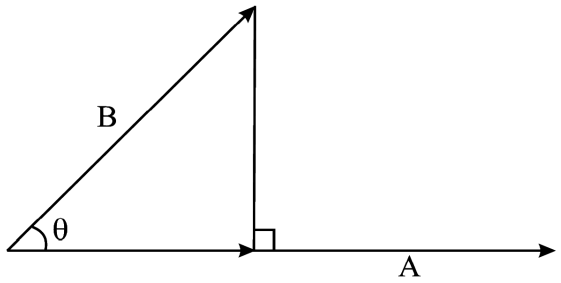
3.1.6 ఒక అదిశతో ఒక సదిశను గుణించడం

ఒక సదిశ **A** ను ఒక అదిశ k తో గుణిస్తే **A** పరిమాణానికి k రెట్లుండే ఆ సదిశ దిశలోనే ఉండే ఇంకొక సదిశను పొందుతాం. అంటే ఫలిత సదిశ పరిమాణం $k|\mathbf{A}|$ ఉంటుంది. k ధనాత్మకం అయితే కొత్త సదిశ దిశలో మార్పు ఉండదు. k ఋణాత్మకం అయితే కొత్త సదిశ దిశ **A** దిశకు వ్యతిరేకంగా ఉంటుంది. ఉదాహరణకు సదిశ 3**A** పరిమాణం సదిశ **A** పరిమాణానికి మూడు రెట్లు ఉంటుంది. దిశ **A** దిశలోనే ఉంటుంది. కాని సదిశ – 3**A** సదిశ **A** దిశకు వ్యతిరేక దిశలో ఉంటుంది. దీని పరిమాణం మాత్రం **A** పరిమాణానికి 3 రెట్లు ఉంటుంది.

3.1.7 సదిశల అదిశాలబ్ధం

రెండు సదిశలు **A** మరియు **B** ల అదిశాలబ్ధాన్ని **A.B** గా రాస్తారు. ఇది AB cosθ కు సమానం. ఇక్కడ θ రెండు సదిశల మధ్య కోణం. **పటం 3.8** ను జాగ్రత్తగా పరిశీలిస్తే B cosθ అనేది సదిశ **A** వెంబడి సదిశ **B** యొక్క ప్రక్షేపకంగా గోచరిస్తుంది.

సదిశలు **A** మరియు **B** ల యొక్క అదిశ లబ్ధం **A** సదిశ యొక్క పరిమాణం మరియు **A** సదిశ పొడవు వెంబడి **B** యొక్క ప్రక్షేపకముల లబ్ధం అవుతుంది. సదిశల మధ్య కోణం θ మరియు (360 – θ) కోణాల కొసైన్ (cos) విలువలు ఒకటే కాబట్టి రెండు సదిశల మధ్య బిందు (డాట్) లబ్ధం ఒక అదిశను సూచిస్తుంది. దీనిని అదిశాలబ్ధం లేదా బిందు లబ్ధం (డాట్ ప్రోడక్ట్) అని కూడా అంటారు. రెండు సదిశల అదిశా లబ్ధం అదిశరాశి అవుతుందని గుర్తుంచుకోవాలి.



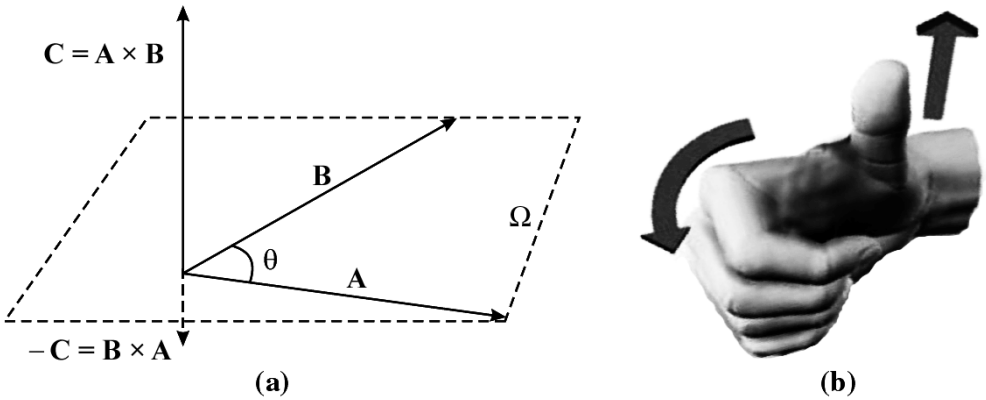
పటం 3.8 : A మీద **B**యొక్క ప్రక్షిప్తం

అదిశాలబ్ధానికి మీకు బాగా తెలిసిన ఉదాహరణ చెప్పుకుందాం. బలం F ఒక వస్తువు ప్రయాణం చేసే దిశకు θ కోణంలో ప్రవర్తిస్తున్నప్పుడు వస్తువు d స్థానభ్రంశం చెందినపుడు, బలం చేసిన పని Fdcosθ అవుతుంది. F మరియు d ల మధ్య కోణం θ.

బిందు లబ్ధం అదిశగా ఉంటుంది కాబట్టి, ఇది స్థిత్యంతర న్యాయం పాటిస్తుంది. **A.B** = **B.A** = ABcosθ ఇది విభాజక న్యాయం కూడా పాటిస్తుంది. **A. (B + C) = A.B + A.C**.

3.1.8 సదిశల సదిశాలబ్ధం

ఉదాహరణకు నకు రెండు సదిశలు **A** మరియు **B** లు θ కోణం వాలులో ఉన్నాయనుకుందాం. ఈ రెండు సదిశలు గల తలాన్ని మనం గీయగలం. ఈ తలాన్ని Ω అని పిలుద్దాం. ఇది ఈ కాగిత తలానికి లంబంగా ఉంటుంది. ఇప్పుడు ఈ సదిశల సదిశా లబ్ధం, **A × B** అని రాస్తాం, మరొక సదిశ **C** అవుతుందనుకుందాం. దీని పరిమాణం AB sinθ అవుతుంది. దీని దిశ Ω తలానికి లంబంగా ఉంటుంది. సదిశ **C** దిశను కుడి–చేతి నియమం (పటం 3.9(b)) ద్వారా తెలుసుకోవచ్చు. మీ కుడిచేతి వేళ్లు **A** నుండి **B** కు వాటి మధ్య కోణం మేరకు



పటం 3.9(a) సదిశల సదిశాలబ్ధం (b) ఫలిత సదిశ **C = A × B** దిశను కుడిచేతి నియమం వల్ల తెలుస్తుంది. కుడిచేతి వేళ్లను **A** నుండి **B** వైపుకు వాటి నడుమగల చిన్న కోణం మేర తిప్పినప్పుడు, బొటన వేలు మిగిలిన వేళ్లకు లంబంగా ఉంచినపుడు అది **C** దిశను సూచిస్తుంది.

తిరుగుతున్నాయనుకోండి. అప్పుడు మీ బొటనవేలు చూపే దిశ ఫలిత సదిశ C యొక్క దిశను తెలియచేస్తుంది. ఈ నియమం ప్రకారం సదిశ **B × A** యొక్క దిశ సదిశ **A × B** యొక్క దిశకు వ్యతిరేకంగా ఉంటుందని స్పష్టమవుతుంది. దీన్ని బట్టి సదిశాలబ్ధం స్థిత్యంతర న్యాయాన్ని పాటించదని గమనించగలరు. ఈ రెండు సదిశల మధ్య ఒక క్రాస్ ఉంచి వాటిని సదిశాలబ్ధంగా సూచిస్తున్నారు కాబట్టి దీన్ని వజ్ర లబ్ధం అని కూడా అంటారు.

భ్రమణం చెందే వస్తువు యొక్క కోణీయ ద్రవ్యవేగం సదిశాలబ్ధానికి మీకు తెలిసిన ఒక మంచి ఉదాహరణ.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 3.2

1. సదిశ **A** కు సదిశ **B** సమాంతరంగా ఉందనుకుందాం. వాటి సదిశాలబ్ధం ఎంత? సదిశ **B** సదిశ **A** కు ప్రతిసమాంతరంగా ఉంటే అప్పుడు సదిశాలబ్ధం ఎంత?

2. మనకు సదిశ **A** మరియు సదిశ $\mathbf{C} = \frac{1}{2}\mathbf{B}$ ఉన్నాయి అనుకుందాం. సదిశ **A × B** దిశ సదిశ **A × C** లకు ఎలా సంబంధం కలిగి ఉంటుంది?

3. **A** మరియు **B** సదిశలు అవి ఉన్న తలంలోనే భ్రమణం చెందించామనుకుందాం. సదిశ **C = A × B** దిశకు ఏమి జరుగుతుంది?

4. ఉదాహరణకు ఒకే తలంలో సదిశలు **A** మరియు **B** లను కొంత మేర స్వేచ్ఛగా భ్రమణం చెందించగలరు. సదిశ **C = A × B** కచ్చితంగా వ్యతిరేక దిశలో చూపునట్లు చేయగలరా?

5. సదిశ **A** x-అక్షం వెంబడి, సదిశ **B** y-అక్షం వెంబడి ఉన్నాయి. సదిశ **C = A × B** దిశ ఎటు ఉంటుంది? **A** సదిశ **y**-అక్షం వెంబడి **B** సదిశ **x**-అక్షం వెంబడి ఉంటే సదిశ **C** కి ఏమవుతుంది?

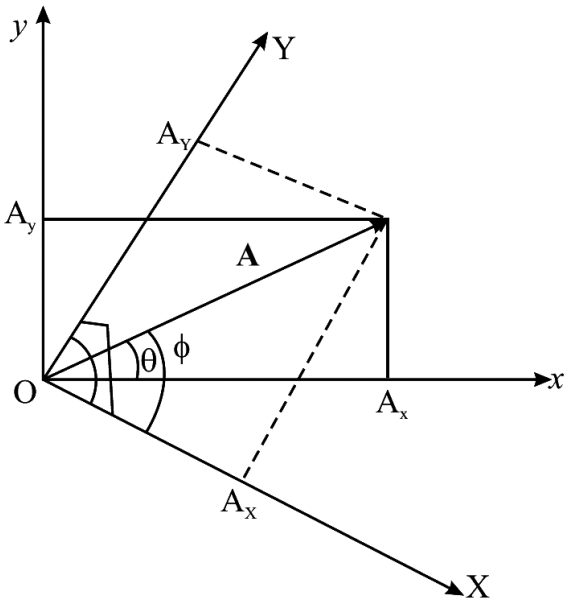
6. సదిశలు **A** మరియు **B** లు పరస్పరం లంబంగా ఉన్నాయి. ఇప్పుడు (a) **A . B** (b) **A × B** లను గణించండి.

3.1.9 సదిశను అంశాలుగా విభజించడం

సదిశలను అంశాలుగా విభజించడం అంటే సంకలనానికి విపర్యం. ఇవ్వబడిన సదిశ యొక్క అంశాలను ఒక నిరూపక వ్యవస్థ అక్షాల వెంబడి గణించడం జరుగుతుంది. **పటం 3.10**లో చూపినట్లు సదిశ **A** ఉందనుకుందాం. దీని అంశాలు x మరియు y-అక్షాలు వెంబడి కనుగొనాలి. ఈ అంశాలను వరసగా A_x మరియు A_y లు అని పిలుద్దాం.

$$A_x = A \cos \theta \quad \text{మరియు} \qquad (3.4)$$

$$A_y = A \sin \theta \qquad (3.5)$$



పటం 3.10(a) రెండు జతల నిరూపకాలు (x, y) మరియు (X, Y) ల వెంబడి సదిశ **A** యొక్క అంశాలు

ఇక్కడ సదిశ A, x-అక్షంతో చేసే కోణం θ.

సదిశ A కు x-అక్షానికి మధ్య కోణం ϕ అయితే దాని అంశాలు x-అక్షం మరియు y-అక్షం వెంబడి ఎంత (పటం 3.10) ఉంటాయి?

$$A_X = A \cos \phi$$

మరియు $$A_Y = A \sin \phi.$$

ఒక సదిశ యొక్క అంశాలు స్థిరంగా ఉండవు. ఏ అక్షాల వెంబడి దాని అంశాలు కావలెనో దానిపై అంశాల విలువ ఆధారపడి ఉంటుంది. సదిశ అంశాల పరంగా సదిశ **A** యొక్క పరిమాణం, దిశలు ఈ కింది సమీకరణాలు తెలుపుతాయి.

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} = \sqrt{A_X^2 + A_Y^2} \qquad (3.6)$$

and $\tan \theta = A_y/A_x$, $\tan \phi = A_Y/A_X$ (3.7)

3.1.10 ఏకాంక సదిశ

ఈ స్థాయిలో ఏకాంక సదిశ భావనను ప్రవేశపెడతాం. ఏకాంక సదిశకు ఏకాంక ప్రమాణం ఉంటుంది. నిర్దిష్టమైన దిశ ఉంటుంది. ఏకాంక సదిశకు ప్రమాణాలు, మితులు ఉండవు. దీని ప్రయోజనం కేవలం దిశను సూచించడం మాత్రమే.

ఉదాహరణకు, సదిశ **A** ను $A\hat{\mathbf{n}}$ గా రాస్తాము. **n** పై గల క్యాప్ ($\hat{\mathbf{n}}$) సదిశ **A** దిశలో ఏకాంక సదిశను సూచిస్తుంది. ఈ ఏకాంక సదిశ ప్రవేశ పెట్టడంలో ఉద్దేశ్యం అది సదిశ యొక్క దిశను సూచించడం కోసం మాత్రమే. దాని పరిమాణం విషయం సదిశ చూసుకుంటుంది. నిరూపక అక్షాల వెంబడి ఈ ఏకాంక సదిశలకు ప్రత్యేక ప్రాముఖ్యత ఉంటుంది. x-అక్షం వెంబడి ఏకాంక సదిశను $\hat{\mathbf{i}}$ తోను, y-అక్షం వెంబడి $\hat{\mathbf{j}}$ తోను, z-అక్షం వెంబడి $\hat{\mathbf{k}}$ తోను సూచిస్తారు. ఈ సాంప్రదాయాననుసరించి సదిశ **A**, యొక్క x-అక్షం, y-అక్షం వెంబడి దాని అంశాలు వరసగా A_x మరియు A_y పరంగా ఈ కింది విధంగా రాస్తారు.

$$\mathbf{A} = A_x \hat{\mathbf{i}} + A_y \hat{\mathbf{j}} \qquad (3.8)$$

మరియొక సదిశరాశి B ని కూడా ఇదే విధంగా రాయవచ్చు.

$$\mathbf{B} = B_x \hat{\mathbf{i}} + B_y \hat{\mathbf{j}} \qquad (3.9)$$

ఈ రెండు సదిశల మొత్తాన్ని ఈ క్రింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$\mathbf{A} + \mathbf{B} = (A_x + B_x)\hat{\mathbf{i}} + (A_y + B_y)\hat{\mathbf{j}} \qquad (3.10)$$

అదిశా లబ్ధం నియమాలననుసరించి మనం ఈ క్రింది విధంగా చూపగలం.

$$\hat{\mathbf{i}} \cdot \hat{\mathbf{i}} = 1,\ \hat{\mathbf{j}} \cdot \hat{\mathbf{j}} = 1,\ \hat{\mathbf{k}} \cdot \hat{\mathbf{k}} = 1,\ \hat{\mathbf{i}} \cdot \hat{\mathbf{j}} = 0,\ \hat{\mathbf{i}} \cdot \hat{\mathbf{k}} = 0 \text{ మరియు } \hat{\mathbf{j}} \cdot \hat{\mathbf{k}} = 0 \qquad (3.11)$$

సదిశలు A మరియు B ల బిందు లబ్ధాన్ని ఈ కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$\mathbf{A}\cdot\mathbf{B} = (A_x\,\hat{\mathbf{i}} + A_y\,\hat{\mathbf{j}}).(B_x\,\hat{\mathbf{i}} + B_y\,\hat{\mathbf{j}})$$

$$= A_xB_x\,(\hat{\mathbf{i}}\bullet\hat{\mathbf{i}}) + A_xB_y(\hat{\mathbf{i}}\bullet\hat{\mathbf{j}}) + A_yB_x(\hat{\mathbf{j}}\bullet\hat{\mathbf{i}}) + A_yB_y\,(\hat{\mathbf{j}}\bullet\hat{\mathbf{j}})$$

ఇందులో సమీకరణం 3.11 లోని ఫలితాలు ఉపయోగించాము.

$$= A_xB_x + A_yB_y \qquad (3.12)$$

రెండు సదిశల సదిశాలబ్ధం కూడా ఏకాంక సదిశలనుపయోగించి రాయవచ్చు. దీనికి ముందుగా ఏకాంక సదిశల సదిశాలబ్ధం తెలియాలి. ఏకాంక సదిశల మధ్య లంబకోణం ఉంటుందన్న సంగతి గుర్తుంచుకోవాలి. ఉదాహరణకు $\hat{\mathbf{i}}\times\hat{\mathbf{j}}$ తీసుకుందాం. వీటి మధ్య కోణం యొక్క సైన్ విలువ ఒకటి. ఈ సదిశల పరిమాణ లబ్ధం కూడా ఒకటి. దీని దిశ $\hat{\mathbf{i}}$ మరియు $\hat{\mathbf{j}}$ లు గల xy తలానికి లంబంగా ఉంటుంది. ఇదే z-అక్షం. కుడిచేతి నియమం ప్రకారం, ఇది ధన z-అక్షం ఈ చి దిశలో ఉండే ఏకాంక సదిశ ఏమిటి? ఈ ఏకాంక సదిశ $\hat{\mathbf{k}}$. అందువల్ల

$$\hat{\mathbf{i}}\times\hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{k}} \qquad (3.13)$$

ఇదే విధమైన వాదనలతో, మనం ఇలా చూపించగలం.

$$\hat{\mathbf{j}}\times\hat{\mathbf{k}} = \hat{\mathbf{i}},\ \hat{\mathbf{k}}\times\hat{\mathbf{i}} = \hat{\mathbf{j}},\ \hat{\mathbf{j}}\times\hat{\mathbf{i}} = -\hat{\mathbf{k}},\ \hat{\mathbf{k}}\times\hat{\mathbf{j}} = -\hat{\mathbf{i}},\ \hat{\mathbf{i}}\times\hat{\mathbf{k}} = -\hat{\mathbf{j}} \qquad (3.14)$$

మరియు

$$\hat{\mathbf{i}}\times\hat{\mathbf{i}} = \hat{\mathbf{j}}\times\hat{\mathbf{j}} = \hat{\mathbf{k}}\times\hat{\mathbf{k}} = 0 \qquad (3.15)$$

ఉదాహరణ 3.1

$\mathbf{C} = 4\,\hat{\mathbf{i}} + 5\,\hat{\mathbf{j}}$ మరియు $\mathbf{D} = 6\,\hat{\mathbf{i}} - 4\,\hat{\mathbf{j}}$ **C** మరియు **D** లు సదిశలు అయితే **C**, **D** లు అదిశాలబ్ధం మరియు సదిశాలబ్ధాలను కనుక్కోండి.

సాధన :

C మరియు **D** ల అదిశాలబ్ధం

$$\mathbf{C}\bullet\mathbf{D} = (4\,\hat{\mathbf{i}} + 5\,\hat{\mathbf{j}})\bullet(6\,\hat{\mathbf{i}} - 4\,\hat{\mathbf{j}})$$

$$= 24\,(\hat{\mathbf{i}}\bullet\hat{\mathbf{i}}) - 16\,(\hat{\mathbf{i}}\bullet\hat{\mathbf{j}}) + 30\,(\hat{\mathbf{j}}\bullet\hat{\mathbf{i}}) - 20(\hat{\mathbf{j}}\bullet\hat{\mathbf{j}})$$

సమీకరణం **(3.11)** ఉపయోగించి

$$\mathbf{C}\,.\,\mathbf{D} = 24 - 20$$

$$= 4$$

C మరియు **D** సదిశాలబ్ధం :

$$\mathbf{C} \times \mathbf{D} = (4\,\hat{\mathbf{i}} + 5\,\hat{\mathbf{j}}) \times (6\,\hat{\mathbf{i}} - 4\,\hat{\mathbf{j}})$$

$$= 24\,(\hat{\mathbf{i}} \times \hat{\mathbf{i}}) - 16\,(\hat{\mathbf{i}} \times \hat{\mathbf{j}}) + 30\,(\hat{\mathbf{j}} \times \hat{\mathbf{i}}) - 20(\hat{\mathbf{j}} \times \hat{\mathbf{j}})$$

(3.13 to 3.15) సమీకరణాలను ఉపయోగించి

$$\mathbf{C} \times \mathbf{D} = -16\,\hat{\mathbf{k}} - 30\,\hat{\mathbf{k}} = -46\,\hat{\mathbf{k}}$$

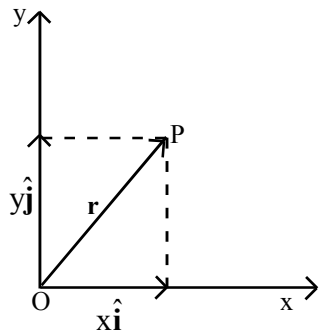
అందువల్ల సదిశలు C మరియు D ల సదిశా లబ్ధం ఒక సదిశ. దాని పరిమాణం 46. ఇది ఋణ చి దిశలో ఉంది. సదిశలు C మరియు D లు xy తలంలో ఉండడంవల్ల వాటి సదిశాలబ్ధం ఆ తలానికి లంబతలంలో ఉంటుందన్న విషయం తెలిసినదే. అదే z-దిశ.

3.2 స్థాన సదిశ, స్థానభ్రంశం

xy తలంలో P బిందువు వద్ద ఒక వస్తువు ఉంది అనుకుందాం. పటం (3.11). xy తలంలో మూలబిందువు దృష్ట్యా P బిందువు వద్ద గల వస్తువు స్థాన సదిశ **r** ని కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$\mathbf{r} = x\hat{\mathbf{i}} + y\hat{\mathbf{j}}$$

ఇక్కడ x, y అక్షాల వెంబడి **r** అంశాలు x, y.



పటం. 3.11 : స్థాన సదిశ **r**

ఇప్పుడు వక్రం వెంబడి ఒక వస్తువు చలిస్తుందని అనుకుందాం. కాలం t వద్ద వస్తువు P బిందువు వద్ద t' కాలం వద్ద P' బిందువు వద్ద ఉంటే, వాటి నిరూపకాలు (x, y), (x', y') పటం 3.12లో చూపినట్లు ఉంటాయి. అప్పుడు వస్తువు స్థానభ్రంశం

$\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}^1 - \mathbf{r}$ దీని దిశ P నుంచి P' వైపుకు ఉంటుంది.

$$\Delta\mathbf{r} = (x'\hat{\mathbf{i}} + y'\hat{\mathbf{j}}) - (x\,\hat{\mathbf{i}} + y\,\hat{\mathbf{j}})$$

$$= \Delta x\,\hat{\mathbf{i}} + \Delta y\,\hat{\mathbf{j}}$$

ఇక్కడ $\Delta x = x' - x$, $\Delta y = y' - y$.

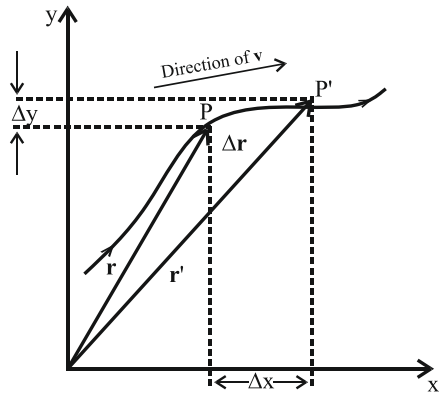
3.2.1 వేగం, త్వరణం

వస్తువు స్థానభ్రంశానికి, ఆ స్థానభ్రంశం జరిగిన కాలవ్యవధికి మధ్య ఉండే నిష్పత్తిని వస్తువు సరాసరి లేదా సగటు వేగం (**v**) అంటారు.

$$\mathbf{v} = \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\Delta x\,\hat{\mathbf{i}} + \Delta y\,\hat{\mathbf{j}}}{\Delta t} = \hat{\mathbf{i}}\,\frac{\Delta x}{\Delta t} + \hat{\mathbf{j}}\,\frac{\Delta y}{\Delta t}$$

$$= v_x\,\hat{\mathbf{i}} + v_y\,\hat{\mathbf{j}}$$

ఇక్కడ v_x, v_y లు వేగం **v** అదిశ అంశాలు. ఇవి వస్తువు x- మరియు y- అక్షాల వెంబడి గల వడిలను సూచిస్తాయి. పటం 3.12లో చూపినట్లు సగటు వేగం దిశ స్థానభ్రంశం $\Delta\mathbf{r}$ దిశలోనే ఉంటుంది.



పటం. 3.12 : స్థానభ్రంశం $\Delta\mathbf{r}$ మరియు సగటు వేగం **v**

ఇదే విధంగా వస్తువు త్వరణం ఈ కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$\mathbf{a} = \frac{\Delta\mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta(v_x\hat{\mathbf{i}} + v_y\hat{\mathbf{j}})}{\Delta t} = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}\hat{\mathbf{i}} + \frac{\Delta v_y}{\Delta t}\hat{\mathbf{j}}$$

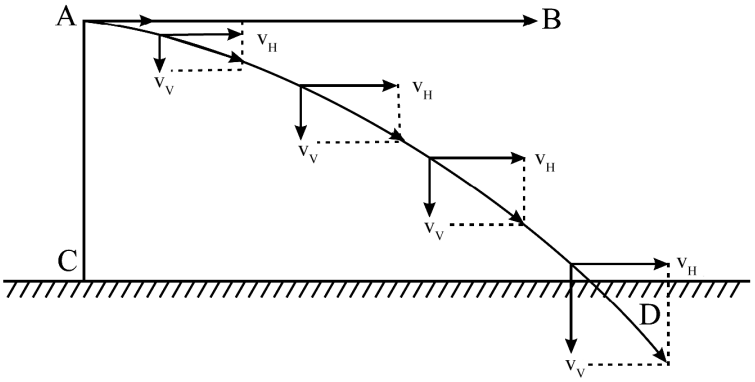
$$= a_x\hat{\mathbf{i}} + a_y\hat{\mathbf{j}}$$

ఇక్కడ a_x , a_y లు x, y అక్షాల దిశలో గల వస్తువు త్వరణాలు.

3.2.2 ప్రక్షేపక చలనం

క్షితిజ సమాంతరంతో 90° కాకుండా కొంత కోణం చేస్తూ భూమి ఉపరితలం నుంచి గాలిలోకి విసిరిన వస్తువును ప్రక్షేపకం అంటారు. ప్రక్షేపక చలనం గురించి మొట్టమొదటగా గెలీలియో శాస్త్రజ్ఞుడు వివరించగలిగాడు. ప్రక్షేపకం గమనంలో ఉన్నప్పుడు దాని క్షితిజ సమాంతర మరియు లంబ చలనాలు పరస్పరం ఒకదానిపై ఒకటి ఆధారపడకుండా ఉంటాయని నిరూపించాడు. దీన్ని కింది కృత్యం ద్వారా అర్థం చేసుకోవచ్చు.

రెండు క్రికెట్ బంతులను తీసుకొని, భవనంపై నుండి ఒకదాన్ని క్షితిజ సమాంతరంగా ప్రక్షేప్తం చేసి మరొక దాన్ని అదే స్థానం నుండి అదే సమయంలో స్వేచ్ఛగా కిందికి వదలండి. రెండు బంతులూ ఒకే కాలంలో భూమిని చేరాయని గమనిస్తాము. అనగా ప్రక్షేపకానికి కింది దిశలో పనిచేసే త్వరణం, స్వేచ్ఛగా కిందికి పడే వస్తువుకు ఉండే త్వరణంకు సమానం అని తెలుస్తోంది. అంతేకాకుండా ఇది క్షితిజ సమాంతర గమనంపై ఆధారపడదని తెలుస్తోంది. ఇంకా, రెండు వస్తువులు ప్రయాణించిన కాలాలు మరియు దూరాలను లెక్కించడం ద్వారా క్షితిజ సమాంతర వేగం కాలంతో పాటు మారకుండా ఉంటుందని, అది లంబగమనంపై ఆధారపడదని తెలుస్తుంది.



పటం. 3.13 : ప్రక్షేపకం యొక్క వక్ర మార్గం

మరోవిధంగా చెప్పాలంటే, ప్రక్షేపక చలనానికి ఉండే రెండు ముఖ్యమైన లక్షణాలు

(i) స్థిరమైన క్షితిజ సమాంతర వేగాంశం

(ii) స్థిరమైన క్షితిజ లంబ త్వరణ అంశం

ప్రక్షేపక చలనాన్ని ఈ రెండు చలన అంశాల వల్ల ఏకకాలంలో కలిగే ఫలిత చలనంగా భావించవచ్చు.

3.2.3 ప్రక్షేపక వస్తు పథం

ప్రక్షేపకం ప్రయాణించిన మార్గాన్ని ప్రక్షేపక పథం అంటారు. ఇప్పుడు ప్రక్షేపకం పథానికి సమీకరణాన్ని రాబడదాం. ప్రక్షేపక చలనంలో గాలి నిరోధం ఉపేక్షణీయంగా ఉంటుందని అనుకుందాం. పటం 3.14లో # ê | ¾ $ < ê > ± ÿ ¿ £ e d Ÿ ê ¼ q T Ô = * y ¾ + **u** తో x అక్షంతో θ కోణం చేస్తూ ప్రక్షిప్తం చేశాం అనుకుందాం. x- మరియు y- దిశలలో తొలివేగం **u** అంశాలు

$$u_x = u \cos\theta \qquad (3.16\ [a])$$

$$u_y = u \sin\theta \qquad (3.16\ [b])$$

ప్రక్షేపక చలనాన్ని రెండు వేరు వేరు చలన అంశాల వల్ల ఏకకాలంలో కలిగే ఫలిత చలనంగా భావించవచ్చని మనకు తెలుసు. వీటిలో మొదటి అంశం క్షితిజ సమాంతర దిశలో ఏవిధమైన త్వరణం లేకుండా ఉంటే, రెండో అంశం లంబదిశలో స్థిర త్వరణాన్ని కలిగి ఉంటుంది.

మొదట క్షితిజ సమాంతర దిశలో ఉన్న చలనాన్ని తీసుకుందాం. ఈ దిశలో త్వరణం శూన్యం కాబట్టి వేగం క్షితిజ సమాంతర అంశం u_x స్థిరంగా ఉంటుంది.

తొలి స్థానం నుంచి 't' కాలం వద్ద ప్రక్షేపకం క్షితిజ సమాంతర స్థానభ్రంశంను ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$x = u_x\, t = (u \cos\theta)\, t \qquad (3.17)$$

మరియు $\quad a_x = 0$

ఇప్పుడు క్షితిజ లంబ లేదా నిట్టనిలువు దిశలో ఉన్న చలనాన్ని తీసుకుందాం. ఈ దిశలో ప్రక్షేపక త్వరణం **a**, స్వేచ్ఛగా కిందికి పడే వస్తువు త్వరణానికి సమానంగా ఉండి. ఎల్లప్పుడూ కింది దిశలో ఉంటుంది.

i.e., $\quad a_y = -g$

ఏ కాలం 't' వద్ద అయినా వేగం అంశం ఈ కింది సమీకరణం ద్వారా తెలుసుకోవచ్చు.

$$v_y = u_y - gt$$

సమీకరణం (3.16 [b])ని ఉపయోగించి

$$v_y = u \sin\theta - gt \qquad (3.18)$$

't' కాలం తరువాత ప్రక్షేపకం నిట్టనిలువు స్థానభ్రంశానికి సమీకరణం

$$y = u_y\, t + \frac{1}{2} a_y\, t^2$$

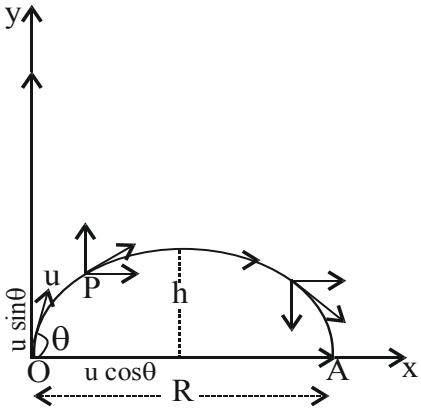
సమీకరణం (3.16 [b]) నుంచి

$$y = (u \sin\theta)\, t - \frac{1}{2} g t^2 \qquad (\because\ a_y = -g) \qquad (3.19)$$

సమీకరణం (3.17) నుంచి 't' విలువను సమీకరణం (3.19) లో ప్రతిక్షేపిస్తే

$$y = (u\sin\theta)\left(\frac{x}{u\cos\theta}\right) - \frac{1}{2}g\left(\frac{x^2}{u^2\cos^2\theta}\right)$$

$$y = (\tan\theta)\,x - \frac{gx^2}{2u^2\cos^2\theta} \qquad (3.20)$$



పటం. 3.14 : ప్రక్షేపకం పథం

ఇక్కడ θ, g, u లు స్థిరాంకాలు కాబట్టి సమీకరణం (3.20) ని $y = ax + bx^2$ రూపంలో రాయవచ్చు. ఈ సమీకరణం పరావలయ సమీకరణాన్ని సూచిస్తుంది. కావున గాలి నిరోధంను ఉపేక్షించినప్పుడు ప్రక్షేపక వస్తువు పథం పరావలయం అని చెప్పవచ్చు.

ఇప్పుడు ప్రక్షేపకం గాలిలో ఎంత ఎత్తుకు, క్షితిజ సమాంతరంగా ఎంత దూరానికి మరియు గాలిలో ఎంత కాలం వరకు ప్రయాణిస్తుంది అనే విషయాలను కనుగొందాం.

3.2.4 ప్రక్షేపకం యొక్క గరిష్ఠ ఎత్తు

ప్రక్షేపకం గాలిలో ప్రయాణించినప్పుడు అది కొంత గరిష్ఠ ఎత్తు (h_{max}) ను చేరి తిరిగి కిందకు పడుతుంది. ప్రక్షిప్త వస్తువు ఏ ఎత్తుకు ప్రయాణించినప్పుడు దాని క్షితిజ లంబ వేగాంశం శూన్యం అవుతుందో ఆ ఎత్తును ప్రక్షేపకం యొక్క గరిష్ఠ ఎత్తు అని అంటారు. అదే సమయంలో వస్తువు పైకి వెళ్ళడం ఆగిపోతుంది. కాబట్టి ప్రక్షేపక వస్తువు గరిష్ఠ ఎత్తు వద్ద ఉన్నప్పుడు,

$v_y = 0$, $u_y = u \sin\theta$ మరియు $a = -g$.

సమీకరణం (3.18) నుంచి

$$0 = u\sin\theta - gt$$

$$t = \frac{u\sin\theta}{g} \qquad (3.21)$$

ప్రక్షేపకం గరిష్ఠ ఎత్తుకు చేరుకోవడానికి పట్టే కాలం పై సమీకరణం ఇస్తుంది.

సమీకరణం, $v^2 - u^2 = 2as$ ఉపయోగించి

$$0 - (u\sin\theta)^2 = -2gh_{max}$$

$$h_{max} = \frac{u^2\sin^2\theta}{2g} \qquad (3.22)$$

3.2.5 పలాయన కాలం (Time of flight)

ప్రక్షిప్త వస్తువు ప్రక్షేపం చేసిన క్షణానికి, తిరిగి అది భూమిని చేరుటకు పట్టే కాలానికి మధ్యగల భేదాన్ని పలాయన కాలం అంటారు. సమీకరణం (3.19) లో $y = 0$, $t = T$ ని ప్రతిక్షేపించి దీనిని కనుక్కోవచ్చు.

అనగా
$$0 = (u \sin\theta)\, T - \frac{1}{2} g T^2$$

$$\frac{1}{2} g T^2 = u \sin\theta\, T$$

$$T = \frac{2u \sin\theta}{g} \qquad (3.23)$$

సమీకరణాలు (3.21) మరియు (3.23) లను పోల్చినప్పుడు

$$T = 2t$$

సమీకరణం (3.21) అనేది పలాయన కాలంలో సగం విలువను తెలియజేస్తుంది.

3.2.6 వ్యాప్తి

ప్రక్షిప్త వస్తువు క్షితిజ సమాంతరంగా ప్రయాణించిన దూరాన్ని ఇప్పుడు కనుగొందాం. ప్రక్షేపకం, పలాయన కాలం T లో ప్రయాణించిన క్షితిజ సమాంతర దూరాన్ని ప్రక్షేపక వ్యాప్తి అని అంటారు. దీనిని R తో సూచిస్తారు.

$$R = \text{క్షితిజ సమాంతర వేగం} \times \text{పలాయన కాలం}$$

$$= u_x \times T$$

సమీకరణాలు (3.17) మరియు (3.23) ల నుంచి

$$R = \frac{u \cos\theta\,(2u \sin\theta)}{g}$$

$$= \frac{2u^2 \cos\theta \sin\theta}{g}$$

కాని $2 \sin\theta \cos\theta = \sin 2\theta$

కాబట్టి,
$$R = \frac{u^2 \sin 2\theta}{g} \qquad (3.24)$$

పై సమీకరణం నుండి ప్రక్షేపకం వ్యాప్తి దాని తొలివేగం (u), ప్రక్షిప్తకోణం θ పై ఆధారపడుతుంది అని తెలుస్తుంది. ఇచ్చిన ప్రక్షిప్త వేగం (u) కు వ్యాప్తి R గరిష్ఠం కావాలంటే, $\sin 2\theta = 1$ లేదా $2\theta = 90°$ అనగా $\theta = 45°$.

కాబట్టి ఇచ్చిన ప్రక్షిప్త వేగం u కు వ్యాప్తి గరిష్ఠంగా ఉండాలంటే ప్రక్షిప్త కోణం $\theta = 45°$ కావాలి.

ఉదాహరణ 3.2

క్షితిజ సమాంతరంతో 30^0 కోణం చేస్తూ ఒక బంతిని $u = 10\ ms^{-1}$ వేగంతో విసిరారు. కింది వాటిని లెక్కించండి. (i) బంతి గరిష్ఠ ఎత్తు (ii) బంతి విసిరిన స్థానం నుంచి బంతి తిరిగి అదే స్థాయికి చేరిన స్థానానికి మధ్యగల క్షితిజ సమాంతర దూరం (iii) బంతి చలనంలో ఉండే కాలం. (గాలి నిరోధంను ఉపేక్షించండి మరియు $g = 10\ ms^{-2}$).

సాధన : ఇచ్చినవి

$u = 10$ మీసె$^{-1}$, $\theta = 30°$, $g = 10\ ms^{-2}$

(i) $$h_{max} = \frac{u^2 \sin^2\theta}{2g}$$

$$= \frac{(10)^2 \sin^2 30}{2\times10} = \frac{10}{2}\times\frac{3}{4} = 3.75\,m$$

(ii) $$R = \frac{u^2 \sin 2\theta}{g}$$

$$= \frac{(10)^2 \sin(2\times30)}{10}$$

$$= 10\times\sin 60 \ = 10\times\frac{1}{2} = 5\,m$$

(iii) $$T = \frac{2u\sin\theta}{g} = \frac{2\times10\times\sin 30}{10}$$

$$= 2\times\frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} = 1.7\,s$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 3.3

1. కింద పేర్కొనబడిన సందర్భాల్లో ప్రక్షేపక గమనానికి సంబంధించిన ఉదాహరణలను గుర్తించండి.

   (a) విలుకాడు బాణాన్ని లక్ష్యంపైకి విసురుట.

   (b) అగ్ని పర్వతం నుండి రాళ్లు విస్ఫోటనం చెందుట.

   (c) వాహనం పర్వతంపై ఉన్న మార్గంపై ప్రయాణించుట.

   (d) విమానం నుండి బాంబును జారవిడుచుట (సూచన: బాంబును విమానం నుండి జారవిడిచినప్పుడు, బాంబు విమానంకు గల క్షితిజ సమాంతర గమనాన్ని పంచుకుంటుంది.)

   (e) పడవ నదిలో ప్రయాణించడం.

2. లాంగ్ జంప్ ఆటలో క్రీడాకారుడు 8.90 m దూరం దూకి రికార్డ్ నెలకొల్పాడు. అతను దూకటానికి ముందు తొలి వేగం 9.5 ms^{-1} గా తీసుకోండి. గాలి నిరోధం లేకపోతే అతడు గరిష్ఠంగా ఎంత దూరం దూకగలడు? ($g = 9.78\ ms^{-2}$ గా తీసుకోండి)

3. ఒక వస్తువును నిట్టనిలువుగా పైకి ప్రక్షిప్తం చేసినప్పుడు దాని పథంలో ఏ బిందువు వద్దనయినా వేగం శూన్యం అవుతుందా.

ఇంతవరకు మీరు తలంలో వస్తువుల గమనాలను తెలుసుకున్నారు. ఇదే కోవలోకి ప్రక్షిప్త గమనం కూడా వస్తుంది. ప్రక్షిప్త గమనంలో త్వరణం పరిమాణంలోను మరియు దిశలోను స్థిరంగా ఉంటుంది. మరొక విధమైన ద్విమితీయ చలనంలో త్వరణం పరిమాణంలో స్థిరంగా ఉంటూ దిశలో మాత్రం మారుతూ ఉంటుంది. అదే ఏకరీతి వృత్తాకార చలనం, దీని గురించి తదుపరి పాఠ్యాంశంలో చర్చిద్దాం.

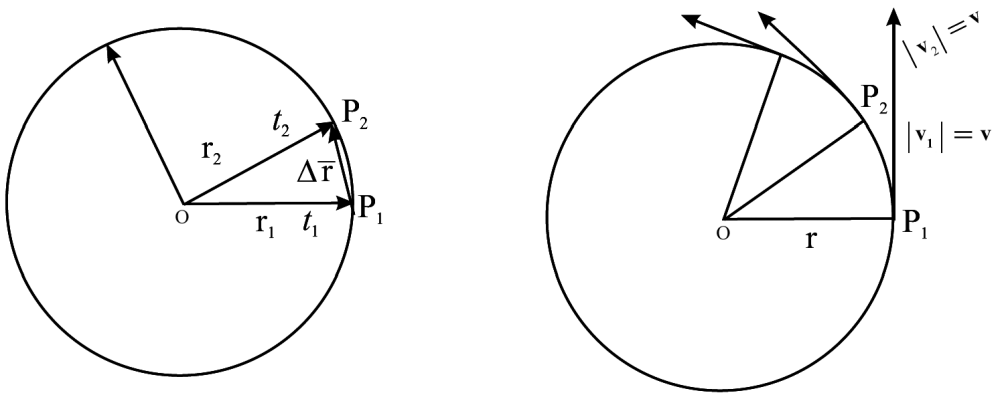
ఎవాంగ్‌లిస్తా టారిసెల్లి (Evangelista Torricellis) (1608 – 1647)

ఇటాలియన్ శాస్త్రవేత్త అయిన ఇతను గెలీలియో గెలిలీ శిష్యుడు. పాదరస బారోమీటర్‌ను కనుగొన్నాడు. ప్రక్షేపకాల సిద్ధాంతాలను పరిశీలించాడు. దూరదర్శినిని వృద్ధిపరచి తొలి సూక్ష్మదర్శినిని కనుక్కొన్నాడు. ప్రకృతి శూన్యానికి వ్యతిరేకి కాదని రుజువు పరచి టారిసెల్లి సిద్ధాంతాన్ని ప్రతిపాదించాడు.

3.3 వృత్తాకార చలనం

పటం 3.15(a) ను గమనించండి. ఒక కణం ఏకరీతి వృత్తాకార చలనంలో ఉన్నప్పుడు t_1 మరియు t_2 కాలాల్లో కణం యొక్క స్థాన సదిశలు వరసగా $\mathbf{r}_1$ మరియు $\mathbf{r}_2$. ఇక్కడ ఏకరీతి అంటే స్థిరమైన వడి. కణం యొక్క వడి స్థిరం అని చెప్పిఉన్నాం, మరి వేగం ఎలా ఉంటుంది? వేగం కనుగొనుటకు సగటు వేగం నిర్వచనం గుర్తుతెచ్చుకొని పటంలో P_1 మరియు P_2 బిందువుల వద్ద ఉపయోగించిన ఈ కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$\mathbf{v}_{avg} = \frac{\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \qquad (3.25)$$



పటం. 3.15 : (a) ఏకరీతి వృత్తాకార గమనంలో కణం యొక్క స్థానాలు
(b) ఏకరీతి వృత్తాకార చలనం

పిండిమర చక్రం యొక్క స్థిర వడి, సాధారణ గడియారంలో ముల్లుల గమనం, వక్ర మార్గంలో వాహన ప్రయాణంలాంటివి వృత్తాకార గమనానికి ఉదాహరణలు.

ఏకరీతి వృత్తాకార గమనం అనేది సరళమైన వృత్తాకార గమనం. ఫాన్ రెక్కపై ఉన్న ఒక బిందువు, భూమి చుట్టూ వృత్తాకార కక్ష్యలో తిరుగుచున్న కృత్రిమ ఉపగ్రహం, ఏకరీతి వృత్తాకార చలనాన్ని చేస్తుంటాయి. ఇప్పుడు ఏకరీతి వృత్తాకార చలనం గురించి నేర్చుకుందాం.

3.3.1 ఏకరీతి వృత్తాకార చలనం

నిర్వచనం ప్రకారం ఒక వస్తువు వృత్తాకారంలో స్థిర వడితో జరిపే గమనాన్ని ఏకరీతి వృత్తాకార గమనం అంటారు. పటం 3.15(b)లో $\Delta\mathbf{r}$ సదిశ చూపబడింది. ఇప్పుడు కాలవ్యవధి Δtను తగ్గిస్తూ దాదాపుగా శూన్యంనకు దగ్గర అగునట్లుగా చేయండి. అప్పుడు $\Delta\mathbf{r}$ ఏమవుతుంది? $\Delta\mathbf{r}$ యొక్క దిశ ఏమిటి? Δt శూన్యానికి సమీపిస్తున్నప్పుడు $\Delta\mathbf{r}$, వృత్త స్పర్శరేఖపై P_1 బిందువుకు దగ్గరగా వస్తుంది.

గణితాత్మకంగా P_1 బిందువు వద్ద తక్షణ వేగాన్ని కింద విధంగా వ్రాస్తారు.

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

కాబట్టి ఏకరీతి వృత్తాకార చలనంలో వేగ సదిశ క్రమంగా మారుతుంది. ఎందు కంటే వేగం దిశ స్థిరంగా ఉండదు. కణం వృత్తాకార మార్గంలో చలిస్తున్నకొద్దీ వేగం దిశ కుడా (పటం 3.15(b)లో చూపినట్లుగా మారుతుంది).

వేగంలో ఈ మార్పువల్ల ఏకరీతి వృత్తాకార చలనం త్వరణీకృత చలనం అవుతుంది. ఏకరీతి వృత్తాకార చలనంలో కణం యొక్క త్వరణాన్ని అభికేంద్ర త్వరణం అంటారు. దీన్ని గురించి మనం క్షుణ్ణంగా చదువుకుందాం.

3.3.2 అభికేంద్ర త్వరణం

m ద్రవ్యరాశి గల కణం v స్థిర వడితో వృత్తాకార మార్గంలో ప్రయాణిస్తుందనుకోండి. ఏదైన ఒక క్షణంలో కణం యొక్క స్థానం A మరియు దాని గమన దిశ AX దిశలో ఉంటుంది. కొంత స్వల్ప కాలం Δt తరవాత కణ స్థానం B కు మారుతుంది మరియు దాని వేగం B వద్ద గీసిన స్పర్శరేఖ BY దిశలో ఉంటుంది.

A మరియు B స్థానాల వద్ద పటం 3.16(a) లో చూపిన విధంగా కణం స్థానసదిశలు r మరియు $\mathbf{r}'$ వేగాలు $\mathbf{v}$ మరియు $\mathbf{v}'$ లు. వేగంలో మార్పు $\Delta\mathbf{v}$ ను సదిశల త్రిభుజ నియమం ప్రకారంగా పొందవచ్చు. కణం వృత్తాకార మార్గంలో ఉండటంవల్ల వేగం వృత్తం యొక్క స్పర్శ దిశలో ఉంటుంది. కాబట్టి వేగం $\mathbf{v}$ స్థాన సదిశ r కు లంబంగా ఉంటుంది మరియు $\Delta\mathbf{v}$, $\Delta\mathbf{r}$ కు లంబంగా ఉంటుంది. సగటు త్వరణం $\left(\mathbf{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta \mathbf{t}}\right)$ అనేది $\Delta\mathbf{v}$ దిశలో ఉండటంవల్ల ఇది (అనగా సగటు త్వరణం) కూడా $\Delta\mathbf{r}$ కు లంబదిశలో ఉంటుంది.

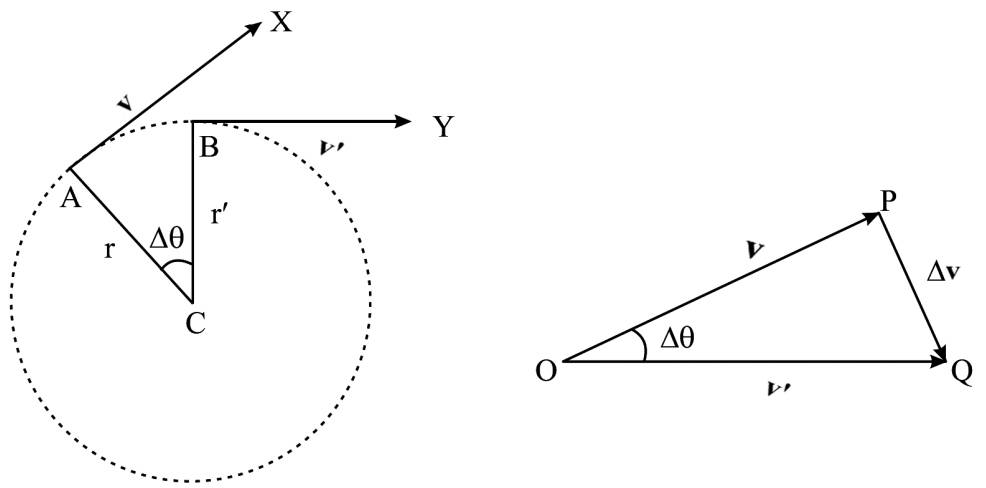
$\mathbf{r}$ మరియు $\mathbf{r}'$ స్థాన సదిశల మధ్య కోణం $\Delta\theta$ అనుకోండి. వేగం $\mathbf{v}$ మరియు $\mathbf{v}'$ లు స్థానసదిశలకు ఎప్పుడూ లంబంగా ఉండటంవల్ల వాటి మధ్య కోణం కూడా $\Delta\theta$ అవుతుంది.

వేగంలో మార్పు $\Delta\mathbf{v}$ ని కనుగొనుటకు O బిందువును వృత్తానికి వెలుపలికి తీసుకోండి. AX (లేదా **v**) కు సమాంతరంగా OP రేఖను గీయాలి మరియు BY (లేదా **v'**) కు సమాంతరంగా OQ రేఖను గీయాలి. వేగ పరిమాణంలో మార్పులేదు, అంటే $|\mathbf{v} = \mathbf{v}'|$, OP = OQ. ఇప్పుడు PQను కలపాలి. PQ ను కలపగా పటం 3.16(b) లో చూపిన త్రిభుజం OPQ లభిస్తుంది.

ఇప్పుడు త్రిభుజం OPQలో భుజాలు OP మరియు OQ అనేవి A, B బిందువుల వద్దగల వేగ సదిశలు **v** మరియు **v'** లను సూచించును. కాబట్టి వేగాల భేదాన్ని PQ భుజం దిశలోను పరిమాణంలోను సూచించును. ఇంకోలా చెప్పాలంటే కణం A బిందువు నుండి B బిందువుకు Δt కాలంలో చలించినప్పుడు వేగ దిశలోను పరిమాణంలోను కలిగే మార్పును PQ సూచించును.

త్వరణం = వేగంలోని మార్పురేటు

$$\mathbf{a} = \frac{PQ}{\Delta t} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$$



(a) (b)

పటం. 3.16 : ఏకరీతి వృత్తాకార చలనం

Δt స్వల్పం కాబట్టి AB కూడా స్వల్పం మరియు AB మార్గం దాదాపుగా సరళరేఖగా ఉంటుంది. అప్పుడు Δ ABC మరియు Δ POQ లు ఒకే అంతర్గత కోణాలు కలిగిన సమబాహు త్రిభుజాలు అవుతాయి. కాబట్టి ఆ రెండు త్రిభుజాలు సర్వసమానంగా ఉంటాయి.

కాబట్టి, $\frac{PQ}{AB} = \frac{OP}{CA}$

లేదా $\frac{\Delta v}{r \cdot \Delta\theta} = \frac{v}{r}$

v మరియు **v'** వేగ సదిశల పరిమాణాలు = v అనుకొనుము $(\because r.\Delta\theta = v.\Delta t)$

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{r}$$

కాని, $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ అనేది కణం యొక్క త్వరణం కాబట్టి,

అభికేంద్ర త్వరణం $a = \frac{v^2}{r}$ (3.26)

అభికేంద్ర త్వరణాన్ని కలిగించే ఫలిత బాహ్య బలాన్ని అభికేంద్ర బలం అంటారు. దీనిని కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2 \qquad (\because v = r\omega)$$

అభికేంద్ర బలం దిశ, అభికేంద్ర త్వరణ దిశలోనే ఉంటుంది. అనగా వ్యాసార్ధ దిశ వెంబడి వృత్తకేంద్రం వైపుకు దిశను కలిగి ఉంటుంది.

నిర్వచనం ప్రకారం, ఒక వస్తువు వృత్తాకార మార్గంలో తిరగాలంటే కనీసం కొంత అభికేంద్ర బలం వస్తువుపై పనిచేయాలని తెలుస్తుంది. ఒక వేళ ఆ బలం పనిచేయకపోతే వస్తువు సరళరేఖా మార్గంలో ప్రయాణిస్తుంది.

అభికేంద్ర బలం యొక్క కొన్ని అనువర్తనాలు

(i) **అపకేంద్ర యంత్రం (Centrifuge):** అపకేంద్ర యంత్రాన్ని ఉపయోగించి వేరువేరు సాంద్రతలు కలిగిన పదార్థాలను వేరుచేస్తారు. వేరు వేరు సాంద్రతలు కలిగిన మిశ్రమాన్ని అధిక వేగంతో భ్రమణం చేస్తున్న పాత్రలో ఉంచినప్పుడు, అధిక సాంద్రత కలిగిన పదార్థాలకు అభికేంద్ర బలం ఎక్కువగా ఉంటుంది కాబట్టి ఇవి పాత్రలో దూరపు భాగాలకు ప్రయాణంచేస్తాయి. దీనివల్ల ఇవి తక్కువ సాంద్రత కలిగిన కణాల నుండి వేరుచేయబడతాయి. ఈ యంత్రాలను సంవృద్ధ యురేనియం (enrichment uranium) పొందేందుకు ఉపయోగిస్తారు.

(ii) వాహన టైర్లకు అంటిన బురద, టైర్ల వేగం బాగా పెరిగినప్పుడు టైర్ల నుండి స్పర్శీయంగా బయటకు వస్తుంది.

(iii) **గ్రహాల గమనం:** భూమి మరియు ఇతర గ్రహాలు సూర్యుడి చుట్టూ తిరుగుతాయి. ఇలా తిరగడానికి కావలసిన అభికేంద్ర బలం, గ్రహాలకు మరియు సూర్యుడికి మధ్యగల గురుత్వాకర్షణ బలంవల్ల లభిస్తుంది.

(iv) ఒక తీగ చివరన కట్టిన బంతిని ఒక అక్షం గుండా భ్రమణం చేసేట్లు తిప్పినప్పుడు, దానికి అవసరమైన అభికేంద్ర బలం తీగ తన్యత ద్వారా పొందుతుంది.

ఉదాహరణ 3.3

2m పొడవు గల తీగ చివరన 2.0 kg ద్రవ్యరాశి గల రాయిని కట్టి దానిని క్షితిజ సమాంతర వృత్తంలో తిప్పినప్పుడు, దానిపై పనిచేసిన అభికేంద్ర బలాన్ని కనుక్కోండి.

సాధన :

రాయి ద్రవ్యరాశి, m = 2 kg

తీగ పొడవు = వృత్తం వ్యాసార్థం, r = 2 m

వేగం, v = 20 ms^{-1}

అభికేంద్రబలం, F $= \frac{mv^2}{r}$

$= \frac{2 \times 20 \times 20}{2}$

= 400 N

ఉదాహరణ 3.4

వ్యోమగాములు (Astronauts) తమ విమానాల్లో అంతరిక్షంలో ప్రయాణించేటప్పుడు అధిక త్వరణాన్ని అనుభవిస్తారు. దీన్ని వారు ఎదుర్కోటానికి శిక్షణ స్థలాల్లో వీరిని ఒక మూసిన పెట్టెలో (capsule) ఉంచుతారు. ఈ పెట్టెను 15 మీటర్ల వ్యాసార్ధంతో భ్రమణంచేయగల ఒక భుజానికి బిగిస్తారు. దీనిని క్షితిజ సమాంతర తలంలో వృత్తాకార గమనంలో తాడుకు కట్టబడి తిరుగుతున్న రాయివలెనె తిప్పుతారు. ఈ పెట్టె (capsule) కలిగిన భుజాన్ని నిమిషానికి 24 భ్రమణాలు చేసేట్లుగా భ్రమణం చేస్తున్నట్లయితే, వ్యోమగామి ఉన్న పెట్టె అభికేంద్ర త్వరణం విలువ ఎంత?

సాధన : వృత్తాకార మార్గం పరిధి $2\pi \times$ వ్యాసార్ధం $= 2\pi$ x 15 m. పెట్టె నిమిషానికి (60 సెకన్ల) 24 భ్రమణాలు చేస్తుంది.

కాబట్టి వృత్త పరిధిని దాటటానికి పట్టే కాలం $\frac{60}{24}$s.

కాబట్టి పెట్టె వేగం $v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \times 15 \times 24}{60} = 38\,ms^{-1}$

అభికేంద్ర త్వరణం పరిమాణం $a = \frac{v^2}{r} = \frac{(38\,ms^{-1})^2}{15\,m} = 96\,ms^{-2}$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 3.4

1. ఏకరీతి వృత్తాకార గమనంలో (a) వడి స్థిరంగా ఉంటుందా? (b) వేగం స్థిరంగా ఉంటుందా? (c) త్వరణ పరిమాణం స్థిరంగా ఉంటుందా? (d) త్వరణం స్థిరంగా ఉంటుందా? వివరించండి.
2. ఒక క్రీడాకారుడు వృత్తాకార మార్గంలో 9.0 ms^{-1} వడితో తిరుగుతున్నాడు, అభికేంద్ర త్వరణం 3 ms^{-2}. అయితే వృత్తాకార మార్గం వ్యాసార్ధం ఎంత?

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- భౌతికశాస్త్రంలో మనం రెండు రకాల రాశులు గురించి తెలుసుకుంటాం. అవే సదిశ, అదిశ రాశులు. అదిశ రాశికి కేవలం పరిమాణం మాత్రమే ఉంటుంది. సదిశకు పరిమాణం, దిశ కూడా ఉంటాయి.
- సమాంతర చతుర్భుజ నియమం అనుసరించి సదిశలు సంకలనం చేయబడతాయి.
- రెండు సదిశల అదిశా లబ్ధం ఒక అదిశరాశి.
- నిర్దేశిత నిరూపక అక్షాల వెంబడి సదిశలను అంశాలుగా విభజిచవచ్చు.
- రెండు సదిశల సదిశా లబ్ధం ఒక సదిశ. ఈ సదిశ రెండు సదిశలు గల తలానికి లంబంగా ఉంటుంది.
- ఒక దిశలో స్థిరమైన వేగాన్ని, దానికి లంబ దిశలో స్థిరమైన త్వరణాన్ని కలిగి ఉన్న గమనాన్ని ప్రక్షేపక గమనం అంటారు.

$$a_x = 0 \qquad a_y = -g$$

$$v_x = u_x = u\cos\theta \qquad v_y = u\sin\theta - gt$$

$$x = x_0 + (u\cos\theta)\,t \qquad y = y_0 + (u\sin\theta) - \frac{1}{2}gt^2$$

- ప్రక్షేపక పథం పరావలయం
- ప్రక్షేపకం గరిష్ఠ ఎత్తు, $h = \dfrac{u^2\sin^2\theta}{2g}$.
- ప్రక్షేపకం పలాయన కాలం, $T = \dfrac{2u\sin\theta}{g}$.
- ప్రక్షేపకం యొక్క వ్యాప్తి, $R = \dfrac{u^2\sin 2\theta}{g}$.
- కణం వడి స్థిరంగా ఉన్నప్పుడు వృత్తాకార చలనం ఏకరీతి వృత్తాకార చలనం అవుతుంది. r వ్యాసార్ధంగల వృత్తాకార మార్గంలో కణం v స్థిర వడితో ఏకరీతి వృత్తాకార చలనంలో ఉన్నప్పుడు కణం యొక్క అభికేంద్ర త్వరణం

$$a = \frac{v^2}{r}\hat{\mathbf{r}}$$

ఇక్కడ $\hat{\mathbf{r}}$ అనేది వృత్తం కేంద్రం నుండి కణంవైపుకు పనిచేసే ప్రమాణ సదిశ. కణం వేగం (v) కు కోణీయవేగం (ω) కు మధ్యగల సంబంధం $v = r\omega$.

- కణంపై పనిచేసే అభికేంద్ర బలం

$$F = ma = \frac{mv^2}{r}\hat{\mathbf{r}} = mr\omega^2$$

ముగింపు అభ్యాసం

1. ఏకాంక సదిశ మరియు స్థానసదిశలను నిర్వచింపుము.
2. సదిశల సమాంతర చతుర్భుజ నియమాన్ని పేర్కొనండి. ఫలిత సదిశ పరిమాణం, దిశలకు సమీకరణం రాబట్టండి.
3. సదిశ త్రిభుజ బల నియమాన్ని పేర్కొనండి.
4. సదిశల అదిశా లబ్ధం మరియు సదిశా లబ్ధాలను నిర్వచించండి.
5. $\mathbf{6\hat{i} + 12\hat{j} + 8\hat{k}}$ బలం, $\mathbf{2\hat{i} + 8\hat{j} + 2\hat{k}}$ స్థానభ్రంశం కలిగించిన, జరిగిన పనిని కనుగొనండి.
6. రెండు సదిశ రాశులు ఈ విధంగా ఇవ్వబడినవి $\mathbf{5\hat{i} - 3\hat{j}}$ మరియు $\mathbf{3\hat{i} - 5\hat{j}}$ వాటి సదిశ మరియు అదిశా లబ్ధాలను కనుగొనండి.
7. ప్రక్షేపకం అనగా ఏమిటి? ప్రక్షేపక పథం పరావలయం అని చూపండి.
8. ప్రక్షేపక పలాయన కాలంకు, గరిష్ఠ ఎత్తుకు సమాసాలను రాబట్టండి.
9. ప్రక్షేపకం పథంకు సమీకరణాన్ని ఉత్పాదించండి.
10. ఒక తీగ తెగిపోకుండా గరిష్ఠంగా 100 N ల బలం భరించగలదు. 1 kg ద్రవ్యరాశి గల వస్తువును 1 m పొడవు గల ఒక తీగ చివర కట్టి, రెండవ చివర చేతిలోకి తీసుకొని క్షితిజ సమాంతర వృత్త మార్గంలో తిప్పారు. అయితే తీగ తెగకుండా వస్తువును ఎంత గరిష్ఠ వేగంతో తిప్పగలం?
11. మోటారు సైకిల్‌పై ప్రయాణిస్తున్న వ్యక్తి 50 m వ్యాసార్ధంగల వక్రమార్గంలో 10 ms^{-1} వేగంతో ప్రయాణిస్తున్నాడు. వక్రమార్గం గుండా ప్రయాణిస్తున్నప్పుడు అభికేంద్ర త్వరణం ఎంత?
12. ఒక తుపాకి గుండును 300 ms^{-1} తొలి వేగంతో క్షితిజ సమాంతరంతో 30^0 కోణంచేసేట్లుగా పేల్చారు. తుపాకి నుండి వెలువడిన బుల్లెట్ ఎంత దూరంలో తాకుతుంది?
13. ఒక బాంబును 500 ms^{-1} వేగంతో క్షితిజంతో 30^0 కోణం చేసేట్లుగా గాలిలోకి పేల్చినారు. వేగం యొక్క క్షితిజ సమాంతర లంబాంశాలు, బాంబు చేరే గరిష్ఠ ఎత్తు మరియు దాని వ్యాప్తిని కనుక్కోండి.
14. 2000 m ఎత్తు నుండి విమానం క్షితిజ సమాంతరంగా 200 $km\,h^{-1}$ స్థిరవడితో ప్రయాణిస్తూ ఉన్నది. విమానం నుండి ఆహార పొట్లాన్ని జారవిడిస్తే అది భూమిని ఎంత కాలంలో చేరుతుంది? మరియు ఆహార పొట్లం క్షితిజ సమాంతర దిశలో ఎంత దూరం ప్రయాణిస్తుంది?

15. ఒక కారు 200 m వ్యాసార్ధం గల వక్ర మార్గం గుండా 60 kmh^{-1} వేగంతో ప్రయాణిస్తున్నది. కారులో 90 kg ద్రవ్యరాశి గల ప్రయాణీకుడిపై పనిచేసే అభికేంద్ర బలం ఎంత?

16. ఏకరీతి వృత్తాకార చలనంను నిర్వచించి, కొన్ని ఉదాహరణలు ఇవ్వండి.

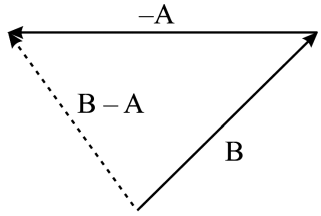
17. అభికేంద్ర త్వరణానికి సమీకరణాన్ని రాబట్టండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలకు సమాధానాలు

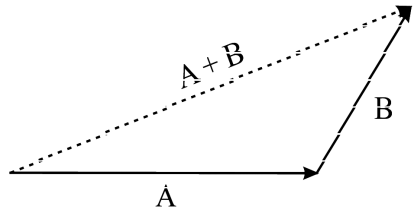
3.1

1. అనుకుందాం

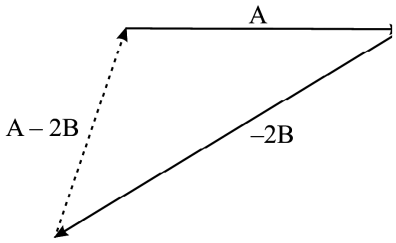
(a)



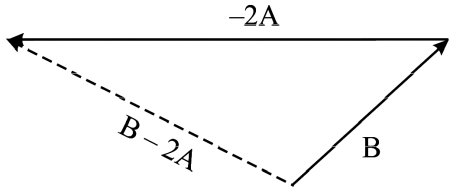
(b)



(c)

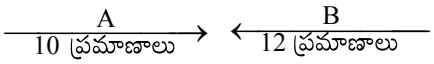


(d)

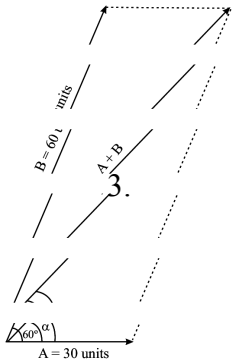


2.

$\mathbf{A} + \mathbf{B} = 10 + (-12) = 2$ units



$\mathbf{A} - \mathbf{B} = 10 - (-12) = 22$ units

3. 

$|A + B| = 79$ units

3.2

1. **A** మరియు **B** సమాంతరంగా ఉంటే వాటి మధ్య కోణం $\theta = 0$ అందువల్ల వాటి సదిశా లబ్ధం $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = AB \sin\theta = 0$ ఆ రెండూ ప్రతి సమాంతరంగా ఉంటే వాటి మధ్య కోణం $\theta = 180^0$ అందువల్ల $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = AB \sin\theta = 0$, ఎందువల్ల అంటే $\sin 180° = 0$.

2. సదిశ **B** పరిమాణం సగం చేసినప్పుడు, పూర్వంవలె అది అదే తలంలో ఉంది కాబట్టి, సదిశాలబ్ధం **C** = **A** × **B** దిశలో మార్పు ఉండదు. దాని పరిమాణంలో మార్పు ఉండవచ్చు.

3. సదిశలు **A** మరియు **B** లు అదే తలంలో భ్రమణం చెందుతున్నాయి కాబట్టి **C** = **A** × **B** దిశలో మార్పు ఉండదు.

4. ప్రారంభంలో సదిశలు **A** మరియు **B** ల మధ్య కోణం సున్నా నుండి 180^0 మధ్యలో ఉందనుకుందాం. అప్పుడు **C** = **A** × **B** దిశ ఈ తలానికి లంబంగా ఊర్ధ్వ దిశలో ఉంటుంది. దీన్ని కొంత కోణం భ్రమణం చెందించడంవల్ల, వాటి మధ్య కోణం 180°, కన్నా అధికమవుతుంది. అప్పుడు **C** తలానికి లంబదిశలో ఉన్న అధోముఖంగా ఉండే దిశలో ఉంటుంది.

5. సదిశ **A**, x-అంక్షం వెంబడి సదిశ **B**, y-అక్షం వెంబడి ఉంటే అప్పుడు ఆ రెండు సదిశలు xy తలంలో ఉంటాయి. వీటి సదిశా లబ్ధం **C** = **A** × **B** దిశ z-దిశలో ఉంటుంది. సదిశ **A**, y-అక్షం వెంబడి, సదిశ **B**, x-అక్షం వెంబడి ఉంటే అప్పుడు **C** దిశ ఋణ z-అక్షం వెండి ఉంటుంది.

6. (a) **A.B** = | **A** | | **B** | cos θ = 0 θ = 90° అయినప్పుడు

   (b) **A** × **B** = | **A** | | **B** | sin θ = | **A** | | **B** |, ఎందుకంటే θ = 90° అయినప్పుడు sin θ = 1 అవుతుంది.

3.3

1. (a), (b), (d)

2. గరిష్ఠ వ్యాప్తి : 9.23 m, దూరంలో తేడా : 9.23 m – 8.90 m = 0.33 m

3. వస్తువు పథంలో గరిష్ఠ ఎత్తు వద్ద దాని వేగం శూన్యం అవుతుంది.

3.4

1. (a) అవును (b) కాదు (c) అవును (d) కాదు

   వేగం మరియు త్వరణం స్థిరంగా ఉండవు ఎందుకంటే వాటి దిశలు క్రమంగా మారుతూ ఉంటాయి.

2. 27 m

ముగింపు అభ్యాసం

5. 124

6. అదిశా లబ్ధం : 30, సదిశా లబ్ధం: పరిమాణం 16 ఋణ z-దిశలో

10. $10\ ms^{-1}$

11. $2\ ms^{-2}$

12. 900×1.732 m

13. $u_x = 250 \times 1.732\ ms^{-1}$ $v_y = 250\ ms^{-1}$ గరిష్ఠ ఎత్తు : 500 m వ్యాప్తి : 3125 m

14. t = 20 s, 999.9 m

15. 125 N

4

గమన నియమాలు

పరిచయం

వస్తువు గమనాన్ని దానికి సంబంధించిన దూరం, స్థానభ్రంశం, వడి, వేగం మరియు త్వరణాల పరంగా వర్ణించడాన్ని మీరు ఇంతకు ముందు పాఠంలో నేర్చుకొన్నారు. కాని ముఖ్యమైన ప్రశ్న ఏమిటంటే; ఆగిన బంతిని ఏది కదిలిస్తుంది? దీనికి మీరిచ్చే సులువైన జవాబు బంతిని బ్యాట్‌తో కొట్టమని అదేవిధంగా మరో ప్రశ్న. గాలిలో వేగంగా వెళ్లే బంతిని క్యాచ్ పట్టేటప్పుడు ఏది దాన్ని ఆపుతుంది? దీనికి మీరు, బంతిని బిగువుగా పట్టుకోవాలంటారు. వస్తువు నిశ్చల లేదా చలన స్థితిలో మార్పుకై దాన్ని లాగడమో, నెట్టడమో చేయాలని మన పూర్వ అనుభవం తెలిజేస్తుంది. అదేవిధంగా, ఫుట్‌బాల్‌ని గోల్‌పోస్ట్‌లోని పంపాలంటే దానిపై బలంగా తన్నాలి. క్రికెట్ బంతిని బౌండరీ వద్దకు తరలించి నాలుగు లేదా ఆరు పరుగులను పొందాలంటే, దాన్ని బ్యాట్‌తో గట్టిగా కొట్టా.లి పై అన్ని కృత్యాల్లో కండర బలం ప్రమేయం ఉన్నదని మరియు దాని ఫలితమే ఇవి జరుగుతున్నాయని తెలుస్తోంది.

అయినప్పటికీ, ఎనో సందర్భాల్లో క్రియ లేదా ఒక చర్యకు కారణాలు నేరుగా కనిపించవు. ఉదాహరణకు (1) వర్షం నీటి బిందువులు నేల రాలుటకు కారణం (2) సూర్యుడి చుట్టూ భూమి తిరుగుటకు కారణం.

మీరు ఈ పాఠంలో ప్రాథమిక గమన నియమాలు మరియు గమనానికి మూలమైన బలంల గురించి నేర్చుకొంటారు. బలం మరియు గమనాలు రెండూ, ఒకదానితో మరొకటి సన్నిహితంగా ముడిపడి ఉంటాయని న్యూటన్ చూపించాడు. గమన నియమాలు అనేవి ప్రాథమికమైనవి మరియు ఇవి నిత్యజీవితంలో నిశ్చల, చలన స్థితులతో ముడిపడిన ఎన్నో దృగ్విషయాలను అర్థం చేసుకోవడానికి ఉపయోగపడతాయి.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరువాత మీరు కింది వాటిని తెలుసుకొంటారు.

- వస్తువు చలనంలో బలం యొక్క ముఖ్య పాత్రను వివరించడం.
- న్యూటన్ గమన నియమాలను నిర్వచించి తగిన ఉదాహరణలు ఇవ్వడం.
- జడత్వం ప్రాముఖ్యతను వివరించడం.
- మన నిత్యకృత్యాల్లో ఘర్షణ ప్రాముఖ్యతను వివరించుట.
- ఘర్షణ గుణకాన్ని నిర్వచించి, ఒక రకమైన ఘర్షణ గుణకాన్ని మరొక రకంతో విభేధించే స్థాయిలో ఉండుట.

- ఘర్షణను తగ్గించే వివిధ పద్ధతులను సూచించుట.
- ఇచ్చిన స్థితిని విశ్లేషించి స్వేచ్ఛా వస్తు పటాన్ని గీసి న్యూటన్ గమన నియమాలను అనువర్తించుట.

4.1 బలం భావన, జడత్వం

వస్తువులను ఏ స్థానం వద్ద ఉంచితే అవి అదే స్థానం వద్ద కదలకుండా ఉంటాయని మనకు తెలుసు. వాటి నిశ్చలస్థితిని మార్చుటకు బాహ్య బలం ప్రయోగించినంత వరకు వాటంతట అవి కదలలేవు. అదే విధంగా సమవేగంతో వెళుతున్న వస్తువు యొక్క గమనాన్ని మార్చాలంటే బలాన్ని ప్రయోగించవలసిన అవసరం ఉంటుంది. ఏ ధర్మం వల్లనయితే, నిశ్చల స్థితిలో ఉన్న వస్తువు, తన నిశ్చల స్థితిలోని మార్పును, సరళరేఖా మార్గంలో ఏకరీతి చలనంలో ఉన్న వస్తువు తన స్థితి మార్పును వ్యతిరేకిస్తుందో, ఆధర్మాన్ని జడత్వం (inertia) అంటారు. జడత్వం కేవలం వస్తువు ద్రవ్యరాశిపై మాత్రమే ఆధారపడతుంది. వస్తువు ద్రవ్యరాశి దాని జడత్వానికి కొలమానం.

జడత్వం అనేది ఒక అద్భుతమైన ధర్మం, ఒకవేళ జడత్వం అనే ధర్మం లేకపోతే మీ ఇంట్లో నీ పుస్తకాలు, నీ తమ్ముడి లేదా చెల్లెలి పుస్తకాలతో కలిసిపోతాయి. మీ ఇంట్లోని వస్తువులన్నీ వాటంతట అవే కదులుతూ మీ స్నేహితుని ఇంట్లోకి వెళ్లి గందరగోళాన్ని సృష్టిస్తాయి. ఎటువంటి ప్రయత్నాలు లేకపోయినప్పటికి ప్రపంచంలో అన్ని వస్తువులు వాటంతట అవి కదలటమో, గమనాన్ని ఆపుకొనటమో చేస్తాయి. చాలా ఆశ్చర్యంగా ఉంది కదూ!

వస్తువు యొక్క గమనం లేదా నిశ్చలస్థితి అనేది ఒక సాపేక్ష భావన అని మనకు తెలుసు. ఒక వస్తువు ఒక పరిశీలకునికి నిశ్చలంగా ఉన్నట్లుగా అగుపించినా అదే వస్తువు మరొక పరిశీలకునికి గమనంలో ఉన్నట్లుగా అగుపించునని ఇంతకు ముందు పాఠంలో నేర్చుకున్నాం. ఈ పరిశీలనల నుండి తెలిసే విషయం ఏమిటంటే వస్తువు పై నికర బలాన్ని ప్రయోగించినప్పుడు మాత్రమే దాని యొక్క వేగంలో మార్పు తీసుకొని రాగలం.

బలం అనే పదం మీకు తెలిసినదే. నిత్య జీవితంలో మనం ఎన్నో సందర్భాల్లో బలం అనే పదం వాడతాం. లాగునపుడు, తోయునపుడు, తన్నేప్పుడు, కొట్టేటప్పుడు బలాన్ని ప్రయోగిస్తాం. బలం కనపించనప్పటికీ దాని ఫలితాన్ని చూడగలం లేదా అనుభవించగలం.

(a) బలం, వస్తువు ఆకారాన్ని, పరిమాణాన్ని మార్చగలదు. బెలూన్‌పై కలగచేసే బల పరిమాణం ఆధారంగా దాని ఆకారం మారుతుంది.

(b) బలం, వస్తువు గమనాన్ని ప్రభావితం చేయగలదు. బల ప్రయోగంవల్ల వస్తువును గమనంలో ఉంచవచ్చు లేదా గమనంలో ఉన్న వస్తువును నిశ్చలస్థితిలోకి తీసుకురావచ్చు. బలం వస్తువు యొక్క గమన దిశను లేదా వేగ పరిమాణాన్ని కూడా మారుస్తుంది.

(c) బలం వస్తువును ఒక అక్షం ఆధారంగా భ్రమణం చేయించగలదు. బలం వస్తువును అక్షం అధారంగా భ్రమణం చేయించగలదు. ఆధార బిందువు లేదా భ్రమణ అక్షం నుంచి కొంత దూరంలో పనిచేసే బలం వస్తువుకు భ్రమణ చలనాన్ని ఇస్తుంది. దీన్ని మీరు ఏడవ పాఠంలో నేర్చుకొంటారు.

4.1.1 బలం మరియు గమనం

బలం ఒక సదిశరాశి, ఈ కారణం చేత అనేక బలాలు వస్తువుపై ఒకేసారి పనిచేస్తునప్పుడు నికర తుల్య బలాన్ని ముందు పాఠంలో చెప్పినట్లుగా సదిశా సంకలన నియమం ద్వారా కనుగొంటారు.

వస్తువు యొక్క గమనాన్ని స్థానభ్రంశం, వేగాల లక్షణాల ద్వారా తెలుసుకోవచ్చు. వస్తువు యొక్క వేగం అవిచ్ఛిన్నంగా పెరగడం లేదా తగ్గడం లాంటి అనేక సందర్భాలను మనం చూస్తాం. ఉదాహరణకు స్వేచ్ఛగా కిందికి పడుతున్న వస్తువు విషయంలో దాని వేగం, భూమిని తాకునంత వరకు క్రమంగా పెరుగుతుంది. అదే విధంగా క్షితిజ తలంపై దొర్లుతున్న వస్తువు వేగం క్రమంగా తగ్గుతూ చివరకు శూన్యం అవుతుంది (ఎందుకు?).

అనేక అనుభవాల నుంచి, శూన్యం కాని నికర బలం వస్తువు స్థితిని మార్చుటకు అవసరం అని మనకు తెలుసు. వస్తువుపై పనిచేసే అనేక బలాల ఫలితాన్ని నికర బలం అంటారు. వస్తువు (1) చలనంలో ఉంటే నికరబలం పరిమాణం, దిశ ఆధారంగా దాని వేగం మారుతుంది. (2) నిశ్చల స్థితిలో ఉంటే బలం పరిమాణం దిశ ఆధారంగా చలన స్థితిలోకి మారుతుంది.

చలన లేదా నిశ్చల స్థితిని మార్చుటకు బలం పరిమాణం, దిశ రెండూ సమానంగా బాధ్యత వహిస్తాయి. నికరబలం దిశ వస్తువు చలన దిశకు వ్యతిరేకంగా ఉంటే, వస్తువు వేగం (వడి) తగ్గిపోతుంది. అలాకాకుండా, వస్తువు వేగానికి లంబదిశలో బలం పనిచేస్తే, వస్తువు వేగం పరిమాణం (వడి) స్థిరంగా ఉంటుంది. (4.3 పాఠ్యాంశాన్ని చూడండి. ఇలాంటి బలం కేవలం వస్తువు వేగం దిశను మాత్రమే మార్చుతుంది. కాబట్టి మనం, వస్తువుపై నికర బలం పనిచేస్తున్నంత వరకే వస్తువు వేగం మారుతూ ఉంటుందని నిర్ధారణకు రావచ్చు.

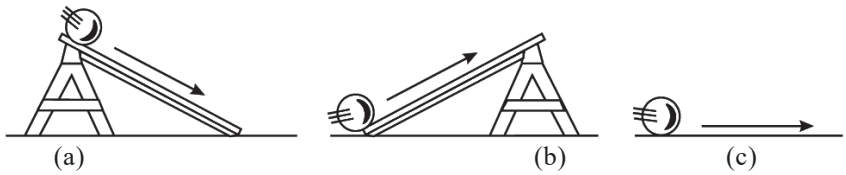
4.1.2 మొదటి గమన నియమం

మనం గులక రాయిని మృదువైన తలంపై దొర్లించినప్పుడు, అది కొంత కాలం తరవాత ఆగిపోతుంది. దాని వేగం క్రమ క్రమంగా తగ్గుతూ చివరకు శూన్యం అవుతుంది. అయినప్పటికీ దానిని అదే వేగంతో కదిలేలా చేయాలంటే ఒక బలాన్ని దానిపై స్థిరంగా ప్రయోగిస్తూ ఉండాలి.

అదే విధంగా ఒక ట్రాలీని స్థిర వేగంతో కదిలించాలంటే దాన్ని స్థిర బలంతో అవిచ్ఛిన్నంగా తోయాలి లేదా లాగాలి. పై సందర్భాల్లో గులక రాయిపై లేదా ట్రాలీపై ఏదైనా నికర బలం పనిచేస్తూ ఉన్నదా?

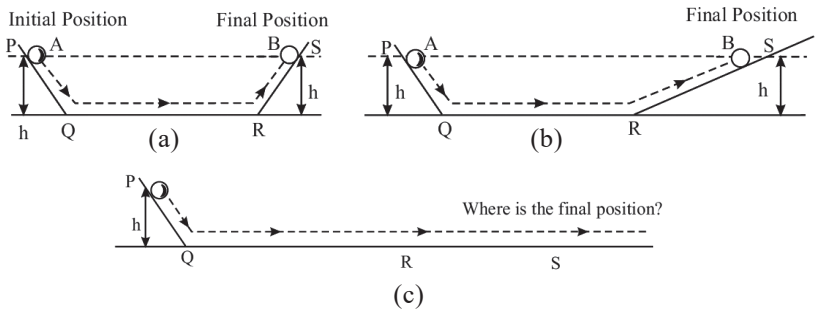
గమనం మరియు జడత్వం

బాహ్య బలం పనిచేయనప్పుడు నిశ్చలస్థితిలో ఉన్న వస్తువు నిశ్చలస్థితిలోనూ రుజుమార్గంలో సమవేగంతో వెళుతున్న వస్తువు అదే స్థితిలోను వెళుతుందని నిరూపించుటకు గెలీలియో శాస్త్రజ్ఞుడు ప్రయోగాలు చేసాడు. వాలు తలంపై జారుతున్న వస్తువు త్వరణం చెందుతుందని (పటం 4.1 [a]) మరియు వాలుతలంపైకి వెళ్ళునప్పుడు అప త్వరణానికి గురి అవుతుందని (పటం 4.1 [b]) గమనించాడు. ఒక వేళ తలం వాలుగా కింది దిశలోకాని పై దిశలో కాని లేనట్లయితే (అనగా తలం క్షితిజ సమాంతరంగా ఉన్నట్లయితే) వస్తువు త్వరణం చెందదని లేదా అపత్వరణం చెందదని నిర్ధారించాడు. అనగా క్షితిజ సమాంతర తలంపై వస్తువు సమవేగం/వడితో ప్రయాణిస్తుంది (ఒక వేళ బాహ్య బలం లేకపోతే).



పటం 4.1 వాలు మరియు క్షితిజ సమాంతర తలాలపై వస్తువు గమనం

మరొక ప్రయోగంలో పటం 4.2 లో చూపిన విధంగా ఎదురెదురుగా ఉన్న రెండు వాలు తలాలను తీసుకున్నాడు. పై మూడు సందర్భాలలో PQ వాలు సమానం. కాని RS తలం వాలు పటం 4.2(a) లో, 4.2(b), మరియు 4.2(c) లలో కంటే ఎక్కువ. సీసపు గుండు గమనానికి PQRS తలం నునుపుగా ఉంటుంది. PQ తలం నుండి సీసపు గుండును దొర్లించినప్పుడు అది RS తలంపైకి దాదాపుగా PQ తలమంత ఎత్తుకు వెళుతుంది. RS వాలు తలం యొక్క వాలును తగ్గిస్తున్నప్పుడు సీసపు గుండు అంతే ఎత్తు వెళ్ళుటకు వాలుతలంపై ఎక్కువ దూరం ప్రయాణిస్తుంది (పటం 4.2b). RS తలం ఎప్పుడయితే క్షితిజ సమాంతరం అవుతుందో అప్పుడు సీసపుగుండు PQ తలమంత ఎత్తుకు వెళ్ళడానికి క్షితిజ సమాంతరంగా ప్రయాణిస్తూ ఉంటుంది. అనగా క్షితిజసమాంతర తలానికి గుండుకు మధ్య ఘర్షణ లేకపోతే సీసపుగుండు ప్రయాణిస్తూనే ఉంటుంది.



పటం 4.2 ఎదురెదురు వాలు తలాల మధ్య బంతి గమనం

ఐజాక్ న్యూటన్ (Sir Isaac Newton) (1642-1727)

ఇంగ్లాండ్‌లో వోల్‌స్తోర్ప్ (Wollsthorpe) సిటిలో 1642 సంవత్సరంలో న్యూటన్ మహాశయుడు జన్మించాడు. ట్రినిటీ కాలేజిలో, కేంబ్రిడ్జి విశ్వ విద్యాలయంలో చదివి ప్రముఖ శాస్త్రవేత్తగా కీర్తిగడించారు. ఆపిల్ చెట్టు నుండి పడిన ఆపిల్ పండు గమనాన్ని పరిశీలించడం ద్వారా ప్రాథమిక గురుత్వాకర్షణ నియమాన్ని ప్రతిపాదించాడు. గురుత్వాకర్షణ నియమం మరియు గమన నియమాలను వివరించాడు. న్యూటన్ అత్యంత మేధాశీలి కావడంవల్ల సైన్సులోనే కాక గణితశాస్త్రం అభివృద్ధికి తోడ్పడ్డాడు. సంప్రదాయ స్వభావంగల ఇతని పరిశోధనలు ఆధునిక శాస్త్ర అభివృద్ధికి మూలమైంది. ఈయన లాటిన్ భాషలో 'ప్రిన్సిపియా' (Principia) అనే గ్రంథం ఇంగ్లీషు భాషలో దృశాశాస్త్రం (optics) అనే గ్రంథం రచించాడు.

ఇక్కడ ట్రాలీ స్థిర వేగంతో గమనంలో ఉండటానికి ఎందుకు బలాన్ని ప్రయోగించాలి అనే ప్రశ్న ఉదయించవచ్చు. కాని ట్రాలీ గమనానికి వ్యతిరేక దిశలో పనిచేసే ఘర్షణ బలాన్ని ఎదిరించడానికి పురోదిశలో బలాన్ని ప్రయోగించాల్సి వస్తుందని మనకు తెలుసు. అంటే మనం ట్రాలీని అవిచ్ఛిన్నంగా నెట్టడం వల్ల కాని, లాగడంవల్ల కాని దానిపై గల ఘర్షణ బలాన్ని అధిగమిస్తాం.

గెలీలియో శాస్త్రజ్ఞుడు నిర్ధారించిన విషయాలను ఐజాక్ న్యూటన్ శాస్త్రజ్ఞుడు సాధారణీకరించి గమన నియమ రూపంలో తెలిపినాడు. అదే న్యూటన్ మొదటి గమన నియమం. ఈ నియమం ప్రకారం బాహ్య బలం పనిచేయనంత

వరకు నిశ్చల స్థితిలో ఉన్న వస్తువు నిశ్చల స్థితిలోను, సరళరేఖ వెంబడి ఏకరీతిగమనంలో ఉన్న వస్తువు అదే స్థితిలో కొనసాగుతుంది.

పరిశీలకుడి దృష్ట్యా వస్తువు యొక్క నిశ్చల స్థితి కాని గమనం కాని వస్తువు యొక్క సాపేక్ష స్థానంపై ఆధారపడి ఉంటుందని మనకు తెలుసు. కారులో ప్రయాణిస్తున్న వ్యక్తి, అదే కారులో ప్రయాణిస్తున్న మరొక వ్యక్తి దృష్ట్యా నిశ్చలస్థితిలో ఉంటాడు. కాని అదే వ్యక్తి రోడ్డు మీద ఉన్న వ్యక్తి దృష్ట్యా గమనంలో ఉంటాడు. ఈ కారణంవల్ల మనం ఎంచుకునే నిర్దేశక చట్రం దృష్ట్యా మనం కొలిచే కొలతలు స్థానభ్రంశం, వేగం, త్వరణం మరియు బలాలు మారుతూ ఉంటాయి. దృఢ వ్యవస్థకు అనుసంధానమైన నిరూపక వ్యవస్థ (X, Y & Z అక్షాల) ను 'నిర్దేశక చట్రం' అంటారు.

బాహ్య బలాలు పనిచేయనప్పుడు నిర్దేశక చట్రం దృష్ట్యా వస్తువు యొక్క వేగం స్థిరంగా ఉన్నట్లయితే అటువంటి నిర్దేశక చట్రాన్ని జడత్వ నిర్దేశక చట్రం అంటారు. వస్తువు తన స్థితిలో మార్పు చెందకుండా (నిశ్చల స్థితి లేదా ఏకరీతి రేఖీయ చలనం) ఉండే జడత్వ ధర్మం నుండి ఈ పేరు వచ్చింది. భూమికి బిగించబడిన నిర్దేశక చట్రాలన్నీ (ప్రయోజనాల రీత్యా) జడత్వం నిర్దేశక చట్రాలుగా తీసుకోవచ్చు.

ఇప్పుడు కొంత విరామం తీసుకుని కింది ప్రశ్నలకు సమాధానాలు రాయండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 4.1

1. నికర బాహ్యబలం వస్తువుపై పనిచేసే దిశలోనే వస్తువు ఎప్పుడూ ప్రయాణిస్తున్నదని చెప్పడం నిజమేనా?
2. వస్తువు యొక్క జడత్వాన్ని కొలిచే భౌతిక రాశి ఏమిటి?
3. బలం వస్తువు యొక్క వేగ పరిమాణాన్ని మార్చకుండా కేవలం వేగదిశను మార్చగలదా?
4. వస్తువుపై బలాన్ని ప్రయోగించినప్పుడు, ఆ వస్తువులో బలంవల్ల కలిగే వేరు వేరు మార్పులను తెలియచేయండి.
5. నిశ్చల లేదా చలనస్థితులు పరమమైనవా, సాపేక్షమైనవా?
6. నిర్దేశక చట్రం అంటే ఏమిటి?

4.2 ద్రవ్యవేగ భావన

- భారత్ గొప్ప క్రికెట్ ఆటగాడు సచిన్ తెండూల్కర్, బరువైన బ్యాట్‌ని ఉపయోగించడం మీరు గమనించే ఉంటారు. అలాగే, అధిక వేగంతో వెళుతున్న క్రికెట్ బంతి ద్రవ్యరాశి తక్కువ అయినప్పటికీ దానిని ఆపడం చాలా కష్టం అని మీరు గమనించే ఉంటారు. అదే విధంగా తక్కువ వేగంతో వెళుతున్న ట్రక్కును కూడా ఆపడం చాలా కష్టం. దీనికి గల కారణం ట్రక్కు ద్రవ్యరాశి అధికంగా ఉండడమే. ఈ ఉదాహరణల నుండి చలనంలో ఉన్న వస్తువుపై ఫలిత బలాన్ని అధ్యయనం చేయడానికి వస్తువు ద్రవ్యరాశి మరియు వేగం ముఖ్యమైనవి అని తెలుస్తుంది. వస్తువు ద్రవ్యరాశి మరియు దాని వేగాల మధ్య లబ్ధాన్ని ద్రవ్యవేగం అని అంటారు.
- గణితాత్మకంగా దీన్ని కింది విధంగా రాయవచ్చు ($\vec{p}$).

- The product of mass (m) and velocity (v) of a body is defined as (linear) momentum.

$$\overline{p} = m\overline{v}$$

- ద్రవ్యవేగం (రేఖీయ) యొక్క SI ప్రమాణాలు kg m/s^{-1} లేదా Ns. ద్రవ్యవేగం ఒక సదిశరాశి. ద్రవ్యవేగం యొక్క దిశ అనేది వస్తువు వేగ దిశలోనే ఉంటుంది. కాబట్టి వస్తువు వేగ పరిమాణం లేదా దిశ లేదా రెండూ మారినప్పుడు ద్రవ్యవేగం కూడా మారుతుంది. కింది ఉదాహరణలు పై విషయాలను తెలియచేస్తాయి.

ఉదాహరణ 4.1

అరుణ్ మరియు మనోజ్‌ల ద్రవ్యరాశులు వరసగా 60kg మరియు 40kg. వీరు వరసగా 1.0 ms^{-1} మరియు 1.5 m/s^{-1} వేగాలతో పరస్పరం సమీపిస్తున్న, వీరి ద్రవ్యవేగాలు కనుక్కోండి.

సాధన:

అరుణ్ ద్రవ్యవేగం P = ద్రవ్యరాశి × వేగం

$$= 60\ kg \times 1.0\ ms^{-1}$$

$$= 60\ kg\, ms^{-1}$$

మనోజ్ ద్రవ్యవేగం $P = 40\,kg \times \left(-1.5\,ms^{-1}\right)$

$$= -60\,kg\, ms^{-1}$$

అరుణ్, మనోజ్‌ల ద్రవ్యవేగాలు పరిమాణాత్మకంగా సమానం కాని దిశల్లో వ్యతిరేకం.

ఉదాహరణ 4.2

2 Kg ద్రవ్యరాశిగల వస్తువు t = 0 s నుండి స్వేచ్ఛగా పడుతున్నది. అయితే స్వేచ్ఛగా పడుతున్నప్పుడు (a) t = 0 (b) t = 1 s మరియు (c) t = 2 s కాలాల వద్ద దాని ద్రవ్యవేగాలు కనుక్కోండి.

సాధన:

(a) t = 0 s కాలం వద్ద వస్తువు స్వేచ్ఛగా పడుతున్నది కాబట్టి వేగం శూన్యం.

కాబట్టి తొలి ద్రవ్యవేగం శూన్యం.

(b) t = 1s, కాలం వద్ద, వస్తువు వేగం 9.8 ms^{-1} ($v = v_0 + at$ సమీకరణం నుండి) కింది దిశలో ఉంటుంది.

$$v_0 = 0 \quad ; \quad a = g = 9.8\ m/s^2$$

$$\therefore \quad v = 0 + 9.8 \times 1 = 9.8\, m/s$$

కాబట్టి వస్తువు ద్రవ్యవేగం t = 1s is p = mv

$$p_1 = 2\,kg \times 9.8\, m/s = 19.6\ kg\, ms^{-1}$$

(c) t = 2s కాలం వద్ద, వస్తువు వేగం 19.6 ms^{-1} కింది దిశలో ఉంటుంది.

కాబట్టి వస్తువు ద్రవ్యవేగం

$$p_2 = (2\ kg)\ (19.6\ ms^{-1})$$
$$= 39.2\ kg\ ms^{-1}$$ కింది దిశలో.

పై ఫలితాల నుండి స్వేచ్ఛగా కిందకు పడే వస్తువుకు ద్రవ్యవేగం ఒకే దిశలో క్రమంగా పెరుగుతున్నట్లుగా మనం గమనించగలం. అయితే ఇప్పుడు స్వేచ్ఛగా కిందకు పడే వస్తువు యొక్క ద్రవ్యవేగ పరిమాణం ఎందుకు మారుతుందో ఊహించండి?

ఉదాహరణ 4.3

0.2 kg ద్రవ్యరాశితో ఉండే రబ్బరు బంతి గోడను 10 ms^{-1} వేగంతో తాకి తిరిగి అదే వడితో వెనకకు తొలి మార్గంలో ప్రయాణించింది. అయితే బంతి ద్రవ్యవేగంలో మార్పును కనుక్కోండి.

సాధన:

ఇక్కడ ద్రవ్యవేగం యొక్క పరిమాణం గోడను తాకక ముందు, తాకిన తరవాత సమానం కాని దాని దిశ గోడను తాకిన తరవాత వ్యతిరేకంగా ఉంటుంది.

కాబట్టి ద్రవ్యవేగం యొక్క పరిమాణం = $(0.2\ kg) \times (10\ ms^{-1}) = 2\ kg\ ms^{-1}$.

తొలి ద్రవ్యవేగ సదిశను ఒక వేళ ధన X దిశలో తీసుకొంటే, తుది ద్రవ్యవేగం రుణ X–అక్షం దిశలో ఉంటుంది. కాబట్టి

$$p_i = 2\ kgms^{-1},\ \ p_f = -2\ kg\ ms^{-1}.$$

కాబట్టి ద్రవ్యవేగంలో మార్పు $p_f - p_i = (-2\ kg\ ms^{-1}) - (2\ kg\ ms^{-1}) = -4\ kg\ ms^{-1}$.

ఇక్కడ రుణ గుర్తు ద్రవ్యవేగంలో మార్పు యొక్క దిశ, రుణ X–అక్షం దిశలో ఉంటుందని తెలియచేస్తుంది. అయితే ద్రవ్యవేగంలో మార్పుకు కారణం ఏమిటి?

నిజానికి అభిఘాతానికి ముందున్న వేగం కన్నా తక్కువ వేగంతో బంతి వెనుకకు మరలుతుంది. ఈ సందర్భంలో కూడా ద్రవ్యవేగ పరిమాణం మారుతుంది.

4.3 రెండవ గమన నియం

స్థిర వేగంతో వెళుతున్న వస్తువు ద్రవ్యవేగం స్థిరం అని మీకు తెలుసు. అటువంటి వస్తువుపై నికర బాహ్య బలం పనిచేయదని న్యూటన్ మొదటి గమన నియమం తెలియచేస్తుంది.

ఉదాహరణ 4.2 లో గురుత్వ ప్రభావం వల్ల స్వేచ్ఛగా కిందకు పడే వస్తువు యొక్క ద్రవ్యవేగం క్రమంగా కాలంతోపాటు పెరుగుతూ ఉంటుందని మనం చూసాం. ఈ సందర్భంలో వస్తువు గురుత్వాకర్షణ బలంవల్ల కిందకు పడుతుంది కాబట్టి, వస్తువు యొక్క ద్రవ్యవేగంలో మార్పుకు, దానిపై కలగజేసే నికర బలానికి మరియు బలం పనిచేసే కాలానికి మధ్య సంబంధం ఉందని తెలుస్తుంది. న్యూటన్ రెండవ గమన నియమం ఈ మూడు అంశాల మధ్యగల

సంబంధాన్ని తెలియచేస్తుంది. ఈ నియమం ప్రకారం వస్తువు యొక్క ద్రవ్యవేగంలో మార్పురేటు ఆ వస్తువుపై పనిచేసే నికర బలానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. వస్తువు ద్రవ్య వేగంలోని మార్పు వస్తువుపై పనిచేసే నికర బల దిశలో ఉంటుంది.

అనగా ఒక వేళ వస్తువుపై $\overline{F}$ బాహ్యబల ప్రయోగంవల్ల కాలంలో వస్తువు ద్రవ్యవేగంలో మార్పు $\Delta\overline{p}$ అయితే,

$$\overline{F} \propto \frac{\Delta \overline{p}}{\Delta t} \left(\text{if } \Delta t \to 0, \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{d\overline{p}}{dt} \right) \tag{4.1}$$

$$\overline{F} = k\frac{\Delta \overline{p}}{\Delta t}$$ ఇక్కడ k అనేది అనుపాత స్థిరాంకం.

ద్రవ్యవేగాన్ని, వేగం మరియు ద్రవ్యరాశి లబ్ధంగా రాసిన, ఈ ఫలితాన్ని క్రింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$\overline{F} = k\,m\left(\frac{\Delta \overline{v}}{\Delta t}\right)$$

$$\overline{F} = k\,m\,\vec{a}$$ ఇక్కడ $$\left(\frac{\Delta \overline{v}}{\Delta t} = \overline{a}\right) \tag{4.2}$$

k విలువ m మరియు $\overline{a}$ ప్రమాణాలపై ఆధారపడుతుంది. m మరియు a ప్రమాణాలను $m = 1$ యూనిట్‌గా, $a = 1$ యూనిట్ పరిమాణం అయ్యేట్లుగా తీసుకుంటె, $\overline{F}$ పరిమాణం కూడా 1 యూనిట్ అవుతుంది. అప్పుడు

ఇప్పుడు సమీకరణం 4.1 నుండి

$$\overline{F} = m\overline{a}. \tag{4.3}$$

SI ప్రమాణంలో m = 1 kg, a = 1 m/s^2. అయిన బాహ్య బలం యొక్క పరిమాణం

$$F = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ ms}^{-2} = 1 \text{ kg ms}^{-2}$$

= 1 బల ప్రమాణం (unit of force)

ఇక్కడ 1 బల ప్రమాణంను (1 unit of force = 1 kg ms^{-2}ను) న్యూటన్ (N) అంటారు.

న్యూటన్ రెండవ గమన నియమం బలం యొక్క ప్రమాణాన్ని తెలియచేయును. బలం SI ప్రమాణం 'న్యూటన్'ను కింది విధంగా నిర్వచించవచ్చు. 1 kg ద్రవ్యరాశి గల వస్తువులో 1 ms^{-2} త్వరణాన్ని కలగచేసే బలమే 1 న్యూటన్.

ఉదాహరణ 4.4

0.4 kg ద్రవ్యరాశిగల బంతి నేలపై 20 ms^{-1} వేగంతో దొర్లుతూ చివరికి 10 s కాలంలో నిశ్చలస్థితికి చేరింది. బంతిపై స్థిరబలం పనిచేసిందనుకొనిన, ఆ బంతిని ఆపిన బలాన్ని కనుక్కోండి.

సాధన :

m = 0.4 kg, తొలి వేగం u = 20 ms^{-1}, తుది వేగం v = 0 ms^{-1} మరియు కాలం t = 10 s ఇవ్వబడ్డాయి.

$$\left|\bar{F}\right| = m\left|\bar{a}\right| = \frac{m(\mathrm{v}-u)}{t} = \frac{0.4\,kg\left(-20\,ms^{-1}\right)}{10}$$

$$= -0.8\,kg\,ms^{-2} = -0.8\,N$$

ఇక్కడ రుణ గుర్తు బంతిపై బల ప్రయోగ దిశ, దాని గమన దిశకు వ్యతిరేకంగా ఉందని తెలియజేస్తుంది.

ఉదాహరణ 4.5

తొలివేగంతో వెళుతున్న 10 ms^{-1} ద్రవ్యరాశిగల వస్తువుపై 50N స్థిరబలం ప్రయోగించారు. బలం, వస్తువు యొక్క గమన దిశకు వ్యతిరేక దిశలో పనిచేస్తున్న వస్తువు ఎంత కాలంలో నిశ్చలస్థితిలోకి వచ్చును?

సాధన :

m = 10 kg, F = –50 N, u = 10 ms^{-1} మరియు v = 0 ఇవ్వబడింది. t ను కనుక్కోవాలి.

$$\mathrm{F} = \mathrm{ma} = \mathrm{m}\left(\frac{\mathrm{v}-\mathrm{u}}{\mathrm{t}}\right)$$

ఈ సమీకరణాన్ని కింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$-50\,N = 10\,kg\left(\frac{0-10\,ms^{-1}}{t}\right)$$

$$t = \frac{-100\,kg\,ms^{-1}}{-50\,N} = 2s$$

ఇక్కడ ముఖ్యమైన విషయం ఏమిటంటే ఈ పాఠంలో తెలపబడిన న్యూటన్ రెండవ గమన నియమం స్థిరమైన ద్రవ్యరాశిగల వస్తువులకు మాత్రమే వర్తిస్తుంది. అయితే కాలంతోపాటు ద్రవ్యరాశి మారే రాకెట్ లాంటి వస్తువులకు అనువర్తింపబడే నియమం ఏది?

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 4.2

1. వేరు వేరు ద్రవ్యరాశులు గల రెండు వస్తువులకు ఒకే ద్రవ్యవేగం ఉన్నది. వీటిలో ఏది ఎక్కువ వేగంతో ప్రయాణిస్తుంది?
2. ఒక బాలుడు బంతిని V_0 వేగంతో పైకి విసిరినాడు. బంతి తిరిగి బాలుని అంతే వేగంతో చేరితే, కింది వాటిలో కలిగే మార్పు

(a) బంతి ద్రవ్యవేగం

(b) బంతి ద్రవ్యవేగ పరిమాణం

3. కొంత ఎత్తు నుండి ఒక బంతి పడుతున్నప్పుడు, దాని ద్రవ్యవేగం పెరుగుతుంది. ద్రవ్యవేగం పెరగడానికి కారణం ఏమిటి?

4. కింది ఏ సందర్భాల్లో వస్తువు యొక్క ద్రవ్యవేగంలో మార్పు అధికంగా ఉంటుంది.

(a) 2 kg ద్రవ్యరాశితో నిశ్చలస్థితిలో ఉన్న వస్తువుపై 150 N బలం 0.1 s కాలం పాటు ప్రయోగించినప్పుడు.

(b) 2 kg ద్రవ్యరాశితో నిశ్చలస్థితిలో ఉన్న వస్తువుపై 150 N బలం 0.2 s కాలం పాటు ప్రయోగించినప్పుడు.

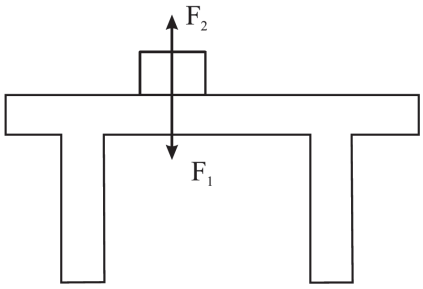
5. ఒక వస్తువు స్థిర వడితో వృత్తాకార మార్గంలో తిరుగుతుంది. వస్తువుకు స్థిరమైన ద్రవ్యవేగం ఉంటుందా? మీ సమాధానానికి కారణం తెలపండి.

4.4 జంట బలాలు

భూ గురుత్వాకర్షణ వస్తువును భూ ఉపరితలం వైపు త్వరణం చెందిస్తుంది. మరి వస్తువు కూడా భూమిని తనవైపు లాక్కుంటుందా? అదే విధంగా మనం బీరువాను నెట్టినప్పుడు, బీరువా కూడా మనల్ని నెడుతుందా? ఒక వేళ అది బలాన్ని ప్రయోగిస్తే మనం ఎందుకు ఆ బల దిశలో కదలం? ఈ సందర్భాలు లాగే లేదా తోయు లాంటి ఒకే బలం ఉంటుందా? అనే ప్రశ్నను, అడిగేలా చేస్తాయి. రెండు వస్తువులు ఒకదానిపై మరొకటి జరిపే చర్యలు అన్యోన్య చర్యలు అని గమనించాం. ఇక నుండి చర్య మరియు ప్రతి చర్య అనేది బలాల మధ్య అన్యోన్య చర్యగా అర్థంచేసుకోవచ్చు. కాబట్టి రెండు వస్తువులు ఎప్పుడయితే పరస్పరం చర్యకు లోనైతాయో అప్పుడు అవి బలాలను ఒకదానిపై మరొకటి ప్రయోగించుకుంటాయి. వాటిలో ఒక బలాన్ని చర్య అని మరొక బలాన్ని ప్రతిచర్య అని అంటారు. కాబట్టి బలాలు ఎప్పుడూ జంటగా ఏర్పడతాయి.

మూడవ గమన నియమం

వస్తువుల అన్యోన్య చర్యలను పరిశీలించిన మీదట న్యూటన్ మూడవ గమన నియమాన్ని సూత్రీకరించాడు. దీని ప్రకారం చర్య ప్రతిచర్యలు సమానంగా ఉండి దిశల్లో వ్యతిరేకంగా ఉంటాయి. ఇక నుండి చర్య మరియు ప్రతిచర్య అంటే బలాలుగా అర్థంచేసు కోవాలి. పటం 4.3 లో చూపిన విధంగా ఒక టేబుల్‌పై పుస్తకాన్ని ఉంచినప్పుడు పుస్తకం టేబుల్‌పై కొంత బలాన్ని ప్రయోగిస్తుంది. అదే సమయంలో టేబుల్ పుస్తకంపై అంతే పరిమాణంగల బలాన్ని పై దిశలో ప్రయోగిస్తుంది. బలాలు $\overline{F}_1$ మరియు $\overline{F}_2$ లు ఇక్కడ పరస్పరం రద్దుచేసుకుంటాయా? ఇక్కడ ముఖ్యమైన విషయం ఏమిటంటే $\overline{F}_1$ మరియు $\overline{F}_2$ బలాలు వేరు వేరు వస్తువులపై పనిచేస్తాయి కాబట్టి అవి రద్దుకావు.



పటం 4.3 : ఒక పుస్తకాన్ని టేబుల్‌పై ఉంచి నప్పుడు బలం F_1ను టేబుల్‌పై పుస్తకం ప్రయోగిస్తుంది. (F_1 పుస్తక భారం F_2కి సమానం) అదే విధంగా టేబుల్ పుస్తకంపై, బలం F_2 ను ప్రయోగిస్తుంది.

పై పరిస్థితుల్లో చెప్పబడిన చర్య మరియు ప్రతిచర్యలు జంట బలాలుగా అగుపిస్తాయి. పై రెండు బలాల్లో ఏ ఒక్కటి కూడా మరొకటి లేనిదే ఉండదు.

ఈ వాక్యం అర్థం తీసుకుంటే చర్య వెంబడి ఎప్పుడు ప్రతిచర్య ఉంటుంది కాని న్యూటన్ మూడవ గమన నియమంలో చెప్పబడిన చర్య, ప్రతిచర్యలు రెండూ ఒకేసారి ఉంటాయి. దీనివల్ల న్యూటన్ మూడవ గమన నియమాన్ని ఇంకా వివరంగా కింది విధంగా చెప్పవచ్చు.

రెండు వస్తువులు అన్యోన్య చర్యకు లోనైనప్పుడు, మొదటి వస్తువు వల్ల రెండవ వస్తువుపై ప్రయోగింపబడిన బలం, రెండవ వస్తువువల్ల మొదటి వస్తువుపై ప్రయోగింపబడిన బల పరిమాణానికి సమానంగా ఉంటూ దిశలో వ్యతిరేకంగా ఉంటుంది.

(లేదా)

వస్తువు A, మరో వస్తువు B పై బలాన్ని (చర్య) ప్రయోగిస్తే, B, A పై సమాన, వ్యతిరేక బలాన్ని (ప్రతిచర్య) ప్రయోగిస్తుంది.

సదిశల పరంగా $\overline{F}_{AB} = -\overline{F}_{BA}$ (4.4)

4.4.1 ప్రచోదనం

న్యూటర్ రెండవ నియమం నుంచి

$$\overline{F} = m\left(\frac{\overline{v}-\overline{u}}{t}\right) = \frac{m\overline{v}-m\overline{u}}{t}$$

$$\overline{F} = \frac{\overline{p}_f - \overline{p}_i}{\Delta t}$$

$$\overline{F}.\Delta t = \overline{\Delta} p = \text{ ప్రచోదనం} \qquad (4.5)$$

స్వల్పకాలంలో ప్రయోగించిన బలం వల్ల కలిగే ఫలితాన్నే ప్రచోదనం అంటారు. బలం($\overline{F}$), బల ప్రయోగించిన కాలం (Δt) ల లబ్ధాన్ని ప్రచోదనం అంటారు.

అంటే ప్రచోదనం రేఖీయ ద్రవ్యవేగంలో మార్పుకి సమానం.

ప్రచోదనం సదిశారాశి, దీని SI ప్రమాణం kg ms^{-1} లేదా Ns.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 4.3

1. హైజంపర్ భూమిని వదిలినప్పుడు, అతను పైకి తోసే బలం ఎక్కడ నుండి వస్తుంది?
2. కింది పరిస్థితుల్లో చర్య-ప్రతిచర్య బలాలను గుర్తించండి.

   (a) ఒక వ్యక్తి ఫుట్‌బాల్‌ను తన్నినప్పుడు .....

   (b) భూమి చంద్రుడిని లాగునప్పుడు (c) బంతి గోడతో అభిఘాతం చెందినప్పుడు

3. "ఒక వ్యక్తి బీరువాను ముందుకు జరపడానికి అధిక బలాన్ని ప్రయోగించిన, అతను వెనకకు తోయబడ్డాడు. ఎందుకనగా బీరువా అతనిపై స్వల్ప బలాన్ని ప్రయోగిస్తుంది." ఇక్కడ ఇవ్వబడిన వాదన సరియైనదేనా? వివరించండి.

4.5 ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వం

రెండు వస్తువులు అన్యోన్య చర్యకులోనైనప్పుడు, అన్యోన్య చర్యకు సంబంధించిన బలాలు మాత్రమే వాటిపై పనిచేయునప్పుడు ప్రయోగరీత్యా వాటి యొక్క ద్రవ్యవేగాల సదిశల మొత్తం మారకుండా ఉంటుందని నిరూపించవచ్చు. ఒక వేళ రెండు కంటే ఎక్కువ వస్తువులు అన్యోన్య చర్యకు లోనైనా, వాటి విషయంలో కూడా ఇది నిజమవుతుంది. సాధారణంగా అనేక వస్తువులు అన్యోన్యచర్యలకు లోనైన వాటిని వ్యవస్థగా పేర్కొంటాం. ఒక వేళ వ్యవస్థలోని వస్తువులు, వ్యవస్థకు వెలుపల ఉన్న వస్తువులతో చర్య జరపకపోతే ఆ వ్యవస్థను వియుక్త వ్యవస్థ అంటారు. ఒక వియుక్త వ్యవస్థలో వస్తువుల యొక్క ద్రవ్యవేగ సదిశల మొత్తం స్థిరం. దీనినే ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమం అంటారు.

అయితే వియుక్త వ్యవస్థలో వస్తువుల యొక్క ఫలిత ద్రవ్యవేగం మారనప్పటికీ, విడివిడిగా వస్తువుల యొక్క ద్రవ్యవేగాలు పరిమాణంలో కాని దిశలో కాని లేదా రెండింటిలోగాని మారవచ్చు. వియుక్త వ్యవస్థలో విడివిడిగా వస్తువుల యొక్క ద్రవ్యవేగాలు ఏ కారణంవల్ల మారతాయి అనే ప్రశ్న కలగవచ్చు? దీనికి గల కారణం వస్తువుల మధ్య గల అన్యోన్య చర్యలు మరియు వాటి బలాలు. ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమాన్ని, అభిఘాతాలు, విస్ఫోటనాలు, కేంద్రక చర్యలు, రేడియో ధార్మికతలలో మొదలగు దృగ్విషయాలలో అనువర్తించవచ్చు.

4.5.1 న్యూటన్ గమన నియమాల పర్యవసానం ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమం

న్యూటన్ రెండవ గమన నియమం ప్రకారం, **F** అనే బలం వస్తువుపై పనిచేయడంవల్ల (సమీకరణం 4.1) Δt కాలంలో వస్తువు ద్రవ్యవేగంలో మార్పు Δp అయితే,

$$\overline{F}_{\text{బాహ్య}} = \frac{\Delta \overline{p}}{\Delta t} \qquad (4.6)$$

$$\overline{F}_{\text{బాహ్య}} = 0, \text{ అయితే } \frac{\Delta \overline{p}}{\Delta t} = 0 \Rightarrow \Delta \overline{p} = 0 \Rightarrow \overline{p}_{\text{మొత్తం}} = \text{స్థిరం} \qquad (4.7)$$

పై సమీకరణం ద్వారా ఒక వేళ వస్తువుపై బాహ్యబలం పనిచేయకపోతే వస్తువు యొక్క ద్రవ్యవేగంలో మార్పు శూన్యం అవుతుందని తెలుస్తుంది. అంటే వస్తువు యొక్క ద్రవ్యవేగంలో మార్పు ఉండదు. ఇదే వాదనను అనేక వస్తువులు గల వ్యవస్థకు కూడా అనువర్తించవచ్చు.

న్యూటన్ మూడవ గమన నియమం నుండి కూడా ఇదే ఫలితాన్ని పొందవచ్చు. A మరియు B వస్తువులు గల ఒక వియుక్త వ్యవస్థలో వస్తువులు Δt కాలంలో అన్యోన్యచర్యకు లోనైనవి అనుకోండి. $\overline{F}_{AB}$ మరియు $\overline{F}_{BA}$ లు ఒకదానిపై ఒకటి ప్రయోగించే బలాలైన, న్యూటన్ మూడవ గమన నియమం నుండి

$$\overline{F}_{AB} = -\overline{F}_{BA}$$

$$\frac{\Delta \overline{p}_A}{\Delta t} = -\frac{\Delta \overline{p}_B}{\Delta t}$$

$$\Delta \overline{p}_A + \Delta \overline{p}_B = 0 \qquad \text{(లేదా)}$$

$$\Delta \overline{p}_{\text{మొత్తం}} = 0$$

$$\text{(లేదా)} \qquad \overline{p}_{\text{మొత్తం}} = \text{స్థిరం}$$

అంటే వ్యవస్థ ద్రవ్యవేగంలో మార్పు లేదు. మరోలా చెప్పాలంటే వ్యవస్థ ద్రవ్యవేగం నిత్యత్వం చెందింది.

4.5.2 ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వానికి కొన్ని ఉదాహరణలు

(a) **తుపాకి యొక్క ప్రత్యావర్తనం:** తుపాకి నుండి తుపాకి గుండును పేల్చినప్పుడు తుపాకి వెనకకు ప్రత్యావర్తనం చెందుతుంది. తుపాకి యొక్క ప్రత్యావర్తన వేగం v_2 ను ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమం నుండి కనుక్కోవచ్చు. పేల్చబడిన తుపాకి గుండు ద్రవ్యరాశి m మరియు తుపాకి దవ్యరాశి M అనుకోండి. తుపాకి గుండు వేగం v_1 అనుకుని ఒక వేళ తుపాకి వేగం v_2 అయినప్పుడు ద్రవ్యవేగం నిత్యత్వం చెందినట్లయితే,

$$m\overline{v}_1 + M\overline{v}_2 = 0 \qquad (4.8)$$

$$m\overline{v}_1 = -M\overline{v}_2$$

$$\overline{v}_2 = -\frac{m}{M}\overline{v}_1$$

ఇక్కడ రుణ గుర్తు v_2 యొక్క వేగం దిశ, $\overline{v}_1$ వేగ దిశకు వ్యతిరేకం అని తెలుపుతుంది. $m << M$ కాబట్టి తుపాకి యొక్క ప్రత్యావర్తన వేగం తుపాకి గుండు వేగంతో పోల్చినప్పుడు చాలా స్వల్పంగా ఉంటుంది.

(b) **అభిఘాతం:** అభిఘాతంలో పాల్గొనే వస్తువులు వ్యవస్థగా ఏర్పడతాయని అనుకుంటాం. ఘర్షణ వంటి బాహ్యబలాలు వ్యవస్థలోని వస్తువులపైన పనిచేయకపోతే ఆ వ్యవస్థను వియుక్త వ్యవస్థగా తీసుకోవచ్చు. వస్తువుల మధ్య ఉన్న అన్యోన్య చర్యలు అభిఘాతం చెందే వస్తువుల యొక్క మొత్తం ద్రవ్యవేగాన్ని మార్చలేవు.

క్యారం బోర్డు ఆటలో కాయిన్స్ మధ్య అభిఘాతాలు మరియు బిలియర్డ్స్ ఆటలో బిలియర్డ్ బంతుల మధ్య అభిఘాతాలను స్థితిస్థాపక వస్తువుల మధ్యగల అభిఘాతాల అధ్యయనంకు తీసుకోవచ్చు.

ఉదాహరణ 4.6

ఒకే ద్రవ్యరాశి m కలిగిన రెండు ట్రాలీలు ఒకదానికొకటి కలపబడి తొలి వేగం v తో ప్రయాణిస్తున్నాయి. ఇవి, నిశ్చలస్థితిలో ఉన్న ఒకదానికొకటి కలపబడిన మూడు సర్వసమాన ట్రాలీలను ఢీకొని అన్నీ కలిసి అదే దిశలో ప్రయాణించిన అభిఘాతం తరవాత వాటి వేగాలు ఎంత?

సాధన :

అభిఘాతం తరవాత ట్రాలీల వేగం v' అనుకుంటే

అభిఘాతానికి ముందు ద్రవ్యవేగం = 2 mv

అభిఘాతం తరవాత ద్రవ్యవేగం = 5 m v'

ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమం నుండి, కింది విధంగా రాయవచ్చు

$$2\ mv = 5\ m\,v'$$

లేదా $v' = \frac{2}{5}v$

(c) బాంబు యొక్క విస్ఫోటనం: బాంబు ముక్కలుగా పేలినప్పుడు అత్యధికమైన శక్తిని విడుదలచేస్తుంది. నిశ్చలస్థితిలో ఉన్న బాంబు పేలి A మరియు B అనే రెండు భాగాలుగా విడిపోయిందనుకోండి. బాంబు పేలక ముందు ద్రవ్యవేగం శూన్యం కాబట్టి బాంబు పేలిన తరవాత పేలిన భాగాల మొత్తం ద్రవ్యవేగం కూడా శూన్యమవుతుంది. ఈ కారణంవల్ల పేలిన రెండు భాగాలు వ్యతిరేక దిశలో ప్రయాణిస్తాయి. పేలిన భాగాల ద్రవ్యరాశులు సమానం అయితే, వాటి వేగ పరిమాణాలు కూడా సమానంగా ఉంటాయి.

(d) రాకెట్ చోదనం: రాకెట్ గమనం ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమం యొక్క ప్రయోగపూర్వక అనువర్తనంగా తీసుకోవచ్చు. రాకెట్‌లో ఇంధనం కలిగిన షెల్ ఉంటుంది. దీన్ని ఒక వస్తువుగా తీసుకోవచ్చు. షెల్‌లో ఉన్న నాజిల్ ద్వారా అధిక పీడనం వద్ద ఉన్న వాయువులు బయటకి వెళ్ళే అవకాశం ఉంటుంది. రాకెట్‌లో ఇంధనాన్ని మండించినప్పుడు అధిక ఉష్ణోగ్రత, పీడనాల వద్ద వాయువులు ఏర్పడతాయి. వ్యవస్థ ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమం వలన, అధిక పీడనంతో వాయువులు నాజిల్ నుండి అధిక వేగంతో బహిర్గత మయినప్పుడు ఏర్పడిన అభిబలం వల్ల రాకెట్ పైకి వెళుతుంది. ఒక వేళ M అనేది రాకెట్ యొక్క ద్రవ్యరాశి, m అనేది ప్రతి సెకనుకు మండే వాయువుల ద్రవ్యరాశి మరియు V దాని యొక్క వేగం అయితే, t సెకన్ల కాలంలో వాయువు ద్రవ్యవేగంలో మార్పు = m vt.

t కాలంలో రాకెట్ యొక్క వేగంలో పెరుగుదల V అయితే, ద్రవ్యవేగంలో మార్పు = MV అవుతుంది.

ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమం నుండి

$$mvt + MV = 0$$

$$\frac{V}{t} = a = -\frac{mv}{M}$$

అనగా రాకెట్ ప్రయాణించే త్వరణం

$$a = -\frac{mv}{M}$$

4.6 ఘర్షణ

బ్యాట్స్‌మెన్ క్రికెట్ బంతిని బ్యాట్‌తో కొట్టి అది భూమిపై దొర్లేలా చేస్తాడు. అది అవిచ్ఛిన్నంగా ప్రయాణించ కుండా కొంత దూరం ప్రయాణించి నిశ్చల స్థితికి వస్తుంది. బంతి నేలపై ఎక్కువ దూరం దొర్లుతుందని మీరు గమనించే ఉంటారు. మరియు బంతి కొంత దూరం ప్రయాణించి ఆగిపోతుంది. అంటే బంతిని కొట్టడంవల్ల, బంతికి లభించిన ద్రవ్యవేగం చివరకు శూన్యం అవుతుంది. బంతిపై పనిచేయబడ్డ బలం వల్ల బంతి ద్రవ్యవేగంలో మార్పు వచ్చిందని మనకు తెలుసు. ఆ బలాన్నే ఘర్షణ బలం అంటారు. స్పర్శలో ఉన్న రెండు వస్తువులు సాపేక్ష చలనంలో ఉన్నప్పుడు ఘర్షణ బలం పనిచేస్తుంది. క్షితిజ సమాంతరంపై వస్తువు స్థానాన్ని మార్చాలంటే ఘర్షణబలానికి వ్యతిరేకంగా వస్తువును తోయుటకాని, లాగుటకాని చేయాలి.

ఘర్షణ బలం అనేది స్పర్శీయ బలం, ఇది రెండు వస్తువులు స్పర్శించుకునే తలాలకు సమాంతరంగా ఉంటూ వస్తువు యొక్క గమన దిశకు వ్యతిరేక దిశలో పనిచేస్తుంది. ఉపరితలాలు గరుకుగా ఉండటంవల్ల ఘర్షణ ఏర్పడుతుంది. ఈ కారణంవల్ల ఘర్షణ అవసరాన్ని బట్టి తలాలను నునుపుగా కాని గరుకుగాకాని మారుస్తారు.

వస్తువు యొక్క సాపేక్ష గమనాన్ని ఘర్షణ బలం వ్యతిరేకించడంవల్ల వస్తువుల యొక్క తలాలు అరగుదలకు (tear wear) గురి అయిన యాంత్రికశక్తి నష్టం జరుగుతుంది. కాని అదే సమయంలో ఘర్షణ వల్ల మాత్రమే మనం నడవగలుగుతున్నాం అని, వాహనాలను నడపగలుగుతున్నాం అని, వాటిని ఆపగలుగుతున్నాం అని గుర్తుంచుకోవాలి. ఘర్షణ మన జీవితంలో లాభాలను మరియు నష్టాలను కలగచేస్తుంది. కాబట్టి ఘర్షణ అనేది అత్యంత అవసరమైనది మరియు హానికరమైనది కూడా.

ఘర్షణ బలాలు మూడు రకాలు అవి 1. స్థైతిక ఘర్షణ 2. గతిక ఘర్షణ 3. దొర్లుడు ఘర్షణ

4.6.1 స్థైతిక మరియు గతిక ఘర్షణ

ఒక తలంపై వస్తువును కదిలించడానికి కనీసం కొంత బలాన్ని ప్రయోగించాలని మనకు తెలుసు. ఈ విషయాన్ని సోదాహరణంగా తెలుసుకోవడం కోసం పటం 4.4లో చూపిన విధంగా ఒక దిమ్మె క్షితిజ సమాంతర తలంపై ఉన్నదనుకోండి. పటంలో చూపిన విధంగా దిమ్మెపై బాహ్య బలం F_{ext} ప్రయోగించారనుకోండి. తొలుత దిమ్మె కదలదు. దిమ్మె కదలటంలేదు అంటే దీనిపై మరొక బలం పనిచేస్తున్నదని అర్థం. ఈ బలాన్నే స్థైతిక ఘర్షణ బలం అంటారు. దీన్ని f_s గుర్తుతో సూచిస్తారు. బాహ్య బలం F_{ext} పెంచుతున్నకొద్దీ స్థైతిక ఘర్షణ బలం f_s పెరిగి అది బాహ్య బలం F_{ext} పరిమాణంలో సమానం అవుతుంది. ఈ విధంగా ఘర్షణ బలం ఒక సందిగ్ధ విలువను చేరుకునేంత వరకు బాహ్యబలం F_{ext} తో సమానం అవుతుంది. దీని తరవాత బాహ్యబలం F_{ext} ఇంకా పెంచినప్పుడు దిమ్మె కదలటం ప్రారంభం అవుతుంది మరియు దిమ్మె గతిక ఘర్షణ బలానికి లోనవుతుంది. వస్తువును స్థిర వేగంతో కదిలించవలసిన బలం కెంటే, వస్తువును కదిలించడానికి ఎక్కువ బలం ప్రయోగించాల్సిన అవసరం ఉంటుందని అనుభంలో మనకు తెలుస్తుంది. ఈ కారణంవల్ల స్పర్శిస్తున్న రెండు తలాల మధ్య ఉండే గరిష్ఠ స్థైతిక ఘర్షణ బలం $f_s^{(max)}$. గతిక ఘర్షణ బలం (f_k) కంటే ఎక్కువగా ఉంటుంది. పటం 4.5 లో బాహ్య బలంతో ఘర్షణ బలం మారే విధానం చూపడింది.

ఇచ్చిన రెండు స్పర్శీయ తలాలకు గరిష్ఠ స్థైతిక ఘర్షణ $f_s^{(max)}$ మరియు గతిక ఘర్షణ (f_k) ఏ అంశాలపై ఆధారపడి ఉంటుంది? ప్రయోగరీత్యా $f_s^{(max)}$ అనేది అభిలంబ బలానికి (F_N)కి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. అంటే,

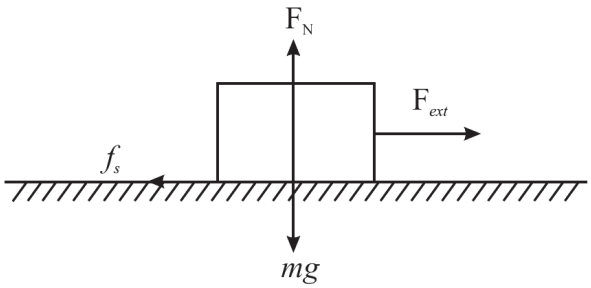
$$f_s^{(max)} \propto F_N \quad \text{లేదా} \quad f_s^{(max)} = \mu_s F_N \qquad (4.9)$$

ఇక్కడ μ_s అనేది స్థైతిక ఘర్షణ గుణకం. దిమ్మె తలాన్ని ఎంత బలంతో నొక్కుతుందో, ఆ బలం ద్వారా అభిలంబ చర్య F_N ను తెలుసుకోవచ్చు. పటం 4.4 ను తిరిగి పరిశీలించిన దిమ్మెపై పనిచేసే అభిలంబ బలం F_N భారం ఖీవీ కు సమానం. ఇక్కడ m అనేది దిమ్మె యొక్క ద్రవ్యరాశి.

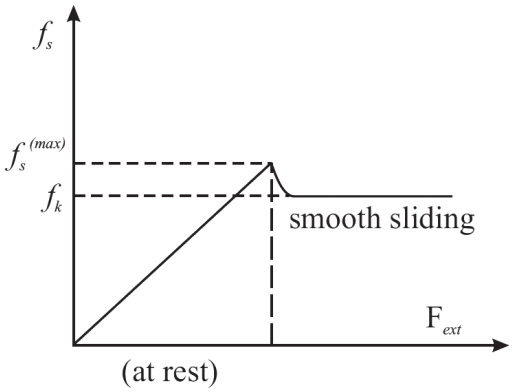
కాబట్టి, $f_s = F_{ext}$ ఇక్కడ $f_s \le f_s^{max}$

అంటే, $f_s \le \mu_s F_N$ అని వ్రాయవచ్చు. (4.10)

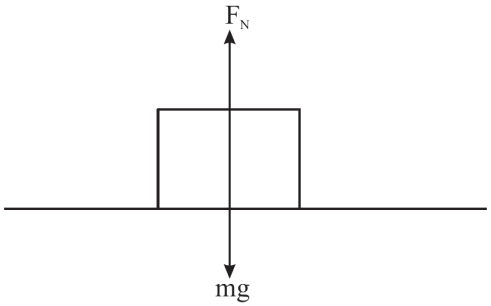
ప్రయోగాత్మకంగా రెండు స్పర్శించే తలాల మధ్య పనిచేసే గరిష్ఠ స్థైతిక ఘర్షణ బలం, స్పర్శించే తల వైశాల్యంపై ఆధారపడదు అని తెలుస్తుంది.



పటం. 4.4 : దిమ్మెపై పనిచేసే బలాలు



పటం 4.5 : బాహ్యబలంతోపాటు ఘర్షణ బలంలో మార్పు



పటం 4.6 : దిమ్మెపై అభిలంబ ప్రతిచర్య

అదే విధంగా $f_k = \mu_k F_N$ అని వ్రాయవచ్చు. (4.11)

ఇక్కడ μ_k అనేది గతిక ఘర్షణ గుణకం. సాధారణంగా, $\mu_s > \mu_k$ అంతేకాకుండా μ_s మరియు μ_k విలువలు ఇచ్చిన రెండు తలాలకు స్థిరమైన విలువలు కావు. అంటే చెక్క, చెక్కపై లేదా రబ్బరు లేదా కాంక్రీటు లాంటి పదార్థాలు మారుతున్నప్పుడు μ_s మరియు μ_k విలువలు కూడా మారతాయి. ఇచ్చిన రెండు స్పర్శ తలాలకు సంబంధించిన μ_s మరియు μ_k విలువలు ఆ తలాల స్వభావం, గరుకుతనం, నునుపుదనం, ఉష్ణోగ్రత, తేమ మొదలగు అంశాలపై ఆధారపడుతుంది.

ఉదాహరణ 4.7

2 kg ద్రవ్యరాశి గల దిమ్మె క్షితిజ సమాంతర తలంపైన ఉన్నది. రెండు స్పర్శ తలాలకు సంబంధించిన స్థైతిక ఘర్షణ గుణకం 0.25 అయితే స్పర్శించే తలాల మధ్య పనిచేసే గరిష్ఠ స్థైతిక ఘర్షణ బల పరిమాణాన్ని కనుక్కోండి.

సాధన :

ఇచ్చట $m = 2$ kg మరియు $\mu_s = 0.25$ ఇవ్వబడింది.

సమీకరణం (4.9) నుండి

$$f_s^{(max)} = \mu_s F_N$$

$$= \mu_s \text{ mg}$$

$$= 0.25 \text{ (2 kg) (9.8 ms}^{-2}\text{)}$$

$$= 4.9 \text{ N}$$

ఉదాహరణ 4.8

5 kg ద్రవ్యరాశిగల దిమ్మె క్షితిజ సమాంతర తలంపై ఉన్నది. రెండు తలాలకు సంబంధించిన గతిక ఘర్షణ గుణకం $\mu_k = 0.1$. దిమ్మెను 10 N బలంతో క్షితిజ సమాంతర దిశలో లాగినప్పుడు దిమ్మెలో కలిగే త్వరణం ఎంత?

సాధన :

గతిక ఘర్షణ బలం $f_k = \mu_k F_N$ మరియు $F_N = mg$

కాబట్టి, $f_k = \mu_k mg$

$$= (0.1) \text{ (5 kg) (9.8 ms}^{-2}\text{)}$$

$$= 49 \text{ kg ms}^{-2} = 4.9 \text{ N}$$

దిమ్మెపై ఫలితబలం $= F_{ext} - f_k$

$$= 10 \text{ N} - 4.9 \text{ N}$$

$$= 5.1 \text{ N}$$

కావున, దిమ్మె యొక్క త్వరణం $= a = \frac{F_{net}}{m} = \frac{5.1N}{5kg} = 1.02\ ms^{-2}$

కావున దిమ్మె 1.02 ms^{-2} త్వరణంతో బాహ్యంగా అనువర్తించిన బలదిశలో కదులును.

4.6.2 దొర్లుడు ఘర్షణ

చక్రాలు గల బండిని లాగుట లేదా నెట్టుట చాలా సులభం. చక్రం యొక్క గమనం జారుడు గమనం కంటే వేరుగా ఉంటుంది. ఆ గమనాన్ని దొర్లుడు గమనం అంటారు. దొర్లుడు గమనంలో ఏర్పడే ఘర్షణ బలాన్ని దొర్లుడు

ఘర్షణ అంటారు. అభిలంబ బలానికి దొర్లుడు ఘర్షణ, జారుడు ఘర్షణ కంటె తక్కువగా ఉంటుంది. ఉదాహరణకు స్టీలు, స్టీలుపై జారునప్పుడు ఉండే ఘర్షణ కంటే స్టీలు చక్రం, స్టీలు పట్టాపై దొర్లునప్పుడు ఉండే దొర్లుడు ఘర్షణ 1/100 రెట్లు తక్కువ. దొర్లుడు ఘర్షణ గుణకం యొక్క విలువలు స్టీలు-స్టీలుకు 0.006, రబ్బరు-కాంక్రీటుకు 0.02 నుండి 0.04 గా ఉండును.

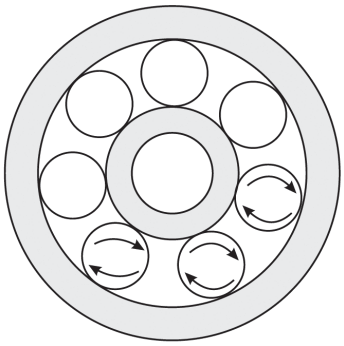
మీరు ఇప్పుడు కింద చూపబడిన కృత్యాన్ని చేయండి.

కృత్యం 3.1

టేబుల్‌పైన పెద్ద పుస్తకం కాని కొన్ని పుస్తకాలను కలిపి కాని ఉంచి దాన్ని వేళ్ళతో నెట్టుటకు ప్రయత్నించండి. తరవాత పుస్తకాల కింద మూడు లేదా అంత కంటే ఎక్కువ పెన్సిళ్ళను ఉంచి తిరిగి నెట్టటానికి ప్రయత్నించండి. ఏ సందర్భంలో పుస్తకాల్ని కదుల్చుటకు తక్కువ బలం అవసరం? ఈ పరిశీలన నుండి మీరు ఏమి నిర్ణయిస్తారు?

4.6.3 ఘర్షణను తొలగించే పద్ధతులు

మానవ జాతి కనుగొన్న గొప్ప సాధనాల్లో చక్రం ఒకటి ఎందుకంటె వస్తువులు జారుట కంటె దొర్లడం సులభం ఈ కారణంవల్ల యంత్రంలో ఘర్షణను తగ్గించుటకు బాల్ బేరింగ్‌లను వాడతారు. బాల్‌బేరింగ్‌ల్లో, స్టీలు గోళాలను రెండు సహాక్ష స్థూపాల మధ్య పటం 4.6లో చూపిన విధంగా అమరుస్తారు. సాధారణంగా ఒక స్థూపం మరొక స్థూపం దృష్ట్యా తిరిగేటట్లుగా చేస్తారు. దీనివల్ల బంతులు దొర్లునప్పుడు వాటి మధ్య ఘర్షణ బలం దాదాపుగా ఉండదు. బాల్‌బేరింగులను అన్ని రకాల వాహనాల్లో, విద్యుత్ మోటార్లలో, ఫాన్‌ల వంటి ఇతర పరికరాల్లో వాడతారు.



పటం. 4.7 : Balls in the ball-bearing

గ్రీజు లేదా నూనె వంటి స్నేహకాలు స్పర్శించే తలాల మధ్య ఉంచిన ఘర్షణ బలం బాగా తగ్గుతుంది. బరువైన పెద్ద యంత్రాల్లో కదిలే యంత్ర భాగాల మధ్య నూనె ప్రవహించేట్టు చేయడం వల్ల ఘర్షణ బలం తగ్గుతుంది. మరియు ఉష్ణశక్తి వెలువడి యంత్రాలు పాడుకాకుండా ఉంటాయి. నిజానికి స్నేహకాలను వాడటంవల్ల వస్తువుల మధ్య ఉండే సహజమైన ఘర్షణ, ప్రవాహి ఘర్షణగా (fluid friction) మారుతుంది. ప్రవాహి ఘర్షణ, వస్తువుల మధ్య ఉండే సహజ ఘర్షణ కంటే తక్కువ.

శుద్ధిచేయబడి, సంపీడించబడిన గాలిని స్పర్శించే తలాల మధ్య పంపటం వల్ల కూడా ఘర్షణ బలం తగ్గుతుంది. మరియు దీనివల్ల కదిలే భాగాల మధ్య దుమ్ము మరియు ధూళి కణాలు కూడా చేరకుండా ఉంటాయి.

ప్రవాహి ఘర్షణ : వస్తువులు ద్రవాలలో కాని లేదా వాయువులలోకాని ప్రయాణించేటప్పుడు కూడా ఘర్షణకు లోనవుతాయి. ఉల్కలు భూ వాతావరణంలోకి ప్రవేశించినప్పుడు గాలి ఘర్షణవల్ల అవి వెలుగునిస్తాయి. ఘన పదార్థాల మధ్య ఉండే ఘర్షణ వస్తువుల యొక్క ఆకారంపైన ఆధారపడదు కాని ప్రవాహి ఘర్షణ వస్తువుల యొక్క ఆకారంపైన ఆధారపడుతుంది. ఈ కారణంవల్ల చేపలకు ప్రత్యేకమైన ఆకారం ఉంటుంది. అదే విధంగా అధిక వేగాలతో ప్రయాణించే విమానాలకు, వాహనాలకు చేపనుపోలే ఆకారం ఉంటుంది. ఈ ఆకారాన్ని స్ట్రీమ్‌లైన్ (stream-line) ఆకారం అంటారు. ప్రవాహి ఘర్షణ వస్తువు వేగం పెరుగుదలతోపాటు వేగంగా పెరుగుతుంది. ఒక వేళ కారు ఎక్కువ వేగంతో వెళుతున్నట్లయితే, పెరిగిన ప్రవాహి (గాలి) ఘర్షణను అధిగమించడానికి ఎక్కువ ఇంధనం ఖర్చు చేయాల్సి వస్తుంది. అందువల్ల కారు వేగం 40-45 kmph మధ్య ఉన్న దాని యొక్క దక్షత ఎక్కువగా ఉండునని కారు తయారీదారులు సూచిస్తారు.

4.7 స్వేచ్ఛా వస్తు పటం టెక్నిక్ (free body diagram technique)

యాంత్రిక శాస్త్రంలో న్యూటన్ గమన నియమాలను అనువర్తించి వస్తువుల యొక్క స్వేచ్ఛా వస్తు పటాలు గీసి ఫలితాలు రాబట్టటం చాలా సులభం. ఇచ్చిన సందర్భంలో వస్తువుపై పనిచేసే అన్ని బలాలను చూపు పటాన్ని స్వేచ్ఛా వస్తు పటం (Free Body Diagram (FBD)) అంటారు. స్వేచ్ఛా వస్తు పటం గీయడానికి కింది పద్ధతిని పాటించాలి.

1. ఇచ్చిన వివరణ ప్రకారంగా వ్యవస్థ యొక్క చక్కని పటాన్ని గీయాలి.
2. కావలసిన వస్తువును వియుక్తంగా తీసుకోవాలి. ఈ వస్తువును స్వేచ్ఛా వస్తువు అంటారు.
3. ఈ స్వేచ్ఛా వస్తువుపై పనిచేసే బాహ్యబలాలన్నింటిని తీసుకుని, వాటి చర్య దిశను స్పష్టంగా చూపిస్తూ బాణపు గుర్తులు స్వేచ్ఛా వస్తువును తాకునట్లుగా గీయాలి.
4. ఇప్పుడు న్యూటన్ రెండవ గమన నియమం $\Sigma F = ma$ ని అనువర్తించాలి.
   (లేదా $\Sigma F_x = m\,a_x$ మరియు $\Sigma F_y = m\,a_y$)

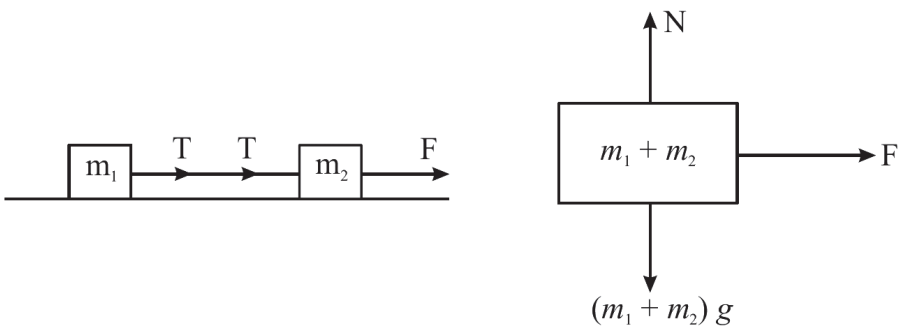
గుర్తుంచుకోవలసినవి :

(i) వస్తువు గమన దిశలో నికర బలం పనిచేయాలి.

(ii) సమస్య యొక్క పూర్తి సాధన కొరకు తెలియని భౌతికరాశుల సంఖ్యకు సమానమైన సంఖ్యలో స్వతంత్ర సమీకరణాలు ఉండాలి.

ఉదాహరణ 4.9

m_1 మరియు m_2 ద్రవ్యరాశులు గల రెండు దిమ్మెలను ఒక తేలికైన తాడు సహాయంతో కట్టి వాటిని ఘర్షణరహిత తలంపై ఉంచారు. m_2 ద్రవ్యరాశి గల దిమ్మె క్షితిజ సమాంతర బలం F తో లాగబడింది. అయితే దిమ్మెల యొక్క త్వరణం ఎంత? మరియు దిమ్మెలను కలిపిన తాడులో ఏర్పడే తన్యత ఎంత? (తాడు క్షితిజ సమాంతరంగా ఉన్నదనుకోండి)



పటం 4.8 రెండు వస్తువులు తాడుతో కట్టబడి ఉన్నప్పుడు స్వేచ్ఛా వస్తు పటం

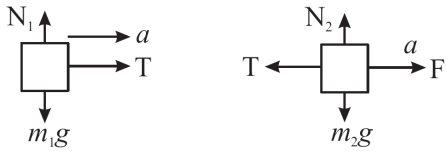
సాధన:

పటం 4.8 నుండి F దిశలో దిమ్మెల్లో ఏర్పడిన త్వరణం aమరియు తాడులో తన్యత T అనుకోండి. m_1 మరియు m_2 ద్రవ్యరాశులు కలిగిన వ్యవస్థ యొక్క స్వేచ్ఛా వస్తుపటంపై సూత్రం $\Sigma F = ma$ అనువర్తించగా,

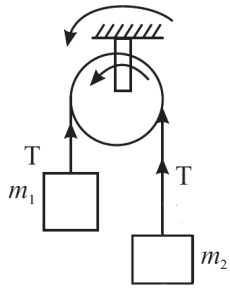
$$N - (m_1 + m_2)\, g = 0$$

మరియు $$F = (m_1 + m_2)\, a$$

$$\Rightarrow \quad a = \frac{F}{m_1 + m_2} \qquad (4.12)$$



పటం. 4.9

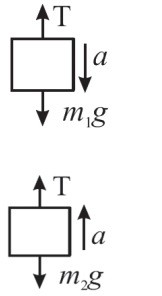


m_1 యొక్క స్వేచ్ఛా వస్తు పటానికి సూత్రం $\Sigma F = ma$ ను రాయగా $N_1 - m_1\, g = 0$ మరియు $T = m_1\, a$ మనకు వచ్చును.

$$T = m_1\left(\frac{F}{m_1 + m_2}\right)$$

(లేదా) $$T = \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2}\right)F \qquad (4.13)$$

ఇప్పుడు సూత్రం $\Sigma F = ma$ ను మరోసారి m_2 యొక్క స్వేచ్ఛా వస్తు పటానికి అనువర్తించి త్వరణం a మరియు తన్యత T లకు అవే సమాసాలు పొంద వచ్చునో లేదో చూడండి.



పటం. 4.10

ఉదాహరణ 4.10

m_1 మరియు m_2 ద్రవ్యరాశులు గల వస్తువులను ($m_1 > m_2$) సాగదీయుటకు వీలు లేని ఒక తేలికైన తాడు చివర కట్టి, తాడును ఘర్షణ రహిత కప్పీ మీదుగా అమర్చినారు. వస్తువులను స్వేచ్ఛగా వదిలినప్పుడు వాటి యొక్క త్వరణాలను, తాడులో తన్యతను కనుక్కోండి.

సాధన:

m_1 యొక్క త్వరణం a కింది దిశలోను మరియు m_2 యొక్క త్వరణం a పై దిశలోను అనుకోండి (ఎందుకు?) వస్తువులను కలిపే తాడులో తన్యత T అనుకోండి.

m_1 మరియు m_2 వస్తువులపై $\Sigma F = ma$ సమీకరణం అనువర్తించగా

$$m_1 g - T = m_1\, a$$

$$T - m_2 g = m_2\, a$$

(1) మరియు (2) సమీకరణాలను సాధించగా a మరియు T విలువలు వచ్చును.

$$a = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)g \qquad (4.14)$$

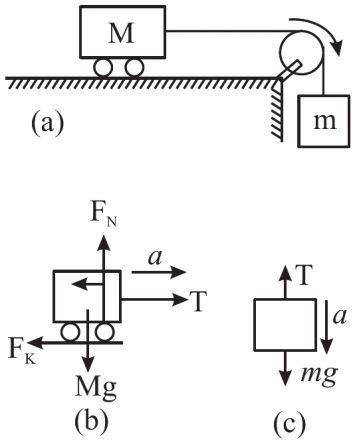
$$T = \left(\frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2}\right) a \qquad (4.15)$$

ఈ స్థితిలో అధికమైన అనియత విలువలకు (అనగా m_1 మరియు m_2) వచ్చు ఊహాత్మక ఫలితాన్ని సరిచూసుకోవచ్చు. $m_1 = m_2$ లేదా $m_1 >> m_2$ గా తీసుకొని $a > T$ యొక్క విలువలు ఊహించినట్లుగా వచ్చునో, రావో చూడండి.

ఉదాహరణ 4.11

ద్రవ్యరాశి M = 10 kg గల ట్రాలీ అనునది ద్రవ్యరాశి m = 2 kg గల దిమ్మెకు ద్రవ్యరాశిరహిత సాగదీయుటకు వీలులేని తాడు సహాయంతో కట్టి తాడును పటంలో చూపిన విధంగా (4.11) తేలికైన ఘర్షణ రహిత కప్పీ మీదుగా వదిలినారు. ట్రాలీకు మరియు తలానికి మధ్య గల గతిక ఘర్షణ గుణకం $\mu_k = 0.02$ అయితే (a) ట్రాలీ యొక్క త్వరణం (b) తాడులో తన్యతను కనుక్కోండి.

సాధన:



పటం. 4.11

పటం 4.11 (b), (c) లు వరసగా ట్రాలీ మరియు దిమ్మె యొక్క స్వేచ్ఛా వస్తు పటాలు. a అనేది దిమ్మె మరియు ట్రాలీ యొక్క త్వరణం అయితే,

ట్రాలీ $F_N = Mg$ మరియు

$T - f_k = Ma$ ఇక్కడ $f_k = \mu_k N = \mu_k Mg$

కాబట్టి, $T - \mu_k Mg = Ma$ (1)

దిమ్మె, $mg - T = ma$ (2)

(1) మరియు (2) సమీకరణాలను కలపగా

$mg - \mu_k Mg = (M + m) a$

లేదా

$$a = \frac{mg - \mu_k Mg}{M + m} = \frac{(2kg)(9.8\,ms^{-2}) - (0.02)(10kg)(9.8\,ms^{-2})}{(10+2)kg}$$

$$a = \frac{19.6\,kg\,ms^{-2} - 1.96\,kg\,ms^{-2}}{12\,kg} = 1.47\,ms^{-2}$$

కాబట్టి, $a = 1.47\ ms^{-2}$

సమీకరణం (2) నుండి $T = mg - ma = m(g - a)$

$T = 2\ kg\ (9.8\ ms^{-2} - 1.47\ ms^{-2})$

$= 2\ kg\ (8.33\ ms^{-2})$

$T = 16.66\ N$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 4.4

1. m ద్రవ్యరాశిగల దిమ్మె θ వాలుకోణం కలిగిన గరుకు వాలుతలంపై ఉన్నది. దిమ్మెపై పనిచేసే వేరు వేరు బలాలను పటంలో చూపించండి.

2. 2 kg మరియు 3 kg దివీ ద్రవ్యరాశులు గల A మరియు B రెండు దిమ్మెలు ఘర్షణరహిత క్షితిజ సమాంతర తలంపై స్పర్శలో ఉన్నాయి. వీటిపై 100 N బలం పటంలో చూపిన విధంగా పనిచేస్తున్నది. అయిన A దిమ్మె B దిమ్మెపై పనిచేసే బలాన్ని కనుక్కోండి.

పటం. 4.12

3. 5 kg ద్రవ్యరాశిగల వస్తువును ఒక తాడు నుండి వేలాడదీసారు. తాడును

   (a) 2 ms^{-1} వేగంతో పైకి లాగిన (b) 2 ms^{-2} త్వరణంతో పైకి లాగిన తాడులో తన్యత ఎంత?

4.8 జడత్వ మరియు అజడత్వ నిర్దేశక చట్రాల ప్రాథమిక భావనలు

సరళరేఖా మార్గంలో (ఏక మితీయ) ఉన్న వస్తువు యొక్క గమనాన్ని తెలుసుకొనుటకు ఆధార బిందువు (మూల బిందువు) ఒకటి సరిపోతుంది. కాని, ద్వి మితీయ మరియు త్రి మితీయ అక్షాల్లో గమనాన్ని తీసుకున్నప్పుడు, అంతరాళంలో బిందువు యొక్క స్థానాన్ని తెలియచేయటానికి నిర్దేశక రేఖల సమూహాలను ఉపయోగించాల్సి వస్తుంది. ఈ రేఖా సమూహాన్ని నిర్దేశక చట్రాలు అంటారు.

ప్రతి వస్తువు యొక్క గమనాన్ని పరిశీలకుడు వివరించగలడు. పరిశీలకుడి యొక్క గమన స్థితి ఆధారంగా వస్తువు యొక్క గమన వివరణ కూడా మారుతుంది. ఉదాహరణకు రైల్వే స్టేషన్‌లో ప్లాట్‌ఫాం పైన నిశ్చల స్థితిలో ఒక పెట్టె ఉన్నదనుకుందాం. ప్లాట్‌ఫాంపైన నిశ్చల స్థితిలో ఉన్న పరిశీలకుడు ఆ పెట్టె నిశ్చల స్థితిలో ఉన్నట్లుగా గమనిస్తాడు. కాని రైలు v స్థిర వేగంతో కదులుతున్నప్పుడు దానిలో ఉన్న పరిశీలకుడు ఆ పెట్టె -v వేగంతో ప్రయాణిస్తున్నట్లుగా గమనిస్తాడు. ఒక వేళ రైలు త్వరణం a తో కదులుతుంటే పెట్టె యొక్క గమన వివరణ ఎలా ఉంటుంది? అప్పుడు ఆ రైలులో ఉన్న పరిశీలకుడికి పెట్టె త్వరణంతో (-a) కదులుతున్నట్లుగా కనుగొంటాడు. కాని ఈ పరిశీలన పరిశీలకుడి పరంగా మొదటి గమన నియమాన్ని పాటించడంలేదని తెలుస్తుంది.

కాబట్టి, వస్తువు యొక్క గమనాన్ని వర్ణించడానికి నిర్దేశక చట్రాన్ని పరిశీలకుడితో పాటు ఉంచాలి. వస్తువు దృష్ట్యా మరొక నిర్దేశక చట్రం దృష్ట్యా నిర్దేశక చట్రం నిశ్చలస్థితిలో ఉన్న లేదా రుజుమార్గంలో సమవేగంతో వెళుతున్నా ఆ నిర్దేశక చట్రంలో జడత్వ నియమం సరిపడుతుంది. ఇటువంటి నిర్దేశిక చట్రాన్ని జడత్వ నిర్దేశక చట్రం అంటారు. మరొక వైపు పరిశీలకుడు ఉన్న నిర్దేశక చట్రం త్వరణంతో ఉంటే అప్పుడు ఆ నిర్దేశక చట్రాన్ని అజడత్వ నిర్దేశక చట్రం అంటారు.

అజడత్వ నిర్దేశక చట్రంలో m ద్రవ్యరాశిగల వస్తువు (a) త్వరణంతో గమనంలో ఉన్నప్పుడు, ఆ వస్తువుపై మిథ్యా బలం ma తీసుకొని న్యూటన్ రెండవ గమన నియమాన్ని అనువర్తించవచ్చు. వస్తువు భ్రమణ చలనంలో ఉన్నప్పుడు ఇదే మిథ్యా బలంను అపకేంద్ర బలంగా తీసుకుంటారు.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 4.5

1. సగం నీటితో నింపబడిన గ్లాసును రైలులో క్షితిజ సమాంతర టేబుల్‌పై ఉంచారు రైలు గమనం ప్రారంభించినప్పుడు గ్లాసులోని నీటి ఉపరితలం క్షితిజ సమాంతరంగానే ఉంటుందా?

2. కారు వృత్తాకార మార్గంలో ప్రయాణించినప్పుడు, మార్గం వెలుపలకు జారుతుంది. కారులో కూర్చుని ఉన్న ప్రయాణీకుడు ఈ కారు గమనాన్ని ఎలా వివరించగలడు? కారు వెలుపల రోడ్డుపైన ఉన్న పరిశీలకుడు ఈ సంఘటనను ఎలా వివరించగలడు?

3. అప కేంద్ర యంత్రంలో నీటితో కూడిన ద్రావకాన్ని $2\pi \times 10^3$ రేడియన్/సెకన్$^{-1}$ కోణీయ వేగంతో భ్రమణం చెందించారు. దీనిలో 6×10^{-10} kg ద్రవ్యరాశి గల కణం భ్రమణాక్షం నుండి 4 cm దూరంలో ఉన్న కణంపై పనిచేసే మొత్తం అపకేంద్ర బలం ఎంత?

4. భూమి ఎంత కోణీయ వేగంతో భ్రమణంచేసినప్పుడు భూమిపై ఉన్న వస్తువులు అపకేంద్ర బలంవల్ల ఉపరితలం నుండి ఎగిరిపోతాయి? $g = 10\ ms^{-2}$ గా తీసుకోండి.

5. 2 kg ద్రవ్యరాశిగల కలిగి స్వేచ్ఛగా పడుతున్న వస్తువుకు ఆపాదించిన నిర్దేశక చట్రం దృష్ట్యా వస్తువుపై పనిచేసే జడత్వ బలం యొక్క దిశ మరియు పరిమాణం ఎంత?

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- నిశ్చలస్థితిలో ఉన్న వస్తువు మరియు రుజుమార్గంలో సమవేగంతో వెళుతున్న వస్తువు తమ స్థితిలో మార్పును వ్యతిరేకించే ధర్మమే జడత్వం.
- న్యూటన్ మొదటి గమన నియమం ప్రకారం, బాహ్యబలం ప్రయోగించనంత వరకు నిశ్చలస్థితిలో ఉన్న వస్తువు నిశ్చలస్థితిలోనూ, రుజుమార్గంలో సమ వేగంతో వెళుతున్న వస్తువు అదే మార్గంలో, అదే వేగంతోను ప్రయాణిస్తుంది.
- m ద్రవ్యరాశి గల ఒక కణం $\overline{v}$, వేగంతో ప్రయాణించినప్పుడు దాని ద్రవ్యవేగ '$\overline{p}$' సదిశను $\overline{p} = m\overline{v}$ గా నిర్వచిస్తాం.
- న్యూటన్ రెండవ గమన నియమం ప్రకారం m ద్రవ్యరాశిగల వస్తువులో ఏర్పడిన త్వరణం, అనువర్తిత నికర బలానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది
- న్యూటన్ రెండవ గమన నియమం నుండి స్థిరమైన ద్రవ్యరాశి గల వస్తువులో ఏర్పడిన త్వరణం నికర బాహ్య బలానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. F = ma.
- న్యూటన్ మూడవ గమన నియమం ప్రకారం, A మరియు B వస్తువులు అన్యోన్యచర్య జరిపినప్పుడు A వస్తువు B వస్తువుపై ప్రయోగించిన బలం, B వస్తువు A వస్తువుపై ప్రయోగించిన బలానికి సమానంగా ఉంటూ, దిశలో వ్యతిరేకంగా ఉంటుంది.

- ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమం ప్రకారం, ఒక వ్యవస్థపై బాహ్యబలాల ప్రభావం లేకపోతే, వ్యవస్థలోని కణాల మధ్య ఎటువంటి స్వభావం గల బలాలు ఉన్నప్పటికీ వ్యవస్థ యొక్క ఫలిత ద్రవ్యవేగం స్థిరంగా ఉంటుంది.
- ఒక వస్తువు మరొక వస్తువు తలంపై జారుటకు లేదా దొర్లుటకు ప్రయత్నించినప్పుడు ఆ వస్తువుపై పనిచేసే బలాన్ని ఘర్షణ బలం అంటారు. ఘర్షణ బలం ఎప్పుడూ స్పర్శిస్తున్న తలాలకు సమాంతరంగా ఉంటూ వస్తువు యొక్క గమన దిశకు వ్యతిరేక దిశలో పనిచేస్తుంది.
- వస్తువుకు మరియు అది ఉంచబడిన తలానికి మధ్యగల గరిష్ఠ స్థైతిక ఘర్షణ బలం ($f_s^{(max)}$) వస్తువుపై పనిచేసే అభిలంబ బలం F_N కు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. ఈ గరిష్ఠబలం వస్తువు తలంపై జారుటకు సిద్ధంగా ఉన్నప్పుడు ఏర్పడుతుంది.
- ఒక తలంపై వస్తువు జారునప్పుడు గతిక ఘర్షణ బలం (f_k) యొక్క పరిమాణం $f_k = \mu_k f_N$. ఇక్కడ μ_k అనేది స్పర్శిస్తున్న తలాల మధ్యగల గతిక ఘర్షణ గుణకం.
- దొర్లుడు ఘర్షణ గతిక ఘర్షణ కంటె తక్కువ కావటం వల్ల రోలర్స్ ను (wheels), బాల్‌బేరింగ్‌లను వాడటంవల్ల ఘర్షణ తగ్గుతుంది మరియు శక్తి నష్టం కూడా తగ్గుతుంది.
- న్యూటన్ గమన నియమాలను జడత్వ నిర్దేశక చట్రంలో మాత్రమే అనువర్తించగలం. ఏ నిర్దేశక చట్రంలో వియుక్త వస్తువు యొక్క త్వరణం శూన్యం అవుతుందో ఆ చట్రమే జడత్వ నిర్దేశక చట్రం.
- వస్తువు స్థైతిక సమతాస్థితిలో ఉండాలంటే దానిపై పనిచేసే అన్ని సదిశా బలాల ఫలితం శూన్యం కావాలి. అయితే ఈ నియమం బిందురూప వస్తువులకు మాత్రమే వర్తిస్తుంది.

ముగింపు అభ్యాసం

1. కింది వాటిలో ఏవి ఎప్పుడూ వస్తువుపై పనిచేసే నికర బలం దిశలోనే ఉంటాయి?

   (a) స్థానభ్రంశం (b) వేగం

   (c) త్వరణం (d) ద్రవ్యవేగంలో మార్పు.

2. వస్తువుపై స్థిర నికర బలం పనిచేసినప్పుడు, కింది వాటిలో ఏవి మారవు?

   (a) స్థానం (b) వడి

   (c) వేగం (d) త్వరణం

   మీ సమాధానాన్ని ఉదాహరణతో సమర్థించండి.

3. 0.5 kg ద్రవ్యరాశి గల బంతి భూమిని 4 s కాలంలో చేరునట్లుగా కొంత ఎత్తు నుండి స్వేచ్ఛగా వదిలితే, బంతి ద్రవ్యవేగంలో మార్పుని లెక్కించండి.

4. 2 kg ద్రవ్యరాశి గల వస్తువుపై కింది విధంగా బలాన్ని ప్రయోగించినప్పుడు ఏ సందర్భంలో ద్రవ్యవేగంలో మార్పు గరిష్ఠంగా ఉంటుంది?

(a) 10 N బలం వస్తువుపై 1 s కాలం పనిచేసిన

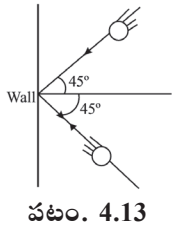
(b) 10 N బలం వస్తువుపై 1 m దూరం పనిచేసిన సందర్భాల్లో ద్రవ్య వేగంలో మార్పు కనుగొనండి.

5. 20 kg ద్రవ్యరాశి గల బంతి గాలిలో 6 ms^{-2}. త్వరణంతో పడుతున్నది. అయిన వస్తువుపై గాలి వల్ల కలిగిన నిరోధ బలాన్ని కనుక్కోండి.

6. 20 kg ద్రవ్యరాశి గల భారాన్ని తాడు సహాయంతో స్థిర త్వరణంతో పైకి తీసుకు వెళ్ళారు. భారం 2 s కాలంలో 5 m ఎత్తుకు వెళుతుంది. తాడులో గల తన్యతను కనుక్కోండి. రాకెట్‌లో ద్రవ్యరాశి (m) కాలంతో మారుతుంది. రాకెట్ గమనానికి గుణాత్మకంగా న్యూటన్ రెండవ గమన నియమాన్ని వ్రాయండి మరియు భౌతిక వివరణ ఇవ్వండి. ($g = 10\ ms^{-2}$)

7. రాకెట్ ద్రవ్యరాశి 'm' కాలంతో పాటు మారుతుంది. రాకెట్ విషయంలో న్యూటన్ నియమానికి గణిత రూపాన్ని రాసి, భౌతిక ప్రాధాన్యతను వివరించండి.

8. 0.1 kg ద్రవ్యరాశి గల ఒక బంతి 10 ms^{-1} వడితో ప్రయాణిస్తూ గోడను పటంలో చూపిన విధంగా తాకి తిరిగి అదే వడితో అపవర్తనం చెందింది. అయితే బంతి యొక్క ద్రవ్యవేగ పరిమాణంలో మార్పు ఎంత?



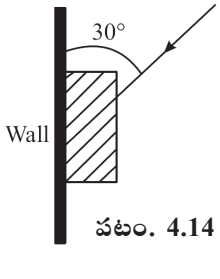
పటం. 4.13

9. ఒక మెషీన్ గన్ నిమిషానికి 150 బుల్లెట్లను పేల్చుతుంది. బుల్లెట్ యొక్క వేగం 900 ms^{-1} అయితే మెషీన్ గన్ యొక్క ప్రత్యవర్తక వేగం ఎంత? బుల్లెట్ యొక్క ద్రవ్యరాశి 12 g.

10. వేగంగా వెళ్ళే బంతిని పట్టుకొనేప్పుడు, చేతులను ఎందుకు వెనకకు లాగుతారో వివరించండి.

11. 2 kg ద్రవ్యరాశి గల నిశ్చలస్థితిలో ఉన్న వస్తువుపై 20 N స్థిరబలం 2 s కాలం పాటు ప్రయోగించారు. అయిన (a) వస్తువు కదిలిన కాలం 1 s తరవాత (b) వస్తువు కదిలిన కాలం 3 s తరవాత వస్తువు యొక్క వేగాన్ని కనుక్కోండి.

12. పటంలో చూపిన విధంగా దిమ్మెపై పనిచేసే బలం, దిమ్మెను గోడ నుండి కిందకు జారకుండా ఏవిధంగా ఉంచగలుగుతుంది?డ



పటం. 4.14

13. 1.2 kg ద్రవ్యరాశి గల దిమ్మె క్షితిజ సమాంతర తలంపై నిశ్చల స్థితిలో ఉంది. దిమ్మెకు తలానికి మధ్య స్థైతిక ఘర్షణ గుణకం 0.5. కింద తెలపబడిన బాహ్య బలాలు వస్తువు పై క్షితిజ సమాంతరంగా ప్రయోగింపబడినప్పుడు వస్తువు పై పనిచేసే ఘర్షణ బలం పరిమాణం మరియు దిశను కనుక్కోండి.

(a) 0 N? (b) 4.9 N? (c) 9.8 N?

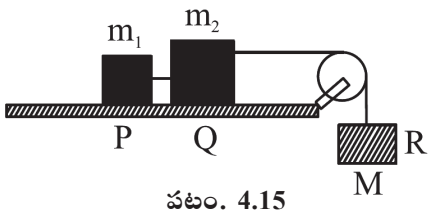
14. దిమ్మె ఒక తలంపై ఉన్నప్పుడు గరిష్ఠ స్థైతిక ఘర్షణ బలం 10 N. నిశ్చల స్థితిలో ఉన్న ఆ దిమ్మెపై క్షితిజ సమాంతరంగా 5 N బాహ్య బలాన్ని ప్రయోగించినప్పుడు దిమ్మెపై గల ఘర్షణ బలంను కనుక్కోండి.

15. 30^0 వాలు కోణం గల వాలు తలంపై 5 kg ద్రవ్యరాశి గల దిమ్మె ఉన్నది. దిమ్మెకు వాలు తలానికి మధ్యగల స్థైతిక ఘర్షణ గుణకం 0.25 అయితే దిమ్మెను నిశ్చలస్థితిలో ఉంచడానికి ఎంత కనిష్ఠ బలం (F) అవసరం అవుతుంది? ($g = 10\ ms^{-2}$)

16. P మరియు Q అనే రెండు దిమ్మెల ద్రవ్యరాశులు వరసగా $m_1 = 2$ kg మరియు $m_2 = 3$ kg. ఇవి పరస్పరం స్పర్శలో ఉంటూ ఘర్షణరహిత క్షితిజ సమాంతర తలంపై ఉన్నాయి. P దిమ్మెపై F = 10 N బాహ్యబలం క్షితిజ సమాంతరంగా ప్రయోగిస్తే,

(a) దిమ్మెల త్వరణాన్ని (b) P దిమ్మె Q దిమ్మెపై ప్రయోగించే బలాన్ని కనుక్కోండి.

17. P మరియు Q దిమ్మెల యొక్క ద్రవ్యరాశులు $m_1 = 2$kg మరియు $m_2 = 4$ kg వీటిని పటం 4.15లో చూపిన విధంగా మరొక దిమ్మె R ద్రవ్యరాశి Mకు కలిపి ఉంచారు. M యొక్క ఎంత గరిష్ఠ విలువకు వ్యవస్థ సమతాస్థితిలో ఉంటుంది? ఇక్కడ P మరియు Q దిమ్మెలపై పనిచేసే ఘర్షణ బలం వాటి అభిలంబ బలానికి సగం ఉంటుంది



పటం. 4.15

18. 37^0 వాలు కోణం కలిగిన వాలు తలంపైకి 2 kg ద్రవ్యరాశి గల దిమ్మెను $20\ ms^{-1}$ వేగంతో తోసారు. అయిన దిమ్మె వాలు తలంపై నిశ్చలస్థితి వచ్చేలోగా ఎంత దూరం ప్రయాణిస్తుంది? దిమ్మెకు మరియు వాలు తలానికి మధ్యగల గతిక ఘర్షణ గుణకం $g = 10\ ms^{-2}$, $\sin 37° = 0.6$, $\cos 37° = 0.8$. గా తీసుకోండి.

19. కణం రేఖీయ ద్రవ్యవేగం $p = at + b$ అని ఇవ్వబడింది. ఇక్కడ a, b లు ధనాత్మక స్థిరాంకాలు, t–కాలం అయితే కణంపై పనిచేసే బలం ఎంత?

20. నునుపైన సమాంతర తలంపై 10 kg ద్రవ్యరాశితో ఉండే దిమ్మె A ను ఉంచారు. దీనిపై 5 kg ద్రవ్యరాశితో ఉండే దిమ్మె Bను ఉంచారు. రెండు దిమ్మెల మధ్య ఘర్షణ గుణకం 0.2. పటంలో చూపిన విధంగా 20 N ల క్షితిజ సమాంతర బలాన్ని కింది దిమ్మెపై ప్రయోగించారు. అయితే దిమ్మెల మధ్య పనిచేసే ఘర్షణ బలం ఎంత? ($g = 10\ ms^{-2}$). [$F = (m_1 + m_2)\ a$]

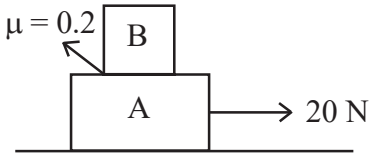
21. 60 kg ద్రవ్యరాశిని కలిగిన వ్యక్తి లిఫ్ట్‌లోని వేయింగ్ మిషన్‌పై నిల్చొని ఉన్నాడు. కింది సందర్భాల్లో అది చూపే భారం రీడింగ్‌లు ఎంత?

(a) లిఫ్ట్ $1.2\ ms^{-2}$ త్వరణంతో పైకి వెళ్తున్నప్పుడు

(b) $1.2\ ms^{-2}$ త్వరణంతో లిఫ్ట్ కిందికి వెళ్తున్నప్పుడు

(c) $5\ ms^{-1}$ సమవేగంతో లిఫ్ట్ పైకి వెళ్తున్నప్పుడు

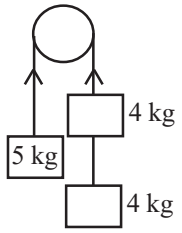
(d) లిఫ్ట్ స్వేచ్ఛగా పడిపోతున్నప్పుడు



పటం. 4.16

22. 3 kg, 4 kg ద్రవ్యరాశులతో ఉండే రెండు దిమ్మెలను తేలికైన తీగ చివరలకు కట్టి, ఘర్షణ లేని కప్పీ ద్వారా వేలాడదీశారు. వ్యవస్థ త్వరణం, తీగలోని తన్యతలను కనుక్కోండి. ($g = 10\ ms^{-2}$)

23. నునుపైన తలాన్ని కలిగిన ఒక స్థిర కప్పీపై తేలికైన తీగ రెండు చివరల 5 kg, 4 kg దిమ్మెలను కట్టి వేలాడదీసారు. మరొక తేలికైన తీగతో మరో 4 kg ద్రవ్యరాశితో ఉండే దిమ్మెను పటంలో చూపిన విధంగా 4 kg ద్రవ్యరాశితో ఉండే దిమ్మెకు వేలాడదీసి, వ్యవస్థను నిశ్చల స్థితి నుంచి వదిలివేస్తే, ఉమ్మడి త్వరణం ఎంత? ($g = 10\ ms^{-2}$)



పటం. 4.17

24. ఇద్దరు వ్యక్తులు ఒక తాడును ఇరువైపులా F. బలంతో లాగితే తాడులోని తన్యత ఎంత?

25. సైకిల్ బ్రేక్ పనితీరులో ఘర్షణ పాత్రను వివరించండి. ఒకవేళ సైకిల్ రిమ్‌పై కొన్ని చుక్కల నూనెను వేస్తే ఏమౌతుంది?

పాఠంలోని ప్రశ్నలకు సమాధానాలు

4.1

1. లేదు. అన్ని సందర్భాల్లో నిజం కాదు. వృత్తాకార చలనంలో బలం చలనం(వేగం) దిశకు లంబంగా పనిచేస్తుంది.
2. జడత్వ ద్రవ్యరాశి.
3. అవును, ఏకరీతి వృత్తాకార చలనంలో వలె ఉంటుంది.
4. బలం గమనాన్ని మార్చగలదు మరియు వస్తువు స్థితిని, ఆకారాన్ని మార్చగలదు.
5. సాపేక్షమైనవి
6. వస్తువుతో ముడిపడిన ఊహాత్మక నిరూపక వ్యవస్థ

4.2

1. $P = mv =$ స్థిరం

   $mv =$ స్థిరం

   $$v \propto \frac{1}{m}$$

   తక్కువ ద్రవ్యరాశితో ఉండే వస్తువు వేగంగా కదులుతుంది.

2. (a) అవును, (b) లేదు.
3. $p = mv$: m దాని గమన దిశలో గురుత్వాకర్షణ బలం పనిచేయడంవల్ల, వస్తువు వేగం పెరిగి, ద్రవ్యవేగంలో మార్పు కలుగుతుంది.

4. $F = \dfrac{\Delta p}{\Delta t} \quad \Rightarrow \Delta p = f \times \Delta t$

సందర్భం (b) లో ద్రవ్యవేగంలో మార్పు గరిష్ఠం. ఇక్కడ $F\Delta t$ లబ్ధం ద్రవ్యవేగంలో మార్పును ఇస్తుంది.

5. లేదు. వడి స్థిరంగా ఉన్నప్పటికీ, దిశ మారుతున్నందున వేగం మారుతుంది కాబట్టి ద్రవ్యవేగం స్థిరంగా ఉండదు.

4.3

1. హైజంపర్ భూమిని వదిలినప్పుడు, భూమిని ఎంత బలంతో కిందికి నెడతాడో అంతే బలం భూమి అతడిపై ప్రయోగించడంవల్ల పైకి ఎగురగలుగుతాడు. హైజంపర్ భూమిపై ప్రయోగించే బలం చర్య అయితే, భూమి అతడిపై ప్రయోగించిన బలం ప్రతిచర్య అవుతుంది.

2. (a) మనషి ఎంత బలంతో ఫుట్‌బాల్‌ను తన్నాడో అది చర్య మరియు ఫుట్‌బాల్ మనిషిపై ఎంత బలాన్ని ప్రయోగిస్తుందో అది ప్రతిచర్య.

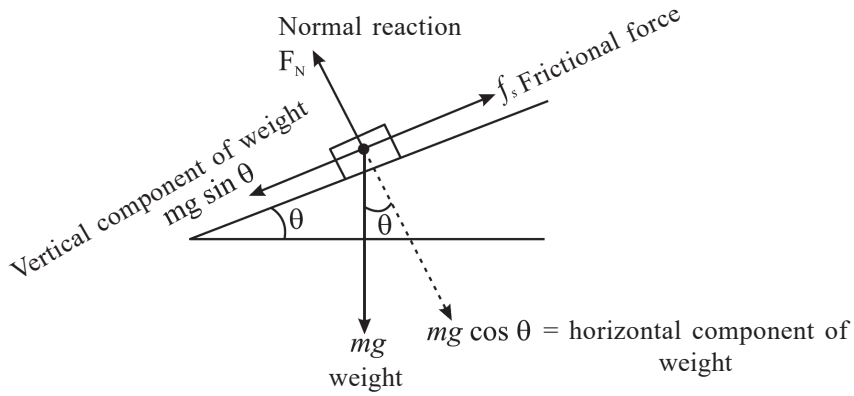
   (b) భూమి, చంద్రుడిని ఎంత బలంతో లాగుతుందో అది చర్య మరియు చంద్రుడు భూమిపై ఎంత బలాన్ని ప్రయోగిస్తుందో అది ప్రతిచర్య.

   (c) బంతి గోడపై కలగచేసే బలం చర్య, అప్పుడు గోడ బంతిపై కలగచేసే బలం ప్రతిచర్య.

3. లేదు. తెలపబడిన వాదన సరియైనది కాదు. వ్యక్తి బీరువాపై ప్రయోగించిన బలం బీరువాకు భూతలానికి మధ్యగల ఘర్షణ బలం కంటె అధికమైనప్పుడు బీరువా కదులుతుంది. వ్యక్తికి భూతలానికి మధ్య గల అధిక ఘర్షణ బలంవల్ల అతను వెనకకు కదలడు. మరియు ఒక వేళ తలం నునుపుగా ఉంటే ఆ వ్యక్తి బీరువాను ముందుకు నెట్టలేడు.

4.4

1.

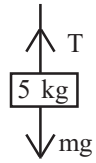


పటం. 4.18

2. $a = \dfrac{F}{m_1 + m_2} = \dfrac{100N}{(2+3)kg} = 20\,ms^{-2}$

$F = m_1 a = 2 \times 20 = 40$ N

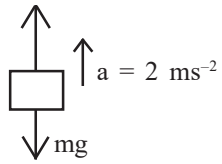
3. (a)



$T = mg = (5 \times 9.8)$ N

$T = 49.0$ N

(b)



$T - mg = ma$

$T = m(g + a)$

$= 5 \text{ kg } (9.8 + 2)$

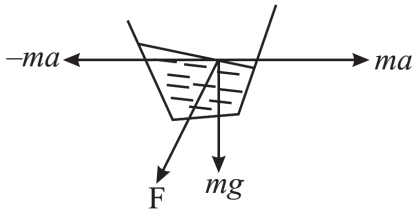
$= 5 (11.8)$ N

$T = 59$ N

4.5

1. రైలు a త్వరణంతో కదిలింది అనుకొంటె, రైలుకు కలపబడిన నిర్దేశక చట్రం దృష్ట్యా నీటిపై పనిచేసే ఫలిత బలం

$$F = mg - ma$$



పటం. 4.19

ఇక్కడ m అనేది గ్లాసు మరియు నీటి యొక్క ద్రవ్యరాశి. పటం (4.19)లో చూపిన విధంగా నీటి ఉపరితలం ఫలిత బలం F కు లంబంగా ఉండే దిశలో కదులుతుంది.

2. కారులో కూర్చున్న వ్యక్తికి కారుపై అపకేంద్ర బలం $\left(\frac{-mv^2}{r}\right)$ పనిచేస్తున్నట్లుగా తెలుస్తుంది. వేగం v ఎక్కువగా ఉన్న r ఎక్కువగా ఉంటుంది. రోడ్డుపై నిల్చున్న వ్యక్తికి కారు వక్రమార్గంలో $\frac{mv^2}{r}$ అభికేంద్ర త్వరణంతో కదులునట్లుగా ఉంటుంది. ఇక్కడ కూడా v ఎక్కువగా ఉన్న వక్ర మార్గం యొక్క r కూడా ఎక్కువగా ఉండును.

3. కణంపై పనిచేసే నికర అపకేంద్ర బలం

$$F = m\omega^2 r = \left(6 \times 10^{-12}\, kg\right)\left(2\pi \times 10^3\, rad\, s^{-1}\right)^2 \times \left(0.04\, m\right)$$

$$= 9.6 \times 10^{-4} \text{ N.}$$

4. వస్తువు భూ ఉపరితలం నుండి ఎగిరిపోవాలంటే అపకేంద్ర బలం (= అభికేంద్ర బలం) వస్తువు యొక్క భారానికి సమానంగా ఉండాలి.

భూమి వ్యాసార్ధం r అయిన $\frac{mv^2}{r} = mg \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{rg}$

కాని, $v = r\omega$ కాబట్టి $\omega = v / r$

కోణీయ వేగం $\omega = \frac{\sqrt{rg}}{r} = \sqrt{\frac{g}{r}}$

5. శూన్యం

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

1. (d)

2. (a) అంతర్గత బలాలు పదార్థంలో ఏర్పడిన అవి బాహ్య బలాలను వ్యతిరేకిస్తాయి. గోడపై బలాన్ని ప్రయోగించిన పై సందర్భం ఏర్పడును.

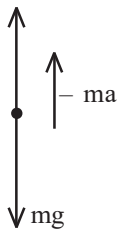
   (b) ఒక వేళ బలం వస్తువు యొక్క గమన దిశకు లంబంగా ప్రయోగింపబడితే, వస్తువు యొక్క వడిలో మార్పు ఉండదు కాని గమన దిశ మారుతుంది.

3. v = u + at

   v = 0 + (9.8) × 4 $\Rightarrow$ v = 40 ms^{-1}

   $\Delta P = m(v-u) = 0.5(4.0-v) = 20\,kg\,ms^{-1}$

4. 10 N బలం 1s కాలంతో పనిచేసిన, ద్రవ్యవేగంలో మార్పు గరిష్ఠం. $\Delta P = F\Delta t$.

5. 

   ∴ గాలి వల్ల కలిగే నిరోధ బలం = mg – ma
   = m (g – a)
   = 0.2 kg (9.8 – 6) ms^{-2}
   = 0.2 × 3.8 kg ms^{-2}
   = 0.76 N

6. T = m (g + a)

   s = ut + 1/2 at^2 నుండి

   s = 0 + 1/2 × a × 2^2 $\Rightarrow$ 5 = 1/2 × a × 4

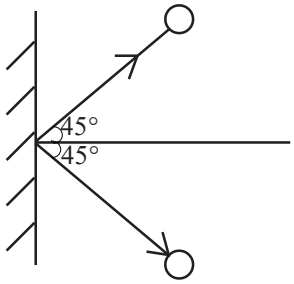
   $$a = \frac{5}{2} = 2.5\,ms^{-2}$$

   $$\therefore \quad T = 20\,kg(10+2.5)\,ms^{-2} = 20\,kg \times 12.5\,ms^{-2}$$

   T = 250 kg ms^{-2}

7. $F = \frac{d}{dt}(mv)$. రాకెట్ ద్రవ్యరాశి మారుతుంది. కాబట్టి $F = m\frac{dv}{dt} + v\frac{dm}{dt}$.

8. u, v ల క్షితిజ సమాంతర అంశాలు సమానం. కాబట్టి వేగంలో మార్పు



$(\Delta v) = 2u \cos\theta$.

$\Delta P = m \Delta v$

$= 0.1 \times 2 \times 10 \times \cos 45°$

$\Delta P = 2 \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}\, kg\, ms^{-1}$

9. $F = \left(\frac{mv}{t}\right) \times n = \frac{12 \times 10^{-3} kg \times 900 ms^{-1} \times 150}{60 s}$

$$= \frac{\overset{3}{\cancel{12}} \times 9 \times \cancel{15} \times 10^{-3} \times 10^{3}}{\underset{4}{\cancel{60}}} = 27N$$

10. ప్రచోదనం = బలం × కాలం

కాలం విలువను పెంచితే చేతులపై పనిచేసే బలాన్ని తగ్గించవచ్చు.

11. F = 20 N, m = 2 kg $a = F/m = \frac{20}{2} = 10 ms^{-2}$

(a) $v = u + at \Rightarrow v = 0 + 10 \times 1 \Rightarrow v = 10 m/s$

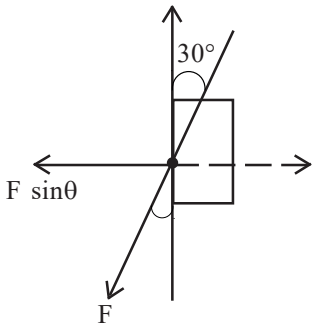
(b) బలం t = 2s మాత్రమే పనిచేస్తుంది. ఘర్షణ లేకపోతే 2 సెకన్ల తరువాత స్థిరవేగంతో చలిస్తుంది.

∴ v after t = 2 s తరువాత

v = 0 + 10 × 2 = 20

∴ v = 20 m/s.

12.



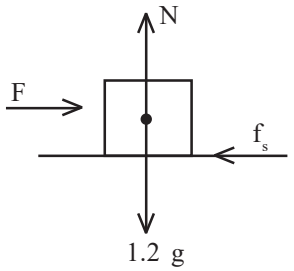
అభిలంబ ప్రతిచర్య N = F sin θ

ఘర్షణ బలం $F = \mu_s N$

$F = \mu_s F \sin\theta$

ఘర్షణ బలం (F), బరువు కంటే ఎక్కువైతే, దిమ్మె కిందికి జారదు.

13.



$N = mg = 1.2$ kg; $g = 10\ ms^{-2}$

$\therefore N = 12$ N ; $\mu_s = 0.5$

$f_s = \mu_s N$

$f_s = 0.5 \times 12 = 6$ N

(a) = 0 N

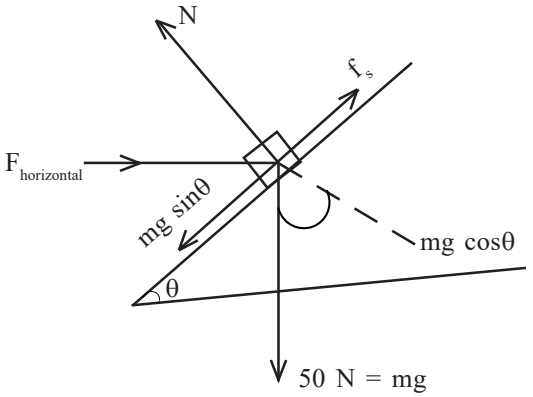
(b) $4.9N < 6N \Rightarrow$ ఘర్షణ $= 4.9N$

(c) 6 N కంటే 9.8 N ఎక్కువ. కాబట్టి గతిక ఘర్షణ $f_k = \mu_k N$, ఇది స్థైతిక ఘర్షణ $f_s = \mu_s N$ కంటే తక్కువ.

14. $f_s = 10$ N, ప్రయోగించిన బలం (5 N) గరిష్ట ఘర్షణ బలం కంటే తక్కువ. కాబట్టి ఈ సందర్భంలో ఘర్షణ 5 N మాత్రమే.

15. అభిలంబ ప్రతిచర్య $N = mg\cos\theta + F\sin\theta$

ఘర్షణ బలం $f_s = \mu_s N = \mu_s(mg\cos\theta + F\sin\theta)$



$F\cos\theta = \mu_s(mg\cos\theta + F\sin\theta)$,

అయితే వస్తువు సమతాస్థితిలో ఉంటుంది.

$$F \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.25\left(50 \times \frac{\sqrt{3}}{2} + F \times \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$$

$$\frac{\sqrt{3}F}{2} - \frac{F}{4\sqrt{2}} = 50 \times 0.25\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$F\left[\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{4\sqrt{2}}\right] = 25 \times 0.25 \times \sqrt{3}$$

$$F\left[\frac{1.732}{2} - \frac{0.25}{1.414}\right] = 625 \times 1.732 \times 10^{-2}$$

$$F\,[0.866 - 0.176] = 10.825$$

$$F\,(0.69) = 10.825$$

$$F = \frac{10.825}{0.69} = 15.6N$$

16. $a = \dfrac{F}{m_1 + m_2} = \dfrac{10}{5} = 2ms^{-2}$

$F = ma = 3 \times 2 = 6$ N

17. 6a = M ____ (1)

$$f_{r_1} = \frac{m_1 g}{2} = \frac{20}{2} = 10\,N \qquad f_{r_2} = \frac{m_2 g}{2} = \frac{40}{2} = 20\,N$$

$$f_{r_1} + f_{r_2} = Mg \quad \Rightarrow \quad 30\,N = M \times 10 \quad \Rightarrow M = 3\,kg.$$

18. $a = m(\sin\theta + \mu\cos\theta)$

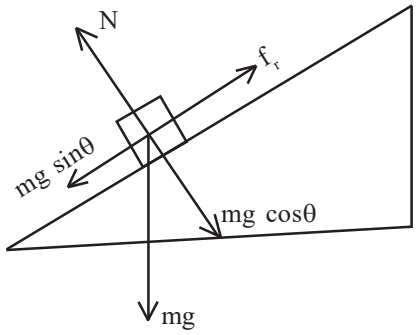
$a = 10(\sin 37° + 0.5\cos 37°) = 10(0.6 + 0.5 \times 0.8)$

a = 10 ms^{-2}

$v^2 - u^2 = 2as$

$0 - (20)^2 = 2 \times 10 \times s$

$$s = \frac{400}{200} = 20\,m$$



19. $p = at + b$; $F = \frac{dp}{dt} = a$

20. $f = (m_1 + m_2)a \quad \Rightarrow \quad 20 = 15a$

$$a = \frac{20}{15} = \frac{4}{3} ms^{-2}$$

$$f_r = m_2 a = 5 \times \frac{4}{3} = 6.6\,N$$

21. (a) $W = m(g + a) = 60\,(9.8 + 1.2) = 60 \times 11 = 660\,N$

(b) $W = m(g - a) = 60(9.8 - 1.2) = 60(8.6) = 516\,N$

(c) $a = 0 \quad W = mg = 60 \times 9.8 = 588\,N$

(d) W = m (g – a) = m (g – g) = 0.

22. $$a = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right) g = \left(\frac{4-3}{7}\right) \times 10 = 1.4\,ms^{-2}$$

$$T = \left(\frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2}\right) g = \left(\frac{2 \times 3 \times 4}{7}\right) \times 10 = 34.2\,N$$

23. 5 kg దిమ్మెకు T – 50 = 5a

మిగతా రెండు దిమ్మెలకు 80 – T = 8a

$$a = \frac{30}{13} = 2.4\,ms^{-2}$$

24. T = F.

25. రిమ్‌కి, బ్రేక్ బ్లేడుల మధ్య ఘర్షణ వల్ల సైకిల్‌కి బ్రేకులు వేస్తే ఆగుతుంది. రిమ్‌పై నూనె చుక్కలు వేస్తే రిమ్ నునుపుగా నూరి ఘర్షణ తగ్గి, బ్రేకులు సరిగా పనిచేయవు.

5

పని, శక్తి మరియు సామర్థ్యం

పరిచయం

న్యూటన్ గమని నియమాలు 'బలం' అనే పదం చుట్టూ పరిభ్రమిస్తాయి. బలం వస్తువుకు చలనాన్ని కలిగించడంతో పాటు, దాని ఆకార పరిమాణాల్లో మార్పును తెస్తుంది. ఈ అధ్యాయంలో మీరు పని, శక్తి భావనలను గురించి నేర్చుకొంటారు. మన నిజజీవితంలో పనిని ఎన్నో సందర్భాల్లో ఉపయోగిస్తాం. ఉదాహరణకు ఆఫీసులో టైపింగ్ పని, ఇంట్లో వంట పని మొదలగునవి. కాని ఈ పనులన్నీ భౌతికశాస్త్రం దృష్ట్యా పనులు కాక, విభిన్నమైనవి. పని చేసేందుకు వక్తి అవసరమని మీరు నిర్ధారణకు వస్తారు. పని అనే పదం బలం, స్థానభ్రంశం మరియు ఆ రెండు సదిశల మధ్య ఉండే కోణాలతో ముడిపడి ఉంటుంది. ప్రకృతిలో ఎన్నో రకాల శక్తులు ఉన్నాయని మనకు తెలుసు. ఉదాహరణకు సౌరశక్తి, పవనశక్తి, భూగర్భశక్తి మొదలగునవి. శక్తి, పనులు పరస్పరం మార్పిడికి గురయ్యే పదాలే కాక, ఒకానొక సందర్భంలో సర్వసమానాలు. నిర్ణీత సమయంలో వినియోగించిన శక్తిని లేదా చేసిన పనిని సామర్థ్యం (power) అంటారు.

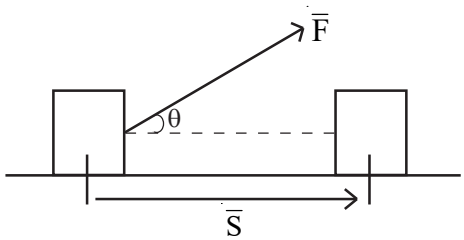
లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరవాత మీకు కింది విషయాలు తెలుస్తాయి.

- బలం వల్ల జరిగిన పనిని నిర్వచించటం, మరియు పనికి ప్రమాణం తెలపడం.
- బాహ్యబల ప్రయోగంవల్ల జరిగిన పనిని లెక్కించడం.
- పని–శక్తి సిద్ధాంతాన్ని ప్రవచించడం.
- ఒక వ్యవస్థ సామర్థ్యం నిర్వచించడం.
- కొంత ద్రవ్యరాశి ఒక బిందువు నుండి మరొక బిందువుకు కదిలినప్పుడు గురుత్వం వల్ల జరిగిన పనిని గణించడం.
- శక్తి యొక్క అర్థాన్ని వివరించడం.
- గురుత్వ స్థితిశక్తికి మరియు స్థితిస్థాపక స్థితిశక్తులకు సమాసాలు ఉత్పాదించడం.
- భౌతిక వ్యవస్థలకు, శక్తినిత్యత్వ నియమాన్ని అనువర్తించడం మరియు
- స్థితిస్థాపక అభిఘాతాలకు శక్తి నిత్యత్వ నియమాన్ని మరియు ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమాన్ని అనువర్తించడం.

5.1 పని

వేరు వేరు వ్యక్తులకు పని అనే పదం వేరు వేరు అర్థాలను కలిగి ఉంటుంది. మీరు చదువుతూ ఉంటే మానసికంగా పనిచేస్తారు. ఒక కార్మికుడు బస్తాను, తలపై మోస్తూ దూరంగా తీసుకొని వెడుతుంటే అతను గురుత్వ బలానికి వ్యతిరేకంగా శారీరక పనిచేస్తాడు. కాని విజ్ఞానశాస్త్ర పరంగా పనికి ఒక ప్రత్యేక అర్థం ఉంది. పని యొక్క సాంకేతిక అర్థం ఎల్లప్పుడూ సాధారణ అర్థంవలె ఉండదు. పనిని కింది విధంగా నిర్వచిస్తారు.



పటం. 5.1 : ఒక దిమ్మెపై గల బలం $\bar{F}$ దానిని $\bar{S}$ క్షితిజ సమాంతర దూరం కదిలించింది. బల దిశ క్షితిజ సమాంతర దిశతో కోణం చేస్తున్నది

ఒక స్థిరబలం **F** ఒక వస్తువుపై పనిచేసి దానికి **d** స్థానభ్రంశం కలిగించింది అనుకుందాం. అంటే పటం 5.1 లో చూపినట్లు క్షితిజ తలంపై సరళరేఖ వెంబడి **d** దూరం కదులుతుంది. ఒక బలం చేసిన పని వస్తు స్థానభ్రంశ దిశలో బలం యొక్క అంశం పరిమాణానికి వస్తువు స్థానభ్రంశానికి గల లబ్ధానికి సమానం.

ప్రవర్తించే బలం **F** వస్తువు స్థానభ్రంశం $\bar{S}$ పరంగా θ కోణం చేస్తూ ఉంటే, $\bar{S}$ దిశ వెంబడి దాని అంశం $F\cos\theta$ అవుతుంది. అప్పుడు బలం **F** చేసిన పని

$$W = \bar{F}.\bar{S} = FS\cos\theta = (F\cos\theta)S \qquad (5.1)$$

సదిశా రూపంలో జరిగిన పని,

$\bar{F}$, $\bar{S}$ ల మధ్య బిందు లబ్ధానికి సమానం.

$$W = \bar{F}.\bar{S} \qquad (5.2)$$

పై సమీకరణం నుండి $S = 0$ అయితే $W = 0$ అని గమనించవచ్చు. అంటే బల పరిమాణం ఎంతైనాగాని, స్థానభ్రంశం లేకపోతే, ఆ బలంవల్ల జరిగిన పని శూన్యం. అంతేకాక బలం మరియు స్థానభ్రంశం రెండూ సదిశలు మరియు పని ఒక అదిశ అని గమనించాలి.

కృత్యం 6.1

మీరు మరియు మీ స్నేహితులు ఒక గది యొక్క గోడను నెట్టడానికి ప్రయత్నించండి. ప్రయోగించిన బలంతో నిమిత్తం లేకుండా ఆ గోడ కదలదు. అంటే పని జరగలేదని అంటాం.

సమీకరణం 5.1 ను ఉపయోగించి పని యొక్క ప్రమాణాలను నిర్వచించవచ్చు. ప్రయోగించిన బలం న్యూటన్‌ల్లోను, స్థానభ్రంశం మీటర్‌లలోను ఉంటే అప్పుడు పని యొక్క ప్రమాణం జౌల్.

(బల ప్రమాణం) × (స్థానభ్రంశం ప్రమాణం) వ న్యూటన్ మీటర్ = న్యూ మీ(Nm)

ఈ ప్రమాణానికి ప్రత్యేకమైన పేరు జౌల్ అని ఇవ్వబడినది. దీనిని అ తో సూచిస్తారు.

ఒక న్యూటన్ బలం ఒక మీటరు స్థానభ్రంశాన్ని కలగచేస్తే అది చేసిన పనిని జౌల్ అంటారు. ఇదే జౌల్‌కు నిర్వచనం. పని యొక్క SI ప్రమాణం జౌల్.

ఉదాహరణ 5.1

పని యొక్క మితి ఫార్ములాను కనుక్కోండి.

సాధన :

$$W = \text{బలం} \times \text{స్థానభ్రంశం}$$

$$= \text{ద్రవ్యరాశి} \times \text{త్వరణం} \times \text{స్థానభ్రంశం}$$

$$\text{పని యొక్క మితి} = [M] \times [LT^{-2}] \times [L]$$

$$= [ML^2T^{-2}]$$

విద్యుత్ కొలతల్లో, కిలోవాట్-గంట (kW h) ను పనికి ప్రమాణంగా ఉపయోగిస్తారు. ఇది జౌల్‌తో కింది విధంగా సంబంధం కలిగి ఉంటుంది.

$$1 \text{ kW h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

దీని గురించి మరింత వివరంగా తరవాత అధ్యయనం చేస్తారు.

ఉదాహరణ 5.2

ఒక వస్తువుపై క్షితిజ సమాంతరంతో 60^0 కోణం చేస్తూ, 6N ల బలం ప్రయోగించబడింది. ఆ వస్తువు క్షితిజ సమాంతర దిశలో 2 మీ. స్థానభ్రంశం చెందితే, జరిగిన పనిని లెక్కించండి.

సాధన :

సమీకరణం 5.1 నుండి

$$W = FS \cos \theta$$

$$= 6 \times 2 \times \cos 60^\circ$$

$$= 6 \times 2 \times (½)$$

$$= 6 \text{ J}$$

ఉదాహరణ 5.3

ఒక వ్యక్తి 5 కి.గ్రా బంగాళాదుంపలను కింది అంతస్థు నుండి 4 మీ ఎత్తులో గల మొదటి అంతస్థుకు తీసుకు వెళ్లాడు. జరిగిన పనిని గణించండి.

సాధన :

బంగాళదుంపలను పైకి తీసుకొని వెళ్ళడంవల్ల అతను గురుత్వాకర్షణ బలానికి వ్యతిరేకంగా పనిచేస్తాడు. కాబట్టి,

$$\text{బలం} = mg$$

$$= 5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ ms}^{-2}$$

$$= 49 \text{ N}$$

$$\text{జరిగిన పని} = 49 \times 4 \text{ (N m)}$$

$$= 196 \text{ J}$$

5.1.1 వివిధ సందర్భాల్లో బలం చేసిన పని

మనం పనికి నిర్వచనాన్ని $W = FS \cos\theta$ అని తెలుసుకొన్నాం. ఇక్కడ θ బలం, స్థానభ్రంశాల మధ్యకోణం. కాబట్టి పని స్వభావాన్ని తెలుసుకోవడంలో బలం, స్థానభ్రంశాలతో పాటు, వాటి మధ్యకోణం కూడా ముఖ్యమైనదే.

$$W = FS \cos\theta$$

1. $\theta = 0°$ అయితే $\cos\theta° = 1$

$$\therefore W = FS$$

కాబట్టి ఈ సందర్భంలో పని ధనాత్మకం. ఉదాహరణకు కారు వేగాన్ని పుంచుకొనే సమయంలో ఇంజిన్ చేసే పని ఈ సందర్భంలో బలం, స్థానభ్రంశాలు రెండూ ఒకే దిశలో ఉంటాయి.

2. $\theta = 180°$, అయితే $\cos 180° = -1$

$$\therefore W = -FS$$

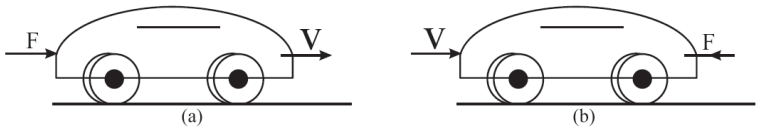
ఇందులో బలం చేసిన పని రుణాత్మకం. ఉదాహరణకు కారుకు బ్రేకులు వేసినప్పుడు బలం, స్థానభ్రంశాలు పరస్పరం వ్యతిరేక దిశల్లో ఉంటాయి.

$\theta = 180°$ వద్దనే కాకుండా 180^0 నుంచి 270^0 మధ్య ఉండే అన్ని θ విలువలకు పని రుణాత్మకం.

3. $\theta = 90°$ అయితే $\text{Cos } 90° = 0$

$$W = 0$$

ఉదా: రైల్వే ప్లాట్‌పై, తలపై సూటుకేసు పెట్టుకొని చాలా దూరం నడిచే కూలీ చేసిన పని శూన్యం. కాని అతని కండర వక్తితో పని జరుగుతుంది.



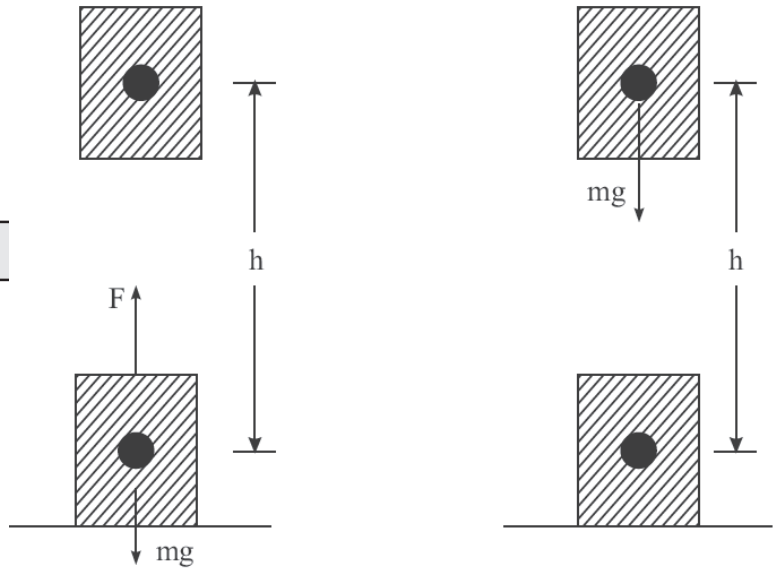
పటం. 5.2 : క్షితిజ సమాంతర తలంపై చలిస్తున్న కారు. (a) కారు చలిస్తున్న దిశలో బలం ప్రయోగించబడింది. అది త్వరణీకరించబడుతుంది.
(b) కారు చలిస్తున్న దిశ వ్యతిరేక దిశలో F బలం ప్రయోగించబడింది. కాబట్టి కొంత దూరం ప్రయాణించిన తరువాత కారు నిశ్చల స్థితికి వచ్చింది.

5.1.2 గురుత్వ బలం వల్ల జరిగిన పని

పటం. 5.3 (a) లో చూపిన విధంగా m ద్రవ్యరాశిగల వస్తువు h ఎత్తుకు ఎత్తబడింది. పటం. 5.3 (b) లో చూపిన విధంగా m ద్రవ్యరాశిగల వస్తువు h ఎత్తు నుండి కిందకు దింపబడింది. ఈ రెండు సందర్భాల్లో కూడా వస్తువు యొక్క భారం mg. కిందటి అధ్యాయంలో చెప్పిన విధంగా వస్తువుపై భూమి యొక్క ఆకర్షణ బలమే దాని భారం అని గుర్తుకు తెచ్చుకోవచ్చు.

పటం. 5.3 (a), లో బలం mg క్షితిజ లంబంగా కిందకు, స్థానభ్రంశం పైకి ఉండటం వల్ల వాటి మధ్యకోణం $\theta = 180°$. ఈసందర్భంలో గురుత్వాకర్షణ బలానికి వ్యతిరేకంగా జరిగిన పని

$$W = FS \cos 180°$$
$$= mgh\ (-1)$$
$$\therefore\ W = -\ mgh \qquad (5.2)$$



(a) వస్తువును గురుత్వాకర్షణ బలానికి వ్యతిరేకంగా పైకి ఎత్తడం

(b) వస్తువును భూమివైపుగా కిందకు దింపడం

పటం 5.3

పటం 5.3 (b) లో, వస్తువును భూమివైపుగా కిందకు దింపడం వల్ల బలం mg మరియు S స్థానభ్రంశాలు ఒకే దిశలో ఉన్నాయి. కాబట్టి $\theta = 0^0$ ఈ సందర్భంలో జరిగిన పని

$$\therefore\ W = FS \cos 0°$$
$$W = +\ mgh \qquad (5.3)$$

పై ఫలితాలు అర్థ వివరణ ఇచ్చేటప్పుడు మీరు చాలా జాగ్రత్తగా ఉండాలి. ఎందుకంటే ఒక వస్తువును పైకి ఎత్తుతున్నప్పుడు, భూమి యొక్క గురుత్వాకర్షణ బలంవల్ల జరిగిన పని రుణాత్మకం. కాని ఆ వస్తువును పైకి ఎత్తిన వ్యక్తి చేసిన పని ధనాత్మకం. ఒక వస్తువును భూమివైపుగా కిందకు తీసుకువచ్చేటప్పుడు గురుత్వాకర్షణ బలంవల్ల జరిగిన పని ధనాత్మకం కాని కిందకు తీసుకురావడానికి వ్యక్తి చేసిన పని రుణాత్మకం. ఈ రెండు సందర్భాల్లోను వస్తువు త్వరణం లేకుండా చలిస్తుంది అని ఊహిస్తాం.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 5.1

1. ఒక కణం వృత్తాకార మార్గంలో భ్రమణం చెందుతున్నప్పుడు, దానిపై ఒక బలం పనిచేస్తుంది. కణంపై పనిచేసే ఆ బలంవల్ల జరిగిన పనిని లెక్కించండి.

2. కింది వాటికి ఒక్కొక్క ఉదాహరణ ఇవ్వండి. ఒక బలం వల్ల జరిగిన పని

   (a) సున్నా (b) రుణాత్మకం (c) ధనాత్మకం

3. 2 కి.గ్రా. ద్రవ్యరాశిగల ధాన్యం 5 మీ. ఎత్తుకు ఎత్తబడినది

   (a) ఎత్తిన బలం వల్ల జరిగిన పని ఎంత?

   (b) గురుత్వాకర్షణ బలం వల్ల జరిగిన పని ఎంత?

4. ఒక బలం $\mathbf{F} = (2\hat{\mathbf{i}} + 3\hat{\mathbf{j}})$ N బలం, $\bar{\mathbf{S}} = (-\hat{\mathbf{i}} + 2\hat{\mathbf{j}})$ m. స్థానభ్రంశాన్ని కలగచేసింది. జరిగిన పనిని గణించండి.

5. ఒక బలం $\mathbf{F} = (5\hat{\mathbf{i}} + 3\hat{\mathbf{j}})$ N. ఒక వస్తువుపై పనిచేసి, దానికి $\bar{\mathbf{S}} = (3\hat{\mathbf{i}} + 4\hat{\mathbf{j}})$ m. స్థానభ్రంశాన్ని కలగచేసింది.

   (a) స్థానభ్రంశం యొక్క పరిమాణాన్ని లెక్కించండి.

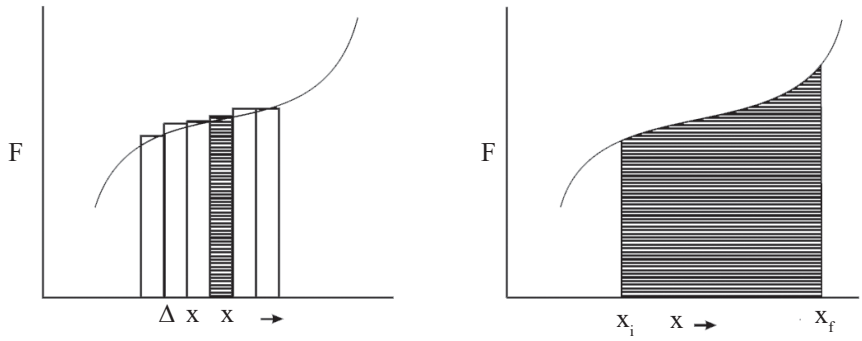
   (b) బలం యొక్క పరిమాణాన్ని లెక్కించండి.

   (c) ఆ బలం వల్ల జరిగిన పని ఎంత?

5.2 అస్థిర బలంవల్ల జరిగిన పని

ఒక వస్తువుపై పనిచేస్తున్న బలం స్థిరబలం అయిన సందర్భాలను మాత్రమే చదివాం. కాని ప్రతీ సందర్భంలోను ఇది నిజం కాకపోవచ్చు. కొన్ని సందర్భాల్లో పని జరగడానికి కారణమైన బలం కాలంతోపాటు మారుతూ ఉండవచ్చు. వస్తువు యొక్క స్థానం x తోపాటు పరిమాణం మారుతున్న బలం F(x) పనిచేస్తున్న ఒక సందర్భాన్ని తీసుకొందాం. ఇప్పుడు ఈ అస్థిర బలంవల్ల జరిగిన పనిని లెక్కిద్దాం. వస్తువు యొక్క స్థానభ్రంశం x_i నుండి x_f వరకు అని ఊహిద్దాం. ఇక్కడ x_i మరియు x_f లు వస్తువు యొక్క తొలి, తుది స్థానాలు. ఇటువంటి పరిస్థితులలో మొత్త స్థానభ్రంశాన్ని అత్యధిక సంఖ్యలో గల అత్యల్ప వ్యవధులు గల స్థానభ్రంశాలు Δxగా విభజించి, జరిగిన పనిని గణిస్తారు. నిజానికి Δx ఎంత అత్యల్పంగా తీసుకుంటారంటే, ప్రతి స్వల్ప స్థానభ్రంశ అవధిలోను బలం F(x) స్థిరంగా ఉన్నట్లుగా ఊహించవచ్చు. అత్యల్ప స్థానభ్రంశం Δx పర్యంతంలో జరిగిన పని

$$\Delta W = F(x)\ \Delta x \qquad (5.4)$$



పటం 6.4 ఒక అస్థిర బలం (F) వస్తువును తొలిస్థానం x_i నుండి తుదిస్థానం x_f కు కదిలించింది. పటంలో అస్థిర బలం– దూరంలకు గీయబడిన రేఖా పటం దట్టమైన వక్రరేఖగా (అనియత)గా చూపబడింది. జరిగిన పని సంఖ్యాత్మకంగా గీతలు గీయబడిన వైశాల్యానికి సమానం

$F(x)\,\Delta x$ అనేది సంఖ్యాత్మకంగా పటం 6.4 (a) లో చూపిన విధంగా గీతలతో గీచిన చిన్న వైశాల్యానికి సమానం. x_i మరియు x_f ల నడుమ గల అటువంటి చిన్న చిన్న వైశాల్యాల మొత్తం బలం చేసిన మొత్తం పనికి సమానం అవుతుంది. (అటువంటి చీలికల పట్టీల వైశాల్యాలన్నీ కలపడంవల్ల వస్తుంది).

$$W = \Sigma \Delta W$$

$$= \Sigma F\,(x)\,\Delta x \qquad (5.5)$$

ఈ చీలికల యొక్క మందం వీలైనంత చిన్నదిగా ఉండాలి. ఇటువంటి అన్ని చీలికల యొక్క వైశాల్యాలను కలిపితే వచ్చిన వైశాల్యం x_i మరియు x_f ల మధ్య బంధించబడిన మొత్తం వైశాల్యానికి సమానం అవుతుంది. ఇది x_i మరియు x_f ల మధ్య బలం వల్ల జరిగిన పని మొత్తాన్ని ఇస్తుంది.

$$W = \sum_{\lim \Delta x \to 0} F(x)\Delta x \qquad (5.6)$$

$$\therefore \qquad W = \int_{x_1}^{x_2} F(x)\,dx \qquad (5.7)$$

ఉదాహరణ 5.4

ఒక కణంపై $F = -kx$ అనే బలం x-అక్షం దిశలో పనిచేస్తోంది. కణాన్ని $x = a$ నుంచి $x = 2a$ వరకు స్థానభ్రంశం చెందించడంలో బలం చేసిన పని ఎంత. ఇక్కడ k ఒక ధన స్థిరాంకం.

సాధన :

$$W = \int_{x=a}^{x=2a} F(x)\,dx$$

$$= \int_{x=a}^{2a} (-kx)\,dx = -k \int_{x=a}^{x=2a} x\,dx$$

$$= -k\left[\frac{x^{1+1}}{1+1}\right]_a^{2a} = -k\left[\frac{x^2}{2}\right]_a^{2a} \quad \left[\because \int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1}\right]$$

$$= \frac{-k}{2}\left[(2a)^2 - a^2\right] = \frac{k}{2}\left[4a^2 - a^2\right] = \frac{-3a^2}{2}$$

5.2.1 స్ప్రింగ్ వల్ల జరిగిన పని

అస్థిర బలానికి అతిసాధారణ ఉదాహరణ స్ప్రింగ్‌చే ప్రయోగించబడిన బలం. ఈ సందర్భంలో జరిగిన పనికి సమాసాన్ని ఉత్పాద్దిద్దాం.

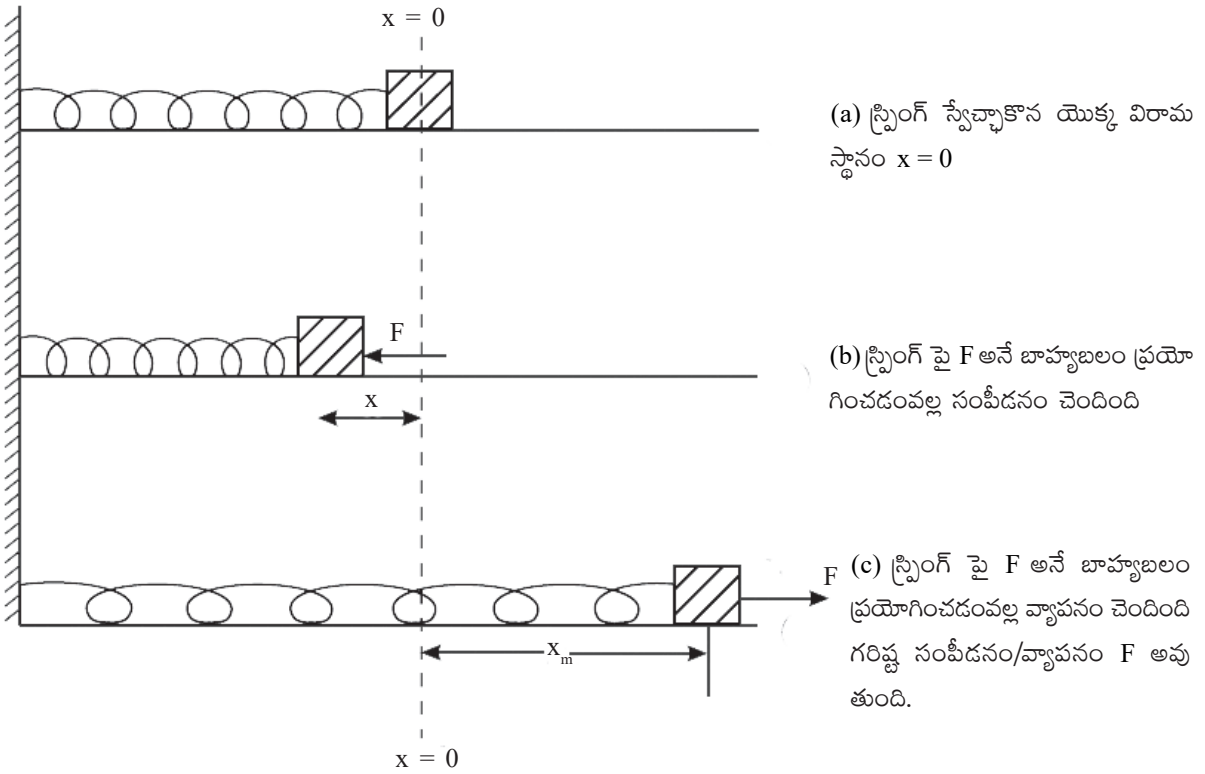
పటం 5.5(a) లో చూపినట్లు ఒక తేలికైన స్ప్రింగ్‌ను ఒక దృఢ ఆధారం నుండి వేలాడదీసి, దాని యొక్క స్వేచ్ఛాకొనకు m ద్రవ్యరాశిగల దిమ్మెను తగిలించారు. ఈ వ్యవస్థను నునుపైన క్షితిజసమాంతర బల్లపై

ఉంచారు. ఈ క్షితిజ సమాంతర దిశను x అక్షంగా తీసుకుందాం. x = 0 స్థానం వద్ద ద్రవ్యరాశి m ఉందనుకుందాం. ఇప్పుడు స్ప్రింగ్‌ను F అనే బాహ్యబలంతో సంపీడనం (లేదా వ్యాపనం) చెందించాం. వెంటనే స్ప్రింగ్‌లోపల దాని స్తితిస్థాపక ధర్మం వలన కొంత అంతర్గత బలం F_s జనిస్తుంది. x విలువ పెరిగిన కొలది ఈ అంతర్గత బలం F_s విలువ పెరుగుతూ, సంపీడనం (లేదా వ్యాపనం) $x = x_m$ వద్ద గరిష్ఠం అయినపుడు అది F కు సమానం అవుతుంది.

హుక్ నియమం ప్రకారం (ని తక్కువగా ఉన్నప్పుడు మాత్రమే సరిపడుతుంది).

$|\mathbf{F}_s| = kx$, ఇచ్చట K ను స్ప్రింగ్ స్థిరరాశి అంటారు. $\mathbf{F}_s$ దిశ ఎల్లప్పుడు సంపీడనము (లేదా వ్యాపనము) నకు వ్యతిరేక దిశలో ఉంటుంది కాబట్టి, పై సమీకరణాన్ని ఇలా వ్రాయవచ్చు.

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_s = -k\mathbf{x} \qquad (5.8)$$



పటం. 5.5: ఒక చివర దృఢ ఆధారానికి బిగించిన స్ప్రింగ్–ద్రవ్యరాశి వ్యవస్థ, ద్రవ్యరాశి m క్షితిజ సమాంతరతలంపై నిశ్చలస్థితిలో ఉంది

ఇప్పుడు ఇక్కడ జరిగిన పనిని గణిద్దాం, అంతే కాదు ఈ జరిగిన పని ధనాత్మకమా లేదా రుణాత్మకమా పరీక్షిద్దాం. స్ప్రింగ్‌ను సంపీడనం చెందించిన సందర్భంలో బాహ్యబలం **F** ఎడమవైపుకు పనిచేస్తుంది. మరియు స్థానభ్రంశం ని కూడా ఎడమవైపుకు పనిచేస్తుంది. కాబట్టి బాహ్యబలం వల్ల జరిగిన పని ధనాత్మకం. ఏమైనప్పటికిని అదే దిశలో స్థానభ్రంశం ఉన్నప్పుడు, స్ప్రింగ్‌లో జనించిన పునఃస్థాపక బలం కుడివైపుకు పనిచేస్తుంది. అంటే **F** మరియు **x**లు వ్యతిరేక దిశలో ఉంటాయి. స్ప్రింగ్ బలం చేసిన పని రుణాత్మకం అవుతుంది. స్ప్రింగ్‌లో సాగుదల వచ్చిన సందర్భంలో మీరు పరిశీలించినా పై ఫలితాలు మాత్రమే సంభవిస్తాయి. అంటే స్ప్రింగ్‌పై

బాహ్యబలం వల్ల జరిగిన పని ధనాత్మకం, స్ప్రింగ్‌లో పునఃస్థాపక బలం వల్ల జరిగిన పని రుణాత్మకం. జరిగిన పని యొక్క పరిమాణం $(½)\,kx_m^2$.

ఇక్కడ జరిగిన పనిని సమాసాన్ని ఉత్పాదించడానికి ఒక సరళ గణనం చేస్తాం. $x = 0$, వద్ద బలం $F_s = 0$. x విలువ పెరుగుతున్నకొద్దీ, బలం **F** కూడా పెరుగుతూ ఉంటుంది. $x = x_m$ అయినప్పుడు, ఈ బలం విలువ **F** కు సమానం అవుతుంది. స్థానభ్రంశంతోపాటు బలంలోని మార్పు రేఖీయంగా ఉంటుంది కాబట్టి స్ప్రింగ్‌ను సంపీడనం (లేదా వ్యాపనం) చెందించడంలో సరాసరి బలం $\left(\frac{0 + F_s}{2}\right) = \frac{F_s}{2}$ కు ఇంచుమించుగా సమానం. ఈ బలంవల్ల జరిగిన పని

$$W = \text{బలం} \times \text{స్థానభ్రంశం}$$

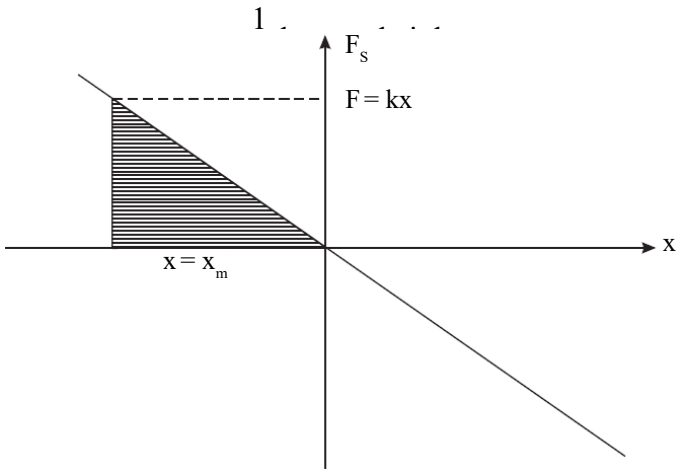
$$= \frac{F_s}{2}.x,$$

కాని, $|Fs| = k\,|xm|$. కాబట్టి

$$W = \frac{1}{2}kx_m \times x_m$$

$$= \frac{1}{2}kx_m^2 \qquad (5.9)$$

ఈ జరిగిన పనిని రేఖా చిత్రం ద్వారా కూడా పొందవచ్చు. దీన్ని కింద పటంలో చూపించాం.



పటం. 5.6 : గీతలతో చూపిన త్రిభుజ వైశాల్యం సంఖ్యాత్మకంగా జరిగిన పనికి సమానం అవుతుంది.

గీతలతో చూపిన త్రిభుజ వైశాల్యం $= \frac{1}{2} \times$ భూమి $\times$ ఎత్తు

$\therefore$

$$W = \frac{1}{2}kx_m^2 \qquad (5.10)$$

ఈ సమీకరణం బీజీయ విధానంలో ఉత్పాదించిన సమీకరణం (5.9)తో సమానం.

The same can be obtained by using the formula $W = \int_{x=0}^{x=x_m} F(x)\,dx.$

here dx is the small elongation in the spring

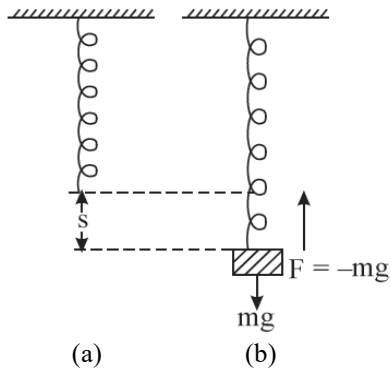
$$W = \int_{x=0}^{x=x_m} kx\,dx = k\int_{x=0}^{x=x_m} x\,dx = k\left[\frac{x_m^2}{2}\right]_0^x$$

$$\therefore \quad W = \frac{1}{2}kx_m^2$$

కృత్యం 5.2

స్ప్రింగ్ స్థిరాంకాన్ని కనుగొనుట:

పటం 5.7(a) లో చూపినట్లు ఒక స్ప్రింగ్‌ను నిట్ట నిలువుగా వేలాడదీసారు. దాని కింది కొనకు m ద్రవ్యరాశి గల దిమ్మెను తగిలించారు. ఇలా చేయటంవల్ల స్ప్రింగ్ కొంత దూరం సాగుతుంది. ఆ సాగుదలను లెక్కించండి. పటం 5.7 (b)లో చూపినట్లు ఆ సాగుదలను s అనుకుందాం. ఇప్పుడు స్ప్రింగ్ ఇంకా ఎందుకు సాగటంలేదు అని ఆలోచించండి. ఎందుకంటే స్ప్రింగ్ బలం (పునఃస్థాపకబలం)పై దిశలో పనిచేస్తూ వస్తువు యొక్క భారం mg ను సంతులనం చేస్తుంది. అందువల్ల స్ప్రింగ్ సమతాస్థితిలో ఉంటుంది. పై విలువలను కింది సమీకరణంలో ప్రతిక్షేపించి స్ప్రింగ్ స్థిరాంకాన్ని కనుక్కోవచ్చు.



పటం. 5.7 : భారగ్రస్త స్ప్రింగ్ యొక్క సాగుదల

$$Fs = k.s$$

లేదా $$mg = k.s.$$

అంటే, $$k = \frac{mg}{s} \qquad (5.11)$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 5.2

1. స్ప్రింగ్ స్థిరాంకాన్ని నిర్వచించి, దాని SI ప్రమాణాలను వ్రాయండి.
2. 10 N బలం ఒక స్ప్రింగ్‌ను 1 సెమీ సాగదీసింది. అయితే స్ప్రింగ్‌ను 5 సెమీ సాగదీయడానికి కావలసిన బలం ఎంత? ఈ బలం వల్ల జరిగిన పని ఎంత?
3. వస్తువుపై పనిచేసే (variable) బలాన్ని y-అక్షంపై, అది పొందిన స్థానభ్రంశాన్ని x-అక్షంపై తీసుకొని గ్రాఫ్ గీస్తే, గ్రాఫ్ వక్రంచే ఆవృతం అయ్యే వైశాల్యం దేన్ని సూచిస్తుంది.

5.3 పని మరియు గతిజశక్తి

పనిచేసే స్తోమతనే శక్తి అంటారు అని మీకు తెలుసు. ఒక వ్యవస్థకు శక్తి ఉంటే అది పని చేయగలిగి ఉంటుంది. కారు లాంటి వాహనం ఇంధనంలోని రసాయన శక్తిని ఉపయోగించుకొని నడుస్తుంది. చలనంలో ఉండే వస్తువు కలిగి ఉండే శక్తిని "గతిజశక్తి" అంటారు.

'm'ద్రవ్యరాశి కలిగిన వస్తువువేగం $\vec{v}$ అయితే, దాని గతిజ శక్తి

$$K = \frac{1}{2}m(\vec{v}.\vec{v}) = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (5.12)$$

గతిజశక్తి ఒక అదిశా రాశి.

వేగం శూన్యం అయితే వస్తువుకు గతిజశక్తి ఉండదు.

పై సమీకరణాన్ని కింది విధంగా రాబట్టవచ్చు.

m ద్రవ్యరాశితో ఉండే వసువుపై F బలం పనిచేయడంతో దాని వేగం 't' కాలంలో u నుంచి v కి పెరిగిందని అనుకొనుము.

$$v^2 - u^2 = 2as \quad \text{ఉపయోగించి} \qquad (5.13)$$

$$a = \frac{v^2 - u^2}{2s}$$

దీన్ని F = ma లో ప్రతిక్షేపిస్తే

$$F = m\left(\frac{v^2 - u^2}{2s}\right) \qquad (5.14)$$

బలం చేసిన పని $$W = F.s. = m\left(\frac{v^2 - u^2}{2s}\right) \times s$$

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2 \qquad (5.15)$$

$$W = KE_{final} - KE_{initial}$$

$$W = \Delta KE \qquad (5.16)$$

బలం చేసిన పని గతిజశక్తిలో వచ్చే మార్పుకు సమానం. దీన్నే "పని - శక్తి సిద్ధాంతం" అంటారు.

తొలివేగం 'u' శూన్యం అయితే బలం చేసిన పని $W = \frac{1}{2}mv^2$ మరొక రకంగా ఇదే వస్తువుకు గతిజశక్తి అవుతుంది.

$$\therefore \quad KE = \frac{1}{2}mv^2$$

పని - శక్తి సిద్ధాంతం

వస్తువుపై పనిచేసే అన్ని బలాల ఫలిత బలం చేసిన పని వస్తువు గతిజశక్తిలో వచ్చే మార్పుకి సమానం.

ఉదాహరణ 5.5

10 kg ద్రవ్యరాశిగల ఒక వస్తువు తొలిగా 4.0 మీసె$^{-1}$ వడితో చలిస్తుంది. 30 న్యూ పరిమాణం గల ఒక బలం ఆ వస్తువుపై 2 సెకన్ల కాలంపాటు పనిచేసింది.

(i) రెండు సెకన్ల కాలం తరవాత ఆ వస్తువు యొక్క తుది వడి ఎంత?

(ii) ఈ వ్యవధిలో జరిగిన పని ఎంత?

(iii) తొలి గతిశక్తి ఎంత?

(iv) తుది గతిశక్తి ఎంత?

(iv) ఈ కాల వ్యవధిలో వస్తువు ప్రయాణించిన దూరం ఎంత?

(vi) జరిగిన పని గతిశక్తిలోని భేదానికి సమానం అని చూపండి.

సాధన:

(i) బలం (F) = ma

లేదా $a = F/m$

$= 30/10$

$= 3$ మీసె$^{-2}$

తుది వడి $v_2 = v_1 + at$

$= 4 + (3 \times 2) = 10 \text{ m s}^{-1}$

(ii) 2 సె కాలంలో ప్రయాణించిన దూరం

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$

$$= (4 \times 2) + \frac{1}{2}(3 \times 4)$$

$$= 8 + 6 = 14 \text{ m}$$

జరిగిన పని $W = F \times S$

$= 30 \times 14 = 420$ J

(iii) తొలి గతిశక్తి

$$K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$= \frac{1}{2}(10 \times 16) = 80 \text{ J}$$

(iv) తుది గతిశక్తి

$$K_2 = \frac{1}{2} m v_2^2$$

$$= \frac{1}{2}(10 \times 100) = 500 \text{ J}$$

(v) పైన గణించిన విధంగా 2 సె కాలంలో ప్రయాణించిన దూరం = 14 మీ

(vi) గతిశక్తిలోని భేదం $K_2 - K_1 = (500 - 80) = 420$ J.

ఇది జరిగిన పనికి సమానం అని కనిపిస్తుంది.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 5.3

1. ఒక వస్తువు రుణాత్మక గతిశక్తిని కలిగి ఉండే అవకాశం ఉందా? ఎందుకు?
2. ఆ కణం యొక్క గతిశక్తి ఏవిధంగా మారుతుంది?

   a) ఒక కణం యొక్క వడి v ను 2v చేస్తే

   b) ఒక కణం యొక్క ద్రవ్యరాశి m ను $\frac{m}{2}$ చేసిన
3. ఒక కణం 3.6 అ గతిశక్తితో చలిస్తూ, బల స్థిరాంకం 180 Nm^{-1}. గల ఒక స్ప్రింగ్‌ను ఢీకొన్నది. స్ప్రింగ్‌లో గరిష్ఠ సంపీడనాన్ని లెక్కించండి.
4. ఒక బాహ్యబలం ఒక స్ప్రింగ్‌ను సంపీడనం చెందించడానికి చేసిన పని 375 J అయితే, ఆ స్ప్రింగ్ తనంతట తాను చేసిన పని ఎంత?

5.4 స్థితిజ శక్తి భావన

కిందటి పాఠ్యాంశం ద్వారా కదిలే వస్తువులు గతిజ శక్తిని కలిగి ఉంటాయని చర్చించాం. 'స్థితిజ శక్తి' అనేది నిల్వ ఉన్న శక్తిని సూచించే భౌతికరాశి. వస్తువు అభీష్టానికి వ్యతిరేకంగా చేసిన పని 'నిల్వ శక్తి' లేదా స్థితిజ శక్తిగా మారుతుంది. సంపీడ్యం లేదా సాగదీసిన స్ప్రింగ్, ఇంటిపై ఉండే ట్యాంక్ లేదా ఆనకట్టలో నిల్వచేసిన నీటికి, ఎత్తులో ఎగిరే వస్తువుకి, ధనస్సు నుంచి విడుదలకి సిద్ధంగా ఉన్న బాణానికి స్థితిజశక్తి ఉంటుంది. స్థితిజ శక్తిని మన స్థిరవిద్యుత్తులో కూడా చూస్తాం.

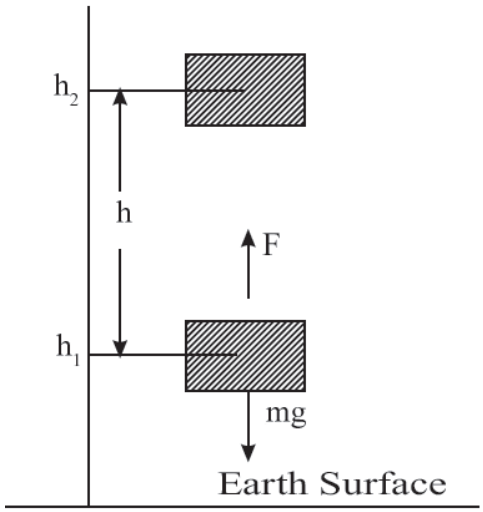
వస్తువుకి స్థానం లేదా విన్యాసం (configuration) వల్ల వచ్చే శక్తి – స్థితిజ శక్తి. గురుత్వ క్షేత్రంలోని వస్తువు పొందే గురుత్వ స్థితిజ శక్తి. గురుత్వ క్షేత్రంలోని వస్తువు పొందే గురుత్వ స్థితిజశక్తి దీనికి ఒక ముఖ్యమైన తార్కాణం. దీన్ని మరింత అర్థం చేసుకొందాం.

5.4.1 గురుత్వ క్షేత్రంలో స్థితిజశక్తి

ఒక వ్యక్తి m ద్రవ్యరాశి గల వస్తువును భూమి యొక్క ఉపరితలంపై h_1 ఎత్తు నుండి h_2 ఎత్తుకు ఎత్తాడు అనుకుందాం. అంతే కాకుండా గురుత్వ త్వరణం విలువ స్థిరంగా ఉంటుందని ఊహిద్దాం. గురుత్వాకర్షణ బలానికి వ్యతిరేకంగా ద్రవ్యరాశిని స్థానభ్రంశం చెందించిన దూరం $h = (h_2 - h_1)$. ఈ గురుత్వాకర్షణ బలం యొక్క పరిమాణం ఖీవీ. ఇది కింది దిశలో పనిచేస్తుంది. అందువల్ల ఆ వ్యక్తి వల్ల జరిగిన పని

$$W = \text{బలం} \times \text{దూరం}$$

$$W = mgh \qquad \ldots \qquad (5.17)$$



పటం. 5.8 : భూమి ఉపరితలం నుండి h_1 ఎత్తున ఉన్న m ద్రవ్యరాశిని h_2 ఎత్తుకు తీసుకువెళ్ళబడింది.

ఇక్కడ జరిగిన పని ధనాత్మకం మరియు ఇది m ద్రవ్యరాశి గల వస్తువులో శక్తిగా నిల్వ ఉంటుంది. ప్రదేశంలో తన స్థానంవల్ల వస్తువుకు వచ్చిన ఈ శక్తిని గురుత్వ స్థితిజశక్తి అని అంటారు. ఈ వస్తువు పని చేయడానికి సమర్ధత కలిగి ఉంటుంది. ఈ ద్రవ్యరాశిని స్వేచ్ఛగా వదిలివేస్తే, అది కిందకు పడిపోతుంది మరియు కిందకు పడేటప్పుడు కొంత పనిచేయగలుగుతుంది. ఉదాహరణకు ఈ ద్రవ్యరాశిని కప్పీ మీదుగా పోయిన ఒక తీగకు సక్రమంగా కలిపితే అది మరొక ద్రవ్యరాశిని పైకి ఎత్తగలుగుతుంది.

వస్తువు యొక్క తొలి ఎత్తు h_1 ను మన ఇష్ట ప్రకారం ఎంచుకోవచ్చు. ఇక్కడ ఎత్తులోని మార్పు $(h_2 - h_1)$ మాత్రమే ప్రాముఖ్యత గలది. ఇక్కడ శూన్య స్థితిజశక్తి స్థానం అనేది మన ఇష్ట ప్రకారం ఎంచుకోవచ్చు. ప్రదేశంలో ఏ బిందువునైనా శూన్య స్థితిజశక్తి స్థానంగా ఎన్నుకోవచ్చు. సాధారణంగా భూమి ఉపరితలంపై ఉన్న ఒక బిందువును శూన్య స్థితిజశక్తి గల నిర్దేశ బిందువుగా తీసుకొంటాం.

5.4.2 స్ప్రింగ్ స్థితిజ శక్తి

ఇష్టానికి వ్యతిరేకంగా, స్ప్రింగ్‌ని సాగదీస్తే, దాన్లో స్థితిజ శక్తి నిల్వ ఉంటుంది.

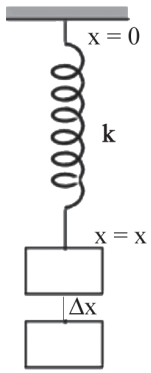
$$F = -kx \qquad (5.18)$$

$$W = \int_{x=0}^{x=x} F.dx \qquad (5.19)$$

$$W = \int -kx\,.dx = \frac{1}{2}kx^2$$

ఇదే స్ప్రింగ్‌లో స్థితిస్థాపక స్థితిజశక్తిగా నిల్వ ఉంటుంది.

$$U = \frac{1}{2}kx^2 \qquad (5.20)$$



పటం. 5.9 : స్ప్రింగ్ – ద్రవ్యరాశి వ్యవస్థ విషయంలో స్థితిస్థాపక స్థితిజ శక్తి

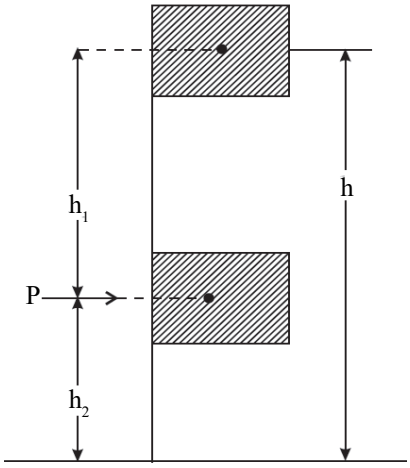
స్ప్రింగ్‌ని వదిలితే, దాన్లోని స్థితిజశక్తి గతిజశక్తిగా మారి అది ముందుకి వెనక్కి కదులుతుంది. కాల్చడానికి సిద్ధంగా ఉన్న తుపాకీలో, ఎక్కుపెట్టిన బాణంలో ఇదే సూత్రాన్ని చూడవచ్చు.

5.5 శక్తి నిత్యత్వం

మన చుట్టూ చూస్తే అనేక రకాల శక్తులు ఉంటాయి. కాని వాటిలో కొన్ని మాత్రమే మిగతావాటి కంటే మనకు బాగా తెలిసినవి. ఉదాహరణకు విద్యుత్‌శక్తి, ఉష్ణశక్తి, గరుత్వశక్తి, రసాయన శక్తి మరియు అణుశక్తి మొదలైనవి. ఈ శక్తుల మధ్య దగ్గర సంబంధం ఉంది. అంటే శక్తులను ఒక రూపం నుండి మరొక రూపంలోకి మార్చువచ్చు ఇక్కడ శక్తి గురించిన ఒక ప్రాథమిక నియమం ఉంది. దీన్నే శక్తి నిత్యత్వ నియమం అంటారు. **"ఇది ఒక వియుక్త వ్యవస్థ యొక్క మొత్తం శక్తి ఎప్పుడూ స్థిరంగా ఉంటుంది"** అని ప్రవచించవచ్చు. శక్తి తన రూపాన్ని మార్చుకోవచ్చు. ఇది ఒక రూపంలో నుండి మరొక రూపంలోకి మార్పు చెందవచ్చు. కాని వ్యవస్థ మొత్తం శక్తి మాత్రం మార్పు చెందదు. ఒక వియుక్త వ్యవస్థలో ఏదో ఒక రూపంలోని శక్తి నష్టపోతే అంతే పరిమాణంగల శక్తి మరొక రూపంలోకి తిరిగి పొందుతాం. ఆ విధంగా శక్తిని సృష్టించలేం మరియు నాశనం చేయలేం. ఈ విశ్వం కూడా ఒక వియుక్త వ్యవస్థే. ఎందుకంటే దీనికి వెలుపల మరేమీ లేదు. అందుకే ఈ విశ్వంలో ఉన్న శక్తిలో ప్రతిక్షణం అనేక మార్పులు జరుగుతూ ఉన్నప్పటికిని విశ్వంలోని మొత్తం శక్తి స్థిరంగా ఉంటుంది. ఇది గొప్ప ప్రాముఖ్యతగల నియమం. ఇది విజ్ఞాన శాస్త్రంలో అనేక కొత్త ఆవిష్కరణలకు మార్పు చూపింది. ఇంతవరకు ఇది విఫలం కాలేదు.

థర్మల్ విద్యుత్ కేంద్రంలో నేల బొగ్గు యొక్క రసాయన శక్తి విద్యుత్‌శక్తిగా మార్పు చెందుతుంది. ఈ విద్యుత్ శక్తి యంత్రాలను నడుపుతుంది. ఈ యంత్రాల్లో విద్యుత్ శక్తి యాంత్రిక శక్తిగా, కాంతి శక్తిగా లేదా ఉష్ణశక్తిగా మార్పు చెందుతుంది.

ఈ శక్తి నిత్యత్వ నియమం మనం ఆలోచించే ఊహించేదానికంటే అతిసామాన్యమైనది. ఈ నియమం అతిపెద్ద గ్రహాలు, నక్షత్రాల నుండి అతిచిన్న కేంద్రక కణాల వరకు అనువర్తించబడుతుంది.



పటం. 5.10 : భూమి ఉపరితలంపై నుండి ద్రవ్యరాశిని h ఎత్తుకు ఎత్తినారు. తరువాత h_2 ఎత్తు వద్ద గల P బిందువు వద్దకు వచ్చి P బిందువు వద్ద మొత్తం శక్తి h ఎత్తు వద్ద మొత్తం శక్తికి సమానం

(a) స్వేచ్ఛాపతన వస్తువు విషయంలో యాంత్రిక శక్తి నిత్యత్వం: యాంత్రిక శక్తి విషయంలో శక్తి నిత్యత్వ నియమం న్యాయబద్ధతను పరీక్షిద్దాం. ఇది మనకెంతో ఆసక్తి కలిగించే అంశం.

భూమి ఉపరితలంపై ఉన్న m ద్రవ్యరాశి గల వస్తువును h ఎత్తుకు తీసుకు వెళ్లాం అనుకోండి. జరిగిన పని mgh, అవుతుంది. ఇది స్థితిశక్తిగా నిల్వ ఉంటుంది. ఇప్పుడు ఈ వస్తువును స్వేచ్ఛాగా పతనం చెందించాము అనుకోండి. ఈ వస్తువు h_1 దూరం పడిన తరవాత, ఆ వస్తువు యొక్క శక్తిని గణిద్దాం. భూమి ఉపరితలం నుండి ఈ వస్తువు యొక్క ఎత్తు $h_2 = (h - h_1)$ ఉంటుంది పటం (5.10). ఈ బిందువు P వద్ద వస్తువు స్థితిశక్తి = mgh_2.

వస్తువు స్వేచ్ఛాగా పడుతున్నప్పుడు వస్తువు త్వరణం చెంది వడిని పొందుతుంది. h ఎత్తు నుండి వస్తువు h_1 దూరం పడిన తరవాత ఆ వస్తువు వడిని కనుగొందాం.

చలన సమీకరణం $v^2 = u^2 + 2gs$ (5.21)

ఇక్కడ h ఎత్తువద్ద తొలివేగం u, అంటే, u = 0 మరియు $s = h_1$. కాబట్టి (వస్తువు P బిందువు వరకు ప్రయాణం చేసిన దూరం)

అందువల్ల $v^2 = 2gh_1$

∴ P బిందువు వద్ద గతిశక్తి

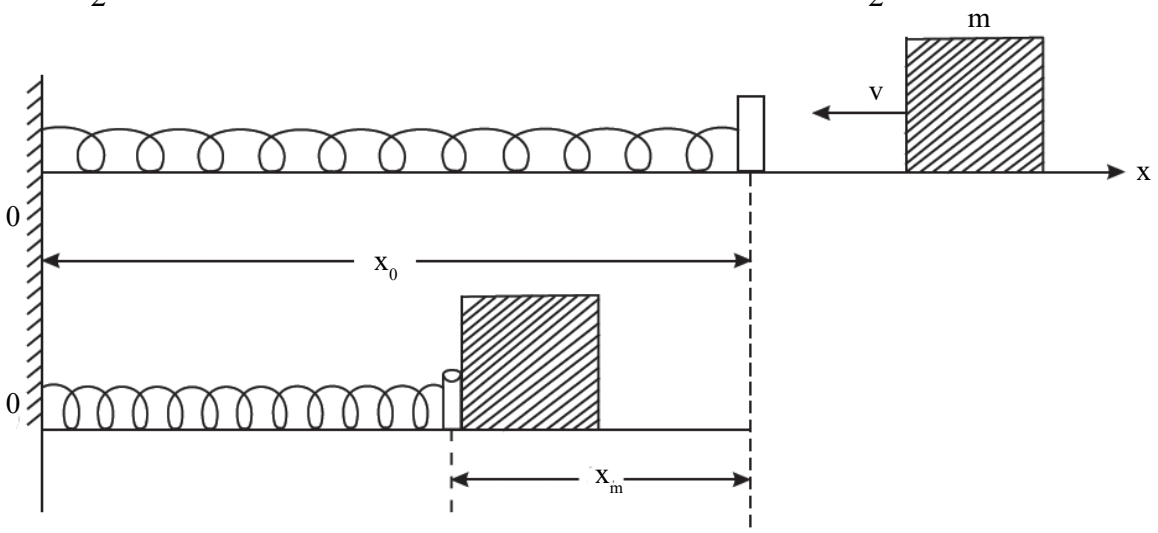
$$K.E = \frac{1}{2}mv^2$$
$$= \frac{m}{2} \times 2gh_1$$
$$= mgh_1 \quad (5.22)$$

P బిందువు వద్ద మొత్తం శక్తి

గతిశక్తి + స్థితిశక్తి $= mgh_1 + mgh_2$
$= mgh$ (5.23)

ఇది గరిష్ఠ బిందువు వద్ద గల స్థితిశక్తితో సమానంగా ఉంది. అంటే మొత్తం శక్తి నిత్యత్వం కాబడింది.

(b) స్ప్రింగ్ నుండి డోలనం చెందుతున్న ద్రవ్యరాశికి శక్తి నిత్యత్వం: పటం 5.11 లో చూపిన విధంగా క్షితిజ సమాంతర తలంపై ఉన్న ఒక స్ప్రింగ్ యొక్క ఒక కొనను ఒక దృఢమైన గోడకు బిగించి, దాని రెండవ కొనకు ఒక చెక్క దిమ్మెను తగిలించారు. స్ప్రింగ్ విరామ స్థితిలో ఉన్నప్పుడు, స్ప్రింగ్ యొక్క స్వేచ్ఛాకొన x_0 వద్ద ఉంది. m ద్రవ్యరాశి కలిగిన ఒక దిమ్మె v వడితో స్ప్రింగ్ గల సరళరేఖ దిశలో చలిస్తూ స్ప్రింగ్ స్వేచ్ఛాకొనతో అభిఘాతంచెంది స్ప్రింగ్‌ను x_m సంపీడనం చెందించింది. ఇదే గరిష్ఠ సంపీడనం. x_0 వద్ద స్ప్రింగ్-ద్రవ్యరాశి వ్యవస్థ యొక్క మొత్తం శక్తి $\frac{1}{2}mv^2$. ఇది ఆ ద్రవ్యరాశి యొక్క గతిశక్తి. స్ప్రింగ్ యొక్క స్థితిశక్తి శూన్యం. గరిష్ఠ సంపీడన బిందువు వద్ద స్ప్రింగ్ స్థితశక్తి $\frac{1}{2}kx_m^2$ మరియు ద్రవ్యరాశి గతిశక్తి శూన్యం. ఇప్పుడు మొత్తం శక్తి $\frac{1}{2}kx_m^2$ అవుతుంది. అనగా,



పటం. 5.11 : m ద్రవ్యరాశి గల దిమ్మె క్షితిజ సమాంతర తలంపై v వేగంతో చలిస్తూ స్ప్రింగ్‌తో అభిఘాతం చెందింది. గరిష్ఠ సంపీడనం x_m ఉంది

$$\frac{1}{2}k\,x_m^2 = \frac{1}{2}mv^2 \qquad (5.24)$$

గతిశక్తి + స్థితిశక్తి (అభిఘాతానికి ముందు) = గతిశక్తి + స్థితిశక్తి (అభిఘాతానికి తరవాత)

$$\frac{1}{2}mv^2 + 0 = 0 + \frac{1}{2}kx_m^2 \qquad (5.25)$$

అంటే, మొత్తం శక్తి నిత్యత్వం అయ్యింది.

కేంద్రక చర్యల్లో ద్రవ్యరాశి-శక్తి నిత్యత్వం

అణుశక్తి ఇతర శక్తులకు భిన్నమైనది. దీనిని ఇతర శక్తులను మార్పుచేసి పొందలేము. ద్రవ్యరాశిని శక్తిలోకి మార్చడంవల్ల మాత్రమే అణుశక్తిని పొందగలం.

అందుచే కేంద్రక చర్యల్లో ద్రవ్యరాశి నిత్యత్వ నియమం శక్తి నిత్యత్వ నియమం ఐక్యమై ద్రవ్యరాశి-శక్తి నిత్యత్వ నియమం అనే ఏకనియమంగా తయారవుతుంది.

ఉదాహరణ 5.6

0.5 kg ద్రవ్యరాశిగల ఒక దిమ్మె 2.5 మీ ఎత్తు నుండి, ఒక నునుపైన వక్రతలంపై కిందకు జారుతూ, క్షితిజ సమాంతర తలంపై గల B అనే బిందువును చేరింది. (పటం 5.12) శక్తి నిత్యత్వ నియమం ప్రకారం (i) A బిందువు వద్ద దిమ్మె యొక్క శక్తి మరియు (ii) B బిందువు వద్ద దిమ్మె వడిని గణించండి.

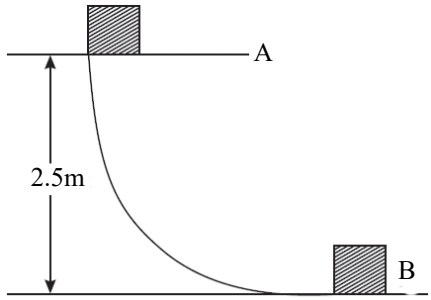


Fig. 5.12 : A block slides on a curved surface. The total energy at A (potential only) gets converted into total energy at B (kinetic only)

సాధన:

(i) A వద్ద స్థితిశక్తి

$= mgh = (0.5) \times (9.8) \times 2.5$ J

$= 4.9 \times 2.5$ J $= 12.25$ J

A వద్ద గతిశక్తి = 0 and

మొత్తం శక్తి = 12.25 J

(ii) A బిందువు వద్ద దిమ్మె యొక్క మొత్తం శక్తి, B బిందువు వద్ద దిమ్మె యొక్క మొత్తం శక్తితో సమానం కావాలి.

A బిందువు వద్ద మొత్తం శక్తి (P.E. + K.E.) = 12.25 J

B బిందువు వద్ద మొత్తం శక్తి(P.E. + K.E.) = $\frac{1}{2}mv^2$

B బిందువు వద్ద స్థితిశక్తి శూన్యం కాబట్టి, మొత్తం శక్తి గతిశక్తి మాత్రమే

$$\therefore \quad \frac{1}{2}mv^2 = 12.25$$

$$v^2 = \frac{12.25 \times 2}{0.5} = 12.25 \times 4$$

$$v^2 = 49.00$$

అందువల్ల $v = 7.0\ ms^{-1}$

గమనిక: దీనిని చలన సమీకరణం నుండి కూడా రాబట్టవచ్చు.

$$v^2 = v_0^2 + 2gx$$

$$= 0 + 2 \times 9.8 \times 2.5$$

$$v^2 = 49$$

$$v = 7\ ms^{-1}$$

5.6 సామర్థ్యం

మీరు ఇంతకు ముందు ఒక బలం వల్ల జరిగిన పనిని గణించి ఉన్నారు. ఆ గణనలో, జరిగిన పని ఒక సెకనులో జరిగిందా లేక ఒక గంటలో జరిగిందా అనే విషయాన్ని పరిగణించలేదు. కాని మన నిజ జీవితంలో ఒక నిర్దిష్టమైన పని చేయడానికి పట్టిన సమయం చాలా ప్రాముఖ్యమైనది. ఉదాహరణకు ఒక వ్యక్తి ఒక ట్రక్కులో సిమెంటు బస్తాలు నింపడానికి అనేక గంటల సమయాన్ని తీసుకుంటే, అదే పనిని ఒక యంత్రం అతి తక్కువ సమయంలో చేయగలుగుతుంది. కాబట్ట పని ఏ రేటున జరుగుతుంది అనేది తెలుసుకోవడం ముఖ్యం.

పని జరిగే రేటునే సామర్థ్యం అంటారు.

$$\text{సామర్థ్యం} = \frac{\text{జరిగిన పని}}{\text{కాలం}} = \frac{\text{వినియోగించిన శక్తి}}{\text{కాలం}}$$

గణిత రూపంలో కింది విధంగా వ్రాస్తాము.

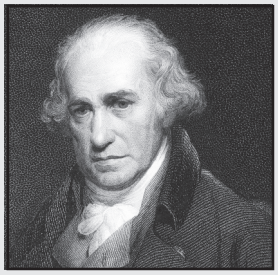
$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t} \qquad (5.26)$$

పని జరిగే రేటు స్థిరంగా ఉండకుండా, కాలంతోపాటు ఇది మారుతూ ఉండవచ్చు. అటువంటప్పుడు మనం తక్షణ సామర్థ్యం P ను నిర్వచిస్తాం.

$$\text{తక్షణ సామర్థ్యం } P = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta W}{\Delta t}\right) = \frac{dW}{dt} \qquad (5.27)$$

- సామర్థ్యాన్ని బలం వేగాల బిందు లబ్ధంగా రాయవచ్చు. $P = \bar{F} \cdot \bar{V}$
- సామర్థ్యం SI ప్రమాణం j/s. దీన్నే వాట్ (W) అని కూడా అంటారు. ఆవిరి యంత్రాన్ని ఆవిష్కరించిన జేమ్స్ వాట్ జ్ఞాపకార్థం సామర్థ్యానికి 'వాట్' అనే ప్రమాణాన్ని పెట్టారు.

జేమ్స్ వాట్ (James Watt) (1736–1819)



మెకానికల్ ఇంజనీర్, స్కాటిష్ ఇన్వెంటర్ అయిన జేమ్స్‌వాట్ ఆవిరి యంత్రం యొక్క దక్షతను అభివృద్ధిచేసిన ప్రముఖుడు. ఈ ఘటన యాంత్రిక విప్లవానికి దారితీసింది. ఇతడు సామర్థ్యానికి ప్రమాణంగా అశ్వ సామర్థ్యం పరిచయంచేశాడు. ఇతడి గౌరవార్థం సామర్థ్యానికి SI ప్రమాణాలు వాట్‌గా నామకరణం చేసారు. జేమ్స్‌వాట్ ఆవిష్కరణల్లో ముఖ్యమైనవి ఆవిరి యంత్రం మరియు టెలిస్కోప్ ద్వారా దూరాన్ని కొలవడాన్ని చేసిన సంలగ్నం.

సామర్థ్యానికి పెద్ద ప్రమాణం అశ్వసామర్థ్యం(hp)

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

సామర్థ్యం ప్రమాణం (w)ని ఉపయోగించి పని(శక్తి)కి ప్రమాణాన్ని నిర్వచించారు. అది కిలోవాట్ – గంట (kwh), దీన్ని విద్యుత్ శక్తి వినియోగ యూనిట్‌గా వాడుతాం.

$$1 \text{ kwh} = 1 \times 10^3 \times \text{ J/s} \times 60 \times 60 \text{ s}$$

$$1 \text{kwh} = 36 \times 10^5 \text{J} = 3.6 \text{ MJ}$$ (మెగా జౌల్స్)

- సామర్థ్యాన్ని సందర్భోచితంగా కింది విధంగా కూడా రాస్తారు.

$$P = \frac{\text{KE}}{\text{కాలం}} = \frac{1/2\,mv^2}{t} \qquad (5.28)$$

$$P = \frac{\text{స్థితిజ శక్తి}}{\text{కాలం}} = \frac{mgh}{t} \qquad (5.29)$$

ఉదాహరణ 5.7

ఒక ట్రక్కు పంచదార బస్తాలతో నింపబడింది. పంచదార మరియు ట్రక్కుల మొత్తం ద్రవ్యరాశి 1,00,000 కి.గ్రా. ఈ ట్రక్కు వక్ర మార్గంలో 700 మీ ఎత్తుగల ఒక పర్వతం పైకి 1 గంటలో వెళ్లగలదు. సామాగ్రిని ఎత్తడంలో ఇంజన్ ఎంత సగటు సామర్థ్యాన్ని ఉత్పత్తి చేస్తుంది?

సాధన:

$$W = mgh$$
$$= (100{,}000 \text{ kg}) \times (9.8 \text{ m s}^{-2} \times 700 \text{ m})$$
$$= 9.8 \times 7 \times 10^7 \text{ J}$$
$$= 68.6 \times 10^7 \text{J}$$

పట్టిన కాలం $= 1 \text{ hour} = 60 \times 60 \text{ s}$

$$= 3600 \text{ s}$$

సగటు సామర్థ్యం $P = W / t$

$$= \frac{68.6 \times 10^7 \text{ J}}{3600 \text{ s}}$$

$$= 1.91 \times 10^5 \text{ watt}$$

కాని, 746 W = 1 hp అని మనకు తెలుసు.

$$P = \frac{1.91 \times 10^5}{746} = 2.56 \times 10^2 = 256 \text{ hp}$$

ఉదాహరణ 5.8

జల విద్యుత్ కేంద్రంలో పడుతున్న నీటిని ఒక శక్తి వరనుగా ఉపయోగించుకుని టర్బైన్ తిప్పి, విద్యుత్‌ను ఉత్పత్తి చేస్తుంది. ఒక జల విద్యుత్ కేంద్రంలో 1 సెకను కాలంలో 1000×10^3 కిగ్రా నీరు 51 మీ ఎత్తు నుండి పడుతున్నది.

(i) ఆ పడుతున్న నీరువల్ల జరిగిన పని ఎంత?

(ii) ఆదర్శ పరిస్థితుల్లో ఉత్పత్తి చేసిన విద్యుత్ ఎంత?

సాధన:

(i) ఎత్తులో ఉన్నప్పుడు నీటి యొక్క స్థితిశక్తి

$$PE = \text{Work} = mgh$$

$$= (1000 \times 10^3 \text{ kg}) \times (9.8 \text{ms}^{-2}) \times (51 \text{ m})$$

$$PE = W = 500 \times 10^6 \text{ J}$$

(ii) నీరు తన మొత్తం స్థితిశక్తిని కోల్పోతుంది. ఈ మొత్తం శక్తి టర్బైన్ చక్రాలను తిప్పడానికి కావలసిన శక్తిగా మార్పు చెందుతుంది. కాబట్టి,

$$P = \frac{W}{t} = \frac{500 \times 10^6 \text{ J}}{1\text{s}}$$

$$= 500 \times 10^6 \text{ watt}$$

$$PE = 500 \text{ MW}$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 5.4

1. 100 kg ద్రవ్యరాశి గల వస్తువు 10 s కాలంలో 8 m ల ఎత్తుకు ఎత్తబడింది. ఎత్తిన వ్యక్తి యొక్క సామర్థ్యాన్ని లెక్కించండి.

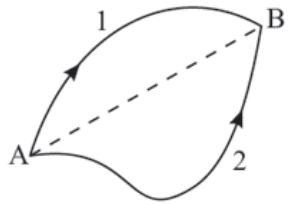
2. 10hp ని కిలోవాట్‌లోకి మార్చండి.

3. 1000 kg ద్రవ్యరాశితో ఉండే కారు 90 kmh^{-1} వడితో ప్రయాణిస్తోంది. బ్రేకులు వేసిన తరువాత అది 15 m ప్రయాణించి ఆగిపోతుంది. బ్రేకులు కలుగజేసిన సగటు బలం ఎంత? బ్రేకులు వేసిన 25 సెకన్లకు కారు ఆగిపోతే బ్రేకుల సగటు సామర్థ్యం ఎంత?

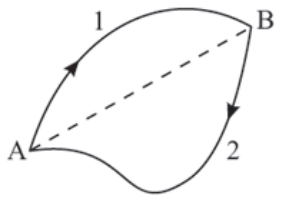
4. కారు యంత్రం ప్రయోగించిన 4000 N బలంతో కారు 72 kmph వడితో కదిలితే, యంత్రం సామర్థ్యం ఎంత?

5.7 నిత్యత్వ, అనిత్యత్వ బలాలు

(a) నిత్యత్వ బలాలు: ఒక వస్తువుపై గురుత్వాకర్షణ బలాలు చేసిన పని ఆ వస్తువు యొక్క ద్రవ్యరాశి మరియు నిలువు స్థానభ్రంశాల లబ్ధంపై ఆధారపడి ఉంటుంది అని మీకు తెలుసు. ఒక వస్తువును గురుత్వంలో A అనే బిందువు నుండి B అనే బిందువుకు కదిలిస్తే (పటం 5.13(a)) గురుత్వం చేసిన పని కేవలం ఆ రెండు బిందువుల మధ్య నిటారు దూరంపై ఆధారపడి ఉంటుంది. A నుండి B బిందువుకు చేరడానికి వెళ్లే మార్గంపై ఆధారపడి ఉండదు. ఈ నియమాన్ని పాటించే బలాన్ని నిత్యత్వ బలం అని అంటారు. గురుత్వాకర్షణ బలం, స్థితిస్థాపక, స్థిరవిద్యుత్ బలం వంటివి నిత్యత్వ బలాలకు కొన్ని ఉదాహరణలు.



(a) వస్తువు A నుండి B కు రెండు వేరు వేరు మార్గాల్లో చలించింది.



(b) A నుండి B కు 1వ మార్గంలో ప్రయాణించిన, 2వ మార్గం వెంబడి వెనకకు తీసుకురాబడింది.

పటం. 5.13

ఒక నిత్యత్వ బలం చేసిన పని వస్తువు ప్రయాణించిన మార్గంపై ఆధారపడి ఉండదు. ఇదే నిత్యత్వ బలం ధర్మం. పటం 5.13(a) లో

W_{AB} (1 వెంబడి) = W_{AB}(2 వెంబడి) పటం 5.13b లో కూడా వస్తువు రెండు స్థానాలను చూపబడ్డాయి.

వస్తువు A నుండి Bకు 1వ మార్గంలో చలించి, తిరిగి B నుండి A కు రెండవ మార్గంలో తిరిగి వచ్చింది. నిర్వచనం ప్రకారం 1 వ మార్గం వెంబడి నిత్యత్వ బలం వల్ల జరిగిన పని, 2వ మార్గం వెంబడి నిత్యత్వ బలం వల్ల జరిగిన పనికి సమానం మరియు వ్యతిరేకంగా ఉంటుంది.

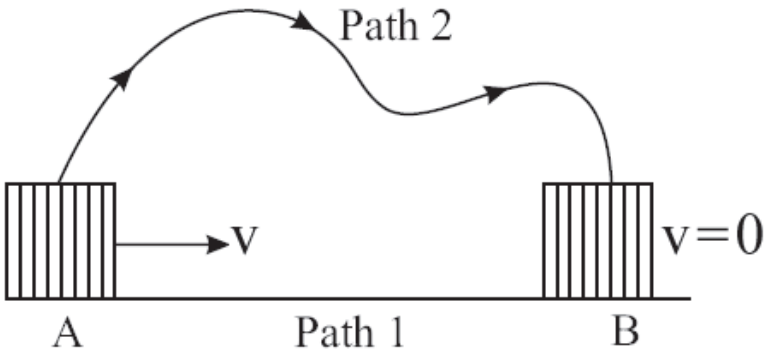
W_{AB} (1వ మార్గం వెంబడి) = $-W_{AB}$(2వ మార్గం వెంబడి)

లేదా $W_{AB} + W_{BA} = 0$

ఈ ఫలితం నిత్యత్వ బలం యొక్క ఒక ముఖ్య ధర్మాన్ని తెలియచేస్తుంది. అది ఏమిటంటే, వస్తువు ఒక సంవృత పథంలో తిరుగుతూ, తిరిగి తన తొలి స్థానానికి చేరుకుంటే, ఆ వస్తువుపై నిత్యత్వ బలంవల్ల జరిగిన పని శూన్యం.

(b) అనిత్యత్వ బలం: ఘర్షణ బలం అనేది అనిత్యత్వ బలానికి ఒక మంచి ఉదాహరణ. పటం 5.14 ఒక గరుకు క్షితిజ సమాంతర తలాన్ని సూచిస్తుంది. ఈ తలంపై m ద్రవ్యరాశిగల ఒక దిమ్మె A బిందువు నుండి v వడితో చలిస్తున్నది.

సరళరేఖా మార్గంలో కొంత దూరం ప్రయాణించిన తరవాత, B బిందువు వద్ద దిమ్మె ఆగిపోయింది. ఆ దిమ్మెకు A బిందువు వద్ద గతిశక్తి $E = \frac{1}{2}mv^2$ ను కలిగి ఉంది. B బిందువు వద్ద ఆ దిమ్మె స్థితిశక్తి గాని, గతిశక్తిగాని కలిగి ఉండదు. ఆ దిమ్మె మొత్తం శక్తిని కోల్పోయింది. ఈ శక్తి ఏమయిందో మీకు తెలుసా? అది రూపాన్ని మార్చుకుంది. ఘర్షణ బలానికి వ్యతిరేకంగా పని జరిగింది లేదా ఘర్షణ బలం దిమ్మెపై రుణాత్మక పని చేసింది. ఇక్కడ వస్తువు యొక్క గతిశక్తి వ్యవస్థలో ఉష్ణశక్తిగా మార్పుచెందింది. ఇప్పుడు అంతే గతిశక్తి A కలిగిన దిమ్మెను A నుండి B కు మరొక పొడవైన మార్గం 2 వెంబడి తీసుకువెళ్ళండి. ఇది B బిందువును చేరలేకపోవచ్చు. అది B బిందువు చేరక ముందే ఆగిపోవచ్చు. దీని అర్థం ఏమిటంటే, ఈ మార్గంలో ప్రయాణించటానికి ఎక్కువ పని చేయవలసి వస్తుంది. అంటే ప్రయాణించే మార్గంపై జరిగేపని ఆధారపడి ఉంటుంది.



పటం 5.14 గరుకు క్షితిజ సమాంతర తలంపై ఉన్న ఒక దిమ్మెకు v తొలి వేగం ఇవ్వటంవల్ల అది 1వ మార్గం వెంబడి ప్రయాణించి, B వద్ద నిశ్చలస్థితికి వచ్చింది. ఇది A వద్ద అదే వేగంతో బయలుదేరి 2వ మార్గం వెంబడి ప్రయాణించింది

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 5.5

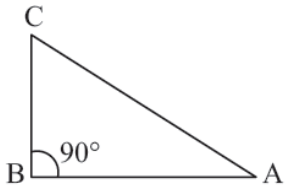
1. ABC అనేది ఒక త్రిభుజం. ఇక్కడ AB క్షితిజ సమాంతరం మరియు BC లంబం. భూజాల పొడవులు వరసగా AB = 3 m, BC = 4 m, మరియు AC = 5 m, 2 కిగ్రా ద్రవ్యరాశిగల దిమ్మె A వద్ద నిశ్చలస్థితిలో ఉంది. అయితే ఆ దిమ్మె యొక్క స్థితిశక్తిలోని మార్పు ఎంత?

   (a) ఆ దిమ్మెను A నుండి B

   (b) B నుండి C కు

   (c) C నుండి A తీసుకువచ్చినప్పుడు

   (d) ఆ వస్తువు B నుండి Cకు కదిలించినప్పుడు గురుత్వాకర్షణ బలంవల్ల జరిగిన పని ఎంత? (ధనాత్మకమా లేదా రుణాత్మకమా?)



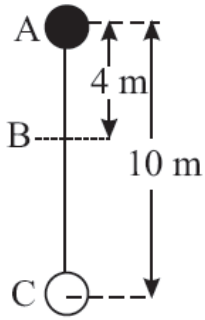
పటం. 5.15

2. భూమి ఉపరితలం నుండి 10 మీ ఎత్తులో A బిందువు వద్ద 0.5 కిగ్రా ద్రవ్యరాశిగల బంతి ఉంది. పని–శక్తి సిద్ధాంతాన్ని ఉపయోగించి కింది ప్రశ్నలను సాధించండి? స్వేచ్ఛా పతనంలో

(a) B బిందువు వద్ద వస్తువు వడి ఎంత?

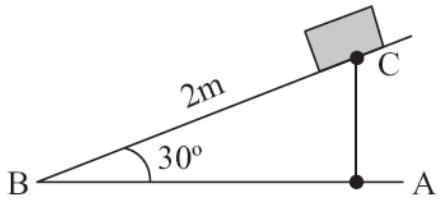
(b) C బిందువు వద్ద వస్తువు వడి ఎంత?

(c) ఆ వస్తువును A నుండి C కు తీసుకురావడానికి గురుత్వాకర్షణ బలంవల్ల జరిగిన పని ఎంత? (సరైన గుర్తును ఇవ్వండి)



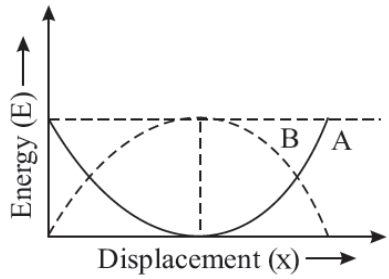
పటం. 5.16

3. ఒక దిమ్మె వాలుతలంపై నుండి కిందకు జారుతుంది. వాలుతలం పొడవు BC = 2 m . ఇది క్షితిజ సమాంతరంతో 30^0 కోణం చేస్తుంది. దిమ్మె ద్రవ్యరాశి 2 కిగ్రా B బిందువు వద్ద దిమ్మె గతిశక్తి 15.6 J. అనిత్యత్వ బలం (ఘర్షణ బలం) వల్ల నష్టపోయిన స్థితిశక్తి ఎంత? ఘర్షణ బలం యొక్క పరిమాణం ఎంత?



పటం. 5.17

4. పటం సరళహరాత్మక చలనం చేస్తున్న ఒక లఘులోలకం యొక్క శక్తి (E) మరియు స్థానభ్రంశం x ల మధ్య గల వక్రాలు A మరియు B లను సూచిస్తుంది. ఇందులో ఏ వక్రం లోలకం యొక్క స్థితిశక్తిని సూచిస్తుంది. ఎందువల్ల?



పటం. 5.18

5. ఒక వ్యవస్థపై అనిత్యత్వ బలాలు పనిచేస్తున్నప్పుడు మొత్తం యాంత్రికశక్తి స్థిరంగా ఉంటుందా?

6. నిత్యత్వ బలం వస్తువుపై ధనాత్మక పనిని చేస్తే, దాని స్థితిజ శక్తికి ఏమి అవుతుంది?

5.8 స్థితిస్థాపక, అస్థితిస్థాపక అభిఘాతాలు

మన నిత్య జీవితంలో వాహనాల మధ్య, సుత్తి – మేకు మధ్య, బంతి – బ్యాట్ మొదలగు వాటి మధ్య అభిఘాతాలను చూస్తుంటాం. కనిపించే వస్తువుల మధ్యే కాకుండా, కనిపించని పరమాణువులు, కణాలు, కేంద్రకాల మధ్య అభిఘాతాలు జరగడం సర్వసాధారణం.

విశ్లేషణ సరళతరం చేయటానికి రెండు గోళాల మధ్య అభిఘాతం గురించి ప్రారంభిద్దాం. ఇచ్చట ముఖాముఖి అభిఘాతాలు లేదా కేంద్రియ అభిఘాతాలు తీసుకుందాం. ఈ అభిఘాతాల్లో, అభిఘాతం చెందే వస్తువులు వాటి కేంద్రాలను కలిపి రేఖ వెంబడి చలిస్తాయి. ఈ అభిఘాతాలు రెండు రకాలు.

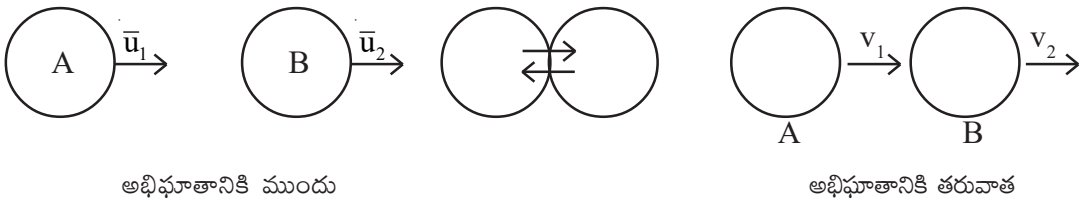
(i) పరిపూర్ణ స్థితిస్థాపక అభిఘాతాలు : రేఖీయ ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమం గతిజశక్తి నిత్యత్వ నియమాన్ని పాటించే అభిఘాతాలు అంటే అభిఘాతానికి ముందు, తరువాత మొత్తం ద్రవ్యవేగం మొత్తం గతిజశక్తులు మారకుండా ఉంటాయి.

(ii) పరిపూర్ణ అస్థితిస్థాపక అభిఘాతాలు : ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమాన్ని పాటించి, గతిజశక్తి నిత్యత్వ నియమాన్ని పాటించని అభిఘాతాలు వీటిలో ఢీకొనే వస్తువులు అభిఘాతం తరువాత ఒకదానికి ఒకటి అతుక్కొని, కలసి ఉమ్మడి వేగంతో ప్రయాణిస్తాయి.

ఈ రెండు రకాల అభిఘాతాల్లో శక్తి నిత్యత్వ నియమం పాటించబడుతుంది.

5.8.1 స్థితిస్థాపక అభిఘాతం

m_1, m_2 ద్రవ్యరాశి గల రెండు బంతులు A, B తొలి వేగాలు $\bar{u}_1$, $\bar{u}_2$ లతో ప్రయాణిస్తూ, పటం 5.19లో చూపిన విధంగా ఢీకొన్నాయని అనుకొనుము. అభిఘాతం తరువాత వాటి వేగాలు $\bar{v}_1$, $\bar{v}_2$, $u_1 > u_2$ అనుకొనుము.



పటం. 5.19 : స్థితిస్థాపక అభిఘాతం

ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమాన్ని అనుసరించి, అభిఘాతానికి ముందు మొత్తం ద్రవ్యవేగం = అభిఘాతం తరువాత మొత్తం ద్రవ్యవేగం

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

$$m_1 (u_1 - v_1) = m_2 (u_2 - v_2) \qquad (5.30)$$

గతిజశక్తి నిత్యత్వ నియమం నుంచి

$$\frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 u_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

$$m_1 \left(u_1^2 - v_1^2\right) = m_2 \left(u_2^2 - v_2^2\right) \qquad (5.31)$$

5.29 సమీకరణాన్ని 5.28 సమీకరణంతో భాగిస్తే

$u_1 + v_1 = u_2 + v_2$ వస్తుంది.

లేదా $$u_1 - u_2 = v_2 - v_1 \qquad (5.32)$$

ఇది అభిగమన సాపేక్ష వేగం, విగమన సాపేక్ష వేగానికి సమానం అని సూచిస్తుంది.

(5.30) నుంచి

$$v_2 = u_1 - u_2 + v_2 \qquad (5.33)$$

(5.31) ని 5.28 లో ప్రతిక్షేపిస్తే

$$m_1(u_1 - v_1) = m_2(u_1 - u_2 + v_1 - u_2)$$

$$m_1 u_1 - m_1 v_1 = m_2 u_1 + m_2 v_1 - 2\, m_2 u_2$$

$$v_1(m_1 + m_2) = u_2(m_1 - m_2) + 2\, m_2 u_2$$

$$v_1 = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right) u_1 + \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2}\right) u_2 \qquad (5.34)$$

అదేవిధంగా $v_1 = v_2 + u_2 - u_1$ (5.30) లో ప్రతిక్షేపిస్తే

$$v_2 = \left(\frac{2m_1}{m_1+m_2}\right)u_1 + \left(\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\right)u_2 \qquad (5.35)$$

మనం కొన్ని ప్రత్యేక సందర్భాలను చూద్దాం.

సందర్భం - I

బంతుల ద్రవ్యరాశులు సమానం అయితే $m_1 = m_2 = m$ (5.32), (5.33) ల నుంచి

$$v_1 = u_2$$
$$v_2 = u_1$$

అంటే బంతులు అభిఘాతం తరువాత తమ వేగాలను పరస్పరం బదిలీ చేసుకొంటాయి.

ఒకవేల బంతి B నిశ్చల స్థితిలో ఉంటే, $u_2 = 0$.

$$v_1 = \left(\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\right)u_1$$

$$v_2 = \left(\frac{2m_1}{m_1+m_2}\right)u_1$$

$m_1 = m_2$ అయితే $v_1 = 0$, $v_2 = u_1$ అవుతుంది.

అంటే, అభిఘాతం తరువాత A నిశ్చల స్థితిలోకి వస్తే, అభిఘాతానికి ముందు A వేగంతో B ముందుకు చలిస్తుంది.

అభిఘాతం తరువాత గతిజ శక్తుల విషయంలో కింది విధంగా చెప్పవచ్చు. A బంతి కోల్పోయిన పూర్తి లేదా పాక్షిక గతిజశక్తి, B బంతి పొందిన గతిజశక్తికి సమానం. కేంద్రక రియాక్టర్లలో న్యూట్రాన్ల వేగాన్ని తగ్గించడంలో ఈ సూత్రాలను అనువర్తిస్తారు.

సందర్భం - II

రెండు విభిన్న ద్రవ్యరాశి కణాల మధ్య అభిఘాతం మరింత ఆసక్తికరంగా ఉంటుంది.

(i) నిశ్చల స్థితిలో ఉండి m_1 కంటే m_2 చాలా ఎక్కువగా ఉన్న సందర్భంలో

$$m_2 >> m_1 \qquad u_2 = 0$$

m_2 తో పోల్చితే m_1 ద్రవ్యరాశిని ఉపేక్షించవచ్చు.

$$v_1 = \left(\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\right)u_1 = -u_1 \ (\because m_1 \simeq 0 m_1 + m_2 \simeq m_2)$$

$$v_2 = \left(\frac{2m_1}{m_1+m_2}\right)u_1$$

$$v_2 = 0 \left(\because \quad m_1 << m_2 \rightarrow \frac{m_1}{m_2} \rightarrow 0 \right)$$

అభిఘాతం తరువాత బరువైన కణం నిశ్చల స్థితిలోనే కొనసాగితే తేలికైన కణం తన తొలివేగం తోనే వెనక్కి తిరుగుతుంది.

ఈ సందర్భానికి ఉదాహరణ, బాలుడు బంతిని గోడకేసి కొట్టుట.

పరమాణు భౌతికశాస్త్రంలో ఈ ఫలితం అనువర్తనాలను చూడవచ్చు. ఉదాహరణకు α - కణం బరువైన యురేనియం లాంటి కేంద్రకాన్ని ఢీ కొట్టుట.

5.8.2 ప్రత్యావస్థన గుణకం (e)

రెండు వస్తువులు పరస్పరం విడిపోయే (నిగమన), సమీపించే (అభిగమన) సాపేక్ష వేగాల నిష్పత్తిని ప్రత్యావస్థన గుణకం అంటారు.

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2} \qquad (5.36)$$

ఇక్కడ u_1, u_2 లు రెండు వస్తువుల తొలి వేగాలు; v_1, v_2 లు అభిఘాతం తరువాత వాటి తుది వేగాలు

e కి ప్రమాణాలు, మితులు లేవు.

అభిఘాతం చెందే వస్తువుల స్వభావంపై 'e' ఆధారపడుతుంది. పరిపూర్ణ స్థితిస్థాపక అభిఘాతానికి $e = 1$; పరిపూర్ణ అస్థితిస్థాపక అభిఘాతానికి $e = 0$ కాని e ప్రయోగాత్మక విలువ 0, 1 మధ్య ఉంటుంది..

5.8.3 ప్రత్యావస్థన గుణకాన్ని నిర్ధారించుట

రెండు పదార్థాల మధ్య ఉండే ప్రత్యావస్థాన గుణకాన్ని నిర్ధారించుటకై అందులో ఒకదాన్ని బంతి రూపంలో మరొక దాన్ని పలక రూపంలో తీసుకోవాలి. పలకపై బంతిని h_1 ఎత్తు నుంచి వదలాలి. అభిఘాతం తరువాత బంతి h_2 ఎత్తుకు లేస్తుందని అనుకోండి.

అప్పుడు, ప్రత్యావస్థన గుణకం $e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$ (5.37)

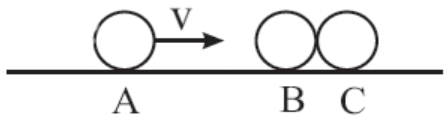
పాఠంలోని ప్రశ్నలు 5.6

1. రెండు దృఢ వస్తువులు అభిఘాతం చెందాయి. వాటిలో ఒకటి నిశ్చలస్థితిలో ఉంది.

   (a) అభిఘాతం తరవాత రెండు వస్తువులు నిశ్చలస్థితిలో ఉండే అవకాశం ఉందా?

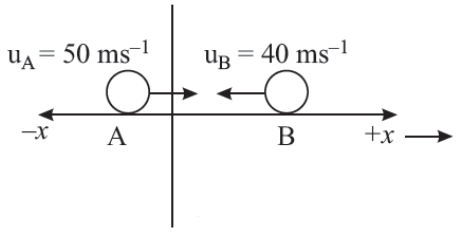
   (b) అభిఘాతం తరవాత వాటిలో ఒకటి నిశ్చల స్థితిలో ఉండే అవకాశం ఉందా?

2. ఇక్కడ చూపిన విధంగా ఒక రేఖపై ఒకే విధంగా ఉన్న మూడు బంతులు A, B, C లు గల వ్యవస్థ ఉంది. B మరియు Cలు నిశ్చలస్థితిలో కలసి ఉన్నాయి. A అనే బంతి vవేగంతో చలిస్తూ B తో ముఖాముఖి అభిఘాతం చెందింది. అభిఘాతం తరవాత A, B, Cల విడివిడి వేగాలు ఎంత? వివరించండి.



పటం. 5.20

3. 2 kg ద్రవ్యరాశిగల జు అనే బంతి 4 kg ద్రవ్యరాశిగల B అనే వస్తువుతో ముఖాముఖి అభిఘాతం జరిపింది. A + x అక్షం దిశలో 50 ms^{-1} వడితోను, B, –x అక్షం దిశలో 40 మీసె$^{-1}$ వడితోను చలిస్తున్నాయి. అభిఘాతం తరవాత A మరియు Bల యొక్క వేగాలు ఎంత? ఈ అభిఘాతం స్థితిస్థాపక అభిఘాతం.



పటం. 5.21

4. 1 కిగ్రా ద్రవ్యరాశిగల తుపాకీ గుండు పేల్చబడింది. మరియు ఇది నిశ్చల స్థితిలోగల 1 kg ద్రవ్యరాశిగల చెక్క దిమ్మెలో చొచ్చుకుపోబడింది. అభిఘాతానికి ముందు తుపాకీ గుండు వేగం 90 ms^{-1}.
   (a) అభిఘాతం తరవాత ఆ వ్యవస్థ యొక్క వేగం ఎంత?
   (b) అభిఘాతం ముందు తరవాత గతిశక్తులను లెక్కించండి.
   (c) ఇది స్థితిస్థాపక అభిఘాతమా? లేదా అస్థితిస్థాపక అభిఘాతమా?
   (d) ఈ అభిఘాతంలో ఎంత శక్తి నష్టపోయింది?
5. రెండు బంతుల మధ్య స్థితిస్థాపక అభిఘాతంలో, అభిఘాతం తరవాత ప్రతి బంతి గతిశక్తి మార్పు చెందుతుందా?
6. రెండు బంతులు పరిపూర్ణ అస్థితిస్థాపక అభిఘాతానికి లోనైతే, అభిఘాతం తరువాత వాటి సాపేక్ష వేగం ఎంత?
7. స్థితిస్థాపక అభిఘాతంతో ముడిపడిన బలాలు ఏ స్వభావాన్ని కలిగి ఉంటాయి?
8. ఏ తరహా అభిఘాతంలో, యాంత్రిక శక్తి ఇతర శక్తి రూపాల్లోకి మారుతుంది?
9. ఒక బంతి కొంత ఎత్తు నుండి కింద పడి భూమిని తాకి తిరిగి పైకి లేస్తుంది. ఈ ప్రక్రియలో ఏ వస్తువులు ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమాన్ని పాటిస్తాయి.

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- ఒక స్థిరబలం F వల్ల జరిగిన పని

$$W = \bar{F}.\bar{S} = FS\cos\theta$$

ఇక్కడ θ అనేది $\bar{F}$, $\bar{S}$ ల మధ్యగల కోణం. పని యొక్క ప్రమాణం జౌల్. పని అనేది అదిశరాశి.

- పని అనేది సంఖ్యాత్మకంగా F మరియు x లకు గీసిన గ్రాఫ్ కింది వైశాల్యానికి సమానం.
- హుక్ నియమాన్ని పాటిస్తున్న స్థితిస్థాపక బలంవల్ల జరిగిన పని $W = \frac{1}{2}kx^2$. ఇక్కడ k స్థితిస్థాపక వస్తువు (స్ప్రింగ్ లేదా తీగ) యొక్క బల స్థిరాంకం. ఇక్కడ బాహ్య బలం స్ప్రింగ్‌పై పనిచేస్తే జరిగిన పని W గుర్తు ధనాత్మకం. స్ప్రింగ్‌లో ఏర్పడే పునఃస్థాపక బలం చేసే పని రుణాత్మకం. x అనేది స్ప్రింగ్ యొక్క సంపీడనం లేదా వ్యాపనం.
- k యొక్క ప్రమాణాలు Nm^{-1}
- వ్యవస్థ యొక్క యాంత్రిక శక్తి రెండు రూపాల్లో ఉంటుంది. (i) గతిశక్తి మరియు (ii) స్థితిశక్తి.
- Kinetic energy is the energy possessed by a moving object. It is given by

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

- Potential energy is a stored energy possessed by an object by virtue of its position and configuration
- వస్తువు స్థానం, విన్యాసం వల్ల కలిగే శక్తి స్థితిజ శక్తి. గురుత్వ స్థితిజశక్తి PE = mgh.
- m ద్రవ్యరాశి గల వస్తువు v వడితో చలిస్తుంటే, దాని గతిశక్తి $E = \frac{1}{2}mv^2$. ఇది ఒక అదిశరాశి.
- **పని-శక్తి సిద్ధాంతం** ఈ నిర్వచనం ప్రకారం అన్ని బలాల వల్ల జరిగిన మొత్తం పని వస్తువు యొక్క గతిశక్తిలోని మార్పుకు సమానం.

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mu^2$$

$$W = K_f - K_i = \Delta K$$

- Power is the time rate of doing work (or) the time rate of utilizing energy.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t}\text{; units J/s or watt (W)}$$

పని జరిగే రేటును సామర్థ్యం అంటారు. P = W/t దీని ప్రమాణం జౌ/సె అంటే, వాట్ (W).

- ఒక కణంపై నిత్యత్వ బలం వల్ల జరిగిన పని, ఆ కణం యొక్క యాంత్రికశక్తిలోని మార్పుకు సమానం అవుతుంది అంటే గతిశక్తిలోని మార్పు + స్థితిశక్తిలోని మార్పు మరొక విధంగా చెప్పాలంటే నిత్యత్వ బల పరిధిలో యాంత్రిక శక్తి నిత్యత్వం అవుతుంది.

$$\Delta E = (\Delta E)_{KE} + (\Delta E)_{PE}$$

- వస్తువు యొక్క సంవృత పథానికి, నిత్యత్వ బలంవల్ల ఆ వస్తువుపై జరిగిన పని శూన్యం (వస్తువు తిరిగి తన తొలి స్థానానికి చేరుకుంటే)

- నిత్యత్వ బలంవల్ల జరిగిన పని వస్తువు ప్రయాణించిన మార్గంపై ఆధారపడదు. ఇది కేవలం వస్తువు యొక్క తొలి మరియు తుది స్థానాలపై మాత్రమే ఆధారపడి ఉంటుంది.
- అనిత్యత్వ బలం చేసిన పని ప్రయాణం చేసిన మార్గంపై ఆధారపడి ఉంటుంది. ఇందులో మొత్తం యాంత్రిక శక్తి నిత్యత్వం కాబడి ఉండదు.
- స్ప్రింగ్‌లో సంపీడనం లేదా వ్యాపనం వల్ల నిల్వ ఉన్న శక్తిని స్థితిస్థాపక స్థితిశక్తి అని అంటారు. దీని విలువ $PE_{elastic} = \frac{1}{2}kx^2$ ఇక్కడ k స్ప్రింగ్ స్థిరాంకం మరియు x స్థానభ్రంశం..
- ఒక వియుక్త వ్యవస్థలో శక్తిని ఒక రూపం నుండి మరొక రూపానికి మార్చవచ్చు. కాని దీనిని సృష్టించలేం, నాశనం చేయలేము. మొత్తం శక్తి ఎప్పుడూ స్థిరంగా ఉంటుంది. దీన్నే శక్తి నిత్యత్వ నియమం అంటారు.
- అన్ని రకాల అభిఘాతాల్లో ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమం పాటించబడుతుంది.
- స్థితిస్థాపక అభిఘాతాలలో గతిశక్తి నిత్యత్వం అవుతుంది. కాని అస్థితిస్థాపక అభిఘాతాలలో గతిశక్తి నిత్యత్వం కాబడదు.
- శక్తి నిత్యత్వ నియమాన్ని అన్ని రకాల అభిఘాతాలు పాటిస్తాయి.
- నిగమన, అభిగమన సాపేక్ష వేగాల నిష్పత్తిని ప్రత్యావస్థన గుణకం (e) అంటారు.

$$e = \frac{v_2 - v_1}{u_2 - u_1}$$

- పరిపూర్ణ స్థితిస్థాపక అభిఘాతానికి $e = 1$

  పరిపూర్ణ అస్థితిస్థాపక అభిఘాతానికి $e = 0$
- e ప్రాయోగాత్మక విలువలు 0 మరియు 1 మధ్య ఉంటాయి.

ముగింపు అభ్యాసం

1. రెండు కణాల గతిశక్తులు సమానం అయితే, వాటి ద్రవ్యవేగాలు కూడా సమానం అవుతాయా? వివరించండి.
2. చలనంలో ఉన్న ఒక కణం, నిశ్చల స్థితిలో గల మరొక కణంతో అభిఘాతం చెందింది. అభిఘాతం తరవాత రెండు కణాలు నిశ్చలస్థితిలో ఉండే అవకాశం ఉందా?
3. ఒక వ్యవస్థపై అనిత్యత్వ బలాలు (దుర్వ్యయ బలాలు) పనిచేస్తున్నప్పుడు, ఆ వ్యవస్థ యొక్క మొత్తం యాంత్రిక శక్తి స్థిరంగా ఉంటుందా?
4. ఒక పిల్లవాడు ఒక బంతిని 20 మీసె$^{-1}$ వేగంతో నిట్టనిలువుగా పైకి ప్రక్షిప్తం చేసాడు.

   (a) ఏ బిందువు వద్ద గతిశక్తి గరిష్ఠం?

   (b) ఏ బిందువు వద్ద స్థితిశక్తి గరిష్ఠం?

5. 3 kg ద్రవ్యరాశిగల ఒక దిమ్మె 20m s^{-1} వేగంతో చలిస్తూ, 1200 N m^{-1} స్ప్రింగ్ స్థిరాంకంగల ఒక స్ప్రింగ్‌తో అభిఘాతం చెందింది. స్ప్రింగ్‌లోని గరిష్ఠ సంపీడనాన్ని లెక్కించండి.

6. 5వ ప్రశ్నలో దిమ్మె యొక్క గతిశక్తి, స్ప్రింగ్ యొక్క స్థితిస్థాపక స్థితిశక్తికి రెట్టింపు అయిన సందర్భంలో, స్ప్రింగ్‌లో సంపీడనం ఎంత ఉంటుంది?

7. ఒక విద్యుత్ బల్బు సామర్థ్యం 60 W. ఆ విద్యుత్ బల్బులను రోజుకు 12 గంటలపాట వెలిగిస్తే, 30 రోజుల్లో ఆ బల్బు వినియోగించిన విద్యుత్ శక్తి ఎంత?

8. ప్రతి సెకనకు 1000 kgల ద్రవ్యరాశిగల నీరు 120 m. ఎత్తు నుండి పడుతున్నది. ఈ పడుతున్న నీటి శక్తిని విద్యుత్‌శక్తి జనింపచేయటానికి ఉపయోగిస్తున్నారు. శక్తి నష్టం లేదని ఊహించి, విద్యుత్ జనకం యొక్క సామర్థ్యాన్ని లెక్కించండి.

9. ఒక హైవే పై 1200 kg ల ద్రవ్యరాశి గల ఒక కారు వడి 90 km h^{-1} దాని డ్రైవర్ కారును ఆపుటకు బ్రేకులను ప్రయోగించాడు. ఆ కారు మూడు సెకన్లలో నిశ్చల స్థితికి వచ్చింది. బ్రేకుల యొక్క సగటు సామర్థ్యాన్ని లెక్కించండి.

10. 400 g ద్రవ్యరాశి గల ఒక బంతి 5 ms^{-1} వడితో చలిస్తూ నిశ్చలస్థితిలో ఉన్న 600 g ద్రవ్యరాశిగల గోళంతో ముఖాముఖి అభిఘాతం చెందింది. అభిఘాతం తరవాత గోళం యొక్క వడిని లెక్కించండి.

11. 10 g ద్రవ్యరాశిగల ఒక తుపాకీ గుండు 500 ms^{-1} తొలివేగంతో పేల్చబడింది. ఇది నిశ్చలస్థితిలో ఉన్న 20 kg ల ద్రవ్యరాశిగల చెక్క దిమ్మెను ఢీకొని, దిమ్మెలోకి చొచ్చుకొనిపోయింది.

    (a) అభిఘాతం తరవాత దిమ్మె యొక్క వేగాన్ని లెక్కించండి.

    (b) ఈ అభిఘాతంలో శక్తి నష్టం ఎంత?

12. 6 kgల ద్రవ్యరాశిగల వస్తువు క్షితిజ సమాంతర తలంపై నిశ్చలస్థితిలో ఉంది. 15 N పరిమాణం గల ఒక క్షితిజ సమాంతర బలం ఆ వస్తువుపై స్థిరంగా ప్రయోగించబడింది. ఆ వస్తువు 10 s కాలంలో 100 m దూరం ప్రయాణించింది.

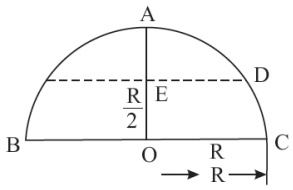
    (a) ప్రయోగించిన బలం చేసిన పని ఎంత?

    (b) 10 సెకన్ల తరవాత ఆ దిమ్మె యొక్క గతిజశక్తి ఎంత?

    (c) ఘర్షణ బలం యొక్క పరిమాణం మరియు దిశ ఏమిటి (ఒక వేళ ఏమైనా ఉంటే)

    (d) వస్తువు చలిస్తున్నప్పుడు నష్టపోయిన శక్తి ఎంత?

13. నేలపై బోర్లించిన అర్ధగోళాకారపు కప్పుపైA, B, C మరియు D అనేవి నాలుగు బిందువులు. వ్యాసం BC = 50 cm A బిందువు వద్ద 250 g ద్రవ్యరాశిగల కణం నిశ్చలస్థితిలో ఉండి, కప్పు యొక్క నునుపైన తలం వెంబడి కిందకు జారింది. ఇప్పుడు



    (a) B బిందువు పరంగా A బిందువు వద్ద స్థితిశక్తి ఎంత?

    (b) B బిందువు వద్ద వడి (అట్టడుగు బిందువు)

    (c) D బిందువు వద్ద గతి మరియు స్థితిశక్తులు లెక్కించండి.

    దిమ్మె యొక్క యాంత్రిక శక్తి నిత్యత్వం అవుతుంది అని నీవు కనుగొనగలవా? ఎందువల్ల?

14. ఒక స్ప్రింగ్ యొక్క బల స్థిరాంకం 400 N/m^{-1}. (a) 6.0 cm వరకు (b) x = 4.0 cm నుండి x = 6.0 cm వరకు, ఇక్కడ x = 0 అనేది స్ప్రింగ్ యొక్క విరామస్థానం, స్ప్రింగ్‌ను సాగదీయడానికి చేయవలసిన పని ఎంత?

15. ఒక కారు యొక్క ద్రవ్యరాశి 1000 kg. ఇది నిశ్చల స్థితి నుండి బయలుదేరి 3.0 సెకన్లల్లో 15 ms^{-1} వడిని పొందింది. అయితే

(a) ఇంజన్ యొక్క సగటు సామర్థ్యం

(b) ఇంజన్ వల్ల కారుపై జరిగిన పని లెక్కించండి.

16. 2 m/s వడితో ప్రయాణిస్తున్న 0.6 kg ద్రవ్యరాశి గల బంతి, నిశ్చల స్థితిలోని 0.8 kg బంతిని ఢీకొట్టింది. ఈ అభిఘాతం పరిపూర్ణ స్థితిస్థాపక అభిఘాతం అయితే బంతుల తుదివేగాలను కనుక్కోండి.

17. 0.2 kg ద్రవ్యరాశితో ఉండే బంతిని సమతలంపై 1 m ఎత్తు నుంచి జారవిడిచారు. అభిఘాతం తరువాత బంతి 0.64 m. ఎత్తుకు లేచింది. బంతి, సమతలాల మధ్య ప్రత్యావస్థన గుణకం ఎంత?

18. నిశ్చల స్థితిలోని బాంబు 1 kg, 2 kg ద్రవ్యరాశులు గల రెండు ముక్కలుగా పేలిపోయింది. చిన్న ముక్క వడి 200 ms^{-1} అయితే, రెండవ ముక్క వడి ఎంత?

19. ఒక మెషిన్‌గన్ నిమిషానికి 240 బుల్లెట్లను పేల్చుతుంది. ఒక్కొక్క బుల్లెట్ వేగం 500 ms^{-1}. గన్ను సామర్థ్యం 2.5 kW అయితే బుల్లెట్ ద్రవ్యరాశి ఎంత?

20. 70 kg ద్రవ్యరాశిని కలిగిన ప్రయాణికుడు తలపై 30 kg ద్రవ్యరాశి గల బ్యాగ్‌ను మోస్తూ రైల్వే ప్లాట్‌ఫాంపై ఉన్న బ్రిడ్జి మెట్లను ఎక్కుతున్నాడు. ఒక్కొక్కటి 30 cm ఎత్తున్న 30 మెట్లను అధిరోహించడంలో, గురుత్వానికి వ్యతిరేకంగా అతను చేసిన పనిని లెక్కించండి. ($g = 10ms^{-2}$)

పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

5.1

1. కణం యొక్క చలన దిశకు బలం ఎప్పుడూ లంబదిశలో పనిచేస్తుంది. కాబట్టి ఈ బలం వల్ల పని జరగలేదు.

$W = FS \cos \theta$

$W = FS \cos 90° = 0$

2. (a) బలం ప్రయోగించినా స్థానభ్రంశం శూన్యం అయినప్పుడు

ఉదా: బాలుడు కోట గోడను కదిలించే ప్రయత్నం చేస్తే

(b) బలం, స్థానభ్రంశాల మధ్య కోణం (θ) 180° – 270° మధ్య ఉన్నది..

ఉదా: ఘర్షణ వలన జరిగే పని

(c) $\theta < 90°$.

ఉదా: ఫుట్‌బాల్ ఆటగాడు బంతిని గోల్ చేసేందుకు తన్నిప్పుడు

3. (a) $W = mgh = +98J$

(b) $W = mgh = -98J$

4. $\mathbf{F} = \left(2\hat{\mathbf{i}} + 3\hat{\mathbf{j}}\right)N, S = \left(-\hat{\mathbf{i}} + 2\hat{\mathbf{j}}\right)m$

$W = F.S = \left(2\hat{\mathbf{i}} + 3\hat{\mathbf{j}}\right).\left(-\hat{\mathbf{i}} + 2\hat{\mathbf{j}}\right)$

$= 2 \times -1\left(\hat{\mathbf{i}}.\hat{\mathbf{i}}\right) + 3 \times 2\left(\hat{\mathbf{j}}.\hat{\mathbf{j}}\right)$

$= (2 \times -1) + (3 \times 2)$

$W = -2 + 6 = 4$

$W = 4J$

5. $F = \left(5\hat{i} + 3\hat{j}\right)N; \overline{\mathbf{S}} = \left(3\hat{\mathbf{i}} + 4\hat{\mathbf{j}}\right)m$

(a) $|S| = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{25} = 5\,m$

(b) $|F| = \sqrt{5^2 + 3^2} = \sqrt{34} = 5.83\,N$

(c) $W = \overline{\mathbf{F}}.\overline{\mathbf{S}} = \left(5\hat{\mathbf{i}} + 3\hat{\mathbf{j}}\right).\left(3\hat{\mathbf{i}} + 4\hat{\mathbf{j}}\right)$

$= 15 + 12 = 27$

$\therefore \quad W = 27\,J$

5.2

1. ప్రమాణ స్థానభ్రంశానికి గల పునఃస్థాపక బలాన్ని స్ప్రింగ్ స్థిరాంకం అని నిర్వచిస్తారు. దానిని Nm^{-1} ప్రమాణాల్లో కొలుస్తారు.

2. $k = \dfrac{10\,N}{10^{-2}\,m} = 1000\,Nm^{-1}$

$F = kx$ కాబట్టి, $x = 5\ cm = 5 \times 10^{-2}\,m$

$F = 1000 \times 5 \times 10^{-2}$

$F = 50\ N$

3. Work done by the force.

5.3

1. గతిశక్తి $K = \frac{1}{2}mv^2$ ఇది ఎప్పటికి రుణాత్మకం కాదు. ఎందువల్ల అంటే.

2. (a) KE becomes 4 times

   (b) KE becomes half

3. గతిశక్తి $PE = \frac{1}{2}4x^2 = 3.6J$

$$x^2 = \frac{2 \times 3.6}{k} = \frac{2 \times 3.6}{180} = 0.04\,m$$

$$x = 0.2\ m = 20\ cm.$$

4. – 375J

5.4

1. $PE = mgh = 100 \times 9.8 \times 8$

   $t = 10\ s$

$$\text{Power} = \frac{mgh}{t} = \frac{100 \times 9.8 \times 8}{10}\,W = 784\,W$$

2. $10\,hp = 10 \times 746\,\text{watts} = \frac{10 \times 746}{1000}\,\text{Kilo watts}$

$$= 7.46\ KW$$

3. $v^2 - u^2 = 2\ \text{as}\ u = 0;\ u = 90\,km/h = 25\,ms^{-1}$

$$a = \frac{v^2}{2s} = \frac{25 \times 25}{2 \times 15} = 20.83\,ms^{-2}$$

$$F = ma = 1000 \times 20.83 = 20830\ N.$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{20830}{25} = 12498\,W$$

4. $P = F.V = 4000 \times \left(\frac{\overset{4}{\cancel{72}} \times 5}{\cancel{18}}\,m/s\right)$

$$= 4000 \times 20 = 80000 = 80\ KW$$

5.5

1. (a) స్థితిశక్తిలో మార్పు ఉండదు.

   (b) స్థితిశక్తిలోని మార్పు $mgh = 2 \times 9.8 \times 4 = 78.4$ J

   (c) స్థితిశక్తిలో మార్పు ఉండదు. $\Delta PE = 78.45$

   (d) -78.4 J

2. (a) స్థితిశక్తిలో మార్పు $\Delta PE = mgh = 0.5 \times 9.8 \times 4 = 19.6\,J$

   $$KE \text{ at } B = \frac{1}{2}mv^2 = 19.6\,J$$

   $$v^2 = \frac{19.6 \times 2}{0.5} = 78.4$$

   $$v = \sqrt{78.4} = 8.85\,ms^{-1}$$

   (b) $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 10} = 14ms^{-1}$

   (c) $W = mgh = +49$ J.

3. $BC = 2m$; $\sin 30° = \frac{AC}{BC} = \frac{AC}{2}$

   $$AC = 2\sin 30° = 2 \times \frac{1}{2} = 1\,m$$

   C నుండి B వరకు స్థితిశక్తిలోని మార్పు $= mgh = 2 \times 9.8 \times 1 = 19.6$ J

   కాని B వద్ద గతిశక్తి $= 15.6$ J

   శక్తి నష్టం $= (19.6 - 15.6)$ J $= 4$ J.

   ఘర్షణ బలం వల్ల శక్తిలో ఈ నష్టం వస్తుంది.

   $4\ J = F \times S = F \times 2$

   $F = 2N$.

4. సామాన్య లోలకం గుండు కంపిస్తున్నప్పుడు, $x = 0$ వద్ద గరిష్ఠగతి శక్తి (KE) $x = x_m$ వద్ద కనిష్ఠంగా ఉంటుంది. స్థితిశక్తి (PE) $x = 0$ వద్ద కనిష్ఠంగాను $x = x_m$ వద్ద గరిష్ఠంగాను ఉంటుంది. అందువల్ల A వక్రం PE ని సూచిస్తుంది.

5. కాదు

6. PE తగ్గుతుంది. $du = -fdx$

   $$U_f - U_i = -dW$$

5.6

1. (a) కాదు, ఎందుకంటే, ఇది ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమానికి వ్యతిరేకంగా వెళ్తుంది.

   (b) అవును.

2. $v_A = 0$; $v_B = 0$; $v_c = v$

   ఈ షరతు కేవలం (1) రేఖీయ ద్రవ్యవేగం (2) మొత్తం గతిశక్తిల నిత్యత్వ నియమాలను మాత్రమే సంతృప్తిపరుస్తుంది.

3. 5.34 & 5.35 సమీకరణం నుండి

   $v_A = -35 ms^{-1}$

   $v_B = 20 m/s$

4. (a) $1.76\ ms^{-1}$ (b) 81 J and 1.58 J

   (c) అస్థితిస్థాపక అభిఘాతం (d) 79.42 J

5. అవును

6. శూన్యం

7. నిత్యత్వ బలం

8. అస్థితిస్థాపక అభిఘాతం

9. బంతి, భూమి

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

1. సమానం కాదు. $KE = \frac{p^2}{2m}$; $KE_1 = KE_2$

   $$\frac{p_1^2}{2m_1} = \frac{p_2^2}{2m_2} \Rightarrow p_1 \neq p_2 \text{ as } m_1 \neq m_2$$

2. సాధ్యం కాదు

3. స్థిరం కాదు

4. (a) తొలి బిందువు వద్ద

(b) గరిష్ట ఎత్తు వద్ద

5. $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kx^2$

$3 \times (20)^2 = 1200 \times x^2$

$3 \times 400 = 1200x^2 \Rightarrow x = 1m$

6. 0.707 m

7. $P = \frac{E}{t} \Rightarrow E = Pt$

$= 60 \times 30 \times 12 \times 60 \times 60$ joules

$E = \frac{60 \times 30 \times 12 \times 60 \times 60}{36 \times 10^5} KWh$

= 21.6 KWh = 21.6 యూనిట్లు.

8. $P = \frac{mgh}{t} = \frac{1000 \times 9.8 \times 120}{1} = 1176000 J/s$

$\simeq 1.2$ మెగా వాట్

9. $W = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1200 \times \left(\frac{90 \times 5}{18}\right)^2$

$= \frac{1}{2} \times 1200 \times (25)^2$

$= 600 \times 625 = 375000$ J

$P = \frac{W}{t} = \frac{375000}{3} = 125000 W$

= 125 KW.

10. $v_1 = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right) u_1 = \frac{(-200)}{1000} \times 5 = -1$ m/s

$v_2 = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2}\right) u_1 = \frac{(2 \times 400)}{1000} \times 5 \text{ ms}^{-1} = 4 \text{ms}^{-1}$

11. (a) $m_1 u_1 = (m_1 + m_2) v$

$$v = \frac{m_1 u_1}{m_1 + m_2} = \frac{10^{-2} \times 500}{10^{-2} + 20} = \frac{5}{20 + 0.01} ; 0.25\,ms^{-1}$$

(b) $\Delta KE = \frac{1}{2}\left[m_1 u_1^2 - (m_1 + m_2) v^2\right] = 1249.4J$

12. (a) 500 J

(b) 1200 J

(c) 3 N, చలన దిశకు వ్యతిరేకంగా

(d) 300 J

13. (a) mgh = 0.625 J

(b) $PE = \frac{1}{2} mv^2$

(c) 0.313 J

14. (a) $k = 400$ n/m $\quad W = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} \times 400 \times (0.06)^2$

(b) $W = \frac{1}{2}\left[x_2^2 - x_1^2\right] = 0.4$ J

15. (a) $W = \frac{\frac{1}{2} mv^2}{t} = \frac{1}{2} \times \frac{1000 \times 15 \times 15}{3} = 37.5\,kW$

(b) $W = p \times t = 1.125 \times 10^5$ J

16. $v_1 = 0.28\,m/s \quad v_2 = 1.72\,m/s$

(Hint $m_1u_1 + m_2u_2 = m_1v_1 + m_2v_2$; $u_1 - u_2 = v_1 - v_2$)

17. $e = 0.8 \left(\because \quad e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}\right)$

18. $-100\,m/s\ (0 = m_1v_1 + m_2v_2)$

19. $m = 5\,g \left(\because \quad P = \frac{\frac{1}{2} mnv^2}{t}\right)$

20. $W = (m_1 + m_2)\ gh$

$= 100 \times 10 \times (0.3\,m) \times 30$

$= 1000 \times 9$

$= 9$ KJ

6

కణాల వ్యవస్థ, భ్రమణ చలనం

పరిచయం

ఇప్పటివరకు మీరు ఒక వస్తువు చలనం గురించి మాత్రమే నేర్చుకున్నారు. సాధారణంగా దీనిని బిందురూప ద్రవ్యరాశిగా తీసుకుంటారు. యాంత్రికశాస్త్ర నియమాలను నేర్చుకొనేటప్పుడు ఈ సూక్ష్మీకరణం ఎంతగానో ఉపయోగపడుతుంది. కాని నిజ జీవితంలో వస్తువు అనేక కణాలతో నిండి ఉంటుంది. ఒక చిన్న గులకరాయి అనేక మిలియన్ల కణాలను కలిగి ఉంటుంది. అపుడు ప్రతీ కణానికి సమీకరణాలు రాయాలా? లేక ఏదన్నా సులభమైన మార్గం ఉందా? ఈ ప్రశ్నకు సమాధానాన్ని కనుగొనే ప్రక్రియలో మీరు ద్రవ్యరాశి కేంద్రం (centre of mass) మరియు రేఖీయ చలనంలో ద్రవ్యరాశి పాత్రను భ్రమణ చలనంలో నిర్వర్తించే, జడత్వ భ్రామకం గురించి తెలుసుకుంటారు.

అలాగే భౌతికశాస్త్రంలో మరో ముఖ్యమైన భావనైన కోణీయ ద్రవ్యవేగం గురించి కూడా చదువుతారు. భ్రమణవ్యవస్థ మీద బాహ్యబలాలు పనిచేయనపుడు దాని కోణీయ ద్రవ్యవేగం నిత్యత్వమవుతుంది. ఇది భౌతికశాస్త్రంలో చాలా ముఖ్యమైన భావన. ఈతగాళ్ళు డైవింగ్ బల్ల నుంచి నీటిలోకి డైవ్ చేస్తూ పల్టీలు ఎలా గొట్టగలరో అర్థం చేసుకోవడానికి ఉపకరిస్తుంది.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరవాత ఈ కింది విషయాలను తెలుసుకొంటారు.

- దృఢ వస్తువును, ఇతర వస్తువుల నుంచి వేరు చేయుట
- దృఢ వస్తువు ద్రవ్యరాశి కేంద్రం నిర్వచనం.
- దృఢ వస్తువుకు ఉండే చలనాలను వివరించగలగడం
- స్థానాంతర చలనం, భ్రమణ చలనా మధ్య తేడాను గుర్తించడం.
- జడత్వ భ్రామకం నిర్వచనం, సమాంతరాక్ష మరియు లంబాక్ష సిద్ధాంతముల నిర్వచనాలు.
- టార్క్‌ను నిర్వచించి అది ఏర్పరచే భ్రమణ దిశను కనుగొనడం.
- దృఢ వస్తువు గమనానికి సమీకరణాలు రాయగలగడం.
- కోణీయ ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వనియమం తెలియజేయడం.
- వాలుతలం మీద గమనంలో ఉన్న దృఢవస్తువు పొందిన అంతిమ వేగాన్ని కనుక్కోగలగడం.

6.1 దృఢ వస్తువు

ఇంతకు ముందు చెప్పుకొన్నట్టుగా బిందు ద్రవ్యరాశి అనేది సరళత కొరకు తీసుకొన్నదే. కాని, నిజానికి అన్ని వస్తువులకు కొంత పరిమాణం ఉంటుంది. వీటినే విస్తృత వస్తువులు అంటారు. రెండు విస్తృత వస్తువులు పరస్పరం చర్యలో పాల్గొన్నప్పుడు, వాటి పరిమాణాల కంటే, వాటి మధ్య దూరం చాలా ఎక్కువగా ఉన్నప్పుడు పరిమాణాలను ఉపేక్షించి, వాటిని బిందు ద్రవ్యరాశులుగా పరిగణిస్తాం. వస్తువు ఒక అక్షం చుట్టూ భ్రమణం చెందేటప్పుడు, దాని పరిమాణాన్ని పరిగణించుట ముఖ్యం. ఫుట్‌బాల్ లాంటి పెద్ద వస్తువులను పరిగణించినప్పుడు 'ద్రవ్యరాశి కేంద్రం' చే వాటిని సూచిస్తాం. ద్రవ్యరాశి కేంద్రం అనేది ఫుట్‌బాల్‌లోని అన్ని ద్రవ్యకణాల ప్రతినిధి.

భ్రమణ చలనం చేసే వస్తువును ఒక కణాల వ్యవస్థగా పరిగణిస్తాం.

విస్తతృత వస్తువును దృఢ వస్తువుగా పరిగణించుట ఒక ఆదర్శభావన. నిజానికి మన సామీప్యంలో ఎలాంటి దృఢ వస్తువులు లేవు. వస్తువుపై అధిక పరిమాణంలో బలాన్ని ప్రయోగించినప్పటికీ, దాన్లోని రెండు బిందువుల మధ్య సాపేక్ష దూరం మారకుండా ఉంటే లేదా దాన్ని "దృఢ వస్తువు" అంటారు. విరూపణ బలం ప్రయోగించినప్పటికి వస్తువు ఆకారం, పరిమాణాల్లో ఏలాంటి మార్పులు రాని వస్తువు "దృఢ వస్తువు" కాని ఎన్నో వస్తువులను, విరూపణాన్ని ఉపేక్షించి, దృఢ వస్తువులుగా పరిగణిస్తాం. ఉదా: క్రికెట్ బంతి, స్టీలు చక్రం, భూమి, చంద్రుడు బకెట్‌లో ఉన్న నీటిని దృఢ వస్తువుగా భావించవచ్చా? బకెట్‌ను జరిపినపుడు దానిలోని నీటి ఆకారం మారుతుంది కనుక బకెట్‌లో ఉన్న నీరు దృఢ వస్తువు కాదు.

దృఢ వస్తువు గురించి మీరు ఏం నేర్చుకున్నారో పరిశీలించుకోండి.

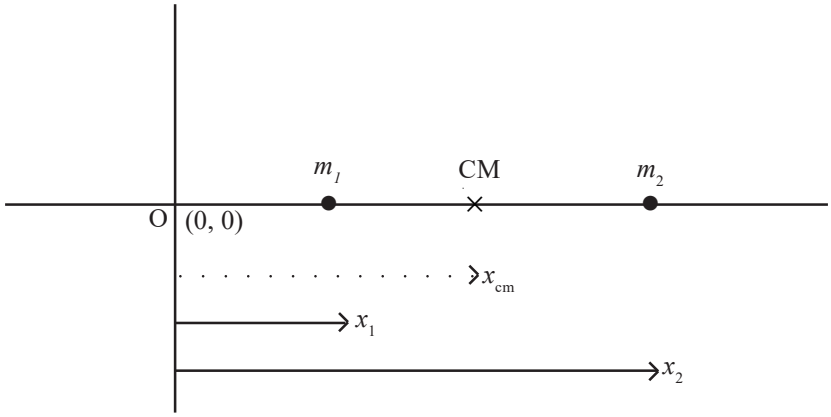
పాఠంలోని ప్రశ్నలు 6.1

1. ఒక ఫ్రేము ఆరు కడ్డీలతో తయారైంది. ఆ కడ్డీలు ఒక దానికొకటి గట్టిగా అతకబడి ఉన్నాయి. ఈ వ్యవస్థను దృఢ వస్తువుగా భావించవచ్చా?
2. ఇసుక కుప్పను దృఢ వస్తువుగా భావించవచ్చా? మీ సమాధానాన్ని వివరించండి.

6.2 దృఢ వస్తువు యొక్క ద్రవ్యరాశి కేంద్రం

ఒక దారం సహాయంతో మీరు ఒక మీటరు స్కేలును సమాంతరంగా పైకి ఎత్తాలంటే, దారాన్ని మీటరు స్కేలుపై ఎక్కడ ముడి వేస్తారు? స్కేలు ఒక చివరన మరొక భారాన్ని వేలాడదీస్తే, ముడి స్థానం మార్చకుండా, మీరు స్కేలును సమాంతరంగా ఎత్తగలరా?

1. స్కేలు ఏకరీతి మందాన్ని కలిగి ఉంటే, దాన్ని సమాంతరంగా పైకి ఎత్తాలంటే, మీరు దారాన్ని మధ్యలో అంటే 50 cm వద్ద ముడివేస్తారు.
2. స్కేలు చివరకు అదనంగా భారాన్ని చేర్చితే, దారం ముడి స్థానాన్ని మార్చకుండా, సమాంతరంగా స్కేలును ఎత్తలేరు.



పటం. 6.1 : రెండు కణాల వ్యవస్థ

మొదటి సందర్భంలో, మీరు దారాన్ని ఒకే బిందువుకు కట్టినా, మీరు స్కేలును పైకి ఎత్తడమే కాకుండా, మొత్తం స్కేలు ద్రవ్యరాశిని ఎత్తిన అనుభూతిని పొందుతారు. 50వ విభాగం వద్ద చిన్న ముక్కను కోస్తే, దాని ద్రవ్యరాశి మాత్రం స్కేలు ద్రవ్యరాశికి సమానం కాదని తెలుసుకొంటారు. కాబట్టి, వస్తువు మొత్తం ద్రవ్యరాశి ఏ బిందువు వద్ద కేంద్రీకృతం అయినట్టుగా కనిపిస్తోందో అదే "ద్రవ్యరాశి కేంద్రం(CM)".

అదే స్కేలు రెండు చివరల సమాన ద్రవ్యరాశులను కడితే, ద్రవ్యరాశి కేంద్ర స్థానం స్కేలు మధ్య బిందువు వద్దనే ఉంటుంది.

వస్తువులోని కణాల వైయుక్తిక చలనాలు చాలా సంక్లిష్టంగా ఉంటాయి. కాబట్టి ద్రవ్యరాశి కేంద్రం వస్తువు చలనాన్ని సులభతరం చేస్తుంది. ద్రవ్యరాశి కేంద్రాన్ని చదువుటకై రెండు కణాల వ్యవస్థను పరిగణిద్దాం. m_1, m_2 ద్రవ్యరాశి కలిగిన రెండు అతి చిన్న కణాలు X–అక్షంపై మూలబిందువు నుంచి దూరాల్లో x_1,x_2 (పటంలో చూపిన విధంగా) ఉన్నవి అనుకొనుము.

ఈ వ్యవస్థ ద్రవ్యరాశి కేంద్రం మూల బిందువు నుంచి X_{cm} దూరంలో ఉంటే

$$X_{cm} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2} \qquad (6.1)$$

m_1, m_2, m_3 ..... m_n ద్రవ్యరాశులతో n సంఖ్యలోని కణాల మూలబిందువు నుంచి x_1, x_2, x_3, ... x_n దూరాల్లో ఉంటే, ఈ వ్యవస్థ ద్రవ్యరాశి కేంద్ర స్థానం

$$X_{cm} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + ... + m_nx_n}{m_1 + m_2 + ... + m_n} \qquad (6.2)$$

$$X_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} = \frac{1}{M} \sum m_i x_i$$

M = $\sum$m = వ్యవస్థ మొత్తం ద్రవ్యరాశి

ద్విమితీయ వ్యవస్థలో m_1, m_2, m_3 ..... m_n ద్రవ్యరాశి కణాలు XY తలంలో (x_1, y_1), (x_2, y_2) ..... (x_n, y_n) నిరూపక బిందువుల వద్ద ఉంటే, ఈ ద్విమితీయ వ్యవస్థ ద్రవ్యరాశి కేంద్రక నిరూపకం

$$(X_{cm}, Y_{cm}) = \left(\frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}, \frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i} \right) \quad (6.3)$$

ఇదేవిధంగా త్రిమితీయ వ్యవస్థకు

$$(X_{cm}, Y_{cm}, Z_{cm}) = \left(\frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}, \frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i}, \frac{\sum m_i z_i}{\sum m_i} \right) \quad (6.4)$$

m_1, m_2, m_3 ..... m_n ద్రవ్యరాశులు గల ద్రవ్యరాశి కణాల స్థానాలను వాటి స్థాన సదిశలు $\overline{r_1}, \overline{r_2}, \overline{r_3}$ .....$\overline{r_n}$ లచే సూచిస్తే, ద్రవ్యరాశి కేంద్రం స్థాన సదిశను కింది విధంగా రాయవచ్చా.

$$\overline{r}_{cm} = \frac{m_1\overline{r_1} + m_2\overline{r_2} + ...m_n\overline{r_n}}{m_1 + m_2 + m_3 + ...+ m_n} \quad (6.5)$$

లోహ గోళంలో ద్రవ్యరాశి అవిచ్ఛిన్నంగా పంపిణీ అవుతుంది. కాబట్టి అందులోని కణాలను, వాటి సాపేక్ష స్థానాలను గుర్తించుట అసాధ్యం. ఇలాంటి సందర్భాల్లో గణిత సమాకలనాన్ని ఉపయోగించి ద్రవ్యరాశి కేంద్ర స్థానాన్ని రాస్తారు.

$$(X_{cm}, Y_{cm}, Z_{cm}) = \left(\frac{1}{M}\int xdm, \frac{1}{M}\int ydm, \frac{1}{M}\int zdm \right) \quad (6.6)$$

ఉదాహరణ 6.1

భూమి ద్రవ్యరాశి, చంద్రుడి ద్రవ్యరాశికి 81 రెట్లు. భూఇమి, చంద్రుల మధ్య దూరం 3.84×10^5 km. భూమి – చంద్రుడి వ్యవస్థ ద్రవ్యరాశి కేంద్ర స్థానాన్ని, భూమి దృష్ట్యా కనుక్కోండి.

సాధన :

చంద్రుడి ద్రవ్యరాశి 'm' అనుకొనుము.

భూమి ద్రవ్యరాశి = 81 m

భూమి, X అక్షంపై మూలబిందువు వద్ద ఉన్నదనుకొనుము.

$x_1 = 0$

$x_2 = 3.84 \times 10^5$ km

$$X_{cm} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2}$$

$$X_{cm} = \frac{81m \times 0 + m \times 3.84 \times 10^5}{81m + m}$$

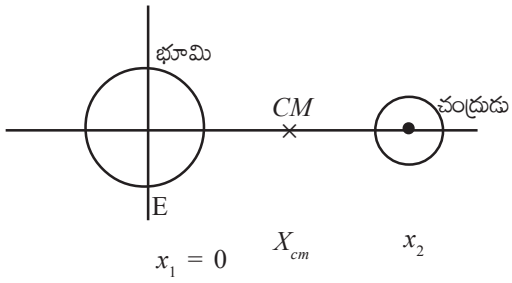


Fig. 6.2

$$X_{cm} = \frac{m \times 3.84 \times 10^5}{82m} = \frac{3.84 \times 10^5}{82} km \simeq 4700\, km$$

ఉదాహరణ 6.2

భుజం పొడవు 1 m గాగల చతురస్రం నాలుగు మూలల్లో 1 kg, 2 kg, 3 kg మరియు 4 kg ల ద్రవ్యరాశులను ఉంచారు. దాని ద్రవ్యరాశి కేంద్రంను కనుక్కోండి.

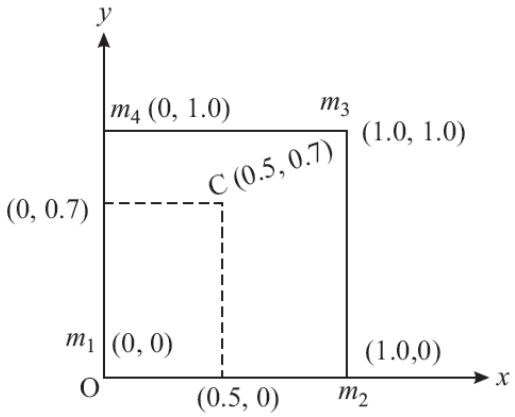


Fig. 6.3 : Locating CM of four masses placed at the corners of a square

సాధన :

ఒక తలంలో ఉన్న చతురస్రాన్ని తీసుకుందాం. ఈ తలాన్ని (x, y) తలం అనుకొందాం. నిరూపకవ్యవస్థ మూలబిందువుతో ఒక బిందువు ఏకీభవిస్తూ చతురస్రం రెండు భుజాలు x, y – అక్షాల వెంబడి ఉన్నాయనుకుందాం. నాలుగు ద్రవ్యరాశుల నిరూపకాలు m_1 (0, 0), m_2 (1.0, 0), m_3 (1.0, 1.0) మరియు m_4 (0, 1.0) ఇక్కడ దూరాలన్నీ మీటర్లలో ఇచ్చారు పటం (6.3) సమీకరణం (6.3) నుండి

$$x = \frac{1.0\times0+2.0\times1.0+3.0\times1.0+4.0\times0}{1.0+2.0+3.0+4.0}m = 0.5\ m$$

$$y = \frac{1.0\times0+2.0\times0+3.0\times1.0+4.0\times1.0}{1.0+2.0+3.0+4.0}m = 0.7m$$

ద్రవ్యరాశి కేంద్రం నిరూపకాలు (0.5m, 0.7 m) పటం 6.3 లో C గా గుర్తించారు. చతురస్రం సౌష్ఠవ పటమైనా కూడా ద్రవ్యరాశి కేంద్రం మధ్యలో లేని విషయం గమనించండి. ద్రవ్యరాశి కేంద్రం మధ్యలో లేకపోవడానికి గల కారణ మేమిటి? దీన్ని కనుక్కోవడానికి అన్ని ద్రవ్యరాశులు సమానంగా ఉన్నపుడు ద్రవ్యరాశి కేంద్రం నిరూపకాలను గణించండి.

ఉదాహరణ 6.3

1 kg, 3 kg ద్రవ్యరాశులు గల రెండు వస్తువుల స్థాన సదిశలు వరుసగా $\left(2\bar{\mathbf{i}}+5\bar{\mathbf{j}}+13\bar{\mathbf{k}}\right)m$, $\left(-6\bar{\mathbf{i}}+4\bar{\mathbf{j}}-2\bar{\mathbf{k}}\right)m$. ఈ వ్యవస్థ ద్రవ్యరాశి కేంద్ర స్థాన సదిశను కనుక్కోండి.

$$\bar{r}_{cm} = \frac{m_1\bar{r}_1 + m_2\bar{r}_2}{m_1 + m_2}$$

$$= \frac{1\left(2\bar{\mathbf{i}}+5\bar{\mathbf{j}}+13\bar{\mathbf{k}}\right)+3\left(-6\bar{\mathbf{i}}+4\bar{\mathbf{j}}-2\bar{\mathbf{k}}\right)}{1+3}$$

$$= \frac{1}{4}\left(2\bar{\mathbf{i}}+5\bar{\mathbf{j}}+13\bar{\mathbf{k}}-18\bar{\mathbf{i}}+12\bar{\mathbf{j}}-6\bar{\mathbf{k}}\right)m$$

$$\bar{r}_{cm} = \frac{1}{4}\left(-16\bar{\mathbf{i}}+17\bar{\mathbf{j}}+7\bar{\mathbf{k}}\right)m$$

మనం ద్రవ్యరాశి కేంద్రాన్ని కచ్చితంగా ఎందుకు నిర్వచించాలి?

స్థానభ్రంశంలోని మార్పురేటు వేగం, వేగంలోని మార్పురేటు త్వరణం అని మరొకసారి జ్ఞప్తికి తెచ్చుకోండి.

$$X_{cm} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 \ldots\ldots + m_nx_n}{M}$$

$$MX_{cm} = m_1x_1 + m_2x_2 + \ldots\ldots + m_nx_n$$

పై సమీకరణాన్ని కాలం దృష్ట్యా అవకలనం చేయగా

$$M\frac{dx_m}{dt} = m_1\frac{dx_1}{dt} + m_2\frac{dx_2}{dt} + \ldots\ldots + m_n\frac{dx_n}{dt} \qquad (6.7)$$

కానీ $\frac{dx}{dt} =$ వేగం

$$MV_{cm} = m_1v_1 + m_2v_2 + \ldots\ldots + m_nv_n \qquad (6.8)$$

మరొకసారి అవకలనం చేస్తే, త్వరణం వస్తుంది.

$$M\frac{dv_{cm}}{dt} = m_1\frac{dv_1}{dt} + m_2\frac{dv_2}{dt} + \ldots\ldots + m_n\frac{dv_n}{dt}$$

$$Ma_{cm} = m_1a_1 + m_2a_2 + \ldots\ldots + m_na_n \qquad (6.9)$$

కాని $ma =$ బలం.

$$\therefore\ F_{cm} = f_1 + f_2 + \ldots\ldots + f_n \qquad (6.10)$$

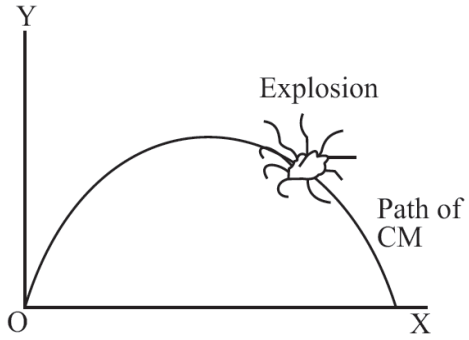
అన్ని బలాలను ఒక్కద్రవ్యరాశి కేంద్రంపై ప్రయోగించిన బలం అన్ని కణాలపై ప్రయోగించిన బలాలకు సమానం.

ఇక్కడ $F_{cm} = F_{\text{బాహ్య}} = Ma_{cm}$

దృఢవస్తువు యొక్క ద్రవ్యరాశి కేంద్ర చలనంపై అంతర్ బలాల ప్రభావం ఉండదు.

విసరబడిన బాంబు తన ప్రయాణ మార్గం మధ్యలో ఒక చోట (పటం 6.4) అంతర్ బలాల వల్ల పేరిపోతుంది. దాని శకలాలు వేరు వేరు దిశల్లో ప్రయాణిస్తాయి. కానీ, మిగిలిపోయిన ద్రవ్యరాశి కేంద్ర భాగం, తన పరావలయ మార్గాన్ని కొనసాగించి భూమిపై పడిపోతుంది.

బాహ్యబలాల ప్రభావంలో ద్రవ్యరాశి కేంద్ర చలనానికి ఇదొక నిరూపణ. ఈ నిరూపణ. ఈ సందర్భంలో బాంబుపై పనిచేసే బాహ్యబలం 'గురుత్వాకర్షణ బలం'.



పటం. 6.4 : ప్రక్షేపం యొక్క ద్రవ్యరాశి కేంద్ర చలనం

6.2.1 ద్రవ్యరాశి కేంద్ర అభిలక్షణాలు

1. ద్రవ్యరాశి కణాలు, వాటి సాపేక్ష స్థానాలపై మాత్రమే CM స్థానం ఆధారపడుతుంది. అంటే అది ద్రవ్యరాశి వితరణపై ఆధారపడుతుందని అర్థం.

2. ద్రవ్యరాశి కేంద్రం CM దృష్ట్యా ద్రవ్యరాశి భ్రామకాల (ద్రవ్యరాశి × దూరం) బీజీయ మొత్తం శూన్యం. $\Sigma m_i x_i = 0$.

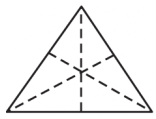
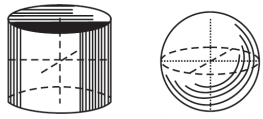
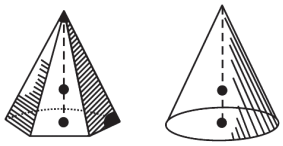
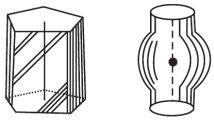
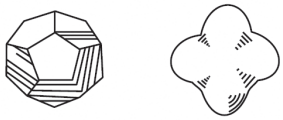
3. CM ఉండే చోట ఎలాంటి ద్రవ్యరాశి (ద్రవ్యం) ఉండాల్సిన అవసరం లేదు. వృత్తాకార లోహ రింగు కేంద్రం వద్ద CM ఉంటుంది. అక్కడ ఎలాంటి పదార్థం (ద్రవ్యరాశి) ఉండదు కదా.

4. ద్రవ్యరాశి కేంద్ర స్థానం ఎంచుకొన్న నిర్దేశ చట్రంపై ఆధారపడదు.

6.2.2 కొన్ని వస్తువుల ద్రవ్యరాశి కేంద్రంలు

అనేక కణాలతో నిర్మితమైన వస్తువును అంటే విస్తృత వస్తువులలో ద్రవ్యరాశి కేంద్రంను అంత సులభంగా కనుక్కోలేము. దృఢ వస్తువులోని కణాల ద్రవ్యరాశులు సమానమై అవి ఏకరీతిగా అమరి ఉంటే ద్రవ్యరాశి కేంద్రంను కనుక్కోవడం కొంత సులభం. వస్తువు ఒక క్రమాకారం కలిగి ఉండి కొంత సౌష్టవంగా ఉంటే, అంటే గోళాకారంగా లేదా స్తూపాకారంగా ఉంటే కొంచెం సులభంగా గుర్తించవచ్చు. అయినా కూడా ఆ లెక్కలన్నీ ఈ పుస్తక పరిధిలో చెప్పలేము. ద్రవ్యరాశి కేంద్రం ప్రాముఖ్యతను దృష్టిలో ఉంచుకొని పట్టిక 6.1లో కొన్ని క్రమాకార, సౌష్టవ వస్తువులకు ద్రవ్యరాశి కేంద్రం స్థానాలను ఇచ్చాం.

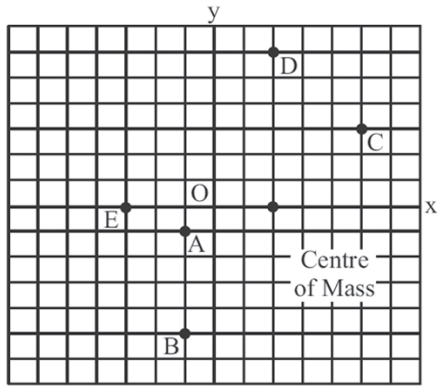
పట్టిక - 6.1 : కొన్ని క్రమాకార, సౌష్టవ వస్తువుల ద్రవ్యరాశి కేంద్రం

పటం	ద్రవ్యరాశి కేంద్రం స్థానం
	త్రిభుజాకారపు పలక మూడు మీడియన్‌ల ఖండన బిందువు వద్ద.
	క్రమాకార బహుభుజి మరియు వృత్తాకార పలక. పటంలో జ్యామితీయకేంద్రం వద్ద.
	స్తూపం మరియు గోళం పటంలో జ్యామితీయ కేంద్రం వద్ద.
	పిరమిడ్ మరియు శంకు శీర్షం నుండి ఆధారం యొక్క కేంద్రంతో కలిపే రేఖ వెంబడి, ఆధారం నుండి కొలిచిన ఎత్తు h/4 వద్ద.
	సౌష్టవ అక్షంతో ఉన్న ఆకారం (పటం) సౌష్టవ అక్షం మీద ఒక బిందువు వద్ద
	సౌష్టవ కేంద్రం గల ఆకారం (పటాలు) సౌష్టవ కేంద్రం వద్ద.

ద్రవ్యరాశి కేంద్రం గురించి రెండు విషయాలను గుర్తు పెట్టుకోవాలి. 1. రింగు లాంటి వస్తువులలో అది వస్తువు బయట కూడా ఉండవచ్చు. 2. రెండు వస్తువులు ఒక దాని చుట్టూ ఒకటి పరిభ్రమిస్తున్నపుడు అవి వాటి ఉమ్మడి ద్రవ్యరాశి కేంద్రం చుట్టూ పరిభ్రమిస్తాయి. ఉదాహరణకు ద్వంద్వ వ్యవస్థలోని నక్షత్రాలు వాటి ఉమ్మడి ద్రవ్యరాశి కేంద్రం చుట్టూ పరిభ్రమించడం. భూమి–సూర్యుడు వ్యవస్థలో కూడా అవి వాటి ఉమ్మడి ద్రవ్యరాశి కేంద్రం చుట్టూ పరిభ్రమిస్తూ ఉంటాయి. కాని సూర్యుడి ద్రవ్యరాశి, భూమి ద్రవ్యరాశి కన్నా చాలా ఎక్కువ కనుక ద్రవ్యరాశి కేంద్రం సూర్యుడికి అతి సమీపంలో ఉంటుంది.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 6.2

1. ఇక్కడ చూపించిన గ్రిడ్‌లో A, B, C, D మరియు E కణాల ద్రవ్యరాశులు వరుసగా 1.0 kg, 2.0 kg, 3.0 kg, 4.0 kg మరియు 5.0 kg. వ్యవస్థ ద్రవ్యరాశి కేంద్రం నిరూపకాలను గణించండి.



పటం. 6.5

2. 1 m భుజం పొడవుగల సమబాహు త్రిభుజం మూడు మూలల్లో m_1 =1 kg, m_2 = 2 kg, m_3 = 3 kg ద్రవ్యరాశులు ఉన్నపుడు ద్రవ్యరాశి కేంద్రం నిరూపకాలను రాబట్టండి.

3. రెండు కణాలు వాటి ఉమ్మడి ద్రవ్యరాశి కేంద్రం నుండి వాటి దూరాల నిష్పత్తి, వాటి ద్రవ్యరాశుల నిష్పత్తికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుందని చూపండి.

4. దృఢ వస్తువు యొక్క ద్రవ్యరాశి కేంద్రంపై బాహ్యబలం పనిచేయునప్పుడు వ్యవస్థలోని కణాల మొత్తం ద్రవ్యవేగంలో ఏమైనా మార్పు ఉంటుందా?

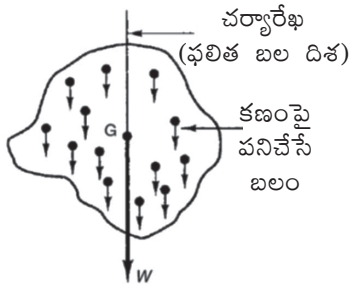
6.3 గురుత్వ కేంద్రం

వ్యవస్థలోని కణాలన్నింటికి ఎంతో కొంత ద్రవ్యరాశి ఉంటుంది. కాబట్టి వాటిని భూమి గురుత్వాకర్షణ వల్ల ఆకర్షిస్తుంది. భూమి ద్రవ్యరాశిని ఆకర్షించే బలమే దాని భారం.

$$F = ma$$

$$a = g \text{ అయితే } F = W$$

$$\therefore \quad W = mg \qquad (6.11)$$



పటం. 6.6 : Resultant weight acting along the centre of gravity

అన్ని కణాల భారాలు సదిశలు. ఇవి సమాంతరంగా ఉంటూ, భూమివైపు పనిచేస్తాయి. అన్ని కణాల భారాల (సదిశల) ఫలిత సదిశ ఒక బిందువు వద్ద పనిచేస్తుంది. ఏ బిందువు వద్దనైతే వ్యవస్థ మొత్తం భారం కేంద్రీకృతం అయినట్టుగా కనిపిస్తుందో ఆ బిందువును "గురుత్వకేంద్రం" లేదా గరిమనాభి అంటారు.

చిన్న, ఏకరీతి మందంతో ఉండే వస్తువులను ఏకరీతి గురుత్వక్షేత్రంలో ఉంచితే వాటి గరిమనాభి ద్రవ్యరాశి కేంద్రంతో ఏకీభవిస్తుంది. ద్రవ్యరాశి కేంద్రం వ్యవస్థ చలనాన్ని సులభంగా వివరిస్తే, గురుత్వ కేంద్రం వస్తువు యొక్క స్థిరత్వాన్ని వివరిస్తుంది.

ఫలిత భారం లేదా బల సదిశల ఫలితం వస్తువు ఆధారం నుంచి వెళ్తే, ఆ వస్తువుకు స్థిరత్వం ఎక్కువగా ఉంటుంది. అందువల్లనే, పొట్టి, వెడల్పాటి వాహనాలకు (ఉదా: రేసు కార్లు) స్థిరత్వం ఎక్కువ.

- పొడవాటి స్తంభాలకు తాడును కట్టి, దానిపై నడిచేందుకు ప్రయత్నించే బాలిక తన చేతిలోని పొడవాటి కర్ర సహాయంతో తాడుపై నుంచి పడిపోకుండా ప్రయత్నం చేస్తుంది. కర్ర, బాలికల మొత్తం భారం (చర్యా రేఖ) సన్నని తాడునుంచి వెళ్లే విధంగా బాలిక కర్ర స్థానాన్ని మార్చుతూ ముందుకు నడుస్తుంది.
- పర్వతారోహకుడు, పర్వతాన్ని ఎక్కేటప్పుడు ముందుకు వంగుతాడు. దీంతో అతని భార సదిశ ఎల్లప్పుడు అతని కాళ్ల మధ్య (ఆధారం)లో ఉంటుంది.

6.4 దృఢ వస్తువు స్థానాంతర మరియు భ్రమణచలనాలు : ఒక పోలిక

దృఢ వస్తువులోని అన్ని కణాల పథాలు సమాంతరంగా ఉండి, దృఢ వస్తువు కూడా అదే పథంలో చలిస్తూ ఉంటే ఆ చలనాన్ని స్థానాంతర చలనం అంటారు.

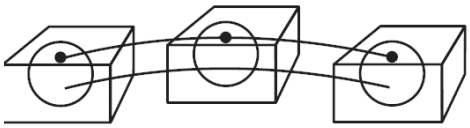
అన్ని కణాలు ఒకే చలనాన్ని కలిగి ఉన్నాయి. కనుక దాని ద్రవ్యరాశి కేంద్రం పథం కూడా అదే పథం వెంబడి ఉంటుంది. కనుక వస్తువు రేఖీయ చలనాన్ని దాని ద్రవ్యరాశి కేంద్రం చలనం అభిలక్షణంగా చెప్పవచ్చు. ఈ చలనాన్ని సమీకరణం (6.10) లో మీరు చూశారు.

$$M\,\mathbf{a} = \mathbf{F}_{ext}$$

ద్రవ్యరాశి కేంద్రంని నిర్వచించడంలోని ప్రయోజనాన్ని మీరు చూస్తున్నారు కదా! దీని సహాయంతో వస్తువు రేఖీయ చలనాన్ని వస్తువు మొత్తం ద్రవ్యరాశికి సమానమైన ద్రవ్యరాశి కలిగి ఉన్న కణ సమీకరణంతో వర్ణించవచ్చు. అది ద్రవ్యరాశి కేంద్రం వద్ద ఉండి దాని మీద దృఢ వస్తువు పై పనిచేసే అన్ని బాహ్య బలాల మొత్తం బలం పని చేస్తుంది. ఈ భావనను అర్థం చేసుకోవడానికి ఈ కింది కృత్యాలు చేద్దాం.

కృత్యం 6.1

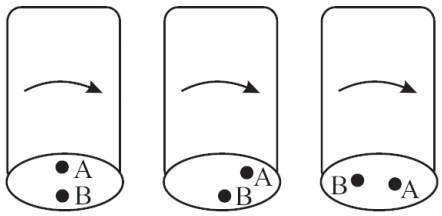
ఒక చెక్క దిమ్మను తీసుకోండి. ఏదైన తలం మీద రెండు లేక మూడు గుర్తులు పెట్టండి. గుర్తు పెట్టిన తలాలు మీవైపుకు పెట్టుకొని నేల వెంబడి క్షితిజ సమాంతరంగా నెట్టండి. గుర్తులు ప్రయాణించిన పథాన్ని గమనించండి. ఈ గుర్తుల పథాలన్నీ నేలకు సమాంతరంగా ఉండి, అవి ఒకదానికొకటి సమాంతరంగా ఉంటాయి. (పటం 6.6). పథాల పొడవులు కూడా సమానంగా ఉండటం చూడండి.



పటం. 6.7: నేల మీద రేఖీయ చలనంలో ఉన్న చెక్కదిమ్మె

కృత్యం 6.2

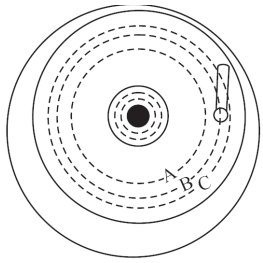
ఇపుడు మనం ఇంకొక ప్రయోగం చేద్దాం. స్తూపాకారంగా ఉన్న చెక్క ముక్కను తీసుకోండి. దాని చదునుతలం మీద ఒకటి



పటం. 6.8 : స్తూపం దొర్లుడు గమనం, A బిందువు నేలకు సమాంతరంగా గమనంలో ఉండడమేకాక వృత్తాకార గమనాన్ని కూడా కలిగి ఉంది.

లేదా రెండు గుర్తులు పెట్టండి. చదునుతలాన్ని మీ వైపుకు ఉంచుకొని స్తూపాన్ని నేల మీద నెమ్మదిగా దొర్లించండి. పటం 6.7లో ఉన్నట్లు జు గుర్తు నేలమీద సమాంతరంగా ప్రయాణించడమే కాక వృత్తాకార చలనం కూడా పొందింది. అంటే వస్తువు, రేఖీయ, వృత్తాకార చలనాలు రెండింటిని పొందింది.

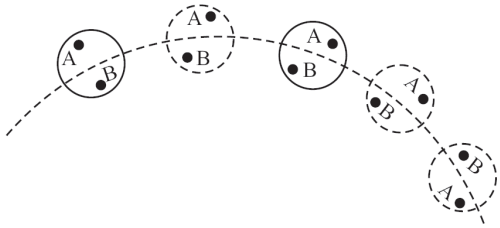
దృఢ వస్తువు రేఖీయ, వృత్తాకార చలనాలు రెండింటిని కలిగి ఉంటుంది. వస్తువులోని ఒక బిందువును పట్టి ఉంచినపుడు దానికి రేఖీయ చలనం ఉండదు. వృత్తాకార చలనం మాత్రం ఉంటుంది. దీనికి అనుకూలమైన బిందువు, ద్రవ్యరాశి కేంద్రం.



పటం. 6.9 : తిరగలి భ్రమణం

మీరు తిరగలిని చూసే ఉంటారు. తిరగలి పిడి వృత్తాకారంగా తిరుగుతూ ఉంటుంది. రాయి మీద ఉన్న బిందువులు కూడా వృత్తాకార పథంలో రాయి కేంద్రం వద్ద ఉన్న అక్షం వైపుకు కదులుతూ ఉంటాయి (పటం 6.8).

చలనంలో ఉన్న దృఢ వస్తువులోని అన్ని కణాల పథాలు ఏకకేంద్ర వృత్తాలైతే ఆ చలనాన్ని భ్రమణ చలనం అంటారు.

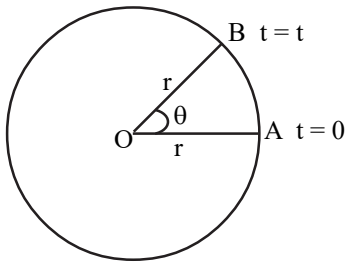


పటం. 6.10 : భూ భ్రమణం

దృఢ వస్తువు రేఖీయ చలనాన్ని ఏకకణ సమీకరణంతో వివరించవచ్చునని మీరు గమనించి ఉంటారు. ఆ సమీకరణాల గురించి మీరు బాగా తెలుసుకొన్నారు కనుక ఈ పాఠంలో మనం దృఢ వస్తువు భ్రమణ చలనం మీదే దృష్టి పెడదాం. వస్తువును ఒక బిందువు వద్ద పట్టి ఉంచడం వలన రేఖీయ చలనం లేకుండా భ్రమణ చలనాన్ని మాత్రం పొందవచ్చు. గణితాత్మక వెసులుబాటు కోసం ఆ బిందువుగా ద్రవ్యరాశి కేంద్రంని తీసుకుంటారు. అపుడు వస్తువు, ద్రవ్యరాశి కేంద్రం గుండా పోయే అక్షం పరంగా భ్రమణాలు చేస్తుంది. భ్రమణ చలనానికి మంచి ఉదాహరణ భూమి భ్రమణం. అది తన అక్షం చుట్టూ భ్రమణంలో ఉంటుంది(పటం 6.10). రేఖీయ గమనంలో వస్తువు ద్రవ్యరాశి ముఖ్యమైన పాత్ర పోషిస్తుందని మీరు ఇంతకుముందు పాఠంలో చదువుకున్నారు. బాహ్యబల ప్రయోగం వల్ల వస్తువు పొందే త్వరణాన్ని అది గణిస్తుంది. ఇటువంటి రాశినే భ్రమణ చలనంలో కూడా నిర్వచించవచ్చా? ఇపుడు తెలుసుకుందాం.

6.4.1 కోణీయస్థాన భ్రంశం (θ)

భ్రమణ చలనంలో, వస్తువులోని కణాలన్నీ భ్రమణాక్షం చుట్టూ వృత్తాకార చలనాన్ని చేస్తాయి. భ్రమణాక్షం (o), కణానికి మధ్యదూరం వ్యాసార్థ సదిశను సూచిస్తుంది. 't' కాలంలో వ్యాసార్థ సదిశ ఎంత కోణంతో స్థానభ్రంశం దాన్ని చెందుతుందో కోణీయ స్థానభ్రంశం అంటారు.



పటం. 6.11

పటం. 6.11 నుంచి $\angle AOB = \theta$

దీని ప్రమాణం రేడియన్. ఒక పూర్తి భ్రమణానికి $\theta = 2\pi$ రేడియన్లు.

6.4.2 కోణీయ వేగం కోణీయ త్వరణం

కోణీయ స్థానభ్రంశ రేటును కోణీయ వేగం (ω) **అంటారు.**

$$\omega = \frac{angle}{time} = \frac{\theta}{t} \qquad (6.12)$$

'ω' కి ప్రమాణం రేడియన్ / సెకన్

'ω' సదిశ. దీని దిశను కుడిచేతి బొటనవేలు నియమంతో తెలుసుకోవచ్చు.

't' కాలంలో ఒక కణం 'n' భ్రమణాలు చేస్తే $\omega = \frac{2\pi n}{t}$

కోణీయ వేగంలోని మార్పురేటును కోణాలయ త్వరణం (α) అంటారు.

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{t} \qquad (6.13)$$

లేదా $\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t}$

α కి SI ప్రమాణం రేడియన్/(సెకన్)^2. కోణీయ త్వరణం సదిశా రాశి.

కోణీయ వేగం (ω), రేఖీయ వేగం (v) ల మధ్య సంబంధం

$$v = r\omega \qquad (6.14)$$

రేఖీయ త్వరణం (a), కోణీయ త్వరణం (α) ల మధ్య సంబంధం

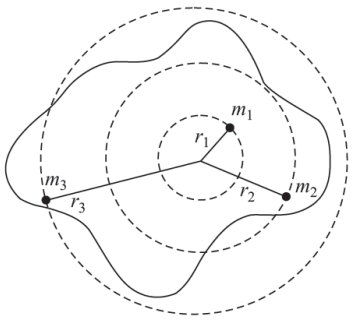
$$a = r\alpha \qquad (6.15)$$

6.5 జడత్వ భ్రామకం

దృఢ వస్తువు ద్రవ్యరాశి కేంద్రంని C అనుకుందాం. అది C బిందువు గుండా పోయే అక్షం పరంగా భ్రమణంలో ఉందనుకుందాం (పటం 6.10). భ్రమణాక్షం నుండి r_1, r_2, r_3... దూరాలలో m_1, m_2, m_3... ద్రవ్యరాశిగల కణాలు, v_1, v_2, v_3 వేగాలతో గమనంలో ఉన్నాయి. 1వ కణం గతిజశక్తి $(1/2)m_1v_1^2$ అలాగే m_2 ద్రవ్యరాశిగల కణం గతిజశక్తి $(1/2)\ m_2v_2^2$, అన్ని కణాల గతిజ శక్తుల మొత్తం, వస్తువు మొత్తం శక్తిని ఇస్తుంది. వస్తువు మొత్తం గతిజ శక్తిని m_2 తో సూచిస్తే

$$T = (1/2)m_1v_1^2 + (1/2)m_2v_2^2 + ...$$

$$= \sum_{i=1}^{i=n}\left(\frac{1}{2}\right)m_iv_i^2 \qquad (6.16)$$



పటం. 6.12: సమతల పటలం ద్రవ్యరాశి కేంద్రం గుండా పోయే అక్షం పరంగా దాని భ్రమణం

ఇక్కడ $\sum_{i=1}^{i=n}$ వస్తువు యొక్క అన్ని కణాల సంకలనం. కోణీయవేగం(ω), రేఖీయవేగం(v) ల మధ్య సంబంధంను $v = r\omega$. దీన్ని (6.16)లో ప్రతిక్షేపించిన

$$T = \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{1}{2}\right) m_i \left(r_i \omega\right)^2 \qquad (6.17)$$

వస్తువులో ఉన్న అన్నీ కణాల కోణీయవేగం సమానం కనుక పై సమీకరణంలో ω కింద i రాయలేదు.

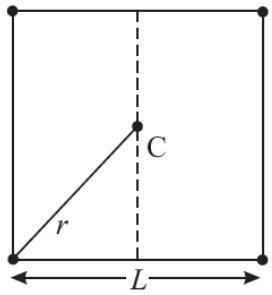
$$T = \frac{1}{2}\left(\sum_{i=1}^{i=n} m_i r_i^2\right)\omega^2$$

$$= \frac{1}{2} I\omega^2 \qquad (6.18)$$

$$I = \sum_i m_i r_i^2 \qquad (6.19)$$

ఇక్కడ I అనే భౌతికరాశిని జడత్వ భ్రామకం అంటారు.

ఉదాహరణ 6.4



భుజం పొడవు L గల చతురస్రం నాలుగు మూలల్లో m ద్రవ్యరాశిగా గల నాలుగు కణాలు ఉన్నాయి. చతురస్ర కేంద్రం గుండా పోతూ తలానికి లంబంగా గల అక్షంపరంగా వాటి జడత్వ భ్రామకాన్ని కనుక్కోండి. .

సాధన : సరళ జ్యామితి ద్వారా భ్రమణాక్షం నుండి ప్రతీకణం యొక్క దూరం

$$I = mr^2 + mr^2 + mr^2 + mr^2$$

$$I = 4mr^2$$

$$I = 4m\left(\frac{L}{\sqrt{2}}\right)^2$$

$$= 2mL^2$$

జడత్వ భ్రామకం, భ్రమణాక్షం పరంగా నిర్వచించబడిందని ఇక్కడ ముఖ్యంగా గుర్తు పెట్టుకోవాల్సిన విషయం. కాబట్టి జడత్వభ్రామకం గురించి ఎప్పుడు ప్రస్తావించినా భ్రమణాక్షంను గురించి ప్రత్యేకంగా సూచించాలి. ఈ సందర్భంలో చతురస్ర కేంద్రం గుండా పోతూ నాలుగు ద్రవ్యరాశులు కలిగి వున్న తలానికి లంబంగా వున్న అక్షం పరంగా జడత్వభ్రామకం I ను గణించాం. జడత్వభ్రామకంను kg m^2 లో తెలియజేస్తారు.

దృఢ వస్తువు జడత్వభ్రామకంను తరచుగా $I = M K^2$ గా రాస్తారు. … (6.20)

ఇక్కడ M వస్తువు మొత్తం ద్రవ్యరాశి, K ను భ్రమణవ్యాసార్ధం (radius of gyration) అంటారు. వస్తువు సహజంగా కలిగి వున్న జడత్వ భ్రామకాన్ని పొందే విధంగా వస్తువు ద్రవ్యరాశి ఒక బిందువు వద్ద కేంద్రీకృతమైందని ఊహిస్తే ఆ బిందువుకు భ్రమణాక్షానికి మధ్య గల దూరాన్ని భ్రమణ వ్యాసార్ధం అంటారు. ఒక అక్షం పరంగా వస్తువు జడత్వ భ్రామకం ఆ అక్షం చుట్టూ ద్రవ్యరాశి వితరణ మీద ఆధారపడుతుందన్న విషయం ముఖ్యంగా గుర్తు పెట్టుకోవాలి. ద్రవ్యరాశి వితరణ మారినపుడు జడత్వభ్రామకం కూడా మారుతుంది. దీనిని మనం ఉదాహరణ 6.4 నుండి సులభంగా అర్థం చేసుకోవచ్చు.

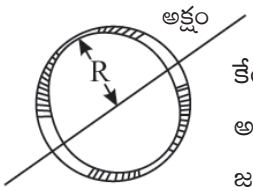
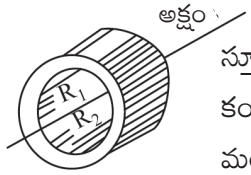
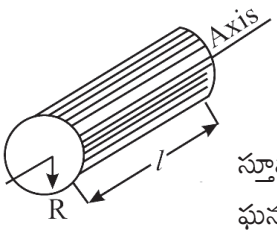
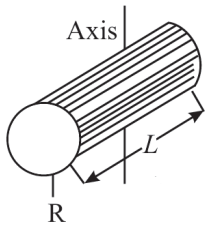
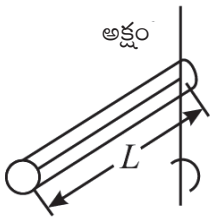
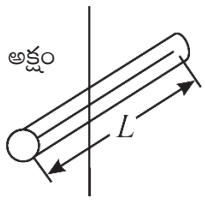
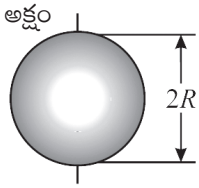
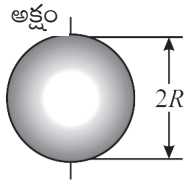
రెండు వ్యతిరేక మూలలలో అదనపు ద్రవ్యరాశి m ను ఉంచామనుకుందాం. C గుండా పోతూ చతురస్ర తలానికి లంబంగా ఉండే అక్షం పరంగా వ్యవస్థ జడత్వభ్రామకం

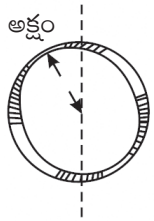
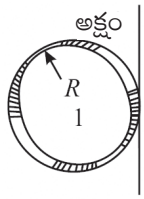
$$I = mr^2 + 2mr^2 + mr^2 + 2mr^2$$

$$= 6mr^2$$

జడత్వభ్రామకం $2mL^2$ నుండి $3\ mL^2$కు మారింది.

పట్టిక 6.2 కొన్ని క్రమాకార మరియు ఏకరీతి వస్తువుల జడత్వభ్రామకం

 కేంద్రం గుండా పోయే అక్షం పరంగా రింగు జడత్వభ్రామకం $I = MR^2$	 స్తూపాకార అక్షం పరంగా కంకణాకార స్తూపం (లేదా మందంగా ఉన్న గొట్టం) జడత్వభ్రామకం $I = \frac{M}{2}\left(R_1^2 + R_2^2\right)$
 స్తూపాకార అక్షం పరంగా ఘనస్తూపం జడత్వభ్రామకం $I = \frac{MR^2}{2}$	 కేంద్రక వ్యాసం పరంగా ఘనస్తూపం (లేదా డిస్క్) జడత్వ భ్రామకం $I = \frac{MR^2}{4} + \frac{M^2l^2}{12}$
 సన్నని కడ్డీ కేంద్రం గుండా పోతూ దాని పొడవుకు లంబంగా ఉన్న అక్షంపరంగా జడత్వభ్రామకం $I = \frac{ML^2}{12}$	 నన్నని కడ్డీ పొడవుకు లంబంగా ఒక చివరి నుండి పోతున్న అక్షం పరంగా జడత్వభ్రామకం $I = \frac{MR^2}{3}$
 ఏదేని వ్యాసం పరంగా ఘన గోళం జడత్వభ్రామకం $I = \frac{2MR^2}{5}$	 ఏదేని వ్యాసం పరంగా పలుచని గోళాకార కర్పరం జడత్వభ్రామకం $I = \frac{2MR^2}{3}$

 ఏదేని వ్యాసం పరంగా రింగ్ జడత్వభ్రామకం $I = \frac{MR^2}{2}$	 ఏదేని స్పర్శరేఖాపరంగా పీపాకట్టు (hoop) జడత్వభ్రామకం $I = \frac{3MR^2}{2}$

రేఖీయ చలనంలోని గతిజశక్తి సమీకరణంను, సమీకరణం (6.18) తో పోల్చి చూడండి. ఏదైనా స్ఫురించిందా? రేఖీయ చలనంలోని ద్రవ్యరాశి పాత్రను, భ్రమణ చలనంలో జడత్వభ్రామకం పోషిస్తుందని, రేఖీయవేగాన్ని, కోణీయవేగం భర్తీ చేసిందని మీరు గమనిస్తారు.

A. జడత్వభ్రామకం ప్రాముఖ్యత: రేఖీయ చలనంలో ద్రవ్యరాశి ఏవిధమైన పాత్ర పోషిస్తుందో, భ్రమణ చలనంలో జడత్వభ్రామకం అదే పాత్ర పోషిస్తుంది. ఎలాగైతే రేఖీయ గమనంలో ఉన్న వస్తువు ద్రవ్యరాశి, గమనంలో మార్పును వ్యతిరేకిస్తుందో అలాగే భ్రమణచలనంలోని మార్పును జడత్వభ్రామకం వ్యతిరేకిస్తుంది. జడత్వభ్రామకానికి ఉండే ఈ ధర్మం వల్ల అనేక వ్యవహారిక అనువర్తనాలున్నాయి. భ్రమణ చలనాన్ని కలిగించే చాలా యంత్రాలలో హెచ్చు జడత్వభ్రామకం కలిగిన పళ్ళెం (disc) ఒకటి ఉంటుంది. అటువంటి యంత్రాలకు ఉదాహరణ ఆవిరియంత్రం (steam engine), ఆటోమొబైల్ యంత్రం. హెచ్చు జడత్వభ్రామకం కలిగిన పళ్ళెంను గతిపాలక చక్రం (flywheel) అంటారు.

ఇది ఎలా పనిచేస్తుందో తెలుసుకోవడానికి యంత్ర చోదకుడు యంత్రవేగాన్ని అకస్మాత్తుగా పెంచాలనుకున్నాడని అనుకుందాం. దానికున్న హెచ్చు జడత్వభ్రామకం వల్ల అది ఆ ప్రయత్నాన్ని వ్యతిరేకిస్తూ వేగం నెమ్మదిగా పెరగడానికి మాత్రమే అనుమతిస్తుంది. అలాగే అకస్మాత్తుగా వేగం తగ్గించడాన్ని కూడా వ్యతిరేకించి నెమ్మదిగా తగ్గడానికి మాత్రమే అనుమతిస్తుంది. ఈ విధంగా గతిపాలక చక్రం దాని హెచ్చు జడత్వభ్రామకంతో కుదుపుల ప్రయాణాన్ని నివారించి ప్రయణికులకు సుఖవంతమైన ప్రయణాన్నిస్తుంది.

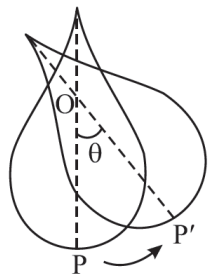
భ్రమణచలనంలో కోణీయవేగం, రేఖీయచలనంలో రేఖీయవేగానికి సాదృశ్యంగా ఉంటుందని మనం చూశాం. కోణీయ వేగంలోని మార్పురేటు కోణీయత్వరణం (సాధారణంగా α తో సూచిస్తారు) కనుక రేఖీయ చలనంలో త్వరణానికి అనురూపంగా ఉంటుంది.

B. ఏకరీతి భ్రమణంలో ఉన్న దృఢ వస్తువు గతి సమీకరణాలు

O గుండా పోతూ తలానికి లంబంగా గల అక్షం పరంగా భ్రమణంలో ఉన్న ఒక పటలాన్ని తీసుకొందాం. పటం (6.13) లో చూపినవిధంగా అది స్థిరకోణీయ వేగం ω తో భ్రమణం చెందుతున్నట్లయితే అది t సెకనులలో θ కోణంతో తిరుగుతుంది.

$$\theta = \omega t \qquad (6.21\ [a])$$

ఫలకంపై స్థిరమైన బలభ్రామకం పనిచేస్తున్నందున (బలం యొక్క భ్రమణప్రభావం) స్థిరమైన త్వరణాన్ని పొందుతుంది. ఈ కింది సమీకరణాలు భ్రమణ చలనాన్ని వివరిస్తాయి.



పటం. 6.13: స్థిరమైన మేకు పరంగా పటల భ్రమణం

$$\omega_f = \omega_i + \alpha t \qquad (6.21\ [b])$$

ఇక్కడ ω_i తొలి కోణీయవేగం, ω_f తుది కోణీయవేగం అలాగే

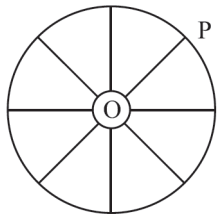
$$\theta = \omega_i t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \qquad (6.21\ [c])$$

$$\omega_f^2 = \omega_i^2 + 2\alpha\theta \qquad (6.21\ [d])$$

ఇక్కడ θ అనేది t సెకనులలో కోణీయస్థానభ్రంశం. కొంచెం పరిశీలనగా సమీకరణాలను చూస్తే అవి గతిశాస్త్రంలోని రేఖీయచలన సమీకరణాలకు అనురూపంగా ఉంటాయి అని మనం గుర్తిస్తాము.

ఉదాహరణ 6.5

ఒక సైకిల్ చక్రం సమాంతర అక్షం పరంగా భ్రమణంలో ఉంది (పటం 6.14). మొదట అది నిశ్చలస్థితిలో ఉంది. దానిమీద OP గీతను గీచినట్టు ఊహించుకోండి. 2 సెకన్లలో 2.5 $rads^{-2}$ ఏకరీతి కోణీయ త్వరణంతో OP గీత ప్రయాణించి ఎంతకోణం చేస్తుంది



పటం. 6.14: సైకిల్ చక్రం భ్రమణం

సాధన :

OP గీత కోణీయ స్థానభ్రంశం

$$\theta = \omega_0 t + (1/2)\alpha t^2$$

$$= 0 + (1/2) \times (2.5\,\text{rad}\,\text{s}^{-2}) \times 4\text{s}^2$$

$$\theta = 5 \text{ rad}$$

దృఢవస్తువు భ్రమణచలనంలో దాని ద్రవ్యరాశి కేంద్రంను స్థిరంగా ఉంచినట్టుగా పైన ప్రస్తావించాం. మన సౌలభ్యం కొరకు మాత్రమే ద్రవ్యరాశి కేంద్రంను స్థిరంగా ఉంచాం. కాని చాలాసార్లు ద్రవ్యరాశి కేంద్రం కాకుండా ఇతర బిందువులను కూడా తీసుకుంటాం. అంటే వస్తువులో ఒక బిందువును స్థిరంగా ఉంచి, ఆ బిందువు చుట్టూ వస్తువును భ్రమణం చెందించవచ్చు. కాని అపుడు భ్రమణాక్షం ఈ బిందువు గుండా పోతుంది. ద్రవ్యరాశి కేంద్రం గుండాపోయే అక్షం పరంగా గణించిన జడత్వభ్రామకం విలువ నుండి ఈ బిందువు గుండా పోయే అక్షం పరంగా గణించిన జడత్వభ్రామకం విలువ వేరుగా ఉంటుంది. పైరెండు జడత్వభ్రమకాల మధ్య సంబంధం దాని జడత్వ భ్రామక సిద్ధాంతాల నుపయోగించి సాధించవచ్చు.

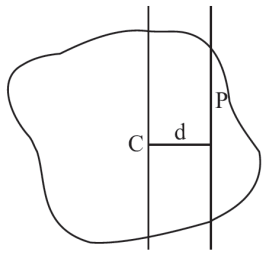
6.5.1 జడత్వభ్రామక సిద్ధాంతాలు

రెండు అక్షాలపరంగా జడత్వభ్రామకంల మధ్య సంబంధంను కనుగొనడానికి రెండు సిద్ధాంతాలు ఉన్నాయి. ఆ రెండు అక్షాలలో ఒకటి ద్రవ్యరాశి కేంద్రం గుండా పోతుంది.

(i) సమాంతర అక్ష సిద్ధాంతం

(ii) లంబాక్ష సిద్ధాంతం.

మనం ఈ సిద్ధాంతాల గురించి మరియు వాటి అనువర్తనాల గురించి తెలుసుకుందాం.



పటం. 6.15: ద్రవ్యరాశి కేంద్రం మరియు మరొక బిందువు P గుండాపోయే సమాంతర అక్షాలు

(i) సమాంతర అక్ష సిద్ధాంతం : ద్రవ్యరాశి కేంద్రం గుండా కాకుండా ఏదేని బిందువు P గుండా పోయే అక్షం పరంగా భ్రమణ చలనంలో ఉన్న దృఢ వస్తువును తీసుకొందాం. ఈ అక్షం పరంగా జడత్వభ్రామకాన్ని, ద్రవ్యరాశి కేంద్రం గుండా పోతూ అక్షానికి సమాంతరంగా ఉన్న అక్షంపరంగా జడత్వ భ్రామకాన్ని ఉపయోగించి కనుక్కోవచ్చు. సమాంతరాక్ష సిద్ధాంతాన్ని ఈ క్రింది విధంగా నిర్వచించవచ్చు.

ద్రవ్యరాశి కేంద్రం గుండా పోయే అక్షానికి సమాంతరంగా ఉన్న అక్షం పరంగా వస్తువు జడత్వ భ్రామకం ద్రవ్యరాశికేంద్రం గుండా పోయే అక్షం పరంగా జడత్వభ్రామకం మరియు ఆ రెండు అక్షాల మధ్య లంబదూర వర్గాన్ని వస్తువు ద్రవ్యరాశితో గుణించగా వచ్చే రాశుల మొత్తానికి సమానం.

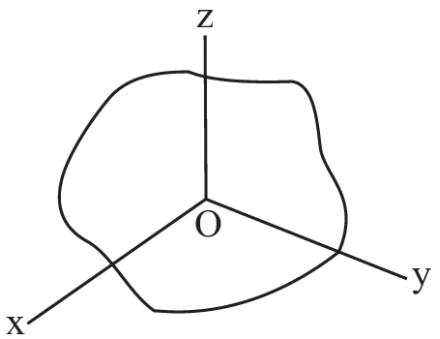
I కనుక్కోవలసిన జడత్వభ్రామకం, I_C ద్రవ్యరాశి కేంద్రం గుండాపోయే సమాంతర అక్షంపరంగా జడత్వ భ్రామకం అయితే

$$I = I_C + M\,d^2 \qquad (6.22)$$

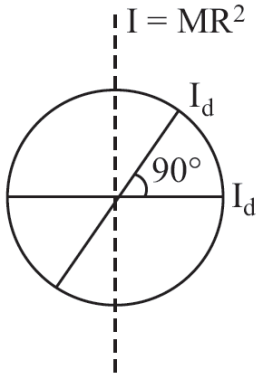
ఇక్కడ M వస్తువు ద్రవ్యరాశి, d రెండు సమాంతరాక్షాల మధ్య దూరం (పటం 6.15). దీనిని సమాంతరాక్ష సిద్ధాంతం అంటారు.

(ii) లంబాక్ష సిద్ధాంతం : పరస్పరం ఒకదానికొకటి లంబంగా ఉన్న మూడు అక్షాలను తీసుకొందాం. అందులో x మరియు y అక్షాలు వస్తు తలంలోను, z–అక్షం తలానికి లంబంగాను ఉన్నాయి. (పటం 6.16). లంబాక్ష సిద్ధాంతాన్ని ఈ క్రింది విధంగా నిర్వచించవచ్చు. x, y అక్షాల పరంగా జడత్వ భ్రామకాల మొత్తం z–అక్షం పరంగా జడత్వ భ్రమకానికి సమానం.

ఒక సమతల పటలానికి లంబంగా ఏదో ఒక బిందువు గుండా పోయే అక్షం పరంగా దాని జడత్వ భ్రామకం ఆ పటలం తలంలో పరస్పరం లంబంగా ఉండి అదే బిందువు గుండా పోయే అక్షాల పరంగా దాని జడత్వ భ్రమకాల మొత్తానికి సమానం.



పటం. 6.16 (a) : లంబాక్ష సిద్ధాంతం



పటం.6.16 (b) : రింగు జడత్వభ్రామకం

$$I_z = I_x + I_y \qquad (6.23)$$

ఈ కింది ఉదాహరణతో సిద్ధాంతాల ఉపయోగంలను చూద్దాం.

పటం 6.16 లోని విధంగా ఒక రింగును తీసుకోండి. పట్టిక 6.2 నుండి రింగు మధ్య బిందువు గుండా పోతూ ఆధారానికి లంబంగా గల అక్షంపరంగా దాని జడత్వ భ్రామకం, $M\,R^2$ అని తెలుస్తుంది. ఇక్కడ M ద్రవ్యరాశి,

R వ్యాసార్ధం. లంబాక్ష సిద్ధాంతం ప్రకారం ఇది ఒకదానికొకటి లంబంగా ఉంటూ కేంద్రం గుండా పోయే అక్షానికి లంబంగా ఉన్న రెండు వ్యాసాల పరంగా జడత్వ భ్రామకాల మొత్తానికి సమానం. రింగు సౌష్టవమైనందున అన్ని వ్యాసాల పరంగా జడత్వభ్రామకం సమానం. అనగా అన్ని వ్యాసాలు సమానం కనుక ఏవేని లంబంగా ఉన్న రెండు వ్యాసాలను ఎంపిక చేసుకోవచ్చు. అన్ని వ్యాసాల గుండా జడత్వభ్రామకం సమానం అది I_d అనుకొనిన సమీకరణ (6.23) నుండి

$$M R^2 = 2 I_d$$

కనుక

$$I_d = (½) MR^2$$

ఏదేని వ్యాసం పరంగ రింగు జడత్వ భ్రామకం (½) $M R^2$. రింగు అంచుపై P అనే బిందువును తీసుకొందాం. రింగు అక్షానికి సమాంతరంగా P బిందువు వద్ద స్పర్శరేఖను తీసుకోండి. రెండు అక్షాల మధ్య దూరం R. స్పర్శరేఖ పరంగా జడత్వ భ్రామకంను సమాంతర అక్ష సిద్ధాంతమును ఉపయోగించి గణించవచ్చును.

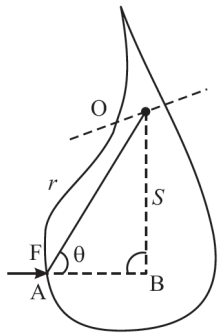
$$I_{\tan} = M R^2 + M R^2 = 2 M R^2.$$

పట్టిక 6.2లో ఇచ్చిన విలువలన్నింటిని లంబ సమాంతరాక్ష సిద్ధాంతము లనుపయోగించి గణించారు.

6.6 బలభ్రామకం లేదా టార్క్ (τ) మరియు బలయుగ్మం

కృత్యం 6.3

తలుపుబందుల (hinges)నుండి దూరంగా గడియ దగ్గర బలం ప్రయోగించడం ద్వారా తలుపును సులభంగా తీయవచ్చు అన్న విషయం మీరు ఎప్పుడైనా గమనించారా? తలుపు బందుల దగ్గరగా బలం ప్రయోగించి తెరవడానికి ప్రయత్నించండి. ఈ క్రియను కొన్నిసార్లు చెయ్యండి. దీని వల్ల మీరు బందుల దగ్గర పట్టుకొని తలుపు తీయుటకు ఎక్కువ బలాన్ని ఉపయోగించవలసి వస్తుందని తెలుసుకొంటారు. ఎందుకలా? అలాగే స్క్రూను తిప్పుటకు పొడవైన పిడి గల స్పానర్ (spanner)ను ఉపయోగిస్తాం. పొడవైన పిడిని వాడటంలో గల ప్రయోజనమేమిటి? దీనికి గల కారణం తెలుసుకుందాం.



పటం.6.17: వస్తువు భ్రమణం

వస్తువులో O ను ఒక స్థిర బిందువు అనుకొందాం. ఈ బిందువు గుండా పోయే అక్షం పరంగా వస్తువు భ్రమణం చేస్తుంది (పటం 6.17). AB రేఖ వెంబడి A బిందువు వద్ద F పరిమాణం గల బలాన్ని ప్రయోగించారు. AB రేఖ O బిందువు గుండా వెళుతున్నట్లయితే ఓ బలం వస్తువును భ్రమణం చెందించలేదు. AB రేఖ O బిందువునుండి ఎంత దూరంగా ఉంటే F బలం వస్తువును O అక్షం పరంగా అంత సులువుగా భ్రమణం చెందించ గలదు. బలం యొక్క ఈ భ్రమణ ప్రభావాన్ని టార్క్ అంటారు. దీని పరిమాణం.

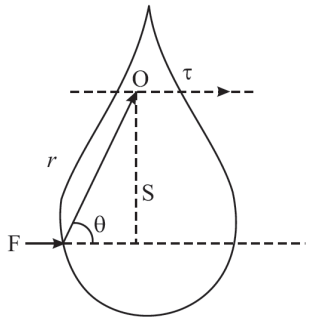
$$\tau = Fs = Fr \sin\theta \qquad (6.24\ [a])$$

ఇక్కడ s భ్రమణాక్షం మరియు బలం ప్రయోగించిన రేఖకు మధ్య గల దూరం.

టార్క్ ప్రమాణం న్యూటన్– మీటరు లేదా Nm . టార్క్ సదిశ సమీకరణం (6.24[a]) కు సదిశారూపం.

$$\tau = \mathrm{r} \times \mathrm{F} \qquad (6.24\ [b])$$

ఇది టార్క్ పరిమాణం మరియు దిశను ఇస్తుంది. వస్తువు ఏ దిశలో తిరుగుతుంది? దీనిని కనుక్కోవడానికి సదిశల లబ్ధ నియమాలను గుర్తుకు తెచ్చుకోండి. సదిశలు **r**, **F** లు ఉన్న తలానికి లంబంగా τ ఉంటుంది. ఇక్కడ అది కాగితం ఉన్న తలం (పటం 6.18). స్వల్పకోణంతో **r** నుండి **F** దిశలో కుడిచేతి వేళ్ళను ముడుస్తూ వాటికి లంబంగా బొటనవేలిని తెరిచినపుడు, బొటనవేలి దిశ τ దిశను తెలియజేస్తుంది.



పటం.6.18: కుడిచేతి బొటనవేలి నిబంధన

పై నియమాన్ని ఉపయోగించి పటం 6.18 లో బలం వల్ల భ్రమణ ప్రభావం కాగిత తలానికి లంబంగా కిందివైపుకు ఉంటుందని చూపించండి. ఇది వస్తువు సవ్య భ్రమణానికి కారణం.

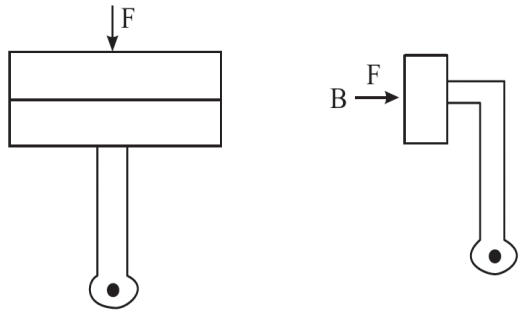
ఉదాహరణ 6.6

పటం 6.19 సైకిల్ యొక్క ఫెడల్‌ను చూపిస్తుంది. ఫెడల్‌పై పాదాన్నుంచి దానిని కిందికి తొక్కారనుకోండి. (i) మీరు ఏ టార్క్‌ను ఉత్పత్తి చేస్తారు. (ii) గరిష్ట టార్క్‌ను కలిగించడానికి మీ పాదంను ఎక్కడ పెట్టాలి.

సాధన :

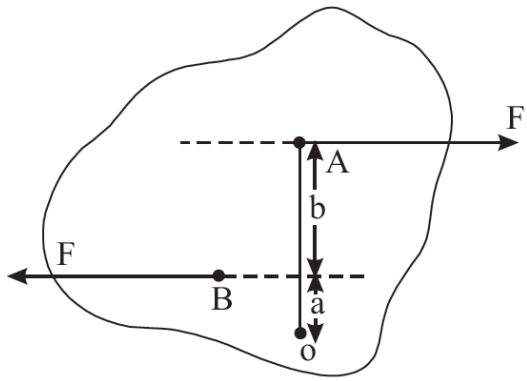
(i) పాదం పైన ఉన్నపుడు బలం పనిచేసే రేఖ ఫెడల్ మధ్య నుండి వెళుతుంది కనుక $\theta = 0$ మరియు $\tau = Fr \sin\theta = 0$.

(ii) గరిష్ట τ ను పొందటానికి $\sin\theta$ విలువ గరిష్టం అవ్వాలి అంటే $\theta = 90^o$. ఇది మీ పాదంను B వద్ద ఉంచి ఫెడల్‌ను కిందికి తొక్కినపుడు అవుతుంది.



పటం. 6.19 : సైకిల్ ఫెడల్ (a) పైన $\tau = 0$ అయినప్పుడు; (b) τ గరిష్ఠంగా ఉన్నప్పుడు

ఒకవేళ చాలా టార్క్‌లు వస్తువుపై పనిచేస్తుంటే మొత్తం టార్క్ విలువ, విడి టార్క్‌ల (దిశల) బీజీయ మొత్తానికి సమానం. మీరు భ్రమణ చలనంలో టార్క్ పాత్ర, రేఖీయ చలనంలో బలం పాత్రల మధ్య ఏదైనా సారూప్యాన్ని చూశారా? సమాన పరిమాణం గల రెండు బలాలు వ్యతిరేక దిశలో పనిచేస్తున్నాయనుకోండి (పటం 6.20). వస్తువు O బిందువు గుండా పోయే అక్షం పరంగా స్వేచ్ఛగా భ్రమణాలు చేస్తుందని ఊహించుకోండి. వస్తువుపై రెండు టార్కుల పరిమాణాలు.



పటం. 6.20 : వస్తువుపై పనిచేస్తున్న రెండు వ్యతిరేక బలాలు

$$\tau_1 = (a+b)F$$

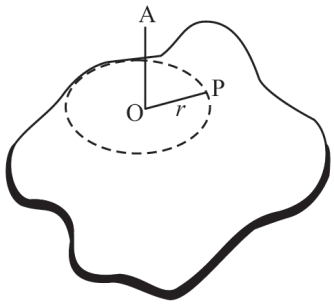
$$\tau_2 = aF .$$

ఈ టార్కుల భ్రమణప్రభావం వ్యతిరేక దిశలలో ఉంటాయని మీరు సరి చూసుకోవచ్చు. కనుక వస్తువుపై మొత్తం భ్రమణ ఫలితం యొక్క పరిమాణం ఎక్కువ టార్క్ ఉన్న దిశలో ఉంటుంది. ఇక్కడ అది τ_1

$$\tau = \tau_1 - \tau_2 = \mathrm{bF} \qquad (6.25)$$

దీని నుండి, పరిమాణంలో సమానంగా, దిశలో వ్యతిరేకంగా ఉండి సరేఖీయం కాని రెండు బలాలను బలయుగ్మం అంటారు. దీని టార్క్, బల పరిమాణం మరియు బలాల మధ్య లంబదూరంల లబ్ధానికి సమానం.

వీటి టార్క్ రెండింటిలో ఏదో ఒక బల పరిమాణం మరియు వాటి మధ్య లంబదూరంల లబ్ధానికి సమానం. టార్క్‌కు, రేఖీయ చలనంలో బలంతో ఉన్న సారూప్యాన్ని విశదీకరించే మరియొక ఉపయోగకరమైన సమీకరణం ఉంది. O బిందువు గుండా పోయే అక్షంపరంగా తిరుగుతున్న దృఢ వస్తువును తీసుకోండి (పటం. 6.21). P అనే కణం దాని అక్షం పరంగా r వ్యాసార్ధం గల వృత్తాకార మార్గంలో భ్రమణంలో ఉంది. వృత్తాకార చలనం ఏకరీతిగా లేనపుడు కణం రేడియల్ మరియు స్పర్శరేఖీయ దిశల లో బలాన్ని పొందుతుంది. కణాన్ని వృత్తాకార మార్గంలో ఉంచే రేడియల్ బలం అభికేంద్రబలం $m\omega^2 r$. వృత్తానికి స్పర్శరేఖీయ దిశలో ఎల్లపుడు ఉండే v పరిమాణాన్ని మార్చడానికి స్పర్శ రేఖీయ బలం కావాలి. దాని పరిమాణం ma ఇక్కడ a స్పర్శరేఖీయత్వరణం. రేడియల్ బలం టార్క్‌ను ఉత్పత్తి చేయదు. ఎందుకో మీకు తెలుసా? స్పర్శరేఖీయ బలం $ma\ r$ పరిమాణం గల టార్క్‌ను ఉత్పత్తి చేస్తుంది. $a = r\alpha$ కనుక ఇక్కడ α కోణీయత్వరణం. టార్క్ పరిమాణం $mr^2\alpha$ వస్తువులోని అన్ని కణాలను పరిగణనలోకి తీసుకున్నపుడు



పటం. 6.21 : అక్షం పరంగా భ్రమణంలో ఉన్న దృఢవస్తువు

$$\tau = \sum_{i=0}^{i=n} m_i r_i^2 \alpha = \left(\sum_i m_i r_i^2\right)\alpha \qquad (6.26)$$

$$= \mathrm{I}\alpha$$

ఇచ్చిన క్షణంలో అన్ని కణాలకు α సమానం.

పై సమీకరణానికి మరియు $\mathbf{F} = m\ a$ కు మధ్య సాదృశ్యం, భ్రమణ చలనంలో τ, రేఖీయ చలనంలో $\mathbf{F}$ పోషించిన పాత్రను పోషిస్తుందని తెలుస్తుంది. రేఖీయ చలనంలోని రాశులకు అనురూపమైన భ్రమణచలనంలోని రాశులను పట్టిక (6.3) లో ఇచ్చాము. ఈ పట్టిక సహాయంతో భ్రమణచలనంలోని సమీకరణాన్ని, రేఖీయచలనంలోని దాని అనురూప సమీకరణం తెలిసిన కనుక్కోవచ్చు.

పట్టిక 6.3 భ్రమణ, స్థానాంతర చలనాలలోని అనురూప రాశులు

స్థానాంతర చలనం		స్థిర అక్షం పరంగా భ్రమణచలనం	
స్థానభ్రంశం	x	కోణీయస్థానభ్రంశం	θ
వేగం	$v = \frac{dx}{dt}$	కోణీయవేగం	$\omega = \frac{d\theta}{dt}$
త్వరణం	$a = \frac{dv}{dt}$	కోణీయ త్వరణం	$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$
ద్రవ్యరాశి	M	జడత్వభ్రామకం	I
బలం	$F = m\ a$	టార్క్	$\tau = I\alpha$
పని	$w = \int F dx$	పని	$W = \int \tau d\theta$
గతిజశక్తి	$\frac{1}{2} Mv^2$	గతిజశక్తి	$(\frac{1}{2}) I\omega^2$
సామర్థ్యం	$P = Fv$	సామర్థ్యం	$P = \tau\omega$
రేఖీయ ద్రవ్యవేగం	Mv	కోణీయ ద్రవ్యవేగం	$I\omega$

సమీకరణం 6.26 సహాయంతో ఇచ్చిన టార్కువల్ల కలిగిన కోణీయ త్వరణాన్ని కనుక్కోవచ్చు.

ఉదాహరణ 6.7

1kg ద్రవ్యరాశి మరియు 0.1 m వ్యాసార్థం గల ఏకరీతి పళ్ళెం, దాని కేంద్రం గుండా పోతూ ఘర్షణ రహిత తలంకు లంబంగా గల అక్షంపరంగా భ్రమణంలో ఉంది. పళ్ళెం అంచు వెంబడి భారరహిత దారంను పంపించి దాని చివర 0.1 kg ద్రవ్యరాశిని వేలాడదీశారు(పటం 6.22). (i) పళ్ళెం కోణీయ త్వరణాన్ని, (ii) ఒక సెకనులో పళ్ళెం తిరిగిన కోణం, (iii) ఒక సెకను తర్వాత పళ్ళెం కోణీయ వేగంలను కనుక్కోండి వీ $g = 10\ ms^{-2}$ గా తీసుకోండి.

సాధన:

(i) R మరియు M లు పళ్ళెం వ్యాసార్థం మరియు ద్రవ్యరాశులను సూచిస్తే పట్టిక 6.2 నుండి జడత్వభ్రామకంను మననం చేసుకొందాం. $I = (\frac{1}{2})\ M\ R^2$ అని తెలుస్తుంది. దారం చివర ఉన్న ద్రవ్యరాశి వలన కలిగే బలపరిమాణాన్ని F తో సూచిస్తే $(m\ g)$ అపుడు $\tau = FR$. సమీకరణం (6.26) నుండి

$$\alpha = \tau / I = FR / I = 2F / MR$$

$$= \frac{2\times(0.1\text{kg})\times(10\text{ms}^{-2})}{(1.0\text{kg})\times(0.1\text{m})} = 20\,\text{rad}\,\text{s}^{-2}$$

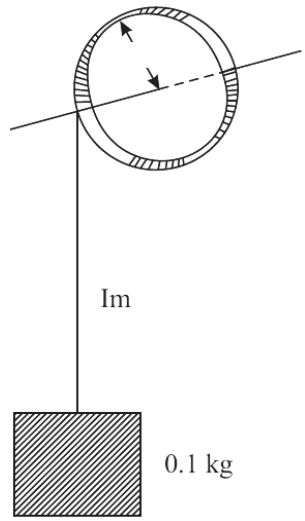
(ii) పళ్ళెం తిరిగిన కోణం కోసం మనం సమీకరణం (6.21 [c])ను ఉపయోగిద్దాం. తొలి కోణీయవేగం సున్న కనుక

$$\theta = (1/2)\times 20\times 1.0 = 10\,\text{rad}$$

(iii) ఒక సెకను తరువాత కోణీయవేగం

$$\omega = \alpha t = 20\times 1.0 = 20\,\text{rad s}^{-1}$$

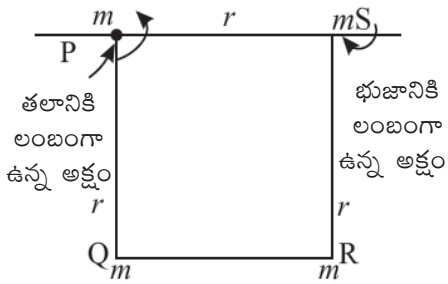
మీ పురోగతిని పరీక్షించుకోండి. ఈ క్రింది ప్రశ్నలను ప్రయత్నించండి.



పటం. 6.22

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 6.3

1. 1 **m** భుజంపొడవు గల చతురస్రం నాలుగు మూలల్లో ప్రతీ కణం ద్రవ్యరాశి **M** గా గల నాలుగు కణాలు ఉన్నాయి. ఏదేని ఒక మూల గుండా పోతూ దాని తలానికి లంబంగా ఉండే అక్షం పరంగా జడత్వ భ్రామకంను కనుక్కోండి. చతురస్రభుజం వెంబడి పోయే అక్షం పరంగా కూడా జడత్వభ్రామకంను కనుక్కోండి. మీ ఫలితాన్ని లంబాక్ష సిద్ధాంతం ద్వారా సరిచూసుకోండి.



2. గోళానికి స్పర్శరేఖ అక్షం అయితే, ఆ గోళం యొక్క భ్రమణ వ్యాసార్ధం (radius of gyration)ను కనుక్కోండి. (పట్టిక 6.2 ను ఉపయోగించుకోండి)

3. గడియారం లోని నిమిషాల ముల్లు కోణీయ వేగం ఎంత?

4. పంక్చర్ అయిన బస్సు టైరును మార్చుతున్న డ్రైవరు పొట్టి స్పానర్‌కి పొడవాటి గొట్టాన్ని అమర్చాడు. గొటటం రెండవ చివర బలాన్ని ప్రయోగిస్తున్నాడు. పొడవాటి గొట్టం అవసరాన్ని వివరించండి.

5. నిత్యం మనం ఉపయోగించే బలయుగ్మ బలాలకు కొన్ని ఉదాహరణలు ఇవ్వండి.

6. బల భ్రామకం (టార్క్) లేదా బలయుగ్మ భ్రామకాల్లో దేన్ని ఉపయోగించి నాణేన్ని టాస్ వేస్తామో తెలియజేయండి.

7. జడత్వ భ్రామకానికి ప్రమాణాలు ఏవి?

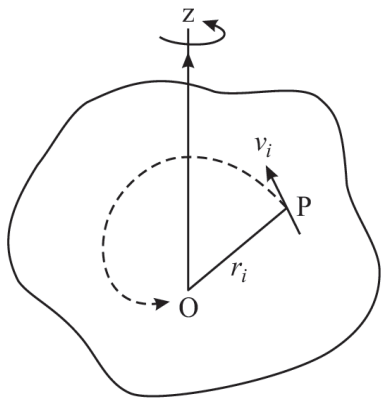
6.7 కోణీయ ద్రవ్యవేగం

పట్టిక 6.3 నుండి భ్రమణచలనంలో కోణీయ ద్రవ్యవేగంకు అనురూపమైనది రేఖీయ చలనంలో రేఖీయ ద్రవ్యవేగం అని జ్ఞప్తికి తెచ్చుకోండి.

కృత్యం 6.4

ఎక్కువ ఘర్షణ లేకుండా భ్రమణం చెందగల బల్ల నొక దానిని తీసుకోండి. దీనితో మీరు ఒక ఆసక్తికరమైన ప్రయోగం చెయ్యగలరు. మీ స్నేహితురాలిని ఆ బల్లమీద చేతులు ముడుచుకొని కూర్చోమనండి. బల్లను వేగంగా త్రిప్పండి. భ్రమణ వేగాన్ని లెక్కించండి. మీస్నేహితురాలిని చేతులు చాచమని అడిగి మళ్లీ వేగాన్ని లెక్కించండి. బల్ల వేగంలో మార్పును గమనించారా? ఆమెను మళ్లీ చేతులు ముడుచుకోమని చెప్పి వేగంలో మార్పును గమనించండి.

పై రెండు సందర్భాలలో బల్ల వేగంలో మార్పును ఎందుకు ఊహిస్తున్నామో మనం ఇపుడు అర్థం చేసుకోవడానికి ప్రయత్నిద్దాం: (i)చేతులు ముడుచుకొని, (ii) చాచుకొని కూర్చున్నప్పుడు. దీని కోసం మళ్లీ మనం దృఢ వస్తువు చి–అక్షం పరంగా వస్తువులోని స్థిర బిందువు ం వెంబడి భ్రమణచలనాన్ని తీసుకొందాం. వస్తువులోని అన్ని బిందువులు అక్షం వెంబడి వృత్తాకార పథంలో కోణీయ వేగంతో చలిస్తూ, ఆ పథాల కేంద్రాలన్నీ అక్షం మీద ఉంటాయి. అక్షం నుండి r_i దూరంలో P అనే బిందువును తీసుకొందాం(పటం 6.23). దాని రేఖీయ వేగం $v_i = r_i\omega$ దాని ద్రవ్యవేగం $m_1 r_1 \omega$ అవుతుంది. ద్రవ్యవేగం మరియు అక్షం నుండి దూరంల లబ్ధం కోణీయ ద్రవ్యవేగం అంటారు. దీనిని L తో సూచిస్తారు. ఈ లబ్ధాన్ని వస్తువు అన్నీ కణాలకు సంకలనం చేసిన



పటం. 6.23 : O గుండా పోయే అక్షం పరంగా దృఢ వస్తువు భ్రమణం

$$L = \sum_i m_i \omega r_i \; r_i = \left(\sum_i m_i r_i^2\right)\omega$$

$$= I\omega \qquad (6.27)$$

కోణీయవేగం అన్ని కణాలకు సమానం అని గుర్తు పెట్టుకోండి. బ్రాకెట్‌లో ఉన్న పదం వస్తువు జడత్వభ్రామకం. రేఖీయ ద్రవ్యవేగం లాగానే కోణీయ ద్రవ్యవేగం కూడా సదిశరాశి. సమీకరణం (6.27) భ్రమణాక్షం వెంబడి **L** సదిశ అంశను మాత్రమే ఇస్తుంది. I కూడా అదే అక్షానికి సంబంధించినది అని ఇక్కడ ముఖ్యంగా గుర్తు పెట్టుకోవాలి. కోణీయ ద్రవ్యవేగం ప్రమాణం $\text{kg m}^2\text{ s}^{-1}$

ω లోని α , I $\alpha = \tau$ మార్పురేటు కనుక కోణీయ ద్రవ్యవేగం లోని మార్పురేటు టార్క్ సదిశా సంకేతంలో భ్రమణ చలనంలో ఉన్న వస్తువు గతి సమీకరణం

$$\frac{dL}{dt} = \tau = I\frac{d\omega}{dt} = I\alpha \qquad (6.28)$$

6.7.1 కోణీయ ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వం (Conservation of angular momentum)

సమీకరణం (6.28) నుండి వస్తువుపై బాహ్య టార్క్ పనిచేయనపుడు $\frac{dL}{dt} = 0$ అని తెలుస్తుంది. అంటే కోణీయ ద్రవ్యవేగంలో మార్పు లేదు అని అర్థం అవుతుంది అంటే కోణీయ ద్రవ్యవేగం స్థిరం. శక్తి నిత్యత్వం, ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వం లాగానే ఇది కూడా భౌతికశాస్త్రంలో చాలా ముఖ్యమైన సూత్రాలలో ఒకటి.

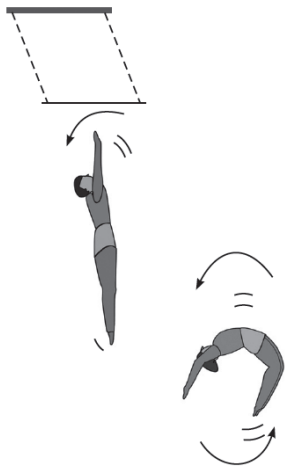
కోణీయ ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ సూత్రం ఈ కింది ప్రశ్నలకు సమాధానాలను ఇవ్వగలిగేలా చేస్తుంది. గాలిలో ఎగురుతున్న బొమ్మ గొడుగు దిశ స్థిరంగా ఎలా ఉంటుంది? దానిని భ్రమణం చెందించడం వల్ల కొంత కోణీయ ద్రవ్యవేగం వస్తుంది. ఒకసారి అది గాలిలోకి వెళ్లిన తరువాత దాని మీద కోణీయ ద్రవ్యవేగం స్థిరంగా ఉంటుంది. కోణీయ ద్రవ్యవేగం సదిశరాశి కనుక దాని స్థిరత్వం దిశలో పరిమాణంలో స్థిరత్వాన్ని సూచిస్తుంది. కనుక గాలిలో ఉన్న బొమ్మ గొడుగు దిశ స్థిరంగా ఉంటుంది. మీ స్నేహితురాలు భ్రమణ బల్ల మీద ఉన్న సందర్భంలో బాహ్య టార్క్ బల్లమీద పనిచేయనపుడు స్టూలు, దాని మీద ఉన్న మనిషి కోణీయ ద్రవ్య వేగం నిత్యత్వమవ్వాలి. ఆమె చేతులు చాచి వ్యవస్థ జడత్వభ్రామకం పెరగడానికి కారణమయ్యింది. సమీకరణం (6.27) నుండి కోణీయ వేగం తగ్గాలి అని తెలుస్తుంది. అలాగే ఆమె చేతులు ముడుచుకున్నపుడు వ్యవస్థ జడత్వభ్రామకం తగ్గుతుంది. ఇది కోణీయవేగం పెరగడానికి కారణం. ఇక్కడ మార్పు అనేది భ్రమణాక్షం నుండి కణాల దూరం మారడం వల్ల జడత్వ భ్రామకంలో మార్పు కలుగుతుందని గమనించండి. కోణీయ ద్రవ్యవేగానికి మరికొన్ని ఉదాహరణలు చూద్దాం. M ద్రవ్యరాశి, R వ్యాసార్ధం గల గోళాకార బంతి ఉందనుకుందాం. దాని మీద టార్క్‌ను ప్రయోగించి ఆ బంతిని భ్రమణచలనంలో ఉంచాము. దాని మీద టార్క్‌ను తొలగించాం. బాహ్య టార్క్ లేనపుడు బంతి పొందిన కోణీయ ద్రవ్యవేగం నిత్యత్వమవ్వాలి. బంతి జడత్వ భ్రామకం $(2/5)\,M\,R^2$ కనుక (పట్టిక 6.2) దాని కోణీయ ద్రవ్యవేగం.

$$L = \frac{2}{5} MR^2 \omega \qquad (6.29)$$

ఇక్కడ ω దాని కోణీయవేగం. బంతి వ్యాసార్ధంను ఏదోవిధంగా తగ్గించామనుకుందాం. దాని కోణీయ ద్రవ్యవేగం నిత్యత్వం చేసుకోవడానికి ω పెరిగి బంతి ఎక్కువ వేగంతో భ్రమణాలు చేస్తుంది. పల్సార్‌లైన నక్షత్రాలలో కూడా ఇదేవిధంగా జరుగుతుంది. (వీటి గురించి పల్సార్ రహస్యం బాక్సులో చూడండి) అకస్మాత్తుగా బంతి వ్యాసార్ధం పెరిగితే ఏమవుతుంది? సమీకరణం (6.29) నుండి, కోణీయ ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వం కొరకు, R పెరిగితే, ω తగ్గాలి అని తెలుస్తుంది. వ్యాసార్ధం కాకుండా ఏదో విధంగా దాని జడత్వభ్రామకం లో మార్పు వస్తే అపుడు కూడా ω మారుతుంది. దీని నుండి ఒక ఆసక్తికరమైన ఫలితం కోసం ఈ క్రింది బాక్సు చూడండి.

రోజు నిడివి స్థిరం కాదు

భూభ్రమణ ఆవర్తనకాలం అంటే రోజు నిడివిలో అతి స్వల్ప మరియు క్రమరహిత మార్పులను శాస్త్రవేత్తలు గమనించారు. దీనికి వారు గుర్తించిన కారణాలతో ఒకటి వాతావరణం. వాతావరణంలోని మార్పుల కారణంగా భూవాతావరణంలో ఉన్న గాలిలో పెద్ద మొత్తంలో కదలిక వస్తుంది. ఇది భూ అక్షం చూట్టూ ఉన్న ద్రవ్యరాశిలో మార్పుకు కారణమవుతుంది. తద్వారా భూమి జడత్వ భ్రామకంలో మార్పు వస్తుంది. భూమి కోణీయ ద్రవ్యవేగం $L = I\,\omega$ నిత్యత్వమవ్వాలంటే I లో మార్పు అంటే భూభ్రమణవేగం లేదా రోజునిడివిలో మార్పు ఉండాలి.



పటం. 6.24 : ఈతగాడు, ఈతబల్ల మీద నుండి దూకిన తరవాత పల్టీలు కొట్టడం

ఆక్రోబాట్స్ (Acrobats), స్కేటర్స్ (skaters), డైవర్స్ (divers) ఇంకా ఇతర ఆటగాళ్లు వారి ఆటను ప్రదర్శించడానికి కోణీయ ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమాన్ని బాగా ఉపయోగించుకుంటున్నారు. ఆసియాక్రీడలు, ఒలింపిక్స్, జాతీయ క్రీడలలో ఈత విభాగంలో ఈతగాళ్లు ఈతబల్ల నుండి దూకేటపుడు డైవర్ తనకు తాను కొద్దిగా భ్రమణాన్ని ఇచ్చుకొని తద్వారా ఆమె కొంత కోణీయవేగాన్ని పొందుతుంది. గాలిలో ఉన్నపుడు ఆమె మీద టార్క్ పనిచేయదు, కనుక కోణీయ ద్రవ్యవేగం నిత్యత్వమవ్వాలి. జడత్వ భ్రామకం తగ్గించడానికి శరీరాన్ని ముడుచుకున్నపుడు ఆమె వేగంగా భ్రమణాలు చేస్తుంది. ఆమె ముడుచుకోకపోతే జడత్వభ్రామకం ఎక్కువై ఆమె భ్రమణం నెమ్మదిస్తుంది. ఈ విధంగా శరీరాకృతిని మార్చుకోవడం ద్వారా నీటిలోకి ప్రవేశించేముందు తన ఆటను ప్రదర్శించగలుగుతుంది.

ఉదాహరణ 6.8

ఘర్షణ రహిత బేరింగులు గల భ్రమణ బల్ల మీద షీలా నిలబడి ఉంది. వ్యవస్థ భ్రమణాక్షం నుండి 1.0 m దూరంలో 2 kg ల వస్తువును పట్టుకొని ఉంది. ఆరంభంలో వ్యవస్థ నిముషానికి 10 భ్రమణాలు చేస్తుంది. (a) తొలి కోణీయ వేగాన్ని రేడియన్ /సెకను (b) భ్రమణాక్షం నుండి వస్తువులను 0.2 m దూరంలోకి తెచ్చినపుడు కోణీయవేగం (c)వ్యవస్థ గతిజశక్తిలో మార్పు (d) గతిజశక్తి పెరిగితే, దాని పెరుగుదలకు కారణం ఏమిటి? (షీలా మరియు బల్ల జడత్వభ్రామకం I_{SP}, 1.0 kg m^2 వద్ద స్థిరంగా ఉందని అనుకోండి)

సాధన:

(a) 1 భ్రమణం $= 2\pi$ రేడియన్

$\therefore$ తొలి కోణీయవేగం $\omega = \dfrac{10 \times 2\pi \text{ radian}}{60\text{s}} = 1.05 \text{ rad s}^{-1}$

(b) కోణీయ ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమం నుపయోగించి దీనిని కనుక్కోవచ్చు.

తొలి జడత్వభ్రామకం $I_i = I_{SP} + mr_i^2 + mr_i^2$

$= 1.0 kg\, m^2 + (2.0 kg) \times (1 m^2) + (2.0 kg) \times (1 m^2)$

$= 5.0$ kg m^2

వస్తువులను 0.2 m దూరంలోకి తెచ్చినపుడు తుది జడత్వభ్రామకం

$I_t = I_{SP} + mr_f^2 + mr_f^2$

$= 1.0 \text{ kg m}^2 + 2.0 \text{ kg} \times (0.2)^2 \text{ m}^2 + 2.0 \text{ kg} \times (0.2)^2$

$= 1.16 \text{ kg m}^2.$

కోణీయద్రవ్యవేగం నిత్యత్వమవ్వాలంటే

$I_i \omega_i = I_f \omega_f$ అవ్వాలి

లేదా $\omega_f = \dfrac{I_i \omega_i}{I_f}$

$$= \frac{\left(5.0\,\text{kgm}^2\right)1.05\,\text{rad s}^{-1}}{1.16\,\text{kgm}^2}$$

$$= 4.5 \text{ rad s}^{-1}$$

భ్రమణ గతిజశక్తిలో మార్పును ΔE అనుకొంటే

$$\Delta E = \frac{1}{2} I_f \omega_f^2 - \frac{1}{2} I_i \omega_i^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 1.16\text{kgm}^2 \times (4.5)^2 \left(\text{rad s}^{-1}\right)^2 - \frac{1}{2} \times 5.0\text{kgm}^2 \times (10.5)^2 \left(\text{rad s}^{-1}\right)^2$$

$$= 9.05 \text{ J}$$

తుది గతిజశక్తి, తొలి గతిజశక్తి కన్నా ఎక్కువ కనుక వ్యవస్థ గతిజ శక్తిలో పెరుగుదల ఉంటుంది.

(d) షీలా వస్తువును అక్షం వైపుకు లాగినపుడు ఆమె వ్యవస్థ మీద పనిచేస్తుంది. ఆ పనివ్యవస్థ గతిజశక్తిని పెంచుతుంది.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 6.4

1. హైడ్రోజన్ అణువు రెండు సమానమైన పరమాణువులను కలిగి ఉంది. అది ఒక్కొక్కటి m ద్రవ్యరాశి కలిగి, d దూరంలో వేరుచేయబడి ఉన్నాయి. ఆ రెండింటి మధ్యలో ఉన్న అక్షం పరంగా అణువు ω కోణీయ వేగంతో భ్రమణంలో ఉంది. అణువు కోణీయ ద్రవ్యవేగాన్ని కనుక్కోండి?

2. 2.0 kg ద్రవ్యరాశి, 20 cm వ్యాసార్ధం కల ఏకరీతి పళ్లెం ఏదేని ఒక వ్యాసం పరంగా 10 రేడియన్ / సెకను కోణీయవేగంతో భ్రమణంలో ఉంది. భ్రమణాక్షం పరంగా దాని కోణీయ ద్రవ్యవేగాన్ని కనుక్కోండి.

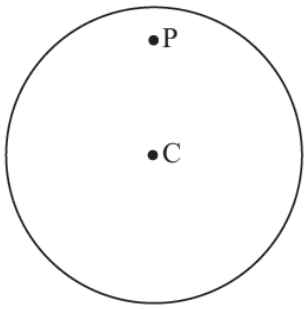
3. లంబంగా ఉన్న అక్షం వెంబడి ω కోణీయవేగంతో ఒక చక్రం భ్రమణంలో ఉంది. అంతే వ్యాసార్ధం, సగం ద్రవ్యరాశి కలిగి ఆరంభంలో నిశ్చలస్థితిలో ఉన్న ఇంకొక చక్రంను నెమ్మదిగా అదే అక్షానికి జారవిడిచారు. ఆ రెండు చక్రాలు ఉమ్మడి వేగంతో భ్రమణంలో ఉన్నాయి. ఉమ్మడి కోణీయ వేగాన్ని కనుక్కోండి.

4. కుంచించుకుపోతున్న గాలి మేఘంతో భూమి తయారైందని అంటారు. కొంతకాలం క్రితం భూమి వ్యాసార్ధం, ఇప్పటి వ్యాసార్ధం కంటే 25 రెట్లు ఉండేదనుకుందాం. అపుడు దాని అక్షం పరంగా భ్రమణ ఆవర్తనం ఎంత ఉండేది.

6.8 ఒకేసారి భ్రమణ మరియు స్థానాంతర చలనాలు

దృఢ వస్తువును ఒక బిందువు వద్ద పట్టి ఉంచకపోతే అది భ్రమణ, స్థానాంతర చలనాలను కలిగి ఉంటుందని మీకు తెలుసు. సాధారణంగా దృఢ వస్తువు పై రెండు చలనాల్ని కలిగి ఉంటుంది. సమతల క్షితిజ సమాంతరతలంపై ఆటోమొబైల్ చక్రం చలనాన్ని ఊహించుకోండి. (పటం 6.25) మీరు వృత్తాకార తలం ను

గమనిస్తున్నారనుకుందాం. వృత్తాకార తలం మీద P బిందువు వద్ద C మరియు దాని కేంద్రం C వద్ద మీ దృష్టి పెట్టండి. చక్రం ద్రవ్యరాశికేంద్రం దాని అక్షం కేంద్ర వద్ద ఉంటుందని C బిందువు అక్షం చివరి బిందువుని గుర్తు పెట్టుకోండి. అది దొర్లుతున్నపుడు P బిందువు, C బిందువు చుట్టూ భ్రమణంలో ఉండటం మీరు గమనిస్తారు. C బిందువు చలనదిశలో తనంతట తాను స్థానాంతరంను పొందుతుంది. అంటే చక్రం, భ్రమణ మరియు స్థానాంతర చలనాలు రెంటిని కలిగి ఉంది. C బిందువు లేదా ద్రవ్యరాశికేంద్రం v_{cm} వేగంతో ,స్థానాంతరాన్ని పొందితే స్థానాంతర గతిజశక్తి.



పటం. 6.25

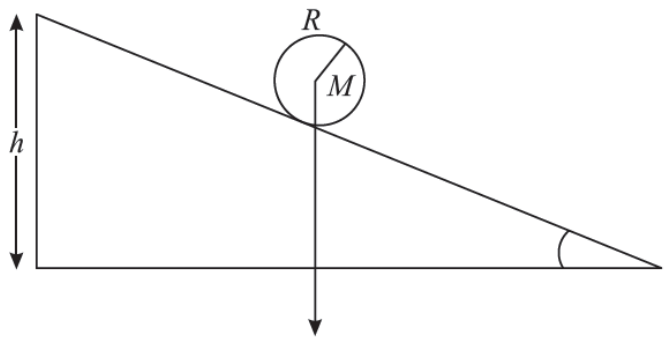
$$(KE)_{\text{స్థానాంతర}} = \frac{1}{2}Mv_{cm}^2 \qquad (6.30)$$

ఇక్కడ M ద్రవ్యరాశి, ω కోణీయవేగం అయితే భ్రమణ గతిజశక్తి.

$$(KE)_{\text{భ్రమణ}} = \frac{1}{2}I\omega^2 \qquad (6.31)$$

ఇక్కడ I జడత్వభ్రమకం, స్థానాంతర మరియు భ్రమణ గతిజశక్తుల మొత్తం వస్తువు మొత్తం శక్తి అవుతుంది. వాలుతలంపై స్థానాంతర మరియు భ్రమణ చలనాలతో కూడి వున్న వస్తువు చలనం ఇక్కడ ఆసక్తికర సందర్భం.

ఉదాహరణ 6.9: M ద్రవ్యరాశి, R వ్యాసార్ధం గల దృఢ వస్తువు జడత్వభ్రామకం I అనుకొందాం. h వాలుతలంపై అది కిందికి దొర్లుతుంది (పటం 6.26). దాని ప్రయాణం చివరలో v రేఖీయ వేగాన్ని, ω కోణీయవేగాన్ని పొందింది. ఘర్షణ వల్ల నష్టపోయినశక్తి చాలా స్వల్పం అనుకొంటే దానిని ఉపేక్షించవచ్చు. v పరంగా h విలువను రాబట్టండి.



పటం. 6.26 : వాలుతలంపై దృఢవస్తువు చలనం

సాధన:

శక్తి నిత్యత్వ నియమం నుండి వాలుతలం పాదం వద్ద స్థానాంతర, భ్రమణగతిజ శక్తుల మొత్తం, వాలుతలం ఎత్తు వద్ద వస్తువు కలిగి ఉన్న స్థితిజశక్తికి సమానం. అందువల్ల,

$$\frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = Mgh \qquad (6.32)$$

జారుడు చలనం లేకుండా మొత్తం దొర్లుడు చలనం అయితే మనం $v = R\omega$ అని రాయొచ్చు. సమీకరణం (6.32) లో ఈ విలువను పెడితే

$$\frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I\frac{v^2}{R^2} = Mgh \qquad (6.33)$$

ఒక సరళమైన ఉదాహరణకోసం ఆ వస్తువును పీపాకట్టు (hoop) (లేదా రింగు) అనుకొందాం. పట్టిక 6.2 నుండి దాని అక్షం పరంగా జడత్వ భ్రామకం MR^2 అని తెలుస్తుంది. సమీకరణం 6.33 నుండి

$$\frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}\frac{MR^2v^2}{R^2} = Mgh \qquad (6.34)$$

లేదా

$$v = \sqrt{gh} \qquad (6.35)$$

ఈ సమీకరణంలో ఏదైనా ఆసక్తికర విషయాన్ని గమనించారా? పీపాకట్టు లేదా రింగు ద్రవ్యరాశి, వ్యాసార్థం మీద రేఖీయ వేగం ఆధారపడదు. దీని అర్థం పీపాకట్టు ఏ పదార్థంతో చేసినదైనా, ఎంత వ్యాసార్థమున్నా వాలుతలంపై అదే వేగంతో కిందకు దొర్లుతుంది.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 2.3

1. ఒక ఘనగోళం వాలుతలంపై జారకుండా దొర్లుతుంది. వాలుతలం ఎత్తుపరంగా దాని వేగం ఎంత ఉంటుంది.

2. ఒక ఘనస్తూపం వాలుతలంపై జారకుండా దొర్లుతుంది. దాని గతిజశక్తిలో స్థానాంతర గతిజశక్తి భాగం ఎంత? h ఎత్తు నుండి పడిన తర్వాత దాని వేగ పరిమాణమెంత?

3. క్షితిజంతో 30^0 కోణం చేస్తున్న వాలుతలం పైనుండి 2 kg ద్రవ్యరాశి మరియు 10cm వ్యాసార్థం గల ఏకరీతిగోళంను నిశ్చల స్థితి నుండి వదిలారు. దాని (a) కోణీయత్వరణాన్ని (b) తలం వెంబడి దాని రేఖీయత్వరణం మరియు (c) తలం వెంబడి 2m ప్రయాణించినపుడు దాని గతిజశక్తిలను రాబట్టండి.

పల్సార్‌ల(Pulsars) రహస్యం

కోణీయ ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వంకు ఆసక్తికరమైన ఉదాహరణ పల్సేటింగ్ నక్షత్రాలు. వీటిని పల్సార్‌లు అంటారు. ఈ నక్షత్రాలు ఎక్కువ తీవ్రతకలిగిన వికిరణాలను మనవైపుకు పంపిస్తాయి. ఈ పల్సార్లు ఆవర్తనంగా ఉండి ఖచ్చితమైన ఆవర్తకతను కలిగి ఉంటాయి. వీటి ఆవర్తనకాలం వ్యాప్తి కొన్ని మిల్లీ సెకన్ల నుండి కొన్ని సెకన్ల వరకు ఉంటుంది. అంత తక్కువ వ్యవధిలోని ఆవర్తనాల వల్ల నక్షత్రాలు చాలా వేగంగా భ్రమణం చేస్తున్నట్లు తెలుస్తుంది. ఈ నక్షత్రాలలో చాలా వరకు పదార్థం న్యూట్రాన్‌ల రూపంలో ఉంటుంది (పరమాణు కేంద్రకం ప్రోటాను, న్యూట్రానులతో నిర్మితమై ఉంటుంది). ఈ నక్షత్రాలను న్యూట్రాన్ నక్షత్రాలని కూడా అంటారు. ఇవి నక్షత్రాలలోని అంతిమ స్థితిని తెలియజేస్తాయి. వాటి చిన్న పరిమాణమే వేగవంతమైన భ్రమణానికి కారణం. న్యూట్రాన్ నక్షత్రం వ్యాసార్థం 10 km మాత్రమే. దీనిని సూర్యుని వ్యాసార్థం (సుమారు 7×10^5 km) తో పోల్చి చూడండి. సూర్యుడు దాని అక్షం పరంగా 25 రోజులు ఆవర్తనకాలంతో భ్రమణం చేస్తాడు. సూర్యుడు అకస్మాత్తుగా దాని ద్రవ్యరాశిలో మార్పు లేకుండా న్యూట్రాన్ నక్షత్రం పరిమాణంకు కుంచించుకు పోయినట్లుగా ఊహించుకోండి. దాని కోణీయ ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వం కోసం సూర్యుడు మిల్లి సెకను కన్నా తక్కువ ఆవర్తనకాలంతో భ్రమణం చేయాల్సి ఉంటుంది.

మీరు ఏం నేర్చుకున్నారు

- దృఢ వస్తువు భ్రమణ స్థానాంతర చలనాలను విడి విడిగా లేదా ఉమ్మడిగా కలిగి ఉంటుంది.
- దృఢ వస్తువు స్థానాంతర చలనానికి సమీకరణాలను, దాని ద్రవ్యరాశి కేంద్రాన్ని మాత్రమే పరిగణించి, ఆ ఒక్క కణం దృష్ట్యా రాయవచ్చు.
- దృఢ వస్తువుపై బాహ్యబలాన్ని ప్రయోగించినప్పటికీ, దాని కణాల మధ్య సాపేక్ష దూరం మారదు.
- నిజానికి విశ్వంలో దృఢ వస్తువులు లేవు. కాని మనం రైలు పట్టాలు, చక్రాలు, లోహ గోళాలు మొదలగు ఎన్నో వస్తువులను దృఢ వస్తువులుగా పరిగణిస్తాం.
- వస్తువు యొక్క ఏ బిందువు వద్దనైతే మొత్తం ద్రవ్యరాశి కేంద్రీకృతం అయినట్టుగా కనిపిస్తుందో, ఆ బిందువును "ద్రవ్యరాశి కేంద్రం" అంటాం.
- దృఢ వస్తువు (కణాల వ్యవస్థ) చలన అధ్యయనాన్ని ద్రవ్యరాశి కేంద్రం సులభతరం చేస్తుంది.
- ద్రవ్యరాశి కేంద్రం వద్ద ద్రవ్యరాశి ఉండాల్సిన అవసరం లేదు.
- వస్తువు యొక్క ఏ బిందువు వద్దనైతే దాని మొత్తం భారం కేంద్రీకృతం అయినట్టుగా కనిపిస్తుందో దాన్ని గురుత్వకేంద్రం అంటారు.
- గురుత్వ కేంద్రం వస్తువు స్థిరత్వంతో ముడి పడింది.
- దృఢ వస్తువు భ్రమణ చలనంలో ఉన్నప్పుడు, దాన్లోని కణాలన్నీ భ్రమణాక్షం లేదా ఆధార బిందువు చుట్టూ ఏక కేంద్రక వృత్తాకార మార్గాల్లో ప్రయాణిస్తారు. అన్ని కణాలకు ఒకే కోణీయ వేగం, వేర్వేరు రేఖీయ వేగాలు ఉంటాయి.
- దృఢ వస్తువులోని ఒక బిందువును స్థిరంగా బిగిస్తే అది కేవలం భ్రమణ చలనాన్ని కలిగి ఉంటుంది.
- భ్రమణ అక్షం దృష్ట్యా జడత్వ భ్రామకం $I = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2 = MK^2$. ఇక్కడ M = మొత్తం ద్రవ్యరాశి; K = భ్రమణ వ్యాసార్థం.
- రేఖీయ చలనంలో ద్రవ్యరాశి పోషించే పాత్రను భ్రమణ చలనంలో జడత్వ భ్రామకం పోషిస్తుంది.
- బలభ్రామకం (టార్) $\tau = \bar{\mathbf{r}} \times \bar{\mathbf{F}}$

  దీన్నే బలం యొక్క తిప్పే ప్రభావం అంటారు.
- సమాన, వ్యతిరేక, సమాంతర బలాల జంట బలయుగ్మాన్ని ఏర్పరుస్తుంది. బలయుగ్మం వల్ల కలిగే భ్రమణాన్ని బలయుగ్మ భ్రామకం అంటారు. ఇది రెండు బలాల మధ్య లంబదూరం, బలం పరిమాణాల లబ్ధానికి సమానం.
- బాహ్య టార్క్ ప్రభావంతో వస్తువు కోణీయ ద్రవ్యవేగంలో మార్పు వస్తుంది.

- కోణీయ ద్రవ్యవేగం $L = I\omega$.
- బాహ్య టార్క్ శూన్యం అయితే, వస్తువు కోణీయ ద్రవ్యవేగం స్థిరం.

  $\tau_{ext} = 0$ అయితే $L = I\omega$ = స్థిరం

  లేదా $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$

* స్పింగ్ బోర్డు డైవింగ్, స్కేటింగ్, జిమ్నాస్టిక్ విన్యాసాల్లో కోణీయ ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వ నియమాన్ని అనువర్తిస్తారు.

* స్థూపాకార లేదా గోళాకార వస్తువు వాలు తలంపై దొర్లుతున్నప్పుడు దాని వేగం, ద్రవ్యరాశి లేదా వ్యాసార్థంపై ఆధారపడదు.

ముగింపు అభ్యాసం

1. వస్తువు భారం Mg సాధారణంగా దాని గురుత్వ కేంద్రం వద్ద పనిచేస్తుందని చూపిస్తాం. అంటే భూమి ఇతర కణాలను ఆకర్షించదని అర్థమా?

2. ద్రవ్యరాశి కేంద్రం వస్తువు బయట కూడా ఉండవచ్చా? రెండు ఉదాహరణల ద్వారా మీ సమాధానాన్ని వివరించండి

3. కార్బన్‌మోనాక్సైడ్ (CO) అణువులో రెండు పరమాణువుల కేంద్రకాల మధ్యదూరం 1.13×10^{-10}m. అణువులో ద్రవ్యరాశి కేంద్రాన్ని గణించండి.

4. 5 kg ద్రవ్యరాశి, 0.2 m వ్యాసం గల తిరుగుడు చక్రం rad s^{-1} కోణీయవేగంతో భ్రమణంలో ఉంది.దాని గతిజశక్తిని గణించండి. స్వేచ్ఛగా కిందికి పడేలా దానిని ఎంత ఎత్తు నుండి వదిలితే ఈ గతిజశక్తిని పొందవచ్చు. (g =10.0 ms^{-2} గా తీసుకోండి)

5. ఒక దృఢ అక్షం పరంగా 1.0 m వ్యాసం గల చక్రం దాని తొలి కోణీయవేగం 2 rev s^{-1}. తో భ్రమణంలో ఉంది. దాని కోణీయ త్వరణం 3 rev s^{-2}.

   (a) 2 సెకన్ల తరువాత దాని కోణీయవేగాన్ని గణించండి

   (b) ఈ కాలంలో ఎంత కోణంతో ఆ చక్రం తిరిగింది.

   (c) t = 2 s వద్ద చక్రం అంచుమీద ఉన్న బిందువు స్పర్శా వేగం ఎంత?

   (d) t = 2 s వద్ద చక్రం అంచు మీద ఉన్న బిందువు అభికేంద్ర త్వరణం ఎంత?

6. 20 $rads^{-1}$ కోణీయ వేగంతో భ్రమణంలో ఉన్న ఒక చక్రంను స్థిర టార్క్‌ను ప్రయోగించి 4 సెకన్లలో నిశ్చలస్థితికి తెచ్చారు. దాని అక్షంపరంగా చక్రం జడత్వభ్రామకం 0.2 kg m^2 మొదటి రెండు సెకన్లలో టార్క్ చేసిన పనిని గణించండి.

7. రెండు చక్రాలు ఒకే ఇరుసుకు బిగించారు. A చక్రం జడత్వ భ్రామకం 5×10^{-2} kg m^2. B చక్రం జడత్వభ్రామకం 0.2 kg m^2. A చక్రాన్ని 600 భ్రమణం నిమిషం$^{-1}$ తో ఆత్మభ్రమణం చెందే విధంగా చేసి, B చక్రాన్ని స్థిరంగా ఉంచారు. A,B లు కలిసి ఆత్మభ్రమణం చెందేలా క్లచ్‌తో కలిపారు.

(a) అవి ఎంత వేగంతో భ్రమణంలో ఉంటాయి.

(b) రెంటిని కలపకముందు గతిజశక్తిని, రెంటిని కలిపిన తరువాత గతిజశక్తిని పోల్చండి.

(c) క్లచ్ పనిచేసినపుడు A,10 భ్రమణాలు చేస్తే క్లచ్ విడుదల చేసిన టార్క్ ఎంత?

8. చూడటానికి ఒకేవిధంగా ఉన్న రెండు గోళాలను ఇచ్చి అందులో ఒకటి బోలు గోళమని చెప్పారు. బోలు గోళాన్ని కనుక్కోవడానికి ఒక పద్ధతిని సూచించు.

9. 1000 kg m^2. జడత్వభ్రామకం గల చక్రం ఏకరీతి త్వరణంతో భ్రమణంలో ఉంది. ఏదేని క్షణంలో దాని కోణీయ వేగం 10 rad s^{-1}. 100 రేడియన్ కోణంతో భ్రమణం చెందిన తరువాత చక్రం కోణీయవేగం 100 rad s^{-1} అయ్యింది. చక్రం మీద పనిచేసిన టార్క్‌ను, గతిజశక్తిలో మార్పును గణించండి.

10. 1 kg ద్రవ్యరాశి, 10 cm వ్యాసార్ధం గల పళ్ళెం దాని అక్షంపరంగా భ్రమణంలో ఉంది. అది నిశ్చల స్థితి నుండి ఏకరీతిగా త్వరణం చెందించబడింది. మొదటి సెకనులో అది 2.5 రేడియన్ భ్రమణం చెందింది. తరువాత సెకనులో అది ఎంతకోణం భ్రమణం చెందిందో కనుక్కోండి. పళ్ళెం మీద పనిచేసే టార్క్ పరిమాణం ఎంత?

11. గోళాకార కర్పరం వ్యాసం దృష్ట్యా జడత్వ భ్రామకం $\frac{MR^2}{4}$. గోళాకార కర్పరం స్పర్శరేఖా దృష్ట్యా జడత్వ భ్రామకం ఎంత? (hint : సమాంతర అక్ష సిద్ధాంతాన్ని ఉపయోగించండి.).

12. భ్రమణ వ్యాసార్ధాన్ని 10% పెంచితే, జడత్వ భ్రామకంలో వచ్చే పెరుగుదల శాతం ఎంత?

13. 0.3 kg m^2 జడత్వ భ్రామకం కలిగిన గతిపాల చక్రం నిమిషానికి 300 భ్రమణాలు చేస్తుంది. దానిపై ఎంత టార్క్ ప్రయోగిస్తే అది 20 సెకన్లలో ఆగిపోతుంది.

14. 0.63 kg m^2 జడత్వ భ్రామకం కలిగిన చక్రం కోణీయ వేగాన్ని 40 rpm నుంచి 80 rpmం కి పెంచాలంటే ఎంత పని చేయాలి?

15. $(7\bar{i}+3\bar{j}-3\bar{k})$ బలం $(\bar{i}+\bar{j}-\bar{k})$ స్థాన సదిశను కలిగిన బిందువు పనిచేస్తే, టార్క్‌ని గణించండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలకు జవాబులు

6.1

1. అవును, ఫ్రేమ్‌లో రెండు బిందువుల మధ్యదూరం మార్చలేము. కనుక దానిని దృఢ వస్తువుగా భావించవచ్చు.

2. భావించలేము. ఏదైనా అలజడి ఇసుక కణాల మధ్య దూరంను మార్చగలదు కనుక ఇసుక కుప్పను ధృఢ వస్తువుగా భావించలేము.

6.2

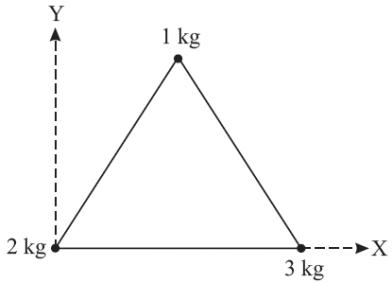
1. ఇచ్చిన ద్రవ్యరాశుల నిరూపకాలు A (–1, –1), B (–5, –1), C (6, 3), D (2, 6), E (–3, 0) వాటి ద్రవ్యరాశులు వరుసగా 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg, 5 kg

   వ్యవస్థ ద్రవ్యవేగం నిరూపకాలు

$$x=\frac{-1\times1-5\times2+6\times3+2\times4-3\times5}{1+2+3+4+5}=0$$

$$y=\frac{-1\times1-1\times2+1\times3+4\times6+0\times5}{1+2+3+4+5}=\frac{30}{15}=2.0$$

2. పటంలో చూపిన విధంగా మూడు కణాల వ్యవస్థను తీసుకుందాం. పటంలో చూపిన విధంగా మూల బిందువు వద్ద 2 kg ల ద్రవ్యరాశి కలిగిన అక్షాన్ని తీసుకుందా



$$x=\frac{2\times0+1\times0.5+3\times1}{1+2+3}=\frac{3.5}{6}m$$

$$y=\frac{2\times0+1\times\frac{\sqrt{3}}{2}+3\times0}{1+2+3}=\frac{\sqrt{3}}{12}m$$

   వ్యవస్థ ద్రవ్యరాశి కేంద్రం నిరూపకాలు $\left(\frac{3.5}{6},\frac{\sqrt{3}}{12}\right)$

3. రెండు కణాలు x–అక్షం వెంబడి ఉన్నాయనుకుందాం. వాటి నిరూపకాలను o, x అనుకుందాం. ద్రవ్యరాశి కేంద్రం నిరూపకాలు.

$$X=\frac{m_1\times0+m_2\times x}{m_1+m_2}=\frac{m_2x}{m_1+m_2},\ Y=0$$

   ద్రవ్యరాశి కేంద్రం నుండి m_1 దూరం X ద్రవ్యరాశి కేంద్రం నుండి m_2 దూరం

$$x-X=x-\frac{m_2x}{m_1+m_2}=\frac{m_1x}{m_1+m_2}$$

$$\therefore\frac{X}{x+X}=\frac{m_2}{m_1}$$

   ద్రవ్యరాశి కేంద్రం నుండి దూరాలు వాటి ద్రవ్యరాశులకు విలోమానుపాతంలో ఉన్నాయి.

4. ఉండదు

6.3

1. తలానికి లంబంగా ఏదేని ఒక మూల గుండా పోతూ చతురస్ర తలానికి లంబంగా ఉన్న అక్షం పరంగా వ్యవస్థ జడత్వభ్రామకం

$$= m\ r^2 + m\ (2\ r^2) + m\ r^2 = 4\ m\ r^2$$

భుజం వెంబడి ఉన్న అక్షం పరంగా జడత్వభ్రామకం $= m\ r^2 + m\ r^2 = 2\ m\ r^2$

నిరూపణ: QP అక్షం పరంగా జడత్వభ్రామకం QP $= m\ r^2 + m\ r^2 = 2\ m\ r^2$.

లంబాక్ష సిద్ధాంతం ప్రకారం, SP పరంగా జడత్వభ్రామకం $(2\ m\ r^2)$ QP పరంగా జడత్వభ్రామకం $(2\ m\ r^2)$, P గుండా పోతూ తలానికి లంబంగా గల అక్షం పరంగా జడత్వభ్రామకం $(4\ m\ r^2)$ ఇది నిజం కనుక ఫలితం నిరూపణ అయింది.

2. గోళానికి స్పర్శీయంగా ఉన్న అక్షం పరంగా ఘనగోళం జడత్వభ్రామకం

$$= \frac{2}{5}MR^2 + MR^2 = \frac{7}{5}MR^2$$ (సమాంతర అక్ష సిద్ధాంతప్రకారం) భ్రమణవ్యాసార్ధం K అయితే,

$M K^2 = \frac{7}{5}\ M R^2$ అపుడు భ్రమణ వ్యాసార్ధం $K = R\sqrt{\frac{7}{5}}$

3. $\omega = \frac{2\pi n}{t} = \frac{2\pi \times 1}{60 \times 60} = \frac{\pi}{1800}\ rad/\sec ond$

4. $|r|$ లో $\bar{\tau} = \bar{\mathbf{r}} \times \bar{\mathbf{F}}$ విలువను పెంచడానికి

5. (a) పిడిని / కుళాయిని తిప్పుట

   (b) సైకిల్ పెడల్స్‌పై రెండు కాళ్లతో బలాలను ప్రయోగించుట

   (c) రెండు చేతులతో కారు స్టీరింగ్ చక్రాన్ని తిప్పుట

6. నాణేన్ని టాస్ వేసేటప్పుడు, దాని చివరన బొటన వేలుతో బలాన్ని ప్రయోగిస్తాం.

7. kg m^2

6.4

1. కోణీయ ద్రవ్యవేగం

$$L = \left(m\frac{d^2}{4} + m\frac{d^2}{4}\right)\omega$$

$$L = \frac{md^2\omega}{2}$$

2. భ్రమణాక్షం (వ్యాసం) పరంగా కోణీయ ద్రవ్యవేగం

$$L = I\omega = m\frac{r^2}{4} \times \omega$$

వ్యాసం పరంగా జడత్వభ్రామకం $r = \frac{mr^2}{4}$

$$\therefore \text{ L} = 2.0\text{kg} \times \frac{(0.2)^2 \text{ m}^2}{4} \times 10 \text{ rad s}^{-1} = 0.2 \text{kg m}^2\text{s}^{-1}$$

3. కోణీయ ద్రవ్యవేగ నిత్యత్వం ప్రకారం

$$I_i\omega = (I_1 + I_2)\,\omega_1$$

ఇక్కడ I_1, చక్రం జడత్వభ్రామకం, I_2 ఇంకొక చక్రం జడత్వభ్రామకం, ω దాని తొలి కోణీయవేగం, ω_1 ఉమ్మడి తుది కోణీయవేగం.

$$mr^2\,\omega = \left(mr^2 + \frac{m}{2}r^2\right)\omega_1$$

$$\omega = \frac{3}{2}\omega_1 \Rightarrow \omega_1 = \frac{2}{3}\omega$$

4. ప్రస్తుతం భూమి యొక్క ఆవర్తనకాలం T అనుకొంటే, ఇంతకుముందు అది T_0. కోణీయద్రవ్యవేగం ప్రకారం

$$\frac{2}{5}M(25R)^2 \times \left(\frac{2\pi}{T_0}\right) = \frac{2}{5}MR^2 \times \left(\frac{2\pi}{T}\right)$$

$$= \frac{2}{5}MR^2 \times \left(\frac{2\pi}{T}\right)$$

అది, T_0 = 6.25 T గా వస్తుంది.

భూమి ఆవర్తనకాలం T_0, ప్రస్తుత ఆవర్తన కాలానికి (T) 6.25 రెట్లు ఉంటుంది.

6.5

1. ఘన గోళానికి జడత్వభ్రామకం $\left(I = \frac{2}{5}MR^2\right)$,

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = mgh$$

లేదా $\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2} \times \frac{2}{5}mr^2 . \frac{v^2}{r^2} = mgh$

$\therefore \omega = v/r$

$$v = \sqrt{\frac{10}{7}gh}$$

2. ఘన గోళానికి, $I = \frac{mR^2}{2}$

$\therefore$ మొత్తం గతిజశక్తి $\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}\frac{mR^2}{2}.\frac{v^2}{R^2} = \frac{3}{4}mv^2$

$\because \omega = v/r$

అప్పుడు స్థానాంతర గతిజశక్తి భాగం $= \frac{\frac{1}{2}mv^2}{\frac{3}{4}mv^2} = \frac{2}{3}$

1 వ ప్రశ్నకు చేసిన విధంగా చేసిన వస్తుంది $v = \sqrt{\frac{4}{3}gh}$

3. m = 2 kg r = 10 cm = 0.1 m $\theta = 30°$, s = 2 m

(a) & (b) $a = g \sin\theta$

$$= 10 \times \sin 30° = 10 \times \frac{1}{2} = 5\,\text{m/s}^2$$

$$a = r\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{a}{r} = \frac{5}{0.1} = 50\ \text{rad/s}^2$$

(c) $v^2 - u^2 = 2as$

$v^2 - 0 = 2 \times 5 \times 2 = 20$

$v = \sqrt{20}$ m/s, $\omega = v/r = \frac{\sqrt{2.0}}{0.1} = 10\sqrt{20}$ rad/s

KE = 1/2 mv^2 + 1/2 $I\omega^2$ (where I = 2/5 mr^2)

$$= 1/\cancel{2} \times \cancel{2} \times 20 + \frac{1}{2} \times \left(\frac{2}{5} \times 2 \times (0.1)^2\right) \times 100 \times 20$$

$$= 20 + \frac{1}{\cancel{2}}\left(\frac{\cancel{4}^{2}}{5} \times 0.01\right) \times 2000$$

$$= 20 + \frac{\cancel{40}^{8}}{5}$$

$\therefore$ KE = 28 J

ముగింపు అభ్యాసం లెక్కలకు జవాబు

1. కాదు. భూమి అన్ని కణాలను ఆకర్షిస్తుంది. కాని ఫలిత భారం Mg గురుత్వ కేంద్రం వద్ద పనిచేస్తుంది.

2. ఉండవచ్చు (1) లోహ రింగు (2) బోలు గోళం

3. $m_c = 12$; $m_{O_2} = 16$

$x_1 = 0$ $x_2 = 1.13 \times 10^{-10}$

$$x_{cm} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2} = \frac{16 \times 1.13 \times 10^{-10}}{28} = 0.64 \times 10^{-10} m$$

4. m = 5kg, d = 0.2 m ω = 100 rad s^{-1}

$I = mr^2 = 5 \times (0.1)^2 = 5 \times 10^{-2}$ Kg m^2

$KE = 1/2 \times 5 \times 10^{-2} \times 100 \times 100 = 250J$

$KE = mgh \Rightarrow 250 = 5 \times 10 \times h \Rightarrow h = 5m$

5. $r = 1/2m$ $\omega_0 = 2 \text{rev s}^{-1}$ $\alpha = 3 \text{rev s}^{-2}$

(a) $\omega = \omega_0 + \alpha t$

$= 2 + 3 \times 2 = 8 \text{rev/s} = 8 \times 2\pi \text{ rad/s}$

$\omega = 16\pi \text{ rads}^{-1}$

(b) $\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 = 2 \times 2 + \frac{1}{2} \times 3 \times 4 = 10$ భ్రమణాలు

$\theta = 20\pi \text{ rad}$

(c) $v = r\omega = \frac{1}{2} \times 16 \times \frac{22}{7} = 22 m/s$

(d) $a = \omega^2 r = (16\pi)^2 \times \frac{1}{2} = 1280 m/s^2$

6. $\omega = 20 rads^{-1}$ $\omega = 0$ $t = 4s$ $I = 0.2kgm$

$$\Delta E = \frac{1}{2} I \left(\omega^2 - \omega_0^2\right) = \frac{1}{2} \times 0.2 \times 400 = 40J$$

7. (a) $I_1 = 5 \times 10^{-2} kg\, m^2$ $\omega_1 = \frac{600 \times \pi}{60} = 20\pi \, rads^{-1}$

$I_2 = 0.2 kg\, m^2 \qquad \omega_{comm} = ?$

$I_1 \omega_1 = (I_1 + I_2)\omega_{comn} \Rightarrow \omega_{comn} = 4\pi\, rads^{-1}$

(b) $E_i = \frac{1}{2} I_1 \omega_1^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-2} \times 400 \times \pi^2 = 100$

$E_f = \frac{1}{2}(I_1 + I_2)\omega_{cm}^2 = \frac{1}{2}(0.25) \times 16\, \pi^2$

$= 0.125 \times 160 = 20$

$E_f = \frac{E_i}{5}$

(c) $\alpha = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\theta} \qquad \tau = I_1 \alpha = 49\pi J$

8. వాటిని వాలు తలంపై ఉంచితే ఘన గోళం వేగంగా కిందికి వస్తుందిజ

9. I = 1000 kg m^2 ω = 10 rad/s ω_2 = 100 rad/s

θ = 100 radian

$\omega_2^2 - \omega_1^2 = 2\alpha\theta \Rightarrow (100)^2 - (10)^2 = 2\alpha(100)$

$10000 - 100 = 200\alpha$

$\alpha = \frac{9900}{200} = 49.5\ rad/s^2$

$\tau = I\alpha = 1000 \times 49.5 = 49500\, Nm$

$\Delta KE = \frac{1}{2} I(\omega_2^2 - \omega_1^2) = \frac{1}{2} \times 10^3 \times (9900)$

49.5×10^5J

10. $r = 0.1m \quad m = 1kg \quad \omega_0 = 0 \quad \theta_1 = 2.5$

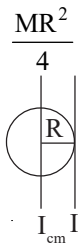
$\theta_1 = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 = 0 + \frac{1}{2}\alpha(1)^2 = 2.5$

$\alpha = 5; \quad \theta_1 = \frac{5}{2}\, rad$

$\theta_2 = \omega_0 + \frac{1}{2}\alpha(2)^2 = 0 + \frac{1}{2} \times 5 \times 4 = 10\, rad$

తరువాతి సెకన్లో $\theta = \theta_2 - \theta_1 = 10 - \frac{5}{2} = 7.5$ rad

$\tau = I\alpha = (mr^2)\alpha = 1 \times (0.1)^2 \times 5 \quad \tau = 5 \times 10^{-2} J$

11. 

$$I = I_{cm} + MR^2 = \frac{MR^2}{4} + MR^2 = \frac{5}{4}MR^2$$

12. $I = MK^2 \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{K_1^2}{K_2^2} \quad \frac{100}{100+x} = \frac{(100)^2}{(110)^2} = \frac{100\cancel{00}}{121\cancel{00}}$

$$\frac{100}{100+x} = \frac{100}{121} \Rightarrow x = 21\%$$

13. $I = 0.3\,kg\,m^2 \quad \omega_0 = \frac{300 \times 2\pi}{60} = 10\pi \quad \omega = 0$

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{\tau} = \frac{10\pi}{20} = \frac{-\pi}{10}\ rad/s^2$$

$$\tau = I\alpha = 0.3 \times \frac{\pi}{10} = 3\pi \times 10^{-2}\,Nm$$

14. $I = 0.63\,Kgm^2 \quad \omega_1 = \frac{\overset{2}{\cancel{40}} \times 2\pi}{\underset{3}{\cancel{60}}} = \frac{4\pi}{3}\ rad/s$

$$\omega_2 = \frac{\overset{4}{\cancel{80}} \times 2\pi}{\underset{3}{\cancel{60}}} = \frac{8\pi}{3}\ rad/s$$

$$W = \frac{1}{2}I\left(\omega_2^2 - \omega_1^2\right) = \frac{1}{2} \times 0.63\left(\frac{64\pi^2}{9} - \frac{16\pi^2}{6}\right)$$

$$= \frac{0.63}{2} \times \frac{10}{9}(48) = 16.8J$$

15. $\bar{\mathbf{F}} = 7\bar{\mathbf{i}} + 3\bar{\mathbf{j}} - 3\bar{\mathbf{k}} \quad \bar{\mathbf{r}} = \bar{\mathbf{i}} + \bar{\mathbf{j}} - \bar{\mathbf{k}}$

$$\bar{\tau} = \bar{r} \times \bar{F} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 1 & 1 & -1 \\ 7 & 3 & -3 \end{vmatrix}$$

$$= \hat{\mathbf{i}}(-3+3) - \hat{\mathbf{j}}(-3+7) + \hat{\mathbf{k}}(3-7)$$

$$\bar{\boldsymbol{\tau}} = -4\hat{\mathbf{j}} - 4\hat{\mathbf{k}}$$

7

సరళ హరాత్మక చలనము

పరిచయం

నిత్య జీవితంలో వస్తువులకు అనేక రకాల చలనాలను పరిశీలిస్తుంటాము. వానిలో రేఖీయ చలనం, ప్రక్షేపక (పరావలయ పథం) చలనం, భ్రమణ (వృత్తాకార మార్గం) చలనముతో పాటు కొన్ని చలనాలను కూడా గమనిస్తుంటాము. ఈ చలనాలు వస్తువు అనుసరించే మార్గం పై ఆధారపడి నిర్వచించబడతాయి. కొన్ని వస్తువులు నిర్దిష్ట సమయం తర్వాత పునరావృతమయ్యే చలనాన్ని కలిగి ఉంటాయి. ఉదాహరణకు, సూర్యుని చుట్టూ గ్రహాల చలనము, గడియారం ముళ్ళ (చేతి) చలనము, స్ప్రింగ్ చలనము మరియు గోడ గడియారంలోని లోలకం చలనాలు నిర్దిష్ట సమయము తరువాత పునరావృతమవుతాయి. అటువంటి చలనాలను ఆవర్తన చలనాలు అంటారు.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠాన్ని చదివిన తర్వాత, మీరు ఈ క్రింది విషయాలను తెలుసుకోగల్గుతారు.

- ఆవర్తన చలనం మరియు కంపన చలనములను నిర్వచించుట.
- కంపన చలనము, ఆవర్తనాన్ని చూపించు కానీ ఆవర్తన చలనం తప్పనిసరిగా కంపన చలనము కాకపోవచ్చు.
- సరళ హరాత్మక చలన నిర్వచనం మరియు ఏకరీతి వృత్తాకార చలనములో ఉన్న కణం యొక్క విక్షేపము వృత్త వ్యాసంపై సరళ హరాత్మక చలనము కలి వుంటుందని చూపుట.
- సరళ హరాత్మక చలనము అనుబంధముగా ఉన్న ప్రాథమిక పదాలను నిర్వచించుట.
- సరళ హరాత్మక చలనము యొక్క అవర్తనా కాల సమీకరణాన్ని పొందట.
- సరళ హరాత్మక డోలక స్థితిశక్తి మరియు గతిశక్తుల సమీకరణాన్ని పొందట.
- స్వేచ్ఛా మరియు అవరుద్ధ డోలనాల మధ్య తేడాను గుర్తించుట.
- అనునాద దృగ్విషయాన్ని వివరించుట.

7.1 ఆవర్తన చలనం

సమాన కాల వ్యవధిలో పునరావృతమయ్యే చలనాన్ని ఆవర్తన చలనం అంటారు. చలనం పునరావృతమయ్యే అతి చిన్న వ్యవధిని ఆవర్తనా కాలము అంటారు. దీనిని T తో సూచిస్తాము మరియు ఆవర్తనా కాలాన్ని, S.I. పద్ధతిలో సెకను ప్రమాణాలలో కొలుస్తాము. కొన్ని ఆవర్తన చలనాలు చాలా వేగంగా ఉంటాయి

మరియు మరికొన్ని చాలా నెమ్మదిగా ఉంటాయి. అందువల్ల, ఆవర్తనా కాలానికి మరికొన్ని అనుకూలమైన ప్రమాణాలను కూడా ఉపయోగిస్తాము. ఉదాహరణకు : క్వార్ట్జ్ స్ఫటికం యొక్క కంపనాల (డోలనాలు) కాలం 10^{-6} సెకన్లు గా ఉంటుంది కావున ఇది మైక్రో సెకన్లలో వ్యక్తీకరించబడుతుంది. అదేవిధంగా భూమి యొక్క కక్ష్య ఆవర్తన కాలం 365 రోజులు కావున దీనిని రోజులలో వ్యక్తీకరిస్తాము.

ఆవర్తన చలనంలో, ఊయల చలనము మరియు గోడ గడియారం లోలక చలనాలు, సూర్యుని చుట్టూ గ్రహాల చలనము మరియు గడియారం ముళ్ళ చలనాలకు భిన్నంగా ఉంటాయి. అనగా ఆవర్తన చలనంలోని కొన్ని వస్తువులు దాని విరామ స్థానముకు అటూ ఇటుగా (లేదా ముందుకు వెనుకకు) కదులుతున్నాయి, మరికొన్ని వస్తువులు ఒక స్థిర బిందువు లేదా ఒక అక్షం చుట్టూ కదులుతున్నాయి. అందువల్ల ఆవర్తన చలనంలో రెండు రకాలు ఉన్నాయి. అవి : (i) డోలన చలనము మరియు (ii) భ్రమణ చలనము. వస్తువులు వాని విరామ స్థానముకు అటూ ఇటుగా (లేదా ముందుకు వెనుకకు) కలిగి ఉండే ఆవర్తన చలనాన్ని డోలన చలనము లేదా హరాత్మక చలనముగా నిర్వచిస్తాము. అయితే స్థిర బిందువు లేదా అక్షం చుట్టూ చలనాన్ని కలిగి ఉన్న వస్తువుల యొక్క ఆవర్తన చలనాన్ని భ్రమణ చలనముగా నిర్వచిస్తాము.

Jean Baptiste Joseph Fourier (1768 – 1830)

French Mathematician, best known for his Fourier series to analyse a complex oscillation in the form of series of sine and consine functions.

Fourier studied the mathematical theory of heat conduction. He established the partial differential equation governing heat diffusion and solved it by using infinite series of trigonometric functions.

Born as the ninth child from the second wife of a taylor, he was orphened at the age of 10. From the training as a priest, to a teacher, a revolutionary, a mathematician and an advisor to Nepolean Bonapart, his life had many shades.

He was a contemporary of Laplace, Lagrange, Biot, Poission, Malus, Delambre, Arago and Carnot. Lunar crator Fourier and his name on Eiffel tower are tributes to his contributions.

7.2 డోలన చలనం

ఒక వస్తువు యొక్క ఆవర్తన చలనం దాని విరామ స్థానము లేదా మాధ్యమిక స్థానానికి అటు ఇటుగా లేదా ముందుకు వెనుకకు ఉంటుంది. ఈ చలనాన్ని డోలన చలనము లేదా హరాత్మక చలనము అని నిర్వచించారు. డోలన చలనము అనేది ఒక ఆవర్తన చలనము అని గమనించడం ముఖ్యం కానీ ప్రతి ఆవర్తన చలనం ఒక డోలన చలనము కానవసరం లేదు. డోలన చలనము యొక్క కొన్ని ఉదాహరణలు:

1. ఊయలలో ఉన్న పిల్లవాడిని నెట్టినప్పుడు, ఊయల దాని మాధ్యమిక (విరామ) స్థానం నుండి అటూ ఇటూ కదులుతూ డోలన చలనాన్ని చేస్తుంది.
2. గోడ గడియారములోని లోలకం దాని మాధ్యమిక (విరామ) స్థానం నుండి అటూ ఇటూ కదులుతూ డోలన చలనాన్ని ప్రదర్శిస్తుంది.

3. గిటార్ తీగను మీటినప్పుడు, తీగ దాని మాధ్యమిక (విరామ) స్థానం నుండి అటూ ఇటూ కదులుతూ డోలన చలనాన్ని చేస్తుంది.

4. లఘు లోలకం యొక్క గోళము మాధ్యమిక (విరామ) స్థానం నుండి అటూ ఇటూ కదులుతూ డోలన చలనాన్ని చేస్తుంది.

5. ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహము AC లో విద్యుత్ శక్మము (వోల్టేజ్) లేదా విద్యుత్ ప్రవాహము (కరెంట్) ఏకాంతరముగా సగటు విలువ (సున్నా) కు ధన, ఋణ విలువలకు మారుతూ డోలన చలనాన్ని కలిగి ఉంటుంది.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 7.1

1. ఆవర్తన చలనం మరియు డోలన చలనాల మధ్య తేడా ఏమిటి?

2. కింది ఉదాహరణలలో ఏది ఆవర్తన చలనాన్ని సూచిస్తుంది?

   (i) తుపాకీ నుండి పేల్చిన బుల్లెట్,

   (ii) పరమాణువులోని కేంద్రకం చుట్టూ తిరిగే ఎలక్ట్రాన్,

   (iii) రహదారిపై ఏకరీతి వేగంతో కదులుతున్న వాహనం,

   (iv) సూర్యుని చుట్టూ కదులుతున్న తోకచుక్క, మరియు

   (v) U-ట్యూబ్‌లో డోలనం చేసే పాదరసం స్తంభము చలనం.

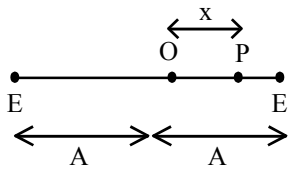
3. (i) డోలన అవర్తనా చలనం మరియు (ii) భ్రమణ అవర్తనా చలనానికి ఉదాహరణలు ఇవ్వండి.

7.3 సరళ హరాత్మక చలనము

హరాత్మక డోలకము (డోలనం చేసే కణం) యొక్క డోలనాలను, కోణం యొక్క సైన్ లేదా/ మరియు కొసైన్ ను కలిగి ఉన్న పదాల ద్వారా సూచించవచ్చు. అప్పుడు దాని సగటు స్థానం నుండి డోలనం చేసే కణం యొక్క స్థానభ్రంశమును (y) ఒక సమీకరణం ద్వారా క్రింది విధంగా సూచించవచ్చును.

$$y = a \sin\theta \text{ (or) } y = a \cos\theta \text{ (or) } y = A \sin\theta + B \cos\theta \qquad (7.1)$$

ఇక్కడ a, A మరియు B లు స్థిరాంకాలు.



పటము 7.1 : మూల బిందువు 'O' కు అటు ఇటుగా X-అక్షము వెంట డోలన చలనము చేయు కణము.

పటము 7.1లో చూపిన విధంగా F అను బలము వలన X-అక్షముపై (E – O – E) (ఇక్కడ చర్చ సరళ డోలనాలకు పరిమితం చేయబడింది) మూల బిందువు 'O' కు అటు ఇటు గా డోలన చలనాన్ని చేయుచున్న m ద్రవ్యరాశి గల ఒక కణాన్ని పరిశీలిద్దాము. ఏదేనా సమయము t వద్ద డోలనాలు చేయు కణం యొక్క స్థానభ్రంశం x అనుకుందాము. అప్పుడు మూల బిందువు 'O' నుండి కణం యొక్క స్థానభ్రంశం x, దానిపై పనిచేస్తున్న

బలము F కు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది మరియు స్థానభ్రంశం యొక్క దిశ,బలము యొక్క దిశకు వ్యతిరేకంగా ఉంటుంది. కావున దీనిని క్రింది గణిత సమీకరణముగా వ్యక్తీకరించవచ్చు,

$$F \alpha - x$$

$$F = -kx \qquad (7.2)$$

ఇక్కడ 'k' అనేది ఒక స్థిరాంకం. దీన్నే బల స్థిరాంకం అంటారు మరియు ఋణ గుర్తు, బలము మరియు స్థానభ్రంశం దిశలో వ్యతిరేకం అని సూచిస్తుంది. డోలనం చేసే కణాలపై పనిచేసే బలానికి న్యూటన్ యొక్క రెండవ గమన నియమాన్ని వర్తింపజేసినప్పుడు,

$$F = m\,a \qquad (7.3)$$

సమీకరణము (7.2) మరియు (7.3) ల నుండి,

$$m\,a = -kx \text{ (లేదా)}$$

$$a = -\left(\frac{k}{m}\right)x \qquad (7.4)$$

$$a \alpha - x \qquad (7.5)$$

ఇక్కడ $\left(\frac{k}{m}\right) = \omega^2$ మరియు ఇది ఒక స్థిరాంకం

సమీకరణము (7.5), నుండి డోలన చలనము చేసే కణం యొక్క త్వరణం పరిమాణములో దాని మాధ్యమిక లేదా విరామ స్థానం నుండి స్థానభ్రంశానికి అనులోమానుపాతంలో మరియు దిశలో మాధ్యమిక స్థానం వైపు ఉంటుంది. ఇక్కడ స్థానభ్రంశం మాధ్యమిక లేదా విరామ స్థానం నుండి కొలవబడుతుంది. డోలక కణముపై పనిచేయు బలము, డోలకాన్ని దాని విరామ స్థితికి తీసుకురావడానికి పనిచేస్తుంది అనగా ఈ బలము విరామ స్థానం దిశలో పనిచేస్తుంది. ఇది డోలన చలనము యొక్క సాధారణ సందర్భం మరియు దీన్నే సరళ హరాత్మక చలనము (SHM) అంటారు.

డోలక కణం యొక్క త్వరణం, పరిమాణములో విరామస్థానం నుండి దాని స్థానభ్రంశంకు అనులోమానుపాతంలో మరియు దిశ విరామ స్థానం వైపు ఉన్నప్పుడు, ఆ కణం చలనాన్ని సరళ హరాత్మక చలనము అంటారు.

పై సమీకరణము (7.4) లో డోలన కణ త్వరణాన్ని దాని స్థానభ్రంశం యొక్క రెండవ అవకలనాన్ని ప్రతిక్షేపించడం వలన క్రింది సమీకరణాన్ని పొందుతాము.

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\left(\frac{k}{m}\right)x$$

$$\frac{d^2x}{dt^2}+\left(\frac{k}{m}\right)x=0$$

$$\frac{d^2x}{dt^2}+\omega^2x=0 \qquad (7.6)$$

ఇక్కడ $\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}$ మరియు దీనిని కోణీయ పౌనఃపుణ్యము అంటారు.

పై సమీకరణము (7.6) సరళ హరాత్మక చలన అవకలన సమీకరణం.

కృత్యం 7.1

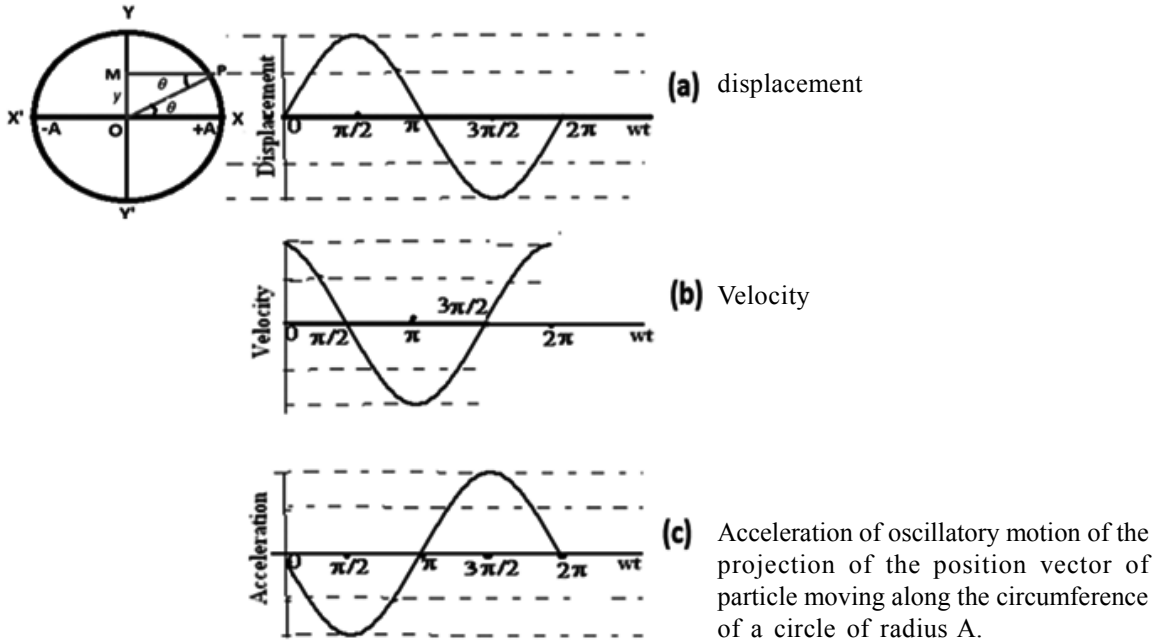
సరళ హరాత్మక చలనము చేయు ఒక కణం యొక్క స్థానభ్రంశం y, క్రింది సమీకరణం ద్వారా సూచించబడుతుందని అనుకుందాం.

$y = A\sin\theta$ (or) $y = A\cos\theta$

గణిత పట్టికల నుండి, కోణము $\theta = 0^o, 30^o, 60^o, 90^o, 120^o, 150^o, 180^o, 210^o, 240^o, 270^o, 300^o, 330^o$ మరియు 360° ల $\sin\theta$ మరియు $\cos\theta$ విలువలను పొందండి. అప్పుడు $A = 2.5$ cm అని ఊహిస్తూ, $y = A\sin\theta$ అనే సంబంధాన్ని ఉపయోగించి ప్రతి కోణానికి సంబంధించిన y విలువలను నిర్ణయించండి. తగిన స్కేల్‌ని ఎంచుకుని, y మరియు θ మధ్యగ్రాఫ్‌ను గీయండి. అదేవిధంగా, $y = A\cos\theta$ అనే సంబంధాన్ని ఉపయోగించి, y మరియు θ మధ్య మరొక గ్రాఫ్‌ను గీయండి. ఈ రెండు గ్రాఫ్‌లు కూడా +A మరియు –A మధ్య డోలనాన్ని సూచిస్తాయని మీరు గమనించవచ్చు. దీని ద్వారా డోలన చలనాన్ని కోణం యొక్క సైన్ లేదా కొసైన్ కలిగి ఉన్న సమీకరణము ద్వారా లేదా వాని ఆద్యారోపనము ద్వారా సూచించబడుతుందని గమనించగలరు.

7.4 సరళ హరాత్మక చలనాన్ని గ్రాఫ్ ద్వార తెలియజేయడం (వృత్త సూచికగా)

ఒక కణము, A వ్యాసార్థం గల వృత్త పరిధిపై స్థిరమైన వేగం v తో చలనములో ఉన్నది అనుకుందాము. ప్రారంభ సమయములో అనగా $t = 0$ వద్ద కణం యొక్క స్థానం x–అక్షంపై ఉండి సమయం t వద్ద కణం P బిందువును చేరినది అనుకుందాము. సమయం t వద్ద సదిశ OP కదిలే కణం యొక్క స్థానాన్ని నిర్దేశించె స్థాన సదిశ అవుతుంది. కణం వృత్తం పరిధిపై చలనములో ఉన్నప్పుడు,స్థాన సదిశ OP యొక్క విక్షేపము (పాదం) OM, వ్యాసం YY' పై డోలనం చేస్తుంది. అప్పుడు స్థాన సదిశ విక్షేపము సరళ హరాత్మక చలనాన్ని ప్రదర్శిస్తుంది. పై పటము 7.2(%ఖ%) నుండిత్రిభుజం OMP లో,



పటము 7.2 : A వ్యాసార్థం గల వృత్త పరిధి పై చలనములో ఉన్న కణము యొక్క స్థాన సదిశ విక్షేపము వ్యాసము పై చేయు డోలన చలన (a) స్థానభ్రంశం, (b) వేగం, (c) త్వరణం.

$$\sin\theta = \frac{OM}{OP}$$

$$OM = OP \sin\theta \qquad (7.7)$$

ఇక్కడ వృత్త వ్యాసార్థం OP = A, స్థాన సదిశ OM = y మరియు θ కోణీయ స్థాన భ్రంశము లేదా కణ స్థాన సదిశ మరియు x-అక్షము మధ్య కోణము. కణ కోణీయ వేగాన్ని క్రింది విధముగా వ్యక్తీకరించ వచ్చును

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

$$\theta = \omega t$$

OP, OM మరియు θ లను సమీకరణం (7.7) లో ప్రతిక్షేపించగా,

$$y(t) = A \sin \omega t \qquad (7.8)$$

సమయం t = 0 వద్ద, కణ స్థాన సదిశ యాదృచ్ఛికంగా ఉన్నట్లయితే (x – అక్షం పై కాకుండా), పై సమీకరణము (7.8) ను క్రింది విధముగా వ్రాయ వచ్చును.

$$y(t) = A \sin(\omega t + \phi) \qquad (7.9)$$

ఇక్కడ ϕ తోలి దశా కోణం లేదా తోలి దశ. ఇది t = 0, అనగా ప్రారంభ సమయము వద్ద స్థాన సదిశ $\overrightarrow{OP}$, x- అక్షము తో చేయు కోణం.

స్థాన సదిశ OP విక్షేపము స్థానభ్రంశం (y) మరియు సమయము 't' మధ్య గీసిన గ్రాఫ్ పటము 7.2 (a)లో చూపిన విధంగాసైన్ వక్రరేఖగా వచ్చును.

సరళ హరాత్మక డోలక వేగం:

తక్షణ సమయము t వద్ద సరళ హరాత్మక డోలకవేగాన్ని (v) దాని స్థానభ్రంశమును అవకలనము చేయడం ద్వారా పొందవచ్చు,

$$v(t) = \frac{dy}{dt} = \frac{d}{dt} A \sin(\omega t + \phi)$$

$$v(t) = A\ \omega \cos(\omega t + \phi) \qquad (7.10)$$

సరళ హరాత్మక డోలక(స్థానం సదిశ యొక్క విక్షేపము) వేగం (v) మరియు సమయము 't' మధ్య గీసిన గ్రాఫ్ పటము 7.2 ((b))లో చూపిన విధంగా కోసైన్ వక్ర రేఖగా వచ్చును.

సరళ హరాత్మక డోలక త్వరణం:

తక్షణ సమయము t వద్ద సరళ హరాత్మక డోలక త్వరణాన్ని (a) దాని వేగాన్ని అవకలనము చేయడం ద్వారా పొందవచ్చు,

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} A\ \omega \cos(\omega t + \phi)$$

$$a(t) = -A\ \omega^2 \sin(\omega t + \phi) \qquad (7.11)$$

సరళ హరాత్మక డోలక (స్థానం సదిశ యొక్క విక్షేపము) త్వరణం (a) మరియు సమయము 't' మధ్య గీసిన గ్రాఫ్ పటము 7.2 (c) లో చూపిన విధంగా సైన్ వక్ర రేఖగా వచ్చును. సమీకరణం (7.9) నుండి స్థానభ్రంశమును సమీకరణము (7.11) లో ప్రతిక్షేపించగా

$$a = -\omega^2 y \qquad (7.12)$$

$a\ \alpha - y$, ఇక్కడ ω^2 ఒక స్థిరాంకం

పై సమీకరణము (7.12) నుండి, వృత్తంపరిధి పై చలనములో ఉన్న కణం యొక్క స్థానం సదిశ విక్షేపము త్వరణం(a), దాని స్థానభ్రంశం (y) కి అనులోమానుపాతంలో ఉండి, దిశలో వ్యతిరేకం అని స్పష్టంగా తెలుస్తుంది. ఇది సరళ హరాత్మక చలనము నిర్వచనము. అందువల్ల వృత్త పరిధిపై చలనములో ఉన్న కణ స్థాన సదిశ విక్షేపము, ఆ వృత్త వ్యాసంపై సరళ హరాత్మక చలనాన్ని కలిగి ఉంటుంది.

7.5 సరళ హరాత్మక చలనము - ప్రాథమిక పదాలు

స్థానభ్రంశం : సరళ హరాత్మక చలనము చేయు కణం ఏదేని సమయము వద్ద దాని మాధ్యమిక స్థానము నుండి కదిలిన దూరాన్ని ఆ సమయము వద్ద సరళ హరాత్మక డోలక స్థానభ్రంశంగా నిర్వచిస్తారు. సరళ హరాత్మక డోలక స్థానభ్రంశంను క్రింది విధముగా వ్యక్తపరుచగలము.

$$y(t) = A \sin\theta \qquad \text{(or)} \qquad y(t) = A \cos\theta$$

ఇక్కడ θ ను దశా కోణము అంటారు. $\theta = \omega t$, w కోణీయవేగము.

అందువల్ల, సరళ హరాత్మక డోలక స్థానభ్రంశమును క్రింది విధముగా వ్రాయవచ్చు,

$$y(t) = A \sin \omega t \quad \text{(or)} \quad y(t) = A \cos \omega t \qquad (7.13)$$

పై సమీకరణము (7.13) నుండి, స్థానభ్రంశం అనేది **wt** యొక్క ప్రమేయము అని స్పష్టంగా తెలుస్తుంది. మరియు దీనిని **2π** రేడియన్‌ల గుణకముతో హెచ్చించినప్పుడు, సరళ హరాత్మక డోలక స్థానభ్రంశమును పునరావృతము అవుతుందని కూడా గమనించవచ్చు.

కంపన పరిమితి : సరళ హరాత్మక చలనము చేయు కణం దాని మాధ్యమిక స్థానము నుండి పొందిన గరిష్ట స్థాన భ్రంశాన్ని ఆ సరళ హరాత్మక డోలక కంపన పరిమితిగా నిర్వచిస్తారు. దీనిని **A** (లేదా) **a** ద్వారా సూచిస్తాము. S.I. ప్రమాణాలలో దీనిని మీటర్ మరియు CGS ప్రమాణాలలో సెంటీ మీటర్‌లలో కొలుస్తారు.

సరళ హరాత్మక చలన సమీకరణము (7.13) **A** కంపన పరిమితిని సూచిస్తుంది.

ఆవర్తన కాలము (T) : సమయ వ్యవధి (T) : డోలకము దాని స్థానభ్రంశమును పునరావృతం చేయడానికి ప్రయాణించే కనీస పథాన్ని (మార్గాన్ని) ఒక డోలనం అంటారు. డోలకము ఒక డోలనాన్ని పూర్తి చేయడానికి పట్టే సమయాన్ని ఆ డోలక అవర్తనా కాలముగా నిర్వచిస్తాము. దీనిని **T** చేత సూచిస్తాము. దీనిని సెకన్లలో కొలుస్తారు.

పై చర్చ నుండి దశాకోణము (ωT) ను **2π** రేడియన్‌లతో హెచ్చించినప్పుడు డోలక స్థానభ్రంశం పునరావృతమవుతుంది. డోలక స్థానభ్రంశము పునరావృతం కావడానికి అవసరమైన సమయాన్ని ఆవర్తన కాలము (**T**) అంటారు. కావున,మనం ఇలా వ్రాయవచ్చు,

$$\omega T = 2\pi$$

$$\text{ఆవర్తన కాలము } (T) = \frac{2\pi}{\omega} \qquad (7.14)$$

ఇక్కడ ω డోలకము యొక్క కోణీయ వేగం మరియు దీనిని కోణీయ పౌనః పుణ్యము అని కూడా అంటారు. కోణీయ పౌనఃపున్యమును S.I. ప్రమాణాలలో (రెడియన్)/(సెకన్లు) లలో కొలుస్తారు.

కోణీయ పౌనఃపున్యం (ω) : సరళ హరాత్మక చలనములో ఉన్న కణము యొక్క దశ కోణ మార్పు రేటును వివరించు రాశిని కోణీయ పౌనఃపున్యం (ω) అంటారు. ఒక పూర్తి డోలనంలో దశ కోణం 0 నుండి **2π** రేడియన్‌లకు మారుతుంది. కావున దశ కోణ మార్పు రేటును (లేదా) కోణీయ పౌనఃపున్యమును క్రింది విధంగా వ్యక్తీకరించవచ్చు,

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad (7.15)$$

కోణీయ పౌనఃపున్యాన్ని (రెడియన్)/(సెకను) ప్రమాణాలలో కొలుస్తాము.

పౌనఃపున్యము : ఒక సెకనులో డోలకము పూర్తి చేసిన డోలనాల సంఖ్యను ఆ డోలక పౌనఃపున్యముగా నిర్వచిస్తాము. ఇది **f** (లేదా) **v** (లేదా) **n** ద్వారా సూచించబడుతుంది. సంఖ్యాత్మకంగా పౌనఃపున్యాన్ని డోలక ఆవర్తన కాలము వ్యుత్క్రమముగా కూడా నిర్వచించవచ్చు.

$$f = \frac{1}{T} \qquad (7.16)$$

పౌనఃపున్యము 1/(సెకను) (లేదా) హెర్ట్జ్ ప్రమాణాలలో కొలుస్తారు.

పై సమీకరణాల నుండి మనం క్రింది సంబందాన్ని తెలుసుకోవచ్చు,

$$\text{కోణీయపౌనఃపున్యము, } \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$\left(\text{ఎందుకనగా, } \frac{1}{T} = f, \text{ ఇక్కడ f డోలక సహజ పౌనఃపున్యము}\right)$$

$$\omega = 2\pi f \qquad (7.17)$$

పై సమీకరణం నుండి డోలక కోణీయ పౌనఃపున్యం దాని సహజ పౌనఃపున్యానికి 2π గుణకము హెచ్చుగా ఉంటుందని అని అర్థం చేసుకోవచ్చు.

డోలక దశ లేదా దశా కోణం : దశ అనేది ఒక కోణం మరియు దీని యొక్క సైన్ లేదా కొసైన్ విలువ , ఏదేని ఒక నిర్దిష్ట సమయము వద్ద డోలక స్థానం మరియు దిశను సూచిస్తుంది. దీనిని రేడియన్ ప్రమాణాలలో కొలుస్తారు.

హరాత్మక డోలక స్థానభ్రంశం సమీకరణం నుండి,

$$y(t) = A \sin \omega t$$

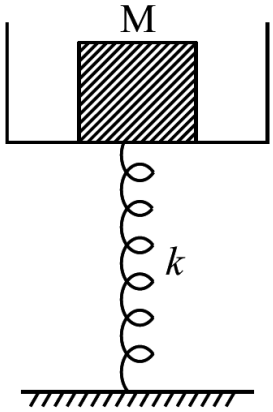
డోలక కోణీయ స్థానభ్రంశం ప్రారంభ సమయంలో ($t = 0$ వద్ద) శూన్యము కాకపోతే అనగా డోలక స్థాన సదిశ నిరూపక అక్షంతో ఏకీభవించకపోతే, తోలి దశ (ϕ) లేదా తోలి దశా కోణాన్ని పరిగణిస్తాము. డోలక స్థానం సదిశ మరియు నిరూపక అక్షం మధ్య కోణంతోలి దశగా (ϕ) పరిగణించబడుతుంది. అప్పుడు డోలక స్థానభ్రంశం సమీకరణం క్రింది విధంగా సవరించబడుతుంది.

$$y(t) = A \sin(\omega t + \phi)$$

పై సమీకరణంలో, $(\omega t + \phi)$ అనేది డోలక దశ మరియు ఈ దశ కోణం యొక్క సైన్ లేదా కొసైన్ విలువ, సమయము 't' వద్ద డోలక స్థానం మరియు దిశను వివరిస్తుంది.

ఉదాహరణ 7.1

పటము 7.3లో చూపిన విధంగా 9 కిలోల ద్రవ్యరాశి కలిగిన పెట్టె, k బల స్థిరాంకం గల ఒక స్ప్రింగ్‌కు ఆధారమును ఏర్పరిచినది. పెట్టెను కొద్దిగా క్రిందకి నొక్కిన విడుదల చేయబడినది. అప్పుడు ఇది 1.0 సెకనుల కాల వ్యవధితో సరళ హరాత్మక చలనము చేయడం ప్రారంభిస్తుంది. M ద్రవ్యరాశి గల దిమ్మేను పెట్టెలో ఉంచినప్పుడు, కాల వ్యవధి 2.0 సెకనులకు పెరుగుతుంది. దిమ్మే ద్రవ్యరాశిని లెక్కించండి.



పటము 7.3 :

సాధన : డోలక వ్యవస్థ కోణీయ పౌనఃపున్యం $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, ద్వారా ఇవ్వబడుతుంది, ఇక్కడ m అనేది డోలక వ్యవస్థ యొక్క ద్రవ్యరాశి. కాని $\omega = \frac{2\pi}{T}$, అని మనకు తెలుసు. అప్పుడు పై సమీకరణముల నుండి,

$$\frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{k}{m}$$

$$m = \frac{kT^2}{4\pi^2}$$

పెట్టె ఖాళీగా ఉన్నప్పుడు, m = 9 kg మరియు T = 1 s. కావున,

$$9 = \frac{k(1)^2}{4\pi^2}$$

పెట్టెలో దిమ్మేను ఉంచినప్పుడు, m = 9 + M మరియు T = 2s. అందువలన,

$$9 + M = \frac{k(2)^2}{4\pi^2}$$

పై రెండు సమీకరణములను సాధించగా

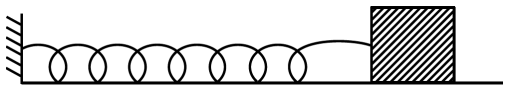
$$\frac{9 + M}{9} = 4$$

దిమ్మె ద్రవ్య రాశి, M = 27 kg

ఉదాహరణ 7.2

పటము 7.4లో చూపిన విధంగా 1600 N m^{-1} బల స్థిరాంకం గల ఒక స్ప్రింగ్ క్షితిజ సమాంతర బల్లపై అమర్చబడింది. స్ప్రింగ్ యొక్క స్వేచ్ఛా చివర 4.0 kg ద్రవ్యరాశిని జతచేసి, కుడి వైపుకు 4.0 సెం.మీ. దూరం లాగి, ఆపై విడిచి పెట్టబడింది. అప్పుడు ఆ ద్రవ్యరాశి చేసే డోలనాల (i) పౌనఃపున్యము, (ii)) గరిష్ట త్వరణం మరియు (iii) గరిష్ట వేగాన్ని లెక్కించండి.

సాధన :



పటము 7.4 :

డోలకకోణీయపౌనఃపున్యము, $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ మరియు $\omega = 2\pi f$

కావున,పౌనఃపున్యము $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$

ఇచ్చిన విలువలను ప్రతిక్షేపించగా,

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1600}{4}} = \frac{1}{2\pi} \times 20 = 3.18 \text{ Hz}$$

గరిష్ట త్వరణం $= a\,\omega^2$, ఇక్కడ a కంపన పరిమితి

$$= a\left(\frac{k}{m}\right) = (0.04\,m)\left(\frac{1600\,Nm^{-1}}{4\,kg}\right) = 16\ m\,s^{-2}$$

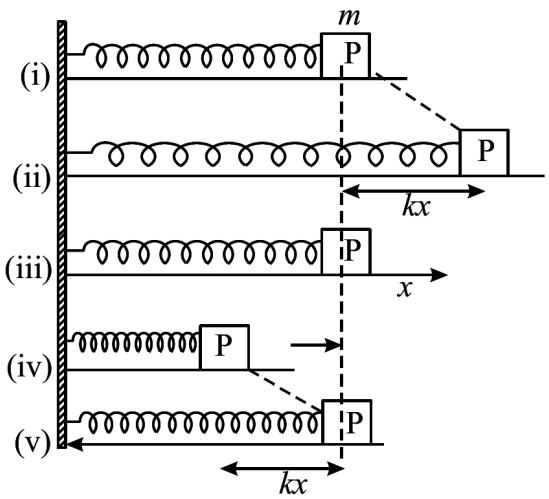
గరిష్ట వేగము, $v_{max} = a\,\omega = a\sqrt{\frac{k}{m}}$

$$= (0.04\,m)\sqrt{\left(\frac{1600\,Nm^{-1}}{4\,kg}\right)} = 0.8\,m\,s^{-1}$$

7.6 సరళ హరాత్మక చలనానికి ఉదాహరణలు

7.6.1 స్ప్రింగ్ - ద్రవ్య రాశి వ్యవస్థచేయు క్షితిజ సమాంతర డోలనాలు

ఒక మృదువైన క్షితిజ సమాంతర ఉపరితలంపై 'k' బల స్థిరాంకం కలిగిన స్ప్రింగ్ ను, దాని పొడవు x-అక్షం దిశలో ఉండునట్లుగా పరిగణించండి. స్ప్రింగ్ ఒక చివర m ద్రవ్యరాశి గల దిమ్మె P ని జత చేసి, మరొక చివరను ఒక గోడలోని దృఢ ఆధారానికి బిగించుదాము. జత చేసిన దిమ్మె ద్రవ్యరాశితో పోల్చితే స్ప్రింగ్ యొక్క ద్రవ్యరాశి విస్మరించ తగినదిగా ఉన్నది అని అనుకుందాం. గాలి నిరోధక త మరియు ఘర్షణ కారణంగా శక్తి నష్టం లేదు అనుకుందాము.



పటము 7.5 : స్ప్రింగ్ - ద్రవ్య రాశి వ్యవస్థ క్షితిజ సమాంతర డోలనాలు

ద్రవ్యరాశి దిమ్మే P నుక్షితిజ సమాంతరంగా ఒక చిన్న దూరంలాగినప్పుడు, స్ప్రింగ్ 'x' సాగుదలకు లోనవుతుంది. అప్పుడు దిమ్మె P పై 'kx' బలము ప్రేరితమౌతుంది. ఈ బలము స్ప్రింగ్‌లోని సాగుదలకు వ్యతిరేకంగా ఉండి, దిమ్మేను మాధ్యమిక స్థానానికి తీసుకురావడానికి తోడ్పడుతుంది. దిమ్మె మాధ్యమిక స్థానానికి

తిరిగి వచ్చినప్పుడు 'v' వేగాన్ని పొందుతుంది. కావున దిమ్మె గతి శక్తి $K = \frac{1}{2}mv^2$ కలిగి ఉంటుంది. చలన జడత్వం కారణంగా, దిమ్మె మాధ్యమిక స్థానాన్ని చేరు క్రమములో మాధ్యమిక స్థానాన్ని అధిగమించి పటము 7.5లో చూపిన విధంగా ఎడమవైపు శిఖర (గరిష్ట) స్థానానికి చేరుకునే వరకు కదులుతూ ఉంటుంది. ఈ స్థితిలో, మరల దిమ్మెలో 'kx' బలము ప్రేరేపించబడి, దిమ్మేను మాధ్యమిక స్థానానికి తీసుకురావడానికి ప్రయత్నిస్తుంది. ఈ విధంగా, దిమ్మె మాధ్యమిక స్థానానికి అటు ఇటు డోలనాలు చేస్తూనే ఉంటుంది. ఈవిధంగా స్ప్రింగ్– ద్రవ్యరాశి వ్యవస్థ చేయు క్షితిజ సమాంతర డోలనాల కాల వ్యవధిని క్రింది సమీకరణము ద్వారా పొందవచ్చును.

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

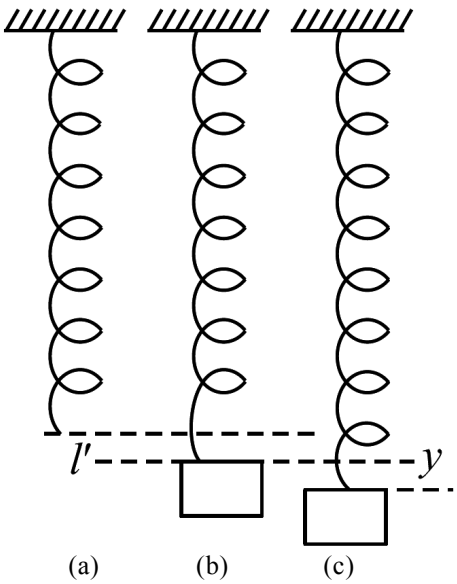
ఇక్కడ $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

కావున,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (7.18)$$

ఇక్కడ k అనేది బల స్థిరాంకం మరియు దీనిని స్ప్రింగ్ యొక్క ప్రమాణ పొడవు సాగుదలకు శక్తిగా నిర్వచించబడుతుంది. పై సమీకరణములో m స్ప్రింగ్‌కు జత పరిచిన దిమ్మె యొక్క ద్రవ్యరాశి.

7.6.2 స్ప్రింగ్ – ద్రవ్య రాశి వ్యవస్థ చేయు నిలువు డోలనాలు



పటము 7.6 : స్ప్రింగ్ – ద్రవ్యరాశి వ్యవస్థ నిలువు డోలనాలు.

బలస్థిరాంతము 'k' కలిగిన ఒక స్ప్రింగ్ ఒక చివరను దృఢమైన ఆధారానికి బిగించి దాని రెండవ రెండో చివర 'm' ద్రవ్యరాశి గల దిమ్మెను జతపరచి వేలాడదీయబడినది అనుకుందాం. పటము 7.6 లో చూపినట్లుగా స్ప్రింగ్‌కు జతపరిచిన దిమ్మె భారము (mg) వలన దానిలో 'l' సాగుదల ఏర్పడినది అనుకుందాం. అప్పుడు స్ప్రింగ్ యొక్క బలస్థిరాంకం,

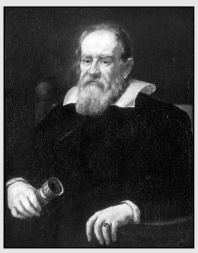
$$k = \frac{mg}{l}$$

ఇప్పుడు స్ప్రింగ్‌కు వేలాడదీసిన దిమ్మెను పటము 7.6 లో చూసినట్లుగా ఒక చిన్న దూరము 'y' కిందికి లాగి వదులుదాము. అప్పుడు స్ప్రింగ్‌లో $F = -ky$ పునస్థాపక బలం ఏర్పడి దిమ్మెను నిలువుతలములో పైకి మాధ్యమిక స్థానము వైపుకు లాగుతుంది. దిమ్మె మాధ్యమిక స్థానానికి చేరే క్రమంలో చలన జడత్వం వలన మాధ్యమిక స్థానాన్ని దాటి పైకి వెళ్తుంది. ఫలితంగా స్ప్రింగ్‌లో సంకోచం ఏర్పడుతుంది. అప్పుడు తిరిగి స్ప్రింగ్ లో $F = -ky$ పునస్థాపక బలం ఏర్పడింది దిమ్మెను కిందికి మాధ్యమిక స్థానం వైపు నెడుతుంది. మాధ్యమిక స్థానాన్ని చేరే క్రమంలో చలనజడము వలన మాధ్యమిక స్థానాన్ని దాటిదిమ్మె కింది వైపుకు వెళుతుంది. ఫలితంగా స్ప్రింగ్-ద్రవ్యరాశి వ్యవస్థ నిలువుతలనంలో డోలనాలను చేస్తుంది. ఈ డోలనాలా ఆవర్తన కాలమును క్రింది సమీకరణం ద్వారా పొందవచ్చు.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (7.19)$$

పై సమీకరణము 7.19 నుండి స్ప్రింగ్ - ద్రవ్యరాశి వ్యవస్థ చేసే నిలువు డోలనాలపై గురుత్వాకర్షణ ప్రభావము ఏమి ఉండదు అని గమనించగలము.

Galileo Galilei (1564-1642)



Son of Vincenzio Galilei, a wool merchant in Pisa, Italy, Galileo is credited for initiating the age of reason and experimentation in modern science. As a child, he was interested in music, art and toy making. As a young man, he wanted to become a doctor. To pursue the study of medicine, he entered the University of Pisa. It was here that he made his first discovery - the isochronosity of a pendulum, which led Christian Huygen to construct first pendulum clock.

For lack of money, Galileo could not complete his studies, but through his efforts, he learnt and developed the subject of mechanics to a level that the Grand Duke of Tuscany appointed him professor of mathematics at the University of Pisa.

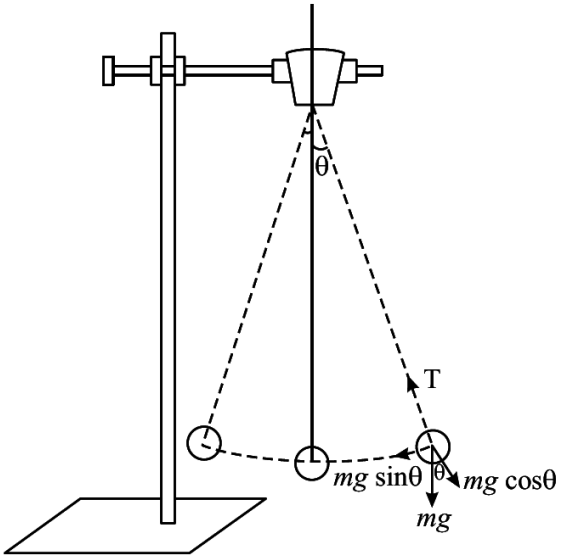
Galileo constructed and used telescope to study celestial objects. Through his observations, he became convinced that Copernican theory of heliocentric universe was correct. He published his convincing arguments in the form of a book, "A Dialogue On The Two Principal Systems of The World", in the year 1632. The proposition being at variance with the Aristotelian theory of geocentric universe, supported by the Church, Galileo was prosecuted and had to apologize. But in

1636, he published another book "Dialogue On Two New Sciences" in which he again showed the fallacy in Aristotle's laws of motion.

Because sophisticated measuring devices were not available in Galileo's time, he had to apply his ingenuity to perform his experiments. He introduced the idea of thought-experiments, which is being used even by modern scientists, in spite of all their sophisticated devices.

7.6.3 లఘు లోలకము

పటము 7.7లో చూపినట్లుగా ఒక చిన్న లోహ గోళాన్ని పొడవైన పురిలేని దారం చేత రెండుగా విడదీయబడిన కార్కుల నుండి ఒక రిటార్డు స్టాండుకు వేలాడదీసిన దానినిలఘు లోలకముఅంటారు. లోహ గోళాన్ని దాని విరామస్థితి స్థానము నుండి కొద్దిగా పక్కకు లాగి లేదా నెట్టి వదిలేసినప్పుడు అది అవలంబన బిందువు (వవేలాడదీయబడిన బిందువు) ఆధారంగా అటు ఇటుగా డోలాలు చేస్తుంది.



పటము 7.7 : లఘు లోలకము డోలనాలు.

ఇక్కడ వేలాడదీయబడిన బిందువు నుండి లోహ గోళ గురుత్వ కేంద్రము వరకు గల దూరాన్ని యొక్క లోలకము పొడవు అంటారు. మాధ్యమిక స్థానము నుండి పక్కకు స్థానభ్రంశము చెందిన లోలకముపై పనిచేయు బలాలు పటము 7.7 లో చూపినట్లుగా పనిచేస్తాయి. అవి

(a) నిట్ట నిలువుగా కిందకు పనిచేయు లోహగోళము యొక్క భారము **mg**

(b) నిలువుగా దారము వెంట పై వైపుకు పనిచేసే దారములోని తన్యత **T**

ఇక్కడ గోళముపై పని చేయు భారాన్ని **mg cos**θ మరియు **mg sin**θ అను రెండు అంశాలుగా విడదీయగలము.

(i) **mg cos**θ అంశ దారము వెంట దానిలోని తన్యత **T** కు వ్యతిరేక దిశలో పనిచేస్తూ దారములోని తన్యతను సమతుల్యము చేస్తుంది.

(ii) **mg sin**θ అను అంశ దారానికి లంబ దిశలో పని చేసి డోలకాన్ని తన మాధ్యమిక స్థానానికి తీసుకువచ్చేట్లుగా దానిలో త్వరణాన్ని ఏర్పరుస్తుంది.

అందువలన **mg sin**θ అను అంశలోలకములో పునర్ధావక బలాన్ని ఏర్పరచి డోలనాలను కలిగిస్తుంది.లోలకముపొందే ఒక చిన్న స్థానభ్రంశము **x** నికి దానిలో ఏర్పడే పునస్తాపక బలము,

$$F = mg \sin\theta$$

అన్నిస్వల్ప కోణాలకు 'θ', $\sin\theta \approx \theta$

అందువలన పై సమీకరణాన్ని ఈ క్రింది విధముగా రాయగలము.

$$F = mg\theta$$

పటము 7.7 నుండి

$$\sin\theta \approx \theta = \frac{x}{l}$$

పై సమీకరణములో θ విలువను ప్రతిక్షేపించగా,

$$F = mg\frac{x}{l} = \frac{mg}{l}x$$

$$F = \frac{mg}{l}x \qquad (7.20)$$

కానీ డోలకమపై పని చేయు పునస్థాపక బలము దానిని విరామ స్థానం వైపుకు తీసుకువస్తుంది. ఆ పునస్థాపక బలము

$$F = kx \qquad (7.21)$$

సమీకరణము (7.20) మరియు (7.21) ల నుండి

$$k = \frac{mg}{l}$$

$$\frac{k}{m} = \frac{g}{l}$$

కాని $\frac{k}{m} = \omega^2$ కానీ మనకు తెలుసు. దీనిని పై సమీకరణములో ప్రతిక్షేపించగా,

$$\omega^2 = \frac{g}{l}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \qquad (7.22)$$

అదేవిధంగా కోణీయ వేగము మరియు ఆవర్తన కాలంలో మధ్య సంబంధము

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

దీనిని సమీకరణము (7.22) లో ప్రతిక్షేపించగా,

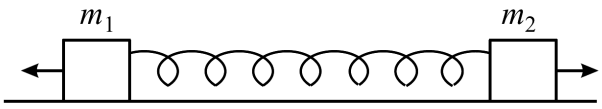
$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

లఘు లోలకము డోలన ఆవర్తన కాలము,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad (7.23)$$

ఉదాహరణ 7.3

పటము 7.8, m_1 మరియు m_2 ద్రవ్యరాశులు గల రెండు దిమ్మెలను k అను బల స్థిరాంకం మరియు విస్మరించదగిన ద్రవ్యరాశి గల స్ప్రింగ్‌తో జతపరిచిన ఒక డోలన వ్యవస్థను చూపుతుంది. A దిమ్మెలను ఒక్కోదానిపై F బలాన్ని ప్రయోగించి దూరముగా జరిపి వదిలివేయబడినాయి. అప్పుడు ఒక్కో దిమ్మె కోణీయ పౌనఃపుణ్యాన్ని గణించండి. ఇక్కడ దిమ్మెలు మృదువైన క్షితిజ తలముపై కదులుతున్నాయి అనుకోండి.



పటము 7.8 : స్ప్రింగ్‌తో జతపరిచిన ద్రవ్యరాశుల డోలన వ్యవస్థను

సాధన :

పరిష్కారం : దూరంగా లాగినప్పుడు దిమ్మెల స్థానభ్రంశాలు x_1 మరియు x_2 అనుకుందాము. అప్పుడు స్ప్రింగ్ లో సాగుదల $(x_1 + x_2)$ అవుతుంది. కావున m_1 ద్రవ్యరాశి త్వరణము $\frac{k(x_1+x_2)}{m_1}$, m_2 ద్రవ్యరాశి త్వరణము $\frac{k(x_1+x_2)}{m_2}$ అవుతాయి. ఒకే స్ప్రింగ్ రెండు దిమ్మెలకు కూడా పునఃస్థాపక బలాన్ని అందిస్తుంది కాబట్టి, రెండు ద్రవ్యరాశులు (దిమ్మెలు) మరియు ద్రవ్యరాశి లేని స్ప్రింగ్‌తో కూడిన వ్యవస్థ యొక్క నికర త్వరణం, ఆ రెండు ద్రవ్యరాశిలో ఏర్పడే త్వరణాల మొత్తానికి సమానం. అందువలన, వ్యవస్థ యొక్క త్వరణం

$$a = \frac{k(x_1 + x_2)}{\left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}\right)} = \frac{kx}{\mu}$$

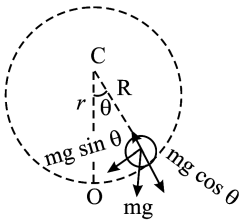
ఇక్కడ $x = x_1 + x_2$ స్ప్రింగ్ సాగుదల మరియు μ ద్రవ్యరాశుల వ్యవస్థ క్షయికృత ద్రవ్యరాశి. ఒక్కో దిమ్మె కోణీయ పౌనఃపుణ్యము,

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{\mu}}$$

ఈ విదమైన విశ్లేషణ మనకు H_2, Cl_2 మరియు HCl వంటి ద్విపరమానుక అణువుల కంపనాలను అర్థం చేసుకోవడానికి సహాయపడతాయి.

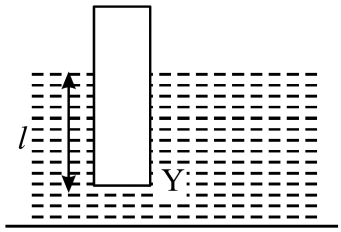
పాఠంలోని ప్రశ్నలు 7.2

1. m ద్రవ్యరాశి గల ఒక చిన్న గోళాన్ని r వ్యాసార్థం కలిగిన గోళాకార పళ్ళెం యొక్క మృదువైన ఉపరితలంపై అడుగు భాగము నుండి కొద్ది దూరంలో పటము 7.9 లో చూపినట్లుగాఉంచినారు. ఆ గోళము చేయు డోలనాల ఆవర్తన కాలాన్ని గణించండి.



పటము 7.9

2. m ద్రవ్యరాశి గల ఒక స్తూపం ρ సాంద్రత కలిగిన ఒక ద్రవంలో నిలువుగా పైకి కిందికి తేలుతున్నది. పటము 7.10లో చూపినట్లుగా ద్రవము లోపల ఉన్న స్థూపం యొక్క పొడవు l. అప్పుడు అది చేసే డోలనాల ఆవర్తన కాలానికి సమాసాన్ని పొందండి.



పటము 7.10

3. పటము 7.11 లో చూపినట్లుగా m ద్రవ్యరాశి గల ఒక దిమ్మెను రెండు రబ్బరు బ్యాండ్లచే జతపరిచిన వ్యవస్థ యొక్క డోలనాల పౌనఃపున్యాన్ని కనుగొనండి. ఇక్కడ ఒక్కో రబ్బర్ బ్యాండ్ బలస్థిరాంకం k.

పటము 7.11

7.7 సరళ హరాత్మక డోలక శక్తి

సరళ హరాత్మక డోలకం యొక్క స్థానభ్రంశాన్ని ఈ క్రింది సమీకరణము ద్వారా తెలియజేయగలము

$$x(t) = A \sin(\omega t + \phi) \qquad (7.24)$$

స్థానభ్రంశములోని మార్పు రేటును వేగముగా నిర్వహిస్తాము కావున సరళ హరాత్మక డోలకం యొక్క వేగాన్ని పై స్థానభ్రంశ సమీకరణాన్ని కాలము పరంగా అవకలనము చేయడం ద్వారా పొందవచ్చును.

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = A\omega \cos(\omega t + \phi) \qquad (7.25)$$

సరళ హరాత్మక డోలకము వేగమును కలిగి ఉన్నది కావున దానికి గతిజశక్తి ఉంటుంది మరియు దానిని క్రింది విధంగా వ్యక్తపరచగలము

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

ఇక్కడ m డోలకం యొక్క ద్రవ్యరాశి మరియు 'v' డోలకం యొక్క వేగము. సరళ హరాత్మక డోలకం యొక్క వేగాన్ని సమీకరణము 7.25 నుండి పై సమీకరణములో

గతిజ శక్తి, $K.E. = \frac{1}{2} m \left(A\omega \cos(\omega t + \phi)\right)^2$

$$K = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 \cos^2(\omega t + \phi) \qquad (7.26)$$

$$K = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 (1 - \sin^2(\omega t + \phi))$$

$$K = \frac{1}{2} m \omega^2 (A^2 - A^2 \sin^2(\omega t + \phi))$$

సమీకరణము (7.24) ను ప్రతిక్షేపించగా,

$$K = \frac{1}{2} m \omega^2 (A^2 - x^2) \qquad (7.27)$$

సరళ హరాత్మక డోలకము తన విరామ స్థానము నుండి స్థానభ్రంశము చెందినప్పుడు డోలకంలో ఒక పునఃస్థాపక బలము ఏర్పడుతుంది. ఈ పునః స్థాపక బలం వలన డోలకము స్థితిజ శక్తిని కలిగి ఉంటుంది. డోలకము తన విరామ స్థానము నుండి 'x' దూరము స్థానభ్రంశము చెందితే దానిలో ఏర్పడు పునఃస్థాపక బలం $F = -kx$. డోలక స్థితిజ శక్తిని ఈ క్రింది సమీకరణం ద్వారా తెలియజేయగలము.

$$U = \frac{1}{2} k x^2$$

సమీకరణము (7.24) నుండి స్థానభ్రంశాన్ని పై సమీకరణలో ప్రతిక్షేపించగా

$$U = \frac{1}{2} k (A \sin(\omega t + \phi))^2$$

$$U = \frac{1}{2} k A^2 \sin^2(\omega t + \phi) \qquad (7.28)$$

సమీకరణము (7.24) నుండి పై సమీకరణాన్ని క్రింది విధముగా వ్రాయవచ్చు.

$$U = \frac{1}{2} k x^2 \qquad (7.29)$$

కానీ కానీ కొణీయ పౌనః పుణ్య సమీకరణము నుండి $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$. ఇక్కడ k బలస్థిరాంకం మరియు దీనిని $k = m\omega^2$ గా వ్రాయవచ్చును. బలస్థిరాంకము k విలువను సమీకరణము(7.28)లో ప్రతిక్షేపించగా

$$U = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 \sin^2(\omega t + \phi) \qquad (7.30)$$

కానీ డోలకము యొక్క మొత్తము శక్తి దాని గతిజశక్తి మరియు స్థితిజ శక్తిల మొత్తానికిసమానము. కావునడోలకము యొక్క మొత్తం శక్తి Eకి సమీకరణాన్ని క్రింది విధంగా వ్రాయవచ్చును.

$$E = K + U$$

పై సమీకరణంలో గతి శక్తి మరియు స్థితిజ శక్తి సమీకరణములను ప్రతిక్షేపించగా

$$E = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 \cos^2(\omega t + \phi) + \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 \sin^2(\omega t + \phi)$$

$$E = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 \left(\cos^2(\omega t + \phi) + \sin^2(\omega t + \phi) \right) \quad (7.31)$$

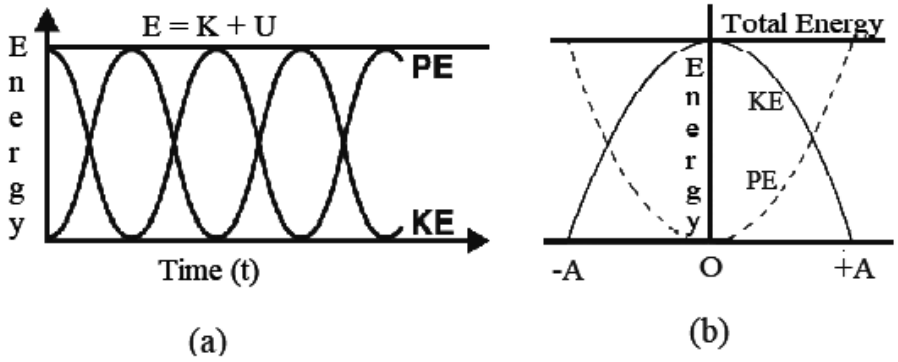
$$E = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2$$

(ఎందుకనగా, $\cos^2(\omega t + \phi) + \sin^2(\omega t + \phi) = 1$)

$$E = \frac{1}{2} k A^2 \quad (7.32)$$

ఎందుకనగా, $k = m\omega^2$

పై సమీకరణము (7.32) నుండి, సరళ హరాత్మక డోలక మెత్తము శక్తి కాలము పై ఆధారపడదని గమనించగలము. పటము 7.12(a) మరియు 7.12(b) లలో డోలకము గతి శక్తి, స్థితి శక్తి మరియు మెత్తం శక్తి, సమీకరణము (7.26) మరియు (7.28) ల నుండి కాలముతోపాటు మరే విధానాన్ని, సమీకరణములు (7.27), (7.31) మరియు (7.32) ల నుండి స్థానభ్రంశముతో మారుటను వరుసగా చూపడమైనది.



పటము 7.12 : కాలము మరియు స్థానభ్రంశముతో గతి, స్థితి మరియు మెత్తము శక్తుల మార్పు.

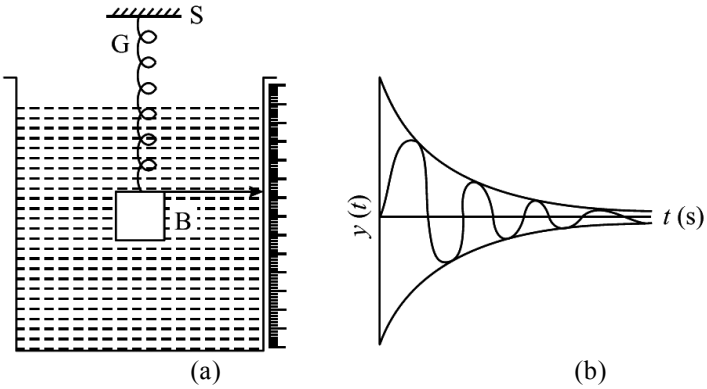
పాఠంలోని ప్రశ్నలు 7.3

1. ఒక సరళ హరాత్మక డోలకము యొక్క గతి శక్తి మాధ్యమిక స్థానం వద్ద గరిష్టమా లేక గరిష్ట స్థానభ్రంశం వద్ద గరిష్టమా? మరియు దాని త్వరణము ఎచ్చట గరిష్టము?
2. కాలముతో పాటు లఘు లోలకము కంపన పరిమితి ఎందుకు తగ్గుతుంది? లఘు లోలకము కంపన పరిమితి తగ్గినప్పుడు దాని శక్తి ఏమవుతుంది?

7.8 అవరుద్ధహరాత్మక డోలనాలు

లఘు లోలకముమరియు ఊయల వంటి సరళ హరాత్మక డోలకాల చలనము గాలి లేదా యానకాలలో క్రమంగా తగ్గుతూ ఉంటుంది అని మనకు తెలుసు. ఈ విధంగా ఎందుకు జరుగుతుంది? ఎందుకనగా డోలకము స్నిగ్ధత కలిగిన యానకములో చలనము కలిగి ఉండడం వలన యానకము యొక్క ఘర్షణ వలన తన శక్తిని

కోల్పోయి ఫలితంగా కంపన పరిమితి తగ్గుతుంది. ఈ విధంగా డోలకము యొక్క కంపనాల కంపనాల పరిమితి అవిచ్ఛిన్నముగా తగ్గుతుంది. ఈ విధమైన డోలనాలను అవరుద్ధ డోలనాలు అంటారు.



పటము 7.1 3 : అవరుద్ధ కంపనాలు (a) ప్రయోగ అమరిక, (b) గ్రాఫ్ ద్వారా తెలియజేయుట.

ఈ విధమైన అవరుద్ధ డోలనాలకు కారణమైన బలాలు సాధారణంగా ఘర్షణ బలాలు అయి ఉంటాయి. డోలకము మీద ఈ విధమైన బాహ్య బలాల ప్రభావాన్ని అర్థం చేసుకోవడానికి పటం 7.13 లో చూపిన విధంగా ఒక వ్యవస్థను పరిగణిద్దాం.

పటము 7.13(a)లో చూపిన విధంగా ఒక దృఢమైన ఆధారము G నుండి వేలాడ తీసిన స్ప్రింగ్ S రెండవ చివరన ఒక దిమ్మె B ను వేలాడదీద్దాం. స్ప్రింగ్ కు వేలాడదీయబడిన దిమ్మె B ను ద్రవము కలిగిన ఒక బీకరులో 6 సెంటీమీటర్ల లోతులో, బీకరు అడుగుభాగం నుండి కూడా 6 సెంటీమీటర్ల ఎత్తులో ఉండేటట్లుగా అమర్చాలి. ఇప్పుడు దిమ్మెను కొన్ని సెంటీమీటర్ల కిందకు లాగి వదులుదాం. అప్పుడు దిమ్మె చేసే ప్రతి డోలనము యొక్క కాలము మరియు గరిష్ట, కనిష్ట స్థానాలను దానికి అమర్చిన సూచిక సహాయముతో ఎదురుగా ఉన్న (బీకరుకు అతికించిన) నిలువు స్కేలు పై గుర్తించాలి. ఈ విధంగా గుర్తించిన కాలము మరియు కంపన పరిమితులకు గ్రాఫును గీసిన అది పటము 7.13(b)లో చూపినట్లుగా ఉంటుంది. ఈ గ్రాఫ్ నుండి డోలనాల కంపన పరిమితి, కాలముతో క్రమముగా తగ్గినట్లుగా గమనించగలము. ఈ విధమైన డోలనాలనేఅవరుద్ధ డోలనాలు అంటారు.

అవరుద్ధ బలాలు రెండు కారకాలపై ఆధారపడి ఉంటాయి. అవి (i) డోలకాన్ని ఆవరించియున్న యానకం యొక్క స్వభావము మరియు (ii) డోలకం యొక్క వేగము. దిమ్మెను గాలిలో వ్రేలాదదీస్తే , అవరుద్ధ పరిమాణము తక్కువగా ఉండి డోలకం ఎక్కువ సమయము డోలనాలు చేస్తుంది. ఒకవేళ దిమ్మెను ద్రవములో వ్రేలాదదీస్తే అవరుద్ధము ఎక్కువగా ఉండి డోలకం తక్కువ సమయము డోలనాలు చేస్తుంది. అవరుద్ధ బలము డోలక వేగానికి అనులోమానుపాతంలో ఉండి, డోలక వేగాన్ని తగ్గించే దిశలో (వేగానికి వ్యతిరేక దిశలో) పనిచేస్తుంది. అవరుద్ధ బలాన్ని F_D చే సూచించిన దానిని క్రింది విధంగా వ్రాయగలము.

$$F_{damped} = - b\ v \qquad (7.33)$$

ఇక్కడ b ఒక స్థిరాంకము. ఇది డోలకాన్ని ఆవరించి ఉన్న యానకం యొక్క అభిలక్షణ ధర్మము మరియు ఇది డోలోకం యొక్క పరిమాణము మరియు ఆకారం పై ఆధారపడుతుంది. 'v' డోలకం యొక్క వేగము మరియు పై సమీకరణం లోని రుణ గుర్తు అవరుద్ధ బలము డోలక వేగ దిశకు వ్యతిరేకంగా ఉండుటను తెలియజేస్తుంది.

పై ప్రయోగములోని దిమ్మెను డోలనాలు చేయించినప్పుడు, దానిలో ఏర్పడే పునఃస్థాపక బలము వలన అది డోలనాలు చేస్తుంది. A పునఃస్థాపక బలాన్ని క్రింది సమీకరణము ద్వారా వ్యక్తపరుచగలము.

$$F_{restoring} = - kx \qquad (7.34)$$

సమీకరణము 7.33 మరియు 7.34 ల నుండి అవరుద్ధ డోలకముపై పనిచేయు మెత్తము బలము,

$$F = -kx - bv \qquad (7.35)$$

డోలక గమనానికి న్యూటన్ రెండవ గమన నియమము అనువర్తించిన పై బలము F = ma కు సమానము. కావున,

$$ma = -kx - bv \qquad (7.36)$$

ఇక్కడ m డోలక ద్రవ్యరాశి మరియు a త్వరణము. పై సమీకరణములో వేగము మరియు త్వరణములకు, స్థానభ్రంశము యొక్క మొదటి మరియు రెండవ తరగతి అవకలనాలను వరుసగా ప్రతిక్షేపించగా,

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx - b\frac{dx}{dt}$$

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + b\frac{dx}{dt} + kx = 0 \qquad (7.37)$$

పై సమీకరణము 7.37, అవరుద్ధ బల ప్రభావము వలన డోలకము యొక్క చలనాన్ని తెలియచేస్తుంది.

కృత్యం 7.2

ఒక స్ప్రింగ్ G కు దాని ఒక చివరను దృఢ ఆధారము S కి బిగించి దాని రెండవ చివరన ఒక లోహపు దిమ్మే B ను తగిలించి ఒక సరళ హరాత్మక డోలకాన్ని ఏర్పరుచుదాం.ఒక పొడుగాటి బీకరును తీసుకొని దాని పరిమాణంలో 2/3 వ వంతు నీటిని నింపి పటము 7.13(a) లో చూపినట్లుగా స్ప్రింగ్ కు వేలాడదీయబడిన దిమ్మె B ను ద్రవ ఉపరితలము నుండి 6 సెంటీమీటర్ల లోతులో, బీకరు అడుగుభాగం నుండి కూడా 6 సెంటీమీటర్ల ఎత్తులో ఉండేటట్లుగా అమర్చాలి. స్ప్రింగ్ చివరన, దిమ్మెకు పైన ఒక సూచికను, దానికి ఎదురుగా బీకరు పక్క తలానికి ఒక మిల్లీ మీటరు స్కేలును (నిలువుగా) అతికించాలి. ఇప్పుడు దిమ్మెను కొన్ని సెంటీమీటర్ల కిందకు లాగి వదులుదాం. అప్పుడు దిమ్మె చేసే ప్రతి డోలనము తరువాత కాలము మరియు స్కేలుపై డోలనాల గరిష్ట, కనిష్ట స్థానాలను సూచిక సహాయముతో నమోదు చేయండి. ఈ విధంగా నమోదు చేసిన కాలము మరియు కంపన పరిమితులకు గ్రాఫును గీయండి. గ్రాఫ్ పటము 7.13(b) లో చూపినట్లుగా వస్తుంది మరియు దీని నుండి తగ్గుటను పరిశీలిస్తాము. ఈ విధమైన డోలనాలనే అవరుద్ధ డోలనాలు అంటారు.

7.9 స్వేచ్ఛా మరియు బలాత్కృత డోలనాలు, అనునాధము

ఏదేని ఒక వస్తువును (డోలకాన్ని) డోలనాలు చేయించినప్పుడు (విరామస్థితి నుండి స్థానభ్రంశము చెందించి, వదిలినప్పుడు), అది దాని సహజ పౌనఃపున్యముతో కంపిస్తుంది. ఈ డోలనాలను స్వేచ్ఛా కంపనాలు లేదా స్వేచ్ఛా డోలనాలు అని పౌనఃపున్యాన్ని సహజ పౌనఃపున్యము అని అంటారు. ఈ విదమైన సహజ డోలనాలు అవరుద్ధ బలాల ప్రభావము వలన క్రమముగా క్షీణిస్తాయి. కాని బాహ్య ఆవర్తనా బల అనువర్తించబడము వలన ఈ డోలనాలను అదే విధముగా (క్షీణించకుండా) కొనసాగించగలము. అప్పుడు డోలనాలను బలాత్కృత డోలనాలు అని, ఆ బలాన్ని చోదక బలము అని అంటారు. ఒకవేళ F(t) అను చోదక బలాన్ని, ఒక అవరుద్ధ డోలకము పై ప్రయోగించిన, ఆ బలాన్ని క్రింది విధముగా తెలియ చేయగలము.

$$F(t) = F_o \sin\omega_p t \qquad (7.38)$$

సమీకరణము (7.35) నుండి, పునఃస్థాపక బలము, అవరుద్ధ బలము మరియు చోదక బలాల సంయుక్త ప్రభావము వలన డోలకము యొక్క చలనానికి క్రింది సమీకరణము ద్వారా తెలియచేయగలము.

$$ma = -kx - bv + F_o \sin \omega_p t \qquad (7.39)$$

త్వరణము, వేగములకు స్థానభ్రంశము యొక్క మొదటి మరియు రెండవ తరగతి అవకలనాలను వరుసగా ప్రతిక్షేపించగా, పై సమీకరణము నుండి,

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx - b\frac{dx}{dt} + F_o \sin\omega_p t$$

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + b\frac{dx}{dt} + kx = F_o \sin\omega_p t \qquad (7.40)$$

ఈ సమీకరణము బలాత్కృత డోలనాలకు అవకలన సమీకరణాన్ని తెలియచేస్తుంది.

పై సమీకరణము ω_p పౌనఃపున్యము గల ఆవర్తనా చోదక బల ప్రభావము వలన డోలక చలనాన్ని తెలియ చేస్తుంది. ఈ అవకలన సమీకరణము యొక్క సాధన, అనగా సమయము t వద్ద బలాత్కృత డోలక స్థానభ్రంశమును క్రింది విధముగా వ్రాయగలము.

$$x(t) = A \sin (\omega_p t + \phi) \qquad (7.41)$$

ఇక్కడ A బలాత్కృత డోలన కంపన పరిమితిని తెలియచేస్తుంది మరియు ఇది చోదక బల పౌనఃపున్యము ω_p మరియు డోలక సహజ పౌనఃపున్యము ω ల ప్రమేయము. సమీకరణములు (7.40) మరియు (7.41) లను సాధించగా బలాత్కృత డోలన కంపన పరిమితి A కి క్రింది సమాసాన్ని పొందుతాము.

$$A = \frac{F_o}{\sqrt{m^2(\omega^2 - \omega_p^2) + \omega_p^2 b^2}} \qquad (7.42)$$

సమీకరణము (7.42) నుండి, బలాత్కృత డోలన కంపన పరిమితి A, చోదక బల కంపన పరిమితి F_o కి అనులోమానుపాతములో ఉంటుందని గమనించవచ్చు. ఈ బలాత్కృత డోలన కంపన పరిమితి, డోలక సహజ పౌనః పున్యము ω మరియు చోదక బల పౌనఃపున్యము ω_p ల భేదము పై కూడా ఆధార పడుతుంది.

చోదక బల పౌనః పున్యము (ω_p), డోలక సహజ పౌనః పున్యము (ω) కు సమానము అయినప్పుడు, పై సమీకరణము నుండి,

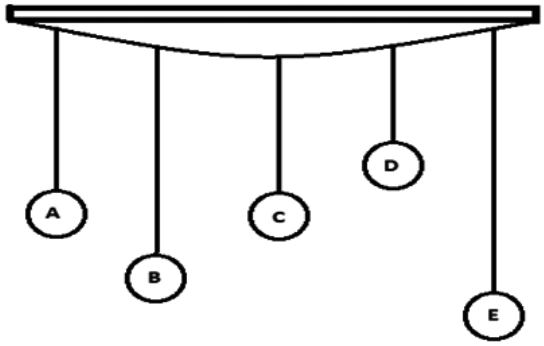
$$A = \frac{F_o}{\omega_p b} = \text{గరిష్టము} \qquad (7.43)$$

అనగా బలాత్కృత డోలనాల కంపన పరిమితి గరిష్టము అవుతుంది. ఈ దృగ్ విషయాన్ని అనునాధము అని అంటారు. అనునాద కంపనాలలో చోదక (బలాత్కృత కంపనాలు) మరియు డోలకము (సహజ కంపనాలు) ఒక దానిని ఒకటి బలపరుచుకుంటాయి. ఫలితంగానే గరిష్ట కంపన పరిమితి సాధ్యమవుతుంది. చోదక బల పౌనః పున్యానికి, డోలక సహజ పౌనఃపున్యము సమానమైన కంపనాలు ఈ ప్రత్యేక సందర్భాన్నే అనునాధము అని అంటారు.

బలాత్కృత కంపనాలు మరియు అనునాధము దృగ్ విషయాల మధ్య భేదాలను అర్థము చేసుకోవడానికి ఈ క్రింది కృత్యము చేద్దాము.

కృత్యం 7.3

ఒక దృఢమైన దారమును వదులుగా ఉండేటట్లుగా దాని చివరలను దృడ ఆధారానికి కట్టి దానికి A, B, C, D మరియు E అను ఐదు డోలకాలను పటము 7.14 లో చూపినట్లుగా వేలాడదీయాలి. డోలకాలు A మరియ C లు సమాన పౌడవును కలిగి ఉండేటట్లుగా మిగిలిన డోలకాలు వేర్వేరు పౌడవులను కలిగి ఉండేటట్లుగా తీసుకోవాలి. ఇప్పుడు డోలకము A ని డోలనాలు చేయునట్లుగా చేద్దాము. అప్పుడు డోలకము A యొక్క శక్తి దారము ద్వారా మిగిలిన డోలకాలకు బదిలీ చేయబడి, కొంత సమయము తరువాత మిగిలిన డోలకాలన్ని డోలనాలను చేయడము ప్రారంభిస్తాయి. ఇక్కడ ప్రతి డోలకము తన సహజ పౌనః పుణ్యముతో డోలనాలు చేయగల ఒక డోలన వ్యవస్థ. ఇప్పుడు B, C, D మరియు E డోలకాలను పరిశీలిస్తే, B, D మరియు E డోలకాలు వాని సహజ పౌనఃపుణ్యాలతో డోలనాలను ప్రారంభించి, నెమ్మదిగా A చేసే డోలనాల పౌనః పుణ్యానికి మారుతాయి మరియు వీటి కంపన పరిమితులు కూడా వేర్వేరుగా ఉంటాయి. ఎందుకనగా ఇవి చోదక బల ప్రభావముతో డోలనాలు చేస్తున్నాయి. ఈ డోలనాలను బలాత్కృత డోలనాలు అంటారు.



పటము 7.14 : బలాత్కృత డోలనాలు మరియు అనునాధము.

కాని C డోలకము మాత్రము డోలకము A యొక్క డోలనాల పౌనఃపుణ్యానికి సమాన పౌనఃపున్యముతో కంపిస్తూ క్రమముగా గరిష్ఠ కంపనపరిమితిని పొందుతుంది. ఎందుకనగా ఇవి రెండు కూడా సమాన పౌడవును కలిగి ఉండటము వలన ఒకే సహజ పౌనఃపుణ్యాన్ని కలిగిఉన్నాయి. ఈ దృగ్ విషయాన్ని అనునాధము అంటారు.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 7.4

1. కంపించే శృతి దండాన్ని ఒక బల్ల మీద దాని కాడతో తాకించి ఉంచితే, పెద్ద శబ్దం వినబడుతుంది. దీనికి కారణము బలాకృత కంపనాల లేక అనునాధమా? సరైన కారణముతో తెలుపుము. పెద్ద శబ్దము వినబడడానికి గల కారణాన్ని కూడా తెలుపుము.
2. కొన్ని సంగీత పరికరాలలో బోలుగా ఉండే సౌండ్ బోర్డు మరియు సౌండ్ బాక్స్‌లను కలిగి ఉంటాయి. ఎందుకు?

అనునాధము మరియు అద్భుతమైన సంఘటనలు

1. 1940 సంవత్సరంలో అమెరికాలోని వాషింగ్టన్ అనే పట్టణంలో ఉక్కు తీగలతో నిర్మించిన బ్రిడ్జ్, ఆరు మాసాలకే కూలిపోయింది. ఎందుకనగా, గాలి సుడిగాలి రూపంలో వస్తున్నప్పుడు దాని పౌనఃపుణ్యము బ్రిడ్జ్ సహజ పౌనఃపున్యమునకు సమానమై బ్రిడ్జ్ క్రమంగా వృద్ధి

చెందుతున్న కంపన పరిమితితో అటు ఇటు ఊగి, చివరికి అధిక ప్రతిబలానికి లోనై బ్రిడ్జ్ కూలిపోయినది.

2. ఫ్యాక్టరీలలోని పొగ గొట్టాలు మరియు కూలింగ్ టవర్స్ యొక్క కంపనాలు గాలి పౌనఃపున్యానికి సమానమైతే అది కూలిపోయే ప్రమాదం ఉంది.

3. ఒక వంతెనపై కదం తొక్కుతున్న సిపాయిల దండును తీసుకోండి. వంతెన మీద ఉన్నంత సేపు వాళ్ళ అడుగులు కలవకుండా నడవమని ఆదేశిస్తారు. వారంతా ఒకేసారి అడుగులు కలిసేలా వంతెనపై పాదాలు మోపితే, ఆ పౌనఃపున్యము వంతెన సహజ పౌనఃపున్యానికి సమానమైతే అనునాధముఏర్పడుతుంది. అప్పుడు వంతెన వృద్ధి చెందుతున్న కంపన పరిమితితో ఉధృతంగా కనిపించి విరిగి పడిపోయే ప్రమాదం ఉంది.

4. కొంతమంది గాయకులకు అతీంద్రియ శక్తులు ఉన్నట్లు మనం వింటుంటాం. ఎందుకంటే వారు ఆడిటోరియంలో పాటలు పాడుతున్నప్పుడు కొన్ని సందర్భాలలో కిటికీ తలుపుల అద్దాలు పగిలిపోతాయి. ఎందుకనగా వారి పాట పౌనః పున్యము కిటికీ తలుపుల సహజ పౌనఃపున్యానికి సమానము కావడం చేతనే. కావున గాయకులకు ఎలాంటి అతీంద్రియ శక్తులు ఉండవు.

5. విచిత్రం ఏమిటంటే మనము రేడియో టీవీలలో పిడి (Tuner) ని శృతి చేసి మనకు కావలసిన కార్యక్రమాలను వినడం చూడడం జరుగుతుంది ఎలా?

ఉదాహరణకు రేడియోలోని రేడియో గ్రాహకములో ఒక ఎలక్ట్రానిక్ డోలకము ఉంటుంది. దాని పౌనఃపున్యము మార్పు చేయడానికి వీలు కలిగినదై ఉంటుంది. మనము రేడియోను శ్రుతి చేయడానికి ప్రయత్నించినప్పుడు దానిలో ఉండే ఎలక్ట్రానిక్ డోలక పౌనఃపున్యం రేడియో స్టేషన్ ప్రసారం చేసే తరంగాల పౌనఃపున్యముతో సమానమైనప్పుడు వాటి మధ్య అనునాధము ఏర్పడి కంపన పరిమితి గరిష్టంగా అభివృద్ధి పొందుతుంది. అప్పుడు ఆ తరంగ సంకేతము పెద్ద శబ్దంతో స్పష్టంగా వినిపిస్తుంది.

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- సమాన కాలవ్యవధులలో ఒక వస్తువు చలనము పునరావృతం అయితే అటువంటి చలనాన్ని ఆవర్తన చలనం అంటారు.
- మాధ్యమిక బిందువు పరంగా ముందుకు వెనుకకు జరిగే చలనాలను కంపణ చలనము లేదా డోలన చలనము అంటారు.
- సహజంగా కంపన చలనాలు అన్నీ ఆవర్తన చలనాలే, కానీ ఆవర్తన చలనాలు అన్ని కంపన చలనాలు కానవసరము లేదు.
- పునఃస్థాపక బల ప్రయోగము వలన ఏదైనా ఒక వస్తువు మాధ్యమిక బిందువు పరంగా ముందుకు వెనుకకు చలిస్తూ ఆ బలము మాధ్యమిక బిందువు నుండి స్థానభ్రంశానికి అనులోమానుపాతంలో మరియు ఎల్లప్పుడూ మాధ్యమిక బిందువు వైపు పనిచేస్తూ ఉంటే, దానిని సరళ హరాత్మక చలనము అంటారు.

- ఒక పూర్తి కంపనానికి పట్టే కాలాన్ని ఆవర్తన కాలం అంటారు.
- ఒక సెకను కాలములో ఒక డోలకము చేసే కంపనాల సంఖ్యను పౌన పుణ్యము అంటారు.
- కంపించే కణము యొక్క కంపన స్థితిని మరియు దాని గమన దిశను సైన్ లేదా కోసైన్ కోణాల రూపంలో తెలియజేసే భౌతిక రాశిని దశ అంటారు.
- దశా కోణములోని మార్పు రేటుని పౌనఃపున్యం అంటారు.

  కోణీయ పౌనః పుణ్యము $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\upsilon$,

  కోణీయ పౌనఃపుణ్యమును (రెడియన్)/(సెకన్) కొలుస్తారు

  ఇక్కడ ω, υ సహజ పౌనఃపుణ్యము మరియు దీనిని హెర్ట్జ్ (symbol: Hz) లలో కొలుస్తారు. T ఆవర్తనా కాలము మరియు దీనిని సెకనులలో కొలుస్తారు.

- సరళ హరాత్మక చలన సమీకరణము, $y(t) = a \sin(\omega t + \phi)$ (or)

  $$y(t) = a \cos(\omega t + \phi)$$

  ఇక్కడ y డోలకము విరామ స్థానము నుండి పొందిన స్థానభ్రంశము, t – సమయము, $(\omega t + \phi)$–దశ, ω–కోణీయపౌనఃపుణ్యముమరియు ϕ – తోలిదశ (t = 0 వద్ద దశ).

- వృత్తాకార చలనములో ఉన్న కణము యొక్క విక్షేపము, ఆ వృత్త వ్యాసముపై సరళ హరాత్మక చలనాన్నికలిగి ఉంటుంది.

- స్ప్రింగ్ – ద్రవ్యరాశి వ్యవస్థ యొక్క డోలనాల ఆవర్తన కాలము, $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, ఇక్కడ m స్ప్రింగ్ కు జతపరిచిన ద్రవ్యరాశి మరియు k స్ప్రింగ్ బల స్థిరాంకము.

- లఘు లోలకము చేయు డోలనాల ఆవర్తన కాలము $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, ఇక్కడ l లఘు లోలకము పొడవు మరియు g గురుత్వ త్వరణము.

- సరళ హరాత్మక డోలకం యొక్క గతిజశక్తి $K = \frac{1}{2}m\omega^2(A^2 - x^2)$

- సరళ హరాత్మక డోలకం యొక్క స్థితిజ శక్తి $U = \frac{1}{2}kx^2$

- సరళ హరాత్మక డోలకం యొక్క మొత్తం శక్తి $E = \frac{1}{2}kA^2$

- ఏదైనా ఒక డోలక వ్యవస్థ తన సహజ పౌనః పుణ్యంతో కంపిస్తూ ఉన్నప్పుడు అది చేయు డోలనాలను స్వేచ్ఛ కంపనాలు అంటారు.

- ఏదేని డోలకం యొక్క శక్తి క్రమంగా క్షీణిస్తూ, దాని కంపనాలు కూడా క్షీణించినట్లయితే ఆ డోలనాలను అవరుద్ధ డోలనాలు అంటారు.
- ఏదైని డోలక వ్యవస్థ చేయు డోలనాలను అదేవిధంగా కొనసాగించడానికి ఒక ఆ చోదక బలాన్ని అనువర్తించడం ద్వారా పొందగలము. అప్పుడు డోలకము చేయు డోలనాలను బలాత్కృత డోలనాలు అంటారు.
- చోదక బల పౌనః పుణ్యము డోలక సహజ పౌనః పుణ్యానికి సమానమైనప్పుడు, డోలకము గరిష్ట కంపన పరిమితితో కంపిస్తుంది. ఈ దృగ్ విషయాన్ని అనునాధము అంటారు.

ముగింపు అభ్యాసము

1. ఆవర్తన చలననానికి, కంపన చలనానికి మధ్య భేదాలను తెలుపండి.
2. సరళ హరాత్మక చలనము అనగానేమి?
3. ఈ క్రింది సందర్భాలను తెలియజేసే ప్రమేయాలను గుర్తించుము. (i) సరళ హరాత్మక చలనము, (ii) ఆవర్తన చలనము అయి ఉండి సరళ హరాత్మక చలనము కానిది, (iii) ఆవర్తన చలనము కానిది. పై మూడు సందర్భాలలో ఆవర్తన కాలాన్ని తెలియజేయుము.

   (i) $\sin \omega t + \cos \omega t$ (ii) $1 + \omega^2 + \omega t$ (iii) $3\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right)$
4. 0.1 కిలో గ్రాముల ద్రవ్యరాశిని ఒక కొంకిని కలిగిన స్ప్రింగ్ కు వేలాడదీస్తే ఆవర్తన కాలము 1 సెకను, 0.9 కిలో గ్రాముల ద్రవ్యరాశిని అదే స్ప్రింగ్‌కు వేలాడదీస్తే ఆవర్తన కాలము ఎంత?
5. కోణము అనగానేమి? దశకోణము నకు కొనియ్య పవనపుణ్యానికి మధ్య గల సంబంధాన్ని తెలియజేయండి.
6. సరళ హరాత్మక డోలకం యొక్క ఆవర్తన కాలము, $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ అయినప్పుడు, లగులోలకము యొక్క డోలనావర్తన కాలము గోళము ద్రవ్యరాశిపై ఎందుకు ఆధారపడదు?
7. సరళ హరాత్మక చలనములో గల కణము త్వరణము ఎప్పుడు గరిష్టము? పునస్థాపక బలం ఎప్పుడు గరిష్టము?
8. వృత్త వ్యాసము పై ఏకరీతి వృత్తాకార గమనములో ఉన్న కణము ఆచ్ఛాదన (విక్షేపము) సరళ హరాత్మక చలనము అని నిరూపించండి. బలస్థిరాంకము మరియు ద్రవ్యరాశి పరంగా సరళ హరాత్మక డోలకము యొక్క ఆవర్తన కాలానికి సమీకరణాన్ని ఉత్పాదించండి.
9. సరళ హరాత్మక డోలకం యొక్కతత్కాలస్థితి శక్తి (U), గతి శక్తి (K) మరియు మొత్తం శక్తి (E) సమీకరణములను పొందండి.

10. సరళ హరాత్మక డోలకం యొక్క స్థితిశక్తి (U), గతిశక్తి (K) మరియు మొత్తం శక్తి (E) స్థానభ్రంశముతో పాటు ఎలా మారుతుందో గ్రాఫ్ సహాయముతో వివరించండి.

11. ఏదేని క్షణములో కంపించే కణము యొక్క స్థానభ్రంశము దాని మాధ్యమిక బిందువు నుండి, $x = a \cos \omega t + b \sin \omega t$ గా ఇవ్వ బడినది. ఆ కణం చలనము సరళ హరాత్మక చలనమా? మీ సమాధానము కాదు అయితే సరియైన కారణము తెలియజేయండి? మీ సమాధానము అవును అయితే ఆ కణము కంపన పరిమితి దశాకోణాలను కనుగొనండి.

12. 0.04 మీటర్ల కంపన పరిమితితో కంపిస్తున్న లగులోలకము ఆవర్తన కాలము 10 సెకనులు. అయినా దాని గరిష్ట వేగం కనుగొనండి.

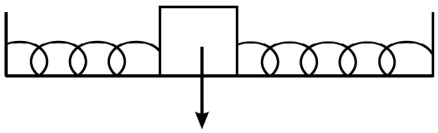
13. భూమి కేంద్రం గుండా ధ్రువాలను కలుపుతూ ఒక ఘర్షణ రహిత సొరంగ మార్గాన్ని నిర్మించి దానిలోనికి ఒక బంతిని జారవిడిచినట్లు ఊహించండి. గురుత్వ త్వరణం, భూమి వ్యాసార్థపరంగా బంతి ఆవర్తన కాలానికి సమీకరణాలను ఉత్పాదించండి.

14. $m = 2$ kg ద్రవ్యరాశి గల ఒక దివ్మెను $k = 400$ N m^{-1} బలస్థిరాంకముగల రెండు స్ప్రింగ్ ల మధ్య పట్టము 7.15 లో చూపిన విధంగా అమర్చబడినది. దివ్మె దాని సమతా స్థితి నుండి 0.05 m ల దూరము స్థానభ్రంశము చెందించి వదలబడినది. అయినా దాని,

(a) దివ్మే కొణీయ పౌనఃపున్యము ω

(b) దివ్మె గరిష్ట వేగం

(c) దివ్మె గరిష్ట త్వరణం మరియు



పటము 7.15

(d) అవరుద్ధము వలన అది విరామ స్థితికి వచ్చేలోపు కోల్పోయే మొత్తము శక్తిని కనుగొనుము.

పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

7.1

1. సమాన కాలవ్యవధులలో ఒక వస్తువు చలనము పునరావృతం అయితే, అ చలనాన్ని ఆవర్తన చలనము అంటారు. ఒకే మార్గంలో మాధ్యమిక బిందువుకు ముందుకు, వెనుకకుపునర్రావృతం అయ్యే చలనాలను కంపన చలనము లేదా డోలన చలనం అంటారు. కంపన చలనాలన్నీ ఆవర్తన చలనాలే కానీ, ఆవర్తన చలనాలన్నీ కంపన చలనాలు కావు.

2. (ii), (iv), (v)

3. (i) లోలకము ముందుకు వెనుకకు చలించడము.

   (ii) గ్రహాల చలనము.

7.2

1. బంతి మాధ్యమిక స్థానము నుండి x దూరము స్థానభ్రంశము చెందినప్పుడు, దానిపై పనిచేసే పునఃస్థాపక బలం,

$$F = mg\sin\theta = mg\,\theta = mg\frac{x}{r}$$

కాని, F = – kx అని మనకు తెలుసు

పై సమీకరణాలను పోల్చగా

$$k = \frac{mg}{r}\ (\text{or})\ \frac{k}{m} = \frac{g}{r}$$

కాని $\frac{k}{m} = \omega^2$ ఇక్కడ ω కోణీయపునఃపుణ్యము

$$\omega^2 = \frac{g}{r}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{r}}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$ (లేదా)

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{r}{g}}$$

2. స్థూపాన్ని నీటిలోకి y దూరానికి నేట్టినప్పుడు, దానిపై ఉర్ధ్వ దిశలో పనిచేసే ఉత్ప్లవన బలము

$$F = -\rho g v$$

ఇక్కడ ρ ద్రవ సాంద్రత, g గురుత్వ త్వరణము మరియు V (= Al) స్థూప ఘనపరిమాణము.

$$F = -\rho g A\, l$$

పై సమీకరణాన్ని F = – kl తోపోల్చగా, బలస్థిరంకం, k = ρgA

ద్రవద్రవ్యరాశి, m = ρ V = ρ A l

అందువలన,

$$\omega^2 = \frac{k}{m} = \frac{\rho g A}{\rho A l} = \frac{g}{l}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

3. $$\omega^2 = \frac{k}{m}$$ మరియు

పునఃపుణ్యము, $$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

దిమ్మె స్థానభ్రంశము చెందినప్పుడు, రెండింటిలో ఒకే రబ్బరు బ్యాండ్ పునఃస్థాపక బలాన్ని ప్రయోగించును.

7.3

1. మాధ్యమిక స్థానము వద్ద గతి శక్తి గరిష్టము. స్థానభ్రంశము గరిష్టము అయినప్పుడు త్వరణము గరిష్టమగును.

2. లోలకము కంపనాలు చేస్తున్నప్పుడు, అది వేలాడదీసిన బిందువు వద్ద గల ఘర్షణకు మరియు గాలిలోని స్నిగ్ధతా బలాలకు వ్యతిరేకముగా కొంత పనిని చేయును. ఈ పని ఉష్ణ రూపములో (మారుతుంది) వెలువడుతుంది. అందుచేత దాని కంపన పరిమితి క్రమంగా తగ్గును.

7.4

1. చోదక ఆవర్తన వ్యవస్థ, ఆవర్తిత బలాన్ని చోదిత ఆవర్తక వ్యవస్థ పై పని చేసినప్పుడు రెండవ (చోదిత వ్యవస్థ) వ్యవస్థ, మొదటి (చోదక వ్యవస్థ) వ్యవస్థ యొక్క పౌనః పుణ్యముతో ఆవర్తనము చెందుతుంది. ఈ దృగ్విషయాన్ని బలాకృత కంపనాలు అంటారు. ఈ ప్రత్యేక బలాత్కృత కంపనాల సందర్భంలో చోదిత వ్యవస్థ పౌనః పుణ్యము, చోదక వ్యవస్థ పౌనః పుణ్యముతో సమానమైనప్పుడు ఏర్పడే దృగ్ విషయాన్ని అనునాదం అంటారు.

   కంపించే శృతి దండాన్ని ఒక బలం మీద దాని కాడతో తాకించి ఉంచితే, బల్ల కూడా కంపించును. కానీ బల్ల తన సహజ పౌనః పున్యముతో కంపించును. ఈ దృగ్ విషయము ను బలాత్కృత కంపనాలను తెలియజేయును. కల్పించే బల్ల ఉపరితల వైశాల్యం ఎక్కువ, అందుచేత అధిక తీవ్రత గల ధ్వని వెలువబడును.

2. సంగీత పరికరాలను శృతి చేసినప్పుడు, అవి కలిగి ఉండే సౌండ్ బోర్డ్స్ కూడా కంపించును. అనగా బలాత్కృత కంపనాలు చేసే సౌండ్ బోర్డ్స్ ఉపరితల వైశాల్యం అధికము కావడం చేత వెలువడే ధ్వని తీవ్రత పెరిగి ధ్వని వెలువడే కాలము తగ్గును.

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

4. 3 s

11. $A = \sqrt{a^2 + b^2}$, $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right)$

12. $\frac{2}{\pi} \times 10^{-3}\ m s^{-1}$

14. (a) 14.14 s^{-1} (b) 0.6 m s^{-1} (c) 0.3 m s^{-2} (d) 0.5 J

8

గురుత్వ త్వరణం

పరిచయం

ఒక బంతిని పైకి విసిరినప్పుడు అది ఎల్లప్పుడూ నేల వైపుకే ఎందుకు తిరిగి వస్తుందో మీరు ఎప్పుడైనా ఆలోచించారా? లేదా ఒక నాణాన్ని గాలిలోకి విసిరినపుడు అది నేల పైకి వెనుదిరిగి పడుతుంది. అనాదిగా ఇటువంటి దృగ్విషయాల గురించి మానవులు ఆశ్చర్య పడుతూనేవున్నారు. 17వ శతాబ్దంలో దానికి జవాబును సర్ ఇజాక్ న్యూటన్ ఇచ్చాడు. భూమి వస్తువులను ఆకర్షించడానికి కారణం గురుత్వాకర్షణ బలం అని ప్రతిపాదించాడు. ఇదే బలం చంద్రుని భూమి చుట్టూ దాని కక్ష్యలో ఉంచుతుందని, సూర్యుని చుట్టూ గ్రహాలను ఉంచుతుందని కూడా అతడు చెప్పాడు. ఇది విశ్వం అంటే విశ్వంలో ప్రతిచోట ఈ బలం ఉంటుంది. నిజానికి ఈబలమే మొత్తం విశ్వాన్ని దగ్గరకు చేర్చిడించుంది.

ఈ పాఠంలో మీరు న్యూటన్ గురుత్వాకర్షణ నియమాలను నేర్చుకుంటారు. భూమి లాగడం వలన వస్తువులో ఏర్పడటం గురించి కూడా మనం అధ్యయనం చేస్తాము. ఈ తరుణాన్నే గురుత్వ త్వరణం అంటాము. ఇది భూమి అంతటా స్థిరంగా ఉండదు. ఏఏ అంశాల కారణంగా ఇది మారుతూ ఉంటుందో మీరు నేర్చుకుంటారు. గ్రహ గమనాలకు సంబంధించిన నియమాలు మరియు రకరకాల కృత్రిమ ఉపగ్రహాల కక్ష్యల గురించి ఈ పాఠంలో మీరు అధ్యయనం చేస్తారు. చివరకు భారతదేశంలోని అంతరిక్ష పరిశోధనా రంగంలో జరుగుతున్న కొన్ని ముఖ్యమైన కార్యక్రమాలు మరియు సాధించిన విజయాల గురించి తెలుసుకుంటారు.

లక్ష్యాలు

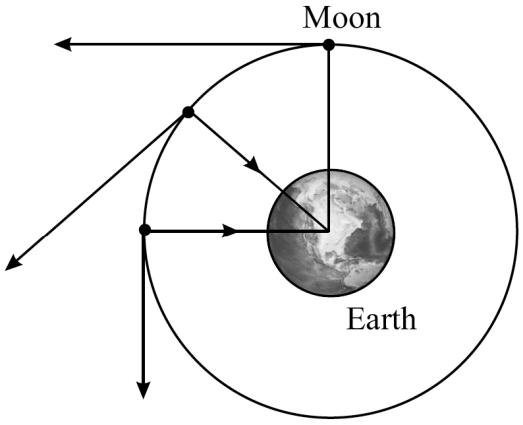
ఈ పాఠం చదివిన తరువాత మీకు ఈ క్రింది విషయాలు తెలుస్తాయి.

- గురుత్వాకర్షణ నియామాలు ప్రవచిస్తారు.
- గురుత్వాకర్షణ స్థిరాంకం (G) నిర్వచించి. ఏ విలువను కనుగొంటారు.
- గురుత్వాకర్షణ క్షేత్రం, క్షేత్ర తీవ్రత మరియు గురుత్వాకర్షణ స్థితి శక్తిని వివరించగలరు.
- ఖగోళ వస్తువుల యొక్క గురుత్వ త్వరణం విలువను గణించగలరు.
- గురుత్వ త్వరణం యొక్క విలువ ఎత్తు, లోతు మరియు అక్షాంశాలతో మార్పుకు కారణాలు విశ్లేషిస్తారు.
- గ్రహ చలనానికి కారణమైన బలాలను గుర్తించి కెప్లర్ గ్రహగతుల నియమాలను గురించి ప్రవచించగలుగుతారు కక్ష్య వేగం మరియు పలాయన వేగాలకు గణించగలుగుతారు.
- కక్ష్య వేగాన్ని మరియు పలాయన వేగాన్ని లెక్కించగలుగుతారు.
- ఒక కృత్రిమ ఉపగ్రహాన్ని ఎలా ప్రయోగించగలరో వివరించగలుగుతారు.

- ధృవ మరియు భూమధ్యరేఖల కృత్రిమ ఉపగ్రహాల మధ్య తేడాలు చెప్పగలుగుతారు.
- ఒక ఉపగ్రహం భూస్థిర ఉపగ్రహంగా ఉండాలంటే షరతులు చెప్పగలుగుతారు.
- ఒక భూస్థిర ఉపగ్రహం ఎంత ఎత్తులో ఉండాలో గణించగలడం మరియు దాని అనువర్తనాల పట్టికను రాయగలుగుతారు.
- కృత్రిమ ఉపగ్రహ కేక రంగంలో భారతదేశం సాధించిన ప్రగతిని చెప్పగలుగుతారు.

8.1 గురుత్వాకర్షణ నియమం

చెట్టు నుండి ఆపిల్ నేల మీద పడినపుడు న్యూటన్ చెట్టు క్రింద కూర్చుని వున్నాడు. ఇది అతనిని ఆలోచనలో పడవేసింది. అన్ని ఆపిల్స్ మరియు ఇతర వస్తువులు నేలపై పడుతున్నాయి. కాబట్టి ఏదో ఒక బలం భూమి నుండి వాటిపై ప్రవర్తిస్తూ ఉంటుంది. అతడు తనని ప్రశ్నించుకున్నాడు. ఇదే బలం భూమి చుట్టూ చంద్రుడుని కక్ష్యలో ఉంచుతున్నదా? చంద్రుడు కక్ష్యలో తిరిగేటప్పుడు ప్రతి బిందువు వద్ద స్పర్శరేఖ వెంబడి ఎగిరిపోవాలి. కాని ఏదో బలం దానిని కక్ష్యలో పట్టి ఉంచుతుంది. ఈ అవిచ్ఛిన్న పట్టి ఉంచే బలం, నేలవైపుకు ఆపిల్‌ని లాగే బలం ఒకటేనా? కెప్లర్ నియమాల నుండి సూర్యునికి, గ్రహాలకు మధ్య గల బలం / గా మారుతుంది అని ఉత్పాదించాడు. ఇక్కడ సూర్యునికి, గ్రహానికి మధ్య దూరము. ఈ ఫలితాన్ని ఉపయోగించి అతడు ఇదే బలం భూమి చుట్టూరా చంద్రున్ని దాని కక్ష్యలో తిప్పుతుంది అని చూపించాడు. అప్పుడు విశ్వగురుత్వాకర్షణ నియమాన్ని సూత్రీకరించి తన ఆలోచనలను సామాన్యకరించాడు.



పటం 8.1 : కక్ష్యలో ప్రతి బిందువు వద్ద చంద్రుడు అచట గీదిన స్పర్శరేఖ వెంబడి ఎగిరిపోవాలి. కాని భూమ్యాకర్షణ దానిని కక్ష్యలో నిలుపుతుంది.

విశ్వంలో ప్రతీ కణం మరొక కణాన్ని కొంత బలంతో ఆకర్షిస్తుంది. ఈ బలం నాటి ద్రవ్యరాశుల లబ్ధానికి అనులోమానుపాతంలోను మరియు వాటి మధ్యదూరం యొక్క వర్గానికి విలోమానుపాతంలోను ఉంటుంది."

m_1 మరియు m_2 రెండు కణాల ద్రవ్యరాశులు మరియు వాటి మధ్య దూరము " అనుకుందాము. అప్పుడు వాటి మధ్య బలం F యొక్క పరిమాణం ఈ విధంగా ఉంటుంది.

$$\vec{F} \,\alpha\, \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

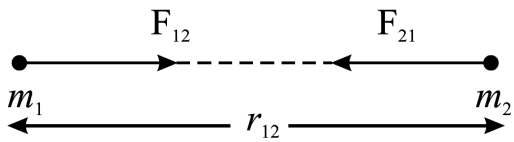
$$\vec{F} = -G\frac{m_1 m_2}{r^2} \qquad (8.1)$$

Here '–' sign indicates that the force is attractive.

ఇచ్చట G అనుపాత స్థిరాంకంను విశ్వ గురుత్వాకర్షణ స్థిరాంకం అందురు. విశ్వంలో ఎక్కడైనా రెండు వస్తువులు మధ్య దీని విలువ ఒకే విధంగా ఉంటుంది. అంటే భూమి మీద రెండు కణాల మధ్య బలం F అయితే విశ్వంలో ఎక్కడైనా అంతే దూరంలో ఈ రెండు కణాలను ఉంచితే వాటి మధ్య బలం అంతే ఉంటుంది.

One of the extremely important characteristics of the gravitational force is that it is always attractive. It is also one of the fundamental forces of nature.

ఈ గురుత్వాకర్షణ బలం యొక్క అతి ముఖ్యమైన అభిలక్షణం ఏమిటంటే అది ఎప్పుడూ ఆకర్షణ బలం. అది ప్రకృతి బలాలలో ఒక ప్రాథమిక బలం. ఈ ఆకర్షణ పరస్పరం అని గుర్తించుకోవాలి. అంటే ద్రవ్యరాశి m_1 గల కణం, m_2 ద్రవ్యరాశి గల కణాన్ని ఆకర్షిస్తుంది మరియు m_2 కణం m_1 ను ఆకర్షిస్తుంది. ఇంకా ఈ బలం ఆ రెండు కణాలను కలిపే రేఖ వెంబడి ఉంటుంది.



పటం 8.2 : ద్రవ్యరాశులు, m_1 మరియు m_2 లు r_{12} దూరంలో ఉంచబడ్డాయి. ద్రవ్యరాశి m_1, ద్రవ్యరాశి m_2 ను F_{12} బలంతో మరియు ద్రవ్యరాశి m_2, ద్రవ్యరాశి m_1 ను F_{21} బలంతో ఆకర్షిస్తుంది.

బలం అనేది సదిశరాశి. సమీకరణం 8.1 కి మార్పు. అవసరమా? ఈ ప్రశ్నకు జవాబుగా ఈ సమీకరణం పరిమాణం మరియు దిశను ప్రతిబింబించగలగాలి. పైన ప్రవచించినట్లు ఈ గురుత్వ బలము కణాలను కలుపు రేఖ వెంబడి ప్రవర్తిస్తుంది. అనగా m_1 మరియు m_2 అను కణాలను కలుపు రేఖ వెంబడి పనిచేస్తుంది. (పటం 8.2) ద్రవ్యరాశి m_1. ద్రవ్యరాశి m_2 పై కలుగచేసే ఆకర్షణ బలాన్ని F_{12} తో సూచించి వాటి మధ్య దూరాన్ని r_{12} తో సూచిస్తే గురుత్వాకర్షణ నియమం యొక్క సదిశా రూపాన్ని ఇలా రాయవచ్చు.

$$\vec{F}_{12} = G\frac{m_1 m_2}{(\mathbf{r}_{12})^2}\hat{\mathbf{r}}_{12} \qquad (8.2)$$

ఇచ్చట $\hat{r}_{12}$ అనునది m_1 నుండి m_2 దిశలో ఏకాంక సదిశ. ఇదే విధంగా ద్రవ్యరాశి m_1, ద్రవ్యరాశి m_2 పై కలుగచేసే ఆకర్షణ బలాన్ని $\vec{F}_{21}$ తో సూచించి, వాటి మధ్య దూరాన్ని $\hat{\mathbf{r}}_{12}$ తో సూచిస్తే గురుత్వాకర్షణ నియమం యొక్క ది రూపాన్ని ఈ క్రింది విధంగా రాయచ్చు.

$$\vec{F}_{21} = -G\frac{m_2 m_1}{(\mathbf{r}_{21})^2}\hat{\mathbf{r}}_{21} \qquad (8.3)$$

ఇక్కడ $\hat{\mathbf{r}}_{12}$ మరియు $\hat{\mathbf{r}}_{21}$ లు ఏకాంక పరిమాణాన్ని కలిగి ఉండి వ్యతిరేక దిశలలో ఉంటాయి. పై సమీకరణము 8.3 లో ఋణ గుర్తు సదిశ $\hat{\mathbf{r}}_{21}$ యొక్క దిశ సదిశ $\hat{\mathbf{r}}_{12}$ దిశకు వ్యతిరేక దిశలో ఉండుటను తెలుపుతుంది మరియు కావున $\hat{\mathbf{r}}_{12} = -\hat{\mathbf{r}}_{21}$. కావున సమీకరణము 8.2 మరియు సమీకరణము 8.3 నుండి.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \qquad (8.4)$$

బలాలు $\vec{F}_{12}$ మరియు $\vec{F}_{21}$ లు సమానం మరియు వ్యతిరేకంగా ఉండి చర్య మరియు ప్రతిచర్య జత బలాలుగా ఉండి న్యూటన్ మూడవ గమన సూత్రానికి అనుగుణంగా ఉంటాయి. $\hat{\mathbf{r}}_{12}$ మరియు $\hat{\mathbf{r}}_{21}$ లు ఏకాంక పరిమాణం గుర్తుంచుకోవాలి. ఈ సదిశల దిశలు ఒకదానినొకటి వ్యతిరేకము. ఈ విషయము ప్రత్యేకించి చెప్పకపోతే ఈ పాఠంలో గురుత్వాకర్షణ యొక్క పరిమాణం మాత్రమే ఆలోచిస్తాము.

స్థిరరాశి G విలువ ఎంత చిన్నదంటే న్యూటన్ గాని, అతని సమకాలీన ప్రాయోగిక శాస్త్రవేత్తలు కాని దాని నిర్ణయించలేకపోయారు. 100 సంవత్సరాల తరువాత తొలిసారిగా దానిని 'కావెండిష్ కనుగొన్నాడు. ఈ రోజున

దానిని అంగీకరించిన విలువ 6.67×10^{-11} $Nm^2 kg^{-2}$ కు ఇంత తక్కువ విలువ ఉంది కాబట్టే సాధారణ వస్తువుల మధ్య ఈ గురుత్వాకర్షణ బలం మనం గ్రహించలేము.

ఉదాహరణ 8.1

కెప్లర్ మూడవ సూత్రము (దీని గురించి ఎక్కువగా తర్వాత చర్చిస్తాము) సూర్యునికి, గ్రహానికి మధ్య దూరము 'r' మరియు T దాని కక్ష్య ఆవర్తన కాలం అయితే $\frac{r^3}{T^2}$ = స్థిరరాశి. గ్రహం పై ప్రవర్తించు బలం, దూరం యొక్క వర్గానికి విలోమానుపాతంలో ఉన్నదని చూపండి.

సాధన :

సరళత కోసం గ్రహం యొక్క వృత్తాకారముగా ఉన్నదనుకొనుము (నిజానికి కక్ష్యలు దాదాపు వృత్తాకారముగా ఉంటాయి). అప్పుడు గ్రహంపై పనిచేయు అప కేంద్రబలం

$$\vec{F} = \frac{mv^2}{r}$$

ఇక్కడ v కక్ష్యా వేగము. కాని $\vec{v} = r\omega = \frac{2\pi r}{T}$, ఇక్కడ T ఆవర్తనా కాలము. ఇప్పుడు పై సమీకరణాన్ని క్రింది విదముగా వ్రాయగలము.

$$\vec{F} = \frac{m\left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2}{r} = \frac{4\pi^2 mr}{T^2}$$

కాని $T^2 \propto r^3$ లేదా $T^2 = Kr^3$ (కేప్లర్ మూడవ నియమము). ఇక్కడ K అనులోమానుపాత స్థిరాంకం. కావున,

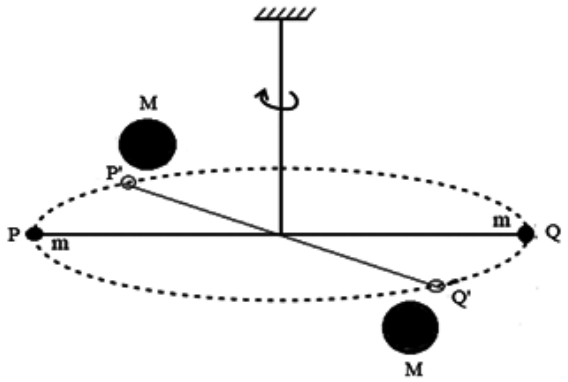
$$\vec{F} = \frac{4\pi^2 mr}{Kr^3} = \frac{4\pi^2}{K} \times \frac{m}{r^2} = \frac{4\pi^2 m}{K} \cdot \frac{1}{r^2}$$

$$\vec{F} \propto \frac{1}{r^2} \qquad (\because \frac{4\pi^2 m}{K} \text{ ఒక గ్రహానికి ఇది ఒక స్థిరాంకం})$$

8.2 విశ్వ గురుత్వ స్థిరాంకం

ప్రయోగాత్మకంగా విశ్వ గురుత్వ స్థిరాంకం G విలువను ఆంగ్ల శాస్త్రవేత్త హెన్రీ కావెండిష్ 1798 లో కనుగొన్నాడు. దీని కొరకు ఉపయోగించిన ప్రయోగ నిర్మాణము పటం 8.3 లో చూపబడింది.

'm' ద్రవ్యరాశి గల రెండు చిన్న గోళాలు చివరల వద్ద జోడించబడిన ఒక కడ్డి 'PQ' ని ఒక సన్నని తీగతో వ్రేలాడదీయబడి ఉంటుంది. ఈ కడ్డీని పురిపెట్టి భ్రమణము చెందించిన) వదిలినప్పుడు, తీగలో ఏర్పడే పూరి వలన పునః స్థాపక బలము ఏర్పడుతుంది. ఇట్టి బలము కల్గి పొందిన భ్రమన కోణానికి అనులోమానుపాతములో ఉంటుంది.



పటం 8.3 : కావెండిష్ ప్రయోగ నిర్మాణము.

'M' ద్రవ్యరాశి గల రెండు పెద్ద గోళాలను 'PQ' కడ్డీ చివర జతచేయబడిన చిన్న గోళాల దగ్గరకు తీసుకువచ్చినప్పుడు, ద్రవ్యరాశి గల వస్తువులు ఆకర్షిస్తాయి కావున, పెద్ద గోళాలు చిన్న గోళాలపై గురుత్వాకర్షణ శక్తిని ప్రయోగిస్తాయి. ఈ గురుత్వాకర్షణ శక్తి కారణంగా, కడ్డీ మెలితిప్పబడి (పూరి పెట్టబడి), తీగలో పునః స్థాపక బలము ఏర్పడుతుంది. ఈ బలాన్ని గురుత్వ బలము సమతుల్యం చేసిన తర్వాత, కడ్డీ 'PQ' విరామ స్థితికి వస్తుంది. 'M' మరియు 'm' ద్రవ్యరాశి మధ్య గురుత్వ ఆకర్షణ బలాన్ని 'F' అని అనుకుందాం. అప్పుడు.,

$$\vec{F} = G\,\frac{Mm}{d^2} \qquad (8.5)$$

ఇక్కడ 'd'అనేది పెద్ద గోళం మరియు దాని పొరుగున ఉన్న చిన్న గోళం యొక్క కేంద్రాల మధ్య దూరము.

కానీ ఈ ఐలము రెండు చిన్న గోళాలపై వ్యతిరేక దిశలో మరియు సమాంతరముగా పనిచేస్తుంది. ఫలితముగా కడ్డీ 'PQ' పై పునఃస్థాపక బలయుగ్మము ఏర్పడుతుంది. 'L' అనేది కడ్డీ యొక్క పొడవు అని అనుకుందాం. అప్పుడు పునః స్థాపక బలయుగ్మము,

$$\text{పునఃస్థాపక బలయుగ్మము} = L \times F = G\,\frac{Mm}{d^2}L \qquad (8.6)$$

'θ' అనేది పూరి కోణం మరియు 7 అనేది ప్రమాణ పురి కోణానికి పునః స్థాపక బలయుగ్మము అని అనుకుందాం, అప్పుడు కడ్డీ 'PQ' పై కలిగే పునః స్థాపక బలయుగ్మము,

$$\text{పునఃస్థాపక బలయుగ్మము } PQ = \tau\theta \qquad (8.7)$$

సమీకరణములు (8.6) మరియు (8.7) ల నుండి. 8.7

$$G\frac{Mm}{d^2}L = \tau\theta \qquad (8.8)$$

ద్రవ్య రాశులు 'M', 'm' మరియు కడ్డీ పొడవు 'L' తెలిసినప్పుడు, ప్రమాణ కోణానికి తెలిసిన పునఃస్థాపక బలయుగ్మము గల తీగ ద్వారా కబడ్డీని వ్రేలాడదీసినాము అని అనుకుందాము. అప్పుడు సమీపముగా ఉన్న ద్రవ్యరాశుల మధ్య దూరము 'd'ని ప్రయోగాత్మకంగా కొలవవచ్చు. ఈ దత్తాంశము ద్వారా సమీకరణం (8.8) నుండి 'G'ని లెక్కించడానికి వీలుపడుతుంది. కావెండిష్ ప్రయోగం నుండి. 'G' యొక్క విలువను 6.67×10^{-11} $Nm^2\ kg^{-2}$.గా కనుగొనడమైనది.

8.3 గురుత్వ క్షేత్రం మరియు క్షేత్ర తీవ్రత ($\vec{E}$)

గురుత్వ క్షేత్రం : ఒక ద్రవ్యరాశి చుట్టూ ఉన్న ప్రాంతములోని ఏ పరిధిలో, ఇతర ద్రవ్యరాశి గురుత్వాకర్షణ బల ప్రభావానికి లోనౌతుందో, ఆపరిదిలోనిప్రాంతాన్ని గురుత్వ క్షేత్రం అంటారు. గురుత్వ క్షేత్రములోని ఏదేని బిందువు వద్ద ఉంచిన ప్రమాణ ద్రవ్యరాశి పై పనిచేయు గురుత్వ బలాన్ని ఆ బిందువు వద్ద గురుత్వ క్షేత్ర తీవ్రత $\vec{E}$ గా నిర్వచిస్తాము.

ద్రవ్యరాశి M వలన ఏర్పడిన క్షేత్రములో దాని నుండి r దూరంలోపరీక్షద్రవ్యరాశి 'm' ని ఉంచినట్లయితే, పరీక్ష ద్రవ్యరాశి అనుభవించే గురుత్వ బలము F ను క్రింది విధముగావ్యక్తపరుచగలము.

$$\vec{F} = -G\frac{mM}{\mathbf{r}^2}\hat{\mathbf{r}} \qquad (8.9)$$

ఇక్కడ $\hat{\mathbf{r}}$ ఏకాంక సదిశ.

నిర్వచనం నుండి, ద్రవ్యరాశి M వలన దాని క్షేత్రములో P బిందువు వద్ద గురుత్వ క్షేత్ర తీవ్రత,

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{m} \qquad (8.10)$$

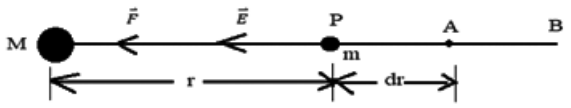
సమీకరణములు (8.9) మరియు (8.10) ల నుండి,

$$\vec{E} = -G\frac{M}{\mathbf{r}^2}\hat{\mathbf{r}} \qquad (8.11)$$

పై సమీకరణములోని ఋణ గుర్తు, క్షేత్రము M ద్రవ్యరాశి యొక్క గురుత్వ కేంద్రము వైపు పని చేయుటను తెలుపుతుంది. సమీకరణము (8.11) గురుత్వ క్షేత్ర తీవ్రతకు సమాసాన్ని సూచిస్తుంది.

8.4 గురుత్వ స్థితిజ శక్తి (U)

ఒక వస్తువు యొక్క గురుత్వ క్షేత్రంలోని ఏదేని బిందువు వద్దగురుత్వ స్థితిజ శక్తిని, అనంత దూరము నుండి ప్రమాణ ద్రవ్యరాశిని క్షేత్రములోని ఆ బిందువు వద్దకు తీసుకురావడానికి చేసిన పనిగా నిర్వచిస్తాము.



పటం 8.4 : M ద్రవ్యరాశి గల వస్తువు నుండి r దూరములో గల బిందువు P వద్ద ఉంచిన మరొక ద్రవ్యరాశి m మరియు దాని గురుత్వ క్షేత్రము.

The gravitational potential energy at a point in a gravitational field of a body is defined as the amount of work done in moving another body of unit mass from infinity to that point.

'M' ద్రవ్యరాశి వలన ఏర్పడిన గురుత్వ క్షేత్రములో, m ద్రవ్యరాశి గల మరొక వస్తువును ఒక స్వల్ప దూరము dr జరపడములో చేసిన పనిని dW అనుకుందాము. అప్పుడు, గురుత్వ స్థితిజ శక్తిని క్రింది విధముగా వ్రాయగలము.

$$dU = dW = \text{బలము} \times \text{స్థానభ్రంశము}$$

$$dU = -F \cdot dr \qquad (8.12)$$

కానీ m ద్రవ్యరాశిని అనంతం నుండి M ద్రవ్యరాశికి r దూరంలో ఉన్న P బిందువుకు జరపడములోచేసిన పని లేదా దానిలో ఏర్పడిన స్థితిజ శక్తిని క్రింది విధముగా పొందగలము.

$$U = -\int_{\infty}^{r} F.dr \qquad (8.13)$$

కానీ ఈ బలము అనేది m మరియు M ద్రవ్యరాశి గల రెండు వస్తువుల మధ్య పనిచేసే గురుత్వ బలము. కావున పై సమీకరణములో గురుత్వ బలాన్ని ప్రతిక్షేపించగా,

$$U = -\int_{\infty}^{r} -G\frac{Mm}{r^2}dr$$

$$U = GMm\int_{\infty}^{r}\frac{1}{r^2}dr$$

$$U = -G\frac{Mm}{r} \qquad (8.14)$$

పై సమీకరణము (8.14), ద్రవ్యరాశి 'M' గురుత్వ క్షేత్రంలో, ఉంచిన ద్రవ్యరాశి 'm' లో నిల్వ చేయబడిన గురుత్వ స్థితిజ శక్తిని సూచిస్తుంది.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 8.1

1. భూమి చుట్టూ చంద్రుని యొక్క భ్రమణావర్తనకాలం 27.3 రోజులు, స్థిర నక్షత్రాల పరంగా ఇది ఆవర్తన కాలం అని గుర్తించుకోవాలి. (చలించే భూమి పరంగా భ్రమణావర్తన కాలం దాదాపు 29.5 రోజులు. కొన్ని పంచాంగలలో ఈ సమయాన్నీ ఉపయోగించి నెల యొక్క సమయాన్ని నిర్ణయిస్తారు.) చంద్రుని యొక్క కక్ష్యా వ్యాసార్ధం 3.84 × 10 మీటర్లు (భూ వ్యాసార్ధానికి 60రెట్లు) చంద్రుని యొక్క అపకేంద్ర త్వరణాన్ని గణించండి. ఇది 9.8 మీ.సెను 3600 చే భాగిస్తే వచ్చే విలువకు దరిదాపుగా సమానంగా వుంటుందని చూడండి. గురుత్వాకర్షణ $\frac{1}{r^2}$ పరంగా మారుతూ ఉంటుందని తీసుకోండి.
2. సమీకరణం 8.1 నుండి G యొక్క మితులను రాబట్టండి.
3. సమీకరణం 8.1ను ఉపయోగించి 2 కి.గ్రా, ద్రవ్యరాశులు 1 మీ. దూరంలో వేరుచేయబడినప్పుడు వాటి మధ్య ఉంచే బల పరిమాణమే G నిర్వచనము అని చూపండి?
4. కొంత దూరంలో ఉంచబడిన రెండు ద్రవ్యరాశులు మధ్య బల పరిమాణము F. అయితే
   (i) ద్రవ్యరాశులను మార్చుకుండా దూరమును రెట్టింపు చేసిన,
   (ii) దూరము స్థిరముగా ఉంచి ద్రవ్యరాశులు రెట్టింపు చేసిన
   (iii) దూరము రెట్టింపు మరియు ఒక్కొక్క ద్రవ్యరాశి రెట్టింపు చేసిన, F విలువకు ఏమి జరుగును.

5. 50 కి.గ్రా మరియు 60 కి.గ్రా ద్రవ్యరాశులు గల రెండు వస్తువులను 1 మీ. దూరము వేరు చేసినారు. వాటి మధ్య గల గురుత్వాకర్షణ బలమును గణించండి.

8.5 గురుత్వ త్వరణం

న్యూటన్ రెండవ గమన సూత్రం ప్రకారం, 'm' ద్రవ్యరాశి గల ఒక వస్తువుపై F బలం ప్రయోగించినపుడు, ఆ వస్తువులో 'a' త్వరణం కలుగుతుంది అని మనకు తెలుసు. దీనిని ఈ క్రింది సంబంధం ప్రకారం వ్యక్తపరుచగలము.

$$\vec{\mathbf{F}} = m\vec{a} \qquad (8.15)$$

గురుత్వ బలం కూడా, అనగా భూతలం మీద లేదా దగ్గరగా వున్న వస్తువుపై కూడా ప్రవర్తించేబలం, వస్తువులో త్వరణాన్ని కల్గిస్తుంది. వస్తువులో గురుత్వబలం కలిగించే త్వరణాన్నే గురుత్వ త్వరణం అంటారు. దీనిని 'g' గుర్తుతో సూచిస్తారు. కావున సమీకరణం 8.15 నుండి, 'm' ద్రవ్యరాశి గల వస్తువు భూతలం పైవున్నప్పుడు దానిపై గురుత్వబలం పరిమాణం క్రింది విధంగా ఉంటుంది.

$$\vec{\mathbf{F}} = mg \qquad (8.16)$$

సమీకరణము 8.1 నుండి, 'M' ద్రవ్యరాశి గల భూమి మరియు 'm' ద్రవ్యరాశి గల వస్తువు మధ్య పనిచేసే గురుత్వ బల పరిమాణము

$$\vec{F} = G\frac{mM}{R^2} \qquad (8.17)$$

ఇచట R భూ వ్యాసార్థం. సమీకరణాలు (8.16) మరియు (8.17) ల నుండి

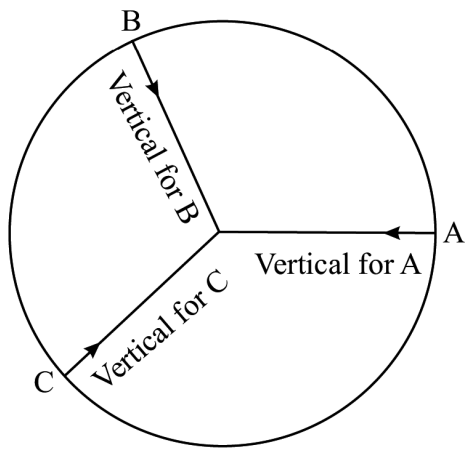
$$mg = G\frac{mM}{R^2}$$

(or)

$$g = G\frac{M}{R^2} \qquad (8.18)$$

వస్తువుపై గురుత్వబలం దిశ భూ కేంద్రం వైపు ఉంటుంది. ఈ దిశనే మనం లంబదిశ అంటాము. పటం 8.5లో భూతలంపై వేరు వేరుప్రాంతాలలో లంబాలు చూపబడినవి. ఈ లంబానికి లంబంగా ఉండే దిశను క్షితిజ సమాంతరము అంటారు.

భూమి లేదా మరి ఏ ఇతర ఖగోళ వస్తువు (అంటే గ్రహం) యొక్క ద్రవ్యరాశి (M) మరియు వ్యాసార్థం (R) తెలిస్తే ఆ ప్రాంతములో 'g' విలువను సమీకరణం (8.18) ఉపయోగించి గణించవచ్చు. భూ ఉపరితలము పై సాధారణంగా 'g' విలువను 9.8 ms^{-2} గా తీసుకుంటారు.



పటం 8.5 : భూతలం పై ఏ బిందువు వద్దనైన లంబదిశ భూ కేంద్రం వైపుకు ఆ బిందువు నుండి ఉండే దిశ అవుతుంది.

ఒక ఉపగ్రహం లేదా గ్రహం యొక్క ద్రవ్యరాశి, వ్యాసార్ధం ఇవ్వబడితే, మనం సమీకరణం (8.18) ను ఉపయోగించి ఆ ఉపగ్రహం లేదా గ్రహం యొక్క గురుత్వ త్వరణాన్ని కనుగొనవచ్చును.

మరికొంత ముందుకు వెళ్లేముందు మరొక్కసారి సమీకరణం (8.18) ను చూద్దాం. ఒక వస్తువులో కలిగే గురుత్వత్వరణం దాని ద్రవ్యరాశిపై ఆధారపడదు. అంటే తేలికైన లేదా బరువైన బంతులు ఒకే వేగంతో క్రిందికి పడతాయి. అంటే కొంత ఎత్తునుండి ఈ బంతులను నేలపైకి జారవిడిచితే రెండూ ఒకేసారి నేలను చేరుతాయి.

కృత్యం 8.1

ఒక కాగితం ముక్క మరియు చిన్న గులుకరాయి తీసుకొనండి. కొంత ఎత్తు నుండి ఈ రెండింటిని ఒకేసారి జారవిడవండి. ఈ రెండు వస్తువులు అనుసరించిన మార్గమును పరిశీలించండి. అవి నేలను తాకేందుకు పట్టే సమయంను గుర్తించండి. ఇపుడు రెండు గులకరాళ్ళు తీసుకోండి. ఒకటి రెండవదాని కంటే బరువు అయినది అయివుండాలి. ఈ రెండింటిని కొంత ఎత్తు నుండి ఒకేసారి నేలపైకి జారపడవండి. ఈ రెండు నేలను తాకేందుకు ఎంత సమయం తీసుకున్నవో గమనించండి.

గురుత్వాకర్షణ ప్రభావములో వస్తువుల పతనం

గురుత్వాకర్షణ ప్రభావములో, బరువు అయిన మరియు తేలికైన గులకరాళ్ళు నేలపై ఒకే రేటులో పతనం చెందుతాయిఅనే నిజం కొంచం వింతగా కనిపించవచ్చు. 16వ శతాబ్ధం వరకు తేలిక వస్తువు కన్నా. బరువు వస్తువు ముందు నేలను తాకుతుందని సాధారణంగా సమ్మకం ఉండేది. ఏమైనప్పటికీఆసమయంలోని గొప్ప శాస్త్ర వేత్త గెలీలియో రెండు వస్తువులు ఒకే రేటులో నిజంగా నేలపై పడతాయి అని చూపించాడు. అతడు పీసాటవర్ పైకి ఎక్కి ఒకే సమయంలో తగినంత వేరు వేరు ద్రవ్యరాశులు గల రెండు ఇనుప బంతులను క్రిందికి వదిలాడు అని చెప్పుకుంటారు. ఈ బంతులు నేలను ఒకేసారి చేరాయి. కాని ఒక ఈక, మరియు రాయిని ఒకేసారి నేలపైకి పదిలినపుడు రెండు నేలను చేరేందుకు భిన్న సమయాలు తీసుకున్నాయి. ఈక నెమ్మదిగా క్రిందకు పడడానికి కారణం అది ఎక్కువగా గాలి ఉత్సవన బలానికి లోను కావడమేనని గెలీలియో వాదించాడు. గాలి కనుకలేకపోతే ఆ రెండు ఒకేసారి నేలమీద పడేవిఅన్నాడు. ఇటీవల కాలంలో వ్యోమగాములు చంద్రుడిపై ఒక ఈకను, రాయిని వదిలి ప్రయోగం చేసారు. ఆ రెండు ఒకేసారి నేలపైన పడినట్లు నిరూపించారు. చంద్రునిపై వాతావరణం లేదా గాలి ఉండదు అని గుర్తుంచుకోండి.

గురుత్వాకర్షణ ప్రభావంవల్ల వస్తువు నిటారుగా కింది వైపుకు భూమి పై కేసి పడుతుంది. భూతలం నుండి కొద్ది ఎత్తులకు గురుత్వ త్వరణం పెద్దగా మారదు. అందువలన తొలి మరియు తుది వేగాలు, 't' కాలంలో ప్రయాణం చేసిన దూరలకు చలన సమీకరణాలు క్రింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$v = u + gt \qquad (8.19\ [a])$$

$$s = ut + \frac{1}{2}gt^2 \qquad (8.19\ [b])$$

$$v^2 = u^2 + 2gs \qquad (8.19\ [c])$$

వస్తువు చలన దిశ ఏవిధంగా వున్నప్పటికి 'g' ఎల్లప్పుడు లంబంగా కింది వైపు దిశలోనే వుంటుందని ముఖ్యంగా గుర్తుంచుకోవాలి. 'g' విలువతో సమానము అయిన త్వరణంతో వస్తువు పతనం చెందుతూ ఉంటే దానిని స్వేచ్ఛా పతనం అంటారు.

వస్తువు నిశ్చిలతనుండి కిందకు పడుతుంటే 't' కాలంలో అది $s = h$ దూరము ప్రయాణించినది అనుకుందాము. అప్పుడు, సమీకరణము 8.19(b) నుండి,

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \qquad (8.19\ [d])$$

ఇక్కడ $u = 0$ వస్తువునిచ్చలతనుండిప్రారంభమైనది.

అందువలన ఒక బరువు అయిన నాణెమును కొంత ఎత్తు నుండి జార విడిచి దాన్ని పతనానికి పట్టే కాలాన్ని ఖచ్చితమైన స్టాప్ వాచ్ సహాయంతో కొలిచే చిన్న ప్రయోగం చేయడము వల్ల %స్త్ర% విలువ మనకు వస్తుంది. 5 రూపాయి నాణెము, ఒక మీ. దూరము కిందకు పడడానికి తీసుకునే సమయాన్ని సమీకరణము 8.19(d) ను ఉపయోగించి కొలిస్తే, అనేక ప్రయత్నాలకు సగటు పతన సమయం 0.45 సె. వుంటుందని మీకు తెలుస్తుంది. ఈ దత్తాంశమును ఉపయోగించి 'g' విలువను గణించవచ్చును. ఏది ఏమైనప్పటికీ ప్రయోగశాలలో సామన్య లోలకం ఉపయోగించి 'g' విలువను పరోక్ష పద్ధతి ద్వారా మీరు కొనుగుంటారు.

భూతలంపై ఉన్న వస్తువు మరియు భూమికి మధ్యన ఉన్న దూరముగా భూవ్యాసార్ధంను తీసుకొని ఆ వస్తువు పై గురుత్వ బలాన్ని గణించడం ఎందుకో అని మీకు ఆశ్చర్యాని కలిగించవచ్చు. మనము రెండు విడివిడి కణాలు లేదా బిందు ద్రవ్యరాశులను పరిగణించినపుడు వాటి మధ్య దూరము అవి వేరు చేయబడ్డ దూరమునకు సమానము. కాని, సాగదీసిన రెండు వస్తువుల మధ్య గురుత్వ బలాన్ని మనము గణనంచేసేటపుడు మనము ఏ దూరమును లెక్కలోకి తీసుకుంటాము? ఈ సమస్యలను పరిష్కారదిశగా వస్తువు యొక్క గరిమనాభి భావనను పరిచయం చేస్తాము. గురుత్వ ప్రభావానికి సంబందించి ఈ గరిమనాభి బిందువును వస్తువుకు బదలుగా తీసుకొంటే ఫలితం ఒకే విధంగా ఉంటుంది. జామీతీయంగా ఏకరీతి సాంద్రతగలక్రమాకార వస్తువులు అయిన గోళాలు, స్థూపాలు, దీర్ఘచతురస్రాలకు జ్యామితీయ కేంద్రమే వాటి గరిమనాభి అవుతుంది. అందుకే మనం భూ కేంద్రమును, మిగతా వస్తువులతో మధ్య దూరమును కొలచేటపుడు ఎంచుకుంటాము. ఆక్రమాకారపు వస్తువుల విషయంలో వాటి గరిమనాభిని గుర్తించేందుకు సులువైన మార్గములేదు.

ఒక లోహపు వలయం యొక్క గరిమనాభిఎచటవుంటుంది? వలయం కేంద్రములో ఉంటుంది. కాని ఈ బిందువు వస్తువు ద్రవ్యరాశి వెలుపల ఉంది. దీని అర్ధము వస్తువు గరిమనాభి దాని వెలుపల ఉండవచ్చును. మీకు (మనకు) ఒక క్రమాకారం ఉందని భావించిన మీ (మన)గరిమనాభి ఎక్కడ ఉంటుంది? అంటే మీ గరిమనాభి మీ శరీరం మధ్యభాగం అయిన నాభీ దిగువ భాగంలో ఎక్కడో వుంటుంది.

తరువాత పాఠ్యక్రమంలో వస్తువు యొక్క ద్రవ్యరాశి కేంద్రం గురించి కూడా మీరు నేర్చుకుంటారు. ఈ బిందువు వద్ద మొత్తం వస్తువు యొక్క ద్రవ్యరాశి అంతా కేంద్రీకృతం అయి ఉందని భావిస్తారు. భూమి వద్ద ఉండే రకంగా ఏకరీతి గురుత్వక్షేత్రంలో, ద్రవ్యరాశి కేంద్రం, గరిమనాభితో ఏకీభవిస్తుంది.

గరిమనాభి లేదా ద్రవ్యరాశి కేంద్రములను ఉపయోగించడం వలన మనం చేసే గణనాలు చాలా సులువుఅవుతాయి. వస్తువులో ఉండే విడివిడి కణాల మధ్యన ఉండే బలాలను గణించి చివరకు ఈ బలాల ఫలితాన్ని కనుగొనడంలో, ఎన్ని గణనాలు ఇమిడి ఉంటాయో ఉహించుకోండి.

'G' మరియు g లు వేరు వేరు భౌతిక రాశులు సూచిస్తాయని మీరు గుర్తించుకోవాలి. 'G' అనేది విశ్వ గురుత్వ స్థిరాంకం. ఇది ఎక్కడైనా ఒకే విధంగా ఉంటుంది. g అనేది గురుత్వ త్వరణం ఇది ప్రదేశ, ప్రదేశానికి మారుతూ ఉంటుంది. దీని గురించి మనం వచ్చే భాగంలో నేర్చుకుంటాము.

ఇప్పుడు మీ ప్రగతిని పరీక్షించుకునేందుకు కింది కొన్ని ప్రశ్నలకు మీరు జవాబులు వ్రాయవలసి ఉంటుంది.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 8.2

1. భూమి ద్రవ్యరాశి 5.97×10^{24} kg మరియు దాని సగటు వ్యాసార్థం 6.37×10^{6} m. భూతలం మీద 'g' విలువను గణించండి?
2. భూ మధ్యరేఖ వద్ద భూ వ్యాసార్థము 6378 km ఒరియు ధృవాల వద్ద 6357 km అని జాగ్రత్తగా కొలిచిన కొలతలు ద్వారా తెలిశాయి. భూ మధ్య రేఖ. ధృవాల వద్ద 'g' విలువలను సరి పోల్చుము.
3. ఒక వస్తువును పైకి విసిరినారు. (i) వస్తువు పైకి వెళ్ళినపుడు (ii) వస్తువు ప్రయాణంలో అది గరిష్ట ఎత్తులో ఉన్నపుడు (iii) అది కిందకు పడుతున్నపుడు (iv) అది భూమికి తిరిగి వచ్చినప్పుడు 'g' యొక్క దిశ ఏమిటి?
4. చంద్రుని ద్రవ్యరాశి 7.3×10^{22} kg మరియు దాని వ్యాసార్థం 1.74×10^{6} m. దీని తలంపై గురుత్వా త్వరణాన్ని గణించండి.

8.6 గురుత్వ త్వరణం 'g' లో మార్పులు

8.6.1 ఎత్తుతో 'g' లో మార్పు

Fసమీకరణం (8.18)లోని కుడివైపునగల హారంలోని R–రాశి, భూ కేంద్రం నుండి దూరం యొక్క వర్గం విలువను తెలుపుతుంది మరియు ఈ విలువ పెరిగే కొలది 'g' విలువ తగ్గిపోతుందని గమనించగలము. అందువలన భూతలం నుండి 'R' దూరంలో, అంటే భూ కేంద్రం నుండి '2R' దూరంలోను భూతలం వద్ద ఉన్న విలువలో 1/4 వ వంతు విలువకు 'g' విలువ ఉంటుంది. ఏది ఏమైనప్పటికీ భూతలం నుండి ఉండే ఎత్తు 'h' ని altitude(ఎత్తు) అని అంటారు. ఇది భూ వ్యాసార్థంతో పోలిస్తే తక్కువగా ఉంటుంది. ఇపుడు %స్త్ర% విలువను ఎత్తు 'g' వద్ద 'g_h'తో సూచిస్తే అపుడు,

$$g_h = G\,\frac{M}{(h+R)^2}$$

$$g_h = G\,\frac{M}{R^2\left(1+\frac{h}{R}\right)^2}$$

$$g_h = G\ \frac{M}{R^2}\ \frac{1}{\left(1+\frac{h}{R}\right)^2}$$

సమీకరణం (8.18) నుండి భూ ఉపరితలంపై గురుత్వ త్వరణం విలువ $g = G\frac{M}{R^2}$. ఈ విలువను పై సమీకరణములో ప్రతిక్షేపించగా,

$$g_h = \frac{g}{\left(1+\frac{h}{R}\right)^2}$$

$$\frac{g}{g_h} = \left(1+\frac{h}{R}\right)^2$$

$$\frac{g}{g_h} = 1+\frac{2h}{R}+\left(\frac{h}{R}\right)^2$$

పై సమీకరణములోని $\frac{h}{R}$ రాశి విలువ చాలా తక్కువగా ఉంటుంది. కావున $\left(\frac{h}{R}\right)^2$ రాశి విలువ మరింత తక్కువగా ఉంటుంది మరియు దీనిని విస్మరించ వచ్చును. అప్పుడు $\frac{h}{R}$

$$\frac{g}{g_h} = 1+\frac{2h}{R}$$

$$g_h = \frac{g}{\left(1+\frac{2h}{R}\right)} \qquad (8.20)$$

$$g_h = g\left(1+\frac{2h}{R}\right)^{-1}$$

పై సమీకరణములోని కుడివైపు పదాన్ని విస్తరించగా మరియు అధిక తరగతి పదాలను (తక్కువ విలువలను కలిగి ఉంటాయి) వదిలివేయగా,

$$g_h = g\left(1-\frac{2h}{R}\right) \qquad (8.21)$$

సమీకరణము (8.21) నుండి, భూమిపై ఎత్తు 'h' భూ వ్యాసార్థముతో పోల్చితే తక్కువగానే ఉంటుంది. కావున గురుత్వ త్వరణము ఎత్తుకు పోయో కొద్ది $\left(1-\frac{2h}{R}\right)$ రాశి యొక్క గుణకముగా తగ్గి, భూవ్యాసార్థములో సగము ఎత్తు వద్ద అనగా, $h = \frac{R}{2}$ వద్ద శూన్యము అవుతుంది.

ఒక చిన్న ఉదాహరణ తీసుకొని ఈ భావనను ఎలా అనువర్తింపచేయవచ్చునో అర్థం చేసుకుందాం.

ఉదాహరణ 8.2

ఆధునిక విమానం ఊర్ధ్వ దిశలో 10 km ల ఎత్తులో ఎగురుతూ ఉంటాయి. 10 km ల ఎత్తులో 'g' విలువను గణిద్దాం. భూ వ్యాసార్థం విలువ 6400 km గానూ మరియు భూతలంపై g విలువను 9.8 ms^{-2} గా తీసుకొందాం.

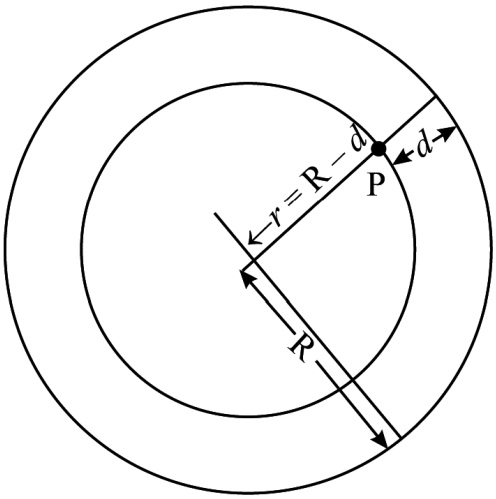
సాధన : సమీకరణము (8.20) నుండి,

$$g_h = \frac{g}{\left(1+\frac{2h}{R}\right)}$$

$$g_h = \frac{9.8\,ms^{-2}}{\left(1+\frac{2(10\,km)}{(6400\,km)}\right)} = \frac{9.8\,ms^{-2}}{1.003} = 9.77\,ms^{-2}$$

8.6.2 లోతుతో 'g' విలువలో మార్పు

పటం 8.6 లో చూపినట్లుగా భూమికి 'd' లోతులో 'P' అనే బిందువును పరిగణిద్దాము. భూమిని ఏకరీతి సాంద్రత 'ρ' గల గోళంగా ఊహించుదాం. అప్పుడు 'P' బిందువు భూ కేంద్రం నుండి r = (R – d) దూరంలో ఉంటుంది. భూమి కేంద్రమును కేంద్రముగా తీసుకొని, r = (R – d) వ్యాసార్థం గల గోళాన్ని నిర్మిద్దాము. %ూ% బిందువు వద్ద ఒక బిందు రూపద్రవ్యరాశినిఉంచినపుడు, అది ఈ క్రింది రెండు వైపుల నుండి గురుత్వబల ప్రభావాన్ని పొందుతుంది.



పటం 8.6 : భూ ఉపరితలము నుండి 'd' లోతులో , భూ కేంద్రము నుండి r = (R – d) గల బిందువు P.

1. 'd' మదం గల కర్పరములో ఉన్న కణాల వలన మరియు
2. 'r' వ్యాసార్థం గల గోళములోని కణాలు వలన

పటం (8.6) నుండి, 'P' బిందువు 'r' వ్యాసార్థము గల గోళము ఉపరితలముపై ఉన్నట్లు మరియు కర్పరము 'd' మందము, 'r' లోపలి వ్యాసార్థమును పరిశీలించగలము. కర్పరములోని కణాల వల్ల ఏర్పడు బలాలు ఒకదానినొకటి రద్దు చేసుకుంటాయని చూపించవచ్చు. అంటే 'P' వద్ద కర్పరమువల్ల కలిగే ఫలిత బలం శూన్యం అవుతుంది. అందువల్ల 'P' వద్ద గల గురుత్వత్వరణం గణించేందుకు r = (R – d) వ్యాసార్థంగల గోళం ద్రవ్యరాశిని మాత్రమే పరిగణలోకి తీసుకోవాలి. వ్యాసార్థం r = (R – d) గల గోళం ద్రవ్యరాశి 'M' విలువను క్రింది విదముగా గణించవచ్చు.

వ్యాసార్థం 'r' గల గోళం ద్రవ్యరాశి = ఘనపరిమాణము × సాంద్రత

$$M' = \left(\frac{4}{3}\pi\left(R-d\right)^3\right)\rho \qquad (8.22)$$

'P' బిందువు వద్దఉంచిన బిందు రూప ద్రవ్యరాశి పొందే గురుత్వ త్వరణము,

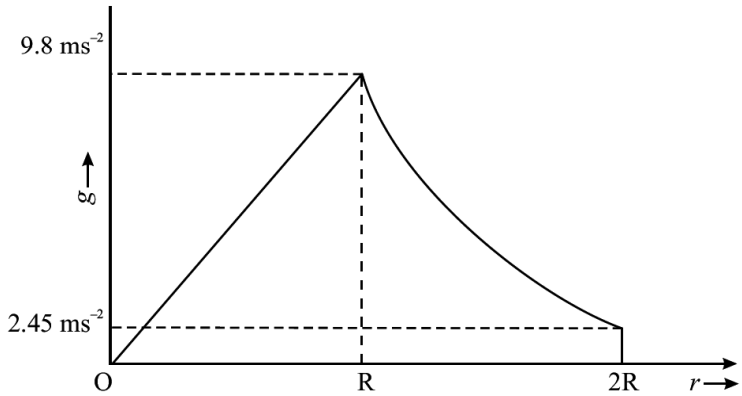
$$g_d = G\frac{M'}{\left(R-d\right)^2} \qquad (8.23)$$

సమీకరణము (8.22) మరియు (8.23) ల నుండి,

$$g_d = G\frac{1}{(R-d)^2}\left(\frac{4}{3}\pi\left(R-d\right)^3\right)\rho$$

$$g_d = \frac{4\pi G}{3}\left(R-d\right)\rho \qquad (8.24)$$

ఇక్కడ 'd' పెరిగే కొలది $(R-d)$ తగ్గిపోతుందని గమనించండి. అంటే భూమి లోపలకు వెళ్లే కొలది ఆ విలువ తగ్గిపోతుందని దీని అర్థం. $d = R$ వద్ద, అంటే భూ కేంద్రం వద్ద, గురుత్వత్వరణం, అదృశ్యమై పోతుంది. $(R-d) = r$ అనేది భూ కేంద్రం నుండి దూరం అని కూడా గమనించండి. అంటే గురుత్వత్వరణం 'r' కు రేఖీయ అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. భూకేంద్రం నుండి భూతలానికి మరియు భూ ఉపరితలముపై ఎత్తుకు 'g' విలువలోని మార్పులు పటం 8.7లో చూపబడింది



పటం 8.7: భూ కేంద్రం నుండి దూరంతో g విలువలో మార్పు.

సమీకరణము (8.24) నుండి, 'g_d' విలువను భూ ఉపరితలముపై అనగా $d = 0$ వద్ద ఉపరితలముపై గురుత్వ త్వరణ పదాలతో వ్యక్తపరచవచ్చును.

$$g = \frac{4\pi G}{3}\rho R \qquad (8.25)$$

సమీకరణములు (8.24) మరియు (8.25) ల నుండి, 'g_d' మరియు 'g' ల మధ్య సంబంధాన్ని క్రింది విధముగా పొందవచ్చును.

$$g_d = g\frac{\left(R-d\right)}{R} = g\left(1-\frac{d}{R}\right),\ 0 \le d \le R \qquad (8.26)$$

సమీకరణములు (8.21)మరియు (8.26) ల నుండి, పటం 8.7 లో చూపినట్లుగా, 'g' విలువ ఎత్తుకు వెళ్ళినప్పుడు మరియు లోతుకు వెళ్ళినప్పుడు కూడా తగ్గుతుంది అని, భూ ఉపరితలముపై గరిష్టముగా ఉంటుందని గ్రహించగలము.

8.6.3 రేఖాంశంతో 'g' విలువలో మార్పు

భూమి తన అక్షం పై తాను తిరుగుతున్న విషయం మీకు తెలుసు. దీని వల్ల భూ తలం మీద గల ప్రతికణం వృత్తాకార చలనంలో ఉంటుంది. గురుత్వము లేక పోయినట్లయితే అన్ని కణాలు భూమి మీద నుండి వాటి వృత్తాకార కక్ష్యలకు గీయబడిన స్పర్శరేఖల వెంబడి ఎగిరిపోయి ఉండేవి. మనందరని భూమికి కట్టిపడి వేయడంలో గురుత్వం చాలా ముఖ్యమైన పాత్ర నిర్వహిస్తుంది. ఒక వస్తువును వృత్తాకార చలనంలో ఉంచాలంటే దానికి అపకేంద్ర బలాన్ని సరఫరాచేయాల్సి ఉంటుందని మీకు తెలుసు. గురుత్వ బలంలో కొంత భాగం ఈ అపకేంద్ర బలం సరఫరా చేయడానికి ఉపయోగపడుతుంది. దీని ఫలితంగా, భూతలం పై వున్న వస్తువులను ఆకర్షించే బలం విలువ కొంచెం తగ్గుతుంది. భూ మధ్య రేఖ వద్ద భూ భ్రమణ ఫలితం గరిష్టంగా ఉంటుంది. ధృవాల వద్ద ఈ ఫలితం దాదాపు కనుమరుగవుతుంది. అందువల్ల ఎటువంటి ఉత్పాదనలు అవసరం లేకుండా రేఖాంశంతో 'g' విలువ ఏ విధంగా మారేది తెలియ జేసే సూత్రాన్ని మనం చెప్పు కుంటాం. ధృవాల వద్ద విలువ 'g' అనుకుంటే, రేఖాంశం వద్ద గల 'g_λ' విలువ కింది విధంగా ఉంటుంది.

gravity 'g' at latitude angle 'λ' and 'g' is the value at the equator, then

$$g_\lambda = g - R\omega^2\cos^2\lambda \qquad (8.27)$$

ఇచట 'ω' భూమి యొక్క కోణీయ వేగం, 'R' దాని వ్యాసార్థం. ధృవాల వద్ద $\lambda = 90$ కాబట్టి $g_\lambda = g$ అవుతుందని సులువుగా మీరు గ్రహించగలరు.

ఉదాహరణ 8.3

ధృవాల వద్ద g విలువను గణించండి.

సాధన :

ధృవాల వద్ద భూ వ్యాసార్థం $R = 6357 \text{ km} = 6.357 \times 10^6 \text{ m}$

భూమి యొక్క ద్రవ్యరాశి $M = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$

సమీకరణం (8.1 8)ని ఉపయోగిస్తే, $g = G\dfrac{M}{R^2}$

$$g_{Poles} = \frac{\left(6.67 \times 10^{-11}\ \text{Nm}^2\,\text{kg}^{-2}\right) \times \left(5.97 \times 10^{24}\,\text{kg}\right)}{\left(6.357 \times 10^6\,\text{m}\right)^2} = 9.853\,\text{ms}^{-2}$$

ఉదాహరణ 8.4

$\lambda = 60^o$ వద్ద g విలువను గణిద్దాం. ఇక్కడ భూమి వ్యాసార్థం 6371 km.

సాధన :

భూ భ్రమణ ఆవర్తన కాలం, $T = 24 \text{ hours} = 24 \times 60 \times \text{seconds}$

భూ భ్రమణ పౌనఃపున్యం $= \dfrac{1}{T}$

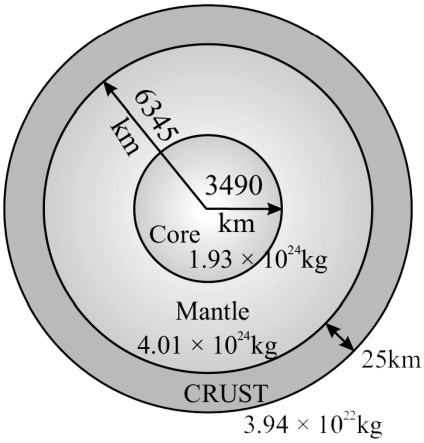
భూమి కోణీయ వేగం, $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2 \times 3.14}{24 \times 60 \times 60} = 7.27 \times 10^{-5}\ \text{rad s}^{-1}$

g_λ (60° రేఖాంశము వద్ద) $= 9.853 - (6.37 \times 10^6)(7.27 \times 10^{-5})^2 \cos^2 60$

g_λ (60° రేఖాంశము వద్ద) $= 9.853 - 0.008 = 9.844\ \text{ms}^{-2}$

భూమి అంతర్నిర్మాణం

పటం 8.8 చూడండి. భూ ద్రవ్యరాశి ఎక్కువ భాగం దాని కేంద్ర భాగం వద్ద కేంద్రీకరించబడింది. భూ ఉపరితల పొర చాలా తేలికగా ఉంది. మరీ తక్కువ లోతుల వద్ద, g విలువను గణనం చేసేటప్పుడు పెద్దగా భూ ద్రవ్యరాశిలో మార్పు ఉండదు. కాని వ్యాసార్థంలో తగ్గుదల ఉంటుంది. అందువల్ల కొంతలోతుకు వెళ్లే వరకు విలువలో పెరుగుదల ఉండి ఆ తరువాత తరుగుదల మొదలవుతుంది. అంటే భూమి ఏకరీతిగా ఉండే గోళం అనే ఊహా నిజం కాదు.



పటం 8.8 : భూమి నిర్మాణం (స్కేలుకుకాదు) భూమి యొక్క మూడు ముఖ్యమైన పొరలు వాటి ద్రవ్యరాశులను అంచనావేస్తూ చూపబడినవి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 8.3

1. భూతలం మీద గల 'g' విలువలో సగం విలువ భూ తలం నుండి ఎంత ఎత్తులో ఉంటుంది?
2. భూతలం మీద గల 'g' విలువలో 80% శాతం g విలువ భూమికి ఏ లోతులో ఉంటుంది?
3. ఢిల్లీ సుమారుగా30 డిగ్రీల ఉత్తర రేఖాంశం వద్ద ఉంది. ఢిల్లీ మరియు ధృవాల వద్ద గల %స్త్ర% విలువలను గణించండి? ఆ విలువల మధ్య తేడా కనుక్కోండి.
4. ఒక ఉపగ్రహం భూమికి 1000 కిమీ ఎత్తులోగల కక్ష్యలో తిరుగుచున్నది. ఉపగ్రహంపై పనిచేయు గురుత్వత్వరణాన్ని (i) సమీకరణం (8.21) ని ఉపయోగించి (ii) 'g' విలువ $\frac{1}{r^2}$ నకు అనులోమానుపాతములో ఉంటుందనే సంబంధాన్ని ఉపయోగించి, ఇచట 'r' భూ కేంద్రం నుండి దూరం, గణించండి. ఈ గణనలో ఏది మీకు ఎందుకు మేలుగా ఉందని మీరు అనుకుంటున్నారు.

8.7 భారము మరియు ద్రవ్యరాశి

ఒక వస్తువును భూమి ఎంతబలంతో లాగుతుందో అది దాని భారం అవుతుంది. వస్తువు ద్రవ్యరాశి 'm' అయితే అప్పుడు దాని భారం 'W'

$$W = mg \qquad (8.28)$$

భారం అనేది బలం కాబట్టి దాని ప్రమాణం న్యూటన్. మీ ద్రవ్యరాశి 50 కిగ్రా అయితే మీ బరువు (భారం) 50 kg × 9.8 ms^{-2} = 490 నూటన్లు అవుతుంది.

'g' విలువ ప్రదేశాన్నిబట్టి మారుతూ ఉంటుంది కాబట్టి, వస్తువు భారం కూడా ప్రదేశాన్ని బట్టి మారుతూ ఉంటుంది. వస్తువు భారం ధృవాల వద్ద గరిష్టంగాను, భూమధ్య రేఖ వద్ద కనిష్టంగాను ఉంటుంది. దీనికి కారణం భూ వ్యాసార్ధం ధృవాల వద్ద కనిష్టంగాను భూ మధ్యరేఖ వద్ద గరిష్టంగా ఉండడమే. భారం భూతలం నుండి ఎత్తులకు వెళ్లినా లేదా భూమి లోతులకు వెళ్లినా తగ్గుతుంది.కాని వస్తువు ద్రవ్యరాశిలో ఎటువంటి మార్పు ఉండదు. ద్రవ్యరాశి అనేది వస్తువు యొక్క స్వభావ సిద్ధమైన లక్షణం. అందుకే వస్తువును ఎక్కడ పెట్టినా ఇది స్థిరంగా ఉంటుంది.

గమనిక : నిత్యజీవితంలో మనం ద్రవ్యరాశి, భారాలను మనం తరచు ఒకదాని బదులు మరొకటి వాడుతూ ఉంటాం. స్ప్రింగ్ త్రాసులు వస్తువు భారాన్ని కొలిచేటప్పుటికిని కిలో గ్రాములలో గుర్తించబడి ఉంటున్నాయి (న్యూటన్లలో కాదు).

కృత్యం 8.2

50 కిగ్రా ద్రవ్యరాశి గల వస్తువు భారాన్ని భూ కేంద్రం నుండి 2R, 3R, 4R, 5R మరియు 6R దూరాల వద్ద గణించండి. భారానికి, దూరానికి మధ్యరేఖ (గ్రాఫ్) పటం గీయండి. అదే గ్రాఫ్ కాగితంపై ద్రవ్యరాశి ఏ విధంగా మారుతున్నది చూపండి. ద్రవ్యరాశి భారంలపై మీ భావనలను స్థిరీకరించడం కోసం ఈ క్రింది ప్రశ్నలను ప్రయత్నించండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 8.4

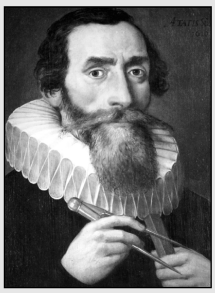
1. మీరు చంద్రునిపైదిగారనుకుందాం. మీ బరువు, ద్రవ్యరాశి ఏవిధంగా ప్రభావితం అవుతాయి?
2. మీ బరువు భూమి మీద, కుజ గ్రహం మీద ఏవిధంగా ఉంటుందో సరిపోల్చండి? మీ ద్రవ్యరాశి ఏమవుతుంది? కుజ గ్రహం ద్రవ్యరాశి = 6×10^{23} kg, దాని వ్యాసార్ధం 4.3×10^{6} m గా తీసుకొనండి?
3. వస్తువులు బరువులు తూచడానికి రెండు రకాల త్రాసులను మీరు చూసి ఉంటారు. ఒక దానికి రెండు పళ్లెములు ఉంటాయి. ఇందులో ఒక పళ్లెంలో బరువు కనుగొనవలసిన వస్తువును, రెండవ పళ్లెంలో తూనిక రాళ్ళూ వేస్తాం. రెండవ రకము స్ప్రింగ్ త్రాసు. ఇందులో బరువును కనుగొన వలసిన వస్తువును స్ప్రింగ్ అడుగున గలకొంకికి వేలాడదీస్తాం. స్కేలు పై వున్న రీడింగ్ తీసుకుంటాం. ఉదాహరణకు ఒక సంచిలోని బంగాళాదుంపల బరువును రెండు త్రాసుల మీద కనుగొన్నారు అనుకుందాం. అవి రెండూ ఒకే విలువను ఇస్తాయి. ఇప్పుడు వాటిని చంద్రుని మీదకు తీసుకువెల్లుదాం. ఈ రెండు త్రాసులు చూపించే కొలతలలో ఏమైనా మార్పులు ఉంటాయా?

8.8 కెప్లర్ గ్రహ గమన నియమాలు

పూర్వకాలంలో ఖగోళ వస్తువులన్నీ భూమి చుట్టూ తిరిగేవి అని విశ్వసించేవారు. గ్రీకు ఖగోళశాస్త్రవేత్తలు ఈ తప్పుడు అభిప్రాయాన్ని సమర్ధించేవారు. ఈ భూకేంద్ర విశ్వాసం ఎంతబలంగా ఉండేదంటే సూర్యుని చుట్టూ గ్రహాలు తిరుగుతున్నాయనే అన్ని రకాల సాక్ష్యాలను పట్టించుకోని విధంగా ఉండేది. ఏది ఏమైనప్పటికి 15వ శతాబ్దంలో పాలిష్ గోళశాస్త్రవేత్త కోపెర్నికస్ సూర్యుని చుట్టూ గ్రహాలన్నీ తిరుగుతున్నాయని ప్రతిపాదించాడు. 16వ శతాబ్దంలో గెలీలియో

తన పరిశీలనల ఆధారంగా కోపెర్నికస్ సిద్ధాంతాన్ని బలపరిచాడు. మరియొక్క ఐరోపా ఖగోళశాస్త్రవేత్త టైకోబ్రాహీ, గ్రహాల చలనానికి సంబంధించి ఎక్కువ సమాచారాన్ని సేకరించాడు. ఈ పరిశీలనల ఆధారంగా అతని సహాయకుడు. కెప్లర్, గ్రహ గమన నియమాలను సూత్రీకరించాడు.

Johannes Kepler



German by birth, Johannes Kepler, started his career in astronomy as an assistant to Tycho Brahe. Tycho religiously collected the data of the positions of various planets on the daily basis for more than 20 years. On his death, the data was passed on to Kepler who spent 16 years to analyse the data. On the basis of his analysis, Kepler arrived at the three laws of planetary motion.

He is considered as the founder of geometrical optics as he was the first person to describe the working of a telescope through its ray diagram.

For his assertion that the earth revolved around the Sun, Galileo came into conflict with the church because the Christian authorities believed that the earth was at the centre of the universe. Although he was silenced, Galileo kept recording his observations quietly, which were made public after his death. Interestingly, Galileo was freed from that blame recently by the present Pope.

గ్రహాల చలనాన్ని వివరించే మూడు నియమాలను కెప్లర్ ఈ క్రింది విధంగా రూపొందించాడు. అవి

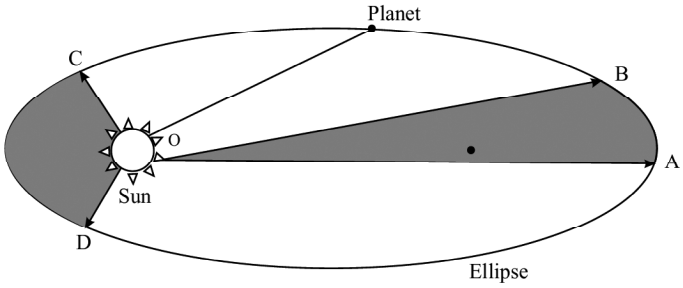
1. **కక్ష్యా నియమము :** గ్రహాలన్నీ దీర్ఘవృత్తాకార కక్ష్యలలో, దీర్ఘవృత్తము యొక్క ఎదో ఒక నాభి (దీర్ఘ వృత్తాకార కక్ష్యకు రెండు నాభులు ఉంటాయి) సూర్యుడు ఉండేటట్లుగా తిరుగుతూ ఉంటాయి. ఈ దీర్ఘవృత్తాకార కక్ష్య పటం 8.9 లో చూపినట్లుగా ఉంటుంది.

   దీర్ఘవృత్తం అనేది ఒక ప్రత్యేక వక్రరేఖ, దీనిలో వక్రరేఖలోని ప్రతి బిందువు నుండి మరో రెండు బిందువుల వరకు ఉన్న దూరాల మొత్తం స్థిరంగా ఉంటుంది. ఈ రెండు ఇతర బిందువులను దీర్ఘవృత్తాకార నాభులు అంటారు. దీర్ఘవృత్త కక్ష్య లక్షణం ఏమిటంటే, దాని రెండు నాభుల నుండి ఏదైనా గ్రహం యొక్క దూరాల మొత్తం స్థిరంగా ఉంటుంది. దీర్ఘవృత్తాకార కక్ష్యలో సూర్యుని చుట్టూ గ్రహం యొక్క గమన సమయంలో, గ్రహం సూర్యుడికి దగ్గరగా ఉండే బిందువును పెరిహెలియన్ (perihelion) అని పిలుస్తారు మరియు గ్రహం సూర్యుడికి దూరంగా ఉన్న బిందువును అఫెలియన్ (aphelion) అంటారు.

   ప్రమాణ కాలంలో కక్ష్య వెంబడి పూర్తిగా సూర్యుడు – గ్రహం కలిపిన సరళరేఖ చిమ్ముతూ పర్యటించే వైశాల్యం స్థిరంగా ఉంటుంది (పటం 5.7).

2. **వైశాల్యాల నియమము :** ఏదైనిగ్రహాన్ని మరియు సూర్యుడిని కలిపే రేఖ సమాన కాల వ్యవధిలో సమాన వైశాల్యాలను చిమ్ముతుంది.

కక్ష్య వృత్తాకారంగా లేనందున, గ్రహం యొక్క గతిశక్తి దాని మార్గంలో స్థిరంగా ఉండదు. సూర్యుడికి దగ్గరగా ఉన్న బిందువు (పెరిహెలియన్) దగ్గర ఎక్కువగతిశక్తిని కలిగి ఉంటుంది మరియు ఇది సూర్యుడికి దూరంగా ఉన్న బిందువు (అఫెలియన్) దగ్గర తక్కువ గతిశక్తి శక్తి కలిగి ఉంటుంది. ఇది పెరిహిలియన్ వద్ద ఎక్కువ వేగాన్ని మరియు అఫెలియన్ వద్ద తక్కువ వేగాన్ని సూచిస్తుంది.



పటం 8.9 : గ్రహం యొక్క మార్గం ఒక దీర్ఘవృత్తం. సూర్యుడు దీని ఒక నాభిలో ఉంటాడు. A బిందువు నుండి B బిందువుకు గ్రహం కదిలే కాలం, C నుండి D బిందువుకు కదిలే కాలానికి సమానంగా ఉంటే, అప్పుడు కెప్లర్ రెండవ గ్రహగమన నియమం అనుసరించి AOB వైశాల్యం COD వైశాల్యానికి సమానంగా ఉంటుంది.

3. **ఆవర్తన కాల నియమం :** సూర్యుని చుట్టూ ఒక గ్రహం యొక్క పరిభ్రమణ కాల వ్యవధి యొక్క వర్గము, సూర్యుడి నుండి దాని సగటు దూరం యొక్క ఘనానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

అవర్తనా కాలాన్ని 'T' తో మరియు సూర్యుని నుండి సగటు దూరాన్ని 'r' గా సూచిస్తే, ఆవర్తనా కాల నియమాన్ని $T^2 \alpha r^3$ గా వ్యక్తీకరించవచ్చును. సూర్యుని చుట్టూ గ్రహం యొక్క కక్ష్య చిన్నదిగాఉంటే, ఒక భ్రమణము పూర్తి చేయడానికి పట్టే కాలము కూడా తక్కువగానే ఉంటుంది.

మూడవ నియమాన్ని కొంచెం జాగ్రత్తగా పరిశీలిద్దాము. సూర్యుడు మరియు గ్రహాల మధ్య పనిచేసే శక్తిని అంచనా వేయడానికి న్యూటన్ ఈ నియమాన్ని ఉపయోగించినట్లు మరియు అది $\frac{1}{r^2}$ గా మారుతుందని మీకు గుర్తుండే ఉంటుంది. అంతేకాకుండా, T_1 మరియు T_2 అనేది రెండు గ్రహాల కక్ష్య ఆవర్తన కాలాలు మరియు r_1 మరియు r_2 సూర్యుని నుండి వాటి సగటు దూరాలు అయితే, కెప్లర్ మూడవ నియమం నుండి,

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{r_1^3}{r_2^3} \qquad (8.29)$$

ఒక గ్రహానికి సంబంధించిన సంబంధాన్ని, రెండవ గ్రహానికి సంబంధించిన సంబంధంతో విభజించినప్పుడు అనులోమానుపాత స్థిరాంకం రద్దు అవుతుంది. ఇది చాలా ముఖ్యమైన సంబంధం. ఉదాహరణకు, దీనిని మనకు T_1, r_1 మరియు r_2 లు తెలిస్తే, T_2 ని పొందడానికి ఉపయోగించవచ్చు.

ఉదాహరణ 8.5

సూర్యుని నుండి బుధ గ్రహం దూరం 57.9×10^9 m అయితే బుధ గ్రహం కక్ష్యావర్తన కాలం గణించండి. భూమికి సూర్యునికి మధ్య దూరం 1.5×10^{11} m గా ఇవ్వబడింది.

సాధన :

భూమి యొక్క కక్ష్యా వర్తన కాలం 365.25 రోజులు అని మనకు తెలుసు.

అంటే $T_1 = 365.25$ days మరియు $r_1 = 1.5 \times 10^{11}$ m. బుధ గ్రహానికి $r^2 = 57.9 \times 10^9$ m అందువల్ల బుధగ్రహానికి కక్ష్యావర్తన కాలం T^2 ఈ విధంగా వస్తుంది.

$$\frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{r_1^3}$$

పై విలువలు ప్రతిక్షేపించాగా,

$$T_2 = \sqrt{\frac{T_1^2 r_2^3}{r_1^3}} = \sqrt{\frac{(365.25)^2 \times (57.9 \times 10^9)^3}{(1.5 \times 10^{11})^3}} = 87.6 \text{ days}$$

ఇదే విధంగా ఇతర గ్రహాల కక్ష్యావర్తనకాలాలు కనుగొనవచ్చు. దత్తాంశం క్రింది పేజీలో ఇవ్వబడింది. మీ ఫలితాలను 8.1 పట్టికలో ఇచ్చిన సంఖ్యలతో మీరు యదార్థం తెలుసుకోవచ్చు.

పట్టిక 8.1 : సౌర వ్యవస్థలోని గ్రహాలకి సంబంధించిన కొంత సమాచారము.

గ్రహము	సూర్యుని నుండి గ్రహ సరాసరి దూరము (భూమి యొక్క దూరానికి గుణకముగా)	వ్యాసార్థము ($\times 10^3$ km)	ద్రవ్యరాశి (భూమి ద్రవ్యరాశిలో)
బుధుడు	0.387	2.44	0.53
శుక్రుడు	0.72	6.05	0.815
భూమి	1.0	6.38	1.00
అంగారకుడు	1.52	3.39	0.107
బృహస్పతి	5.2	71.4	317.8
శని	9.54	60.00	95.16
యురేనస్	19.2	25.4	14.50
నెప్ట్యూన్	30.1	24.3	17.20
ప్లూటో	39.4	1.50	0.002

వ్యవస్థలో ఎక్కడైనా బంధించే బలం గురుత్వ స్వభావం కలిగి ఉంటే దానికి కెప్లర్ నియమాలు అనువర్తించవచ్చు. ఉదాహరణకు బృహస్పతి దాని చందమామలకు (ఉపగ్రహాలకు), భూమి దాని ఉపగ్రహమైన చంద్రుడు మరియు కృత్రిమ ఉపగ్రహాలకు కూడా అనువర్తింపచేయవచ్చు.

ఉదాహరణ 8.6

ఒక ఉపగ్రహానికి కక్ష్యావర్తన కాలం ఒక రోజునకు సమానంగా ఉంది (ఇటువంటి ఉపగ్రహాలను, భూస్థిర ఉపగ్రహాలు అంటారు). భూతలం నుండి దీని ఎత్తును గణించండి. భూమి నుండి ఈ చందమామ దూరం 60 R_E గా ఇవ్వబడింది (R_E అంటే భూ వ్యాసార్ధం). దాని కక్ష్యా వర్తన కాలం 27.3 రోజులు. (స్థిర నక్షత్రాల పరంగా ఇది చంద్రుని కక్ష్యావర్తనకాలం. భూమి పరంగా, అదే సూర్యుని చుట్టూ కక్ష్యలో ఉంటుంది. చంద్రుని కక్ష్యావర్తన కాలం దాదాపు 29, 5 రోజులు).

సాధన :

ఒక భూస్తావర ఉపగ్రహ అవర్తనా కాలము T_2 ఒక రోజుకు సమానము. చంద్రుని ఆవర్తనా కాలము $r_1 = 60$ R_E మరియు $T_2 = 1$ day. అప్పుడు ఈ క్రింది సంబంధాన్ని ఉపయోగించి r_2 ని గణించగలము.

$$r_2 = \left[\frac{r_1^3 T_2^2}{T_1^2}\right]^{1/3} = \left[\frac{(60 R_E)^3 (1\,\text{day})^2}{(27.3\ \text{day})^2}\right]^{1/3} = 6.6 R_E.$$

ఉపగ్రహం దూరం భూకేంద్రం నుండి తీసుకున్నామని గుర్తుంచుకోండి. భూతలం నుండి దీని ఎత్తు తెలుసుకోవాలంటే, 6.6 R_E నుండి R_E తీసివేయాలి. అంటే భూతలం నుండి కావలసిన దూరం 5.6 R_E అవుతుంది. దూరం కిమీలలో కావాలనుకుంటే 5.6 ను కిలో మీటరులలో గల భూవ్యాసార్ధంతో గుణించాలి.

8.9 గ్రహాల కక్ష్యా వేగం

ఇంతవరకు మనం గ్రహాల యొక్క కక్ష్యావర్తన కాలం గురించి మాట్లాడుకున్నాం ఒక గ్రహం యొక్క కక్ష్యా ఆవర్తన కాలం 'T' మరియు సూర్యుడి నుండి దాని దూరం 'r' అయితే అది 'T' కాలంలో $2\pi r$ దూరం ప్రయాణిస్తుంది. అందువల్ల దాని కక్ష్యా వేగం

$$v_o = \frac{2\pi r}{T} \qquad (8.30)$$

సూర్యుని చుట్టూ తిరిగేటప్పుడు ఒక గ్రహం యొక్క సగటు వేగాన్ని గ్రహం యొక్క కక్ష్య వేగం అంటారు. కక్ష్య వేగాన్ని లెక్కించడానికి మరొక మార్గం కూడా ఉంది. కక్ష్యలో తిరుగుతున్నప్పుడు, గ్రహం అపకేంద్రకబలాన్ని అనుభవిస్తుంది. ఈ బలము $\frac{mv_0^2}{r}$, ఇక్కడ m అనేది గ్రహం యొక్క ద్రవ్యరాశి మరియు r అనేది కక్ష్య యొక్క వ్యాసార్ధం (లేదా గ్రహం మరియు సూర్యుని మధ్య సగటు దూరం). ఈ బలాన్ని సూర్యుడు మరియు గ్రహం మధ్య గురుత్వాకర్షణ శక్తి ద్వారా అందించబడుతుంది. M సూర్యుని ద్రవ్యరాశి అయితే, గ్రహం మీద గురుత్వాకర్షణ శక్తి $G\frac{mM}{r^2}$. ఈ రెండు బలాలను సమం చేస్తే, మనకు గ్రహాల కక్ష్యా వేగంసమీకరణములభిస్తుంది,

$$\frac{mv_o^2}{r} = G\frac{mM}{r^2}$$

$$v_o^2 = G\frac{M}{r}$$

$$v_o = \sqrt{\frac{GM}{r}} \qquad (8.31)$$

పై సమీకరణంలో గ్రహం ద్రవ్యరాశి లేనేలేదు. కక్ష్యావేగం కేవలం సూర్యుని నుండి దూరంపైన మాత్రమే ఆధారపడి ఉంటుంది. సమీకరణాలు (8.30) నుండి (8.31) లో, కక్ష్యా వేగము v_oను ప్రతిక్షేపిస్తే కెప్లర్ మూడవ గమన నియమం వస్తుంది.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 8.5

1. మన గెలాక్సీలో అనేక గ్రహవ్యవస్థలుకనుగొనబడినవి. కెప్లర్ నియమాలు వీటికి అనువర్తిస్తాయా?
2. భూతలం నుండి 1000 కిమీ మరియు 2000 కి.మీ. దూరంలో రెండు కృత్రిమ ఉపగ్రహాలు కక్ష్యలో తిరుగుతున్నాయి. దీనిలో దేనికి ఆవర్తనకాలం ఎక్కువ? మొదటి దాని ఆవర్తన కాలం 90 నిమిషాలు అయితే తరువాత దాని ఆవర్తనకాలం కనుగొనండి.
3. సౌర వ్యవస్థలో సిడ్నా అనే కొత్త చిన్న గ్రహాన్ని ఇటీవల కాలంలో కనుగొన్నారు. ఇది సూర్యునికి 86 AU ల (Astronomical unit) దూరంలోని కక్ష్యలో తిరుగుతున్నది. AU అంటే సూర్యునికి, భూమికి మధ్యగల దూరం. ఇది 1.5×10^{11} m లకి సమానం. దాని కక్ష్యావర్తన కాలాన్ని సంవత్సరాల్లో గణించండి.
4. భూమి చుట్టూ కక్ష్యలో తిరుగుతున్న ఒక ఉపగ్రహం యొక్క కక్ష్య వేగానికి ఒక సమాసం రాబట్టండి.
5. సమీకరణాలు (8.30) మరియు (8.31)లను ఉపయోగించి కెప్లర్ మూడవ నియమం రాబట్టండి.

8.10 పలాయన వేగం

పైకి విసిరిన బంతి గురుత్వ బలం వల్ల ఎల్లప్పుడు కిందికి వస్తుందని మీకు తెలుసు. దానిని మరికొంత బలంతో విసిరితే అది మరికొంత పైకి వెళుతుంది. కాని మరల వెనుతిరిగి వస్తుంది. మంచి శారీరక బలంగల వారు ఉంటే అతనిని బంతిని పైకి విసరమని అడగండి. మీరు విసిరిన దానికన్నా ఈ బంతి మరికొంత పైకి వెళ్ళవచ్చు. కాని ఇదికూడా వెనుతిరిగి వస్తుంది. ఇప్పుడు మీరు అడగవచ్చు, ఒక వస్తువు భూమి ఆకర్షణను దాటి పలాయనం చెందటం సాధ్యమా? దీనికి జవాబుగా సాధ్యమే అనవచ్చు. వస్తువు పలాయన వేగం కలిగి ఉంటే సరిపోతుంది. భూమి యొక్క గురుత్వాకర్షణ నుండి ఒక వస్తువు 'పలాయనం చెందటానికి దానికి ఉండవలసిన కనిష్ఠ వేగాన్ని పలాయన వేగం అంటారు.

గురుత్వాకర్షణ వస్తువు ద్రవ్యరాశికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది కాబట్టి పలాయనం చెందడానికి ప్రయత్నించే 'వస్తువు యొక్క పలాయనవేగం దాని ద్రవ్యరాశిపై ఆధారపడి ఉంటుందని స్పష్టమవుతుంది. అంతేకాదు ఇది వస్తువు వ్యాసార్ధం మీద కూడా ఆధారపడి ఉంటుంది. ఎందుకంటే వ్యాసార్ధం చిన్నది అయ్యే కొద్దీ గురుత్వాకర్షణ బలం ఎక్కువగా ఉంటుంది.

'm' ద్రవ్యరాశి గల ఒక వస్తువును పలాయన వేగము (v_e) తో ప్రక్షిప్తము చేసినప్పుడు, a వస్తువు పొందే గతి శక్తి, $\frac{1}{2}mv_e^2$ మరియు ఇది గురుత్వ స్థితి శక్తి $G\frac{Mm}{R}$ కి సమానము లేదా ఎక్కువగా గాని ఉంటుంది. అందువల్ల,

$$\frac{1}{2}mv_e^2 = G\frac{Mm}{R}$$

$$v_e^2 = \frac{2GM}{R}$$

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \qquad (8.32)$$

ఇక్కడ M భూమి ద్రవ్యరాశి మరియు R భూమి వ్యాసార్థము. ఏదైనా ఇతర గ్రహం లేదా ఖగోళ వస్తువు నుండి పలాయన వేగాన్ని లెక్కించడానికి, పై సమాసములో ఆ ఖగోళ వస్తువు యొక్క ద్రవ్యరాశి మరియు వ్యాసార్థాన్ని ప్రతిక్షేపించాలి.ఒక వస్తువు పలాయన వేగంతో ప్రక్షేపించినప్పుడు, గురుత్వాకర్షణ శక్తి పనిచేయడం ఆగిపోదు.గురుత్వాకర్షణశక్తి పనిచేస్తుంది. వస్తువు పైకి వెళ్లే కొద్దీ వస్తువు యొక్క వేగం మరియు దానిపై పనిచేసే గురుత్వాకర్షణ శక్తి రెండూ తగ్గుతాయి. వేగం శూన్యముగా మారడానికి ముందు గురుత్వాకర్షణ బలం శూన్యము అవుతుంది. అందువల్ల వస్తువు గురుత్వాకర్షణ ప్రభావము నుండి తప్పించుకుంటుంది.

'g' మరియు 'G' ల మధ్య సంబంధము నుండి, $g = \frac{GM}{R^2}$ అని మనకు తెలుసు. దీని నుండి $GM = gR^2$ ని సమీకరణము (8.32) లో ప్రతిక్షేపించగా,

$$v_e = \sqrt{\frac{2gR^2}{R}} = \sqrt{2gR} \qquad (8.33)$$

సమీకరణము (8.33) పలాయన వేగముకు సమాసాన్ని తెలుపుతుంది. గురుత్వ త్వరణము, $g = 9.8\ ms^{-2}$ ని మరియు భూమి వ్యాసార్థము $R = 6.4 \times 10^6$ m లను ప్రతిక్షేపించగా, పలాయన వేగము $v_e = 11.2\ km\ s^{-1}$ ను పొందుతాము.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 8.6

1. భూమి ద్రవ్యరాశి 5.97×10^{24} kg దాని వ్యాసార్ధం 6371 km. భూమి నుండి పలాయన వేగాన్ని గణించండి.

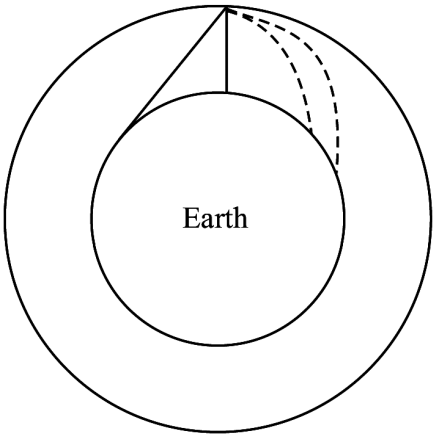
2. ద్రవ్యరాశిలో ఎటువంటి మార్పు లేకుండా భూమి అకస్మాత్తుగా దాని నాలుగవ వంతు వ్యాసార్ధానికి కుచించుకు పోయింది అనుకోండి. అప్పుడు దాని మీద పలాయన వేగం ఎంత?

3. ఒక ఊహాత్మకమైన గ్రహం X కి ద్రవ్యరాశి భూ ద్రవ్యరాశికి 8 రెట్లు ఉన్నది. వ్యాసార్ధం భూ వ్యాసార్ధానికి రెట్టింపు ఉంది. భూమి మీద పలాయన వేగ పరంగా ఈ గ్రహంపై పలాయన వేగం ఎంత ఉంటుంది?

8.11 కృత్రిమ ఉపగ్రహాలు

ఆస్ట్రేలియాలోని సిడ్నిలో ఒక క్రికెట్ మ్యాచ్ ఆడారు. కాని దానిని మనం ఇండియాలో ప్రత్యక్షంగా చూడగలుగుతున్నాం, అమెరికాలో ఆడుతున్న టెన్నీస్ ఆటను ఇండియాలో మనం చూసి ఆనందించగలుగుతున్నాం. ఎలా ఇది సాధ్యమయ్యింది అని ఎప్పుడైనా మీకు ఆశ్చర్యం కలిగిందా? ఇవన్నీ సాధ్యం చేసింది భూమి చుట్టూ తిరిగే కృత్రిమ ఉపగ్రహాలు. ఒక కక్ష్యలో కృత్రిమ ఉపగ్రహాన్ని ఎలా ప్రవేశపెట్టగలరు? అని మీరు ఇప్పుడు అడగవచ్చు.

ఒక ప్రక్షిప్తం యొక్క గమనాన్ని మీరు ఇప్పటికే అధ్యయనం చేసి ఉన్నారు. ఒక వస్తువును క్షితిజ సమాంతరానికి కొంత కోణంలో ప్రక్షిప్తం చేస్తే అది పరావలయ మార్గంలో వెళ్ళుతుంది. పెంచుతున్న బలంతో వస్తువులను పైకి వదలడం గురించి ఊహించండి. పటం 8.10లో ఏమి జరుగుతోందో చూపబడింది. ప్రక్షిప్తాలు వెనుదిరిగి భూమి మీద పడే ముందు ఎక్కువ దూరాలు ప్రయాణం చేస్తాయి. ఆఖరుకు ప్రక్షిప్తం భూమి చుట్టూ ఉండే కక్ష్యలో ప్రవేశిస్తుంది. అది కృత్రిమ ఉపగ్రహంగా తయారవుతుంది. ఇటువంటి ఉపగ్రహాలు మానవ నిర్మితాలని ఒక ప్రత్యేకమైన ఆశయంతో వీటిని ప్రవేశపెట్టడం జరుగుతుందని గుర్తుంచుకోవాలి. చంద్రుని వంటి ఉపగ్రహాలు సహజ ఉపగ్రహాలు.



పటం 8.10 : భూమి కక్ష్యలోకి ఒక ప్రక్షేపకం.

గ్రహాల చుట్టూ తిరిగే మానవ నిర్మిత ఉపగ్రహాన్ని కృత్రిమ ఉపగ్రహాలు అంటారు. ఒక ఉపగ్రహం భూమి చుట్టూ ఒక ¿£®¥Ë Ü] > y ¤ ± ™ • € – | ¢ V ¥ + j ™ ¿ Ø ¿ £ ® y ¤ +, v_o అంటారు.

కక్ష్య వేగం కోసం సమాసాన్ని పొందేందుకు, (R + h) వ్యాసార్థం గల వృత్తాకార కక్ష్యలో ఉన్న ఉపగ్రహాన్ని పరిగణించండి. ఇక్కడ R అనేది భూమి యొక్క వ్యాసార్థం మరియు h అనేది భూమి ఉపరితలం నుండి కక్ష్య యొక్క ఎత్తు. m అనేది ఉపగ్రహం యొక్క ద్రవ్యరాశి మరియు v_o అనేది దాని కక్ష్య వేగం అని పిలువబడే దాని వేగం అయితే, ఈ కక్ష్యకు అవసరమైన అపకేంద్రకబలము,

$$\vec{F}_{centripetal} = \frac{mv_o^2}{(R+h)} \qquad (8.34)$$

ఇది భూమి యొక్క కేంద్రం నుండి అవతలి వైపుకు ఉంటుంది. దీనిని గురుత్వాకర్షణ శక్తి సమము చేస్తుంది. ఈ గురుత్వాకర్షణ శక్తి

$$\vec{F}_{gravitational} = \frac{GmM}{(R+h)^2} \qquad (8.35)$$

ఇక్కడ M అనేది భూమి యొక్క ద్రవ్యరాశి. సమీకరణము (8.34) మరియు (8.35) లను సమానము చేసినప్పుడు,

$$\frac{m v_o^2}{(R+h)} = \frac{GmM}{(R+h)^2}$$

$$v_o^2 = \frac{GM}{(R+h)} \qquad (8.36)$$

g మరియు G మధ్య సంబంధం నుండి, $GM = gR^2$ అని మనకు తెలుసు. పై సమీకరణంలో ప్రతిక్షేపించగా, క్రింది సమాసాన్ని పొందుతాము.

$$v_o^2 = \frac{gR^2}{(R+h)}$$

$$v_o = \sqrt{\frac{gR^2}{(R+h)}} \qquad (8.37)$$

ఉపగ్రహం భూమికి చాలా దగ్గరగా ఉంటే, అప్పుడు $(R+h) \approx R$. అప్పుడు,

$$v_o = \sqrt{gR} \qquad (8.38)$$

గురుత్వ త్వరణము $g = 9.8\ ms^{-2}$ మరియు భూమి యొక్క వ్యాసార్థం, $R = 6.4 \times 10^6$ m ప్రతిక్షేపించాగా, కక్ష్య వేగం $v_o = 8\ km\ s^{-1}$ విలువను పొందుతాము.

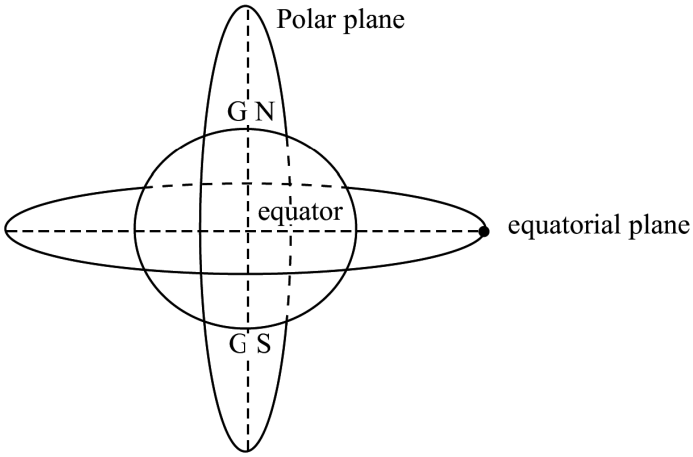
ఒక ఉపగ్రహాన్ని కక్ష్యలోకి ప్రవేశపెట్టడానికి భూ వాతావరణంవల్ల కలుగు ఘర్షణ కారణంగా వచ్చే శక్తి నష్టాన్ని కనిష్టం చేసేందుకు దానిని ముందు 200 km ఎత్తుకు తీసుకువెళ్లాలి. ఆ తరువాత దానికి సెకనుకు $8\ km\ s^{-1}$ వేగంతో క్షితిజ సమాంతరంగా ప్రయోగిస్తారు.

కెప్లర్ గమన సూత్రాలను కృత్రిమ ఉపగ్రహం కక్ష్య కూడా పాటిస్తుంది. ఎందుకంటే దీనిని అదుపుచేసే బలం భూమికి, కృత్రిమ ఉపగ్రహానికి మధ్య గల గురుత్వబలం. దీని కక్ష్య దీర్ఘవృత్తాకార రీతిలో ఉండి, దాని తలం ఎల్లప్పుడూ భూకేంద్రం గుండా పోతూ ఉంటుంది.కృత్రిమ ఉపగ్రహం కక్ష్యావేగం ఎల్లప్పుడూ దాని పలాయనవేగం కన్నా తక్కువగా ఉంటుందన్న విషయం గుర్తుంచుకోవాలి. లేకపోతే అది భూమి గురుత్వక్షేత్రాన్ని స్వేచ్ఛగా ఛేదించుకుని భూమి చుట్టూ కక్ష్యలో తిరగదు. భూమికి సమీపంలో ఉండే ఉపగ్రహం కక్ష్యావేగం (సమీకరణము (8.33) నుండి) మరియు భూమి నుండి పలాయన వేగానికి (సమీకరణము (8.38) నుండి) ఉండే సమాసాల నుండి మనం కింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$v_e = \sqrt{2}v_o \qquad (\text{or}) \qquad v_o = \frac{v_e}{\sqrt{2}} \qquad (8.39)$$

ఏ పని మీదనైతే ఉపగ్రహాన్ని ప్రవేశపెడతారో దాని మీద ఆధారపడి కృత్రిమ ఉపగ్రహాలకు సాధారణంగా రెండు రకాల కక్ష్యలు (పటం 8.11) ఉంటాయి. రిమోట్ సెన్సింగ్ వంటి పనుల కోసం ఉపయోగించే ఉపగ్రహాలకు ధృవ కక్ష్యలు ఉంటాయి. ఈ కక్ష్యల ఎత్తు దాదాపు 800 కిమీ ఉంటుంది. కక్ష్య ఎత్తు 300 కిమీ లోపల ఉంటే వాతావరణంలోని కణాలతో ఎదురయ్యే ఘర్షణ వల్ల ఉపగ్రహం శక్తిని నష్టపోతుంది. ఫలితంగా అది ఎక్కువ సాంద్రత గల ప్రాంతము అయిన తక్కువ ఎత్తులోకి కదులుతుంది. అక్కడ అది మండిపోతుంది. ధృవ ఉపగ్రహం యొక్క ఆవర్తన కాలం సుమారుగా100 నిముషాలు ఉంటుంది. ధృవ ఉపగ్రహాన్ని సూర్యస్థిరంగాఉండేటట్లు చేయవచ్చు. అంటే ప్రతిదినం అది ఒకే రేఖాంశంలోకి అదే సమయంలో వస్తూ ఉంటుంది. అనేక పర్యాయాలు అడ్డంగా తిరగడం వల్ల ఈ ఉపగ్రహం తన అక్షం మీద తాను తిరుగుతూ మొత్తం భూమిని స్కాన్ చేయగలుగుతుంది. (పటం 8.11) ఇటువంటి ఉపగ్రహాలను

వాతావరణ పరిస్థితి ముందుగా చెప్పేందుకు కావలసిన దత్తాంశ సేకరణకు, వరదలు, పంటలు, అడవుల దహనాలు వంటి వాటిని పర్యవేక్షించేందుకు ఉపయోగిస్తారు.



పటం 8.11 : భూ మధ్య రేఖాంశము మరియు ధృవ కక్ష్యలు.

సమాచారం కోసం ఉపయోగించే ఉపగ్రహాలను భూమధ్య రేఖాంశ కక్ష్యలో ఎక్కువ ఎత్తులో ప్రవేశపెడతారు. వీటిలో ఎక్కువ ఉపగ్రహాలు భూస్థిర ఉపకక్ష్యలో ఉంటాయి. అంటే వీటి కక్ష్యా వర్తన కాలం భూభ్రమణ ఆవర్తన కాలంతో సమానంగా ఉంటుంది. 24 గంటలకు సమానం. ఉదాహరణ 8.6 లో మీరు చూపినట్లు, ఈ ఎత్తు దాదాపు 36000 కిమీ ఎత్తు వద్ద స్థిరీకరించబడి ఉంటుంది. వీటి కక్ష్యా ఆవర్తన కాలం భూమితో సరిపడి ఉండడంవల్ల భూమిపై ఒకే ప్రదేశంలో అవి తిరుగుతున్నట్లు కనిపిస్తూ ఉంటాయి. ఈ విదమైన కొన్ని ఉపగ్రహాలు మొత్తం భూగోళాన్ని కప్పగలిగి, సంకేతాలను ఒక ప్రదేశం నుండి మరోక ప్రదేశానికి భూగోళంపై పంపగలవు. భూతలంపై ఒకే ప్రదేశాన్ని మొత్తం సమయం అంతా ఈ భూస్థిర ఉపకక్ష్యలోని ఉపగ్రహాలు పరిశీలించగలవు కాబట్టి, ఎక్కువ సమయం తీసుకునే తీవ్రమైన తుపానులు, హరికేసులు వంటి అసాధారణ పరిస్థితులు పర్యవేక్షించడానికి ఉపయోగిస్తారు.

8.12 ఉపగ్రహాల అనువర్తనాలు

కృత్రిమ ఉపగ్రహాలు మానవ జాతికి ఎంతో ఉపయోగంగా ఉన్నాయి. వాటిలో కొన్ని అనువర్తనాలు కింద ఇవ్వబడ్డాయి.

1. **వాతావరణ సూచనలు (భవిష్యవాణి) :** దీర్ఘకాల, లఘుకాల వాతావరణ సూచనల(భవిష్య వాణికి) కి పనికి వచ్చే అన్నిరకాల దత్తాంశాలను ఉపగ్రహాలు సేకరిస్తాయి. ఈ ఉపగ్రహాలు పంపించే దత్తాంశం నుండి తయారుచేసిన వాతావరణ వివరణ పత్రాలను అనుదినం మీరు వార్తా పత్రికలు లేదా టెలివిజన్లలో చూస్తూ ఉంటారు. భారతదేశం వంటి దేశంలో సకాల వర్షాలపై దేశాభివృద్ధి చాలా ఎక్కువగా ఆధారపడి ఉంటుంది. ఉపగ్రహ దత్తాంశం ఉపయోగించి, రుతుపవనాల రాక కోసం వాటి వృద్ధి కోసం నిరీక్షిస్తూ ఉంటాం. వాతావరణము మాత్రమేగాక, పంటలకు ఎక్కువ విస్తీర్ణం మేర వ్యాపించే తెగుళ్ళు రీతులను, రాబోయే వరదల గురించి హెచ్చరికలు చేయడానికి, అడవుల దహనం వంటివి ఉపగ్రహాలు చూసి చెప్పగలుగుతూ ఉంటాయి.

2. **నౌకాయానం :** కొన్ని ఉపగ్రహాలు భూమి మీద ఒక ప్రదేశం యొక్క స్థితిని ఎక్కువ కచ్చితత్వంతో గుర్తించగలవు. మన మార్గం మరచిపోయినప్పుడు లేదా త్రోవతప్పినప్పుడు మన స్థితిని తెలుసుకునేందుకు ఇవి ఎంతగానో ఉపకరిస్తాయి. ఎక్కువ విస్తీర్ణంగల భూభాగాల వివరణాత్మక పటాలు తయారుచేయడానికి ఉపగ్రహాలను ఉపయోగిస్తారు. ఈ పని మరో విధంగా చేయాలంటే ఎక్కువ సమయం, శక్తి ఖర్చు అవుతాయి.

3. **దూర ప్రసారాలు :** ఉపగ్రహాల కారణంవల్ల టెలివిజన్ కార్యక్రమాలు భూగోళంపై ఎక్కడి నుండైనా ప్రతి చోటుకు ప్రసారం చేయడం సాధ్యమయ్యిందని మనం ఇప్పటికే చెప్పుకున్నాం. టెలివిజన్ సంకేతాలు మాత్రమేగాక, టెలిఫోన్, రేడియో సంకేతాలను కూడా ప్రసారం చేయగలుగుతున్నాం. కృత్రిమ ఉపగ్రహాలు ప్రసారాల విషయంలో విప్లవం సృష్టించి ప్రపంచాన్ని ఒక చిన్న ప్రదేశంగా మార్చివేశాయి. దీనినే మనం గ్లోబల్ విలేజ్అని పిలుస్తాము.

4. **శాస్త్ర పరిశోధనలు :** భూమి నుండి శాస్త్ర పరికరాలను అంతరిక్షంలోకి ఉపగ్రహాల ద్వారా పంపి భూమి, చంద్రుడు, తోకచుక్కలు, గ్రహాలు, సూర్యుడు, నక్షత్రాలు, గెలాక్సీలను పరిశీలించడానికి వినియోగిస్తున్నారు. హాబుల్ దూరదర్శిని, చంద్రా ఎక్స్-రే దూరదర్శినిల గురించి మీరు వినే ఉంటారు. అంతరిక్షంలో దూరదర్శిని ఉండడంవల్ల ప్రయోజనం ఏమిటంటే దానిని చేరే కాంతి కిరణాలు వాతావరణంలో ప్రయాణించవలసిన అవసరం లేదు, అందువల్ల వాటి తీవ్రతలో ఎటువంటి తగ్గుదల ఉండదు. అందుకే ఖగోళ దురదర్శినిలు తీసిన ఛాయాచిత్రాల కన్నా హాబుల్ దూరదర్శిని తీసిన ఛాయాచిత్రాలు ఎంతో మేలుగా నాణ్యతతో ఉన్నాయి. ఇటీవల ఒక యూరోపియన్ శాస్త్రవేత్తల బృందం సౌరవ్యవస్థ వెలుపలి భాగంలో 20 కాంతి సంవత్సరాల దూరంలో భూమివంటి గ్రహాన్ని పరిశీలించారు.

5. **సైనిక చర్యలను పర్యవేక్షించుట :** కృత్రిమ ఉపగ్రహాలను ఉపయోగించి శత్రు సైన్యాల కదలికలను పసిగడుతున్నారు. ఈ ఉపగ్రహాల నిర్వహణ ఖర్చును భరించగల దేశాలన్నీ వీటిని కలిగి ఉన్నాయి.

Vikram Ambalal Sarabhai

Born in a family of industrialists at Ahmedabad, Gujarat, India. Vikram Sarabhai grew to inspire a whole generation of scientists in India. His initial work on time variation of cosmic rays brought him laurels in scientific fraternity. A founder of Physical Research Laboratory, Ahmedabad and a pioneer of space research in India, he was the first to realise the dividends that space research can bring in the fields of communication, education, metrology, remote sensing and geodesy, etc.

8.13 భారత అంతరిక్ష పరిశోధన సంస్థ (ISRO)

భారతదేశం అతిపెద్దదైనజనాభాగల దేశం. ఎక్కువమంది జనాభా గ్రామీణ ప్రాంతాల్లో నివసిస్తూ ఎక్కువగా వర్షాలపై అంటే రుతుపవనాలపై ఆధారపడి జీవిస్తూ ఉంటారు. వాతావరణ పరిస్థితిని ముందుగా చెప్పాల్సిన బాధ్యత

ప్రభుత్వం ముందున్న ముఖ్యమైన పని. అంతేకాదు విస్తృతమైన జనాభాకు ప్రసార అవసరాలను తీర్చవలసి ఉంది. ఎక్కువ ప్రాంతాలు ఖనిజాలు, నూనె, సహజ వాయువుల కోసం శాస్త్రీయంగా పరిశోధించకుండా వదిలి వేయబడ్డాయి. ఈ సమస్యలన్నింటికి ఉపగ్రహ సాంకేతిక శాస్త్రం చక్కని పరిష్కారం ఇస్తుంది. ఈ దృక్పథంతో, భారత ప్రభుత్వం 1969లో భారత అంతరిక్ష పరిశోధనా సంస్థను (ఇస్రో) డాక్టర్ విక్రమ్ సారాభాయ్చురుకైన నాయకత్వంలో ఏర్పాటు చేసింది. జాతిని విద్యావంతుల్ని ఉపగ్రహాల ద్వారా చేయాలనే దృష్టి డాక్టర్ సారాభాయ్‌కి ఉంది. ఇస్రో అనేక పటిష్టమైన కార్యక్రమాలను చేపట్టి సమాచారం, టెలివిజన్ బ్రాడ్కాస్టింగ్, వాతావరణ సంబంధమైన సేవలు, రిమోట్ సెన్సింగ్ మరియు శాస్త్ర పరిశోధనలకోసం అంతరిక్ష వ్యవస్థలను రూపొందించింది. ధ్రువ ఉపగ్రహాలను ప్రయోగించే వాహనాలు (Launched Vehicles for Polar Satellites (PSLV), భూస్థిర ఉపగ్రహాలను ప్రవేశపెట్టే వాహనాలను (GSLV) జయప్రదంగా అభివృద్ధిపరచగలిగింది. నిజానికి ఇది ఇతర దేశాలయిన జర్మనీ, బెల్జియం మరియు కొరియాల ఉపగ్రహాలను అంతరిక్షంలోకి ప్రవేశపెట్టింది. అయిదు దేశాలు మాత్రమే ఉండే క్లబ్ సభ్యదేశంగా చేరింది. దీని శాస్త్ర పరిశోధనా కార్యక్రమాలు కింద వాటి అధ్యయనంతో కలసి ఉన్నాయి.

(a) వాతావరణం, పర్యావరణం మరియు భౌగోళిక మార్పులు:

(b) ఉపరితల వాతావరణం

(c) ఖగోళశాస్త్రం మరియు ఖగోళ భౌతికశాస్త్రం

(d) భారతదేశ సముద్రాలు

ఇటీవల ఇస్రో ప్రపంచంలోనే మొట్టమొదటిది అయిన (తొలి రకమైన) ప్రత్యేకంగా విద్య కోసం నిర్దేశించబడిన ఎడ్యుశాట్ ఉపగ్రహాన్ని ప్రయోగించింది. ఇది ప్రత్యేకించి దూర ప్రాంతాల్లో నివసిస్తున్న యువ మరియు వయోజన విద్యార్థులు ఇరువురిని విద్యావంతుల్ని చేయడానికి ఉపయోగించబడుతోంది. ఇప్పుడు అది చంద్రుని మీదకు వెళ్ళే ప్రత్యేక కార్యక్రమం కోసం తయారవుతోంది.

పటం 8.12 : PSLV

పటం 8.13 : GSLV

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 8.7

1. కొంత మంది సైన్సు రచయితలు ఏదో ఒక రోజున కుజగ్రహంపై మానవులు నివాస గృహాలు నిర్మిస్తారని నమ్ముతున్నారు. ఈ కోరిక గల ప్రజలను కుజగ్రహ స్థిర కక్ష్యలో ప్రవేశపెట్టారు అనుకుందాం. కుజ గ్రహం యొక్క భ్రమణ ఆవర్తనకాలం 24.6 గంటలు. కుజగ్రహం యొక్క ద్రవ్యరాశి మరియు వ్యాసార్థాలు వరసగా 6.4×10^{23} kg మరియు 3400 km కుజ గ్రహ తలం నుండి ఎంత ఎత్తులో ఈ ఉపగ్రహం ఉంటుంది?

2. అంతరిక్షంలో దూరదర్శిని ఉంచడంవల్ల కలిగే ప్రయోజనాలను తెలపండి,

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- గురుత్వ బలం విశ్వంలో ఏ రెండు కణాల మధ్యనైనా ఉంటుంది. ఇది ద్రవ్యరాశుల లబ్ధం వాటి మధ్య దూరం యొక్క వర్గానికి విలోమంగా ఉంటుంది.
- గురుత్వాకర్షణ స్థిరాంకం G అనేది విశ్వ స్థిరాంకం.
- భూమి యొక్క గురుత్వాకర్షణ బలం అన్ని వస్తువులను తనవైపుకు ఆకర్షించుకుంటుంది.
- ఒక ద్రవ్యరాశి చుట్టూ ఉన్న ప్రాంతములో, ఇతర ద్రవ్యరాశులు గురుత్వాకర్షణ బలాన్ని అనుభవించే ప్రాంతాన్ని గురుత్వాకర్షణ క్షేత్రం అంటారు.
- గురుత్వాకర్షణ క్షేత్రంలోని ఒక బిందువు వద్ద ప్రమాణ ద్రవ్యరాశి అనుభవించే గురుత్వాకర్షణ బలాన్ని ఆ బిందువు వద్ద గురుత్వాకర్షణ క్షేత్ర తీవ్రతగా నిర్వచించబడింది.
- గురుత్వాకర్షణ క్షేత్రంలోని ఒక నిర్దిష్ట బిందువుకు ఒక ద్రవ్యరాశిని అనంత దూరము నుండి తీసుకొని రావడములో చేసిన పని మొత్తం ఆ బిందువు వద్ద గురుత్వ స్థితి శక్తి (పోటేన్షియాల్) అని నిర్వచిస్తారు.
- భూతలం వద్ద గురుత్వ త్వరణం విలువ $9.8\ ms^{-2}$ ఉంటుంది. భూమి ఆకారం పరిపూర్ణమైన గోళంగా ఉండదు కాబట్టి g విలువ భూతలంపై మారుతూ ఉంటుంది.
- గురుత్వ త్వరణం విలువ, ఎత్తు, లోతు మరియు రేఖాంశాలతో పాటు మారుతూ ఉంటుంది.
- ఒక వస్తువు యొక్క భారం దాని మీద ప్రవర్తించే గురుత్వ బలానికి సమానంగా ఉంటుంది.
- కెప్లర్ మొదటి నియమం ప్రకారం ఒక గ్రహం యొక్క కక్ష్య దీర్ఘవృత్తాకారంగా ఉండి దాని ఒక నాభిలో సూర్యుడు ఉంటాడు.
- కెప్లర్ రెండవ నియమం ప్రకారం గ్రహాన్ని, సూర్యుడును కలిపే రేఖ (వ్యసార్ధీయ సదిశ) సమాన కాలవ్యవధిలో, సమాన వైశాల్యాలు చిమ్ముతూ పర్యటిస్తుంది.
- కెప్లర్ మూడవ గమన నియమం అనుసరించి ఒక గ్రహం యొక్క కక్ష్యావర్తనకాలం యొక్క వర్గం, సూర్యుడు నుండిదాని సగటు దూరం యొక్క ఘనానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

- సూర్యుని చుట్టూ కక్ష్యలో ఒక గ్రహం తిరిగే వేగాన్ని గ్రహం యొక్క కక్ష్య వేగం అని పిలుస్తారు మరియు గ్రహం యొక్క కక్ష్య వేగం సూర్యుడి నుండి దూరంపై మాత్రమే ఆధారపడి ఉంటుంది మరియు గ్రహం యొక్క ద్రవ్యరాశిపై ఆధారపడదు.
- ఒక వస్తువు పలాయన శరీరం తప్పించుకునే వేగానికి సమానమైన లేదా అంతకంటే ఎక్కువ వేగాన్ని పొందగలిగితే భూమి యొక్క గురుత్వాకర్షణ క్షేత్రం నుండి తప్పించుకోగలదు.
- భూమి చుట్టూ తిరిగేందుకు ఉపగ్రహానికి అవసరమైన కనీస వేగం ఉపగ్రహం యొక్క కక్ష్య వేగంగా నిర్వచించబడింది మరియు అది భూమి నుండి దాని దూరంపై ఆధారపడి ఉంటుంది.
- ఒక వస్తువు భూమి గురుత్వక్షేత్ర పరిధిని దాటి పలాయనం చెందాలంటే దాని వేగం పలాయన వేగం లేదా అంతకన్నా ఎక్కువ వేగం ఉన్నప్పుడే సాధ్యమవుతుంది.
- ఒక ఉపగ్రహం యొక్క కక్ష్య వేగం భూమి నుండి దాని దూరంపై ఆధారపడి ఉంటుంది.

ముగింపు అభ్యాసం

1. గురుత్వాకర్షణ పరస్పరం అని మీరు నేర్చుకున్నారు. అది నిజం అయితే ఆపిల్ భూమిని కూడా ఆకర్షిస్తుందా? అవును అయితే భూమి ఎందుకు కదలటంలేదు చెప్పండి?
2. భూమి మీద ఒక ప్రయోగాన్ని ఏర్పాటుచేసి కొంత దూరంలో ఉంచిన రెండు కణాల మధ్యగల గురుత్వాకర్షణ బలాన్ని కొలవదలచాం. ఈ బలం యొక్క పరిమాణం F అనుకుందాం. ఈ పరికరాల అమరికను చంద్రునిపై తీసుకువెళ్ళి పై ప్రయోగం మళ్ళీ చేసాం. అక్కడ రెండు కణాల మధ్య ఉండే బలం యొక్క పరిమాణం ఎంత?
3. భూమి ద్రవ్యరాశిలో మార్పు లేకుండా దాని ఆకారం రెట్టింపు వ్యాకోచించింది అని అనుకుందాం. ప్రస్తుతం మీ బరువు 500 న్యూటన్లు అయితే, అప్పుడు మీ బరువు ఎంత ఉంటుంది?
4. భూమి అకస్మాత్తుగా దాని గురుత్వాన్ని కోల్పోయింది అనుకుందాం. అప్పుడు ఈ గ్రహం మీద ఉన్న జీవరాశికి ఏమి అవుతుంది?
5. పటం 8.8 చూడండి. అది భూమి నిర్మాణాన్ని చూపుతుంది. భూపటలం కింది భాగంలో (లోతు 25 కిమీ) మరియు భూ ప్రావరం కింది భాగంలో (లోతు 2855 కిమీ) g విలువను లెక్కించండి.
6. భూ ద్రవ్యరాశికి ఒక సమాసం ఉత్పాదించండి. మీకు చంద్రుని కక్ష్యావర్తనకాలం మరియు కక్ష్యా వ్యాసార్ధాలు ఇవ్వబడినవి.
7. భూమి మీద మీ బరువు 500 న్యూటన్లు అనుకోండి. చంద్రునిపై మీ బరువు గణించండి. చంద్రునిపై మీ ద్రవ్యరాశి ఎంత ఉంటుంది?
8. ఒక ధృవ ఉపగ్రహం భూతలం నుండి 800 కిమీ ఎత్తులో ఉంచబడింది. దాని కక్ష్యావర్తన కాలం మరియు కక్ష్యా వేగం గణించండి.

9. గురుత్వాకర్షణ నియమాన్ని పేర్కొనండి మరియు గురుత్వాకర్షణ స్థిరాంకం G విలువను కావెండిష్ ప్రయోగం ద్వారా ఎలా నిర్ణయించవచ్చో వివరించండి?
10. గురుత్వాకర్షణ క్షేత్రాన్ని నిర్వచించండి మరియు గురుత్వాకర్షణ క్షేత్ర తీవ్రతకు సమాసాన్ని పొందండి.
11. గురుత్వాకర్షణ స్థితి శక్తిని నిర్వచించండి మరియు దాని కోసం సమాసాన్ని పొందండి.
12. గ్రహ చలనానికి సంబంధించిన కెప్లర్ నియమాలను పేర్కొనండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

8.1

1. చంద్రుని యొక్క ఆవర్తన కాలం, T = 27.3 days = 27.3 × 24 × 3600 seconds

చంద్రుని కక్ష్యా వ్యాసార్ధం, $R = 3.84 \times 10^8$ m

చంద్రుని కక్ష్యావేగం, $v = \frac{2\pi R}{T}$

అపకేంద్ర బలము, $F = m\frac{v^2}{R}$

పైసమీకరణాన్ని F = ma తో పోల్చగా

అపకేంద్రత్వరణము, $a = \frac{v^2}{R}$

$$= \frac{\left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2}{R} = \frac{4\pi^2 R^2}{T^2 R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

$$= \frac{4 \times (3.14)^2 \times 3.84 \times 10^8}{(27.3 \times 24 \times 3600)^2} = 0.00272 ms^{-2}$$

అపకేంద్ర త్వరణాన్ని గణించడానికి 'g' 3600 తో భాగిస్తాం. అప్పుడు మనకు ఈ విధంగా వస్తుంది

$$\frac{9.8}{3600} ms^{-2} = 0.0027222 ms^{-2}$$

అందువల్ల, చంద్రుని అపకేంద్ర త్వరణము 9.8 ms^{-2} ని 3600 చే భాగించగా వచ్చే విలువకు చాలా దగ్గరగా ఉంటుంది.

2. సమీకరణము (8.1), నుండి,

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

'G' విలువ కొరకు పై సమీకరణము నుండి

$$G = \frac{Fr^2}{m_1 m_2} = \frac{(\text{బలము}) \times (\text{దూరము})}{(\text{ద్రవ్యరాశి}) \times (\text{ద్రవ్యరాశి})} = \frac{Nm^2}{kg^2}$$

6. $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$

$m_1 = m_2 = 1$ kg మరియు $r = 1$ m, అయినప్పుడు,

$F = G$

అనగా,1 కిగ్రా ద్రవ్యరాశి గల రెండు ద్రవ్యరాశులు ఒకదానికొకటి 1 మీ దూరంలో ఉంచినప్పుడు వాటి మధ్య ఉండే బల పరిమాణము విశ్వ గురుత్వ స్థిరాంకము G సమానం

7. (i) $F \alpha \frac{1}{r^2}$, కావున 'r' రెట్టింపు చేస్తే బలం నాలుగవ వంతు అవుతుంది.

(ii) $F \alpha m_1 m_2$ కావున, m_1 మరియు m_2 లు రెట్టింపు చేస్తే F నాలుగు రెట్లు అవుతుంది.

(iii) $F \alpha \frac{m_1 m_2}{r^2}$, కావున, ఒక్కొక్క ద్రవ్యరాశి రెట్టింపు చేసి మరియు దూరాన్ని కూడా రెట్టింపు చేస్తే F లో ఎటువంటి మార్పు ఉండదు.

8. $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$

$m_1 = 50$ kg, $m_2 = 60$ kg, $r = 1$ m, $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}

$$F = \left(6.67 \times 10^{-11} Nm^2 kg^{-2}\right)\frac{(50kg)\times(60kg)}{(1)^2} = 2\times10^{-7} N$$

8.2

1. $g = \frac{GM}{R^2}$

$G = 6.67 \times 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}, $M = 5.97 \times 10^{24}$ kg, $R = 6.371 \times 10^6$ m

$$g = \frac{\left(6.67\times10^{-11} Nm^2 kg^{-2}\right)\times(5.97\times10^{24} kg)}{\left(6.371\times10^6 m\right)^2} = 9.81 ms^{-2}$$

2. $g = \frac{GM}{R^2}$

$$g_{(\text{భూమధ్యరేఖ})} = \frac{\left(6.67\times10^{-11} Nm^2 kg^{-2}\right)\times(5.97\times10^{24} kg)}{\left(6.378\times10^6 m\right)^2} = 9.79 ms^{-2}$$

$$g_{(\text{ధ్రువము})} = \frac{\left(6.67\times10^{-11}\,\text{Nm}^2\text{kg}^{-2}\right)\times(5.97\times10^{24}\,\text{kg})}{\left(6.357\times10^{6}\,\text{m}\right)^2} = 9.81\text{ms}^{-2}$$

3. 'g' విలువ ఎప్పుడూ నిట్టనిలువుగా కిందవైపుకు ఉంటుంది.

4. $$g_{(\text{చంద్రుడు})} = \frac{\left(6.67\times10^{-11}\,\text{Nm}^2\text{kg}^{-2}\right)\times(7.3\times10^{22}\,\text{kg})}{\left(1.74\times10^{6}\,\text{m}\right)^2} = 1.61\text{ms}^{-2}$$

8.3

1. $g_{\text{ఉపరితలం}} = \frac{GM}{R^2}$, ఇక్కడ R భూవ్యాసార్థము

$g_{\text{ఎత్తు వద్ద}} = \frac{GM}{R^2}$, ఇక్కడ r భూకేంద్రము నుండి ఎత్తు.

$$\frac{g_{\text{ఉపరితలం}}}{g_{\text{ఎత్తు వద్ద}}} = \frac{r^2}{R^2}$$

$g_{\text{ఎత్తు వద్ద}} = \frac{g_{\text{ఉపరితలం}}}{2}$, అయినప్పుడు $\frac{g_{\text{ఉపరితలం}}}{g_{\text{ఎత్తు వద్ద}}} = 2$ అవుతుంది.

అప్పుడు, $\frac{r^2}{R^2} = 2$

$$r = \sqrt{2}R = 1.414R$$

కాని, ఉపరితల 'g' విలువలో సగము అయిన ఎత్తు వద్ద,

$$h = r - R = 1.414\ R - R = 0.414R$$

2. భూమి లోపల 'g' లో మార్పు, $g_d = g\frac{(R-d)}{R}$

$$\frac{g_d}{g} = \frac{(R-d)}{R}$$

g_d ఉపరితల 'g' విలువలో 80% అయినప్పుడు $\frac{g_d}{g} = 80\%$ (లేదా) $\frac{g_d}{g} = \frac{80}{100} = 0.80$

అప్పుడు, $\frac{(R-d)}{R} = 0.80$

$$d = 0.2R$$

3. అక్షాంశాల పరంగా 'g' లో మార్పు $g_\lambda = g - R\omega^2\cos^2\lambda$

$$g_{\text{ధ్రువం}} = 9.853\ ms^{-2}$$

భూ వ్యాసార్థము, $R = 6.37 \times 10^6$ m

భూ కోణీయ వేగము, $\omega = 7.27 \times 10^{-5}$ rad s^{-1}

$g_{\text{ఢిల్లీ}} = 9.853\ ms^{-2} - (6.37 \times 10^6\ m) \times (7.27 \times 10^{-5}\ rad\ s^{-1})^2 \cos^2 30$

$g_{\text{ఢిల్లీ}} = 9.853\ ms^{-2} - 0.025\ ms^{-2}$

$g_{\text{ఢిల్లీ}} = 9.828\ ms^{-2}$

4. సమీకరణము (8.21) నుండి, $g_h = g\left(1 - \frac{2h}{R}\right)$

$$g_h = 9.81 ms^{-2}\left(1 - \frac{2 \times 1000 km}{6371 km}\right) = 7.47\ ms^{-2}$$

మనకు తెలిసిన సంబంధము నుండి, $g = \frac{GM}{(R+h)^2}$

$$g = \frac{\left(6.67 \times 10^{-11} Nm^2 kg^{-2}\right)(5.97 \times 10^{24} kg)}{(6371 \times 10^3 m + 1000 \times 10^3 m)^2} = 7.33\ ms^{-2}$$

ఇది చాలా కచ్చితమైన ఫలితాన్ని ఇస్తుంది. ఎందుకంటే సూత్రం $h \ll R$ సందర్భానికి వర్తిస్తుంది. ఇక్కడ $h \ll R$ కాదు.

8.4

1. చంద్రుని మీద 'g' విలువ భూమి మీద విలువ కన్నా 1/6వ వంతు ఉంటుంది. అంటే చంద్రుని మీద మీ బరువు భూమి మీద బరువుకు 1/6వ వంతు ఉంటుంది. ద్రవ్యరాశిలో మార్పు ఉండదు. స్థిరంగా ఉంటుంది.

2. కుజుడు ద్రవ్యరాశి $= 6 \times 10^{23}$ kg, కుజుడు వ్యాసార్థం 4.3×10^6 m.

$$g_{Mars} = \frac{GM}{R^2} = \frac{\left(6.67 \times 10^{-11} Nm^2 kg^{-2}\right)\left(6 \times 10^{23} kg\right)}{\left(4.3 \times 10^6 m\right)^2} = 2.16 ms^{-2}$$

$$\frac{\text{(కుజుడుపై భారం)}}{\text{(భూమిపై భారం)}} = \frac{\text{Mass} \times g_{Mars}}{\text{Mass} \times g_{Earth}} = \frac{g_{Mars}}{g_{Earth}} = \frac{2.16}{9.81} = 0.22$$

అనగా మీ బరువు భూమి మీద బరువుకు దాదాపు 1/4 వ వంతు ఉంటుంది. ద్రవ్యరాశి స్థిరంగా ఉంటుంది.

3. రెండు పళ్ళెములు గల త్రాసు, రెండు ద్రవ్యరాశులను సరిపోలిస్తుంది. ఎందుకంటే రెండు పళ్ళాలపై 'g' ప్రవర్తించి ఒకదానికొకటి రద్దు అయిపోతాయి. రెండవ రకం త్రాసు. స్ప్రింగు త్రాసు ఇది బరువును కొలుస్తుంది. రెండు పళ్ళేములు గల త్రాసు చంద్రునిపై కూడా అదే రీడింగును ఇస్తుంది. సంచి బంగాళదుంపలు భూమి మీద బరువుకు చంద్రుని మీద 1/6వ వంతు ఉన్నట్లు స్ప్రింగ్ త్రాసు చూపుతుంది.

8.5

1. అవును, ఎక్కడ వస్తువులు మధ్య బలం గురుత్వం అవుతుందో అక్కడ కెప్లర్ నియమాలు పాటించబడతాయి

2. కెప్లర్ మూడవ నియమం ప్రకారం

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{r_1^3}{r_2^3}$$

$r_1 = R + h_1 = 6371\ km + 1000\ km = 7371\ km$

$r_2 = R + h_2 = 6371\ km + 2000\ km = 8371\ km$

$$T_1 = 90\ min$$

$$T_2^2 = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3 T_1^2$$

$$T_2^2 = \left(\frac{8371}{7371}\right)^3 (90)^2 = 108.9\,min$$

3. కెప్లర్ మూడవ నియమం ప్రకారం

$$\frac{T^2_{\text{భూమి}}}{T^2_{\text{సెడ్నా}}} = \frac{r^3_{\text{భూమి}}}{r^3_{\text{సెడ్నా}}}$$

$T_{\text{భూమి}} = 1\ yr,\quad r_{\text{భూమి}} = 1\ AU$ మరియు $r_{\text{సెడ్నా}} = 86\ AU$

$$T^2_{\text{సెడ్నా}} = \left(\frac{r_{\text{సెడ్నా}}}{r_{\text{భూమి}}}\right)^3 T^2_{\text{భూమి}}$$

$$T_{\text{సెడ్నా}} = \left(\frac{r_{\text{సెడ్నా}}}{r_{\text{భూమి}}}\right)^{\frac{3}{2}} T_{\text{భూమి}} = \left(\frac{86AU}{1AU}\right)^{\frac{3}{2}} 1yr = 797.5yr$$

4. భూకేంద్రం నుండి దూరంలో గల ఉపగ్రహం ద్రవ్యరాశి m, కక్ష్యావేగం V అయితే, అపకేంద్ర బలమును గురుత్వ బలంతో సమానం చేయగా కింది విధంగా వస్తుంది.

భూమి చుట్టూ కక్ష్యలో తిరుగుటకు ఉపగ్రహానికి అవసరమయ్యేఅపకేంద్రక బలము,

$$F_{\text{అపకేంద్ర}} = \frac{mv_o^2}{r}$$

ఈ అపకేంద్రక బలము గురుత్వాకర్షణ చే సమకూర్చబడుతుంది.

$$F_{\text{గురుత్వ}} = \frac{GmM}{r^2}$$

ఇక్కడ M భూమి ద్రవ్యరాశి.

భూమి చుట్టూ కక్ష్యలో ఒక ఉపగ్రహాము పరిభ్రమిస్తున్నప్పుడు, పైన పేర్కొన్న రెండు బలాలు సమతుల్యంగా ఉంటాయి, అందువల్ల,

$$\frac{mv_o^2}{r} = \frac{GmM}{r^2}$$

$$v_o^2 = \frac{GM}{r}$$

g మరియు G మధ్య సంబంధం నుండి, $GM = gR^2$ అని మనకు తెలుసు. దీనిని ప్రతిక్షేపించగా,

$$v_o^2 = \frac{gR^2}{r}$$

$$v_o = \sqrt{\frac{gR^2}{(R+h)}}$$

ఇక్కడ ఉపగ్రహం యొక్క కక్ష్య యొక్క వ్యాసార్థం $r = (R + h)$,

ఇక్కడ R అనేది భూమి యొక్క వ్యాసార్థం మరియు h అనేది భూమి యొక్క ఉపరితలం నుండి ఉపగ్రహం యొక్క ఎత్తు. ఉపగ్రహం భూమికి చాలా దగ్గరగా ఉంటే, $(R+h) \approx R$. అప్పుడు,

$$v_o = \sqrt{gR}$$

5. సమీకరణము (8.30) నుండి, వ్యాసార్థం 'r' గల కక్ష్యలో పరిభ్రమిస్తున్న గ్రహం యొక్క వేగం,

$$v_o = \frac{2\pi r}{T}$$

సమీకరణము (8.31) నుండి, గ్రహ కక్ష్యా వేగము, $v_o = \sqrt{\frac{GM}{r}}$

పై సమీకరణముల నుండి,

$$\frac{2\pi r}{T} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

$$\frac{4\pi^2 r^2}{T^2} = \frac{GM}{r}$$

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM}\right) r^3$$

కుడివైపు కుండలిలో (బ్రాకెట్‌లో) ని అన్ని పదాలు స్థిరాంకాలు. కావున,

$$T^2 \ \alpha \ r^3$$

8.6

1. $$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

$$v_e = \sqrt{\frac{2\left(6.67\times10^{-11}\,Nm^2kg^{-2}\right)(5.97\times10^{24}\,kg)}{(6.371\times10^6\,m)}} = 11.3\times10^3\,ms^{-1}$$

$$v_e = 11.3\ km\ s^{-1}$$

2. $v_e\,\alpha\sqrt{\frac{1}{R}}$

R విలువ 1/4వ వంతు అయితే, అప్పుడు

$$v_e\,\alpha\sqrt{\frac{1}{R/4}} \Rightarrow v_e\,\alpha\sqrt{\frac{4}{R}} \Rightarrow v_e\,\alpha\,2\sqrt{\frac{1}{R}}$$

పలాయన వేగము రెట్టింపు అవుతుంది.

3. భూమిపై పలాయన వేగము, $v_e = \sqrt{\frac{2GM_e}{R_e}}$

గ్రహము X పై పలాయన వేగము, $v_X = \sqrt{\frac{2GM_X}{R_X}}$

$$\frac{v_X}{v_e} = \sqrt{\frac{M_X R_e}{M_e R_X}}$$

ఇక్కడ $M_X = 8\ M_e$ మరియు $R_X = 2R_e$

$$\frac{v_X}{v_e} = \sqrt{\frac{(8M_e)R_e}{M_e(2R_e)}} = \sqrt{4} = 2$$

$$v_X = 2v_e$$

ఊహాత్మక గ్రహం X పై పలాయన వేగం భూమిపై ఉన్న దానికంటే రెట్టింపు ఉంటుంది.

8.7

1. 'r' వ్యాసార్థము గల కక్ష్యలో తిరుగుతున్న ఉపగ్రహ వేగము, $v_o = \frac{2\pi r}{T}$

ఉపగ్రహ కక్ష్యా వేగము, $v_o = \sqrt{\frac{GM}{r}}$

పై సమీకరణముల నుండి,

$$\frac{2\pi r}{T} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

$$\frac{4\pi^2 r^2}{T^2} = \frac{GM}{r}$$

$$r^3 = \left(\frac{GM}{4\pi^2}\right)T^2$$

$$r^3 = \frac{\left(6.67\times10^{-11}\,Nm^2kg^{-2}\right)\times\left(6.4\times10^{23}\,kg\right)\times(24.6\times60\times60s)^2}{4\times(3.14)^2}$$

$$r^3 = 8370 \times 10^{18}\ m^3$$

$$r = 20300\ km$$

కాని 'r' గ్రహ కేంద్రము నుండి దూరము. కావున r = R + h, ఇక్కడ R వ్యాసార్థము మరియు h ఉపరితలము నుండి ఎత్తు.

$$R + h = 20300\ km$$

$$3400\ km + h = 20300\ km$$

$$h = 20300\ km - 3400\ km = 16{,}900\ km$$

2. (a) ప్రతిబింబాలు స్పష్టంగా ఉంటాయి

   (b) X-కిరణ దూరదర్శిని మొదలగునవి కూడా పనిచేస్తాయి.

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

3. 125 N

5. $g = 5.5\ ms^{-2}$

7. భారము $= \frac{500}{6}$ N, భూమి మీద,చంద్రుని మీద ద్రవ్యరాశి 50 kg మాత్రమే.

8. $T = 1\frac{1}{2}$ hours, $v = 7.47 kms^{-1}$

9

ఘనపదార్థాల స్థితిస్థాపక ధర్మాలు

పరిచయం

వస్తువులో స్థానభ్రంశంను కలగచేసే బల ప్రభావం గురించి మీరు ముందు పాఠాల్లో చదువుకున్నారు. వస్తువుపై ప్రయోగించిన బలం, ఆ వస్తువు యొక్క ఆకారాన్ని లేదా పరిమాణాన్ని కూడా మార్చవచ్చును. ఉదాహరణకు, ఒక స్ప్రింగ్‌పై సరైన బలాన్ని ప్రయోగించడంవల్ల దాని ఆకారంలోను, పరిమాణంలోను మార్పులు రావడం మనం గమనిస్తాం. ఆ బలం తొలగించగానే స్ప్రింగ్ యథాస్థితికి వస్తుంది. కాని అదే బలాన్ని మోడలింగ్ మట్టి (నమూనాల తయారికి ఉపయోగించే మెత్తటి పదార్థం) పైగాని, కరిగించిన మైనం ముద్దపైగాని ప్రయోగించండి. బాహ్య బలం తొలగించగానే పూర్వపు పరిమాణాన్ని, ఆకారాన్ని పొందుతాయా? అవి వాటి తొలి ఆకారాన్ని, పరిమాణాన్ని పొందవు. అంటే, కొన్ని వస్తువులు వాటి తొలి ఆకారాన్ని, పరిమాణాన్ని పొందితే, మరికొన్ని పొందవు. ఈ విధమైన ప్రవర్తన పదార్థ ధర్మమైన స్థితిస్థాపకతపై ఆధారపడుతుంది.

ఏదైనా వస్తువుపై ప్రయోగించిన బలాన్ని తొలగించినప్పుడు, అది తన పూర్వపు పరిమాణాన్ని, ఆకారాన్ని పొందే లక్షణాన్ని స్థితిస్థాపకత మరియు ఈ వైకల్యాన్ని స్థితిస్థాపకత అంటారు. కానీ కొన్ని వస్తువుల విషయంలో ప్రయోగించిన బలాన్ని తొలగించినప్పటికీ తమ పూర్వపు ఆకారాన్ని పొందకుండా, కొంత మేరకు శాశ్వత వికృతికి లోనవుతాయి. ఇటువంటి పదార్థాలను అస్థిస్థాపక (ప్లాస్టిక్) పదార్థాలనీ మరియు ఈ లక్షణాన్ని అస్థితిస్థాపకత అని అంటారు.

పదార్థాల స్థితిస్థాపక ధర్మం, నిత్యజీవితంలో అత్యంత ప్రాముఖ్యతను కలిగి ఉంది. తీగల సహాయంతో పనిచేసే కేబుల్ కార్లు, లిఫ్ట్‌లు, క్రేన్‌లు మొదలైనవాటిలో తీగల (దారుధ్యాన్ని) ధృడత్వాన్ని నిర్ణయించడంలో 'స్థితిస్థాపకత' ప్రముఖ పాత్ర పోషిస్తుంది. ఈ ధర్మాన్ని ఉపయోగించి భవనాలు మరియు వంతెనల నిర్మాణాలలో ఉపయోగించే కడ్డీల, లోహపు స్తంభాల దృఢత్వాన్ని కనుగొంటాము. ఈ యూనిట్‌లో పదార్థాల దృఢత్వాన్ని గురించి, వాటిని ప్రభావపరిచే అంశాల గురించి చదువు కొంటారు.

లక్ష్యాలు

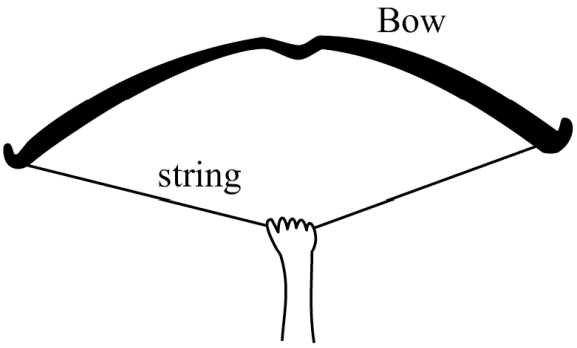
ఈ పాఠం చదివిన తరువాత ఈ క్రింది విషయాలు తెలుసుకుంటారు.

- అణు సిద్ధాంత రీత్యా పదార్థాల వివిధ స్థితుల మధ్య భేదాన్ని గుర్తించడం
- స్థితిస్థాపక, అస్థితిస్థాపక పదార్థాల మధ్య భేదాన్ని గుర్తించడం.
- ప్రతిబలం, పీడనాల మధ్య భేదాన్ని గుర్తించడం.
- అనుధైర్ఘ్య, అభిలంబ, విమోటన ప్రతిబింబాలను నిర్వచించిడం.

- వికృతి, వివిధ రకాల వికృతులను నిర్వచించడం.
- ఒక స్థితిస్థాపక వస్తువు యొక్క ప్రతిబలం–వికృతిల వక్రాన్ని అధ్యయనం చేయడం మరియు
- హుక్ నియమాన్ని అర్థం చేసుకోవడం.
- యంగ్ గుణకం, ఆయత గుణకం, దృఢతా/విమోటన గుణకం మరియు పాయిజాన్ నిష్పతులను నిర్వచించడం.
- స్థితిస్థాపక స్థితిజశక్తిని నిర్వచించడం, దాని సమీకరణాన్ని రాబట్టడం
- ప్రతిబలం,
- పదార్థాల స్థితిస్థాపక లక్షణాలను అనుసరించి, సురక్షితమైన మరియు స్థిరమైన నిర్మాణాలను డిజైన్ చేయడం.

9.1 స్థితిస్థాపకత

బాహ్యబల ప్రభావం వల్ల వస్తువు ఆకారంలో గాని, పరిమాణంలోగాని (లేక రెండింటిలో నూ) మార్పు వస్తుందని మీకు తెలిసే ఉంటుంది. వస్తువులో కలిగే విరూపణ వస్తువు ఆకారంపైన, పదార్థంపైన మరియు బాహ్య బలం పైన ఆధారపడి ఉంటుంది. విరూపణ బలాన్ని తొలగించగానే వస్తువులు తొలి ఆకారాన్ని, పరిమాణాన్ని తిరిగి పొందుతాయి.



పటం 9.1 వింటి తీగపై బలాన్ని ప్రయోగించి, దాని ఆకారాన్ని మార్చుట

భారాన్ని వేలాడదీసిన స్ప్రింగ్ లేదా వింటి తీగపై బలాన్ని ప్రయోగించినప్పుడు లేదా రబ్బరు బంతిని నొక్కినప్పుడు ఈ విషయాన్ని గమనించవచ్చు. వింటి తీగపై బలాన్ని ప్రయోగించి లాగినప్పుడు దాని ఆకారంలో కలిగే మార్పును మీరు గమనించే ఉంటారు. వింటి తీగను వదిలిన వెంటనే అది పూర్వపు ఆకారాన్ని, పరిమాణాన్ని పొందుతుంది (పటం 9.1).

విరూపణ బలాలను తొలగించగానే, పూర్వపు ఆకారాన్ని, పరిమాణాన్ని తిరిగి పొందే పదార్థ ధర్మాన్ని 'స్థితిస్థాపకత' అంటారు.

9.2 స్థితిస్థాపక మరియు ప్లాస్టిక్ వస్తువులు

విరూపణ బలాలను తొలగించగానే పూర్తిగా పూర్వస్థితిని పొందే వస్తువులను 'పరిపూర్ణ స్థితిస్థాపక' వస్తువులంటారు. విరూపణ బలాన్ని తొలగించినా విరూపణ స్థితిలోనే ఉండి అంటే విరూపణను పోగొట్టుకోలేని వైఖరిని చూపించే వస్తువులను పరిపూర్ణ ప్లాస్టిక్ వస్తువులంటారు. వాస్తవంలో వస్తువుల ప్రవర్తన ఈ రెండు అవధుల మధ్య ఉంటుంది. పరిపూర్ణ స్థితిస్థాపక వస్తువులుగాని, పరిపూర్ణ ప్లాస్టిక్ వస్తువులుగాని ప్రకృతిలో లభించవు (ఉండవు).

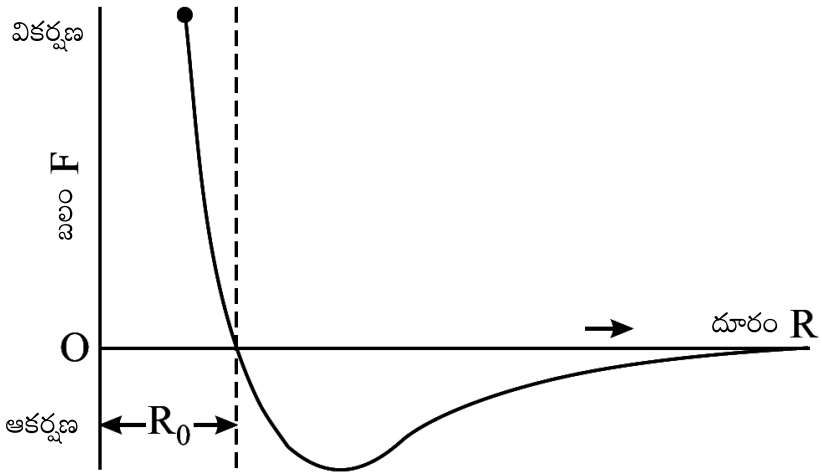
పరిపూర్ణ స్థితిస్థాపక వస్తువుకు దగ్గరగా ఉండే ఉదాహరణ 'క్వార్ట్జ్ తంత్రి (తీగ). అదేవిధంగా పరిపూర్ణ అస్థితిస్థాపక వస్తువుకు ఉదాహరణ సాధారణ పుట్టీ (putty). విరూపణను ఎంత ఎక్కువ వ్యతిరేకిస్తే, అంత ఎక్కువ స్థితిస్థాపకత ఆ వస్తువుకు ఉన్నట్లు భావించవచ్చును. స్థితిస్థాపక విరూపణ విజ్ఞానశాస్త్రంలో ఎంత ముఖ్యమో, ప్లాస్టిక్ (బహురూప) విరూపణలు కూడా యాంత్రిక ప్రకియలలో అంతే అవసరం. ముద్రను వేయడం, లోహపు ముక్కలను వంచడం, సాగదీయడం లాంటి ప్రక్రియలను మీరు చూసే ఉంటారు. ప్లాస్టిక్ విరూపణ ద్వారా మాత్రమే ఇవన్నీ సాధ్యమవుతాయి.

స్థితిస్థాపక దృగ్విషయాన్ని అంతర అణుబలాల ఆధారంగా వివరించవచ్చు.

9.3 పదార్థాల అణు సిద్ధాంతం : అంతర అణు బలాలు

అణువులు మరియు పరమాణువులతో పదార్థం తయారై ఉంటుందని మనకు తెలుసు. వాటి మధ్య పనిచేసే బలాలు పదార్థ నిర్మాణానికి కారణభూతం అవుతాయి. అణువుల మధ్య పనిచేసే బలాలనే 'అంతర అణు బలాలు' అంటారు.

అణువుల మధ్య అంతరాన్ని (దూరాన్ని) బట్టి, వాటి మధ్య పనిచేసే అంతర అణుబలాలు ఎలా మారతాయో పటం 9.2 లో చూపబడింది.



పటం 9.2 అంతర అణుబలం మరియు అంతర అణువుల మధ్య దూరాల మధ్య గ్రాఫ్

అణువుల మధ్య దూరం ఎక్కువగా ఉంటే, రెండు అణువుల మధ్య బలహీనమైన ఆకర్షణ బలం ఉంటుంది. అణువుల మధ్య దూరం (అంతరం) తగ్గే కొద్ది ఆకర్షణ బలం పెరిగి, ఒకానొక కనిష్ఠ దూరం వద్ద గరిష్ఠం అవుతుంది. ఆ కనిష్ఠ అంతరం ఇంకా తగ్గితే అణువుల మధ్య బలం వికర్షణ బలంగా మారుతుంది. $R = R_0$ (ఒక కనిష్ట దూరం) వద్ద అణువుల మధ్య ఫలితబలం శూన్యం. ఈ కనిష్ఠ దూరాన్ని సమతాస్థితి దూరం లేక సమతాస్థితి అంతరం (equilibrium separation) అంటారు. కావున అణువుల మధ్య అంతరం $R > R_0$ అయితే వాటి మధ్య ఆకర్షణబలం ఉంటుంది మరియు $R < R_0$ అయితే అణువుల మధ్య వికర్షణబలం ఉంటుంది.

ఘన పదార్థాలలో, అణువులు చాలా దగ్గరగా, సమతాస్థితి అంతర దూరం (10^{-10} m) లో ఉంటాయి. బలమైన అంతర అణుబలాల వల్ల అణువులు ఘన పదార్థాలలో స్థిరమైన స్థానాలలో ఉంటాయి. ఘనపదార్థానికి నిర్దిష్టమైన ఆకారం ఎందుకు ఉంటుందో ఇప్పుడు మీకు అర్థమై ఉంటుంది.

ద్రవపదార్థాలలో, అణువుల మధ్య సగటు అంతరం ఈ దూరాని (10^{-8} m) కంటె కొంచెం ఎక్కువగా ఉంటుంది. ఫలితంగా అణువుల మధ్య ఆకర్షణబలాలు బలహీనంగా ఉంటాయి . ఘన పదార్థాల్లోని అణువులతో పోల్చి చూసినప్పుడు ద్రవం యొక్క మొత్తం ద్రవ్యరాశిలో అవి స్వేచ్ఛగా కదులుతూ ఉంటాయి. ద్రవాలకు ఎందుకు నిర్దిష్టమైన ఆకారం ఉండదో ఇప్పుడు మీకు అర్థమై ఉంటుంది. అందువల్ల ద్రవాన్ని ఏ పాత్రలో పోస్తే, ఆ పాత్ర ఆకారాన్ని అది సంతరించుకుంటుంది.

వాయు పదార్థాలలో, అణువుల మధ్య దూరం చాలా ఎక్కువ, కావున వాటి మధ్య పనిచేసే ఆకర్షణబలం అత్యంత బలహీనంగా (ఉపేక్షింపదగినంతగా) ఉంటుంది. అందుచేతనే, వాయు అణువులు పాత్ర అంతటా స్వేచ్ఛగా చలిస్తూ ఉంటాయి. కావున వాయువులకు స్థిరమైన ఆకారంగాని, పరిమాణంగాని ఉండదు.

9.4 అణుసిద్ధాంత రీత్యా స్థితిస్థాపకత

క్రమాకారంలో అమరి ఉన్న అనేక పరమాణువులతో ఘన పదార్థం కూడి ఉంటుందని మీకు తెలుసు. ప్రతి పరమాణువు పై సమీప పరమాణువుల బల ప్రభావం ఉంటుంది. ఈ అంతర పరమాణు బలాలవల్ల ప్రతి పరమాణవు స్థిర సమతాస్థితిలో ఉండడంచేత ఘనపదార్థాలకు నిర్దిష్ట ఆకారం ఉంటుంది. వస్తువు విరూపణకు గురైనపుడు, పరమాణువులు వాటి పూర్వ స్థితి నుండి స్థానభ్రంశం చెందుతాయి. పరమాణువుల మధ్య అంతర పరమాణు దూరం మారుతుంది. విరూపణలో కణాల మధ్య దూరం (R), సమతాస్థితి దూరం (R_0), (అంటే $R > R_0$) కంటే ఎక్కువైనప్పుడు బలమైన ఆకర్షణ బలాలు ఏర్పడతాయి. అయితే, అంతర పరమాణు దూరం తగ్గినప్పుడు (అంటే $R < R_0$) బలమైన వికర్షణ బలాలు ఏర్పడతాయి. ఈ బలాలను "పునఃస్థాపక బలాలు" అంటారు. ఈ పునఃస్థాపక బలాలు పరమాణువులను యథాస్థానానికి తీసుకరావడానికి ప్రయత్నిస్తాయి. ఘన పదార్థాలలో పరమాణువుల ప్రవర్తనను, స్ప్రింగులకు కట్టిన బంతుల వ్యవస్థతో పోల్చవచ్చు.

వస్తువును విరూపణ చెందించడానికి బలాలను ఏ విధంగా ప్రయోగించాలో ఇప్పుడు తెలుసుకుందాం.

పరమాణువు గురించి ప్రాచీన భారతీయ భావన

ప్రపంచంలో మొదటిసారిగా పరమాణు భావన గురించి ఆలోచన చేసిన వ్యక్తి మనదేశానికి చెందిన కనాధ ఇతను క్రీ.పూ. 6వ శతాబ్దంలో అలహాబాద్ వద్దనున్న "ప్రభాస" ప్రాంతంలో నివసించాడు.

ఇతని భావన ప్రకారం, విశ్వమంతా పరమాణువులచే నిర్మింపబడింది. అవి శాశ్వతమైనవి మరియు నాశనము చేయలేనివి. పరమాణువులు కలిసి వివిధ రకాల అణువులు ఏర్పడతాయి. రెండు పరమాణువులు కలిసి ఒక అణువు ఏర్పడితే దాన్ని 'ద్వి అణుక' అని మూడు పరమాణువులతో ఏర్పడితే దాన్ని 'త్రి అణుక' అని అంటారు. ఇతను 'వైశేషిక సూత్ర' అనే గ్రంథాన్ని రచించాడు.

ప్రాచీన భారతీయులు పరమాణు పరిమాణాన్ని కూడా అంచనావేయ గలిగారు. బుద్ధుని జీవిత చరిత్ర (లలిత విస్తార) లో పరమాణు పరిమాణం సుమారుగా 10^{-10} m ఉండవచ్చు అన్న విషయం నమోదు చేయబడింది. ఇది ఆధునిక పద్ధతిలో కనుగొన్న పరమాణు పరిమాణానికి దగ్గరగా ఉంది.

9.5 ప్రతిబలం

ఒక బాహ్యబలం లేక బలాల వ్యవస్థ వస్తువుపై పనిచేసినపుడు, అది ఆకారంలోగాని, పరిమాణంలోగాని, ప్రయోగించిన బల స్వభావాన్నిబట్టి మార్పును పొందుతుంది. విరూపణ ప్రక్రియలో అణువులు సమతా స్థితిస్థానాల నుండి స్థానభ్రంశాల వల్ల అంతర పునఃస్థాపక బలం ఏర్పడుతుందని మనం వివరించాం. ఈ అంతర పునఃస్థాపక బలం విరూపణ బలాన్ని వ్యతిరేకిస్తుంది. విరూపణకు గురి అయిన వస్తువులో ప్రమాణ మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యంపై పనిచేసే అంతర పునఃస్థాపక బలాన్ని ప్రతిబలం అంటారు.

సమతాస్థితిలో, పునఃస్థాపక బలం, బాహ్య విరూపణ బలానికి పరిమాణంలో సమానంగా, దిశలో వ్యతిరేకంగా ఉంటుంది. కావున సమతాస్థితిని పొందినప్పుడు ప్రతిబలాన్ని, ప్రమాణ మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యంపై పనిచేసే బాహ్య బలంగా కొలుస్తారు. 'F' పరిమాణం గల విరూపణ బలం, 'A' వైశాల్యం పై పనిచేసినప్పుడు

$$\text{ప్రతిబలం (stress)} = \frac{\text{పునఃస్థాపక బలం}}{\text{వైశాల్యం}} = \frac{\text{విరూపణ బలం (F)}}{\text{వైశాల్యం (A)}}$$

లేదా

$$\text{ప్రతిబలం} = \frac{F}{A} \qquad (9.1)$$

ప్రతిబలానికి ప్రమాణం Nm^{-2}. ఈ ప్రతిబలం మూడు రకాలుగా ఉండవచ్చు. అనుదైర్ఘ్య, అభిలంబ మరియు విమోటనం. ఒక దాని తరువాత ఒకటిగా వీటిని అధ్యయనం చేద్దాం.

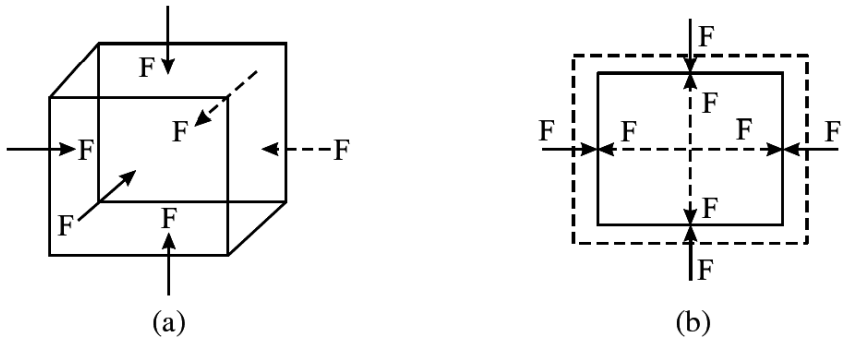
9.5.1 అనుదైర్ఘ్య ప్రతిబలం

విరూపణ బలాలు వస్తువు పొడవు వెంబడి ఉంటే ఏర్పడిన ప్రతిబలాన్ని 'అనుదైర్ఘ్య ప్రతిబలం' అంటారు. ఈ ప్రతిబలాల రెండు రూపాలను పటం 9.3 (a), 9.3 (b) లో చూపించారు.

పటం 9.3(a) తన్యతో (tensile) ప్రతిబలం, (b) సంపీడ్య ప్రతిబలం

9.5.2 అభిలంబ ప్రతిబలం

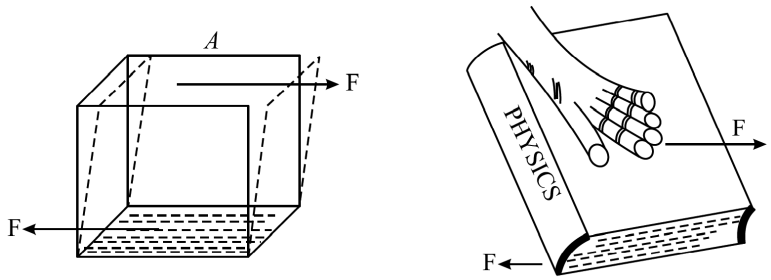
వస్తువు ఆకారంలో మార్పు రాకుండా ఘనపరిమాణంలో మార్పు కలిగే విధంగా విరూపణ బలాలను వస్తువు ఉపరితలం అంతటా ఏకరీతిగా, లంబంగా ప్రయోగించినప్పుడు ఏర్పడిన ప్రతిబలాన్ని అభిలంబ ప్రతిబలం అని అంటాం (పటం 9.4). వస్తువు ఉపరితలం అంతటా ఏకరీతిగా బలాన్ని ప్రయోగించి అభిలంబ ప్రతిబలాన్ని ఏర్పరచవచ్చు. ఉపరితలానికి లంబంగా ప్రమాణ వైశాల్యంపై విరూపణ బలాన్ని పీడనం అంటారు. ఉపరితలానికి లంబంగా ప్రమాణ వైశాల్యంపై పునఃస్థాపక బలాన్ని ప్రతిబలం అంటారు.



పటం 9.4 అభిలంబ ప్రతిబలం

9.5.3 విమోటన ప్రతిబలం

వస్తువు ఘనపరిమాణంలో మార్పు రాకుండా, ఆకారంలో మార్పు కలిగేట్లు ఉపరితలానికి స్పర్శీయంగా లేదా సమాంతరంగా విరూపణ బలాలు పనిచేసినప్పుడు పటం 9.5(a) ఏర్పడే ప్రతిబలాన్ని విమోటన ప్రతిబలం అంటారు. విమోటన ప్రతిబలానికి ఉదాహరణగా పటం 9.5(b) లో పుస్తక స్థానం స్థిరంగా ఉండే విధంగా దానిపై భాగంపై బలాన్ని ప్రయోగించి ప్రక్కకు తోయబడిన పుస్తకాన్ని చూపించారు. ఘర్షణ బలం భూమిని ఆనుకొని ఉన్న పుస్తక తలాన్ని పట్టి ఉంచుతుంది.



పటం 9.5(a) విమోటన ప్రతిబలం (b) పుస్తకాన్ని ప్రక్కకు నెట్టడం

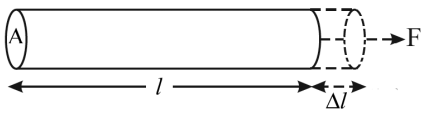
9.6 వికృతి

విరూపణ బలాలు, వస్తువు కొలతలలో మార్పును కలగచేస్తాయి. ప్రమాణ కొలతకు, కొలత (ఉదాహరణకు, పొడవు, ఆకారం లేదా ఘనపరిమాణం) లో కలిగే మార్పును 'వికృతి' గా నిర్వచిస్తారు. ఈ కొలతలో మార్పు పొడవులోనూ, వైశాల్యములోనూ లేక ఘనపరిమాణంలోనూ కావచ్చును. వికృతి ఒకే రకమైన రెండు రాశుల మధ్య నిష్పత్తి కావున దీనికి ప్రమాణాలు, మితులు ఉండవు.

ప్రయోగించబడిన ప్రతిబలాన్ని బట్టి వికృతి మూడు రకాలు (i) అనుదైర్ఘ్య వికృతి (ii) ఘనపరిమాణ (స్థూల) వికృతి మరియు (iii) విమోటన వికృతి.

9.6.1 అనుదైర్ఘ్య వికృతి

అనుదైర్ఘ్య విరూపణ బలాన్ని ప్రయోగించినప్పుడు వస్తువు పొడవు 'l' లో 'Δl' మార్పు (పటం. 9.6) అయితే



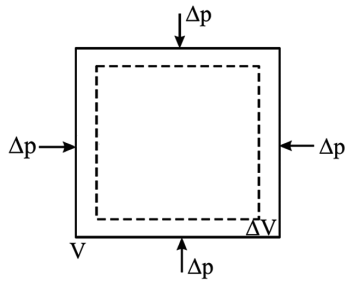
పటం 9.6 అనుదైర్ఘ్య వికృతి

$$\text{అనుదైర్ఘ్య వికృతి} = \frac{\text{పొడవులో మార్పు}}{\text{తొలి పొడవు}} = \frac{\Delta l}{l} \qquad (9.2)$$

9.6.2 ఘనపరిమాణ వికృతి

ఏకరీతి పీడనం 'ΔP' ను ప్రయోగించినప్పుడు వస్తువు ఆకారంలో మార్పు రాకుండా, వస్తు ఘనపరిమాణం 'V' లో మార్పు 'ΔV' (పటం. 9.7) అయితే,

$$\text{ఘనపరిమాణ వికృతి} = \frac{\text{ఘనపరిమాణంలో మార్పు}}{\text{తొలి ఘనపరిమాణం}} = \frac{\Delta V}{V} \qquad (9.3)$$



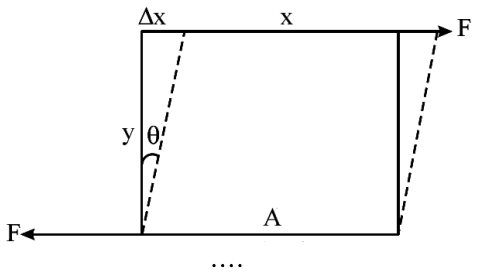
పటం 9.7 ఘనపరిమాణ వికృతి

9.6.3 విమోటన వికృతి

విరూపణ బలాలు స్పర్శీయంగా ఉన్నప్పుడు (పటం. 9.8) కలిగే విరూపణ, స్థిరతలానికి లంబంగా ఉండే రేఖ విరూపణ వల్ల తిరిగిన కోణం θ, విమోటన వికృతిని ఇస్తుంది. (ఈ కోణం θ సాధారణంగా చాలా స్వల్పంగా ఉంటుంది).

$$\theta = \frac{\Delta x}{y} \qquad (9.4)$$

గా రాయవచ్చు.

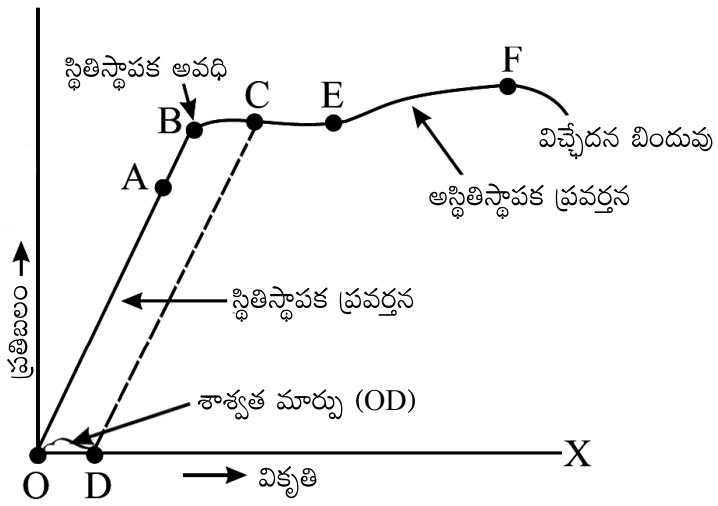


పటం 9.8 విరూపణ వికృతి

9.7 పతిబల - వికృతి వక్రం

9.7.1 లోహపు తీగకు ప్రతిబలం-వికృతి వక్రం

ఏకరీతి మధ్యచ్ఛేదం గల లోహపు తీగపై పనిచేసే తన్యతా ప్రతిబాలానికి వికృతికి మధ్యగల సంబంధాన్ని, దానిపై బలాన్ని ప్రయోగించి ప్రయోగ పూర్వకంగా తెలుసుకోవచ్చు. క్రమంగా బలాన్ని పెంచుతూ తీగ పొడవులో మార్పును (వికృతిని) గుర్తించాలి. ప్రతిబలం (ప్రమాణ వైశాల్యంపై ప్రయోగించిన బలం) మరియు వికృతిల మధ్య గ్రాఫ్ గీయాలి. లోహపు తీగకు ఈ వక్రం పటం 9.9లో చూపిన విధంగా ఉంటుంది. ఈ గ్రాఫ్‌ల ద్వారా పెరిగే



పటం 9.9 ఉక్కు తీగకు ప్రతిబలం-వికృతి వక్రం

భారానికి పదార్థంలో వచ్చే వికృతిని అర్థం చేసుకోవడంలో ఈ వక్రం మీద ప్రత్యేక ప్రాముఖ్యతను కలిగిన ప్రాంతాలను, బిందువుల గురించి తెలుసుకుందాం.

1. **అనుపాత ప్రాంతం (OA):** ప్రతిబలం-వికృతిలో OA సరళ రేఖ, ఈ ప్రాంతంలో ప్రతిబలం, వికృతికి అనులోమాను పాతంలో ఉంటుందని సూచిస్తుంది. వస్తువు పరిపూర్ణ స్థితిస్థాపక వస్తువులా ప్రవర్తిస్తుంది. హుక్ నియమం పాటించబడుతుంది. ప్రయోగించిన బలం తొలగించగా వస్తువు తన పూర్వపు ఆకారాన్ని పొందుతుంది.

2. **స్థితిస్థాపక అవధి (AB):** A స్థానంకన్నా, వికృతి కొద్దిగా పెరిగితే, ప్రతిబలం వికృతికి అనులోమానుపాతంలో ఉండదు. కాని తీగకు స్థితిస్థాపకత ఉంటుంది. అంటే, ఈ స్థితిలో విరూపణ బలాన్ని (భారం) తొలగిస్తే, అది తిరిగి యథాస్థితికి చేరుకుంటుంది. ఏ గరిష్ఠ వికృతి వరకు (తీగ) వస్తువు స్థితిస్థాపక ధర్మాన్ని ప్రదర్శిస్తుందో ఆ గరిష్ట వికృతిని 'స్థితిస్థాపక అవధి' లేదా ఈగు స్థానము మరియు ప్రతిబలాన్ని పదార్థపు ఈగు సామర్థ్యం అంటారు. ఈ అవధి తరువాత (బిందువు B) వస్తువు ప్లాస్టిక్ వస్తువు (Plastic body) గా ప్రవర్తిస్తుంది.

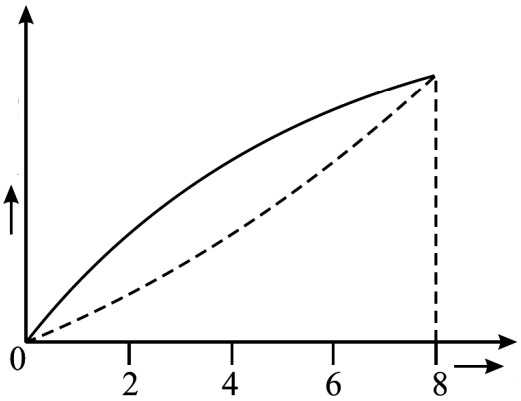
3. **C బిందువు :** తీగను B బిందువు కన్నా ఎక్కువ సాగదీసినపుడు, భారం (ప్రతిబలం) లో స్వల్పమార్పుకు కూడా వికృతి గణనీయంగా పెరిగి, ప్లాస్టిక్ వస్తువుగా మారుతుంది. గ్రాఫ్‌లో ఇది BE ప్రాంతంగా సూచించబడింది. దీని అర్థం ఏమటంటే BE ల మధ్య ఒకానొక బిందువు C వద్ద వికృతికి కారణం అయ్యే ప్రతిబింబాన్ని తొలగించినప్పటికీ. తీగ తన పూర్వపు స్థితిని పొందదు. అది గ్రాఫ్‌లో CD చుక్కల గీతను అనుసరిస్తుంది. పూర్వపు స్థితిని ఈ సందర్భంలో ప్రతిబలం సున్నా అయినప్పటికీ వికీతి సున్నా కాదు. శూన్య భారవికృతి మీద మిగిలిన వికృతిని శాశ్వత స్థితి అంటారు. ఈ వికృతిని అస్థితిస్థాపక వికృతి అంటారు. గ్రాఫ్‌పై బిందువు E తరువాత ఏర్పడే సాగుదల శాశ్వతం.

4. **విచ్ఛేదన బిందువు F :** E బిందువు తరవాత వికృతి అతివేగంగా పెరిగి, F బిందువు సమీపంలో భారంను పెంచనప్పటికీ తీగ పొడవు అవిచ్ఛిన్నంగా పెరుగుతుంది. ఈ బిందువును 'విచ్ఛేదన బిందువు' (Breaking point) లేదా విరిగే బిందువు (Fracture point) అని, సంబంధిత ప్రతిబలాన్ని 'విచ్ఛేదన ప్రతిబలం' (breaking stress) అని అంటారు. స్థితిస్థాపక అవధిలోపల వస్తువు లోనయ్యే గరిష్ఠ ప్రతిబలాన్ని పని చేయగల ప్రతిబింబం అంటారు. పనిచేయగల ప్రతిబింబాన్ని విచ్ఛేదన ప్రతిబలానికి గల నిష్పత్తిని రక్షణ గుణకం (Safety factor) అంటారు. దీనిని U.K లో 10 గాను, USA లో 5గాను తీసుకుంటారు. మనం U.K విధానాలను అనుసరిస్తాం. స్థితిస్థాపక అవధికి, విచ్ఛేదన బిందువుకు మధ్య వికృతి చాలా ఎక్కువగా ఉంటే, ఆ పదార్థాన్ని అనమ్య (ductile) పదార్థాలు అంటారు. స్థితిస్థాపక అవధి దాటిన వెంటనే తెగిపోయే పదార్థాలను 'పెళుసు' పదార్థాలంటారు. ఉదాహరణ గాజు.

9.7.2 రబ్బరుకు ప్రతిబలం-వికృతి వక్రం

ఒక రబ్బరు తాడును దాని సహజపొడవు కన్నా ఎక్కువగా ఉండేలా కొన్నిసార్లు సాగదీసి వదిలితే, బలాలను తొలగించగానే అది తన తొలి పొడవును పొందుతుంది. రబ్బరుకు స్థితిస్థాపక ప్రాంతము ఎక్కువ, దానికి స్పష్టమైన ప్లాస్టిక్ (Plastic) ప్రాంతము ఉండదు. వికృతి విలువ అధికంగాగల పదార్థాలను ఎలాస్టోమర్స్ (Elastomers) అంటారు. ఈ ధర్మం ఆ పదార్థాలలో అణువుల అమరిక వల్ల వస్తుంది. రబ్బరు యొక్క ప్రతిబలం-వికృతి గ్రాఫ్, లోహపు తీగ గ్రాఫ్

కన్నా పుర్తిగా భిన్నంగా ఉంటుంది. పటం 9.10 నుండి రెండు ముఖ్యమైన అంశాలను గుర్తించవచ్చు. మొదటగా మీరు అనుపాత ప్రాంతము లేదని గమనిస్తారు. రెండవది విరూపణ బలాన్ని క్రమంగా తగ్గిస్తే చివరికి నమూనా తన సహజ పొడవును పొందినా, వక్రం, మౌలిక వక్రం వెంబడి వెనకకు మరలదు. పదార్థం తన మౌలిక ఆకారాన్ని తిరిగి పొందడానికి చేసిన పని, విరూపణ బలం చేసిన పనికన్నా తక్కువ. శక్తిలోని ఈ భేదము పదార్థంచే శోషించబడి ఉష్ణంగా బయల్పడును. (రబ్బరు బ్యాండ్‌ను పెదాలతో తాకి దీనిని గ్రహించవచ్చును.) ఈ దృగ్విషయాన్ని స్థితిస్థాపక శైథిల్యం (Elastic hysteresis) అంటారు.



పటం 9.10 రబ్బరుకు ప్రతిబలం–వికృతి వక్రం

స్థితిస్థాపక శైథిల్యం, అభిఘాత శోషకాలలో (Shock absorbers) ముఖ్యమైన అనువర్తనాన్ని కలిగి ఉంది. విరూపణ బలం బదిలీచేసిన శక్తిలో కొంత భాగం, అభిఘాత శోషకాల్లో ఉండిపోయి, దానికి కలపబడిన వస్తువుకు స్వల్ప భాగం మాత్రమే ప్రసారమవుతుంది..

9.7.3 రబ్బరుకన్నా ఉక్కు ఎక్కువ స్థితిస్థాపకతను కలిగి ఉంటుంది

ఒక వస్తువుపై అధిక విరూపణబలం కలిగించినపుడు కలిగే వికృతి స్వల్పమైతే వస్తువు స్థితిస్థాపకత ఎక్కువ అంటాం. రెండు సర్వసమానమైన ఉక్కు మరియు రబ్బరు తీగలను తీసుకొని వాటిపైన సమాన విరూపణ బలాన్ని ప్రయోగించినప్పుడు, ఉక్కు తీగలో సాగుదల రబ్బరు తీగలో సాగుదల కంటె తక్కువగా ఉంటుంది. కాని రెండింటిలో సమానమైన వికృతి కలిగించడానికి ఉక్కు తీగకు ఎక్కువ ప్రతిబలం కావాలి. ఉక్కులో విరూపణ కలిగించడానికి ఎక్కువ ప్రతిబలం అవసరమవ్వడం, రబ్బరు కంటే ఉక్కులో ఏర్పడే అంతర పునఃస్థాపక బల పరిమాణం ఎక్కువ అని సూచిస్తుంది. అందువల్ల రబ్బరు కన్నా ఉక్కు ఎక్కువ స్థితిస్థాపకతను కలిగి ఉంటుంది.

ఉదాహరణ 9.1

0.10 cm^2 మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం, 1.0 m పొడవుగల తీగకు 100 kg భారాన్ని వేలాడదీశారు. తీగలో సాగుదల 0.20 cm. తీగలో (i) తన్యత ప్రతిబలం (tensile stress) (ii) వికృతిని లెక్కగట్టండి. ($g = 9.80\ ms^{-2}$ గా ఇచ్చారు)

సాధన :

(i) తన్యత ప్రతిబలం $= \frac{F}{A} = \frac{Mg}{A} = \frac{(100\,kg)\,(9.80\,ms^{-2})}{(0.10 \times 10^{-4}\,m^2)} = 9.8 \times 10^7\ Nm^{-2}$

(ii) తన్యత వికృతి $= \frac{\Delta l}{l} = \frac{0.20 \times 10^{-2}\,m}{1.0\,m} = 0.20 \times 10^{-2}$

ఉదాహరణ 9.2 : విచ్ఛేదన ప్రతిబలం = 4.0×10^8 Nm^{-2}, సాంద్రత = 7.9×10^3 kg m^{-3} మరియు g = 9.80 ms^{-2} అయితే స్టీలు తీగను వేలాడదీసినప్పుడు దాని భారానికి తెగిపోకుండా ఉండగలిగే తీగ గరిష్ఠ పొడవును లెక్కగట్టండి.

Calculate the maximum length of a steel wire that can be suspended without breaking under its own weight, if its breaking stress = 4.0×10^8 Nm^{-2}, density = 7.9×10^3 kg m^{-3} and g = 9.80 ms^{-2}.

సాధన : తీగ భారం $W = Al\rho g$, A తీగ మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యము, l గరిష్ట పొడవు, ρ సాంద్రత. తీగలో కలిగే విచ్ఛేదన ప్రతిబలం $\frac{W}{A} = \rho l g$.

It was told that breaking stress is 4.0×10^8 Nm^{-2}. Hence

$$l = \frac{4.0 \times 10^8 \text{ Nm}^{-2}}{(7.9 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3})(9.80 \text{ ms}^{-2})} = 0.05 \times 10^5 \text{ m} = 5 \times 10^3 \text{ m}$$

క్రింది ప్రశ్నలకు సమాధానాలు ఇవ్వడం ద్వారా ఇంత వరకు నేర్చుకున్న అంశాలపై మీ అవగాహనను అంచనా వేయండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 9.1

1. ఒక వస్తువుపై ప్రయోగించిన విరూపణ ప్రతిబలం వల్ల అంతర్ పరమాణు దూరం (i) ఎక్కువైనప్పుడూ, (ii) తక్కువైనప్పుడూ అంతర పరమాణు బలాల స్వభావం ఎలా ఉంటుంది?
2. కడ్డీ ఒక చివరను దృఢంగా బిగించి, దాని వేరొక చివర వద్ద మధ్యచ్ఛేదానికి లంబంగా బలాన్ని ప్రయోగించినప్పుడు ఏర్పడే ప్రతిబలం, వికృతి రకం పేరును తెలపండి.
3. స్వల్ప విరూపణలకు, లోహపు తీగలో ప్రతిబలం వికృతుల నిష్పత్తి స్థిరం. విరూపణ ఎక్కువైతే ఈ నిష్పత్తిలో ఏవిధమైన మార్పులు కలుగుతాయి?
4. ఏ పరిస్థితిలో, ప్రతిబలాన్ని విచ్ఛేదన ప్రతిబలం అంటారు?
5. 4 m పొడవు, 0.64 mm వ్యాసం గల నిలువుగా వేలాడదీసిన తీగ చివర, 4 kg ద్రవ్యరాశిని తగిలించినపుడు, సాగుదల 0.60 mm అయిన తన్యత ప్రతిబలం (వ్యాపన ప్రతిబలం) (Tensile stress) మరియు వికృతిని లెక్కించండి.

9.8 హుక్ నియమం

1678లో, రాబర్ట్ హుక్ అనేక ఘన పదార్థాలకు ప్రయోగపూర్వకంగా ప్రతిబలం – వికృతి వక్రాల ద్వారా స్థితి స్థాపక నియమాన్ని ప్రతిపాదించాడు. దీనిని హుక్ నియమం అంటారు. ఈ నియమం ప్రకారం స్థితిస్థాపక అవధి లోపల, ప్రతిబలం దాని అనురూప వికృతికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

ప్రతిబలం $\propto$ వికృతి

$$\frac{\text{ప్రతిబలం}}{\text{వికృతి}} = \text{స్థిరం}(E) \qquad (9.5)$$

ఈ అనుపాత స్థిరాంకము E పదార్థాల స్థితిస్థాపకతకు కొలమానం. దీనినే 'స్థితిస్థాపక గుణకం' అంటారు. వికృతికి ప్రమాణాలు ఉండవు కావున, స్థితిస్థాపక గుణకం, ప్రతిబలం (ప్రమాణం) మితులనే కలిగి ఉంటుంది. దీని విలువ ప్రతిబలం, వికృతులపై ఆధారపడదు. కాని పదార్థ ధర్మంపై ఆధారపడుతుంది. దీని కొరకు కింద తెలపబడిన కృత్యంను చేయండి.

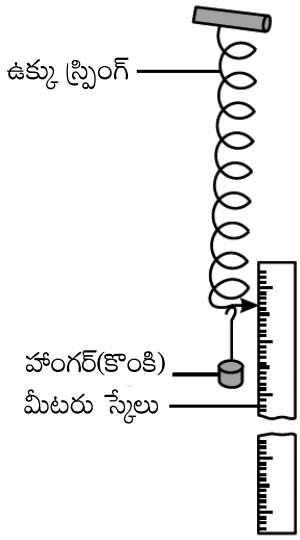
కృత్యం 9.1

పటం 9.11లో చూపిన విధంగా ఒక స్టీలు స్ప్రింగ్ పైభాగంను గోడకు దృఢ ఆధారానికి బిగించండి. పక్కనే ఒక మీటరు స్కేలు అమర్చండి. కొంకీకి ప్రతీసారి 100 g ల భారాన్ని తగిలించండి. ప్రతీ 100 g ల భారాన్ని పెట్టినప్పుడు సాగుదల బలాన్ని దాదాపు 1 N పెంచుతున్నావు. సాగుదలను కొలవండి. 500 g ల భారం వరకు, ప్రతీసారి సాగుదలను నమోదు చేయండి.

భారానికి, సాగుదలకు గ్రాఫు గీయండి. గ్రాఫు ఆకారం ఎలా ఉంటుంది? ఇది హుక్ నియమాన్ని పాటిస్తుందా?

గ్రాఫు సరళరేఖగా ఉండి, భారం/సాగుదల నిష్పత్తి స్థిరంగా ఉంటుందని చూపుతుంది.

ఈ కృత్యంను, రబ్బరు, ఇతర పదార్థాలతో చేయండి.



పటం 9.11 హుక్ నియమాన్ని పరిశీలించి పరికరం

పటం 9.11 లో చూపినట్లు, హుక్ నియమాన్ని పాటించే పదార్థాలను స్ప్రింగ్ త్రాసులు లేదా బలాన్ని కొలిచే పరికారాలలో ఉపయోగిస్తారని మీరు తెలుసుకోవాలి. స్ప్రింగ్ త్రాసు పళ్ళెంలో వస్తువును ఉంచినపుడు, స్ప్రింగ్ పొడవు పెరగడం మీరు చూసే ఉంటారు. స్కేలు మీద సూచిక చూపించే పొడవులోని ఈ పెరుగుదలను, బలంలోని పెరుగుదలకు (ప్రయోగించిన భారం) కొలతగా తీసుకొంటాం.

రాబర్ట్ హుక్ (1635-1703)

రాబర్ట్ హుక్ పదిహేడవ శతాబ్దపు ప్రయోగాత్మక పరిశోధనలలో మేధావి. ఇతను సర్ ఐజక్ న్యూటన్‌కు సమకాలికుడు. ఇతనికి అనేక రంగాలలో గల ఆసక్తి కారణంగా భౌతికశాస్త్రం, ఖగోళశాస్త్రం, రసాయనశాస్త్రం, జీవశాస్త్రం, పురాజీవశాస్త్రం, భూగోళశాస్త్రం, భవన నిర్మాణ శాస్త్రం మరియు నావికా నిర్మాణం వంటి అనేక శాస్త్ర విజ్ఞాన విషయాలలో పరిశోధనలు చేసి వాటి అభివృద్ధికి తోడ్పడ్డాడు. ఇతడు సాధించిన విజయాలలో ముఖ్యమైన ఆవిష్కరణలు యూనివర్సల్ జాయింట్ (Universal joint) కృత్రిమశ్వాస వ్యవస్థ

(respirator), (iris diaphragm) ఐరిస్ డయాఫ్రమ్ (anchor escapement) ఆంకర్ ఎస్కేప్‌మెంట్ మరియు గడియారాలలోని (Balancing spring) సంతులన స్ప్రింగ్. 1666లో జరిగిన అగ్ని ప్రమాదం తరువాత లండన్ నగర పునర్నిర్మాణంలో ప్రధాన సర్వేయర్‌గా ప్రముఖ పాత్రవహించాడు. స్థితిస్థాపకతకు సంబంధించిన హుక్ నియమాన్ని, సరైన దహన సిద్ధాంతాల్ని సూత్రీకరించాడు. వాతారణశాస్త్రంలో ఉపయోగించే భారమితి (barometer) అనిమోమీటర్ (Anemometer) మరియు హైగ్రోమీటరు (Hygrometer) ఆవిష్కరణలు కూడా ఇతనివే.

9.9 స్థితిస్థాపక గుణకం

ఇంతకు ముందు భాగాలలో మూడు రకాల వికృతులను గురించి చదువుకున్నారు. కావున ఈ మూడు రకాల వికృతులకు సంబంధించి మూడు స్థితిస్థాపక గుణకాలుంటాయి. అవి అనుదైర్ఘ్య వికృతి, ఘనపరిమాణ వికృతి, విరూపణ వికృతి. వీటికి సంబంధించి వరుసగా 'యంగ్ గుణకం' 'ఘనపరిమాణ గుణకం' మరియు 'దృఢతా గుణకం' అని మూడు స్థితిస్థాపక గుణకాలను నిర్వచించారు. ఇప్పుడు వీటి గురించి ఒకదాని తరువాత ఒకటి అధ్యయనం చేద్దాం.

9.9.1 యంగ్ గుణకం

స్థితిస్థాపక హద్దులోపల అనుదైర్ఘ్య ప్రతిబలానికి, అనుదైర్ఘ్య వికృతికి గల నిష్పత్తిని ఆ వస్తుపదార్థపు యంగ్ గుణకము అంటారు.

L పొడవు, A మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యము గల తీగపై F బలాన్ని ప్రయోగించినపుడు దాని పొడవులో మార్పు ΔL అయిన

$$\text{అనుదైర్ఘ్య ప్రతిబలం} = \frac{F}{A}$$

$$\text{మరియు అనుదైర్ఘ్య వికృతి} = \frac{\Delta L}{L}$$

కావున, యంగ్ గుణకము $$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L} = \frac{FL}{A\,\Delta L} \qquad (9.6)$$

'r' వ్యాసార్ధమున్న తీగను దృఢ ఆధారంతో నిలువుగా వేలాడదీసి, 'M' ద్రవ్యరాశిని తగిలించినప్పుడు $A = \pi r^2$, $F = mg$.అగును.

$$\therefore \qquad Y = \frac{MgL}{\pi r^2\,\Delta L} \qquad (9.7)$$

Y యంగ్ గుణకం SI ప్రమాణాలు Nm^{-2}. కొన్ని పదార్థాలకు యంగ్ గుణకము విలువలు పట్టిక 9.1లో ఇవ్వబడ్డాయి. ఉక్కు ఎక్కువ స్థితిస్థాపకతను కలిగి ఉందని గమనించండి.

పట్టిక 9.1 కొన్ని విలక్షణ పదార్థాల యంగ్ గుణకం విలువలు

పదార్థం	Y (10^9 Nm^{-2})
అల్యుమినియం	70
రాగి	120
ఇనుము	190
ఉక్కు	200
గాజు	65
ఎముక	9
పాలిస్టర్	3

9.9.2 ఘనపరిమాణ గుణకం

స్థితిస్థాపక హద్దు లోపల, అభిలంబ ప్రతిబలానికి మరియు ఘనపరిమాణ వికృతికి గల నిష్పత్తిని ఆ వస్తు పదార్థ ఘనపరిమాణ గుణకం అంటారు.

పీడనంలో పెరుగుదల 'P' వల్ల ఆకారంలో మార్పు లేకుండా వస్తు ఘనపరిమాణం 'V' లో తగ్గుదల 'ΔV' అయిన

అభిలంబ ప్రతిబలం $= \Delta P$

ఘనపరిమాణ వికృతి $= \dfrac{\Delta V}{V}$

ఘనపరిమాణ గుణకం $B = \dfrac{\Delta P}{\Delta V/V} = V\dfrac{\Delta P}{\Delta V}$ (9.8)

ఘనపరిమాణ గుణకం యొక్క విలోమాన్ని సంపీడ్యత అంటారు.

$$k = \frac{1}{B} = \frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta P} \qquad (9.9)$$

వాయువులకుండే ఎక్కువ సంపీడ్యత వల్ల, వాటికి స్థితిస్థాపకత తక్కువ. అదే ఘనపదార్థాలకు స్థితిస్థాపకత ఎక్కువ, సంపీడ్యత తక్కువ.

$$B_{\text{ఘనపదార్థాలు}} > B_{\text{ద్రవాలు}} > B_{\text{వాయువులు}}$$

9.9.3 దృఢతాగుణకం లేక విమోటన గుణకం

స్థితిస్థాపక హద్దులోపల విమోటన లేదా విరూపణ ప్రతిబలం, విమోటన లేదా విరూపణ వికృతికి గల నిష్పత్తిని వస్తు పదార్థ దృఢతాగుణకం అంటారు.

A వైశాల్యంపై స్పర్శీయంగా పనిచేసే బలం F, విమోటన వికృతి θ అయితే,

$$\text{దృఢతా గుణకం } \eta = \frac{\text{విరూపణ ప్రతిబలం}}{\text{విరూపణ వికృతి}} = \frac{F/A}{\theta} = \frac{F}{A\theta} \qquad (9.10)$$

ఘన, ద్రవ మరియు వాయు పదార్థాలన్నింటికి దృఢతా గుణకం ఉంటుంది. కాని ప్రవాహులకు యంగ్ గుణకం మరియు దృఢతా గుణకాలు ఉండవు ఎందుకనగా అవి తన్యజ ప్రతిబలం లేదా విరూపణ ప్రతిబలాన్ని స్థిరంగా కలిగి ఉండవు.

ఉదాహరణ 9.3

0.1 cm^2 మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యమున్న తీగ పొడవును 50% పెంచడానికి అవసరమయ్యే బలాన్ని లెక్కగట్టండి. $Y = 2 \times 10^{11}\ Nm^{-2}$

సాధన :

తీగపొడవులో పెరుగుదల = 50%.

తీగ పొడవు L, సాగుదల ΔL, అయిన

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{2}$$

$$\therefore \qquad Y = \frac{F \times L}{A \times \Delta L}$$

$$F = \frac{Y \times A \times \Delta L}{L} = \frac{(2 \times 10^{11}\ Nm^{-2})(0.1 \times 10^{-4}\ m^2) \times 1}{2} = 0.1 \times 10^6\ N$$

ఉదాహరణ 9.4

ఒక ఘన రబ్బరు బంతిని సరస్సు ఉపరితలం నుండి అడుగు భాగానికి తీసుకొని పోయినపుడు ఘనపరిమాణంలో తగుదల 0.0012%. సరస్సు లోతు 360 m; నీటి సాంద్రత $10^3\ kg\ m^{-3}$ మరియు ఆ ప్రదేశంలో గురుత్వత్వరణం $10\ ms^{-2}$. రబ్బరు ఘనపరిమాణ గుణకాన్ని లెక్కించండి.

సాధన :

బంతిపై పీడనంలో పెరుగుదల $P = h\rho g = 360\ m \times 10^3\ kg\ m^{-3} \times 10\ ms^{-2}$

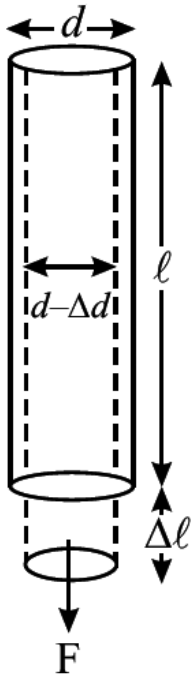
$$= 3.6 \times 10^6\ Nm^{-2}$$

$$\text{ఘనపరిమాణ వికృతి} = \frac{\Delta V}{V} = \frac{0.0012}{100} = 1.2 \times 10^{-5}$$

$$\text{ఘనపరిమాణ గుణకం } B = \frac{PV}{\Delta V} = \frac{3.6 \times 10^6}{1.2 \times 10^{-5}} = 3.0 \times 10^{11}\ Nm^{-2}$$

9.9.4 పాయిజాన్ నిష్పత్తి (Poisson's Ratio)

ఒక రబ్బరు గొట్టాన్ని పొడవు వెంబడి సాగదీసినపుడు దాని వ్యాసము తగ్గడం (పటం 9.12) మీరు గమనించే ఉంటారు. (ఇదే ఫలితం తీగలకు వర్తిస్తుంది, కాని దానిని సులభంగా గుర్తించలేము) బల ప్రయోగదిశలో పొడవు పెరిగితే, లంబదిశలో సంకోచం ఉంటుంది. బల ప్రయోగ దిశకు లంబదిశలో కలిగే విరూపణను (వికృతిని) పార్శ్వీయ వికృతి అంటారు. పాయిజాన్ ప్రకారం స్థితిస్థాపక హద్దులోపల, పార్శ్వీయ వికృతి, అనుదైర్ఘ్య వికృతికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. అనగా పార్శ్వీయ వికృతికి, అనుదైర్ఘ్య వికృతికి గల నిష్పత్తి వస్తు పదార్థానికి స్థిరం. దీనినే 'పాయిజాన్ నిష్పత్తి' అంటారు దీనిని గ్రీకు అక్షరం σ (సిగ్మా) గుర్తుతో సూచిస్తారు. β మరియు α లు వరుసగా పార్శ్వీయ వికృతి మరియు అనుదైర్ఘ్య వికృతులను సూచిస్తే, పాయిజాన్ నిష్పత్తి



పటం 9.12 సాగదీసిన రబ్బరు గొట్టం

$$\sigma = \frac{\text{పార్శ్వీయ వికృతి}}{\text{అనుదైర్ఘ్య వికృతి}} = \frac{\beta}{\alpha} \qquad (9.11)$$

l పొడవు, (కడ్డీ లేక గొట్టం) వ్యాసం d గల తీగ (కడ్డీ లేక గొట్టం) పై సాగుదల బలాన్ని ప్రయోగించినపుడు పొడవులో సాగుదల Δl, వ్యాసములో తగ్గుదల Δd అయిన,

$$\text{అనుదైర్ఘ్య వికృతి} \quad \alpha = \frac{\Delta l}{l}$$

$$\text{పార్శ్వీయ వికృతి} \quad \beta = \frac{\Delta d}{d}$$

$$\text{మరియు} \quad \text{పాయిజాన్ నిష్పత్తి} \quad \sigma = \frac{\Delta d / d}{\Delta l / l} = \frac{l}{d}\frac{\Delta d}{\Delta l} \qquad (9.12)$$

పాయిజాన్ నిష్పత్తి రెండు వికృతుల నిష్పత్తి కావున అది ఒక సంఖ్య మాత్రమే. పాయిజాన్ నిష్పత్తి పదార్థ స్వభావం మీద మాత్రమే ఆధారపడుతుంది. అనేక పదార్థాలకు దీని విలువ 0.2 మరియు 0.4ల మధ్య ఉంటుంది. తన్యతా బలానికిలోనైన వస్తువు ఘనపరిమాణంలో మార్పులేకుండా వస్తువు పరిపూర్ణంగా అసంపీడ్యం అయితే పాయిజాన్ నిష్పత్తి విలువ ఆ వస్తువుకు గరిష్ఠంగా, 0.5 ఉంటుంది. సైద్ధాంతికంగా పాయిజాన్ నిష్పత్తి అవధి విలువలు −1 నుండి 0.5 వరకు ఉంటాయి.

9.10 సాగదీసిన తీగలో స్థితిస్థాపక పొటెన్షియల్ శక్తి

తన్యత ప్రతిబింబం ఒక తీగను సాగదీసినప్పుడు ఆ తీగ పదార్థంలోని అంతర-పరమాణు బలాలకు వ్యతిరేఖంగా పని జరుగుతుంది. ఈ పని తీగలో స్థితిస్థాపక పొటెన్షియల్ శక్తి రూపంలో నిక్షిప్తమై ఉంటుంది.

ఈ స్థితిస్థాపక పొటెన్షియల్ శక్తికి సమీకరణాన్ని రాబట్టడానికి, L పొడవు మరియు A మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం గల ఒక తీగను తీసుకొని దాని పొడవు వెంబడి F వికృతి ప్రతిబలాన్ని ప్రయోగిద్దాం. దీనివల్ల తీగలో సాగుదల 'l' అనుకుందాం. సమీకరణం 9.6 నుండి

$$\text{వికృతి ప్రతిబలం} \quad F = YA\frac{l}{L} \qquad (9.13)$$

అవుతుంది.

ఇక్కడ Y – తీగ పదార్థపు యంగ్ గుణకం. తీగలో అతిస్వల్ప సాగుదల dl వల్ల జరిగిన పని dW అయితే

$$dW = F\ dl$$

సమీకరణం 9.13 పై సమీకరణంలో ప్రతిక్షేపించగా

$$dW = YA\frac{l}{L}dl$$

కనుక, తీగలో సాగుదల 0 నుండి l కు పెరగడంలో జరిగిన పనిని పై సమీకరణాన్ని సమాకలనం చేసి గణించవచ్చు.

$$W = \int dW = \int_0^1 YA\frac{l}{L}dl$$

$$W = \frac{YA}{L}\int_0^1 l\ dl = \frac{YA}{2L}\left[l^2\right]_0^l$$

$$W = \frac{1}{2}\frac{YA}{L}l^2$$

దీనిని ఈ క్రింది విధంగా కూడా రాయవచ్చు.

$$W = \frac{1}{2}Y\left(\frac{l}{L}\right)^2(AL)$$

ఇక్కడ $\frac{l}{L}$ దైర్ఘ్య వికృతి, (AL) తీగ ఘనపరిమాణం మరియు యంగ్ గుణకం $= \frac{\text{ప్రతిబలం}}{\text{వికృతి}}$, కనుక

$$W = \frac{1}{2}\times\left(\frac{\text{ప్రతిబలం}}{\text{వికృతి}}\right)\times(\text{వికృతి})^2 \times \text{తీగ ఘనపరిమాణం}$$

$$W = \frac{1}{2}\times(\text{ప్రతిబలం})\times(\text{వికృతి})\times\text{తీగ ఘనపరిమాణం} \qquad (9.14)$$

ఈ పని తీగలో శక్తిరూపంలో నిక్షిప్తం అవుతుంది. దీనిని స్థితిస్థాపక స్థితిజశక్తి అంటారు. కనుక ప్రమాణ ఘనపరిమాణానికి ఉండే స్థితిస్థాపక స్థితిజశక్తి

$$U = \frac{1}{2} \times (\text{ప్రతిబలం}) \times (\text{వికృతి})$$

కృత్యం 8.2

ఒకే పదార్థంతో చేయబడిన రెండు సరిసమానమైన తీగలు A, B లను తీసుకుందాం. అందులో తీగ A ను కొన్ని రోజులపాటు పదేపదే వికృతి బలాలకు గురిచేయండి. ఈ కాలంలో తీగ B ను ముట్టకండి. ఇప్పుడు రెండు తీగలను (A, B లను) ఒకే విధమైన కంపనాలకు గురిచేసి పరిశీలిస్తే, తీగ A లోని కంపనాలు తర్వగా క్షీణిస్తాయి. కాని తీగ B లో కంపనాలు ఎక్కువ కాలం పాటు కొనసాగుతాయి. ఇది తీగ B కు ఎక్కువ స్థితిస్థాపకత ఉన్నట్లు తెలియజేస్తుంది. స్థితిస్థాపక బడలికకు గురైంది.

ఏదైనా వస్తువును పలుమార్లు వికృతికి గురిచేసినప్పుడు, ఆ వికృతి స్థితిస్థాపక అవధిలో ఉన్నప్పటికీ స్థితిస్థాపక బడలిక ఏర్పడుతుంది. ఈ పరిస్థితులలో వస్తువు తన సహజమైన స్థితిస్థాపకతను కోల్పోతుంది.

స్థితిస్థాపకతకు సంబంధించిన ఇతర అంశాలు

1. లోహాలకు తగిన మలినాలు కలపడం వల్ల వాటి స్థితిస్థాపక ధర్మాలు మారుతాయి. ఉదాహరణకు, ఇనుముకు, కర్బనము కలిపినా లేదా బంగారానికి పొటాషియమ్ కలిపినా, వాటి స్థితిస్థాపకత పెరుగును.
2. ఉష్ణోగ్రతలో పెరుగుదల పదార్థాల స్థితిస్థాపకతను తగ్గిస్తాయి. సాధారణ ఉష్ణోగ్రత వద్ద అధిక స్థితిస్థాపకత గల కర్బనమును, విద్యుత్ పంపి వేడి చేసినపుడు అది ప్లాస్టిక్ (ఆజిబిరీశిరిబీ) పదార్థంగా మారుతుంది. అదే విధంగా, ప్లాస్టిక్ పదార్థం ద్రవరూపంలో గల గాలిలో చల్లార్చినపుడు. అధిక స్థితిస్థాపక పదార్థంగా మారుతుంది.
3. స్థితిస్థాపక గుణకము విలువ, ప్రతిబలం మరియు వికృతిల పరిమాణంపై ఆధారపడదు. ఇది పదార్థ స్వభావం మీద మాత్రమే ఆధారపడుతుంది.

ఉదాహరణ 9.5

20 cm భుజము కలిగిన ఒక లోహపు ఘనానికి 10^4 Nm^{-2} విరూపణ ప్రతిబలానికి లోనయ్యింది. దాని అడుగు తలంతో పోల్చినపుడు, ఊర్ధ్వతలం 0.01 cm. స్థానభ్రంశం చెందింది. ఆ ఘనపదార్థపు దృఢతా గుణకాన్ని లెక్కించండి.

సాధన :

విరూపణ ప్రతిబలం = 10^4 Nm^{-2}, $\Delta x = 0.01$ cm మరియు $y = 20$ cm

$$\therefore \quad \text{విరూపణ ప్రతిబలం} = \frac{\Delta x}{y} = \frac{0.01\text{ cm}}{20\text{ cm}} = 0.0005$$

$$\text{దృఢతా గుణకం } \eta = \frac{\text{విరూపణ ప్రతిబలం}}{\text{విరూపణ వికృతి}} = \frac{10^4\ \text{Nm}^{-2}}{0.0005} = 2 \times 10^7\ \text{Nm}^{-2}$$

ఉదాహరణ 9.6

5 m పొడవు 1 mm వ్యాసము గల రాగి తీగకు 10 kg ద్రవ్యరాశిని వేలాడదీసారు. పాయిజాన్ నిష్పత్తి 0.25 అయిన, తీగ పొడవులో సాగుదల మరియు పార్శ్వీయ వికృతిని లెక్కగట్టండి. $11 \times 10^{10}\ \text{Nm}^{-2}$

సాధన :

తీగ పొడవు $L = 5$ m,

తీగ వ్యాసార్థం $r = \frac{d}{2} = 0.5 \times 10^{-3}$ m,

$Y = 11 \times 10^{10}\ \text{Nm}^{-2}$, $F = mg = (10\ \text{kg} \times 9.8\ \text{ms}^{-2}) = (10 \times 9.8)$ N మరియు $\sigma = 0.25$

$$\text{తీగలో సాగుదల } \Delta L = \frac{F.L}{A.Y} = \frac{F.L}{(\pi r^2).Y} = \frac{(10 \times 9.8\ \text{N}) \times (5\,\text{m})}{3.14 \times (0.5 \times 10^{-3}\,\text{m})^2 \times (11 \times 10^{10}\ \text{Nm}^{-2})}$$

$$= \frac{490}{8.63 \times 10^4}\,\text{m} = 5.6 \times 10^{-3}\,\text{m}$$

$$\text{అనుదైర్ఘ్య వికృతి } (\alpha) = \frac{\Delta L}{L} = \frac{5.6 \times 10^{-3}\,\text{m}}{5\,\text{m}} = 1.12 \times 10^{-2}$$

$$\text{పాయిజాన్ నిష్పత్తి } (\sigma) = \frac{\text{పార్శ్వీయ వికృతి } (\beta)}{\text{అనుదైర్ఘ్య వికృతి } (\alpha)}$$

$$\text{పార్శ్వీయ వికృతి } (\beta) = \sigma \times \alpha = 0.125 \times 1.12 \times 10^{-2} = 0.14 \times 10^{-3}$$

కొంత విరామాన్ని తీసుకుని మీ ప్రగతిని పరీక్షించుకోండి.

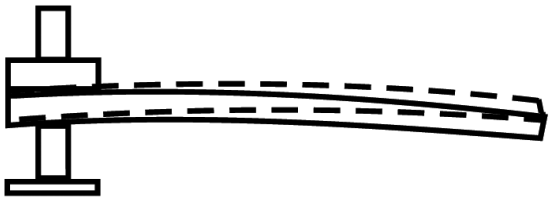
పాఠంలోని ప్రశ్నలు 9.2

1. యంగ్ గుణకం ప్రమాణమూ అనుదైర్ఘ్య ప్రతిబలం ప్రమాణమా సమానమేనా? సమాధానికి కారణం తెలపండి.
2. ఘనపదార్థాలు, ద్రవ మరియు వాయు పదార్థాకన్నా ఎక్కువ స్థితిస్థాపకతను కలిగి ఉంటాయి? దీనిని సమర్థించండి.
3. ఒక తీగ పొడవును సగానికి కత్తిరించారు. ఇచ్చిన భారానికి దాని పొడవులో పెరుగుదలపై ప్రభావమేమిటి?
4. రెండు తీగలు ఒకే లోహంతో తయారుచేశారు. మొదటి తీగ పొడవు, రెండవ తీగలో సగం మరియు దాని వ్యాసం రెండవ తీగకు రెట్టింపు. సమాన భారాన్ని రెండు తీగకు తగిలించినప్పుడు వాటి పొడవుల్లో సాగుదల నిష్పత్తిని కనుక్కోండి.

5. ఒక తీగపై 1×10^8 Nm^{-2} ప్రతిబలాన్ని ప్రయోగించినపుడు తీగ పొడవులో పెరుగుదల 10^{-3} ఆ తీగ పదార్థ యంగ్ గుణకంను కనుక్కోండి.

9.11 పదార్థాల స్థితిస్థాపక ప్రవర్తన అనువర్తనాలు

పదార్థాల స్థితిస్థాపక ప్రవర్తన మన నిత్య జీవితంలో ముఖ్య పాత్రను పోషిస్తుంది. సురక్షితమైన, నిలకడ గల నిర్మాణాల రూపకల్పనలో గరిష్ఠ భారం వల్ల ఏర్పడే ప్రతిబలం, విచ్ఛేదన ప్రతిబింబాన్ని మించరాదు. నిర్మాణాలలో స్తంభాలు, దిమ్మెలు ప్రముఖ భాగాలు. వంతెన స్థంభాలు, దూలాలను నిర్మించేటప్పుడు దానిపై ట్రాఫిక్ భారం వల్ల కలిగే ప్రతిబలాన్ని తట్టుకునే విధంగా, తగినంతగా, ముందే అంచనాల వేయాలి. ఏకరీతి దిమ్మె ఒక చివర బిగించబడి, రెండవ చివర భారగ్రస్తమైతే దానిని కాంటి లీవర్ అంటారు. (పటం (9.13)). l పొడవు, b వెడల్పు, d మందము గల 'కాంటిలివర్' కడ్డీ స్వేచ్ఛగా ఉన్న చివర M ద్రవ్యరాశి గల భారము వల్ల δ వంగిన

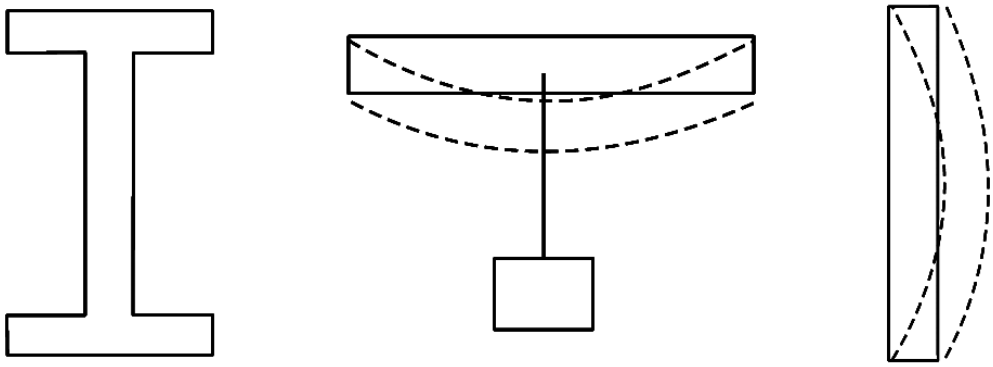


పటం 9.13 క్యాంటిలివర్

$$\delta = \frac{4Mgl^3}{Ybd^3} \qquad (9.16)$$

దీనిని బట్టి, రైలు పట్టాల మధ్యచ్ఛేదాన్ని I– ఆకారంలో (పటం 9.14(a)). ఎందుకు పెడతారో సులభంగా అర్థం చేసుకోవచ్చు. ఇతర అంశాలు మారనప్పుడు $\delta \alpha d^{-3}$ కనుక మందాన్ని పెంచి, అదే భారానికి కడ్డీవంపును (depression) ప్రభావవంతంగా తగ్గించవచ్చు. ఈ విధంగా చేయడం వల్ల, దృఢత్వాన్ని ఏ మాత్రం నష్టపోకుండా పదార్థాన్ని కాపాడవచ్చు. రెండు చివరల బిగించబడి, మధ్యలో భారం వేయబడిన దూలం (పటం 9.14(b)) మధ్య భాగంలో క్రిందికి జారే పరిమాణాన్ని సమీకరణం (9.17) సూచిస్తుంది.

$$\delta = \frac{Mgl^3}{4bd^3Y} \qquad (9.17)$$



(a) రైలు పట్టాల అడ్డుకోత

(b) రెండు చివరల బిగించబడి మధ్యలో భారం వేయబడిన దూలం

(c) సన్నని కడ్డీ వంగిపోయో విధానం

పటం 9.14

పై సమీకరణం నుండి, కాంటిలివర్ దూలంలో వాలును స్థితిస్థాపక అవధి లోపల ఉంచడానికి, అధిక యంగ్ గుణకం గల పదార్థాలు మరియు దానిపై పనిచేసే భారాన్ని తట్టుకునే విధంగా కొలతలు గల వస్తువులను ఉపయోగించాలి. హృషికేష్‌లోని 'లక్ష్మణ ఝూల' ఊగే వంతెన, కలకత్తాలోని "విద్యాసాగర్ సేతు" లు కాంటిలివర్‌ల ఆధారంతో నిర్మింపబడ్డాయి.

కాబట్టి ఇచ్చిన భారానికి, δ ను తక్కువగా ఉండేటట్లు అధిక యంగ్ గుణకం Y గల పదార్థంతో చేసిన మందమైన కడ్డీని ఎంచుకుంటారు. మందం ఎక్కువైన కడ్డీకి వంగి పోయే స్వభావం ఉంటుంది. (పటం. 9.14(c)) దీనిని నివారించడానికి భారాన్ని ఎక్కువ మోయగలిగే తలాన్ని ఏర్పాటు చేస్తారు. **I** – ఆకారపు మధ్యచ్ఛేదం వల్ల పై రెండు అవసరాలు తీరుతాయి.

క్రేన్‌లలో బరువైన వస్తువులను ఒక చోటినుండి వేరొక చోటికి కదల్చడానికి, ఎత్తడానికి అధిక మందంగల తాళ్ళను ఉపయోగిస్తాం. 10 మెట్రిక్ టన్నుల భారాన్ని, 300 మెగా పాస్కల్ బలాన్నిచ్చే ఉక్కు తీగతో ఎత్తవచ్చు. దీనికి కావలసిన కనీస మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం సుమారు 10 cm. ఆచరణలో ఈ వ్యాసార్థాన్ని కలిగిన ఒక తీగ, దృఢ కడ్డీ అవుతుంది. అందువల్లనే ఎక్కువ చుట్లుగల సన్నని తీగలను పెనవేసి తాళ్ళను తయారుచేస్తారు. ఇది తీగలను తయారు చేయడాన్ని సులభతరం చేస్తుంది మరియు తీగలకు దృఢత్వాన్ని, నమ్యతను ఇస్తుంది.

భూమి మీద పర్వతాల గరిష్ఠ ఎత్తు సుమారు 10 10 km అని మీకు తెలుసా?

ఈ ప్రశ్నకు సమాధాన్ని శిలలకు ఉండే స్థితిస్థాపక ధార్మాల ఆధారంగా కూడా చెప్పవచ్చు. పర్వతాల అడుగు భాగంలో వత్తిడి ఏకరీతిగా ఉండదు. దీనివల్ల శిలలపై విమోటన ప్రతిబలం పనిచేసి అవి ఒకదానిపై మరొకటి జారేలా చేస్తుంది. పర్వత శిఖరం యొక్క భారం దాని అడుగు భాగంలో నిలువుగా పనిచేస్తుంది. పక్క భాగాలు బయటి వైపు నుండి ఏవిధమైన వత్తిడి లేకుండా స్వేచ్ఛగా ఉంటాయి. దీనివల్ల శిలలపై '$h\rho g$' స్పర్శీయ విమోటన బలం పని చేస్తుంది. శిలలకు స్థితిస్థాపక అవధి విలువ దాదాపుగా 3×10^8 Nm^{-2} మరియు సాంద్రత 3×10^3 $kg\ m^{-3}$ గా ఉంటాయి. కనుక $h_{\text{గరిష్ఠ}}\rho g = 3 \times 10^8\ Nm^{-2}$ దీని నుండి మనకు $h_{\text{గరిష్ఠ}} = 10$ km గా వస్తుంది.

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- వస్తువులో విరూపణ కలిగించే బలాన్ని విరూపణ బలం అంటారు. (deforming force).
- విరూపణ బలాన్ని తొలగించగానే, వస్తువు దాని మౌలిక ఆకారాన్ని పరిమాణాన్ని పొందే పదార్థ ధర్మాన్ని 'స్థితిస్థాపకత' అంటారు.
- విరూపణ వల్ల, వస్తువులో అంతర పునఃస్థాపక బలం ఏర్పడి విరూపణ బలం తొలగించిన తరవాత వస్తువు పూర్వపు ఆకారాన్ని, పరిమాణాన్ని పొందేలా చేస్తుంది.
- వస్తువుపై విరూపణ బలాన్ని తొలగించగానే పూర్తిగా దాని యథాస్థితిని పొందే వస్తువును పరిపూర్ణ స్థితిస్థాపక వస్తువు అంటారు.
- బాహ్య విరూపణ బలాన్ని తొలగించినప్పటికీ, మారిన ఆకృతినే శాశ్వతంగా ఉంచుకొనే పదార్థాలను 'పరిపూర్ణ ప్లాస్టిక్ పదార్థాలు' అంటారు.

- సాధారణ స్థితిలో ఏదైనా పరమాణువుపై పనిచేసే ఫలిత అంతర పరమాణుబలం శూన్యం. పరమాణువుల మధ్య దూరం సాధారణ స్థితిలో కన్నా పెరిగితే అంతర పరమాణు బలం ఆకర్షణబలం అవుతుంది. తక్కువ దూరాలకు బలాలు వికర్షణ బలాలు అవుతాయి.
- ప్రమాణ వైశాల్యంపై పనిచేసే పునఃస్థాపక బలం, ప్రతిబలానికి సమానం. దీని ప్రమాణం Nm^{-2}.
- ప్రమాణ కొలతకు, కొలతలలో కలిగే మార్పు (ఉదాహరణకు పొడవు, ఘనపరిమాణం లేదా ఆకారం) వికృతికి సమానం.
- ఏ గరిష్ఠ ప్రతిబలం వరకు ఒక వస్తువు స్థితిస్థాపక ధర్మాన్ని ప్రదర్శిస్తుందో, ఆ ప్రతిబలాన్ని 'స్థితిస్థాపక అవధి' అంటారు.
- హుక్ నియమము ప్రకారం, స్థితిస్థాపక హద్దులోపల వస్తువులో ఏర్పడిన ప్రతిబలం, వికృతికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.
- అనుదైర్ఘ్య ప్రతిబలానికి, అనుదైర్ఘ్య వికృతికి గల నిష్పత్తిని 'యంగ్ గుణకం' అంటారు.
- అభిలంబ ప్రతిబలానికి, ఘనపరిమాణ వికృతికి గల నిష్పత్తిని 'ఘనపరిమాణ గుణకం' అంటారు.
- విరూపణ ప్రతిబలానికి, విరూపణ వికృతికి గల నిష్పత్తిని 'దృఢతాగుణకం' అంటారు.
- పార్శ్వీయ వికృతికి, అనుదైర్ఘ్య వికృతికి మధ్యగల నిష్పత్తిని పాయిజాన్ నిష్పత్తి అంటారు.
- తీగలోని అంతర-పరమాణు బాలాలకు వ్యతిరేఖంగా, తీగను సాగదీయడానికి చేసిన పని దానిలో శక్తి రూపంలో నిక్షిప్తం అవుతుంది. దీనిని స్థితిస్థాపక స్థితిజశక్తి అంటారు.

ముగింపు అభ్యాసం

1. స్థితిస్థాపకతను నిర్వచించండి. స్థితిస్థాపక, ప్లాస్టిక్ పదార్థాలకు ఉదాహరణలివ్వండి.
2. ప్రతిబలం, వికృతి మరియు హుక్ నియమాలను వివరించండి.
3. పదార్థాల స్థితిస్థాపక ధర్మాలను, అంతర అణుబలాలరీత్యా వివరించుము.
4. యంగ్ గుణకం, ఘనపరిమాణ గుణకం మరియు దృఢతా గుణకాలను నిర్వచించండి.
5. క్రమంగా పెరుగుతున్న భారానికిలోనైన లోహపు తీగ ప్రవర్తనను ప్రతిబలం-వికృతి వక్రము ద్వారా చర్చించండి.
6. ఉక్కు, రబ్బరు కన్నా ఎందుకు ఎక్కువ స్థితిస్థాపకతను కలిగి ఉంటుంది?
7. పాయిజాన్ నిష్పత్తికి ప్రమాణాలు ఎందుకు ఉండవు?

8. మూడు స్థితులలోని పదార్థాలలో ఘన, ద్రవ, వాయు పదార్థాలలో ఏది ఎక్కువ స్థితిస్థాపకతను కలిగి ఉంటుంది? ఎందుచేత?

9. 4m పొడవున్న లోహపుతీగ వ్యాసము 1 mm. దీనికి 4 kg ద్రవ్యరాశితో సాగదీసినప్పుడు తీగలో సాగుదల కనుక్కోండి. తీగ పదార్థపు యంగ్ గుణకము $Y = 13.78 \times 10^{10}\ Nm^{-2}$.

10. ఒక గోళాన్ని సముద్రంలో 1 km లోతుకు తీసుకొని పోయినపుడు, దాని ఘనపరిమాణం 0.02% తగ్గుతుంది. సముద్రపు నీటి సాంద్రతను $1000\ kg\ m^{-3}$ గాను, $g = 9.8\ ms^{-2}$ గాను తీసుకొని, ఘనపరిమాణ గుణకాన్ని లెక్కించండి.

11. 0.2 mm వ్యాసార్థం గల తీగ పొడవును 0.2% పెంచడానికి ఎంత బలం కావాలి? $Y = 9 \times 10^{10}\ Nm^{-2}$.

12. విరూపణ ప్రతిబలం, విరూపణ వికృతి మరియు దృఢతా గుణకాలంటే ఏమిటి?

13. కింది తలంను స్థిరంగా ఉంచి 10 cm భుజము గల ఘనపు ఉపరితలాన్ని దానికి సమాంతరంగా 2 mm స్థానభ్రంశాన్ని పొందేటట్లు 5×10^5 N బలాన్ని స్పర్శీయంగా ప్రయోగించిన అదిపొందే వికృతిని లెక్కించండి.

14. స్థితిస్థాపక ధర్మం మన జీవితాలలో ఎంతో ప్రాముఖ్యతను కలిగి ఉంది. పదార్థాల ప్లాస్టిక్ ధర్మం (ఆజిబిరీశిరిబీరిశిగి) ఏ విధంగా మనకు సహాయపడుతుంది?

15. L పొడవు, r వ్యాసార్థం ఉన్న తీగ ఒక కొనను దృఢమైన ఆధారానికి బిగించి, రెండవ కొనను F బలంతో లాగినప్పుడు తీగ పొడవు x పెరుగుతుంది. అదే పదార్థంతో చేయబడిన 2L పొడవు, 2r వ్యాసార్ధం ఉన్న తీగను 2F బలంతో లాగినప్పుడు పొడవులో పెరుగుదల ఎంత?

16. స్థితిస్థాపక స్థితిజశక్తిని నిర్వచించండి. స్థితిస్థాపక స్థితిజశక్తికి సమీకరణాన్ని ఉత్పాదించండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

9.1

1. (i) $R > R_o$ అయిన, బలాలు ఆకర్షణ బలాలౌతాయి.

   (ii) $R < R_o$ అయిన, వికర్షణ బలాలౌతాయి.

2. అనుదైర్ఘ్య ప్రతిబలం మరియు అనుదైర్ఘ్య వికృతి.

3. నిష్పత్తి తగ్గును.

4. విచ్ఛేదన బిందువుకు సంబంధించిన ప్రతిబలాన్ని 'విచ్ఛేదన ప్రతిబలం' అంటారు.

5. $0.12 \times 10^{10}\ Nm^{-2}$

9.2

1. వికృతికి ప్రమాణాలుండవు. కనుక రెండింటికి ఒకే ప్రమాణాలుంటాయి.
2. ద్రవాల, వాయువుల సంపీడ్యత, ఘనపదార్థాల కన్నా ఎక్కువ, ఘనపరిమాణ గుణకము, సంపీడ్యతకు విలోమం. కావున ఘన పదార్థాలకు ద్రవ, వాయు పదార్థాలకన్నా స్థితిస్థాపకత ఎక్కువ.
3. సగం.
4. 1 : 8
5. $1 \times 10^{11}\ Nm^{-2}$

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

9. 0.15 m
10. $4.9 \times 10^{-10}\ Nm^{-2}$
11. 22.7 N
13. 2×10^{-2}
15. x

10

ప్రవాహికల ధర్మాలు

పరిచయం

ఇంతకు ముందు పాఠంలో, పరమాణువుల మధ్య పనిచేసే అంతరబలాలు (Interatomic forces) ఘన పదార్థాల స్థితిస్థాపక ధర్మానికి కారణమని తెలుసుకున్నారు. ఇదే విషయం ద్రవాలకు, వాయువులకు వర్తిస్తుందా? (ద్రవాలు, వాయువులను ఉమ్మడిగా ప్రవాహులు అంటారు. అనుకూలమైన పరిస్థితులలో వాటికి ప్రవహించే ధర్మం ఉండడమే వాటిని ప్రవాహులు అని పిలవడానికి కారణం). మీ పరిసరాలలోగాని, ప్రాంతంలోగాని, రాష్ట్రంలోగాని, నదిపై కట్టబడిన ఆనకట్టను (dam) ను చూసారా? చూసి ఉంటె, ఆనకట్ట గోడల మందము లోతుకు పోయినకొద్ది పెరగడం గమనించే ఉంటారు. ఇందుకు కారణం గురించి ఎప్పుడైనా ఆన ఆలోచించారా? అదే విధంగా హైడ్రాలిక్ లిఫ్ట్ (Hydraulic lift) ప్లాట్‌ఫాం పై నిలబడి మీ బరువును ఉపయోగించి మీరు కారునుగాని, ట్రక్కునుగాని లేక ఏనుగు వంటి బరువైనవాటిని ఎత్తగలరు అని మీరు నమ్మగలరా! సర్వీసు సెంటరులో హైడ్రాలిక్ జాక్‌ను (Hydraulic jack) ఉపయోగించి కార్లను సులభంగా లేపుటను గమనించారా? అదే విధంగా దోమల వంటి కీటకాలు నిశ్చల నీటిపై నడవగలవు, కూర్చొనగలవు, కాని మనం అలాచేయలేము. ఈ పరిశీలనలన్నింటిని ద్రవాలకున్న ద్రవస్థైతిక పీడనము (Hydrostatic pressure) లాంటి ధర్మాలను బట్టి, పాస్కల్ నియమం మరియు తలతన్యతల ద్వారా వివరించవచ్చును. ఈ పాఠంలో ఈ అంశాలన్నీ మీరు నేర్చుకుంటారు.

నీటిలో నడవడంకన్నా నేలపై నడవడం సులభమని మీరు గమనించారా? రెండు గరాటులలో వేరు వేరుగా ఒక దానిలో నీరు మరియొక దానిలో తేనె పోసినపుడు, గరాటు కాడగుండా నీరు, తేనే కన్నా సులభంగా రావడం గమనించే ఉంటారు. ద్రవాల ప్రవాహంలో తేడాను కలగచేసే ద్రవాల ధర్మాల గురించి ఈ పాఠంలో నేర్చుకుంటారు.

నీరు ప్రవహిస్తున్న రబ్బరు లేక ప్లాస్టిక్ గొట్టం మూతివద్ద వత్తినపుడు, నీరు దూరంగా చిమ్మబడటం గమనించే ఉంటారు. క్రికెట్ ఆటగాడు బంతిని ఏవిధంగా స్వింగ్ (swing) చేస్తారో తెలుసునా? విమానాలు ఏవిధంగా గాలిలోకి ఎగురుతాయి? ఈ ఆసక్తికరమైన అంశాలన్నింటిని బెర్నౌలి సూత్రం ద్వారా వివరించవచ్చును. దీనిని గురించి ఈపాఠంలో చదువుకుంటారు.

లక్ష్యాలు

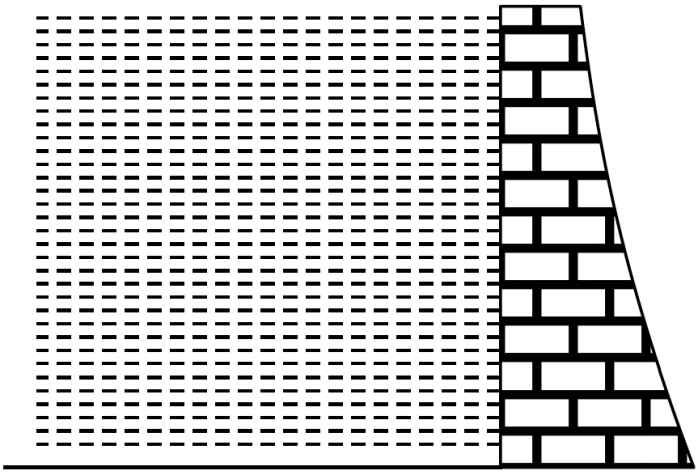
ఈ పాఠం చదివిన పిదప, కింది లక్ష్యాలు సాధిస్తారు.

- ద్రవంలోపల కొంతలోతులో ద్రవాలు కలిగించే స్థైతిక పీడనాన్ని (hydrostatic pressure) లెక్కగట్టడం.
- ఉత్ప్లవన బలం మరియు ఆర్క్‌మెడిస్ సూత్రాల వివరణ.

- పాస్కల్ నియమాన్ని నిర్వచించి, హైడ్రోస్టాటిక్ ప్రెస్ (hydrostatic press), హైడ్రాలిక్ లిఫ్ట్ (hydraulic lift) మరియు హైడ్రాలిక్ బ్రేక్స్ (hydraulic brakes) పనిచేసే విధానాన్ని వివరించడం.
- తలతన్యత – ఉపరితలశక్తులను వివరించడం.
- కేశనాళికలో నీరు ఎగబ్రాకుటకు సమీకరణం ఉత్పాదించడం.
- ప్రవాహి యొక్క, ధారారేఖా ప్రవాహం మరియు సంక్షుబ్ధ ప్రవాహాల మధ్య భేదాలు.
- ప్రవహిస్తున్న ద్రవం సందిగ్ధ వేగాన్ని నిర్వచించడం, రెనాల్డ్ సంఖ్యను లెక్కగట్టడం.
- స్నిగ్ధతను నిర్వచించి, ద్రవాల స్నిగ్ధతా ధర్మం వల్ల నిత్యజీవితంలో జరిగే దృగ్విషయాలను వివరించడం మరియు,
- బెర్నౌలి సిద్ధాంతాన్ని నిర్వచించి, నిత్యజీవితంలోని అంశాలకు అనువర్తింపజేయడం.

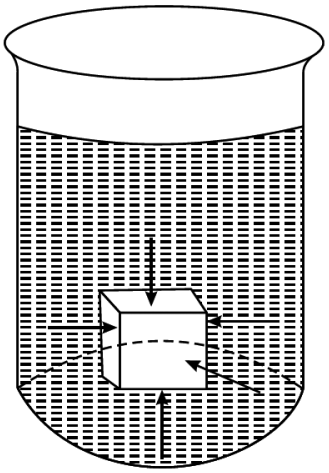
10.1 స్థైతిక పీడనం (Hydrostatic Pressure)

కాగితాలకు గుచ్చే పిన్నీసుకొన మందంగా కాక సన్నగా (కొసగా) ఉంటే సులభంగా గుచ్చుకోవడం మీరు గమనించే ఉంటారు. వైశాల్యం అధికంగా ఉంటే అధిక బలాన్ని ఉపయోగించవలసి వస్తుంది. అంటే ఒకే బలానికి, వైశాల్యము తక్కువగా ఉంటే ఫలితము అధికంగా ఉంటుందని చెప్పవచ్చును. ప్రమాణ వైశాల్యంపై ఈ బల ప్రభావాన్ని పీడనం అంటారు.



పటం 10.1 ఆనకట్ట పక్క గోడ నిర్మాణం

పటం 10.1 లో ఆనకట్ట పక్క గోడ ఆకారంను చూపించారు. ఆనకట్ట గోడ అడుగున మందంగా ఉంటుంది. మన ఇంటి గోడలకు కూడా ఇదే ఆకారం ఉంటుందా? కాదు, మన ఇంటి గోడలన్నీ ఏకరీతి మందంతో ఉంటాయి. ఈ భేదానికి కారణమైన భౌతిక ధర్మం ఏమిటో మీకు తెలుసా? బాహ్య బలంవల్ల విరూపణ చెందినప్పుడు ఘనపదార్థాల అంతర పరమాణు బలాల పరిమాణం ఎక్కువగా ఉండంటంవల్ల విమోటన ప్రతిబలంను ఏర్పరచుకొంటాయని ఇంతకు ముందు పాఠంలో చదివిన విషయం గుర్తుకు తెచ్చుకోండి. కాని ప్రవాహులు విమోటన ప్రతిబలాన్ని కలిగి ఉండవు. ఒక వస్తువును ప్రవాహిలో పూర్తిగా ముంచినప్పుడు, ప్రవాహి వల్ల కలిగేబలం, వస్తువు తలంపై లంబంగా పనిచేస్తుంది (పటం 10.2). పాత్ర గోడలపై అన్ని బిందువుల వద్ద ప్రవాహి లంబంగా బలాన్ని కలగచేస్తుంది.



పటం 10.2 మునిగి ఉన్న వస్తువుపై ప్రవాహి కలిగించే బలం

ప్రమాణ వైశాల్యంపై పనిచేసే లంబ బలాన్ని లేక వత్తిడిని పీడనం అంటారు.

$$\text{పీడనం (P)} = \frac{\text{వత్తిడి}}{\text{వైశాల్యం}} \qquad (10.1)$$

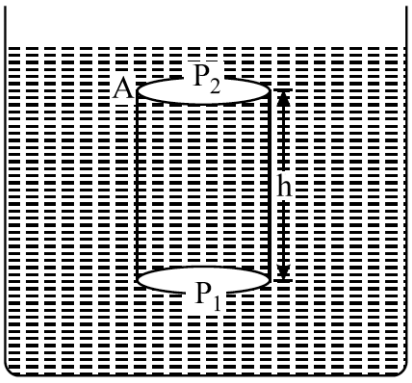
నిశ్చలంగా ఉన్న ప్రవాహి కలిగించే పీడనాన్ని ద్రవ స్థైతిక పీడనం (Hydrostatic pressure) అంటారు. పీడనం ఒక అదిశా రాశి.

పీడనానికి SI ప్రమాణం Nm^{-2}. దీనిని, పాస్కల్ (Pa) అని కూడా, ఫ్రెంచి దేశపు శాస్త్ర జ్ఞుడైన బ్లెయిజ్ పాస్కల్ Blaise Pascal) గౌరవార్థం పిలుస్తారు. ఇతను పీడనంపై విస్తృత అధ్యయనం చేసాడు.

పీడనానికి సంబంధించి మనకు మరొక ప్రమాణం కూడా ఉంది. అది, అట్మాస్ఫియర్‌లు(atm). సముద్ర మట్టం వద్ద వాతావరణం కలుగజేసే పీడనాన్ని అట్మాస్ఫియర్ అంటారు. ఒక అట్మాస్ఫియర్ పీడనం 1.103×10^5 Pa పీడనానికి సమానం.

10.1.1 ద్రవంలో ఒక బిందువు వద్ద కలిగే స్థైతిక పీడనం

ద్రవంగల పాత్రలో A మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం నీ ఎత్తుగల సౌష్టవాకార స్తూపాన్ని ఊహించండి (పటం 10.3). స్తూపం అడుగు, పైన తలాలపై ద్రవం కలిగించే పీడనం వరుసగా P_1, P_2 అనుకుందాం. స్తూపం అడుగుతలంపై ద్రవం కలిగించే ఊర్ధ్వ బలం P_1A మరియు ఉపరితలంపై కలిగించే అధోబలం P_2A.



పటం 10.3 ద్రవంలో నీ ఎత్తులో ఉన్న ఊహాత్మక స్తూపం

ఊర్ధ్వదిశలో పనిచేసే ఫలితబలం $= (P_1A - P_2A)$.

స్తూపం స్థానంలో ఉండాల్సిన ద్రవం ద్రవ్యరాశి = సాంద్రత × స్తూపం ఘనపరిమాణం= ρAh

ఇక్కడ ρ ద్రవసాంద్రత

$\therefore$ స్తూపం స్థానంలో ఉండాల్సిన ద్రవ భారం $= (\rho h\ A)g$

స్తూపం సమతాస్థితిలో ఉంది కాబట్టి, దాని మీద పనిచేసే ఫలితబలం శూన్యం కావాలి.

$$P_1A - P_2A - \rho gh\ A = 0$$

$$P_1 - P_2 = \rho\ g\ h \qquad (10.2)$$

h ఎత్తు (లోతులో) ద్రవం వల్ల కలిగే పీడనం P

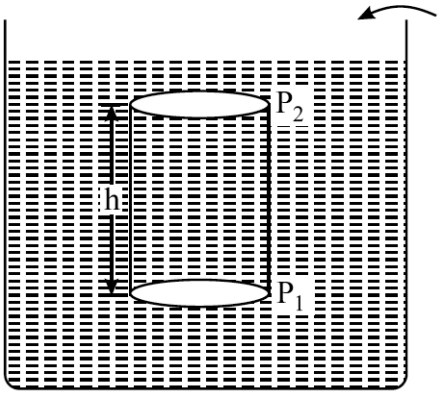
$$P = \rho\ g\ h \qquad (10.3)$$

ద్రవపు స్థైతిక పీడనం లోతు పెరిగే కొద్ది పెరుగును. ఈ కారణం వల్లనే, డ్యామ్ గోడ మందం లోతుకు పోయేకొద్ది పెరుగుతుంది.

పటం 10.4 లో చూపినట్లు, స్తూపపు పై ముఖం ద్రవపు ఊర్ధ్వ తలంపై ఉన్నట్లు భావిస్తే, P_2 బదులు P_{atm} (వాతారవరణ పీడనం) గా రాయాలి. P_1 ను P చేత తెలియజేస్తే, ఉపరితలం నుండి కొంత లోతులో పరమ పీడనం (absolute pressure)

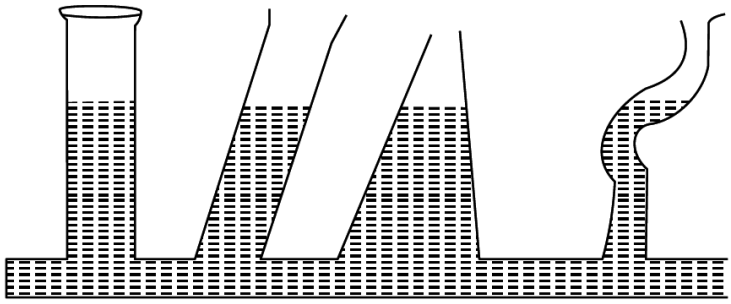
$$P - P_{atm} = \rho\ g\ h$$

$$P = P_{atm} + \rho\ g\ h \qquad (10.4)$$



పటం 10.4 స్తూపం ఒక ముఖం ద్రవ ఉపరితలం వద్ద ఉన్నప్పుడు ద్రవంలో ఉన్న స్తూపం

పై సమీకరణంలో స్తూపం యొక్క వైశాల్యాన్ని సూచించే పదం ఏదీ లేదు. అంటే, పాత్ర ఆకారం ఏమైనప్పటికి, ద్రవంలో పీడనం, ఇచ్చిన లోతువద్ద స్థిరంగా (సమాన విలువ) ఉంటుంది (పటం 10.5).



పటం 10.5 ప్రవాహి పీడనం పాత్ర ఆకారంపై ఆధారపడదు.

ఉదాహరణ 10.1

ఒక మీటరు మందం గల సిమెంట్ గోడ $10^5\ Nm^{-2}$ పీడనాన్ని తట్టు కొనగలదు. 100 m లోతుగల డ్యామ్‌లో నీటి వత్తిడిని తట్టుకొనడానికి పక్క గోడ అడుగున మందం ఎంత ఉండాలి? నీటి సాంద్రత = $10^3\ kg\ m^{-3}$, g = 9.8 ms^{-2} అని తీసుకోండి.

సాధన : డ్యాము అడుగు భాగంలో నీరు గోడపై కలిగించే పీడనం

$$P = \rho\ g\ h$$

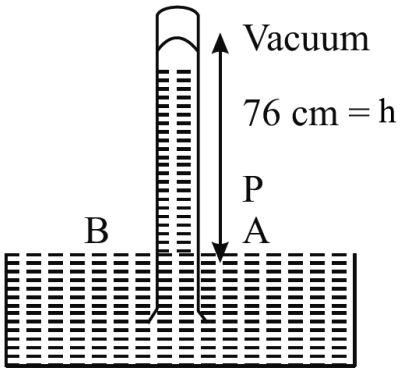
$$P = 10^3\ kg\ m^{-3} \times 9.8\ ms^{-2} \times 100\ m$$

$$P = 9.8 \times 10^5\ Nm^{-2}$$

ఏకాంక పద్ధతిని అనసరించి $9.8 \times 10^5\ Nm^{-2}$ పీడనాన్ని తట్టుకోగల గోడమందాన్ని లెక్కించవచ్చును.

$$\therefore \text{ గోడ మందం } t = \frac{9.8 \times 10^5\ Nm^{-2}}{10^5\ Nm^{-2}} = 9.8\,m$$

10.1.2 వాతావరణ పీడనం



పటం 10.6 టారిసెల్లి భారమితి

భూమి ఉపరితలం నుండి దాదాపు 200 కి.మీ. వరకు భూమి చుట్టూ వాతావరణం వ్యాపించి ఉందని మనకు తెలుసు. వాతావరణం కలిగించే వత్తిడినే వాతావరణ పీడనము అంటారు. O.V. Guericke అనే జర్మన్ శాస్త్రజ్ఞుడు వాతావరణ పీడనం కలగచేసే బలాన్ని రుజువు చేసే ఒక ప్రయోగాన్ని చేసిచూపాడు. 20 అంగుళాల వ్యాసమున్న, రాగితో చేసిన రెండు గుల్ల అర్ధగోళాలను ఒక దానితో ఒకటి దృఢంగా బిగించాడు. ఈ విధంగా ఏర్పడిన గోళంలో గాలి ఉన్నపుడు, దాని అర్ధభాగాలను సులభంగా విడదీయవచ్చును. వాయురేచక యంత్రం (Vacuum Pump) ఉపయోగించి, గోళములోని గాలిని తీసివేసినపుడు, అర్ధగోళాలను వేరుచేయడానికి మొత్తం 8 గుర్రాలు అవసరమైనాయి.

టారసెల్లి (Toricelli) వాతావరణ పీడనాన్ని లెక్కించుటకు ద్రవ స్థైతిక పీడనం (hydrostatic pressure) ఫార్ములాను ఉపయోగించాడు. ఇతను 1 మీటరు పొడవుగల ఒక వైపు ముసిన గాజు గొట్టంలో 13.6×10^3 కి.గ్రా/మీ3 సాంద్రత గల పాదరసాన్ని నింపి, తలక్రిందులు చేసి, పాదరసం ఉన్న తొట్టిలో బోర్లించాడు (పటం. 10.6). గొట్టంలో పాదరసం, తొట్టిలోని మట్టం కన్నా భారమితి 76 cm ఎత్తు వద్ద నిలిచింది.

సమతాస్థితిలో, వాతారవణం కలిగించిన పీడనం, గొట్టంలోని పాదరసమట్టం కలిగించే పీడనానికి సమానం.

$$P_{atm} = \rho\ g\ h = 13600\ kg\ m^{-3} \times 9.8\ ms^{-2} \times 0.76\ m$$

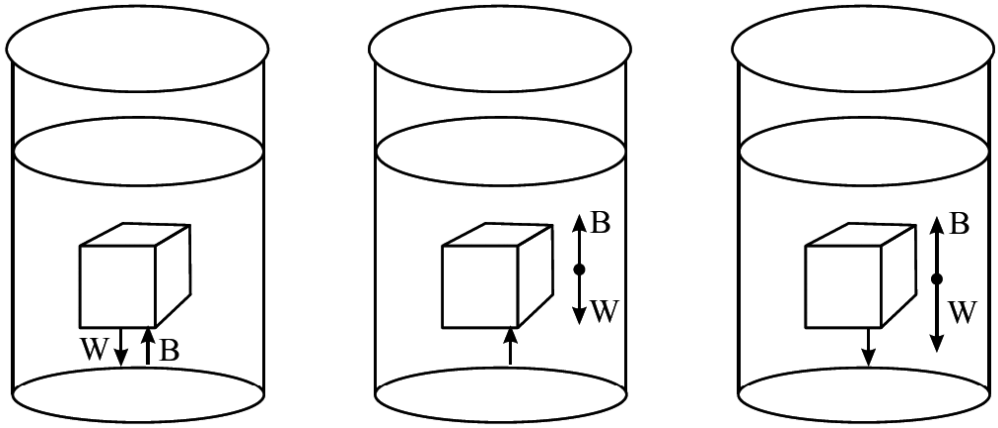
$$P_{atm} = 1.01 \times 10^5\ Nm^{-2}$$

$$P_{atm} = 1.01 \times 10^5\ Pa$$

10.2 ఉత్ప్లవన బలం

గాలిలో ఉన్న ఒక వస్తువును ఎత్తడం కన్నా నీటిలో ఉన్న వస్తువును పైకి ఎత్తడం సులభమని మనకు నిత్యానుభవమే. ఇలా అనిపిచడానికి కారణం ప్రవాహులు వస్తువు పై ఊర్ధ్వదిశలో కలిగించే బలమే. ఈ విధంగా ఒక ప్రవాహిలో మునిగి ఉన్న వస్తువుపై కలిగే ఊర్ధ్వ బలాన్నీ, **'ఉత్ప్లవన బలం'** అంటారు. వస్తువులపై పనిచేసే ఉత్ప్లవనబలం లక్షణాన్ని అర్కిమెడిస్ కనుగొన్నాడు. తన పరిశీలనల ఆధారంగా అతడు తెలిపిన నియమాన్ని "ఆర్కిమెడిస్" సూత్రం" అంటారు. దీని ప్రకారం "ఒక ప్రవాహిలో పూర్తిగా కాని, పాక్షికంగా కాని మునిగి ఉన్న వస్తువుపై పనిచేసే ఉత్ప్లవనబలం, ఆ వస్తువుచే తొలగించబడిన ప్రవాహిభారానికి సమానంగా ఉంటుంది".

పటం 10.7 లో వివిధ సందర్భాలలో వస్తువుపై పనిచేసే ఉత్ప్లవన బలాన్ని చూపడం జరిగింది.



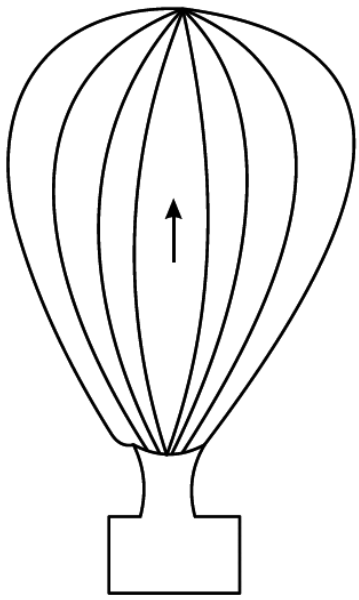
పటం 10.7(a) : సమతా స్థితిలో వస్తువుపై ఉత్ప్లవన బలపరిమాణం B, వస్తువు భారానికి సమానం

పటం 10.7(b) : ప్రవాహి సాంద్రత కన్నా తక్కువ సాంద్రత ఉన్న వస్తువు పూర్తిగా మునిగినప్పుడు దానిపై ఫలిత బలం పైవైపుకు ఉంటుంది

పటం 10.7(c) : ప్రవాహి సాంద్రత కన్నా ఎక్కువ సాంద్రత ఉన్న వస్తువు మునుగుతుంది.

పటం 10.7

ఉత్ప్లవన బలానికి మరొక ఉదాహరణగా, వేడిగాలి నింపిన బెలూన్ చలనమును చెప్పుకోవచ్చు (పటం 10.8). వేడిగాలి సాంద్రత, చల్లనిగాలి సాంద్రత కన్నా తక్కువగా ఉంటుంది. కావున బెలూన్‌పై పనిచేసే ఫలిత ఉత్ప్లవన బలం ఊర్ధ్వదిశలో ఉండటం వల్ల అది గాలిలో తేలుతుంది.



పటం 10.8 గాలిలో తేలుతున్న వేడిగాలి గల బుడగ

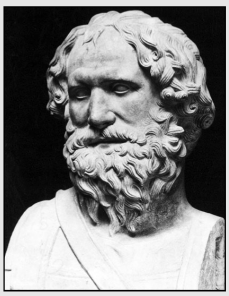
తేలుతున్న వస్తువులు

కర్రముక్క నీటిపై తేలడం మీరు చూసే ఉంటారు. సమతాస్థితిలో దానిపై పనిచేసే బలాలను గుర్తించగలరా? ఒకటి గురుత్వాకర్షణ బలం. ఇది వస్తువును (కర్రముక్కను) క్రిందకు లాగుతుంది. తొలగించిన నీరు ఉత్ప్లవన బలంను ప్రయోగిస్తుంది. ఇది కర్రముక్కపై పైకి పనిచేస్తుంది. సమతాస్థితిలో ఈ రెండు బలాలు ఒక దానినొకటి తులనం చేసుకోవడం వల్ల కర్రముక్క నీటిపై తేలుతుంది. అంటే తేలుతున్న వస్తువులు, తమ భారానికి సమానమైన ప్రవాహిని తొలగిస్తాయని తెలుస్తున్నది.

ఆర్కిమెడిస్ (287 - 212 BC)

గ్రీకు దేశస్తుడైన ఆర్కిమెడిస్ తనకాలంలోని ఎంతో మంది శాస్త్ర వేత్తలకన్నా గొప్ప భౌతిక శాస్త్రజ్ఞుడు, ఇంజనీరు మరియు గణితమేధావి. వస్తువులపై ఉత్ప్లవన బల ప్రభావాన్ని కనుగొనడం ద్వారా ప్రపంచ ప్రసిద్ధిగాంచినాడు. ఇతను కనుగొన్న 'ఆర్కిమెడిస్ మర నేటికి వినియోగంలో ఉన్నది. ఇది వాలుగా ఉండి

త్రిప్పడానికి అనువుగా ఉండే మరగొట్టము. దీనిని ఓడల నుండి నీటిని తోడడానికి ఉపయోగించేవారు. తులాదండాలు, కప్పీలు నిర్మించడంతో పాటు (Catapult) కూడా కనిపెట్టాడు.



ఒకసారి, తన స్వంత పట్టణమైన 'సైరస్' కు రాజైన హైరన్ (Hieron) తన కిరీటానికి సంబంధించి అనూమానమెచ్చింది. అది నిజమైన బంగారంతో చేయబడిందా? లేక ఇతర లోహాలు కలుపబడి కల్తీచేయబడిందా? తెలుసుకోవాలని, ఆర్కిమెడిస్‌ను కిరీటం పాడుచేయకుండా ఆ పనిచేయమని ఆదేశించాడు. నీటి తొట్టిలో స్నానం చేయడానికి నీటిలో మునిగినప్పుడు పాక్షికంగా భారం తగ్గినట్లు అనిపించింది. ఈ విషయం తెలుసుకున్న ఆనందంలో దుస్తులు లేకుండా 'యురేకా' అంటే నేను కనుగొన్నాను అన్న అర్థం వచ్చేలా అరుస్తు రోడ్లవెంట పరుగుతీసాడు.

10.3 పాస్కల్ సూత్రం

బస్సులో ప్రయోణించేటప్పుడు దానిని అపడానికి డ్రైవర్ తక్కువ బలంతో బ్రేకులను నొక్కి బస్సు ఆపడాన్ని మీరు గమనించే ఉంటారు. హైడ్రాలిక్ జాక్ ఉపయోగించి కార్లనుగాని, ట్రక్కులనుగాని కావలసిన ఎత్తుకు లేపడం గమనించారా? ఇది గమనించడానికి సమీపంలోని మోటారు రిపేరు దుకాణానికి (Mechanic shop) వెళ్ళి చూడండి. కాటన్ బేళ్ళను కట్ట కట్టడానికి (packing) ఉపయోగించే హైడ్రాలిక్‌ప్రెస్ కూడా ఇదే సూత్రంపై పనిచేస్తుంది.

ఈ పరికరాలన్నీ పాస్కల్ సూత్రం ఆధారంగా పనిచేస్తాయి. అది ఏదైనా పాత్రలో నిశ్చల స్థితిలోని ద్రవంలో ఏ భాగంలో నైనా కలిగించిన పీడనం ద్రవం అంతటా సమానంగా విస్తరించడంతో పాటు, పాత్రగోడలపై కూడా అంతే పీడనాన్ని కలిగిస్తుంది. దీనిని పాస్కల్ సూత్రం అంటారు.

ఈ నియమాన్నే 'ద్రవపీడన ప్రసరణ నియమం' అని కూడా అంటారు.

10.3.1 పాస్కల్ నియమ అనువర్తనాలు

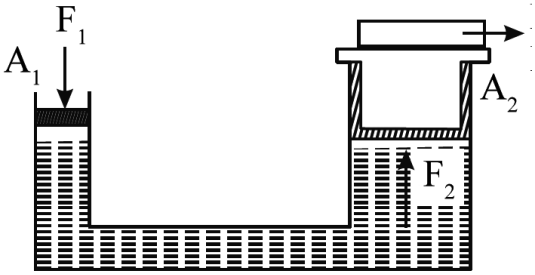
(A) హైడ్రాలిక్ ప్రెస్/త్రాసు/జాక్/లిఫ్ట్

హైడ్రాలిక్ ప్రెస్, పాస్కల్ నియమానుసారం పనిచేసే పరికరం. అల్పబలాన్ని ఉపయోగించి అధికభారాలను లేపవచ్చును. దీని సాధారణ ఏర్పాటు పటం 10.9 లో చూపబడింది. A_1 అల్ప వైశాల్యమున్న ముషలకం (Piston) పై F_1 బలాన్ని ప్రయోగించామనుకోండి. వేరొక వైపు ఎక్కువ వైశాల్యం గల A_2 ముషలకం అధిక బరువుల నుంచే ప్లాట్ ఫారం (ఆధారం) కు బిగించబడి ఉంటుంది. రెండు ముషలకాల మధ్య ఉన్న గొట్టంలోని ద్రవం ద్వారా చిన్న ముషలకంపై ఉన్న పీడనం పెద్ద ముషలకానికి రవాణా చేయబడుతుంది. రెండు ముషలకాలపై పీడనం సమానం కావున తక్కువ వైశాల్యం ఉన్న ముషలకం పై పీడనం

$$P = \frac{\text{బలం}}{\text{వైశాల్యం}} = \frac{F_1}{A_1}$$

పాస్కల్ నియమము ప్రకారం, ఈ పీడనం ద్రవం ద్వారా అధిక వైశాల్యం (A_2) ఉన్న గొట్టంకు సరఫరా అవుతుంది. కావున పెద్ద ముషలకం పై పనిచేసే బలం

$$F_2 = \text{పీడనం} \times \text{వైశాల్యం} = \frac{F_1}{A_1} \times A_2 \qquad (10.5)$$

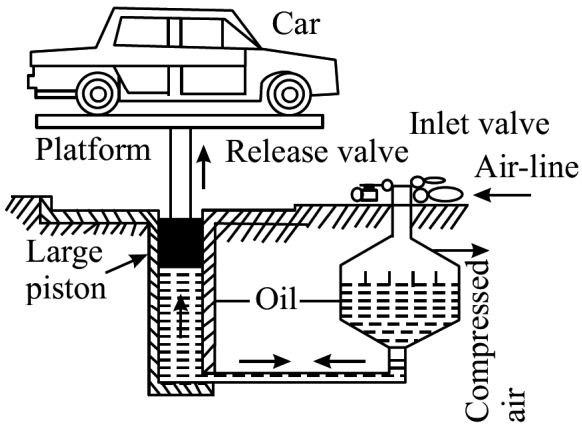


పటం 10.9 హైడ్రాలిక్ లిఫ్ట్

సమీకరణం 10.4 నుండి $F_2 > F_1$ ఇది $\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$ నిష్పత్తికి సమానంగా ఉంటుంది.

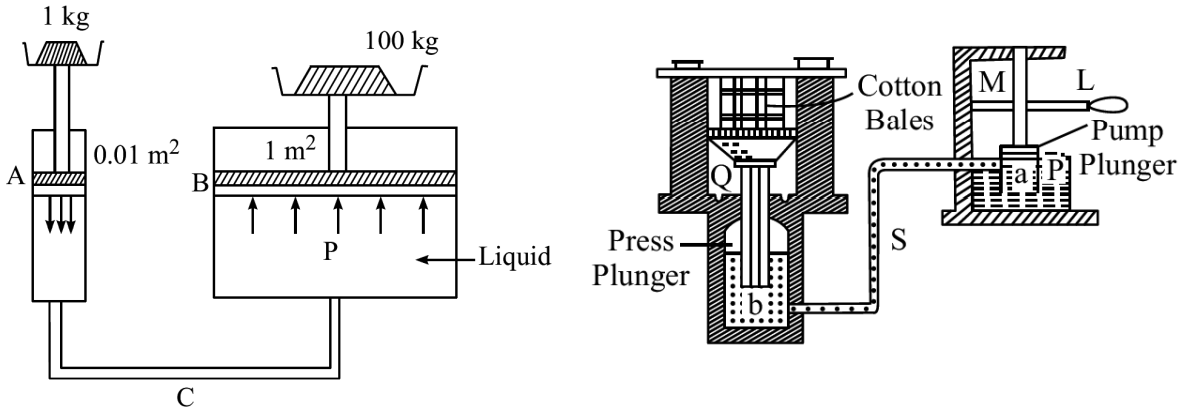
ఇదే విధమైన ఏర్పాటుతో, కొద్ది పాటిమార్పులతో, హైడ్రాలిక్ ప్రెస్, హైడ్రాలిక్ త్రాసులు (Balance) హైడ్రాలిక్ జాక్ నిర్మితమై ఉంటాయి.

(B) హైడ్రాలిక్ జాక్ లేదా కారులు లేపే యంత్రం (Car lift) : ఆటోమెబైల్ వర్క్‌షాప్ (సర్వీసు స్టేషన్)లలో, కార్లు, బస్సులు, ట్రక్కులు మొదలైన వాటిని పైకి లేపి వాటి కింద మెకానిక్ రిపేరు చేయడం మీరు చూసే ఉంటారు. దీనిని పీడనంను కలిగించడం ద్వారా చేయవచ్చు. ఈ పీడనం కారును పైకి లేపడానికి సరిపడా బలాన్ని ఏర్పరచడానికి ద్రవం ద్వారా పెద్ద తలానికి సరఫరా అవుతుంది (పటం 10.10).



పటం 10.10 హైడ్రాలిక్ జాక్

(C) హైడ్రాలిక్ బ్రేకులు (Hydraclic Brakes) : బస్సులు లేక కార్ల వంటి వాహనాలలో ప్రయాణిస్తున్నప్పుడు, డ్రైవరు బ్రేక్ పెడల్‌పై కొద్దిపాటి బలాన్ని కాలితో ప్రయోగించి వాటిని ఆపడం మీరు చూసే ఉంటారు. ఈ విధంగా కలిగించిన వత్తిడి, బ్రేక్ ఆయిల్ ద్వారా స్లేవ్ సిలిండర్స్ (Slave cylinders) లోని పిస్టన్ (Piston) ను నెట్టుతుంది. ఈ పిస్టన్, వాహనపు నాలుగు చక్రాలలోని బ్రేక్ షూస్‌ను ఒకేసారి బ్రేక్‌డ్రమ్‌పైకి నెడుతుంది. దీని ఫలితంగా ఒకేసారి నాలుగు చక్రాలు తిరగడం ఆగి, వాహనం వెంటనే ఆగిపోతుంది.



(a) హైడ్రాలిక్ బాలన్స్ (b) హైడ్రాలిక్ ప్రెస్

పటం 10.11

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 10.1

1. స్కేటింగ్ కొరకు ఉపయోగించే బూట్లు పరిమాణంలో పెద్దవిగా ఎందుకు ఉంటాయి?
2. నీటి సాంద్రత 1.024×10^3 kg m^{-3}, వాతావరణ పీడనం 1.01×10^5 Pa మరియు గురుత్వ త్వరణం $g = 9.80$ ms^{-2} గా తీసుకొని, 1500 m లోతులో సముద్రములో పీడనాన్ని లెక్కగట్టండి.
3. 5000 kg-wt భారమున్న ఒక ఏనుగు 10 చ.మీ. వైశాల్యమున్న హైడ్రాలిక్‌పిష్ట్ పీఠంపై నిలబడి ఉంది. 0.05 m^2 వైశాల్యమున్న చిన్న పీఠంపై 25 kg-wt బాలుడు నిలబడి ఆ ఏనుగును లేపగలడా లేక సరితూగగలడా?
4. మొనదేలిన సూదిని శరీరంపై ఉంచి గుచ్చినపుడు, చర్మంపై గాయమౌతుంది. అంతే వత్తిడిని ఒక కడ్డీపై కలిగించినపుడు చర్మానికి గాయం కాదు. ఎందుచేత?
5. ఒక పెద్ద హైడ్రాలిక్ లిఫ్ట్‌లో 50 kg వస్తువును, 0.1 m^2 వైశాల్యమున్న చిన్న ముషలకంపై ఉంచారు. ఈ హైడ్రాలిక్ లిఫ్ట్ 10 m^2 వైశాల్యమున్న పెద్ద పిస్టన్ సంతులనం చేయగలిగే గరిష్ఠ భారాన్ని కనుగొనండి.

10.4 తలతన్యత

బాహ్యబల ప్రభావం లేనపుడు, ద్రవబిందువులు గోళాకారం సంతరించుకోవడం మనకు నిత్యానుభవమే. పాదరసం కొద్దిగా నేలపై ఒలికినప్పుడు అది చిన్నచిన్న గోళాకారబిందువులుగా విడిపోతుంది. కొళాయి నుండిగాని, షవర్ నుండిగాని పడే నీటి బిందువులు కూడా గోళాకారంగా ఉంటాయి. ఇవి అలా ఎందుకుంటాయో తెలుసా? చిన్నప్పుడు, సబ్బునీటితో మీరు బుడగలు ఊదే ఉంటారు. కాని సాధారణ నీటితో అలా బుడగలు ఊదలేము. ఈ అనుభావలన్నింటిని ద్రవాల లక్షణమైన 'తలతన్యత'తో వివరించ వచ్చును. దీనిని అర్థంచేసుకోవడానికి క్రింది కృత్యం చేయండి.

కృత్యం 10.1

1. సబ్బు ద్రావణాన్ని తయారు చేయండి.

2. కొద్దిగా గ్లిసరిన్ కలపండి.

3. సన్నటి, దృఢమైన గాజులేక ప్లాస్టిక్ గొట్టాన్ని తీసుకోండి.

4. కొంత సబ్బు ద్రావణం దానిలోకి వచ్చే విధంగా ఒక చివర సబ్బు ద్రావణంలో ముంచండి.

5. గొట్టంను బయటకు తీసి రెండవ చివర నుండి నోటితో గాలిని ఊదండి.

6. పెద్దవైన సబ్బు బుడగలు ఏర్పడతాయి.

7. గొట్టాన్ని విదిలించి, బుడగ గాలిలో తేలేటట్లు చేయండి.

ద్రవాల తలతన్యతను అర్థం చేసుకోవడానికి క్రితం పాఠంలో చదివిన అంతర అణుబలాల గురించి ఒకసారి గుర్తుచేసుకోండి. అణువుల, పరమాణువుల కేంద్రాల మధ్య దూరంతో అంతర అణు బలాల మార్పును కిందటి పాఠంలో చదివారు.

అంతర అణు బలాలు రెండు రకాలు, సంసంజన బలాలు మరియు అసంజన బలాలు. ఒకే పదార్థపు అణువుల మధ్య ఉండే ఆకర్షణ బలాన్ని సంసంజన (cohesive) బలం అంటారు. భిన్న పదార్థాల అణువుల మధ్య ఉండే ఆకర్షణ బలాన్ని అసంజన (adhesive) బలం అంటారు. ఈ అసంజన బలమే మనం కాగితంపై రాయడానికి ఉపకరిస్తుంది. గమ్, ఫెవికాల్ మొదలైనవి ఎక్కువ అసంజనాన్ని చూపిస్తాయి.

ఇప్పుడు మీరు, నీరు ఎందుకు గాజు పలకలను తడుపుతుందో, కాని పాదరసం అలా ఎందుకు చేయదో వివరించగలరు కదా!

కృత్యం 10.2

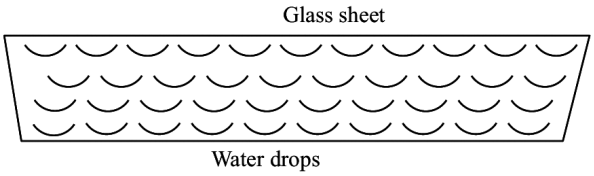
గాజు మరియు నీటి అణువుల మధ్య పనిచేసే అసంజన బలాల్ని (adhesive forces) చూపించడానికి

1. శుభ్రమైన గాజు పలకను తీసుకోండి.

2. కొన్ని నీటి బిందువులను దానిపై చల్లండి.

3. నీరున్న గాజుతలాన్ని క్రిందికి వచ్చేలా గాజు పలకను తలక్రిందులు చేయండి.

4. నీటి బిందువులను పరిశీలించండి.

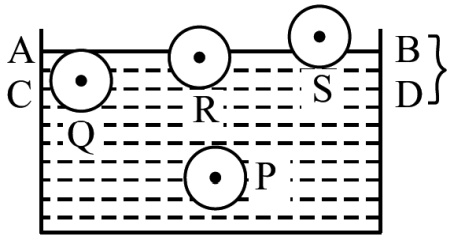


పటం 10.12 గాజు పలకకు అంటుకొని ఉన్న నీటి బిందువులు

పటం 10.12లో చూపినట్లు గాజు మరియు నీటి అణువుల మధ్య ఉండే అసంజన బలం నీటి బిందువులు గాజు పలక తలానికి అంటుకొని ఉండేలా చేస్తాయి.

10.4.1 ఉపరితల శక్తి

పాత్రలో ఉన్న ద్రవ ఉపరితలం పై ఉండే పొర మిగతా ద్రవంకన్నా భిన్నమైన ధర్మాన్ని ప్రదర్శిస్తుంది. పటం 10.13 లో ద్రవంలో వివిధ ఎత్తులలో అణువులు చూపబడ్డాయి. పూర్తిగా నీటిలో ఉన్న P అణువు తన చుట్టూ ఉండే అన్ని అణువులచే సమానంగా ఆకర్షింపబడుతుంది. కాని ఉపరితలం వద్ద ఉండే అణువుల విషయంలో అలా ఉండదు.



పటం 10.13 P,Q లపై ఫలిత బలం శూన్యం కాని R, S అణువులపై ఫలిత బలం క్రిందకు ఉంటుంది

ఉపరితలం వద్ద ఉన్న S మరియు R అణువులపై ద్రవం లోపలికి ఫలిత బలం పనిచేస్తుంది. ఎందుచేతనంటే, వాటి చుట్టూ ప్రభావగోళంలో పై నుండే అర్ధభాగంలో ఆకర్షించే అణువుకంటే లోపలి అర్ధభాగంలో ఎక్కువ అణువులు ఆకర్షించడమే. ద్రవ ఉపరితలం పై భాగం లేదా ద్రవం–గాలి సరిహద్దు వద్ద ఉండే ద్రవ అణువులపై అధో బలం పని చేస్తుంది. ఎందుకంటే వీటికి కింద ఉన్న అర్ధగోళంలోనే ఎక్కువ అణువులు ఉంటాయి. కావున ఏదైనా ద్రవం ఉపరితలం వద్దకు అణువులు రావాలంటే, ద్రవంలోనికి పనిచేసే ఫలిత బలానికి వ్యతిరేకంగా పని జరగాలి. దీని వల్ల అణువుల స్థితిజశక్తి పెరుగుతుంది. అంటే, ద్రవ ఉపరితలం అదనపు శక్తిని కలిగి ఉంటుంది. దీనినే "ఉపరితల శక్తి" (Surface energy) అంటారు.

ఏదైన ఒక వ్యవస్థ సమతా స్థితిలో ఉండాలి అంటే, దాని స్థితిజశక్తి కనిష్టంగా ఉండాలి. అందుకు ద్రవ ఉపరితల వైశాల్యం కనిష్ఠంగా ఉంటే సరిపోతుంది. ఈ కారణం వల్లనే నిశ్చల స్థితిలో ద్రవాల స్వేచ్ఛాతలం కనిష్ఠ వైశాల్యాన్ని పొందడానికి ప్రయత్నిస్తుంది. ఇది తలంలో తన్యతను ఏర్పరుస్తుంది. దీన్ని 'తలతన్యత' అంటారు.

తలతన్యత ద్రవాల ఉపరితలాలకు ఉండే ధర్మం. దీని వల్ల ద్రవం దాని ఉపరితలాన్ని తగ్గించుకొనే ఉన్ముకత (tendency) ను కలిగి ఉంటుంది. దీని ఫలితంగా ద్రవ ఉపరితలాలు ఒక సాగదీసిన పొరవలె పనిచేస్తాయి. ఒక సూదిని జాగ్రత్తగా నీటిపై ఉంచి, తేలేలా చేసి, ఈ విషయాన్ని చూడవచ్చు.

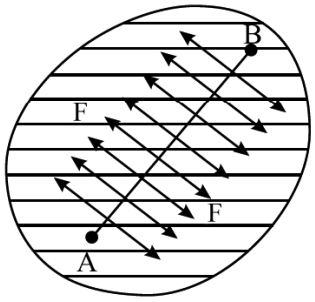
ఈ తలతన్యతా ధర్మాన్ని భౌతికంగా అర్థం చేసుకోడానికి ప్రయత్నిద్దాం. నిశ్చలంగా ఉన్న ఒకద్రవతలంపై జుఱె ఊహారేఖను గీసామనుకోండి (పటం. 10.14) రేఖకు ఇరువైపుల ఉన్న తలం వేరొకవైపు ఉన్న తలంపై లాగుడు బలాన్ని ప్రయోగిస్తుంది.

తలతన్యతను క్రిందివిధంగా నిర్వచించవచ్చును.

"ద్రవం ఉపరితలంపై ప్రమాణ పొడవుకు లంబంగా పనిచేసేబలం".

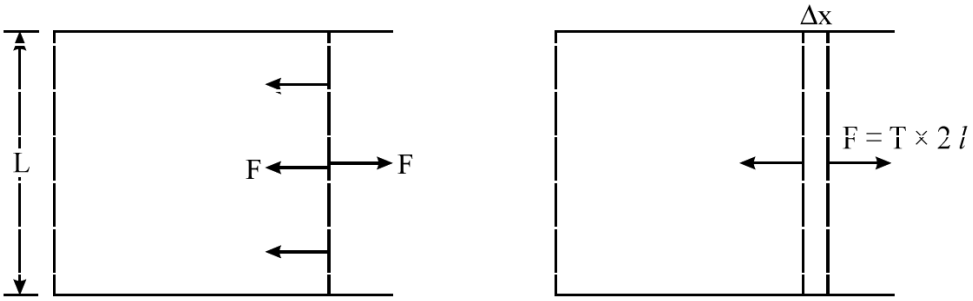
$$T = \frac{F}{L} \qquad (10.6)$$

తలతన్యత T తోను, L పొడవు గల ఊహారేఖకు లంబ దిశలో పనిచేసే మొత్తం బలం F తోను సూచించబడ్డాయి (పటం 9.14). తల తన్యతకు ప్రమాణాలు Nm^{-1}, మితులు $[MT^{-2}]$.



పటం 10.14 ద్రవతలంపై తలతన్యతా దిశ

పటం 10.15 లో చూపినట్లు ఒక దీర్ఘ చతురస్రాకారపు చట్రాన్ని తీసుకొని దానిపై, జారడానికి అనువుగా ఉండేటట్లు ఒక తీగను అమర్చండి. ఈ చట్రాన్ని సబ్బు నీటిలో ముంచి వెలుపలికి తీసిన అందులో రెండు తలాలతో కూడిన సబ్బుపొర ఏర్పడుతుంది. సబ్బుపొర రెండుతలాలు జారుడు తీగకు స్పృశించుకొని ఉంటాయి. ఈ రెండు పొరలవల్ల తీగపై తల తన్యత పనిచేస్తుందని చెప్పవచ్చు.



పటం 10.15 సమతాస్థితిలోని పొర

సబ్బునీటి తలతన్యత T, తీగపొడవు L అయిన, తీగపై ఒకపొర వల్ల పనిచేసే బలం $T \times L$. కావున రెండుపొరల వల్ల (పై పొర, అడుగు పొర) తీగపై పనిచేసే బలం = 2TL.

పొర ఉపరితలం Δx క్షీణించిందని అనుకుందాం. జారుడు తీగను సమతాస్థితిలో ఉంచడానికి దానిపై స్థిరమైన బాహ్యబలం ను ప్రయోగించాల్సి ఉంటుంది.

త్వరణం లేకుండా స్థిరవడితో రెండు పొరలను ఓ బలంతో దూరం కదిపిన (పటం 10.15(b)) సబ్బు నీటిపొరపై జరిగిన పని

$$W = F \times \Delta x = 2LT \times \Delta x$$

$$W = T\ 2\ (L \times \Delta x)$$

$2(L \times \Delta x)$ అనేది రెండు సబ్బుపొరల వైశాల్యంలో మొత్తం పెరుగుదల దీనిని A తో సూచించిన, సబ్బు పొరపై జరిగిన పనికి సమీకరణం

$$W = T \times A$$

బాహ్య బలం వల్ల జరిగిన ఈ పని కొత్తగా (అదనంగా) ఏర్పడిన పొర ఉపరితలంపై స్థితిజశక్తిగా నిల్వఉంటుంది. ఈ శక్తినే 'ఉపరితల శక్తి' అంటారు. పై సమీకరణం నుండి, తలతన్యతకు సమీకరణాన్ని క్రింది విధంగా రాయవచ్చును.

$$T = \frac{W}{A} \qquad (10.7)$$

కాబట్టి 'ఒక ద్రవపు స్వేచ్ఛా తల వైశాల్యాన్ని ఒక ప్రమాణం పెంచుటకు చేయవలసిన పనిని, ఆ ద్రవపు తలతన్యత' అని కూడ నిర్వచించవచ్చును. తలతన్యత, ప్రమాణ వైశాల్యములోని ద్రవపు ఉపరితల శక్తికి సమానం అని కూడా చెప్పవచ్చు.

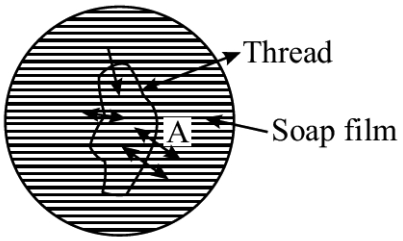
తలతన్యతకు సంబంధించి క్రింది అంశాలను నిర్ధారించవచ్చును.

- ద్రవ ఉపరితల ధర్మము లేదా ద్రవము మరియు గాలి వంటి వేరు వేరు పదార్థాల ఉమ్మడితల ధర్మము.
- ద్రవపు స్వేచ్ఛాతల వైశాల్యాన్ని తగ్గించడానికి ప్రయత్నిస్తుంది.
- ద్రవపు స్వేచ్ఛాతలంపై, స్పర్శీయంగా ఉండే ఏదైనా రేఖకు లంబంగా పనిచేస్తుంది.
- అంతరణు బలాల వల్ల కలుగుతుంది. ఈ బలాలు ఉష్ణోగ్రతపై ఆధారపడతాయి.
- ఉష్ణోగ్రత పెరిగే కొద్ది తగ్గుతుంది.

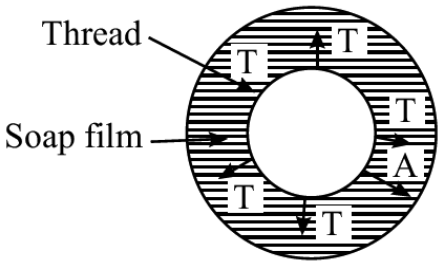
క్రింద వివరింపబడ్డ సరళమైన ప్రయోగం, ద్రవ తలాల తలతన్యతా ధర్మాన్ని అర్థం చేసుకొనడానికి ఉపయోగపడుతుంది.

కృత్యం 10.3

సన్నటి తీగలో చేయబడ్డ వృత్తాకారపు పలుచటి చట్రాన్ని తీసుకొని, సబ్బునీటిలో ముంచి తీయండి. చట్రంలో ఒక సబ్బుపొర ఏర్పడుతుంది. ఈ సబ్బు పొరపై దారంతో చేసిన ఒక చిన్న ఉచ్చు (loop) ను జాగ్రత్తగా జారవిడవండి. క్రమాకారం లేకుండా ఉచ్చు, పొరకు అతుక్కుంటుంది. పటం 10.16(a) ఒక సూదితో ఉచ్చులోని సబ్బు పొరను గుచ్చండి ఇప్పుడు ఏం జరుగుతుందో గమనించండి.



1.016(a) సబ్బు పొరకు అతుక్కున్న దారపు ఉచ్చు



పటం1.016(b)లోపల సబ్బు పొర లేని ఉచ్చు ఆకారం

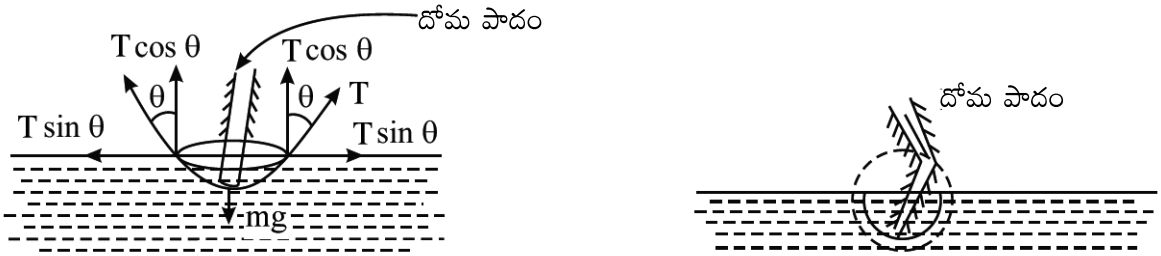
పటం 10.16(a)లో చూపినట్లు దారపు ఉచ్చు వృత్తాకారాన్ని సంతరించుకుంటుంది. మొదట దారపు ఉచ్చు, లోపల, వెలుపల గల సబ్బుపొరలు సమాన బలాన్ని కలిగించడం వల్ల (వెలుపలికి, లోపలికి) దాని ఆకారంలో మార్పు ఉండదు. ఎప్పుడైతే లోపలిపొర ఛేదించబడిందో అప్పుడు, దారంపై వెలుపలవైపు ఉన్న సబ్బుపొర తన్యతా బలాన్ని అన్ని వైపులా సమానంగా కలిగించడం వల్ల, ఉచ్చు వృత్తాకారాన్ని సంతరించుకుని కనిష్ఠ వైశాల్యాన్ని పొందుతుంది.

10.4.2 తలతన్యత అనువర్తనాలు

(A) నీటిపై వాలిన దోమలు

వర్షాకాలంలో ఎక్కువగా వ్యాపించే డెంగ్యూ, మలేరియా మరియు చికన్‌గున్యా వంటి వ్యాధులకు కారణమయ్యే దోమల లార్వా, గ్రుడ్లు శుభ్రమైన నిల్వ ఉన్న నీటిలో తేలడం మీరు గమనించే ఉంటారు.అలాగే దోమలు

కూడా నీటిపై వాలి ఉండడం ఎప్పుడైనా గమనించారా? తలతన్యత వల్ల అవి నీటిలో మునిగిపోవు. నీటితలంపై ఉన్న దోమ పాదాల క్రింద ఉన్న భాగం దోమ భారానికి పుటాకార ఆకారం పొందుతుంది. ఈ వక్ర ఉపరితలంపై పనిచేసే స్పర్శరేఖా దిశలోని తల తన్యతా బలం యొక్క లంబ అంశం ఊర్ధ్వదిశలో ఉంటుంది. పటం (10.17) ఈ ఊర్ధ్వబల అంశం, దోమ పాదాల పొడవు వెంబడి పనిచేసి, లంబంగా క్రిందికి పనిచేసే దోమ భారాన్ని తులనం చేస్తుంది. అందువల్ల నీటిపై దోమ కూర్చొన గలుగుతుంది.



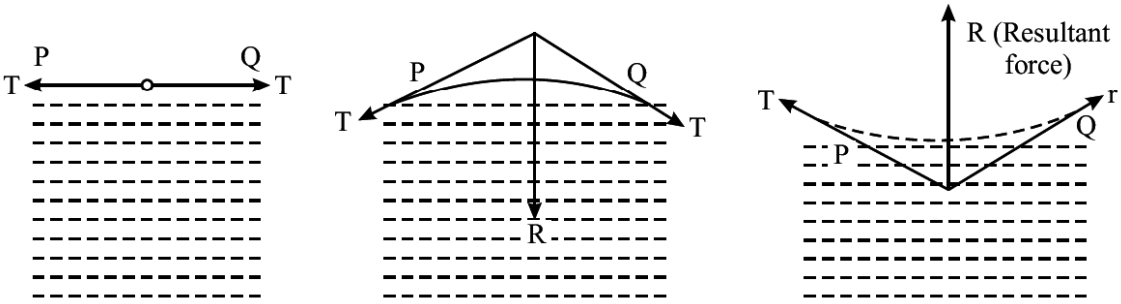
(a) దోమ పాదం క్రింద ఏర్పడే గుంట వల్ల ద్రవతలం నెలవంక ఆకారాన్ని ఏర్పరచుకుంటుంది.

(b) ఆవర్ధనం చేయబడిన ప్రతిబింబం

పటం 10.17 దోమభారాన్ని, తలతన్యతాబల అంశం $2\pi r\, T\cos\theta$ తులనం చేస్తుంది

(B) గోళకార వక్రతలపు పుటాకార తలంపై అధిక పీడనం

పటం 10.18(a)లో చూపిన విధంగా ద్రవ ఉపరితలంపై చిన్న ఉపరితల అంశంను ఊహించండి. ఆ అంశంపై PQ ప్రమాణ పొడవుగల రేఖను భావించండి. ఉపరితలం సమాంతరంగా ఉన్నచో $\theta = 90°$, అంశానికి రెండు వైపులా ఉన్న తలతన్యతా బలం తులనం అవుతుంది. అంటే తలంపై ఫలితబలం శూన్యము. ద్రవతలం పటం 10.18(b)లో చూపినట్లు కుంభాకారంగాగాని, పటం 10.18(c) లో చూపినట్లు పూటాకారంగాగాని ఉంటే, తలతన్యత వల్ల రేఖ PQ పై రెండు వైపులా పనిచేసే ఫలితబలం R ఆ వక్రతలం వక్రతా కేంద్రంవైపు ఉంటుంది.

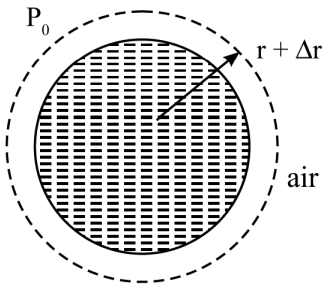


(a) సమతల ఉపరితలం (b) కుంభాకార ఉపరితలం (c) పుటాకార ఉపరితలం

పటం 10.18

Thus, whenever the surface is curved, the surface tension gives rise to a pressure directed towards the center of curvature of the surface. This pressure is balanced by an equal and opposite pressure acting on the surface. Therefore, there is always an excess pressure on the concave side of the curved liquid surface.

(i) గోళాకార బిందువు : ఒక ద్రవ బిందువుకు ఒకే ఉపరితలం ఉంటుంది (గాలితో తాకునట్లు ఉన్న ద్రవతలాన్ని ద్రవ ఉపరితలం అంటారు) r వ్యాసార్ధం ఉన్న ఒక చిన్నని ద్రవ బిందువులో అధిక పీడనం P (ద్రవ బిందువు లోపలివైపు తలం పుటాకారంగాను, వెలుపలివైపు కుంభాకారంగాను ఉంటుంది). అయిన



పటం 9.19(a) గోళాకార బిందువు

$$P = (P_i - P_0)$$

P_i మరియు P_0 లు వరుసగా ద్రవ బిందువు లోపల, వెలుపలి పీడనాలు (పటం 10.19(a))

గోళ వ్యాసార్ధం, స్థిర అదనపు పీడనం P వల్ల Δr పెరిగిన, గోళాకార బిందువు ఉపరితల వైశాల్యంలో పెరుగుదల

$$\Delta A = 4\pi\ (r + \Delta r)^2 - 4\pi r^2 = 8\ \pi r\ \Delta r$$

పై సమాసంలో Δr యొక్క రెండవ ఘాతాన్ని విస్మరించాం. (దీని విలువ చాలా అల్పం)

ద్రవ బిందు వైశాల్యం పెరగడానికి బిందువుపై జరిపిన పని

$$W = \text{అదనపు ఉపరితల శక్తి} = T\Delta A = T\ (8\ \pi r\ \Delta r) \qquad (10.8)$$

ద్రవ బిందువు సమతాస్థితిలో ఉంటే, ఈ అదనపు ఉపరితల శక్తి, అదనపు పీడనం (excess pressure) P లేదా పీడన భేదం జరిపిన పనికి సమానం.

$$\text{జరిగిన పని} = P\Delta V = P\ (4\pi r^2\ \Delta r) \qquad (10.9)$$

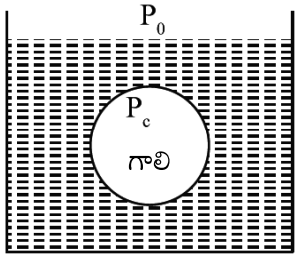
సమీకరణాలు (10.7) మరియు (10.8) ల నుండి

$$P\ 4\pi r^2\ \Delta r = T\ 8\ \pi r\ \Delta r$$

లేదా
$$P = \frac{2T}{r} \qquad (10.10)$$

(ii) నీటిలోని గాలి బుడగలు : నీటిలోని గాలి బుడగకు కూడా ఒకే తలం, లోపలి తలం ఉంటుంది. (పటం 10.19 (b)) కాబట్టి గాలి బుడగలోపలి అదనపు పీడనం P, తలతన్యత T, బుడగ వ్యాసార్ధం r అయిన

$$P = \frac{2T}{r} \qquad (10.11)$$



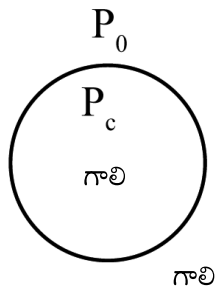
పటం 10.19(b) గాలిబుడగ వ్యాసార్ధం

(iii) గాలిలో తేలే సబ్బు బుడగ : సబ్బు బుడగకు రెండు సమాన ఉపరితల వైశాల్యాలు గల తలాలు ఉంటాయి. పటం 10.19 (c)లో చూపినట్లు ఒకటి వెలుపల మరొకటి లోపల, కావున గాలిలో తేలే సబ్బు బుడగలో అధిక పీడనం

$$P = \frac{4T}{r} \qquad (10.12)$$

T సబ్బు నీటి తలతన్యత.

ఇది, అంతే వ్యాసార్ధం ఉన్న గోళాకార బిందువులో లేదా నీటిలో ఉన్న గాలి బుడగలో కంటె రెండు రెట్లు ఉంటుంది. దీన్ని బట్టి సబ్బు బుడగను ఏర్పరచడానికి ఎందుకు కొంత అదనపు పీడనం అవసరమో మీకు అర్థం అయ్యే ఉంటుంది.



పటం 10.19(c) : గాలిలో తేలే సబ్బు బుడగ

ఉదాహరణ 10.2

కింది సందర్భాల్లో లోపల, వెలుపల ఉండే పీడన భేదాన్ని లెక్కించండి. (i) గాలిలోని సబ్బు నీటి బుడగ (ii) నీటిలోని గాలి బుడగ, (iii) గోళాకార నీటి బిందువు, వీటి వ్యాసార్ధాలు 1 మి.మీ, నీటి తలతన్యత = $7.2 \times 10^{-2}\ Nm^{-1}$ మరియు సబ్బు నీటి తలతన్యత = $2.5 \times 10^{-2}\ Nm^{-1}$.

సాధన :

(i) r వ్యాసార్ధమున్న సబ్బునీటి బుడగలో అదనపు పీడనం $P = \frac{4T}{r}$

$$P = \frac{4 \times 2.5 \times 10^{-2}\ Nm^{-1}}{1 \times 10^{-3}\ m} = 100\ Nm^{-2}$$

(ii) నీటిలోని గాలి బుడగలో అదనపు పీడనం $P = \frac{2T'}{r}$

$$= \frac{2 \times 7.2 \times 10^{-2}\ Nm^{-1}}{1 \times 10^{-3}\ m} = 144\ Nm^{-2}$$

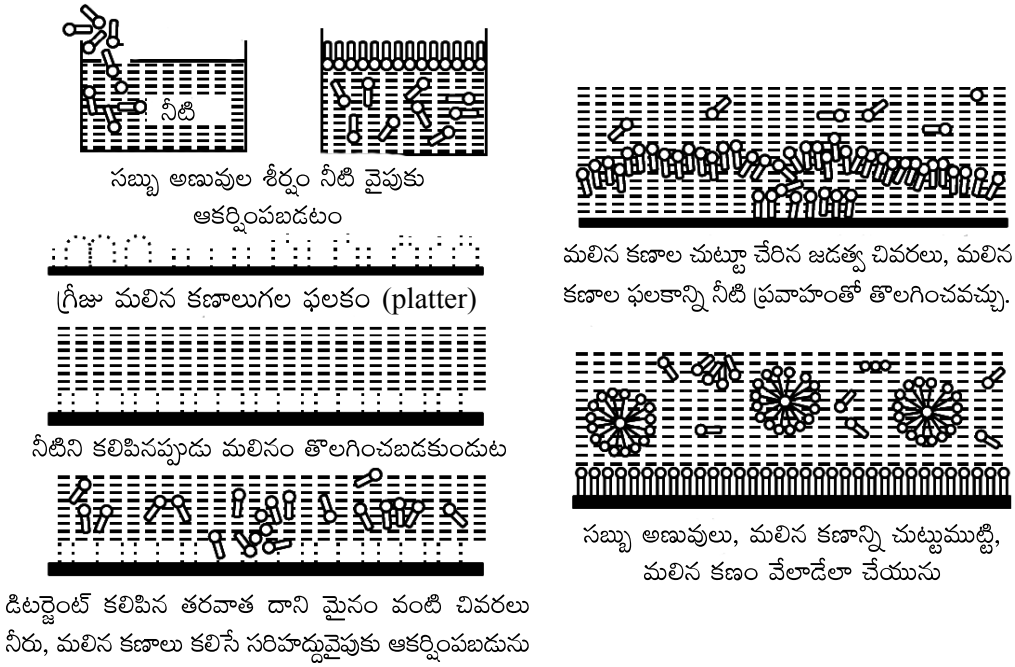
(iii) నీటి బిందువులో అదనపు పీడనం $P = \frac{2T'}{r}$

$$= \frac{2 \times 7.2 \times 10^{-2}\ Nm^{-1}}{1 \times 10^{-3}\ m} = 144\ Nm^{-2}$$

(C) డెటర్జంట్స్ (Detergents) - తలతన్యత

డెటర్జంట్స్ బట్టలపై నూనె మరకలను తొలగించే రకరకాల ప్రకటనలు మీరు చూసే ఉంటారు. వీటిని మలినాలు తొలగించే కారకంగా ఉపయోగిస్తారు. సబ్బులు, డెటెర్జంట్‌లు నీటి తలతన్యతను తగ్గిస్తాయి. హెచ్చు తలతన్యత గల శుభ్రమైన నీరు బట్టల పోగుల మధ్యలోకి పోయి మురికి కణాలను తొలగించలేదు. కాబట్టి డెటర్జంట్స్ కలిపిన నీరు, తగ్గిన తలతన్యత వల్ల సులభంగా బట్టల పోగుల మధ్య నుండి వెళ్ళి నూనె, ధూళి వంటి కణాలను తొలగిస్తుంది.

పరిశుభ్రమైన నీటి కంటె సబ్బు నీటికి తలతన్యత తక్కువ అనే విషయం మీకు తెలుసు. సబ్బు నీటికంటె డెటర్జంట్స్ కలిపిన నీటికి తలతన్యత ఇంకా తక్కువ. కాబట్టి సబ్బుల కంటే డెటర్జెంట్స్ మురికిని తొలగించడంలో ఎక్కువగా ఫలితాన్నిస్తాయి. నీటిలో కరిగిన డెటర్జంట్, బట్టల పోగులకు అంటుకొని ఉన్న మురికి కణాల పట్టును సడలిస్తుంది. కాబట్టి బట్టను పిండడం (squeezing) ద్వారా మురికిని సులభంగా వదలగొట్టవచ్చు.



పటం 10.20 డెటర్జంట్స్ పనిచేయు విధానం

డెటర్జంట్స్ కలిపినపుడు వాటి అణువులు నీరు మరియు నూనె కణాలను ఆకర్షించడంవల్ల, నీరు–నూనెల తలతన్యత (T) చాలా తగ్గును. అంతేకాక గోళాకార మలిన కణాల చుట్టూ డిటర్జంట్ దానిపై నీరు గల అంతర తలాలు ఏర్పడడానికి కూడా అనుకూలిస్తుంది. తలంపై చురుకుగా పనిచేసే డిటర్జంట్స్ వాడే ప్రక్రియ బట్టలను శుభ్రపరచడానికే కాక నూనెలు, ఖనిజాలు సంగ్రహించడానికి ఉపయోగపడుతుంది.

(D) నీటిపై తేలే మైనపు బాతు : ద్రవాల్లో కరిగే మలినాల వల్ల వాటి తలతన్యత తగ్గునని మనకు తెలుసు. మైనపు బాతు బొమ్మ అడుగున ఒక కర్పూరపు బిళ్ళను అతికించి నిశ్చలమైన నీటిలో తేలేటట్లు వదిలితే అది ఒకటి రెండు నిమిషాల తరవాత నీటిపై అటు ఇటు కదులుతుంది. బొమ్మ అడుగున ఉన్న కర్పూరం నీటిలో కరగడంవల్ల బొమ్మ కింది నీటి తలతన్యత తగ్గుతుంది. ఈ కారణంగా బాతు బొమ్మ అడుగు భాగాన ఉన్న నీటి కన్నా దాని చుట్టూ ఉన్న నీటికి తలతన్యత ఎక్కువగా ఉంటుంది. ఇది మొత్తం తలతన్యత బలంలో తేడాను కలగచేసి బొమ్మను కదిలిస్తుంది.

ఇంతవరకు నేర్చుకున్న అంశాలపై మీ అవగాహనను అంచనా వేయడానికి కింది ప్రశ్నలకు సమాధానాలు ఇవ్వండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 10.2

1. సంసంజన బలానికి, అసంజన బలానికి ఉన్న భేదమేమి?

2. చిన్న ద్రవ బిందువులు ఎందువల్ల గోళాకారాన్ని సంతరించుకుంటాయి?

3. ఘన పదార్థాలు తలతన్యతను చూపుతాయా? ఎందువల్ల?

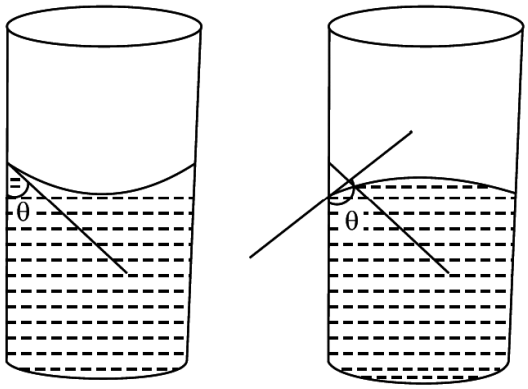
4. ఒక సమతలంపై వలికిన పాదరసాన్ని దగ్గరగా చేర్చినపుడు గుండ్రని బిందువుగా ఎందుకు మారుతుంది?

5. కింది వాటిలో ఎందులో అధిక పీడనం ఎక్కువ? (i) 2 సెం.మీ వ్యాసార్ధమున్న నీటిలోని గాలి బుడగ, నీటి తలతన్యత 727×10^{-3} Nm^{-1} లేదా (ii) 4 సెం.మీ. వ్యాసార్ధమున్న గాలిలోని సబ్బు బుడగ సబ్బునీటి తలతన్యత 25×10^{-3} Nm^{-1}.

10.5 స్పర్శా కోణం

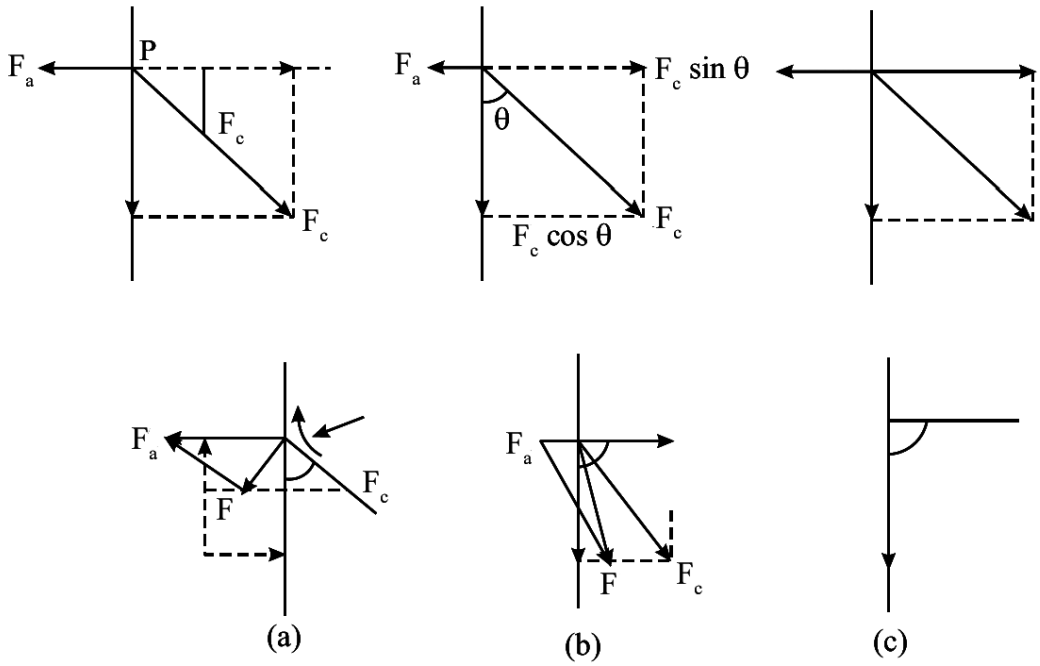
ఏదైనా పాత్రలోని ద్రవపు స్వేచ్ఛా ఉపరితలం వక్రంగా ఉంటుందని గమనించి ఉంటారు. ఉదాహరణకు గాజు జాడిలో పోసిన నీటి ఉపరితలం పుటాకారంగా, అదే మైనం పూత ఉన్న పాత్రలో పోసిన నీటి ఉపరితలం కుంభాకారంగా ఉంటుంది. అదే విధంగా గాజు జాడిలో పోసిన పాదరసం ఉపరితలం కుంభాకారంగా ఉంటుంది. కాబట్టి పాత్రలోని ద్రవపు స్వేచ్ఛాతలం (ఉపరితలం) ఆకారం ద్రవ స్వభావం పైన, పాత్ర తయారైన పదార్థంపైన మరియు ద్రవ తలంపై ఉన్న యానకంపైన ఆధారపడుతుంది. దీన్ని వివరించే లక్ష్యంతో స్పర్శాకోణం భావన ప్రవేశపెడుతున్నాం.

ద్రవతలం పాత్ర గోడలను తాకే బిందువు వద్ద ద్రవతలానికి గీసిన స్పర్శరేఖకు, పాత్ర గోడకు గీసిన స్పర్శా తలంకు ద్రవంలో గల కోణాన్ని స్పర్శ కోణం అంటారు. పటం 10.21లో గాజు జాడీ మరియు పారఫిన్ జాడీలలో నీటికి స్పర్శాకోణాలను చూపించారు. పుటాకార మినిస్కస్‌కు స్పర్శాకోణం లఘుకోణం ఉదా: నీరు–గాజుకు, కుంభాకార మినిస్కస్‌కు గురుకోణం (90^0 కన్నా ఎక్కువ). ఉదాహరణకు, పారఫిన్‌లో నీరు లేదా గ్లాస్ గొట్టంలో పాదరసం.



పటం 10.21(a) గాజు జాడి (b) మైనపు జాడిల్లో నిటిని నింపినప్పుడు నీటి స్వేచ్ఛాతలం స్వభావం

పాత్రలోని ద్రవ ఉపరితలంపై పాత్ర మినిస్కస్ సరిహద్దు వద్ద ఉన్న అణువుపై అనేక రకాల బలాలు పనిచేస్తాయి. ద్రవం కింది భాగంలో మాత్రమే ఉంది కనుక P అణువు మీద ఫలిత సంసంజన బలం F_c పటం 10.22(a)లో చూపిన విధంగా సౌష్ఠవంగా పనిచేస్తుంది. అలాగే సౌష్టవత వల్ల ఫలిత అసంజన బలం పాత్ర గోడకు లంబంగా వెలుపలివైపుకు పనిచేస్తుంది. బలం F_c ను రెండు పరస్పర లంబ అంశాలు, లంబంగా కిందివైపుకు పనిచేసే $F_c \cos\theta$ గా, సరిహద్దుకు లంబంగా పనిచేసే $F_c \sin\theta$ గా విభజించవచ్చు. F_c మరియు F_a ల సాపేక్ష విలువల మీద స్పర్శాకోణం విలువ ఆధారపడుతుంది.



పటం 10.22 ద్రవ ఉపరితల వివిధ ఆకారాలు

సందర్భం (i) : $F_a > F_c \sin\theta$ అయితే, నికర క్షితిజ సమాంతర బలం బయటివైపుకి $(F_a - F_c \sin\theta)$ మరియు $F_c \cos\theta$ ల ఫలితబలం గోడబయట ఉంటుంది. ద్రవాలు స్థిర విరూపణను కలిగి ఉండవు. కనుక ద్రవ ఉపరితలం మరియు సరిహద్దు సమీపంలో ఉన్న అన్ని అణువులు F యొక్క అంశమేదీ ద్రవ తలంకు లంబంగా పనిచేయకుండా ఉండేలా F_c కు లంబంగా సర్దుకుంటాయి. సరిహద్దు వద్ద అలాంటి తలం పుటాకారంగా ఉంటుంది. (వృత్తావ్యాసార్ధం, వృత్త పరిధిలోని ప్రతి బిందువుకు లంబంగా ఉంటుంది). నీటితో నింపిన గాజుగొట్టం విషయంలో ఇది నిజమవుతుంది.

సందర్భం (ii) : $F_a < F_c \sin\theta$ అయితే, క్షితిజ సమాంతరంగా పని చేస్తున్న $(F_c \sin\theta - F_a)$ మరియు నిలువుగా కిందివైపుకి పని చేస్తున్న $F_c \cos\theta$ ల ఫలితబలం F, ద్రవం కిందిభాగంలోకి పనిచేస్తుంది. సరిహద్దు వద్ద ద్రవం కింది భాగంలోకి పనిచేస్తుంది. సరిహద్దు వద్ద ద్రవం ఉపరితలం ఫలిత బలానికి లంబంగా దానికదే సర్దుబాటు చేసుకొని, కుంభాకారంగా మారుతుంది. పాదరసంతో నింపిన గాజుగొట్టం విషయంలో ఇది నిజమవుతుంది.

సందర్భం (iii) : $F_a = F_c \sin\theta$ అయిన, ఫలిత బలం F నిలువుగా కిందకి పనిచేస్తుంది. అందువల్ల ద్రవ ఉపరితలం పాత్ర గోడ సరిహద్దు వద్ద క్షితిజ సమాంతరంగా లేదా సమతలంగా ఉంటుంది.

10.6 కేశనాళీయత

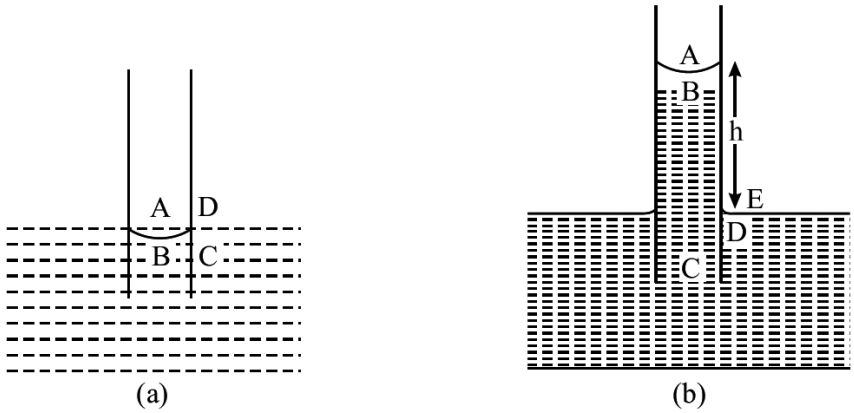
మీరు నోట్ పుస్తకంలో పడ్డ ఇంకును పీల్చడానికి అద్దుడు కాగితాన్ని (blotting paper) వాడే ఉంటారు. అద్దుడు కాగితంలోని ఖాళీల్లోకి ఇంకు ఎగబాకడం వల్ల ఇలా జరుగుతుంది. ఏదైనా బట్టకు ఒక చివర అయిన నీటి తడి బట్ట పై మెల్లగా వ్యాపించడం కూడా ఇటువంటిదే. పొలాలకు పెట్టిన నీరు మొక్కలు, చెట్లకు ఉండే వేళ్ళలోని అనేకానేక కేశనాళికల ద్వారా పైకి ఎగబాకి కొమ్మలకు, ఆకులకు చేరుతుంది. రైతులు వర్షాలు పడ్డ తరవాత భూమిని దున్నడంలో

కారణం, భూమిలో ఏర్పడ్డ కేశనాళికలు ధ్వంసం చేయడానికే. అందువల్ల భూమిలో ఇంకిన నీరు మొక్కలు పీల్చుకోగలుగుతాయి. మరోవైపు కేశనాళికను పాదరసం ఉన్న పాత్రలో ముంచినప్పుడు పాత్రలోని పాదరస మట్టాని కంటె గొట్టంలో పాదరసం తక్కువ ఎత్తులో ఉంటుంది. ఈ విధంగా తక్కువ మధ్యచ్ఛేదం (కేశనాళిక) ఉన్న తెరచిన గొట్టంలో ద్రవం ఎగబాకటం లేదా దిగజారడానికి ప్రధాన కారణం ద్రవాలకు ఉండే తలతన్యతా ధర్మం. దీనినే కేశిక చర్య (capillary action) అంటారు.

కేశనాళికలో ద్రవం ఎగబాకటం (ఆరోహణం) లేదా దిగజారడాన్ని (అవరోహణం) కేశనాళీయత లేదా కేశిక చర్య అంటారు.

10.6.1 కేశనాళికలో ద్రవం ఆరోహణ చెందడం

నీరు లాంటి ద్రవం ఉన్న పాత్రలో ఒక కేశనాళికను ఉంచండి. నాళికలో నీటి తలం పుటాకారంగా పటం 10.23 (a)లో చూపినట్లు ఉంటుంది. దీనికి ప్రధాన కారణం గాజుకు, నీటికి మధ్య గల అసంజన బలం, సంసంజన బలానికన్నా అధికం కావడమే.



పటం 10.23 కేశనాళీయత

10.23(a) లో చూపినట్లు A, B, C, D ఈ నాలుగు బిందువులను నీరు గాలి అంతర ఫలకం వద్ద ఉన్నాయనుకోండి. నాళంలోని మినిస్కస్ కింది పీడనం కంటె మినిస్కస్ పైన పీడనం $\frac{2T}{R}$, రెట్లు ఎక్కువగా ఉంటుంది.

$$P_B = P_A - \frac{2T}{R} \qquad (10.13)$$

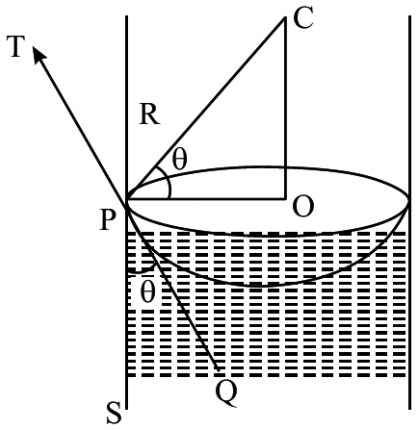
ద్రవం-గాలి సరిహద్దు వద్ద ద్రవపు తలతన్యత T, పుటాకార తల వ్యాసార్ధం R. A వద్ద పీడనం, ఈ వద్ద పీడనానికి సమానం. ఇది వాతావరణ పీడనానికి (P) సమానం. D వద్ద పీడనం, C వద్ద పీడనానికి సమానం కావున B వద్ద పీడనం D వద్ద పీడనానికన్నా తక్కువ. ఒకే మట్టంలోని అన్ని బిందువుల వద్ద పీడనం సమానంగా ఉండాలి అని మనకు తెలుసు. అందువల్లనే వెలుపలి నుండి ద్రవం లోపలివైపుకు ప్రవహించి ఔ వద్ద తక్కువగా ఉన్న పీడనాన్ని సరిచేస్తుంది.

ఈ విధంగా నాళికలో కొంత ఎత్తు h వరకు ద్రవం ఆరోహణం చెందుతుంది (పటం 10.23 (b)) ఈ ద్రవ స్తంభం (column) కలిగించే పీడనం $\frac{2T}{R}$ కు సమానమయ్యే వరకు ద్రవమట్టం పెరుగుతుంది. తరవాత పెరగటం ఆగిపోతుంది. ఈ స్థితిలో

$$h\rho g = \frac{2T}{R} \qquad (10.14)$$

ఇక్కడ ρ ద్రవ సాంద్రత, g గురుత్వ త్వరణం.

r కేశనాళిక వ్యాసార్ధం, θ స్పర్శాకోణం అయిన పటం 10.24 నుండి కింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.



పటం 10.24 స్పర్శాకోణం

$$R = \frac{r}{\cos\theta}$$

R విలువను సమీకరణం 10.13లో ప్రతిక్షేపించిన

$$h\rho g = \frac{2T}{r/\cos\theta}$$

$$h = \frac{2T\cos\theta}{r\rho g} \qquad (10.15)$$

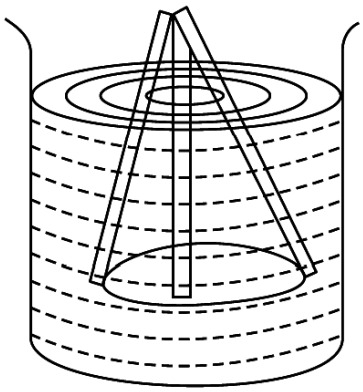
పై సమీకరణాన్ని బట్టి, నాళిక ఎంత సన్నగా ఉంటే ద్రవం అంత ఎక్కువ ఎత్తుకు ఆరోహణ చెందుతుందని చెప్పవచ్చు.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 10.3

1. స్పర్శా కోణం ద్రవ తలతన్యతపై ఆధారపడి ఉంటుందా?
2. ఘన పదార్థానికి, ద్రవానికి స్పర్శాకోణం 90° కన్నా తక్కువ. ఆ ద్రవం ఘన పదార్థాన్ని తడి చేస్తుందా? కేశనాళికను ఆ ఘనపదార్థంతో చేసి, ఆ ద్రవంలో ముంచినప్పుడు నాళికలో ద్రవం ఆరోహణ చెందుతుందా? లేదా అవరోహణ చెందుతుందా?
3. థర్మామీటరులోని కేశనాళికలోకి పాదరసాన్ని నాళికను పాదరసంలో ముంచడం ద్వారా ఎక్కించడం చాలా కష్టం. ఎందువల్ల?
4. కేశనాళికలో 3 సెం.మీ ఎత్తుకు నీరు ఆరోహణ చెందాలంటే దాని వ్యాసార్ధం ఎంత ఉండాలో లెక్కించండి. నీటి తలతన్యత 7.2×10^{-2} Nm^{-1}, సాంద్రత 1000 kg m^{-3}, స్పర్శాకోణం సున్న, $g = 10\ ms^{-2}$.
5. లాంతరులోని వత్తిలో కిరోసిన్ ఏవిధంగా ఎగబాకుతుంది?

9.7 స్నిగ్ధత

ఒక పాత్రలోని ద్రవాన్ని, గాజు కడ్డీతో తిప్పిన, పాత్ర గోడల వద్ద ఉన్న ద్రవచలనం మధ్యలో ఉన్న ద్రవచలనం ఒకే విధంగా ఉండదని గమనించవచ్చు (పటం 10.25) సర్వసమానమైన రెండు గొట్టాల ద్వారా గ్లిజరిన్ మరియు నీరుల ప్రవాహాన్ని పరిశీలించండి. నీరు త్వరగా ప్రవహిస్తే, గ్లిజరిన్ నెమ్మదిగా ప్రవహిస్తుంది. అదే విధంగా ఈ ద్రవాల్లోకి ఒక స్టీలు బంతిని పడవేస్తే అది నీటిలో వేగంగా దిగుతూ, గ్లిజరిన్ ద్రవంలో నెమ్మదిగా కిందికి దిగడం గమనించవచ్చు. పై పరిశీలన ద్వారా ద్రవాల ఒక అభిలక్షణం దాని చలనాన్ని నిర్దేశిస్తుందని తెలుస్తుంది. దీనిని స్నిగ్ధత అంటారు. దీనిని గురించి తెలుసుకుందాం.

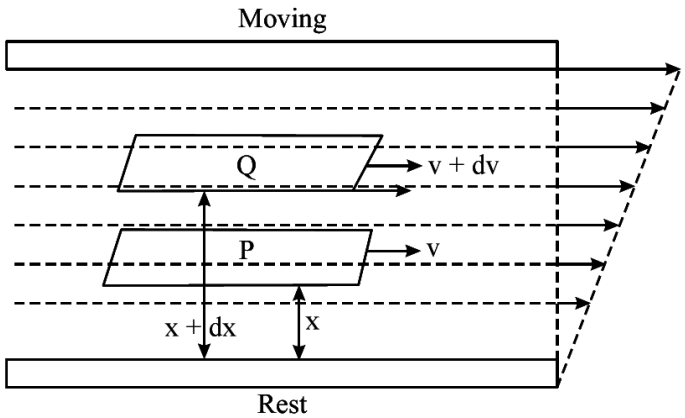


పటం 10.25 గాజు కడ్డీతో తిప్పబడుతున్న నీరు

ఒక వస్తువు మరొక వస్తువుపై జారినప్పుడు, వాటి మధ్య ఘర్షణ బలం పనిచేస్తుంది. అదే విధంగా ఒక ద్రవం ప్రవహిస్తున్నప్పుడు దానిలోని ఆసన్న పొరలు పరస్పరం స్పర్శీయ బలాన్ని కలిగించుకొంటాయి. ఇది లాగుడు బలంగా పనిచేస్తూ పొరల మధ్య సాపేక్ష చలనాన్ని నిరోధిస్తుంది.

ప్రవాహులలోని సమీప పొరల్లో సాపేక్ష చలనాన్ని నిరోధించే ఈ ప్రవాహి ధర్మాన్ని స్నిగ్ధత అంటారు.

పటం 10.26 లో గొట్టంలో ప్రవహించే ఒక ద్రవాన్ని చూపడం జరిగింది. గొట్టం గోడలను స్పృశిస్తు ఉన్న ద్రవ పొరలకు, ఘన పదార్థ గోడలకు ద్రవానికి మధ్య పనిచేసే ఘర్షణ బలం వల్ల ద్రవ పొర దాదాపు నిశ్చలస్థితిలో ఉంటుందను కోండి. ఇతర ద్రవ పొరలు వివిధ వేగాలతో చలనంలో ఉంటాయి. తలం నుండి x దూరంలోని పొర v వేగంతోనూ, x + dx దూరంలోని పొర v + dv వేగంతోనూ చలిస్తున్నాయని అనుకొంటే, లంబంగా dx దూరం ప్రయాణించిన, దాని వేగంలో మార్పు dv. $\frac{dv}{dx}$ ను వేగ ప్రవణత (velocity gradient) అంటారు.



పటం 10.26 గొట్టంలో ద్రవ ప్రవాహం వివిధ పొరలు వేరు వేరు వేగాలతో ప్రవహిచడం

ప్రవాహి రెండు పొరల మధ్య పనిచేసే స్నిగ్ధతా బలం F.

వీటిని కలిపి ఈ కింది విధంగా రాయవచ్చు.

(i) స్పర్శలో ఉన్న పొరల ఉమ్మడి వైశాల్యం (A) కు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

$$F \propto A$$

ii. ప్రవాహి లంబదిశలో ఉన్న వేగ ప్రవణత $\frac{dv}{dx}$ కు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

$$F \alpha \frac{dv}{dx}$$

On combining these, we can write

$$F \alpha A \frac{dv}{dx}$$

లేదా $$F = -\eta A \frac{dv}{dx} \qquad (10.16)$$

ఇక్కడ η అనుపాత స్థిరాంకం. దీన్నే **స్నిగ్ధతా గుణకం** అంటారు. పై సమీకరణంలోని రుణగుర్తు స్నిగ్ధత కలిగించే ఘర్షణ బలం చలనాన్ని వ్యతిరేకించే దిశలో ఉంటుందని సూచిస్తుంది.

స్నిగ్ధతా గుణకం SI ప్రమాణం $Ns\ m^{-2}$. CGS పద్ధతిలో ప్రమాణం పాయిజ్ (Poise).

1 పాయిజ్ వ $0.1\ Ns\ m^{-2}$

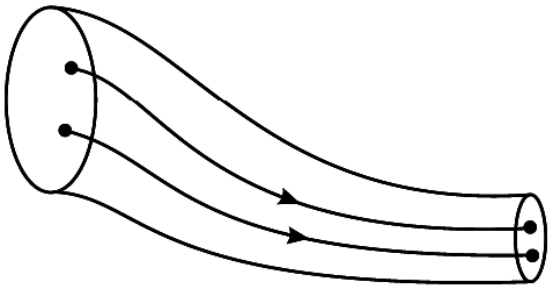
స్నిగ్ధతా గుణకం మితులు $[ML^{-1}\ T^{-1}]$.

10.8 ద్రవ ప్రవాహంలోని రకాలు

వరదల సమయంలో నదీ ప్రవాహం, పట్టణాలలోని నీటి సరఫరాలా ఉంటుందా? లేకున్న ఈ రెండు ప్రవాహాల మధ్య భేదమేమి? ఇలాంటి ప్రశ్నలకు సమాధానం తెలుసుకోనడానికి ద్రవాల ప్రవాహం గురించి చదువుదాం.

10.8.1 ధారా రేఖా ప్రవాహం (Streamline flow)

ప్రవాహిలో ఒక కణం చలించే పథాన్ని ప్రవాహరేఖ అంటారు. పథంలోని ఒక బిందువు గుండా ప్రయాణించే ప్రతి కణం దాని ముందు కణాలు ప్రయాణించిన రేఖ గుండా పయనిస్తే, ఆ ప్రవాహాన్ని ధారారేఖా ప్రవాహం (Streamline flow) అంటారు. ధారా రేఖను వక్రరేఖగా గాని, పథంగా గాని చూపవచ్చు. ధారారేఖకు ఏదైనా బిందువు వద్ద గీసిన స్పర్శరేఖ, ఆ బిందువు వద్ద ప్రవాహి (ద్రవం) వేగ దిశను సూచిస్తుంది. నిలకడగా ఉన్న ప్రవాహిలో ధారారేఖలు పటంల (పటం 10.27) లో చూపిన విధంగా ప్రవాహి రేఖలతో ఏకీభవిస్తాయి.

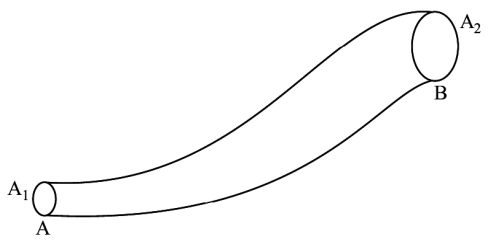


పటం 10.27 దారురేఖా ప్రవాహం

ధారారేఖలు ఖండిచుకోవు. అలా ఖండించుకుంటే, ఆ బిందువు వద్ద రెండు స్పర్శరేఖలు గీయవచ్చును. అంటే ప్రవాహికి ఒకే బిందువు వద్ద రెండు వేగ దిశలు ఉంటాయి. కాని ఇది సాధ్యం కాదు.

ఒక గొట్టం ద్వారా ప్రవహిస్తున్న ప్రవాహ వేగం, సందిగ్ధవేగం (v_c) కన్నా తక్కువైనచో అది ఇచ్చిన ద్రవం ధారారేఖా ప్రవాహం అనవచ్చు. ఈ సందర్భంలో ఈ ప్రవాహ మందమంతా చాలా పలుచని తలాల సమూహంతో

తయారయినదని ఊహించవచ్చు. ఈ పొరలు ఒక దానిపై ఒకటి జారుతున్నట్లుగా (ఒక దానిపై ఒకటి ప్రవహిస్తున్నట్లు) ఉంటాయి. ఇలాంటి చలనాన్ని ఏకరీతి చలనం (laminar flow) అంటారు. ద్రవచలనం, సందిగ్ధ వేగం v_c కన్నా ఎక్కువైతే, ప్రవాహంలోని ధారా రేఖలు కలిసిపోయి, ప్రవాహం వంకర-టింకరగా ఉంటుంది. ఈ విధమైన ప్రవాహాన్ని సంక్షుబ్ధ ప్రవాహం (turbulent flow) అంటారు.



పటం 10.28 గొట్టం గుండా ప్రవహించే ద్రవం (ప్రవాహి)

10.8.2 సాంతత్వ సమీకరణం (Equation of Continuity)

సంపీడ్యం చెందించలేని, స్నిగ్ధత లేని ప్రవాహి, అసమాన మధ్యచ్ఛేదమున్న గొట్టం గుండా ప్రవహిస్తున్నదనుకోండి. అప్పుడు ప్రవాహం ధారారేఖా ప్రవాహం అయితే గొట్టంలోని ఏ బిందువు వద్దనైనా మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం, ప్రవాహి వడిల లబ్ధం స్థిరం.

పటం 10.28లో చూపినట్లు A_1, A_2 మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యాలున్న ఒక గొట్టం గుండా ద్రవం ప్రవేశించి బయటకు వస్తుందని అనుకోండి. A, B ల వద్ద ప్రవాహ వడి వరసగా v_1, v_2 లు ప్రవాహి సాంద్రత ρ అని భావించిన, A వద్ద గొట్టంలో ప్రవేశించిన ద్రవం ఒక సెకనులో v_1 దూరం పూర్తి చేస్తుంది. కాబట్టి గొట్టంలోకి ప్రవహించే ప్రవాహి ఘనపరిమాణం సెకనుకు = $A_1 \times v_1$.

ఒక సెకనులో ప్రయాణినిచే ప్రవాహి ద్రవ్యరాశి సెకనకు $A = A_1V_1\rho$.

అదే విధంగా B వద్ద గొట్టం నుండి వెలుపలికి ఒక సెకనులో వచ్చే ప్రవాహి ద్రవ్యరాశి $B = A_2V_2\rho$.

గొట్టంలో ఎక్కడా ప్రవాహి నిలబడదు. గొట్టంలో ఏ బిందువు వద్దనైనా సెకనుకు దాటే ప్రవాహి ద్రవ్యరాశి సమానం. కావున

$$A_1V_1\rho = A_2V_2\rho$$

$$A_1V_1 = A_2V_2 \qquad (10.17)$$

ఈ సమీకరణాన్నే సాంతత్వ సమీకరణం అంటారు.

10.8.3 సందిగ్ధ వేగం, రెనాల్డ్ సంఖ్య (Critical Velocity and Reynolds's Number)

ప్రవాహి వేగం ఒక నియమిత విలువ అయిన సందిగ్ధ వేగం కన్నా తక్కువగా ఉన్నప్పుడు ధారారేఖా ప్రవాహంగా ఉంటుంది. ఈ విలువను దాటితే ప్రవాహం సంక్షుభితం అవుతుంది. ఏదైనా ప్రవాహి (ద్రవం) సందిగ్ధ వేగం ప్రవాహి స్వభావం మరియు అది ప్రవహించే గొట్టం కొలతలపై ఆధారపడి ఉంటుంది.

ప్రయోగాల ద్వారా ఏదైనా, ప్రవాహి సందిగ్ధ వేగం (v_c) ఈ కింద అంశాలపై ఆధారపడి ఉంటుందని తెలుస్తుంది.

- ప్రవాహి స్నిగ్ధతా గుణకానికి (η) అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

$$v_c \ \alpha \ \eta$$

- ప్రవాహి సాంద్రత (ρ) కు విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

$$v_c \, \alpha \frac{1}{\rho} \qquad \text{మరియు}$$

- ప్రవాహి ప్రవహిస్తున్న గొట్టం వ్యాసానికి (d) విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

$$v_c \, \alpha \frac{1}{d}$$

పై అంశాలు నుండి ప్రవాహి సందిగ్ధ వేగానికి సమీకరణం

$$v_c = \frac{R\eta}{\rho d} \qquad (10.18)$$

గా రాయవచ్చు.

ఇక్కడ R అనుపాత స్థిరాంకం, దీనినే రెనాల్డ్ సంఖ్య (Reynolds's Number) అంటారు. దీనికి మితులు లేవు. ప్రయోగాల ద్వారా R విలువ 1000 కన్నా తక్కువ ఉంటే ఆ ప్రవాహుల చలనం ఏకరీతిగా ఉంటుందని తెలిసింది. R విలువ 1000, 2000 మధ్య ఉంటే ఆ చలనం అనేకరీతి (unsteady) గా ఉంటుంది. R విలువ 2000 దాటితే ప్రవాహి చలనం సంక్షుభితమవుతుంది.

ఉదాహరణ 10.3

విశ్రాంతి స్థితిలో గుండెలో సిరల (Artery) (d = 2.0 cm) గుండా ప్రవహించే రక్తం వడి 30 cm s^{-1}. ఈ ప్రవాహం ఏకరీతిగా (laminar) ఉంటుందా లేదా సంక్షుభితంగా ఉంటుందా? రక్తం సాంద్రత 1.05 gm-cm^{-3}, (స్నిగ్ధత $\eta = 4.0 \times 10^{-2}$ Poise గుణకం)

సాధన :

సమీకరణం (10.16) నుండి రేనాల్డ్ $R = \frac{v_c \rho d}{\eta}$. ఇచ్చిన విలువలు ప్రతిక్షేపించిన

$$R = \frac{(30\,\text{cm}\,\text{s}^{-1}) \times (1.05\,\text{gm-cm}^{-3}) \times (2.0\ \text{cm})}{4.0 \times 10^{-2}\ \text{poise}} = 1575$$

1575 < 2000, ప్రవాహం అనేకరీతి (unsteady) గా ఉంటుంది.

10.9 స్టోక్ నియమం (Stokes' Law)

η స్నిగ్ధతా గుణకం గల ద్రవంలో, r వ్యాసార్ధం గల నునుపైన గోళాకార వస్తువు v వేగంతో పడుతున్నప్పుడు దానిపై పనిచేసే స్పర్శ రేఖీయ తిరో స్నిగ్ధతా బలం F (tangential backward viscous force) విలువను జార్జి స్టోక్స్ అనుభావిక నియమం తెలుపుతుంది. దీనినే స్టోక్స్ నియమం అంటారు. దీని ప్రకారం,

$$F \, \alpha \, \eta \, r \, v$$

$$F = K\ \eta\ r\ v \qquad (10.19)$$

అనుపాత స్థిరాంకం K ను ప్రయోగపూర్వకంగా 6π అని కనుగొన్నారు. కావున స్టోక్ నియమాన్ని కింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$F = 6\ \pi\ \eta\ r\ v \qquad (10.20)$$

స్టోక్ నియమాన్ని మితి పద్ధతిలో కూడా ఉత్పాదించవచ్చు.

స్టోక్ ప్రకారం, స్నిగ్ధతా బలం F కింది వాటిపై ఆధారపడుతుంది.

- యానకపు స్నిగ్ధతా గుణకం (η)
- గోళాకార వస్తువు వ్యాసార్ధం (r)
- వస్తువు వేగం (v)

కావున

$$F\ \alpha\ \eta^a r^b v^c$$

$$F = K\eta^a r^b v^c$$

K అనుపాత స్థిరాంకం.

సమీకరణానికి రెండువైపులా మితులు రాసిన

$$[MLT^{-2}] = [ML^{-1}\ T^{-1}]^a\ [L]^b\ [LT^{-1}]^c$$

$$[MLT^{-2}] = [M^a\ L^{-a+b+c}\ T^{-a-c}]$$

సమీకరణానికి రెండువైపుల గల ఒకే రాశుల ఘాతాంకాలను పోల్చిన

$$a = b = c = 1.$$

కాబట్టి

$$F = K\ \eta\ r\ v$$

10.9.1 అంత్య వేగం (Terminal Velocity)

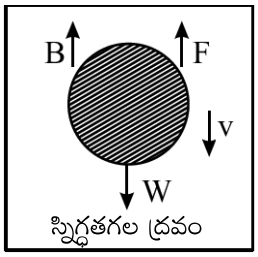
ρ సాంద్రత, r వ్యాసార్ధం ఉన్న ఒక నునుపైన గోళం σ. సాంద్రత ఉన్న ద్రవంలో పడుతున్నట్లు ఊహించండి.

దానిపై పనిచేసే బలాలు

(i) స్నిగ్ధతా బలం F నిలువుగా పైకి

(ii) వస్తువు భారం W నిలువగా కిందికి

(iii) ఉత్ప్లవన బలం B పైకి



పటం 10.29 స్నిగ్ధత ఉన్న ద్రవంలో పతనమయ్యే గోళంపై పనిచేసే బలాలు

పతన వేగం పెరిగే కొద్ది ఊర్ధ్వదిశలో పనిచేసే స్నిగ్ధతా బలం కూడా పెరుగుతుంది కాబట్టి పై బలాల వల్ల ఒకానొక సమయంలో వస్తువుపై ఫలితబలం శూన్యం అవుతుంది. ఆ సమయంలో వస్తువు స్థిరవేగంతో పడుతుంది. ఈ స్థిరవేగాన్ని **అంత్యవేగం** అంటారు.

వస్తువుపై పనిచేసే బలాల పరిమాణం

$$F = 6\pi\ \eta\ r\ v_0$$

ఇక్కడ v_0 అంత్య వేగం

$$W = \left(\frac{4}{3}\pi\ r^3 \rho\right)g$$

మరియు

$$B = \left(\frac{4}{3}\pi\ r^3 \sigma\right)g$$

వస్తువు అంత్యవేగం పొందినప్పుడు ఫలితబలం శూన్యం కావున

$$6\pi\eta r v_0 + \frac{4}{3}\pi r^3 \sigma g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$$

On rearranging the above equation, we can write it as

$$6\pi\eta r v_0 = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - \frac{4}{3}\pi r^3 \sigma g$$

$$v_0 = \frac{2r^2(\rho-\sigma)g}{9\eta} \qquad (10.21)$$

10.9.2 స్టోక్ నియమం అనువర్తనాలు

(A) పారాచూట్ (Parachute) : విమానం నుండి కిందకి దూకిన సైనికుడు, g గురుత్వ త్వరణంతో భూమిపై పడతాడు. కాని గాలిలో స్నిగ్ధత లాగుడు (viscous drag) వల్ల అంత్య వేగం పొందే వరకు త్వరణం తగ్గుతుంది. సైనికుడు స్థిర వేగంతో దిగుతూ ప్యారాచూట్‌ను ముందు అనుకున్న సమయంలో భూమికి దగ్గరగా విప్పుకొని క్షేమంగా దిగుతాడు.

(B) వర్షపు బిందువుల వేగం (Velocity of rain drops) : వర్షపు చుక్కలు గురుత్వ త్వరణం వల్ల కిందికి పడేటప్పుడు, గాలి కలిగించే స్నిగ్ధతా లాగుడు వాటి చలనాన్ని వ్యతిరేకిస్తుంది. స్నిగ్ధతా బలం గురుత్వ బలానికి సమానమైనప్పుడు, వర్షపు, బిందువు అంత్య వేగం పొందుతుంది. అందువల్ల భూమిని చేరే వర్షపు బిందువుల గతిజశక్తి తక్కువగా ఉంటుంది.

ఉదాహరణ 10.4

0.12 ms^{-1} అంత్యవేగంతో పడుతున్న వర్షపు నీటి బిందువు వ్యాసార్ధాన్ని లెక్కించండి. గాలి స్నిగ్ధత $\eta = 1.8 \times 10^{-5}$ kg m^{-1} s^{-1}, $\rho = 1.21$ kg m^{-3}, $\sigma = 1.0 \times 10^{3}$ kg m^{-3} మరియు $g = 9.8$ ms^{-2}

సాధన : అంత్య వేగానికి సమీకరణం

$$v_0 = \frac{2r^2(\rho - \sigma)g}{9\eta}$$

పదాలను సవరించి వ్యాసార్ధానికి కింది సమీకరణం రాయవచ్చు.

$$r = \sqrt{\frac{9(1.8 \times 10^{-5}\,\mathrm{kg\,m^{-1}\,s^{-1}})(0.12\,\mathrm{ms^{-1}})}{2(1.0 \times 10^{3}\,\mathrm{kg\,m^{-3}} - 1.21\,\mathrm{kg\,m^{-3}})(9.8\,\mathrm{m\,s^{-2}})}} = 10^{-5}\,\mathrm{m}$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 10.4

1. ధారా రేఖా ప్రవాహం, సంక్షుబ్ధ ప్రవాహుల మధ్య భేదాలు తెలుపుము.
2. ప్రవహిస్తున్న ద్రవంలో రెండు ధారారేఖలు ఖండించుకుంటాయా?
3. స్నిగ్ధతా ద్రవాల సందిగ్ధవేగం ఆధారపడే భౌతికరాశుల పేర్లను తెలపండి.
4. 0.01 m వ్యాసార్ధం ఉన్న వర్షపు బిందువు అంత్యవేగాన్ని లెక్కించండి. గాలి స్నిగ్ధతా గుణకం సాంద్రత $\eta = 1.8 \times 10^{-5}$ Ns m^{-2}, సాంద్రత $\rho = 1.2$ kg m^{-3}. నీటి సాంద్రత $\sigma = 1000$ kg m^{-3}, $g = 10$ m s^{-2}.
5. గ్లాసులో ఉన్న ద్రవాన్ని తిప్పి కొంత కాలం ఉంచిన తరవాత అది నిశ్చల స్థితిలోకి వస్తుంది. ఎందుకు?

డానియల్ బెర్నౌలి (Daniel Bernoulli)

1700 - 1782

డానియల్ బెర్నౌలి స్విస్ దేశంలో గణితశాస్త్రజ్ఞుల కుటుంబంలో ఫిబ్రవరి 8, 1700 సంవత్సరంలో జన్మించాడు. (ఇతను భౌతికశాస్త్రజ్ఞుడే కాక గణితశాస్త్రవేత్త కూడా). ప్రవాహగతి శాస్త్రం (Hydrodynamics) లో ఇతను ఎనలేని కృషి చేశాడు. 1738 లో ప్రముఖ పరిశోధనలను హైడ్రో డైనమికా (Hydrodyanamica) గా ప్రచురించారు. వాయువుల ధర్మాలు, పీడన, ఉష్ణోగ్రతలతో ఎలా మారతాయో వివరించాడు. ఇది వాయువుల అణుచలన సిద్ధాంతం అభివృద్ధిచెందడానికి తోడ్పడింది.

ఇతను గణితాత్మక భౌతికశాస్త్ర (Mathematical physics) వ్యవస్థాపకుడు. త్వరితంగా ప్రవహిస్తున్న నీరు గల గొట్టాన్ని ఒక పాత్రకు అనుసంధానించడం ద్వారా రసాయన పరిశోధన శాలలో శూన్యంను ఏర్పరచడానికి బెర్నౌలి సిద్ధాంతాన్ని ఉపయోగించారు.

10.10 బెర్నౌలి సూత్రం

మీరెప్పుడైనా ఫాక్టరీ పొగ గొట్టంలో నుండి వేగంగా పొగ రావడం గమనించారా? తెరచుకోవడానికి, మూసుకోవడానికి వీలుగా ఉన్న కారు పైకప్పు అధిక వేగంతో ప్రయాణిస్తున్నప్పుడు ఎందుకు పైకి లేస్తుంది? తుఫాను గాలులకు ఇళ్ళకప్పులు ఎగిరిపోవడం, బలమైన గాలి వీచినప్పుడు వర్షంలో గొడుగు పైకి లేవడం మొదలైన దృగ్విషయాలన్నీ బెర్నౌలి సూత్రం ఆధారంగా అర్థం చేసుకోవచ్చు.

బెర్నౌలి నియమం, ప్రవాహి వేగం అధికంగా ఉంటే పీడనం అల్పంగాను, ప్రవాహి వేగం అల్పంగా ఉంటే పీడనం అధికంగాను ఉంటుందని తెలుపుతుంది.

10.10.1 ప్రవహిస్తున్న ప్రవాహి శక్తి

ప్రవాహులు మూడురకాల శక్తి రూపాలను కలిగి ఉంటాయి. మనకు గతిజశక్తి, స్థితిజశక్తుల గురించి బాగా తెలుసు. ప్రవాహి కలిగి ఉన్న మూడవ రకం శక్తి, పీడన శక్తి. ప్రవాహి పీడనం వల్ల ఇది కలుగుతుంది. పీడన శక్తిని పీడన భేదం, ఘనపరిమాణాల లబ్ధంగా తీసుకోవచ్చు. m ద్రవ్యరాశి, d సాంద్రతగల ద్రవ ప్రవాహి P పీడన భేదం వద్ద ప్రవహిస్తే,

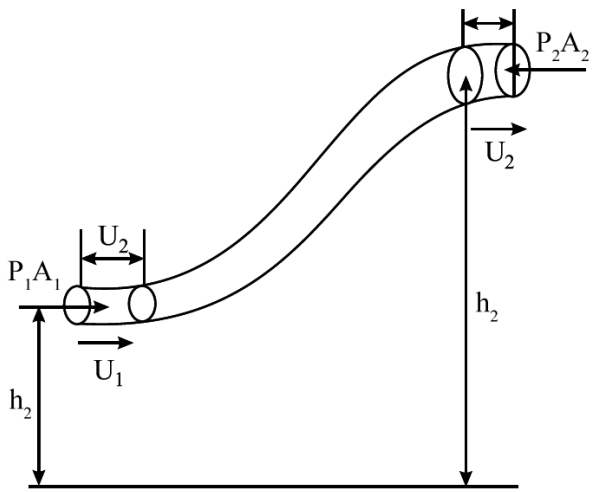
$$\text{పీడన శక్తి} = p \times \left(\frac{m}{d}\right) \text{ joule} \qquad (10.22)$$

$$\text{ప్రమాణ ద్రవ్యరాశికి పీడన శక్తి} = \frac{p}{d} \text{ J kg}^{-1} \qquad (10.23)$$

10.10.2 బెర్నౌలి సమీకరణం

ఈ సూత్రాన్ని పరిమాణాత్మకంగా చూపించే సమీకరణాన్ని బెర్నౌలి అభివృద్ధిపరిచాడు. ఈ సమీకరణ అభివృద్ధికి మూడు ముఖ్యమైన ఊహనలు చేసాడు.

1. ప్రవాహి అసంపీడ్యం. అంటే ప్రవాహి వెడల్పైన రంధ్రం గల గొట్టం నుండి సన్నని రంధ్రం ఉన్న గొట్టంలోకి ప్రవహించినా సాంద్రత మారదు.
2. స్నిగ్ధత రహిత ప్రవాహి. ప్రవాహిపై స్నిగ్ధతా ప్రభావం పరిగణలోకి తీసుకోరాదు.
3. ప్రవాహి ధారారేఖా ప్రవాహాన్ని కలిగి ఉండాలి. చలనం ధారారేఖంగా ఉండాలి.



పటం 10.30 మారుతున్న మధ్యచ్ఛేదం గల గొట్టం గుండా ధారారేఖ ప్రవాహంలో ఉన్న ద్రవం

పటం 10.30లో చూపిన విధంగా, మారుతున్న మధ్యచ్ఛేదం గల గొట్టం గుండా ధారారేఖ ప్రవాహంలో ఉన్న అసంపీడ్య, స్నిగ్ధతా రహిత ద్రవాన్ని తీసుకుందాం. A బిందువు వద్ద పీడనం P_1, మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం A_1, ప్రవాహ వేగం v_1, భూమి నుండి ఎత్తు h_1. అదే విధంగా B బిందువు వద్ద పీడనం P_2, మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం A_2, ప్రవాహ వేగం v_2, భూమి నుండి ఎత్తు h_2 గా తీసుకుందాం.

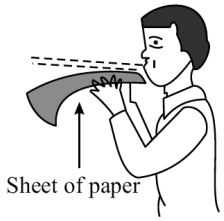
A, B బిందువులు ప్రవాహ గొట్టం వెంబడి ఏవైనా రెండు బిందువులు కావచ్చు. కావున బెర్నౌలి సమీకరణం కింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$P+\frac{1}{2}dv^2+hdg= \text{ స్థిరరాశి} \qquad (10.24)$$

అంటే, ప్రవాహి ధారారేఖా ప్రవాహంలో ఉన్నప్పుడు దానికిగల పీడన, గతిజ మరియు స్థితిజ శక్తుల మొత్తం స్థిరం.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 10.4

1. ఒక పేపరు ముక్కను చేతిలోకి తీసుకోండి.
2. పటం 10.31లో చూపినట్లు క్షితిజ సమాంతర భాగం నెమ్మదిగా కిందికి వత్తండి.
3. క్షితిజ సమాంతర రేఖవెంట గాలిని ఊదండి.



పటం 10.31

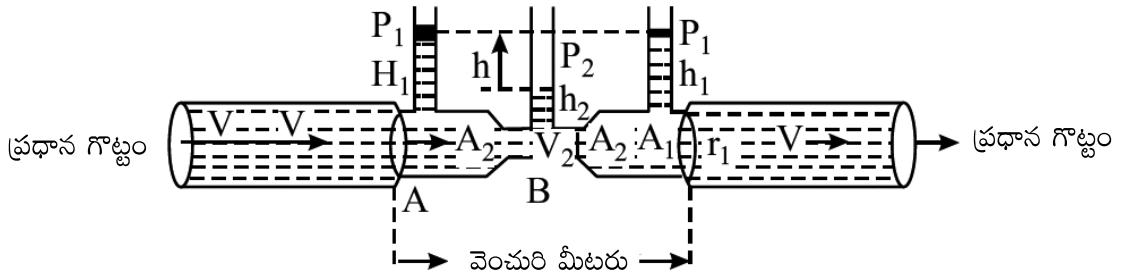
కాగితపు ముక్కను గమనించండి. అది పైకి లేస్తుంది. గాలి వేగం ఎక్కువై పేపరు పైవైపు పీడనం తగ్గడం వల్ల అది పైకి లేస్తుంది.

10.10.3 బెర్నౌలి సిద్ధాంత అనువర్తనాలు

నిత్య జీవితంలో బెర్నౌలి సిద్ధాంత అనువర్తనాలు అనేకం ఉన్నాయి. సాధారణంగా కనబడే కొన్ని దృగ్విషయాలను బెర్నౌలి సిద్ధాంతం ఆధారంగా వివరించవచ్చు.

(A) ఫ్లోమీటరు లేదా వెంచురి మీటరు

దీనిని గొట్టాల్లో ద్రవాల ప్రవాహ వేగం కొలవడానికి ఉపయోగిస్తారు. ప్రవాహ గొట్టంలో ఈ పరికరాన్ని పటం 10.32 లో చూపిన విధంగా పెడతారు.



పటం 10.32 వెంచురి మీటరు

ఇది భారమితిని కలిగి ఉంటుంది. A, B ల వద్ద వేరు వేరు మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యాలు A_1, A_2 కలిగిన రెండు గొట్టాలకు భారమితి రెండు అంచులు కలుపుతారు. ప్రధాన గొట్టం క్షితిజ సమాంతరంగా భూమికి h ఎత్తులో ఉన్నదని భావిద్దాం. వెంచురి మీటర్ గుండా ప్రవహించే నిలకడ ప్రవాహానికి A, B బిందువుల వద్ద బెర్నౌలి సిద్ధాంతం అనువర్తింపచేస్తే,

A వద్ద మొత్తం = B వద్ద మొత్తం శక్తి

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh + \frac{mP_1}{d} = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh + \frac{mP_2}{d}$$

పదాలు సర్దుబాటు చేసిన

$$P_1 - P_2 = \frac{d}{2}(v_2^2 - v_1^2) = \frac{d}{2}v_1^2\left[\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 - 1\right] \qquad (10.25)$$

పై సమీకరణాన్ని బట్టి (పీడన శక్తి, గతిజశక్తుల మొత్తం స్థిరం కావున) అధిక వేగం ఉన్న బిందువుల వద్ద అల్ప పీడనం ఉంటుందని తెలుస్తుంది. దీన్నే వెంచురి సూత్రం (Venturi's principle) అంటారు.

వెంచురి మీటరు గుండా నిలకడ ప్రవాహానికి

సెకనుకు A వద్ద లోనికి ప్రవహించే ద్రవ ఘనపరిమాణం = సెకనుకు B వద్ద

వెలుపలికి వచ్చే ద్రవ ఘనపరిమాణం

$$\therefore \quad A_1v_1 = A_2v_2 \qquad (10.26)$$

ద్రవం అసంపీడ్యం అని భావించాం కనుక సన్నని చివరల వద్ద అధిక వేగాన్ని, వెడల్పు చివరల వద్ద అల్ప వేగాన్ని కలిగి ఉంటుంది.

సమీకరణం 10.25 ఫలితం నుండి, సన్నటి ద్వారం వద్ద పీడనం తక్కువగా ఉంటుందని చెప్పవచ్చు.

$$P_1 - P_2 = \frac{d}{2}v_1^2\left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1\right]$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{d\left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1\right]}} \qquad (10.27)$$

h వెంచురి మీటరు మీటరు భుజాల మధ్య మట్టాల భేదాన్ని సూచిస్తే

$$P_1 - P_2 = hdg$$

మరియు $$v_1 = \sqrt{\frac{2hdg}{d\left[\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1\right]}} = \sqrt{\frac{2hg}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

దీని నుండి $v_1 \alpha \sqrt{h}$, మిగిలిన అన్ని రాశులు వెంచురి మీటరుకు స్థిరరాశులు.

$$v_1 = K\sqrt{h}$$

ఇక్కడ K స్థిరాంకం.

ఒక సెకను కాలంలో ప్రవహించే ద్రవ ఘనపరిమాణం

$$V = A_1 v_1 = A_1 \times Kh$$

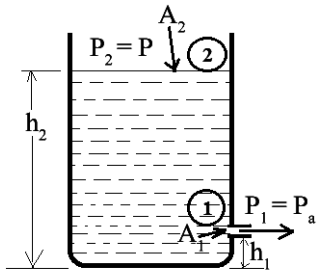
లేదా

$$V = K' h \qquad (10.28)$$

ఇక్కడ $K' = kA_1$ మరియొక స్థిరాంకం.

బెర్నౌలి నియమం ఇంకా అనేక ఇతర పరికరాల నిర్మాణంలో ఉపయోగపడుతుంది. ఆటమైజర్ (Atomizer) , స్ప్రేగన్ (Spray), బున్‌సెన్ బర్నర్ (Bunsen burner), కార్బురేటర్ (Carburettor), ఏరోఫాయిల్

(B) బహిస్రా వడి (Speed of Efflux), టోరిచెల్లి నియమం (Torricelli's Law) : నిత్యజీవితంలో టోరిచెల్లి నియమం అనువర్తనాలు చాలా ఉన్నాయి. ఈ నియమం పాత్రలోని ద్రవం ఎత్తుకు మరియు పాత్ర అడుగు భాగంలో ఉన్న గొట్టం ద్వారా బయటకు వచ్చే ద్రవం బహిస్రావ వడికి సంబంధాన్ని రాబట్ట వచ్చు. బహిస్రావం అంటే ఒక గొట్టం నుండి బయటకు వచ్చే ద్రవం వడి.



పటం 10.32 వెంచురి మీటరు h_1 ఎత్తులో ఒక రంధ్రం మరియు h_2 ఎత్తువరకు ద్రవంతో నింపిన తొట్టె

పటం 10.33లో చూపిన విధంగా ఒక తొట్టెలో ρ సాంద్రత గల ద్రవం h_2 ఎత్తు వరకు (2 వద్ద) నింపి ఉంది. మరియు h_1 ఎత్తులో (1 వద్ద) తొట్టె పక్క భాగంలో ఒక రంధ్రం ఉంది అని భావిద్దాం. ఈ రంధ్రం గది వాతావరణంలో తెరిచి ఉంది మరియు దీని వ్యాసం తొట్టె వ్యాసంలో పోల్చితే చాలా చిన్నగా ఉంది అని భావిద్దాం. ద్రవం పైభాగంలో ఉన్న గాలి పీడనం P. తొట్టె పక్క రంధ్రం. అడ్డుకోత వైశాల్యం A_1. తొట్టె అడ్డుకోత వైశాల్యం A_2 అయితే సాంతత్వ సమీకరణం నుండి ఈ కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

ఇక్కడ v_1 పక్క రంధ్రం నుండి ద్రవం స్రవణ వడి మరియు v_2 తొట్టెలో ద్రవ మట్టం తగ్గే వడి A_2 విలువ A_1 విలువ కంటే చాలా ఎక్కువ కనుక $v_1 >> v_2$. తొట్టెలో ద్రవ మట్టం తగ్గే వడి పరిగణించలేనంత తక్కువగా ఉంటుందని దీని అర్థం. కనుక తొట్టెలో ద్రవ మట్టం స్థిరంగా ఉన్నట్లు భావించవచ్చు. ($v_2 = 0$).

బెర్నౌలీ సమీకరణాన్ని [పటం 10.24] 1 మరియు 2 బిందువుల వద్ద అనువర్తింపజేయగా

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 \qquad (10.29)$$

పక్క రంధ్రం గాలిలోకి తెరువబడి ఉంది కనుక బిందువు 1 వద్ద పీడనం వాతావరణ పీడనం $P_1 = P_a$ మరియు తొట్టెలో ద్రవం వల్ల కలిగే పీడనాల మొత్తానికి సమానం అవుతుంది. 2 వద్ద పీడనం $P_2 = P\ (= \rho gh)$ గా ఉంటుంది. ఈ రెండు బిందువు వద్ద పీడనాలను మరియు $(v_2 = 0)$ ను సమీకరణం 10.29 లో ప్రతిక్షేపించగా

$$P_a + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P + \rho g h_2$$

$$P - P_a = \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g (h_2 - h_1)$$

ఇక్కడ $(h_2 - h_1) = h$ గా తీసుకుంటే

$$P - P_a = \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h$$

$$v_1^2 = 2gh + \frac{2(P - P_a)}{\rho}$$

$$v_1 = \sqrt{2gh + \frac{2(P - P_a)}{\rho}} \qquad (10.30)$$

సాధారణంగా $P >> P_a$ మరియు 2gh పదాన్ని కూడా వదిలివేయవచ్చు. అప్పుడు

$$v_1 = \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \qquad (10.31)$$

కనుక, ద్రవం బహిస్రావ వడి పాత్ర అడుగు భాగాన ఉన్న రంధ్రం వద్ద ఉండే ద్రవ పీడనం పై మాత్రమే ఆధారపడి ఉంటుంది. దీని విలువ $P = \rho gh$. సమీకరణం 10.31 ఇప్పుడు

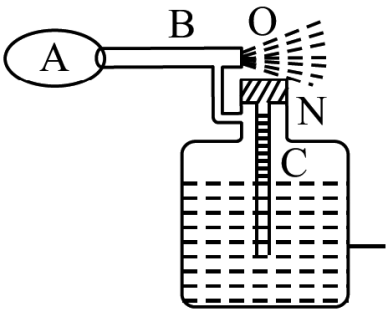
$$v_1 = \sqrt{\frac{2\rho gh}{\rho}} = \sqrt{2gh}$$

$$v_1 = \sqrt{2gh} \qquad (10.32)$$

దీని నుండి ద్రవం మట్టానికి h లోతులో ఉండే రంధ్రం గుండా బయటకు వచ్చే దవ్రం బహిస్రావ వడి అదే ఎత్తు నుండి స్వేచ్ఛగా పడుతున్న వస్తువు పొందే వడితో సమానం. సమీకరణం 10.32 టోరిచెల్లి నియమాన్ని సూచిస్తుంది.

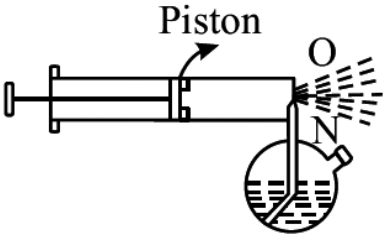
(C) ఆటమైజర్ (Atomizer) : పటం 10.33 లో ఆటమైజర్ చూపబడింది. ఇందులోని రబ్బురు బల్బు Aను వత్తినప్పుడు, B గొట్టంలో గాలి ప్రయాణించి సన్నని నాళం గుండా అత్యధిక వేగంతో వెలువడి

దాని పరిసరాల్లో అల్పపీడన ప్రదేశాన్ని ఏర్పరుస్తుంది. పాత్రలోని ద్రవం (సెంటు లేదా పెయింట్ (paint)) గొట్టంలోకి లాగబడి నాళం (Nozzle) N గుండా చిమ్మబడుతుంది. ద్రవం నాజిల్‌ను చేరగానే B గొట్టంలోని గాలి ప్రవాహం ఆ ద్రవాన్ని సన్నటి జల్లులా చిమ్మడానికి దోహదపడుతుంది.



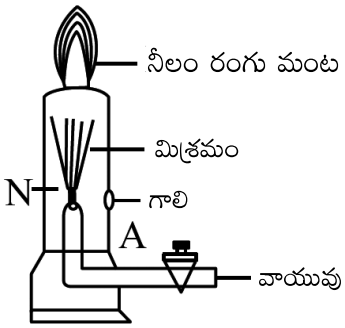
పటం 10.34 ఆటమైజర్

(D) స్ప్రేగన్ (Spray gun) : ఇందులోని ముషలకం (piston) ను లోనికి నెట్టినప్పుడు అది గాలిని బలంగా అధిక వేగంతో సన్నటి రంధ్రం O గుండా నెడుతుంది. అందువల్ల దాని పరిసరాల్లో అల్పపీడన ప్రదేశం ఏర్పడుతుంది. పాత్రలోని ద్రవం (ఉదాహరణకు క్రిమి సంహారక మందు) పాత్రకు అమర్చిన సన్నటి గొట్టంలోకి లాగబడి గొట్టం చివరకు (O కిందకు) చేరుతుంది. అలా చేరిన ద్రవం ముషలకంచే నెట్టబడిన గాలిచే బలంగా చిమ్మబడుతుంది (పటం 10.35).



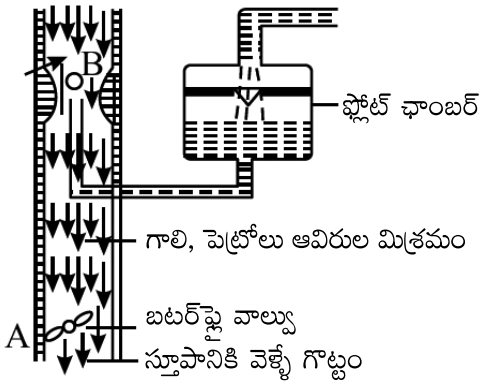
పటం 10.35 స్ప్రే గన్

(E) బున్‌సెన్ బర్నర్ (Bunsen Burner) : నాజిల్ N (నాళం) గుండా వాయువు బైటకు వచ్చినప్పుడు, దాని వేగం అధికంగా ఉండడంచే ఆ ప్రదేశంలో అల్ప పీడనం ఏర్పడుతుంది. అందువల్ల గొట్టంలోని పక్క రంధ్రం A లోకి గాలి వేగంగా వచ్చి చేరి వాయువుతో కలుస్తుంది. ఈ మిశ్రమం గొట్టం మూతివద్ద మండించినప్పుడు అంటుకొని (పటం 10.36) వేడి నీలంరంగు మంటను ఇస్తుంది.



పటం 10.36 స్ప్రే గన్

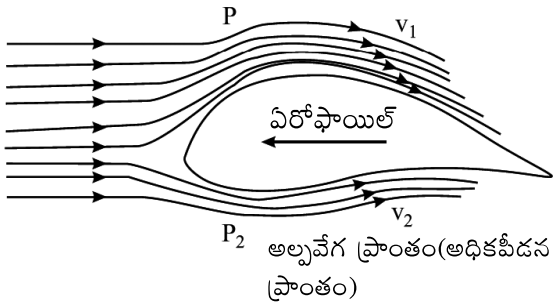
(F) కార్బోరేటర్ (Carburettor) : పటం 10.37 లో చూపిన కార్బొరేటర్ పరికరం, మోటారు వాహనాల్లో గాలి మరియు ఇంధనపు ఆవిరి కలిసిన సరైన మిశ్రమాన్ని ఇంజనులోని స్థూపానికి (cylinder) పంపుతుంది. ఇంజనులోని స్థూపాల్లో ఈ మిశ్రమం దహించబడి శక్తి పుడుతుంది. ఫ్లోట్ ఛాంబర్‌లో పెట్రోలు ఉంటుంది. పిస్టన్ చలనం వల్ల A వైపు పీడనం తగ్గుతుంది. అందువల్ల వెలుపల నుండి గాలి గొట్టంలోకి బలంగా లాగబడుతుంది. ఇందువల్ల B నాజిల్ వద్ద అల్పపీడనం ఏర్పడి పెట్రోలు నాజిల్ B నుండి బయటకు వచ్చి గాలితో కలుస్తుంది. ఇలా గాలి, పెట్రోలు ఆవిరి మిశ్రమం ఇంధనంగా ఏర్పడి A గొట్టం గుండా ఇంజనులోని స్థూపంలోకి ప్రవేశిస్తుంది.



పటం 10.37 కార్బొరేటర్

ఒక్కోసారి నాజిల్ B వద్ద మలినాలవల్లగాని లేదా కార్బన్ పూత ఏర్పడడంవల్ల గాని అడ్డు ఏర్పడి ఇంజనుకు ఇంధనం అందక అది పనిచేయడం ఆగిపోతుంది. అటువంటప్పుడు కార్బొరేటర్‌లోని నాజిల్‌ను తెరిచి శుభ్రం చేస్తారు.

(G) ఏరోఫాయిల్ (Aerofoil) : ఒక ఘన వస్తువు గాలిలో చలించునప్పుడు ధారారేఖలు ఏర్పడతాయి. విమానం ఆకారం పటం 10.38లో చూపినట్లు ప్రత్యేకంగా తయారుచేయబడి ఉంటుంది. విమానం రన్‌వె (runway) పై ప్రయాణించునప్పుడు, అధిక వేగపు ధారారేఖలు ఏర్పడతాయి. విమాన రెక్కల పైభాగంపై ధారారేఖలు ఎక్కువ గుమిగూడడంవల్ల అక్కడ అధిక వేగం, కింద ఉన్న పీడనం కన్నా అల్ప పీడనం ఏర్పడుతుంది. అదే విధంగా కిందివైపు అల్ప వేగం, అధిక పీడన ప్రదేశం ఏర్పడుతుంది. ఈ విధంగా ఏర్పడే పీడన భేదం విమానానికి పైకి ఎగరడానికి అవసరమయ్యే ఊర్ధ్వబలాన్ని (lift) ఇస్తుంది. దీనినే గతిజ ఊర్ధ్వ బలం అంటారు. ఈ బలం ప్రవాహిలో (గాలిలో) వస్తువు చలనం వల్ల ఏర్పడుతుంది.

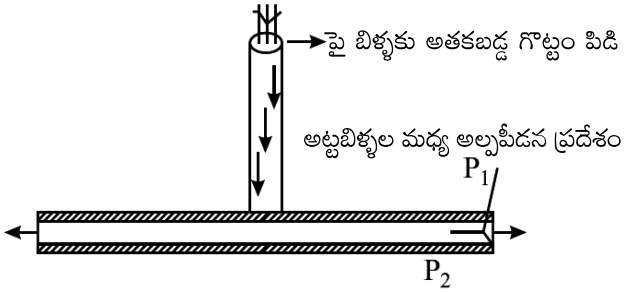


పటం 10.38 పై భాగంలో గుమిగూడిన ధారా రేఖలు

ఇదే సూత్రం ఆధారంగా (అంటే గుమిగూడిన ధారారేఖల వల్ల ఏర్పడే అధిక వేగ ప్రదేశాలే అల్పపీడన ప్రదేశాలు) పనిచేసి ఆసక్తికరమైన ఫలితాలు ఇచ్చే ప్రదర్శనలు కొన్ని కింద వివరించబడ్డాయి.

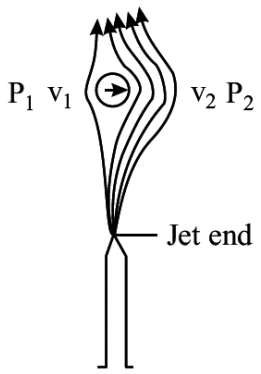
10.10.4 బెర్నౌలీ సిద్ధాంతం – కొన్ని ప్రదర్శనాత్మక అంశాలు

(A) ఆకర్షించే బిళ్ళల పారడాక్స్ (Attracted disc paradox) : సన్నని గొట్టపు పిడి గుండా, రెండు ఒకదానిపై ఒకటి అమర్చిన (పటం 10.39) అట్ట ముక్కల మధ్యకు గాలిని బలంగా ఊది, పిడి సహాయంతో పైన ఉన్న డిస్క్‌ను (బిళ్ళను) లేపితే కింద ఉన్న బిళ్ళ కూడా ఆకర్షింపబడినట్లు పైదానికి అతుక్కుంటుంది. దీనినే ఆకర్షించుకొనే బిళ్ళలు అంటారు.



పటం 10.39 ఆకర్షించుకునే బిళ్ళలు

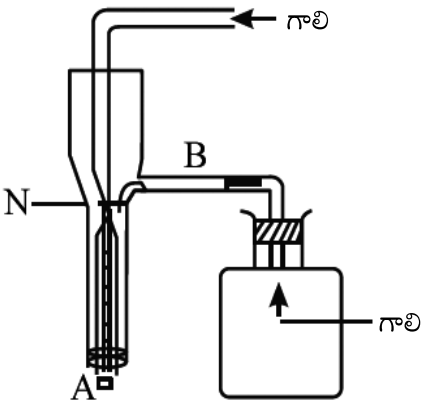
(B) నీటి ధారపై ఆడే పింగ్‌పాంగ్ బంతి : తేలికైన గుండ్రటి ప్లాస్టిక్ బంతిని (ping-pong ball or table tennis ball) నిలువుగా గొట్టం నుండి పైకి చిమ్ముతున్న నీటి ధారపై ఉంచినప్పుడు అది కిందకు పడిపోకుండా అక్కడే అటూ ఇటూ కదులుతూ (డాన్స్) నాట్యం చేస్తున్నట్లు ఉంటుంది (పటం 10.40). బంతి మధ్యమ స్థానం



పటం 10.40 నాట్యంచేసే పింగ్ పాంగ్

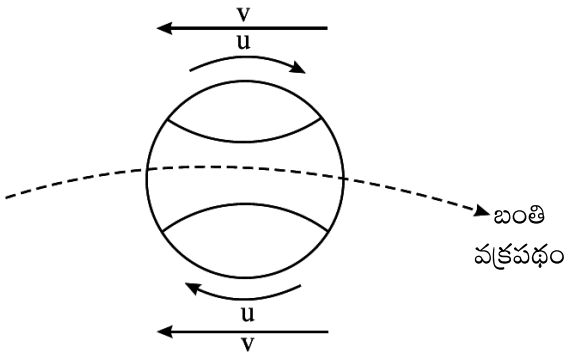
నుండి ఎడమవైపుకు కదిలినప్పుడు, ఎక్కువ భాగం నీటి ధార కుడివైపుకు రావడంవల్ల ఎడమవైపు కన్నా అధికవేగం, అల్ప పీడన ప్రదేశం కలగడం వల్ల మళ్ళీ బంతి మధ్యకు నెట్టబడుతుంది. ఇదే విధంగా కుడివైపుకు బంతి కదిలినా జరుగుతుంది.

(C) ఫిల్టర్ పంపు లేదా ఆస్పిరేటర్ (aspirator) : పటం 10.41 లో ఒక మోస్తరు శూన్య ప్రదేశాన్ని కలిగించే ఫిల్టర్ పంపు చూపబడింది. A గొట్టం ద్వారా వచ్చే నీరు, దాని చివరన ఉన్న సన్నని రంధ్రం ద్వారా బయటకు వచ్చేటట్లు చేస్తారు. నాజిల్ కుండే సన్నని రంధ్రం వల్ల వేగం ఎక్కువై నాజిల్ (నాళం) N వద్ద అల్పపీడన ప్రాంతం ఏర్పడుతుంది. శూన్యపరచవలసిన పాత్ర నుండి గాలి లాగబడి B గొట్టం ద్వారా నీటి ఆవరితో కలిసి బైటకు పంపబడుతుంది. ఈ పంపుతో నిమిషాలల్లో పాత్రలో పీడనం 1 సెం.మీ. పాదరస మట్టానికి పడిపోతుంది (తగ్గిపోతుంది).



పటం 10.41 ఫిల్టర్ పంపు

(D) క్రికెట్ బంతి స్వింగ్ చలనం (Swing of a cricket ball) : క్రికెటర్ బంతిని తిప్పుతూ (spinning) విసిరినప్పుడు అది వక్రపథంలో ప్రయాణిస్తుంది దీనిని బంతి యొక్క స్వింగ్ అంటారు (పటం 10.42). బంతి వదిలిన ఖాళీని v వేగంతో గాలి ఆక్రమిస్తుంది. బంతి చుట్టూ ఉన్న గాలి పొరలు కూడా బంతితో పాటు u వేగంతో కదులుతున్నాయనుకుందాం.

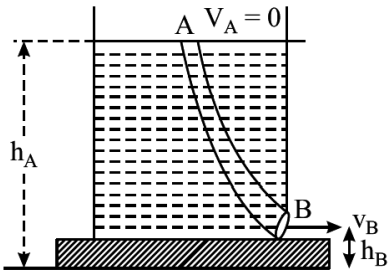


పటం 10.42 ఫిల్టర్ పంపు

అందువల్ల బంతిపై గాలి పొరల ఫలిత వేగం $(v - u)$ బంతి అడుగున $(v + u)$ ఉంటుంది. ఫలితంగా పీడన భేదం ఏర్పడి బంతి వక్రపథంలో పయనిస్తుంది. దీనినే "మాగ్నస్ ఫలితం" అంటారు.

ఉదాహరణ 10.5

పెద్ద తొట్టెలో ఉన్న నీరు, తొట్టె అడుగున ఉన్న రంధ్రం గుండా వెలుపలికి వస్తోంది (పటం 10.43) తొట్టెలో ఉన్న నీటి ఎత్తు 2.5m అయిన నీరు వెలుపలికి చిమ్మే వేగం ఎంత?



పటం 10.43

సాధన : తొట్టె అడుగున ఉన్న రంధ్రం B అనుకోండి. పటంలో చూపినట్లు నీటి తలం A నుండి తొట్టె అడుగు B వరకు ఒక ప్రవాహ నాళికను ఊహించండి. స్వల్ప ద్రవ్యరాశి m యొక్క ధారారేఖా ప్రవాహంకు A మరియు B బిందువుల వద్ద బెర్నౌలి సూత్రాన్ని అనువర్తింపచేసినప్పుడు

B = వద్ద మొత్తం శక్తి A వద్ద మొత్తం శక్తి

$$P_B + \frac{1}{2}dv_B^{\ 2} + h_B dg = P_A + \frac{1}{2}dv_A^{\ 2} + h_A dg$$

A వద్ద వేగం, $v_A = 0$, $P_A = P$ = వాతావరణ పీడనం, h_A = భూమి నుండి నీటి మట్టం.

B వద్ద వేగం, $v_B = ?$,

పీడనం $P_B = P$(రంధ్రం తెరచి ఉన్నది), h_B = భూమి నుండి రంధ్రం ఎత్తు

d = నీటి సాంద్రత, $h_A - h_B = H = 2.5$ m and

బెర్నౌలి సూత్రం నుండి, ఈ విలువలను పై సమీకరణంలో ప్రతిక్షేపించగా

$$\frac{1}{2}m\,v_B^{\ 2} = mg\left(h_A - h_B\right)$$

$$v_B = \sqrt{2g\left(h_A - h_B\right)}$$

$$v_B = \sqrt{2 \times 9.8 \times 2.5} = 7ms^{-1}$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 10.5

1. తుఫాను గాలులకు రేకులు (పై కప్పులు) ఇండ్ల కప్పులు ఎగిరిపోవడాన్ని బెర్నౌలి సిద్ధాంత రీత్యా ఎట్లు వివరించవచ్చు?
2. మొక్కలకు నీరు పెట్టే గొట్టం చివర వత్తినప్పుడు, నీరు దూరంగా చిమ్మబడతుంది. ఎందువల్ల?
3. ప్రవహిస్తున్న ద్రవాల సమస్యలను సాధించడానికి, బెర్నౌలి సూత్రాన్ని అనువర్తింపచేయడానికి పాటించవలసిన నిబంధనలు ఏమి?
4. అసమరీతి మధ్యచ్ఛేదం గల క్షితిజ సమాంతర గొట్టంలో నీరు ప్రవహిస్తుంది. 20 mm పాదరస మట్టం పీడనం ఉన్న బిందువు వద్ద నీటి వేగం 0.20 m/s అయిన, 1.50 m/s వేగం ఉన్న బిందువు వద్ద పీడనం లెక్కించండి.
5. క్రికెట్ ఆటలో బౌలర్ బంతిని ఒకవైపే ఎందుకు నునుపు చేస్తాడు?

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- ρ ద్రవ సాంద్రతగల ద్రవం స్వేచ్ఛా తలం కింద h లోతులో ద్రవ స్థైతిక పీడనం (Hydrostatic pressure) $P = \rho gh$.
- ప్రవాహిలో మునిగి ఉన్న వస్తువుపై ఊర్ధ్వ దిశలో పనిచేసే బలమే ఉత్ప్లవన బలం (Buoyant force).
- పాస్కల్ నియమం ప్రకారం, పాత్రలో ఉన్న ద్రవం ఏ భాగంలోనైనా కలిగించిన పీడనం ద్రవంలోని ప్రతి బిందువుకు, అలాగే పాత్ర గోడలకు తరుగుదల లేకుండా ప్రసరిస్తుంది.

- ద్రవాణువులు ద్రవ ఉపరితలం వద్ద కలిగి ఉండే స్థితిజశక్తిని ఉపరితల శక్తి అంటారు.
- ద్రవ ఉపరితలంపై ఊహించబడిన రేఖపై ప్రమాణ పొడవుకు లంబంగా పనిచేసే బలాన్ని తలతన్యత అంటారు. దీన్ని Nm^{-1} లో కొలుస్తారు.
- తలతన్యతను ప్రమాణ వైశాల్యంలో గల ఉపరితల శక్తిగా కూడా నిర్వచించవచ్చు.
- ఏ ద్రవానికైనా ఉండే ధర్మం తలతన్యత. దీని వల్ల ద్రవ ఉపరితలం సాగదీసిన పొరవలె ప్రవర్తిస్తుంది.
- ద్రవ తలం పాత్ర గోడలను తాకే (స్పృశించే) బిందువు వద్ద ద్రవతలానికి గీసిన స్పర్శా రేఖకు, పాత్ర గోడకు గీసిన స్పర్శా తలంకు ద్రవంలో గల కోణాన్ని స్పర్శాకోణం అంటారు.
- ఏదైనా కేశనాళికలోని ద్రవతలం పుటాకారంగా గాని లేదా కుంభాకారంగా గాని ఉంటుంది. ఈ వక్రతకు కారణం ద్రవానికుండే తలతన్యత.

  కేశనాళికలో ఆరోహణ

$$h = \frac{2T\cos\theta}{rdg}$$

- ద్రవ పుటాకార తలంవైపు అధిక పీడనం P

  నీటిలో ఉన్న గాలి బుడగకు $P = \frac{2T}{r}$, T ద్రవపు తలతన్యత, R వక్రతా వ్యాసార్ధం.

  $P = \frac{2T}{r}$, for air bubble in the liquid and

  $P = \frac{4T}{r}$, గాలిలోని సబ్బు బుడగలో T సబ్బు నీటి తలతన్యత

- బట్టలు శుభ్రపరచడంలో డెటర్జంట్స్ మేలైనవి. ఎందుకంటే అవి నీరు-నూనె తలతన్యతను తగ్గిస్తాయి.
- ప్రవాహి యొక్క ఏ ధర్మం వల్ల పొరల మధ్య సాపేక్ష చలనం వ్యతిరేకించబడుతుందో ఆ ధర్మాన్ని స్నిగ్ధత అంటారు.
- ద్రవాల ప్రవాహ వేగం ఒక నియమిత విలువ కన్నా ఎక్కువైతే సంక్షుబ్ధ ప్రవాహం అవుతుంది. ఆ నియమిత వేగాన్ని సందిగ్ధ వేగం v_c అంటారు. దీని విలువ ద్రవ ధర్మం మీద, గొట్టం వ్యాసం మీద ఆధారపడి ఉంటుంది (η, P మరియు d).
- ప్రమాణ వేగ ప్రవణత గల ప్రాంతంలో కదులుతూ ఒకదానికొకటి తాకుతూ ప్రమాణ వైశాల్యం గల రెండు వరుస పొరల మధ్య పనిచేసే స్పర్శరేఖీయ తిరో స్నిగ్ధతా బల పరిమాణాన్ని (tangential backward viscus force) ఆ ద్రవం స్నిగ్ధతా గుణకం అంటారు.

- స్టోక్ నియమం ప్రకారం, స్నిగ్ధతా గుణకం η గల ద్రవంలో v వేగంతో, r వ్యాసార్ధంగల గోళాకార ద్రవ్యరాశి పడుతున్నప్పుడు దానిపై పనిచేసే స్పర్శరేఖీయ తిరో స్నిగ్ధతా బలం (tangential backward viscus force)

$$F = 6 \pi \eta r v$$

- బెర్నౌలి సిద్ధాంతం ప్రకారం, అసంపీడ్య, స్నిగ్ధత లేని నిలకడ చలనంగల ద్రవపు అల్పాంశం (m) యొక్క శక్తి మొత్తం ప్రవాహం వెంబడి స్థిరం. ప్రవాహ నాళంలో ఏవైనా రెండు బిందువులు A, B వద్ద బెర్నౌలి సమీకరణాన్ని కింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$P_A + \frac{1}{2} dv_A^2 + h_A dg = P_B + \frac{1}{2} dv_B^2 + h_B dg$$

Where d is the density of the liquid.

ముగింపు అభ్యాసం

1. ద్రవస్తంభం వల్ల కలిగే స్థైతిక పీడనానికి సమీకరణాన్ని ఉత్పాదించండి.
2. పాస్కల్ నియమాన్ని నిర్వచించండి. హైడ్రాలిక్ ప్రెస్ (Hydraulic press) పనిచేసే విధానం వివరించండి.
3. తలతన్యతను నిర్వచించండి. దాని మితిఫార్ములాను కనుక్కోండి.
4. ద్రవతలాలు సాగదీసిన పొరవలె ప్రవర్తిస్తాయని చూపడానికి ఒక ప్రయోగాన్ని వర్ణించండి.
5. 0.9 m లోతులో ఒక పాత్రలోని ద్రవంలో స్థైతిక పీడనం 3.0 Nm^{-2}. అదే పాత్రలో 0.8 m లోతులో గోడలో ఉన్న రంధ్రం వద్ద పీడనం ఎంత ఉంటుంది?
6. ఒక హైడ్రాలిక్ లిఫ్ట్ (Hydraulic lift), ను ఉపయోగించి 1000 kg ద్రవ్యరాశిగల రాయిని ఎత్తుటకు ఎంత బరువు కావాలి? హైడ్రాలిక్ లిఫ్ట్ రెండు ముషలకాల (pistons) వైశాల్యాల నిష్పత్తి 5. బహిర్గామి పని, అంతర్గత పని కంటే ఎక్కువా? వివరించండి.
7. ద్రవంతో నింపిన ఒక కేశనాళికలో ద్రవతలం పుటాకారంగా ఉంది. F_a అసంజన బలం (Adhesion force) F_c సంసంజన బలం (Cohesion force) θ స్పర్శాకోణం అయిన కింది వాటిలో ఏ సంబంధం వర్తిస్తుంది?

   (a) $F_a > F_c \sin\theta$; (b) $F_a < F_c \sin\theta$; (c) $F_a \cos\theta = F_c$; (d) $F_a \sin\theta > F_c$
8. ఒకే వ్యాసార్ధం గల 1000 చిన్న నీటి బిందువులు కలసి పెద్ద బిందువుగా ఏర్పడిన, నీటి బిందువు ఉష్ణోగ్రత ఏమవుతుంది? ఎందువల్ల?
9. కేశనాళీయత అనగానేమి? కేశనాళికా ఆరోహణం లేదా అవరోహణ ఏ అంశాలపై ఆధారపడును?
10. 0.05 m పొడవు 0.2×10^{-3} m వ్యాసార్ధం గల కేశనాళికలో 10^3 kg m^{-3} సాంద్రత గల ద్రవం ఎంత ఎత్తుకు ఎగాబాకునో లెక్కకట్టండి. ఆ కేశనాళిక పదార్థంకు ద్రవం తలతన్యత 7.27×10^{-2} Nm^{-1} గా తీసుకోండి.

11. గాలిలో సబ్బు బుడగలు ఊదడం కన్నా నీటి బుడగలను ఊదడం కష్టం ఎందువల్ల?

12. నూనె మరకలున్న బట్టలు శుభ్రం చేయడానికి సబ్బు కన్నా డెటర్జంట్స్ బాగా పనిచేస్తాయి ఎందువల్ల?

13. రెండు సర్వసమానమైన బెలూన్‌లను గాలి ఊది వివిధ పరిమాణాలకు వ్యాకోచింపచేసారు. వాటిని సన్నటి గొట్టం ద్వారా కలిపినప్పుడు కింది పరిశీలనల్లో వేటిని గమనిస్తారు?

    (i) చిన్న బెలూన్‌లోని గాలి అంతా పెద్ద బెలూన్‌లోకి ప్రవహించేంత వరకు చిన్న బెలూన్ నుండి గాలి పెద్ద బెలూన్‌లోకి ప్రవహిస్తుంది.

    (ii) పెద్ద బెలూన్ నుండి గాలి చిన్న బెలూన్‌లోకి, ఆ రెండింటి పరిమాణాలు సమానం అయ్యేదాకా ప్రవహిస్తుంది.

    బెలూన్‌ల స్థానంలో రెండు భిన్న పరిమాణాలు గల సబ్బు బుడగలు ఉన్నచో మీ సమాధానం ఏమిటి?

14. 3 cm వ్యాసార్ధమున్న గాలి బుడగను సబ్బు నీటిలో ఊదుటకు లేదా గాలిలో సబ్బు బుడగను ఊదుటకు ఏ సందర్భంలో ఎక్కువ పీడనం–అవసరం? ఎందువల్ల?

15. ధారారేఖా ప్రవాహానికి, సంక్షుబ్ధ ప్రవాహానికి భేదాన్ని తెలిపి, సందిగ్ధ వేగాన్ని నిర్వచించండి.

16. స్నిగ్ధత, స్నిగ్ధతా గుణకాలను నిర్వచించండి. స్నిగ్ధతా గుణకం ప్రమాణాలు మితి ఫార్ములాను రాబట్టండి. నీరు, గ్లిజరిన్‌లలో దేనికి స్నిగ్ధత ఎక్కువ? ఎందువల్ల?

17. రెనాల్డ్ సంఖ్య అనగానేమి? దాని ప్రాముఖ్యత ఏమిటి? రెనాల్డ్ సంఖ్య ఆధారంగా సందిగ్ధవేగాన్ని నిర్వచించండి.

18. బెర్నౌలి సూత్రాన్ని నిర్వచించండి. విమానాల ఆకారం నిర్మాణంలో దీని అనువర్తనాన్ని వివరించండి.

19. కింది వాటిని వివరించండి.

    (i) ఆత్మ భ్రమణం(Spinning) చేస్తూ ముందుకు పోతున్న టెన్నిస్ బంతి పథం వక్రంగా ఉంటుంది.

    (ii) పైకి చిమ్ముతున్న నీటిధారపై ఉంచిన పింగ్‌పాంగ్ బంతి అటు ఇటు పడక, ధారపై నృత్యం చేస్తున్నట్లు కదులుతుంది.

    (iii) నీటి గొట్టాన్ని వత్తి మధ్యచ్ఛేదాన్ని తగ్గించినప్పుడు ప్రవాహ వేగం పెరుగుతుంది.

    (iv) చిన్న గోళాకార బంతి స్నిగ్ధతగల యానకంలో స్వేచ్ఛగా పడినప్పుడు కొద్దిసేపటికి స్థిరవేగాన్ని పొందుతుంది.

    (v) సమతల గాజు పలకపై పడిన పాదరసం, చిన్న చిన్న గోళాకార బిందువులుగా విడిపోతుంది.

20. 0.8 mm వ్యాసం ఉన్న గాలిబుడగ, 0.15 kg m^{-1} s^{-1} స్నిగ్ధత, 0.9 gm cm^{-3} సాంద్రతగల ద్రవంలో పైకి వచ్చినప్పుడు దాని అంత్యవేగం లెక్కగట్టండి. ఇదే బుడగ నీటిలో పైకి వచ్చినప్పుడు అంత్యవేగం ఎంత? నీటికి $\eta = 10^{-2}$ kg m^{-1} s^{-1}.

21. నిండా నీరు ప్రవహిస్తున్న వ్యాసం 0.2 m వ్యాసం గల గొట్టానికి 0.1 m వ్యాసంతో నొక్కు ఉన్నచో కింది వాటిని లెక్కగట్టండి. If the velocity in the 0.2 m pipe-line is 2 m s^{-1}, (i) నొక్కు వద్ద నీటి వేగం, (ii) నీరు సెకనుకు విడుదల అయ్యేరేటు ఘనపు మీటర్లలో.

22. (i) 1 mm వ్యాసార్ధం గల స్టీలు బంతి ఏదైని ఒక క్షణంలో గ్లిజరిన్ గల టాంకులో పడుతున్నప్పుడు, దాని త్వరణం గురుత్వత్వరణంలో సగం ఉన్నప్పుడు వేగం ఎంత?

(ii) బంతి అంత్య వేగం ఎంత? స్టీలు, గ్లిజరిన్‌ల సాంద్రతలు 8.5 gm cm^{-3}, 1.32 gm cm^{-3} గ్లిజరిన్ స్నిగ్ధత 8.3 పాయిజ్.

23. 20°C ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న నీరు, 3 mm వ్యాసం ఉన్న గొట్టం గుండా 50 cm s^{-1} వడితో ప్రవహిస్తున్నది.

(i) రెనాల్డ్ సంఖ్య ఎంత? (ii) ఆ ప్రవాహ లక్షణం ఏమి?

20°C వద్ద నీటి స్నిగ్ధత 1.005×10^{-2} పాయిజ్, 20°C వద్ద నీటి సాంద్రత 1 gm cm^{-3}.

24. ఆధునిక విమానాల నిర్మాణం, రెక్కలపై 1000 Nm^{-2} గతిక బలం కలిగేట్లు తయారుచేయబడతాయి. విమానం రెక్కలపై గాలి ధారారేఖ ప్రవాహంతో ప్రవహిస్తుంది అని భావించి, రెక్కల కింద ప్రవాహ వేగం 100 ms^{-1}. అయిన 1000 Nm^{-2} ల గతిక బలం కలగడానికి రెక్కలపై ప్రవాహ వేగం ఎంత ఉండాలి? గాలి సాంద్రత 1.3 kg m^{-3}.

25. అసమాన మధ్యచ్ఛేదం గల క్షితిజ సమాంతర గొట్టం గుండా నీరు ప్రవహిస్తున్నది. 28 cm s^{-1} వేగంతో ప్రవహిస్తున్న చోట గొట్టంలో పీడనం 5 cm పాదరసమట్టం అయిన 70 cm s^{-1} వేగంతో ప్రవహించే ఇంకొక బిందువు వద్ద గొట్టంలో పీడనం ఎంత? [నీటి సాంద్రత 1 gm cm^{-3}].

పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

10.1

1. వ్యక్తి భారం ఎక్కువ వైశాల్యంపై పనిచేయడం వల్ల మంచుపై పీడనం తగ్గును.

2. $P = P_a + \rho gh$

$P = 1.5 \times 10^7$ Pa

3. బాలుని భారం వల్ల కలిగే పీడనం $= \frac{25}{0.05} = 500\,Nm^{-2}$.

ఏనుగు భారంవల్ల కలిగే పీడనం $= \frac{5000}{10} = 500\,Nm^{-2}$.

∴ బాలుడు, ఏనుగుతో సరితూగుతాడు.

4. కడ్డీ మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం ఎక్కువ కావున చర్మంపై కలిగించే వత్తిడి తక్కువ.

5. $\frac{50}{0.1} = \frac{w}{10}$, w = 5000 kg wt

10.2

1. ఒకే పదార్థంలో గల అణువుల మధ్య ఉండే ఆకర్షణ బలాలను సంసంజన బలాలు అంటారు. విభిన్న పదార్థాల్లోని అణువుల మధ్య ఉండే ఆకర్షణ బలాలను అసంజన బలాలు అంటారు.
2. ద్రవం కనిష్ఠ ఉపరితల వైశాల్యం పొందే విధంగా తలతన్యత చేస్తుంది. ఇచ్చిన ఘనపరిమాణానికి గోళం కనిష్ఠ ఉపరితల వైశాల్యాన్ని కలిగి ఉంటుంది.
3. కాదు. అవి దృఢంగా బంధింపబడిన అణువులు.
4. తలతన్యతా బలాల వల్ల.
5. నీటిలో ఉన్న గాలి బుడగకు

$$P = \frac{2T}{r} = \frac{2 \times 727 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-2}} = 72.7\,\mathrm{Nm^{-2}}$$

గాలిలో ఉన్న సబ్బు బుడగకు

$$P' = \frac{4T'}{r'} = \frac{4 \times 25 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-2}} = 2.5\,\mathrm{Nm^{-2}}$$

10.3

1. కాదు.
2. అవును, ద్రవం పైకి ఎగబాకును.
3. పాదరసం తలం కుంభాకారంగా ఉంటుంది, దానికి స్పర్శాకోణం గురుకోణం (obtuse). నాళికలో కిందికి పడే పాదరస మట్టంవల్ల దాన్ని కేశనాళికలోకి ఎక్కించడం కష్టం అవుతుంది.
4. $r = \frac{2T}{h\rho g} = \frac{2 \times 7.2 \times 10^{-2}}{3 \times 1000 \times 10} = 4.8 \times 10^{-6}\,\mathrm{m}$.
5. కేశనాళీయత వల్ల

10.4

1. పథంలో ఇచ్చిన బిందువు గుండా ప్రతీ కణం ప్రయాణిస్తూ దాని ముందు కణం ప్రయాణించిన పథంలోనే ప్రయాణిస్తూ ఉంటే ఆ ప్రవాహాన్ని ధారారేఖా ప్రవాహం అంటారు. ప్రవాహం వంకర-టింకరగా ఉంటే సంక్షుబ్ధ ప్రవాహం అంటారు.
2. కొనవు (ఖండించుకోవు), ఎందుకంటే అలా అయితే ఒకే ప్రవాహానికి రెండు దిశలు ఉంటాయి.
3. సందిగ్ధ వేగం ద్రవ స్నిగ్ధత స్వభావం మీద ద్రవసాంద్రత మరియు గొట్టం వ్యాసంపై ఆధారపడుతుంది.

4. $0.012\ ms^{-1}$.

5. స్నిగ్ధతా బలంవల్ల.

10.5

1. గాలి యొక్క అధిక వేగంపై భాగాన అల్పపీడనాన్ని కలిగిస్తుంది.

2. వైశాల్యంలో తగ్గుదల అధిక పీడనాన్ని కలిగిస్తుంది.

3. ప్రవాహి అసంపీడ్యమై, స్నిగ్ధత రహితంగా (లేదా తక్కువగా ఉండి) ఉండాలి. చలనం ధారారేఖం (very less) గా ఉండాలి.

4. $P_1 - P_2 = \frac{1}{2} d (v_2^2 - v_1^2)$

5. రెండు తలాల వద్ద ధారారేఖలు భిన్నంగా ఉండడం వల్ల బంతి మరింతగా స్వింగ్ (swing) అవుతుంది.

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

5. $2.67\ Nm^{-2}$.

6. 200 N, No.

20. $2.1\ mm\ s^{-1}$, $35\ cm\ s^{-1}$.

21. $8\ ms^{-1}$, $6.3 \times 10^{-2}\ m^3\ s^{-1}$.

22. $7.8\ mm\ s^{-1}$, $0.19\ ms^{-1}$.

23. 1500, అసమరీతిగా ఉంటుంది.

24. 2 cm పాదరసమట్టం.

11

పదార్థ ఉష్ణగతిక నియమాలు

పరిచయం

అందమైన మన భూగ్రహంపైగల జీవరాశుల మనుగడకు సౌరశక్తియే కారణం. సౌర శక్తి భూమిని చేరడానికి ముందు భూమికి సూర్యునికి మధ్యగల శూన్యం మరియు పదార్థ యానకాల గుండా ప్రయాణంచేస్తుంది. మనలో ప్రతి వ్యక్తి సుమారు 70 వాట్‌ల రేటుతో ఉష్ణశక్తిని వికిరణం చేస్తాడని మీకు తెలుసా? ఇప్పుడు మనం ఉష్ణవికిరణం గురించి వివరంగా చదువుతాము. ఈ అధ్యయనం వల్ల మన నుండి ఎంతో దూరంలో ఉన్న నక్షత్రాల యొక్క ఉష్ణోగ్రతను కూడా నిర్ణయించగలుగుతాము.

ఉష్ణప్రసారంలో మరొక పద్ధతి ఉష్ణవహనం, దీనికి పదార్థ యానకం కావలసి వస్తుంది. ఒక లోహపు కడ్డీ ఒక చివర వేడిచేసినప్పుడు కొంత సమయానికి రెండవ చివర కూడ వేడెక్కుతుంది. అందుకే మనం పలురకాలయిన పాత్రలను పట్టుకునేందుకు కొయ్య లేదా ఉష్ణబంధక పదార్థాలను వాడతాము. మన ఇంటి గోడలపై పడిన ఉష్ణశక్తి కూడా ఉష్ణవహనం ద్వారా ఇంట్లోకి ప్రవేశిస్తుంది. కాని ఒక పాత్రలోని నీటిని వేడి చేసినప్పుడు పాత్ర అడుగున గల అణువులు మొదట వేడెక్కుతాయి. అవి పాత్ర అడుగునుండి నీటి ఉపరితలానికి ఉష్ణాన్ని తీసుకెళతాయి. ఈ రకం ఉష్ణ ప్రసారాన్ని ఉష్ణసంవహనం అంటారు. భూమిపై జీవరాశుల మనగడకు అవసరం అయిన రుతుపవనాలు ఏర్పడటంలాంటి సహజ అద్భుతాలు జరగడానికి ఈ ప్రక్రియలే కారణం. ఈ పాఠంలో ఈ ఉష్ణప్రసార ప్రక్రియల గురించి మరింతగా చదువుతారు.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరవాత మీరు కింది విషయాలు తెలుసుకోగలుగుతారు.

- ఉష్ణవహనం, ఉష్ణసంవహనం మరియు ఉష్ణవికిరణాల మధ్య భేదాలు చెప్పగలరు.
- ఉష్ణవహన గుణకాన్ని నిర్వచించ గలుగుతారు.
- గ్రీన్ హౌస్ ప్రభావం (green house effect) మరియు భూమిపైగల జీవరాశులపై దాని పర్యవసానాన్ని వివరించగలుగుతారు.
- కృష్ణ వస్తువు వికిరణాన్ని నియంత్రించే సూత్రాలు అనువర్తింప చేయగలుగుతారు.

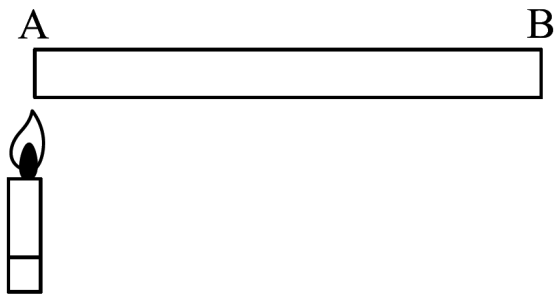
11.1 ఉష్ణ ప్రసార పద్ధతి (Process of heat transfer)

అధిక ఉష్ణోగ్రత గల వస్తువు నుండి అల్ప ఉష్ణోగ్రత వద్ద గల వస్తువుకు ఉష్ణం తనంతట తానుగా ప్రవహించే సహజ నైజాన్ని రెండవ నియమం తెలుపుతుంది. రెండు వస్తువుల ఉష్ణోగ్రతలు సమానం అయ్యేవరకు

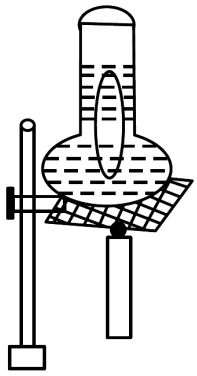
వాటి మధ్య ఉష్ణప్రసరణ జరుగుతుంది. వాయువు యొక్క ఉష్ణోగ్రత దాని సరాసరి గతిశక్తితో సంబంధం కలిగి ఉంటుందని చలన సిద్ధాంతం నుండి మీరు గుర్తుచేసుకోవచ్చు. వేరు వేరు ఉష్ణోగ్రతలవద్ద గల వాయు అణువులు వేరు వేరు సరాసరి గతిశక్తులు కలిగి ఉంటాయని దాని అర్థం.

ఉష్ణప్రసారం మూడు పద్ధతుల ద్వారా జరుగుతుంది. అవి ఉష్ణవహనం, ఉష్ణసంవహనం మరియు ఉష్ణవికిరణం. ఉష్ణవహనం మరియు ఉష్ణసంవహనాల్లో ఉష్ణప్రసరణ అణువుల చలనం ద్వారా జరుగుతుంది. అది ఏవిధంగా జరుగుతుందో అర్థం చేసుకుందాం.

ఘనపదార్థాల్లో సాధారణంగా ఉష్ణప్రసరణ ఉష్ణ వహనం ద్వారా జరుగుతుంది. ఘన పదార్థాల్లో అణువులు దృఢంగా బంధించబడి ఉంటాయని మనకు తెలుసు. వేడిచేసినప్పుడు అవి వాటి స్థానాలను వదలి వెళ్ళలేవు. అవి వాటి సమతాస్థితి స్థానం పరంగా కంపిస్తాయి. (పటం 11.1) లో చూపినట్లు లోహపు కడ్డీ యొక్క ఒక చివర వేడిచేసినప్పుడు వాటి చలనానికి ఏమవుతుందో అర్థంచేసుకుందాం. A చివర ఉండే అణువులు వేడెక్కడం వల్ల వాటి గతిశక్తులు పెరుగుతాయి. గతిశక్తి పెరగడం వల్ల అవి వాటి మధ్యమ స్థానాల పరంగా కంపిస్తాయి. ఈ ప్రక్రియలో వాటి గతిశక్తిలో కొంత భాగం వాటిని ఆనుకొని ఉండే దగ్గర అణువులకు ఇస్తాయి. ఈ అణువులు మరల వాటి గతిశక్తిలో కొంత భాగం వాటి ప్రక్కనే ఉండే అణువులకు ఇస్తాయి. ఇదే ప్రక్రియ కొనసాగి కడ్డీ యొక్క రెండవ చివర B వద్ద ఉండే అణువులకు గతిశక్తి (K.E.) చేరుతుంది. సరాసరి గతిశక్తి ఉష్ణోగ్రతకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది కనుక B చివర వేడెక్కుతుంది. ఆవిధంగా ఉష్ణవహనంలో ఉష్ణం అణువు నుండి అణువుకు సరఫరా అవుతుంది. ఈ ప్రక్రియలో అణువులు స్థానచలనం చెందకుండా సగటు సమతాస్థితి స్థానం పరంగా కంపించి శక్తిని ఒక దాని నుండి మరొక దానికి బదిలీ చేస్తాయి.



పటం 11.1 లోహపు కడ్డీలో ఉష్ణవహనం



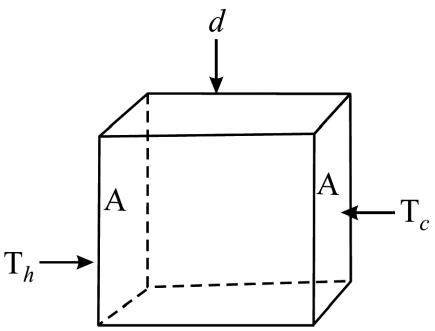
పటం 11.2 వేడిచేసిన నీటిలో సంవహన ప్రవాహం

ఉష్ణ సంవహనంలో ప్రవాహిల అణువులు ఉష్ణశక్తిని గ్రహించి స్థానచలనం చెందుతాయి. దీన్ని చూడాలంటే ఒక గాజు పాత్రలో నీరు తీసుకొని నీటి అడుగున పోటాషియం పెర్మాంగనేట్ ($KMnO_4$) స్ఫటికాలను వేయండి. పాత్ర అడుగుభాగాన బర్నర్‌తో వేడిచేయండి. పాత్ర అడుగు భాగానికి దగ్గరగా ఉండే ప్రవాహి వేడెక్కి వ్యాకోచిస్తుంది. నీటి సాంద్రత తగ్గడంవల్ల ఉత్ప్లవన బలం దీనిని పైకి కదిలేలా చేస్తుంది. (పటం 11.2) వేడి నీరు పైకి పోవడంవల్ల చల్లని మరియు హెచ్చు సాంద్రతగల నీరు కిందకి వచ్చి ఆ స్థానాన్ని ఆక్రమిస్తాయి. ఆవిధంగా వేడి నీరు పైకి మరియు చల్లని నీరు కిందకి పోయే సంవహన ప్రవాహం ఏర్పడుతుంది. నీరు క్రమంగా వేడెక్కుతుంది. $KMnO_4$ స్ఫటికాలు వాటిని ఎరుపు రంగులోకి మారుస్తాయి కాబట్టి ఈ సంవహన ప్రవాహాలను చూడవచ్చు.

ఉష్ణ వికిరణంలో ఉష్ణశక్తి తరంగాల రూపంలో ప్రవహిస్తుంది. ఈ తరంగాలు శూన్యంలో కూడా ప్రయాణించగలవు. వీటి ప్రసరణకు ఏరకమైన పదార్థ యానకం అవసరం లేదు. సూర్యుని నుండి మనకు లభించే ఉష్ణంలో చాలా భాగం వికిరణం ద్వారానే లభిస్తుంది.

11.1.1 ఉష్ణవహనం (Conduction)

అడ్డుకోత వైశాల్యం A మరియు మందం d గల దీర్ఘ చతురస్రాకారపు దిమ్మెను తీసుకుందాం. దాని తలాలు T_h మరియు T_c $(< T_h)$ ఉష్ణోగ్రతల వద్ద పటం 11.3లో చూపినట్లు ఉన్నాయనుకుందాం. ఒక ముఖం నుండి రెండవ ముఖానికి ప్రవహించే ఉష్ణరాశి (Q) ఆధారపడి ఉండే అన్ని అంశాలను పరిగణనలోకి తీసుకుందాం. ముఖ వైశాల్యం A పెరిగితే ఉష్ణప్రసారం ఎక్కువగా ఉంటుందని $(Q \propto A)$ మనం చూడగానే గ్రహించగలం. ఇంకా మందం ఎక్కువగా ఉంటే ఉష్ణప్రసారం తక్కువ $\left(Q \propto \frac{1}{d}\right)$ గా ఉంటుంది.



పటం 11.3 ఒక పలక ద్వారా ఉష్ణ ప్రసారం మందం d, ముఖ వైశాల్యం A, T_h, T_c లు తలాల ఉష్ణోగ్రతలు

రెండు ముఖాల మధ్య గల ఉష్ణోగ్రత భేదం $(T_h - T_c)$ ఎక్కువగా ఉంటే ఉష్ణప్రసారం కూడా ఎక్కువగా ఉంటుంది. చివరగా ఉష్ణప్రసార సమయం (t) ఎక్కువగా ఉంటే కూడా ఉష్ణప్రసారం (Q) ఎక్కువగా ఉంటుంది.

గణితాత్మకంగా కింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$Q \alpha \frac{A(T_h - T_c)t}{d}$$

లేదా $$Q = \frac{KA(T_h - T_c)t}{d} \qquad (11.1)$$

ఇక్కడ K పలక పదార్థ స్వభావంపై ఆధారపడి ఉండే స్థిరాంకం. దీన్ని ఉష్ణవహన గుణకం లేదా పదార్థం యొక్క ఉష్ణవహనం అంటారు.

ఉష్ణవహన గుణకం (K) (Coefficient of thermal conductivity)

పదార్థం యొక్క ఏకాంక అడ్డుకోత వైశాల్యానికి లంబంగా, ఏకాంక ఉష్ణోగ్రతా ప్రవణత ద్వారా సెకనుకు జరిగే ఉష్ణరాశి ప్రసారాన్ని ఉష్ణవహన గుణకం అంటారు.

ఉష్ణవహన గుణకానికి SI ప్రమాణాలు $Wm^{-1}K^{-1}$,

కొన్ని పదార్థాల K విలువలు పట్టిక 11.1 నందు ఇవ్వబడ్డాయి.

పట్టిక - 11.1 కొన్ని పదార్థాల ఉష్ణవహన గుణకాలు

పదార్థం	ఉష్ణవహన గుణకం ($Wm^{-1}K^{-1}$)
రాగి	400
అల్యూమినియం	240
కాంక్రీటు	1.2
గాజు	0.8
నీరు	0.6
గాలి	0.025
థర్మోకోల్	0.01

ఉదాహరణ 11.1

ఒక ఘన థర్మోకోల్ పెట్టె మంచుతో నిండుగా ఉంది. దాని పక్క పొడవు 30 సెం.మీ. మరియు మందం 5 సెమీ పెట్టె బయటి ఉష్ణోగ్రత 45°C అయితే 6 గంటల్లో కరిగే మంచు పరిమాణాన్ని అంచనా వేయండి. (థర్మోకోల్‌కు $K = 0.01\ Js^{-1}m^{-1}°C^{-1}$ మంచు ద్రవీభవన గుప్తోష్ణం = $335\ Jg^{-1}$)

సాధన :

సమీకరణం 11.1 ఉపయోగించి పెట్టె యొక్క ఒక ముఖం గుండా లోపలికి ప్రవేశించే ఉష్ణరాశిని పొందవచ్చు.

$$K = 0.01\ Js^{-1}m^{-1}°C^{-1}$$

$$T_h - T_c = 45°C - 0°C = 45°C$$

$$t = 6 \text{ hours} = 6 \times 60 \times 60 \text{ sec}$$

$$A = 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} = 900 \times 10^{-4}\ m^2$$

$$d = 5 \text{ cm} = 5 \times 10^{-2}\ m$$

$$L = 335\ J\ g^{-1}$$

$$Q = \frac{KA(T_h - T_c)t}{d}$$

$$Q = \frac{0.01 \times 900 \times 10^{-4} \times 45 \times 6 \times 60 \times 60}{5 \times 10^{-2}}$$

$$Q = 10496\ J$$

థర్మోకోల్ పెట్టెకు 6 ముఖాలు ఉంటాయి కనుక

పెట్టెలోపలికి ప్రవేశించే మొత్తం ఉష్ణం $Q = 10496 \times 6\ J$

$m = \frac{Q}{L}$ సమీకరణం ఉపయోగించి కరిగిన మంచు ద్రవ్యరాశి లెక్కించవచ్చు.

$$m = \frac{Q}{L} = \frac{10496 \times 6}{335} = 1878\,g$$

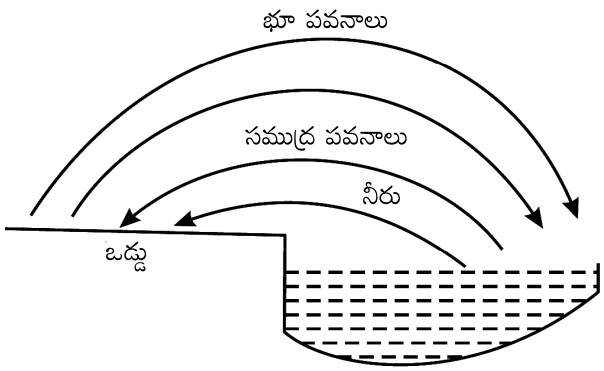
$$m = 1.878\ kg$$

పట్టిక 11.1ని పరిశీలిస్తే రాగి, అల్యూమినియం వంటి లోహాలు అధిక వాహకత కలిగి ఉన్నట్లు తెలుస్తుంది. అంటే రాగి గుండా ఉష్ణం సులువుగా ప్రవహిస్తుందని అర్థం. అందుకే వంట పాత్రలు మరియు వేడిచేసే పాత్రలను రాగితో తయారుచేస్తారు. గాలి, థర్మోకోల్‌లు చాలా తక్కువ ఉష్ణవాహకత్వం కలిగి ఉంటాయి అనే విషయం కూడా గమనించవచ్చు. K విలువ తక్కువగా ఉండే పదార్థాలను ఉష్ణబంధకాలు అంటారు. శీతాకాలంలో మనం ఉన్ని దుస్తులను ధరిస్తాం. ఉన్ని దారాపు పోగుల మధ్య బంధించిబడ్డ గాలి మన శరీరం నుండి ఉష్ణం నష్టం కాకుండా కాపాడుతుంది ఊలు మంచి ఉష్ణబంధకం ఎందుకంటే దాని ధారాల మధ్య గాలి బంధింపబడి ఉంటుంది. ఇది బంధించిన ఉష్ణం వలన మనకు వేడిగా ఉంటుంది. నూలు వస్త్రాలను ఒకదానిపై ఒకటి పొరలుగా ఏర్పరచినపుడు పొరల మధ్య బంధించబడ్డ గాలి చల్లదనాన్ని ఆపుతుంది. వేసవిలో మంచు కరగకుండా కాపాడటానికి దాన్ని థర్మోకోల్ పెట్టెలో ఉంచుతారు. కొన్నిసార్లు మంచు దిమ్మెను తక్కువ ఉష్ణవాహకతగల గోనె సంచిలో చుట్టి ఉంటుతారు. దీనికి (గొనెకు) కూడా తక్కువ ఉష్ణవాహకత్వం ఉంటుంది.

11.1.2 ఉష్ణసంవహనం (Convection))

వేడిగా ఉన్న రోజున సరస్సు లేదా సముద్రం పక్కనే నడుస్తున్నప్పుడు మనకు చల్లని గాలి తగలడం సామాన్యమైన అనుభవం. దానికి కారణం తెలుసా? కనుగొందాం.

సరస్సు లేదా సముద్రంలోని నీరు నిరంతరం ఆవిరి అవుతుండటంవల్ల ఆ నీటి ఉష్ణోగ్రత తగ్గుతుంది. ఒడ్డున గల వేడిగాలి పైకి కదులుతుంది (పటం 11.4). దీనివల్ల ఒడ్డున పీడం తగ్గుతుంది. ఫలితంగా నీటి తలంపై చల్లని గాలి ఒడ్డునకు వీస్తుంది. ఈ సంవహన ప్రవాహాల ఫలితంగా, వేడిగా ఉండే ఒడ్డు నుండి చల్లగా ఉండే నీటి తలంపైకి ఉష్ణ ప్రసారం జరుగుతుంది. ఉష్ణప్రసారం జరిగే రేటు చాల అంశాలపై ఆధారపడి ఉంటుంది. ఉష్ణవహనంలోవలె ఉష్ణ సంవహనానికి సామాన్య సమీకరణాలు లేవు. అయినప్పటికీ ఉష్ణసంవహనం ద్వారా ఉష్ణ ప్రసారం జరిగే రేటు తలాల మధ్యగల ఉష్ణోగ్రతా భేదం మరియు వాటి వైశాల్యాలపై ఆధారపడుతుంది.



పటం 11.4 సంవహన ప్రవాహాలు ఒడ్డు నుండి వేడిగాలి పైకిలేచి చల్లని నీటి వైపుకు కదులుతాయి. నీటి నుండి ఒడ్డుకు జరిగే సంవహన ప్రవాహాన్ని చల్లనిగాలిగా మనం అనుభవిస్తాం.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 11.1

1. ఉష్ణవహనం మరియు ఉష్ణ సంవహనాల మధ్య భేదాలు తెలపండి.
2. K యొక్క ప్రమాణాలు $Js^{-1}\ m^{-1}\ °C^{-1}$ ను సరిచూడండి.
3. శీతాకాలంలో మనుషులు కంబళ్ళు ఎందుకు కప్పుకుంటారో వివరించండి.
4. 1 m^2 తల వైశాల్యం, 1 m మందం, ఉష్ణవహన గుణకం K గల పదార్థంతో చేయబడ్డ ఘనం యొక్క ఎదురెదురు ముఖాలు 1 °C ఉష్ణోగ్రతా భేదం వద్ద ఉంచబడ్డాయి. ఒక సెకనులో ఘనం తలాల మధ్య జరిగిన ఉష్ణాన్ని లెక్కించండి. దాని నుండి K కు సంఖ్యాత్మక నిర్వచనం ఇవ్వండి.
5. వేసవి కాలంలో భూమిపై గల పదార్థాలు బాగా వేడెక్కుతాయి. కాని సముద్రంపై ఉన్న గాలి వేడెక్కదు. ఇది సముద్ర పవనాలు కలగచేస్తుందని వివరించండి.

11.1.3 ఉష్ణవికిరణం (Radiation)

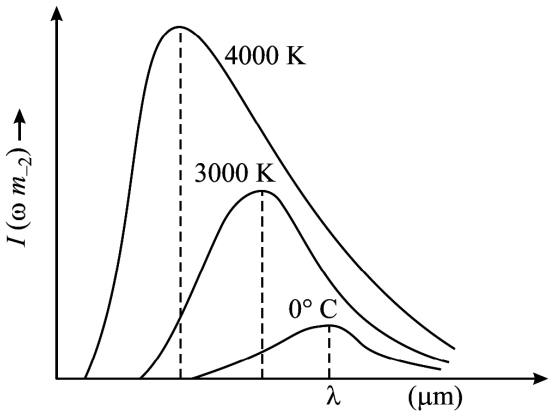
ఒక వస్తువు తలం నుండి నిర్విరామంగా శక్తి ఉద్గారం చేయడాన్ని వికిరణంగా చెప్పవచ్చు. ఈ శక్తిని వికిరణ శక్తి అంటారు. ఇది విద్యుదయస్కాంత తరంగాల రూపంలో ఉంటుంది. ఈ తరంగాలు కాంతివేగం ($3 \times 10^8\ ms^{-1}$) తో ప్రయాణిస్తాయి. ఇవి గాలి మరియు శూన్యంలలో కూడా ప్రయాణిస్తాయి. ఇవి నునుపు తలం నుండి తేలికగా పరావర్తనం చెందించవచ్చు మరియు కటకం సహాయంతో కేంద్రీకరించవచ్చు.

అన్ని వస్తువులు వాటి ఉష్ణోగ్రతకు అభిలక్షణమైన తరంగదైర్ఘ్యాలతో వికిరణాన్ని ఉద్గారం చేస్తాయి. 6000 K ఉష్ణోగ్రత వద్ద సూర్యుడు దృశ్య వర్ణపటంలో ప్రధానంగా శక్తిని ఉద్గారం చేస్తాడు. భూమి ఆదర్శ వికిరణ ఉష్ణోగ్రత 295 K వద్ద విద్యుదయస్కాంత వర్ణపటంలో గల పరారుణ ప్రాంతం చివరలో (ఉష్ణ) శక్తిని ఉద్గారం చేస్తుంది మానవ శరీరం కూడా పరారుణ ప్రాంతంలో శక్తిని ఉద్గారం చేస్తుంది.

ఇప్పుడు మనం ఒక చిన్న ప్రయోగాన్ని చేద్దాం. చీకటి గదిలో నల్లటి పూతపూసిన ప్లాటినం తీగను తీసుకుందాం. దాని గుండా విద్యుత్ ప్రవహింపచేద్దాం. తీగ వేడెక్కడం మీరు గమనించవచ్చు. క్రమంగా విద్యుత్ ప్రవాహ పరిమాణం పెంచండి. కొద్ది సమయం తరవాత తీగ వికిరణం చేయడం మొదలు పెడుతుంది. కొద్దిగా ఎక్కువ బలంగల విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని పంపితే తీగ కాంతి విహీనమైన ఎరుపు రంగులో దీప్తినిస్తుంది. ఇది మానవుని కంటికి హానిచేయడానికి సరిపడే తీవ్రతగల ఎరుపు వికిరణాన్ని తీగ ఉద్గారం చేస్తున్నదని తెలుస్తుంది. ఇది సుమారు 525°C వద్ద జరుగుతుంది. ఉష్ణోగ్రత ఇంకా పెంచినప్పుడు వికిరణం యొక్క రంగు కాంతిహీనంగా ఉండే ఎరుపు నుండి ఎర్రని ఎరుపు రంగు (సుమారు 900°C వద్ద) కు, తరవాత నారింజ రంగుకు (సుమారు 1100°C వద్ద) రంగుకు, ఆ తరవాత పసుపుకు (సుమారు 1250°C వద్ద) మారుతూ దాదాపు 1600°C వద్ద తెలుపుగా మారుతుంది. దీని నుండి మీరు ఏమి గ్రహిస్తారు? దీప్తినిచ్చే వస్తువు యొక్క రంగును బట్టి దాని ఉష్ణోగ్రతను అంచనావేయవచ్చు అని తెలుస్తోంది. ఇంకా ఉష్ణోగ్రతను పెంచినప్పుడు తక్కువ తరంగదైర్ఘ్యంగల తరంగాలు (ఎరుపు రంగు యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం ఆరంజి, పసుపు రంగుల తరంగదైర్ఘ్యాలకంటె ఎక్కువ) కూడా తగినంత తీవ్రతలో ఉద్గారం అవుతాయి. తీగ యొక్క ఉష్ణోగ్రత 525°C కంటె తక్కువ ఉన్నప్పుడు ఎరుపు కంటె ఎక్కువ తరంగదైర్ఘ్యం గల తరంగాలను ఉద్గారం చేస్తుందని పై చర్చకు విపర్యంగా మీరు గ్రహించవచ్చు. కాని ఈ తరంగాలు వాటి ఉష్ణ ఫలితంతో మాత్రమే గుర్తించగలం.

11.2 వికిరణ నియమాలు (Laws of Radiation)

ఏ ఉష్ణోగ్రత వద్దనైనా ఒక వస్తువు ఉద్గారించిన వికిరణ శక్తి వేరువేరు తరంగదైర్ఘ్యాలు గల తరంగాల మిశ్రమం. ఉద్గార తీవ్రత అత్యధికంగా ఉండే తరంగాలు ఒక ప్రత్యేక తరంగదైర్ఘ్యాన్ని (λ_m) కలిగి ఉంటాయి. 400°C వద్ద రాగి దివ్మెకు λ_m విలువ సుమారు 5×10^{-4}cm లేదా 5 μm (ఒక మైక్రాన్ $\mu m = 10^{-6}$ మీ) ఉంటుంది. ఈ విలువ కంటె తరంగదైర్ఘ్యం పెరిగినా లేదా తగ్గినా తీవ్రత తగ్గుతుంది (పటం 11.5).



పటం 11.5 వేరు వేరు ఉష్ణోగ్రతల వద్ద తరంగదైర్ఘ్యంతో కృష్ణవస్తువు వికిరణ తీవ్రతలో మార్పులు

ప్రతి వక్రంకు క్షితిజ సమాంతర అక్షానికి మధ్యగల వైశాల్యం ఆ ఉష్ణోగ్రత వద్ద మొత్తం వికిరణ రేటును తెలియచేస్తుంది. పటం 11.5 లో చూపిన వక్రాలను పరిశీలించిన తరవాత కింద తెలిపిన యదార్థాలను సరిచూడండి.

1. ఒక ప్రత్యేక ఉష్ణోగ్రత వద్ద వికిరణం జరిగే రేటు (ప్రతీ వక్రానికి, క్షితిజ సమాంతర అక్షానికి మధ్యగల వైశాల్యం) ఉష్ణోగ్రతతో వేగంగా పెరుగుతుంది.
2. ప్రతి వక్రం కచ్చితమైన గరిష్ఠ శక్తి మరియు దానికనుగుణమైన తరంగదైర్ఘ్యం λ_m కలిగి ఉంటాయి. (అనగా గరిష్ఠ తీవ్రత కలిగిన తరంగం యొక్క తరంగదైర్ఘ్యం) ఉష్ణోగ్రత పెంచినప్పుడు λ_m తక్కువ తరంగదైర్ఘ్యం వైపుకు విస్తాపనం చెందుతుంది.

రెండవ యదార్థాన్ని పరిమాణాత్మకంగా వీన్ స్థానభ్రంశ నియమంగా చెప్పవచ్చు.

వీన్ స్థానభ్రంశ నియమం (Wien's displacement law) : వస్తువు యొక్క ఉష్ణోగ్రత పెరిగినప్పుడు విలువ తక్కువ తరంగదైర్ఘ్యంవైపుకు విస్తాపనం చెందుతుంది. ఈ నియమం కృష్ణ వస్తువులకు మాత్రమే కచ్చితంగా వర్తిస్తుంది. గణితాత్మకంగా ఒక వస్తువు ఒక ఉష్ణోగ్రతవద్ద ఉద్గారంచేసే వికిరణానికి $\lambda_m T$ ల యొక్క లబ్ధం స్థిరం అని చెప్పవచ్చు.

$$\lambda_m T = \text{స్థిరం} \qquad \ldots \qquad (11.2)$$

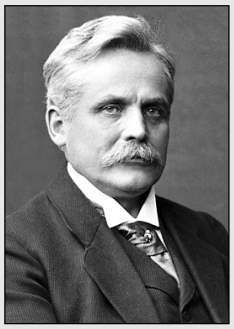
సమీకరణం 11.2 లోని స్థిరరాశి యొక్క విలువ 2.884×10^{-3} m K అంతరిక్షంలోని వస్తువులతో సహా వికిరణం చేసే అన్ని వస్తువుల ఉష్ణోగ్రతలు తెలుసుకోవడానికి ఈ సూత్రం ఉపయోగిస్తుంది. చంద్రుడు ఉద్గారంచేసే వికిరణ వర్ణపటం యొక్క గరిష్ఠ విలువ $\lambda_m = 14\times10^{-6}\,m = 14$ మైక్రాన్‌లు 11.2 సమీకరణం ఉపయోగించి కింది విధంగా పొందవచ్చు.

$$T = \frac{b}{\lambda_m} = \frac{2884\times10^{-6}\,m}{14\times10^{-6}\,m}$$

అనగా చంద్రుని తలం యొక్క ఉష్ణోగ్రత 206 K ఉంటుంది.

వెల్మ్ వీన్ (Wilhelm Wien)

1864 - 1928



వెల్మ్ వీన్ 1911 లో భౌతికశాస్త్రంలో నోబెల్ బహుమతి గ్రహీత. ఈయన తూర్పు పర్షియా దేశానికి చెందిన భూస్వామి కుమారుడు. పర్షియాలో స్కూలు విద్యాభ్యాసం ముగిసిన తరవాత కళాశాల చదువుకై జర్మనీ దేశం వెళ్ళాడు. బెర్లిన్ విశ్వవిద్యాలయంలో ప్రముఖ భౌతికశాస్త్రవేత్త అయిన హెల్మ్‌హోల్ట్జ్ (Helm Holtz) పర్యవేక్షణలో కాంతి వివర్తనం (Diffraction) పై చేసిన పరిశోధనకుగాను 1886 వ సంవత్సరంలో డాక్టరేట్ పట్టా పొందాడు. అతనికి వృత్తిపరంగా ఎంతోపేరు ఉంది.

Aix-la-chappelle నందు 1896 వ సంవత్సరంలో ఫిలిప్ లెనార్డ్ (Philip Lenard) తరవాత భౌతికశాస్త్రంలో ఆచార్య హోదా పొందాడు. 1899లో గిస్సేన్ విశ్వవిద్యాలయం (University of Giessen) లో ఆచార్య W.C రోయింజన్ (W.C. Roentgen) తరవాత ఆచార్య స్థానాన్ని పొందాడు. 1902 వ సంవత్సరంలో లీప్‌జిగ్ విశ్వవిద్యాలంయం వారు లూడ్వింగ్ బోల్ట్జ్‌మన్ (Ledwing Boltzmann) తరవాత స్థానాన్ని భర్తీచేయడానికి ఆహ్వానించారు. 1906లో బెర్లిన్ విశ్వ విద్యాలయంలో డ్రూడ్ (Drude) తరవాత స్థానాన్ని ఆహ్వానించారు. పొందాడు. కాని ఈ ఆహ్వానాలను అతడు తిరస్కరించాడు. 1920లో మ్యూనిచ్‌లో (Munich) భౌతికశాస్త్రంలో ఆచార్యునిగా నియమించబడి చివరివరకు అక్కడే పనిచేసాడు.

11.2.1 కిర్ఛాఫ్ నియమాలు (Kirchhoff's Laws)

ఇంతకు ముందు చెప్పినట్లు ఏదైన తలంపై ఉష్ణవికిరణం పడినప్పుడు దానిలో కొంత భాగం పరావర్తనం, కొంత భాగం శోషణం మరి కొంత భాగం వస్తువు గుండా ప్రసారం జరుగుతుంది. ఒక ప్రత్యేక తరంగదైర్ఘ్యం λ వద్ద, ఒక తలానికి r_λ, a_λ మరియు t_λ లు వరసగా తలంపై పతనమైన మొత్తం శక్తిలో పరావర్తనం చెందిన, శోషించిన మరియు ప్రసరించిన శక్తులను సూచిస్తే మనం కింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$r_\lambda + a_\lambda + t_\lambda \qquad \ldots \qquad (11.3)$$

ఒక వస్తువుకు $r_\lambda = t_\lambda = 0$ మరియు $a_\lambda = 1$ అయినప్పుడు మాత్రమే దానిని పరిపూర్ణ కృష్ణవస్తువు అంటాం. అంటే కృష్ణ వస్తువు తలంపై పతనమయిన శక్తి అంతా శోషణం జరుగుతుంది. ప్రకృతిలో అట్టి పరిపూర్ణ కృష్ణవస్తువు ఉండదు. దీపపు మసి పరిపూర్ణ కృష్ణవస్తువుకు దరిదాపు దగ్గరగా ఉంటుంది. ఇది దృశ్య కాంతిలో దాదాపు 96% మరియు ప్లాటినం నలుపు సుమారు 98% శోషిస్తాయి. ఇది ఎక్కువ తరంగదైర్ఘ్యంగల కాంతిని తనగుండా ప్రసరింపచేస్తుంది.

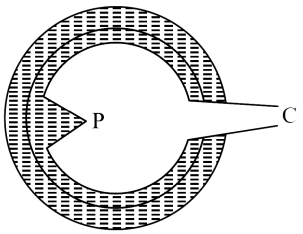
పరిపూర్ణ తెల్లని వస్తువు (Perfectly white body) : పరిపూర్ణ కృష్ణ వస్తువుకు భిన్నంగా $a_\lambda = 0, t_\lambda = 0$ మరియు $r_\lambda = 1$ గా గల తలాన్ని పరిపూర్ణ తెల్లని వస్తువు అంటారు. తెల్లని సుద్ద పొడిని పరిపూర్ణ తెల్లని వస్తువుగా సుమారు ఉదాహరణగా చెప్పవచ్చు.

ఉత్తమ శోషకాలు, ఉత్తమ ఉద్గారకాలు కూడా అవుతాయని దీని అర్థం. కాని ప్రతి వస్తువు దానిపై పతనమయిన వికిరణాన్ని శోషించడంగాని పరావర్తనం చెందించడంగాని చేస్తుంది. దీన్ని బట్టి ఒక ఉత్తమ శోషకం, అధమ పరావర్తకం (లేదా ఉత్తమ ఉద్గారకం) అవుతుంది.

పరిపూర్ణ కృష్ణ వస్తువును రూపకల్పన చేయుట

చిన్న రంధ్రంగల ఆవరణాన్ని ఏకరీతిగా వేడిచేసినప్పుడు అది కృష్ణ వస్తువు ఉద్గారంవలె ఉద్గారిస్తుంది.

అటువంటి ఆవరణం పతన వికిరణాలకు కూడా పరిపూర్ణ కృష్ణ వస్తువు వలె ప్రవర్తిస్తుంది. రంధ్రం గుండా ప్రవేశించిన వికిరణాలు ఆవరణలోనే అనేక అంతర పరావర్తనాలు చెంది బయటకు రాలేవు. ఆవరణం యొక్క లోపలి తలాన్ని నలుపు చేయడం ద్వారా దీనిని మరింత అభివృద్ధి చేయవచ్చు. కనుక ఆవరణం పరిపూర్ణ శోషకం మరియు పరిపూర్ణ కృష్ణ వస్తువువలె ప్రవర్తించును.



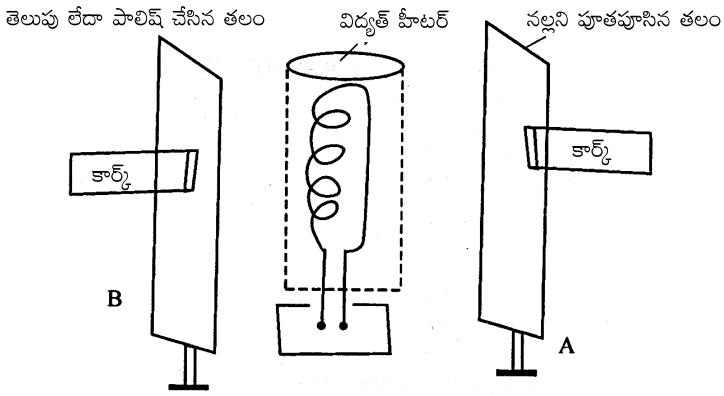
పటం 11.6 ఫెర్రి కృష్ణవస్తువు

పటం 11.6 ఫెర్రి కృష్ణవస్తువును చూపుతుంది. రంధ్రంగల గుల్ల గోళం లోపలి తలం నల్లని పదార్థంతో పూతపూయబడి ఉంటుంది. అది O అనే శంఖు ఆకారపు ప్రవేశం కలిగి ఉంటుంది. O రంధ్రాన్నికి ఎదురుగా గుల్ల గోళం లోపల P అనే శంఖువు ఆకారపు విక్షేపం అమర్చబడి ఉంటుంది. ఇది రంధ్రం నుండి తిన్నగా లోపలికి ప్రవేశించే వికిరణాలు బయటకు పోకుండా చేస్తుంది. లేనిచో వస్తువు పరిపూర్ణ కృష్ణవస్తువు కాజాలదు.

కృత్యం 11.1

తెల్లగా మెరుస్తూ ఉండే తలానికంటె నల్లని తలం ఉష్ణవికిరణాలను ఎక్కువ త్వరగా శోషణం చేస్తుందని చదువుకున్నారు. ఈ ఫలితాన్ని పరిశీలించడానికి కింది ప్రయోగాన్ని మీరు చేయవచ్చు.

A మరియు B అనే రెండు లోహపు పలకలను తీసుకోండి. A పలక యొక్క ఒక తలానికి నల్లని పూతపూసి, B పలక యొక్క ఒక తలాన్ని పాలిష్ చేయండి. ఈ పలకలను విద్యుత్ హీటరుకు ఇరువైపులా వాటి యొక్క నలుపు తలం మరియు పాలిష్ చేసిన హీటరు వైపుకు ఉండేలా స్టాండుకు బిగించవలెను. రెండు పలకలు హీటరు నుండి సమాన దూరంలో ఉండేలా చూడాలి. మైనం సహాయంతో ఒక కార్కును ప్రతి పలక యొక్క పూతలేని తలాలపై అంటించాలి.



పటం 11.7 నలుపు, తెలుపు పూతపూసిన తలాల శోషణలోని భేదాలను చూపడం

విద్యుత్ హీటరును వెలిగించాలి. రెండు పలకలు సర్వసమానం మరియు హీటరుకు సమాన దూరంలో ఉన్నాయి. కనుక అవి ఒకే పరిమాణంగల వికిరణాన్ని గ్రహిస్తాయి. నలుపు పూతపూసిన పలక వెనకగల కార్కు ముందుగా పడిపోవడం గమనిస్తారు. ఎందుకంటే నలుపు తలం తెలుపు లేదా పాలిష్ చేసిన తలాలకంటె అధిక ఉష్ణాన్ని గ్రహిస్తుంది. నల్లని తలాలు ఉత్తమ శోషకాలు అని రుజవయినది.

11.2.2 స్టీఫాన్ - బోల్ట్జ్‌మన్ నియమం (Stefan - Boltzmann Law)

A వైశాల్యంగల తలం నుండి ఒక సెకనులో ఉద్గారమయ్యే వికిరణ శక్తి దాని పరమ ఉష్ణోగ్రత యొక్క నాలుగవ ఘాతానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుందని స్టీఫాన్ మరియు బోల్ట్జ్‌మన్ శాస్త్రజ్ఞులు ప్రయోగ ఫలితాలద్వారా నిర్ణయించారు.

$$E = \sigma A e T^4 \qquad \ldots \qquad (11.4)$$

ఇక్కడ σ స్టీఫాన్ - బోల్ట్జ్‌మన్ స్థిరాంకం. దీని విలువ $5.672\times10^{-8}\,J\,m^{-2}s^{-1}k^{-4}$ ఉష్ణోగ్రతను కెల్విన్‌లలో చెప్పారు. e = ఉద్గారత లేదా సాపేక్ష ఉద్గారం. ఇది తలం యొక్క స్వభావం మరియు దాని ఉష్ణోగ్రతలపై ఆధారపడుతుంది. e యొక్క విలువ 0 కి మరియు 1 ల మధ్య ఉంటుంది. ఇది పాలిష్ చేసిన తలాలకు తక్కువగాను, పరిపూర్ణ కృష్ణ తలాలకు 1 గాను ఉంటుంది.

సమీకరణం (11.8) నుండి అన్ని వస్తువుల యొక్క తలాలు నిర్విరామంగా ఉష్ణాన్ని వికిరణం చేస్తూంటే అవి వాటి వద్ద ఉన్న అంతర్గత శక్తి అంతా కూడా వికిరణం చేసి పరమశూన్య ఉష్ణోగ్రతకు ఎందుకు చల్లారలేవు? అనిపించవచ్చు. వేరే విధంగా వాటికి శక్తి సరఫరా కాకపోతే అవి అలానే చేసేవి. వాస్తవానికి అన్ని వస్తువులు ఉష్ణశక్తిని వికిరణం, శోషణం రెండూ ఏకకాలంలో చేస్తాయి. ఒక వస్తువు యొక్క ఉష్ణోగ్రత పరిసరాల ఉష్ణోగ్రతకు సమానంగా ఉన్నప్పుడు అది ఉద్గారించే రేటు, శోషణ చేసే రేటు సమానంగా ఉంటాయి. వస్తువు యొక్క శక్తిలో చివరకు లాభం గాని, నష్టంగాని ఉండదు. కనుక దాని ఉష్ణోగ్రతలో మార్పు ఉండదు. అయినప్పటికీ ఒక వస్తువు యొక్క ఉష్ణోగ్రత పరిసరాల ఉష్ణోగ్రత కంటె తక్కువగా ఉన్నప్పుడు అది చేసే ఉద్గార రేటు తక్కువగాను శోషణరేటు ఎక్కువగాను ఉంటుంది. వస్తువు యొక్క ఉష్ణోగ్రత పరిసరాల ఉష్ణోగ్రతకు సమానం అయ్యే వరకు పెరుగుతుంది. అదే విధంగా వస్తువు పరిసరాలకంటె ఎక్కువ ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్నప్పుడు దాని ఉద్గారరేటు ఎక్కువగాను శోషణరేటు తక్కువగాను ఉంటుంది. దాని శక్తిలో చివరకు నష్టం ఉంటుంది. కనుక T_1 ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న వస్తువుని T_2 ఉష్ణోగ్రత ఉన్న పరిసరంలో ఉంచినప్పుడు ఒక సెకనులో చివరకు నష్టపోయే శక్తిని కింది సమీకరణంతో పొందవచ్చు.

$$E_{net} = Ae\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right) \quad \text{for } T_1 > T_2 \qquad (11.5)$$

ఉదాహరణ 11.2

3000 K ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న 100 W ఉన్న జ్వలించే దీపం ఫిలమెంట్ యొక్క ఉపరితల వైశాల్యాన్ని లెక్కించండి. ఇక్కడ $\sigma = 5.7\times10^{-8}\,Wm^{-2}k^{-4}$ మరియు ఫిలమెంట్ యొక్క ఉద్గారత $e = 0.3$ గా తీసుకోండి.

సాధన :

స్టీఫాన్ - బోల్ట్జ్‌మన్ సూత్రం ప్రకారం $E = Ae\sigma T^4$

ఇక్కడ E = శక్తి ఉద్గారం చేసే రేటు, A = ఉపరితల వైశాల్యం, T = తలం యొక్క ఉష్ణోగ్రత

కనుక $$A = \frac{E}{\sigma e T^4}$$

ఇచ్చిన విలువలను ప్రతిక్షేపించగా

$$A = \frac{100\ \text{W}}{0.3 \times \left(5.7 \times 10^{-8}\ \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}\right) \times \left(3000\ \text{K}\right)^4}$$

$$E = 7.25 \times 10^{-5}\ \text{m}^2$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 11.2

1. ఏ తరంగదైర్ఘ్యం వద్ద 300 K ఉన్న రంధ్రం అత్యధిక వికిరణాలను ఉద్గారం చేస్తుంది?
2. వేసవి కాలంలో మనం లేత రంగు దుస్తులు ఎందుకు ధరిస్తాం?
3. కృష్ణ వస్తువు వికిరణాల యొక్క వర్ణ పట ప్రయోగం నుండి మనం గ్రహించే ముఖ్యమైన అంశం ఏది?
4. శరీర ఉష్ణోగ్రత 28° C గల వ్యక్తి 22° C ఉష్ణోగ్రత గల గదిలో ఉన్నాడు. అతడి శరీరం యొక్క ఉద్గారత ఒక ప్రమాణంగాను, అతడి శరీరం యొక్క వైశాల్యం 1.9 m^2 గాను తీసుకొని అతడి శరీరం నుండి వెలువడే వికరణ సామర్థ్యాన్ని లెక్కించండి.

11.3 సౌరశక్తి (Solar Energy)

భూమిపై లభించే శక్తి మొత్తానికి మూలం సూర్యుడే కాంతి మరియు ఉష్ణశక్తి రూపాల్లో వెలువడే సౌరశక్తిలో చాలా కొద్ది భాగాన్ని మాత్రమే భూమి గ్రహిస్తుంది. ఆ కొద్ది శక్తీ భూమిపై నివసించే జీవరాశుల అవసరాలకు ఎక్కువే. సౌరశక్తిని మనం ప్రతిభావంతంగా వినియోగించుకోగలిగితే ఏదో ఒక రోజున మన శక్తి అవసరాలకు పరిష్కారం లభిస్తుంది.

సౌర వికిరణాలతో సంబంధించిన కొన్ని ప్రాథమిక విషయాలను చర్చిద్దాం.

1. సౌర స్థిరాంకం (Solar Constant)

సూర్యుని యొక్క మొత్తం శక్తిలో ఎంత భాగం భూమిని చేరుతుందో లెక్కించాలంటే ముందుగా మనం ప్రమాణ వైశాల్యం గల భూతలం ఒక సెకనులో గ్రహించే శక్తిని లెక్కించాలి. ఈ శక్తినే సౌర స్థిరాంకం అంటాం. భూమిపై సౌరస్థిరాంకం యొక్క విలువ 11.36×10^3 W m^{-2}. సౌర స్థిరాంకాన్ని భూమి ఉపరితల వైశాల్యంతో గుణిస్తే భూమి ఒక సెకనులో గ్రహించే మొత్తం శక్తి వస్తుంది.

గణిత పరంగా మొత్తం శక్తి, $Q = 2\pi R_e^2 S$;

ఇక్కడ R_e = భూమి యొక్క వ్యాసార్ధం మరియు S = సౌర స్థిరాంకం

భూ ఉపరితలంలో సగభాగం $\left(\frac{4\pi}{2}R_e^2\right)$ మాత్రమే ఎప్పుడూ సూర్యకాంతితో ప్రకాశం అవుతుంది కనుక భూ ఉపరితలంలో సగం మాత్రమే పరిగణనలోకి తీసుకున్నాం.

కనుక,

$$Q = 2 \times 3.14 \times (6.4 \times 10^6)^2 \times (1.36 \times 10^3)$$

$$Q = 6.28 \times 55.71 \times 10^{15}$$

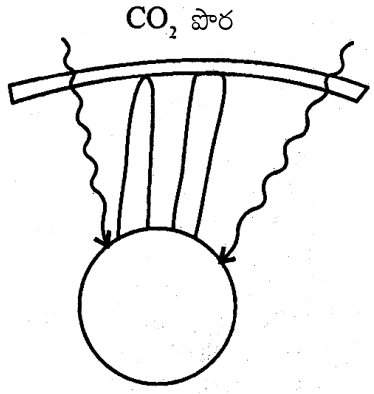
$$Q = 3.49 \times 10^{17}\ W$$

$$Q = 3.49 \times 10^{11}\ MW$$

2. గ్రీన్ హౌస్ ఫలితం (Greenhouse Effect)

భూమిపై జీవరాశులు మనుగడకు తగినంత పరిమాణంలో సౌరశక్తి అవసరం. జీవరాశుల మనుగడకు అవసరం అయిన ఉష్ణోగ్రతను సమకూర్చడంలో భూ వాతావరణం ముఖ్య పాత్ర వహిస్తుంది. ఇది జరిగే పద్ధతుల్లో గ్రీన్ హౌస్ ఫలితం ఒకటి.

గ్రీన్ హౌస్ ఫలితంలో మొక్కలు, పూలు, గడ్డి మొదలగునవి ఒక గాజు గదిలో ఉంచబడతాయి. కాంతిలోని తక్కువ తరంగదైర్ఘ్యంగల వికిరణాలను గాజు తనగుండా పోనిస్తుంది. ఈ వికిరణాలను మొక్కలు శోషిస్తాయి. ఇవి తరువాత వీటిని హెచ్చు తరంగదైర్ఘ్యంగల పరారుణ కిరణాలుగా తిరిగి ఉద్గారం చేస్తాయి. గాజు ఉష్ణానికి అపారదర్శకం కనుక హెచ్చు తరంగదైర్ఘ్యంగల వికిరణాలు గాజు గుండా బయటకు పలాయనం అయ్యే అవకాశం ఉండదు. గ్రీన్ హౌస్‌లో ఈ విధంగా బంధించబడిన ఉష్ణ వికిరణాలు దానిని వేడిగా ఉంచుతాయి.



పటం 11.8 గ్రీన్ హౌస్ ఫలితం

మన వాతావరణంలో కూడా దానికి అనుగుణమైన ఫలితమే జరుగుతుంది. వాతావరణంలో కొద్ది పరిమాణంలో గల బొగ్గుపులుసు వాయువు (Carbon dioxide, CO_2) దృశ్యకాంతికి పారదర్శకంగా ఉంటుంది. ఆవిధంగా సూర్యకాంతి వాతావరణం గుండా ప్రవేశించి భూతలాన్ని చేరుతుంది. ఈ కాంతిని భూమి శోషించి తిరిగి పరారుణ వికిరణాలుగా ఉద్గారిస్తుంది. కాని గాలిలో గల బొగ్గు పులుసు వాయువు (CO_2) పరారుణ కిరణాలకు అపారదర్శకంగా ఉంటుంది. బొగ్గుపులుసు వాయువు వీటిని వాతావరణంలోనికి పలాయనం చెందనీయకుండా వెనకకు పరావర్తనం చెందిస్తాయి. ఈ కారణంవల్ల భూమి యొక్క ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతుంది. ఈ ఫలితాన్నే గ్రీన్ హౌస్ ఫలితం అంటారు.

అభివృద్ధిచెందిన మరియు చెందుతున్న దేశాలు ఎక్కువ పరిమాణంలో CO_2 ను వాతావరణంలోకి చేరుస్తున్నాయి. గ్రీన్ హౌస్ ఫలితం వల్ల భూ వాతారవరణం వేడెక్కి భూమిపై గల జీవరాశుల మనుగడకు తీవ్రమైన సమస్యలు కలగచేస్తుంది. ఈ మధ్యనే ఐక్యరాజ్య సమితి CO_2 ను వాతావరణంలోనికి వదలవద్దని ప్రపంచదేశాలకు విజ్ఞప్తిచేసింది. ఎందుకంటే ఇప్పటికే మంచు కొండలు ఎక్కువ రేటులో కరిగిపోతున్నాయి.

సమీప భవిష్యత్తులో దీని వల్ల ఊహకందని విపరీత పరిణామాలు సంభవించవచ్చు. నదులకు వరదలు రావడం, సముద్రమట్టం పెరగడం వంటివి జరుగుతాయి. మంచు కొండలు కరగడం మొదలుపెడితే నీటి కొరత ఏర్పడటం, భూమి ఒరుసుకుపోవడంలాంటివి సంభవిస్తాయి. దీనివల్ల ఆహార సమస్యలు సృష్టించబడతామనే ప్రమాదం పొంచి ఉంది. మరియు వాతావరణంలోని మార్పులు వల్ల కొన్ని ప్రాంతాల్లో కరవుకాటకాలు మరికొన్ని ప్రాంతాల్లో వరదలు సంభవించవచ్చు.

భారతదేశానికి సంబంధించినంతవరకు అనుకూలంగా చర్యలు తీసుకొనకపోతే 2030 నాటికి గంగానది పరివాహక ప్రాంతంలో తీవ్ర సమస్యలు ఏర్పడతాయని అంచనా వేశారు. ఇంకా సముద్రంలోని నీరు, భూతలాన్ని ఆక్రమించడంవల్ల లక్షలాది ప్రజలు దీనస్థితి పొందుతారు.

11.4 న్యూటన్ శీతలీకరణ సూత్రం (Newton's law of cooling)

నిర్వచనం : వేడి వస్తువు చల్లబడే రేటు వస్తువు యొక్క సరాసరి ఉష్ణోగ్రతకు మరియు దాని పరిసరాలకు మధ్యగల ఉష్ణోగ్రతా భేదానికి (తక్కువగా ఉన్నప్పుడు) అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

దీన్ని స్టీఫాన్-బోల్ట్జ్‌మన్ సూత్రం నుండి రాబట్టవచ్చు. T k ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న వస్తువు T_0 k ఉష్ణోగ్రత వద్ద గల పరిసరంలో ఉన్నప్పుడు దాని యొక్క ప్రమాణ తలం నుండి ప్రమాణ కాలంలో నష్టపోయే ఉష్ణాన్ని కింది సమీకరణంతో చూపవచ్చు.

$$E = e\sigma(T^4 - T_0^4)A \qquad (11.6)$$

కాని, $(T^4 - T_0^4) = (T^2 - T_0^2)(T^2 + T_0^2) = (T - T_o)(T + T_o)(T^2 + T_0^2)$

Equation (11.6) becomes $E = e\sigma(T - T_0)(T + T_0)(T^2 + T_0^2)A$

$$E = e\sigma(T - T_0)(T^3 + TT_0^2 + T_0T^2 + T_0^3)A \qquad (11.7)$$

కనుక, $(T - T_0)$ విలువ చాలా తక్కువగా ఉన్నప్పుడు T^3, TT_0^2 మరియు T_0T^2 లను ప్రతిది దాదాపుగా T_0^3 గా తీసుకోవచ్చు.

So that $E = e\sigma(T - T_0)4AT_0^3$ (11.8)

ఇక్కడ $k = 4e\sigma AT_0^3$ స్థిరం

$$E = K(T - T_0)$$

$$E \propto (T - T_0) \qquad (11.9)$$

దీనినే న్యూటన్ శీతలీకరణ సూత్రం అంటారు.

"వ్యవస్థకు మరియు పరిసరాలకు మధ్య ఉష్ణోగ్రత బేధం ఎక్కువగా ఉన్నప్పుడు వేగంగా ఉష్ణప్రసారం జరుగుతుంది అనగా వేగంగా వస్తువు ఉష్ణోగ్రత మారుతుంది".

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 11.3

1. భూమి ఉపరితలంపై 40 m వెడల్పు, 50 m పొడవు గల తలం సూర్యుడి నుండి గ్రహించే సౌర శక్తిని లెక్కించండి.
2. శిలాజ ఇంధనాలను ఎక్కువగా ఉపయోగించడంవల్ల మానవ జీవితంపై కలిగే ప్రమాదాలు ఏమి?
3. ఒక ద్రవం చల్లబడే ప్రక్రియను తెలిపే వక్రం యొక్క ఆకారం ఎలా ఉంటుంది?

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- ఉష్ణం హెచ్చు ఉష్ణోగ్రత వద్ద గల వస్తువు నుండి తక్కువ ఉష్ణోగ్రత వద్ద గల వస్తువుకు ప్రవహిస్తుంది. ఉష్ణం మూడు విధాలుగా ప్రసరిస్తుంది. అవి ఉష్ణవహనం, ఉష్ణసంవహనం మరియు ఉష్ణవికిరణం.
- ఉష్ణవహనంలో ఉష్ణం ఒక అణువు లేదా పరమాణువు నుండి వేరొక అణువు లేదా పరమాణువుకు స్థిరస్థానాల పరంగా కంపించడంవల్ల ప్రవహిస్తుంది.
- ఉష్ణ సంవహనంలో వస్తువులోని అణువుల స్థాన చలనం వల్ల ఉష్ణప్రసారం జరుగుతుంది. ఉష్ణవికిరణంలో ఉష్ణం విద్యుదయస్కాంత తరంగాలుగా ప్రసారం అవుతునిది.
- In convection, heat is transferred by bodily motion of molecules.
- In radiation, heat is transferred through electromagnetic waves.
- ఉష్ణ వహనం ద్వారా ప్రవహించే ఉష్ణరాశిని కింది సమీకరణంతో పొందవచ్చు.

$$Q = \frac{K(T_h - T_c)At}{d}$$

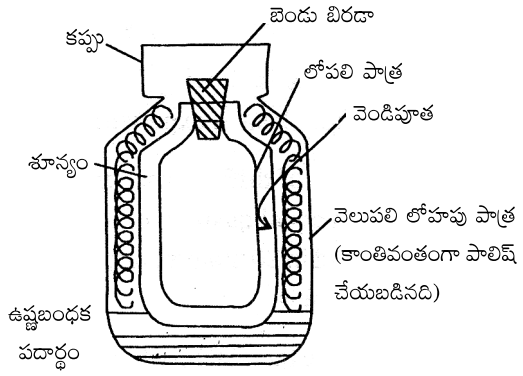
- **వీన్ నియమం :** T(K) వద్ద గల వస్తువు వికిరణం చేసే శక్తికి సంబంధించిన వర్ణపటానికి గరిష్ఠ తరంగదైర్ఘ్యం λ_m ఉంటుంది. ఇంకా $\lambda_m T$ = స్థిరం (2880 μK) అయ్యేటట్లు ఉంటుంది.
- **స్టీఫాన్ - బోల్ట్జ్‌మన్ నియమం:** T(K) వద్ద గల జనకం వికిరణం చేసే శక్తి, $E = esAT^4$ శోషణ సామర్థ్యాన్ని a ని కింది విధంగా నిర్వచించవచ్చు.

$$a = \frac{\lambda \text{ మరియు } (\lambda + d\lambda) \text{ ల మధ్య శోషణ చేసిన మొత్తం శక్తి}}{\lambda \text{ మరియు } (\lambda + d\lambda) \text{ ల మధ్య పతనమయిన మొత్తం శక్తి}}$$

- **ఉద్గార సామర్థ్యం (e_λ) :** ప్రమాణ తరంగదైర్ఘ్య అవధిలో ఒక చదరపు మీటరు తలవైశాల్యం ఒక సెకనులో ఇచ్చిన ఉష్ణోగ్రత వద్ద వికిరణ శక్తిని ఆ తల ఉద్గార సామర్థ్యం (e_λ) అంటారు.
- భూమికి సౌర స్థిరాంక విలువ 1.36×10^3 Jm^{-2} s^{-1}
- **న్యూటన్ శీతలీకరణ సూత్రం :** ఒక వస్తువు చల్లబడే రేటు వస్తువు ఉష్ణోగ్రతకు మరియు పరిసరాల ఉష్ణోగ్రతకు గల భేదానికి రేఖీయ అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

ముగింపు అభ్యాసం

1. థర్మాస్ ఫ్లాస్క్ (పటం 11.9) లో రెండు తలాలు గల గాజు పాత్ర వేరొక లోహపు పాత్రలో ఉంచబడుతుంది. మనం ఉష్ణోగ్రత స్థిరంగా ఉంచవలసిన ద్రవాన్ని ఈ ఫ్లాస్క్‌లో పోసి దానికి బెండు బిరడా అమర్చుతాం. పటాన్ని జాగ్రత్తగా పరిశీలించి దాని నిర్మాణం ఉష్ణవహనం, సంవహనం మరియు వికిరణాల ద్వారా ఉష్ణప్రసారాన్ని ఎలా తగ్గిస్తుందో వివరించండి.



పటం 11.9

2. ఒక నక్షత్రం ఉద్గారం చేసిన గరిష్ఠ శక్తికి అనుసంధానమయిన తరంగదైర్ఘ్యం 4000 A^o ఆ నక్షత్రం యొక్క ఉష్ణోగ్రతను గణించండి. 1 ఆంగ్‌స్ట్రామ్ (A^o) == 10^{-8} cm.

3. 2 సెమీ వ్యాసార్ధం కలిగి నల్లని పూతపూసిన రాగి గోళాన్ని 1000°C ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న శూన్యపరచిన ఆవరణలో ఉంచారు. దాని ఉష్ణోగ్రత 127°C వద్ద స్థిరంగా ఉంచాలంటే రాగి గోళానికి ఎంతరేటులో శక్తిని సరఫరాచేయాలి?

4. ఉద్గారకాలు ఉత్తమ శోషకాలు ఉత్తమ ఉద్గారాలు అనే ప్రకటనపై వ్యాఖ్యానించండి.

5. ఒక రాగి పాత్ర అడుగు భాగం 0.5 సెమీ మందం మరియు 50 సెమీ వ్యాసం కలిగి ఉంది. రాగి పాత్ర అడుగు భాగం 110°C వద్ద స్థిరంగా ఉండేలా ఒక బర్నర్‌పై ఉంచారు. వాతావరణ పీడనం వద్ద పాత్రలోని నీరు మరుగునట్లు పాత్ర అడుగు భాగం నుండి ఉష్ణం స్థిరంగా పాత్రలోకి ప్రవేశిస్తుంది. పాత్ర లోపలి అడుగు భాగం యొక్క యదార్ధ ఉష్ణోగ్రత 105°C. ఒక గంట కాలంలో పాత్రలోని ఎన్ని కిలో గ్రాముల నీరు మరుగుతుంది?

6. ఉష్ణ వహన గుణకాన్ని నిర్వచించి అది ఆధారపడి ఉండే అంశాలను తెలపండి.

7. ఉష్ణ వహనం మరియు ఉష్ణసంవహనం పద్ధతుల మధ్యగల భేదాలు తెలపండి.

8. సమాన అడ్డుకోత వైశాల్యంగల రెండు లేదా అంత కంటె ఎక్కువ కడ్డీలను శ్రేణిలో సంధానం చేసినచో, ఆ కడ్డీల వ్యవస్థ యొక్క ఫలిత ఉష్ణ నిరోధం, ఆ కడ్డీల ఉష్ణ నిరోధాల మొత్తానికి సమానం అని చూపండి. (గమనిక : ఉష్ణ వహన గుణకం యొక్క విలోమాన్నే ఉష్ణ నిరోధం అంటారు)

9. వేరు వేరు లోహపు కడ్డీల ఉష్ణ వహన గుణకాలు 4:3 నిష్పత్తిలో ఉన్నాయి. రెండు కడ్డీల అడ్డుకోత వైశాల్యాలు సమానం అయినప్పుడు వాటి ఉష్ణ నిరోధాలు సమానంగా ఉండాలంటే వాటి పొడవుల నిష్పత్తి కనుక్కోండి.

10. శీతాకాలంలో ఆకాశంలో మేఘాలు లేకుండా ఉన్నప్పటికంటె మేఘాలు ఉన్నప్పుడు వేడిగా అనుభూతి పొందుతాము, ఎందువల్ల?

11. ఒకే ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న ఇనుము, కొయ్యలను తాకినప్పుడు కొయ్య కంటే ఇనుము ఎక్కువ వేడిగా ఉన్నట్లు అనుభవం పొందుతాం ఏందువల్ల?

12. పింగాణి కప్పులో కంటే లోహపు కప్పులోని టీ తాగడానికి వేడిగా ఉన్నట్లు అనిపిస్తుంది. ఎందువల్ల?

13. నూలు దుస్తుల కంటే ఉన్ని దుస్తులు ఎక్కువ వెచ్చదనాన్ని ఇస్తాయి. ఎందువల్ల?

14. సమాన ముందం కలిగిన ఏక పొర వస్త్రం కంటే రెండు పొరలు గలిగిన వస్త్రం ఎక్కువ వెచ్చదనాన్నిస్తాయి. ఎందువల్ల?

15. భూమి యొక్క ఉపగ్రహంలో ఉష్ణసంవహన పద్ధతి ద్వారా నీటిని వేడి చేయగలమా?

16. 500 వాట్‌ల విద్యుత్ బల్బు వెలుగుతున్నది. మనం ఒక చేతిని బల్బుపై 5 సెమీ ఎత్తులో రెండవ చేతిని 5 సెమీ బల్బు కింద భాగాన ఉంచినప్పుడు, బల్బుపై భాగాన ఉంచిన చేయి ఎక్కువ వేడిని గ్రహిస్తుంది ఎందువల్ల?

17. వేరు వేరు లోహాలతో చేసిన రెండు పాత్రలు పరిమాణం మరియు ఆకారంలో ఒకే విధంగా ఉన్నాయి. వాటి యందు ఒకే పరిమాణంగల $0°C$ వద్ద గల మంచు ముక్కలు వేసినారు. ఒక పాత్రలోని మంచు 25 నిమిషాలు, రెండవ పాత్రలోని మంచు 20 నిమిషాల్లో పూర్తిగా కరిగితే ఆలోహాల ఉష్ణవహన గుణకాలను సరిపోల్చండి.

18. 20 సెమీల పొడవు 4.0 సెమీల వ్యాసంగల రాగి కడ్డీ యొక్క ఉష్ణ నిరోధకతను లెక్కించండి. రాగి ఉష్ణవహన గుణకం $= 9.2 \times 10^{-2}$ రాగి కడ్డీ చివరగల ఉష్ణోగ్రతా భేదం $50°C$. ఉష్ణ ప్రసరణ రేటును కూడా లెక్కించండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

11.1

1. ఘన పదార్థాల్లోని అణువులు ఉష్ణాన్ని పక్కనేగల వేరొక అణువుకు బదిలీ చేయడాన్ని ఉష్ణవహనం అంటాం.

   ప్రవాహిలలో పదార్థాల్లోని అణువులు హెచ్చు ఉష్ణోగ్రత నుండి తక్కు ఉష్ణోగ్రత వైపుకు స్థానచలనం ద్వారా ఉష్ణాన్ని బదిలీ చేసే ప్రక్రియను ఉష్ణసంవహనం అంటాం.

2. $$K = \frac{Qd}{tA(Q_2 - Q_1)} = \frac{J}{s}\frac{m}{m^2\,{}^oC} = Jm^{-1}s^{-1}\,{}^oC^{-1}$$

3. ఉన్ని దారాల మధ్యలో గాలి శరీరంలోని ఉష్ణరాశి బయటకి పోకుండా కాపాడటంవల్ల మనకు వేడిగా ఉంటుంది.

4. పదార్థ ఏకాంక అడ్డుకోత వైశాల్యానికి లంబంగా, ఏకాంక ఉష్ణోగ్రతా ప్రవణత ద్వారా సెకనుకు జరిగే ఉష్ణరాశి సంఖ్యాత్మకంగా ఉష్ణవహన గుణకానికి సమానం.

5. పగటి సమయంలో సముద్రం ఒడ్డునగల భూభాగం నీటికంటె ఎక్కువ వేడెక్కుతుంది. సముద్రపు నీటి పైభాగన గల గాలి భూ భాగంపై గల గాలి కంటే చల్లగా ఉంటుంది. భూభాగంపై గల వేడి గాలి పైకి పోవడంవల్ల పీడనం తగ్గుతుంది. దీనివల్ల సముద్రంపై గల చల్లని గాలి భూమిపైకి ప్రవహిస్తుంది. దీన్నే సముద్ర పవనాలు అంటాం. ఇదే విధంగా రాత్రి సమయాల్లో నీటిపై భాగాన గల గాలి కంటె భూభాగంపై గాలి త్వరగా చల్లబడుటంవల్ల భూ పవనాలు ఏర్పడతాయి. నీటి విశిష్టోష్ణం, భూమి విశిష్టోష్ణం కంటె ఎక్కువ కనుక రాత్రి సమయాల్లో నీటి కంటే భూమి త్వరగా చల్లబడి వ్యతిరేక ప్రక్రియకు కారణం అవుతుంది.

12.2

1. $\lambda_m = \frac{\text{వీన్ స్థిరం}}{\text{ఉష్ణోగ్రత}} = \frac{2880 \times 10^{-6}}{300} = 9.6\ \mu m$

2. వేసవి కాలంలో లేత రంగు దుస్తులు దరించడానికి ఇష్టపడుతాము, ఎందుకంటే అవి ఉష్ణం మరియు కాంతికి పరిపూర్ణ పరావర్తనాలు. కావు లేత రంగు దుస్తులు మనల్ని చల్లగా ఉంచుతాయి. కావున వాటిని ధరించడానికి ఇష్టపడతాము.

3. $\lambda_m T$ = స్థిరం మరియు $E = \sigma e A T^4$

4. 66.4 W.

12.3

1. సౌర స్థిరాంకం × వైశాల్యం $= 2.7 \times 10^5 W$

2. వాతావరణంలోకి బొగ్గుపులుసు వాయువు (CO_2) ను నిరంతరం కలవడంవల్ల గ్రీన్ హౌస్ ఫలితం పెరిగి భూ ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతుంది (global warming). తద్వారా మంచు కొండలు (glaciers) కరగి వరదలతో భూమి మునగడం జరుగుతాయి.

3. ఘాతాంక ప్రమేయంలో క్షయం (Exponential decay)

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

2. 7210 K

3. 71.6×10^{-11} W

5. 4.7×10^5 kg

9. 3 : 4

17. 4 : 5

18. 10.9 m $°C^{-1}W^{-1}$, 0.298 W

12

ఉష్ణగతిక శాస్త్రం

పరిచయం

స్పర్శ ద్వారా మీకు వేడి, చల్లదనాల గురించి బాగా తెలుసు. మీ చేతులను ఒక దానితో మరొకటి రుద్దినప్పుడు మీకు వెచ్చదనం అనిపిస్తుంది. దీనికి కారణం యాంత్రిక పని అని మీరు అంగీకరిస్తారు. అంటే యాంత్రిక పనికి ఉష్ణఫలితానికి ఏదో సంబంధం ఉందని ఇది మీకు స్ఫురింపచేస్తుంది. రెండు భిన్న ఉష్ణోగ్రతలు గల వస్తువుల మధ్య ఉష్ణశక్తి బదిలీ దృగ్విషయాల అధ్యయనం ఉష్ణగతిక శాస్త్రానికి సంబంధించిన విషయసారం అవుతుంది. ఇది అనుభవంపై ఆధారపడి ఉండే విజ్ఞానశాస్త్రం. ఉష్ణదృగ్విషయాలు పరిమాణాత్మక వర్ణన చేయాలంటే ఉష్ణోగ్రత, ఉష్ణశక్తి మరియు అంతర్గత శక్తుల నిర్వచనాలు అవసరం అవుతాయి. ఉష్ణ ప్రసార దిశ, ఒక వ్యవస్థపై చేసిన పని, వ్యవస్థ అంతర్గత శక్తుల మధ్య సంబంధాన్ని ఉష్ణగతిక శాస్త్ర నియమాలు ఇవ్వగలుగుతాయి.

ఈ పాఠంలో మీరు ఉష్ణగతిక శాస్త్ర మూడు నియమాలు అంటే శూన్యంశ నియమం, మొదటి నియమం మరియు రెండవ నియమం నేర్చుకుంటారు. ఈ నియమాలన్నీ అనుభవం మీద ఆధారపడినవి కాబట్టి వీటికి ఉపపత్తి అవసరం లేదు. శూన్యాంశ నియమం, మొదటి నియమం మరియు రెండవ నియమం ఉష్ణోగ్రత, అంతర్గత శక్తి మరియు ఎంట్రోపి భావనలను పరిచయం చేస్తాయి. మొదటి నియమం ఉష్ణగతిక వ్యవస్థ యొక్క శక్తి నిత్యత్వ నియమం, రెండవ నియమం ఉష్ణం పనిగా మార్పు చెందడం మరియు పని ఉష్ణంగా మార్పు చెందడం గురించి తెలియచేస్తుంది. అంతే కాదు కార్నొ యంత్రం ఉష్ణాన్ని పనిగా మార్చడంలో గరిష్ఠ దక్షత కలిగి ఉంటుందని మీరు నేర్చుకుంటారు.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరువాత మీరు కింది విషయాలు తెలుసుకోగలగుతారు.

- వేరువేరు ఉష్ణగతిక ప్రక్రియలకు సూచీ పటాలు గీయగలుగుతారు. సూచీపటం దిగువనున్న వైశాల్యం ప్రక్రియలో జరిగిన పనిని సూచిస్తుందని చూపగలుగుతారు.
- ఉష్ణగతిక సమతాస్థితిని వివరించి, ఉష్ణగతికశాస్త్ర శూన్యాంక నియమాన్ని వివరించగలగుతారు.
- ఒక వ్యవస్థ యొక్క అంతర్గత శక్తి భావనను మరియు ఉష్ణగతిక శాస్త్ర ప్రథమ నియమాలను వివరించగలుగుతారు.
- ఉష్ణగతిక శాస్త్ర ప్రథమ నియమాన్ని సరళ వ్యవస్థలకు అనువర్తింపచేసి దీనికి పరిమితులు చెప్పగలుగుతారు.
- త్రిక బిందువును నిర్వచించగలుగుతారు.

- వేరు వేరు రూపాల్లో ఉష్ణగతిక శాస్త్ర రెండవ నియమాన్ని ప్రవచించగలుగుతారు.
- కార్నో చక్రాన్ని వర్ణించి దాని సామర్థ్యాన్ని లెక్కించగలుగుతారు.

12.1 ఉష్ణం మరియు ఉష్ణోగ్రతల భావన

12.1.1 ఉష్ణం

మానవుడు గుహల్లో నివసించే కాలం నుండి మానవ చర్యలు అన్నింటిలోను శక్తి వ్యాపించి ఉంది. ఉష్ణంగా ప్రత్యక్షమైన శక్తి మన ఉనికికి అన్యోన్యంగా ఉంది. ఆహార పదార్థాలు వండటానికి, ఇండ్లలో దీపాలు వెలిగించడానికి, రైళ్ళు మరియు విమానాలు నడపడానికి కావలసిన శక్తి కట్టెలు, బొగ్గు, వాయువు మరియు నూనెలు మండటంవల్ల ఉత్పత్తి అవుతుంది. ఉష్ణం అంటే ఏమిటి అని మీరు అడగవచ్చు. ఈ ప్రశ్నకు సమాధానం తెలుసుకోవడానికి ఒక పంపు ఉపయోగించి ఒక సైకిలు టైరులోకి గాలి కొడితే ఏమవుతుందో పరిశీలిద్దాం. పంపు యొక్క నాజిల్‌ను స్పర్శిస్తే అది వేడెక్కటం గమనించవచ్చు. ఇదే విధంగా మీ చేతులు ఒకదానితో ఒకటి రుద్దినపుడు మీ చేతులు వేడెక్కుతాయి. ఈ ప్రక్రియల్లో వేడి అనేది పంపు కిందగాని చేతికిందగాని మంట లేదా వేడి వస్తువు వంటిది ఏదీ పెట్టలేదని మీరు సంపీడ్యం చేయడంలోను మరియు చేతులను రుద్దినపుడు ఘర్షణకు వ్యతిరేకంగా చేసిన యాంత్రిక పని వలన ఉష్ణం ఉద్భవించింది. ఈ ఉదాహరణలు యాంత్రిక పని మరియు ఉష్ణ ఫలితానికి గల సంబంధాన్ని సూచిస్తాయి.

వేసవిలో ఒక గ్లాసు చల్లని నీటిని అలా ఉంచినపుడు క్రమంగా అవి వేడెక్కుతాయి. ఇది మన అనుభవంలోని విషయమే. కాని ఒక కప్పు వేడి కాఫీని బల్లపై ఉంచినపుడు క్రమంగా అది చల్లబడుతుంది. అంటే నీరు లేదా కాఫీ మరియు పరిసరాల మధ్య శక్తి మార్పిడి జరిగింది. ఉష్ణ సమతాస్థితి వచ్చే వరకు ఈ ఉష్ణ మార్పిడి కొనసాగుతుంది. అనగా వ్యవస్థ మరియు పరిసరాలు ఒకే ఉష్ణోగ్రతను పొందే వరకు ఇది కొనసాగుతుంది. హెచ్చు ఉష్ణోగ్రత గల వస్తువు నుండి తక్కువ ఉష్ణోగ్రత గల వస్తువు వైపుకు శక్తి బదిలీ దిశ ఉంటుంది. శక్తి ఏ రూపంలో బదిలీ అయ్యింది? అని మీరు అడగవచ్చు. పై ఉదాహరణలో శక్తి, ఉష్ణం రూపంలో బదిలీ అయ్యింది. కనుక ఉష్ణోగ్రతా భేదం వలన రెండు (లేదా ఎక్కువ) వ్యవస్థలు లేదా వ్యవస్థ మరియు పరిసరాల మధ్య శక్తి బదిలీ ఉష్ణ రూపంలో జరుగుతుంది. ఈ శక్తి రూపం యొక్క స్వభావం ఏమిటని మీరు మళ్ళీ మళ్ళీ అడగవచ్చు. జౌల్ అనే శాస్త్రవేత్త ఉష్ణానికి, యాంత్రిక శక్తికి గల తుల్యతపై చేసిన కృషి ఈ ప్రశ్నకు జవాబు ఇస్తుంది. వ్యవస్థలోని అణువుల యాంత్రిక చలనం ఉష్ణంతో జతపడి ఉంటుంది. కెలొరి ఉష్ణానికి ప్రమాణం.

కెలొరి : ఒక గ్రాము నీటి యొక్క ఉష్ణోగ్రతను $14.5°C$ నుండి $15.5°C$ లకు పెంచడానికి కావలసిన సూచన బోల్డు ప్రింటు ఉష్ణరాశిని కెలొరి అంటారు. దీనిని Cal తో (Calorie) తో సూచిస్తారు.

ఉష్ణశక్తికి పెద్ద ప్రమాణం కిలో కెలొరి

1 కిలో కెలొరి $= 10^3$ కెలొరి

మరియు 1 కెలోరి $= 4.18$ J

12.1.2 ఉష్ణోగ్రత యొక్క భావన

గ్లాసులోని చల్లని నీరు మరియు పరిసరాల మధ్య ఉష్ణ మార్పిడి వాటి మధ్య ఉష్ణ సమతుల్యత పొందే వరకు కొనసాగుతుందని తెలుసుకున్నారు. ఉష్ణ సమతుల్యత గల అన్ని వస్తువులకు గల సామాన్యమైన ధర్మము ఉష్ణోగ్రత దాని విలువ అన్నింటికి సమానము. ఒక వస్తువు ఇతర వస్తువులతో ఉష్ణ సమతుల్యతతో ఉన్నదీ లేనిదీ నిర్ణయించే ధర్మాన్నే ఉష్ణోగ్రత అని చెప్పవచ్చు.

12.1.3 ఉష్ణగతిక పదాలు

(i) ఉష్ణగతిక వ్యవస్థ : ఇతర వాటిలో కలవకుండా ప్రత్యేకంగా ఉండే కచ్చితమైన పరిమాణం గల ద్రవ్యాన్ని ఉష్ణగతిక వ్యవస్థగా చెప్పవచ్చు. ప్రతీ వ్యవస్థ కూడ మారుతూ ఉండే ఆవరణలో బంధింపబడి ఉంటుంది. ఇది దాని సరిహద్దుగా ఉంటుంది. ఈ సరిహద్దు ఘన, ద్రవ లేదా వాయు పదార్థాలను బంధించగలిగి ఉంచుతుంది. ఇది యదార్థం లేదా ఊహజనితం కావచ్చు. నిశ్చల స్థితిలో లేదా చలనంలో ఉండవచ్చు. దాని పరిమాణము మరియు ఆకృతి మారుతూ ఉండవచ్చు. వ్యవస్థకు బయట ఉండే ప్రాంతం దీని పరిసరంగా ఉంటుంది.

(a) వివృత వ్యవస్థ : పరిసరాలతో ద్రవ్యరాశి మరియు శక్తులను మార్పిడి చేసే వ్యవస్థను వివృతవ్యవస్థ అంటారు. నీటి తాపక (హీటర్) తెరిచిన వ్యవస్థ అవుతుంది.

(b) సంవృత వ్యవస్థ : పరిసరాలతో శక్తిని మాత్రమే మార్పిడి చేసి, ద్రవ్యరాశిని మార్పిడి చేయని వ్యవస్థను సంవృత వ్యవస్థ అంటారు. ముషలకం కలిగి ఉన్న స్తూపాకార పాత్రలో గల వాయువు మూసి ఉన్న వ్యవస్థ అవుతుంది.

(c) వియుక్త వ్యవస్థ : పరిసరాలతో శక్తి లేదా ద్రవ్యరాశిని మార్పిడి చేయని వ్యవస్థను వియుక్త వ్యవస్థ అంటారు. పూర్తిగా నింపిన థర్మాస్ ఫ్లాస్క్ వియుక్త వ్యవస్థకు ఉదాహరణ.

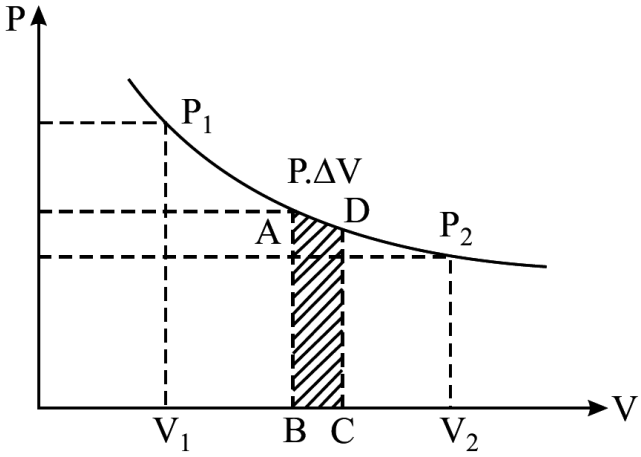
(ii) ఉష్ణగతిక నిరూపకాలు : ఒక ఉష్ణగతిక వ్యవస్థను (వర్ణించడానికి) దాని భౌతిక ధర్మాలైన ఉష్ణోగ్రత (T), పీడనం (P) మరియు ఘనపరిమాణం (V) లను ఉపయోగిస్తాం. వీటినే ఉష్ణగతిక చలరాశులు అంటారు. and Entropy (S).

(iii) సూచీ పటం : ఉష్ణగతిక వ్యవస్థ అధ్యయనం చేయడానికి మనం పీడనం – ఘనపరిమాణం గ్రాఫ్‌ను ఉపయోగిస్తాం. ఈ గ్రాఫ్ ఉష్ణగతిక ప్రక్రియలో ఘనపరిమాణంతో పీడనం ఏ విధంగా మారుతుందో సూచిస్తుంది. దీనినే సూచీ పటం అంటారు. సూచీ పటాన్ని ఉపయోగించుకుని చేసిన పనికి సమీకరణం రాబట్టువచ్చును. ఇది P-V పటం (పటం 12.1) దిగువన గల వైశాల్యానికి సమానం. ఘనపరిమాణంలో కొద్ది పెరుగుదల ΔV ముందు పీడనం P అనుకుందాం. అపుడు వ్యవస్థ చేసిన పని

$$\Delta W = P\Delta V = \text{Area of the shaded portion ABCD under P-V curve}$$

గ్రాఫ్ నందు ABCD గీతలు గీసిన ముక్క వైశాల్యం. వ్యవస్థ V_1 నుండి V_2 కు వ్యాకోచించినపుడు చేసిన మొత్తం పని $P_1 P_2 V_2 V_1 P_1$ వైశాల్యం అవుతుంది. ఈ వైశాల్యం సూచీ పటం యొక్క ఆకారంపై ఆధారపడుతుందని గమనించాలి. ఈ సూచీ పటాన్ని ఎక్కువగా వ్యాకోచ సంకోచాల ప్రక్రియలలో

చేసిన పనిని గణించడానికి ఉపయోగిస్తారు. P మరియు V ల మధ్య సంబంధం తెలియని ప్రక్రియలలో ఇది ఎక్కువ ఉపయోగపడుతుంది. ఒక వ్యవస్థపై చేసిన పని దాని శక్తిని పెంచుతుంది. వ్యవస్థ చేసిన పనివల్ల దాని శక్తి తగ్గుతుంది. ఈ కారణం వలననే వ్యవస్థపై చేసిన పనిని రుణాత్మకంగా తీసుకుంటాం. సమ ఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియ (స్థిర ఉష్ణోగ్రత వద్ద P-V ల మధ్య గీసిన గ్రాఫ్) లో గ్రాఫు కింద వైశాల్యం గ్రాఫు యొక్క ఆకారంపై ఆధారపడుతుంది. ఒక వ్యవస్థ చేసిన లేదా వ్యవస్థపై చేసిన పని దాని మార్గంపై ఆధారపడుతుంది. అనగా పని తొలి మరియు తుది స్థితులపై ఆధారపడదు.



పటం 12.1 సూచీ పటం

12.2 ఉష్ణగతిక సమతాస్థితి

ఒక పాత్రలో 60°C వద్ద గల ఒక ద్రవం (నీరు, టీ, పాలు, కాఫీ) నింపినట్లు ఊహిద్దాం. దానిని ఆవిధంగా వదిలివేస్తే కొంత సేపటికి గది ఉష్ణోగ్రత పొందడం మనకు తెలిసిన విషయమే. అపుడు పాత్రలోని నీరు పరిసరాలతో ఉష్ణ సమతాస్థితి పొందినది అని మనం చెపుతాము.

పాత్రలో పీడనం, స్థితిస్థాపక ప్రతిబలాలలో మార్పులు ఉంటే వ్యవస్థలోని భాగాలు మార్పులు పొందవచ్చు. అయినప్పటికి ఈ మార్పులు చివరకు ఆగిపోయి వ్యవస్థపై సంతులనం కాని బలాలు ఏవియు పని చేయవు. అపుడు వ్యవస్థ యాంత్రిక సమతాస్థితిలో ఉంది అని అంటాము. ద్రవస్థితిలో భూమి యాంత్రిక సమతాస్థితి పొందే ప్రక్రియలో భూమధ్య రేఖ వద్ద ఉబ్బినది అని మీకు తెలుసా?

ఒక వ్యవస్థలో రసాయినిక చర్యలు జరిపే అంశాలు ఉన్నప్పటికి కొంత సమయం గడిచేసరికి అవకాశం ఉన్న అన్ని రసాయనిక చర్యలు జరగడం ఆగిపోతాయి. అపుడు వ్యవస్థ రసాయన సమతాస్థితిలో ఉంది అంటారు.

ఒక వ్యవస్థ ఉష్ణ యాంత్రిక మరియు రసాయన సమతాస్థితిలు ప్రదర్శిస్తే అపుడు ఉష్ణగతిక సమతాస్థితి అంటాం. ఈ స్థితిలో వ్యవస్థ యొక్క స్థూల ధర్మాలు కాలంతో మారవు.

12.2.1 ఉష్ణగతిక ప్రక్రియ

ఒక వ్యవస్థ ఒక సమతాస్థితి నుండి వేరొక సమతాస్థితికి మారేటపుడు ఉష్ణగతిక చలన రాశులలో మార్పు వస్తే అపుడు వ్యవస్థ ఉష్ణగతిక ప్రక్రియ జరిపింది అంటాం. స్థూపాకార పాత్రలో స్థిర పీడనం వద్ద వేడిచేయుట వలన వాయువు వ్యాకోచం చెందడాన్ని ఉష్ణగతిక ప్రక్రియగా చెప్పవచ్చు. ఉష్ణగతిక ప్రక్రియను గ్రాఫుతో సూచిస్తే అది దాని మార్గము అంటారు.

ఇపుడు రకరకాల ఉష్ణగతిక ప్రక్రియలను తీసుకుందాం.

(i) **ఉత్క్రమణీయ ప్రక్రియ :** ఇతరత్రా ఎక్కడా ఏవిధమైన మార్పులు లేకుండా వ్యవస్థ తొలి దశకు చేరేటట్లుగా సూటి ప్రక్రియలో ఏఏ దశల గుండా ప్రమాణం చేసిందో అవే దశల గుండా మరలా వెనుకకు తీసుకు రాగలిగితే ఆ ప్రక్రియను ఉత్క్రమణీయ ప్రక్రియ అంటారు. ఉత్క్రమణీయ ప్రక్రియ చాలా నెమ్మదిగా అదుపులో ఉండేలా జరపాలి. ఉదాహరణలు

- ❒ ఒక బీకరులో మంచు మక్కును తీసుకొని వేడిచేయండి. అది నీరుగా మారడాన్ని గమనిస్తారు. దానిని రిఫ్రిజిరేటరులో ఉంచి అది ఎంత ఉష్ణం గ్రహించిందో అంతే ఉష్ణాన్ని బయటకు తొలగిస్తే తిరిగి మంచు (తొలి స్థితి) గా మారుతుంది.
- ❒ ఒక స్ప్రింగ్ యొక్క పై కొనను ఆధారానికి తగిలించి కింది కొనలో క్రమంగా భారాన్ని వేస్తూ ఉంటే స్ప్రింగ్ సాగడం గమనిస్తారు. (పొడవులో పెరుగుదల) ఇపుడు భారాలను ఒక దాని తరవాత మరొకటి తొలగిస్తే స్ప్రింగ్ మరల అదే క్రమంలో వెనకకు వచ్చి తొలి స్థితిని పొందడం గమనిస్తాం.

కనుక ఇది ఉత్క్రమణీయ ప్రక్రియ. ఉత్క్రమణీయ ప్రక్రియను ప్రాయోగికంగా పొందలేము. దీనిని ఆదర్శంగా చెప్పుకోగలం.

(ii) **అనుత్క్రమణీయ ప్రక్రియ :** ఒక వ్యవస్థ తొలి సమతాస్థితి నుండి ఏ ఏ దశల ద్వారా తుది సమతాస్థితికి చేరిందో మరలా అదే దశల ద్వారా వెనుకకు (అనగా తొలి స్థితికి) తీసుకురాలేవని వ్యవస్థను అనుత్క్రమణీయ ప్రక్రియ అంటారు.

సహజంగా జరిగే ప్రక్రియలన్నియు అనుత్క్రమణీయ ప్రక్రియలే. ఘర్షణ వలన పుట్టిన ఉష్ణం, నీటిలో కరిగిన పంచదార లేదా గాలిలో ఇనుము తప్పుపట్టుట ఉదాహరణలు. అనుత్క్రమణీయ ప్రక్రియలో మధ్యస్థ దశలు సమతాస్థితులు కావు. కనుక అట్టి ప్రక్రియలను మార్గంతో సూచించలేము. అనుత్క్రమణీయ ప్రక్రియను మనం విశ్లేషించలేమని దీని అర్థమా? వీటిని వివరించడానికి అర్థస్థైతిక ప్రక్రియను ఉపయోగిస్తాం. ఇది సమతాస్థితికి అతి దగ్గరగా ఉంటుంది.

(iii) **సమఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియ :** స్థిర ఉష్ణోగ్రత వద్ద జరిగే ఉష్ణగతిక ప్రక్రియను సమ ఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియ అంటారు. ఉత్తమ ఉష్ణవాహక గోడలతో తయారుచేసిన స్థూపాకార పాత్రలోని ఆదర్శవాయువు యొక్క సంపీడన వ్యాకోచాలు సమఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియలు. ఘనపరిమాణం మరియు పీడనాల్లో మార్పులు చాలా నెమ్మదిగా జరగడం వలన లోపల జనించిన ఉష్ణ బయటకు బదిలీ కావడం వలన వ్యవస్థ యొక్క ఉష్ణోగ్రత స్థిరంగా ఉంటుంది. ఉష్ణ సమతాస్థితి ఎల్లప్పుడు కొనసాగుతుంది. అట్టి ప్రక్రియలో ΔQ, ΔU, ΔW లు పరిమితంగా ఉంటాయి.

(iv) **స్థిరోష్ణక ప్రక్రియ** : ఉష్ణశక్తి మార్పిడి జరగని ఉష్ణగతిక వ్యవస్థను స్థిరోష్ణక ప్రక్రియ అంటారు. అధమ ఉష్ణవాహక గోడలు కలిగిన స్థూపాకర పాత్రలో వాయువు జరిపే సంపీడన వ్యాకోచాలు స్థిరోష్ణక ప్రక్రియకు ఉదాహరణలు. వ్యవస్థ పరిసరాలలో వేరుచేయబడి ఉంటుంది. వ్యవస్థ నుండి ఉష్ణం బయటకు పోదు, లేదా పరిసరాల నుండి లోనికి రాదు. ఈ ప్రక్రియలో $\Delta Q = 0$ మరియు $\Delta U = -\Delta W$.

వ్యవస్థలో అంతర్గత శక్తిలోని మార్పు వ్యవస్థ పై చేసిన పనికి సమానం. వాయువును సంపీడ్యం చేసినపుడు వ్యవస్థపై పని జరిగినది అంటాం. కనుక ΔU విలువ ధనాత్మకం మరియు వ్యవస్థ యొక్క అంతర్గత శక్తి పెరుగుతుంది. వాయువు వ్యాకోచం చెందినపుడు వ్యవస్థ పని చేసినది అంటాం కనుక దీనిని ధనాత్మకంగా తీసుకుంటాం మరియు ΔU ఋణాత్మకం అవుతుంది. వ్యవస్థ యొక్క అంతర్గత శక్తి తగ్గుతుంది.

(v) సమపీడన ప్రక్రియ : స్థిర పీడనం వద్ద జరిగే ఉష్ణగతిక ప్రక్రియను సమపీడన ప్రక్రియ అంటారు. వాతావరణ పీడనం వద్ద నీటిని వేడి చేయడం సమ పీడన ప్రక్రియ.

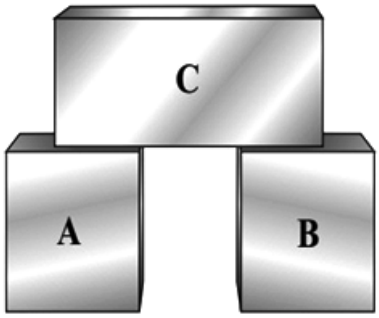
(vi) సమ ఘన పరిమాణ ప్రక్రియ : స్థిర ఘనపరిమాణం వద్ద జరిగే ఉష్ణగతిక ప్రక్రియను సమ ఘన పరిమాణ ప్రక్రియ అంటారు. స్థిర ఘన పరిమాణం వద్ద పాత్రలోని వాయువును వేడి చేయటాన్ని సమఘనపరిమాణ ప్రక్రియకు ఉదాహరణగా చెప్పవచ్చు. ఈ ప్రక్రియలో ఘన పరిమాణం స్థిరంగా ఉంటుంది కనుక చేసిన పని శూన్యం అనగా $\Delta W = 0$. కనుక $\Delta Q = \Delta U$ అవుతుంది.

(vii) చక్రీయ ప్రక్రియ : చక్రీయ ప్రక్రియలో వ్యవస్థ తుది స్థితి నుండి తొలి స్థితికి వస్తుంది. అనగా అంతర్గ శక్తిలో మార్పు ఉండదు. $\Delta U = 0$.

$$\therefore \Delta Q = \Delta W.$$

12.2.2. ఉష్ణ గతికశాస్త్ర శూన్యాంక నియమము

A, B మరియు C అనే మూడు లోహపు దిమ్మలను తీసుకుందాం. A దిమ్మ B దిమ్మతో ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉంది అనుకుందాం. ఇంకా A దిమ్మ C దిమ్మతో ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉంది అనుకుందాం. అనగా 'A' దిమ్మ యొక్క ఉష్ణోగ్రత 'B' మరియు C దిమ్మల యొక్క ఉష్ణోగ్రతలకు సమానం. అంటే 'B' మరియు 'C' దిమ్మల యొక్క ఉష్ణోగ్రతలు సమానం అని తెలుస్తుంది. ఈ ఫలితాన్నే మనం ఉష్ణ గతిక శాస్త్ర శూన్యాంక నియమంగా చెప్పవచ్చు.

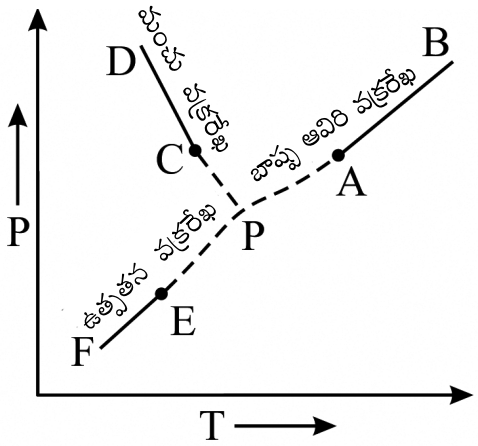


ఉష్ణగతిక శాస్త్ర శూన్యాంక నియమం : A మరియు B అనే రెండు వస్తువులు లేదా వ్యవస్థలు వేరువేరుగా C అనే మూడవ వస్తువుతో ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉంటే A మరియు B లు ఒకదానికొకటి ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉంటాయి.

12.2.3. ప్రావస్థ మార్పు మరియు ప్రావస్థ పటము

STP వద్ద పదార్థము ఘన, ద్రవ మరియు వాయు స్థితులలో ఉంటుందని మీరు చదువుకున్నారు. పదార్థము యొక్క వేరు వేరు స్థితులను వాటి ప్రావస్థలు అంటారు. ఉదాహరణకు మంచు (ఘన), నీరు (ద్రవ) మరియు ఆవిరి (వాయు) లు నీటి యొక్క మూడు ప్రావస్థలు. ఈ మూడు ప్రావస్థలను పీడనం (P) ఉష్ణోగ్రత (T) మరియు ఘన పరిమాణం (V) ల మధ్య గీసిన త్రిమితీయ పటం సహాయంతో చర్చించవచ్చు. త్రిమితీయ పటాన్ని గీయటం కష్టం. కనుక పీడనం ఉష్ణోగ్రతల మధ్య గీసిన పటం సహాయంతో ఈ మూడు ప్రావస్థలను చర్చిద్దాం. పీడనం ఉష్ణోగ్రతల మధ్య గీసిన పటాన్ని ప్రావస్థ పటం అంటారు.

పటం 12.2 చూడండి ఇది నీటి ప్రావస్థ పటాన్ని చూపుతుంది. పటంలో CD; AB మరియు EF అనే మూడు వక్రాలను చూడగలుగుతారు. CD వక్రం పీడనంతో మంచు ద్రవీభవన స్థానం మార్పును చూపుతుంది. దీనిని మంచు వక్రం అంటారు. పీడనంతో నీటి మరుగు ఉష్ణోగ్రత మార్పును AB వక్రం చూపుతుంది. దీనిని భాష్ప వక్రం అంటారు. మంచు ద్రవస్థితి లేకుండా బాష్పస్థితిని పొందడాన్ని EF వక్రం చూపుతుంది. దీనిని ఉత్పతన వక్రం అంటారు. ఈ వక్రాన్నే హార్‌ఫ్రాస్ట్ వక్రం అని కూడా అంటారు.



పటం 12.2 నీటి ప్రావస్థ పటం

ఈ మూడు వక్రాలు (AB, CD మరియు EF) పటంలో చూపినట్లు వెనుకకు పొడిగించినచో (చుక్కలతో చూపినట్లు) 'P' అనే బిందువు వద్ద కలుసుకుంటాయి. ఈ బిందువును త్రిక బిందువు అంటారు. ఈ త్రిక బిందువు వద్ద మూడు ప్రావస్థలు ఏక కాలంలో ఉంటాయి.

ఒక ఘన పదార్థాన్ని మనం వేడి చేస్తే ఉష్ణోగ్రత దాని ద్రవీభవన స్థానం చేరే వరకు పెరుగుతుంది. ఈ ఉష్ణోగ్రతను ఘన పదార్థం యొక్క ద్రవీభవన స్థానం అంటారు. ఈ స్థితిలో మనం ఉష్ణాన్ని నిర్విరామంగా సరఫరా చేసినను దాని ఉష్ణోగ్రత పెరగదు. ప్రమాణ ద్రవ్యరాశి గల ఘన పదార్థాన్ని దాని ద్రవీభవన స్థానం వద్ద పూర్తిగా ద్రవ స్థితికి మార్చడానికి అవసరం అయిన ఉష్ణరాశిని ఆ ఘనపదార్థం యొక్క ద్రవీభవన గుప్తోష్ణము అంటారు.

ద్రవ పదార్థాన్ని వేడిచేస్తే దాని ఉష్ణోగ్రత మరుగు స్థానం చేరే వరకు పెరుగుతుంది. మరుగు స్థానం వద్ద మనం ఇచ్చిన ఉష్ణం, ఆ ద్రవాన్ని బాష్పంగా మార్చడానికి ఉపయోగపడుతుంది. ప్రమాణ ద్రవ్యరాశి గల ద్రవాన్ని స్థిర ఉష్ణోగ్రత వద్ద భాష్పంగా మార్చడానికి కావలసిన ఉష్ణాన్ని ఆ ద్రవం యొక్క బాష్పీభవన గుప్తోష్ణం అంటారు.

12.2.3. నీటి యొక్క త్రిక బిందువు

ఒక స్వచ్ఛమైన పదార్థం యొక్క త్రిక బిందువు దాని నిశ్చలస్థితి అయి ఉంటుంది. అది కచ్చితమైన స్థిర ఉష్ణోగ్రత, పీడనాల విలువలను సూచిస్తుంది. ఈ కారణం వలననే కెల్విన్ ఉష్ణోగ్రతా మానంలో నీటి యొక్క త్రిక బిందువును క్రింద (అధమ) అవధిగా గుర్తించారు. పీడనాన్ని పెంచినపుడు ఘనపదార్థం యొక్క ద్రవీభవన స్థానం తగ్గుతుంది. మరియు ద్రవం మరుగు ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతుంది. ఉష్ణోగ్రత మరియు పీడనాలను సరిచేసి మనం పదార్థం యొక్క మూడు స్థితులు ఏక కాలంలో సంభవించేలా చేయవచ్చు. ఈ ఉష్ణోగ్రత మరియు పీడనాల విలువలు త్రిక బిందువును సూచిస్తాయి.

నీటి త్రిక బిందువు విలువలు

$T = 273.16$ K మరియు $P = 0.006$ atm.

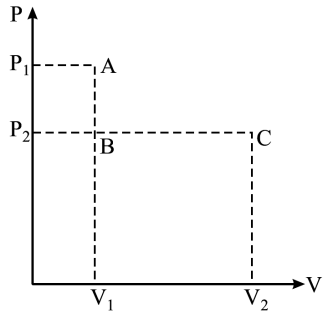
పాఠంలోని ప్రశ్నలు 12.1

1. క్రింది ఖాళీలు పూరించండి.

   (i) ఉష్ణగతిక శాస్త్ర శూన్యాంక నియమము ..... యొక్క భావనకు ఆధారాన్ని ఇస్తుంది.

   (ii) 'A' అనే వ్యవస్థ 'B' అనే వ్యవస్థతో ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉంది, మరియు 'B', 'C' అనే వేరొక వ్యవస్థతో ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉంది. అపుడు 'A' కూడా ..... వ్యవస్థతో ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉంటుంది.

   (iii) ఉష్ణరాశికి ప్రమాణం .....



పటం 12.3

2. పటం 12.3 ఉష్ణగతిక వ్యవస్థ యొక్క సూచీ పటం. ఈ కింది ప్రక్రియలో వ్యవస్థ చేసిన పనిని లెక్కించండి.

   (a) ABC మార్గంలో A నుండి C కి

   (b) వ్యవస్థ C నుండి A కు అదే మార్గంలోనే వెనుకకు వచ్చి చేరినది. వ్యవస్థ చేసిన పని ఎంత?

3. ఖాళీలను పూరించండి.

   (i) ఉత్క్రమణీయ వ్యవస్థ అనగా తుది స్థితి నుండి తొలి స్థితికి వ్యతిరేక దిశలో .....

   (ii) ..... వ్యవస్థ అనగా తుది స్థితి నుండి తొలి స్థితికి వెళ్ళిన మార్గంలోనే వెనకకు తీసుకు రాలేక పోవుట.

4. సమ ఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియ మరియు స్థిరోష్ణక ప్రక్రియల మధ్యగల ప్రాథమిక తేడాలు ప్రవచించండి.

5. నీటి త్రిక బిందువు యొక్క ఒక అభిలక్షణాన్ని చెప్పండి.

12.3 వ్యవస్థ యొక్క అంతర్గత శక్తి

నీరు మంచుగా గడ్డకట్టేటపుడు విడుదల అయ్యే శక్తి గురించి మీరు ఎప్పుడైనా ఆలోచించారా? నీటిలో ఒక రకం శక్తి నిల్వ ఉంది అని మీకు అర్థమవుతోంది కదా! నీరు మంచుగా మారే ప్రక్రియలో ఈ శక్తి విడుదల అవుతుంది. నీటిలో నిల్వ ఉండే ఈ శక్తినే అంతర్గత శక్తి అంటారు. పదార్థము యొక్క అణుచలన సిద్ధాంతం ప్రకారం అంతర్గత శక్తి విడి విడి కణముల యొక్క అన్ని రకముల శక్తుల మొత్తానికి సమానము. కణముల క్రమరహిత చలనం వలన కలిగే గతిశక్తి మరియు వాటి మధ్యగల చర్యల వలన కలిగే స్థితిశక్తి ఇందులో ఇమిడి ఉన్నాయి. మనం వీటి గురించి ఇపుడు చర్చిద్దాం.

(a) అంతర్గత గతిశక్తి : అణుచలన సిద్ధాంతం ప్రకారం పదార్థం అనేక అణువులతో తయారు చేయబడినది. ఈ అణువులు నిరంతరం వేగంగా చలిస్తూ ఉంటాయి. అందువలన వాటికి గతిశక్తి ఉంటుంది. అన్ని అణువుల యొక్క గతిశక్తుల మొత్తాన్ని వస్తువు యొక్క అంతర్గత శక్తి అంటారు.

(b) అంతర్గత స్థితిశక్తి : అణువుల మధ్యగల ఆకర్షణ బలాల వలన కలిగే శక్తిని అంతర్గత స్థితిశక్తి అంటారు.

ఒక లోహపు కడ్డీ యొక్క అంతర్గతశక్తి, వాహన ఎలక్ట్రానుల యొక్క గతిశక్తి, లోహపు అణువుల స్థితిశక్తి మరియు సమతాస్థితి పరంగా కంపన శక్తుల వలన జనిస్తుంది. ఒక వ్యవస్థ యొక్క శక్తిని దానిలోని అణువులు వేగంగా చలించేలా చేసి పెంచవచ్చును. (ఉష్ణశక్తి పెంచుట వలన గతిశక్తిలోని పెరుగుదల). అణువుల మద్య ఆకర్షణ బలాలను అధిగమించి చలించేలా చేయుట వలన కూడ అంతర్గతశక్తిని పెంచగలం. అనగా దానిపై పని చేయుట వలన, అంతర్గతశక్తిని 'U' అనే అక్షరంతో సూచిస్తారు.

ఒక వ్యవస్థ యొక్క అంతర్గత శక్తి = అణువుల గతిశక్తి + అణువుల స్థితిశక్తి

బాహ్య బలానికి గురి చేసిన వియుక్త ఉష్ణగతిక వ్యవస్థను గమనిద్దాం. వ్యవస్థపై 'W' అనే పని చేయుట ద్వారా అది తొలి స్థితి 'i' నుండి తుది స్థితి 'f' కు స్థిరోష్ణకంగా చేరింది అనుకుందాం. తొలి మరియు తుది స్థితుల వద్ద వరసగా దాని శక్తులు 'U_i' మరియు 'U_f' అనుకుందాం. వ్యవస్థపై పని జరిగింది కనుక తొలి స్థితిలో అంతర్గత శక్తి 'U_i' కంటె తుది స్థితిలో అంతర్గత శక్తి 'U_f' ఎక్కువగా ఉంటుంది.

శక్తి నిత్యత్వ సూత్రం ప్రకారం మనం క్రింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$U_i - U_f = -W$$

రుణగుర్తు వ్యవస్థపై పని జరగడాన్ని సూచిస్తుంది.

అంతర్గత శక్తి పని వలెకాక అది ప్రయాణించిన మార్గం పై ఆధారపడక తుది మరియు తొలి స్థితులపై ఆధారపడుతుంది. 'U' అనేది స్థితి యొక్క ప్రమేయం అది దాని స్థితి చలన రాశులు P, V మరియు T లపై మాత్రమే ఆధారపడుతుంది. వ్యవస్థ కొంత పని చేసినచో దానిని అంతర్గత శక్తి తగ్గుతుందని గమనించాలి.

12.4 ఉష్ణ గతిక శాస్త్ర ప్రథమ నియమం

ఉష్ణ గతిక శాస్త్ర శూన్యాంక నియమం వేరు వేరు వ్యవస్థలు ఒకే ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉండటాన్ని తెలుపుతుంది. కాని సమతాస్థితిలో లేని వ్యవస్థల గురించి ఈ నియమం ఏమి చెప్పలేదు. మనం రెండు ఉదాహరణలు గమనిద్దాం. (i) వేరు వేరు ఉష్ణోగ్రతల వద్ద ఉన్న రెండు వ్యవస్థలను ఉష్ణ సంబంధం కలిగేలా ఉంచాం అనుకుందాం. (ii) రెండు వ్యవస్థల మధ్య యాంత్రికమైన రుద్దుడు. ఈ రెండు సందర్భములలోను ఉష్ణోగ్రత మార్పు జరుగుతుంది, కాని దీనిని ఉష్ణగతిక శాస్త్ర సూన్యాంక నియమం వివరించలేదు. అట్టి ప్రక్రియలను వివరించడానికి ఉష్ణ గతిక శాస్త్ర ప్రథమ నియమం ప్రవచించబడింది.

ఉష్ణగతిక శాస్త్ర ప్రథమ నియమం వాస్తవానికి ఉష్ణ గతిక వ్యవస్థకు శక్తి నిత్యత్వ సూత్రం. ఉష్ణగతిక ప్రక్రియలో వ్యవస్థ యొక్క అంతర్గత శక్తిలోని మార్పు వ్యవస్థకు ఇచ్చిన ఉష్ణరాశి మరియు దానిపై చేసిన పనుల

మొత్తానికి సమానం. 'ΔQ' అనే పరిమాణం గల ఉష్ణాన్ని వ్యవస్థకు ఇచ్చినపుడు '$-\Delta W$' అనే పని వ్యవస్థపై జరిగింది అనుకుందాం. ఉష్ణగతిక శాస్త్ర మొదటి నియమం ప్రకారం వ్యవస్థ యొక్క అంతర్గత శక్తిలోని పెరుగుదల క్రింది విధంగా చెప్పవచ్చు.

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W \qquad (12.3\ [a])$$

ఇది ఉష్ణగతిక శాస్త్రం యొక్క గణితాత్మక రూపం. ఇచట ΔQ, ΔU లు అన్నియు ΔW ప్రమాణాలలో ఉంటాయి.

ఉష్ణగతిక శాస్త్ర మొదటి నియమాన్ని క్రింద చూపిన విధంగా కూడ వ్రాయవచ్చు.

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W \qquad (12.3\ [b])$$

ΔQ, ΔU మరియు ΔW ల యొక్క గుర్తులు క్రింద తెలిపిన సంజ్ఞా సంప్రదాయాల ప్రకారం తీసుకుంటాం.

1. ఒక వ్యవస్థ చేసిన పని (ΔW) ని ధనాత్మకం గాను, వ్యవస్థపై చేసిన పని ఋణాత్మకంగాను తీసుకుంటాం. వ్యవస్థ వ్యాకోచించినపుడు జరిగిన పని ధనాత్మకం. వ్యవస్థ సంకోచించినపుడు ఘనపరిమాణం తగ్గుతుంది మరియు జరిగిన పని ఋణాత్మకం. ఉష్ణ గతిక వ్యవస్థ యొక్క తుది మరియు తొలి స్థితులపై జరిగిన పని ఆధారపడదు. మార్పు రావడానికి అది అనుసరించిన మార్గంపై మాత్రమే ఆధారపడుతుంది.
2. ఒక వ్యవస్థ గ్రహించిన ఉష్ణం ధనాత్మకంగాను వ్యవస్థ నష్టపోయిన ఉష్ణం ఋణాత్మకంగాను తీసుకుంటాం.
3. అంతర్గత శక్తిలోని పెరుగుదలను ధనాత్మకంగాను, మరియు అంతర్గత శక్తిలోని తగ్గుదలను ఋణాత్మకంగాను తీసుకుంటాం.

ఒక వ్యవస్థ '1'వ స్థితి నుండి '2'వ స్థితికి తీసుకురాబడితే ΔQ మరియు ΔW లు రెండును, మార్పు చెందిన మార్గంపైన ఆధారపడతాయి. అయినప్పటికి ΔU ను సూచించే $(\Delta Q - \Delta W)$ ల బేధం, మార్పు జరిగే అన్ని మార్గాలకు ఒకేలా ఉంటుంది.

కాబట్టి ఒక వ్యవస్థ యొక్క అంతర్గత శక్తిలోని మార్పు ΔU ఉష్ణగతిక వ్యవస్థ మార్పు చెందే మార్గాలపై ఆధారపడదు అని చెప్పవచ్చు.

12.4.1 ఉష్ణగతిక శాస్త్ర మొదటి నియమానికి పరిమితులు

ఉష్ణగతిక శాస్త్ర ప్రథమ నియమం ఉష్ణం మరియు శక్తి యొక్క ఇతర రూపాంతరాలకు మధ్య సమతుల్యాన్ని చెబుతుంది. ఈ సమతుల్యం మనచుట్టూ ఉన్న ప్రపంచం అంతా పని చేస్తుంది. మన ఇళ్ళల్లో దీపాలు వెలగడానికి, యంత్రాలు పనిచేయడానికి, రైళ్లు నడవడానికి ఉపయోగించే విద్యుత్ శక్తి, శిలాజ ఇంధనాలు లేదా కేంద్రక ఇంధనాలు మండడం వల్ల ఉద్భవించిన ఉష్ణంవల్ల జనించినదే. దీని అర్థం ఇది విశ్వ వ్యాప్తమయినది. వాతావరణపు పై పొరలలోని స్థిరోష్ణక మార్పుల ఎత్తుకు వెళ్ళే కొలదీ ఉష్ణోగ్రత తగ్గడాన్ని వివరిస్తుంది. ప్రవహించే ప్రక్రియలకు మరియు రసాయన చర్యలకు దీని అనువర్తనాలు చాల ఆసక్తిగా ఉంటాయి. ఇప్పుడు క్రింది ప్రక్రియలను గమనిద్దాం.

- ఉష్ణం ఎల్లపుడు వేడి వస్తువు నుండి చల్లని వస్తువుకు ప్రవహిస్తుందని మనకు తెలుసు. కాని ఉష్ణం చల్లని వస్తువు నుండి వేడి వస్తువుకు ప్రవహించడాన్ని ఉష్ణ గతికశాస్త్ర ప్రథమ నియమం నిషేధించలేదు. ఉష్ణం ప్రవహించే దిశను తెలపడంలో ఇది విఫలమయ్యింది.

- తుపాకీ గుండు ఒక లక్ష్యాన్ని తాకినపుడు దాని గతిశక్తి అంతా ఉష్ణంగా మారుతుందని మీకు తెలుసు. లక్ష్యంలో జనించిన ఉష్ణం గతిశక్తిగా మారి తుపాకీ గుండు ఎగురడానికి ఎందుకు ఉపయోగపడదో ఈ నియమం సూచించలేదు. ఉష్ణం పనిగా మారడానికి నియమాలను ఈ సూత్రం సమకూర్చలేకపోయింది. ఇంకా ఎంత ప్రమాణం గల ఉష్ణం పనిగా మారుతుందో తెలపడానికి పరిమితులు తెలుపలేదు.

ఇపుడు కొంచం విరామం తీసుకొని క్రింది ప్రశ్నలకు సమాధానములు చెప్పండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 12.2

1. ఖాళీలను పూరించండి.

   (i) ఒక వ్యవస్థలోని అణువుల గతిశక్తి మరియు స్థితి శక్తుల మొత్తాన్ని ఆ వ్యవస్థ యొక్క ..... అంటారు.

   (ii) జరిగిన పని = –W. ఇది వ్యవస్థ ..... చేసిన పనిని తెలుపుతుంది.

2. ఉష్ణగతిక శాస్త్ర మొదటి నియమం ఇలా ప్రవచిస్తుంది .....

12.5 ఉష్ణగతిక శాస్త్ర రెండవ నియమం

ఉష్ణం ప్రవహించే దిశను తెలపడంలోను, ఎంత ప్రమాణం గల ఉష్ణం పనిగా మారుతుందో చెప్పడంలోను ఉష్ణగతిక శాస్త్ర మొదటి నియమానికి సహజమైన పరిమితులు ఉన్నాయని మీకు తెలుసు. ఉష్ణం మొత్తాన్ని పనిగా మార్చగలమా? అనే ప్రశ్న మీకు కలగవచ్చు. ఏ పరిస్థితులలో ఈ మార్పు జరుగుతుంది? అట్టి ప్రశ్నలకు సమాధానాలు ఉష్ణగతిక శాస్త్ర రెండవ నియమంలోని సిద్ధాంతంలో ఉన్నాయి. ఉష్ణగతిక శాస్త్ర రెండవ నియమాన్ని అనేక విధాలుగా చెప్పవచ్చు. అయినప్పటికి ఇచట మీరు కెల్విన్ – ప్లాంక్ మరియు క్లాసియస్ ప్రవచనాలను ఉష్ణగతిక శాస్త్ర రెండవ నియమంగా చదువుతారు.

కెల్విన్ – ప్లాంక్ ప్రవచనం : ఇది ఉష్ణయంత్రాల పని పనితనం అనుభవంగా చెప్పబడింది. (ఉష్ణ యంత్రం తరువాత అంశంలో వివరించడం జరిగింది.) ఉష్ణ యంత్రంలో పనిచేసే పదార్థం జనకం (వేడి వస్తువు) నుండి ఉష్ణాన్ని గ్రహించి దానిలో కొంత భాగాన్ని పనిగా మార్చి మిగిలిన దానిని ఉష్ణ గ్రాహకానికి (పరిసరాలకు) తిరస్కరిస్తుంది. ఏ యంత్రము గ్రహించిన మొత్తం ఉష్ణంలో కొంత భాగాన్ని ఉష్ణ గ్రాహకానికి తిరస్కరించకుండా పనిగా మార్చలేదు. ఈ పరిశీలనలను కెల్విన్ మరియు ప్లాంక్‌లను ఉష్ణగతిక శాస్త్ర రెండవ నియమాన్ని ప్రవచించేలా చేసాయి.

ఏ వ్యవస్థకైనా స్థిర ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న రిజర్వాయర్ నుండి గ్రహించిన ఉష్ణం మొత్తాన్ని పనిగా మార్చడం అసాధ్యం.

ఉష్ణగతిక శాస్త్ర రెండవ నియమానికి క్లాసియస్ వివరణ : ఇది శీతలీకరణ యంత్రం పనిచేయు విధంపై ఆధారపడి ప్రవచించబడింది. శీతలీకరణ యంత్రం అంటే వ్యతిరేక దిశలో పని చేయు ఉష్ణ యంత్రం. దీనిపై బాహ్యపని జరిగినపుడు ఇది చల్లని వస్తువు నుండి వేడి వస్తువుకు ఉష్ణాన్ని బదిలీ చేస్తుంది. వ్యవస్థపై చేసిన బాహ్యపని అనే భావన ఇచట ముఖ్యమైనది. ఈ బాహ్యపని చేయడానికి బయటి జనకం నుండి ఉష్ణం సరఫరా చేయడం తప్పనిసరి. ఈ పరిశీలనలు ఉష్ణగతిక శాస్త్రం రెండవ నియమాన్ని క్లాసియస్ వివరించడానికి దారిచూపాయి.

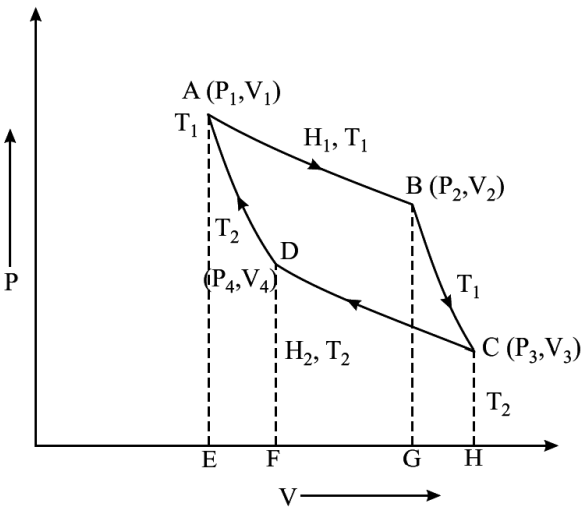
ఉష్ణగతిక శాస్త్ర రెండవ నియమము : బాహ్యపని ప్రమేయం లేకుండా స్వంతగా వ్యవహరించే ఏ ప్రక్రియకైనా ఉష్ణాన్ని చల్లని వస్తువు నుండి వేడి వస్తువుకు సరఫరా చేయుట అసాధ్యం.

ఆ విధంగా ప్రాయోగికంగా ఉండే పరికరాలయిన ఉష్ణ యంత్రాలు మరియు శీతలీకరణ యంత్రాలలో ఉష్ణ గతిక శాస్త్ర రెండవ నియమం ప్రత్యేక పాత్ర పోషిస్తుంది.

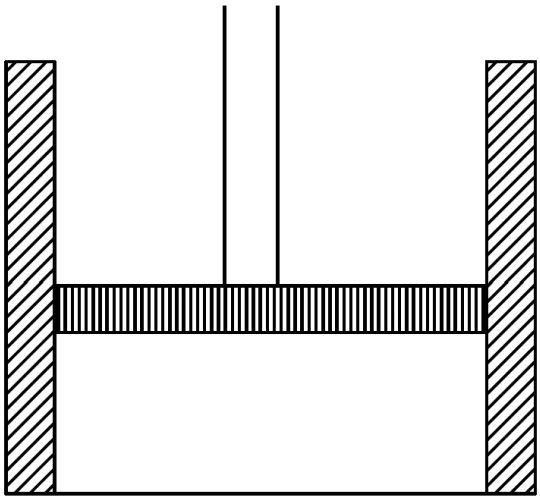
12.5.1 కార్నో చక్రము

ఒక పాత్రలో ఉన్న నీటిని వేడి చేసి మరిగించినపుడు జనించిన భాష్పం పాత్రపై గల మూతను పైకి నెట్టడం గమనించి ఉంటారు. అధిక పీడనంలో గల భాష్పం కొంత ఉపయోగకరమైన పని చేయగలదని చూపుతుంది. ఉష్ణాన్ని పనిగా మార్చే సాధనాన్ని ఉష్ణ యంత్రం అంటారు. మనం నిత్య జీవితంలో ఉపయోగించే ఆధునిక యంత్రాలు ఉష్ణ యంత్రం సూత్రంపై ఆధారపడతాయి. వీటిని మూడు రకాలుగా విభజించవచ్చు. అవి 1) ఉష్ణ యంత్రం 2) అంతర్ధహన యంత్రం మరియు 3) గ్యాస్ టర్బైన్. వాటి యొక్క పనితీరును కార్నో ఉత్క్రమణీయ యంత్రం సహాయంతో అర్థచేసుకోవచ్చు. ఇపుడు వాటిని గూర్చి తెలుసుకుందాం.

కార్నో చక్రంలో పని చేసే పదార్థాన్ని నాలుగు ప్రక్రియలకు గురిచేస్తారు. (a) సమ ఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచం (b) స్థిరోష్ణక వ్యాకోచం (c) సమ ఉష్ణోగ్రతా సంపీడ్యం (d) స్థిరోష్ణక సంపీడ్యం. అటువంటి చక్రాన్ని పటం 12.4లో P-V పటం గ్రాఫ్‌తో సూచించబడింది. కార్నో చక్రం యొక్క నాలుగు ప్రక్రియలు వివరించడానికి పటం 12.5లో చూపినట్లు ఒక గ్రాం మోల్ పని చేసే పదార్థాన్ని (వాయువు) ఒక స్థూపాకార పాత్రలో నింపుదాం. సూచీపటంలో పనిచేసే పదార్థం యొక్క అసలైన స్థితినిజు బిందువు సూచిస్తుంది. ఈ బిందువు వద్ద పనిచేసే పదార్థం ఉష్ణోగ్రత T_1, పీడనం P_1 మరియు ఘన పరిమాణం V_1.



పటం 12.4 కార్నో చక్రం యొక్క సూచీ పటం



పటం 12.5 పనిచేసే వాయువుతో నింపిన స్థూపాకార పాత్ర

(a) **సమఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచం :** స్థూపాన్ని ఉష్ణ జనకంతో ఉష్ణ స్పర్శలో ఉంచి వ్యాకోచించేలా చేస్తాం. పని చేసే పదార్థం యొక్క ఘన పరిమాణం V_2 కు పెరుగుతుంది. ఆ విధంగా ముషలకాన్ని పైకి నెట్టడంలో పనిచేసే పదార్థం పనిచేసింది. ఈ విధంగా పనిచేసే పదార్థం యొక్క ఉష్ణోగ్రత తగ్గే పరిస్థితి నెలకొంటుంది. కాని అది ఉష్ణ జనకంతో ఉష్ణ స్పర్శ కలిగి ఉంది. కనుక అది T_1 ఉష్ణోగ్రత వద్ద గల జనకం నుండి V_2 అనే పరిమాణం గల ఉష్ణాన్ని గ్రహిస్తుంది. దీనిని 'B' బిందువు సూచిస్తుంది. B బిందువు వద్ద పీడనం మరియు ఘనపరిమాణములు వరుసుగా P_2 మరియు V_2. సూచీ పటంలో (12.4) 'A' నుండి 'B' కి వెళ్లేటపుడు వ్యవస్థ యొక్క ఉష్ణోగ్రత స్థిరంగా ఉండి పనిచేసే పదార్థం వ్యాకోచిస్తుంది. మనం దానిని సమఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచ ప్రక్రియ అంటాం. సమఉ ష్ణోగ్రతా వ్యాకోచ ప్రక్రియలో 'H_1' పరిమాణం గల ఉష్ణం శోషించబడింది. ఉష్ణగతికశాస్త్ర ప్రథమ నియమం ప్రకారం T_1 ఉష్ణోగ్రత వద్ద వాయువు సమఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచ ప్రక్రియలో A నుండి B కి వ్యాకోచం చెందడంలో చేసిన పనికి 'H_1' పరిమాణం గల ఉష్ణం సమానంగా ఉంటుంది. AB సమఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచంలో వాయువు చేసిన బాహ్యపని W_1 అనుకుందాం. అప్పుడు ఇది ABGEA వైశాల్యానికి సమానం.

కనుక W_1 = వైశాల్యం ABGEA

(b) **స్థిరోష్ణక వ్యాకోచం :** తరువాత స్తూపాకార పాత్రని ఉష్ణ జనకం నుండి వేరు చేసి పరిపూర్ణ ఉష్ణ బంధక స్టాండుపై ఉంచాలి. అది ముషలకంపై భారాన్ని ఇంకా తగ్గించడం వలన పీడనం 'P_3' కి చేరుతుంది. ఈ వ్యాకోచం పూర్తిగా స్థిరోష్ణకం అవుతుంది. ఎందుకంటే ఉష్ణం పనిచేసే పదార్థంలోనికి ప్రవేశించలేదు మరియు బయటికి పోలేదు కనుక పనిచేసే పదార్థం దాని అంతర్గత శక్తిని వినియోగించి ముషలకాన్ని పైకి నెట్టడంలో బాహ్యపని చేస్తుంది. కనుక దాని ఉష్ణోగ్రత తగ్గుతుంది. ఆ విధంగా వాయువు, ఉష్ణగ్రాహకం ఉష్ణోగ్రత 'T_2' కు తగ్గువరకు స్థిరోష్ణక వ్యాకోచం జరుగుతుంది. సూచీ పటంలో దీనిని స్థిరోష్ణక వక్రం BCతో చూపబడింది. మనం దీనిని స్థిరోష్ణక వ్యాకోచం అంటాం. 'C' వద్ద పదార్థం యొక్క పీడనం మరియు ఘన పరిమాణాలు వరుసగా P_3 మరియు V_3 లు మరియు W_2 పనిచేసే పదార్థం 'B' నుండి 'C' వరకు చేసిన పని అవుతుంది.

అపుడు

W_2 = BCHGB వైశాల్యం.

(c) **సమ ఉష్ణోగ్రతా సంపీడ్యం :** స్థూపాన్ని ఉష్ణ బంధక స్టాండుపై నుండి తొలగించి T_2 ఉష్ణోగ్రత వద్ద గల ఉష్ణగ్రాహకంపై ఉంచాలి. వాయువును మెల్లిగా సంపీడ్యంచేయడానికి ముషలకంపై గల భారాన్ని (పీడనం) పెంచి దాని పీడనం మరియు ఘనపరిమాణము P_4 మరియు V_4లకు చేరే వరకు చేయాలి. ఇది సూచీ పటం (12.4)లో 'D' బిందువు చూపుతుంది. సంపీడనంలో జనించిన ఉష్ణం (H_2) ఉష్ణగ్రాహకాన్ని చేరుతుంది. ఆ విధంగా వ్యవస్థ యొక్క ఉష్ణోగ్రతలో మార్పు ఉండదు. కనుక దీనిని సమ ఉష్ణోగ్రతా సంపీడనం అంటాం. పటం (12.4)లో దీనిని ప్రఈ వక్రంతో చూపబడింది. ఈ

ప్రక్రియలో ఉష్ణగ్రాహకానికి తిరస్కరించబడిన ఉష్ణం (H_2) పనిచేసే పదార్థంపై చేసిన పని (W_3) కి సమానం.

కనుక W_3 = CHFDC వైశాల్యం

(d) స్థిరోష్ణక సంపీడ్యం : వ్యవస్థను మరోకసారి ఉష్ణ బంధక స్టాండుపై ఉంచండి. ముషలకంపై భారాన్ని నెమ్మదిగా పెంచండి. పదార్థం నెమ్మదిగా సమ ఉష్ణోగ్రతా సంపీడనం చెందుతుంది. పదార్థ ఉష్ణోగ్రత T_1 కు పెరిగి పీడనం మరియు ఘన పరిమాణములు మరల యదార్థ స్థితికి అనగా P_1 మరియు V_1 లకు చేరేవరకు ఈ సంపీడనం కొనసాగుతుంది. ఇది స్థిర ఉష్ణోగ్రతా సంపీడనం దీనిని సూచీ పటం (12.4) లో DA వక్రం చూపుతుంది. D నుండి A కు సంపీడనం చెందే ప్రక్రియలో చేసిన పని W_4 అనుకుందాం.

అపుడు W_4 = DFEAD వైశాల్యం అవుతుంది.

పై చక్రీయ ప్రక్రియలలో పనిచేసే పదార్థం జనకం నుండి H_1 పరిమాణం గల ఉష్ణాన్ని గ్రహించి H_2 పరిమాణం గల ఉష్ణాన్ని తిరస్కరించి ఉష్ణ గ్రాహకానికి ఇచ్చినది కనుక పనిచేసే పదార్థం గ్రహించిన ఫలిత ఉష్ణం $\Delta H = H_1 - H_2$ అవుతుంది.

ఒక పూర్తి చక్రానికి ఉష్ణ యంత్రం ఫలితంగా చేసిన పని (W) అయితే

W = ABCHEA వైశాల్యం – CHEADC వైశాల్యం

= ABCD వైశాల్యం

ఆ విధంగా ఒక చక్రంలో పనిచేసే పదార్థం చేసిన పని P-V పటంలో ఒక చక్రం యొక్క వైశాల్యానికి సమానం. పదార్థం యొక్క తుది మరియు తొలి స్థితులు ఒక్కటే అని చదివారు దాని యొక్క అంతర్గత శక్తిలో మార్పులేదని దీని అర్థం. కనుక ఉష్ణ గతికశాస్త్ర ప్రథమ నియమం ప్రకారం

$$W = H_1 - H_2$$

కనుక ఉష్ణం పనిగా మార్చబడిందని దీని అర్థం. ఈ చక్రాన్ని పునరావృతం చేయడం ద్వారా ఎంత పరిమాణం గల పనినైనను పొందవచ్చు.

12.5.2 కార్నో యంత్రం యొక్క దక్షత

ఒక చక్రంలో పనిగా మార్పు చెందిన ఉష్ణానికి మరియు పనిచేసే పదార్థం జనకాన్నుండి గ్రహించిన ఉష్ణానికి గల నిష్పత్తిని కార్నో యంత్రం యొక్క దక్షత అంటారు.

దీనిని η తో సూచిస్తారు.

$$\eta = \frac{\text{పనిగా మార్చబడిన ఉష్ణం}}{\text{జనకం నుండి గ్రహించిన ఉష్ణం}}$$

లేదా $\eta = \frac{H_1 - H_2}{H_1} = 1 - \frac{H_2}{H_1}$

కార్నో చక్రానికి క్రింది విధంగా చూపవచ్చును.

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

కనుక $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

ఉష్ణ యంత్రం యొక్క దక్షత పనిచేసే పదార్థం యొక్క స్వభావంపై ఆధారపడదని గమనించాలి. ఉష్ణగ్రాహకానికి ఉష్ణం ఏమి తిరస్కరించకపోతే η విలువ ఒకటి అవుతుంది కాని H_2 శూన్యం కావాలంటే T_2 కచ్చితంగా శూన్యం కావాలి. అంటే $T_2 = 0$ అయినపుడు మాత్రమే η విలువ 100% అవుతుంది. అపుడు ఉష్ణ జనకాన్నుండి గ్రహించిన మొత్తం ఉష్ణం పనిగా మార్చబడింది. ఇది ఉష్ణ గతిక శాస్త్ర రెండవ నియమాన్ని వ్యతిరేకిస్తుంది. కనుక ఆవిరి యంత్రాన్ని కచ్చితమైన ఉష్ణోగ్రత పరిమితుల మధ్య మాత్రమే పనిచేయించగలం. దీని దక్షత ఒకటి కంటె తక్కువ ఉంటుంది.

కార్నో చక్రం ఉత్క్రమణీయ చక్రం కనుక దీనికి దక్షత ఎక్కువ అని చెప్పవచ్చు. రెండు ఉష్ణోగ్రతల మధ్య పనిచేసే ఏ యంత్రం కూడ కార్నో యంత్రం కన్నా ఎక్కువ దక్షత కలదిగా ఉండదు.

12.5.3 కార్నో యంత్రానికి పరిమితులు

కార్నో యంత్రాన్ని సమ ఉష్ణోగ్రత మరియు స్థిరోష్ణక ప్రక్రియల ప్రకారం అధ్యయనం చేశారు. సమ ఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియలో ముషలకం చాలా నెమ్మదిగా కదలినపుడు మాత్రమే సాధ్యం. అంటే ఉష్ణం పని చేసే పదార్థం నుండి జనకానికి బదిలీ అవడానికి తగినంత సమయం కావాలి అని అర్థం. స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలో ఉష్ణం బదిలీ అవడానికి వీలు లేనంత వేగంగా ముషలకం కదలాలి. ఈ ముఖ్యమైన షరతులు ప్రాయోగికంగా నెరవేర్చడం సాధ్యం కాదు. ఈ కారణాల వలన అన్ని ప్రాయోగిక యంత్రాలు కార్నో యంత్రం కన్నా తక్కువ దక్షత కలిగి ఉంటాయి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 12.3

1. క్రింది వాక్యములు తప్పు లేదా ఒప్పో వ్రాయండి.

   (i) కార్నో యంత్రములో ఆదర్శ వాయువు వేడిగా ఉన్న ఉష్ణ జనకం నుండి ఉష్ణాన్ని గ్రహించినపుడు, ఉష్ణ జనకం యొక్క ఉష్ణోగ్రత తగ్గుతుంది. .....

   (ii) కార్నో యంత్రములో ఉష్ణగ్రాహకం యొక్క ఉష్ణోగ్రత తగ్గినపుడు దాని దక్షత కూడ తగ్గును. .....

2. (i) కార్నో యంత్రమునకు 1000 K మరియు 500 K ఉష్ణోగ్రతల మధ్య ఉండే దక్షత TK మరియు 1000 K ఉష్ణోగ్రతల మధ్యగల దక్షతకు సమానమయిన 'T' విలువ గణించండి. .....

(ii) కార్నో యంత్రము మంచు ఉష్ణోగ్రత మరియు TK లు మధ్య పని చేసినపుడు దాని దక్షత 0.68 అయినచో 'T' విలువ కనుక్కోండి. .....

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- ఉష్ణము శక్తి యొక్క రూపాంతరము. ఇది మనకు వెచ్చదనాన్ని కలిగిస్తుంది.
- హెచ్చు ఉష్ణోగ్రత నుండి తక్కువ ఉష్ణోగ్రతకు ఉష్ణోగ్రతా భేదము వలన ప్రవహించే శక్తినే ఉష్ణశక్తి అంటారు.
- ఉష్ణ శక్తికి ప్రమాణము కెలోరి (calorie) గా సూచిస్తారు.

  1 కెలోరి = 4.18 జౌళ్ళు (4.18 J)

  1 కిలోకెలోరి (1కి కెలోరి) = 1000 కెలోరి

  1 కి కెలోరి = 10^3 కెలోరి.
- ఉష్ణగతిక ప్రక్రియలో ఘనపరిమాణము (V) తో పీడనము (P) యొక్క మార్పును తెలియజేసే గ్రాఫును సూచీ పటం అంటారు.
- సంపీడనం గాని వ్యాకోచం గాని జరిగేటపుడు వాయువు చేసిన పని $P \Delta V = P (V_f - V_i)$ అగును.
- ఉష్ణగతిక శాస్త్ర శూన్యాంక నియమము ప్రకారము రెండు వ్యవస్థలు వేరువేరుగా మూడవ వ్యవస్థతో ఉష్ణ సమాతాస్థితిలో ఉన్నపుడు, ఆ రెండు వ్యవస్థలు ఒక దానితో ఒకటి ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉంటాయి.
- ఒక వస్తువు లోని అణువుల యొక్క గతిశక్తి మరియు స్థితిశక్తుల మొత్తము ఆ వస్తువు యొక్క అంతర్గత శక్తిని తెలియజేయును. పని మరియు అంతర్గత శక్తుల మద్య సంబంధము క్రింది విధంగా ఉంటుంది.

  అంతర్గత శక్తుల బేధము = పని

  $$U_i - U_f = -W$$

  లేదా $U_f - U_i = -W.$

  ఇచట U_i, U_f లు వ్యవస్థ యొక్క తొలి, తుది అంతర్గత శక్తులు.
- ఉష్ణగతిక శాస్త్ర ప్రథమ నియమము ప్రకారము ఒక వ్యవస్థకు ఇచ్చిన ఉష్ణము దాని అంతర్గత శక్తిలోని భేదము మరియు జరిగిన బాహ్య పనుల మొత్తానికి సమానము.
- ఉష్ణగతిక శాస్త్ర ప్రథమ నియమము ప్రక్రియ యొక్క దిశను గురించి ఏమి తెలపదు.
- ఒక వ్యవస్థను తుది స్థితి నుండి తొలి స్థితి కి అది వెళ్ళిన మార్గము ద్వారానే వెనుకకు తీసుకు రాగలిగితే ఆ ప్రక్రియను ఉత్క్రమణీయ ప్రక్రియ అంటారు.

- ఒక వ్యవస్థను తుది స్థితి నుండి తొలి స్థితికి అది వెళ్ళిన మార్గము ద్వారానే వెనుకకు తీసుకురాలేని ప్రక్రియను అనుత్క్రమణీయ ప్రక్రియ అంటారు.
- స్థిర ఉష్ణోగ్రత వద్ద జరిగే ఏ ఉష్ణగతిక ప్రక్రియనైనా స్థిరఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియ అంటారు.
- ఉష్ణరాశి స్థిరంగా ఉండే ఉష్ణ గతిక ప్రక్రియను స్థిరోష్ణక ప్రక్రియ అంటారు.
- పదార్థం యొక్క మూడు స్థితులను 'ప్రావస్థలు' అంటారు. పదార్థం యొక్క మూడు ప్రావస్థ లను తెలిపే 'పీడనము' మరియు 'ఉష్ణోగ్రతల' మధ్య గీసిన గ్రాఫును ప్రావస్థ పటం అంటారు.
- ఘన, ద్రవ, వాయు స్థితులు మూడు ఏక కాలంలో సంభవించే స్థితిని త్రిక బిందువు అంటారు. త్రిక బిందువు ప్రత్యేకమయిన ఉష్ణోగ్రతా పీడనాలను కలిగి ఉంటుంది.
- ఉష్ణగతిక శాస్త్ర రెండవ నియమానికి సంబందించి 'కెల్విన్ – ప్లాంక్' ప్రతిపాదన ప్రకారం ఒకే ఉ ష్ణ జనకం నుండి నిర్విరామంగా పని జరుపుట అసంభవము.
- ఉష్ణగతిక శాస్త్ర రెండవ నియమానికి సంబందించి 'క్లాసియస్' వివరణ ప్రకారం వ్యవస్థ పై బాహ్య పని జరుగకుండా ఉష్ణము చల్లని వస్తువు నుండి వేడి వస్తువుకు ప్రవహించదు.
- ఏ ఉష్ణ యంత్రానికైనా క్రింది మూడు అంశములు ఉండాలి.

  (i) ఉష్ణాన్ని గ్రహించడానికి ఉష్ణ జనకం.

  (ii) తిరస్కరించిన ఉష్ణాన్ని గ్రహించడానికి ఉష్ణ గ్రాహకం.

  (iii) ఉష్ణాన్ని గ్రహించిన తరువాత యాంత్రిక పనిచేసే పదార్థం (Working substance)
- కార్నో యంత్రము అనగా (i) సమ ఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచము (ii) స్థిరోష్ణక వ్యాకోచము (iii) సమ ఉష్ణోగ్రతా సంపీడనము (iv) స్థిరోష్ణక సంపీడనము అనే నాలుగు ప్రక్రియల ద్వారా పని చేసే ఆదర్శ యంత్రం. ఇట్టి చక్రీయ ప్రక్రియ జరిపే దానిని కార్నో చక్రము అంటారు.
- కార్నో యంత్రానికి దక్షత

  $\eta = 1 - \frac{H_2}{H_1}$, H_1 = గ్రహించిన ఉష్ణరాశి

  H_2 = తిరస్కరించిన ఉష్ణరాశి
- $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$, T_1 = ఉష్ణ జనకం యొక్క ఉష్ణోగ్రత

  T_2 = ఉష్ణ గ్రాహకం యొక్క ఉష్ణోగ్రత
- కార్నో యంత్రము యొక్క దక్షత పనిచేసే పదార్థము యొక్క స్వభావం పై ఆధారపడదు.

ముగింపు అభ్యాసం

1. అంతర్గత శక్తికి, ఉష్ణ శక్తి కి తేడా తెలపండి.
2. సూచీ పటం అనగా ఏమి ? ఆదర్శ వాయువు వ్యాకోచం చెందినపుడు జరిగిన పనికి సమీకరణాన్ని ఉత్పిదించండి.
3. ఉష్ణ గతిక శాస్త్ర శూన్యాంక నియమాన్ని నిర్వచించి ఉష్ణోగ్రతను నిర్వచించండి.
4. ఉష్ణ గతిక శాస్త్ర మొదటి నియమాన్ని తెలిపి దానికి పరిమితులు వ్రాయండి.
5. సమ ఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియ, స్థిరోష్ణక ప్రక్రియ సమ పీడన ప్రక్రియ మరియు సమ ఘనపరిమాణ ప్రక్రియల మధ్య గల భేదములు తెలపండి.
6. ఉష్ణ గతిక శాస్త్ర రెండవ నియమాన్ని తెలపండి.
7. ఉత్క్రమణీయ ప్రక్రియ మరియు అనుత్క్రమణీయ ప్రక్రియలను ఉదాహరణలతో చర్చించండి.
8. కార్నో చక్రాన్ని వివరించండి. సూచీ పటం సహాయంతో దక్షతను గణించండి.
9. (a) ఒక వ్యవస్థ 2000 జౌళ్ళ ఉష్ణాన్ని గ్రహించి 500 జౌళ్ళ పని చేసినపుడు, (b) ఒక వ్యవస్థ 1100 జౌళ్ళ ఉష్ణాన్ని గ్రహించి 400 జౌళ్ళ పని చేసినపుడు వ్యవస్థ యొక్క అంతర్గత శక్తి లోని మార్పును గణించండి.
10. ఉష్ణ జనకం ఉష్ణోగ్రత 400 K వద్ద గల కార్నో యంత్రము 200 కెలోరీల ఉష్ణాన్ని గ్రహించి 150 కెలోరీల ఉష్ణాన్ని ఉష్ణగ్రాహకానికి తిరస్కరించింది అపుడు. (i) ఉష్ణగ్రాహకం (Heat sink) ఉష్ణోగ్రత ఎంత? (ii) ఉష్ణ యంత్రము యొక్క దక్షతను లెక్కించండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

12.1

1. (i) ఉష్ణోగ్రత (ii) C (iii) జౌల్ (లేదా) కెలోరి
2. (a) $P_2 (V_2 - V_1)$ (b) $-P_2 (V_2 - V_1)$
3. (i) వ్యతిరేక దిశలో వెనుకకు తీసుకువచ్చుట.

   (ii) అనుత్క్రమణీయ
4. సమ ఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియ స్థిర ఉష్ణోగ్రత వద్ద జరుగుతుంది. స్థిరోష్ణక ప్రక్రియ ఉష్ణరాశి స్థిరంగా ఉన్నపుడు జరుగుతుంది.
5. త్రిక బిందువు వద్ద పదార్థం యొక్క ఘన, ద్రవ మరియు భాష్ప స్థితులు ఏక కాలంలో సంభవిస్తాయి.

12.2

1. (i) అంతర్గత శక్తి (ii) మీద

2. ఒక వ్యవస్థ కు ఇచ్చిన ఉష్ణం దాని యొక్క అంతర్గత శక్తి లోని మార్పు మరియు బాహ్య పనుల మొత్తానికి సమానం.

12.3

1. (i) తప్పు (ii) ఒప్పు

2. (i) 2000 K (ii) 8583.1 K

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

9. (a) 1500 J (b) 1500 J

10. 300 K, 25%

13

వాయువుల అణుచలన సిద్ధాంతం

పరిచయం

ఇంతకుముందు పాఠాలలో మీరు చదువుకున్న విధంగా ప్రమాణ ఉష్ణోగ్రత, పీడనాల (STP) వద్ద పదార్థం మూడు స్థితులు – ఘన, ద్రవ, వాయు స్థితులలో ఉంటుంది. ఇవి పరమాణువులు / అణువులచే నిర్మితమై ఒకదానికొకటి అంతర్ అణుబలాల చేత బంధింపబడి ఉంటాయి. గది ఉష్ణోగ్రత వద్ద, ఈ పరమాణువులు / అణువులు నియమిత ఉష్ణశక్తిని కల్గి ఉంటాయి. ఉష్ణశక్తి పెరిగితే, ఈ అణువులు మరింత స్వేచ్ఛగా కదలడం మొదలవుతుంది. ఈ స్థితిలోని పదార్థం వాయు స్థితిలో ఉందని అంటారు. ఈ స్థితిలో అంతర్ అణుబలాలు చాలా బలహీనంగా ఉంటాయి. మరియు వాటి గతి శక్తితో పోలిస్తే చాలా తక్కువగా ఉంటాయి.

వేరు వేరు ఉష్ణోగ్రత, పీడనం, ఘనపరిమాణ పరిస్థితులలో వాయువులు భిన్న ధర్మాలను ప్రదర్శిస్తాయి. ఉదాహరణకు స్థిర ఘనపరిమాణం వద్ద వాయు ఉష్ణోగ్రత పెంచితే దాని పీడనం పెరుగుతుంది. ఈ పాఠంలో మీరు కొన్ని సూక్ష్మమైన ఊహనాలు ఆధారంగా ఉండే అణుచలన సిద్ధాంతం గురించి నేర్చుకుంటారు. అణువుల గతిశక్తితో ఉష్ణోగ్రతకు గల సంబంధం యొక్క చలన అర్థవివరణ కూడా నేర్చుకుంటారు. వాయువులకు రెండు రకాల ఉష్ణ సామర్థ్యాలు ఎందుకు ఉంటాయో కూడా ఈ పాఠంలో వివరించబడింది.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరువాత మీకు క్రింది విషయాలు తెలుస్తాయి.

- అణుచలన సిద్ధాంత ప్రాథమిక లక్ష్యమైన ఉష్ణోగ్రత, పీడనం మరియు ఘనపరిమాణాల మధ్య సంబంధాన్ని ఉత్పాదించడం.
- అణుచలన సిద్ధాంత ప్రాథమిక భావనలను అర్థం చేసుకోగలరు.
- అణుచలన సిద్ధాంతము ఊహనాలు ప్రవచించగలరు
- వాయు పీడనానికి సమీకరణం $P = \frac{1}{3}\rho\,\overline{c^{-2}}$ ఉత్పాదించగలరు
- ఉష్ణోగ్రతతో ఆర్ఎమ్‌యస్ వేగం మరియు సగటు వేగం ఏ విధంగా సంబంధం కల్గి ఉంటాయో వివరించగలరు
- వాయు అణుచలన సిద్ధాంతం ఆధారంగా వాయు నియమాలు ఉత్పాదించగలరు
- ఉష్ణోగ్రతకు చలన అర్థవివరణ ఇవ్వడమే గాక, వాయువు యొక్క సగటు గతిశక్తి గణించగలరు

- శక్తి సమ విభాజక సూత్రాన్ని వివరించగల్గుతారు
- వాయువుకు రెండు రకాల విశిష్టోష్ణాలు ఎందుకు ఉన్నాయో తెలియచేయగలుగుతారు.
- $C_P - C_V = \frac{R}{J}$ సంబంధాన్ని ఉత్పాదించగలరు.
- *explain why a gas has two heat capacities.*

13.1 వాయువుల అణుచలన సిద్ధాంతము

పదార్థం అసంఖ్యాకమైన పరమాణువులు, అణువుల చేత నిర్మితమై ఉంటుందని ఇప్పుడు మీరు తెలుసుకుంటారు. ప్రతి అణువు పదార్థంలోని భాగం కావడం వల్ల అవి పదార్థం అభిలక్షణాలను ప్రదర్శిస్తాయి. ఆదర్శ వాయువు యొక్క స్థూల (బల్క్) ధర్మాలయిన పీడనం, ఘనపరిమాణం మరియు ఉష్ణోగ్రతలకు సూక్ష్మ (మైక్రోస్కోపిక్) ధర్మాలయిన విడివిడి అణువుల యొక్క వడి, ద్రవ్యరాశుల మధ్య సంబంధాన్ని వాయువుల అణుచలన సిద్ధాంతం ఏర్పరుస్తుంది. అణుచలన సిద్ధాంతం కొన్ని ఊహనలపై ఆధారపడి ఉంటుంది. (ఆదర్శ వాయువు అంటే దాని అణువులను బిందు ద్రవ్యరాశులుగా పరిగణించడమే కాక వాటి మధ్య అంతర్ అణుబలాలు ఉండవు). గది ఉష్ణోగ్రత మరియు వాతావరణ పీడనం (తక్కువ పీడనం) వద్ద ఏ వాయువు అయినా ఆదర్శ వాయువు వలె ప్రవర్తిస్తుంది.

13.1.1 వాయువుల అణుచలన సిద్ధాంతము యొక్క ఊహనాలు

పరిశీలించిన వాయు ధర్మాలను, అణువుల యొక్క స్వభావము, వాటి చలనము మరియు వాటి మధ్య గల అంతర్ చర్యలుకు సంబంధించి కొన్ని ఊహనాల ఆధారంగా వివరించవచ్చునని 1860 లో క్లార్క్ మాక్స్‌వెల్ చూపినాడు. ఫలితంగా ఇవి తగినంత సూక్ష్మీకరించబడ్డాయి. వాటిని ఇప్పుడు మనము ప్రవచించుదాము.

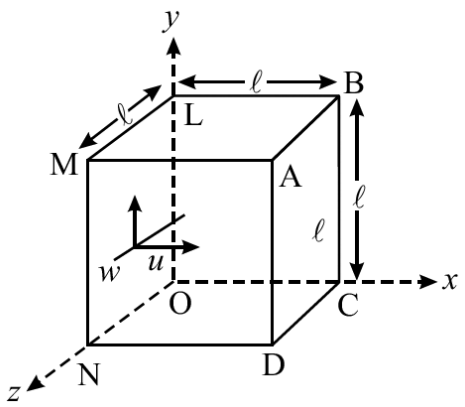
1. ఒక వాయువు సర్వసమానమయిన ఎంతో ఎక్కువ సంఖ్య గల ధృడ అణువులను కలిగి ఉంటుంది. ఈ అణువులు అన్ని రకాల వేగాలతో క్రమరహితంగా చలిస్తూ ఉంటాయి. వాటి మధ్య గల అంతర్ అణుబలాలను తృణీకరించవచ్చు.
2. వాయు అణువులు పరస్పరం ఢీకొనడమే గాక పాత్ర గోడలను ఢీకుంటాయి. ఇవన్నీ పరిపూర్ణమైన స్థితిస్థాపక అభిఘాతాలు.
3. వాయు అణువుల మద్య దూరంతో సరిపోలిస్తే అణువు పరిమాణాన్ని తృణీకరించవచ్చు.
4. అభిఘాతాల నడుమ, అణువులు సరళరేఖ మార్గంలో ఏకరీతి వేగంతో చలిస్తాయి.
5. అణువులు అభిఘాతానికి తీసుకునే సమయం రెండు వరుస అభిఘాతాల నడుమ దూరం ప్రయాణించేందుకు పట్టే కాలముతో పోలిస్తే తృణీకరించవచ్చు.
6. పాత్రలో మొత్తం అణువుల పంపిణీ ఏకరీతిగా ఉంటుంది.

These simplifying assumptions bring the characteristics of gases within the range of mathematical treatment.

13.1.2 వాయువు కలిగించు పీడనం

పాత్ర గోడలపై వాయువు కలిగించు పీడనానికి సమీకరణం ఉత్పాదించడానికి అన్ని అణువులు సర్వసమానాలు కాబట్టి ఒక్క అణువు చలనాన్ని మాత్రమే పరిగణలోకి తీసుకుంటాము (ఊహనలు - 1). ఏమైనప్పటికి అణువు పాత్రలోని ప్రదేశంలో చలిస్తూ ఉంటుంది. కాబట్టి దానికి x, y మరియు z దిశలలో వేగాంశాలు ఉంటాయి. ఊహనం-6 ని దృష్టిలో ఉంచుకుంటే అణువు చలనము ఒక తలము, (x-అక్షము (పటం 13.1) అనుకుందాము) లో పరిగణిస్తే సరిపోతుంది. $N = 6.023 \times 10^{23}$ అణువులు మీటర్$^{-3}$ ఉంటే 3N మార్గాలు పరిగణించటానికి బదులు ఈ ఊహనలు సమస్యను ఒక అణువు మరియు ఒక తలానికి పరిమితము చేయడం జరిగింది.

LMNO ముఖము వైపు గల ఒక అణువుకు పైన పేర్కొన్న వేగము గల దానిని తీసుకుందాము. దీని x, y మరియు z అంశములు వరుసగా u, v మరియు w అనుకుందాం. అణువు యొక్క ద్రవ్యరాశి 'm' అయితే అది x-అక్షం వెంబడి తి వేగంతో చలించుచున్నది కాబట్టి పాత్ర గోడకు లంబదిశలో దాని ద్రవ్య వేగము mu ఉంటుంది. ఇది గోడను ఢీకొట్టి వ్యతిరేక దిశలో అదే వేగము u తో తిరిగి వస్తుంది. ఎందుకంటే (ఊహానం-2) అభిఘాతాలన్నీ పరిపూర్ణ స్థితిస్థాపక అభిఘాతాలు కాబట్టి. గోడను ఢీకొని వెనుదిరిగిన అణువు యొక్క ద్రవ్యవేగము (–mu) అవుతుంది. కావున అణువు యొక్క ద్రవ్యవేగము లోని మార్పు.



పటం 13.1 ఘన పాత్రలో అణువుల చలనం

$$mu - (-mu) = 2\ mu$$

ఈ అణువు LMNO ముఖము నుండి ABCD ముఖమునకు x-అక్షం వెంబడి u వేగంతో ప్రయాణం చేసి ఢీకొని వెనుదిరిగి మరి ఏ ఇతర అణువుని మార్గమధ్యంలో ఢీకొనకుండా ఉంటే అది 2l దూరాన్ని $\frac{2l}{u}$ కాలంలో ప్రయాణిస్తుంది. గోడని ఢీకొనే అణువు యొక్క రెండు వరుస అభిఘాతాల మధ్య కాలవ్యవధి $\frac{2l}{u}$ ఉంటుంది.

న్యూటన్ రెండవ గమన సూత్రం ప్రకారం ద్రవ్య వేగంలోని మార్పు రేటు నొక్కబడిన బలానికి సమానము.

అందువలన ABCD వద్ద ద్రవ్యవేగం లోని మార్పు రేటు = $\frac{\text{ద్రవ్యవేగంలో మార్పు}}{\text{కాలం}}$

$$= \frac{2mu}{2l/u} = \frac{mu^2}{l}$$

ఇది ఒక అణువు యొక్క ద్రవ్య వేగములోని మార్పు రేటు. వాయువులో N అణువులు ఉంటాయి కాబట్టి, పాత్ర ముఖము పై మొత్తం ద్రవ్యవేగములోని మార్పురేటు లేదా ABCD గోడపై N అణువులు x-

అక్షం వెంబడి $u_1, u_2, u_3, \ldots\ldots u_N$ వేగాలతో అభిఘాతం చెందడం వల్ల ప్రవర్తించు మొత్తం బలం ఇలా ఉంటుంది.

ABCD గోడ పై బలం $\frac{m}{l}\left(u_1^2+u_2^2+u_3^2....+u_n^2\right)$ పీడనం అంటే ప్రమాణ వైశాల్యం పై ప్రవర్తించు బలం. l^2 వైశాల్యం గల ABCD గోడపై x-అక్షం వెంబడి చలించు అణువుల చలనం వలన కలుగు పీడనం

$$P = \frac{\frac{m}{l}\left(u_1^2+u_2^2+u_3^2+\ldots+u_N^2\right)}{l^2}$$

$$P = \frac{m\left(u_1^2+u_2^2+u_3^2+\ldots+u_N^2\right)}{l^3} \qquad (13.1)$$

x-అక్షం వెంబడి వున్న వేగ వర్గాలన్నింటి వేగవర్గ మధ్యమం $\overline{u^2}$ అనుకుంటే

$$\overline{u^2} = \frac{(u_1^2+u_2^2+u_3^2+\ldots+u_N^2)}{N}$$

$$N\overline{u^2} = (u_1^2+u_2^2+u_3^2+\ldots+u_N^2)$$

ఈ ఫలితం సమీకరణం (13.1) లో ప్రతిక్షేపించగా మనకు

$$P = \frac{Nm\overline{u^2}}{l^3} \quad \text{అని వస్తుంది. (13.2)} \qquad (13.2)$$

రేఖా గణితం ప్రకారం మనం $c^2 = u^2 + v^2 + w^2$ అని చూపవచ్చును.

u, v మరియు w లు మూడు లంబ అక్షాల దిశలలో c యొక్క అంశాలు. కనుక ఈ సంబంధం వేగ వర్గ మధ్యమాలకు కూడ సరిపోతుంది.

$$\overline{c^2} = \overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}$$

అణువుల పంపిణీ సమపీడనం (ఐసోట్రోపిక్) గా ఉంటుందని ఊహన కనుక ఘనం యొక్క ఏదైనా అంచు వెంబడి వరణాత్మక (ప్రిఫరెన్షియల్) చలనం ఉండదు. దీని అర్థం u^2, v^2, మరియు w^2 ల సగటు విలువలు సమానం.

$$\overline{u^2} = \overline{v^2} = \overline{w^2}$$

కనుక $$\overline{u^2} = \frac{\overline{c^2}}{3}$$

ఈ ఫలితాన్ని సమీకరణం 13.2 లో ప్రతిక్షేపిస్తే మనకు క్రింది విధంగా వస్తుంది.

$$P = \frac{Nm}{l^3}\frac{\overline{c^2}}{3}$$

కాని l^3 పాత్ర యొక్క ఘన పరిమాణము లేదా వాయు ఘనపరిమాణాన్ని నిర్వచిస్తుంది. కనుక

$$P = \frac{Nm}{V}\frac{\overline{c^2}}{3} \qquad (13.3)$$

ఇచట ఎడమ చేతి వైపు స్థూల ధర్మాలు అనగా పీడనం మరియు ఘనపరిమాణం మరియు కుడి చేతి వైపు సూక్ష్మ ధర్మాలు అనగా ద్రవ్యరాశి మరియు అణువులు వేగ వర్గ మధ్యమాలు అని గుర్తించండి. సమీకరణం 13.3 ని క్రింది విధంగా తిరిగి వ్రాయవచ్చును.

$\rho = \frac{mN}{V}$ వాయు సాంద్రత అయిన, అప్పుడు

$$P = \frac{1}{3}\rho\overline{c^2}$$

లేదా

$$\overline{c^2} = \frac{3P}{\rho} \qquad (13.4)$$

మనం $\frac{N}{V}$ నిష్పత్తిని సాంద్రత సంఖ్య దీ గా చూపిన సమీకరణం 13.3 ను క్రింది విధంగా కూడా తెలుపవచ్చు.

$$P = \frac{1}{3}mn\overline{c^2} \qquad (13.5)$$

Equation (13.3) can also be expressed as $PV = \frac{1}{3}Nm\overline{c^2} = \frac{1}{3}M\overline{c^2}$ (13.6)

In the above equation left hand side has macroscopic properties i.e. pressure and volume, and the right hand side has only microscopic properties i.e. mass and mean square speed of the molecules.

పై ఉత్పాదనకి సంబంధించి క్రింది విషయాలు గమనించాలి.

(i) సమీకరణం (13.4) నుండి పాత్ర ఆకారము చలన సిద్ధాంతం పై ఎటువంటి ప్రభావం కలిగి ఉండదు అని స్పష్టమయినది.

(ii) మనం అంతర అణు అభిఘాతాలను తృణీకరించాం. ఇవి ఫలితాన్ని ప్రభావితం చేయవు. ఎందువలననగా పాత్ర గోడలను ఢీకొనడం వలన వాటి సగటు ద్రవ్యవేగములో మార్పు ఉండదు. ఇదే సందర్భం, అవి పరస్పర అభిఘాతాలు జరిపినపుడు కూడా ఉంటుంది.

(iii) వేగవర్గమధ్యమం $\overline{c^2}$ వేగమధ్యమం యొక్క వర్గము ఒకటి కాదు.

దీనిని క్రింది ఉదాహరణతో విశదీకరించవచ్చు.

ఉదాహరణ : 13.1 : మన వద్ద వరుసగా 1, 2, 3, 4, 5 ప్రమాణాల వేగాలు గల ఐదు అణువులు ఉన్నాయి అనుకుందాం.

సాధన : అపుడు వాటి వేగ మధ్యమం = $\frac{1+2+3+4+5}{5}$ = 3 ప్రమాణాలు

దీని వర్గం 9 (తొమ్మిది)

ఇప్పుడు వేగవర్గాల మధ్యమం విలువ = $\frac{1^2+2^2+3^2+4^2+5^2}{5} = \frac{55}{5} = 11$

కనుక వేగవర్గ మధ్యమం, వేగ మధ్యమం యొక్క వర్గానికి సమానం కాదు అని మనం చూపినాము

Mean Free Path: The average distance between two successive collisions of the molecules is called mean free path. The mean free path of a molecule is given by

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2}n\pi d^2}$$

where n is the number density and d the diameter of the molecules.

ఉదాహరణ 13.2 : 5×10^{-26} కి.గ్రా. ద్రవ్యరాశి, 500 మీ.సె$^{-1}$ సగటు రేఖీయవేగం గల 10^{22} ఆక్సిజన్ అణువులు 10 సెం.మీ. భుజం గల గుల్ల ఘనం యొక్క గోడల పై కలుగజేయు పీడనం గణించండి.

సాధన :

ద్రవ్యవేగములోని మార్పు = $2m\,u = 2 \times (5 \times 10^{-26}\ kg) \times (500\ ms^{-1})$

$= 5 \times 10^{-23}\ kg\ ms^{-1}$

ఒకే ముఖం పై రెండు వరుస అభిఘాతాలకు పట్టే కాలం, 2×10 cm లేదా 2×10^{-1} m దూరం ప్రయాణం చేయడానికి పట్టే కాలానికి సమానం

కాలం $= \frac{2 \times 10^{-2}}{500} = 4 \times 10^{-4} s$

ద్రవ్యవేగము లోని మార్పురేటు $= \frac{5 \times 10^{-23}}{4 \times 10^{-4}} = 1.25 \times 10^{-19}\,N$

ఘనం ముఖం పై మూడవ వంతు అణువులు కలుగజేయు బలం

$$F = \frac{1}{3} \times 1.25 \times 10^{-19} \times 10^{22} = 416.7\,N$$

పీడనం $= \frac{\text{బలం}}{\text{వైశాల్యం}} = \frac{417}{100 \times 10^{-4}}$

$= 4.2 \times 10^4\ N\text{-}m^{-2}$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 13.1

1. (i) వాయువు ఏ పరిమాణం గల పాత్రలోనైనా పూర్తిగా ఆక్రమిస్తుంది. కాని ద్రవాలు అలా చేయలేవు. ఎందువల్ల?

   (ii) ఘన పదార్థాలు వాయువుల కంటే క్రమబద్ధమైన నిర్మాణాకృతి కలిగి ఉంటాయి. ఎందువల్ల?

2. ఆదర్శ వాయువు అనగా ఏమి?

3. వాయు అణు సాంద్రత, పీడనానికి ఏ విధంగా సంబంధం కల్గి ఉంటుంది?

13.2 ఉష్ణోగ్రతకు చలన అర్థవివరణ

సమీకరణం (10.3) నుండి

$$PV=\frac{1}{3}Nm\overline{c^2}$$

n మోల్‌ల వాయువుకు స్థితి సమీకరణం PV = n RT, ఇచట వాయు స్థిరాంకం R విలువ 8.3 J mol^{-1} K^{-1} కు సమానం. ఈ ఫలితాన్ని పీడన సమీకరణానికి జతచేయగా ఈ విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$nRT = \frac{1}{3}mN\overline{c^2}$$

రెండు వైపుల $\frac{3}{2n}$ తో గుణించగా

$$\frac{3}{2}RT = \frac{1}{2}\frac{Nm\overline{c^2}}{n} = \frac{1}{2}mN_A\overline{c^2}$$

ఇచట $\frac{N}{n} = N_A$ అవగ్రాడో సంఖ్య. ఇది ఒక మోల్ పదార్థంలో గల పరమాణువులు లేదా అణువుల సంఖ్యను తెలుపుతుంది.

దీని విలువ గ్రామ్ మోల్‌కు 6.023×10^{23}. N_A పరంగా మనం క్రింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$\frac{3}{2}\left(\frac{R}{N_A}\right)T = \frac{1}{2}m\overline{c^2}$$

కాని $\frac{1}{2}m\overline{c^2}$ అణువుల సగటు గతిశక్తిని తెలుపుతుంది. అందువలన

$$\frac{1}{2}m\overline{c^2} = \frac{3}{2}\left(\frac{R}{N_A}\right)T = \frac{3}{2}kT \qquad (13.7)$$

ఇచట $k = \frac{R}{N_A}$

k = బోల్ట్జ్‌మన్ స్థిరాంకం. దీని విలువ = $1.38\times10^{-23}JK^{-1}$.

బోల్ట్జ్‌మన్ స్థిరాంకం పరంగా అణువుల సరాసరి గతిశక్తిని కింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{2}m\overline{c^2} = \frac{3}{2}kT \qquad (13.8)$$

కనుక ఒక గ్రామ్ మోల్ వాయువు యొక్క గతిశక్తి $\frac{3}{2}kT$ అవుతుంది.

ఈ సంబంధం అణువుల యొక్క గతిశక్తి పరమ ఉష్ణోగ్రత T పై మాత్రమే ఆధారపడును కాని దాని ద్రవ్యరాశి పై ఏ మాత్రం ఆధారపడదు అని తెలియచేస్తుంది. ఈ యదార్థాన్ని ఉష్ణోగ్రత యొక్క చలన అర్థవివరణ అని తెలుసుకోవాలి.

T = 0 వద్ద వాయువుకు గతిశక్తి ఉండదు. అంటే పరమశూన్య ఉష్ణోగ్రత వద్ద వాయు అణువుల చలనం ఆగిపోతుంది మరియు అణువులు ఆవరణలో ఘనీభవించినట్లు ప్రవర్తిస్తాయి. ఆధునిక భావనల ప్రకారం ఎలక్ట్రాన్‌ల వ్యవస్థ యొక్క శక్తి పరమశూన్య ఉష్ణోగ్రత వద్ద కూడ శూన్యం కాదు. పరమశూన్య ఉష్ణోగ్రత వద్ద గల శక్తిని శూన్య బిందుశక్తి అంటారు.

సమీకరణం (13.5) నుండి $\overline{c^2}$ యొక్క వర్గ మూలానికి సమీకరణం వ్రాయవచ్చును. దీనిని వేగ వర్గ మధ్యమ మూలం (r m s) అంటారు.

$$c_{rms} = \sqrt{\overline{c^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \qquad (13.8(a))$$

ఈ సమీకరణం ప్రకారం ఏ ఉష్ణోగ్రత 'T' వద్దనైనా c_{rms} మోలార్ ద్రవ్యరాశి యొక్క వర్గమూలానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది అని స్పష్టమవుతోంది. దీని అర్థం తేలిక అణువు సగటున భార అణువు కన్నా వేగంగా కదలుతుంది. ఉదాహరణకు ఆక్సిజన్ యొక్క మోలార్ ద్రవ్యరాశి, హైడ్రోజన్ యొక్క మోలార్ ద్రవ్యరాశి కంటే 16 రెట్లు, ఎక్కువ కనుక చలన సిద్ధాంతం ప్రకారం హైడ్రోజన్ అణువులు ఆక్సిజన్ అణువుల కంటే 4 రెట్లు వేగంగా కదలాలి. ఇదే కారణంగా తేలిక వాయువులు మన వాతావరణం పైభాగంలో ఉన్నాయి. ఈ పరిశీలన చలన సిద్ధాంతం యొక్క యదార్థతకు చక్కని సాక్ష్యంగా నిలుస్తోంది.

10.3 చలన సిద్ధాంతం నుండి వాయు నియమాలను ఉత్పాదించుట

(i) బాయిల్ నియమం :

సమీకరణం (13.3) అనుసరించి వాయుపీడనం P కు సమీకరణం

$$PV = \frac{1}{3}M\overline{c^2}$$

నియమిత ద్రవ్యరాశి గల వాయువు యొక్క ఉష్ణోగ్రత స్థిరంగా ఉన్నపుడు, వేగ వర్గ మధ్యమం స్థిరంగా ఉంటుంది. ఆ విధంగా సమీకరణం (13.3) కుడి వైపున గల M మరియు $\overline{c^2}$ లు రెండు స్థిరం. కనుక

$$PV = \text{స్థిరం} \quad \text{లేదా} \quad P \propto \frac{1}{V} \qquad (13.9)$$

ఇదే బాయిల్ నియమం. **నియమిత ద్రవ్య రాశి గల వాయువు యొక్క ఉష్ణోగ్రత స్థిరంగా ఉన్నపుడు దాని పీడనం వాయువు ఘన పరిమాణానికి విలోమానుపాతం**లో ఉంటుంది.

(ii) చార్లెస్ నియమం :

సమీకరణం (13.3) ప్రకారం

$$PV = \frac{1}{3} M\overline{c^2}$$

లేదా $$V = \frac{1}{3}\frac{M}{P}\overline{c^2}$$

M మరియు P లు మారకుండా లేదా M మరియు P లు స్థిరంగా వున్నప్పుడు

$$V \propto \overline{c^2},\ \overline{c^2} \propto T \quad \text{కాని } V \propto T \qquad (13.10)$$

ఇదే చార్లెస్ నియమం. నియమిత ద్రవ్యరాశి గల వాయువు పీడనం స్థిరంగా వున్నపుడు దానియొక్క ఘన పరిమాణం వాయువు (పరమ) ఉష్ణోగ్రతకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

రాబర్ట్ బాయిల్ (1627 - 1691)

బ్రిటీష్ ప్రాయోగిక శాస్త్రవేత్త రాబర్ట్ బాయిల్ వాయు ఘనపరిమాణానికి మరియు పీడనానికి గల సంబంధం (PV = స్థిరం) తెలియచేసి ఎంతో పేరు తెచ్చుకున్నాడు. రాబర్ట్ హుక్ తయారుచేసిన వాక్యూమ్ పంపు (Vacuum pump) సహాయంతో శూన్యంలో ధ్వని ప్రయాణించదని ప్రయోగపూర్వకంగా నిరూపించాడు. పదార్థాలు మండటానికి వాయువు అవసరమని నిరూపించి, వాయువుల స్థితిస్థాపక ధర్మాలను అధ్యయనం చేశాడు.

'రాయల్ సొసైటి' స్థాపక సభ్యుడైన రాబర్ట్ బాయిల్ తన శాస్త్ర విజ్ఞాన పరిశోధనలు కొనసాగించుటకు జీవితాంతం బ్రహ్మచారిగా ఉండిపోయాడు.

(iii) గెలూసాక్ నియమం (Gay Lussac's Law)

చలన సిద్ధాంతం ప్రకారం, ఆదర్శ వాయువుకు

$$P = \frac{1}{3}\frac{M}{V}\overline{c^2}$$

ఇవ్వబడిన ద్రవ్యరాశి (M స్థిరం) గల వాయువు యొక్క ఘనపరిమాణం స్థిరంగా (M స్థిరం) ఉన్నప్పుడు $P \propto \overline{c^2}$ అవుతుంది

కాని $\overline{c^2} \propto T$

$$\therefore\ P \propto T \qquad (13.11)$$

ఇదే గెలూసాక్ నియమం. ఇది నియమిత ద్రవ్యరాశి గల వాయు ఘనపరిమాణం స్థిరంగా ఉన్నప్పుడు దాని పీడనం పరమ ఉష్ణోగ్రతకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుందని ప్రవచిస్తోంది.

(iv) అవగాడ్రో సూత్రం:

మనం రెండు వేరు వేరు వాయువులు 1 మరియు 2 లను తీసుకుందాం. అపుడు సమీకరణం (13.3) ను ఇలా వ్రాసుకోవచ్చు.

$$P_1 V_1 = \frac{1}{3} m_1 N_1 \overline{c_1^2}$$

మరియు
$$P_2 V_2 = \frac{1}{3} m_2 N_2 \overline{c_2^2}$$

వాటి పీడనాలు, మరియు ఘనపరిమాణాలు సమానం అయితే అప్పుడు $P_1V_1 = P_2V_2$

కనుక
$$\frac{1}{3} m_1 N_1 \overline{c_1^2} = \frac{1}{3} m_2 N_2 \overline{c_2^2} \qquad (13.12)$$

ఉష్ణోగ్రత స్థిరం కావున, వాటి గతిశక్తులు సమానం అవుతాయి.

అంటే
$$\frac{1}{2} m_1 \overline{c_1^2} = \frac{1}{2} m_2 \overline{c_2^2}$$

ఈ ఫలితాన్ని పై సమీకరణంలో ఉంచితే మనకు (13.12)

$$N_1 = N_2 \text{ అని వస్తుంది.} \qquad (13.13)$$

ఒకే ఉష్ణోగ్రత మరియు పీడనాల వద్ద సమాన ఘనపరిమాణం గల వాయువులు సమాన సంఖ్యలో అణువులను కలిగి ఉంటాయి. ఈ ప్రవచనాన్ని అవగాడ్రో నియమం అంటారు.

(v) డాల్టన్ పాక్షిక పీడనాల నియమం :

ఒకదానితో మరొకటి రసాయన చర్య పొందని అనేక వాయువులు లేదా భాష్పములు కలవనుకుందాం. y { ì k Í+ ç< ð ǎ T ρ_1, ρ_2, ρ_3 ... మరియు వరుసగా వాటి వేగ వర్గమద్యమాలు $\overline{c_1^2}, \overline{c_2^2}, \overline{c_3^2}$ ... అనుకుందాం. ఈ వాయువులన్నిటిని ఒకే పాత్రలో ఉంచాం అనుకుందాం. అప్పుడు వాటి అన్నిటికి ఘనపరిమాణం ఒకే విధంగా ఉంటుంది. వీటి ఫలిత పీడనం 'P' ఈ విధంగా ఉంటుంది.

$$P = \frac{1}{3}\rho_1 \overline{c_1^2} + \frac{1}{3}\rho_2 \overline{c_2^2} + \frac{1}{3}\rho_3 \overline{c_3^2} + ...$$

ఇక్కడ $\frac{1}{3}\rho_1 \overline{c_1^2}, \frac{1}{3}\rho_2 \overline{c_2^2}, \frac{1}{3}\rho_3 \overline{c_3^2}$ ... లు వేర్వురు వాయువులు లేదా భాష్పాల విడివిడి (పాక్షిక) పీడనాలను తెలుపుతాయి.

వీటిని మనం వరుసగా $P_1, P_2, P_3, ...$ అని గుర్తిస్తే

అప్పుడు $P = P_1 + P_2 + P_3 + ...$ అవుతుంది. (13.14)

అనగా **వాయు మిశ్రమం కలుగజేసే మొత్తం పీడనం వాయువులు విడివిడిగా ఆ ఆవరణాన్ని ఒకదాని తరువాత మరొకటి ఆక్రమించినపుడు కలుగజేసే పాక్షిక పీడనాల మొత్తానికి సమానం అవుతుంది.** ఇదే డాల్టన్ పాక్షిక పీడనాల సూత్రం.

(vi) గ్రహం వాయువుల వ్యాపన సూత్రం :

వాయువులు సూక్ష్మ రంధ్రముల ద్వారా వ్యాపనం చెందే విషయం పై గ్రహం పరిశోధనలు చేసి ఈ సూత్రం కనుగొన్నాడు. సూక్ష్మరంధ్రాల ద్వారా వాయువు వ్యాపనం చెందే రేటు దాని సాంద్రత యొక్క వర్గమూలానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది. ఇదే గ్రహం వాయువుల వ్యాపన నియమం.

వాయు చలన సిద్ధాంతం ప్రకారం, సన్నని రంధ్రం గుండా వాయు వ్యాపన రేటు సరాసరి లేదా వేగవర్గమధ్యమానికి (c_{rms}) అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. సమీకరణం (13.4) నుండి

$$\overline{c^2} = \frac{3P}{\rho}$$

లేదా $$\sqrt{\overline{c^2}} = c_{rms} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

అనగా P పీడనం వద్ద ρ_1 మరియు ρ_2 సాంద్రతలు గల వాయు అణువుల వేగవర్గ మధ్యమాలను క్రింది విధంగా వ్రాయవచ్చును.

$$(c_{rms})_1 = \sqrt{\frac{3P}{\rho_1}} \quad \text{మరియు} \quad (c_{rms})_2 = \sqrt{\frac{3P}{\rho_2}}$$

అంటే $$\frac{\text{ఒక వాయువు యొక్క వ్యాపన రేటు}}{\text{రెండవ వాయువు యొక్క వ్యాపన రేటు}} = \frac{(c_{rms})_1}{(c_{rms})_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} \qquad (13.15)$$

ఆ విధంగా స్థిర పీడనం వద్ద వాయువుల వ్యాపన రేటు వాటి సాంద్రతల వర్గమూలాలకు విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది. దీనినే గ్రహం వ్యాపన సూత్రము అంటారు.

ఉదాహరణ 13.3 : 300 K. వద్ద హైడ్రోజన్ అణువు యొక్క వేగవర్గ మధ్యమూలం గణించండి. (హైడ్రోజన్ అణు ద్రవ్యరాశి) = 3.347×10^{-27} kg బోల్ట్జ్‌మన్ స్థిరాంకం $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J mol^{-1} K^{-1}

సాధన :

మనకు తెలిసిన ప్రకారం

$$c_{rms} = \sqrt{\frac{3KT}{m}} = \sqrt{\frac{3 \times (1.38 \times 10^{-23}\,J\,K^{-1})\,(300\,K)}{3.347 \times 10^{-27}\,kg}} = 1927\,m\,s^{-1}$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 13.2

1. తోచిన విధంగా ఎంపిక చేసిన 5 వాయు అణువుల యొక్క వేగాలు వరుసగా 500 మీసె$^{-1}$, 600 మీసె$^{-1}$, 700 మీసె$^{-1}$, 800 మీసె$^{-1}$ మరియు 900 మీసె$^{-1}$ అయిన వాటి వేగవర్గ మధ్యమూలం (RMS వేగం) గణించండి.
2. సమాన ఘనపరిమాణాలు గల రసాయనికంగా చర్య చెందని రెండు వాయువులను మిశ్రమం చేసినప్పుడు ఆ మిశ్రమం యొక్క ఫలిత పీడనం ఎంత?
3. బెలూన్‌లో గాలి ఊదినప్పుడు దాని ఘనపరిమాణం మరియు పీడనాలు పెరుగుతాయి. ఈ పరిస్థితి బాయిల్ నియమాన్ని వ్యతిరేకిస్తుందా?

ఉదాహరణ 13.4

ఏ ఉష్ణోగ్రత వద్ద హైడ్రోజన్ వాయువు యొక్క వేగవర్గ మధ్యమూలము S.T.P. , వద్ద గల దాని వేగవర్గ మధ్యమూలానికి రెట్టింపు అవుతుంది. (పీడనం స్థిరంగా ఉంటంది). (STP = ప్రమాణ ఉష్ణోగ్రతా పీడనాలు).

సాధన :

సమీకరణం 13.8(a) నుండి $c_{rms}\ \alpha\ \sqrt{T}$

S.T.P. వద్ద rms వేగం c_0 అనుకుందాం.

TK కావలసిన ఉష్ణోగ్రత అయిన లెక్కలో ఇచ్చిన ప్రకారం TK వద్ద వేగం = $c = 2c_0$

$$\frac{c}{c_0} = \frac{2c_0}{c_0} = \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

రెండు వైపుల వర్గం చేయగా $4 = \frac{T}{T_0}$ (Since T_0 = 273K)

$$T = 4T_0 = 4 \times 273 = 1092\ K$$
$$T = 1029 - 273 = 819°C$$

ఉదాహరణ 13.5

300 K వద్ద వాయువు యొక్క సగటు గతిశక్తిని లెక్కించండి. ($k = 1.38 \times 10^{-23}\ JK^{-1}$ గా తీసుకోండి)

సాధన :

మనకు తెలిసిన ప్రకారం

$$\frac{1}{2}M\overline{c^2} = \frac{3}{2}kT$$

$$\overline{E} = \frac{3}{2}(1.38 \times 10^{-23}\,J\,K^{-1})(300\,K)$$

$$\overline{E} = 6.21 \times 10^{-21} J$$

13.4 శక్తి సమవిభాజక సూత్రం (Law of Equipartition of Energy)

వాయు అణువు యొక్క గతిశక్తి కి సమీకరణం

$$\frac{1}{2}m\overline{c^2} = \frac{3}{2}kT$$

వాయు అణువు యొక్క చలనం x, y మరియు z దిశలలో ఉంటుంది. వేగం c యొక్క సగటు వేగాంశములు (అనగా u, v మరియు w) ఈ మూడు దిశలలోను బహుశా సమానంగా ఉంటాయి. అంటే ఒక అణువుకు ఈ మూడు దిశల్లో సగటు వేగాలు సమానంగా ఉంటాయి.

$$\overline{u} = \overline{v} = \overline{w}$$

మరియు
$$\overline{u^2} = \overline{v^2} = \overline{w^2} = \frac{\overline{c^2}}{3} \qquad (13.16)$$

$c^2 = u^2 + v^2 + w^2$ కనుక

$$\overline{c^2} = \overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}$$

Multiplying eqn. (13.16) రెండు వైపుల $\frac{1}{2}$ తో గుణించగా, (ఇచట అణువు ద్రవ్యరాశి = m)

$$\frac{1}{2}m\overline{u^2} = \frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{1}{2}m\overline{w^2}$$

కాని $\frac{1}{2}m\overline{u^2} = E =$ x–అక్షం దిశలో అణువు యొక్క మొత్తం సగటు గతిశక్తి.

కావున $E_x = E_y = E_z$. కాని అణువు యొక్క మొత్తం సగటు గతిశక్తి (3/2) k T.

ఇప్పుడు ఫలితాన్ని ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$E_x = E_y = E_z = \frac{1}{2}kT$$

అణువు యొక్క మూడు స్వేచ్ఛా పరిమితి దిశలలోను వేగము యొక్క అంశము u, v మరియు w లు కనుక గతిక వ్యవస్థ యొక్క మొత్తం గతిశక్తి ని మూడు స్వేచ్ఛా పరిమితి దిశలలోను సమానంగా విభజించవచ్చును. మరియు ప్రతి స్వేచ్ఛా పరిమితి $\frac{1}{2}kT$ కి సమానం అవుతుంది. ఇదే శక్తి సమవిభాజిక సూత్రం. దీనిని లూడ్వింగ్ బోల్ట్జ్‌మన్ ఉత్పాదించాడు. దీనిని వేరు వేరు రకాల వాయువులకు అనువర్తింపజేద్దాము. ఇంతవరకు రేఖీయ చలనాన్ని మాత్రమే పరిగణించాం. ఏక పరమాణు వాయువు అణువులు భ్రమణం చెందలేవు కనుక వాటికి రేఖీయ చలనం మాత్రమే ఉంటుంది. (అవి స్థిరమైన గోళాకృతిలో ఉండి పరస్పరం మూడు లంబ అక్షాల వెంబడి ఏదో ఒకదాని చుట్టూ భ్రమణాలు చేయగల్గినప్పటికిని)

కనుక ఏకపరమాణు వాయు అణువు యొక్క మొత్తం గతిశక్తి

$$E = \frac{3}{2}kT \qquad (13.17)$$

ఒక ద్విపరమాణు అణువును రెండు గోళాలు స్థిరమైన కడ్డీతో జత చేసినట్లుగా ఊహించవచ్చును. అట్టి అణువు పరస్పరం లంబంగా ఉండే మూడు అక్షాలలో ఏదో ఒక అక్షం పరంగా భ్రమణాలు చేయవచ్చు. అయినప్పటికి కడ్డీకి లంబంగా ఉండే అక్షం పరంగా భ్రమణజడత్వం తో సరిపోల్చినపుడు కడ్డీ యొక్క అక్షం పరంగా భ్రమణ జడత్వాన్ని తృణీకరించవచ్చు.

భ్రమణ గతిశక్తిలో రెండు పదాలుంటాయి అని దీని అర్థం. అవి

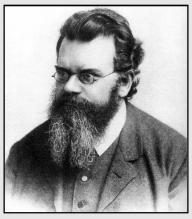
$$\frac{1}{2}I\omega_y^2,\ \frac{1}{2}I\omega_z^2$$

ద్విపరమాణు అణువుల యొక్క ద్రవ్యరాశి కేంద్రాన్ని ప్రత్యేకంగా వివరించడానికి మూడు నిరూపకాలు అవసరం. ఈ విధంగా ద్విపరమాణు అణువుకు రేఖీయ మరియు భ్రమణ చలనాలు రెండూ ఉంటాయి. కాని దీనికి 5 స్వేచ్ఛా పరిమితులు ఉంటాయి.

$$E = 3\left(\frac{1}{2}kT\right) + 2\left(\frac{1}{2}kT\right)$$

$$E = \frac{5}{2}kT \qquad (13.18)$$

లూడ్వింగ్ బోల్ట్జ్‌మన్ (1844 - 1906)



బోల్ట్జ్‌మన్ ఆస్ట్రియాలోని వియన్నాలో పుట్టి పెరిగాడు. 1866లో జోసెఫ్ స్టెఫాన్ పర్యవేక్షణలో బోల్ట్జ్‌మన్ డాక్టరేట్ పూర్తి చేసాడు. అతడు బున్‌సెన్, కిర్కాఫ్ హెల్మ్‌హోల్ట్జ్‌లతో పని చేసాడు. ఉద్రేకపరుడైన అతడు జీవితంలో రెండు సార్లు ఆత్మహత్యకు ప్రయత్నించాడు. రెండవసారి అతని ప్రయత్నం కార్యరూపం దాల్చింది. మాచ్ మరియు ఓస్ట్వాల్డ్‌లతో భేదాభిప్రాయాలే అతని ఆత్మహత్యకు కారణాలని ప్రజలు అనుకున్నారు.

వాయువుల అణుచలన సిద్ధాంతం, సాంఖ్యాక (స్టాటిస్టికల్) యాంత్రిక శాస్త్రం మరియు ఉష్ణగతిక శాస్త్రాలలోని అతని కృషికి ఎంతో పేరు వచ్చింది.

13.5 వాయువుల ఉష్ణధారణ సామర్థ్యాలు

భిన్న ఘనపరిమాణ, పీడన నియమాలతో ఒక వాయువు యొక్క ఉష్ణోగ్రతను పెంచవచ్చు.

ఉదాహరణకు ఘనపరిమాణము లేదా పీడనములను స్థిరంగా ఉంచవచ్చు లేదా రెండింటిని ఇష్టము వచ్చిన పద్ధతిలో మార్పు చెందేలా చేయవచ్చు. ప్రతి సందర్భంలోను ప్రమాణ ద్రవ్యరాశిని ప్రమాణ ఉష్ణోగ్రతకు పెంచడానికి కావలసిన ఉష్ణశక్తి వేరు వేరుగా ఉంటుంది. అందుకే వాయువుకు రెండు వేరు వేరు ఉష్ణధారణ సామర్థ్యాలు ఉంటాయి.

ఒక వాయువు యొక్క ఉష్ణోగ్రతను ΔT పెంచడానికి మనం ΔQ పరిమాణం గల ఉష్ణాన్ని అందిస్తే ఉష్ణధారణ సామర్థ్యాన్ని క్రింది విధంగా నిర్వచించవచ్చు.

$$\text{ఉష్ణధారణ సామర్థ్యం} = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

ప్రమాణ ద్రవ్యరాశికి గల వస్తువు యొక్క ఉష్ణధారణ సామర్థ్యాన్ని పదార్థము యొక్క విశిష్ట ఉష్ణధారణ సామర్థ్యం అంటారు. దీనిని 'c' తో సూచిస్తారు.

$$\text{విశిష్ట ఉష్ణధారణ సామర్థ్యం} = c = \frac{\text{ఉష్ణధారణ సామర్థ్యం}}{m}$$

పై రెండు సమీకరణాల నుండి

$$C = \frac{1}{m}\frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

ఆ విధంగా ప్రమాణ ద్రవ్యరాశి గల పదార్థం యొక్క ఉష్ణోగ్రతను $10^{\circ}C$ (లేదా 1 K) పెంచడానికి అవసరం అయ్యే ఉష్ణరాశి ఆ పదార్థం యొక్క విశిష్ట ఉష్ణధారణ సామర్థ్యం అవుతుంది. విశిష్ట ఉష్ణధారణ సామర్థ్యానికి SI ప్రమాణం కిలో కెలోరి (కి.గ్రా)$^{-1}$ (కెల్విన్)$^{-1}$ దీనిని జౌల్(కి.గ్రా)$^{-1}$(కెల్విన్)$^{-1}$ గా కూడ తెలుపవచ్చు. ఉదాహరణకు నీటి యొక్క విశిష్ట ఉష్ణధారణ సామర్థ్యం

1 కిలో కెలోరి (కి.గ్రా)$^{-1}$ (కెల్విన్)$^{-1}$ = 4.2×10^{-3} జౌల్ కి.గ్రా$^{-1}$.కె$^{-1}$.

ఘనపదార్థాల, ద్రవ పదార్థాల విశిష్ట ఉష్ణ సామర్థ్యానికి ఈ నిర్వచనం సరిపడుతుంది. కాని వాయువులకు ఇది సరిపడదు. ఎందుకంటే బాహ్య నియమాల తో అది మారుతుంది. వాయువు యొక్క ఉష్ణధారణ సామర్థ్యాన్ని అధ్యయనం చేయడానికి వాయువు యొక్క ఘనపరిమాణం లేదా పీడనాన్ని స్థిరంగా ఉంచుతాం. అంటే మనం రెండు రకాల విశిష్ట ఉష్ణధారణ సామర్థ్యాలను చెబుతాము.

(i) స్థిర ఘనపరిమాణం వద్ద విశిష్టోష్ణం, c_V.

(ii) స్థిర పీడనం వద్ద విశిష్టోష్ణం, c_P గా పేర్కొంటాము.

(i) స్థిర ఘనపరిమాణ విశిష్టోష్ణ (c_v) : వాయువు యొక్క ఘన పరిమాణం స్థిరంగా ఉన్నపుడు, ప్రమాణ ద్రవ్యరాశి గల ఆ వాయువు ఉష్ణోగ్రతను 1 K పెంచడానికి కావలసిన ఉష్ణరాశి" ని ఆ వాయువు యొక్క స్థిర ఘనపరిమాణ విశిష్టోష్ణం (c_v) అంటారు.

$$c_v = \left(\frac{\Delta Q}{\Delta T}\right)_v \qquad (13.19)$$

(ii) స్థిరపీడన విశిష్టోష్ణం (c_P) : వాయువు యొక్క పీడనం స్థిరంగా ఉన్నపుడు ప్రమాణ ద్రవ్యరాశి గల ఆ వాయువు ఉష్ణోగ్రతను 1K పెంచడానికి కావలసిన ఉష్ణరాశిని ఆ వాయువు యొక్క స్థిర పీడన విశిష్టోష్ణం (c_P) అంటారు.

$$c_P = \left(\frac{\Delta Q}{\Delta T}\right)_P \qquad (13.20)$$

ఒక మోల్ పరిమాణం గల వాయువును పరిగణన లోనికి తీసుకునాలంటే మోహర్ ఉష్ణధారణ సామర్థ్యాన్ని నిర్వచిస్తాం.

వాయు పీడనాన్ని స్థిరంగా ఉంచినపుడు వాయు ఘనపరిమాణం పెరుగుతుంది. అంటే ఈ సందర్భంలో ప్రమాణ ద్రవ్యరాశి గల వాయు పీడనాన్ని స్థిరంగా ఉంచి దాని ఉష్ణోగ్రతను ఒక డిగ్రీకి పెంచితే దానికి అవసరం అయిన ఉష్ణరాశి రెండు రకాలుగా ఉపయోగపడుతుంది.

(i) వాయువు యొక్క ఘనపరిమాణం మారడానికి అవసరం అయిన ఉష్ణరాశి. మరియు

(ii) స్థిర ఘనపరిమాణం వద్ద వాయువు యొక్క ఉష్ణోగ్రత ఒక డిగ్రీ పెరగడానికి కావలసిన ఉష్ణరాశి (c_p)

c_p = బాహ్య పని + c_v

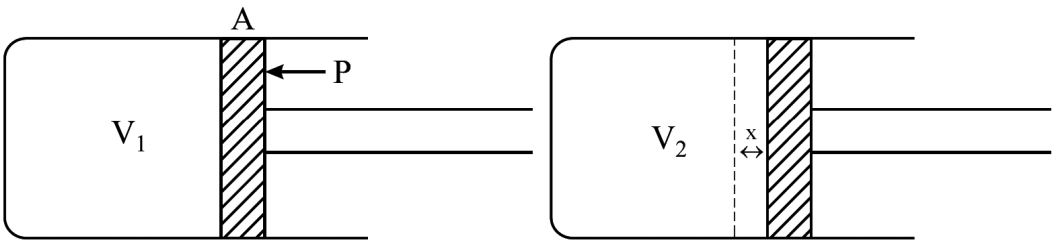
స్థిర పీడన విశిష్ట ఉష్ణధారణ సామర్థ్యం (c_p) : స్థిరఘన పరిమాణ విశిష్ట ఉష్ణధారణ సామర్థ్యం (c_v) కంటే ఎక్కువ అని స్పష్ట అవుతోంది. ఎంత ఎక్కువ అనగా వాయువు పై బాహ్య పీడనానికి వ్యతిరేకంగా వాయువు చేసిన పనికి సమానమయిన ఉష్ణరాశికి సమానంగా ఉంటుంది.

$$c_p = W + c_v \qquad (13.21)$$

13.6 c_p మరియు c_v ల మధ్య సంబంధం

ఘర్షణ లేని ముషలకం (పటం 13.2) అమర్చిన స్థూపాకార పాత్రలో ఒక ఆదర్శ వాయువు బంధింపబడిన దనుకుందాం. వాయువును (పరిపూర్ణ) ఆదర్శ వాయువుగా ఊహించాం కనుక దాని అణువుల మధ్య అంతర్ అణు బలాలు ఉండవు. అట్టి వాయువు వ్యాకోచించినపుడు అంతర్ పీడనాన్ని అధిగమించడానికి కొంత పని చేయవలెను.

బాహ్య పీడనం 'P' మరియు ముషలకం యొక్క అడ్డుకోత వైశాల్యం 'A' అనుకుందాం. ముషలకం పై పనిచేయు బలం = P × A. ఇపుడు స్థిర పీడనం వద్ద వాయువును 1 K పెరుగునట్లు వేడిచేశాం అనుకుందాం. దాని ఫలితంగా ముషలకం పటం 13.2 లో చూపినట్లు ని దూరం బయటికి కదిలింది.



పటం 13.2 : స్థిర పీడనం వద్ద వాయువు వేడి చేయబడినది

వాయువు V_1 తొలి ఘనపరిమాణం నుండి V_2 తుది ఘనపరిమాణం కు వేడిచేయడం వల్ల పెరిగింది అనుకుందాం. కనుక బాహ్య పీడనానికి వ్యతిరేకంగా ముషలకాన్ని ని దూరం త్రోయడానికి వాయువు చేసిన పని

$$W = P \times (A \times x)$$

$$W = P \times (\text{ఆని ఘనపరిమాణంలోని పెరుగుదల})$$

$$W = P(V_2 - V_1)$$

సమీకరణం 13.21 నుండి 1 మోల్ వాయువును 1K కు వేడి చేసినపుడు బాహ్య పీడనానికి వ్యతిరేకంగా చేసిన పని (W) = $(c_p - c_v)$ అవుతుంది.

$$c_p - c_v = P\,(V_2 - V_1) \qquad (13.22)$$

వాయువును వేడి చేయడానికి ముందు, మరియు తరువాత స్థితులకు ఆదర్శ వాయు సమీకరణాన్ని అనువర్తింపచేయగా.

$$PV_1 = RT \qquad (13.23)$$

$$PV_2 = R(T+1) \qquad (13.24)$$

సమీకరణం 13.23 ను 13.24 నుండి తీసివేయగా మనకు క్రింది విధంగా వస్తుంది.

$$P\,(V_2 - V_1) = R \qquad (13.25)$$

కనుక సమీకరణం (13.22) మరియు సమీకరణం (13.25) ల నుండి

$$c_P - c_V = R \qquad (13.26)$$

R విలువ J mol^{-1} K^{-1} లలో ఉంటుంది. జౌళ్ళను కెలోరీలలోనికి మార్పు చేస్తే

$$c_p - c_v = \frac{R}{J} \qquad (13.27)$$

ఇక్కడ J = 4.18 కెలోరీలు. దీనిని ఉష్ణయాంత్రిక తుల్యాంకం అంటారు.

ఉదాహరణ 13.6

ఏక పరమాణు, ద్వి పరమాణు మరియు త్రిపరమాణు వాయు అణువులకు c_p మరియు c_v విలువలు లెక్కించండి.

సాధన : 1 మోల్ వాయువు యొక్క సగటు గతిశక్తి $E = \frac{3}{2}RT$ అని మనకు తెలుసును.

ఇపుడు c_v ని ఒక మోల్ వాయువును స్థిర ఘనపరిమాణం వద్ద 1 డిగ్రీ పెంచడానికి కావలసిన ఉష్ణరాశి అని నిర్వచించవచ్చు. అనగా TK వద్ద వాయువు యొక్క మొత్తం శక్తి E_T మరియు (T + 1) K వద్ద వాయువు యొక్క మొత్తం శక్తి E_{T+1} అయితే అపుడు $c_v = E_{T+1} - E_T$

(i) ఏకపరమాణు వాయువు యొక్క మొత్తం శక్తి $E = \frac{3}{2}RT$ అని మనకు తెలుసును.

ఏకపరమాణు వాయువుకు = $c_v = \frac{3}{2}R(T+1) - \frac{3}{2}RT$

$$c_v = \frac{3}{2}R$$

కనుక $c_p = c_v + R$

$$c_p = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R$$

(ii) ద్విపరమాణు వాయువుకు మొత్తం శక్తి $E = \frac{5}{2}RT$

$$c_v = \frac{5}{2}R(T+1) - \frac{5}{2}RT$$

$$c_v = \frac{5}{2}R$$

Hence $c_p = c_v + R$

$$c_p = \frac{5}{2}R + R = \frac{7}{2}R$$

(iii) ఇప్పుడు మీరు త్రిపరమాణు వాయువుకు c_p మరియు c_v విలువలు కనుగొనండి.

$$E = RT$$

$$c_v = 3R\ (T + 1) - 3RT$$

$$c_v = 3R$$

Hence $c_p = c_v + R$

$$c_p = 3R + R = 4R$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 13.3

1. నైట్రోజన్ అణువు యొక్క మొత్తం శక్తి ఎంత?
2. నైట్రోజన్ వాయువుకు c_p మరియు c_V విలువలు లెక్కించండి. ($R = 8.3\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$ గా తీసుకోండి).
3. వాయువుకు రెండు రకములైన విశిష్ట ఉష్ణధారణ సామర్థ్యాలు ఎందుకు ఉంటాయి.

సగటు స్వేచా పథం

రెండు వరుస అభిఘాతాల మధ్య అణువులు ప్రయాణించే సరాసరి దూరాన్ని సగటు స్వేచ్ఛా పథం అంటారు.

ఒక అణువు యొక్క సగటు స్వేచ్ఛా పథం $= \sigma = \dfrac{1}{\sqrt{2\pi n d^2}}$

ఇచట n = సంఖ్యా సాంద్రత మరియు d = సాంద్రత.

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- చలన సిద్ధాంతం వాయు అణువులు మరియు పరమాణువుల ఉనికిని ఊహిస్తుంది. యాంత్రిక శక్తి సూత్రాలను వీటిలో ఎక్కువ వాటికి సగటు నైపుణ్యాలను వినియోగించి అనువర్తింపచేస్తాం.
- విడివిడి అణువుల స్థూల ధర్మాలకు మరియు సూక్ష్మ ధర్మాలకు గల సంబంధాలను కలుపుతుంది.
- ప్రమాణ వైశాల్యం గల పాత్ర గోడల పై కలుగజేసే సరాసరి అభిఘాతాలను వాయు పీడనం అంటారు.
- అణువు యొక్క చలన సిద్ధాంతం దాని యొక్క పరమ ఉష్ణోగ్రత 'T' పై ఆధారపడుతుంది. కాని ద్రవ్యరాశి పై ఆధారపడదు.
- పరమ శూన్య ఉష్ణోగ్రత వద్ద వాయువు యొక్క గతిశక్తి శూన్యం మరియు అణువుల చలనం అదృశ్యం అవుతుంది.
- చలన సిద్ధాంతం అనుసరించి వాయు నియమాలను ఉత్పాదించవచ్చు. ఇది చలన సిద్ధాంతానికి అనుకూలంగా తొలి సాక్ష్యంగా నిలుస్తుంది.
- పీడనం లేదా ఘనపరిమాణాలను స్థిరంగా ఉంచి ప్రమాణ ద్రవ్యరాశి గల వాయువు యొక్క ఉష్ణోగ్రతను $1°C$ పెంచడానికి కావలసిన ఉష్ణరాశులు వేరువేరుగా ఉంటాయి. కనుక వాయువుకు రెండు రకాలైన విశిష్టోష్ణములు ఉంటాయి.

  i) స్థిర ఘనపరిమాణము వద్ద విశిష్ట ఉష్ణధారణ సామర్థ్యం (c_V)

  ii) స్థిర పీడనం వద్ద విశిష్ట ఉష్ణధారణ సామర్థ్యం (c_P) ఇది $c_p - c_v = R$ గా ఉంటాయి.

  మరియు $c_p - c_v = \dfrac{R}{J}$

- ఉష్ణగతిక వ్యవస్థ యొక్క మొత్తం గతిశక్తి శక్తిసమవిభాజక సూత్రం ప్రకారం అన్ని స్వేచ్ఛా పరిమితులకు సమానంగా పంపిణి అవుతుంది. మరియు ప్రతిస్వేచ్ఛా పరిమితికి ఇది $\dfrac{1}{2}kT$ ఉంటుంది.
- Total energy for a molecule of (i) ఏక పరపమాణు వాయువు యొక్క మొత్తం శక్తి $= \dfrac{3}{2}kT$

(ii) ద్వి పరమాణు వాయువు యొక్క మొత్తం శక్తి = $\frac{5}{2}kT$

(iii) త్రి పరమాణు వాయువు యొక్క మొత్తం శక్తి = 3 kT.

- Gases have two types of specific heat capacities because they can absorb and release heat in two different ways : at constant volume (C_v) and at constant pressure (C_p).

ముగింపు అభ్యాసం

1. రెండు ఆదర్శ వాయువులను పోల్చడానికి మనం బాయిల్ నియమాన్ని ఉపయోగించవచ్చా?
2. పరమ శూన్య ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఒక పదార్థ అణువుల యొక్క వేగము మరియు గతిశక్తులు ఎంత?
3. ఒక వాయువు యొక్క పరమ ఉష్ణోగ్రతను నాలుగు రెట్లు పెంచినప్పుడు దాని గతిశక్తి, వేగవర్గ మధ్యమం యొక్క మూలం మరియు పీడనాలు ఎలా మారతాయి.
4. హైడ్రోజన్ మరియు ఆక్సిజన్ వాయు మిశ్రమంలో ప్రతి అణువుకు ఒకే గతిశక్తి ఉండవలెనన్న వాటి అణువుల సరాసరి వేగాల నిష్పత్తి ఎంత? (హైడ్రోజన్ అణు ద్రవ్యరాశి = 2, ఆక్సిజన్ అణు ద్రవ్యరాశి = 32)
5. మూడు అణువుల యొక్క వేగాలు వరుసగా 0.5, 1 మరియు 2 కిమీసె$^{-1}$ అయితే వాటి వేగవర్గ మధ్యమాలకు మరియు సరాసరి వేగాలకు గల నిష్పత్తి లెక్కించండి.
6. ఒక వాయు అణువుల యొక్క వేగవర్గ మధ్యమ మూలం అనగానేమో వివరించండి. వాయువుల అణుచలన సిద్ధాంత భావనను ఉపయోగించి వాయువు యొక్క పీడనం మరియు సాంద్రతల పరంగా అణువులు వేగవర్గ మధ్యమ మూలానికి సమీకరణం ఉత్పాదించండి.
7. (i) 25°C వద్ద నియాన్ అణువు యొక్క సరాసరి రేఖీయ గతిశక్తిని లెక్కించండి.

   (ii) ఏ ఉష్ణోగ్రత వద్ద సరాసరి శక్తిపై విలువలో సగానికి తగ్గుతుంది?
8. 50 సెంమీ^{3} ఘనపరిమాణం గల పాత్రలో 1.0 పాస్కల్ పీడనం మరియు 27°C ఉష్ణోగ్రత వద్ద హైడ్రోజన్ వాయువు గలదు. (a) పాత్రలోని వాయు అణువుల సంఖ్యను కనుగొనండి? (b) వాయు అణువుల వేగ వర్గ మధ్యమ మూలాన్ని లెక్కించండి?

   ($R = 8.3$ J mol^{-1} K^{-1}, $N = 6 \times 10^{23}$ mol^{-1}. ఒక మోల్ హైడ్రోజన్ వాయువు అణువు యొక్క ద్రవ్యరాశి $= 20 \times 10^{-3}$ kg mol^{-1}).
9. మూసి ఉన్న ఒక పాత్రలో 50 K. ఉష్ణోగ్రత మరియు 20.0 మిమీ పాదరస పీడనం వద్ద హైడ్రోజన్ వాయువు గలదు. (a) ఏ ఉష్ణోగ్రత వద్ద అది 180 మి.మీ. పాదరస పీడనాన్ని కలుగజేస్తుంది? (b) 10.0 K వద్ద హైడ్రోన్ అణువుల యొక్క వేగ వర్గ మద్యమ మూలం 800 మీ.సె$^{-1}$ అయితే ప్రస్తుత కొత్త ఉష్ణోగ్రత వద్ద వాటి వేగవర్గ మధ్యమమూలం ఎంత?

10. వాయువు అణుచలన సిద్ధాంతం యొక్క ఊహనలు ప్రవచించండి.

11. వాయు పీడనానికి సమీకరణం కనుగొనండి.

12. వాయువుల అణుచలన సిద్ధాంతం నుండి బాయిల్ మరియు చార్లెస్ నియమాలను ఉత్పాదించండి.

13. వాయువుల అణుచలన సిద్ధాంతం ప్రకారం ఉష్ణోగ్రత యొక్క అర్థ వివరణ ఏమిటి?

14. అవగాడ్రో నియమం అంటే ఏమిటి? దానిని వాయువుల అణుచలన సిద్ధాంతం నుండి ఎలా ఉత్పాదిస్తారు?

15. 0°C మరియు 100°C వద్ద హైడ్రోజన్ అణువుల యొక్క వేగవర్గ మధ్యమ మూలాన్ని గణించండి. (760 మిమీ పాదరస పీడనం మరియు 0°C ల వద్ద హైడ్రోజన్ యొక్క సాంద్రత = 0.09 కి.గ్రా.మీ$^{-3}$)

16. హైడ్రోజన్ వాయువు మిమీ పాదరస స్థంభంలో కలగచేయు పీడనాన్ని గణించండి. మీ^{3} కు గల అణువుల సంఖ్య 6.8×10^{24} మరియు అణువుల వేగవర్గ మధ్యమమూలం 1.90×10 మీ.సె$^{-1}$, అవగాడ్రో సంఖ్య 6.02×10^{23}, హైడ్రోజన్ అణుభారం = 2.02.

17. వాయువు స్థిర పీడన విశిష్టోష్ణాన్ని నిర్వచించండి. c_p మరియు c_V ల మధ్య సంబంధాన్ని రాబట్టండి.

18. వాయువు స్థిర ఘనపరిమాణ విశిష్టోష్ణాన్ని నిర్వచించండి. త్రిపరమాణు వాయువుకు $c_V = 3R$ అని చూపండి.

19. ఆర్గాన్ వాయువుకు c_P మరియు c_V లను లెక్కించండి. $R = 8.3\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$ గా తీసుకోండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

13.1

1. (i) ద్రవ అణువుల మధ్య గల సంసంజన బలాలతో పోల్చిన వాయు అణువుల మధ్య సంసంజన బలాలు చాలా బలహీనంగా ఉంటాయి.

   (ii) ఘన పదార్థాలలో అణువుల చలా దగ్గరగా బంధింపబడి ఉంటాయి. ఇందలి అణువులు ధృడంగా బంధించబడి ఉంటాయి. కాబట్టి అవి క్రమమయిన అణు నిర్మాణాన్ని కలిగి ఉంటాయి.

2. వాయు అణువుల చలన సిద్ధాంతాన్ని పాటించే వాయువును ఆదర్శ వాయువు అంటారు.

3. $P = \frac{1}{3}\rho\overline{c^2}$

13.2

1. సరాసరి వడి $\overline{c} = \frac{500+600+700+800+900}{5} = \frac{3500}{5} = 700\,m/s$

$\overline{c^2}$ యొక్క సగటు విలువ $= \dfrac{500^2+600^2+700^2+800^2+900^2}{5} = 510000\,m^2/s^2$

$c_{rms} = \sqrt{\overline{c^2}} = \sqrt{510000} = 714\,m/s$

c_{rms} మరియు $\bar{c}$ లు సమానం కాదు.

2. వాయు మిశ్రమం యొక్క ఫలిత పీడనం, వాయువులు 1 మరియు 2 లు పాత్రలో విడివిడిగా ఆక్రమించినపుడు కలుగజేయు పీడనాల మొత్తానికి సమానం అనగా $P = P_1 + P_2$.

3. Boyle's law is valid when the temperature of the gas remains constant, and the situation described involves changing the temperature by adding more air, which affects both the pressure and volume simultaneously. Therefore, Boyle's law is not applicable.

13.3

1. ప్రతి స్వేచ్ఛా పరిమితిలోను, శక్తి $= \frac{1}{2}kT$

$\therefore$ నైట్రోజన్ వాయువుకు 5 స్వేచ్ఛా పరిమితులు ఉంటాయి. కనుక మొత్తం శక్తి $= \frac{5}{2}kT$

2. ద్విపరమాణు అణువుకు, $c_V = \frac{5}{2}R$

$$c_v = \frac{5}{2} \times 8.3 = 20.75\,J\,mol^{-1}K^{-1}$$

$$c_p = c_v + R = 20.75 + 8.3 = 29.05\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$$

3. వాయువులు స్థిర ఘనపరిమాణం (C_v) వద్ద మరియు స్థిర పీడనం (C_p) వద్ద ఉష్ణాన్ని శోషించుకోగలవు మరియు వదిలివేయగలవు. కావున వాయువులకు రెండు రకాల విశిష్ట ఉష్ణధారణ సామర్థ్యాలు ఉంటాయి.

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

2.	శూన్యం	3.	4 రెట్లు, రెట్టింపు, 4 రెట్లు అవుతుంది.
4.	4 : 1	5.	2
7.	$6.18 \times 10^{-21}\ ms^{-1}$, –124°C	8.	(a) 12×10^{20} (b) $7.9 \times 10^{11}\ ms^{-1}$
9.	(a) 2634°C (b) $2560\ ms^{-1}$	15.	$1800\ ms^{-1}$, $2088\ ms^{-1}$
16.	$3.97 \times 10^3\ Nm^{-2}$	19.	$12.45\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$, $20.75\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$.

14

ధ్వని తరంగాలు

పరిచయం

మనం తరుచుగా మనుషులు మాట్లాడినప్పుడు గాని, విన్నప్పుడుగాని సంగీత వాయిద్యాలను వాయించినప్పుడుగాని ధ్వనిని వింటాం. కాని మీరెప్పుడైనా ధ్వని అంటే ఏమిటి? ఆది ఎలా ఉద్భవించినది (మూలం ఏమిటి?) అని ఆలోచించారా? ఈ ప్రశ్నలన్నింటికి సమాధానాలు ప్రస్తుత పాఠ్యాంశంలో వెతికే ప్రయత్నం చేద్దాం.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠ్యాంశం చదవడం వల్ల మీరు ఈ క్రింది విషయాలు తెలుసుకుంటారు.

- తరంగాలను వేరుచేసి చూడటం మరియు తిర్యక్, అనుదైర్ఘ్య తరంగాల మధ్య తేడాలను గుర్తిస్తారు.
- స్థిర మరియు పురోగామి తరంగాలను నిర్వచిస్తారు.
- తరంగాల ఆధ్యారోహణ మరియు పరావర్తనంను వివరిస్తారు.
- మూసిన మరియు తెరచిన ఆర్గాన్ గొట్టాలలో కంపనరీతులను వివరిస్తారు.
- విస్పందన దృగ్విషయాన్ని వివరిస్తారు.
- డాప్లర్ ప్రభావాన్ని వివరించి వివిధ సందర్భాలకు సమీకరణాలు వ్రాస్తారు.

14.1 తరంగాల ప్రాథమిక భావన

తరంగాలు అనేవి భౌతికశాస్త్రంలో ఒక ప్రాథమిక భావన. ఇది వివిధ ద్విగ్విషయాలను అవగాహన చేసుకోవటంలో అత్యంత ఆవశ్యకమైనది. యానకంలో లేదా అంతరాళంలో ఒకచోటు నుండి మరొక చోటకు ప్రయాణించే ఆలజడినే తరంగాలు అంటారు. ఇది యానకానికి నికర స్థానభ్రంశాన్ని కలుగజేయకుండా శక్తిని ఒకచోటు నుండి మరొక చోటుకు మోసుకెళ్తాయి. సరళంగా చెప్పాలంటే తరంగాలు శక్తిని బదిలీ చేస్తాయి.

తరంగాల ముఖ్య లక్షణాలు

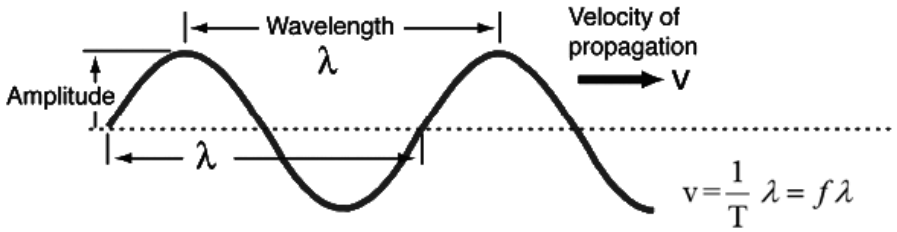
1. **కంపన పరిమితి :** సమతాస్థితి స్థానం నుండి ఒక తరంగం పొందే గరిష్ఠ స్థానభ్రంశం కంపన పరిమితి. నీటితరంగాల వలె, తిర్యక్ తరంగం విషయంలో శృంగం యొక్క ఎత్తు లేదా ద్రోణి యొక్క లోతును కంపన పరిమితిగా చెప్పవచ్చు. ధ్వని తరంగాల వలె అనుదైర్ఘ్య తరంగాల విషయంలో యానకం పొందే గరిష్ఠ సంపీడనం లేదా విరళీకరణము కంపన పరిమితికి సమానం.

2. **తరంగ దైర్ఘ్యం :** తరంగంలో ఒకేదిశలో ఉన్న రెండు వరుస కంపనాల మధ్య దూరం (ఉదా: రెండు వరుస శృంగాలు లేదా వరుస ద్రోణులు). తరుచుగా దీనిని (λ) (లాంబ్డా) అనే గ్రీకు అక్షరంతో సూచిస్తారు.

3. **పౌన:పున్యం :** ఒక సెకనులో సంభవించే తరంగం యొక్క పూర్తి డోలనాల లేదా చక్రాల సంఖ్యను పౌన:పున్యం అంటారు. దీని హెర్ట్జ్‌లలో (Hz) కొలుస్తారు. ఒక సెకనుకు జరిగే ఒక కంపన జరిగితే 1 Hz కు సమానం.

4. ఆవర్తన కాలం : తరంగం ఒక పూర్తి డోలనం లేదా కంపనం పూర్తిచేయడానికి పట్టు కాలం. ఇది పౌన:పున్యానికి విలోమం ($T = 1/f$).

5. **వేగం లేదా వడి :** యానకంలో తరంగం ప్రయాణించే రేటు. తరంగదైర్ఘ్యం మరియు పౌన:పున్యాల లబ్ధం వేగాన్ని ఇస్తుంది. ($v = \lambda f$).



పటం 14.1 తరంగం

14.2 తరంగాలు - రకాలు

14.2.1 యాంత్రిక తరంగాలు

యాంత్రిక తరంగాలు ప్రయాణించుటకు యానకం అవసరం. యానకంలో అలజడి కలిగినప్పుడు తరంగం, శక్తిని మోసుకెళ్తూ దాని గుండా ప్రయాణిస్తుంది. యాంత్రిక తరంగాలను రెండు రకాలుగా వర్గీకరించవచ్చు.

(a) **తిర్యక్ తరంగాలు :** తిర్యక్ తరంగాలలో యానకంలోని కణాలు తరంగ వ్యాపనదిశకు లంబంగా కంపిస్తాయి. ఉదా: నీటితరంగాలు, విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు

(b) **అనుదైర్ఘ్య తరంగాలు :** అనుదైర్ఘ్య తరంగాలలో యానకంలోని కణాల తరంగ వ్యాపనదిశకు సమాంతరంగా కంపిస్తాయి. ఉదాహరణకు గాలిలో లేదా ఏదైనా ఇతర పదార్థ యానకంలో ప్రయాణించే ధ్వని తరంగం.

14.2.2 విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు

శూన్యంలో మరియు వివిధ పదార్థాల గుండా ప్రయాణించగలిగే ఒక ప్రత్యేక రకమైన తిర్యక్ తరంగాలే విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు. ఇవి కంపించే లేదా డోలనం చెందే విద్యుత్ మరియు అయస్కాంత క్షేత్రాలచే ఉత్పత్తి చేయబడతాయి. విద్యుదయస్కాంత తరంగాలకు ఉదాహరనలు రేడియో తరంగాలు, మైక్రో తరంగాలు,ు, పరారుణ తరంగాలు, దృశ్యకాంతి, అతినీలలోహిత తరంగాలు, X-కిరణాలు మరియు గామా కిరణాలు.

14.2.3 ఉపరితల తరంగాలు

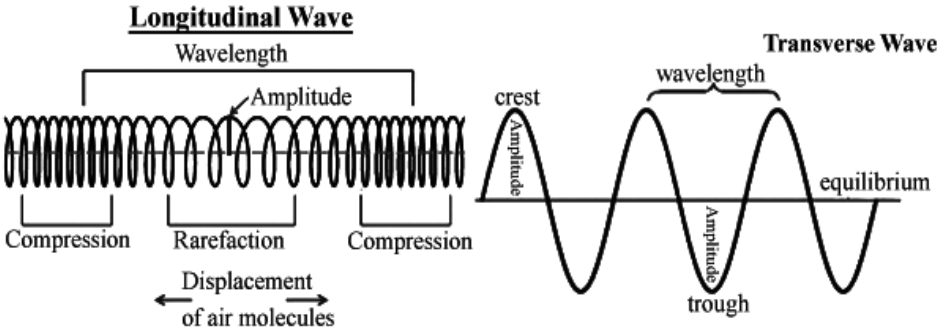
నీరు మరియు గాలి వంటి రెండు వేర్వేరు యానకాల మధ్యగల సరిహద్దు తలం వద్ద ఏర్పడే తిర్యక్ మరియు అనుదైర్ఘ్య తరంగాల కలయికను ఉపరితల తరంగాలు అంటారు. అవి సరిహద్దు వెంబడి ప్రయాణిస్తూ క్షితిజ సమాంతర మరియు క్షితిజలంబ చలనాలను కలిగి ఉంటాయి. ఉదాహరణకు సముద్ర తరంగాలు మరియు సిస్మిక్ తరంగాలు (భూకంపాలు).

14.2.4 స్థిరతరంగాలు

ఒకే రకమైన తరంగాలు వ్యతిరేక దిశలో ప్రయాణిస్తూ ఆద్యోరోహణ చెందినప్పుడు స్థిరతరంగాలు ఏర్పడతాయి. స్థిరతరంగంలో కొన్ని శూన్యస్థానభ్రంశం గల అస్పందన బిందువులు మరియు గరిష్ఠ స్థానభ్రంశం గల ప్రీస్పందన బిందువులు అనబడే ప్రత్యేక బిందువులు ఏర్పడుతాయి. ఇవి స్థిరంగా ఉంటాయి. ప్రయాణిస్తున్న తరంగం వలె అంతరాళంలో వ్యాపనం చెందవు. ఇది భౌతికశాస్త్రంలో ఎదురయ్యే ప్రాథమిక తరంగ రకాలు. ప్రతి ఒక తరంగం దాని ప్రత్యేక లక్షణాలు మరియు ధర్మాలను కలిగి ఉంటుంది. వివిధ శాస్త్రీయ మరియు సాంకేతిక అనువర్తనాలలో కీలక పాత్ర పోషిస్తాయి.

14.2.5 తిర్యక్ మరియు అనుదైర్ఘ్య తరంగాల మధ్య తేడాలు

తిర్యక్ మరియు అనుదైర్ఘ్య తరంగాల మధ్య ముఖ్యమైన కణాల కంపన దిశపై ఆధారపడుతుంది. తిర్యక్ తరంగాలకు కణాల కంపనదిశ తరంగ వ్యాపన దిశకు లంబంగా ఉంటే, అనుదైర్ఘ్య తరంగాలకు కణాల కంపన దిశ తరంగ వ్యాపన దిశకు సమాంతరంగా ఉంటుంది. తిర్యక్ తరంగాలు శృంగాలు మరియు ద్రోణులచేత వ్యక్తీకరించబడుతూ తరంగ నమూనాను కలిగి ఉంటుంది. మరొవైపు అనుదైర్ఘ్య తరంగాలు దగ్గరగా మరియు దూరంగా ఉన్న ప్రాంతాలను కలిగి ఉన్నా సంపీడనాలు మరియు విరళీకరణాల చేత వ్యక్తీకరించబడుతుంది.



పటం 14.2 : తిర్యక్ మరియు అనుదైర్ఘ్య తరంగాలు

14.3 పురోగామి తరంగం

యానంలో తరంగం ప్రయాణిస్తున్నప్పుడు, యానకంలోని వైయక్తిక కణాలు ఎలా కంపనాలు చేస్తాయో అనే విషయాన్ని పురోగామి తరంగం స్థానభ్రంశం సంబంధం వర్ణిస్తుంది. కణం యొక్క స్థానాన్ని దాని కంపన సమయంచేత జతపరిచతే గణితాత్మక సమాసమే, స్థానభ్రంశం సంబంధం.

x-అక్షం వెంబడి ప్రయాణించే ఏకమితీయ పురోగామి తరంగాన్ని తీసుకుందాం. పురోగామి తరంగానికి స్థానభ్రంశ సంబంధాన్ని కింది విధంగా వ్యక్తపరుస్తారు.

$$y(x, t) = A \sin(kx + \omega t + \phi) \qquad (14.1)$$

ఇక్కడ $y(x, t)$, స్థానం x, కాలం t వద్ద యానకంలో కణం యొక్క స్థానభ్రంశం A తరంగ కంపన పరిమితి, ఇది సమతాస్థితి స్థానం నుండి కణాల గరిష్ఠ స్థానభ్రంశాన్ని సూచిస్తుంది. k అనేది తరంగ సంఖ్య. ఇది తరంగదైర్ఘ్యంతో $k = \lambda/2\pi$ అనే సంబంధాన్ని కలిగి ఉంటుంది. x అనేది x-అక్షం దిశలో కణం యొక్క స్థానం. ω తరంగం కోణీయ పౌన:పున్యం ఇది పౌన:పున్యం (f) తో $\omega = 2\pi f$ అదే సంబంధాన్ని కలిగి ఉంటుంది. t అనేది స్థానభ్రంశాన్ని కొలిచిన సమయం. ϕ దశాస్థిరాంకం (లేదా) దశా కోణము ఇది. $x = 0$ మరియు $t = 0$ వద్ద తొలిదశను సూచిస్తుంది.

స్థానభ్రంశ సంబంధం తరంగ ఆకారాన్ని మరియు యానకం గుండా తరంగం ఎలా వ్యాపిస్తుందో వర్ణిస్తుంది. కాలం గడిచే కొద్దీ, వేర్వేరు x స్థానాలు వద్ద ఉన్న ప్రతికణం ఒకే పౌన:పున్యం ω తో హారాత్మక డోలనాలను చేస్తుంది. కాని వేర్వేరు kx మరియు ϕ లతో నిర్ధారించబడిన దశాకోణంతో డోలనాలు చేస్తుంది. సంక్షిప్తంగా, పురోగామి తరంగ స్థానభ్రంశ సంబంధం అనేది సైనుసోయిడల్ (హరాత్మక) ప్రమేయం. ఇది యానకంలో తరంగం ప్రసారం చెందుతున్నప్పుడు కణాలు ఎలా కంపనాలు చేస్తాయో (సూచింది) తెలియజేస్తుంది. ఈ ప్రయేయం తరంగ కంపన పరిమితి, తరంగ సంఖ్య, కోణీయ పౌన:పున్యం మరియు దశాస్థిరాంకములపై ఆధారపడుతుంది.

14.3.1 ప్రయాణిస్తున్న తరంగ వేగం

ప్రయాణిస్తున్న తరంగ వేగం అది వ్యాపనం చెందుతున్న యానకంపై ఆధారపడుతుంది. ఒక యానకంలో తరంగ వేగానికి (వడికి) సాధారణ సూత్రం

$$v = \frac{1}{T}\lambda$$

ఇక్కడ v తరంగ వేగం, λ తరంగ తరంగ దైర్ఘ్యం, T తరంగ ఆవర్తన కాలం

మరొక రకంగా తరంగ వేగాన్ని $v = f \cdot \lambda$, తో కూడా వ్యక్తపరుస్తారు.

ఇక్కడ f తరంగ పౌనఃపున్యం

ధ్వని తరంగ వేగం అది ప్రయాణించే యానకంపై ఆధారపడుతుంది. సాధారణంగా, ధ్వని వేగం, యానకం స్థితిస్తాపకత మరియు సాంద్రతల చేత నిర్ధారించుబడుతుంది. వాయువులలో ధ్వనివేగం, వాయువు ఉష్ణోగ్రతపై ఆధారపడుతుంది. మరొవైపు ద్రవాలు మరియు ఘన పదార్థాలలో ధ్వనివేగం ప్రాథమికంగా స్థితిస్థాపక ధర్మాలపై ఆధారపడుతుంది.

ఒక యానకంలో ధ్వనివేగానికి ఆధారపడుతుంది.

$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ తో సూచించబడుతుంది.

ఇక్కడ v యానకంలో ధ్వనివేగం, E యానకం యొక్క స్థితిస్థాపక గుణకం (యంగ్ గుణకం) E యానకం స్థితిస్థాపకతను కొలుస్తుంది. ρ యానకం సాంద్రత.

గతి ఉష్ణోగ్రత వద్ద (20° సెల్సియస్ లేదా 68° ఫారన్‌హీట్) గాలిలో ధ్వనివేగం సుమారుగా 343 మీటర్లు/సెకన్. దీని విలువ వాయువు స్వభావాన్ని బట్టి మరియు దాని ఉష్ణోగ్రతను బట్టి స్వల్పంగా మారవచ్చు.

ద్రవాలలో, ధ్వనివేగం వాయువులో ధ్వనివేగం కంటే ఎక్కువగా ఉంటుంది మరియు ద్రవాల ధర్మాన్ని బట్టి ధ్వనివేగం విలువ మారుతుంది. ఉదాహరణకి గది ఉష్ణోగ్రత వద్ద నీటిలో ధ్వనివేగం సుమారు 1482 m/s.

ఘనపదార్థాలలో ధ్వనివేగం, వాయువులు మరియు ద్రవాల కంటే చాలా అధికంగా ఉంటుంది. పదార్థం యొక్క రకము మరియు సాంద్రతను బట్టి ధ్వనివేగం విలువ సెకనుకు కొన్ని వేల మీటర్ల నుండి పదివేల మీటర్లు వరకు ఉంటుంది.

పై విలువలన్నీ అంచనాలు మాత్రమే. యానకం యొక్క ప్రత్యేక ధర్మాలైన ఉష్ణోగ్రత మరియు పీడనాలపై ఆధారపడి ధ్వని వేగం విలువ మారవచ్చు.

14.3.2 తరంగాల అధ్యారోపణము

తరంగాల అధ్యారోహణ సూత్రం ప్రకారం ఒక యానకంలో రెండు లేదా అంత కంటే ఎక్కువ తరంగాలు ప్రయాణిస్తున్నప్పుడు, ఏదైనా బిందువు, కాలం వద్ద వాటి స్థానభ్రంశాలు బీజీయంగా కలిసి కొత్త తరంగం ఉత్పత్తి అవుతుంది. ఒకదానితో ఒకటి గాని లేదా అవి ప్రయాణించే యానకంతోగాని చర్యనొందని రేఖీయ తరంగాలకు ఈ సూత్రం వర్తిస్తుంది.

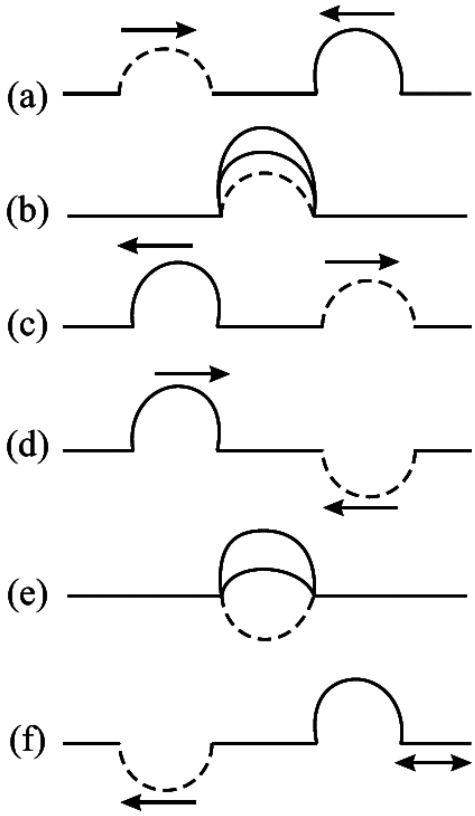
ఒక స్లింకీపై రెండు తరంగ స్పందనలు వ్యతిరేఖదిశలో ప్రయాణిస్తున్నాయని అనుకుందాం అని రెండు కలిస్తే ఏమవుతుంది. అవి ఒకదానినొకటి గుద్దుకుంటాయా? ఈ ప్రశ్నలకు సమాధానాలపై కొరకై ఈ క్రింది కృత్యాన్ని మనం చేద్దాం.

కృత్యం 14.1

పటం 14.3 లో చూపినట్లుగా సాగదీసిన స్లింకీపై వేర్వేరు కంపన పరిమితులు గల రెండు తరంగ శృంగాలను జనింపచేసి జాగ్రత్తగా గమనించండి. ఆ రెండు శృంగాల వ్యతిరేఖ దిశలో కదులుతాయి. పటం 14.3 (b) లో చూపినట్లుగా మార్గ మధ్యలో అవి కలుసుకొని ఒకదానిపై ఒకటి అతిపాతం చెందుతాయి. తర్వాత విడిపోతాయి. తర్వాత అవి ఇంతకు ముందులాగే అదేదిశలో చలనాన్ని కొనసాగిస్తాయి. ఇంకా, వాటి ఆకారంలో కూడా ఎటువంటి మార్పు ఉండదు పటం 14.3 (c).

ఇప్పుడు పటం 14.3 (d) లో చూపినట్లుగా స్లింకీపై ఒక శృంగం మరియు ఒక ద్రోణిని ఉత్పత్తి చేయండి. అవి రెండు వ్యతిరేఖ దిశలో కదులుతాయి. పటం 14.3 (e) లో చూపినట్లుగా అతిపాతం చెంది మళ్ళీ విడిపోతాయి. ప్రతి ఒకటి ఇంతకు ముందులాగే అదేదిశలో చలనాన్ని కొనసాగిస్తాయి మరియు అదే ప్రతి ఆకారాన్ని కలిగి ఉంటాయి. ప్రయోగాన్ని మళ్ళీ పునరావృతం చేస్తూ పటం 14.3(b) మరియు 14.3(e) లలో చూపినట్లుగా ఆ రెండు తరంగ స్పందనలు అతిపాతం చెందే బిందువు వద్ద ఏమిజరుగుతుందో జాగ్రత్తగా గమనించండి.

రెండు శృంగాలు అతిపాతం చెందినప్పుడు ఫలిత తరంగ స్పందన అధికంగా (గరిష్ఠంగా) మరియు శృంగము, ద్రోణితో అతిపాతం చెందినప్పుడు ఫలిత తరంగ స్పందన శృంగం వైపు ఉండటము మరియు తక్కువగా ఉండటాన్ని మీరు గమనిస్తారు. దీనిని మనం ఈ క్రింది విధంగా క్రోడీకరించవచ్చు. రెండు తరంగ స్పందనలు అతిపాతం చెందే బిందువువద్ద ఫలిత స్థానభ్రంశం, రెండు తరంగ స్పందనల వల్ల స్థానభ్రంశాల సదిశా మొత్తానికి సమానం. "దీనినే అధ్యారోపణ సూత్రం అంటారు".



పటం 14.3 : దృఢ కొన మరియు స్వేచ్ఛా కొన వద్ద తరంగ పరావర్తనం

ఈ కృత్యం కేవలం తరంగాల అధ్యారోపణ సూత్రాన్ని వివరించడం మాత్రమే కాకుండా రెండు లేదా అంతకంటే ఎక్కువ తరంగాలు ఒకే అంతరాళంలో వేటికవే స్వతంత్రంగా ప్రసారమవుతాయని చూపుతుంది. తరంగాల ఈ ప్రత్యేక ధర్మమే మనల్ని వివిధ రేడియోస్టేషన్లు ఉన్నప్పటికీ అంతరాళంలో ఒక ప్రత్యేక రేడియోస్టేషన్‌ను శృతి చేసుకోవడానికి అవకాశం కల్పిస్తుంది.

ఈ సూత్రాన్ని ఉపయోగించుకుని తరంగాల వ్యతికరణం, విస్పందనాల ఏర్పాటు (ఉత్పత్తి) స్థావర లేదా స్థిరతంరగాలు వంటి దృగ్విషయాలను వివరించగలుగుతాము. అధ్యారోపణ సూత్రమును వివరించుటకు క్రింది రెండు సరళమైన గణితాత్మక ఉదాహరణలు తీసుకుందాం.

ఉదాహరణ 14.1

ఒకే పౌనఃపున్యం మరియు తరంగ దైర్ఘ్యం గల రెండు తరంగాల అధ్యారోపణము ఈ కింది సమీకరణాల చేత వర్ణింపబడిన రెండు తరంగాలను తీసుకుందాం.

తరంగం 1 : $y_1(x,t) = A.\sin(kx - \omega t)$

తరంగం 2 : $y_2(x,t) = A.\sin(kx - \omega t + \phi)$

ఇక్కడ

- A రెండు తరంగాల కంపన పరిమితి
- k తరంగ సంఖ్య (తరంగ దైర్ఘ్యంతో $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ సంబంధాన్ని కలిగి ఉంటుంది.)
- ω కోణీయ పౌనఃపున్యం (పౌన్య:పున్యంతో $\omega = 2\pi f$ సంబంధాన్ని కలిగి ఉంటుంది).

- ϕ రెండు తరంగాల మధ్య దశాబేధం

అధ్యారోపణం వల్ల పొందే ఫలిత తరంగం

$$y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$$

$$y(x,t) = A.\sin(kx - \omega t) + A.\sin(kx - \omega t + \phi)$$

త్రికోణమితీయ నిష్పత్తులు (మొత్తం – లబ్ధం సూత్రం) ఉపయోగించి, ఈ సమసాన్ని క్రింది విధంగా సూక్ష్మీకరించవచ్చు.

$$y(x,t) = 2A.\cos\left(\frac{\phi}{2}\right).\sin\left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2}\right)$$

ఇది ఒకే పౌనఃపున్యం మరియు ఒకే కంపన పరిమితి గల రెండు తరంగాలు ఒక దానితో ఒకటి పునర్భలనం చెంది, వృద్ధి చెందిన కంపన పరిమితి గల కొత్త ఫలిత తరంగాన్ని ఏర్పరిచే నిర్మాణాత్మక వ్యతికరణాన్ని వర్తిస్తుంది.

ఉదాహరణ 14.2

వేర్వేరు పౌనఃపున్యం మరియు కంపన పరిమితులు గల రెండు తరంగాల అధ్యారోపణం.

వేర్వేరు పౌనఃపున్యం మరియు కంపన పరిమితులు గల రెండు తరంగాలను తీసుకుందాం.

తరంగం 1 : $y_1(x,t) = A_1.\sin(k_1x - \omega_1 t)$

తరంగం 2 : $y_2(x,t) = A_2.\sin(k_2x - \omega_2 t)$

ఇక్కడ

- A_1 మరియు A_2 లు రెండు తరంగాల కంపన పరిమితులు
- k_1 మరియు k_2 లు రెండు తరంగాల తరంగ సంఖ్యలు (వాటి వాటి తరంగ దైర్ఘ్యాలకు సంబంధాన్ని కలిగి ఉంటాయి).
- ω_1 మరియు ω_2 లు రెండు తరంగాల కోణీయ పౌన:పున్యాలు (వాటి వాటి పౌనఃపున్యాలతో సంబంధాన్ని కలిగి ఉంటాయి).

అధ్యారోపణం వల్ల ఏర్పడిన ఫలిత తరంగం

$$y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$$

$$y(x,t) = A_1.\sin(k_1x - \omega_1 t) + A_2.\sin(k_2x - \omega_2 t)$$

ఈ ఉదాహరణకు తోణ సూక్ష్మీకరణ లేదు కాని రెండు వేర్వేరు పౌనఃపున్యాలు మరియు కంపన పరిమితులు గల తరంగాల అధ్యారోపణం, ఆ రెండు తరంగాల అభిలక్షణాలను కలుపుకొని ఉండే ఒక సంక్లిష్టమైనబీఎ తరంగ నమూనాను ఉత్పత్తి చేస్తుంది లేదా తయారుచేస్తుంది.

ఈ ఉదాహరణలు, తరంగాలు ఒకదానితో ఒకటి చర్యనొంది ధ్వని మరియు కాంతి తరంగాల విషయంలో ఏర్పడే వ్యతికరణ నమూనాను ఏర్పరిచే తరంగాల ప్రవర్తనను అవగాహన చేసుకోవటంలోను మరియు విశ్లేషించటంలోను, అధ్యారోపణ సూత్రం ఏవిధంగా ఉపయోగపడుతుందో తెలియజేస్తాయి.

14.4 యాంత్రిక తరంగాల -పరావర్తనం

రెండు వేర్వేరు యానకాల మధ్య గల సరిహద్దు తాకినప్పుడు ఒక తరంగం తిరిగి మళ్ళీ అదే యానకంలోకి ప్రయాణించే దృగ్విషయాన్ని తరంగాల పరావర్తనం అంటారు. ఒక తరంగం పరావర్తనం చెందినప్పుడు దాని దిశ మారతుతుంది కాని దాని అభిలక్షణాలైన పౌన:పున&ంయ తరంగం, కంపన పరిమితి మారవు.

తరంగ రకాన్ని బట్టి మరియు యానకం ధర్మాలైన ఆధాపడి తరంగాల పరావర్తనం కొన్ని విశిష్ట ప్రత్యేక నియమాలను పాటిస్తుంది. తరంగాల పరావర్తనానికి సంబంధించి కొన్ని (విషయాలు) అంశాలను కింద చూడవచ్చు.

14.4.1 యాంత్రిక తరంగాల - పరావర్తనం

యాంత్రిక తరంగాలైన నీటి తరంగాలు లేదా ధ్వని తరంగాలు పరావర్తన తలాన్ని తాకినప్పుడు వెనకకు మరలుతాయి.

పతన కోణం (పతన, పరావర్తన తలం లంబానికి మధ్యగల కోణం)

పరావర్తన కోణానికి (పరావర్తన తరంగానికి, పరావర్తన తలం లంబానికి మధ్యగల కోణం) సమానం.

పరావర్తన కోణం (θ_r) కు సమానమని (θ_i) అవి $\theta_i = \theta_r$ అవుతయాని పరావర్తన నియమం ప్రవచిస్తుంది.

14.4.1.1 తరంగాల పరావర్తనం - వివిధ సందర్భాలు

యానకంలో ప్రయాణఙంచే తరంగం. యానకం సరిహద్దును తాకినప్పుడు పరావర్తనం చెందు తుంది. సరిహద్దును తాకేముందు తరంగాన్ని పతన తరంగమని, సరిహద్దు తాకిన తర్వాత తరంగాన్ని పరావర్తన తరంగమని అంటారు. సరిహద్దు వద్ద తరంగం ఏవిధంగా పరావర్తనం చెందుతుంది అనేది సరిహద్దు నియమాలపై ఆధార పడుతుంది. పటం 14.4 లో చూపినట్లుగా తరంగాలు సరిహద్దు స్వభావంపై అనగా బిగించిన లేదా

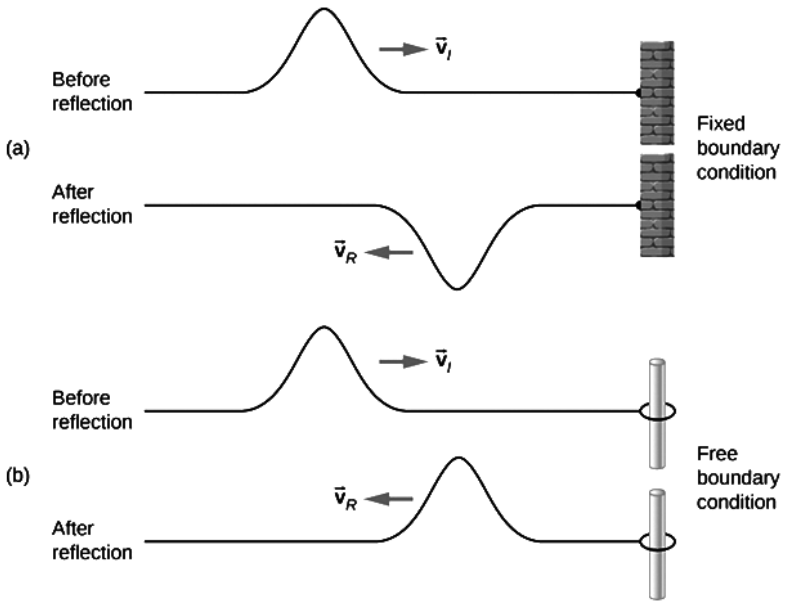
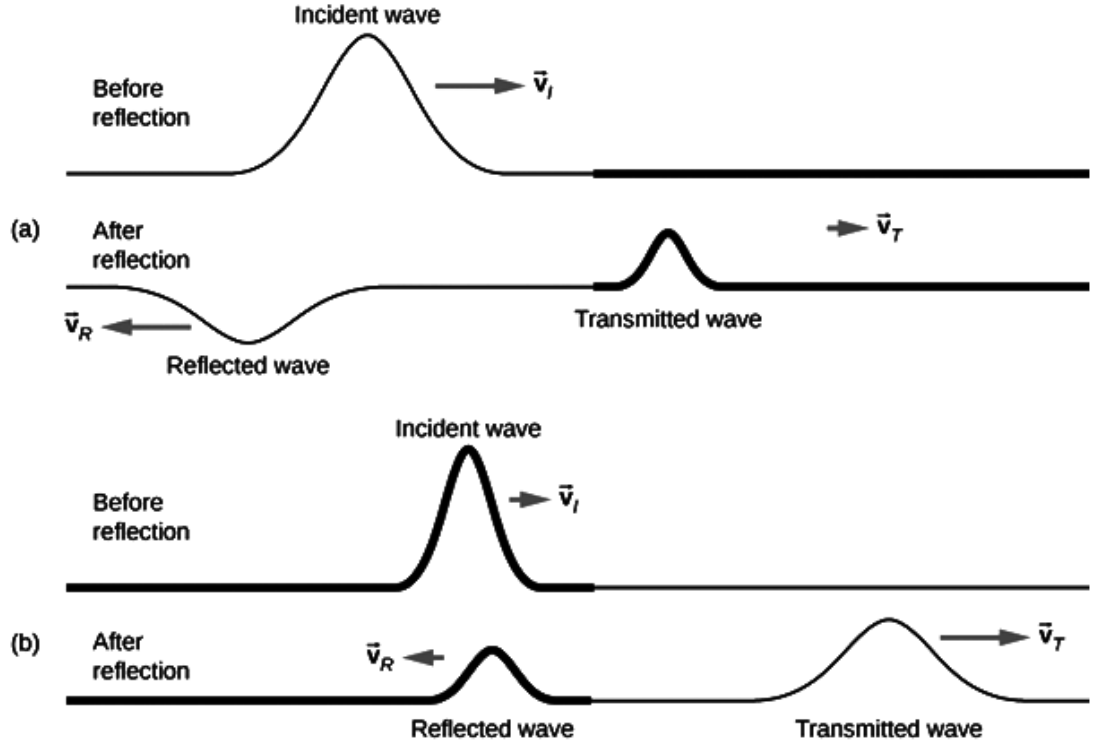


Fig. 14.4 : Fixed and Free boundary condition

స్వేచ్ఛగా ఉన్న సరిహద్దుపై ఆధారపడి వేర్వేరుగా ప్రవర్తిస్తాయి. సరిహద్దు బిగించి ఉన్నట్లైతే స్థిరసరిహద్దు నియమం, సరిహద్దు స్వేచ్ఛాగా ఉన్నట్లైతే స్వేచ్ఛా సరిహద్దు నియమం వర్తిస్తుంది.

పటం 14.4(a) లో తీగ యొక్క ఒక కొన బిగించబడి కదల కుండా ఉంటుంది. తీగపై వ్యాపనం చెందే తరంగం దృఢ సరిహద్దు నియమాన్ని పాటిస్తూ పతన తరంగానికి 180° దశాబేధంతో పరావర్తనం చెందుతుంది. పటం 14.4 (b) లో చూపినట్లుగా తీగ ఒక చివర ఘర్షణ రహిత స్తంభంపై విస్మరించదగిన ద్రవ్యరాశి గల స్వేచ్ఛా కదులుతూ ఉండే రింగ్‌కు కట్టుబడింది. ఈ తీగపై వ్యాపనం చెందే తరంగం స్వేచ్ఛా సరిహద్దు నియమాన్ని పాటిస్తూ పతన తరంగంతో 0° దశాబేధంతో పరావర్తనం చెందుతుంది.

కొన్ని సందర్భాలలో యానక సరిహద్దు దృఢంగా కాకుండా స్వేచ్ఛాగా కాకుండా ఉంటుంది. పటం 14.5 (a) లో చూపినట్లుగా ఒక అల్ప రేకీయ ద్రవ్యరాశి సాంద్రత గల తీగను మరొక అధిక రేఖీయ సాంద్రతగల తీగకు జతచేయబడి ఉందనుకొందాం. ఈ సందర్భంలో పరావర్తన తరంగం పతన తరంగంతో దేశాబేధాన్ని కలిగి ఉంటుంది. పరావర్తన మరియు ప్రసారిత తరంగాల కంపన పరిమితి పతన తరంగం కంటే తక్కువగా ఉంటుంది. ఈ రెండు తీగలలో ఒకే తన్యత ఉన్నట్లైతే అల్ప రేఖీయ సాంద్రత గల తీగలో తరంగ వేగం ఎక్కువగా ఉంటుంది.



పటం 14.5 : దృఢ కొన మరియు స్వేచ్ఛా కొన వద్ద తరంగ పరావర్తనం

పటం14.5 (a) లో చూపినట్లుగా రెండు రకాల తరంగాలు ఒకటి అధిక రేఖీయ సాంద్రత గల లావు తీగలో మరొకటి అల్పరేఖీయ సాంద్రత గల సన్నని తీగలో ప్రయాణిస్తున్నాయి. రెండు తీగలు ఒకే తన్యతకు లోనవుతుంటే ఒక తరంగం అధిక రేఖీయ సాంద్రత గల లావు తీగలో కంటే అల్పరేఖీయ సాంద్రత గల సన్న

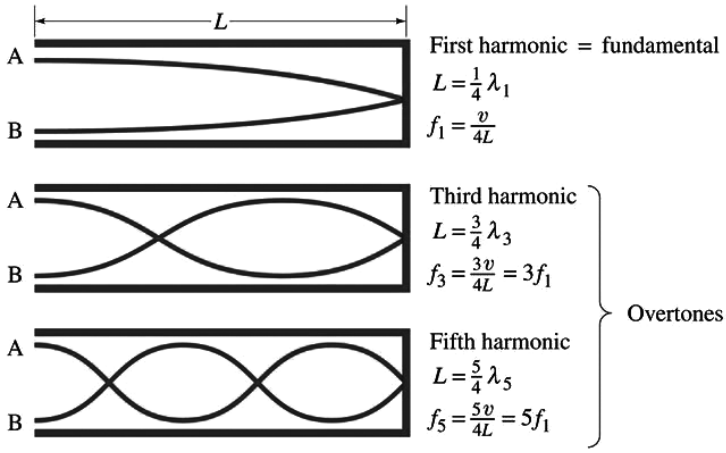
తీగలో అధిక వేగంతో కదులుతుంది. (a) అధిక వేగం గల యానకం నుండి అల్ప వేగం గల యానకం వైపు ప్రయాణించే తరంగం, 180° దశాబేధం గల పరావర్తిత తరంగాన్ని మరియు 0° దశాబేధం గల ప్రసారిత తరంగాన్ని ఇస్తుంది. (b) అల్ప వేగం గల యానకం నుండి అధిక వేగం గల యానకం వైపు ప్రయాణించే తరంగం. పతన తరంగంతో దశలో ఉండే పరావర్తిత మరియు ప్రసారిత తరంగాలను ఇస్తుంది.

14.5 తెరచిన చివర మరియు మూసిన చివర గల ఆర్గాన్ గొట్టాలు

14.5.1 మూసిన చివర గల ఆర్గాన్ గొట్టం

ఒక వైపు మూసి ఉండి, మరొక వైపు తెరచి ఉన్న గొట్టాన్ని మూసిన గొట్టం అంటారు. మూసిన గొట్టం ద్వారా పంపిన ధ్వని తరంగం మూసి ఉన్న కొన వద్ద పరావర్తనం చెందుతుంది. ఒకే పౌనఃపున్యం కలిగి వ్యతిరేఖ దిశలో ప్రయాణించే పతన, పరావర్తన తరంగాలు అధ్యారోపణం చెంది స్థిర తరంగాలను ఏర్పరుస్తాయి. కంపన పరిమతి శూన్యంగా గల బిందువులను అస్పందన బిందువులని, కంపన పరిమితి గరిష్ఠంగా గల బిందువులను ప్రస్పందన బిందువులని అంటారు.

మూసిన గొట్టంలో మూసిన కొన వద్ద కనీసం ఒక అస్పందన బిందువు మరియు తెరచిన కొన వద్ద ప్రస్పందన బిందువు కలిగి ఉంటే ఆ స్థిరతరంగాన్ని మూసిన గొట్టంలో ప్రాథమిక అనుస్వరం అంటారు. గొట్టం పొడవు (l) తరంగ దైర్ఘ్యంలో నాల్గవ వంతుకు సమానం.



పటం 14.6 : ఒకవైపు తెరచిన కొన గల గాలి స్తంభంలో సాధారణ కంపన రీతులు

$$\therefore\ l = \frac{\lambda_1}{4} \Rightarrow \lambda_1 = 4l$$

'f_1' అనేది ప్రాథమిక పౌన:పున్యం అయితే

$$f_1 = \frac{v}{4l} \qquad (14.2)$$

మూసిన గొట్టంలో తర్వాతి అనుస్వరం ఏర్పడాలంటే కనీసం రెండు అస్పందన బిందువులు మరియు రెండు ప్రస్పందన బిందువులు ఏర్పడాలి. కాబట్టి మూసిన గొట్టంలో మూడవ అనుస్వరాన్ని ఏర్పరచుటకు మరొక అస్పందన బిందువు మరియు ప్రస్పందన బిందువులను జోడించాలి.

అప్పుడు గొట్టం పొడవు (l) తరంగ దైర్ఘ్యంలో $(\lambda_3)\frac{3}{4}$ వ వంతుకు సమానం.

$\therefore\ l = \frac{3\lambda_3}{4}$ ఇక్కడ 'λ_3' మూడవ అనుస్వరం తరంగ దైర్ఘ్యం

$$\lambda_3 = \frac{4l}{3}$$

'f_3' మూడవ అనుస్వరం (మొదటి అతిస్వరం) పౌన:పున్యం అయితే

$$\therefore\ f_3 = \frac{v}{\lambda_3} = \frac{3v}{4l}$$

$$f_3 = 3f_1 \qquad (14.3)$$

అదే విధంగా మూసిన గొట్టంలో తర్వాతి అతిస్వరం పొడవు అనుస్వరమే. ఈ అనుస్వరం మూసిన గొట్టం రెండు చివరల మధ్య మూడు పుస్పందన మరియు మూడు అస్పందన బిందువులను కలిగి ఉంటుంది.

ఇప్పుడు గొట్టం పొడవు (l) తరంగ దైర్ఘ్యం (λ_5)లో $\frac{5}{4}$ వ వంతుకు సమానం అవుతుంది.

$\therefore\ l = \frac{5\lambda_5}{4}$ ఇక్కడ 'λ_5' ఐదవ అనుస్వరం తరంగదైర్ఘ్యం

$$\lambda_5 = \frac{4l}{5}$$

'f_5' అయిదవ అనుస్వరం (రెండవ అతిస్వరం) పౌన:పున్యం అయితే

$$f_5 = \frac{v}{\lambda_5} = \frac{5v}{4l}$$

$$f_5 = 5f_1 \qquad (14.4)$$

ఇదే పద్ధతిని ఉపయోగిస్తూ తర్వాతి అనుస్వరాల పౌనఃపున్యాలను కూడా కనుగొనవచ్చు. దీని నుండి కేవలం బేసి అనుస్వరాలు మాత్రమే ఏర్పడుతున్నాయని గమనించవచ్చు.

మూసిన గొట్టాలలో అనుస్వరాల పౌన:పున్యాల నిష్పత్తిని కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$f_1 : f_3 : f_5 : \ldots\ldots\ldots\ldots = f_1 : 3f_1 : 5f_1 : \ldots\ldots\ldots\ldots$

$f_1 : f_3 : f_5 : \ldots\ldots\ldots\ldots = 1 : 3 : 5 : \ldots\ldots\ldots\ldots$

14.5.2 తెరచిన కొన గల ఆర్గాన్ గొట్టం

రెండు వైపులా తెరచిన ఉన్న గొట్టాన్ని తెరచిన గొట్టం అంటారు. తెరచిన గొట్టం ద్వారా పంపిన ధ్వని తరంగం భూమి వల్ల పరావర్తనం చెందుతుంది. ఒకే పౌనఃపున్యం కలిగి వ్యతిరేఖదిశలో ప్రయాణించే పతన, పరావర్తన తరంగాలు అధ్వారోపణం చెంది స్థిర తరంగాలను ఏర్పరుస్తాయి.

పటం 14.7 (a)లో చూపినట్లుగా తెరచిన గొట్టంలో స్థిర తరంగం రెండు తెరచిన చివరల వద్ద రెండు ప్రస్పందన బిందువులను మరియు వాటి మధ్య ఒక అస్పందన బిందువును కలిగి ఉటుంది.

$\therefore$ కంపించే పొడవు (l) = తరంగ దైర్ఘ్యంలో సగం

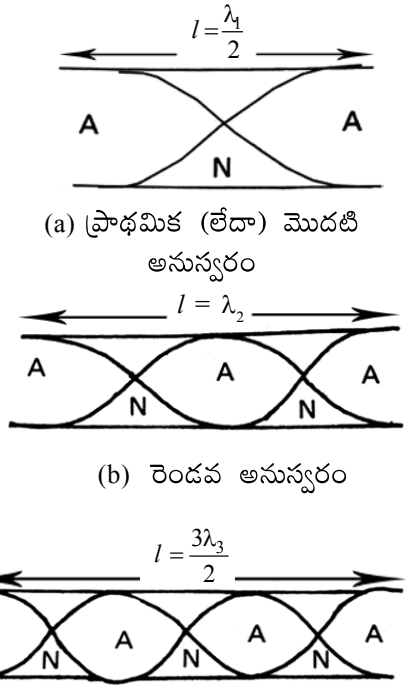
$$\left(\frac{\lambda_1}{2}\right)$$

$$l = \frac{\lambda_1}{2} \Rightarrow \lambda_1 = 2l$$

ప్రాథమిక పౌనఃపున్యం $f_1 = \frac{v}{\lambda_1}$

ఇక్కడ v గాలిలో ధ్వని వేగం

$$f_1 = \frac{v}{2l} \qquad (14.5)$$



(a) ప్రాథమిక (లేదా) మొదటి అనుస్వరం

(b) రెండవ అనుస్వరం

(c) మూడవ అనుస్వరం

పటం 14.7 : తెరచిన గొట్టంలో స్థిర తరంగాలు – మొదటి మూడు అనుస్వరాలు చూపబడినాయి.

పటం 14.7 (b) లో చూపినట్లుగా రెండవ అనుస్వరం (మొదటి అనుస్వరం) ఒక అస్పందన మరియు ఒక ప్రస్పందన బిందువును అదనంగా కలిగి ఉంటుంది.

λ_2 రెండవ అనుస్వరం తరంగ దైర్ఘ్యమైతే $l = \frac{2\lambda_2}{2} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{2l}{2} = l$

'f_2' రెండవ అనుస్వరం పౌన:పున్యమైతే $f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v \times 2}{2l} = \frac{v}{l}$

$$f_2 = 2f_1 \qquad (14.6)$$

అదే విధంగా మూడవ అనుస్వరం (రెండవ అతిస్వరం) పటంలో చూపినట్లుగా బిందువులు మరియు నాలుగు ప్రస్పందన బిందువులను కలిగి ఉంటుంది.

λ_3 మూడవ అనుస్వరం తరంగ దైర్ఘ్యమైతే $l = \frac{3\lambda_3}{2}$

'f_3' మూడవ అనుస్వరం పౌనఃపున్యమైతే

$$f_3 = \frac{v}{\lambda_3} = \frac{v \times 3}{2l} = 3f_1$$

$$f_3 = 3f_1 \qquad (14.7)$$

ఇదే తరహాలో మిగతా అనుస్వరాల పౌనఃపున్యాలను అనగా f_4, f_5 లను కొనగొనవచ్చు.

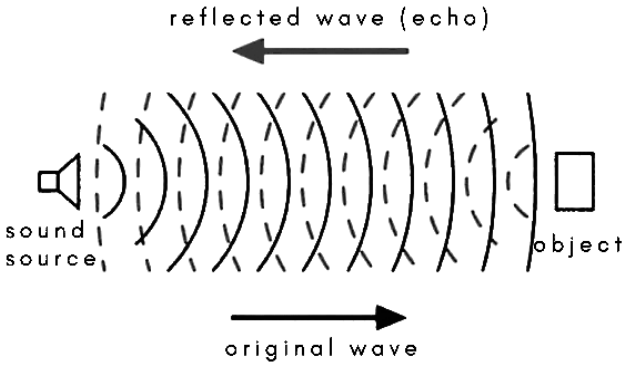
కావున తెరచిన గొట్టంలో అనుస్వరాల పౌనఃపున్య నిష్పత్తిని కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$f_1 : f_2 : f_3 : \ldots\ldots\ldots\ldots = 1 : 2 : 3 : \ldots\ldots\ldots\ldots$

14.6 ప్రతిధ్వనులు (Echoes)

పటం 14.8 లో చూపినట్లుగా ధ్వని తరంగాల విషయంలో సుదూర తలాల నుండి ధ్వని పరావర్తనం అనేది ప్రతిధ్వని అనే దృగ్విషయానికి దారి తీస్తుంది.

సుదూర మరియు పెద్ద వస్తువుల నుండి పరావర్తనం వలన కొంత కాల విలంబనం తర్వాత శ్రోత చెవిని చేరే ధ్వని తరంగాలనే ప్రతిధ్వని అంటారు.



పటం 14.8 : ప్రతిధ్వని ఏర్పరుట

తరంగాల పరావర్తనం, సహజ మరియు మానవ నిర్మిత ప్రక్రియలలో ఎంతో కీలకమైన పాత్రను పోషిస్తుంది. ఉదాహరణకి స్థిరతరంగాలు, ప్రతిధ్వనులు ఏర్పాటులో మరియు దర్పణాలు ఇతర పరావర్తన తలాల నుండి పరావర్తనం చెందిన విద్యుదయస్కాంత తరంగాల ప్రవర్తనంలో తరంగాల పరావర్తనం కీలకమైనది.

వాస్తవ నిర్మాణ ధ్వనిశాస్త్రం, రేడార్ సాంకేతిక మరియు దృశ్యశాస్త్రము వంటి వివిధ అనువర్తనాల కొరకు తరంగ పరావర్తనాన్ని అవగాహన చేసుకోవడం ఎంతో అవశ్యకమైనది..

14.7 విస్పందనాలు

ఒకే పౌన:పున్యం గల రెండు తరంగాలు ఒకే దిశలో ప్రయాణిస్తూ అధ్యారోపణం చెందినప్పుడు వ్యతికరణమును ఏర్పరుస్తాయని మనము చూపాము. దాదాపు సమాన పౌన:పున్యం గల రెండు తరంగాలు అధ్యారోపణం యొక్క ఫలితం ఏమవుతుందో పరిశీలిద్దాం. ముందుగా ఈ క్రింది కృత్యమును చేద్దాం.

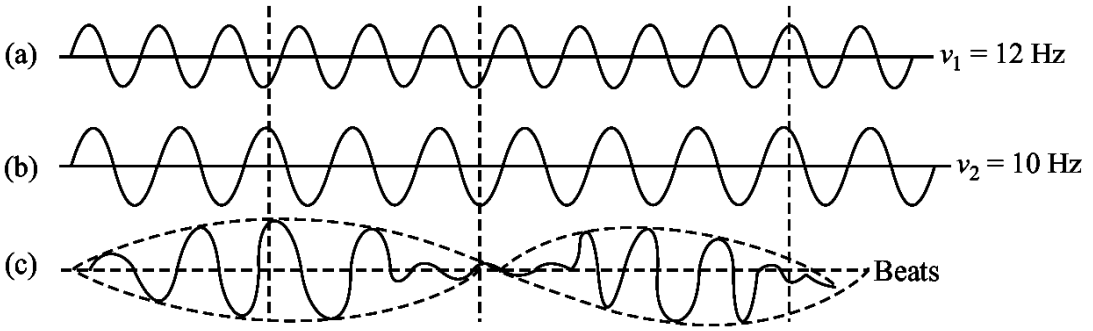
కృత్యం 14.2

512 Hz పౌన:పున్యం గల రెండు శృతిదండాలను తీసుకోండి. వాటికి A మరియు B పేర్లు పెట్టండి. శృతిదండం B యొక్క ఒక భుజానికి మైనమును అతికించండి. ఇప్పుడు రెండింటికి రబ్బరు సుత్తితో కొట్టండి. వాటి కాడలను బల్లపై భాగానికి అనించి ఏమి జరుగుతుందో పరిశీలించండి. మీరు ధ్వని తీవ్రత ప్రయత్నాయంగా గరిష్ఠం మరియు కనిష్ఠం అవడానిక్ని గమనిస్తారు. ఈ విధంగా ధ్వని తీవ్రత తగ్గడం మరియు పెరగడాన్ని

"విస్పందనలు" అంటారు. ఒక గరిష్ఠం మరియు ఒక కనిష్ఠం కలిస్తే ఒక విస్పందనము. శృతిదండం B యొక్క భుజానికి మరి కొంచెం మైనాన్ని అతికిస్తే విస్పందనాలు పెరగడాన్ని మీరు గమనిస్తారు. ఇంకా మైనాన్ని అతికించడం పెంచితే విస్పందనాలు వినిపించకపోవచ్చు. దీనికి గల కారణం మన చెవి సెకనులో పదవ వంతు కాలంలో వెలువడే రెండు శబ్దాలను వేర్వేరుగా వినలేకపోవటమే.

(a) **విస్పందనాల ఉత్పత్తి :** N మరియు N + n పౌనఃపున్యాలు గల A మరియు B అను రెండు శృతిదండాలు ఉన్నాయనుకోండి. ఇక్కడ n విలువ 10 కంటే తక్కువ. ఒక సెకనులో A, N కంపనాలను పూర్తిచేస్తే B, N + n కంపనాలను పూర్తి చేస్తుంది. అనగా B ఒక సెకనులో A కంటే n ఎక్కువ కంపనాలను పూర్తి చేస్తుంది. మరొలా చెప్పాలంటే B ఒక సెకనులో A కంటే n కంపనాలను అదనంగా పొందుతుంది. అనగా $\frac{1}{n}$ సెకనులో 1 కంపనాన్ని మరియు $\frac{1}{2n}$ సెకనులలో అర్ధ కంపనాన్ని పొందుతుంది. ముందుగా t = 0 వద్ద రెండు శృతిదండాలు ఒకే దశలో కంపిస్తున్నాయి. $\frac{1}{2n}$ సెకనుల కాలం తర్వాత B, A కంటే అర్ధ తరంగాన్ని అదనంగా పొందింది. అనగా $\frac{1}{2n}$ సెకనుల తర్వాత B, A తో వ్యతిరేఖ దశలో కంపిస్తుంది. A తరంగ సంపీడనాన్ని పంపిస్తే B తరంగ విరళీకరణాన్ని పరిశీలకుడికి పంపిస్తుంది. చెవిని చేరే ఫలిత తీవ్రత సున్నా. తరంగ $\frac{1}{n}$ సెకనుల తర్వాత B పూర్తి తరంగాన్ని అదనంగా పొందుతుంది. ఇప్పుడు A ఒక తరంగ సంపీడనాన్ని పంపితే. B కూడా తరంగ సంపీడనాన్నే పరిశీలకుడికి పంపుతుంది. ఫలిత తరంగ తీవ్రత గరిష్ఠమవుతుంది. $\frac{3}{2n}$ సెకనుల తర్వాత మళ్ళీ రెండు శృతిదండాలు వ్యతిరేఖ దశలో కంపనాలు చేస్తాయి. కావు తీవ్రత కనిష్ఠమవుతుంది. ఈ ప్రక్రియ ఇలా కొనసాగుతుంది. పరిశీలకుడు సెకను కాలంలో $\frac{1}{n}$ సెకను కాలంలో 1 విస్పందనాన్ని వింటాడు అనగా సెకనులో n విస్పందనాలను వింటాడు. కావున సెకనుకు వినబడే విస్పందనాల సంఖ్య శృతిదండాల పౌనఃపున్యాల బేధానికి సమానం. సెకనుకు 10 విస్పందనాల కంటే ఎక్కువ ఉత్పత్తి అయినప్పుడు అవి వేర్వేరుగా వినిపించవు. విస్పందనాల పౌనఃపున్యం n మరియు విస్పందన ఆవర్తన కాలం $\frac{1}{n}$.

(b) **గ్రాఫిక్ పద్ధతి :** 12 cm పొడవు గల గీత గీయండి. దానిని 12 సమాన భాగాలుగా (ఒక్కొక్కటి 1 cm) విభజించండి. ఎత్తు 0.5 cm మరియు పొడవు 1లో 12 తరంగ దైర్ఘ్యాలను పై గీతపై గీయండి.



పటం 14.9(a) 12 Hz పౌనఃపున్యానికి స్థానభ్రంశం–కాలం వక్రం, (b) 10 Hz పౌనఃపున్యానికి స్థానభ్రంశం–కాలం వ్రకం రెండు తరంగాల అధ్యారోపణం సెకనుకు 2 విస్పందనాలను ఉత్పత్తి చేస్తుంది.

ఇది 12 Hz పౌన:పున్యం గల తరంగాన్ని సూచిస్తుంది. (b) అదే గీతపై 1.2 cm పొడవు మరియు 0.5 cm ఎత్తుగల 10 తరంగ దైర్ఘ్యాలను గీయండి. ఇది 10 Hz పౌనఃపున్యం గల తరంగాన్ని సూచిస్తుంది. (c) ఫలిత తరంగాన్ని సూచిస్తుంది. పటం 14.9 లో తరంగాలను చూపలేదు కాని, అవి స్థానభ్రంశం కాలం గ్రాఫ్‌లు. కావున ఫలిత తీవ్రత ప్రత్యామ్నాయంగా గరిష్ఠం మరియు కనిష్ఠం అవుతుంది. ఒక సెకను కాలంలో ఉత్పత్తి అయ్యే విస్పందనాల సంఖ్య $\Delta\nu$. అందువల్ల విస్పందన పౌనఃపున్యం, అతిపాతం చెందే రెండు తరంగాల పౌనఃపున్యాల బేధానికి సమానం.

ఉదాహరణ 14.3

పౌనఃపున్యం విలువ తెలియని ఒక శృతిదండం, 500 Hz పౌనఃపున్యం గల శృతిదండంతో సెకనుకు 5 విస్పందనాలను ఇస్తుంది. తెలియని శృతిదండం పౌనఃపున్యాన్ని కనుగొనండి.

సాధన :

$v' = v \pm n = 500 \pm 5$

$\Rightarrow$ శృతిదండం పౌనఃపున్యం 495 Hz లేదా 505 Hz అవుతుంది.

ఉదాహరణ 14.4

ఒక వ్యతికరణ నమూనాలో గరిష్ఠ మరియు కనిష్ఠ తీవ్రతల నిష్పత్తి '9' అయితే అధ్యారోపణం చెందిన తరంగాల కంపన మరియు పరిమితుల నిష్పత్తి ఎంత?

సాధన :

$$\frac{I_{\text{గరిష్ఠం}}}{I_{\text{కనిష్ఠం}}} = \left(\frac{a_1 + a_2}{a_1 - a_2}\right)^2 \Rightarrow 9 = \left(\frac{1+r}{1-r}\right)^2, \text{ ఇక్కడ } r = \frac{a_2}{a_1}.$$

కావున $\frac{1+r}{1-r} = 3$ అని రాయవచ్చు.

దీనిని సాధించి $r = \frac{1}{2}$, పొందుతారు. అనగా ఒక తరంగం కంపన పరిమితి మరొక తరంగం కంపన పరిమితి రెట్టింపుగా ఉంటుంది.

డాప్లర్ (1803 - 1853)

డాప్లర్ 1803 లో ఆస్ట్రియాలో జన్మించాడు. డాప్లర్ 13 సంవత్సరాల వయస్సులో ప్రాథమిక విద్యాభ్యాసం ప్రారంభించాడు. అది పూర్తయిన తర్వాత 'లింజ్'లోని ఒక పాఠశాలకు సెకండరీ విద్యను అభ్యసించారు. డాప్లర్ గణిత ప్రావీణ్యతను సాల్జ్‌బర్గ్‌లో ఉండే సియాస్ స్టాంఫర్ గుర్తించాడు. 1829 వ సం॥రంలో వియన్నా పాలిటెక్నిక్ ఇన్‌స్టిట్యూట్‌లో ప్రొఫెసర్ అడమ్ వాన్‌బర్గ్‌కు సహాయకుడిగా ఎంచుకోబడి

అక్కడే తన విద్యాభ్యాసాన్ని కొనసాగించాడు. 1835 లో USAకి వెళ్ళాడు. 1842 లో డాప్లర్ తన 38వ ఏట జంట నక్షత్రాల రంగుల కాంతి మరియు స్వర్గానికి చెందిన ఇతర నక్షత్రాలు అనే అంశంపై "రాయల్ బహెమాన్ సొసైటీ ఆఫ్ సైన్సెస్"కు ఉపన్యాసాన్ని ఇచ్చి తదుపరి పత్రికను ప్రచురించాడు.

డ్లాపర్ తన పరిశోధనలో "పరిశీలకుడు వినే పౌన:పున్యం పరిశీలకునికి జనకానికి మధ్యగల సాపేక్ష వేగంపై ఆధారపడుతుందని ప్రతిపాదించాడు. తర్వాత అతడు దాని జంట నక్షత్రాల దృశ్య రంగులను వివరించేందుకు ప్రయత్నం చేశాడు (ఇది తర్వాత తప్పని రుజువైంది). 1853 మార్చి 17న 49 ఏళ్ళ వయస్సులో డాప్లర్ మరణించాడు.

14.8 డాప్లర్ ప్రభావం

ధ్వని జనకానికి, పరిశీలకుడికి మధ్య సాపేక్ష గమనం కారణంగా పరిశీలించబడే దృగ్విషయమే డాప్లర్ ప్రభావం. ఈ సాక్షేప గమనం వలన పరిశీలకుడు (వినే) అనుభవించే పౌన:పున్యం లేదా తరంగ దైర్ఘ్యంలో మార్పును ఇది దర్శిస్తుంది. డాప్లర్ ప్రభావం ముఖ్యంగా ధ్వని తరంగాలకు సంబంధించినదే అయినా కాంతి తరంగాల వంటి ఇతర తరంగాలకు కూడా ఇది వర్తిస్తుంది. (కాంతి తరంగాల డాప్లర్ ప్రభావాన్ని దృశా డాప్లర్ ప్రభావం అంటారు).

ధ్వని తరంగాల డాప్లర్ ప్రభావం యొక్క సిద్ధాంతాన్ని కింది విధంగా వివరించవచ్చు.

14.8.1 గమనంలో ఉన్న జనకం మరియు నిశ్చలస్థితిలో ఉన్న పరిశీలకుడు

ధ్వని తరంగాల జనకం (v_s) వేగంతో చలనంలో మరియు పరిశీలకుడు నిశ్చలంగా ఉన్నప్పుడు పరిశీలకుని చేరే దృశా పౌన:పున్యం (f').

$$f' = \frac{v}{v - v_s} \cdot f$$

14.8.2 నిశ్చిలస్థితిలో ఉన్న జనకం మరియు గమనంలో ఉన్న పరిశీలకుడు

ధ్వని జనకం నిశ్చిల స్థితిలో మరియు పరిశీలకుడు (v_o) వేగంతో గమనంలో ఉన్నపుడు పరిశీలకుని చేరే దృశా పౌనపున్యం (f')

$$f' = \frac{v + v_o}{v} \cdot f$$

14.8.3 ధ్వని జనకం మరియు పరిశీలకుడు రెండూ గమనంలో ఉన్నప్పుడు

సాధారణంగా ధ్వనిజనకము మరియు పరిశీలకుడు (ఇద్దరు) రెండూ గమనంలో ఉన్నప్పుడు పరిశీలకుని చేరే దృశా పౌనపున్యం (f')

$$f' = \frac{v + v_o}{v - v_s} \cdot f$$

ఇక్కడ f' పరిశీలకుడు వినే దృశా పౌనఃపున్యం

f ధ్వని జనకం వెలువరించే యదార్థ పౌనఃపున్యం

v యానకంలో ధ్వనివేగం (ఇచ్చిన యానకానికి స్థిరం)

v_o పరిశీలకుని వేగం (ధ్వని జనకం వైపు చలనంలో ఉంటే ధనాత్మకం, ధ్వని జనకం నుండి దూరంగా వెళ్తున్నట్లె'తే రుణాత్మకం), v_s ధ్వని జనకవేగం (పరిశీలకుని నుంచి దూరంగా వెళితే ధనాత్మకం, పరిశీలకునివైపు గమనంలో ఉంటే రుణాత్మకం).

ఈ సమీకరణాలలో దృశా పౌనఃపున్యం (f') యదార్థ పౌనఃపున్యం కంటే ఎక్కువైనట్లయితే దానిని "నీలి విస్థాపనం" (పౌనఃపున్యంలో పెరుగుల) అంటారు. దృశా పౌనఃపున్యం (f'), యదార్థ పౌనఃపున్యం కంటే తక్కువైనట్లయితే దానిని "ఆ రుణ విస్థానం" (పౌనఃపున్యంలో తగ్గుదల) అంటారు. డాప్లర్ ప్రభావం రేడార్ వ్యవస్థలు, ఖగోళశాస్త్రం మరియు వైద్య(ఇమేజింగ్) చిత్రణ వంటి ప్రయోగాత్మక అనువర్తనాలను కలిగి ఉంది.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 14.1

1. తరంగాల ప్రాథమిక లక్షణాలు ఏమిటి?
2. వివిధ రకాల తరంగాలు ఏవి?
3. అనుదైర్ఘ్య మరియు తిర్యక్ తరంగాలను నిర్వచించండి. వాటి మధ్య తేడాలను రాయండి.
4. పురోగామి తరంగాలనగానేమి? పురోగామి తరంగ వేగం అనేగానేమి?
5. ఒక గిటార్ తీగ 0.75 మీటర్ల పొడవు కలదు. తీగలో తన్యత 80 న్యూటన్లు. రేఖీయ ద్రవ్యరాశి సాంద్రత 0.02 kg/m తీగ వెంబడి ప్రయాణించే తరంగ వడిని లెక్కించండి.
6. 440 Hz పౌనఃపున్యంతో గాలిలో ఒక తంరగాన్ని జనింపచేశారు. గాలిలో ధ్వనివేగం సెకనుకు 343 మీటర్ల అయితే ధ్వని తరంగం తరంగ దైర్ఘ్యం ఎంత?
7. తరంగాల అధ్యారోపణ సూత్రాన్ని వివరించండి.
8. వివిధ సందర్భాలలో తరంగాల పరావర్తనాన్ని వివరించండి.
9. (a) మూసిన కొన (b) తెరచిన కొన గల ఆర్గాన్ గొట్టాలలో వివిధ అనుస్వరాలు ఏర్పాటును (ఉత్పత్తిని) వివరించండి.
10. తెరచిన కొన గల ఒక ఆర్గాన్ పైపు పొడవు 2.4 మీటర్లు. ఈ గొట్టంలో ప్రాథమిక పౌనఃపున్యం (మొదటి అనుస్వరం) ను లెక్కించండి. గాలిలో ధ్వనివేగం సుమారుగా 343 m/s గా తీసుకోండి.
11. తెరచిన కొన గల ఒక ఆర్గాన్ గొట్టం 225 Hz పౌనఃపున్యంతో మూడవ అనుస్వరాన్ని ఉత్పత్తి చేస్తుంది. గొట్టం పొడవును కనుక్కోండి. గాలిలో ధ్వనివేగం సుమారు 343 m/s గా తీసుకోండి.
12. 20 cm పొడవు గల మూసి ఉన్న ఆర్గాన్ గొట్టం వెలువరించే ప్రాథమిక పౌనఃపున్యం, రెండువైపులా తెరచిన ఆర్గాన్ గొట్టం రెండవ అనుస్వరముకు (మూడవ అతిస్వరము) సమానం. రెండువైపులా తెరచిన ఆర్గాన్ గొట్టం పొడవు ఎంత?

13. ప్రతిధ్వనులను ఏ విధంగా ఉత్పత్తి చేస్తారు?

14. విస్పందనాలు అనగానేమి?

15. 10 Hz మరియు 15 Hz పౌనఃపున్యాలు గల రెండు తరంగాలు అతిపాతం చెందినప్పుడు వెలువడే విస్పందనాల సంఖ్యను లెక్కించండి.

16. 320 Hz మరియు 328 Hz పౌనఃపున్యాలతో రెండు తరంగాలు ఏకకాలంలో ఉత్పత్తి చేయబడ్డాయి. విస్పందన పౌనఃపున్యాన్ని లెక్కించండి.

17. డాప్లర్ ప్రభావం అనగానేమి? వివిధ సందర్భాలలో డాప్లర్ ప్రభావాన్ని వివరించండి.

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- యాంత్రిక తరంగాలు, ఉపరితల తరంగాలు, స్థిరతరంగాలు, పురోగామి తరంగాలు అనేవి వివిధ రకాల తరంగాల.
- ధ్వని తరంగ వేగం యానకం సాంద్రత, ఉష్ణోగ్రత, స్థిరస్థాపక ధర్మాలపై ఆధారపడుతుంది.
- రెండు లేదా అంతకంటే ఎక్కువ తరంగాలు ఒక యానకంలో ప్రయాణిస్తున్నప్పుడు ఏదైనా బిందువు మరియు కాలం వద్ద వాటి స్థానభ్రంశాలు బీజీయంగా కలిసి కొత్త తరంగాన్ని ఏర్పరుస్తాయి.
- ఒక తరంగం దృఢ సరిహద్దు మరియు స్వేచ్ఛా సరిహద్దు వద్ద పరావర్తనం వేర్వేరు ఫలితాలను ఇస్తుంది.
- మూసిన గొట్టంలో అనుస్వరాల పౌనఃపున్యాల నిష్పత్తి

  $f_1 : f_3 : f_5 \ldots = 1 : 3 : 5 : \ldots$
- తెరచిన గొట్టంలో అనుస్వరాల పౌనఃపున్యాల నిష్పత్తి

  $f_1 : f_2 : f_3 \ldots = 1 : 2 : 3 : \ldots$
- సుదూర వస్తువుల నుండి ధ్వని తరంగాల పరావర్తనం ప్రతిధ్వనులను ఏర్పరుస్తాయి.
- కొద్దిగా భిన్నమైన పౌనఃపున్యాలు గల రెండు తరంగాలు ఆధ్యారోపణం చెందినప్పుడు విస్పందనాలు ఉత్పత్తి చేయబడతాయి.
- జనక మరియు పరిశీలకుడు మరధ్య సాపేక్ష గమనం వలన డాప్లర్ ప్రభావం పరిశీలించబడుతుంది.
- డాప్లర్ ప్రభావం ధ్వని తరంగాలలో సాధారణం. కాని ఇతర తరంగాలలో కూడా పరిశీలించబడుతుంది.
- డాప్లర్ ప్రభావం వలన పరిశీలకుడు వినే దృశా పౌనఃపున్యమును వివిధ సందర్భాలలో లెక్కించవచ్చు.

ముగింపు అభ్యాసం

1. వివిధ రకాల తరంగాలను పేర్కొని వాటికి ఉదాహరణలు ఇవ్వండి.
2. ధ్వనివేగం ఏయే అంశాలపై ఆధారపడుతుంది.

3. గణిత సమీకరణాల ద్వారా తరంగాల అధ్యారోపణాన్ని వివరించండి.
4. వివిధ సందర్భాలలో తరంగాల పరావర్తనాన్ని వివరించండి.
5. మూసిన మరియు తెరచిన కొన గల ఆర్గాన్ గొట్టాలలో అనుస్వరాలు సమీకరణాలను ఉత్పాదించండి.
6. ప్రతిధ్వనులను ఎలా ఉత్పాదించండి.
7. విస్పందనాల ఏర్పాటును పటంతో సహా వివరించండి.
8. మూసిన ఆర్గాన్ వైపులో మూడవ అనుస్వరము, తెరచిన ఆర్గాన్ గొట్టంలో ప్రాథమిక అనుస్వరం పౌనఃపున్యానికి సమానమైతే, మూసిన ఆర్గాన్ పైపు పొడవు 30 cm అయితే తెరచిన ఆర్గాన్ గొట్టం పొడవు కనుగొనండి.
9. మూసిన గొట్టం యొక్క ప్రాథమిక పౌనఃపున్యం 400 Hz. దీనితో సమాన పొడవుగల తెరచిన గొట్టంలో కంపనాల ప్రాథమిక పౌనఃపున్యం ఎంత?

పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

5. దత్తాంశం

తీగ పొడవు (L) = 0.75 మీటర్లు

తీగలో తన్యత (T) = 80 న్యూటన్లు

రేఖీయ ద్రవ్యరాశి సాంద్రత (m) = 0.02 kg/m

తీగపై తరంగ వేగానికి సమీకరణం

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

విలువలను ప్రతిక్షేపించగా

$$v = \sqrt{\frac{80N}{0.02\,kg/m}}$$

$$v = \sqrt{4000\ m^2/S^2}$$

v = 63.24 m/s

6. దత్తాంశం

ధ్వని తరంగ పౌనఃపున్యం (f) = 440 Hz

గాలిలో ధ్వని వేగం (v) = 343 m/s

ధ్వని తరంగ, తరంగ దైర్ఘ్యానికి సూత్రం

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

విలువలను ప్రతిక్షేపించగా

$$\lambda = \frac{343\,\text{m/s}}{440\,\text{Hz}}$$

$\lambda = 0.7795$ మీటర్లు

10. దత్తాంశం

తెరచిన కొన గల ఆర్గాన్ గొట్టం పొడవు $(L) = 2.4$ మీటర్లు

గాలిలో ధ్వని వేగం $(\text{v}) = 343$ m/s

తెరచిన కొన గల ఆర్గాన్ గొట్టంలో ప్రాథమిక పౌనఃపున్యం, గొట్టం పొడవు తరంగ దైర్ఘ్యంలో నాల్గవ వంతు సమానమైనప్పుడు ఏర్పడుతుంది.

$$L = \frac{\lambda}{4}$$

తరంగ దైర్ఘ్యమును సాధించుటకు సూత్రాన్ని మార్చి రాసుకుంటే

$$\lambda = 4L$$

ఇప్పుడు తరంగ వేగం సూత్రాన్ని పౌనఃపున్యాన్ని లెక్కించుటకు ఉపయోగించగా

$$\text{v} = f \times \lambda$$

విలువలను ప్రతిక్షేపించగా

$$f = \frac{\text{v}}{\lambda} = \frac{343\text{ m/s}}{4 \times 2.4\text{ m}}$$

$$f = \frac{343\text{ m/s}}{9.6\text{ m}}$$

$$f = 35.729\text{ Hz}$$

11. దత్తాంశం

మూడవ అనుస్వరం పౌనఃపున్యం $(f) = 225$ Hz

గాలిలో ధ్వని వేగం $(\text{v}) = 343$ m/s.

ప్రాథమిక పౌనఃపున్యం (f_1) అని మనకు తెలుసు. మూడవ $f_1 = \frac{\text{v}}{4l}$. మూడవ అనుస్వరానికి పౌనఃపున్యం, ప్రాథమిక పౌనఃపున్యానికి మూడు రెట్లు ఉంటుంది (f_1) :

$$f = 3 \times f_1 = 3 \times \frac{v}{4l}$$

దీనిని గొట్టం పొడవు (l) కోసం సాధించగా

$$l = \frac{3v}{4f} = \frac{3 \times 343 \text{ m/s}}{4 \times 225 \text{ Hz}}$$

$$l = \frac{1029 \text{ m/s}}{900 \text{ Hz}}$$

l = 1.143 మీటర్లు

12. $f = \frac{v}{4l}$ (మూసిన ఆర్గాన్ గొట్టానికి) మరియు

$f = \frac{3v}{2l}$ (తెరచిన ఆర్గాన్ వైపుకు రెండవ అతిస్వరమ)

రెండు పౌనఃపున్యాలు సమానం కావున $\frac{3v}{2l_o} = \frac{v}{4l_c}$

$l_o = 6\ l_c$

$l_o = 6 \times 20 = 120$ cm.

16. $f_1 = 10$ Hz, $f_2 = 15$ Hz

విస్పందనాల సంఖ్య $= f_2 - f_1 = 15 - 10 = 5$

17. దత్తాంశం

మొదటి ధ్వని తరంగ పౌనఃపున్యం (f_1) = 320 Hz

రెండవ ధ్వని తరంగ పౌనఃపున్యం (f_2) = 328 Hz

విస్పందన పౌనఃపున్యం విలువ రెండు తరంగాల పౌనఃపున్యాల పరమ బేధానికి సమానము.

విస్పందన పౌనఃపున్యం $= |f_1 - f_2| = |320 \text{ Hz} - 328 \text{ Hz}| = 8$ Hz

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

8. 20 cm
9. 800 Hz

16

తరంగ దృశా శాస్త్రము

పరిచయం

దీనికి ముందు అధ్యాయంలో కాంతి పరావర్తనం, వక్రీభవనం, విక్షేపణం, పరిక్షేపణంల గురించి చదివారు. వీటిని అర్థంచేసుకోవడానికి కాంతి ఋజుమార్గంలో ప్రయాణిస్తుందనే ధర్మాన్ని ఉపయోగించుకున్నాము. రెండు కాంతి తరంగాలు అధ్యారోపణం చెందినపుడు లేదా అంచుల వద్ద వంగినపుడు జరిగే శక్తి పునర్విపంపిణీ ప్రభావన వివరించలేక పోయింది. కాంతి తరంగ స్వభావం ఆధారంగా మాత్రమే ఈ దృగ్విషయాలను వివరించగలం. న్యూటన్ సమకాలీకుడైన క్రిస్టియన్ హైగన్స్ కాంతి ఒక తరంగం అని ప్రతిపాదించాడు. వ్యతికరణం, వివర్తనాల ప్రయోగాల పరిశీలనల ద్వారా కాంతి తరంగ సిద్ధాంతాన్ని సంశయంలేని విధంగా స్థిరీకరించాడు.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరువాత మీరు ఈ కింది విషయాలు తెలుసుకుంటారు.

- హైగన్స్ సూత్రాన్ని తెలిపి, దానిని తరంగ ప్రసరణకు అనువర్తించుట.
- వ్యతికరణం, వివర్తనాలను వివరించుట.
- ఒక చీలిక ద్వారా కాంతి వివర్తనాన్ని వివరించుట.
- ద్రువణం కాంతి తరంగ స్వభావాన్ని స్థిరీకరించిందని చూపించుట
- బ్రూస్టర్ నియమాన్ని సాధించుట.
- కాంతివిక్షేపణం గురించి వివరణ
- విచలన కోణం (δ), పట్టక కోణం (A), పట్టక పదార్థ వక్రీభవన గుణకం (μ) ల మధ్య సంబంధాన్ని రాబట్టుట.
- తరంగదైర్ఘ్యంతో వక్రీభవన గుణకంకు సంబంధమేర్పరచి పట్టకం ద్వారా ఏర్పడే విక్షేపణ గురించి వివరణ.
- ప్రాథమిక మరియు గౌణ ఇంద్రధనస్సులు ఏర్పడుట గురించి వివరణ
- కాంతి పరిక్షేపణ వివరణ మరియు దాని అనువర్తనాల జాబితా
- రామన్ ఫలిత వివరణ

16.1 హైగన్స్ సూత్రం

కాంతి ఒక తరంగం అని హైగన్స్ ప్రతిపాదించాడు. ఇది పరికల్పిక యానకం ఈథర్ గుండా ప్రయాణిస్తుంది. ఈ పరికల్పిక యానకం శూన్యంతో సహా విశ్వమంతా వ్యాపించి ఉంటుంది.

కాంతి జనక స్థానం నుండి వచ్చే కంపనాలు తరంగ రూపంలో వ్యాపనం చెంది, అవి మోసుకువచ్చే శక్తి అన్ని దిశలలో వితరణ చెందుతుంది.

హైగన్స్ సూత్రానికి తరంగాగ్రభావన చాలా ముఖ్యమైనది. తరంగాగ్రంను ఒక సరళకృత్యం ద్వారా అర్థంచేసుకుందాం.

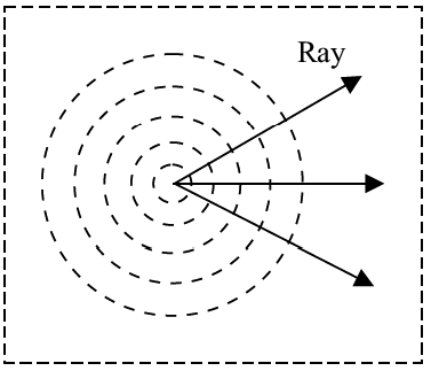
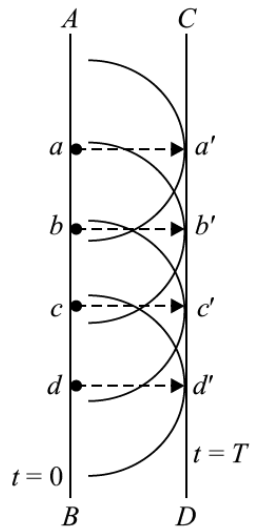


Fig. 16.1 : Circular Wavefronts on the surface of water

హైగన్స్ సూత్రం ప్రకారం.

- తరంగాగ్రంలోని ప్రతి బిందువు గౌణ తరంగాగ్ర జనకంగా ప్రవర్తించి, గౌణ తరంగాలను యానకంలో అన్ని వైపులకు వ్యాపింపచేస్తాయి.
- ఏదేని తరువాతి క్షణంలో తరంగాగ్ర స్థానాన్ని ఆ క్షణంలో అన్ని గౌణ తరంగికలకు ముందుకు గీసిన ఉమ్మడి ఆచ్ఛాదన నుండి పొందవచ్చు.
- సమదైశిక యానకంలో తరంగాలు శక్తిని అన్ని దిశలకు సమానంగా ప్రసారం చేస్తాయి.
- తరంగాగ్రం తొలి ఆకారం, స్థానం, గమనదిశ, వేగం తెలిసినపుడు తరువాతి క్షణంలో దాని స్థానాన్ని, జ్యామితీయ నిర్మాణం ద్వారా తెలుసుకోవచ్చు. తరంగాగ్రం వెనుకకు ప్రయాణించదని గమనించండి.

హైగన్స్ తరంగాగ్ర నిర్మాణం కోసం గుల్లగోళం కేంద్రం వద్ద ఒక బిందువును ఊహించండి. దీని బాహ్య ఉపరితలం ప్రాథమిక తరంగాగ్రంగా పనిచేస్తుంది. ఈ గోళం కంటే పెద్దదైన వ్యాసార్థం గల వేరొక గుల్ల గోళంలో ఆవరించి ఉన్నపుడు, రెండవగుల్ల గోళం యొక్క బాహ్య ఉపరితలం గౌణ తరంగాగ్రంగా పనిచేస్తుంది. (ఈ అమరికకు సమీప పోలిక పుట్‌బాల్) రెండవ గుల్ల గోళం ఇంకా పెద్దదైన వ్యాసార్థంగల ఇంకొక గుల్ల గోళంతో ఆవరింపపబడినపుడు (మూడవ) గోళం బాహ్య ఉపరితలం గౌణ తరంగాగ్రంగా రెండవగోళం బాహ్య ఉపరితలం ప్రాథమిక తరంగాగ్రంగా పనిచేస్తాయి. ద్విమితీయంలో ప్రాథమిక, గౌణ తరంగాగ్రాలు ఏక కేంద్రవృత్తాలుగా అగుపిస్తాయి.



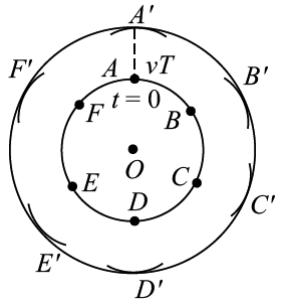
పటం 16.2 : సమతల తరంగాగ్రం నిర్మాణం

16.1.1 తరంగాల వ్యాపనం

హైగన్స్ సూత్రాన్ని ఉపయోగించి తరంగాగ్రాల వ్యాపన రూపంలో కాంతి తరంగాల వ్యాపనాన్ని వర్ణిద్దాం పటం 16.2, $t = 0$ వద్ద, సమతల తరంగాగ్రం యొక్క ఆకారం, స్థానంను చూపిస్తుంది. AB గీత కాగితానికి

లంబంగా ఉండేతలంలో ఉందని గమనించండి. AB తరంగాగ్రం పై ఉన్న a, b, c, d బిందువులు గౌణ తరంగాల జనకస్థానాలు. ఈ జనకస్థానాలన్నీ గౌణ తరంగికలను ఒకే కాలంలో వెలువరిస్తాయి. తరంగాగ్రం AB గమనదిశ వెంబడి ఈ తరంగికలన్నీ ఒకే వేగంతో ప్రయాణిస్తాయి. (పటం 16.2) లోని వృత్తాకార ఛాపాలు a, b, c, d లను కేంద్రాలుగా చేసుకొని వెలువడిన తరంగికలను సూచిస్తాయి. $r = vt$ వ్యాసార్థంతో ఛాపాలను గీయడం ద్వారా తరంగికలను పొందవచ్చు. ఇక్కడ v తరంగాగ్ర వేగం, ఎప్పుడైతే తరంగాగ్రాన్ని పొందాలనుకున్నామో ఆకాలం t. అన్ని తరింగకలకు గీసిన స్పర్శరేఖ CD, $t = T$ కాలం వద్ద కొత్త తరంగాగ్రాన్ని సూచిస్తుంది.

వ్యాకోచిస్తున్న వృత్తకార తరంగాగ్రంను హైగన్స్ నిర్మాణానికి ఇంకొక ఉదాహరణగా తీసుకొందాం. $t = 0$ వద్ద O కేంద్రంగా గల వృత్తాకార తరంగాగ్రాన్ని పటం 16.3లో చూడండి. $A, B, C \ldots$, లు తరంగాగ్రం మీద బిందురూప జనక స్థానాలు. $t = T$ కాలం తరువాత తరంగాగ్రాన్ని గీయడానికి నువ్వు ఏం చేస్తావు. వ్యాకోచిస్తున్న గౌణ తరంగికల వేగాన్ని, కాలంతో గుణించగా వచ్చిన విలువకు సమానమైన వ్యాసార్థంతో $A, B, C \ldots$ బిందువుల వద్ద చాపాలను గీయాలి. ఈ చాపాలు గౌణ తరంగికలను సూచిస్తాయి. ఈ చాపాలకు గీసిన స్పర్శరేఖలు T కాలం వద్ద వ్యాకోచిస్తున్న తరంగాగ్రాల ఆకారాన్ని, స్థానాన్ని తెలియజేస్తాయి.



పటం 16.3 : హైగన్స్ సూత్రాన్ని ఉపయోగించి వృత్తాకారతరంగాగ్ర నిర్మాణం

హైగన్స్ నిర్మాణంలోని మెళుకువను అర్థం చేసుకున్నావని మేం భావిస్తున్నాం. ఇపుడు నువ్వు **హైగన్స్ నిర్మాణం యొక్క భౌతిక ప్రయోజనాన్ని** తెలుసుకోవాలి. తరువాతి ఏదేనిక్షణ మందు తరంగాగ్ర ఆకారం, స్థానాన్ని, దానికి ముందు క్షణంలో తరంగాగ్ర ఆకారం స్థానం సహాయంతో కనుక్కోవడడం ద్వారా తరంగాగ్ర వ్యాపనాన్ని వర్ణించవచ్చు. కనుక హైగన్స్ నిర్మాణంతో తరంగ చలనాన్ని వర్ణించగలం.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 16.1

1. తరంగాగ్రం యొక్క సాపేక్ష దిగ్విన్యాసం (relative orientation) మరియు తరంగ ప్రసరణ దిశకు మధ్య కోణమెంత?

2. $t = 0$ సె కాలంలో గౌణ తరంగ జనకస్థానం తరంగికలను వెలువరిస్తుంది. $t = 3$ సె, $t = 6$ సెల వద్ద తరంగికల వ్యాసార్థాల నిష్పత్తిని కనుక్కోండి.

16.2 కాంతి వ్యతికరణం

రెండు సంబద్ధ కాంతి జనకాల నుండి వచ్చే కాంతి తరంగాల అధ్యారోపణం వలన జరిగే కాంతి పునర్వితరణంను వ్యతికరణం అని అర్థం చేసుకోవచ్చు. మొట్ట మొదటి వ్యతికరణాన్ని థామస్ యంగ్ (Thomas Young) 1802 వ సంవత్సరంలో తన జంట చీలికల ప్రయోగం ద్వారా పరిశీలించాడు. ఈ ప్రయోగాత్మక పరిశీలన కాంతి తరంగ సిద్ధాంతంలో ప్రముఖ పాత్ర పోషించింది. వ్యతికరణం, వివర్తనంలో ఇమిడి ఉన్న సైద్ధాంతిక సూత్రం అధ్యారోపణ సూత్రం.

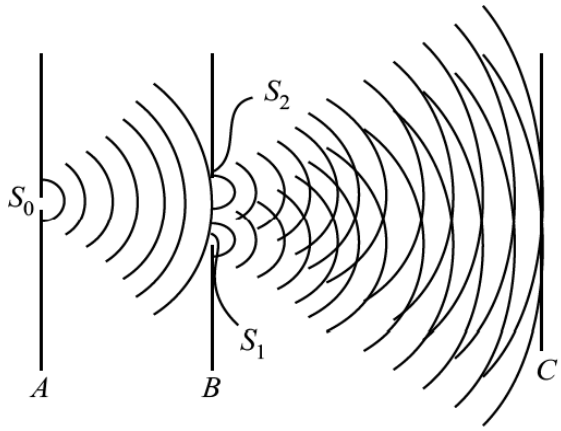
ఐజన్ థామస్ యంగ్ (Thomas Young (1773-1829)

1773 వ సంవత్సరం, జూలై 16న జన్మించి థామస్ యంగ్ మానవుని చెవి మరియు కన్ను కేంద్రీకరించే పద్ధతి మరియు అసమదృష్టి (astigmatism) పై చేసిన అధ్యయనం వల్ల సుపరిచితుడు. వర్ణ అంధత్వంపై అతని పరిశోధన అతనిని వర్ణదృష్టి యొక్క మూడు అంశాల సిద్ధాంతాన్ని ప్రతిపాదించేటట్లు చేసింది. మానవుడి చెవులు మరియు కళ్ళపై అధ్యయనం చేస్తూనే తన సమయాన్ని కాంతివేగం మరియు శబ్దవేగాలపై పరిశోధనకు వెచ్చించాడు. సమానవేగాలు గల రెండు శబ్ద తరంగాలు మానవుని చెవిని 1800 వ్యతిరేకదశలో చేరినపుడు అతనికి శబ్దం వినిపించదని తెలుసు. కాంతి, తరంగమైతే ఇలాంటి ఫలితాన్నే రెండు కాంతి పుంజాలతో కూడా పొందవచ్చునని అతనికి స్ఫురించింది. ఈ భావన ఇతనిని "యంగ్ జంట చీలిక" అని మనం పిలిచే ప్రయోగాన్ని చేసేలా పురికొల్పింది.

తరువాత కాలంలో ఇతను 1799 సంవత్సరంలో నైల్ డెల్టాలో దొరికిన రోసోటా రాయిపై చెక్కిన గుర్తులను విశ్లేషించాడు.

16.2.1 యంగ్ జంట చీలికల ప్రయోగం

పటం 16.4లో యంగ్ పథకాత్మక ప్రయోగ అమరికను చూపించారు. అతని ప్రయోగంలో సూర్యుడి నుండి వచ్చే కాంతిని S సూదిమొనంత రంధ్రం ద్వారా పోనిచ్చి, కొంత దూరంలో S నుండి సమాన దూరంలో ఒకదానికొకటి దగ్గరగాగల S_1, S_2 సూదిమొనంత రంధ్రాల ద్వారా పోనిచ్చారు. హైగన్స్ తరంగ సిద్ధాంతం ప్రకారం గోళాకార తరంగాగ్రం సూదిమొనంత రంధ్రం S గుండా ప్రయాణించి S_1, S_2 సూదిమొనంత రంధ్రముల ద్వారా రెండు తరంగాగ్రములుగా విడిపోతుంది. ఏకవర్ణ కాంతి జనకం (సోడియం)తో S ను ప్రకాశింపచేస్తే S_1, S_2 సంబద్ధ కాంతి జనకాలుగా ప్రవర్తిస్తాయి. సమాన కాంపన పరిమితి కలిగి, ఒకే దశలో ఉన్న తరంగాలు ఈ జనకాల నుండి వెలువడి అధ్యారోపణం చెందుతాయి. ఈ అధ్యారోపణ ఫలితంగా (S_1, S_2ల నుండి వెలువడే రెండు సర్వ సమానమైన తరంగాలు) శక్తి పునర్వితరణం జరిగి C వద్ద ఉంచిన తెరమీద వరుస ద్యుతిమయ, ద్యుతి హీనపట్టీలు ఏర్పడతాయి. యంగ్ వ్యతికరణ ప్రయోగంలో ఏర్పడిన పట్టీ వ్యూహానికి వివరణను నేర్చుకుందాం.



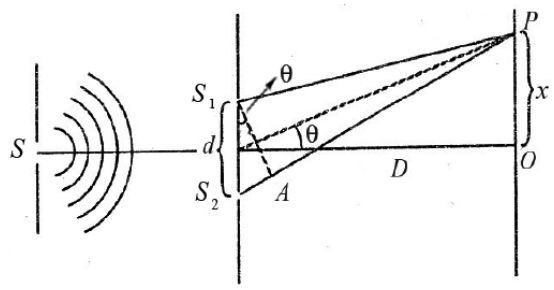
పటం 16.4 : యంగ్ జంట చీలికల ప్రయోగం అమరిక

(a) నిర్మాణాత్మక వ్యతికరణం (Constructive Interference) : అధ్యారోపణ సూత్రాన్ని గుర్తుకు తెచ్చుకుంటే ఒక తరంగంలోని శృంగం, రెండవ తరంగలోని శృంగంతో ఏకీ భవించడం వల్ల గరిష్ట స్థానభ్రంశం (లేదా కంపన పరిమితి) గల కొన్ని బిందువులు C తెరమీద ఏర్పడతాయి. ఈ బిందువుల వద్ద తరంగాలు ఒకే దశ వద్ద ఉంటాయి. కనుక మొత్తం కంపన పరిమితి వాటి వైయుక్తిక కంపన పరిమితి కన్నా ఎక్కువగా ఉంటుంది. ఇదే విధంగా మొదటి తరంగంలోని ద్రోణి రెండవతరంగంలోని

ద్రోణితో ఏకీభవించినపుడు కూడా ఇదే విధంగా జరిగి తీవ్రత కంపన పరమితి వర్గానికి అనులోమాను పాతంలో ఉంటుంది. కనుక ఆ బిందువులన్ని ప్రకాశవంతంగా ఉంటాయి. ఈ బిందువుల వద్ద జరిగే అధ్యారోపణాన్ని **నిర్మాణాత్మక వ్యతికరణం** అంటారు.

(b) **వినాశాత్మక వ్యతికరణం (Destructive Interference)** : తెర మీద కొన్ని బిందువుల వద్ద ఒక తరంగంలోని శృంగం రెండవ తరంగంలోని ద్రోణితో ఏకీభవించి మొత్తం కంపన పరిమితి సున్న అవుతుంది. ఈ బిందువుల వద్దకు చేరే తరంగాలు ఒకే దశలో లేకపోవడమే దీనికి కారణం. ఈ బిందువులు ప్రకాశరహితంగా ఉంటాయి. ఇక్కడ జరిగే అధ్యారోపణాన్ని వినాశాత్మక వ్యతికరణం అంటారు.

(c) **పట్టీల తీవ్రత (Intensity of fringes) :** వ్యతికరణ వ్యూహాన్ని విశ్లేషించడానికి హరాత్మక తరంగాల వ్యతికరణ వ్యూహంలోని ద్యుతిమయ, ద్యుతిహీన పట్టీల తీవ్రతను గణిద్దాం. పటం 16.5లో యంగ్ జంట చీలికల ప్రయోగం పథకాత్మక అమరికను చూపించారు. ఒకే పౌనఃపున్యం, కంపన పరిమితి కలిగి, దశలో భేదం కలిగి ఉన్న రెండు హరాత్మక తరంగాలు అధ్యారోపణం చెందటం వలన వ్యతికరణ దృగ్విషయం జరుగుతుంది. రెండు తరంగాలు మధ్య దశాభేదం δ అనుకుందాం స్థిరబిందువు P వద్ద రెండు Ôá á Á > ±\ k Íq qu ÿ X ø y_1, y_2.



పటం 16.5 : యంగ్ జంటచీలిక ప్రయోగం జ్యామితి

$$y_1 = a\sin\omega t$$

మరియు $$y_2 = a\sin(\omega t + \delta)$$

ఇక్కడ δ రెండు తరంగాల మధ్య దశాభేదంను తెలియజేస్తుంది. అధ్యారోపణ సూత్రం ప్రకారం ఫలితస్థానభ్రంశం

$$y = y_1 + y_2$$

$$= a\sin\omega t + a\sin(\omega t + \delta)$$

$$= a[\sin\omega t + a\sin(\omega t + \delta)]$$

$$= 2a\sin\left(\omega t + \frac{\delta}{2}\right)\cos\left(-\frac{\delta}{2}\right)$$

$$= A\sin\left(\omega t + \frac{\delta}{2}\right)$$

ఇక్కడ A ఫలిత తరంగం యొక్క కంపన పరిమితి,

$$A = 2a\cos(\delta/2)$$

P బిందువు వద్ద ఫలిత తరంగం తీవ్రతను

$$I \alpha \ A^2 \quad \text{గా రాయవచ్చు}$$

$$\alpha \ 4a^2 \cos^2(\delta/2) \qquad (16.1)$$

రెండు తరంగాల మధ్య దశాభేదం మీద తీవ్రత ఏ విధంగా ఆధారపడుతుందో తెలుసుకోవడానికి ఈ క్రింది సందర్భాలను చూద్దాం.

సంధర్భం 1 : దశాభేదం $\delta = 0, 2\pi, 4\pi, ..., 2n\pi$ అయినపుడు

$$I = 4a^2 \cos^2 0$$
$$= 4a^2$$

సంధర్భం 2 : When, $\delta = \pi, 3\pi, 5\pi, ..., (2n+1)\pi$ అయినపుడు

$$I = 4a^2 \cos^2 (\delta/2)$$
$$= 0$$

పై ఫలితాల నుండి రెండు అధ్యారోపణ తరంగాలు తెర మీద ఒకే దశతో కలిసివాటి మధ్య దశాభేదం కుపూర్ణాంక గుణిజాలైతే ఆ బిందువుల వద్ద ఫలిత తీవ్రత వాటి వైయుక్తిక తీవ్రతకన్నా ఎక్కువగా ఉంటుంది. $4a^2$ కు సమానం). అలాకాక, రెండు అధ్యారోపణ తరంగాలు తెరమీద వ్యతిరేక దశలో కలిసి, వాటి మధ్య దశాభేదం π కు బేసి సంఖ్య గుణిజాలైతే ఆ బిందువులు శూన్య తీవ్రతను కలిగి, తెరమీద కాంతిరహితంగా కనిపిస్తాయి.

(d) దశాభేదం, పథ భేదం (Phase Difference and Path Difference) : తెరపై ఉన్న బిందువు ద్యుతిహీన లేక ద్యుతిమయ బిందువా అని తెలుసుకోవడానికి ఆ బిందువు వద్దకు చేరే తరంగాల మధ్య దశా భేదాన్ని తెలుసుకోవాల్సి ఉందని పై చర్చ నుండి అర్థం అవుతుంది. తరంగాలు జనక స్థానం నుండి తెరమీద బిందువు వద్దకు ప్రయాణించునపుడు వాటి మధ్య దశా భేదం ను పథభేదం | ¥Á > ± ÅÉ & † # ¹ ¥e # ¥ì. S_1, S_2 నుండి వెలువడి ఒకే దశలో ఉన్న రెండు తరంగాలను తీసుకుందాం. ఈ రెండు తరంగాలు విభిన్న పథాల వెంబడి ప్రయాణించి పరిశీలన బిందువు P ను చేరతాయి. కనుక వాటి మధ్య ఎంతో కొంత దశాభేదం ఉంటుంది. పటం 16.5 నుండి వాటి మధ్య పథభేదం.

$$\Delta = S_2P - S_1P$$

ఒక తరంగ ధైర్ఘ్యం పథభేదం, 2π దశాభేదానికి సమానమని మనకు తెలుసు. అపుడు దశాభేదం. δ, పథభేదం Δ లమధ్య గల సంబంధం.

$$\Delta = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)\delta \qquad (16.2)$$

సమీ (16.1) నుండి దశా భేదం $2n\pi$ ఉన్నపుడు ద్యుతిమయ పట్టీ (నిర్మాణాత్మాక వ్యతికరణం మూలంగా) ఏర్పడుతుందని మనకు తెలుసు. సమీ (16.2) నుపయోగించి పరిశీలించిన వెలుగుపట్టీకి పథభేదం.

$$(\Delta)_{\text{వెలుగు}} = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right) 2n\pi = n\lambda\,;\; n = 0, 1, 2, ... \qquad (16.3)$$

అలాగే చీకటి పట్టీకి

$$(\Delta)_{\text{చీకటి}} = (\lambda/2\pi)(2n+1)\pi$$

$$= (2n+1)\frac{\pi}{2};\; n = 0, 1, 2, ... \qquad (16.4)$$

పథభేదం, ఉపయోగించిన కాంతి తరంగ ధైర్ఘ్యంల మధ్య సంబంధాన్ని పథభేదం పరంగా వెలుగు, చీకటి పట్టీలకు సమాసాలను పొందాం కనుక ఇపుడు పథభేదంను ప్రయోగ జ్యామితితో సంబంధాన్ని ఏర్పరుద్దాం అంటే Δ తో జనకస్థానం, తెరకు మధ్య దూరం D సూది మొనంత రంధ్రాల మధ్యదూరం (d), P బిందువు స్థానానికి గల సంబంధాన్ని ఏర్పరచడం పటం 16.5 నుండి

$$\Delta = S_2P - S_1P = S_2A = d\sin\theta$$

θ చాలా తక్కువ అనుకొంటే,

$$\sin\theta \approx \tan\theta \approx \theta$$

మరియు $$\sin\theta = x/D$$

అపుడు పథభేదానికి సమాసాన్ని కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$\Delta = d\sin\theta = x\frac{d}{D} \qquad (16.5)$$

సమీ (16.5) ను సమీ(16.2) సమీ (16.3) లలో ప్రతిక్షేపించగా

$$\frac{d}{D}(x_n)_{\text{వెలుగు}} = n\lambda$$

లేదా $$(x_n)_{\text{వెలుగు}} = \frac{n\lambda D}{d};\; n = 1, 2, ... \qquad (16.6)$$

మరియు $$\frac{d}{D}(x_n)_{\text{చీకటి}} = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

లేదా $$(x_n)_{\text{చీకటి}} = \left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda D}{d};\; n = 0, 1, 2, ... \qquad (16.7)$$

సమీ (16.6), (16.7)లు తెరమీద వెలుగు, చీకటి పట్టీల స్థానాలను తెలుపుతాయి.

(e) **పట్టీ వెడల్పు (Fringe width) :** వెలుగు లేదా చీకటి పట్టీ వెడల్పు ఎంత ఉంటుందని మీరు అడగవచ్చు? దీనికి సమాధానం కోసం మొదట రెండు వరుస వెలుగు (లేదా చీకటి) పట్టీలను

గుర్తిద్దాం. మొదట వెలుగు పట్టీ వెడల్పు కనుగొందాం. సమీ. (16.6) నుండి మూడవ మరియు రెండవ వెలుగు పట్టీలకు

$$(x_3)_{\text{వెలుగు}} = 3\frac{\lambda D}{d}$$

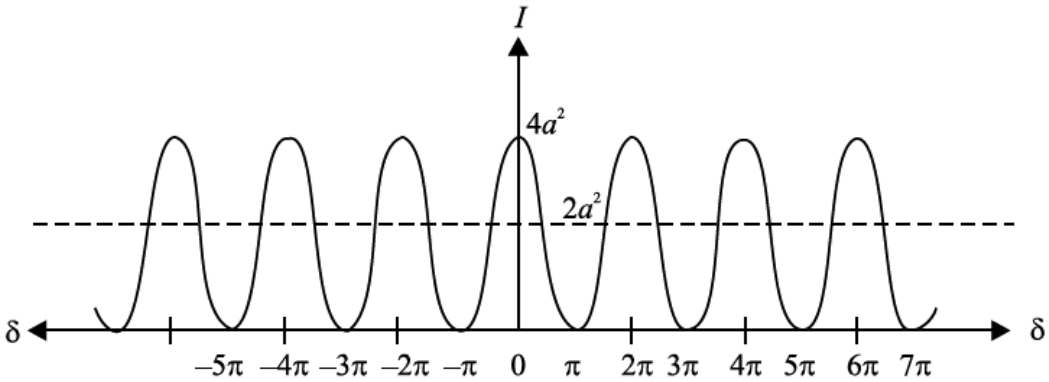
మరియు

$$(x_2)_{\text{వెలుగు}} = 2\frac{\lambda D}{d}$$

β పట్టీ వెడల్పు

$$\beta = (x_3)_{\text{వెలుగు}} - (x_2)_{\text{వెలుగు}} = \frac{\lambda D}{d} \qquad (16.8)$$

దీనిని బట్టి వ్యతికరణ వ్యూహంలో ఏ రెండు వరుస n విలువల పట్టీలకైనా పట్టీ వెడల్పు సమానంగా ఉంటుందని మనకు అర్థమవుతుంది. పట్టీ వెడల్పు, తరంగదైర్ఘ్యం రేఖీయ సామర్థ్యం, జనకస్థానం మరియు తెరకు మధ్య దూరంకు అనులోమానుపాతంలోను రెండు చీలికల మధ్య దూరానికి విలోమానుపాతంలోను ఉంటుంది. నిజానికి ఆ పట్టీలు ఎంత సూక్ష్మంగా ఉంటాయంటే వాటిని చూడటానికి భూతద్దం కావాలి.



పటం 16.6 : వ్యతికరణ వ్యూహంలో తీవ్రత వితరణ

తరువాత మనం వ్యతికరణ వ్యూహంలో వెలుగు, చీకటి పట్టీల తీవ్రతను గురించి తెలుసుకుందాం. రెండు కాంతి తరంగాలు వ్యతిరేక దశలో తెరమీద బిందువు వద్దకు చేరుకున్నపుడు చీకటిపట్టీలు ఏర్పడతాయని మనకు తెలుసు. ఈ దృగ్విషయం శక్తినిత్వత్వనియమాన్ని అతిక్రమిస్తుందా అంటే రెండు కాంతితరంగాలతోపాటు ఉండే శక్తి, నాశనమై పోయిందా అని మీరు అడగవచ్చు? కాని అలాకాదు, వ్యతికరణం శక్తి నిత్యత్వనియామాన్ని అతిక్రమించలేదు. చీకటి పట్టీలవద్ద అదృశ్యమైన శక్తి, వెలుగు పట్టీల వద్ద ప్రత్యక్ష మవుతుంది. సమీ (16.1)నుండి, వెలుగు పట్టీ తీవ్రత, వైయుక్తిక తరంగ తీవ్రత కన్నా 4 రెట్లు ఎక్కువ. కనుక పటం (16.6) చూపిన వ్యతికరణ వ్యూహంలో శక్తి పునర్వితణ జరిగి అది $4a^2$, 0 ల మధ్య మారుతూ ఉంటుంది. ఒక్కొక్క పుంజం స్వతంత్రంగా తీవ్రతను ఇస్తే, వ్యతికరణం జరగక పోయినట్లయితే రెండు సమానమైన జనకస్థానాల నుండి వెలువడే కాంతి తీవ్రతతో తెరను ఏకరీతిగా ప్రకాశింప జేస్తుంది. ఇది దాని సరాసరి కాంతితీవ్రత పటం 16.6లో గీతల రేఖతో సూచించబడింది.

కాంతితరంగ సిద్ధాంత సహాయంతో యంగ్ ప్రయోగంలో పరిశీలించిన వ్యతికరణ వ్యూహాన్ని మీరు గుణాత్మకంగాను, పరిమాణాత్మకంగాను అర్థం చేసుకున్నారు. మీకు బాగా అర్థమైందని నమ్మకం కలగడానికి పాఠంలోని ప్రశ్నలకు సమాధానాలివ్వండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 16.2

1. రెండు తరంగాలు అధ్యారోపణం జరిగిన ప్రదేశంలో ఏదేని బిందువు వద్ద ఫలితస్థాన భ్రంశం ఏ విషయాల మీద ఆధారపడి ఉంటుంది.
2. యంగ్ ప్రయోగంలో తెరమీద నిర్మాణాత్మక వ్యతికరణం ఎలా ఏర్పడుతుంది.
3. S_1, S_2 సూదిమొనంత రంధ్రాలను రెండు విద్యుత్ బల్బులతో పూరిస్తే తెరమీద ఇంకా మనం వెలుగు, చీకటి పట్టీలను చూస్తామా?
4. సంబద్ధ కాంతి జనకాలనగా నేమి? మన కళ్ళు సంబద్ధ కాంతి జనకాలుగా పనిచేయగలవా?

16.3 కాంతివివర్తనం

కాంతి రుజు మార్గంలో ప్రయాణించడానికి ప్రత్యక్ష ఉదాహణ నీడ ఏర్పడటం. కాని నీడను నీవు పరీక్షగా గమనించినపుడు దాని అంచుల వద్ద స్పష్టతలేక పోవడాన్ని గమనిస్తావు. ఉదాహరణకు కాంతి సన్నని కంత గుండా ప్రయాణించినపుడు లేదా స్వల్ప ప్రమాణాలు కలిగిన అవరోధం మీద పడినపుడు రుజుమార్గంలో ప్రయాణించే నియమాన్ని అతిక్రమించింది. కంత లేదా అవరోధం అంచుల వద్ద కాంతి సరళరేఖా మార్గంలో ప్రయాణించకుండా నీడ ప్రదేశంలోకి వంగుతుంది. కాంతి అవరోధాల అంచుల వద్ద వంగి ప్రయాణించడాన్ని వివర్తనం అంటారు.

వివర్తన దృగ్విషయం గురించి వివరంగా తెలుసుకొనే ముందు మీకు మీరు వివర్తనాన్ని పరిశీలించవచ్చు. రాత్రి సమయంలో వీధి దీపాన్ని మీకళ్ళను కొద్దిగా తెరచి చూడండి. ఏం కనిపిస్తుంది ? ట్యూబ్‌లైట్ నుండి వచ్చేకాంతి పలురంగుల రేఖలుగా కనిపిస్తుంది. మీ కనురెప్పల చూట్టూ అంచుల వద్ద కాంతి వివర్తనం (వంగడం) వల్ల ఇది జరుగుతుంది.

జేబురుమాలు నుపయోగించి కూడా వివర్తనంను చూడవచ్చు. జేబురుమాలును మీకళ్ళకు దగ్గరగా పెట్టుకొని దానిలోంచి సూర్యుడు లేదా దీపాన్ని చూడండి. మీరు వృత్తాకార పట్టీలను చూస్తారు. జేబురుమాలు అల్లికలో ఏర్పడ్డ చిన్నకంతల వద్ద కాంతి వివర్తనం చెందటం వల్ల ఇది సాధ్యపడుతుంది.

పై ఉదాహరణలలో వివర్తన అవరోధం/ కంత పరిమాణాలు చాలా స్వల్పం. వివర్తనంను పరిశీలించడానికి ఈ కింది నియమాలు పాటింపబడాలి.

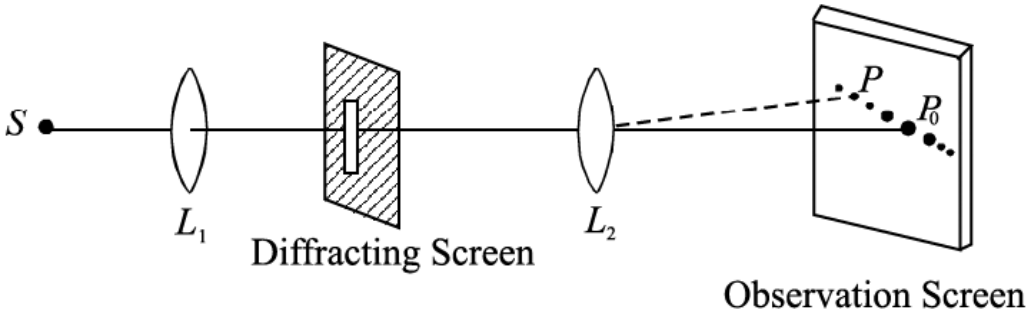
(a) అవరోధం లేదా కంత పరిమాణం, పతన తరంగం తరంగ ధైర్ఘ్యం క్రమంతో ఉండాలి (పోల్చదగినంత చిన్నదిగా ఉండాలి)

(b) అవరోధం లేదా కంతకు, తెరకు మధ్య దూరం చాలా ఎక్కువగా అంటే అవరోధం లేదా కంత పరిమాణంకు కొన్ని వేలరెట్లు ఎక్కువగా ఉండాలి.

పై పరిశీలనల ఆధారంగా మనం ఎందుకు వివర్తనాన్ని చూడలేకపోతున్నామో, కాంతి రుజు మార్గంలోనే ప్రయాణిస్తున్నట్లుగా ఎందుకు కనిపిస్తుందో మనకు సులభంగా అర్థం అవుతుంది. కాంతి తరంగధైర్ఘ్యం 10^{-6} మీ. క్రమంలో ఉంటుందని మీకు తెలుసు. కనుక వివర్తనంను పరిశీలించడానికి మనకు అవరోధం లేదా కంత పరిమాణం (10^{-6} మీ.) పై క్రమంలో ఉండాలి.

16.3.1 ఒంటి చీలిక వివర్తనం

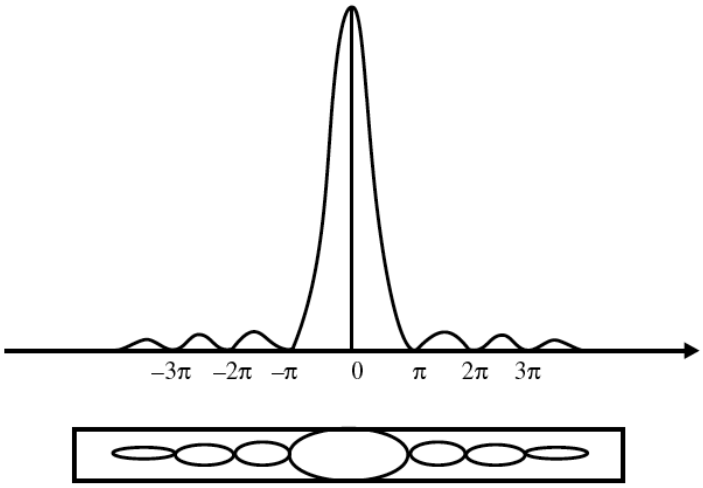
తెరిచిన ఒంటి చీలిక వద్ద వివర్తన వ్యూహం ఎలా ఉంటుందో ఇపుడు చూద్దాం. పటం 16.7లో వివర్తన వ్యూహాన్ని పొందటానికి ప్రయోగ అమరిక చూపబడింది. ఐ ఏక వర్ణకాంతి జనకం. దీనిని కుంభాకారకటకం నాభీయతలం వద్ద ఉంచారు. అందువల్ల సమతల తరంగాగ్రం సన్నని చీలిక మీద పతన మవుతుంది. చీలిక నుండి వచ్చే కాంతిని కేంద్రీకరించి తెరమీద పడేటట్లు చేయడానికి ఇంకొక కుంభాకార కటకాన్ని ఉంచారు.



పటం 16.7 ఒంటి చీలిక వివర్తనం

పటం 16.8లో చూపించిన బిందురూప కాంతిజనకం నుండి లంబంగా ఉన్న ఒంటి చీలిక ద్వారా ఏర్పడిన వివర్తన వ్యూహం యొక్క ముఖ్యమైన లక్షణాలు.

- చీలిక పొడవుకు లంబంగా ఉన్న గీతవెంబడి క్షితిజ సమాంతర కాంతిచార
- వరుస ప్రకాశవంతమైన బిందువులతో క్షితిజ సమాంతర వ్యూహం.
- మధ్యలో ఉన్న బిందువు దానికిరు వైపులా ఉన్నబిందువుల కన్నా ప్రకాశవంతమైనది. ఈ బిందువు కిరువైపులా క్షీణిస్తున్న తీవ్రతలో సౌష్టవంగా మరికొన్ని ప్రకాశవంతమైన బిందువులు ఉంటాయి. మధ్య బిందువును కేంద్రక గరిష్టం అంటారు. మిగతా బిందువులను గౌణ గరిష్టాలంటారు.
- మధ్య బిందువు వెడల్పు, మిగతా బిందువుల వెడల్పుకన్నా రెండురెట్లు ఎక్కువ.

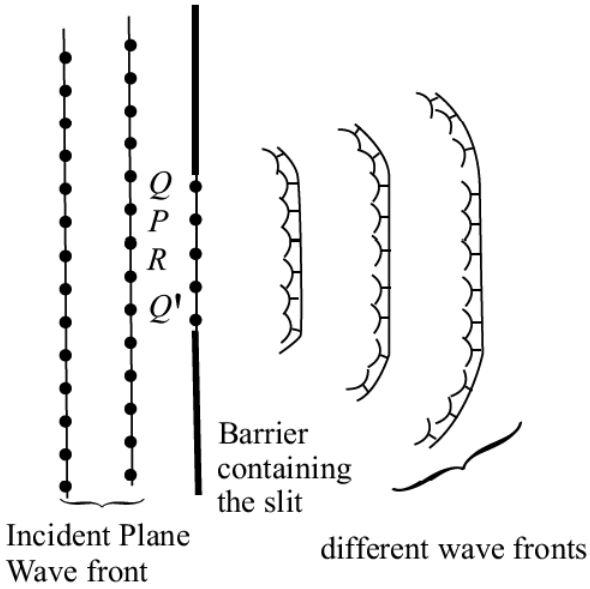


పటం 16.8 : పరిశీలించిన ఒంటిచీలిక వివర్తన వ్యూహం

హైగన్స్‌తరంగ సిద్ధాంతం ఆధారంగా ఈ ఫలితాల సైద్ధాంతిక ప్రాతిపదికను అర్థం చేసుకోవచ్చు. సమతల తరంగాగ్రాలు ఒంటి చీలికను కలిగి ఉన్న అవరోధంపై పతనమవుతాయి. ఈ తరంగాగ్రాలన్నీ అవరోధం మీద

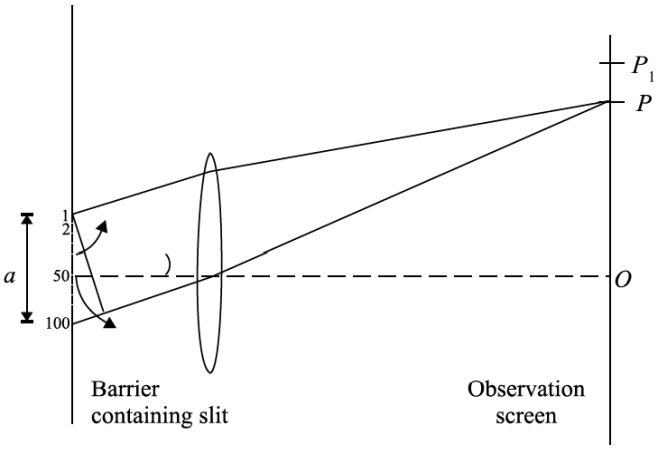
పతనమయినా కూడా చీలిక మీద పతనమయిన తరంగాగ్రాలు మాత్రం ప్రసారమవుతాయి. తరంగాగ్ర భాగం మాత్రం అవరోధం కుడివైపుకు ప్రయాణిస్తాయి. ఏదేమైనా చీలికను దాటిన తరువాత తరంగాగ్ర ఆకారం సమతలంగా ఉండదు.

పటం 16.9లో కంత QPR ... Q' లో ప్రతిబిందువు గౌణతరంగికలకు వరుస సంబద్ధ కాంతి జనకాలుగా ఉంటాయి. అవరోధానికి కుడివైపున ఉన్న తరంగాగ్రం మధ్య భాగంలోని P బిందువు నుండి బహిర్గతమవుతున్న తరంగిక, P కి ఇరువైపులా ఉన్న Q, R బిందువుల నుండి వెలువడుతున్న తరంగికల వల్ల వ్యాప్తి చెందుతుంది. తరంగిలకు గీసిన స్పర్శరేఖ తరంగాగ్రం యొక్క ఆకారాన్ని నిర్ణయిస్తుంది. కనుక తరంగాగ్రం పురోగ మించినపుడు మధ్యభాగం సమతలంగా ఉంటుంది. చీలిక చివరి బిందువులైన Q, Q' నుండి వెలువడే తరంగికలతో అధ్యారోపణం చెందడానికి అంచులను దాటి మరే ఇతర తరంగికలు ఉండవు. అధ్యారోపణం, తరంగాగ్రం సమతలంగా ఉండటానికి సహాయపడుతుంది కనుక అంచుల వద్ద అధ్యారోపణం చెందని తరంగికలు సమతలంగా ఉండవు. అంటే అంచుల వద్ద నున్న తరంగికలు వ్యాప్తిచెందుతాయి. దీని ఫలితంగా పరిమిత పరిమాణం గల పలుచని కంతపై సమతల తరంగాగ్రం పతనమై దానిగుండా ప్రయాణించిన తరువాత సమతలంగా ఉండదు.



పటం 16.9 : సన్నని చీలిక నుండి కాంతి వివర్తనంకు హైగన్స్ నిర్మాణం

ఒంటి చీలిక వివర్తన వ్యూహం తీవ్రత వితరణను అర్థంచేసుకోవడానికి తెరను చేరిన తరంగాల అధ్యారోపణ స్వభావాన్ని కనుక్కుందాం. హైగన్స్ సూత్రాన్ని అనువర్తించడానికి చీలిక వెడల్పు 'a' ను 100 సమాన భాగాలుగా విభజిద్దాం. ప్రతీభాగాన్ని గౌణ తరంగికల జనకస్థానంగా భావిద్దాం. ఈ బిందువుల నుండి బయటకు వస్తున్న తరంగికలు, చీలికకు కుడివైపున ఉన్న ప్రదేశంలోకి వ్యాప్తి చెందుతాయి. సమతలతరంగాగ్రం చీలిక మీద పతనమవుతున్నందున ప్రారంభంలో అన్ని బిందువులు ఒకే దశలో ఉంటాయి. అందువల్ల చీలికను వదిలి పెట్టే సమయంలో ఈ బిందువు నుండి బహిర్గతమయ్యే తరంగిలన్నీ ఒకే దశలో ఉంటాయి. ఈ తరంగికల అధ్యారోపణ ఫలితాన్ని O బిందువు వద్ద తెరమీద చూద్దాం. 1వ మరియు 100వ జనకాల నుండి వెలువడిన తరంగికలు O బిందువును ఒకే దశలో చేరతాయని పటం 16.10 లోని సౌష్టవం తెలియజేస్తుంది. ఎందుకనగా రెండు తరంగికలు ప్రయాణం చేసే పథ దూరం సమానం కనుక. చీలిక మీద ఉండే బిందువు నుండి ప్రయాణం మొదలుపెట్టినపుడు అవి అన్నీ ఒకే దశలో ఉంటాయి. ఒకే దశలో O బిందువద్దకు



పటం 16.10: ఒంటి చీలిక వివర్తనానికి పథకాత్మక పటం

చేరి అధ్యారోపణం చెందిన ఫలిత కంపన పరిమితి 1 మరియు 100వ జనకాల నుండి వచ్చిన తరంగికల వైయుక్తిక కంపనపరిమితి కన్నా ఎక్కువగా ఉంటుంది. ఇలాగే 2 నుండి 50 వరకు గల జనకాల నుండి వచ్చే తరంగికలకు 99 నుండి 55వ జనకం నుండి వచ్చే తరంగికలు అనూరూపంగా ఉంటాయి. ఇవి నిర్మాణాత్మక వ్యతికరణం చెందటం ద్వారా O బిందువు వద్ద తీవ్రతను అధికం చేస్తాయి. అపుడు తెరమీద O బిందువు ద్యుతిమయంగా కనిపిస్తుంది.

అక్షం నుండి దూరంగా ఉండే P అనే బిందువును తెరమీద తీసుకుందాం. చీలిక యొక్క రెండు చివరి బిందువులు అంటే 1వ మరియు 100వ జనక స్థానముల మధ్య పథభేదం λ ఉండే విధంగా తెరపై ఆ బిందువును తీసుకోండి. అపుడు 1 మరియు 51వ జనక స్థానములు నుండి వచ్చే తరంగికల మధ్య పథభేదం సుమారుగా $\frac{\lambda}{2}$ అవుతుంది.

1 మరియు 51వ జనకాల నుండి వచ్చే తరంగికలు P బిందువు వద్దకు వ్యతిరేకదశలో చేరి వినాశాత్మక వ్యతికరణాన్ని ఏర్పరుస్తుందని కాంతి వ్యతికరణం నుండి తెలుసు. ఇలాగే 2 మరియు 52వ జనకములనుండి వచ్చే తరంగికలు మరియు ఇలాంటి అన్ని జతల నుండి వచ్చే తరంగికలు P బిందువు వద్ద వినాశాత్మక వ్యతికరణాన్ని ఇస్తాయి. ఇందు వలన P బిందువు వద్ద కనిష్టతీవ్రత ఉంటుంది. ఇలాగే చివరలో ఉన్న జనకాల నుండి వచ్చే తరంగికల మధ్య పథభేదం 2λ ఉన్న అన్ని బిందువులకు కనిష్ట తీవ్రత ఉంటుంది. 1 మరియు 2 చతుర్థాంశాల మధ్య పథభేదం $\frac{\lambda}{2}$ ఉండి అవి ఒకదానితో ఒకటి రద్దు చేసుకొనే విధంగా చీలికను 4 సమాన బిందువులుగా 1 మరియు 26, 2 మరియు 27..... జతలుగా విభజించా మనకుందాం. పై వాదన నుండి 3 మరియు 4 చతుర్థాంశాలు ఒక దానితో ఒకటి రద్దు చేసుకొని ఫలిత తీవ్రత కనిష్టమవుతుంది. ఇలాగే మిగతావన్నీకూడా కనిష్ట తీవ్రతను ఏర్పరుస్తాయి. చివరి బిందువుల వల్ల ఒక ప్రత్యేక దిశలో వివర్తనం చెందిన తరంగికల మధ్య పథభేదం λ కు పూర్ణాంక గుణిజాలుగా ఉన్నపుడు ఫలిత వివర్తన తీవ్రత ఆ దిశలో శూన్యమవుతుందని చెప్పవచ్చు.

P మరియు P_1 ల మధ్య ఉంటే P' బిందువు వద్ద తీవ్రతను కనుగొందాం. చివరి బిందువుల నుండి వివర్తనం చెందిన తరంగికల మధ్య పథభేదం $\frac{3\lambda}{2}$. చీలిక వద్ద తరంగాగ్రాన్ని మూడు సమాన భాగాలుగా విభజిద్దాం. ఈ పరిస్థితిలో రెండు భాగాల అనురూప జనకాల నుండి వచ్చే గౌణ తరంగికలు P బిందువును చేరినపుడు పథభేదం ఉండి ఒక దాని నొకటి రద్దు చేసుకుంటాయి. తరంగాగ్రం మూడవ భాగం నుండి వచ్చిన తరంగికలు నిర్మాణాత్మక (ఈ భాగం నుండి వచ్చే తరంగికల మధ్య పథభేదం శూన్యం అవుతుంది) వ్యతికరణం చెంది P' బిందువును ద్యుతిమయం చేస్తాయి. తరంగాగ్రంలో $\frac{1}{3}$ వంతు భాగం మాత్రమే P' బిందువు వద్ద తీవ్రతకు కారణమైతే, O బిందువు వద్ద తీవ్రతకు మొత్తం తరంగాగ్రం కారణం కనుక P' వద్ద తీవ్రత, O బిందువు వద్ద తీవ్రతకన్నా చాలా తక్కువ. P' బిందువు మరియు ఇలాంటి అన్ని బిందువులు కలిసి గౌణ గరిష్టంను ఏర్పరుస్తాయి.

ఒంటి చీలిక వివర్తానికి ఇది గుణాత్మకమైన సరళీకృత వివరణ మాత్రమే అని గమనించగలరు. దీని గురించి మరింత విశ్లేషణాత్మకంగా తరువాతి తరగతుల్లో చదువుకుంటారు.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 16.3

1. కాంతి సరళరేఖ పథంలో ప్రయాణించదని వివర్తనం నిరూపిస్తుందా?

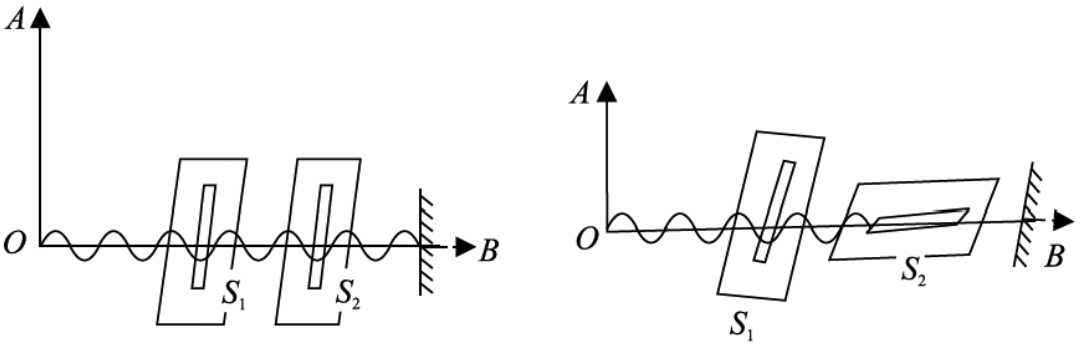
2. వ్యతికరణం, వివర్తనం లమధ్య భేదాలను తెలపండి?

3. ఒంటి చీలిక వివర్తనంలో కేంద్రిక గరిష్టం, గౌణ గరిష్టంల తీవ్రత సమానంగా ఎందుకుండవు?

16.4 కాంతి ధృవణం

ఇంతకుముందు రెండు భాగాలలో మీరు వ్యతికరణం, వివర్తన దృగ్విషయంల గురించి నేర్చుకున్నారు. ఈ దృగ్విషయాలను చర్చించేటప్పుడు కాంతి తరంగాలు అనుధైర్ఘ్య తరంగాలా లేక తిర్యక్ తరంగాలా అనే విషయాన్ని పట్టించుకోలేదు. ధృవణం, కాంతి తిర్యక్ తరంగమని చివరికి స్థిరీకరించింది.

ధృవణంను అర్థంచేసుకోవడానికి ఒక చిన్న ప్రయోగం చేయండి.

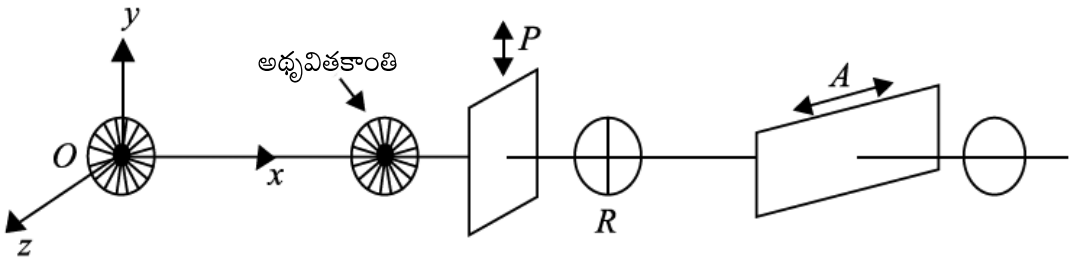


(a) రెండు లంబంగా ఉన్న చీలికలు (b) ఒకటి లంబంగా ఉన్న చీలిక

పటం 16.11 : రెండవది క్షితిజ సమాంతరంగా ఉన్న చీలికల గుండా ఉన్న తాడు వెంబడి తిర్యక్ తరంగం

సన్నని నిలువు చీలికలు S_1, S_2 లు గల రెండు అట్ట ముక్కలను తీసుకొని, వాటిని సమాంతరంగా పట్టుకోండి. వాటిగుండా ఒక తాడును పంపించి తాడు ఒక చివరను బిగించి రెండవ చివరను మీచేతిలో పట్టుకోండి. తాడును క్రిందికి, పైకి, ప్రక్కలకు జరుపుతూ తాడులో అన్ని దిశలలో తరంగాలు పుట్టేలా కదపండి పటం 16.11(a) లో చూపినట్లుగా S_1 చీలిక గుండా పోతున్న తరంగాలు S_2 చీలిక గుండా కూడా పోతాయి. S_2 చీలికను క్షితిజ సమాంతరంగా పెట్టి ప్రయోగాన్ని మళ్ళీ చేయండి. S_2 కు ఆవలివైపున ఎటువంటి తరంగాలు ఉండవు. అంటే S_1 గుండా ప్రయాణించిన తరంగాలు క్షితిజ సమాంతరంగా ఉన్న చీలిక S_2 గుండా ప్రయాణించలేదు. దీనికి కారణం పటం 16.11(b)లో చూపినట్లుగా తరంగంలోని కంపనాలు S_2 చీలికకు లంబంగా ఉన్న తలం వెంబడి ఉన్నాయి కనుక.

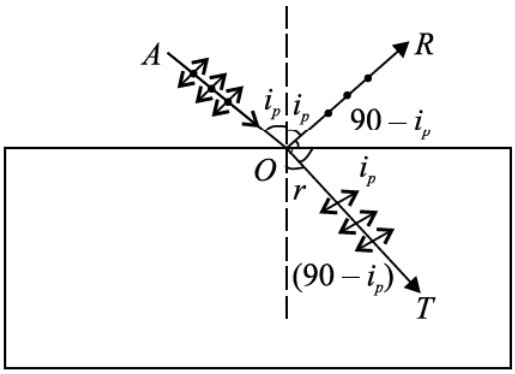
O వద్ద కాంతిజనకాన్ని ఉంచి, చీలికలకు బదులుగా పోలరాయిడ్‌లను పెట్టి పై కృత్యాన్ని చేయండి. సంధర్భంలో (a)లో మాత్రమే కాంతి కనబడుతుంది. కాంతి కంపనాలు ఒక తలానికి బద్ధమై ఉన్నాయని తెలుస్తుంది. మొదటి



పటం 16.12 : కాంతి ధృవణాన్ని పరిశీలించడానికి పథకాత్మక పరికరాలు.

పోలరాయిడ్ గుండా ప్రయాణించిన తరువాత అది రేఖీయ ధృవణం లేదా సమతల ధృవణం చెందిందని అంటారు(పటం 16.12).

గాజు, నీరు, మరేదైన పారదర్శక పధార్థం మీద అధృవిత కాంతి పతనమైనపుడు, పరావర్తన కాంతి సాధారణంగా పాక్షిక సమతల ధృవిత కాంతిగా మారుతుంది. పటం 16.13లో గాజు పలకమీద అధృవిత కాంతి AO పతనమైంది. పరావర్తనకిరణాన్ని OR గా, ప్రసారిత కిరణాన్ని OT గా చూపించారు. ధృవణకోణం వద్ద కాంతి పతనమైనపుడు కాంతి పూర్తి ధృవణం చెందుతుంది. ఈ కోణం వద్ద పరావర్తన, ప్రసారిత కిరణాలు ఒకదానికొకటి లంబంగా ఉంటాయి.



పటం 16.13 : పరావర్తన, వక్రీభవన కాంతితో ధృవణం

అధృవిత కాంతి పతనమైన గాజు పధార్థ వక్రీభవన గుణకం మీద ధృవణకోణం ఆధారపడుతుంది. r మరియు i_p ల మధ్య సంబంధాన్ని స్నెల్‌నియమం నుండి రాబట్టవచ్చు. (పటం 16.13)

$$\mu = \frac{\sin i_p}{\sin r} = \frac{\sin i_p}{\sin(90 - i_p)}$$

$$= \frac{\sin i_p}{\cos i_p} = \tan i_p$$

దీనిని **బ్రూస్టర్ నియమం** అంటారు. దీని నుండి ధృవణకోణం i_p పదార్థ వక్రీభవనగుణకం మీద ఆధారపడుతుందని తెలుస్తుంది. గాలి, నీరు అంతరఫలకానికి $i_p = 53°$ సూర్యుడు క్షితిజ సమాంతరానికి 37° పైన ఉన్నపుడు, నిశ్చలమైన సరస్సు లేక చెఱువు నుండి పరావర్తనం చెందిన కాంతి పూర్తిగా సమతల ధృవణం చెందుతుంది. బ్రూస్టర్ నియమం మనిత్య జీవితంలో అనేక అనువర్తనాలను కలిగి ఉంది. సమానంగా ఉండే తలాల నుండి పరావర్తనం చెందిన కాంతి కలిగించే గ్లేర్‌ను ధృవణ పధార్థాలనుపయోగించి తగ్గించవచ్చు. వీటిని పోలరాయిడ్ అంటారు. ఇవి చిన్న స్ఫటికాలైన క్వినైన్ ఐడో సల్ఫేట్ (quinine iodo sulphate) లతో తయారుచేస్తారు. నైట్రో సెల్యులోజ్ పలకపై అన్ని స్ఫటికాలు ఒకే దిశలో ఉండే విధంగా వరుసగా అమర్చుతారు. వీటిని డైక్రాయిక్ (dichoric) స్ఫటికాలంటారు. ఇవి ప్రత్యేక తలంలో కాంతిని ప్రసరింపచేసి, లంబంగా ఉండే తలంలో కాంతిని శోషణం చేసుకుంటుంది. కనుక పోలరాయిడ్ పూతపూయబడిన చలువ అద్దాలు ధృవణ కాంతిలోని ఒక అంశను శోషణం చేసుకోవడం ద్వారా గ్లేర్‌ను తగిస్తాయి. పోలరాయిడ్ డిస్కులను ఫోట్రోగ్రఫిలో కెమెరాకటకం ముందు ఫిల్టర్‌గా ఉపయోగించుట వలన గ్లేర్ వల్ల కనిపించకుండా పోయిన వివరాలను కూడా పొందవచ్చు. పొలారీమీటరును చక్కెర పరిశ్రమలో నాణ్యతను పరిశీలించడానికి ఉపయోగిస్తారు.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 16.4

1. కాంతి తిర్యక్ తరంగం మనడానికి ధృవణం తిరుగులేని ఋజువు దీనిని సమర్థించండి?
2. తరంగ ప్రసార దిశ, ధృవణతలంలో ఉండనక్కర లేదని చెప్పడం సమంజసమేనా?

3. రెండు పోలరాయిడ్‌ల అమరికపై అధృవితకాంతి పతనమైందనుకుందాం. వీటిని ఉపయోగించే కాంతిని పూర్తిగా బహిర్గతం కాకుండా నిరోధించాలను కున్నపుడు ఆ రెండు పోలరాయిడ్‌ల ప్రసార అక్షాల మధ్య కోణం ఎంత ఉండాలి?

4. గాలిలో ధ్వని తరంగాలు ధృవణాన్ని చూపుతాయా?

16.5 కాంతివిక్షేపణం

గ్రహాల చుట్టూ ఉండే వలయాలు, ఇంద్రధనుస్సు ఏర్పడుట లాంటి సహజ దృగ్విషయాలను కాంతి ఋజుమార్గంలో ప్రయాణిస్తుందనే ధర్మాన్ని బట్టి వివరించలేము. పై విషయాలను అర్థం చేసుకోవడానికి కాంతికి తరంగ స్వభావం ఉందని భావిస్తాం. కాంతి తరంగాలు తిర్యక్ విద్యుదయస్కాంత తరంగాలని అవి శూన్యంలో $3\times108\ ms^{-1}$ వేగంతో ప్రయాణిస్తాయని మీకు తెలుసు. ఎక్కువ వ్యాప్తి కలిగిన విద్యుదయస్కాంత వర్ణపటంలో దృశ్యకాంతి కొంతభాగంలో మాత్రమే ఉంటుంది. సూర్యకాంతి ఏడు విభిన్న తరంగధైర్ఘ్యాలకు ఏడు రంగులను కలిగి వుంటుంది. అంటే రంగులను వాటి తరంగ ధైర్ఘ్యాల ఆధారంగా గుర్తించవచ్చు. తరంగం ఒక యానకం నుండి వేరొక యానకం లోకి ప్రయాణించినపుడు దాని వేగం మరియు తరంగధైర్ఘ్యంలో మార్పు వస్తుందని మీరు ఇంతకు ముందు నేర్చుకున్నారు. కాంతి తరంగాల వేగం తదనుగుణంగా వాటి తరంగధైర్ఘ్యాల విలువలు యానకంతోపాటు మార్పు చెందుతాయి. ఒక నిర్ధిష్ట తరంగధైర్ఘ్యం గల తరంగం దృశాసాంద్రతర యానకంలోకి ప్రవేశించినపుడు దానివేగం, అది స్వేచ్ఛాంతరాళంలో కలిగి ఉన్న వేగం కన్నా తక్కువగా ఉంటుంది.

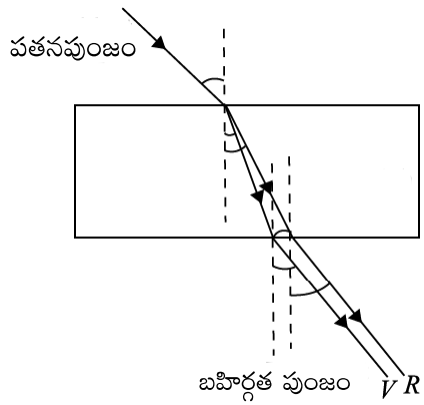
శూన్యయానకంలో కాంతి వేగానికి, సాంద్రతర యానకంలో కాంతివేగానికి గల నిష్పత్తిని యానక వక్రీభవన గుణకంగా నిర్వచించారు. అంటే ఇచ్చిన పదార్థం యొక్క వక్రీభవన గుణకం విలువలు వేరువేరు తరంగధైర్ఘ్యాలు (ఉదా: 3.8×10^{-7} m, 5.8×10^{-7} m) కల తరంగాలకు వేరువేరుగా ఉంటాయి. **ఒకే యానకంలో ఆ తరంగాలు వేరువేరు వేగాలతో ప్రయాణించడమే దీనికి కారణం. తరంగధైర్ఘ్యంతో పదార్థ వక్రీభవన గుణకంలోని ఈ మార్పునే విక్షేపణం అంటారు**. ఈ దృగ్విషయం వక్రీభవనం కన్నా వేరుగా ఉంటుంది. స్వేచ్ఛాంతరాళం మరియు గాలిలో అన్ని దృశ్యకాంతి తరంగాల వేగాలు సమానం. అందువల్ల అవి విడివిడిగా వుండవు. (అటువంటి పదార్థాన్ని అవిక్షేపక పదార్థం అంటారు). అంటే కాంతి ఎప్పుడు దృశాసాంద్రతర యానకంలో ప్రయాణించినా విక్షేపణాన్ని చూపిస్తుందని సూచిస్తుందా? దీని గురించి ఇపుడు తెలుసుకుందాం.

16.1.1 పట్టకం గుండా విక్షేపణం

ఒక పదార్థం గుండా కాంతిరంగులుగా విడిపోవడమనే నియమం మాత్రమే కాంతి విక్షేపణానికి సరిపోదు. ఈ రంగులన్నీ విక్షేపకయానకం నుండి బయటకు వచ్చిన తరువాత మరల కలిసిపోకుండా ఉండాలి. ఒక గాజు పలక (పటం 16.14) నుండి బహిర్గతమైన కిరణాలు చాలా దగ్గరగా ఉండి పతనపుంజానికి సమాంతరంగా ఉండటం వల్ల విక్షేపణంను పరిశీలించడానికి గాజుపలక సరిపోదు.

న్యూటన్, పట్టకం నుపయోగించి కాంతి విక్షేపణాన్ని ప్రదర్శించాడు. పటం 16.15లో చీలిక నుండి తెల్లని కాంతి పట్టకం AB తలంపై పడి వేరువేరు రంగులుగా విడిపోయి తలం AC నుండి బహిర్గతమవడం చూడవచ్చు.

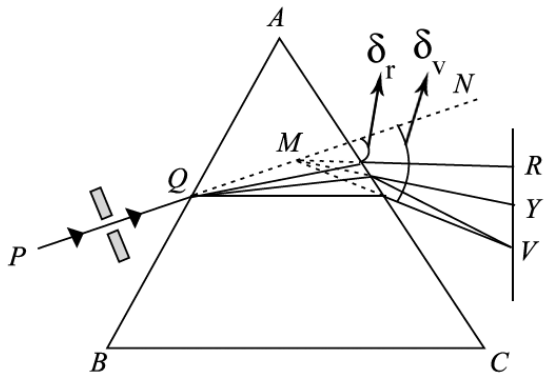
తెరమీద రంగుల మచ్చలను కూడా చూడవచ్చు. *AB* తలం వద్ద వక్రీభవనం చెందిన కిరణాల మధ్య దూరాన్ని *AC* తలం ఎక్కువ చేస్తుంది. అపుడు తెల్లని పతన కాంతి *PQ* తన అంశ ఏడురంగులుగా విడిపోతుంది. ఊదా (Violet), ఇండిగో (Indigo), నీలం (Blue), ఆకుపచ్చ (Green), పసుపు (Yellow), నారింజ (Orange), ఎరుపు (Red) (VIBGYOR) రంగులు వేరువేరు వేగాలతో ప్రయాణం చేస్తున్న తరంగధైర్ఘ్యాలు వేరువేరు కోణాలతో వక్రీభవనం చెంది విడిపోతాయి. ఈ విధంగా తెల్లని కాంతి దాని అంశ రంగులుగా విడిపోవడాన్ని విక్షేపణం అంటారు. *MR* ఎరుపురంగును, *MV* ఊదా రంగును సూచిస్తాయి. ఈ రంగులన్నీ తెరమీద వర్ణపటాన్ని ఏర్పరుస్తాయి.



పటం 16.14 : గాజుపలక గుండా కాంతి ప్రసరణ

MR, *MV* మొదలైన వాటి వెంబడి *PQN* సహజపుంజం వంగడాన్ని విచలనం అంటారు. పతన కిరణం, బహిర్గత కిరణంల మధ్యకోణాన్ని విచలనకోణం అంటారు. δ_v, δ_r లు వరుసగా ఊదా, ఎరుపురంగుల విచలన కోణాన్ని సూచిస్తాయి.

కింది ఉదాహరణను జాగ్రత్తగా పరిశీలించి తరంగ ధైర్ఘ్యంతో పాటు వక్రీభవన గుణకంలోని మార్పు గురించి మీభావనను పటిష్ట పరచుకోండి.



పటం 16.15 : పట్టకం గుండా కాంతి విక్షేపణం

ఉదాహరణ 16.1

కాంతి పుంజం సరాసరి తరంగధైర్ఘ్యం 600 nm అది గాజుపలకలో ప్రవేశించిన తరువాత తరంగధైర్ఘ్యాలు 384 nm, 589 nm, 760 nmగా గల మూడు రంగుల పుంజాలుగా విడిపోయింది. ఈ తరంగ ధైర్ఘ్యాలకు పట్టక పదార్థ వక్రీభవన గుణకాన్ని కనుక్కోండి.

సాధన : పట్టక పథార్థ వక్రీభవన గుణకం

$$\mu = \frac{c}{v}$$

ఇక్కడ c శూన్యంలో కాంతివేగం, v యానకం (పట్టకం)లో కాంతి వేగం. పౌనఃపున్యం, తరంగధైర్ఘ్యంల లబ్ధం తరంగవేగం కనుక మనం

$c = \nu\lambda_a$, $\quad v = \nu\lambda_m$ అని రాయవచ్చు.

ఇక్కడ λ_a, λ_m లు వరసగా గాలి, యానకం తరంగధైర్ఘ్యాలు, ν కాంతి తరంగ పౌనఃపున్యం అంటే

$$\mu = \frac{\nu\lambda_a}{\nu\lambda_m} = \frac{\lambda_a}{\lambda_m}$$

తరంగధైర్ఘ్యం 384 nm కు వక్రీభవనగుణకం

$$\mu_1 = \frac{600\times10^{-9}m}{384\times10^{-9}m} = 1.56$$

తరంగధైర్ఘ్యం 589 nm కు

$$\mu_2 = \frac{600\times10^{-9}m}{58.9\times10^{-9}m} = 1.02$$

తరంగధైర్ఘ్యం 760 nm కు

$$\mu_3 = \frac{600\times10^{-9}m}{760\times10^{-9}m} = 0.8$$

పదార్థ వక్రీభవన గుణకం

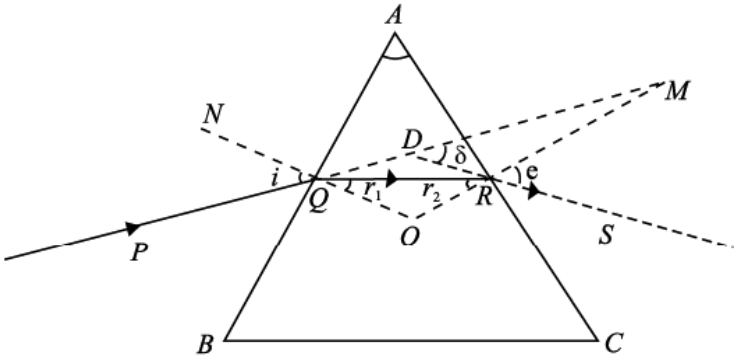
- పదార్థ స్వభావం మీద
- కాంతి తరంగ ధైర్ఘ్యం మీద

ఆధారపడుతుందని మనం చూశాం.

పై ఉదాహరణ నుండి ఆసక్తికర విషయమేమిటంటే, తరంగధైర్ఘ్యంలో మార్పు ($\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$) వక్రీభవన గుణకంలో మార్పు ($\Delta\mu = \mu_2 - \mu_1$) ను కలుగచేస్తుంది. వీటి నిష్పత్తి $\frac{\Delta\mu}{\Delta\lambda}$ ని **పట్టక పదార్థ విక్షేపక సామర్థ్యం** అంటారు.

16.5.2 విచలనకోణం

ఇపుడు మనం పతనకోణం i, విచలనకోణం δ, పట్టక కోణం A ల మధ్య సంబంధాన్ని సాధిద్దాం. (పటం 16.16) ABC పట్టకం ప్రధానచ్ఛేదం, AB తలం మీద ఏకవర్ణకాంతి పుంజం PQ తలం మీద పతనమైనదనుకుందాం. వక్రీభవనం చెందిన తరువాత పట్టకం లోపల QR వెంబడి ప్రయాణించి తలం AC నుండి RS గుండా బహిర్గతమవుతుంది. $\angle A = \angle BAC$ ను పట్టక వక్రీభవన కోణమనుకుందాం. తలంలు AB, AC ల మీద గీసిన లంబరేఖలు వరసగా NQ, MR లను వెనుకకు పొడిగించగా అవి O వద్ద కలుస్తాయి. అపుడు మీకు $\angle NQP = \angle i$, $\angle MRS = \angle e$, $\angle RQO = \angle r_1$, $\angle QRO = \angle r_2$ లు వరుసగా పతనకోణం, బహిర్గతకోణం, తలం AB, తలం AC ల వద్ద వక్రీభవన కోణాలని సులభంగా అర్థమవుతుంది. పతనకిరణం PQ, బహిర్గత కిరణం RS ల మధ్యకోణం D ను విచలన కోణం (δ) అంటారు.



పటం 16.16 : పట్టకం గుండా వక్రీభవనం

$\angle MDR = \angle\delta$ కాబట్టి, త్రిభుజం QDR కు ఇది బహిర్గామి కోణం కనుక మనం

$\angle\delta = \angle DQR + \angle DRQ$ అని రాయవచ్చు.

$$= (\angle i - \angle r_1) + (\angle e - \angle r_2)$$

లేదా $$\angle\delta = (\angle i + \angle e) - (\angle r_1 + \angle r_2) \qquad (16.9)$$

చతుర్భుజంలో అంతరాభిముఖ కోణాల మొత్తం 360° అని గుర్తుచేసుకోండి. చతుర్భుజం $AQOR$ లో $\angle AQO = \angle ARO = 90°$, NQ, MR లు వరుసగా తలం AB తలం AC వద్ద గీసిన లంబాలు కనుక అపుడు

$$\angle QAR + \angle QOR = 180°$$

లేదా $$\angle A + \angle QOR = 180° \qquad (16.10)$$

కాని ΔQOR లో

$$\angle OQR + \angle QRO + \angle QOR = 180°$$

లేదా $$\angle r_1 + \angle r_2 + \angle QOR = 180° \qquad (16.11)$$

సమీ (16.10) సమీ (16.11)లను పోల్చి చూడగా మనకు

$$\angle r_1 + \angle r_2 = \angle A \qquad (16.12)$$

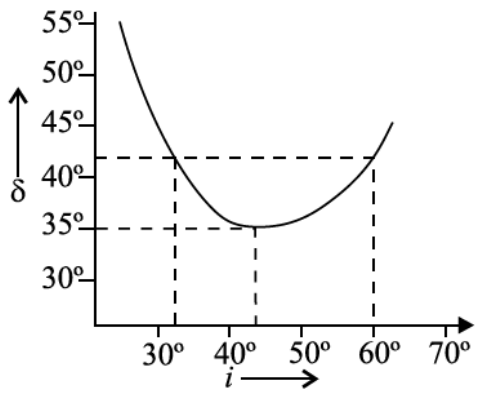
పై ఫలితాన్ని సమీ 16.9లో కలపగా

$$\angle\delta = \angle i + \angle e - \angle A$$

లేదా $$\angle i + \angle e = \angle A + \angle\delta \qquad (16.13)$$

కనిష్ట విచలనకోణం

పతనకోణం, i విలువను మార్చినపుడు, విచలన కోణం δ కూడా మారుతుంది. అది i యొక్క ఒక నిర్దిష్ట విలువ వద్ద కనిష్టమై మరల i విలువతో పాటు పెరుగుతుంది. (పటం 16.17) విచలనకోణం యొక్క కనిష్ట విలువనే కనిష్ట విచలనకోణం అంటారు (δ_m). ఇది పట్టక పదార్థం మరియు పతనకాంతి తరంగధైర్ఘ్యంల మీద ఆధారపడుతుంది. నిజానికి రెండు పతనకోణాల విలువలకు ఒకటే విచలన కోణం ఉంటుంది. కాంతి ఉత్క్రమణీయ సూత్రం ఆధారంగా పతనకోణం రెండవ విలువకు అనురూపంగా బహిర్గత కోణం (e) అని మనకు తెలుస్తుంది. కనిష్ట విచలన కోణస్థితిలో ఒకే ఒక పతనకోణం ఉంటుంది. అపుడు $\angle e = \angle i$ అవుతుంది.



పటం 16.17 : పతనకోణం i మరియు విచలన కోణం δ ల మధ్య వక్రం

విలువను సమీ (16.13)లో ఉపయోగించి δ బదులు δ_m పెట్టగా

$$\angle e = \angle i$$

విలువను సమీ (16.13) లో ఉపయోగించి δ బదులు δ_m పెట్టగా

$$\angle i = \frac{\angle A + \angle \delta_m}{2} \text{ అవుతుంది.} \qquad (16.14)$$

కాంతి ఉత్క్రమణీయ సూత్రం మరియు $\angle e = \angle i$, అనే నిబంధనలనుపయోగించి

$$\angle r_1 = \angle r_2 = \angle r \quad \text{(అనుకొందాం)}$$

పై ఫలితాన్ని సమీ (16.12) లో ప్రతిక్షేపించగా

$$\angle r = \frac{\angle A}{2} \qquad (16.15)$$

కనిష్ట విచలన స్థితిలో పట్టకం లోపల కాంతికిరణం ఆధారంకు సమాంతరంగా మరియు సౌష్టవంగా ప్రయాణిస్తుంది. అపుడు పట్టక పదార్థ వక్రీభవన గుణకం

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin\left(\frac{A+\delta_m}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}} \qquad (16.16)$$

సమీ (16.16) ను పయోగించి ఏకవర్ణ లేదా బహువర్ణకాంతికి వక్రీభవనగుణం (μ) ను కనుక్కోవచ్చు. వివిధ రంగులకు δ_m విలువలు వేరువేరుగా ఉంటాయి. ఈ δ_m ఒక విలక్షణ పతనకోణాన్ని ఇస్తుంది. ఈ కోణంతో పతనమైన కిరణం బహిర్గతకాంతిపుంజం ప్రకాశవంతంగా మరియు ప్రస్ఫుటంగా ఉంటుంది.

తక్కువ పట్టక కోణం A గల పట్టకానికి i, r విలువలు తక్కువగా ఉన్నపుడు

$\sin i = i$, $\sin r = r$, $\sin e = e$ గా రాయవచ్చు.

అపుడు $\mu = \frac{\sin i}{\sin r_1} = \frac{i}{r_1}$ లేదా $i = \mu r_1$

ఇంకా $\mu = \frac{\sin e}{\sin r_2} = \frac{e}{r_2}$ లేదా $e = \mu r_2$

$$\therefore \quad \angle i + \angle e = \mu\,(\angle r_1 + \angle r_2)$$

పై ఫలితాన్ని సమీ (16.17), (16.18)లో ఉపయోగించగా

$\mu\,\angle A = \angle A + \angle \delta$ అవుతుంది.

లేదా $$\angle \delta = (\mu - 1)\,\angle A \qquad (16.17)$$

μ తరంగధైర్ఘ్యం మీద ఆధారపడుతుందని మనకు తెలుసు. అలాగే విచలనం కూడా తరంగధైర్ఘ్యం మీద ఆధారపడుతుంది. అందువల్లనే δ_v, δ_R లు వేరువేరుగా ఉంటాయి. ఎరుపురంగు కాంతి వేగం ఊదారంగు కాంతివేగం కంటే ఎక్కువగా ఉంటుంది. ఎరుపురంగు కాంతి విచలనం ఊదారంగుతో పోల్చి చూసినపుడు తక్కువగా ఉంటుంది.

$$\delta_v > \delta_R$$

దీని నుండి $\mu_v > \mu_R$ అవుతుంది. తరంగధైర్ఘ్యంతో పదార్థ వక్రీవభవన గుణంలోని ఈ మార్పు విక్షేపణ దృగ్విషయానికి కారణం.

16.5.3 కోణీయ విక్షేపణం, విక్షేపక సామర్థ్యం

రెండు తరంగధైర్ఘ్యాల (రంగుల) విచలన కోణాల మధ్యతేడాను ఆ రెండు తరంగధైర్ఘ్యాలకు కోణీయ విక్షేపణం అంటారు. ఊదా, ఎరుపు రంగుల (తరంగ ధైర్ఘ్యాల) మధ్య కోణీయ విక్షేపణం $\delta_v - \delta_R$ వర్ణపటంలోని దృగ్గోచర భాగంలో పసుపు రంగు తరంగ ధైర్ఘ్యం వర్ణపటం సరాసరి తరంగ ధైర్ఘ్యంకు దాదాపు సమానంగా ఉంటుంది. అందువల్ల పసుపురంగు విచలనం (δ_Y) ను అన్ని విచలనాలకు సరాసరి విచలనంగా తీసుకోవచ్చు.

కోణీయ విక్షేపణానికి, సరాసరి విచలనానికి మధ్యగల నిష్పత్తిని పట్టక పదార్థ విక్షేపక సామర్థ్యం (ω) అంటారు.

$$\omega = \frac{\delta_v - \delta_R}{\delta_Y}$$

సమీ (16.17) నుపయోగించిపై ఫలితాన్ని వక్రీభవన గుణకాలతో రాయవచ్చు.

$$\omega = \frac{(\mu_v - 1)\angle A - (\mu_R - 1)\angle A}{(\mu_v - 1)\angle A}$$

$$= \frac{\mu_v - \mu_R}{\mu_Y - 1} = \frac{\Delta\mu}{\mu - 1} \qquad (16.18)$$

ఉదాహరణ 16.2

పట్టక పదార్థ వక్రీభవనం గుణకం 1.6, దాని పట్టకకోణం $30'$, పట్టకం కలుగచేసే విచలనాన్ని కనుక్కోండి.

సాధన :

We know that $\delta = (\mu - 1)\ \angle A$

ఇచ్చిన దత్తాంశంను ప్రతిక్షేపించగా

$$\delta = (1.6 - 1) \times \frac{1^\circ}{2} = \frac{0.6}{2} = 0.3^\circ = 18'$$

ఉదాహరణ 16.3

పట్టక కోణం A గల పట్టకం కనిష్ట విచలనకోణం $A/2$. ఏక వర్ణకాంతినుపయోగించినపుడు దాని వక్రీభవన గుణకాన్ని కనుక్కోండి. ($A = 60^o$)

సాధన : వక్రీభవన గుణకం

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A + \delta_m}{2}\right)}{\sin\ (A/2)}$$

ఇక్కడ $\delta_m = A/2$ కనుక

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A + A/2}{2}\right)}{\sin\ (A/2)} = \frac{\sin\left(\frac{3}{4}A\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} = \frac{\sin\left(\frac{3}{4}A\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} = \sqrt{2} = 1.4$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 16.5

1. చాలావరకు సాధారణ వాయువులు దృశ్యకాంతితో విక్షేపణాన్ని చూపించవు. ఎందుకు?
2. మీకు తెలిసిన తెల్లని కాంతి అంశరంగుల μ విలువలతో ఏ రంగు దాని మార్గం నుండి ఎక్కువ విచలనం చెందుతుంది.
3. పట్టక కోణం మరియు పట్టక పరిమాణం మీద విక్షేపణం ఆధారపడుతుందా?
4. కనిష్ట విచలనకోణం, పట్టకకోణానికి సమానమైనపుడు సమబాహు పట్టకం వక్రీభవన గుణకాన్ని కనుక్కోండి.

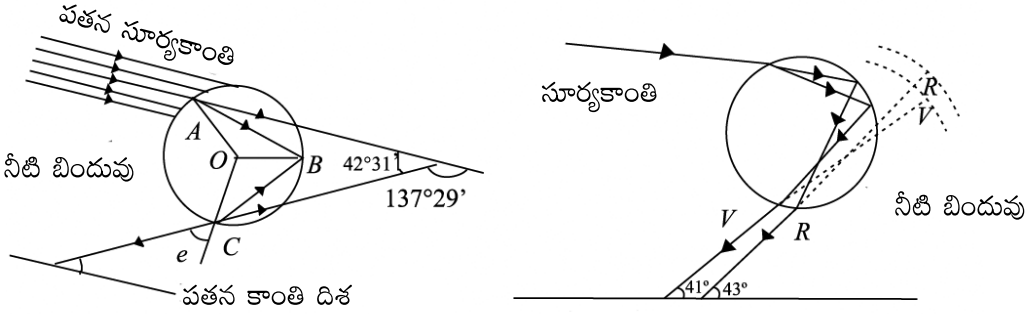
ఇంద్రధనుస్సు ఏర్పడుట

వర్షం పడిన రోజు గాలిలో ఉన్న నీటిబిందువుల ద్వారా సూర్యకాంతి విక్షేపణ చెందినపుడు ఏర్పడే ఇంద్రధనుస్సు ప్రకృతిలో అగుపించే అద్భుతమైన ప్రక్రియ. మన వెనుక సూర్యుడు ఉన్నపుడు ప్రకాశవంతమైన ఇంద్రధనుస్సు ఒకటి, అస్పష్టమైన ఇంద్రధనుస్సు ఇంకొకటి కనిపిస్తాయి. ప్రకాశవంతంగా ఉన్న ఇంద్రధనుస్సును **ప్రాథమిక ఇంద్రధనుస్సు** అని, ఇంకొక దానిని **గౌణఇంద్రధనుస్సు** అంటారు. కొన్నిసార్లు మనం ఒకే ఇంద్రధనుస్సును చూస్తాం. ఇంద్రధనుస్సులోని వంపులు రంగుచాపముల వలే ఉంటాయి. మనకన్ను, సూర్యుడిని కలిపే ఊహరేఖపై వీటి ఉమ్మడి కేంద్రం ఉంటుంది. ఉదయం లేదా సాయంత్రం వేళల్లో సూర్యకిరణాలు ఫౌంటెన్‌లోని నీటి బిందువుల మీద ఒక ప్రత్యేకకోణంతో పతనమైనప్పుడు ఆ ఫౌంటెన్ నీటిపై కూడా ఇంద్రధనుస్సును చూడవచ్చు.

ప్రాథమిక ఇంద్రధనుస్సు

నీటి బిందువు లోపల సూర్యకాంతి రెండు వక్రీభవనాలు, ఒక అంతరపరావర్తనం చెందటం వల్ల ప్రాథమిక ఇంద్రధనుస్సు ఏర్పడుతుంది. (పటం 16.18(a) చూడండి) తక్కువ విచలనం చెందిన కిరణాల ద్వారా ఇంద్రధనుస్సును చూడవచ్చునని డెస్‌కార్ట్స్ (Descartes) వివరించాడు. సూర్యుని నుండి వెలువడే సమాంతర కిరణాలు నీటిబిందువు నుండి 1 137°29′ విచలనం చెంది లేదా పతనకిరణంతో కంటివద్ద 42°31′ కోణం చేస్తూ బహిర్గతమయినపుడు ప్రకాశవంతమైన మెరుస్తున్న రంగులు చాపంలో ఏర్పడుతాయి.

నీటివల్ల విచలనం, వివిధ రంగులు (ఎరుపు నుండి ఊదావరకు) తమస్వంత ఛాపములను ఏర్పరచుకొనునట్లు చేస్తుంది. ఎరుపురంగు వల్ల ఏర్పడిన చాపం 43° కోణంతో ఉన్న శంఖం తోనూ (బయటివైపు) ఊదారంగు వల్ల ఏర్పడిన చాపం 41° కోణంతో ఉన్న శంఖంతోనూ (లోపలివైపు) ఉంటాయి. పటం 16.18 (b)).



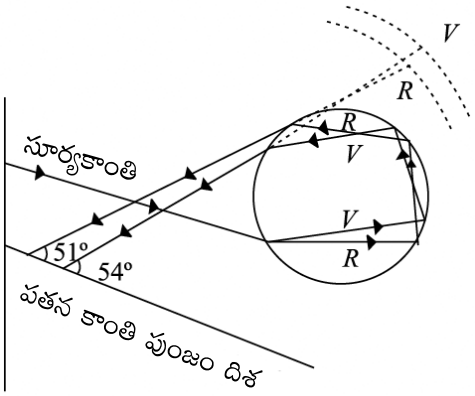
(a) నీటి బిందువు లోపల రెండు వక్రీభవనములు ఒక అంతర | ¥ es¤¢+. d¥ d¥ ¿£w¥¤ # ¥q ¿ÃD + 137°29′

(b) నీటి బిందువు ద్వారా విచలనం.

పటం 16.18

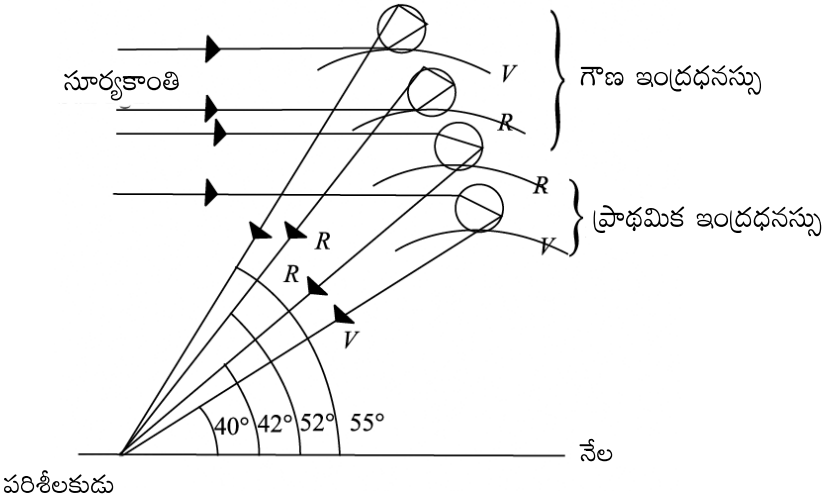
గౌణ ఇంద్రధనస్సు

నీటి బిందువుపై రెండు వక్రీభవనాలు, రెండు అంతర పరావర్తనాల వల్ల గౌణ ఇంద్రధనస్సు ఏర్పడుతుంది. ఎరుపు, ఊదారంగులకు కనిష్ట విచలన కోణాలు వరుసగా 231°, 234° కనుక అవి ఎరుపుకు 51° శంఖంను, ఊదారంగుకు 54° శంఖంను ఏర్పరుస్తాయి.



పటం 16.19 : గౌణ ఇంద్రధనస్సు ఏర్పడుట

ఇంద్రధనస్సుకు లోపలివైపు ఎరుపురంగు, ఊదారంగు వెలుపలివైపు ఉంటాయని పటం 16.19 ద్వారా తెలుస్తుంది. ప్రాథమిక, గౌణ ఇంద్రధనస్సులు ఒకేసారి ఏర్పడటం పటం 16.20లో చూపబడింది. రెండు ధనస్సుల మధ్య చీకటి అంతరం ఉంటుంది. గౌణఇంద్రధనస్సు, ప్రాథమిక ఇంద్రధనస్సు పైన ఏర్పడుతుంది.



పటం 16.20 : ప్రాథమిక, గౌణ ఇంద్రధనస్సు ఒకేసారి ఏర్పడుట

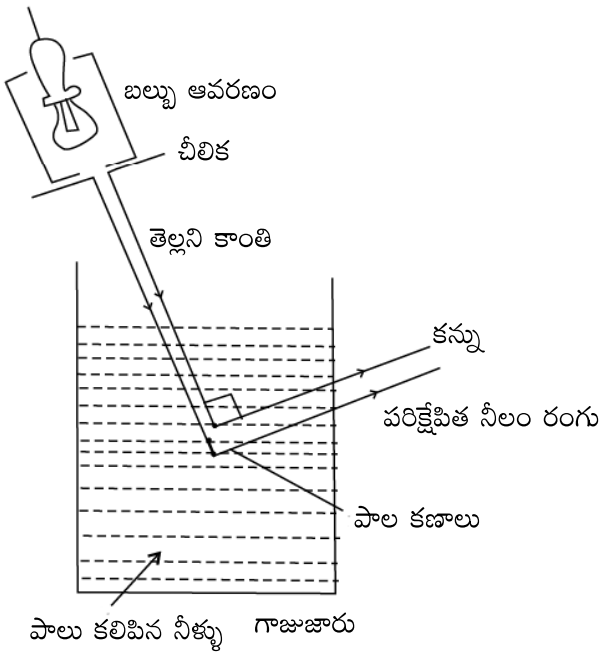
16.6 వాతావరణంలో కాంతి విక్షేపణం

ఆకాశం నిర్మలంగా ఉన్నప్పుడు అది నీలంరంగులో కనిపిస్తుంది. కాని మేఘాలు తెల్లగా కనిపిస్తాయి. అలాగే నగలు లేదా స్ఫటికముల మీద సూర్యకాంతి పడినప్పుడు ఏర్పడే ప్రకాశవంతమైన రంగులు మన దృష్టిని ఆకర్షిస్తాయి. అది ఎందుకలా జరుగుతుందని తెలుసుకోవాలని ఉందికదా! ఈ దృగ్విషయాలను కాంతి పరిక్షేపణంతో వివరించవచ్చు. మలిన లేదా కణ రహిత బెంజీన్‌ను సూర్యకాంతికి గురిచేసి (exposed) ప్రక్కల నుండి చూసినపుడు బెంజీన్ ప్రకాశవంతమైన నీలం రంగును ఏర్పరుస్తుంది.

16.6.1 కాంతి పరిక్షేపణం

ఈ దృగ్విషయంలో వికిరణం పదార్థంతో అన్యోన్యచర్య నొందటం ఇమిడి ఉంది, భూవాతావరణంలో అతి చిన్న ధూళిక కణాలు ఉంటాయి. సూర్యకాంతి వాటి మీద పడినపుడు అవి అన్ని దిశలలోకి వ్యాప్తి చెందుతుంది అందువల్ల కాంతి, జనక స్థానం నుండి తిన్నగా చేరలేని ప్రదేశాలకు కూడా చేరుతుంది.

ఒక సరళకృత్యాన్ని చేసిచూద్దాం.



పటం 16.21 : పాలచుక్కల వల్ల కాంతి పరిక్షేపణ

కృత్యం 16.1

ఒక గాజు జార్‌గానీ పొడవైన నీళ్ళతొట్టెను గాని తీసుకొని దానిని పాలు కలిపిన నీటితో నింపండి. తెల్లని బల్బు నుండి వచ్చే సన్నని కాంతిపుంజం ఆ నీటిమీద పడేవిధంగా ఏర్పాటు చెయ్యండి. 90° ల వద్ద (లంబంగా) కాంతిని గమనించండి.

నీటినుండి చూసినపుడు నీలి రంగు పుంజాన్ని గమనిస్తాము. ఈ ప్రయోగం నుండి పరిక్షేపణం తర్వాత ఒక ప్రత్యేక దిశలో కాంతి తరంగధైర్ఘ్యం అసాధారణంగా ఉండటాన్ని గమనిస్తాం. (పటం 16.21)

పరిక్షేపణం రెండంచెల పద్ధతి : మొదటగా పరిక్షేపకకణం కాంతిని శోషించుకొనుట, రెండవది తక్షణమే అన్ని దిశలలోకి ఉద్గారం చేయుటం. కనుక ఈ పద్ధతి పరావర్తనం నుండి వేరుగా ఉంటుంది. పరిక్షేపిత కాంతి, పరావర్తన నియమాలను పాటించదు. ఇక్కడ గమనించాల్సిన ముఖ్య విషయం కణపరిమాణం పతన కాంతి తరంగధైర్ఘ్యం కన్నా తక్కువగా ఉండాలి. ఎక్కువ పరిమాణం కల కణం అన్ని తరంగధైర్ఘ్యాలను సమానంగా పరిక్షేపణం చేస్తుంది. పరిక్షేపిత కాంతి తీవ్రతను రాలీస్ పరిక్షేపణ నియమం ఇస్తుంది. ఈ నియమం ప్రకారం **పరిక్షేపిత కాంతి తీవ్రత, తరంగ ధైర్ఘ్యం నాల్గవ ఘాతానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది.**

$$I \alpha \frac{1}{\lambda^4}$$

ఇక్కడ I పరిక్షేపిత కాంతి తీవ్రత, λ తరంగధైర్ఘ్యం అంటే పరిక్షేపణ కణం మీద తెల్లని కాంతి పతనమైనపుడు నీలరంగు ఎక్కువగా ఎరుపురంగు తక్కువగా పరిక్షేపణం చెందుతాయి.

ఉదాహరణ 16.4

చిమ్నిపొగలోని సన్నని పొర మీద సూర్యకాంతి పడినపుడు పరిక్షేపిత పుంజం 3934Å, 5890Å మరియు 6867Å తరంగధైర్ఘ్యాలను కలిగి ఉంది. వీటిలో ఏది ఎక్కువ తీవ్రతతో పరిక్షేపణం చెందింది.

సాధన : పరిక్షేపిత కాంతి తీవ్రత $I \alpha \frac{1}{\lambda^4}$ కనుక మూడు తరంగాలలో 3934Å తక్కువ తరంగధైర్ఘ్యం కనుక అది ఎక్కువ తీవ్రతతో పరిక్షేపణం చెందుతుంది.

ఆకాశం నీలంగా, మేఘాలు తెల్లగా, సూర్యోదయ. సూర్యాస్తమయాల్లో సూర్యుడు ఎర్రగా కనిపించడానికి కాంతి పరిక్షేపణం ద్వారా వివరించవచ్చు.

సి.వి. రామన్ (1888-1970)

నేటివరకు చంద్రశేఖర్ వెంకటరామన్ మాత్రమే భౌతిక శాస్త్రంలో నోబుల్ బహుమతి (1930) తీసుకున్న భారతీయ పౌరుడు. అతనికి భౌతిక శాస్త్రం మీద ఉన్న ఇష్టంతో భారతీయ ఆర్థికశాఖలో చేసే ఉద్యోగానికి రాజీనామా చేసి కలకత్తా విశ్వవద్యాలయంలో భౌతికశాస్త్ర విభాగంలో ఆచార్య పదవిని స్వీకరించాడు. పరిక్షేపణంలో రామన్ ఫలితం, కాంతి అణువివర్తనం, వంగిన తీగల యాంత్రిక సిద్ధాంతం, ని- కిరణ వివర్తనం, సంగీత వాయిద్యాల సిద్ధాంతం, స్ఫటికశాస్త్రంలు ఆయన యొక్క ముఖ్య పరిశోధనాంశాలు. ఇండియన్ ఇనిస్టిట్యూట్ ఆఫ్ సైన్సు, బెంగుళూరు. IIS (Indian Institute of Science, Bangalore) అధ్యక్షుడిగా, రామన్ రీసెర్చ్ ఇనిస్టిట్యూట్ వ్యవస్థాపక అధ్యక్షుడిగా శాస్త్ర సాంకేతిక ఉన్నతికి దృఢమైన పునాది వేశాడు.

(A) నీలాకాశం

వాతావరణంలో ఉన్న గాలి అణువులు, నీటి బిందువులు లేదా ధూళికణాల వల్ల కాంతి పరిక్షేపణాన్ని రాలీస్ నియమంతో వివరించవచ్చునని మనకు తెలుసు. ఎక్కువ తరంగధైర్ఘ్యాల కన్నా, తక్కువ తరంగధైర్ఘ్యాలు ఎక్కువ పరిక్షేపణం చెందుతాయి. నీలి కాంతి తరంగధైర్ఘ్యం ఎరుపు రంగు కాంతి తరంగధైర్ఘ్యం కన్నా సుమారుగా 0.7 రెట్లు ఎక్కువగా ఉండటం వలన ఇది ఆరు రెట్లు ఎక్కువ పరిక్షేపణం చెందుతుంది. తక్కువ తరంగ ధైర్ఘ్యాలైన ఊదా, నీలం, ఆకుపచ్చ రంగుల్లో పరిక్షేపణం ఎక్కువగా ఉంటుంది. మరింత పరిక్షేపణం చెందిన తరువాత మనకన్ను నీలం, దాని పక్క తరంగధైర్ఘ్యాలకు ప్రతిస్పందించినంతగా ఊదారంగుకు ప్రతిస్పందించదు. అందువల్ల ఊదారంగు కాంతి పరిశీలకుడి కన్నును చేరదు. కనుక దూరం నుండి మనం ఆకాశంను చూసినపుడు అది నీలంరంగులో కనబడుతుంది.

ఉదాహరణ 16.5 ఎక్కువ ఎత్తులో ఎగురుతున్న రోదసినౌకలోని ఖగోళ శాస్త్రజ్ఞుడికి ఆకాశం ఏ రంగులో కనిపిస్తుంది.

సాధన :

ఎక్కువ ఎత్తులో ధూళి కణాలు, గాలి అణువులు ఉండవు కనుక సూర్యకాంతి పరిక్షేపణం చెందదు. అందువల్ల ఆకాశం నల్లగా కనిపిస్తుంది.

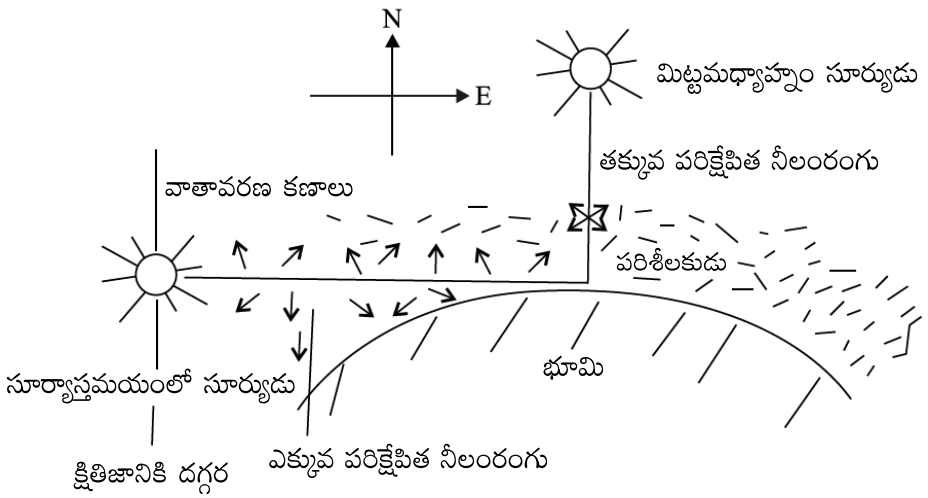
(B) తెల్లని మేఘాలు

చిన్న చిన్న నీటి బిందువుల సమూహం మేఘాలుగా ఏర్పడతాయి. ఆ నీటి బిందువుల పరిమాణం దృశ్యకాంతి సరాసరి తరంగధైర్ఘ్యం (5000Å) కన్నా ఎక్కువగా ఉంటుంది. ఈ బిందువులు అన్ని తరంగధైర్ఘ్యాలను సమానతీవ్రతతో పరిక్షేపణం చేస్తాయి. ఫలిత పరిక్షేపిత కాంతి తెల్లగా ఉంటుంది. అందువల్ల మేఘాల పలుచని పొర తెల్లగా కనిపిస్తుంది. మరి సాంద్రతర మేఘాల మాటేమిటి?

(C) సూర్యోదయ, సూర్యాస్తమయ సమయాల్లో ఎర్రని సూర్యుడు.

మనం ఇపుడు సూర్యోదయ, సూర్యాస్తమయంల్లో సూర్యుడు ఎర్రగా కనిపించడానికి గల కారణం అర్థం చేసుకోగలం. ఉదయం, సాయంత్ర సమయాల్లో సూర్యుడు క్షితిజానికి దగ్గరగా ఉన్నపుడు వాతావరణంలో కాంతి చాలా దూరం ప్రయాణించవలసి ఉంటుంది. గాలి అణువులు, ధూళికణాల నుండి ఊదా, నీలం రంగు తరంగధైర్ఘ్యాలు సుమారుగా 90° కోణంతో పరిక్షేపణం చెందుతాయి. తక్కువ తరంగధైర్ఘ్యాలు లేకుండా, ఎక్కువ తరంగ ధైర్ఘ్యమైన ఎరుపురంగు పరిక్షేపిత సూర్యకాంతి పరిశీలకుడిని చేరుతుంది. (పటం 16.22) అందువల్ల మనకు సూర్యుడు ఎర్రగా కనిపిస్తాడు.

మిట్టమధ్యాహ్నం సూర్యుడు నడినెత్తిన ఉంటాడు. కనుక దానికి, పరిశీలకుడికి మధ్య దూరం తక్కువ. నీలంరంగు కూడా తక్కువగా పరిక్షేపితమవుతుంది. ఇది మధ్యాహ్నసమయంలో సూర్యుడు తెల్లగా కనిపించడానికి కారణం. నిజానికి క్రిమ్‌సన్ రంగు.



పటం 16.22 : సూర్యోదయ, సూర్యాస్తమయ సమయాల్లో ఎర్రని సూర్యుడు (పరిక్షేపణం చెందిన నీలం రంగు కిరణాలు)

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 16.6

1. దట్టమైన మేఘాలు నల్లగా ఎందుకు కనిపిస్తాయి.
2. వర్షం కురిసిన తరువాత నిర్మలమైన ఆకాశం ఎందుకు ముదురు నీలంలో కనిపిస్తుంది.
3. సూర్యోదయ, సూర్యాస్తమయాల్లో సూర్యుడు ఎర్రగా కనిపించడాన్ని మీరేదైనా ప్రయోగం ద్వారా ప్రదర్శించగలరా?
4. ఉపగ్రహం నుండి తీసిన ఫోటోగ్రాఫ్‌లలో ఆకాశం నల్లగా ఉంటుంది ఎందుకు?

ఉంటుంది. $\left(I \alpha \frac{1}{\lambda^4}\right)$. దీనిని ర్యాలీ నియమం అంటారు. అంటే నీలం రంగు ఎరుపు రంగు కన్నా ఎక్కువగా విక్షేపణం చెందుతుంది.

ముగింపు అభ్యాసం

1. కాంతి స్వభావాన్ని తెలిపే సిద్ధాంతాలను క్లుప్తంగా వివరించండి?
2. తరంగాగ్రమనగా నేమి? సాహచర్య తరంగాగ్ర పరంగా కాంతి పుంజం దిశ ఏమిటి? హైగన్స్ సూత్రాన్ని తెలిపి కాంతి తరంగ ప్రసరణను వివరించండి?
3. హైగన్స్ తరంగ సిద్ధాంతం ప్రాతిపదికన పరావర్తన నియమాలను సాధించండి?
4. తరంగ అధ్యారోపణ సూత్రమనగా నేమి? కాంతి వ్యతికరణాన్ని వివరించండి?
5. వ్యతికరణంను పొందుటకు యంగ్ జంట చీలిక ప్రయోగాన్ని వర్ణించండి? వ్యతికరణ పట్టీల వెడల్పుకు సమాసాన్ని ఉత్పాదించండి?
6. యంగ్ జంట చీలికల ప్రయోగం ద్వారా పొందిన వ్యతికరణ వ్యూహం మార్పులు చేసినపుడు ఏ విధంగా మారుతుంది.
   (i) ఏదో ఒక చీలికను మూసి వేసారు.
   (ii) ప్రయోగాన్ని గాలిలో కాకుండా నీటిలో చేసారు.
   (iii) ఆకుపచ్చని కాంతి జనక స్థానానికి బదులు పసుపురంగు కాంతి జనకస్థానాన్ని ఉపయోగించారు.
   (iv) రెండు చీలికల మధ్య దూరాన్ని నెమ్మదిగా పెంచారు.
   (v) ఏక వర్ణ కాంతికి బదులుగా తెల్లని కాంతిని ఉపయోగించారు.
   (vi) చీలికల, తెర మధ్య దూరాన్ని పెంచారు.
   (vii) రెండు చీలికలను కొద్దిగా దగ్గరకు జరిపారు.
   (viii) ప్రతీ చీలిక వెడల్పు పెంచారు.
7. యంగ్ జంట చీలికల ప్రయోగ అమరికలో రెండు చీలికల మధ్యదూరం 2 mm చీలికలు, తెరమధ్య దూరం 100 cm. చీలకల మధ్య బిందువు నుండి పోయేరేఖ, తెరను తాకిన బిందువు నుండి తైరమీద 5 cm దూరంలో ఉన్న బిందువును చేరే తరంగాల మధ్య పథభేదాన్ని గణించండి?
8. హైగన్స్ నిర్మాణం సహాయంతో వివర్తన దృగ్విషయాన్ని వర్ణించండి?
9. కాంతి తరంగాలు తిర్యక్ స్వభావాన్ని కలిగి ఉన్నాయని నువ్వు ఎలా నిరూపిస్తావు?
10. ధృవిత, అధృవిత కాంతులను పోల్చండి?
11. బ్రూస్టర్ నియమాన్ని తెలిపి, వివరించండి?

12. యానక ధృవణకోణం 60° వక్రీభవన గుణకాన్ని గణించండి?

13. వక్రీభవన గుణకం 1.42 గల యానకానికి, పతన అధృవిత కాంతి ధృవణకోణాన్ని కనుక్కోండి?

14. పట్టకానికి, $i + e = A + \delta$ అని చూపండి.

15. స్వల్పకోణ పట్టకం లేక అధికకోణ పట్టకాలలో దేనిని విక్షేపణానికి ఉపయోగిస్తావు. ఎందుకు?

16. ఏ నియమం వద్ద పట్టకమేర్పరచే విచలనం వక్రీభవన గుణకానికి అనులోమాను పాతంలో ఉంటుంది.

17. లోతైన సముద్రాలలో సముద్రపు నీరు ఎందుకు నీలంగా కనిపిస్తుంది.

18. పట్టక కోణం 60° గల గాజు పట్టకం కనిష్ట విచలనకోణం 39°. గాజు వక్రీభవన గుణకాన్ని కనుక్కోండి.

19. ఎరుపు, పసుపు, ఊదారంగులకు క్రౌన్ గాజు కలుగచేసిన విచలనాలు వరుసగా 2.84°, 3.28°, 3.72° గాజు పదార్థానికి విక్షేపక సామర్థ్యంను కనుక్కోండి.

20. కింద ఇచ్చిన దత్తాంశంతో విక్షేపక సామర్థ్యాన్ని కనుక్కోండి.

    $\mu_C = 1.6444$, $\mu_D = 1.6520$, $\mu_F = 1.6637$, ఇక్కడ C, D & F లు ఫ్రాన్‌హాఫర్ రేఖల వ్యవహార నామాలు.

21. రెండు పట్టకాలు వాటి ఆధారాలు ఒకదానికొకటి అతికినట్టుగా అమర్చినపుడు ఒక కటకంను చూడవచ్చు. ఈ కటకాన్ని ఉపయోగించి విక్షేపణంను చూడగలమా? మీ సమాధానాన్ని సమర్థించండి.

22. మానవుని కంటిలో కుంభాకార కటకముంటుంది. మనం పరికరం సహాయం లేకుండా విక్షేపణం చూడవచ్చా.

పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

16.1

1. ఒక దానికొకటి లంబంగా ఉంటాయి ($\theta = \pi/2$)
2. ½

16.2

1. తరంగకంపన పరిమితి మీద, రెండింటి మధ్య దశాభేదం మీద ఆధారపడుతుంది.
2. రెండు అధ్యారోపణ పుంజాల మధ్య దశాభేదం 2π కు పూర్ణాంక గుణిజలైతే, నిర్మాణాత్మక వ్యతికరణం జరుగుతుంది.
3. చెయ్యలేము. రెండు స్వతంత్ర కాంతి జనకాలు వేరువేరు తరంగ దైర్ఘ్యాలు, కంపన పరిమితి గల తరంగాలను వెలువరిస్తాయి. ఆ రెండు కాంతి జనకాల నుండి వచ్చే తరంగాలు స్థిరమైన దశాభేదంను కలిగి ఉండవు. అటువంటి కాంతిజనకాలను అసంబద్ధ కాంతి జనకాలు అంటారు. వ్యతికరణంను పరిశీలించడానికి కాంతి జనకాలు తప్పనిసరిగా సంబద్ధతను కలిగి ఉండాలి. అసంబద్ధ కాంతి జనకాల నుండి కాంతి తరంగాలు వస్తున్నపుడు తెరపై ఒక బిందువు వద్ద ఒకక్షణంలో రెండు తరంగాల

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- హైగన్స్ తరంగ సిద్ధాంతం ప్రకారం కాంతి తరంగాగ్రాల రూపంలో ప్రయాణిస్తుంది.
- ఏదేని ఒకక్షణమందు ఒకే దశలో కంపిస్తున్న యానకంలోని కణాల బిందుపథంను తరంగాగ్రం అంటారు.
- రెండు కాంతి జనకస్థానాలు వెలువరించే కాంతి తరంగాలు ఒకే పౌనఃపున్యం, ఒకే కంపన పరిమితితో ఒకే పథం వెంబడి ప్రయాణిస్తూ స్థిరమైన దశాభేదాన్ని కలిగి ఉంటే ఆ తరంగాలు సంబద్ధతను కలిగి ఉన్నాయని అంటారు.
- రెండు సంబద్ధ కాంతిజనకాల నుండి వచ్చే తరంగాలు అధ్యారోపణం చెందినపుడు వివిధ బిందువుల వద్ద శక్తి పునర్వితరణ జరుగుతుంది. దీనిని కాంతివ్యతికరణం అంటారు.
- నిర్మాణత్మక వ్యతికరణానికి దశాభేదం $\delta = 2n\ \pi$, వినాశాత్మక వ్యతికరణానికి దశాభేదం $\delta = (2n + 1)\ \pi$.
- అవరోధం లేదా కంత అంచుల వద్ద కాంతి వంగి ప్రయాణించడాన్ని కాంతి వివర్తనం అంటారు.
- కాంతి కంపనాలు కాంతి ప్రసరణ దిశను కలిగి ఉన్న ఒక ప్రత్యేక తలానికి బద్ధమై ఉంటే ఆ దృగ్విషయాన్ని కాంతి ధృవణం అంటారు.
- ఒకే తరంగ ధైర్ఘ్యం (రంగు) గల కాంతిని ఏకవర్ణకాంతి అని, ఎక్కువ తరంగధైర్ఘ్యంలు కలిగిన సూర్యకాంతిని బహువర్ణకాంతి అని అంటారు.
- కాంతి దృశా సాంద్రతరయానకం లోనికి ప్రవేశించినపుడు దాని అంశరంగులుగా విడిపోవడాన్ని విక్షేపణం అంటారు.
- విక్షేపితకాంతిని పొందటానికి పట్టకంను ఉపయోగిస్తారు. ఇది తెరమీద పడినపుడు వర్ణపటం ఏర్పడుతుంది.
- The angle of deviation is minimum if the angles of incidence and emergence become equal. In this situation, the beam is most intense for that colour.
- ఇచ్చిన రంగుకు పతన, బహిర్గత కోణాలు సమానమైనపుడు విచలనం కనిష్టమవుతుంది. ఈ పరిస్థితిలో పుంజం ఆ రంగుకు కాంతి వంతంగా ఉంటుంది. స్వల్ప కోణ పట్టకం విచలన కోణానికి, వక్రీభవన కోణానికి మధ్యగల సంబంధం $\delta = (\mu - 1)A$
- కనిష్ట విచలన కోణం నియమం పాటింపబడేటట్లు సూర్యకాంతి ఒక నిర్దిష్టకోణంతో వర్షపుబిందువు నుండి విక్షేపణం చెందినపుడు ఇంద్రధనస్సు ఏర్పడుతుంది.
- ఇంద్రధనస్సులు రెండు రకాలు 1. ప్రాథమిక 2. గౌణ. ప్రాథమిక ఇంద్రధనస్సు వెలుపలి రంగు ఎరుపు, లోపలి రంగు ఊదా. మిగతా రంగులన్నీ (VIBGYOR). క్రమంలో పై రెండు రంగుల మధ్య అమరి ఉంటాయి. ఈ రంగుల అమరిక గౌణ ఇంద్రధనుస్సులో వ్యతిరేకంగా ఉంటుంది.
- ఆకాశం నీలంగా, మేఘాలు తెల్లగా, సూర్యోదయ సూర్యాస్తమయాల్లో సూర్యుడు ఎర్రగా ఉండటానికి గల కారణం కాంతివిక్షేపణం. విక్షేపిత కాంతి తీవ్రత, తరంగధైర్ఘ్యం నాల్గవ ఘాతానికి విలోమానుపాతంలో

శృంగాలు లేదా రెండు ద్రోణులు అధ్యారోపణం వల్ల ఆ బిందువు ద్యుతిమయమవుతుంది. అదే బిందువు వద్ద మరియొక క్షణంలో ఒక కాంతి జనకం నుండి వచ్చే తరంగంలోని శృంగం, రెండవ తరంగంలోని ద్రోణితో అధ్యారోపణం చెందటం వల్ల ఆ బిందువు ద్యుతి హీనమవుతుంది. ఈ విధంగా S_1, S_2 ల స్థానంలో రెండు విద్యుత్ బల్బులను అమర్చినపుడు తెరమొత్తం ఏకరీతిగా ప్రకాశవంతమవుతుంది.

4. సంబద్ధ కాంతి జనకాలు

   (a) ఒకే పౌనఃపున్యం మరియు తరంగధైర్ఘ్యం

   (b) స్థిరమైన దశాభేదం కలిగిన

   (c) ఒకే కంపన పరిమితి మరియు ఆవర్తన కాలంతో తరంగాలను వెలువరిస్తాయి. అంతేకాక ఈ రెండు జనకాలు చాలా దగ్గరగా ఉంటాయి. మనకళ్ళకుపై లక్షణాలు లేవు.

16.3

1. అవును.
2. రెండు వేరు వేరు గౌణ జనక స్థానముల నుండి బహిర్గతమైన గౌణతరంగాల అధ్యారోపణం వల్ల వ్యతికరణం జరిగితే ఒకే తరంగాగ్రంలోని వేరు వేరు భాగాలనుండి వెలువడిన గౌణ తరంగాలు అధ్యారోపణం వల్ల వివర్తనం జరుగుతుంది.
3. తరంగికల మధ్య పెరుగుతున్న పథభేదం కారణంగా తీవ్రతలో భేదం ఉంటుంది.

16.4

1. అవును. అనుధైర్ఘ్య తరంగంలో కంపనదిశ, తరంగ ప్రసార దిశలోనే ఉంటుంది.
2. లేదు.
3. 90° or 270°
4. లేదు.

16.5

1. సాధారణ వాయువులలో వివిధ తరంగధైర్ఘ్యాలు గల దృగ్గోచర కాంతి తరంగవ్యాపన వేగం దాదాపు సమానం. కనుక వాయువులు దృగ్గోచరకాంతిని విక్షేపణం చెందించవు. వాటి వక్రీభవనగుణకం 1కి దగ్గరగా ఉంటుంది.
2. ఊదారంగు, దృశ్యసాంద్రతర యానకంలో $\lambda_r > \lambda_v$ కనుక ఎరుపురంగు కాంతి వేగం, ఊదా రంగు కాంతి వేగం కన్నా ఎక్కువ.
3. అవును
4. $\mu = \dfrac{\sin 60°}{\sin 30°} = \sqrt{3} = 1.732$

16.6

1. అది సూర్యకాంతిని శోషణం చేసుకుంటుంది.
2. వర్షం పడిన తరువాత వాతావరణం, ధూళికణాలు, పెద్ద నీటికణాలు లేక నిర్మలంగా ఉంటుంది. ఇప్పుడు పరిక్షేపణం ర్యాలీ నియమం ప్రకారం జరుగుతుంది
3. గుండ్రటి అడుగుభాగం గల ఫ్లాస్కులో సోడియం థయోసల్ఫేట్ ద్రావణం తీసుకొని దానికి కొద్ది పరిమాణంలో సల్ఫూరిక్ ఆమ్లం కలపాలి. ఎక్కువ సామర్థ్యం కల బల్బుతో ఈ ద్రావణాన్ని ప్రకాశింపజేసినపుడు సూర్యోదయ సూర్యాస్తమయాల్లో మనం చూసే దృశ్యం లాంటిదే మనకు కన్పిస్తుంది.
4. ఎక్కువ ఎత్తులో కాంతి పరిక్షేపణంకు కావలసిన కణాలు ఉండవు కనుక ఆకాశం నల్లగా కనిపిస్తుంది.

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

7. 0.1 mm

12. 1.73

13. 54°

18. 1.5

19. 0.27

20. 0.03

17

విద్యుత్ ఆవేశం మరియు విద్యుత్‌క్షేత్రం

పరిచయం

ఇప్పటి వరకు మీరు యాంత్రిక, ఉష్ణ మరియు దృశా వ్యవస్థల గురించి, అవి చూపించే వివిధ దృగ్విషయములను చదువుకున్నారు. మన నిత్యజీవితంలో విద్యుత్తు యొక్క ప్రాముఖ్యత గురించి కూడా మనకు తెలుసు. ప్రతినిత్యం మనం వాడే వివిధ పరికరాలన్నీ విద్యుత్తు శక్తి లభ్యత పైన ఆధారపడి యున్నవి. విద్యుత్తు మరియు అయస్కాంత దృగ్విషయాలపై మనం ఎంతగా ఆధారపడి యున్నామో విద్యుత్తు శక్తి సరఫరా లేనప్పుడు తెలుస్తుంది. విద్యుత్తు శక్తి సరఫరా ఆగిపోయినపుడు, విద్యుత్తు దీపాలు వెలగవు, ఎండాకాలంలో కూలర్లు, ఎయిర్ కండీషనర్లు మరియు శీతాకాలంలో హీటర్లు, గీజర్లు పనిచేయక ఆగిపోతాయి. ఆలాగే రేడియో టీ.వి, కంపూటర్లు, మైక్రోవేవ్ ఓవెన్‌లు కూడా పనిచేయవు. మోటారు పంపులు పనిచేయక పోవడం వల్ల పొలంలో పంటలు పండించలేము. విద్యుత్తు శక్తి సరఫరా నిలిచిపోతే రైళ్ళ రాకపోకలకు కూడా అంతరాయం కలుగుతుంది. పరిశ్రమలలో యంత్రాలు పనిచేయవు. క్లుప్తంగా చెప్పాలంటే మన జీవనం నిశ్చలమైనట్లు అనిపిస్తుంది. ఒక్కోసారి ప్రజలు అసహనానికి గురవుతారు. కాబట్టి విద్యుత్తు మరియు అయస్కాంత దృగ్విషయాల గురించి తెలుసుకోవలసిన ప్రాముఖ్యత ఎంతైనా ఉంది.

ఈ పాఠ్యభాగములో మీరు రెండు రకాల విద్యుదావేశాల గురించి, వివిధ పరిస్థితులలో వాటి ప్రవర్తన, వాటి మధ్య పనిచేయు బలాల గురించి, వాటి చుట్టూ ఉన్న స్థల ప్రవర్తన గురించి తెలుసుకుంటారు. స్థూలంగా చెప్పాలంటే స్థిర విద్యుదావేశాల గురించి తెలియచెప్పే భౌతికశాస్త్ర శాఖను చదువబోతున్నాము. ఈ శాఖనే స్థిర విద్యుత్ అని అంటారు.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరువాత ఈ కింది విషయాలు తెలుసుకుంటారు.

- విద్యుదావేశాల ప్రాథమిక ధర్మాలను చెప్పడం
- విద్యుదావేశాల నిత్యత్వం మరియు క్వాంటీకరణ భావనలు వివరించడం
- విద్యుదావేశాల మధ్యగల బలాన్ని కూలూంబ్ నియమం ద్వారా వివరించడం
- స్థిర ఆవేశం వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రంను నిర్వచించడం, విద్యుత్ బలరేఖలు గీయడం
- విద్యుత్ ద్విధ్రువము (డైపోల్), ద్విధ్రువ భ్రామకము మరియు ద్విధ్రువము వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రాలను నిర్వచించడం

- గాస్ సిద్ధాంతమును నిర్వచించి, బిందు ఆవేశం వల్ల మరియు పొడవైన ఆవేశిత తీగ వల్ల కలిగే విద్యుత్ క్షేత్రంకు సమాసములు రాబట్టడం.

17.1 ఘర్షణ విద్యుత్తు (Frictional Electricity)

క్రీస్తు పూర్వం 600 సంవత్సరంలోనే ప్రాచీన గ్రీకు పండితులు విద్యుత్ మరియు అయస్కాంత దృగ్విషయాలను గమనించారు. అంబర్‌ను ఉన్నితో రుద్దినచో అది విద్యుదీకరణ చెంది చిన్న చిన్న గడ్డి పోచలను, బెండు ముక్కలను కాగితం ముక్కలను ఆకర్షిస్తుంది అనే విషయాన్ని గ్రీకు పండితులు కనుక్కున్నారు. గ్రీక్‌లో అంబర్‌ను "ఎలక్ట్రాన్" అంటారు కాబట్టి ఈ ప్రభావానికి ఎలక్ట్రిక్ అనే పేరు పెట్టారు. తెలుగులో దీనినే మనం విద్యుత్ అంటున్నాం.

ఆవేశాలు, వాటి మధ్య గల బలాల అస్తిత్వమును సరళమైన క్రియల చేత మీరు నిరూపణ చేయవచ్చు. పొడిజుట్టును దువ్వెనతో దువ్వుకున్న తరువాత దువ్వెన చిన్న చిన్న కాగితపు ముక్కలను ఆకర్షించడం మీరు గమనించే ఉంటారు. దీనికి కారణం మీకు తెలుసా? ఈ కింది ప్రయోగాల నుంచి ఆ కారణాన్ని అర్థం చేసుకుందాం.

కృత్యం 17.1

ఒక గట్టి రబ్బరు కడ్డీని తీసుకొని దానిని బొచ్చుతో లేదా ఉన్నితో రుద్దినపుడు అది ఆవేశిత మవుతుంది. తరువాత ఒక గాజుకడ్డీని తీసుకొని దానిని సిల్కుతో రుద్దాలి. ఈ రెండు కడ్డీలను వేరువేరుగా అలోహదారములతో పటం 17.1లో చూపిన విధంగా వేలాడదీయాలి.

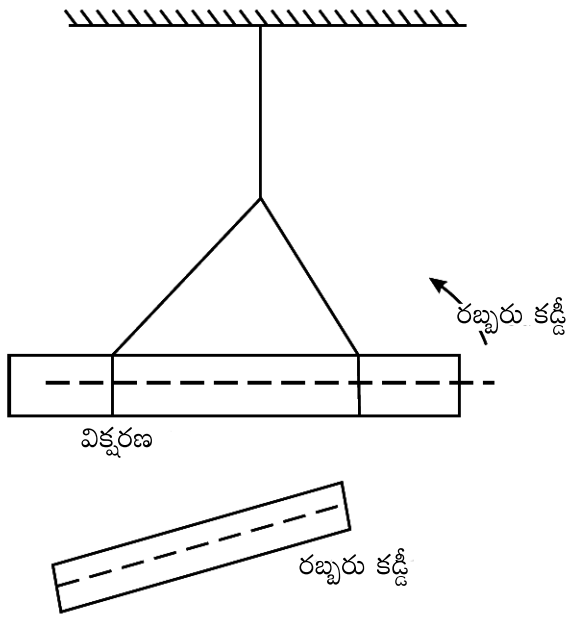


Fig. 17.1 : Force of attraction

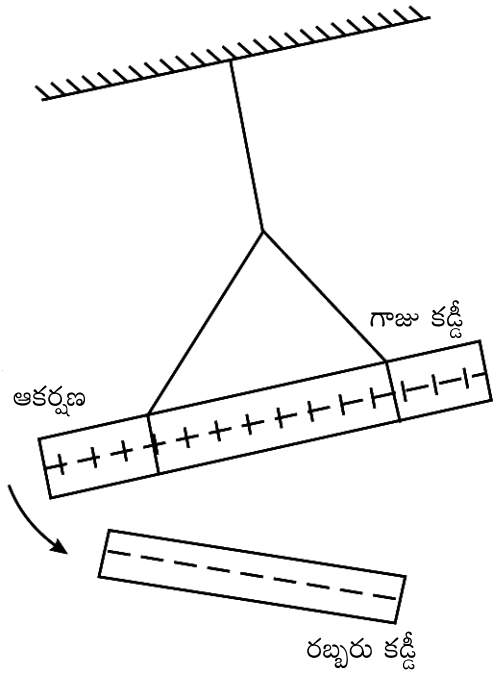


Fig. 17.2 : Force of repulsion

పటం 17.1: ఆవేశాల మధ్య గల ఆకర్షణ / వికర్షణ బలం : (ఎ) ఆవేశిత రబ్బరు కడ్డీ మరొక ఆవేశిత రబ్బరు కడ్డీని వికర్షించుట; సజాతి ఆవేశాలు ఒకదానినొకటి వికర్షించుకుంటాయి; మరియు (బి) ఆవేశిత గాజు కడ్డీ ఆవేశిత రబ్బరు కడ్డీని ఆకర్షించుట; విజాతి ఆవేశాలు ఆకర్షించుకుంటాయి.

ఇపుడు ఉన్నితో రుద్దబడిన రబ్బరు కడ్డీని వేలాడదీసిన కడ్డీల వద్దకు ఒకదాని తరువాత ఒకదాని దగ్గరకు తీసుకురావాలి. అపుడు మీరు ఏమి గమనిస్తారంటే

- ఆవేశితం చెందిన రబ్బరు కడ్డీని వేలాడదీసిన ఆవేశిత రబ్బరు కడ్డీ దగ్గరకు తెచ్చినపుడు అవి వికర్షించుకుంటాయి. (పటం 7.1(a)).
- ఆవేశితం చెందిన రబ్బరు కడ్డీని వేలాడదీసిన ఆవేశిత గాజుకడ్డీ దగ్గరకు తెచ్చినపుడు అవి ఆకర్షించుకొంటాయి. (పటం 17.2(b))

పై ప్రయోగంలో ఆవేశిత గాజు కడ్డీని తీసుకురావడం ద్వారా ఇటువంటి ఫలితాలనే పొందవచ్చు.

పై ఫలితాల ద్వారా,

- అలాగే ఉన్నితో రుద్దినపుడు ఆవేశితమైన రెండు రబ్బరు కడ్డీలను దగ్గరగా చేర్చిన అవి వికర్షించుకుంటాయని, కాని ఆవేశితమైన రబ్బరు కడ్డీని సిల్కుతో రుద్దిన గాజుకడ్డీ ఆకర్షిస్తుందని చెప్పవచ్చు.
- సిల్కుతో రుద్దినపుడు ఆవేశితమైన రెండు గాజుకడ్డీలను దగ్గరగా చేర్చిన అవి వికర్షించుకుంటాయని, కాని ఆవేశితమైన గాజు కడ్డీ ఉన్నితో రుద్దిన రబ్బరు కడ్డీ ఆకర్షించుకుంటాయని

కావున గాజు కడ్డీపై గల ఆవేశానికి, రబ్బరు కడ్డీపై గల ఆవేశానికి తేడా ఉంది. రెండు రకాల విద్యుదావేశాలు ఉంటాయనే భావనను బెంజిమన్ ఫ్రాంక్లిన్ (1706–1790) సూచించాడు. గాజు కడ్డీపై గల ఆవేశాన్ని ధనావేశమని రబ్బరు కడ్డీపై గల ఆవేశాన్ని రుణావేశమని అంటారు. ఆ కాలం నుండి ఇదే సంజ్ఞ సంప్రదాయాలను పాటిస్తున్నాము. అలాగే **"సజాతి ఆవేశాలు వికర్షించుకుంటాయని, విజాతి ఆవేశాలు ఆకర్షించుకుంటాయని"** సూత్రీకరించవచ్చు.

'ఘర్షణ' ద్వారా గాని, 'వహనం' ద్వారా గాని, ప్రేరణ ద్వారా గాని వస్తువులను ఆవేశితం చేయవచ్చు.

వహనం పద్ధతిలో ఆవేశపూరితమైన వస్తువును ఇంకొక వస్తువుతో తాకించిన రెండవ వస్తువు ఆవేశపూరితమవుతుంది.

ఆవేశపూరిత వస్తువు సమక్షంలో గల ఇంకొక వస్తువుపై ఆవేశాలేర్పడటాన్ని విద్యుత్ ప్రేరణ అంటారు. ఈ పద్ధతిలో వస్తువులను తాకకుండా విద్యుదీకరణం చేయవచ్చు.

ఆవేశ నిత్యత్వం

17.1 కృత్యములో గాజుకడ్డీని సిల్కుతో రుద్దినపుడు, గాజుకు ధనావేశం, సిల్కుకు రుణావేశం వస్తుంది. సాధారణ స్థితిలో ఈ రెండు పదార్థాలు తటస్థంగా ఉంటాయి. కాబట్టి గాజుపై ఉన్న ధనావేశ పరిమాణం సిల్కుపై ఉన్న రుణావేశ పరిమాణంకు సమానంగా ఉంటుంది. అంటే వ్యవస్థ (గాజు + సిల్కు) మొత్తము ఆవేశం స్థిరంగా ఉంటుంది. ఇది ఆవేశ నిత్యత్వ నియమానికి దారి తీసింది. ఆవేశాన్ని సృష్టించలేము, నశింప చేయలేము. ఇది వ్యవస్థలోని ఒక వస్తువు నుంచి మరొక వస్తువుకు బదిలీ మాత్రమే అయ్యింది. రెండు వస్తువులను రుద్దినపుడు, ఎలక్ట్రానులను కోల్పోయిన వస్తువుకు ధనావేశం, ఎలక్ట్రానులను గ్రహించిన వస్తువుకు రుణావేశం లభిస్తుంది. పదార్థము నుండి ఎలక్ట్రాను వెలువడేందుకు కొంత శక్తి కావాలి. ఘర్షణ వలన లభించే ఉష్ణ శక్తిని శోషణం చేసుకొని ఎలక్ట్రానులు బదిలీ అవుతాయి. గాజుకడ్డీని సిల్కుతో రుద్దినపుడు గాజు కడ్డీ నుంచి కొన్ని ఎలక్ట్రాన్లు సిల్కు మీదికి చేరతాయి. ఇలా

ఎలక్ట్రాన్లు బదిలీ కావడం వల్ల, గాజుకడ్డీ ధనావేశితం కావడమూ, సిల్కు రుణావేశితం కావడమూ జరుగుతుంది. రబ్బరు కడ్డీని బొచ్చుతో రుద్దినప్పుడు బొచ్చు నుంచి ఎలక్ట్రాన్లు రబ్బరు కడ్డీకి బదిలీ అవుతాయి. ఫలితంగా రబ్బరు కడ్డీ రుణావేశాన్ని మరియు బొచ్చు అంతే పరిమాణం గల ధనావేశాన్ని పొందుతాయి. ధన, రుణ ఆవేశాలు కాక మరొక ఆవేశాన్ని ఈ రోజు వరకు కనుక్కోలేదు.

ఆవేశ క్వాంటీకరణం

1909వ సంవత్సరంలో మిల్లికన్ (రాబర్టు మిల్లికన్ 1886–1953) ఏ ఆవేశిత వస్తువయినా సరే ఎలక్ట్రాను ఆవేశం (e) కి పూర్ణాంక గుణిజాలుగా ఉండే ఆవేశాన్ని మాత్రమే కలిగి ఉంటుంది అని ప్రయోగపూర్వకంగా రుజువు చేశారు. అనగా వస్తువు మీద ఆవేశం 'Q' అయితే, $Q = \pm Ne$ అని రాయవచ్చు. ఇక్కడ N ఒక పూర్ణాంకం మరియు లి, ఎలక్ట్రాను మీద ఆవేశ పరిమాణాన్ని సూచిస్తుంది. ఈ విధంగా లి యొక్క ప్రమాణాలలో ఆవేశం క్వాంటీకరణం అయింది. అంటే ఆవేశిత వస్తువు 2.5e లేదా 6.4e ఆవేశాన్ని కలిగి ఉండదు. కేంద్రక భౌతికశాస్త్రం నుండి ఎలక్ట్రానుపై గల ఆవేశం –e అని, ప్రోటాను పై గల ఆవేశం +e అని మీరు తెలుసుకుంటారు. న్యూట్రానుపై ఆవేశం ఉండదు. ప్రతి పరమాణువులో ప్రోటానుల సంఖ్య ఎలక్ట్రానుల సంఖ్యకు సమానంగా ఉంటుంది. అందుచేత పరమాణువు విద్యుత్ పరంగా తటస్థమైంది.

పై వివరణ ద్వారా ఈ కింది విషయాలను మీరు గమనించవచ్చు

- ప్రకృతిలో రెండు రకాల ఆవేశాలు మాత్రమే ఉన్నాయి. అవి ధనావేశం, రుణావేశం.
- ఆవేశం నిత్యత్వ నియమాన్ని పాటిస్తుంది.
- ఆవేశం క్వాంటీకరణం చెందుతుంది.
- ఆవేశాన్ని సృష్టించలేము. నాశనం చేయలేము కాని ఒక వస్తువు నుండి మరొక వస్తువుకు బదిలీ చేయగలము. ఆవేశం విలువ నిరంతరంగా ఉండదు. ఎలక్ట్రాన్ ఆవేశం విలువకు పూర్ణాంకం గుణిజాలు మాత్రమే సాధ్యం.

$Q = \pm Ne$

$Q_1 = 1 \times 1.6 \times 10^{-19} = 1.6 \times 10^{-19}$ C

$Q_2 = 2 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.2 \times 10^{-19}$ C

$Q_3 = 3 \times 1.6 \times 10^{-19} = 4.8 \times 10^{-19}$ C అలాగే మిగతవి

2×10^{-19} C లేదా 3×10^{-19} C లేదా 4×10^{-19} C లాంటి మధ్యంతర విలువలు సాధ్యంకావు.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 17.1

1. గాజు కడ్డీని సిల్కుగుడ్డతో రుద్దినపుడు ఏర్పడిన ఆవేశం $q = +3.2 \times 10^{-17}$ C.
   i) సిల్కు గుడ్డ కూడా ఆవేశితమవుతుందా ?
   ii) సిల్కు గుడ్డపై ఉన్న ఆవేశ స్వభావం ఏమిటి, దాని పరిమాణం ఎంత?

2. A, B లు రెండు సర్వసమానమైన లోహపు గోళాలు. A కు +Q ఆవేశాన్ని ఇచ్చి, రెండు గోళాలను కొంత సేపు తాకునట్లుగా ఉంచి తరువాత వేరు చేశారు.

   (i) B మీద ఆవేశం ఉంటుందా?

   (ii) A, B లు తాకునట్లుగా ఉన్నప్పుడు B ఆవేశితం చెందితే, B మీద ఉన్న ఆవేశ పరిమాణం ఎంత?

3. ఒక వస్తువు మీద ఆవేశం $q = 4.8 \times 10^{-16}$ C. వస్తువు మీద ఎన్ని ప్రమాణాల ప్రాథమిక ఆవేశాలు ఉన్నాయి. (Take $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C).

17.2 కులూంబ్ నియమం

రెండు స్థిర విద్యుదావేశాలు ఆకర్షణ లేదా వికర్షణ చెందుతాయని మీరు తెలుసుకున్నారు. విద్యుదావేశాల స్వభావాన్ని బట్టి వాటి మధ్య ఆకర్షణ బలం లేదా వికర్షణ బలం పని చేస్తుంది. 1785వ సంవత్సరంలో కూలూంబ్ అనే ఫ్రెంచి శాస్త్రవేత్త రెండు స్థిర విద్యుదావేశాల మధ్య పనిచేసే ఆకర్షణ లేదా వికర్షణ బలాలపై పరిశీలనలు చేసి వాటి ఆధారంగా ఒక సూత్రాన్ని ప్రతిపాదించారు. దానినే అతని పేరు మీద కూలూంబ్ నియమం అంటారు.

q_1 మరియు q_2 లు రెండు స్థిర బిందు ఆవేశాలు. వాటి మధ్య దూరం జీ అయిన, రెండు ఆవేశాల మధ్య గల బలం

– వాటి పరిమాణాల లబ్ధానికి అనులోమానుపాతంలోను q_1, q_2 ;

– వాటి మధ్యగల దూర వర్గానికి విలోమానుపాతంలోను, r

– రెండు ఆవేశాలను కలిపే సరళరేఖ దిశలో ఉండి,

– సజాతి ఆవేశాల మధ్య వికర్షణ బలంగాను, విజాతి ఆవేశాల మధ్య ఆకర్షణ బలంగాను పనిచేస్తుంది.

బలపరిమాణం F ను కింది విధంగా రాయవచ్చును.

$$F = k\,\frac{q_1 \times q_2}{r^2} \qquad (17.1)$$

k అనుపాత స్థిరాంకం. k విలువ రెండు ఆవేశాల మధ్య ఉండే యానకం మీద; q_1, q_2, r లు ఏ ప్రమాణాలలో చెబుతున్నామో ఆ ప్రమాణాల వ్యవస్థ మీద ఆధారపడి వుంటుంది. గాలి లేదా శూన్య యానకంలో

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{q_1 \times q_2}{r^2} \qquad (17.2)$$

ఇక్కడ అనుపాత స్థిరాంకం $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ ε_0 ని స్వేచ్ఛా అంతరాళం (గాలి లేక శూన్యం) యొక్క పెర్మిటివిటి అంటారు. గాలి కాక మరొక యానకంలో $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon}$ ε ని యానకం యొక్క పెర్మిటివిటి అంటారు. అపుడు బలం

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{q_1 \times q_2}{r^2}$$ గా రాయవచ్చు.

అంటే యానకంలో ఉన్న ఆవేశాల వ్యవస్థలో ఆవేశాలపై పని చేసే బలపరిమాణం, అదే వ్యవస్థ గాలి లేక శూన్యంలో ఉన్నప్పుడు పనిచేసే బలపరిమాణం రెండూ వేరువేరుగా వుంటాయి.

SI వ్యవస్థలో ఆవేశం ప్రమాణం కూలూంబ్ (C). కూలూంబ్‌ను విద్యుత్ ప్రవాహం ప్రమాణం ఆంపియర్‌తో నిర్వచించవచ్చు.

(దీని గురించి మీరు తరువాత తెలుసుకుంటారు)

SI వ్యవస్థలో గాలి లేదా శూన్యంలో k విలువ

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9 \ \frac{N\,m^2}{C^2} \qquad (17.3)$$

ఇక్కడ $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$.

ఒక కూలూంబ్ ఆవేశాన్ని ఈ విధంగా నిర్వచించవచ్చు. ఒక ఆవేశం శూన్య యానకంలో తన నుంచి ఒక మీటరు దూరంలో ఉన్న సర్వసమానమైన ఆవేశాన్ని 9×10^9 N బలంతో వికర్షిస్తే ఆ ఆవేశ పరిమాణాన్ని ఒక కూలూంబ్ అని అంటారు.

ఎలక్ట్రాను ఆవేశ విలువ $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C

- న్యూటన్ గురుత్వాకర్షణ నియమం మాదిరిగా కూలుంబ్ నియమం కూడా ఒక విలోమ వర్గ నియమే.
- కూలూంబ్ నియమం బిందు ఆవేశాలకు మాత్రమే వరిస్తుంది.
- యాంత్రిక బలంలా గాక, కూలూంబ్ బలం కొంత దూరము వద్ద పని చేస్తుంది.

ఒక కూలూంబ్ ఎంత పెద్దది?

విద్యుత్ ఆవేశం ప్రమాణం కూలూంబ్. కూలూంబ్ ఎంత పెద్దదో మీరెప్పుడైనా ఆలోచించారా? దీనిని తెలుసుకోవడానికి, ఒక కూలూంబ్ పరిమాణం గల రెండు ఆవేశాలు, ఒక దాని నుంచి మరొకటి ఒక మీటరు దూరంలో ఉంచిన, వాటి మధ్య గల బల పరిమాణం లెక్కించాలి.

$$|F| = k \times \frac{q_1 \times q_2}{r^2}$$

$$= 9.0 \times 10^9 \times \frac{1 \times 1}{1^2}$$

$$= 9.0 \times 10^9 \approx 10^{10}\ N$$

ప్రయాణికులతో నిండిన బస్సు ద్రవ్యరాశి 5000 kg అయితే ఆ బస్సు భారం, $mg = (5000 \times 10)$ N

$= 5 \times 10^4$ N.

($g \approx 10\ m\ s^{-2}$ అనుకుందాం).

ఢిల్లీలో అటువంటివి 10,000 బస్సులు వుంటే, అపుడు అన్ని బస్సుల మొత్తం భారం $5 \times 10^4 \times 10{,}000 = 5 \times 10^8$ N అవుతుంది. ఢిల్లీ మాదిరిగానే 10 పట్టణాలు, అదే బస్సుల సంఖ్యను కలిగిన ఆ బస్సుల మొత్తం భారం $5 \times 10^8 \times 10{,}000 = 5 \times 10^9$ N అవుతుంది. అంటే 1C పరిమాణం గల రెండు ఆవేశాలను ఒకదాని నుంచి మరొకటి 1 మీటరు దూరంలో ఉంచిన, వాటి మధ్య గల బలం, ప్రతి బస్సు 5000 kg భారం కలిగిన రెండు వందల వేల బస్సుల భారానికి సుమారుగా సమానంగా ఉంటుంది.

ఎన్ని ఎలక్ట్రాన్లు కలిస్తే ఒక కూలుంబ్ ఆవేశం అవుతుంది?

$$Q = 1\ C$$

$$n = ?$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$$

$$Q = ne$$

$$1C = n \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$n = \frac{1}{1.6 \times 10^{-19}} = \frac{1 \times 10^{19}}{1.6}$$

$$n = \frac{10}{1.6} \times 10^{18}$$

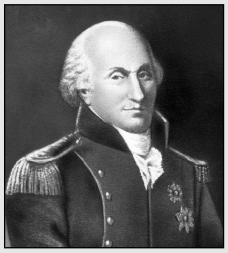
$$n = \frac{100}{16} \times 10^{18}$$

$$n = 6.25 \times 10^{18}$$

$$n = 625 \times 10^{16}$$ ఎలక్ట్రాన్లు

ఒక ఎలక్ట్రాన్‌పై ఆవేశం పెద్దదా? ఒక కూలుంబ్ పెద్దదా?

చార్లెస్ ఆగస్టిన్ డి కూలూంబ్ (1736-1806)



కూలూంబ్ ఫ్రెంచ్ శాస్త్రవేత్త. మిలటరీ ఇంజనీరుగా వెస్ట్ ఇండీస్‌లో పనిచేశారు. ఇతను విమోటన లోలకము కనుగొన్నాడు. ఆవేశాల మరియు అయస్కాంతాల మధ్య గల అన్యోన్య బలాల స్వభావమును నిర్ధారించుటకు దీనిని ఉపయోగించి ప్రయోగాలు చేశారు. ఈ ప్రయోగాల ఫలితాలను స్థిర విద్యుత్ మరియు స్థిర అయస్కాంతములో కూలూంబ్ నియమం రూపంలో ప్రతిపాదించాడు. ఈయన పేరు మీదుగా విద్యుత్ ఆవేశానికి SI ప్రమాణాన్ని కూలూంబ్ అన్నారు.

q_1, q_2 అనే రెండు బిందు ఆవేశాలను ఒకదాని నుంచి మరొకటి r దూరంలో గాలి (లేక శూన్యం)లో మరియు మరొక యానకంలో ఉంచినపుడు వాటి బలాల నిష్పత్తి $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ కు సమానం.

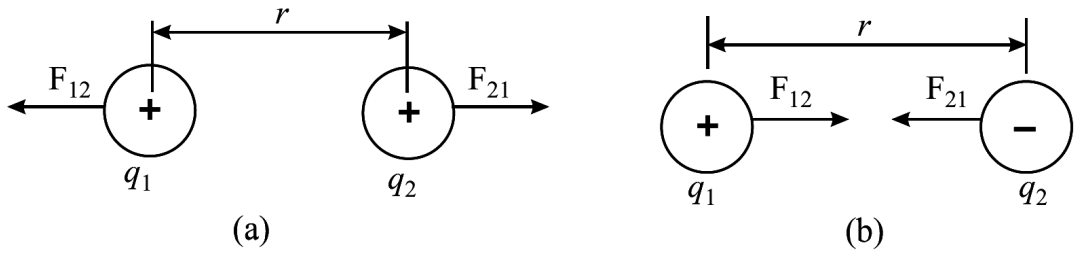
$$\frac{F_0\,(\text{గాలి లేక శూన్యంలలో})}{F\,(\text{యానకంలో})} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \varepsilon_r$$

ఇక్కడ ε_r ని యానకం యొక్క సాపేక్ష పెర్మిటివిటి లేదా రోధక స్థిరాంకం అంటారు. రోధక స్థిరాంకం విలువ ఎప్పుడూ ఒకటి కంటే ఎక్కువగా ఉంటుంది. రోధక స్థిరాంకం ను ఇంకొక విధంగా తరువాత మనం నిర్వచించుకుందాము.

కూలూంబ్ నియమం సదిశా రూపం

బలం సదిశ అని మనకు తెలుసు. కాబట్టి ఆవేశాల మధ్యగల బలాన్ని కూడా సదిశగా మనం వ్యక్తం చేయాలి. అంటే సమీకరణం (17.1)ను సదిశా రూపంలో రాయాలి. అది ఎలా రాయాలో ఇపుడు తెలుసుకుందాం.

q_1, q_2 అనే రెండు బిందు ఆవేశాల మధ్య దూరం r అనుకుందాం. (పటం 17.3). q_1 పై q_2 వల్ల పనిచేసే బలంను $\mathbf{F_{12}}$తో q_2 పై q_1 వల్ల పనిచేసే బలంను $\mathbf{F_{21}}$తో సూచిస్తామనుకుందాం. q_1 నుండి q_2 దిశలో ఉండే యూనిట్ సదిశను $\hat{\mathbf{r}}_{12}$ అనుకుందాం. అపుడు పటం 17.3(a) నుండి



పటం 15.3 : r దూరంలో ఉన్న రెండు బిందు ఆవేశాలు q_1 మరియు q_2 (a) రెండు ధనావేశాల మధ్య గల వికర్షణ బలం దిశ మరియు (b) ఒక ధనావేశం మరియు ఒక రుణావేశం మధ్య గల ఆకర్షణ బలం దిశ

$$\mathbf{F_{12}} = k\,\frac{q_1\,q_2}{\left|r_{12}^2\right|}\,\hat{\mathbf{r}}_{12} \qquad (17.4)$$

ఇదేవిధంగా పటం 17.3(b) నుంచి

$$\mathbf{F_{21}} = -k\,\frac{q_1\,q_2}{\left|r_{12}^2\right|}\,\hat{\mathbf{r}}_{12} \qquad (17.5)$$

అని రాయవచ్చు.

సమీకరణం (17.4) లోని ధన గుర్తు వికర్షణ బలాన్ని మరియు సమీకరణం (17.5) లోని రుణ గుర్తు ఆకర్షణ బలాన్ని సూచిస్తాయి. సమీకరణాలు (17.4) మరియు (17.5) నుంచి

$$\mathbf{F_{12}} = -\,\mathbf{F_{21}} \qquad (17.6)$$

అనగా స్థిర విద్యుదావేశాల మధ్య గల బలాలు న్యూటన్ మూడవ నియమాన్ని పాటిస్తాయన్నమాట.

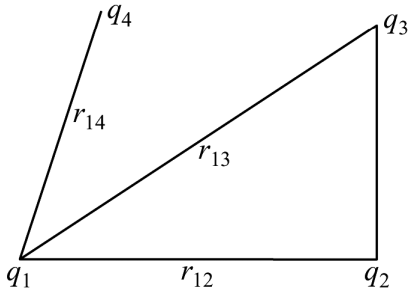
సామాన్యంగా విద్యుదావేశాల మధ్య గల బలాన్ని

$$\mathbf{F_{12}} = k \times \frac{q_1\,q_2}{r^2}\,\hat{\mathbf{r}}_{12} \qquad (17.7)$$

గా రాయవచ్చు.

అధ్యారోపణ నియమం

రెండు కంటే ఎక్కువ బిందు విద్యుదావేశాలు ఉన్నప్పుడు, ఏ రెండు ఆవేశాల మధ్యగల బలాన్నైనా మనం సమీకరణం (17.7) ను ఉపయోగించి కనుక్కోవచ్చు. ఇప్పుడు $q_1, q_2, q_3, q_4, \ldots\ldots$ మొదలైన విద్యుదావేశాల సమూహం ఉందనుకుందాం. (పటం 17.4).



పటం 17.4 : అధ్యారోపణ నియమం

సమీకరణం (17.7) నుండి, q_1 పై ఇతర ఆవేశాల వల్ల పనిచేసే బలంను రాయవచ్చు.

$$\mathbf{F_{12}} = k\,\frac{q_1\,q_2}{|r_{12}^2|}\,\hat{\mathbf{r}}_{12}$$

$$\mathbf{F_{13}} = k\,\frac{q_1\,q_3}{|r_{13}^2|}\,\hat{\mathbf{r}}_{13}$$

మరియు
$$\mathbf{F_{14}} = k\,\frac{q_1\,q_4}{|r_{14}^2|}\,\hat{\mathbf{r}}_{14} \qquad (17.8)$$

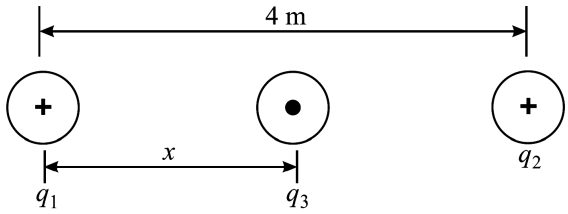
q_1 మీద పని చేసే ఫలిత బలం **F** విలువ మిగిలిన ఆవేశాలు కలిగించే బలాల సదిశా మొత్తానికి సమానం.

$$\mathbf{F} = \mathbf{F_{12}} + \mathbf{F_{13}} + \mathbf{F_{14}} + \ldots \qquad (17.9)$$

దీనినే అధ్యారోపణ సూత్రం లేదా నియమం అని అంటారు.

ఉదాహరణ 17.1

రెండు ఆవేశాలు $+q_1 = 12C$, $+q_2 = 6C$ లు పటం (17.5)లో చూపినట్లు 4.0 m దూరంలో ఉన్నాయి. q_1, q_2 లను కలిపే సరళరేఖపై q_3 అనే రుణావేశాన్ని ఎక్కడ ఉంచితే ఆ q_3 ఆవేశం ఏ బలానికీ గురికాదు?



పటం 17.5 : సరళరేఖ వెంబడి మూడు బిందు ఆదేశాలు q_1, q_2 మరియు q_3

సాధన :

q_3 రుణావేశాన్ని q_1, q_2 ల మధ్యలో q_1 నుంచి x దూరంలో ఉంచామనుకొందాం. (q_3 రుణావేశాన్ని q_1 కు ఎడమవైపున గాని, q_2 కు కుడివైపున గాని లేదా q_1, q_2 లకు మధ్యలో గాక మరే ఇతర స్థానంలో ఉంచినా ఫలిత బలం శూన్యం కాదు)

q_3 పై q_1 వల్ల పనిచేసే బలం

$$\mathbf{F}_{31} = k\,\frac{q_1\,q_3}{r_{31}^2}\,\hat{\mathbf{r}}_{31} \text{ దిశలో } q_1$$

$$\therefore \qquad |\mathbf{F}_{31}| = k\,\frac{q_3\,q_1}{x^2}$$

q_3 పై q_2 వల్ల పనిచేసే బలపరిమాణం

$$|\mathbf{F}_{32}| = k\,\frac{q_3\,q_2}{(4-x)^2} \text{ దిశలో } q_2$$

q_3 మీద ఫలిత బలం శూన్యం కావాలి అంటే, $\mathbf{F}_{31} = \mathbf{F}_{32}$. ఆవేశాల విలువలు ప్రతిక్షేపించిన,

$$k \times \frac{12q_3}{x^2} = k \times \frac{6q_3}{(4-x)^2}$$

$6q_3k$ రెండు వైపుల ఉన్నందున కొట్టివేయవచ్చు.

సూక్ష్మీకరించిన, $$\frac{2}{x^2} = \frac{1}{(4-x)^2}$$

లేదా $$2\,(4-x)^2 = x^2$$

$\Rightarrow$ $$x^2 - 16x + 32 = 0$$

దీన్ని సాధించిన $x = 2.35$ m మరియు $x = 13.65$ m విలువలు వస్తాయి. $x = 13.65$ m అయితే q_3 రుణావేశం, q_2 ను దాటిపోతుంది. కాని q_3 రుణావేశం q_1, q_2 ల మధ్య ఉండాలి. కాబట్టి q_3 రుణావేశాన్ని q_1 నుంచి 2.35మీ దూరంలో ఉంచాలి.

గుణాత్మకంగా ఈ పరిష్కారం సరి అయినది కూడా. q_1 ఆవేశం q_2 కంటే బలమైనది. కాబట్టి q_1, q_3 ల మధ్య దూరం, q_2, q_3 ల మధ్య దూరం కంటే ఎక్కువగా ఉండాలి.

ఉదాహరణ 17.2

ఒక్కొక్కటి 6.0×10^{-10} C విలువ గల రెండు ఆవేశాలు 2.0 m దూరంలో ఉన్నాయి. వాటి మధ్య గల కూలూంబ్ బలం పరిమాణం లెక్కించండి?

సాధన :

రెండు ఆవేశాల మధ్య గల కూలూంబ్ బల పరిమాణం సమీకరణం (17.2) నుండి రాయవచ్చు.

$$F = k\frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

దత్తాంశం ప్రకారం, $q_1 = q_2 = 6.0 \times 10^{-10}$C మరియు $r = 2.0$ m ఈ విలువలను ప్రతిక్షేపించిన,

$$F = \frac{(9\times10^9\ \mathrm{N\,m^2C^{-2}})\times(6.0\times10^{-10}\mathrm{C})^2}{2^2\ \mathrm{m}^2}$$

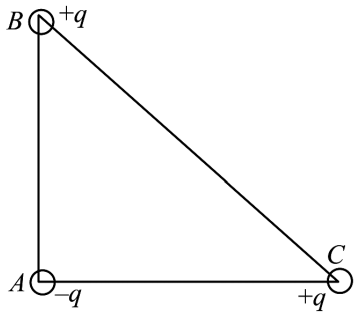
$$= \frac{9\times10^9 \times 36.0\times10^{-20}}{4}\ \mathrm{N}$$

$$= 81 \times 10^{-11}\ \mathrm{N}$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 17.2

1. రెండు ఆవేశాలు $q_1 = 16\mu C$ మరియు $q_2 = 9\mu C$, 12 m దూరంలో ఉన్నాయి. q_1 పై q_2 వల్ల పనిచేసే బలపరిమాణం మరియు దిశను నిర్ధారించండి. q_2 పై q_1 వల్ల పనిచేసే బలం ఏ దిశలో ఉంటుంది.

2. మూడు బిందు ఆవేశాలు – q, +q, +q లు వరసగా ఒక లంబకోణ త్రిభుజం మూడు శీర్షాల వద్ద పటం 17.2లో చూపినట్లు ఉన్నాయి. AB = AC అయిన – q పై పనిచేసే బల పరిమాణం మరియు దిశ కనుక్కోండి.



లంబకోణ త్రిభుజం మూడు శీర్షాల వద్ద ఉంచిన మూడు ఆవేశాలు.

17.3 విద్యుత్ క్షేత్రం

కొంతదూరంలో ఉంచిన రెండు ఆవేశాల మధ్య జరిగే అన్యోన్య చర్యలను వివరించడానికి ఫారడే విద్యుత్‌క్షేత్రం n H ûu ê e q q T ¢ ÿ ¥ ¤ ¤ ¶ { ² ¤ Á. ÿ ¿ £ _ + < ¾ e Ú e < ¾ – + ° q X Ë < ¢ ¶ < ¤ ¶ y ¤ ¤ q_0 మీద పని చేసే బలానికి **F**, శోధన ధనావేశ పరిమాణానికి గల నిష్పత్తిని, ఆ బిందువు వద్ద గల విద్యుత్ క్షేత్రం **E** అంటారు. గణిత శాస్త్ర ప్రకారం దీనిని మనం

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} \qquad (17.10)$$

గా రాయవచ్చు.

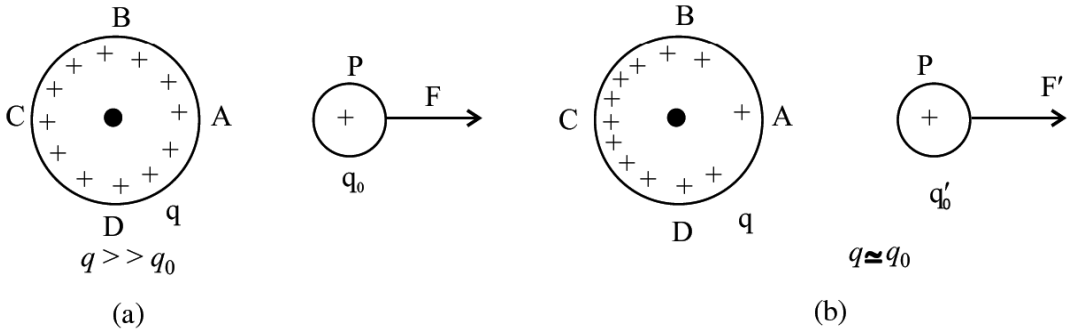
పై నిర్వచనము, గురుత్వ త్వరణం నిర్వచనము $\mathbf{g} = \mathbf{F}/m_0$ కు సాదృశ్యంను కలిగి ఉంది.

విద్యుత్‌క్షేత్రం **E** ఒక సదిశ రాశి. శోధన విద్యుత్ ఆవేశంపై బలం (**F**) ఏ దిశలో ఉంటుందో **E** కూడ అదే దిశలో ఉంటుంది. విద్యుత్‌క్షేత్రం బాహ్య ఆవేశం వల్లనే కాని శోధన ఆవేశం వల్ల కాదని గమనించాలి. కాబట్టి శోధన విద్యుదావేశం యొక్క పరిమాణం స్వల్పంగా ఉండాలి. లేకపోతే ఇది బాహ్య ఆవేశం వల్ల కలిగే విద్యుత్‌క్షేత్రాన్ని కలత పెడుతుంది. (కాని సాధారణంగా అతి స్వల్ప పరిమాణం కలిగిన శోధన ఆవేశం కూడా క్షేత్రాన్ని కలత పెడుతుంది). విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ఖచ్చితంగా నిర్వచించవలసి వచ్చినపుడు ఇలా చెపుతాం.

$$\mathbf{E} = \lim_{q_0 \to 0} \frac{\mathbf{F}}{q_0} \qquad (17.11)$$

SI వ్యవస్థలో బలప్రమాణం న్యూటన్ మరియు ఆవేశ ప్రమాణం కూలూంబ్. కాబట్టి సమీకరణం (17.10) ప్రకారం, SI వ్యవస్థలో విద్యుత్ క్షేత్ర ప్రమాణం న్యూటన్ / కూలూంబ్ (NC^{-1}). విద్యుత్ బలం **F** ఏదిశలో ఉంటుందో **E** కూడా అదే దిశలో ఉంటుంది. విద్యుత్ బలం వల్ల చర్య విద్యుత్ క్షేత్రం వల్ల జరుగుతుందని గమనించాలి.

శోధన ఆవేశం q_0 అనంతసూక్ష్మంగా (infinitesimally) ఎందుకుండాలో ఇపుడు పరిశీలిద్దాం. ఆవేశం q తో సమంగా ఆవేశితమైన లోహపు గోళాన్ని, శోధన ఆవేశం $q_0 (<< q)$ ను పటం 17.6(a) చూపిస్తుంది.



పటం 17.6 : (a) సమంగా ఆవేశితమైన లోహపు గోళం మరియు శోధన ఆవేశం. (b) గోళానికి దగ్గరగా మరొక ఆవేశాన్ని తెచ్చినపుడు, దానిపై ఆవేశం పునర్వితరణమవ్వడం.

అనగా A, B, C, D బిందువుల వద్ద ప్రమాణ వైశాల్యానికి గల ఆవేశ సాంద్రత సమంగా ఉంటుందని అర్థం. గోళంపై ఉన్న ఆవేశ సమూహాన్ని కలత చెందనీయకుండా, శోధనావేశం q_0 పై కొలిచిన బలం **F** ఉంటుంది. $q \simeq q_0$ అయిన స్థితిని పటం 17.6 (b) చూపిస్తుంది. ఈ సందర్భములో శోధనావేశం ఉపరితల ఆవేశసాంద్రతలో మార్పును కలిగిస్తుంది. ఫలితంగా శోధనావేశం q_0 పై గల బలం కూడా **F** నుంచి **F'** కు మారుతుంది. అనగా శోధనావేశం ఉన్నపుడు బలం ఒక రకంగా, లేనపుడు మరొక రకంగా ఉంటుంది. కాని q_0 లేనప్పుడు బలాన్ని కొలువలేము. q తో పోల్చినపుడు, q_0 అత్యల్పంగా ఉన్నట్లయితే గోళంపై ఉన్న ఆవేశ సమూహము తక్కువగా కలత చెందుతుంది. ఫలితంగా కొలిచిన విలువ, నిజవిలువకు అతి దగ్గరగా ఉంటుంది. అంటే **F'** విలువ **F** కు అతి దగ్గరగా ఉంటుంది. ఇపుడు మీకు శోధనావేశం ఎందుకు అనంతసూక్ష్మంగా ఉండాలో అర్థమయి ఉంటుంది.

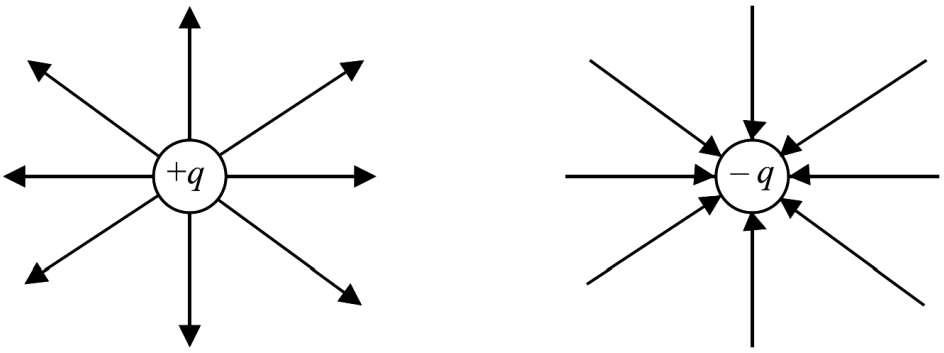
బిందు విద్యుదావేశం q నుండి r దూరంలో q_0 అనే శోధన ఆవేశం ఉందనుకుందాం. శోధనావేశం q_0 మీద పనిచేసే బలం

$$\mathbf{F} = k\frac{qq_0}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \qquad (17.12)$$

ఏ బిందువు వద్దనయినా, ఒక ఏకాంక ఆవేశం మీద పనిచేసే బలమే ఆ బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం అనే నిర్వచనం నుంచి

$$\mathbf{E} = k \times \frac{q}{r^2}\hat{\mathbf{r}} \qquad (17.13)$$

పటం 17.7లో చూపినట్లు q ధనావేశం అయినపుడు E దిశ q నుండి వెలుపలికి ఉంటుంది. q రుణావేశం అయితే E దిశ q వైపు ఉంటుంది.



పటం 17.7 : ధన మరియు రుణావేశాల వల్ల కలిగే విద్యుత్ క్షేత్ర దిశ.

అధ్యారోపణ నియమం విద్యుత్ క్షేత్రానికి కూడా అనువర్తిస్తుంది. $q_1, q_2, q_3, \ldots$, ఆవేశాలు ఉన్నట్లయితే, P బిందువు వద్ద ఈ విద్యుదావేశాల వల్ల వరసగా కలిగే విద్యుత్‌క్షేత్రాలు సమీకరణం (17.13) నుంచి రాయవచ్చు.

$$\mathbf{E_1} = k \times \frac{q_1}{r_1^2}\hat{\mathbf{r}}_1, \quad \mathbf{E_2} = k \times \frac{q_2}{r_2^2}\hat{\mathbf{r}}_2 \text{ మరియు } \mathbf{E_3} = k \times \frac{q_3}{r_3^2}\hat{\mathbf{r}}_3 \qquad (17.14)$$

ఈ విద్యుత్ క్షేత్రాలన్నింటిని సదిశ సంకలనం చేస్తే, P బిందువు వద్ద ఫలిత విద్యుత్ క్షేత్రం వస్తుంది. కాబట్టి

$$\mathbf{E} = \mathbf{E_1} + \mathbf{E_2} + \mathbf{E_3} + \ldots$$

లేదా

$$\mathbf{E} = k\sum_{i=1}^{N}\frac{q_i\,\hat{\mathbf{r}}_i}{r_i^2} \qquad (17.15)$$

ఇక్కడ P మరియు ఆవేశము q_i ల మధ్య దూరం $\hat{\mathbf{r}}_i$ అనేది ఆవేశం q_i నుండి P బిందువు వైపు గల యూనిట్ సదిశ. ఒక విద్యుత్‌క్షేత్రం **E** లో ఉన్న ఆవేశం q మీద పనిచేసే బలం

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} \qquad (17.16)$$

ఉదాహరణ 17.3

విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఒక బిందువు వద్ద బిందు ఆవేశాన్ని $q = 3.5\mu C$ ఉంచినపుడు దాని మీద 8.5×10^{-4} N బలం పనిచేసినది, విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రతను లెక్కించండి.

సాధన :

సమీకరణం (17.16) నుంచి

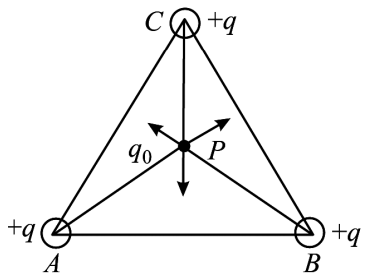
$$E = \frac{F}{q} = \frac{8.5 \times 10^{-4}\ N}{3.5 \times 10^{-6}\ C}$$

$$= 2.43 \times 10^2\ NC^{-1}$$

ఉదాహరణ 17.4

పటం 17.8 లో చూపినట్లు మూడు సమాన బిందు ధనావేశాలు సమ త్రిభుజం యొక్క శీర్షాల వద్ద ఉన్నాయి. త్రిభుజం కేంద్రాభం P వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని కనుక్కోండి.

సాధన : త్రిభుజం కేంద్రం P వద్ద ఒక శోధనావేశం q_0 ను ఉంచామనుకుందాం. ఈ ఆవేశంపై మూడు దిశలలో బలం పని చేస్తుంది. ఏ రెండు దిశలలోనైనా ఈ బలాల మధ్య కోణం సమానంగా ఉంటుంది. P వద్ద ఈ బలాల ఫలిత బలం శూన్యం. కాబట్టి P వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం శూన్యం అవుతుంది.



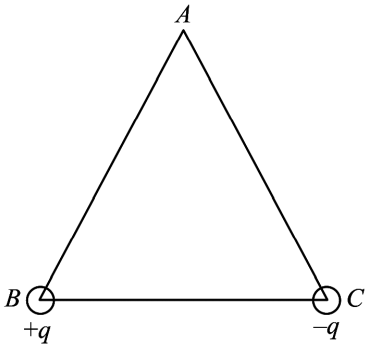
పటం 15.8 : సమత్రిభుజం మూడు శీర్షాల వద్ద గల సమాన ఆవేశాల వల్ల త్రిభుజం కేంద్రాభం వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం శూన్యం

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 17.3

1. + Q ఆవేశాన్ని జ్యామితీయ వ్యవస్థ మూలబిందువు వద్ద ఉంచారు. కింది సందర్భాలలో ఉంచిన P అనే బిందువు క్షేత్ర దిశను కనుగొనండి.

   (a) + x-అక్షం (b) + y-అక్షం (c) x = 4 ప్రమాణాలు మరియు (d) y = 4 ప్రమాణాలు

2. Δ ABC లో AB = AC = 40 cm మరియు A వద్ద కోణం 30°. పటం 17.9లో చూపినట్లు ఒక్కొక్కటి 2×10^{-6} C పరిమాణం కలిగి సంజ్ఞలు వ్యతిరేకంగా ఉన్న ఆవేశాలను B, C వద్ద వరసగా ఉంచారు. A వద్ద గల విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం, దిశను లెక్కించండి.



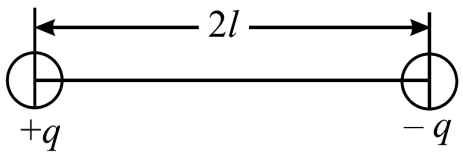
పటం 17.9

3. భూమివైపు పని చేసే విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉంచిన ఒక ఋణావేశం మీద పనిచేసే బలం ఏ దిశలో ఉంటుంది.

4. రెండు సర్వసమానమైన ఆవేశాలను సమతలంపై D దూరంలో ఉంచిన ఫలిత క్షేత్రం ఎక్కడ శూన్యం అవుతుంది.

విద్యుత్ డైపోల్ (ద్విధ్రువం) వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రం

సమాన పరిమాణాలు గల రెండు విజాతి విద్యుదావేశాలను స్వల్ప దూరంలో ఉంచిన అమరికను విద్యుత్ డైపోల్ అంటారు. ఉదాహరణ H_2O. పటం 17.10లో చూపినట్లుగా +q మరియు –q ఆవేశాల మధ్య దూరం $2l$ అనుకుందాం.



పటం 17.10 : సమాన పరిమాణాలు గల రెండు విజాతి ఆవేశాలను స్వల్ప దూరంలో ఉంచిన డైపోల్ (ద్విధ్రువం) ఏర్పడుతుంది.

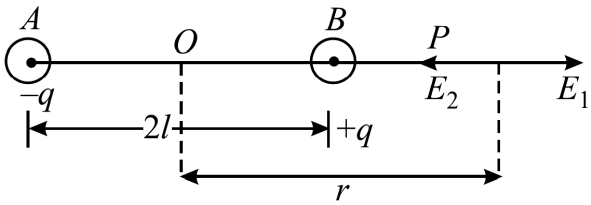
డైపోల్‌లోని ఆవేశాల ఒకదాని పరిమాణం మరియు ఆవేశాల మధ్య దూరంల లబ్ధాన్ని డైపోల్ భ్రామకం **P** అంటారు.

$$\mathbf{P} = q \times 2l \qquad (17.17)$$

SI పద్ధతిలో దీని ప్రమాణం కూలూంబ్–మీటరు డైపోల్ భ్రామకం ఒక సదిశరాశి. దీని పరిమాణాన్ని సమీకరణం (17.17) ఇస్తుంది. దిశను రుణావేశం నుంచి ధనావేశం దిశగా డైపోల్ అక్షం మీద తీసుకుంటాం. డైపోల్‌లోని ఆవేశాలను కలిపే రేఖను డైపోల్ అక్షం అంటారు. డైపోల్, డైపోల్ భ్రామకంలను నిర్వచించిన మనం ఇపుడు డైపోల్ వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రంను కనుక్కొందాం. ఈ కింది సందర్భాలలో విద్యుత్ క్షేత్రంను సులభంగా కనుక్కోవచ్చు.

మొదటి సందర్భము : *డైపోల్ (ద్విధ్రువం) అక్షంపై గల బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం :*

డైపోల్ అక్షీయ రేఖపై P బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రానికి సమాసము రాబట్టడానికి పటం 17.11ను చూడండి.



పటం 17.11 : డైపోల్ అక్షంపై గల బిందువు **P** వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం

దీనిని **end-on** స్థానం అంటారు. A, B బిందువుల వద్ద –q, +q అనే ఆవేశాలు $2l$ దూరంలో ఉన్నాయనుకుందాం. డైపోల్ AB మధ్య బిందువు O. దాని నుండి r దూరంలో P అనే బిందువు ఉందనుకుందాం. ఇపుడు P బిందువు వద్ద B వద్ద గల +q ఆవేశం వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రం.

$$\mathbf{E_1} = k \times \frac{q}{(r-l)^2}$$ ఇది AP దిశలో ఉంటుంది.

అలాగే P బిందువు వద్ద –q వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రం $\mathbf{E_2}$

$$\mathbf{E_2} = k \times \frac{q}{(r+l)^2}$$ ఇది PA దిశలో ఉంటుంది.

[$\mathbf{E_1}$, $\mathbf{E_2}$ కంటే ఎక్కువగా ఉన్నందున P వద్ద ఫలిత క్షేత్రం **E**, $\mathbf{E_1}$ దిశలో ఉంటుంది. $(r-l)$, $(r+l)$] కన్నా తక్కువ కాబట్టి]

$$\mathbf{E} = \frac{kq}{(r-l)^2} - \frac{kq}{(r+l)^2}$$

$$= kq\left[\frac{1}{(r-l)^2} - \frac{1}{(r+l)^2}\right]$$

$$= kq\left[\frac{(r+l)^2 - (r-l)^2}{(r^2-l^2)^2}\right]$$

$$= kq \times \frac{4lr}{(r^2-l^2)^2}$$

$$= k\frac{(2lq)2r}{(r^2-l^2)^2}$$

$$= k\,\frac{2\mathbf{P}r}{(r^2-l^2)^2}$$

ఇక్కడ డైపోల్ భ్రామకం $\mathbf{P} = 2lq$. $k = 1/4\pi\varepsilon_0$, కావున

$$\mathbf{E} = \frac{2\mathbf{P}}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{r}{r^4\left(1-l^2/r^2\right)^2}$$

$r >> l$, అయితే, $\frac{l^2}{r^2}$ విలువ l కంటే చాలా తక్కువగా ఉంటుంది. కాబట్టి పై సమీకరణంలో $\frac{l^2}{r^2}$ ను వదిలివేయవచ్చు. అపుడు విద్యుత్ క్షేత్రంను

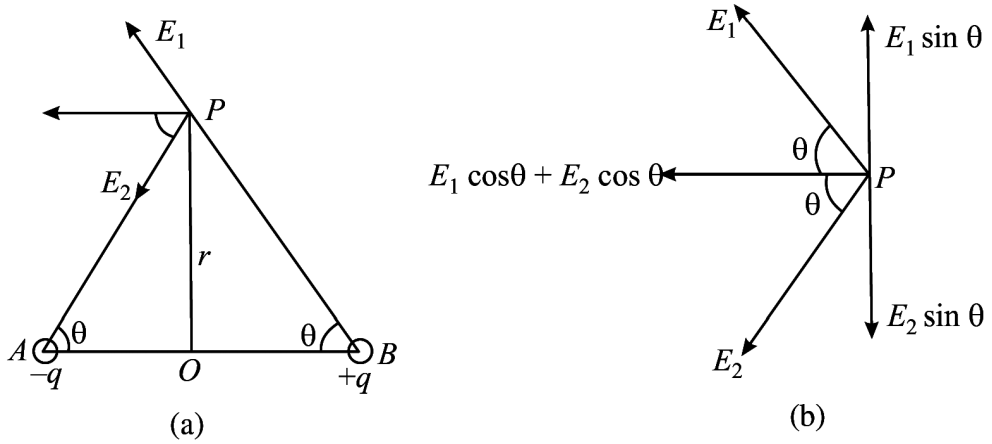
$$\mathbf{E} = \frac{2\mathbf{P}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \quad (17.18) \text{ గా రాయవచ్చు.} \qquad (17.18)$$

దీన్నిబట్టి విద్యుత్ క్షేత్రం **P** దిశలో ఉందని చెప్పవచ్చు. క్షేత్ర పరిమాణం డైపోల్ కేంద్రం మరియు బిందువుకు మధ్యగల దూర మూడవ ఘాతానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

రెండవ సందర్భము : *డైపోల్ మధ్యలంబ రేఖపై గల బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం (Broad-on స్థానం) :*

డైపోల్ మధ్య బిందువు O నుండి దాని మధ్యలంబ రేఖపైన జీ దూరంలో **P** బిందువు పటం 17.12లో చూపినట్లు ఉందనుకుందాం.

AB = 2*l*, OP = r మరియు AO = OB = *l* అని గమనించండి. పటం 17.12(a)లో θ కోణం చూపబడింది.



పటం 17.12 : (a) డైపోల్ మధ్యలంబ రేఖపై ఉన్న బిందువు చీ వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం, (b) క్షేత్రాన్ని అంశాలుగా విభజించడం

లంబకోణ త్రిభుజాలు ΔPAO మరియు ΔPBO నుండి

$$AP = BP = \sqrt{l^2 + r^2}$$

P బిందువు వద్ద +q ఆవేశం వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రం B

$$\mathbf{E_1} = k\,\frac{q}{l^2 + r^2} \text{ ఇది BP దిశలో ఉంటుంది.}$$

అలాగే P బిందువు వద్ద, –q ఆవేశం వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రం

$$\mathbf{E_2} = k\,\frac{q}{l^2 + r^2} \text{ ఇది PA దిశలో ఉంటుంది.}$$

పై సమీకరణాల నుండి $\mathbf{E}_1$, $\mathbf{E}_2$ ల పరిమాణాలు సమానం అనే విషయాన్ని గమనించవచ్చు.

AB కి సమాంతరంగా మరియు లంబంగా $\mathbf{E}_1$, $\mathbf{E}_2$ క్షేత్రాలను విభజనం చేశామనుకుందాం. AB కి సమాంతరంగా ఉన్న అంశాలు $\mathbf{E}_1 \cos\theta$ మరియు $\mathbf{E}_2 \cos\theta$. ఈ రెండూ ఒకే దిశలో ఉన్నాయి.

AB కి లంబంగా ఉన్న అంశాలు $\mathbf{E}_1 \sin\theta$ మరియు $\mathbf{E}_2 \sin\theta$. ఇవి పరిమాణంలో సమానంగా ఉండి, దిశలలో వ్యతిరేకంగా ఉండడం వల్ల **కొట్టుకొనిపోతాయి**. కాబట్టి P బిందువు వద్ద ఫలిత విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం [పటం 17.12 (b)]

$$E = E_1 \cos\theta + E_2 \cos\theta$$

$$= k\frac{q}{l^2+r^2}\cos\theta + k\frac{q}{l^2+r^2}\cos\theta$$

కాని $\cos\theta = \frac{1}{\sqrt{(l^2+r^2)}}$. పై ఫలితంలో ఈ సమీకరణంను ఉపయోగించిన P వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం

$$E = \frac{kq}{(l^2+r^2)} \times \frac{2l}{\sqrt{(l^2+r^2)}}$$

$$= k\frac{2lq}{(l^2+r^2)^{3/2}}$$

$$= k\frac{2lq}{r^3(1+l^2/r^2)^{3/2}}$$

కాని $\mathbf{P} = 2lq$ మరియు $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$. $r^2 >> l^2$ అయితే $\frac{l^2}{r^2}$ విలువను 1 తో పోల్చినపుడు వదిలి వేయవచ్చును. అపుడు

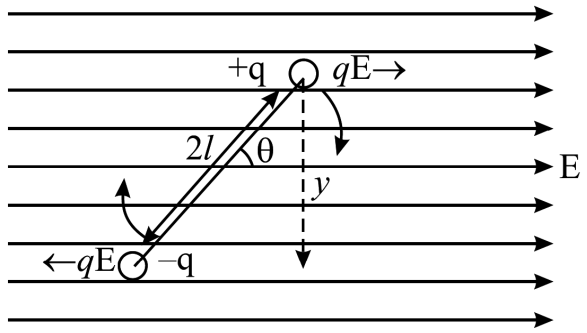
$$E = \frac{\mathbf{P}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \qquad (17.19)$$

డైపోల్ మధ్య లంబ రేఖపై P బిందువు వద్ద గల విద్యుత్ క్షేత్రం ఆ బిందువుకు మరియు ఆవేశాలను కలిపే రేఖకు మధ్యగల లంబ దూర మూడవ ఘాతానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది. సమీకరణాలు (17.18) మరియు (17.19) లను పోల్చినపుడు విద్యుత్ క్షేత్రం 'E' రెండు సందర్భాలలోను $\frac{1}{r^3}$ కు అనులోమానుపాతంలో ఉందని గమనించవచ్చు. కాని కొన్ని తేడాలు ఉన్నాయి.

- End - on స్థానంలో విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం, Broad - on స్థానంలోని దాని కంటే రెండు రెట్లు ఉంటుంది.
- End-on స్థానంలో విద్యుత్ క్షేత్రదిశ డైపోల్ భ్రామకం దిశలో ఉంటుంది. కాని Broad-on స్థానంలో అవి రెండూ వ్యతిరేక దిశలలో ఉంటాయి.

ఏక (సమ) రీతి విద్యుత్ క్షేత్రంలో డైపోల్

విద్యుత్ క్షేత్రం పరిమాణం, దిశలలో మారకుండా ఉంటే దానిని ఏకరీతి లేదా సమరీతి విద్యుత్‌క్షేత్రం అంటారు. ఆవేశిత సమాంతర ఫలక కండెన్సర్‌లో ఫలకల మధ్య ఇటువంటి క్షేత్రం ఏర్పడుతుంది. సమదూరంలో ఉన్న సమాంతర రేఖల ద్వారా దీన్ని పటం 17.13 లో చూపించాం.



పటం 17.13 : సమ విద్యుత్ క్షేత్రంలో డైపోల్. డైపోల్‌పై పనిచేసే బలాలు కలిసి ఒక బలయుగ్మమవుతుంది. ఈ బలయుగ్మం డైపోల్‌ను తిప్పడానికి ప్రయత్నిస్తుంది.

ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రంలో డైపోల్‌ను ఉంచినపుడు ఏ విధంగా ప్రవర్తిస్తుందో ఇపుడు తెలుసుకుందాం.

విద్యుత్‌క్షేత్రం x-అక్షం దిశలో ఉందనుకుందాం. క్షేత్రదిశతో డైపోల్ అక్షం θ కోణం చేస్తుందనుకుందాం. +q ఆవేశంపై $q\mathbf{E}$ అనే బలాన్ని +x దిశలోను, దానికి సమానమైన బలాన్ని – q ఆవేశంపై –x దిశలోను విద్యుత్ క్షేత్రం కలిగిస్తుంది. ఈ బలాలు రెండూ కలిసి ఒక బలయుగ్మమవుతుంది. బలయుగ్మంను ఏర్పరిచే రెండు బలాలు ఒకే బిందువు వద్ద పని చేయకూడదు. అవి కొంత దూరంలో ఒకే వస్తువపై పనిచేయాలి. బలాల మధ్య లంబదూరంను బలయ్మ భుజం అంటాం. ఈ బలయుగ్మం డైపోల్‌ని తిప్పి క్షేత్రదిశకు సమాంతరంగా నిశ్చలస్థితికి తీసుకురావడానికి ప్రయత్నిస్తుంది. బలయుగ్మ భ్రామకం లేదా టార్క్ పరిమాణం

$$\tau = \text{బలం} \times \text{బలయుగ్మంలో బలాల మధ్యగల లంబదూరం}$$
$$= qE \times y$$
$$= qE \times 2l \sin\theta$$
$$= pE \sin\theta$$

సదిశారూపంలో $$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{p} \times \mathbf{E} \qquad (17.20)$$

ఈ కింది విషయాలు గమనించండి.

– $\theta = 0$, అయినపుడు, బలయుగ్మ భ్రామకం సున్నా అవుతుంది.

– $\theta = 90°$, అయితే, డైపోల్‌పై బలయుగ్మ భ్రామకం గరిష్ఠంగా ఉండి pE కి సమానం అవుతుంది.

దీన్ని బట్టి విద్యుత్ క్షేత్రం డైపోల్‌ను తిప్పి క్షేత్రదిశకు సమాంతరంగా తీసుకురావడానికి ప్రయత్నిస్తుంది అని చెప్పవచ్చు.

ఉదాహరణ 17.5

విద్యుత్ డైపోల్‌లోని విద్యుదావేశాలు $+6.0 \times 10^{-6}$ C, -6.0×10^{-6} C. ఈ ఆవేశాల మధ్యదూరం 4×10^{-10} m. అయితే డైపోల్ భ్రామకంను కనుక్కోండి. ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రం $E = 3.0 \times 10^{2}$ NC^{-1} లో ఈ డైపోల్‌ను క్షేత్రదిశకు 30° ల కోణంలో ఉంచినపుడు దానిపై కలిగే బలయుగ్మ భ్రామకాన్ని కనుక్కోండి.

సాధన : డైపోల్ భ్రామకం $p = qd$

$$= (6.0 \times 10^{-6}C) \times (4.0 \times 10^{-10}\ m)$$

$$= 24 \times 10^{-16}\ Cm.$$

బలయుగ్మ భ్రామకం $\tau = pE \sin \theta$, కాబట్టి

$$\tau = (24 \times 10^{-16}\ Cm) \times 3.0 \times 10^{2}\ NC^{-1}) \sin 30°$$

$$= \frac{72}{2} \times 10^{-14}\ Nm$$

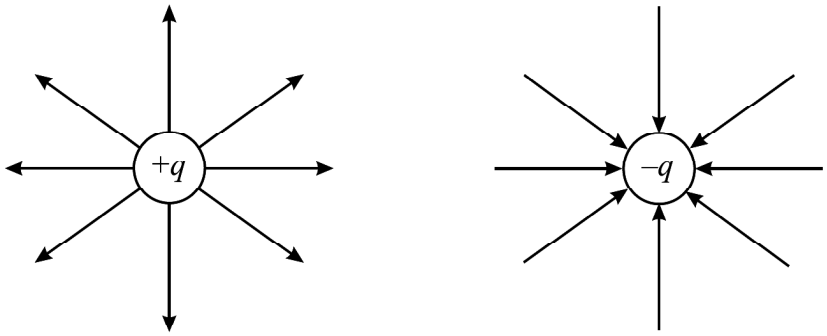
$$= 36 \times 10^{-14}\ Nm$$

ఏకరీతి కాని విద్యుత్ క్షేత్రంలో డైపోల్‌ను ఉంచినప్పుడు ఆవేశాలు $-q$, $+q$ లపై గల బలాలు సమానంగా ఉంటాయి. అటువంటి క్షేత్రం డైపోల్‌ను తిప్పి క్షేత్రదిశకు సమాంతరంగా తీసుకురావడానికి ప్రయత్నించడమే కాకుండా, క్షేత్రదిశలో డైపోల్‌కు స్థానభ్రష్టం కలిగిస్తుంది.

విద్యుత్ బల రేఖలు

విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని దృశాత్మకంగా తెలపటం కోసం మైకల్ ఫారడే విద్యుత్ బల రేఖలనే భావనను ప్రవేశ పెట్టాడు. విద్యుత్ క్షేత్రంలో బలరేఖల వ్యూహం విద్యుత్ క్షేత్ర దిశ మరియు పరిమాణానికి సంబంధించిన అవగాహన కోసం ఉపయోగపడుతుంది. బలరేఖలకు లంబంగా ఏకాంక వైశాల్యం గుండా పోయే రేఖల సంఖ్య, అక్కడ విద్యుక్షేత్ర తీవ్రత పరిమాణానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. **విద్యుత్ బలరేఖ మీద ఏ బిందువు వద్దనైనా గీచిన స్పర్శరేఖ ఆ బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర దిశను సూచిస్తుంది.**

ఈ బలరేఖలకు భౌతికమైన ఉనికి ఏదీలేదు. ఇవి కేవలం ఊహారేఖలు మాత్రమే అని గమనించాలి. కాని ఈ బలరేఖల నుంచి క్షేత్రంలో ఆవేశాల ప్రవర్తన, ఆవేశాల మధ్యగల అన్యోన్య చర్యలను వివరించవచ్చు. కొన్ని ఆవేశాల వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ బలరేఖలను పటం 17.14 లో చూపించాం. బలరేఖలు స్థిర ధనావేశం నుంచి బయటికి అపగమనం చెందుతాయి. కాని స్థిర రుణావేశం నుంచి లోపలకు కేంద్రీకరణం చెంది అంతమవుతాయి. ఈ రెండు సందర్భాలలో విద్యుత్ బలరేఖలు అంతరాళంలో అన్ని దిశలలో ఉంటాయని మీరు గమనించాలి. పటంలో పేపర్ తలంలో ఉన్న బలరేఖలను మాత్రమే చూపించాం.

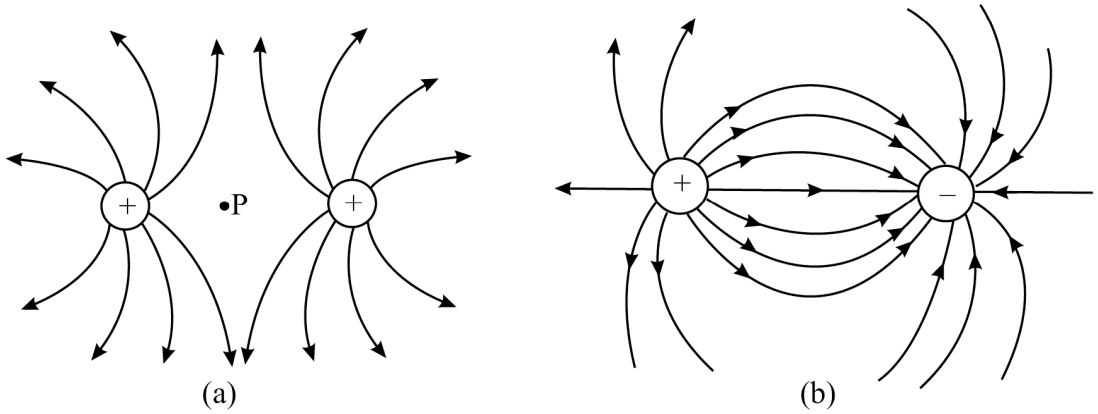


(a) (b)

పటం 17.14 : వియుక్త బిందు ఆవేశాల వల్ల విద్యుత్ బలరేఖలు : (a) ధనావేశం వల్ల విద్యుత్ బలరేఖలు, (b) రుణావేశం వల్ల విద్యుత్ బలరేఖలు.

పటం 17.15(a) లో ఒకే విధంగా ఉండి, అతి దగ్గరగా ఉన్న రెండు సమాన ధనావేశాల వల్ల ఉత్పన్నమయ్యే బలరేఖల వ్యూహాన్ని చూపించాం. ధనావేశాలకు అతి దగ్గరగా ఉన్న బిందువుల వద్ద ఈ రేఖలు కొంత వ్యాసార్ధాన్ని కలిగి ప్రక్కకు వికర్షించుకుంటాయి. ఆవేశాల మధ్య ఆ బిందువు వద్ద ఈ రేఖలు ఉండవు. ఈ బిందువు వద్ద రెండు ఆవేశాల వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రాలు ఒకదానికొకటి కొట్టుకొని పోయి, ఫలిత క్షేత్రం శూన్యం అవుతుంది.

పటం 17.15(b) విద్యుత్ డైపోల్ (ద్విధ్రువం) వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ బలరేఖలను చూపిస్తుంది. ధనావేశం నుండి ఉత్పన్నమయ్యే బలరేఖల సంఖ్య ఋణావేశం వద్ద అంతమయ్యే బలరేఖల సంఖ్యకు సమానం.



పటం 17.15 : రెండు బిందు ఆవేశాల వ్యవస్థ వల్ల విద్యుత్ బలరేఖలు : (a) రెండు స్థిర ధనావేశాల వల్ల విద్యుత్ బలరేఖలు, (b) డైపోల్ వల్ల విద్యుత్ బలరేఖలు

మీరు గుర్తుంచుకోవలసిన విద్యుత్ బలరేఖల ధర్మాలు :

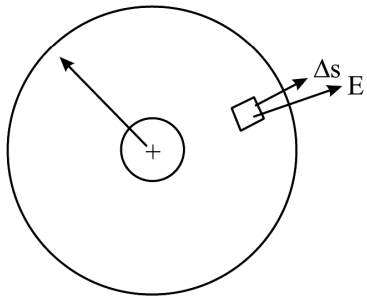
- బలరేఖలు ధనావేశం నుండి ఉత్పన్నమవుతాయి.
- బలరేఖలు రుణావేశం మీద అంతమవుతాయి.
- విజాతి ఆవేశాలు పరస్పరం దగ్గరగా ఉంటే బలరేఖలు ధనావేశం నుంచి మొదలయ్యి రుణావేశం వద్ద అంతమవుతాయి.
- బలరేఖపైన ఏ బిందువు వద్దనైన గీచిన స్పర్శరేఖ ఆ బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర దిశను తెలుపుతుంది.
- ఏ బిందువు వద్ద అయినా, ఏకాంక అడ్డుకోత వైశాల్యానికి గల విద్యుత్ బలరేఖల సంఖ్య, ఆ బిందువు వద్ద గల విద్యుత్ క్షేత్రానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.
- ఏ రెండు విద్యుత్ బల రేఖలూ ఒకదానికొకటి పరస్పరం ఖండించుకోవు.

17.4 విద్యుత్ అభివాహము మరియు గాస్ సూత్రం

r వ్యాసార్ధం గల ఒక గోళాన్ని తీసుకుందాం. దాని కేంద్రం వద్ద +q ఆవేశంను ఉంచామనుకుందాం. గోళం ఉపరితలంపై ప్రతి బిందువు వద్ద గల విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం.

$$E = k \times \frac{q}{r^2}$$

విద్యుత్ క్షేత్ర దిశ ఉపరితలానికి లంబంగా బయట వైపుకు ఉంటుంది. గోళాకార తలంపై $\Delta\mathbf{s}$ వైశాల్యం కలిగిన అల్పాంశంను తీసుకుందాము. ఇక్కడ $\Delta\mathbf{s}$ అనేది ఒక సదిశ. దీని పరిమాణం అల్పాంశం వైశాల్యం $\Delta\mathbf{s}$ కు సమానం, దిశ అల్పాంశంకు లంబంగా ఉంటుంది. (పటం 17.16)



పటం 17.16

విద్యుత్ అభివాహం $\Delta\phi$ ను $\Delta\mathbf{s}$ మరియు $\mathbf{E}$ ల అదిశా లబ్ధంగా నిర్వచించవచ్చు.

$$\Delta\phi = \mathbf{E} \cdot \Delta\mathbf{s}$$

మొత్తం గోళాకార తలం గుండా పోయే విద్యుత్ అభివాహం ϕ కావలెనంటే అటువంటి అన్ని అంశదానములను కలపాలి.

$$\phi_E = \sum_{\Delta s_i=1}^{N} \mathbf{E_i} \cdot \mathbf{\Delta s_i} \qquad (17.21)$$

$\mathbf{E}$ మరియు $\Delta\mathbf{s}$ ల మధ్యకోణం శూన్యం. కాబట్టి గోళాకార తలం గుండా పోయే మొత్తం అభివాహం

$$\phi_E = k \times \frac{q}{r^2} \Sigma \Delta s$$

గోళాకార తలంపై అన్ని అల్పాంశాల మొత్తం వైశాల్యం విలువ $4\pi r^2$. కాబట్టి గోళాకార తలం గుండా పోయే నికర విద్యుత్ అభివాహం

$$\phi_E = k \times \frac{q}{r^2} \times 4\pi r^2$$

$$= 4\ \pi\ k \times q$$

$k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ ను ప్రతిక్షేపిస్తే

$$\phi_E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times 4\pi q$$

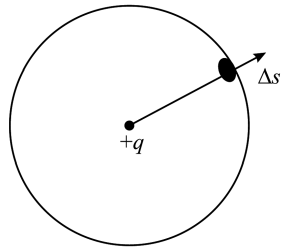
$$= q/\varepsilon_0 \qquad (17.22)$$

గోళంలోని గోళాకార తలాన్ని గాసియన్ తలం అంటారు. సమీకరణం (17.22) ను గాస్ నియమం అని అంటారు. గాస్ నియమం ఈ విధంగా ప్రవచిస్తుంది. *ఏదైనా ఒక మూసిన గాసియన్ తలం గుండా వెలువడే నికర విద్యుత్ అభివాహం ϕ ఆ తలం లోపల ఉన్న మొత్తం విద్యుదావేశం q కి $\dfrac{1}{\varepsilon_0}$ రెట్లు ఉంటుంది.*

గాస్ నియమాన్ని వర్తింపచేసి విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని సులువుగా ఉత్పాదించవచ్చు. గాసియన్ తలం ఒక ఊహించిన సంవృత తలం అని మీరు గమనించాలి. ఈ తలం సౌష్టవంగా ఉండనవసరం లేదు. ఏ ఆకారంలోనైనా ఉండవచ్చు కాని మూసిన తలమై ఉండాలి అంతే

బిందు విద్యుదావేశం వల్ల ఒక బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం (Electric Field due to a Point Charge)

గాస్ సూత్రాన్ని ఉపయోగించి బిందు విద్యుదావేశం వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని కనుక్కుందాం. r వ్యాసార్ధం కలిగి, కేంద్రం వద్ద ఒక బిందు విద్యుదావేశం గల గోళాకార గాసియన్ తలాన్ని పటం 17.17లో చూపినట్లు ఊహిద్దాం. గోళాకార సౌష్టవరిత్య ఈ తలంపై ఏ బిందువు వద్దనైనా తలానికి లంబదిశలో బయటకు విద్యుత్ క్షేత్రం **E** ఉంటుంది. వైశాల్య అల్పాంశం $\Delta\mathbf{s}$ కు గీసిన లంబం, **E** కు సమాంతరంగా ఉంది. గాస్ సూత్రం ప్రకారం



పటం 17.17 : +q ఆవేశం కేంద్రం వద్ద గల గోళాకార తలంపై విద్యుత్ క్షేత్రం

$$\phi_E = \sum_{i=1}^{N} \mathbf{E_i}.\mathbf{\Delta s_i} = q/\varepsilon_0$$

$\cos\theta = 1$ మరియు తలంపై అన్ని బిందువుల వద్ద **E** సమానం కాబట్టి

$$\phi_E = E \times 4\pi r^2$$

లేదా $$q/\varepsilon_0 = E \times 4\pi r^2$$

$\Rightarrow$ $$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad (17.23)$$

గోళాకార తలంపై E ని గణించిన బిందువు వద్ద రెండవ ఆవేశం q_0 ఉంటే విద్యుత్ క్షేత్రం వల్ల q_0 ఆవేశంపై కలిగే బల పరిమాణం

$$F = q_0 \times E$$

అపుడు $$F = \frac{qq_0}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad (17.24)$$

ఈ ఫలితాన్ని మీరు గుర్తించారా? ఇది రెండు స్థిర బిందు ఆవేశాల మధ్యగల కూలూంబ్ బలానికి సమాసం.

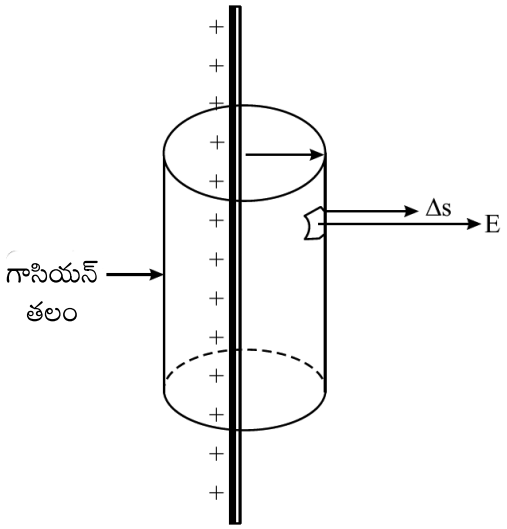
కార్ల్ ఫెడరిక్ గాస్ (1777-1855)

గణిత, భౌతిక శాస్త్రాలలోని ప్రముఖ మేధావులలో గాస్ ఒకరు. ఇతను జర్మను దేశస్థుడు. విభిన్న రంగాలైన దృశాశాస్త్రం, విద్యుత్, అయస్కాంతత్వం, ఖగోళశాస్త్రం, అంకసిద్ధాంతం, అవకలన జ్యామితి మరియు గణిత విశ్లేషణలలో ఇతని అంశదానం ఉంది. ఈయన 3 సంవత్సరాల వయస్సులోనే వాళ్ళ నాన్న గారి వ్యాపార లెక్కలలోని తప్పులు సరిచేసిన బాల మేధావి. ప్రాథమిక విద్యాభ్యాసంలోనే 1 నుంచి 100 అంకెలను ఒక సెకండులో కూడి వాళ్ళ గురువు గారిని ఆశ్చర్యపరిచారు.

ఇతని విద్యార్థులు చాలామంది గొప్ప గణిత శాస్త్రజ్ఞులుగా ఎదిగారు. వారిలో కొందరు రిచర్డ్ డెడికైండ్, బెర్‌హర్డ్ రీమన్, ఫెడరిక్ బెసల్ మరియు సోఫీ జర్మేన్. ఇతని గౌరవార్థం జర్మను దేశం మూడు పోస్టల్ స్టాంపులను మరియు 10మార్క్ (జర్మనీ కరెన్సీ) బ్యాంక్ నోటును విడుదల చేసింది. చంద్రుని పై గల క్రేటరును గాస్ క్రేటరు అని మరియు ఆస్ట్రరాయిడ్ 100 గాసియా అని ఇతని పేరు మీద పిలుస్తున్నారు.

ఆవేశితమైన తిన్నని తీగ వల్ల కలిగే విద్యుత్ క్షేత్రం (Electric Field due to a Long Line Charge)

సమదైర్ఘ్య ఆవేశ సాంద్రత σ_l (ప్రమాణ పొడవుకు గల ఆవేశం) ఉన్న ఒక అనంతమైన పొడవు కలిగిన తిన్నని ఆవేశితమైన తీగను తీసుకుందాం. +q ఆవేశం ఈ తీగపై ఉందనుకుందాం. r దూరంలో ఉన్న P అనే బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని మనం లెక్కించాలి. ఇప్పుడు మనం ఆవేశిత తీగ చుట్టూ తీగను ఆవరిస్తూ తీగతో సహాక్షంగా ఉండే ఒక స్తూపంను గీయాలి. ఈ స్తూపం రెండు చివరలు మూసి ఉండాలి. ఈ స్తూపాకార గాసియన్ తలాన్ని పటం 17.18లో చూపించాం.



పటం 17.18: సమ దైర్ఘ్య ఆవేశ సాంద్రత గల ఆవేశితమైన తిన్నని తీగ వల్ల కలిగే విద్యుత్ క్షేత్రం. గాసియన్ తలం ఒక సమకోణ వృత్తాకార స్తూపం.

ఆవేశిత తీగ నుంచి అన్ని బిందువులు సమాన దూరంలో ఉన్నాయి కాబట్టి స్తూప వక్రతలంపై ఏ బిందువు వద్దనైనా విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం **E** స్థిరంగా ఉంటుంది. విద్యుత్ క్షేత్ర దిశ, అల్పాంశ వైశాల్యానికి (Δ**s**) గీసిన లంబం సమాంతరంగా ఉన్నాయి. గాసియన్ స్తూపం పొడవు l అనుకుందాం. గాసియన్ స్తూపం చేత ఆవరింపబడిన మొత్తం ఆవేశం $q = \sigma_l l$. స్తూపం వక్రతల వైశాల్యం $2\pi r l$.

స్తూపంకు పైన, కింద గల చదునైన తలాల సదిశా వైశాల్యాలు విద్యుత్ క్షేత్రానికి లంబంగా ఉంటాయి ($\cos 90° = 0$) కాబట్టి ఈ తలాల గుండా విద్యుత్ అభివాహం సున్నా అవుతుంది. అపుడు

$$\phi_E = \Sigma\, \mathbf{E}.\, \Delta\mathbf{s}$$

$$= E \times 2\pi r l$$

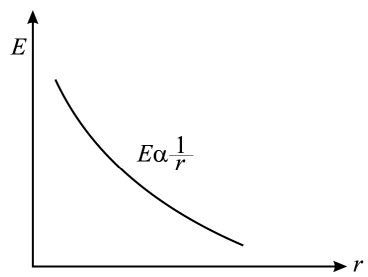
గాస్ సూత్రం ప్రకారం $\phi_E = q/\varepsilon_0$ కాబట్టి

$$E \times 2\pi r l = \frac{q}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma_l l}{\varepsilon_0}$$

లేదా

$$E = \frac{\sigma_l}{2\pi\varepsilon_0 r} \qquad (17.25)$$

పై సమీకరణం, విద్యుత్ క్షేత్రం విలువ తీగ నుంచి బిందువు వరకు గల దూరానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుందని తెలుపుతుంది. దీనినే పటం 17.19లో చూపించాం.



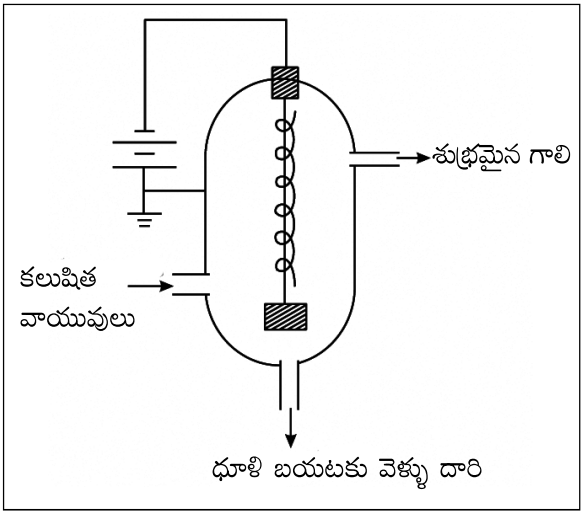
పటం 17.19 : ఆవేశిత తిన్నని తీగలో r తో E లో కలిగే మార్పు

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 17.4

1. గాసియన్ తలం గుండా పోయే విద్యుత్ అభివాహం శూన్యం. అయితే ఇది ఖచ్చితంగా ఈ అర్థాన్ని ఇస్తుందా?
   (a) తలం లోపల గల మొత్తం ఆవేశం శూన్యం.
   (b) తలంపై ప్రతిబిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం శూన్యం.
   (c) తలం లోపలికి ప్రవేశించే విద్యుత్ బల రేఖల సంఖ్య తలం బయటికి వెళ్ళే బలరేఖల సంఖ్యకు సమానం.
2. విద్యుత్ క్షేత్రం విలువ 3.0×10^6 NC^{-1} కంటే ఎక్కువయినపుడు గాలిలో స్పార్క్‌లు (మినుగులు) ఏర్పడతాయి. చుట్టూ ఉన్న గాలిలో స్పార్క్‌లు రాకుండా, 5.0 cm. వ్యాసార్థం గల గోళం ఎంత గరిష్ట ఆవేశంను కలిగి ఉండవచ్చు.
3. ద్విధ్రువం (డైపోల్) ను (a) ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రంలో మరియు (b) ఏకరీతి కాని విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉంచినపుడు దాని మీద పనిచేసే నికర బలం, నికర బలభ్రామకం పరిమాణం, దిశలను తెలపండి?

స్థిర విద్యుత్ ఫిల్టర్ (నిర్గలని)

ఇటుక బట్టీ మరియు థర్మల్ విద్యుచ్ఛక్తి కేంద్రాలలోని పొగ గొట్టాల నుంచి వెలువడే నల్లటి పొగను మరియు ధూళి కణాలను మీరు చూసి ఉంటారు. ఈ పొగలో వాయువులే కాకుండా చిన్న ధూళి (బొగ్గు) కణాలు కూడా అధిక మోతాదులో ఉంటాయి. ఇటువంటి పొగను వాతావరణంలోకి విడుదల చేసినపుడు ధూళి కణాలు భూమిపై పేరుకుని నేలను కలుషితం చేస్తాయి. వాయువులు భూతాపాన్ని కలిగిస్తాయి. ఇవి జీవ వ్యవస్థకు హానికరం. కాబట్టి పొగను వాతావరణంలోకి విడుదల చేసే ముందు ధూళి కణాలను వేరు చేయడం ఎంతైనా అవసరం.



అధిక విద్యుత్ క్షేత్రం ఉపయోగించడం వల్ల వాయువులలో కలిగే విద్యుదుత్సర్గం యొక్క ముఖ్య అనువర్తనమే స్థిర విద్యుత్ ఫిల్టర్ పరికరం లేదా ఫ్రెసిపిటేటర్.

ఈ పరికరాన్ని పటంలో చూపించాం. లోహపాత్ర మధ్యలో గల తీగ వద్ద అధికమైన రుణపొటెన్షియల్ ఉందనుకుందాం (సుమారుగా 100 kV). పాత్ర యొక్క గోడను బ్యాటరీ ధనాత్మక కొనకు మరియు భూమికి కలపాలి. పాత్ర మధ్య భాగంలో ఉన్న తీగను బరువు W తిన్నగా ఉంచుతుంది. గోడ నుంచి తీగ వైపుకు విద్యుత్ క్షేత్రం ఏర్పడుతుంది. ధూళి, వాయువులను పాత్ర గుండా పంపాలి.

తీగ వద్ద గల అధిక క్షేత్రం వల్ల విద్యుదుత్సర్గం జరుగుతుంది. ధన, రుణ అయానులు మరియు ఎలక్ట్రానులు ఉత్పన్నమవుతాయి. ఈ రుణావేశ కణాలు గోడ వైపుకు కదలుతాయి. ధూళి కణాలతో ఇవి అభిఘాతం చెంది వాటిని ఆవేశితం చేస్తాయి. అధిక ధూళి కణాలు రుణావేశితం అయి పాత్ర గోడ వైపుకు ఆకర్షింపబడతాయి. పాత్రను కుదిపినపుడు కణాలు గోడను విడిచి పాత్ర అడుగు భాగానికి చేరుకుంటాయి. నిర్గమ పైపు ద్వారా వీటిని బయటికి తీయవచ్చు. ఈ విధంగా ధూళికణాలను వాయువుల నుండి వేరుచేసిన శుద్ధమైన గాలి వాతావరణంలోకి వస్తుంది. అధిక దక్షతగల ఈ రకం ఫిల్టర్‌లు పొగ నుండి సుమారుగా 98% వరకు ధూళిని తీసివేస్తాయి.

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- గాజు కడ్డీని సిల్కుతో రుద్దినపుడు, రబ్బరును బొచ్చుతో రుద్దినపుడు విద్యుదావేశం ఏర్పడుతుంది.
- సాంప్రదాయం ప్రకారం గాజు కడ్డీ మీద చేరిన ఆవేశాన్ని ధనాత్మకంగా రబ్బరు మీద చేరిన ఆవేశాన్ని రుణాత్మకంగా తీసుకంటారు.
- సజాతి ఆవేశాలు పరస్పరం వికర్షించుకుంటాయి విజాతి ఆవేశాలు పరస్పరం ఆకర్షించుకుంటాయి.
- రెండు బిందు ఆవేశాల మధ్యగల బల పరిమాణం, దిశ కూలూంబ్ నియమం నుంచి మనకు తెలుస్తుంది.

$$\mathbf{F} = k\ \frac{q_1 \times q_2}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$

ఇక్కడ $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.0 \times 10^9\ \mathrm{Nm^2C^{-2}}$

- ప్రకృతిలో ఆవేశానికి గల అతి చిన్న ప్రమాణం, ఎలక్ట్రాను మీద గల ఆవేశం

$$e = 1.60 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$$

- విద్యుదావేశం నిత్యత్వం మరియు e యొక్క ప్రమాణాలలో క్వాంటీకరణం చెందింది.
- q ఆవేశం వల్ల ఒక బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ఏకాంక శోధనావేశం q_0 మీద పనిచేసే బలంగా నిర్వచిస్తారు.

$$\mathbf{E} = \mathbf{F}/q_0 = k \times \frac{q}{r^2}\hat{\mathbf{r}}$$

- ఆవేశ సమూహం వల్ల ఒక ఆవేశంపై పని చేసే బలాన్ని అధ్యారోపణ నియమంను ఉపయోగించి కనుక్కోవచ్చు. ఈ నియమాన్ని ఒక బిందువు వద్ద ఆవేశ సమూహం వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రానికి కూడా అనువర్తింపవచ్చు.
- సమాన పరిణామాలు గల రెండు విజాతి బిందు విద్యుదావేశాలను నిర్దిష్టమైన స్వల్ప దూరంలో ఉంచిన అమరికను విద్యుత్ డైపోల్ (ద్విధ్రువం) అంటారు. డైపోల్ విద్యుత్ భ్రామకం $|\mathbf{p}| = qr$, $\mathbf{p}$ దిశను డైపోల్‌లోని రుణ విద్యుదావేశం నుండి ధన విద్యుదావేశం వైపు తీసుకుంటాం.

- డైపోల్ అక్షంపై దూరంగా గల బిందువు విషయంలో (end-on స్థానంలో) మరియు డైపోల్ మధ్య లంబ రేఖపై దూరంగా గల బిందువు విషయంలో (broad-on స్థానంలో) విద్యుత్ క్షేత్రాలు వరసగా

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2\mathbf{p}}{r^3}$$

మరియు $$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\mathbf{p}}{r^3}.$$

- విద్యుత్ బలరేఖలు, విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని
- ఒక వైశాల్యానికి లంబదిశగా ఆ వైశాల్యం గుండా పోయే విద్యుత్ బలరేఖల సంఖ్యను విద్యుత్ అభివాహం అంటారు. ϕ_E ఈ విధంగా నిర్వచిస్తారు.

$$\phi_E = \mathbf{E.\ A}.$$

- ఏదయినా ఒక మూసిన తలం నుంచి వెలువడే మొత్తం విద్యుత్ అభివాహం, ఆ తలం చేత ఆవరింపబడిన మొత్తం ఆవేశానికి $\frac{1}{\varepsilon_0}$ రెట్లు ఉంటుంది అని గాస్ సిద్ధాంతం (నియమం) ప్రవచిస్తుంది.
- సమదైర్ఘ్య ఆవేశ సాంద్రత σ_l కలిగి ఉన్న అనంత పొడవు కలిగిన సన్నని తిన్నని తీగవల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రం,

$$E = \frac{\sigma_l}{2\pi\varepsilon_0 r}.$$

ముగింపు అభ్యాసం

1. x అక్షంపై x =20 cm వద్ద + 12μ C ఆవేశం మరియు x = 29 వద్ద –18 μ C (– q) ఆవేశం ఉన్న 18μC ఆవేశంపై పనిచేసే బల పరిమాణం, దిశలను కనుక్కోండి. 12μC ఆవేశంపై పనిచేసే బలదిశను తెలపండి.
2. 3.0 m దూరంతో వేరుచేయబడిన రెండు బిందు ఆవేశాలు q_1, q_2 లపై 16×10^{-15} N అన్యోన్య బలం పనిచేస్తుంది. ఆవేశాల మధ్య దూరాన్ని 6.0 m కు పొడిగించినపుడు బల పరిమాణం ఎంత?
3. A, B అనే రెండు బిందువులు x దూరంలో ఉన్నాయి. రెండు బిందువులపై +q ఆవేశం ఉన్నపుడు వాటి మధ్యగల బలం F. ఇపుడు బిందు ఆవేశాలకు బదులుగా +q ఆవేశం గల రెండు సర్వసమానమైన లోహపు గోళాలను బిందువులపై ఉంచారు. గోళ కేంద్రాల మధ్య దూరం కూడ x అయిన వాటి మధ్య బలం మారుతుందా? మీ సమాధానాన్ని సమర్థించడానికి కారణాలు తెలపండి.
4. రెండు ఆల్ఫా కణాలు 10^{-13} m దూరంగా శూన్యంలో ఉన్నాయి. వాటి మధ్య పనిచేసే బలాన్ని లెక్కించండి.

5. రెండు బిందు ఆవేశాలు 16 cm దూరంలో ఎడంగా శూన్యంలో ఉన్నప్పుడు వాటి మధ్య వికర్షణ బలం 7.5×10^{-10} N నిరోధ స్థిరాంకం k = 2.5 గల యానకంలో వీటిని ఉంచినపుడు వాటి మధ్యగల బలంను కనుక్కోండి.

6. x దూరం ఎడంగా ఉన్న రెండు ప్రోటాన్ల మధ్య ఉండే విద్యుత్ బలాన్ని గురుత్వ బలంతో పోల్చండి. ఒక్కొక్క ప్రోటాను 1.60×10^{-19} C ఆవేశం 1.67×10^{-27} kg, ద్రవ్యరాశి మరియు గురుత్వ స్థిరాంకం $G = 6.67 \times 10^{-11}$ Nm^2kg^{-2}.

7. ఒక్కొక్కటి +q ఉన్న సర్వసమానమైన నాలుగు బిందు ఆవేశాలను ప్రమాణ భుజం కలిగిన ఒక చతురస్రం నాలుగు శీర్షాల వద్ద ఉంచారు. చతురస్రం కేంద్రం వద్ద q_0 శోధనావేశంను ఉంచితే దాని పై పని చేసే బలాన్ని కనుక్కోండి.

8. విద్యుత్ బలరేఖలు పరస్పరం సమాంతరంగా ఎపుడు ఉంటాయి.

9. ఒక లోహ గోళానికి 6.4×10^{-7}C ధనావేశం కలిగించడానికి ఎన్ని ఎలక్ట్రానులు దాని నుంచి తీసివేయాలి.

10. $q = 3.0 \times 10^{-6}$ C మరియు $2l = 4 \times 10^{-10}$ m గల ఒక విద్యుత్ డైపోల్‌ను తీసుకుందాం. డైపోల్ విద్యుత్ భ్రామకం పరిమాణంను కనుక్కోండి. మధ్యలంబ తలంపై $r = 6 \times 10^{-6}$m దూరంలో గల బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని కనుక్కోండి.

11. 3.0 mm వ్యాసార్థం గల లోహపు గోళంపై $-q = 15 \times 10^{-6}$ C ఆవేశాన్ని ఉంచారు. గోళ కేంద్రం నుంచి r =15 cm దూరంలో గల బిందువు వద్ద ఏర్పడ్డ విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం, దిశను కనుక్కోండి. పై గోళాన్ని అంతే ఆవేశం కలిగి, 9.0 mm వ్యాసార్థం గల గోళంతో మార్చినపుడు అదే బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం దిశలను కనుక్కోండి.

12. 20 cm వ్యాసార్థం గల గోళ కేంద్రం వద్ద +15μC ఆవేశాన్ని ఉంచారు. గోళ తలం గుండా విద్యుత్ అభివాహంను కనుక్కోండి.

13. ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రం $E = 8.0 \times 10^4$ NC^{-1} లో ఒక ప్రోటానును ఉంచినపుడు దాని త్వరణంను లెక్కించండి.

14. రెండు బిందు ఆవేశాలు q_1, q_2 లు 3.0 cm దూరం ఎడంగా ఉన్నాయి మరియు $(q_1 + q_2) = 20$ μC వాటి మధ్య గల వికర్షణ బలం 750 N అయితే q_1, q_2 లను లెక్కించండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

17.1

1. (i) అవును (ii) ఆవేశం $= 3.2 \times 10^{-17}$ C (Negative).

2. + Q ఆవేశాన్ని A కల్గి ఉంటుంది. A, B లు రెండు స్పర్శించుకొనేట్లుగా వాటిని దగ్గరకు తెస్తే, ఆవేశం సమంగా వితరణ చెందుతుంది.

(i) ఉంటుంది. (ii) + Q/2

3. $q = 4.8 \times 10^{-16}$

Ne = q కాబట్టి

$$N = \frac{4.8\times10^{-16}}{1.6\times10^{-19}} = 3.0 \times 10^{3}$$ ఆవేశాలు.

17.2

1. $Q_1 = 16\ \mu C$, $Q_2 = 9\ \mu C$ మరియు $r = 12m$

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}$$

$$= \frac{(9\times10^{9}\ Nm^2C^{-2})(16\times10^{-6}\ C)\times\left(9\times^{-6}C\right)}{144m^2} = 9 \times 10^{-3}\ N$$

(i) q_2 నుండి q_1 దిశలో

(ii) q_1 నుండి q_2 దిశలో

2. B వద్ద ఉన్న ఆవేశం వల్ల A వద్ద గల బలం, $F_1 = k\dfrac{q^2}{a^2}$

ఇక్కడ AB = a. AB = AC కావున

B వద్ద ఉన్న ఆవేశం వల్ల A వద్ద గల బలం

$$F_2 = k\frac{q^2}{a^2}$$

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 = 2F^2$$

45° ల వద్ద $R = F\sqrt{2}$

17.3

1. (a) E + x అక్షం వైపు

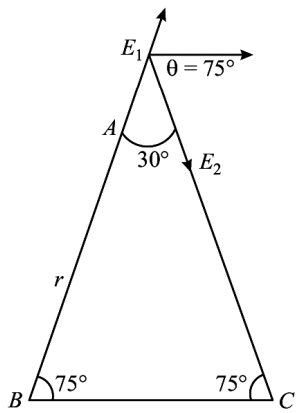
(b) + y అక్షం వైపు

(c) x అక్షంతో 45° వద్ద

2. AB = AC = 40 cm

$$|\mathbf{E_1}| = \frac{kq}{r^2} = |\mathbf{E_2}| = \frac{9\times10^9 Nm^2C^{-2}\times\left(2\times10^{-6}C\right)}{(0.40m)^2}$$

$$= 1.125\times10^5\ NC^{-1}$$



$\mathbf{E}_1$, $\mathbf{E}_2$ ల ఫలితం BC కి సమాంతరం కాబట్టి

$$R^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos150$$

$$= 2E^2 + 2E^2\cos(180-30)$$

$$= 2E^2 - 2E^2\times\cos 30 = 2E^2\left(1+\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$= 4.723\times10^{10}\ N^2C^{-1}$$

ఈ ఫలితం దిశ BC కి సమాంతరంగా B→C కి ఉంటుంది.

3. భూమి దిశలో **E** ఉంటుంది. రుణావేశం పై గల బలం నిలువుగా పైకి ఉంటుంది.

4. ఆవేశాల మధ్య బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం సున్నా.

17.4

1. (a) అవును (b) ఖచ్చితంగా కాదు (c) అవును

2. $$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

$$\therefore\ Q = 4\pi\varepsilon_0 r^2 E$$

$$= \left(3\times10^6\ NC^{-1}\right)\times\frac{1}{\left(9\times10^9\ Nm^2C^{-2}\right)}\times\left(25\times10^{-4}\ m^2\right)$$

$$= 8.3\times10^{-7}\ C$$

3. (a) $\mathbf{F} = 0,\ \tau = 0$

(b) $\mathbf{F} \neq 0\ \tau = 0$

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

1. రుణ x–అక్షం వైపు 240N, +12 μC ఆవేశంపైన బలం ధన +x అక్షంవైపు ఉంటుంది.

2. $F = 4\times10^{-15}$ N

3. మారదు. యానకంలో మార్పులేదు గోళంపై ఆవేశం మొత్తం కేంద్రం వద్ద కేంద్రీకృతమైనట్లు వ్యవహరిస్తుంది.

4. 92.39×10^{-3} N

5. 3×10^{-10}N

6. విద్యుత్ బలం, గురుత్వ బలానికి సుమారుగా 10^{36} రెట్లు ఉంటుంది.

7. సున్నా

8. కెపాసిటర్ లాంటి వ్యవస్థలో పలకల మధ్య

9. 4×10^{12} ఎలక్ట్రాన్లు

10. 12×10^{-16} Cm. 0.5×10^{11} Nc^{-1}

11. 6×10^{6} NC^{-1} కేంద్రం వైపు ఉంటుంది, విద్యుత్ క్షేత్రం సమానంగా ఉంటుంది.

12. 1.7×10^{6} C^{-1} N m^2

13. 7.6×10^{12} ms^{-2}

14. 15μC మరియు 5 μC.

18

విద్యుత్ పొటెన్షియల్ మరియు కెపాసిటర్స్

పరిచయం

ప్రవాహి, ఉష్ణశక్తి ప్రవహించే దిశల గురించి మీరు రెండవ, మూడవ పాఠంలో తెలుసుకున్నారు. వేరు వేరు నీటి మట్టాలున్న రెండు పాత్రలను ఒక గొట్టంతో అడుగు భాగంలో కలిపితే పాత్రలలో గల నీటి పరిమాణానికి సంబంధం లేకుండా ఎక్కువ మట్టం ఉన్న పాత్ర నుండి నీరు తక్కు మట్టం గల పాత్రలోకి, మట్టాలు సమానం అయ్యేంతవరకు ప్రవహిస్తుంది. నీటి మట్టం నీటి పీడనాన్ని తెలియచేస్తుంది. అట్లాగే రెండు వస్తువుల ఉష్ణశక్తి ఎల్లప్పుడూ ఎక్కువ ఉష్ణోగ్రత గల వస్తువు నుంచి తక్కువ ఉష్ణోగ్రత గల వస్తువులోకి ప్రవహిస్తుంది. ఇక్కడ కూడ ఉష్ణశక్తి ప్రవాహ దిశ, వస్తువులోని ఉష్ణశక్తి పరిమాణం పైన ఆధారపడదు.

ఇదే విధంగా రెండు బిందువుల మధ్య విద్యుదావేశ ప్రవాహాన్ని విద్యుత్ పొటెన్షియల్ నిర్ణయిస్తుంది. ఒక ధనావేశం ఎప్పుడూ ఎక్కువ పొటెన్షియల్ వద్ద ఉన్న బిందువు నుంచి తక్కువ పొటెన్షియల్ ఉన్న బిందువు దిశగా ప్రవహిస్తుంది. విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఒక శోధన ధనావేశంను స్వేచ్ఛగా వదిలినపుడు అది విద్యుత్ క్షేత్ర దిశలో ప్రవహిస్తుంది. దీన్ని బట్టి **విద్యుత్ క్షేత్రం (E), విద్యుత్ పొటెన్షియల్** (V) అనే భౌతిక రాశులు ఒకదానికొకటి అత్యంత సన్నిహితమైనవిగా చెప్పవచ్చు. ఈ పాఠంలో విద్యుత్ క్షేత్రం, విద్యుత్ పొటెన్షియల్ అనే భౌతికరాశుల మధ్యగల సంబంధం గురించి నేర్చుకుంటారు. విద్యుదావేశాలను నిల్వ ఉంచే పరికరం కెపాసిటర్ గురించి కూడ ఈ పాఠంలో నేర్చుకుంటారు. ఏకాంతర విద్యుత్‌ను ఫిల్టర్ చేసే కెపాసిటర్‌ను విద్యుద్వలయాలలో పలుచోట్ల మరియు విద్యుచ్ఛక్తి ప్రసారంలో ఉపయోగిస్తారు.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తర్వాత మీరు కింది విషయాలు తెలుసుకుంటారు.

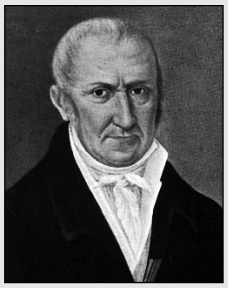
- ఒక బిందువు వద్ద గల విద్యుత్ పొటెన్షియల్‌ను, రెండు బిందువుల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడాను వివరించగలడం.
- ఒక బిందు ఆవేశం మరియు డైపోల్‌ల వల్ల ఒక బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్‌కు సమాసాలు రాబట్టడం.
- కెపాసిటర్ పని చేసే సూత్రం వివరించి, వాటి ఉపయోగాలు చెప్పగలడం.
- సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ – కెపాసిటెన్స్‌కు సూత్రం రాబట్టడం.
- కెపాసిటర్లను సంధానం చేసి తుల్య (ఫలిత) కెపాసిటెన్స్‌ను రాబట్టడం.
- కెపాసిటర్‌లో నిల్వ ఉండే శక్తిని లెక్కించడం.
- విద్యుత్ క్షేత్రంలో విద్యుత్‌రోధక ధ్రువణంను వివరించడం.

18.1 విద్యుత్ పొటెన్షియల్ మరియు పొటెన్షియల్ తేడా

విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఒక విద్యుదావేశాన్ని క్షేత్రానికి వ్యతిరేకదిశలో జరపటానికి బాహ్య కారకం పని చేయవలసి ఉంటుంది. శక్తి నిత్యత్వ నియమం ప్రకారం ఈ పని ఆవేశంలో స్థితిజ శక్తిగా నిల్వ ఉంటుంది. కాబట్టి విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఒక బిందువు వద్ద ఉంచిన ఆవేశంకు స్థితిజ శక్తి ఉంటుందని మనం చెప్పవచ్చు. క్షేత్రంలో ఉన్న ఆవేశ స్థితిజ శక్తిని స్థాన అదిశా ప్రమేయంగా మనం చూడొచ్చు. ప్రమాణ ఆవేశానికైతే పొటెన్షియల్ అంటారు. అంటే విద్యుత్ క్షేత్రంలో వేరు వేరు బిందువుల వద్ద పొటెన్షియల్ వేర్వేరుగ ఉంటుంది. విద్యుత్ క్షేత్రంలో ధనావేశాన్ని ఉంచిన అది తన స్థితిజ శక్తిని తగ్గించుకోవడానికి ఎక్కువ పొటెన్షియల్ నుంచి తక్కువ పొటెన్షియల్ దిశగా ప్రవహిస్తుంది. తరువాత పాఠంలో పొటెన్షియల్ తేడా అనే భావన విద్యుత్ వలయాలలో విద్యుత్ ప్రవాహంకు ఏ విధంగా తోడ్పడిందీ తెలుసుకుంటారు.

ఒక విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉండే ఏదైనా ఒక బిందువు వద్దకు అనంత దూరం నుంచి ప్రమాణ ధన విద్యుదావేశాన్ని విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేకంగా తీసుకురావడానికి చేయవలసిన పనియే ఆ బిందువు వద్ద విద్యుత్ పొటెన్షియల్ అంటారు. విద్యుత్ పొటెన్షియల్ ఒక అదిశరాశి, ఇది జరిగిన పనికి సంబంధించినది.

అలెక్సాండర్, కాంట్ వోల్టా (1745-1827)



ఇటలీలో గల కెమాలో జననం, వోల్టా పెవియా విశ్వవిద్యాలయంలో 20 సంవత్సరాలకు పైగా ప్రొఫెసరుగా ఉన్నారు. ఇతని సమకాలీకులైన ప్రముఖ వ్యక్తులందరికి, వోల్టా గురించి తెలుసు ల్యూగీ గ్వాల్వని గమనించిన కప్ప కండరాలలో ఉండే జంతు విద్యుత్ శక్తి ఆమ్ల లేదా ఉప్పు ద్రావణంలో వేరు చేయబడిన రెండు లోహాల మధ్య జరిగే సాధారణ దృగ్విషయమే అని ఇతను నిరూపించారు. తొలి విద్యుత్ ఘటాన్ని కనుగొన్నారు. దీన్నే వోల్టాయిక్ ఘటం అంటారు. ఈయన గౌరవార్థం, పొటెన్షియల్ తేడాకు ప్రమాణం ఇతని పేరు మీద వోల్టుగా నిర్ణయించారు.

క్షేత్రానికి వ్యతిరేకంగా ప్రమాణ ధనావేశం పని చేస్తే, పొటెన్షియల్‌ను ధనాత్మకంగా, క్షేత్ర దిశలో పని చేస్తే, పొటెన్షియల్‌ను రుణాత్మకంగా తీసుకుంటాం.

ఒక విద్యుత్ క్షేత్రంలో A, B లు రెండు బిందువులు అనుకుందాం (పటం 18.1). q_0 శోధన విద్యుదావేశాన్ని A బిందువు నుండి B బిందువుకి ఏదేని మార్గం వెంబడి జరపటానికి, బాహ్యబలం చేయవలసిన పని

$$W_{AB} = q_0 (V_B - V_A) \qquad (18.1)$$

A, B బిందువుల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా

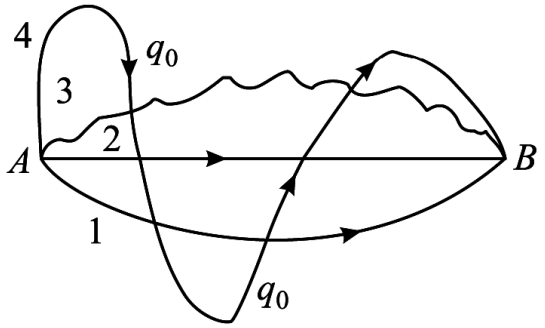
$$V_{AB} = V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} \qquad (18.2)$$

V_A, V_B లు వరుసగా A, B బిందువుల వద్ద పొటెన్షియల్‌లు

ఒక విద్యుత్ క్షేత్రంలో ప్రమాణ ధన ఆవేశాన్ని విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేకంగా ఒక బిందువు నుంచి మరొక బిందువుకు కదల్చడానికి చేయవలసిన పనే ఆ రెండు బిందువుల మధ్య గల పొటెన్షియల్ తేడాగా నిర్వచిస్తారు. ఈ పని పథంపైన ఆధారపడదని గమనించాలి. (ఈ కారణం వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రం ఒక నిత్యత్వ క్షేత్రం అని చెప్పవచ్చు). SI పద్ధతిలో పొటెన్షియల్, పొటెన్షియల్ తేడాకి ప్రమాణం వోల్ట్ (**volt**)

1 వోల్ట్ = 1 జౌల్ / 1 కులూంబ్

ఒక కూలూంబ్ విద్యుదావేశాన్ని విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఒక బిందువు నుండి మరో బిందువుకు క్షేత్ర దిశకు వ్యతిరేకంగా జరపటానికి చేయవలసిన పని ఒక జౌల్ అయితే, ఆ బిందువుల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడాను ఒక వోల్టు అంటారు. ఒక కూలూంబ్ విద్యుదావేశాన్ని అనంతదూరం నుంచి విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేకంగా ఒక బిందువు వద్దకు తీసుకురావడానికి చేయవలసిన పని ఒక జౌల్ అయితే, ఆ బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్ ఒక వోల్టు అంటాం.

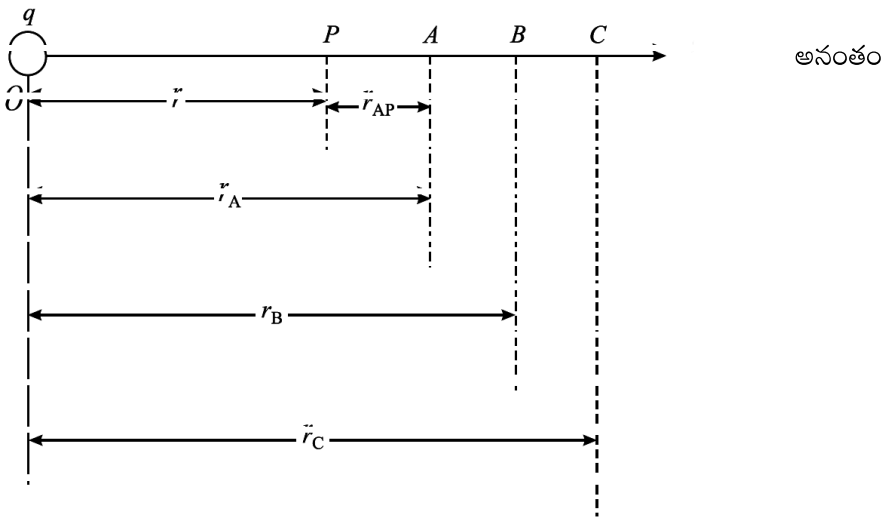


పటం 18.1 : విద్యుత్ క్షేత్రంలో శోధనావేశంను ఒక బిందువు నుంచి మరొక బిందువు వద్దకు తీసుకురావడానికి చేసిన పని, అనుసరించే మార్గంపైన ఆధారపడదు.

ఒక బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్ విలక్షణమైన రాశి కాదని గమనించండి. ఎందుకంటే మనం తీసుకునే శూన్య స్థితిశక్తి (అనంతం) పైన పొటెన్షియల్ విలువ ఆధారపడుతుంది కాబట్టి. కాని ఒక స్థిరక్షేత్రంలో రెండు బిందువుల మధ్య గల పొటెన్షియల్ తేడా విలక్షణ విలువ కలిగి ఉంటుంది. ఇపుడు బిందు ఆవేశం వల్ల కలిగే విద్యుత్ పొటెన్షియల్‌ను ఎలా కనుక్కుంటామో తెలుసుకుందాం.

ఒక బిందు ఆవేశం వల్ల కలిగే విద్యుత్ పొటెన్షియల్

O అనే బిందువు వద్ద ఉన్న +q బిందు విద్యుదావేశం P అనే బిందువు వద్ద విద్యుత్ పొటెన్షియల్ లెక్కించుదాం. P బిందువు (పటం 18.2), OP = r.



పటం 18.2 : విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉండే P బిందువు వద్దకు, అనంతదూరం నుంచి q శోదన ఆవేశాన్ని తీసుకురావడానికి చేయవలసిన పనే ఆ బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్

బిందు విద్యుదావేశం వల్ల P వద్ద ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం.

$$E_p = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{q}{r^2} \qquad (18.3)$$

అదే విధంగా A వద్ద ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రం

$$E_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r_A^2} \qquad (18.4)$$

P, A బిందువులు అతి దగ్గరగా ఉంటే E_P, E_A ల గుణ మధ్యమంను ఈ బిందువుల మధ్య గల E_{AP} సరాసరి క్షేత్రంగా తీసుకుంటాం.

$$E_{AP} = \sqrt{E_A \times E_p}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \frac{q}{r_A^2} \times \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \frac{q}{r^2}}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r_A r} \qquad (18.5)$$

ఈ ప్రాంతంలో ఉంచిన శోధన ఆవేశం q_0 మీద పని చేసే బల పరిమాణం

$$F_{AP} = q_o E_{AP} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q q_0}{r_A r} \qquad (18.6)$$

శోధనావేశం q_0 ని A నుంచి P కి కదల్చడానికి చేయవలసిన పని

$$W_{AP} = F_{AP} \times r_{AP}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q q_o}{r_A r} \times (r_A - r)$$

$$= \frac{q q_0}{4\pi\varepsilon_0} \times \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_A}\right) \qquad (18.7)$$

ఇక్కడ r_{AP} అనేది A, P ఆ బిందువుల మధ్య దూరం.

ఇదే విధంగా ఆవేశంను B నుంచి A కి కదల్చడానికి చేసిన పని,

$$W_{BA} = \frac{q q_0}{4\pi\varepsilon_0} \times \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right) \qquad (18.8\ a)$$

మరియు శోధన ఆవేశంను C నుంచి B కి కదల్చడానికి చేసిన పని

$$W_{CB} = \frac{q\,q_0}{4\pi\varepsilon_0} \times \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_C}\right) \qquad (18.8\ b)$$

మరియు మొదలగునవి.

శోధన ఆవేశాన్ని అనంత దూరం నుంచి P బిందువు వద్దకు తీసుకురావడానికి చేసిన మొత్తం పని

$$W = \frac{q\,q_0}{4\pi\varepsilon_0} \times \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_A} + \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} + \frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_C} \ldots + \ldots - \frac{1}{\infty}\right)$$

$$= \frac{q\,q_0}{4\pi\varepsilon_0} \times \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{\infty}\right)$$

$$= \frac{q\,q_0}{4\pi\varepsilon_0 r} \qquad (18.9)$$

నిర్వచనం ప్రకారం, ఒక బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్,

$$V_P = \frac{W}{q_0}$$

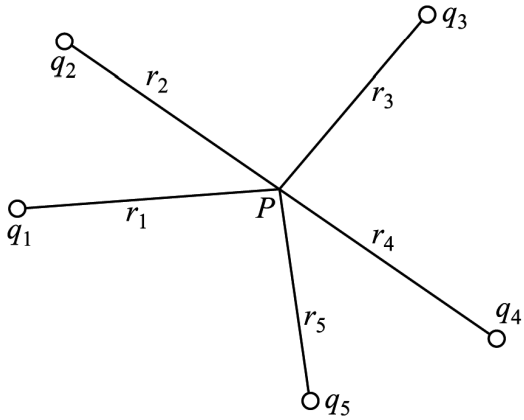
$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{q}{r} \qquad (18.10)$$

పొటెన్షియల్, దూరానికి విలోమానుపాతంలో ఉందని గమనించండి. q ధనావేశం అయితే పొటెన్షియల్ ధనాత్మకంగా, q రుణావేశం అయితే పొటెన్షియల్ రుణాత్మకంగా ఉంటుంది.

$q_1, q_2, q_3, \ldots,$ పరిమాణాలు గల ఆవేశాల సమూహం వల్ల ఏదయిన ఒక బిందువు వద్ద ఏర్పడే ఫలిత విద్యుత్ పొటెన్షియల్ ఆ ఆవేశాల వల్ల ఏర్పడే వ్యక్తిగత పొటెన్షియల్‌లను అన్నింటిని బీజీయంగా కూడితే వస్తుంది (పటం 18.3)

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots$$

$$= \sum_{i=1}^{\infty} \frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0 r_i} \qquad (18.11)$$



పటం 18.3 : ఒక ఆవేశ వ్యవస్థ వల్ల ఆ బిందువు వద్ద ఏర్పడే పొటెన్షియల్

విద్యుత్ డైపోల్ వల్ల ఒక బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్

A, B అనే విద్యుత్ డైపోల్‌లో A వద్ద – q, B వద్ద +q బిందు ఆవేశాలు $2l$ దూరంలో ఉన్నాయనుకుందాం. డైపోల్ మధ్య బిందువు O అనుకుందాం. (r, θ) ధ్రువ నిరూపకాలు గల బిందువు P వద్ద పొటెన్షియల్‌ను లెక్కిద్దాం.

ఇక్కడ పటం (18.4)లో చూపినట్లుగా OP = r, ∠BOP = θ, AP = r_1 మరియు BP = r_2. సమీకరణం (18.10)ను ఉపయోగించి A, B ల వద్ద ఉన్న ఆవేశాల వల్ల P వద్ద ఏర్పడే పొటెన్షియల్‌ను సులభంగా లెక్కించవచ్చు.

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{(-q)}{r_1}$$

మరియు
$$V_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{q}{r_2}$$

డైపోల్‌లోని రెండు ఆవేశాల వల్ల, P వద్ద ఏర్పడే ఫలిత పొటెన్షియల్

$$V = V_1 + V_2$$

అనగా
$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right] \qquad (18.12)$$

పై ఫలితాన్ని ఇంకా సులభంగా చెప్పడానికి మనం A, B ల నుండి OP సరళరేఖపై AC, BD లంబాలు గీద్దాం. Δ BOD నుంచి OD = l cos θ, Δ OAC నుంచి OC = l cos θ గా రాయవచ్చు. డైపోల్ చిన్నదయితే (AB<<OP) పటం 18.4 నుంచి PB = PD, PA = PC గా తీసుకుంటాం.

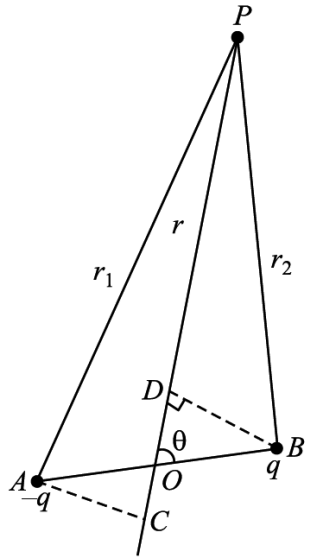
అపుడు
$$PA = PC.$$
$$r_1 = r + l\cos\theta$$
$$r_2 = r - l\cos\theta$$

ఈ ఫలితాలను సమీకరణం (18.12)లో వాడినపుడు

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{(r - l\cos\theta)} - \frac{1}{(r + l\cos\theta)}\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{(2l\cos\theta)}{(r^2 - l^2\cos^2\theta)}\right]$$

$$= \frac{q \times 2l\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$



పటం 18.4: విద్యుత్‌డైపోల్ వల్ల P బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్

ఇక్కడ l << r కాబట్టి, పదాన్ని l తో పోల్చినపుడు ఉపేక్షించాం..

డైపోల్ భ్రామకం P పరిమాణం (**p** = q × 2l) కాబట్టి పై ఫలితాన్ని ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$V = \frac{\mathbf{p}\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad (18.13)$$

బిందు ఆవేశం వల్ల ఏర్పడే పొటెన్షియల్‌లో మాదిరి కాకుండా, డైపోల్ వల్ల ఏర్పడే పొటెన్షియల్ దూర వర్గానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుందని పై ఫలితం చూపిస్తుంది.

ఇప్పుడు కొన్ని ప్రత్యేక సందర్భాలను పరిశీలిద్దాం.

ప్రత్యేక సందర్భాలు

సందర్భం I : P బిందువు డైపోల్ అక్షీయ రేఖ పైన ధనావేశం వైపు ఉన్నపుడు q ($\theta = 0$) మరియు $\cos 0 = 1$. అప్పుడు సమీకరణం (18.13) నుంచి

$$V_{\text{అక్షీయం}} = \frac{\mathbf{p}}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad (18.14)$$

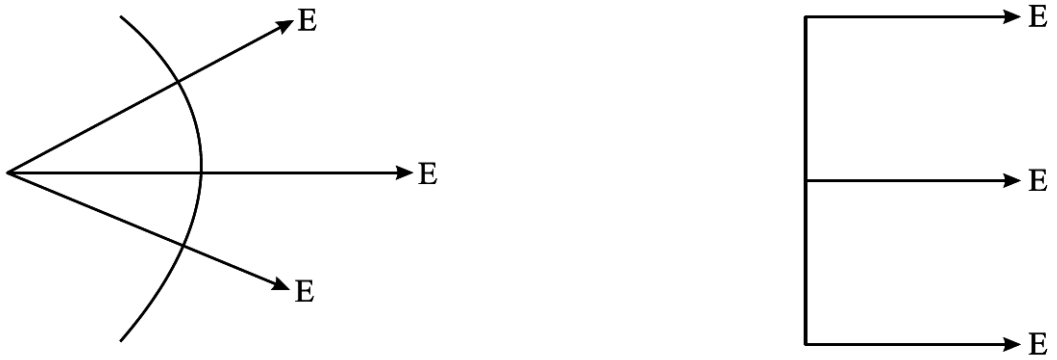
సందర్భం II : బిందువు డైపోల్ అక్షీయ రేఖపైన రుణావేశం వైపు ఉన్నప్పుడు q ($\theta = 180°$), $\cos 180° = -1$ కాబట్టి

$$V_{\text{అక్షీయం}} = -\frac{\mathbf{p}}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad (18.15)$$

సందర్భం III : P బిందువు డైపోల్ మధ్య లంబరేఖ (AB యొక్క లంబ సమద్విఖండన రేఖ) పైన ఉన్నపుడు $\theta = 90°$, $\cos 90° = 0$. అప్పుడు

$$V_{\text{మధ్యలంబరేఖ}} = 0 \qquad (18.16)$$

అనగా డైపోల్ మధ్య లంబరేఖపై ఉన్న అన్ని బిందువుల వద్ద డైపోల్ వల్ల ఏర్పడే పొటెన్షియల్ సున్న అవుతుంది. డైపోల్‌ను పేపర్‌కు లంబంగా ఉంచిన దాని మధ్య లంబరేఖ పేపరు తలంలో ఉంటుంది. ఈ తలంలోని అన్ని బిందువుల వద్ద పొటెన్షియల్ సున్న. అనగా అన్ని బిందువుల వద్ద సమానమైన పొటెన్షియల్ ఉందన్నమాట. సమ పొటెన్షియల్‌లు కలిగిన బిందువులన్నింటినీ కలిపితే ఏర్పడే ఉపరితలాన్ని సమపొటెన్షియల్ తలం అంటారు. సమ పొటెన్షియల్ ఉపరితలానికి గీచిన లంబరేఖ దిశలో విద్యుత్ క్షేత్రం ఉంటుంది. సమపొటెన్షియల్ తలంపై ఒక బిందువు నుంచి మరొక బిందువు వద్దకు ఆవేశాన్ని తీసుకురావడానికి చేసిన పని సున్నా అవుతుంది.

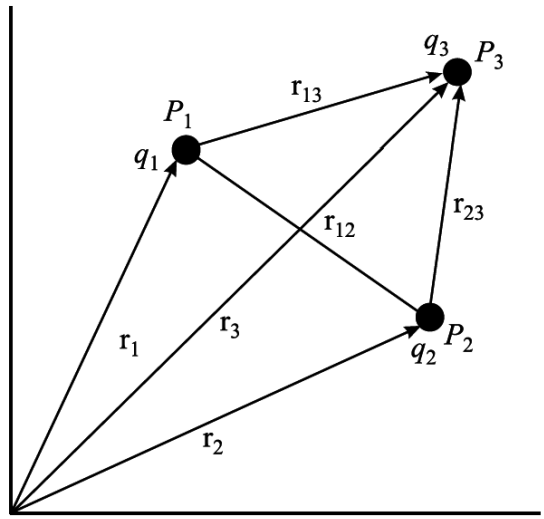


(a) గోళాకార సమపొటెన్షియల్ తలం (b) సమతల సమపొటెన్షియల్ తలం

పటం 18.5 : సమపొటెన్షియల్ తలాలు మరియు విద్యుత్ క్షేత్ర దిశలు

బహుళ బిందు ఆవేశ వ్యవస్థ యొక్క స్థితి శక్తి

విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉన్నపుడు ఒక బహుళ ఆవేశ వ్యవస్థ పొందిన శక్తే, స్థిర విద్యుత్ స్థితి శక్తి. ఆవేశాలు అనంత దూరంలో ఉంటే వాటి మధ్య అన్యోన్య చర్య జరగదు మరియు వాటి స్థితి శక్తి సున్నా. ఆవేశ వ్యవస్థను ఏర్పరచాలంటే ఈ ఆవేశాలన్నింటిని జమ చేయాలి. అంటే వాటిని ఒకదాని దగ్గరకు ఇంకొకదాన్ని తీసుకురావాలి. ఇలా ఆవేశాలను అనంత దూరం నుంచి దగ్గరకు తీసుకురావడానికి పని చేయవలసి ఉంటుంది. ఈ పని ఆవేశ వ్యవస్థ యొక్క స్థితి శక్తిగా నిలువ ఉంటుంది. దీన్నే ఆవేశ వ్యవస్థ యొక్క స్థిర విద్యుత్ స్థితి శక్తి అంటారు. అనంత దూరం వేరు చేయబడిన అనేక ఆవేశాలను వ్యవస్థలో వరసగా వాటి స్థానాలకు తీసుకురావడానికి చేయవలసిన మొత్తం పనిని ఆ ఆవేశ వ్యవస్థ యొక్క స్థితి శక్తిగా నిర్వచిస్తాం.



పటం 18.6 : కొంత దూరం వేరుచేయబడిన ఆవేశాల వ్యవస్థ యొక్క స్థితి శక్తి

q_1 బిందు ఆవేశాన్ని $\mathbf{r}_1$ స్థాన సదిశ గల బిందువు P_1 వద్ద ఉంచామనుకుందాం. q_2 ఆవేశం అనంత దూరంలో ఉందనుకుందాం. q_2 ని అనంత దూరం నుంచి తీసుకువచ్చి $\mathbf{r}_2$ స్థాన సదిశ గల బిందువు P_2 వద్ద ఉంచాలి. ఇక్కడ పటం (18.6)లో చూపినట్లు $P_1P_2 = \mathbf{r}_{12}$

P_1 వద్ద గల ఆవేశం q_1 వల్ల P_2 వద్ద ఏర్పడే విద్యుత్ పొటెన్షియల్

$$V_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{|\mathbf{r}_{12}|} \qquad (18.17)$$

అని మనకు తెలుసు.

పొటెన్షియల్ నిర్వచనం ప్రకారం, అనంతదూరం నుంచి q_2 ఆవేశాన్ని P_2 వద్దకు తీసుకురావడానికి చేయవలసిన పని

$$W = (P_2 \text{ వద్ద పొటెన్షియల్}) \times \text{ఆవేశ విలువ}$$

ఈ పని q_1, q_2 అనే రెండు ఆవేశాల వ్యవస్థ యొక్క స్థిర విద్యుత్ స్థితి శక్తి (U) గా నిలువ ఉంటుంది. కాబట్టి

$$U = \frac{q_1 \times q_2}{4\pi\varepsilon_0 |\mathbf{r}_{12}|} \qquad (18.18)$$

రెండు ఆవేశాలు ఒకే సంజ్ఞ కలిగి ఉంటే, ఆ ఆవేశాలను దగ్గరగా తీసుకురావడానికి వికర్షణ బలంకు వ్యతిరేకంగా పని చేయాలి. కాబట్టి వ్యవస్థ విద్యుత్ స్థితి శక్తి పెరుగుతుంది. మరొక వైపు ఆవేశాలను దూరంగా జరపటానికి, క్షేత్రం పని చేస్తుంది. ఫలితంగా వ్యవస్థ యొక్క స్థితి శక్తి తగ్గుతుంది. ఆవేశాలు వ్యతిరేక సంజ్ఞ కలిగి ఉంటే (ఒకటి

ధనాత్మకం, రెండవది రుణాత్మకం) ఆవేశాలను దగ్గరగా తీసుకువచ్చినపుడు, ఆవేశ వ్యవస్థ యొక్క స్థితిశక్తి తగ్గుతుంది మరియు ఆవేశాలను ఒకదాని నుంచి మరొకటి వేరుచేసిన వ్యవస్థ స్థితిశక్తి పెరుగుతుంది.

మూడు ఆవేశాలు గల వ్యవస్థకు (పటం 18.6), సమీకరణం (18.18) ని ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1q_2}{r_{12}} + \frac{q_1q_3}{r_{13}} + \frac{q_2q_3}{r_{23}}\right) \qquad (18.19)$$

ఇదే విధంగా అనేక ఆవేశాలతో కూడిన బహుళ ఆవేశ వ్యవస్థకు స్థితి శక్తిని లెక్కించవచ్చు.

సమీకరణాలు (18.3), (18.13)లను కలిపితే, సమ విద్యుత్ క్షేత్రంలో గల డైపోల్ యొక్క స్థితి శక్తిని కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$Uq = -\,\mathbf{p}E\cos\theta = -\,\mathbf{p.E} \qquad (18.20)$$

ఇక్కడ **p** అనేది విద్యుత్ క్షేత్రం **E** లో గల డైపోల్ విద్యుత్ భ్రామకం, θ అనేది **p**, **E** ల మధ్య కోణం.

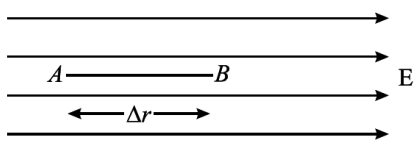
18.2 విద్యుత్ క్షేత్రం, పొటెన్షియల్‌ల మధ్య సంబంధం

ఒక ఏకరీతి (సమ) విద్యుత్ క్షేత్రం A లో Δr దూరం ఎడంగా ఉన్న A, B అనే రెండు బిందువులను తీసుకుందాం. నిర్వచనం ప్రకారం A, B ల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా ΔV, ప్రమాణ ధన శోధనావేశాన్ని A నుంచి B కి కదల్చడానికి చేయవలసిన పనికి సమానం.

ΔV = (ప్రమాణ ధనావేశంపై గల బలం) × (AB)

$= \mathbf{E}.\,\Delta\mathbf{r} = E\,(\Delta r)\cos 180^{o}$

$= -\,\mathbf{E}\,\Delta\mathbf{r}$



లేదా $$\mathbf{E} = -\frac{\Delta V}{\Delta r} \qquad (18.21)$$

రుణ సంజ్ఞ విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేకంగా పని జరిగినట్లు సూచిస్తుంది. $\frac{\Delta V}{\Delta r}$ భౌతికరాశి పొటెన్షియల్ దూరంతో మారే రేటును తెలియచేస్తుంది. దీనినే పొటిన్షియల్ ప్రవణత (***potential gradient***) అంటారు. విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఏదయినా ఒక బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రత ఆ బిందువు వద్ద క్షేత్ర దిశలో ఉన్న పొటెన్షియల్ యొక్క రుణ ప్రవణతకు సమానం. విద్యుత్ పొటెన్షియల్ ఒక అదిశ రాశి, కాని విద్యుత్ పొటెన్షియల్ ప్రవణత సంఖ్యాత్మకంగా విద్యుత్ క్షేత్రానికి సమానం కాబట్టి అది ఒక సదిశ అని గుర్తుంచుకోండి.

పై సంబంధం నుంచి ఒక ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రంకు ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$E = \frac{V_A - V_B}{d} \qquad (18.22)$$

ఇక్కడ V_A, V_B లు వరసగా d దూరంలో ఉన్న A, B బిందువుల వద్ద గల పొటెన్షియల్‌లు.

ఉదాహరణ 18.1

1.6×10^{-19} C ఆవేశం కల ఒక ధనావేశ కణాన్ని 10 వోల్టుల బ్యాటరీలో రుణ టెర్మినల్ (కొన) నుంచి ధన టెర్మినల్‌కు జరపటానికి చేయవలసిన పని ఎంత?

సాధన :

సమీకరణం (18.2) నుంచి

$$V_{AB} = W_{AB} / q_O$$

$V_{AB} = 10$ V, $q_0 = 1.6 \times 10^{-19}$ C, కాబట్టి

$$W_{AB} = (10V) \times (1.6 \times 10^{-19}C)$$

$$= 1.6 \times 10^{-18} \text{ J}$$

ఉదాహరణ 18.2

కార్తీజియన్ నిరూపక వ్యవస్థలో మూలబిందువు వద్ద q అనే బిందు ఆవేశం ఉంది. x బిందువు వద్ద విద్యుత్ పొటెన్షియల్ 400 V మరియు విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం 150 NC^{-1} అయితే x, q లను కనుక్కోండి.

సాధన : విద్యుత్ క్షేత్రం $E = \frac{V}{x}$

సంఖ్యా విలువలను ప్రతిక్షేపించగా

$$150 = \frac{400}{x}$$

లేదా $x = 2.67$ m

విద్యుత్ క్షేత్రం ను ఈ కింది విధంగా కూడా రాయవచ్చు.

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{x^2}$$

$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\times 10^9 \text{N C}^{-2}\text{m}^2$, $E = 150 \text{ N C}^{-1}$, $x = 2.67$ లను ప్రతిక్షేపిస్తే

$$q = \frac{\left(150 \text{ N C}^{-1}\right)\times\left(2.67 \text{ m}\right)^2}{9\times 10^9 \text{ N C}^{-2}}$$

$$= 11.9 \times 10^{-8} \text{ C}$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 18.1

1. +q ఆవేశం, R వ్యాసార్థం గల లోహపు గోళతలంపై సమంగా వితరణ చెందింది. గోళ కేంద్రం నుంచి r (> R)బిందువు వద్ద గల పొటెన్షియల్ ఎంత?

2. బిందు ఆవేశం q చుట్టూ r వ్యాసార్థం గల వృత్తం గుండా ఒక బిందు ఆవేశాన్ని కదిలించడానికి చేయవలసిన పనిని లెక్కించండి.

3. విద్యుత్ పొటెన్షియల్ V స్థిరంగా ఉన్న ఒక ప్రాంతంలోని విద్యుత్ క్షేత్రం E గురించి మీరు ఏమి చెప్పగలరు.

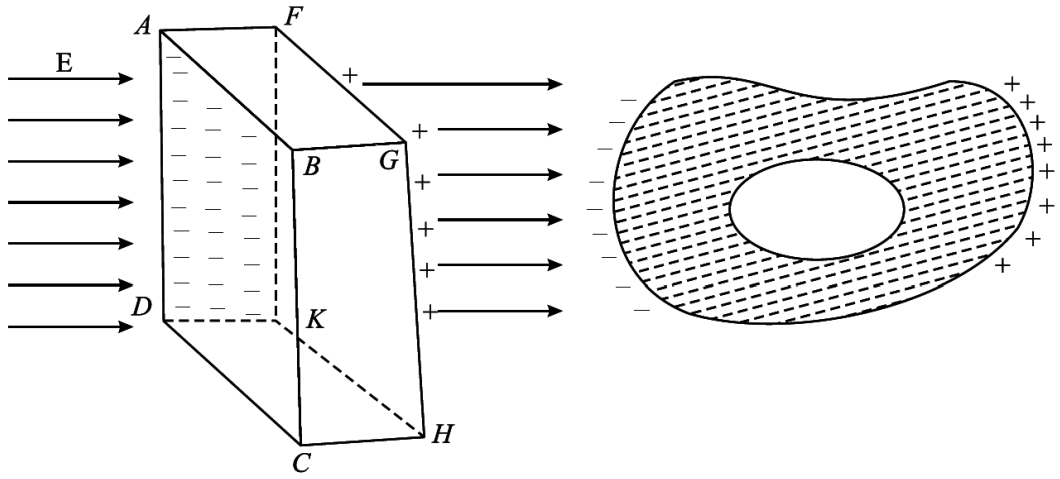
4. ఒక బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం సున్నా అయితే, ఆ బిందువు వద్ద విద్యుత్ పొటెన్షియల్ ఖచ్చితంగా సున్నా అవుతుందా?

5. రెండు సమ పొటెన్షియల్ తలాలు ఖండించుకుంటాయా?

ఆవేశ వాహకత్వం ఆధారంగా పదార్థాలను **వాహకాలు, బంధకాలు** అని విభజించారు. ఘన పదార్థాలలో విద్యుత్ వాహకత్వం స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రాన్ల వల్ల జరుగుతుంది, ప్రవాహిలో ఇది అయానుల వల్ల జరుగుతుంది. వాహకాలకు విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని అనువర్తించినపుడు, వాహకం ద్వారా విద్యుదావేశం ప్రవహిస్తుంది అంటే విద్యుత్ ప్రవాహానికి ఈ ఆవేశాల చలనమే కారణం అన్నమాట. లోహాలు మంచి వాహకాలు. స్వేచ్ఛావేశాలు లేని పదార్థాలను **బంధకాలు** అంటారు. కలప, ఎబొనైట్, గాజు, క్వార్జ్, మైకా మొదలగునవి బంధకాలకు ఉదాహరణలు. వాహకాల వాహకతకు, బంధకాల వాహకతకు మధ్యస్థంగా వాహకత కలిగిన పదార్థాలను **అర్ధవాహకాలని** అంటారు. వాహకాల, బంధకాల విద్యుత్ వాహకతల నిష్పత్తి సుమారుగా 1020 ఉంటుంది. ఇపుడు మనం విద్యుత్ క్షేత్రంలో వాహకాల ప్రవర్తన గురించి తెలుసుకుందాం.

విద్యుత్ క్షేత్రంలో వాహకాల ప్రవర్తన

వాహకాల పరమాణువులలోని ఎలక్ట్రానులు దృఢంగా బంధించబడి ఉండవు. ఈ ఎలక్ట్రాన్లు స్వేచ్ఛగా వాహక పదార్థం అంతటా తిరుగుతూ ఉంటాయి. అయితే బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం ఏదీ లేనప్పుడు వాహకంలో ఒక భాగం నుంచి మరొక భాగానికి ఎలక్ట్రాన్ల నికర బదిలీ ఏదీ ఉండదు. వాహకం స్థిర విద్యుత్ సమతాస్థితిలో ఉందని అంటాం.



(a) (b)

పటం 18.7 : స్థిర విద్యుత్ పరిరక్షణ ప్రక్రియ (a) **ABCD** తలంపైకి స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రానులను బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం లాగుతుంది. **FGHK** తలం, ఎలక్ట్రాన్లు లోపించడం వల్ల ధనాత్మకంగా ఆవేశితం చెందుతుంది, వాహకం లోపల నికర క్షేత్రం సున్నా అవుతుంది. (b) వాహకం లోపల కోటరము ఉంటే, కోటరంలోపల విద్యుత్ క్షేత్రం సున్నా అవుతుంది.

బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం **E** లో ఉంచిన ఒక వాహకాన్ని పటం 18.7(a) చూపిస్తుంది. వాహకంలోని స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రానులు విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేక దిశలో త్వరణం పొందుతాయి. ఫలితంగా వాహక ABCD తలంపై ఎలక్ట్రాన్లు వచ్చి చేరతాయి. ఎలక్ట్రానులను తీసివేయడం వల్ల FGHK తలం ధనాత్మకంగా ఆవేశితం చెందుతుంది. ఈ ఆవేశాలు (తలం ABCD పై రుణాత్మకం, తలం FGHK పై ధనాత్మకం) $\mathbf{E_1}$ విద్యుత్ క్షేత్రం ఏర్పచుతాయి. ఇది బాహ్యక్షేత్రం **E** కి వ్యతిరేక దిశలో ఏర్పరుస్తాయి. **E** విలువ $\mathbf{E_1}$ కు సమానం అయ్యే వరకు FGHK నుంచి ABCD కి ఎలక్ట్రాన్ల బదిలి కొనసాగుతూనే ఉంటుంది. వాహకాలు ఈ సమతాస్థితిని సాధారణంగా 10^{-16} s కాలంలో పొందుతాయి. వాహకంలో ఏదైన కోటరము (cavity) ఉంటే, కోటరములో గల విద్యుత్ క్షేత్రం సున్నా అవుతుంది. (పటం 18.7(b))

ఆవేశిత వాహకానికి లేదా తటస్థంగా ఉన్న వాహకం పైన బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం చేత ఆవేశాలను ప్రేరేపించినపుడు ఈ ఫలితాలు వర్తిస్తాయి.

వాహకం యొక్క ఈ ధర్మాన్ని **స్థిర విద్యుత్ కవచ** ప్రక్రియలో వాడతారు – అంతరాళంలోని కొంత ప్రాంతాన్ని బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం నుంచి పరిరక్షించడమనే దృగ్విషయం. బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రాల నుంచి సున్నితమైన విద్యుత్ పరికరాలను పరిరక్షించడానికి వాటిని బోలు వాహకాలలో ఆవృతం(enclosed) చేస్తారు. అలాగే మెరుపులతో కూడిన ఉరుములు వచ్చినపుడు బయట ఉండే కంటే బస్సులో గాని కారులోగాని మనం ఉంటే సురక్షితంగా ఉంటాం. కారు లేదా బస్సు యొక్క లోహపు దేహం(metallic body) మెరుపుల నుండి పరిరక్షిస్తుంది.

స్థిరవిద్యుత్ సమతాస్థితిలోని విద్యుద్వాహకం ఈ కింది ధర్మాలను కలిగి ఉంటుంది.

- వాహకం లోపల విద్యుత్ క్షేత్రం ఉండదు.
- వాహక ఆకారంతో సంబంధం లేకుండా, ఆవేశిత వాహకానికి బయట ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రం, వాహక తలానికి లంబంగా ఉంటుంది.
- వాహకంకి ఇచ్చిన ఆవేశం అంతా దాని ఉపరితలం మీదనే ఉంటుంది.

18.3 కెపాసిటెన్స్

సమానమైన విజాతీయ విద్యుదావేశాలు +Q, – Q గల రెండు వాహకాలను తీసుకుందాం. వాటి మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా V ఉంది. అటువంటి వాహకాల అమరికను కెపాసిటర్ అంటారు. వాహకం మీది ఆవేశం, పొటెన్షియల్ తేడాకి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుందని ప్రయోగ పూర్వకంగా కనుగొన్నారు. వాహకాల మీద ఆవేశం పెరిగిన కొద్దీ పొటెన్షియల్ తేడా కూడా పెరుగుతుంది. కాని వాటి మధ్య గల నిష్పత్తి స్థిరంగా ఉంటుంది. ఈ నిష్పత్తినే కెపాసిటర్ యొక్క కెపాసిటెన్స్ అంటారు.

$$Q \propto V$$

$$Q = CV$$

$$C = \frac{Q}{V} \qquad (18.23)$$

ఇక్కడ C అనునది అనుపాత స్థిరాంకం

రెండు వాహకాలలో ఏదైనా వాహకంపై గల ఆవేశ పరిమాణంకి, వాటి మధ్య గల పొటెన్షియల్ తేడా V కి గల నిష్పత్తిని కెపాసిటెన్స్ అని నిర్వచిస్తారు. ఇది కెపాసిటర్ ఆవేశాన్ని నిలువ ఉంచుకునే సామర్థ్యానికి కొలత.

SI పద్ధతిలో కెపాసిటెన్స్‌కి ప్రమాణం ఫారడ్ farad (F). విద్యుద్వాహకాలకు ఒక కూలూంబ్ ఆవేశాన్ని ఇచ్చినపుడు వాటి మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా ఒక వోల్టు పెరిగితే కెపాసిటెన్స్ ఒక ఫారడ్ అవుతుంది.

$$1 \text{ ఫారడ్} = \frac{1 \text{ కూలుంబ్}}{1 \text{ వోల్టు}} \qquad (18.24)$$

ఆవేశానికి అతి పెద్ద ప్రమాణం కూలూంబ్ అని మీరు ఇంతకు ముందు తెలుసుకున్నారు. అలాగే కెపాసిటెన్స్‌కు ఫారడ్ అతి పెద్ద ప్రమాణం. సాధారణంగా చిన్న ప్రమాణాలైన మైక్రో ఫారడ్(ఖీఓ) ల లోను, పికోఫారడ్ (చీఓ) లలోను కెపాసిటీని కొలుస్తారు.

1 మైక్రో ఫారడ్ = 10^{-6} ఫారడ్, μF గా రాస్తాము.

1 పికో ఫారడ్ = 10^{-12} ఫారడ్, pF గా రాస్తాము.

విద్యుత్ వలయంలో కెపసిటర్‌ను రెండు సమాంతర రేఖలతో సూచిస్తారు.

గోళాకార వాహకం యొక్క కెపాసిటెన్స్

r వ్యాసార్ధం గల గోళాకార వాహకానికి q ఆవేశాన్ని ఇచ్చామనుకుందాం. గోళం పొటెన్షియల్ V అయితే,

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$$

$C = \frac{q}{V}$, కాబట్టి,

$$C = \frac{q}{q/4\pi\varepsilon_0 r} = 4\pi\varepsilon_0 r = \frac{r}{9\times10^9} \qquad (18.25)$$

గోళాకార వాహకం యొక్క కెపాసిటెన్స్ దాని వ్యాసార్ధానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుందని పై సమీకరణం ద్వారా తెలుస్తుంది. సంఖ్యాత్మకంగా ఇది వ్యాసార్ధాన్ని 9×10^9 తో భాగిస్తే వచ్చిన విలువకు సమానం. ఇక్కడ వ్యాపార్ధాన్ని మీటర్‌లలో తీసుకుంటాం. ఉదాహరణకు 0.18 m వ్యాసార్ధం గల గోళాకార వాహకం యొక్క కెపాసిటెన్స్.

$$C = \frac{0.18}{9} \times 10^{-9} F = 20\,pF$$

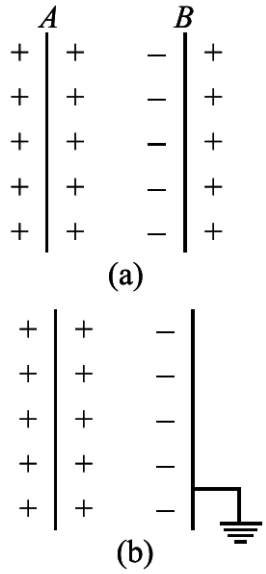
కెపాసిటర్ సూత్రం

భౌతికశాస్త్ర ప్రయోగశాలలో మనం అనేక రకాలైన కెపాసిటర్‌లను చూస్తుంటాం. విద్యుత్ శక్తి సరఫరా వ్యవస్థలో కెపాసిటర్‌లను వాడతారు. రేడియో, టి.వి., వర్ధకం, డోలకంలలో కెపాసిటర్‌లను విరివిగా వాడతారు. ఒక కెపాసిటర్ రెండు వాహకాలను కలిగి ఉంటుంది, అందులో ఒకటి ఆవేశితమైనది, రెండవది సాదారణంగా భూమికి

కలిపి ఉంటుంది. విద్యుత్ కెపాసిటర్ పని చేసే విధానాన్ని లేక సూత్రాన్ని అర్థం చేసుకోవడానికి ఒక తటస్థ విద్యుద్వాహక పలక A ను తీసుకుందాం. పలక A కు q ధన ఆవేశాన్ని ఇచ్చినపుడు దాని పొటెన్షియల్ V కి పెరుగుతుంది.

వాహక పలక A యొక్క కెపాసిటీ $C = \frac{q}{V}$ అయితే వాహకం అదనంగా (q కంటే ఎక్కువ) ఆవేశాన్ని భరించలేదు.

ఇప్పుడు మరొక తటస్థమైన లోహపు పలక B ను A కి సమాంతరంగా కొంత దూరంలో ఎడంగా ఉంచుదాం. స్థిర విద్యుత్ ప్రేరణ కారణంగా, B పలక మీద A కి ఎదురుగా సమాన రుణావేశం, అంతే పరిమాణం కలిగిన +q ధనావేశం, B పలక రెండో వైపున ప్రేరితం అవుతుంది. (పటం 18.8(a)). B పైన ప్రేరితమైన రుణావేశం A పొటెన్షియల్‌ని తగ్గిస్తే, B పైన ప్రేరితమైన ధనావేశం A పొటెన్షియల్‌ని పెంచుతుంది. ఇప్పుడు B పలకను భూమికి సంధానం (పటం 18.8(b)) చేస్తే B పలకపై ప్రేరితమైన ధనావేశం తటస్థీకరింపబడి రద్దుకాగా, A కి ఎదురుగా B పై ప్రేరితమైన రుణావేశం మాత్రం A మీద ఉన్న ధనావేశం చేత ఆకర్షితం అవుతూ అట్లాగే ఉండి పోతుంది. ఇలాంటి సందర్భంలో B పలకపై మిగిలి ఉన్న రుణావేశం A యొక్క పొటెన్షియల్‌ను తగ్గించి, దాని కెపాసిటెన్స్‌ను పెంచుతుంది.

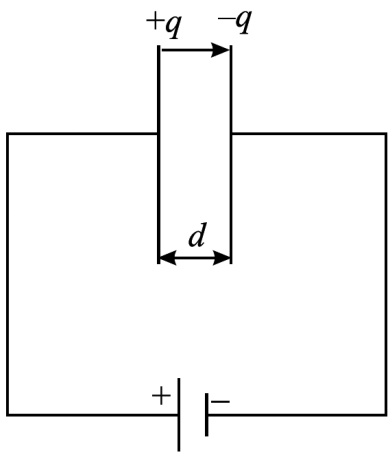


పటం 18.8 కెపాసిటర్ పని చేసే విధానం లేక సూత్రం

ఒక తటస్థ వాహకానికి సమీపంగా మరొక ఆనావేశిత వాహకాన్ని తీసుకువచ్చి, ఈ అనావేశిత వాహకం యొక్క వెలుపలి ఉపరితలాన్ని భూమికి కలపడం ద్వారా మొదటి వాహకం యొక్క కెపాసిటెన్స్‌ని పెంచవచ్చు. ఇదే కెపాసిటర్ యొక్క మూలసూత్రం. తక్కువ సమయంలో తక్కువ స్థలంలో హెచ్చు ఆవేశాలను నిలవ చేయుటకు కెపాసిటర్‌లను వాడతారు. విద్యుచ్ఛక్తిని నిలవచేయడానికి వాడే పరికరాలలో కెపాసిటర్‌లు ఉపయోగపడతాయి.

సమాంతర పలకల కెపాసిటర్

కెపాసిటర్ రూపాలన్నింటిలోను అత్యంత సరళమైన సమాంతర పలకల కెపాసిటర్‌లో రెండు సమాంతర (వాహక) లోహపు పలకలుంటాయి. ఒక్కొక్క పలక వైశాల్యం A, రెండు పలకలను d దూరంలో ఉంచాలి. పలకల మధ్య గల ప్రదేశాన్ని గాలి, పేపరు, మైకా, గాజు మొదలగు పదార్థాలతో నింపవచ్చు. పటం 18.9లో చూపినట్లుగా ఈ పలకలను ఒక విద్యుత్‌ఘటానికి (battery) కలపాలి. కెపాసిటర్ పూర్తిగా ఆవేశితమైనపుడు పలకలు +q ఆవేశం, –q ఆవేశంను పొందాయనుకుందాం. ఈ ఆవేశాల వల్ల పలకల మధ్య ఏకరీతి (సమ) విద్యుత్ క్షేత్రం **E** నెలకొంటుంది. పలకల పరిమాణంతో పోల్చినపుడు d స్వల్పమైతే, అంచుల వద్ద కొద్దిగా విచలనం పొందిన విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ఉపేక్షింపవచ్చు.



పటం 18.9 సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ సూత్రం

ఏదైనా పలకలపై ఉపరితల ఆవేశ సాంద్రత అయితే, పలకల మధ్య విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{q}{\varepsilon_0 A}$$

మరియు పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా

$$V = Ed$$

కాబట్టి d దూరంలో వేరు చేయబడిన రెండు సమాంతర పలకల మధ్య ప్రదేశాన్ని గాలితో నింపినప్పుడు ఆ సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ యొక్క కెపాసిటెన్స్

$$C_0 = \frac{q}{V} = \frac{q}{qd/\varepsilon_0 A}$$

$$= \frac{\varepsilon_0 A}{d} \qquad (18.26)$$

దీన్ని బట్టి సమాంతర పలకల కెపాసిటెన్స్ పలకల వైశాల్యానికి అనులోమానుపాతంలోను, వాటి మధ్య గల దూరానికి విలోమానుపాతంలోను ఉంటుందని చెప్పవచ్చు. హెచ్చు కెపాసిటెన్స్ కావలెనంటే, పలకల వైశాల్యం ఎక్కువగా వాటి మధ్య దూరం తక్కువగా ఉండాలి.

కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గాలి లేదా శూన్యం కాకుండా రోధకాన్ని ఉంచినపుడు, సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ యొక్క కెపాసిటెన్స్

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} = \frac{k\,\varepsilon_0 A}{d}$$

ఇక్కడ ε ను రోధక యానకం యొక్క పెర్మిటివిటీ అంటారు. సమాంతర పలకల కెపాసిటర్‌లో పలకల మధ్య ప్రదేశాన్ని రోధక యానకంతో నింపినపుడు దాని కెపాసిటెన్స్ గాలి లేదా శూన్యంతో నింపినపుడు గల కెపాసిటెన్స్‌కు *K* రెట్లు ఉంటుంది.

$$C = KC_0 \qquad (18.27)$$

సాపేక్ష పెర్మిటివిటీ లేదా రోధక స్థిరాంకం (Relative Permittivity or Dielectric Constant)

ఆవేశాల మధ్య గల బలాలను లెక్కించి రోధక స్థిరాంకంను మనం నిర్వచించవచ్చు. కూలూంబ్ నియమం ప్రకారం. q_1, q_2 పరిమాణాలు గల రెండు ఆవేశాలు స్వేచ్ఛా అంతరాళంలో ఒకదాని ఒకటి r దూరంలో ఉన్నపుడు వాటి మధ్య ఉండే బల పరిమాణం.

$$F_v = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad (18.28)$$

ఇక్కడ ε_0 స్వేచ్ఛా అంతరాళం (గాలి లేక శూన్యం) పెర్మిటివిటి. ఈ ఆవేశాలు అంతే దూరంలో మరొక యానకంలో ఉన్నపుడు వాటి మధ్య ఉండే బలం

$$F_m = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad (18.29)$$

సమీకరణాలు (18.28), (18.29) నుంచి

$$\frac{F_{\hat{v}}}{F_m} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon} = \varepsilon_r \qquad (18.30)$$

ఇక్కడ ε_r (లేదా K) ను సాపేక్ష పెర్మిటివిటీ అంటారు. దీనిని యానకం రోధక స్థిరాంకం అని కూడ అంటారు. రోధక స్థిరాంకం యానకం పెర్మిటివిటీ ε కి, శూన్య యానక పెర్మిటివిటీ ε_0 కి గల నిష్పత్తి అని గమనించండి. శూన్య యానకంలో రెండు ఆవేశాల మధ్యగల బలానికి, అవే ఆవేశాలు యానకంలో అంతే దూరంలో ఉన్నపుడు వాటి మధ్యగల బలానికి గల నిష్పత్తిని కూడ రోధక స్థిరాంకం అని మనం నిర్వచించవచ్చు.

రోధక స్థిరాంకంను ఈ విధంగా కూడ రాయవచ్చు.

$$K = \frac{\text{పలకల మధ్య రోధక యూనకంతో గల కెపాసిటెన్స్}}{\text{పలకల మధ్య శూన్య యూనకంతో గల కెపాసిటెన్స్}}$$

$$= \frac{C_m}{C_0}$$

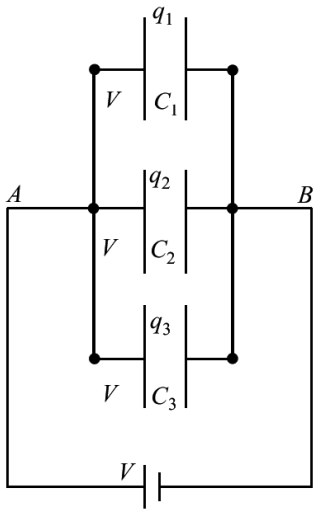
కాబట్టి $$C_m = KC_0 \qquad (18.31)$$

లోహాలకు $K = \infty$, మైకాకు $K \approx$, కాగితంకు $K = 3.6$

18.4 కెపాసిటర్ల సంధానం

విద్యుత్ మరియు ఎలక్ట్రానిక్ వలయాల యొక్క ముఖ్యమైన అంశాలు కెపాసిటర్లు. వేర్వేరు పనుల కొరకు వివిధ రకాలైన కెపాసిటెన్స్‌లు గల కెపాసిటర్లు మనకు కావలసి ఉంటుంది. ఒక్కోసారి సరైన విలువ గల కెపాసిటెన్స్ ఉండక పోవచ్చు. అటువంటి పరిస్థితులలో ఉన్న కెపాసిటర్‌లతో కావలసిన కెపాసిటెన్స్ విలువను (తక్కువ లేదా ఎక్కువ) రాబట్టడానికి కెపాసిటర్ల సంధానం మనకు ఉపయోగపడుతుంది. కెపాసిటర్లను సాధారణంగా రెండు పద్ధతులలో కలుపుతారు. ఒకటి శ్రేణి సంధానం రెండు సమాంతర సంధానం.

కెపాసిటర్ల శ్రేణీ సంధానం, సమాంతర సంధానం గురించి ఇపుడు తెలుసుకుందాం.



పటం 18.10 : కెపాసిటర్ల సమాంతర సంధానం

కెపాసిటర్ల సమాంతర సంధానం

సమాంతర సంధానంలో ప్రతి కెపాసిటర్‌లోని మొదటి పలకను ఒక బ్యాటరీ ధ్రువానికి, రెండవ పలకను బ్యాటరీ మరొక ధ్రువానికి పటం

18.10 లో చూపినట్లు కలుపుతారు. సంధానానికి అనువర్తించిన పొటెన్షియల్ తేడా V అనుకుందాం. కెపాసిటర్ల సమాంతర సంధానంలో ప్రతి ఒక్క కెపాసిటర్ పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడాకు ఒకే విలువ ఉంటుంది కాని ఆవేశం మాత్రం వేరు వేరు కెపాసిటర్లకు వేరు వేరు పరిమాణాలలో వితరణ చెంది ఉంటుంది.

కెపాసిటర్లపై ఏర్పడే విద్యుదావేశాలను q_1, q_2, q_3 అనుకుంటే

$$q_1 = C_1V$$

$$q_2 = C_2V$$

$$q_3 = C_3V \qquad (18.32)$$

సంధానం యొక్క అన్ని కెపాసిటర్ల మీద గల మొత్తం విద్యుదావేశం q అయితే

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

$$q = (C_1 + C_2 + C_3 + \ldots)\ V \qquad (18.33)$$

కెపాసిటర్‌ల సమాంతర సంధానంలో తుల్య (ఫలిత) కెపాసిటెన్స్ C_p అనుకుంటే అపుడు

$$q = C_p\ V$$

పై సమీకరణాల నుంచి

$$q = C_pV = (C_1 + C_2 + C_3)V$$

n కెపాసిటర్లను సమాంతరంగా కలిపితే అపుడు ఫలిత కెపాసిటెన్స్

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 = \sum_{i=1}^{n} C_i \qquad (18.34)$$

కాబట్టి తుల్య కెపాసిటెన్స్, సమాంతర సంధానంలోని కెపాసిటీల మొత్తానికి సమానం.

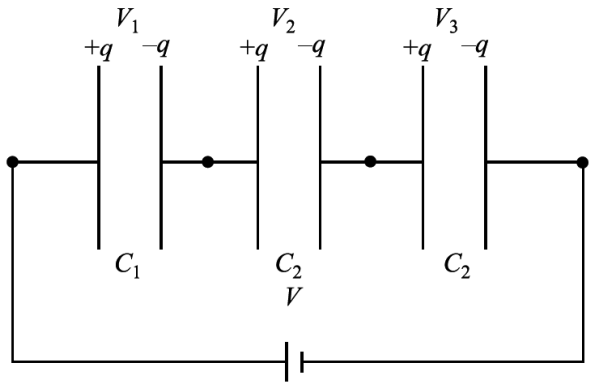
సమాంతర సంధానంలోని అన్ని కెపాసిటర్ల పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా ఒకే విలువను కలిగి ఉంటుంది. కాని వేరు వేరు కెపాసిటర్లకు ఆవేశం వేరు వేరు పరిమాణాలలో వితరణ చెంది ఉంటుందని గుర్తుంచుకోండి. ఆవేశ సంచయనం (ప్రోగు చేయుట) కు ఈ సంధానాన్ని వాడతారు.

కెపాసిటర్ల శ్రేణీ సంధానం

కెపాసిటర్ల శ్రేణీ సంధానంలో మొదటి కెపాసిటర్ యొక్క రెండవ పలకను రెండవ కెపాసిటర్ యొక్క మొదటి పలకకు, రెండవ కెపాసిటర్ యొక్క రెండవ పలకను మూడవ కెపాసిటర్ యొక్క మొదటి పలకకు ..... ఈ విధంగా కలుపుకుంటూ పోతారు. చివరికి మొదటి కెపాసిటర్ యొక్క మొదటి పలకను, ఆఖరి కెపాసిటర్ యొక్క రెండవ పలకను ఒక బ్యాటరీ ధన, రుణ ధ్రువాలకు పటం 18.11లో చూపినట్లుగా కలుపుతారు. శ్రేణీ సంధానం చివరల మధ్య బ్యాటరీ వల్ల కలిగే పొటెన్షియల్ తేడా V. C_1 కెపాసిటర్‌లో మొదటి పలకకు +q ఆవేశాన్ని ఇస్తే ప్రేరణ వల్ల

మిగిలిన కెపాసిటర్లలో q ఆవేశాలు పటం 18.11లో చూపినట్లు ఏర్పడతాయి. కాబట్టి శ్రేణీ సంధానంలో ప్రతి కెపాసిటర్ పలకల మీద ఒకే పరిమాణంలో ఆవేశం q ఉంటుంది. కాని వేరు వేరు కెపాసిటర్ల పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడాలు వేరు వేరుగా ఉంటాయి. శ్రేణిలో ఉన్న మూడు కెపాసిటర్ల పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడాలు వరసగా V_1, V_2, V_3 అందాం. అపుడు

$$V_1 = \frac{q}{C_1},\ V_2 = \frac{q}{C_2},\ V_3 = \frac{q}{C_3} \qquad (18.35)$$



పటం 18.11 : కెపాసిటర్ల శ్రేణీ సంధానం. ప్రతి కెపాసిటర్ పలక మీద ఒకే పరిమాణంలో ఆవేశం ఉంటుంది.

కెపాసిటర్లను శ్రేణిలో కలిపినపుడు తుల్య (ఫలిత) కెపాసిటెన్స్ C_s అనుకుంటే అపుడు

$$V = \frac{q}{C_s}$$

మరియు
$$V = V_1 + V_2 + V_3 \qquad (18.36)$$

కాబట్టి
$$\frac{q}{C_s} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$$

లేదా
$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \qquad (18.37)$$

n కెపాసిటర్లను శ్రేణిలో కలిపినప్పుడు తుల్య లేదా ఫలిత కెపాసిటెన్స్ C_s అయితే

$$\frac{1}{C_s} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$$

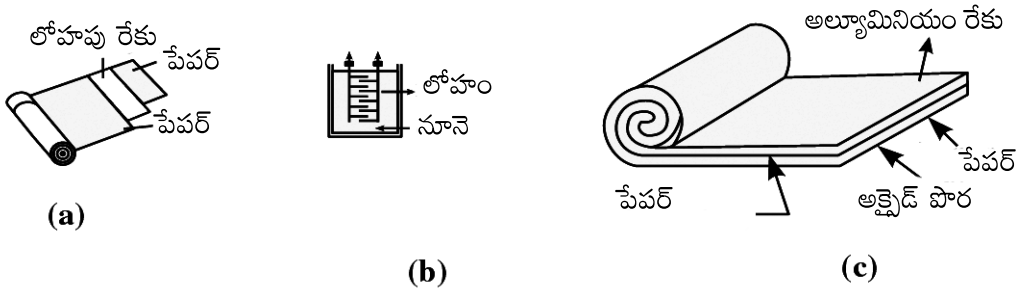
కెపాసిటర్ల రకాలు

వేరు వేరు అనువర్తనాల కోసం వేరు వేరు రకాల కెపాసిటర్లను వాడతాం. అయితే వ్యాపార పరంగా మూడు రకాలైన కెపాసిటర్లను ఎక్కువగా వాడతాం. వాటిని పటం 18.12లో చూపించాం. కొన్ని ప్రత్యేక రకం కెపాసిటర్ల గురించి ఈ కింద వివరించడం జరిగింది.

1. **పేపర్ కెపాసిటర్ :** పేపర్ కెపాసిటర్‌లో నూనెలో గాని, మైనంలో గాని తడిపిన పేపరును రోధకంగా వాడతారు. ఈ పేపరును తగిన పరిమాణంలో తీసుకోవాలి. అదే పరిమాణం కలిగిన లోహపు రేకులు తీసుకుని ఈ పేపరుని లోహపు రేకుల మధ్య ఉంచుతారు. లోహపు రేకులు కెపాసిటర్ పలకలుగా పనిచేస్తాయి. అనేక లోహపు రేకులను మైనంలో తడిపిన కాగితాలను ఏకాంతరంగా అమర్చి పటం 18.12(a) లో మాదిరిగా రూపొందిస్తారు. ఈ మొత్తం అమరికను చట్టగా చుట్టి ఒక స్థూపంలో ఉంచి మూసివేస్తారు. ఈ రకం కెపాసిటర్లు

తక్కువ స్థలాన్ని ఆక్రమిస్తాయి. వీటిని ప్రయోగశాలలోను, రేడియో వలయాలలోను విరివిగా వాడతారు.

2. **వాహక పలక కెపాసిటర్లు (చర కెపాసిటర్లు) :** ఈ రకం కెపాసిటర్‌లో పలకల మధ్య ఉండే ప్రభావక వైశాల్యాన్ని మార్చడం ద్వారా కెపాసిట్‌న్స్‌ని మార్చవచ్చు. పటం 18.12(b)లో చూపినట్లు రెండు లోహపు కడ్డీలకు ఏకాంతరంగా అనేక లోహ పలకలను కలుపుతారు. మొత్తం పలకల వ్యవస్థను సిలికాన్ నూనెలో ముంచుతారు. పలకల మధ్య సిలికాన్ నూనె రోధక యానకం లాగా పనిచేస్తుంది. హెచ్చు వోల్టేజి కెపాసిటర్లు ఈ రకానికి చెందినవే. చర కెపాసిటర్‌లో పలకల జతలు రెండు ఉంటాయి. ఒక పలకల జత కదలకుండా స్థిరంగా ఉంటుంది. రెండవ పలకల జతను తిప్పవచ్చు. ఈ పలకల జతను తిప్పినపుడు పలకల మధ్య ఉమ్మడిగా ఉండే ప్రభావక వైశాల్యం మారుతుంది. పర్యవసానంగా కెపాసిటెన్స్ మారుతుంది. రేడియో టివీలలోని గ్రాహకాలలో అమర్చిన శృతి వలయాలలో ఈ చర కెపాసిటర్లను విరివిగా వాడతారు. వివిధ రేడియో కేంద్రాలను శృతి చేయడంలో ఈ చర కెపాసిటర్లు సహాయపడతాయి.



పటం 18.12 : పలు రకాల కెపాసిటర్లు : (a) పేపరు కెపాసిటర్ (b) చర కెపాసిటర్ (c) విద్యుద్విశ్లేషక కెపాసిటర్

3. **విద్యుద్విశ్లేషక కెపాసిటర్ :** విద్యుద్విశ్లేషక కెపాసిటర్‌ను పటం 18.12(సి)లో చూపించాం. ఒక లోహపు రేకును పెరుగుతున్న వ్యాసం గల స్థూపాకారంలో చుట్టి, ఆ అమరికను ద్రావణ రూపంలో ఉన్న ఒక విద్యుద్విశ్లేషకంలో ముంచాలి. ద్రావణంలోని అయానుల కారణంగా ద్రావణం వహనం చెందుతుంది. లోహపు రేకుకు, విద్యుద్విశ్లేకంకు మధ్య వోల్టేజిని అనువర్తించాలి. విద్యుద్విశ్లేషకం వహన గుణం కారణంగా, ఒక అతి పలుచని ఆక్సైడ్ పొర రేకుపై ఏర్పడుతుంది. ఈ పొర రోధక యానకంలా పని చేస్తుంది. రోధకం మందం చాలా తక్కువ అయినందు వల్ల ఈ రకం కెపాసిటర్ కెపాసిటెన్స్ చాలా ఎక్కువ. ఒక వలయంలో ఈ కెపాసిటర్‌ను కలిపేటప్పుడు ఆనోడ్ (A), కాథోడ్ (C) లను బ్యాటరీకి సక్రమంగా కలపాలి. లేకపోతే, ఆక్సైడ్ పొర బద్దలయిపోతుంది. (కెపాసిటర్ వహనం చెందడం మొదలు పెడుతుంది) ఈ కారణం వల్లనే, విద్యుత్ విశ్లేషక కెపాసిటర్‌లలో పైన ఆనోడ్‌ని, కాథోడ్‌ని విడివిడిగా స్పష్టంగా గుర్తిస్తారు. తక్కువ వోల్టేజి వద్ద అత్యధికంగా ఆవేశాన్ని నిలవ చేయడానికి ఈ రకం కెపాసిటర్లను వాడతారు.

కాబట్టి శ్రేణి సంధానంలో తుల్య కెపాసిటెన్స్ ఉత్క్రమం, శ్రేణిలోని కెపాసిటెన్స్ ఉత్క్రమాల మొత్తానికి సమానం. పై సమీకరణం నుంచి కెపాసిటర్‌లను శ్రేణీలో కలిపినపుడు తుల్య కెపాసిటెన్స్ విలువ శ్రేణిలోని కనిష్ఠ కెపాసిటెన్స్ విలువ కంటే తక్కువగా ఉంటుందని మీరు అంగీకరిస్తారు.

కెపాసిటర్ల శ్రేణీ సంధానంలో ప్రతి కెపాసిటర్ మీద ఒకే పరిమాణంలో ఆవేశం ఉంటుందని, కాని కెపాసిటర్ల పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడాలు వాటి కెపాసిటెన్స్‌కు విలోమానుపాతంలో ఉంటాయని గమనించండి. అంటే శ్రేణిలో కనిష్ఠ కెపాసిటెన్స్ విలువ గల కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గరిష్ఠ పొటెన్షియల్ తేడా ఉంటుందని అర్థం.

ఉదాహరణ 18.3

సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గాలి ఉన్నప్పుడు దాని కెపాసిటీ 22.0 μF పలకల మధ్య దూరం d. కెపాసిటర్ పలకల మధ్య $\frac{d}{2}$ మందం గల రోధక పలకను ఉంచారు. రోధక స్థిరాంకం K = 5అయితే ప్రభావక కెపాసిటెన్స్ ఎంత?

సాధన : కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గాలి ఉన్నపుడు కెపాసిటెన్స్

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 A}{d} = 22.0\ \mu F$$

కొత్త వ్యవస్థను రెండు కెపాసిటర్ల శ్రేణీ సంధానంగా అనుకుంటే

$$C_1 = \frac{K\varepsilon_0 A}{d/2} = \frac{2K\varepsilon_0 A}{d} = 2KC_0$$

మరియు

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 A}{d/2} = \frac{2\varepsilon_0 A}{d} = 2C_0$$

ప్రభావక కెపాసిటెన్స్ C ని ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

లేదా

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$= \frac{2KC_0 \times 2C_0}{2KC_0 + 2C_0}$$

$$= \frac{2KC_0}{K+1}$$

$$= \frac{10 \times 22 \times 10^{-6} F}{6}$$

$$= 36.7\ \mu f$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 18.2

1. కెపాసిటెన్స్ ప్రాథమిక ప్రమాణాలు రాయండి.
2. ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రం **E** లో, d దూరంతో వేరుచేయబడిన రెండు బిందువుల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా ఎంత?
3. కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గాలి ఉన్నపుడు గల రాశులు C_0, E_0, V_0. ఇవి అదే కెపాసిటర్ పలకల మధ్య రోధక స్థిరాంకం K కలిగిన యానకం ఉన్నపుడు గల రాశులు C, **E**, V లకు ఏ విధమైన సంబంధం కలిగి ఉన్నాయి.
4. ఒక సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ పలకల మధ్య దూరం 50 cm మరియు దాని కెపాసిటెన్స్ 1.0 μF పలకల మధ్య గాలి నింపినప్పుడు పలకల వైశాల్యాన్ని కనుక్కొండి.

కెపాసిటర్‌లో నిల్వ ఉండే శక్తి

కెపాసిటర్‌ను ఆవేశ పూరితం చేయటం అనగా తక్కువ పొటెన్షియల్ గల పలకల నుండి ఆవేశాన్ని ఎక్కువ పొటెన్షియల్ గల మరో పలకకు బదిలీ చేయటమే. రెండు సమాన విజాతి ఆవేశాలను వేరు చేయటానికి బాహ్య కారకం (బ్యాటరీ) పని చేయవలసి ఉంటుంది. ఈ పని కెపాసిటర్‌లో స్థిర విద్యుత్ స్థితి శక్తిగా నిలవ ఉంటుది. బ్యాటరీ తనలోని రసాయనాల శక్తిని ఖర్చు చేసి ఈ విధమైన ఆవేశ బదిలీకి కావలసిన పనిని చేస్తుంది. కెపాసిటర్‌కు ఉత్సర్గపరిస్తే ఈ శక్తిని ఉష్ణ శక్తిగా తిరిగి పొందవచ్చు.

అనావేశితంగా ఉన్న ఒక కెపాసిటర్‌ను తీసుకుని బ్యాటరీకి కలిపి ఆవేశితం చేద్దాం. అపుడు కెపాసిటర్ మీద చేరిన ఆవేశం తుది విలువ q అనుకుందాం. కెపాసిటర్ నెమ్మదిగా ఆవేశితం అవుతుంది. కెపాసిటర్ పలకల మధ్య తొలి పొటెన్షియల్ తేడా సున్నా. కెపాసిటర్ ఆవేశితం అయిన తరువాత పలకల మధ్య తుది పొటెన్షియల్ తేడా V.

కెపాసిటర్‌ను ఆవేశితం చేసే ప్రక్రియలో, సగటు పొటెన్షియల్ తేడా

$$\frac{0+V}{2} = \frac{V}{2} = \frac{q}{2C}$$

ఆవేశితం అయ్యేప్పుడూ జరిగిన పని, W = ఆవేశం × పొటెన్షియల్ తేడా

$$= q\,\frac{q}{2C} = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$$

ఇదే కెపాసిటర్‌లో నిల్వ ఉండే శక్తి U.

కాబట్టి స్థితిశక్తి $$U = \frac{1}{2}qV = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}CV^2 \qquad (18.38)$$

విద్యుత్ క్షేత్రంలో పలకల మధ్య ఈ శక్తి నిలువ ఉంటుంది. కెపాసిటెన్స్‌కు నిల్వ ఉండే శక్తి అనులోమానుపాతంలో ఉంది. పొటెన్షియల్ తేడా పెరిగితే ఈ శక్తి కూడ పెరుగుతుంది. కాని ప్రతి కెపాసిటర్ కొంత పరిమితి వరకే శక్తిని నిల్వ చేసుకుంటుంది. నిర్ణీత విలువకు మించి పొటెన్షియల్ తేడా పెరిగితే కెపాసిటర్ తనంతట తానుగా అనావేశితం అవుతుంది.

ఆవేశితమైన కెపాసిటర్ల పలకలను ముట్టుకుంటే అపాయం కలుగుతుంది. మన శరీరం ద్వారా కెపాసిటర్ ఉత్సర్గమైన ఫలితంగా విద్యుత్ షాక్ ఏర్పడుతుంది. హెచ్చు కెపాసిటెన్స్ విలువ గల ఆవేశిత కెపాసిటర్ల వల్ల ఏర్పడే షాకులు చాలా అపాయకరమైనవి.

18.5 రోధకాలు మరియు రోధక ధ్రువణం

స్వేచ్ఛాలక్ట్రాన్లు లేని బంధకాల పదార్థాలే రోధకాలుగాపని చేస్తాయని మనకు తెలుసు. రోధకాలలో విధ్యుత్ సులువుగా ప్రవహించదు. అయితే బాహ్యంగా విధ్యుత్ క్షేత్రాన్ని ప్రయోగించినపుడు. దాని ప్రభావం రోధకం మీద ఉండి తీరుతుంది. రోధకాలు రెండు రకాలు. అవి అధ్రువిత రోధకాలు, ధ్రువిత రోధకాలు, వీటిని గురించి ఇపుడు తెలుసుకుందాం.

(a) **అధ్రువిత రోధకాలు :** పదార్థాలన్నీ కూడా అణువులతో ఏర్పడతాయి. అధ్రువిత రోధకాల అణువులలో, బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం ఏదీ లేనప్పుడు ధన విద్యుదావేశ కేంద్రం రుణ విద్యుదావేశ కేంద్రం ఒకే చోట ఏకీభవిస్తాయి. సాధారణ స్థితిలో ప్రతి అణువు, ఏ విధమైన విద్యుత్ ద్విధ్రువ భామకంను కల్గివుండదు సాధారణంగా, ఈ అణువులలోని విద్యుదావేశ వితరణలు సౌష్ఠవంగా ఉంటాయి. ఉదాహణకు నైట్రోజను. ఆక్సిజన్, బెజిన్, మీథేన్, CO_2 మొదలగునవి

(b) **ధ్రువిత రోధకాలు :** ఈ రోధక అణువులు అసౌష్ఠవ ఆకారం కల్గి వుంటాయి. ఉదాహరణకు నీరు, NH_3, HCl మొదలగునవి. ధ్రువిత రోధక అణువులలో ధన విద్యుదావేశ, రుణ విద్యుదావేశ కేంద్రాలు ఒక నిర్దిష్ట దూరం ఎడంగా ఉంటాయి మరియు కొంత శాశ్వత విద్యుత్ ద్విధ్రువ భ్రామకాన్ని కల్గి ఉంటాయి.

అధ్రువిత రోధకాన్ని ఒక బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం (**E**) లో ఉంచినపుడు, ప్రతి అణువులోని ధన విద్యుదావేశ కేంద్రం క్షేత్ర దిశలోను, రుణ విద్యుదావేశ కేంద్రం క్షేత్ర దిశకు వ్యతిరేకంగాను స్థానభ్రంశం చెందుతాయి. ఈ విధంగా బాహ్యే విద్యుత్ క్షేత్రం వల్ల అధ్రువిత రోధకంలోని అణువులలో ఉండే ధన రుణ ఆవేశ కేంద్రాలు వేరు పడతాయి. అపుడు రోధక పదార్థం ధ్రువణం చెందింది అంటాం. రోధకంలోని ప్రతి అణువులోని ధన, రుణ ఆవేశ కేంద్రాలు విడివడటం వల్ల ప్రతి అణువు ఒక విద్యుత్ ద్విధ్రువంగా మార్పుచెందుతుంది. ఆవేశ కేంద్రాలను దూరంగా లాగే, బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం వల్ల కలిగే బలం, ఆవేశ కేంద్రాలు మధ్య గల ఆకర్ష బలాన్ని సంతులనం చేస్తుంది. ప్రతి అణువు ధ్రువణం చెందింది అంటారు. అణు ద్విధ్రువం యొక్క ద్విధ్రువ భామకం **p** అయితే

$$\mathbf{p} = \alpha\ \varepsilon_0\ \mathbf{E}$$

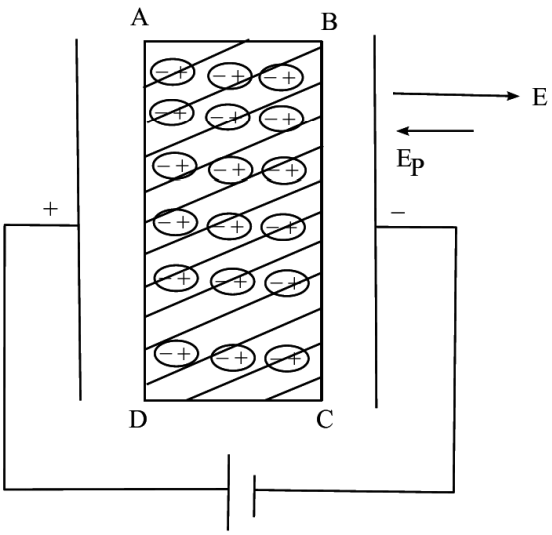
ఇక్కడ α అనుపాత స్థిరాంకం. దీన్ని పరమాణువు / అణువు యొక్క ధ్రువణ శీలత అంటారు.

ఇపుడు, ఒక అధ్రువిత రోధక పలక ABCD ని ఒక సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ యొక్క పలకల మధ్య ఉంచామనుకుందాం. కెపాసిటర్ పలకల మధ్య ఏర్పడిన విద్యుత్ క్షత్రం **E**. పటం 18.13 లో చూపినట్లుగా రోధకంలోని ప్రతి అణువు ధ్రువణం చెందుతుంది. రోధక పదార్థపు కేంద్రకాలు ఋణపలక వైపు ఎలక్ట్రాన్లు ధనాత్మక పలక వైపు స్థానభ్రంశం చెందుతాయి. పర్యవసానంగా రోధకం యొక్క రెండు ఉపరితలాల వద్ద ప్రేరిత ఆవేశాలు మిగిలి ఉంటాయి. అంటే, రోధకం మొత్తం మీద ధ్రువణం చెందింది. రోధక పలక ఎడమ చివర రుణ విద్యుదావేశం ప్రోగయి ఉంటుంది. కుడి చివర ధన విద్యుదావేశం ప్రోగయి ఉంటుంది. ఈ ప్రేరిత అవేశాల కారణంగా, రోధకం ఉన్న

ప్రదేశంలో ఒక ప్రేరిత విద్యుత్ క్షేత్రం $\mathbf{E_p}$ ఏర్పడుతుంది. దీని దిశ, పలకల మీద ఆవేశాల వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రం **E** కి వ్యతిరేకంగా ఉంటుంది. కాబట్టి అధ్రువిత రోధకం ఉండడం వల్ల పలకల మధ్య విద్యుత్ క్షేత్రం తగ్గుతుంది, రోధకం లో ఫలిత విద్యుత్ క్షేత్రం

$$\mathbf{E}_{\text{ఫలితం}} = \mathbf{E} - \mathbf{Ep} \qquad (18.39)$$

$C = \frac{q}{V}$ మరియు $V = Ed$ అయినందువల్ల కెపాసిటర్ యొక్క కెపాసిటెన్స్ విలువ పెరిగిన, దానికి తగినట్లుగా కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గల పొటెన్షియల్ తేడా తగ్గుతుంది.



పటం 18.13 : ఆవేశిత కెపాసిటర్ పలకల మధ్య రోధక పలక

స్థిర విద్యుత్ అనువర్తనాలు

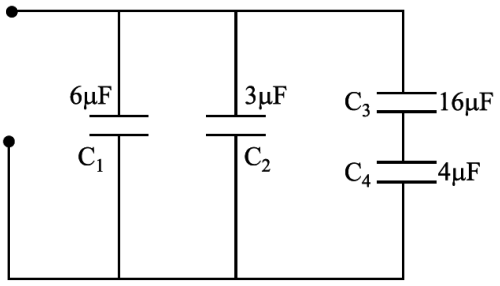
సిర్థ విద్యుత్ అనేక విజ్ఞాన సాంకేతిక రంగాలలో ఉపయోగపడడమే కాకుండా విద్యుదయస్కాంత సిద్ధాంతాన్ని వివరించడానికి కూడా తోడ్పడుతుంది.

- విద్యుద్వలయాలలో పలుచోట్ల కెపాసిటర్లను ఉపయోగిస్తారు. విద్యుచ్ఛక్తి ప్రసారంలో ఇవి ముఖ్య భూమికను పోషిస్తాయి.
- ఆవేశాన్ని శోధించేందుకు వాడే పరికరం గోల్డ్ లీఫ్ ఎలక్ట్రోస్కోప్ (Gold leaf electroscope) విశ్వ కిరణాల మీద పరిశోధనలు చేయడానికి దారి చూపింది.
- బెంజామిన్ ఫ్లాంక్లిన్ రూపొందించిన తటిత్ (మెరుపు) వాహకం ఇప్పటికి కూడా ఉరుములు, మెరుపుల నుండి ఆకాశహర్మ్యాలను కాపాడుతుంది.
- మనం సాధారణంగా ఉపయోగించే జిరాక్స్ (ఫోటో కాపియర్లు) యంత్రాలు స్థిర విద్యుత్ నియమం ఆధారంగానే పనిచేస్తాయి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 18.3

1. $C_1 = 12$ mF మరియు $C_2 = 4$ mF అనే రెండు కెపాసిటర్లను సంధానం చేశారు, ఈ కెపాసిటర్లను (a) శ్రేణిలో (b) సమాంతరంగా సంధానం చేసినపుడు తుల్య కెపాసిటెన్స్‌ను కనుక్కోండి.

2. పటం 18.14 లో చూపినట్లు నాలుగు కెపాసిటర్లను కలిపారు. వ్యవస్థ తుల్య కెపాసిటెన్స్ కనుక్కోండి.



పటం 18.14 : కెపాసిటర్లు సంధానం

3. పలకల మధ్య గాలి గల కెపాసిటర్ C = 8 mF ను 12V బ్యాటరీకి కలిపారు.

   (a) కెపాసిటర్ పూర్థి స్థాయిలో ఆవేశితమైనపుడు దానిపై గల ఆవేశం Q ఎంత?

   (b) పలకల మధ్యలో స్థిరాంకం K = 5 గల రోధక పలకను వుంచినపుడు కెపాసిటర్ పలకలపై గల ఆవేశం ఎంత?

   (c) పలకల మధ్యగల పొటెన్షియల్ తేడా ఎంత?

   (d) రోధక పలకను ఉంచినపుడు కెపాసిటెన్స్ ఎంత?

4. C_0 కెపాసిటెన్స్ గల ఒక సమాంతర పలకల కెపాసిటర్‌ను బ్యాటరీకి కలిపి ఆవేశితం చేసిన పొటెన్షియల్ తేడా V_0. బ్యాటరీని తీసి, పలకల మధ్య K రోధక స్థిరాంకం గల పలకను ఉంచారు.

   (a) మొదటి సందర్భములో కెపాసిటర్‌లో నిలవ ఉన్న శక్తి కనుక్కోండి.

   (b) రెండవ సందర్భములో కెపాసిటర్‌లో నిలవ వున్న శక్తి కనుక్కోండి.

   (c) ఏ సందర్భములో శక్తి విలువ ఎక్కువగా ఉంటుంది. ఎందుకుంటుంది.

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- ప్రమాణ ఆవేశంను అనంత దూరం నుంచి విద్యుత్ క్షేత్రంలో వున్న ఒక బిందువుకు తీసుకరావడానికి విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని వ్యతిరేకిస్తూ చేయవలసిన పనియే ఆ బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్.
- విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఆవేశాన్ని ఒక బిందువు నుంచి మరోక బిందువుకు బదిలీ చేసినపుడు జరిగిన పని పథం మీద ఆధారపడదు.
- ఒక కూలూంబ్ శోధక విద్యుదావేశాన్ని అనంత దూరం నుంచి, విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేకంగా ఒక బిందువు వద్దకు తీసుకురావడానికి చేయవలసినిన పని ఒక ఔల్ అయితే, ఆ బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్ ఒక వోల్టు అంటారు.

- డైపోల్ మధ్య లంబరేఖపైన ప్రతి బిందువు వద్ద డైపోల్ వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ పొటెన్షియల్ సున్నా
- సమ పొటెన్షియల్ తలంలో, ప్రతి బిందువు సమానమైన పొటెన్షియల్‌ను కలిగి ఉంటుంది.
- విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఏదైన ఒక బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రత ఆ బిందువు వద్ద విద్యుత్ పొటెన్షియల్ యొక్క రుణ ప్రవణతకు సమానం
- అంతరాళంలోని ఒక ప్రాంతాన్ని, విద్యుత్ క్షేత్రాల నుంచి పరిరక్షించడమనే దృగ్విషయమే, స్థిర విద్యుత్ పరిరక్షణ ప్రక్రియ.
- వాహకం కెపాసిటెన్స్ వాహకం పరిమాణం, ఆకారం మరియు యానక స్వభావం పైన ఆధారపడి ఉంటుంది.
- ఒక కెపాసిటర్ పలకల మధ్య ప్రదేశంలో రోధకం నింపడం వల్ల దాని కెపాసిటిన్స్ పలకల మధ్య గాలి లేదా శూన్యం వున్నపుడు గల కెపాసిటెన్స్‌కు K రెట్లు ఉంటుంది.
- రోధకంతో కెపాసిటర్ యొక్క కెపాసిటెన్స్ కు, గాలి లేదా శూన్యంతో కెపాసిటర్ యొక్క కెపాసిటెన్స్ కు గల నిష్పత్తినే సాపేక్ష పెర్మిటివిటి అంటారు.
- కెపాసిటర్‌లను శ్రేణిలో కలిపినపుడు తుల్య కెపాటిసిటెన్స్ విలువ శ్రేణిలోని కనిష్ట కెపాసిటెన్స్ కంటే తక్కువ విలువ కలిగి ఉంటుంది.
- కెపాసిటర్‌లను సమాంతరంగా కలిపినపుడు తుల్య కెపాసిటెన్స్, సమాంతర సంధానంలోని కెపాసిటెన్స్‌ల మొత్తానికి సమానం.
- కెపాసిటర్ పలకల మధ్య అధ్రువిత రోధకం ఉండడం వల్ల, పలకల మద్య విద్యుత్ క్షేత్రం తగ్గుతుంది.

ముగింపు అభ్యాసం

1. బిందు ఆవేశం $q = 20\ \mu C$ నుంచి 30 cm దూరంలో ఉన్న బిందువు P వద్ద పొటెన్షియల్‌ను కనుక్కోండి.
2. ఒక్కొక్కటి $200\ \mu C$ పరిమాణం గల మూడు బిందు ఆవేశాలు q_1, q_2, q_3 లను సమ త్రిభుజం యొక్క శీర్షాలు A, B, C ల వద్ద వరసగా వుంచారు. త్రిభుజ భుజం పొడవు 10 cm అయిన వ్యవస్థ యొక్క స్థితి శక్తిని కనుక్కోండి.
3. 3 mm దూరంలో వున్న కెపాసిటర్ పలకల మద్య పొటెన్షియల్ తేడా 12.0 V. పలకల మధ్య గల క్షేత్ర పరిమాణం E ను లెక్కించండి.
4. +e, – e ఆవేశాలు గల రెండు అయానులు 4.0×10^{-10} m ఎడంగా వున్నాయి. వ్యవస్థ యొక్క స్థితి శక్తిని కనుక్కోండి.
5. సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ పలకలు A, B లు 15 V పొటెన్షియల్ తేడా కలిగి ఉన్నాయి. ఒక ప్రోటానును ($m = 1.67 \times 10^{-27}$ kg) ధన పలక A నుంచి B కి జరిపిన, ప్రోటాను వేగం B పలక వద్ద ఎంత?

6. మితుల పరంగా Vq మరియు (½) mv^2 రాశులు సమానం అని చూపండి. సంకేతాలు సాధారణ అర్థాన్ని సూచిస్తాయి.

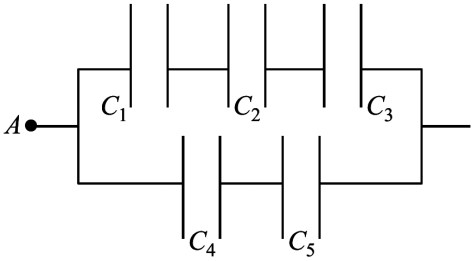
7. ఏ షరతు వద్ద, సమాంతర పలకల కెపాసిటర్‌లో పలకల మధ్య విద్యుత్ క్షేత్రం ఏకరీతిగా ఉంటుంది.

8. r వ్యాసార్ధం గల లోహపు గోళం +q ఆవేశాన్ని కలిగి వుంది. గోళం వ్యాసం ఒక చివర నుండి మరొక చివరకు శోధనావేశాన్ని జరపటానికి చేయవలసిన పనిని కనుక్కోండి.

9. సమాంతర పలకల కెపాసిటర్‌లో పలకల మధ్య గాలి వున్నపుడు, దాని కెపాసిటెన్స్ C_0. దీని పొటెన్షియల్ V_0 అయ్యే వరకు ఆవేశితం చేస్తే ఒక పలక పై గల ఆవేశం $+q_0$. పలకల మధ్య దూరం d. పలకల మధ్య ప్రదేశాన్ని రోధక స్థిరాంకం K = 3 గల రోధకంతో నింపినపుడు ఈ కింది వాటిలో ఏ రాశులు మారుతాయి మరియు ఎందుకు మారతాయి.

(i) కెపాసిటెన్స్ (ii) ఆవేశం (iii) పొటెన్షియల్ తేడా (iv) క్షేత్ర సాంద్రత

10. ఈ కింది పటంలోని కెపాసిటర్ల ను పరీక్షించండి. A, B ల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా 16V అయిన ఇక్కడ $C_1 = 2\ \mu F$, $C_2 = 4\ \mu F$, $C_3 = 8\ \mu F$, $C_4 = 3\ \mu F$, $C_5 = 3\ \mu F$

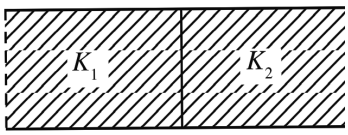


(a) A, B ల మధ్య ఫలిత కెపాసిటెన్స్‌ను

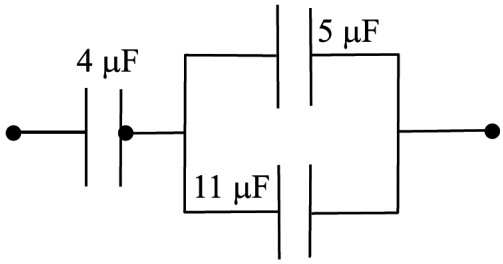
(b) ప్రతి కెపాసిటర్ మీద గల ఆవేశంను

(c) ప్రతి కెపాసిటర్ మధ్య గల పొటెన్షియల్ తేడాను కనుక్కోండి.

11. కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గాలి వున్నపుడు దాని విలువ 8 μF. సర్వసమాన పరిమాణం గల రెండు రోధకాలను పలకల మధ్య పటంలో చూపినట్లుగా ఉంచారు. రోధక స్థిరాంకాలు $K_1 = 3.0$, $K_2 = 6.0$. కొత్త కెపాసిటెన్స్ విలువను లెక్కించండి.



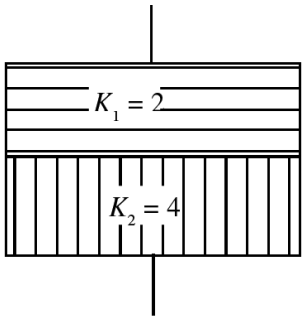
12. ఈ కింది వ్యవస్థ యొక్క తుల్య కెపాసిటెన్స్‌ను కనుక్కోండి.



13. 3.0 μF కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గాలి వుంది. దీన్ని 12.0 V వరకు ఆవేశితం చేశారు. తరువాత రోధక స్థిరాంకం K = 7 గల రోధకాన్ని పలకల మధ్య ఉంచారు. ఈ రెండు సందర్భాలలో నిల్వ వున్న శక్తుల నిష్పత్తిని కనుక్కోండి.

14. ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రం $E = 2.0 \times 10^4\ NC^{-1}$ లో $P = 3.5 \times 10^{-15}$ Cm డైపోల్ భ్రామకం గల ఒక డైపోల్ ను ఉంచారు. క్షేత్రంతో డైపోల్ 60° ల కోణం చేసినపుడు (a) డైపోల్ యొక్క స్థితి శక్తిని, (b) డైపోల్ మీద గల బల భ్రామకం(టార్క్)ను కనుగొనండి.

15. సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గాలి వున్నపుడు కెపాసిటెన్స్ 12 μF. పలకల మధ్య దూరం 8 mm. గాలి వున్న ప్రదేశాన్ని రెండు సమాన పరిమాణం గల రోధక పలకలతో నింపినపుడు, కొత్త కెపాసిటెన్స్ విలువను లెక్కించండి.



పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

18.1

1. r (r > R) వద్ద పొటెన్షియల్,

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$$

2. బిందు ఆవేశం చుట్టూ వున్న క్షేత్రం, గోళాకార సౌష్ఠవాన్ని కల్గి ఉంటుంది. కాబట్టి గోళ తలం పై ఉన్న ప్రతి బిందువు మీద సమపొటెన్షియల్ ఉంటుంది. సమపొటెన్షియల్ తలం పై ఆవేశాన్ని జరపటానికి చేయవలసిన పని సున్నా అవుతుంది.

3. $E = -\frac{dV}{dr}$ ఇక్కడ V స్థిరం కాబట్టి, E = 0.

ఇదే ఫలితాన్ని సమీకరణం 18.22 నుంచి మనం పొందవచ్చు.

$E = \frac{V_A - V_B}{d}$. ఇక్కడ $V_A = V_B$, కాబట్టి E = 0

4. ఖచ్చితంగా కాదు. అయినపుడు E = 0 పొటెన్షియల్ స్థిరంగా అయినా లేదా శూన్యం అయినా అవుతుంది.

5. రెండు సమపొటెన్షియల్ గల తలాలు ఖండించుకోవు. ఒక వేళ ఖండించుకుంటే, ఖండన బిందువు వద్ద క్షేత్ర దిశలను సూచించే రెండు లంబాలను మనం గీయవచ్చు.

18.2

1. $C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{\text{జరిగిన పని}}{\text{ఆవేశం}}} = \frac{Q \times Q}{\text{జరిగిన పని}}$

$$= \frac{Q^2}{N.m.}$$

మూల ప్రమాణం $A = \frac{C}{s}$

$\therefore \quad C^2 = A^2 s^2$ మరియు న్యూటన్ = ద్రవ్యరాశి × త్వరణం $= kg\frac{m}{s^2}$

కెపాసిటెన్స్ $= \frac{C^2}{Nm} = \frac{A^2s^2}{kg\frac{m^2}{s^2}} = \frac{A^2s^4}{kg\,m^2}$

$= A^2\ s^4\ (kg\ m^2)^{-1}$

2. కెపాసిటర్‌లో పలకల మధ్య E ఏకరీతిగా ఉంటుంది. పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా $V_A - V_B = E \times d$.

3. గాలి లేదా శూన్యం గల కెపాసిటర్‌కు C_0, E_0, V_0 మరియు పలకల మధ్య రోధకం కల కెపాసిటర్‌కు C, E, V అపుడు

$$k = \frac{C}{C_0},\ k = \frac{V_0}{V}\ k = \frac{E_0}{E}.$$

4. $C = 1.0\ \mu F = 1.0 \times 10^{-6}$ F.

$d = 50$ cm $= 0.5$ m.

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

$\therefore \quad A = \frac{Cd}{\varepsilon_0}.\quad \varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ కాబట్టి

$$A = \frac{1.0 \times 10^{-6} \times 0.5}{8.85 \times 10^{-12}}$$

$$= \frac{5 \times 10^{-7}}{8.85 \times 10^{-12}}$$

$$= 0.56 \times 10^5\ m^2$$

18.3

1. (a) 3 mF (b) 16 mF
2. 12.2 μF
3. (a) 96 mC (b) 96 mC (c) 2.4 V (d) 40 mF

4. (a) $\frac{1}{2}C_0V_0^2$ (b) $\frac{1}{2}\frac{(C_0V_0)^2}{C_0R} = \frac{1}{2k}C_0V_0^2$

(c) రోధక పలకలు ఆవేశాలను గ్రహించడానికి నిల్వ ఉన్న శక్తినే ఉపయోగిస్తాయి కాబట్టి మొదటి సందర్భంలో ఎక్కువ శక్తి ఉంటుంది.

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

1. 6×10^5 V
2. 1.08×10^4 J
3. 4×10^3 Vm^{-1}
4. -5.76×10^{-19} J
5. 5.36×10^4 m/s

10. (a) $\frac{37}{14}\mu F$,

(b) $\frac{128}{7}\mu C, \frac{128}{7}\mu C, \frac{128}{7}\mu C$, 24μC, 24μC

(c) $\frac{64}{7}V, \frac{32}{7}V, \frac{16}{7}V$, 8V, 8V

11. 36 μF.
12. $\frac{16}{5}$ μF
13. 1 : 7
14. (a) 3.5×10^{-11} J (b) 6×10^{-11} Nm.
15. 32 μF

19

ప్రవాహ విద్యుత్తు

పరిచయం

నిత్య జీవితంలో మనం విద్యుత్ శక్తిని అనేక విధాలుగా వాడుతూ ఉంటాం. మన ఇళ్ళలో బల్బులు, ట్యూబులైట్లు వెలగడానికి, రేడియో, టేప్‌రికార్డర్‌లో సంగీతం వినడానికి, టివిలో అనేక కార్యక్రమాలను చూడడానికి, కూలర్, ఫ్యాన్స్ నుంచి చల్లని గాలిని పొందడానికి, పొలాలను పండించడానికి వాడే విద్యుత్తు పంపులలో మనం విద్యుత్ శక్తిని వాడుతుంటాం. నిజానికి, విజ్ఞాన శాస్త్రం మానవ జాతికి ఇచ్చిన ఒక విలక్షణమైన బహుమతి విద్యుత్‌శక్తి. ఆధునిక ప్రపంచంలో విద్యుత్ శక్తి లేకుండా మన జీవితాలను ఊహించలేము. ఇంటిలో మీరు స్విచ్ వేయగానే బల్బు వెలగడం గమనించి ఉంటారు. ఇది ఎందువల్ల జరుగుతుంది. ఇక్కడ స్విచ్ యొక్క విధి ఏమిటి ?

స్థిర విద్యుత్ ఆవేశాలు, వాటి మధ్య గల బలాల గురించి మీరు ఇంతకు ముందు పాఠంలో చదువుకున్నారు. ఈ పాఠంలో చలనంలో ఉన్న ఆవేశాల గురించి తెలుసుకుంటారు. వాహకం గుండా జరిగే విద్యుదావేశ ప్రవాహ రేటు, దాని చివరల గల పొటెన్షియల్ తేడా పై ఆధారపడుతుందని తెలుసుకుంటారు. విద్యుద్వలయాలలో విద్యుత్ ప్రవాహ వితరణను, దాన్ని నియంత్రణ చేసే కిర్కాఫ్ నియమాలను కూడా మీరు తెలుసుకుంటారు.

భౌతిక శాస్త్రం ఒక ప్రయోగాత్మక విజ్ఞాన శాస్త్రం. దీని పురోగతి ప్రకృతి నియమాలను వెలుగులోకి తెచ్చింది. సైద్ధాంతిక ఊహనలు రుజువు చేసుకోవడంలో మనకుండే ప్రజ్ఞ వల్ల లేదా ప్రయోగాల ఫలితాలు పునరావృతం అవడం వలన ఇది సాధ్యమైంది. పరికరాలు, సాంకేతికత లో నిరంతర అభివృద్ధికి దారి తీసింది. ఈ పాఠంలో ఒక సునిశిత పరికరం అయిన పొటెన్షియా మీటరు గురించి తెలుసుకుంటారు. ఒక ఘటం అంతర్నిరోధం కనుక్కోవడానికి ఘటాల విద్యుత్ చాలక బలాలను (విచాబలను) పోల్చడానికి, ఇది ఉపయోగపడుతుంది.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తర్వాత మీరు కింది విషయాలను తెలుసుకుంటారు.

- ఓమ్ నియమాన్ని నిర్వచించి, ఓమిక్, నాన్ ఓమిక్ నిరోధాల మధ్య భేదాలు వివరించగలడం.
- నిరోధాలను శ్రేణిలో, సమాంతరంగా కలిపినపుడు తుల్య నిరోధాన్ని రాబట్టడం.
- విద్యుద్వలయాలకు కిర్కాఫ్ నియమాలను అనువర్తించగలడం.
- వీట్‌స్టన్ బ్రిడ్జి సంతులన నియమం ను అనువర్తించి, తెలియని నిరోధం విలువను లెక్కించడం
- పొటెన్షియామీటరు సూత్రాన్ని వివరించి, దానిని ఉపయోగించి ఘటం విద్యుత్ చాలక బలం (e.m.f) ను, అంతర్నిరోధకం ను కనుక్కోవడం

స్వేచ్ఛా మరియు బద్ధ ఎలక్ట్రానులు

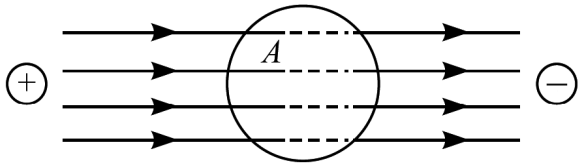
విద్యుత్తు పరంగా పరమాణువు తటస్థం. అంటే పరమాణువులోని కేంద్రకంలో ఎన్ని ధనావేశిత ప్రోటాన్లు ఉన్నాయో అన్ని రుణావేశిత ఎలక్ట్రాన్లు ఆ కేంద్రకం చుట్టూ వేరు వేరు కక్ష్యలలో తిరుగుతూ ఉంటాయి. కూలూంబ్ (ఆకర్షిత) బలాల చేత ఎలక్ట్రానులు కేంద్రకం తో బంధితం అయ్యుంటాయి.

కేంద్రకం నుంచి దూరంగా ఉన్న ఎలక్ట్రానులకు కూలూంబ్ బలం బలహీనంగా ఉంటుంది. అందువల్ల ఈ ఎలక్ట్రానులు కేంద్రకానికి దృఢంగా బంధింపబడి వుండవు. వీటిని సంయోజక (వేలెన్స్) ఎలక్ట్రానులని అంటారు. కొంత పొటెన్షియల్ తేడాని అనువర్తించినపుడు వాహక ఘన పదార్థంలోని సంయోజక ఎలక్ట్రాన్లు కదులుటకు స్వేచ్ఛను పొందుతాయి.

19.1 ప్రవాహ విద్యుత్తు

వాహకం కొనల మధ్య కొంత పొటెన్షియల్ తేడాన్ని అనువర్తించినపుడు దాని లోపల విద్యుత్ క్షేత్రం ఏర్పడుతుందని మీరు ఇంతకుముందు పాఠంలో తెలుసుకున్నారు. వాహకంలో స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రాన్లు విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేక దిశలో కదులుతాయి. ఫలితంగా విద్యుత్ ప్రవాహం జనిస్తుంది. ఒక వాహకంలో విద్యుత్ ప్రవాహానికి కారణం ఎలక్ట్రాన్లే కదిలినా సరళత్వానికి అనువుగా ఉంటుందన్న సంప్రదాయాన్ని అనుసరించి విద్యుత్ ప్రవాహ దిశను ధనావేశం కదిలే దిశగా తీసుకుంటాం. ఎలక్ట్రాన్లు వ్యతిరేకదిశలో కదులుతాయి. సూక్ష్మంగా విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని నిర్వచించుటకు పటం 19.1 లో చూపినట్లుగా A వైశాల్యం గల తలానికి లంబంగా ఆవేశాలు కదులుతున్నాయని అనుకుందాం. ప్రవాహ దిశకు లంబంగా ఉన్న ఉపరితలం గుండా జరిగే విద్యుదావేశ ప్రవాహరేటునే విద్యుత్ ప్రవాహంగా నిర్వచిస్తారు. Δt కాలంలో ప్రవహించే ఆవేశం Δq అయితే, సగటు విద్యుత్ ప్రవాహంను కింది విధంగా నిర్వచిస్తారు.

$$I_{av} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \qquad (19.1)$$



పటం 19.1 : వాహకంలోని ఉపరితల వైశాల్యం A గుండా ఆవేశాల చలనం

కాలంతో పాటు ఆవేశ ప్రవాహ రేటు మారితే, విద్యుత్ ప్రవాహం కూడా కాలంతో పాటు మారుతుంది. తక్షణ విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని ఈ కింది సమీకరణం ద్వారా నిర్వచిస్తాం.

$$I = \frac{dq}{dt} \qquad (19.2)$$

వాహకంలో ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని, ప్రవాహ దిశకు లంబంగా ఉన్న ఒక తలం గుండా జరిగే విద్యుదావేశ బదలీ రేటుగా నిర్వచిస్తారు.

విద్యుత్ ప్రవాహం గురించి మరో రెండు ముఖ్య విషయాలు గమనించాలి.

1. విద్యుత్ ప్రవాహానికి మూసిన వలయం ఉండాలి. తెరిచిన వలయంలో విద్యుత్ ప్రవహించనవి.
2. విద్యుత్ ప్రవహించాలంటే రెండు బిందువుల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా ఉండాలి. రెండు బిందువులు ఒకే పొటెన్షియల్ వద్ద ఉన్నట్లయితే విద్యుత్ ప్రవహించదు. ఈ ప్రాథమిక నియమాలు ఏ విద్యుత్ వలయానికైనా వర్తిస్తాయి.

SI లో విద్యుత్ ప్రవాహానికి ప్రమాణం ఆంపియర్. దీని గుర్తు A :

$$1 \text{ ఆంపియర్} = \frac{1 \text{ కూలూంబ్}}{1 \text{ సెకండు}} \qquad (19.3)$$

విద్యుత్ ప్రవాహం చిన్న ప్రమాణాలు మిల్లీ ఆంపియర్, $1\ mA = 10^{-3}A$, మైక్రో ఆంపియర్, $1\ \mu A = 10^{-6}A$. లోహాలలో లాగా, రుణావేశాల (ఎలక్ట్రాన్లు) ప్రవాహం వల్ల విద్యుత్ ప్రవాహం జనిస్తుంది. ఒక అర్ధవాహకంలో ఎలక్ట్రాన్ల (రుణావేశం) మరియు రంధ్రాల ప్రవాహం వల్ల విద్యుత్ ప్రవాహం జనిస్తుంది. స్ఫటికాలలో ఏర్పడే ఖాళీలనే రంధ్రాలు (Holes) అంటారు. ఎలక్ట్రాను మీద గల ఆవేశానికి సమాన పరిమాణం గల ధన ఆవేశకణాలుగా ఈ రంధ్రాలను తీసుకుంటారు. ఈ కణాల గురించి ఇంకా వివరంగా పాఠం 28 లో తెలుసుకుంటారు.

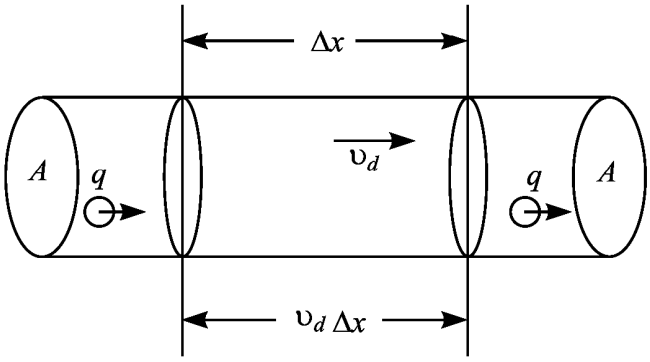
పటం 19.2 లో చూపినట్లుగా ఒక వాహకం యొక్క మధ్యచ్ఛేదం A ను తీసుకుందాం. Δx పొడవు గల మూలకం ఘనపరిమాణం $A\,\Delta x$. ప్రమాణ ఘనపరిమాణానికి n ఎలక్ట్రాన్లు ఉంటే, ఈ ఘనపరిమాణ మూలకంలో ఎలక్ట్రాన్ల సంఖ్య $nA\Delta x$. ఎలక్ట్రాను మీద ఆవేశం e అయితే, ఘనపరిమాణ మూలకంలోని మొత్తం ఆవేశం $\Delta q = nA\Delta xe$. ఉష్ణశక్తి వలన ఎలక్ట్రాన్లు v_d డ్రిఫ్ట్ వడిని పొందితే, Δt కాలంలో అవి ప్రయాణించే దూరం, $\Delta x = v_d\Delta t$. Δq సమీకరణంలో Δx విలువను ప్రతిక్షేపిస్తే, మనం తీసుకున్న ఘనపరిమాణ మూలకంలోని మొత్తం ఆవేశం

$$\Delta q = nAe\ v_d\ \Delta t$$

అపుడు

$$\frac{\Delta q}{\Delta t} = I = nAev_d \qquad (19.4)$$

డ్రిఫ్ట్ వడి గురించి వివరంగా మీరు ఈ పాఠం 19.9 భాగంలో తెలుసుకుంటారు.



పటం 19.2 : వాహక మధ్యచ్ఛేదం A గుండా v_d వడితో ఆవేశాల చలనం, Δx పొడవులో గల ఆవేశాల సంఖ్య $nAv_d\ \Delta t$.

19.2 ఓమ్ నియమం

1828 లో వాహకం గుండా ప్రవహించే విద్యుత్ (I) మరియు వాహకం చివరల మధ్య అనువర్తించిన పొటెన్షియల్ తేడా (V) ల మధ్య ఉండే సంబంధాన్ని ఓమ్ అధ్యయనం చేశాడు. ఆయన ఈ సంబంధాన్ని ఒక నియమంగా చెప్పారు. దీన్నే ఓమ్ నియమం అంటారు.

జార్జి సైమన్ ఓమ్ (1767 - 1854)

జర్మనీ దేశపు శాస్త్రజ్ఞుడు. ఇతని పేరు మీద గల నియమం వల్ల జార్జి సైమన్ ఓమ్ ప్రఖ్యాతి చెందారు. విద్యుత్ ప్రవాహానికి, ఉష్ణ వహనానికి మధ్య సాదృశ్యం ఉంది. ఈ సాదృశ్యంను పరిగణించి ఓమ్ శాస్త్రజ్ఞుడు తన నియమాన్ని ప్రతిపాదించాడు. సైరన్ల సిద్ధాంతం. స్ఫటికాలలో ధ్రువిత కాంతి వ్యతికరణం లాంటి విషయాలలో ఇతని అంశదానం ఉంది. నిరోధం ప్రమాణం ఓమ్, ఇతని పేరు మీద పిలువబడుతుంది.

ఓమ్ నియమం ప్రకారం, **ఉష్ణోగ్రత, పీడనం ల వంటి భౌతిక పరిస్థితులు స్థిరంగా ఉన్నపుడు, ఒక వాహకంలోని విద్యుత్ ప్రవాహం దాని చివరల మధ్య అనువర్తించిన పొటెన్షియల్ తేడాకి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.**

వాహకం గుండా ప్రవహించే విద్యుత్తు I అని, దాని చివరల మధ్య అనువర్తించిన పొటెన్షియల్ తేడా V అని అనుకుందాం. ఓమ్ నియమం ప్రకారం

$$V \propto I$$

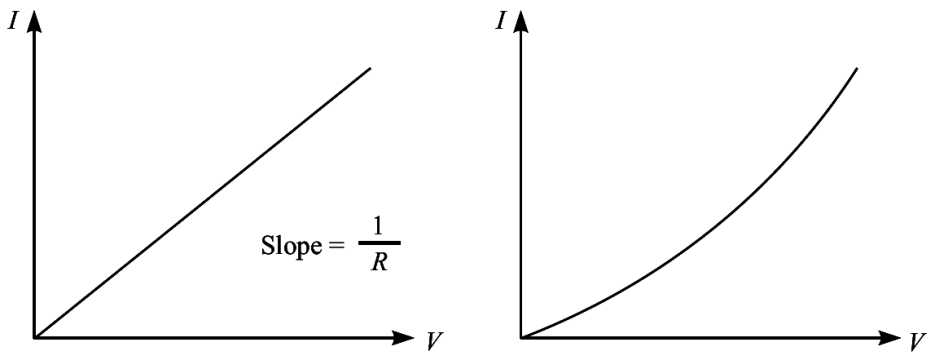
లేదా

$$V = RI$$

$$\Rightarrow \quad \frac{V}{I} = R \qquad (19.5)$$

ఇక్కడ అనుపాత స్థిరాంకం R, విద్యుత్ ప్రవాహానికి వాహకం కలిగించే విద్యుత్ నిరోధాన్ని సూచిస్తుంది. వాహకం గుండా విద్యుత్‌ను ప్రవహించకుండా నిరోధించే వాహకం యొక్క ధర్మాన్ని ఆ వాహకం విద్యుత్ నిరోధం అని అంటారు.

లోహ వాహకం యొక్క I–V గ్రాఫ్ (రేఖా పటం) సరళరేఖ రూపంలో ఉంటుంది. (పటం 19.3(a))



(a) an ohmic device (b) a semiconductor diode

పటం 19.3 : విద్యుత్తు – వోల్టేజి గ్రాఫ్ – (a) ఓమిక్ పరికరానికి, (b) అర్ధవాహక డయోడ్‌కు

SI పద్ధతిలో నిరోధం ప్రమాణం ఓమ్. దీని గుర్తు Ω (ఒమేగ అని చదువుతాం)

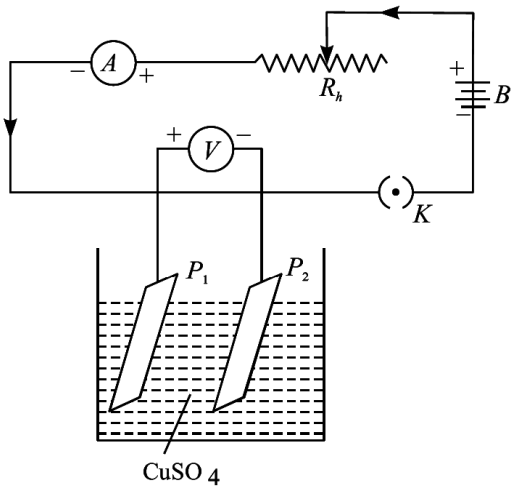
1 ఓమ్ = 1 వోల్టు / 1 ఆంపియర్

దాదాపు అన్ని లోహాలు ఓమ్ నియమాన్ని పాటిస్తాయి, వాటిలో వోల్టేజి, విద్యుత్ ప్రవాహంకు మధ్య గల సంబంధం రేఖీయంగా ఉంటుంది. అటువంటి నిరోధాలను ఓమిక్ నిరోధాలని అంటారు. ఓమ్ నియమాన్ని పాటించని నిరోధాలను నాన్ ఓమిక్ నిరోధాలు అంటారు. శూన్య డయోడ్ (నాళిక), అర్ధ వాహక డయోడ్, ట్రాన్సిస్టర్‌లు అనే పరికరాలు నాన్ ఓమిక్ లక్షణాలను చూపిస్తాయి. అతి చిన్న విలువలు గల వోల్టేజికి కూడ అర్ధ వాహక డయోడ్ ఓమ్ నియమంను పాటించదు. అర్ధవాహక డయోడ్ I–V ల మధ్య సంబంధం, రేఖీయంగా లేకపోవడం పటం 19.3(b) చూపిస్తుంది.

కృత్యం (ప్రయోగం) 19.1

ఉద్దేశం : విద్యుత్ విశ్లేష్యం గుండా విద్యుత్ వహనంను అధ్యయనం చేయడం.

అవసరమైన పరికరాలు : అమ్మీటరు, వోల్ట్‌మీటరు, కాపర్ సల్ఫేట్ ద్రావణం కల జాడీ, రెండు కాపర్ పలకలు, ఒక బ్యాటరీ, ప్లగ్ కీ, తీగలు, రియోస్టాట్.



పటం 19.4 : విద్యుత్ విశ్లేష్యం గుండా విద్యుత్తు వహనం

ఏ విధంగా చేయాలి

1. పటం 19.4లో చూపినట్లు పరికరాలన్నింటిని అమర్చాలి.
2. ప్లగ్‌లో కీ పెట్టి, అమ్మీటరు, వోల్ట్‌మీటరు రీడింగులను గుర్తించాలి.
3. రియోస్టాటులోని స్లైడరును జరిపి, అమ్మీటరు రీడింగును మార్చాలి. వోల్ట్‌మీటరు రీడింగును మళ్ళీ గుర్తించండి.
4. పైన చెప్పిన విధంగా కనీసం ఐదు సార్లు చేసి, ప్రతీసారి అమ్మీటరు, వోల్ట్‌మీటరు రీడింగులను గుర్తించాలి.
5. (a) P_1, P_2 ల మధ్య దూరంను

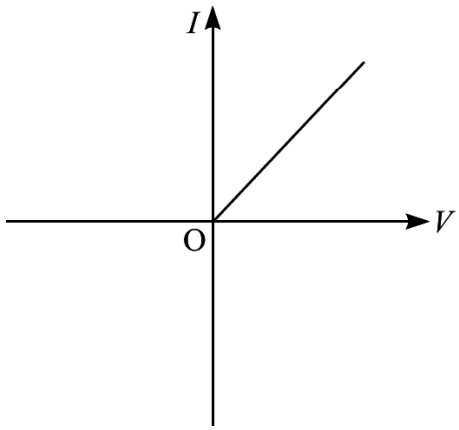
   (b) విద్యుత్ విశ్లేష్యం లో ముంచిన పలక వైశాల్యంను

   (c) విద్యుత్ విశ్లేష్య గాఢతను

   మారుస్తూ ఈ ప్రయోగాన్ని మరల చేయాలి.
6. ప్రతి సందర్భంలో I–V గ్రాఫ్ ను గీయాలి.

మీరు ఏమి నిర్ధారిస్తారు ?

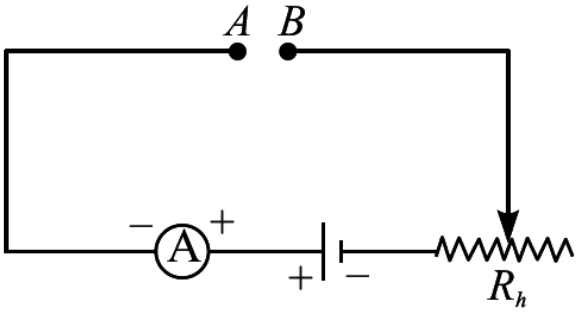
- పటం 19.5 లో మాదిరిగా I–V గ్రాఫ్ మూలబిందువు నుంచి పోయే ఒక సరళరేఖ రూపంలో ఉంటే, మనం అయానిక్ ద్రావణం ఓమిక్ నిరోధంగా ప్రవర్తిస్తుంది అని చెప్పవచ్చు.
- పలకల మధ్య గల విద్యుత్ విశ్లేష్య ఘనపరిమాణం మారితే, గ్రాఫ్ వాలు నిట్రంగా మారుతుంది. దీన్ని బట్టి విద్యుత్ విశ్లేష్యం నిరోధకత, దాని స్వభావం పైనే కాకుండా ఎలక్ట్రోడుల వైశాల్యం పై, వాటి మధ్య గల దూరం పై కూడ ఆధారపడుతుందని తెలుస్తుంది.



పటం 19.5 అయానిక్ ద్రావణం యొక్క I–V గ్రాఫ్

నిరోధం మరియు నిరోధకత

వాహకం నిరోధంను ప్రభావితం చేసే కారకాల గురించి ఇపుడు తెలుసుకుందాం. రెండు సులభమైన ప్రయోగాలు మీరు చేయవచ్చు. ఈ ప్రయోగాలు చేయటానికి పటం 19.6 లో చూపిన వలయాన్ని ఏర్పరచండి.

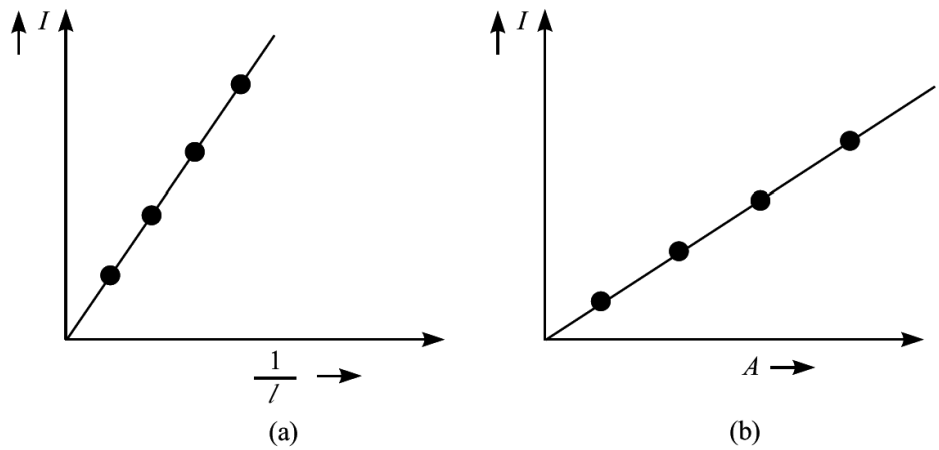


పటం 19.6 : వాహకం నిరోధంను ప్రభావితం చేసే కారకాలను అధ్యయనం చేయడానికి విద్యుద్వలయం.

కృత్యము (ప్రయోగం) 19.2

సమ అడ్డుకోత (మధ్యచ్ఛేదం) గల ఒక పొడవైన వాహకపు తీగను తీసుకొని, దాన్ని వేరు వేరు పొడవులు l_1, l_2, l_3 మొదలగునవి గల తీగ ముక్కలుగా కత్తిరించాలి. ఈ తీగ ముక్కలన్నింటికి అడ్డుకోత వైశాల్యం సమానం. A, B ల మధ్య l_1 ను కలిపి, ఈ తీగ గుండా ప్రవహించే విద్యుత్ ను గుర్తించాలి. ఈ విద్యుత్‌ను I_1 అనుకుందాం. ఇదే విధంగా ఈ ప్రయోగాన్ని l_2, l_3 తీగ ముక్కలతో ఒక దాని తరువాత మరొక దానితో చేసినపుడు, తీగ ముక్కల గుండా ప్రవహించే విద్యుత్ వరుసగా I_2, I_3 అనుకుందాం. l^{-1}, I కి మధ్య గ్రాఫ్‌ను గీయండి. ఈ గ్రాఫ్ సరళరేఖ రూపంలో ఉంటుంది. పొడవు తీగలు తమ గుండా అతి తక్కువ విద్యుత్ ను ప్రవహింపచేస్తాయని మీరు తెలుసుకుంటారు. అంటే పొడవు తీగలు ఎక్కువ నిరోధాన్ని కలిగిస్తాయి. (పటం 19.7 (a)). గణితంలో దీన్ని ఈ విధంగా తెలుపుతాం.

$$R \propto l \qquad (19.6)$$



పటం 19.7 : (a) సమ అడ్డుకోత గల తీగల మొక్క I, 1/I ల మధ్య గ్రాఫ్ (b) సమాన పొడవు గల తీగల యొక్క విద్యుత్ ప్రవాహం మరియు అడ్డుకోత వైశాల్యం ల మధ్య గ్రాఫ్

కృత్యము (ప్రయోగం) 19.3

సమాన పొడవు కలిగి, వేరు వేరు అడ్డుకోత వైశాల్యాలు A_1 , A_2 , A_3 మొదలగునవి గల ఇచ్చిన పదార్థ తీగలను తీసుకుందాం. A, B ల మధ్య వీటిని ఒకదాని తరువాత ఒకటి కలిపి, ప్రతి సందర్భంలోను విద్యుత్ ప్రవాహాలను I_1, I_2, I_3 గుర్తించాలి. I, A ల మధ్య గ్రాఫ్ సరళరేఖ రూపంలో ఉంటుంది. ఎక్కువ అడ్డుకోత వైశాల్యం కలిగిన తీగలు తమ గుండా ఎక్కువ విద్యుత్తును ప్రవహింపచేస్తాయి. ఎక్కువ అడ్డుకోత వైశాల్యం కలిగిన వాహకం తీగలు తక్కువ నిరోధాన్ని కలిగిస్తాయని మీరు చెప్పవచ్చు (పటం 19.7 (b)). గణితంలో దీన్ని ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$R \propto \frac{1}{A} \qquad (19.7)$$

సమీకరణాలు (19.6), (19.7) లను కలిపి, ఈ విధంగా మనం రాయవచ్చు.

$$R \propto \frac{l}{A}$$

లేదా

$$R = \rho \frac{l}{A} \qquad (19.8)$$

ఇక్కడ ρ అనేది అనుపాత స్థిరాంకం. స్థిర ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఇది పదార్థానికి స్థిరంగా ఉంటుంది. దీన్ని వాహక పదార్థం యొక్క విశిష్ట నిరోధం లేదా నిరోధకత అంటారు. సమీకరణం (19.8) నుంచి,

$$\rho = \frac{RA}{l} \qquad (19.9)$$

l = 1 m, A = 1 m^2 అయితే, ρ = R ఓమ్ - మీటరు.

ఒక పదార్థం యొక్క (విశిష్ట నిరోధం) నిరోధకత ఆ పదార్థం తో తయారైన ఒక మీటరు పొడవు మరియు ఒక చదరపు మీటరు అడ్డుకోత వైశాల్యం కలిగిన తీగ నిరోధానికి సంఖ్యాత్మకంగా సమానం. విశిష్ట నిరోధం ప్రమాణం ఓమ్ - మీటరు (Ωm). విశిష్ట నిరోధం యొక్క విలోమాన్నే వాహకత్వం (విశిష్ట వాహకత) అంటారు. దీన్ని σతో సూచిస్తారు.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \qquad (19.10)$$

వాహకత్వం ప్రమాణం ఓమ్$^{-1}$ మీటరు$^{-1}$ లేదా మో – మీటరు$^{-1}$ లేదా Sm^{-1}.

నిరోధకత పదార్థ కొలతల పైన కాకుండా దాని స్వభావం పైన ఆధారపడుతుంది అయితే వాహకం నిరోధం వాహక కొలతలపైన, వాహక పదార్థ స్వభావం పైన కూడ ఆధారపడుతుంది.

ఈ కింది ఉదాహరణలను ఇపుడు మీరు శ్రద్ధగా అధ్యయనం చేయాలి.

ఉదాహరణ 19.1

మన ఇళ్ళలో విద్యుత్ శక్తిని 220 V వద్ద సరఫరా చేస్తారు. ఒక బల్బ్ గుండా 0.2 A విద్యుత్ ప్రవహిస్తే, దాని నిరోధంను లెక్కించండి.

సాధన :

$$R = \frac{V}{I} = \frac{220\,\text{volt}}{0.2\,\text{amp.}} = 1100\,\Omega$$

ఉదాహరణ 19.2

వాహకపు తీగలో సెకండుకు ఏ మధ్యచ్ఛేదాన్ని అయినా దాటుకొని పోయే మొత్తం ఎలక్ట్రానులు 6.0×10^{16} అయితే తీగలో ప్రవహించే విద్యుత్తును నిర్ధారించండి.

సాధన :

1 సెకండులో మధ్యచ్ఛేదాన్ని దాటిపోయే మొత్తం ఆవేశం,

$$\Delta Q = ne = 6.0 \times 10^{16} \times 1.6 \times 10^{-19}\ \text{C} = 9.6 \times 10^{-3}\text{C}$$

$$\therefore \qquad I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{9.6 \times 10^{-3}\text{C}}{1\text{s}}$$

$$= 9.6 \times 10^{-3}\ \text{A}$$

$$= 9.6\ \text{mA}$$

ఉదాహరణ 19.3

A, B లు సమాన పొడవు కలిగిన రెండు రాగి తీగలు. A వ్యాసం, B వ్యాసం కంటే రెండు రెట్లు ఎక్కువ. వాటి నిరోధాలను పోల్చండి.

సాధన :

సమీకరణం (19.8) నుంచి

$$R_A = \rho \frac{l}{\pi r_A^2} \quad \text{మరియు} \quad R_B = \rho \frac{l}{\pi r_B^2}$$

$$\therefore \qquad \frac{R_A}{R_B} = \frac{r_B^2}{r_A^2}$$

A వ్యాసం = 2 × B వ్యాసం, కాబట్టి $r_A = 2r_B$.

∴ నిరోధం B, A నిరోధానికి నాలుగు రెట్లు ఉంటుంది.

ఉదాహరణ 19.4

ఒక వాహకపు తీగ పొడవు 60.0 m మరియు దాని వ్యాసార్ధం .5 cm. 5.0 V పొటెన్షియల్ తేడా, తీగలో 2.5 A విద్యుత్ ను ప్రవహింపచేస్తుంది. తీగ పదార్ధం యొక్క నిరోధకతను కనుక్కోండి.

సాధన :

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5.0\,V}{2.5\,A} = 2.0\,\Omega$$

తీగ వ్యాసార్ధం = 0.5 cm = 5.0×10^{-3} m

అడ్డుకోత వైశాల్యం, $A = \pi R^2 = 3.14 \times (5.0 \times 10^{-3})^2\ m^2 = 78.5 \times 10^{-6}\ m^2$

$$\therefore \qquad \rho = \frac{2.0 \times 78.5 \times 10^{-6}\ \Omega m^2}{60.0\,m} = 2.6 \times 10^{-6}\ \Omega m$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 19.1

1. (a) l పొడవు గల రాగి తీగలో I విద్యుత్తు ప్రవహిస్తుంది. తీగ పొడవును రెట్టింపు చేస్తే అదే ఘటం వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్తును లెక్కించండి.

   (b) ఒక రాగి తీగ అడ్డుకోత వైశాల్యాన్ని సగానికి తగ్గిస్తే, దాని గుండా ప్రవహించే విద్యుత్ ఏమవుతుంది.

2. పొడవు l, అడ్డుకోత వైశాల్యం A కలిగిన తీగ నిరోధకత $2 \times 10^{-8}\ \Omega m$. అదే తీగ పొడవు $2l$ మరియు అడ్డుకోత వైశాల్యం 2A అయితే నిరోధకత ఎంత ?

3. 3 m పొడవు, అడ్డుకోత వైశాల్యం 2 cm^2 కలిగిన వాహక తీగ రెండు చివరల మధ్య 8 V పొటెన్షియల్ తేడా అనువర్తించిన 0.15 A విద్యుత్తు తీగలో ప్రవహిస్తుంది. తీగ నిరోధం మరియు నిరోధకతను కనుక్కోండి.

4. అన్ని వాహకాలు ఓమ్ నియమాన్ని పాటిస్తాయా ? మీ సమాధానాన్ని సమర్ధించడానికి ఉదాహరణలు ఇవ్వండి.

5. ఒక సెకండు కాలంలో ఎడమ నుంచి కుడికి వాహక తీగ అడ్డుకోతను దాటిపోయే ఎలక్ట్రాన్ల సంఖ్య 5×10^{17} అయితే తీగ గుండా ప్రవహించే విద్యుత్ విలువను, దిశను కనుక్కోండి.

19.3 నిరోధాల సంధానం

విద్యుద్వలయం కలపబడిన అనేక అంశాలను, పరికరాలను కలిగి ఉంటుంది. వాటిలో కొన్ని బ్యాటరీలు, నిరోధకములు, కెపాసిటర్‌లు, డయోడ్‌లు, ట్రాన్సిస్టర్లు మొదలగునవి (వీటిని వలయ మూలకాలు అంటారు). వీటిని చర్యాశీలమైనవిగా, నిరోధకాలు గా విభజించారు. వలయాలలో ఉపయోగించే నిరోధక అంశాలలో ముఖ్యమైనవి నిరోధాలు, కీ లు, రియోస్టాట్‌లు, నిరోధ తీగచుట్టలు, నిరోధాల పెట్టె మరియు అంశాలకు కలిపే తీగలు. చర్యాశీల అంశాలలో కెపాసిటర్‌లు, ప్రేరకములు (ఇండక్టర్), పరివర్తకములు (ట్రాన్స్ ఫార్మర్) ఉంటాయి. ఈ అంశాలన్నీ తమ తమ విధులను నిర్వర్తించడమే కాకుండా, వలయంలో ప్రవహించే విద్యుత్తును నియంత్రిస్తాయి. ముందు పాఠంలో మీరు కెపాసిటర్ల సంధానంను ఉపయోగించి ఆవేశంను, వోల్టేజిని నియంత్రించే విధానం గూర్చి చదువుకున్నారు. ఇపుడు నిరోధాల సంధానంను ఉపయోగించి, విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని, వోల్టేజిని ఏ విధంగా నియంత్రించవచ్చో తెలుసుకుందాం. రెండు రకాల నిరోధాల సంధానంలు వాడుకలో ఉన్నాయి. అవి శ్రేణి సంధానం మరియు సమాంతర సంధానం.

Two types of groupings of resistors are in common use. These are : **series grouping and parallel grouping.** We define equivalent resistance of the combination as a single resistance which allows the same current to flow as the given combination when the same potential difference is applied across it.

శ్రేణీ సంధానం

అనేక నిరోధాలను, మొదటి నిరోధం రెండవ చివర, రెండవ నిరోధం మొదటి చివరకు, ఆ విధంగా అన్ని నిరోధాలను ఒక దాని వెంబడి ఒకటి కలిపితే ఆ నిరోధాలు శ్రేణిలో ఉన్నాయి అంటారు. వాటన్నిటి గుండా ఒకే విద్యుత్ ప్రవాహం ఉంటుంది. పటం 19.8 లో R_1, R_2 అనే రెండు నిరోధాలను శ్రేణీ సంధానం లో కలిపారు. ఈ సంయోగాన్ని బ్యాటరీ కొనలు A, D లకు కలపాలి. V వోల్టేజి గల బ్యాటరీకి శ్రేణీ సంధానాన్ని కలిపితే దాని గుండా ప్రవహించే విద్యుత్ I అనుకుందాం. R_1, R_2 ల మధ్య వరుసగా V_1, V_2 పొటెన్షియల్ తేడాలు ఏర్పడతాయి. ఓమ్ నియమం ప్రకారం, $V_1 = IR_1$, $V_2 = IR_2$. కాని V_1, V_2 ల మొత్తం V కి సమానం.

$$\Rightarrow \qquad V = V_1 + V_2 = I\,R_1 + I\,R_2$$

ఈ శ్రేణీ సంధానం తుల్య నిరోధం R అయితే, అప్పుడు

$$V = IR = I\,(R_1 + R_2)$$

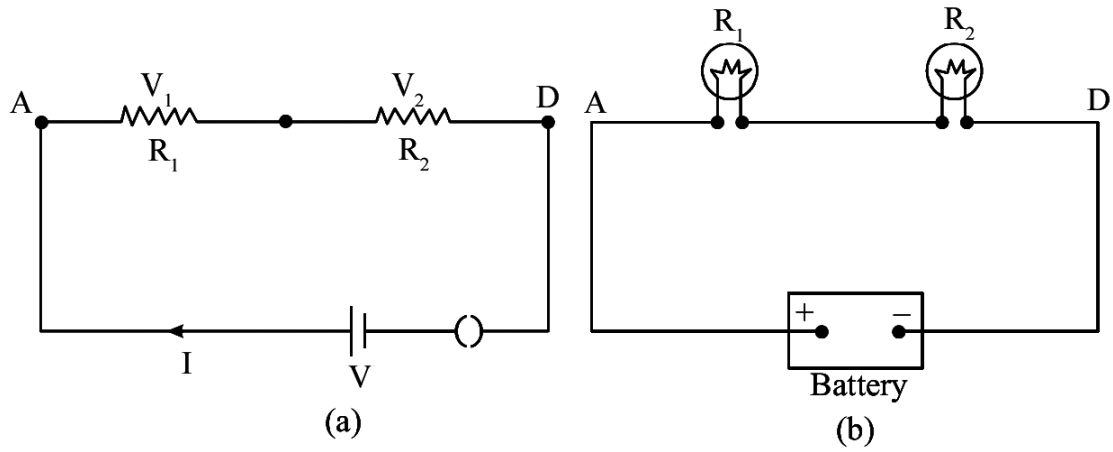
$$\therefore \qquad R = R_1 + R_2$$

అనేక నిరోధాలను శ్రేణిలో కలిపినపుడు,

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \ldots \qquad (19.11)$$

అంటే, అనేక నిరోధాలను శ్రేణిలో కలిపినపుడు, ఫలిత లేదా తుల్య నిరోధం వాటి నిరోధాల మొత్తానికి సమానమవుతుంది.

సంధానం గుండా ఎంతైతే విద్యుత్ ప్రవహిస్తుందో, అంతే విద్యుత్‌ను అనుమతించే ఏకైక తుల్య నిరోధంను నిర్వచిస్తాము. ఒకవేళ n సమాన నిరోధం గల n నిరోధాలను శ్రేణిలో కలిపితే, తుల్య నిరోధం nR మరియు ఒక్కొక్క నిరోధంపై పొటెన్షియల్ తేడా V/n. వలయంలో విద్యుత్ బల్బులాంటి నిరోధంపై జనకం ప్రయోగించే పొటెన్షియల్ తేడా కంటే తక్కువ పొటెన్షియల్ కలుగజేయాలంటే శ్రేణిలో మరొక బల్బును కలపాలి.



బ్యాటరీకి కలిపిన రెండు నిరోధాల శ్రేణి సంధానం ఏక ముఖ విద్యుత్ జనకానికి (dc source) కలిపిన రెండు బల్బుల శ్రేణి సంధానం.

పటం 19.8

రెండు నిరోధాల శ్రేణి సంధానంలో వోల్టేజి విభజన

$V = V_1 + V_2$ కాబట్టి

$$V = IR_1 + IR_2 = (R_1 + R_2)I$$

$$V = (R_1 + R_2)I$$

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

R_1 పై పొటెన్షియల్ పాతం $V_1 = IR_1$

కాని $I = \dfrac{V}{R_1 + R_2}$ కావున

$$\therefore \quad V_1 = \left(\frac{V}{R_1 + R_2}\right) R_1 \Rightarrow V_1 = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) V$$

అలాగే R_2 పై పొటెన్షియల్ పాతం

$$V_2 = IR_2 \text{ but } I = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

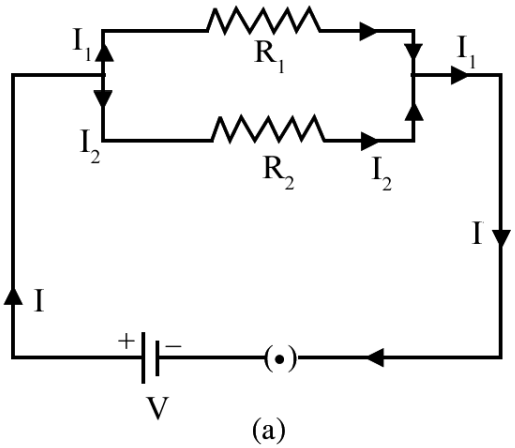
$$V_2 = \left(\frac{V}{R_1 + R_2}\right) R_2$$

$$V_2 = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} V$$

సాధారణంగా శ్రేణి సంధానంలో ఏదైనా నిరోధంపై పొటెన్షియల్ పాతం, ఆ నిరోధం మరియు సంధానంలో మొత్తం నిరోధాల నిష్పత్తిలో మొత్తం వోల్టేజితో గుణించగా వస్తుంది.

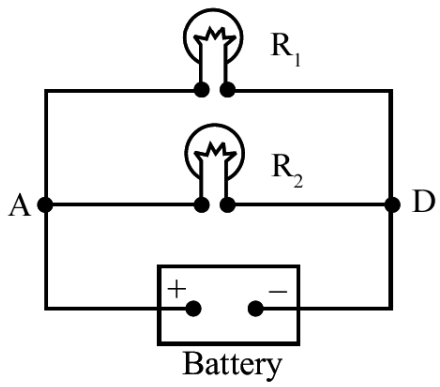
సమాంతర సంధానం

అనేక నిరోధాల మొదటి చివరలు ఒక బిందువు వద్ద, రెండవ చివరలు మరొక బిందువు వద్ద కలిపితే ఆ నిరోధాలు సమాంతర సంధానంలో ఉన్నాయి అంటారు. సమాంతర సంధానంలో **నిరోధాల అన్నింటి పైన ఒకే పొటెన్షియల్ తేడా ఉంటుంది**. $R_1 + R_2$ నిరోధాల సమాంతర సంధానం పటం 19.9 చూపిస్తుంది. V వోల్టేజి గల బ్యాటరీకి ఈ సంయోగాన్ని కలిపితే ప్రవహించే విద్యుత్తు I. ఈ విద్యుత్తు రెండు భాగాలుగా విభజింపబడుతుంది. $R_1 + R_2$ నిరోధాల గుండా ప్రవహించే విద్యుత్‌లు వరసగా I_1, I_2. అపుడు



(a)

సమాంతరంగా కలపబడిన రెండు నిరోధాలు. రెండు నిరోధాల కు ఒకే వోల్టేజిని బ్యాటరీ సరఫరా చేస్తుంది.



(b)

బ్యాటరీకి కలిపిన బల్బుల సమాంతర సంధానం.

పటం 19.9

విద్యుత్తులు I_1, I_2 ల మొత్తం I కి సమానం.

$$\Rightarrow \qquad I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

సంయోగం తుల్య నిరోధం R, అయితే V = IR or I = V/R:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

$$\therefore \qquad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \qquad (19.12\ a)$$

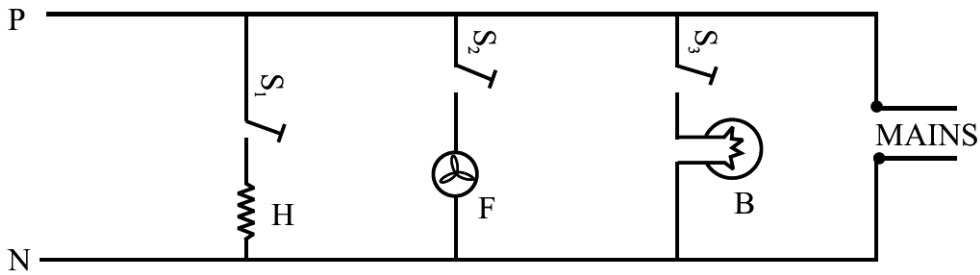
or $$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \qquad (19.12\ b)$$

సమీకరణం (19.12a) నుంచి **నిరోధాల సమాంతర సంధానంలో వేరు వేరు నిరోధాల విలోమాల మొత్తం వాటి తుల్య నిరోధం విలోమానికి సమానం** అని గమనిస్తాము. అనేక నిరోధాలను సమాంతరంగా కలిపినపుడు,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + ... \qquad (19.13)$$

సమాంతర సంధానంలోని అతి చిన్న నిరోధం విలువ కంటే తుల్య నిరోధం విలువ తక్కువగా ఉంటుందని >e T` + # & & . 2 Ω నిరోధాన్ని, 2 V బ్యాటరీకి కలిపిన విద్యుత్ వలయం నుంచి ఈ విషయాన్ని మీరు సులభంగా గమనించవచ్చు. ఈ వలయంలో విద్యుత్ 1 A. ఈ వలయంలో మరొక 2 Ω నిరోధాన్ని సమాంతరంగా కలిపితే దాని గుండా అంతే విద్యుత్తు ప్రవహిస్తుంది. అంటే బ్యాటరీ నుంచి ప్రవహించిన మొత్తం విద్యుత్తు 2 A. కాబట్టి వలయ నిరోధం సగమైంది. సమాంతరంగా కలిపే నిరోధాల సంఖ్యను పెంచితే, వలయ నిరోధం తగ్గుతుంది, మరియు బ్యాటరీ నుండి ప్రవహించే విద్యుత్తు పెరుగుతుంది.

మన ఇళ్ళలో విద్యుత్ ఉపకరణాలైన బల్బులు, ఫ్యాన్స్, హీటర్స్ మొదలగునవి సమాంతరంగా కలపబడి ఉంటాయి. ప్రతిదాని పైన ఒకే పొటెన్షియల్ తేడా ఉంటుంది. మరియు అవి చేసే పనిపై ఇతర ఉపకరణాల ప్రభావం ఉండదు. మనం బల్బులు, ఫ్యాన్స్‌ల స్విచ్‌లు వేయగానే, ఇంటి యొక్క విద్యుత్ వలయ నిరోధం తగ్గుతుంది, మేన్స్ (mains) నుంచి ప్రవహించే విద్యుత్తు పెరుగుతూ పోతుంది (పటం 19.10).



పటం 19.10 : మన ఇళ్లలోని ఉపకరణాల అమరిక. ఇవి అన్నీ సమాంతరంగా కలపబడి ఉన్నాయి. ఈ సమాంతర సంధానాన్ని మేన్స్ సప్లై (main supply) 220 V కు కలపాలి. మేన్స్ నుంచి ప్రవహించే విద్యుత్ మొత్తం, ప్రతి ఉపకరణం గుండా ప్రవహించే విద్యుత్‌ల మొత్తానికి సమానం.

రెండు నిరోధాల శ్రేణి సంధానంలో వోల్టేజి విభజన

సమాంతర సంధానంలో $I = I_1 + I_2$

కాని $I_1 = \frac{V}{R_1}$ మరియు $I_2 = \frac{V}{R_2}$

నిsubstitute these values in above equation we have

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

$$I = V\left(\frac{R_1+R_2}{R_1R_2}\right)$$

లేదా $$V = I\,\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$$

నిరోధం R_1 గుండా విద్యుత్ $$I_1 = \frac{V}{R_1} = I\,\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}\times\frac{1}{R_1}$$

$$I_1 = \frac{(R_2)I}{R_1+R_2} \qquad (19.13\ a)$$

అలాగే $$I_2 = \frac{V}{R_2} = I\,\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}\times\frac{1}{R_2}$$

$$I_2 = \frac{(R_1)I}{R_1+R_2} \qquad (19.13\ b)$$

సమాంతర సంధానంలో ఏదైనా నిరోధం గుండా విద్యుత్, అవతలి నిరోధం మరియు నిరోధాల మొత్తాల నిష్పత్తిని మొత్తం విద్యుత్ గుణించగా వస్తుంది. **సాధారణంగా వోల్టేజి విభజనకు అదే నిరోధాన్ని తీసుకోగా, విద్యుత్ విభజనకు అవతలి నిరోధాన్ని** తీసుకుంటాము.

ఉదాహరణ 19.5

పటం 19.11 లో చూపిన వలయం గుండా ప్రవహించే విద్యుత్తు I_2 ను, నిరోధం R_2 ను లెక్కించండి.

సాధన : R_1, R_2 సమాంతర సంధానం

తుల్య నిరోధం R అయితే,

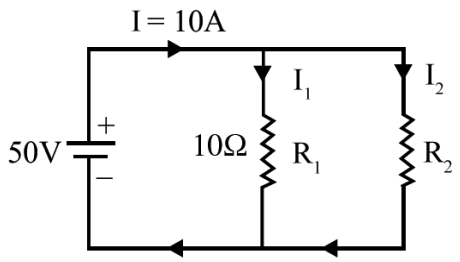
$$R = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2} = \frac{10R_2}{10+R_2}$$

ఓమ్ నియమం ప్రకారం,

$$R = \frac{50}{10} = 5\Omega$$

$$\therefore \quad \frac{10R_2}{10+R_2} = 5$$

$$\Rightarrow 10\,R_2 = 50 + 5\,R_2 \qquad \text{లేదా} \qquad R_2 = 10\ \Omega$$



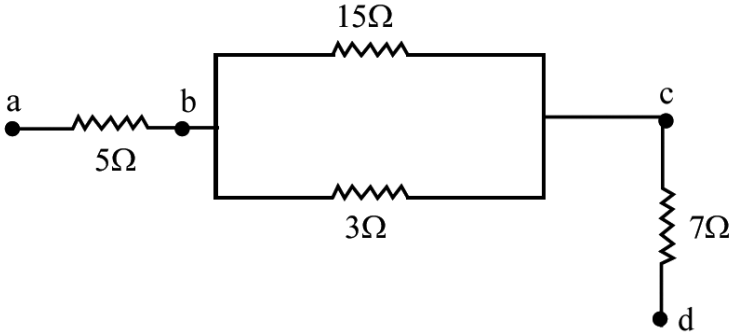
పటం 19.11 సమాంతర సంధానంలో రెండు నిరోధాలు

R_1, R_2 లు సమానం కాబట్టి, వాటి మధ్య విద్యుత్తు సమానంగా విభజింపబడుతుంది.

$\therefore\ I_2 = 5A$

ఉదాహరణ 19.6

పటం 19.12 లో చూపిన వలయానికి a, d బిందువుల మధ్య ఉన్న తుల్య నిరోధాన్ని లెక్కించండి.



పటం 19.12 : శ్రేణీ మరియు సమాంతర సంధానాల సంయోగం.

సాధన :

15Ω , 3Ω నిరోధాలను సమాంతరంగా కలిపారు. ఈ సంయోగ తుల్య నిరోధం

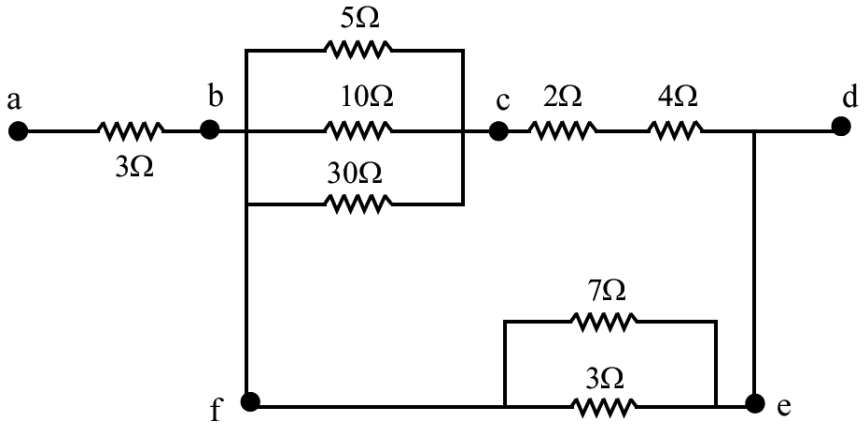
$$R_1 = \frac{15\times3}{15+3}\Omega = \frac{45}{18} = \frac{5}{2} = 2.5\Omega$$

ఇపుడు 5Ω, $R_1 = 2.5\Omega$, 7Ω నిరోధాలు శ్రేణిలో కలపబడి వున్నాయని అనుకోవచ్చు. కాబట్టి a, d బిందువుల మధ్య ఉన్న తుల్య నిరోధం,

$$R = (5 + 2.5 + 7) = 14.5\Omega$$

ఉదాహరణ 19.7

పటం 19.13 లో చూపిన జాలం (network) ను గమనించండి. (i) b మరియు c (ii) c మరియు d (iii) a మరియు e ల మధ్య ఉన్న తుల్య నిరోధాన్ని కనుక్కోండి.



పటం 19.13 : నిరోధాల శ్రేణీ మరియు సమాంతర సంధానాల సంయోగం.

సాధన :

(i) మూడు నిరోధాలను (5Ω, 10Ω and 30Ω) సమాంతరంగా కలిపారు.

తుల్య నిరోధం, $\frac{1}{R_1} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{30} = \frac{6+3+1}{30} = \frac{10}{30}\Omega$

లేదా $R_1 = 3\Omega$

(ii) నిరోధాలు 2Ω, 4Ω లను శ్రేణిలో కలిపారు. తుల్య నిరోధం

$$R_2 = (2 + 4) = 6\Omega$$

(iii) 7Ω, 3Ω నిరోధాలు సమాంతరంగా ఉన్నాయి, కాబట్టి తుల్య నిరోధం

$$\frac{1}{R_3} = \left(\frac{1}{7} + \frac{1}{3}\right) = \frac{3+7}{21} = \frac{10}{21}$$

లేదా $$R_3 = \frac{21}{10}\Omega = 2.1\Omega$$

ఇపుడు తుల్య నిరోధాలు R_1, R_2 శ్రేణిలో ఉన్నాయని అనుకుంటే,

$$R_4 = R_1 + R_2 = (3 + 6) = 9\Omega$$

ఇపుడు R_4, R_3 లు సమాంతరంగా ఉన్నాయి. కాబట్టి తుల్య నిరోధం

$$\frac{1}{R_5} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_3}$$

$$= \frac{1}{9} + \frac{1}{2.1}$$

$$= \frac{1}{9} + \frac{10}{21} = \frac{37}{63}$$

$$R_5 = \frac{63}{57}\Omega = 1.70\Omega$$

(iv) చివరగా R_5, 3Ω నిరోధాలు శ్రేణి లో ఉన్నాయి. కాబట్టి

$$R = (1.70 + 3) = 4.70\ \Omega$$

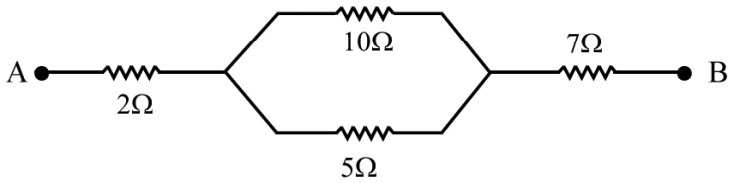
గమనిక : సరళత్వం కొరకు మీరు ప్రతీ తుల్య నిరోధం లెక్కింపు తరువాత కొత్త ఫలిత వలయాన్ని గీయాలి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 19.2

1. మీ పడక గదిలో రెండు బల్బులు, ఒక ఫ్యాన్ ఉన్నాయి. అవి శ్రేణిలో కలిపారా లేక సమాంతరంగా కలపబడి ఉన్నాయా తెలపండి. ఎందుకు ఆ విధంగా కలిపారో తెలపండి.

2. సాధారణంగా ఒక పట్టణంలో విద్యుత్ సరఫరా 220 V వద్ద చేస్తారు. ఒక్కోసారి వోల్టేజి 300 V కు పెరిగి మీ TV కి మరియు ఇతర విద్యుత్ ఉపకరణాలకు హాని చేస్తుంది. మీ ఉపకరణాలను రక్షించుకోవడానికి ఏ జాగ్రత్తను తీసుకుంటారు.

3. ఈ కింది వలయంలో A, B బిందువుల మధ్య ఉన్న తుల్య నిరోధాన్ని కనుక్కోండి.



4. ఫంక్షన్ హాల్‌లో ఉపయోగించే అనేక అలంకరణ విద్యుత్ దీపాలను శ్రేణి సంధానంలో కలుపుతారా? సమాంతర సంధానంలో కలుపాతారా? ఎందుకు?

19.4 నిరోధాల రకాలు

నిరోధాలను మనం విద్యుత్ మరియు ఎలక్ట్రానిక్ వలయాలలో విద్యుత్ ప్రవాహ పరిమాణాన్ని నియంత్రించుటకు వాడతాం. నిరోధాలు రెండు రకాలు.

- కార్బన్ నిరోధకాలు
- తీగ చుట్టల నిరోధకాలు

తీగ చుట్టల నిరోధం లో నిర్దిష్ట పొడవు గల నిరోధపు తీగలను (మాంగనిన్, కాన్‌స్టన్‌టన్ లేదా నైక్రోమ్ తో చేసినవి) ఒక బంధక స్తూపం మీద రెండు మడతలుగా చుడతారు. తీగ పొడవు మనకు కావలసిన నిరోధం విలువ పై ఆధారపడుతుంది. కార్బన్ నిరోధాలలో కార్బన్‌ను సరి అయిన బంధన పదార్థంతో కలిపి స్తూపాకారంలో అచ్చు వేస్తారు. స్తూపానికి రెండు తీగలను అతికిస్తారు. ఈ తీగల ద్వారా నిరోధాలను విద్యుత్ వలయంలో కలుపుతారు. నిరోధాలకు (రంగుల) కలర్ కోడ్‌లు ఉంటాయి. ఈ కలర్ (colour) కోడ్‌ల ద్వారా నిరోధం విలువలు తెలుసుకోవచ్చు.

$$R = AB \times 10^{C}\ \Omega,\ D$$

ఇక్కడ A, B, C లు కలర్ గీతలు. పట్టిక 19.1 లో వేరు వేరు కలర్‌ల విలువలు ఇవ్వబడినాయి. పైన చెప్పినట్లు,

- నిరోధం విలువలోని మొదటి రెండు అంకెలను, మొదటి రెండు కలర్‌లు సూచిస్తాయి.
- మూడవ కలర్ నిరోధం విలువకు గుణిజం అయిన పది యొక్క ఘాతమును ఇస్తుంది.
- నాలుగవ కలర్ (చివరిది) నిరోధం యొక్క సహనమును (tolerance) ఇస్తుంది. ఇది (బంగారు రంగు) గోల్డ్ కలర్‌కు 5%, (వెండి రంగు) సిల్వర్ కలర్‌కు 10%, నిరోధం బాడీ కలర్‌కు 20%గా తీసుకుంటారు.

పట్టిక 19.1 : నిరోధాల కలర్ కోడ్‌లు (Colour codes)

కలర్		సంఖ్య	గుణిజం
నలుపు(బ్లాక్)	B	0	1
బ్రౌన్	B	1	10^1
ఎరుపు (రెడ్)	R	2	10^2
ఆరెంజ్	O	3	10^3
పసుపుపచ్చ(ఎల్లో)	Y	4	10^4
ఆకు పచ్చ(గ్రీన్)	G	5	10^5
నీలి (బ్లూ)	B	6	10^6
ఉదం (వైలెట్)	V	7	10^7
బూడిద (గ్రే)	G	8	10^8
తెలుపు (వైట్)	W	9	10^9

కలర్ కోడ్‌ను గుర్తుంచుకోవటానికి కింది ఆంగ్ల వాక్యాన్ని ఉపయోగిస్తాము.

BBR or Goes Bombay Via Gate Way

నిరోధం పై గల నాలుగు కలర్‌లు – బ్లూ (blue), గ్రే (Grey), ఆకుపచ్చ (Green) మరియు వెండి (Silver) కలర్‌లు ఉన్నాయని అనుకుందాం. అపుడు

మొదటి అంకె 6 (Blue)

రెండవ అంకె 8 (Grey)

మూడవ కలర్ గుణిజం 105 ను సూచిస్తుంది. (Green)

నాలుగవ కలర్ సహనంను ఇస్తుంది = 10% (Silverకలర్‌కు)

కాబట్టి నిరోధం విలువ,

$$68 \times 10^5 \pm 10\%$$

$$= 68 \times 10^5 \pm (68 \times 10^5 \times 10/100)$$

$$= 68 \times 10^5 \pm 68 \times 10^4$$

$$= (6.8 \pm 0.68)\ M\Omega$$

19.5 నిరోధకత పై ఉష్ణోగ్రత ప్రభావం

వాహకాల నిరోధకత ఉష్ణోగ్రత పై ఆధారపడుతుంది. లోహ వాహకాలు అన్నింటి యొక్క నిరోధకతలు ఉష్ణోగ్రత తో పాటు పెరుగుతాయి. కొంత తక్కువ పరిమితి గల ఉష్ణోగ్రతా వ్యాప్తిలో, ఒక లోహ వాహకం యొక్క నిరోధకత విలువ ఉష్ణోగ్రతతో పాటు రేఖీయంగా పెరుగుతుంది.

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha (T - T_0)] \qquad (19.14)$$

ఇక్కడ T, T_0, ఉష్ణోగ్రతల వద్ద పదార్థ నిరోధకతలు వరుసగా ρ, ρ_0. ఉష్ణోగ్రతలను °C లో తీసుకున్నారు. α ను పదార్థం యొక్క ఉష్ణోగ్రతా నిరోధకత గుణకం అంటారు. α యొక్క ప్రమాణాలు $(°C)^{-1}$ లేదా K^{-1}.

అతివాహకాలు

అత్యల్ప ఉష్ణోగ్రతల వద్ద పదార్థాల ప్రవర్తనను శాస్త్రజ్ఞులు అధ్యయనం చేయడానికి ఉష్ణోగ్రత ఆధారిత నిరోధకత్వం దోహదపడింది. ఈ అధ్యయనంలో కొన్ని పదార్థాలు మరియు వాటి మిశ్రమాలు వాటి యొక్క నిరోధకత్వాన్ని ఒకానొక ఉష్ణోగ్రత వద్ద పూర్తిగా కోల్పోవటాన్ని గమనించారు. ఈ ఉష్ణోగ్రతని సంక్రమణ ఉష్ణోగ్రత అంటారు. సంక్రమణ ఉష్ణోగ్రత పదార్థానికి విశిష్టంగా ఉంటుంది. ఇటువంటి పదార్థాలలో బాహ్య జనకం అవసరంలేకుండానే ఒకసారి ఉన్న విద్యుత్ ప్రవాహం మారకుండా ఎల్లప్పటికీ అలానే ఉంటుంది. ఈ విధమైన పదార్థాలని "అతి వాహకాలు" అంటారు.

గది ఉష్ణోగ్రత వద్ద "అతి వాహకాలను" తయారు చేయగలిగితే సాంకేతిక రంగములో విప్లవాత్మక మార్పును తీసుకురావచ్చును. (వీటిని హెచ్చు ఉష్ణోగ్రత అతి వాహకాలు అంటారు).

ఉదాహరణకు అతి వాహక తీగ చుట్టలతో తయారుచేయబడిన అత్యంత సామర్థ్యం గల విద్యుత్ అయస్కాంతాలు వాహనాలను అయస్కాంత బాట పై అత్యంత వేగంగా నడిచేటట్లు చేయగలుగుతాయి. తద్వారా వేగవంతమైన రవాణ వ్యవస్థ సాధ్యం అవుతుంది.

హెచ్చు ఉష్ణోగ్రత అతి వాహకాలను తయారుచేయుటకు ప్రయోగాలు జరుగుతున్నాయి. కాపర్ ఆక్సైడ్‌లు, బేరియం మరియు యుట్రియం (ytterium) ఆక్సైడ్‌లతో ఇది సాధ్యమైతుందని ఈ ప్రయోగాలు చూపుతున్నాయి. –181°C ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న అతివాహకాన్ని ($Tl_2 Ba_2 Ca_2 Cu_3O_7$) తయారుచేసినారు. ఈ అతి వాహకాల పరిశోధనలో భారతదేశము ముందంజలో ఉంది.

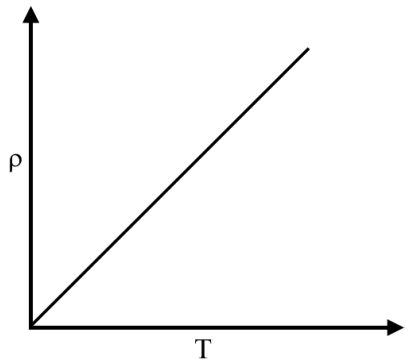
సమీకరణం (19.14) లోని పదాలను సరి చేసి ఉష్ణోగ్రతా నిరోధకత గుణకం కు సమాసం ను రాబట్టవచ్చు.

$$\rho = \rho_0 + \rho_0 \alpha (T - T_0)$$

లేదా $$\alpha = \frac{(\rho - \rho_0)}{\rho_0 (T - T_0)} = \frac{1}{\rho_0}\frac{\Delta\rho}{\Delta T}$$

ఇక్కడ $\Delta\rho = (\rho - \rho_0)$, $\Delta T = T - T$

రాగి వంటి లోహంకు ఉష్ణోగ్రత ఊ తో పాటుగా నిరోధకత మారే విధానాన్ని పటం 19.14(a)లో చూపించాం. ఎక్కువ పరిమితి గల ఉష్ణోగ్రతా వ్యాప్తిలో ఈ గ్రాఫ్ రేఖీయంగా ఉంటుంది.



పటం 17.14(a) **:** లోహం యొక్క నిరోధకత – ఉష్ణోగ్రతల గ్రాఫ్

వాహకం నిరోధం, దాని నిరోధకతకు అనులోమానుపాతం లో ఉంటుందని మీరు గుర్తు చేసుకోండి. కాబట్టి నిరోధం, ఉష్ణోగ్రతల మధ్య సంబంధాన్ని ఈ కింది విధంగా తెలియచేయవచ్చు.

$$R = R_0 [1 + \alpha (T - T\ )] \qquad (19.15)$$

రెండు వేరు వేరు ఉష్ణోగ్రతలు T_1, T_2 లకు సంబంధించిన నిరోధాలను

$$R_1 = R_0 [1 + \alpha (T_1 - T_0)] \qquad (19.16)$$

మరియు $$R_2 = R_0 [1 + \alpha (T_2 - T_0)] \text{ గా} \qquad (19.17)$$

రాయవచ్చు.

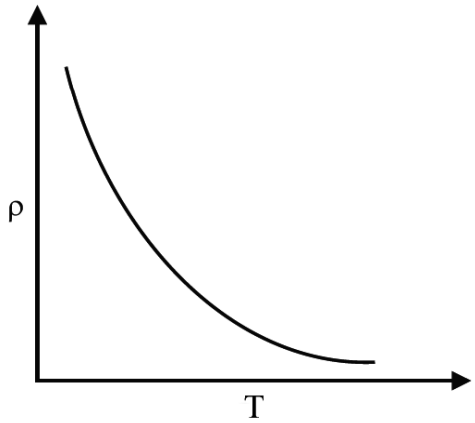
ఈ రెండు సమీకరణాలను కలిపితే, ఉష్ణోగ్రతా నిరోధ గుణకం యొక్క సమాసము వస్తుంది.

$$\alpha = \frac{(R_2 - R_1)}{R_0 (T_2 - T_1)} = \frac{1}{R_0}\frac{\Delta R}{\Delta T} \qquad (19.18)$$

$R_0 = 1\Omega$, $(T_2 - T_1) = 1°C$, అయితే $\alpha = (R - R)$.

ఉష్ణోగ్రతా నిరోధ గుణకం, ఉష్ణోగ్రతలో వచ్చే ఏకాంక పెరుగుదలకు 0° C వద్ద 1Ω నిరోధం కల తీగ యొక్క నిరోధంలో కలిగే మార్పుకి సంఖ్యాత్మకంగా సమానం. లోహాల యొక్క ఈ ధర్మాన్ని నిరోధక ఉష్ణోగ్రతా మాపకాలను తయారు చేయుటకు వాడతరు. వీటిని నిరోధక ఉష్ణోగ్రత శోధకం (RTD) అని పిలుస్తారు.

మిశ్రమ లోహాల నిరోధకతలు కూడ ఉష్ణోగ్రతతో బాటు పెరుగుతాయి. కాని ఈ పెరుగుదల లోహాల నిరోధకత పెరుగుదలతో పోలిస్తే చాలా తక్కువ. **మాంగనీన్, కాన్‌స్టాంటన్, నైక్రోమ్** వంటి మిశ్రమ లోహాల ఉష్ణోగ్రతా నిరోధకత గుణకం అతి తక్కువగా ($\sim 10^{-6}\ ^{\circ}C^{-1}$) ఉంటుంది. వీటి నిరోధకత చాలా ఎక్కువగా ఉంటుంది. కాబట్టి ఈ పదార్థాలను నిరోధ తీగ చుట్టలను లేదా ప్రామాణిక నిరోధాలను తయారు చెయ్యడానికి వాడతారు.



పటం 19.14(b): ఉష్ణోగ్రత తో అర్ధ వాహకాల నిరోధకత తగ్గుతుంది.

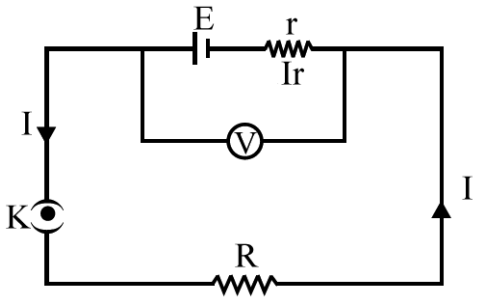
జెర్మేనియం, సిలికాన్ వంటి అర్ధ వాహకాల నిరోధకతలు అటు లోహాలు, ఇటు బంధకాల నిరోధకతలకు మధ్యస్థంగా ఉంటాయి. ఉష్ణోగ్రత పెరిగిన కొద్దీ అర్ధవాహకాల నిరోధకత సాధారణంగా తగ్గుతుంది (పటం 19.14(b)). అందువల్ల వీటికి సంబంధించిన ఉష్ణోగ్రతా నిరోధకత గుణకం రుణాత్మకం అని అంటారు. అర్ధ వాహకాలు అనే పాఠంలో దీని గురించి వివరంగా తెలుసుకుంటారు.

19.6 విద్యుత్ చాలక బలం మరియు పొటెన్షియల్ తేడా

విద్యుత్ చాలక బలంకు సూక్ష్మ రూపం విచాబ. దీనిని ఇంగ్లీషు భాషలో కింది అక్షరాలతో EMF గా రాస్తాం. ఘటం లేదా బ్యాటరీ విచాబ, స్వేచ్ఛగా ఉన్న వాటి రెండు కొనల మధ్య ఉన్న పొటెన్షియల్ తేడాకు సమానం. ఈ కింది ప్రయోగం ద్వారా మీరు విచాబ, పొటెన్షియల్ తేడా మధ్య గల భేదాలను సులభంగా అర్థం చేసుకుంటారు.

కృత్యము (ప్రయోగం) 19.4

R నిరోధం, ప్లగ్ కీ K గల వలయంలో ఒక ఘటాన్ని కలపాలి. పటం 19.15 (a)లో చూపినట్లుగా అధిక నిరోధం గల వోల్టు మీటరును ఘటానికి సమాంతరంగా కలపాలి. కీ (K) ని ప్లగ్‌లో పెట్టినపుడు, వోల్టుమీటరు రీడింగు తగ్గుతుంది. వోల్టు మీటరు రీడింగు తగ్గడానికి గల కారణాలు మీరు చెప్పగలరా? కీ(K) ని ప్లగ్ నుంచి తీసినపుడు ఘటం, వోల్టు మీటరు గల వలయం గుండా విద్యుత్ ప్రవహించదు (వలయ నిరోధం అనంతం). ఘటం గుండా విద్యుత్ ప్రవాహం ఏదీ లేనపుడు వలయం తెరచి ఉంది అని అంటారు లేదా వివృత వలయం అంటారు. ఇట్లాంటి వివృత (తెరచిన) వలయంలో, వోల్టు మీటరు చూపించే రీడింగు ఘటం విచాబను (E) ఇస్తుంది. ఈ విలువ ఘటం కొనల మధ్య ఉండే పొటెన్షియల్ తేడాకు సమానం. ప్లగ్ లో కీ (K) ని పెట్టినపుడు ఘటం లోపల, బయట విద్యుత్ ప్రవహిస్తుంది. ఇలాంటి వలయాన్ని మూసిన వలయం లేదా సంవృత వలయం అంటారు. ఘటం విద్యుత్ ప్రవాహానికి ఎంత నిరోధం కలుగచేస్తుందో దానినే ఆ ఘటం అంతర్నిరోధం (r) అంటారు. వలయం గుండా ప్రవహించే విద్యుత్తు I అనుకుందాం. విద్యుత్



పటం 19.15 (a)

ప్రవాహం కారణంగా అంతర్నిరోధం r చివరల మధ్య పొటెన్షియల్ పాతం Ir ఏర్పడుతుంది. ఇది ఘటం విచాబకు (e.m.f.), వ్యతిరేకంగా పని చేస్తుంది. కాబట్టి వోల్టు మీటరు రీడింగ్

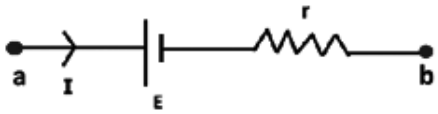
$$E - Ir = V$$

లేదా

$$E = V + Ir \qquad (19.19)$$

ఒక వలయంలో విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని కలుగచేయడానికి ఒక ఘటాన్ని (బ్యాటరీని) కలిపినపుడు, అంతర్నిరోధం శూన్యం కాకుంటే, ఘటం విచాబ, దాని కొనల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా కంటే ఎక్కువగా ఉంటుంది.

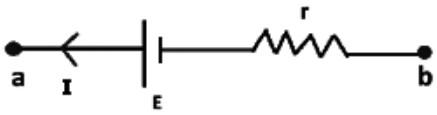
ఆదర్శ ఘటం అంతర్నిరోధం శూన్యం. పటం 19.15 (b)లో చూపినట్టు ఘటంలోకి విద్యుత్ ప్రవహిస్తే, ఘటం చివరల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా



పటం 19.15 (b)

$$V_{ab} = E + Ir$$

పటం 19.15 (c) లో చూపినట్టు ఘటం నుండి విద్యుత్ చివరల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా



పటం 19.15(c)

$$V_{ab} = E - Ir$$

ఘటం విచాబ (e.m.f.), ఈ కింది వాటి మీద ఆధారపడి ఉంటుంది.

- ఘటంలో వాడిన విద్యుత్ విశ్లేష్యం
- ఎలక్ట్రోడుల పదార్థం
- ఘటం ఉష్ణోగ్రత

ఘటం యొక్క విచాబ (e.m.f.) ఘటం పరిమాణం పైన ఆధారపడదు. అంటే పలకల వైశాల్యం మరియు వాటి మధ్య గల దూరం మీద ఆధారపడదు. అంటే వేరు వేరు పరిమాణాలు గల రెండు ఘటాలు ఒకటి పెద్దది, రెండవది చిన్నది, మీ దగ్గర ఉంటే, వాటి విద్యుత్ విశ్లేష్యం, ఎలక్ట్రోడుల పదార్థం ఒకటే అయినపుడు వాటి విచాబలు సమానంగా ఉంటాయి. ఎక్కువ పరిమాణం గల ఘటాలు విద్యుత్ ప్రవాహానికి ఎక్కువ నిరోధం కల్గిస్తాయి కాని వాటిని ఎక్కువ కాలం వాడవచ్చు.

ఉదాహరణ 19.8

ఘటం నుంచి పొందగలిగిన విద్యుత్ ప్రవాహం 0.5 A అయితే, ఘటం కొనల వద్ద పొటెన్షియల్ తేడా 20 V. దాని నుంచి పొందగలిగిన విద్యుత్ ప్రవాహం 2.0 A అయినపుడు దాని వోల్టేజి 16 V కు తగ్గింది. ఘటం విచాబను, అంతర్నిరోధాన్ని కనుక్కోండి.

సాధన :

E, r లు ఘటం విచాబ, అంతర్నిరోధాలు అనుకుందాం. ఘటం నుంచి పొందగలిగిన విద్యుత్ I అయినపుడు, ఘటం అంతర్నిరోధం గుండా పొటెన్షియల్ పాతం Ir.

అపుడు $V = E - Ir$

$I = 0.5\ A,\ V = 20\ V$ అయితే

$$20 = E - 0.5\ r \qquad \text{(i)}$$

$I = 2.0\ A,\ V = 16\ V$ అయితే

$$16 = E - 2r \qquad \text{(ii)}$$

(i), (ii) సమీకరణాల నుంచి

$$2\ E - r = 40$$

మరియు $E - 2r = 16$

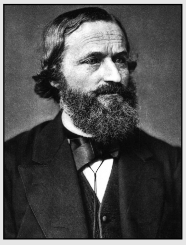
వీటిని సాధించగా,

$$E = 21.3\ V \text{ and } r = 2.67\Omega$$

19.7 కిర్కాఫ్ నియమాలు

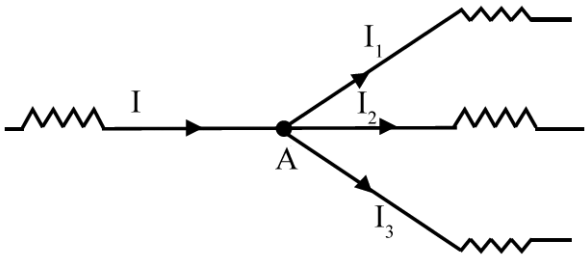
సరళమైన విద్యుద్వలయాలను విశ్లేషించడానికి ఓమ్ నియమం చక్కగా ఉపయోగపడుతుంది. ఈ వలయాలలో విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని సులభంగా కనుక్కోవచ్చు. కాని ఒక సంక్లిష్ట వలయంలో వేరు వేరు శాఖలలో ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహాలను ఓమ్ నియమం ఉపయోగించి కనుక్కోవడం చాలా కష్టం, కొన్ని సందర్భాలలో అసాధ్యం. అట్లాంటి సంక్లిష్ట వలయంలో వేరు వేరు భాగాలలోని విద్యుత్ ప్రవాహాలను లెక్కించడానికి అనువుగా కిర్కాఫ్ శాస్త్రజ్ఞుడు 1842 లో రెండు నియమాలను ప్రతిపాదించాడు.

గుస్తోవ్ రాబర్ట్ కిర్కాఫ్ (1824 - 1887)



జర్మనీ శాస్త్రజ్ఞుడు. కృష్ణ వస్తువు వికిరణము, వర్ణపట విజ్ఞాన (spectroscopy) రంగాలలో ఈయన కృషి చేశారు. అంతేగాక ఇతర రంగాలలో కూడ కృషి చేశారు. ఈ పాఠంలో మీరు చదివే కిర్కాఫ్ నియమాలు సంక్లిష్ట వలయాలను విశ్లేషించడానికి మీకు ఉపయోగపడతాయి. బున్సెన్ వర్ణపటం విశ్లేషణ సహాయంతో ఇతను రుబిడియం, సీసియం అనే మూలకాలను కనిపెట్టాడు.

(i) **కిర్కాఫ్ మొదటి నియమం (సంధి సిద్ధాంతం):** విద్యుద్వలయంలో ఒక సంధి (బిందువు) వైపు ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహాల మొత్తం, ఆ సంధి నుంచి దూరంగా పోయే ప్రవాహాల మొత్తానికి సమానం అని కిర్కాఫ్ మొదటి నియమం తెలుపుతుంది.



పటం 19.16 : కిర్కాఫ్ మొదటి నియమం : ఒక సంధిలోకి ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహాల మొత్తం, ఆ సంధి నుంచి బయటకు పోయే ప్రవాహాల మొత్తానికి సమానం.

పటం 19.16 ను గమనించండి. ఇక్కడ సంప్రదాయం ప్రకారం, సంధిలోకి ప్రవేశించే ప్రవాహాలను ధనాత్మకంగాను, సంధి నుంచి బయటకు పోయే ప్రవాహాలను రుణాత్మకంగాను తీసుకుంటాం. అంటే A బిందువు వైపు ప్రవాహాలను ధనాత్మకంగా, A ను విడిచే ప్రవాహాలను రుణాత్మకంగా తీసుకుంటే,

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

లేదా $$I - (I_1 + I_2 + I_3) = 0 \qquad (19.20)$$

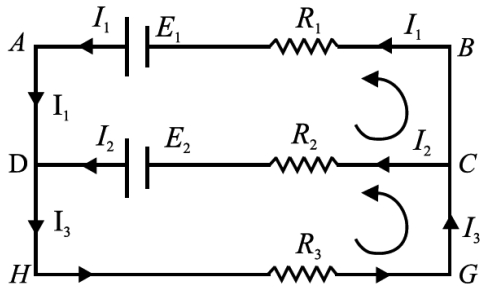
కిర్కాఫ్ మొదటి నియమాన్ని కింది విధంగా కూడా చెప్పవచ్చు. వలయంలో ఏదైనా సంధి వద్ద కలిసే విద్యుత్ ప్రవాహాల బీజీయ మొత్తం శూన్యం లేదా సున్నా.

ఒక వలయంలో నిలకడ ప్రవాహం ఉంటే, వలయం లోని ఏ బిందువు వద్దనయినా సరే ఆవేశం పోగుపడి ఉండటం జరగదు అని కిర్కాఫ్ మొదటి నియమం చెపుతుంది. కొంత కాలంలో ఒక బిందువు వైపు వచ్చే నికర ఆవేశం, అంతే కాలంలో ఆ బిందువును విడిచే నికర ఆవేశానికి సమానం. విద్యుదావేశ నిత్యత్వ నియమం యొక్క ఫలితమే ఈ కిర్కాఫ్ మొదటి నియమం.

(ii) కిర్కాఫ్ రెండవ నియమం (వలయ సిద్ధాంతం)

కిర్కాఫ్ రెండవ నియమం అనేది, శక్తి నిత్యత్వ నియమం యొక్క ఫలితము. విద్యుద్వలయంలో ఏదైనా సంవృత భాగంలో వేరు వేరు శాఖలలో ప్రవాహాలు మరియు నిరోధాల లబ్ధముల బీజీయ మొత్తం, ఆ సంవృత భాగంలోని విద్యుత్ చాలక బలాల బీజీయ మొత్తానికి సమానం అని కిర్కాఫ్ రెండవ నియమం తెలుపుతుంది.

కిర్కాఫ్ రెండవ నియమాన్ని అనువర్తింపచేసేటపుడు, వలయంలో ఒక బిందువు వద్ద మొదలు పెట్టి, వలయం చుట్టూ సవ్య దిశలో గాని లేదా అపసవ్యదిశలో గాని పోతూ మళ్ళీ అదే బిందువు వద్దకు రావాలి. విద్యుత్ ప్రవాహ దిశలో మనం ప్రయాణిస్తే ప్రవాహాల మరియు నిరోధాల లబ్ధము ధనాత్మకంగా తీసుకుంటాం. ఘటం గుండా రుణ ఎలక్ట్రోడు నుంచి ధన ఎలక్ట్రోడుకు మనం ప్రయాణిస్తే, విచాబ (e.m.f) ను ధనాత్మకంగా తీసుకుంటాం. గణిత శాస్త్ర ప్రకారం, మనం ఈ విధంగా రాయవచ్చు.



పటం 19.17 : కిర్కాఫ్ రెండవ నియమంను ఉదాహరించుటకు విద్యుత్ జాలము.

$$\Sigma IR = \Sigma E \qquad (19.21)$$

పటం 19.17లో చూపిన విద్యుత్ జాలము (Electrical network) ను తీసుకుందాం. A D C B A సంవృత వలయానికి,

$$I_1R_1 - I_2R_2 = E_1 - E_2$$

DHGCD సంవృత వలయానికి,

$$I_2R_2 + (I_1 + I_2) R_3 = E_2$$

మరియు AHGBA వలయానికి,

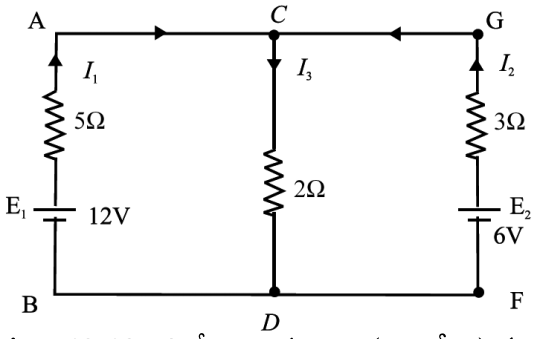
$$I_1R_1 + I_3 R_3 = E_1$$

D బిందువు వద్ద, $I_1 + I_2 = I_3$

కిర్కాఫ్ రెండవ నియమం ను ఈ కింది విధంగా కూడా చెప్పవచ్చు. సంవృత వలయంలో పొటెన్షియల్ తేడాల బీజీయ మొత్తం శూన్యం లేదా సున్నా.

ఉదాహరణ 19.9

పటం 19.18లో చూపినట్లుగా ఒక విద్యుత్ జాలము తీసుకుందాం. రెండు ఘటాల ద్వారా జాలములో విద్యుత్ ప్రవహిస్తుంది. I_1, I_2, I_3 ప్రవాహాల విలువలు కనుక్కోండి. బాణం గుర్తు విద్యుత్ ప్రవాహ దిశను సూచిస్తుంది.



పటం 19.18 : నిరోధాలు, ఘటాలు (బ్యాటరీలు) గల జాలములో విద్యుత్ ప్రవాహాలను కనుగొనుట.

సాధన :

సంధి C, కి కిర్కాఫ్ మొదటి నియమం అనువర్తించిన,

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \qquad \text{(i)}$$

సంవృత వలయాలు ACDBA మరియు GCDFG లకు కిర్కాఫ్ రెండవ నియమం అనువర్తించిన,

$$5I_1 + 2I_3 = 1_2 \qquad \text{(ii)}$$

మరియు $$3I_2 + 2I_3 = 6 \qquad \text{(iii)}$$

సమీకరణం (ii) నుండి సమీకరణం (iii) తీసివేయగా

$$5I_1 - 3I_2 = 6 \qquad \text{(iv)}$$

(i) ని 2 తో గుణించి, (ii) కి కలిపితే,

$$7I_1 + 2I_2 = 12 \qquad \text{(v)}$$

(iv) ని 2 తో గుణించి, (v) ని 3 తో గుణించి, వాటిని కూడితే,

$$31I_1 = 48$$

లేదా $$I_1 = 1.548 \text{ A}$$

పై విలువను సమీకరణం (v) లో ప్రతిక్షేపిస్తే,

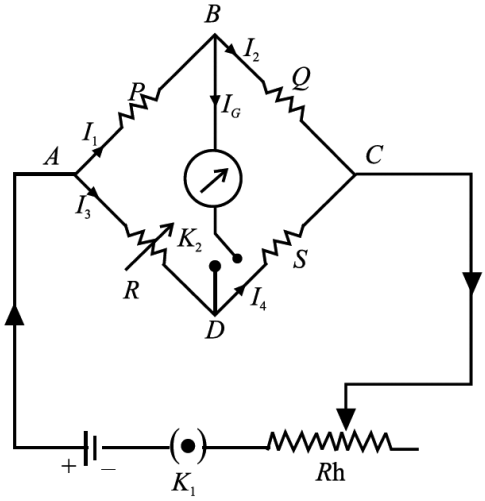
$$I_2 = 0.582 \text{ A}$$

సమీకరణం (i) నుంచి,

$$I_3 = I_1 + I_2 = 2.13 \text{ A}$$

19.7.1 వీట్‌స్టన్ బ్రిడ్జి

విద్యుత్ వలయం లోని నిరోధాన్ని వోల్టుమీటరు, అమ్మీటరు లను ఉపయోగించి, ఓమ్ నియమం నుంచి కనుక్కోవచ్చు అని మీరు నేర్చుకొన్నారు. అయితే అతి తక్కువ నిరోధాలను ఈ పద్ధతిలో కొలిచినపుడు వచ్చిన విలువలు నిరోధాల యదార్థమైన విలువలు కావు. అటువంటప్పుడు వీట్‌స్టన్ బ్రిడ్జిను ఉపయోగిస్తాం. వీట్‌స్టన్ బ్రిడ్జి అనేది, నిరోధాలను పోల్చడానికి లేదా ఒక తెలియని నిరోధం విలువ లెక్కించడానికి వాడే విద్యుద్వలయం. ఇందులో నాలుగు నిరోధాలు, ఒక బ్యాటరీ మరియు ఒక గాల్వానామీటరు ఉంటాయి.



పటం 19.19 : వీట్‌స్టన్ బ్రిడ్జి

పటం 19.19లో చూపిన విద్యుత్ వలయంను తీసుకుందాం. ఇక్కడ

(i) P, Q అనే రెండు నిరోధాలను AB, BC భుజాల మధ్య కలపాలి.

(ii) R అనేది ఒక తెలిసిన నిరోధం.

(iii) S ఒక తెలియని నిరోధం. దీని విలువను కనుక్కోవాలి.

(iv) భుజం BD లో ఫ్లగ్ కీ (K_2) తో పాటు ఒక గాల్వానామీటరు G ని కలపాలి.

(v) భుజం AC లో ఫ్లగ్ కీ (K_1) తో పాటు బ్యాటరీ E ని కలపాలి.

సాధారణంగా ఫ్లగ్‌లలో రెండు కీ లను (K_1, K_2) పెట్టగానే గాల్వానామీటరు G గుండా కొంత విద్యుత్తు ప్రవహిస్తుంది. దీని వల్ల గాల్వానామీటరు లో అపవర్తనం వస్తుంది. B, D బిందువుల మధ్య కొంత పొటెన్షియల్ తేడా ఉందని ఇది సూచిస్తుంది. ఈ కింది మూడు సాధ్యాలను తీసుకుందాం.

(i) **బిందువు D కంటే, B బిందువు ఎక్కువ పొటెన్షియల్ వద్ద ఉన్నపుడు :** విద్యుత్ B నుంచి D వైపు ప్రవహిస్తుంది. గాల్వానామీటరు ఏదో ఒక దిశలో అపవర్తనం చూపిస్తుంది, అది కుడి వైపు అనుకుందాం.

(ii) **D బిందువు కంటే B బిందువు తక్కువ పొటెన్షియల్ వద్ద ఉన్నపుడు :** విద్యుత్ D బిందువు నుంచి B బిందువు వైపు ప్రవహిస్తుంది, మరియు గాల్వానామీటరు వ్యతిరేక దిశలో అపవర్తనం ను చూపిస్తుంది.

(iii) **B, D రెండు బిందువులు సమ పొటెన్షియల్ వద్ద ఉన్నపుడు :** ఈ సందర్భంలో గాల్వానామీటరు గుండా ఏ విద్యుత్ ప్రవాహం ఉండదు. అపుడు అది శూన్య అపవర్తనాన్ని చూపిస్తుంది. అనగా గాల్వానామీటరు శూన్య పరిస్థితిలో ఉంది అని అర్థం. ఈ పరిస్థితిలో వీట్‌స్టన్ బ్రిడ్జి సంతులన స్థితిలో ఉందని అంటారు.

P గుండా పొటెన్షియల్ పాతం, R గుండా పొటెన్షియల్ పాతంకు సమానం అయితే, B, D బిందువులు సమ పొటెన్షియల్ వద్ద ఉంటాయి. కాబట్టి

$$I_1P = I_3R \tag{19.22}$$

కాని $I_1 = I_2 + I_G$

మరియు $$I_4 = I_3 + I_G \tag{19.23}$$

శూన్య పరిస్థితిలో B, D సంధుల వద్ద కిర్కాఫ్ మొదటి నియమంను అనువర్తిస్తే ($I_G = 0$)

$$I_1 = I_2$$

మరియు $$I_3 = I_4 \tag{19.24}$$

అలాగే, Q గుండా పొటెన్షియల్ పాతం, S గుండా పొటెన్షియల్ పాతంకు సమానం. కాబట్టి

$$I_2Q = I_4S \tag{19.25}$$

(19.22) సమీకరణంను (19.25) సమీకరణం తో భాగిస్తే,

$$\frac{I_1P}{I_2Q} = \frac{I_3R}{I_4S} \tag{19.26}$$

సమీకరణం (19.24) నుంచి, మనకు

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \tag{19.27}$$

అని వస్తుంది.

ఇదియే వీట్‌స్టన్ బ్రిడ్జి యొక్క సంతులన నియమం. సమీకరణం (19.27) నుంచి, తెలియని నిరోధం S ను ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$S = \frac{QR}{P}$$

In Fig. 19.19 the resistances are named as P, Q, R, S. In most textbooks follows same notation. If the positions of resistances P, Q, R, S are not properly placed as shown in Fig. 19.19. If they are placed differently, then the condition for bridge balance

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$$

పటం 19.19 లో నిరోధాలు (P, Q, R, S) స్థానాలు మారితే సమీకరణం (19.27) మారే అవకాశం ఉంది. కావున ఎదురెదురు నిరోధాల లబ్ధాలు సమానం అని గుర్తుంచుకుంటే మంచిది.

$$PS = RQ$$

దీని నుండి $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

Instead of resistances if four capacitances are connected in Wheatstone bridge, then bridge is balanced if the product of opposite arm reactances are equal.

వీట్‌స్టన్ బ్రిడ్జి నుపయోగించి, నిరోధాన్ని కొలవడం వల్ల ఈ కింది లాభాలున్నియని మీరు చూస్తారు.

(i) శూన్య స్థానంలో సమీకరణం (19.27) ఇచ్చే సంతులన నియమం, అనువర్తించిన వోల్టేజి V పై ఆధారపడదు. దీన్నే ఇంకో విధంగా చెప్పాలంటే, ఘటం యొక్క విచాబ (e.m.f.) ను మార్చిన కూడ, సంతులన నియమం మారదు.

(ii) గాల్వానామీటరు క్రమాంకన ఖచ్చితత్వం పైన కొలచిన నిరోధం ఆధారపడదు. గాల్వానామీటరును శూన్య పరిస్థితిని సూచించడానికి మాత్రమే వాడతాం.

వీట్‌స్టన్ బ్రిడ్జితో, కొలచిన విలువ ఖచ్చితత్వాన్ని ప్రభావితం చేసే ముఖ్యమైన కారకం బ్రిడ్జి సున్నితత్వం. బ్రిడ్జి సున్నితత్వం ద్వారా శూన్య స్థితి లోని మార్పులను కనిపెట్టవచ్చు. భుజాలలో ఉండే నిరోధాలు సుమారుగా సమానంగా వున్నపుడు, బ్రిడ్జి కి ఎక్కువ సున్నితత్వం వుంటుందని కనుగొన్నారు.

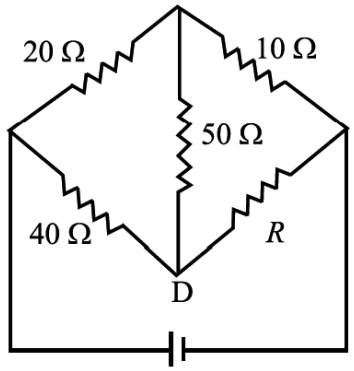
ఉదాహరణ 19.10

50Ω నిరోధం గుండా విద్యుత్ ప్రవాహం లేనపుడు, పటం 19.20 లో చూపిన నిరోధం R ను కనుక్కోండి.

సాధన : ఈ వీట్‌స్టన్ బ్రిడ్జిలో గాల్వానా మీటరు స్థానంలో 50Ω నిరోధంను ఉంచారు. 50Ω నిరోధం గుండా విద్యుత్ ప్రవహించడం లేదు కాబట్టి బ్రిడ్జి సంతులన స్థితిలో ఉంటుంది. కావున

$$\frac{20}{10} = \frac{40}{R}$$

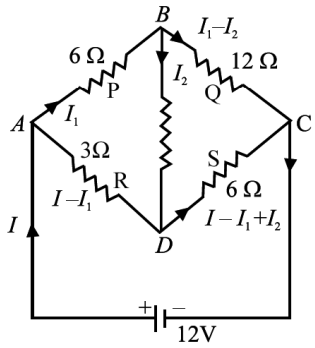
లేదా $$R = \frac{40 \times 10}{20} = 20\Omega$$



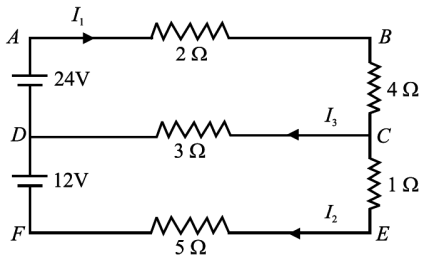
పటం 19.20 : 50Ω నిరోధం గుండా విద్యుత్ ప్రవాహం లేనపుడు, బ్రిడ్జి సంతులనం అయ్యింది

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 19.3

1. కింద చూపిన పటంను గమనించండి. AB, AD, BD భుజాలలో ప్రవహించే విద్యుత్ విలువలను కనుక్కోండి.



2. నిరోధాలు, బ్యాటరీలు గల ఈ కింది వలయాన్ని గమనించండి. I_1, I_2, I_3 విద్యుత్ ప్రవాహాలను కనుక్కోండి.



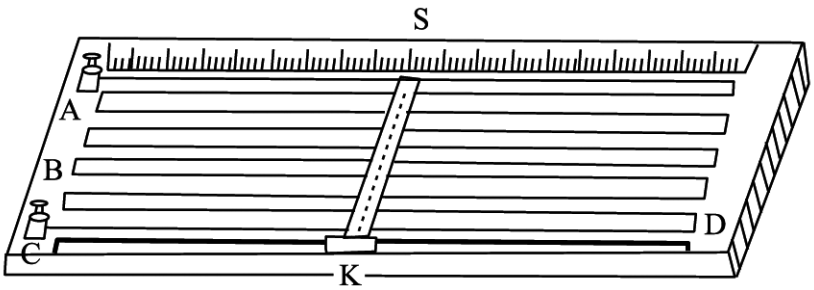
19.8 పొటెన్షియా మీటర్

ఇంత వరకు మీరు, ఒక వోల్టు మీటరు ను ఉపయోగించి, ఒక జనకం యొక్క విచాబను లేదా వలయంలోని ఏదైన ఒక అంశం యొక్క చివరల మధ్యన ఉండే పొటెన్షియల్ తేడాను ఏ విధంగా కొలుస్తారో తెలుసుకున్నారు. (ఒక ఆదర్శ వోల్టుమీటరు అనంతమైన నిరోధాన్ని కలిగి ఉండాలి. ఒక విచాబ జనకానికి అటువంటి దాన్ని సమాంతరంగా కలిపినపుడు, దాని గుండా విద్యుత్ ప్రవాహం ఉండదు). ప్రయోగపూర్వకంగా, విద్యుత్ ప్రవాహంను ఏ మాత్రం తీసుకోని వోల్టు మీటరును తయారు చేయడం సాధ్యం కాదు. ఈ ఇబ్బంది అధిగమించడానికి, విద్యుత్ ప్రవాహంను తీసుకోని పొటెన్షియామీటరు ను మనం ఉపయోగిస్తాం. దీనిలో శూన్య పద్ధతిని ఉపయోగిస్తారు. ఘటం యొక్క అంతర్నిరోధం ను కొలవడానికి, వలయంలో ప్రవహించే విద్యుత్ ను కొలవడానికి, నిరోధాలను పోల్చడానికి ఈ పొటెన్షియామీటరును వాడతాం.

19.8.1 పొటెన్షియా మీటరు నిర్మాణం

ఒక చెక్క బల్ల మీద సమాంతరంగా సాగదీసి బిగించిన ఏకరీతి నిరోధపు తీగల (సాధారణంగా పది) ను పొటెన్షియామీటరు కలిగి ఉంటుంది. ఈ తీగ మాంగనీన్ లేదా నైక్రోమ్ తో చేయబడినది. ఈ తీగలన్నింటిని శ్రేణిలో మందమైన రాగి ముక్కలతో కలుపుతారు. అందువల్ల అన్ని తీగలూ కలిసి ఒకే పొడవైన తీగగా పనిచేస్తుంది. ఈ తీగ చివరలకు బైండింగు స్క్రూల్లు ఉంటాయి.

చెక్క బల్ల మీద ఒక వైపుగా మీటరు స్కేలు తీగలకు సమాంతరంగా బిగించబడి ఉంటుంది. జాకీ సహాయంతో తీగ మీద కావలసిన బిందువు వద్ద తాకవచ్చు. పటం 19.21 లో 10 తీగల పొటెన్షియామీటరును చూపించాం. A, B లు తీగ యొక్క చివరలు. K అనేది జాకి, ఐ స్కేలును సూచిస్తుంది. జాకీ CD కడ్డీ పై జారుతుంది.



పటం 19.21 పొటెన్షియా మీటరు

19.8.2 పొటెన్షియామీటరు తో కొలతలు

పొటెన్షియా మీటరులోని l పొడవు గల ఏకరీతి తీగ చివరలను, విచాబ E కలిగి, స్థిరమైన విద్యుత్ ప్రవాహాన్నిచ్చే ఒక ప్రామాణిక ఘటం లేదా జనకంతో కలిపాం అనుకుందాం. ఘటం ధన ధ్రువాన్ని A చివరకు (పటం 19.22) కలపాలి. పొటెన్షియామీటరు తీగ గుండా ప్రవహించే స్థిర విద్యుత్ ప్రవాహం I. AB ల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా

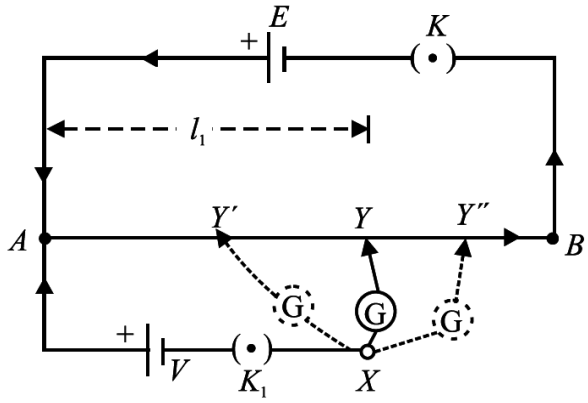
$$V_{AB} = RI$$

పొటెన్షియా మీటరు తీగ ప్రమాణ పొడవుకు గల నిరోధం r, తీగ ప్రమాణ పొడవుకి గల పొటెన్షియల్ పాతం k అయితే, అపుడు

$$R = rl$$

మరియు $E = kl$

లేదా $k = \frac{E}{l}$



పటం 19.22 ఘటం ధృవాల మధ్యగల పొటెన్షియల్ తేడాను కొలచడానికి పొటెన్షియా మీటరు వలయం

l_1 పొడవు గల తీగకు, పొటెన్షియల్ పాతం

$$V_1 = kl_1 = \frac{E}{l} l_1 \qquad (19.28)$$

ధన నుండి రుణ చివరకు, తీగ వెంబడి పొటెన్షియల్, దూరంతో రేఖీయం గా పడిపోతుంది.

తెలియని ఒక వోల్టేజి V ని మనం కొలవాలనుకుంటున్నాం. A చివరకు ఘటం ధన ధృవాన్ని కలపాలి, రుణ ధృవాన్ని గాల్వానామీటరు ద్వారా జాకీ K కి కలపాలి. V > E కి, శూన్య బిందువు రావడం సాధ్యం కాదు అని గమనించండి. కాబట్టి పటం 19.22లో చూపిన, విచాబ E (> V) గల ప్రామాణిక ఘటాన్ని వాడతాం. దీన్ని సరిచూసుకోవడానికి కీ లు K, K_1 లను ప్లగ్ లలో పెట్టాలి. జాకీని A, B చివరల వద్ద నొక్కాలి. గాల్వానామీటరు అపవర్తనంను వ్యతిరేక దిశలలో చూపించాలి. అలా చూపించినపుడు, వలయం సరిగా ఉన్నట్టు అర్థం.

K_1 కీ ని పెట్టి, A నుంచి B వైపుకి జాకీని జరుపుతూ పోవాలి. Y' స్థానంలో, AY పొడవు గల తీగ పొటెన్షియల్ పాతం వోల్టేజి V కన్నా తక్కువ గా ఉంది అని అనుకుందాం. V వోల్టేజి వల్ల, వలయం AY'XA లో ప్రవహించే విద్యుత్తు, AY' మధ్య గల పొటెన్షియల్ తేడా వల్ల ప్రవహించే విద్యుత్తు కంటే ఎక్కువగా ఉంటుంది. అపుడు గాల్వానామీటరు ఒక దిశలో కొంత అపవర్తనాన్ని చూపిస్తుంది. ఇపుడు జాకీని జరుపుతూ పోవాలి. AY" మధ్య పొటెన్షియల్ పాతం, వోల్టేజి V కన్నా ఎక్కువగా వుండేట్లు, Y" స్థానం వరకు జాకీ ని జరిపామనుకుందాం. గాల్వానా మీటరు అపవర్తనాన్ని మరొక దిశలో చూపించినట్లయితే AY" మధ్య వోల్టేజి పాతం, AY' మధ్య ఉండే దాని కంటే ఎక్కువగా ఉంటుంది. కాబట్టి Y', Y" ల మధ్య జాకీ ని నెమ్మదిగా జరపాలి. అలా జరిపినపుడు Y అనే బిందువు వచ్చిందనుకుందాం. ఈ బిందువు దగ్గర AY మధ్య పొటెన్షియల్ పాతం, వోల్టేజి V కి సమానం. అపుడు బిందువులు X, Y లు ఒకే పొటెన్షియల్ వద్ద వుంటాయి. కాబట్టి గాల్వానామీటరు ఎటువంటి అపవర్తనాన్ని చూపించదు, అంటే శూన్య బిందువు ఏర్పడింది అంటారు. A, Y ల మధ్య వుండే తీగ పొడవు l_1 అయితే, అపుడు

$$V = kl_1 = \frac{El_1}{l} \qquad (19.29)$$

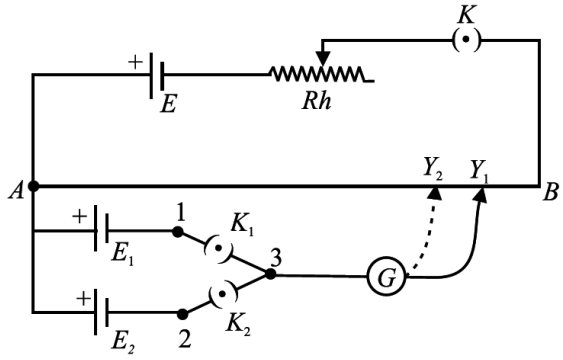
ఈ విధంగా విద్యుత్ ప్రవాహం దేనినీ తీసుకోనప్పుడు తెలియని వోల్టేజి V ని కొలుస్తారు. పొటెన్షియామీటరుతో కొలిచినపుడు ఈ కింది లాభాలు ఉంటాయి.

- పొటెన్షియామీటరు సంతులనం అయినపుడు, ఏ వలయం మీద కొలతను తీసుకుంటున్నామో, ఆ వలయం నుంచి విద్యుత్ ప్రవాహం ను తీసుకోదు.
- దాన్ని కలిపిన వలయంలోని పరిస్థితులలో ఎటువంటి మార్పు కలగచేయదు.
- ఇది శూన్య పద్ధతిని ఉపయోగిస్తుంది, ఉపయోగించిన గాల్వానామీటరును క్రమాంకం చేయనవసరం లేదు.

19.8.3 రెండు ఘటాల విచాబలను పోల్చడం

పొటెన్షియామీటరును ఉపయోగించి, ఘటం విచాబను కొలవడం మీరు తెలుసుకున్నారు. ఇపుడు మనం రెండు ఘటాల విచాబలను పోల్చడానికి అదే టెక్నిక్ ను పొడిగిద్దాం. ఉదాహరణకు డేనియల్ ఘటం, లెక్లాన్‌చ్ ఘటం లను తీసుకుందాం. వీటి విచాబలు వరసగా E_1, E_2 అనుకుందాం.

పటం 19.23 ను గమనించండి. ప్లగ్ కీ K_1, 1 మరియు 3 చివరలకు విచాబ E_1 కలిగిన ఘటంను కలపాలి. ఇంతకు ముందు వివరించినట్లు, జాకీని తీగ వెంబడి జరుపుకుంటూ పోతే సంతులన బిందువు వస్తుంది. ఘటం E యొక్క విచాబ, E_1, E_2 ఘటాల విచాబల కంటే ఎక్కువగా వుండాలని గుర్తించండి. (లేకపోతే సంతులన బిందువు రాదు). పొటెన్సియామీటరు మీద Y_1 బిందువు వద్ద సంతులన బిందువు వచ్చిందనుకుంటే, పొడవు $AY_1 = l_1$. వలయంలో ప్లగ్ కీ K_2 2 మరియు 3 చివరలకు విచాబ E_2 కలిగిన ఘటాన్ని కలపాలి. Y_2 వద్ద సంతులన బిందువు వచ్చిందనుకుంటే, పొడవు $AY_2 = l_2$.



పటం 19.23 : రెండు ఘటాల విచాబలు E_1, E_2 లను పోల్చడానికి వలయం.

పొటెన్షియామీటరు సూత్రాన్ని అనుసరించి,

$$E_1 = kl_1 \quad \text{మరియు} \quad E_2 = kl_2$$

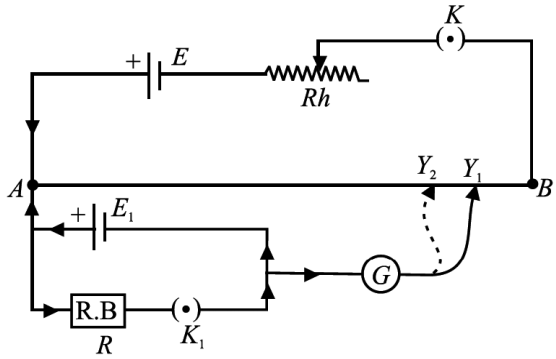
ఇక్కడ k అనేది AB తీగ వెంబడి పొటెన్షియల్ నతిక్రమం (potential gradient)

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2} \qquad (19.30)$$

19.8.4 ఒక ఘటం అంతర్నిరోధం కనుక్కోవడం

ఘటాలు ఎప్పుడూ విద్యుత్ ప్రవాహానికి నిరోధం కలగచేస్తాయని, ఈ నిరోధం సాధారణంగా అతి స్వల్పంగా వుంటుందని మీరు చదువుకున్నారు. దీనినే ఆ ఘటం అంతర్నిరోధం అంటారు. ఇది ఘటం పరిమాణం పైన ఆధారపడి ఉంటుంది. అనగా ఘటం నిరోధం ద్రవంలో ముంచిన పలకల వైశాల్యం పైన, పలకల మధ్య దూరం మీద, విద్యుద్విశ్లేష్యకం గాఢత మీద ఆధారపడి ఉంటుంది.

ఇపుడు పొటెన్షియామీటరును ఉపయోగించి ఘటం అంతర్నిరోధంను కనుగొనే విధానం తెలుసుకుందాం. విచాబ E_1 కలిగిన ఘటం అంతర్నిరోధం 'r' ను కనుక్కోవడానికి అవసరమైన వలయాన్ని పటం 19.24 లో చూపించాం. ఘటానికి సమాంతరంగా నిరోధాల పెట్టె R ను, ఒక కీ K_1 ను కలపాలి. ప్రాథమిక వలయంలో ప్రామాణిక ఘటం, కీ K, రెయోస్టాట్ లు ఉంటాయి. కీ K ని మూయగానే, తీగ AB గుండా విద్యుత్ I ప్రవహించడం మొదలుపెడుతుంది. కీ K_1 ని తెరచి ఉంచి గాల్వానామీటరులో సున్నా అపవర్తనం వచ్చేటట్లుగా జాకీ ని సర్దుబాటు చేస్తాము. ఘటం E_1 తో, Y_1 బిందువు వద్ద సంతులన బిందువు వచ్చిందనుకుంటే, $AY_1 = l_1$. అపుడు



పటం 19.24 : ఘటం అంతర్నిరోధం కనుక్కోవడం

$$E_1 = kl_1 \qquad (19.31\ a)$$

తరువాత K_1 కీ ని మూస్తాము. దీని వల్ల ఘటం లో కొంత నిరోధం ఏర్పడుతుంది. ఘటం E కారణంగా, వలయం $E_1RK_1E_1$ లో I_1 విద్యుత్ ప్రవహిస్తుందని అనుకుందాం. ఓమ్ నియమం ప్రకారం,

$$I_1 = \frac{E_1}{R+r}$$

ఇక్కడ r ఘటం అంతర్నిరోధం. ఘటం యొక్క టెర్మినల్ పొటెన్షియల్ తేడా V_1, E_1 కంటే, I_1r అంత తక్కువగా వుంది అని అర్థం. V_1 విలువ

$$V_1 = I_1R = \frac{E_1}{R+r}R$$

అపుడు పొటెన్షియల్ తేడా V_1 , పొటెన్షియామీటరు తీగ మీద, విద్యుత్ ప్రవాహం I లో ఎటువంటి మార్పు రాకుండా సంతులనం అవుతుంది. Y_2 బిందువు వద్ద సంతులన బిందువు వచ్చిందనుకుంటే,

$AY_2 = l_2$. అపుడు

$$V_1 = kl_2 \qquad (19.31\ b)$$

సమీకరణాలు (19.31 a, b) లను ఉపయోగించి

$$\frac{E_1}{V_1} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{R+r}{R}$$

లేదా

$$r = R\left(\frac{l_1}{l_2} - 1\right) \qquad (19.32)$$

R_1, l_1, l_2, విలువలు తెలిస్తే, r విలువను సులభంగా కనుక్కోవచ్చు.

ఉదాహరణ 19.11

పొటెన్షియామీటరు తీగ పొడవు 5 m. దాన్ని స్థిర విచాబ (e.m.f.) కలిగిన ఒక బ్యాటరీకి కలిపారు. డెనియల్ ఘటానికి శూన్య బిందువు 100 cm వద్ద వచ్చింది. తీగ పొడవు 7 m అయితే, శూన్య బిందువు స్థానం ఎక్కడ వుంటుంది.

సాధన :

బ్యాటరీ విచాబ E వోల్టు అనుకుందాం. 5 m పొడవుకు పొటెన్షియల్ నతిక్రమం,

$$k_1 = \frac{E}{5} Vm^{-1}$$

పొటెన్షియామీటరు తీగ పొడవు 7 m అయితే, పొటెన్షియల్ నతిక్రమం,

$$k_2 = \frac{E}{7} Vm^{-1}$$

ఇపుడు, l_2 పొడవు వద్ద, శూన్య బిందువు వచ్చిందనుకుంటే,

$$E_1 = k_2 l_2 = \frac{E}{7} l_2$$

ఇక్కడ ఒకే ఘటాన్ని రెండు అమరికలలో వాడతాం.

$$\frac{E}{5} = \frac{E}{7} l_2$$

$$\Rightarrow \qquad l_2 = 7 / 5 = 1.4 \text{ m}$$

19.9 ఎలక్ట్రానుల డ్రిఫ్ట్‌వడి లేదా డ్రిఫ్ వేగం

లోహంలో జరిగే విద్యుత్ వహనం గురించి ఇపుడు తెలుసుకుందాం. ఇక్కడ తెల్సిన నమూనా సులువైనది మరియు ఓమ్ నియమంను నిర్ధారిస్తుంది. లోహ ఘన పదార్థం లో పరమాణువులు క్రమంగా అమర్చబడి ఉంటాయి. ప్రతి పరమాణువు కూడ స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రానులను కలిగి ఉంటుంది. స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రాన్‌లను వహన ఎలక్ట్రాన్‌లని కూడా అంటారు. ఈ స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రాన్లు, వాయువులలోని పరమాణువులు లేదా అణువులు పాత్రలో స్వేచ్ఛగా కదులుచున్నట్లే అన్ని దిశలలో నియతంగా కదులుతూ ఉంటాయి. ఈ కారణంచేత కొన్నిసార్లు వహన ఎలక్ట్రాన్లను ఎలక్ట్రాన్ వాయువు (electron gas) అంటారు. వహన ఎలక్ట్రాన్ల సరాసరి వేగం సుమారుగా 10^6 ms^{-1} ఉంటుంది.

విద్యుత్ క్షేత్రం లేనపుడు, వాహకం గుండా విద్యుత్ ప్రవాహం ఉండదని మనకు తెలుసు. ఎందుకంటే స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రాన్ల సరాసరి వేగం శూన్యం కాబట్టి. ధన x–దిశలో కదిలే ఎలక్ట్రాన్ల సంఖ్య, రుణ x–దిశలో కదిలే ఎలక్ట్రాన్ల సంఖ్యకు సమానంగా ఉంటుంది. ఒక నియమిత దిశగా ఎలక్ట్రాన్ల నికర ప్రవాహం ఉండదు.

స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రాన్లు, ఘన పదార్థంలోని పరమాణువులతో నిరంతరం అభిఘాతాలు జరుపుతూ ఉంటాయి. ఒక వాహకం మీద విద్యుత్ క్షేత్రం అనువర్తితం అయినప్పుడు, ఎలక్ట్రాన్లు క్షేత్రానికి వ్యతిరేక దిశలో నెమ్మది నెమ్మదిగా డ్రిఫ్ట్

చెందుతాయి. సరాసరి డ్రిఫ్ట్ వేగం, సుమారుగా 10^{-4} ms^{-1} ఉంటుంది. రెండు వరస అభిఘాతాలు జరిపిన స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రాన్ల సరాసరి వేగం (10^6 ms^{-1}) తో దీన్ని పోలిస్తే, ఈ విలువ అతి తక్కువ. విద్యుత్ క్షేత్రం ను అనువర్తించినపుడు స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రాన్లు త్వరణం పొందుతాయి. ఎలక్ట్రాన్లు తాము పొందిన ఎక్కువ శక్తిని పరమాణువులతో అభిఘాతాలు జరిపినపుడు కోల్పోతాయి. పరమాణువులు శక్తిని పొంది, వేగంగా కంపనాలు చేస్తాయి. వాహకం వేడెక్కుతుంది. విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని అనువర్తించినపుడు, ఎలక్ట్రాన్ల చలనం మార్పు చెందిన విధానాన్ని పటం 19.25 చూపిస్తుంది.

ఇపుడు వహన ఎలక్ట్రాన్ల డ్రిఫ్ట్ వేగానికి సమీకరణం రాబట్టుదాం. ఒక ఎలక్ట్రాను ఆవేశం, ద్రవ్యరాశి వరసగా e మరియు m అనుకుందాం. విద్యుత్ క్షేత్రం E అయితే, ఎలక్ట్రానుపై పని చేసే బలం eE. ఎలక్ట్రాను పొందిన త్వరణం,

$$\mathbf{a} = \frac{e\mathbf{E}}{m}$$

అభిఘాతాల మధ్య సరాసరి కాలం τ అయితే, విద్యుత్ క్షేత్రం పదాలలో, ఎలక్ట్రాను డ్రిఫ్ట్ వేగానికి సమీకరణం మనం ఈ కింది విధంగా రాయవచ్చు.

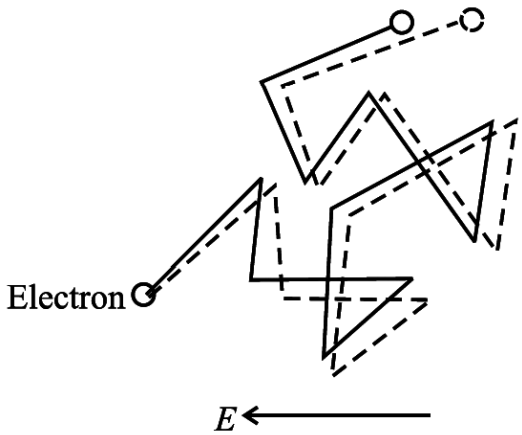
$$v_d = \frac{e\mathbf{E}}{m}\tau$$

పై ఫలితాన్ని సమీకరణం (19.4) తో కలిపితే, విద్యుత్ ప్రవాహానికి కింది సమీకరణం వస్తుంది.

$$I = -neAv_d$$

$$= -neA\,\frac{eE}{m}\tau$$

$$= -\frac{Ane^2E}{m}\tau$$



పటం 19.25 : విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉంచిన ఒక వాహకంలోని ఎలక్ట్రానుల యొక్క చలనం

విద్యుత్ క్షేత్రం అనేది పొటెన్షియల్ యొక్క రుణాత్మక నతిక్రమం $\left(E = -\frac{\partial V}{\partial r}\right)$ కాబట్టి,

విద్యుత్ ప్రవాహానికి సమీకరణం ఈ విధంగా కూడా రాయవచ్చు.

$$I = +\frac{ne^2A}{m}\frac{V}{l}\tau \qquad (19.33)$$

$$\Rightarrow \qquad \frac{V}{I} = \frac{m}{ne^2\tau}\frac{l}{A} = R \qquad (19.34)$$

వహన విద్యుత్తు ఓమ్ నియమాన్ని పాటిస్తుంది అని సమీకరణం (19.34) సూచిస్తుంది.

ఈ ఫలితాన్ని సమీకరణం (19.9) తో కలిపితే, మనకు

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{m}{ne^2\tau} \qquad (19.35)$$

విద్యుచ్ఛక్తి

నిరోధం గుండా విద్యుత్‌ను పంపినప్పుడు వెలువడే ఉష్ణంకు, ఘటం విచాబ వల్ల జరిగిన పని కారణం. నిల్వ ఉన్న రసాయన శక్తి కారణంగా ఘటం పని చేయగలదు. కావున ఘటం రసాయన శక్తిని విద్యుచ్ఛక్తిగా మార్చుతుంది.

కాలం 't' లో, నిరోధం 'R' గుండా విద్యుత్ 'i' ప్రవహింపచేయడానికి ఘటం ఆవేశం 'q' ను తోస్తున్నదనుకుందాం. ఫలితంగా నిరోధంపై పొటెన్షియల్ తేడా 'V' పని చేస్తుంది. ఆవేశం 'q' ను పొటెన్షియల్ తేడా గుండా పంపడానికి జరిగిన పని

$$W = qV$$

విద్యుత్ ప్రవాహం, $i = \frac{q}{t}$ కావున $q = it$ q and current i are related to each other by .

కావున $W = V\,it.$

ఓమ్ నియమం నుండి $V = iR.$

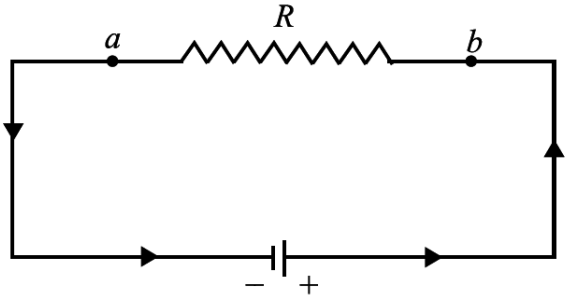
$$W = Vit = i^2Rt = \frac{V^2}{R}t$$

విద్యుచ్ఛక్తి (జరిగిన పని)కి ప్రయాణం జౌల్(J).

విద్యుత్ శక్తి $W = Vit = i^2Rt = \frac{V^2}{R}t$

19.10 విద్యుత్ వలయంలో వినియోగించిన సామర్థ్యం

ఒక బ్యాటరీని, నిరోధం R కు కలిపిన వలయాన్ని పటం 19.26 లో చూపించాం. ధన ఆవేశాలు అలా చేసినపుడు నిరోధంలో విద్యుత్ ప్రవాహం దిశలో, బ్యాటరీ లోపల రుణ ధ్రువం నుంచి ధన ధ్రువం వైపు ప్రవహిస్తాయి. రెండు బిందువుల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా, ఆవేశాలకు గతి శక్తిని ఇస్తుంది. నిరోధంలోని పరమాణువుల (అయానుల)తో ఈ చలించే ఆవేశాలు అభిఘాతం జరిపి, తమ గతిశక్తి లోని కొంత భాగాన్ని కోల్పోతాయి. ఈ శక్తి నిరోధం యొక్క ఉష్ణోగ్రత తో పాటు పెరుగుతుంది.



పటం 19.26 : బ్యాటరీ, నిరోధం గల వలయం. a, b బిందువుల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా పై, నిరోధం గుండా ప్రవహించే విద్యుత్ పై వినియోగింపబడిన సామర్థ్యం ఆధారపడుతుంది.

నిరోధం గుండా పంపిస్తున్నపుడు, చలించే ఆవేశం ΔQ కోల్పోయిన స్థితి శక్తి రేటు

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = V\frac{\Delta Q}{\Delta t} = VI \qquad (19.36)$$

ఇక్కడ, I వలయంలోని విద్యుత్ ప్రవాహం, V నిరోధకం చివరల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా.

సంధాన తీగల యొక్క నిరోధం ను ఉపేక్షించామనుకుందాం. మొత్తం కోల్పోయినది నిరోధం R లో మాత్రమే. కోల్పోయిన లేదా నష్టపోయిన శక్తి రేటునే సామర్థ్యం అని నిర్వచిస్తారు.

$$P = VI$$

$V = IR$, కాబట్టి, మనం

$$P = I^2R = V^2/R \qquad (19.37)$$

గా రాయవచ్చు.

సామర్థ్యానికి SI ప్రమాణం వాట్ (W).

వాహకంలో ఉష్ణ రూపంలో కోల్పోయిన విద్యుత్ శక్తి ని జౌల్ ఉష్ణం అంటారు. జనించిన ఉష్ణం (i) విద్యుత్ ప్రవాహం వర్గానికి (I), (ii) వాహక నిరోధంకు (R) (R) విద్యుత్ ప్రవహించిన కాలం (t) కు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

$Q = I^2 Rt$, ని జౌల్ నియమం అంటారు. ఇది విద్యుత్ప్రవాహం ఉష్ణప్రభావాలను తెల్పుతుంది.

ఉదాహరణ 19.12

మీ ఇంటి లో 220 V విద్యుత్ శక్తి జనకానికి 60W బల్బును కలిపారు. బల్బు వినియోగించిన సామర్థ్యాన్ని, దాని ఫిలమెంట్ నిరోధాన్ని, దాని గుండా ప్రవహించే విద్యుత్ ను కనుక్కోండి.

సాధన : $I = \frac{P}{V}$ అని మనకు తెలుసు.

$$\therefore \quad = \frac{60\,W}{220\,V} = \frac{3}{11} = 0.27\,A$$

బల్బు నిరోధం, $R = \frac{V}{I}$

$$= \frac{220\,V}{3/11\,A}$$

$$= \frac{220 \times 11}{3}\Omega = 807\Omega$$

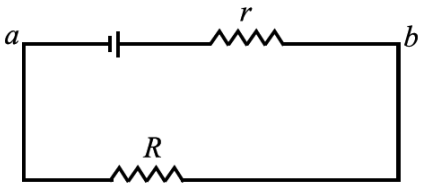
సెకండుకు 60 J శక్తిని బల్బు వినియోగించుకుంటుంది. 1 గంటకు వినియోగించుకునే శక్తి 60 60 Wh. మరియు ఒక రోజుకు వినియోగించుకునే శక్తి $60 \times 24 = 1440$ Wh

ఒక రోజుకు వినియోగించుకునే శక్తి = 1.440 kWh

సామాన్య మానవుని భాషలో చెప్పాలంటే, దీనిని 1.4 యూనిట్ల శక్తి అంటారు.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 19.4

1. ఘటం నుండి ప్రవహించే విద్యుత్ పెరిగినపుడు, దాని ధ్రువాల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా ఎందుకు తగ్గుతుంది?
2. ఒక లోహపు తీగ నిరోధం 20° C వద్ద 30Ω, 40° Cవద్ద 16 Ω. ఉష్ణోగ్రతా నిరోధ గుణకాన్ని కనుక్కోండి.
3. ఒక ఘటం విచాబ 5.0 V వలయంలో R విలువ 4.5Ω. a, b బిందువుల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా 3.0 V అయితే, ఘటం అంతర్నిరోధం r ను కనుక్కోండి.



4. పొటెన్షియామీటరు వలయంలో ఒక తెలియని విచాబను కొలిచినపుడు, A చివర నుండి 45 cm వద్ద సంతులన బిందువు వచ్చింది. 1.02 V ఘటాన్ని వలయంలో పెట్టినపుడు, ఇదే చివర నుండి 30 cm కు సంతులన బిందువు మారింది. ప్రామాణిక ఘటం E ఎపుడూ స్థిర విద్యుత్తును ప్రవహింపచేస్తుంది. తెలియని విచాబను కనుక్కోండి.
5. రెండు ఘటాల విచాబలు E_1, E_2 లను పోల్చడానికి పొటెన్షియామీటరు వలయాన్ని ఉపయోగించారు. E_1, E_2 లకు వరసగా 30 cm , 45 cm పొడవుల దగ్గర సంతులన బిందువు వచ్చింది. E_2 = 3.0 V అయితే, E_1 యొక్క విచాబ ఎంత?
6. 500Ω నిరోధం గుండా ప్రవహించిన విద్యుత్ 0.30 A. నిరోధం లో నష్టపోయిన సామర్థ్యం ఎంత?
7. మీ దగ్గర రెండు విద్యుత్ బల్బులు ఉన్నాయి. వాటి మీద అచ్చు వేసిన అంశాలు (బల్బు రేటింగ్) 40 W, 220 V మరియు 100 W, 220 V. 220 V మెయిన్స్‌కు వీటిని కలిపితే, ప్రతి బల్బు గుండా ప్రవహించే విద్యుత్‌ను, నిరోధాన్ని కనుక్కోండి.

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- వాహకం లో విద్యుత్ క్షేత్రం ఉన్నప్పుడు, ఎలక్ట్రాన్లు విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేక దిశలో సగటు వేగంతో కదులుతాయి. ఈ సగటు వేగాన్నే డ్రిఫ్ట్ వేగం అంటారు.
- ఒక వాహకం యొక్క ఏ మధ్యచ్ఛేదం గుండా అయినా జరిగే విద్యుత్ ఆవేశ ప్రవాహ రేటుగా విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని నిర్వచిస్తారు. విద్యుత్ ప్రవాహం యొక్క ప్రమాణం ఆంపియర్. దీనిని A తో సూచిస్తాం.
- ఉష్ణోగ్రత, పీడనం వంటి భౌతిక పరిస్థితులు మారకుండా స్థిరంగా ఉన్నప్పుడు, ఒక వాహకం లోని విద్యుత్ ప్రవాహం దాని చివరల మధ్య అనువర్తింపచేసిన పొటెన్షియల్ తేడా కి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది అని ఓమ్ నియమం చెబుతుంది.

- $\frac{V}{I}$ నిష్పత్తిని నిరోధం అంటారు. దీని గుర్తు R. నిరోధంకు ప్రమాణం ఓమ్ (దీని గుర్తు Ω).
- ఒక పదార్థం యొక్క నిరోధకత (విశిష్ట నిరోధం) ఆ పదార్థంతో తయారైన ఒక మీటరు పొడవు మరియు ఒక చదరపు మీటరు అడ్డుకోత వైశాల్యం కలిగిన వాహక నిరోధానికి సంఖ్యాత్మకంగా సమానం. నిరోధకత ప్రమాణం ఓమ్-మీటర్.
- నిరోధాల శ్రేణీ సంధానంలో, తుల్య నిరోధం, సంధానంలోని నిరోధాల మొత్తానికి సమానం.
- నిరోధాల సమాంతర సంధానంలో, వేరు వేరు నిరోధాల విలోమాల మొత్తం, వాటి తుల్య నిరోధం విలోమానికి సమానం.
- సంక్లిష్ట విద్యుత్ వలయాలను అధ్యయనం చేయడానికి కిర్కాఫ్ నియమాలు ఉపయోగపడతాయి. కిర్కాఫ్ మొదటి నియమం, ఒక సంధిలోకి ప్రవాహించే విద్యుత్ ప్రవాహాల మొత్తం, ఆ సంధి నుంచి బయటకు పోయే ప్రవాహాల మొత్తానికి సమానం అని చెబుతుంది. కిర్కాఫ్ రెండవ నియమం : సంవృత వలయంలో పొటెన్షియల్ తేడాల బీజీయ మొత్తం శూన్యం.
- తెలియని నిరోధం(ఐ)ను తెలిసిన (P, Q, R) నిరోధాలతో పోలుస్తూ, ఖచ్చితంగా కొలవడానికి, వీట్‌స్టన్ బ్రిడ్జిని వాడతాం.

  వీట్‌స్టన్ బ్రిడ్జి సంతులన నియమం $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

- వివృత (తెరచిన) వలయంలో ఘటం ధ్రువాల మధ్య ఉండే పొటెన్షియల్ తేడా విలువ, ఘటం విచాబకి సమానంగా ఉంటుంది.
- విద్యుత్ ప్రవాహం దేనినీ ఏ మాత్రం తీసుకోకుండా, వోల్టేజిలను కొలవడానికి వాడే పరికరం పొటెన్షియామీటరు కాబట్టి దీనిని ఒక జనకం యొక్క విచాబను కొలవడానికి ఉపయోగిస్తారు.
- వాహకంలోని ఎలక్ట్రాన్ల డ్రిఫ్ట్ వేగం $v_d = -\frac{eE}{m}\tau$.
- జౌల్ ఉష్ణం ద్వారా విద్యుత్ వలయంలో, వినియోగించిన సామర్థ్యం

$$p = VI = I^2R = \frac{V^2}{R}.$$

ముగింపు అభ్యాసం

1. బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం అనువర్తించినపుడు ఒక లోహ వాహకంలోని స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రానుల డ్రిఫ్ట్‌ను గురించి వివరించండి. డ్రిఫ్ట్ వేగానికి సమీకరణం రాబట్టండి.
2. విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని నిర్వచించి, ఓమ్ నియమంను వివరించండి.

3. వాహకం నిరోధకతను నిర్వచించండి. పదార్థం యొక్క నిరోధకతపై, దాని పొడవు మరియు అడ్డుకోత వైశాల్యంపై తీగ యొక్క నిరోధం ఏ విధంగా ఆధారపడుతుంది.

4. విద్యుత్ వాహకత్వాన్ని నిర్వచించండి. దాని ప్రమాణాలు రాయండి. వాహకంలోని స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రానుల గాఢత మీద విద్యుత్ వాహకత్వం ఏ విధంగా ఆధారపడుతుందో వివరించండి.

5. ఓమిక్, నాన్ ఓమిక్ నిరోధకాల మధ్య తేడాలను వివరించండి. నాన్ ఓమిక్ నిరోధకాలకు ఉదాహరణలు ఇవ్వండి.

6. పదార్థ నిరోధకతపై ఉష్ణోగ్రతా ప్రభావంను తెలపండి. ఉష్ణోగ్రత పెరిగితే ఒక లోహం యొక్క విద్యుత్ వాహకత్వం ఎందువల్ల తగ్గుతుంది.

7. ఎడమ నుంచి కుడి వైపు ఒక నిరోధం పై గల కలర్‌లు రెడ్, ఆరెంజ్, గ్రీన్ మరియు గోల్డ్ (బంగారు). కలర్ కోడ్ ప్రకారం నిరోధం విలువ ఎంత?

8. R_1, R_2, R_3 మూడు నిరోధాలను (i) శ్రేణిలోను మరియు (ii) సమాంతరంగాను కలిపితే, ఫలిత లేదా తుల్య నిరోధానికి సమాసములు రాబట్టండి.

9. ఘటం ధ్రువాల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడాకు, విచాబకు (e.m.f.) మధ్యగల భేదం ఏమిటి? వాటి మధ్య సంబంధాన్ని రాబట్టండి.

10. కిర్కాఫ్ నియమాలు రాసి వివరించండి.

11. నిరోధాలను కొలవడానికి, వీట్‌స్టన్ బ్రిడ్జి పద్ధతి యొక్క సిద్ధాంతాన్ని వివరించండి.

12. పొటెన్షియామీటరు గురించి వివరించండి.

13. పొటెన్షియామీటరును ఉపయోగించి తెలియని పొటెన్షియల్ తేడాను మీరు ఏ విధంగా కొలుస్తారు.

14. పొటెన్షియామీటరును ఉపయోగించి రెండు ఘటాల విచాబలను (e.m.f.) పోల్చే ప్రయోగాన్ని వర్ణించండి.

15. పొటెన్షియామీటరును ఉపయోగించి ఒక ఘటం అంతర్నిరోధాన్ని ఎట్లా కనుక్కుంటారో వివరించండి. ఘటం అంతర్నిరోధానికి కారణమయిన కారకాలు ఏమిటి?

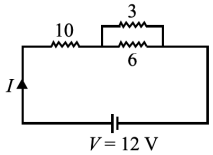
16. 1 m పొడవు, 0.1 mm వ్యాసార్థం గల తీగ నిరోధం 100Ω. పదార్థం నిరోధకతను లెక్కించండి.

17. 4 m పొడవు, 1 mm^2 మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం కలిగిన తీగలో 2 A విద్యుత్ ప్రవహిస్తుందని అనుకుందాం. పదార్థం ప్రతి ఘన మీటరుకు గల స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రాన్లు 10^{29}. ఒక ఎలక్ట్రాను ఈ తీగ ఒక చివర నుంచి రెండవ చివరకు ప్రయాణించడానికి పట్టే సగటు కాలాన్ని లెక్కించండి.

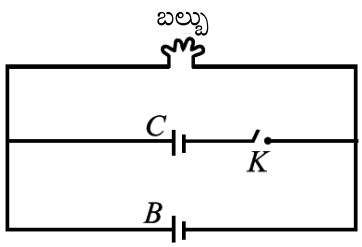
18. మీ దగ్గర మూడు నిరోధాలు ఉన్నాయనుకోండి. ప్రతి నిరోధం విలువ 30Ω. ఈ నిరోధాలన్నింటిని కలపితే వచ్చే వేరు వేరు నిరోధాల విలువలన్నింటిని తెలపండి.

19. విచాబ 6.0 V, అంతర్నిరోధం 1Ω కలిగిన ఒక ఘటాన్ని బాహ్య నిరోధానికి కలిపినపుడు, ఘటం ధ్రువాల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా 5.8 V కు పడిపోయింది. బాహ్య నిరోధకం యొక్క నిరోధంను కనుక్కోండి.

20. పటంలో చూపిన వలయంలో ప్రవహించే విద్యుత్ I ను, ఫలిత నిరోధం R ను కనుక్కోండి.



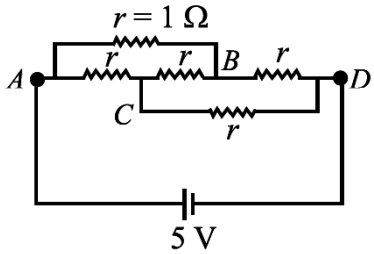
21. బల్బు, కెపాసిటర్, బ్యాటరీ గల ఈ కింది విద్యుత్ వలయంను గమనించండి. బల్బును నేరుగా బ్యాటరీకి కలిపినపుడు, అది వెలుగుతుంది. ఈ వలయంలో స్విచ్‌ను మూసిన, బల్బుకు ఏమవుతుంది.



22. ఈ కింది వీట్‌స్టన్ బ్రిడ్జి సంతులనం అయ్యింది.

(a) వలయంలో ఫలిత నిరోధం విలువ R ను కనుక్కోండి.

(b) AB, DC భుజాలలో విద్యుత్ ప్రవాహంను కనుక్కోండి.



పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

19.1

1. (a) తీగ నిరోధం రెట్టింపయితే, విద్యుత్ ప్రవాహం సగానికి తగ్గుతుంది.

(b) నిరోధం సగమయితే, విద్యుత్ ప్రవాహం రెట్టింపవుతుంది.

2. నిరోధకత అనేది పదార్థానికి సంబంధించిన ఒక విశిష్ట ధర్మం. పొడవు, అడ్డుకోత వైశాల్యం మారిన, నిరోధకత మారదు.

$$\rho = 2 \times 10^{-8}\ \Omega m$$

3. $$R = \frac{V}{I} = \frac{8}{0.15} = \frac{800}{15} = 53.3\Omega$$

$$R = \frac{Pl}{A} \Rightarrow \frac{800}{15} = \rho\ \frac{3}{2 \times 10^{-4}} \Rightarrow \rho = \frac{800 \times 2 \times 10^{-4}}{15 \times 3} = 35.5 \times 10^{-4}\,\Omega m$$

4. కాదు. లోహ వాహకాలు మాత్రమే కొంత అవధి వరకు ఓమ్ నియమాన్ని పాటిస్తాయి. అర్ధవాహకాలు, విద్యుత్ విశ్లేష్యకాలు ఓమ్ నియమాన్ని పాటించవు.

5. $I = \frac{q}{\tau} = \frac{n|e|}{t} = \frac{5 \times 10^{17} \times 1.6 \times 10^{-19}}{1} A = 0.8 \times 10^{-3} A = 0.8 \text{ mA}$

ఎలక్ట్రానుల ప్రవాహ దిశకు, వ్యతిరేక దిశలో విద్యుత్ ప్రవాహం ఉంటుంది, అంటే కుడి నుంచి ఎడమ వైపుకు ఉంటుంది.

19.2

1. సమాంతరంగా ఉంటాయి. అవి పనిచేయడానికి వేరు వేరు విద్యుత్తులను తీసుకుంటాయి. వాటిని పని చేయించడానికి, వేరు వేరు స్విచ్‌లను వాడతాం.

2. వోల్టేజి స్టెబిలైజర్‌ను (Voltage stablizer) ఉపయోగిస్తాం.

3. $R = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_4$

$= 2 + \frac{10}{3} + 7$

$= 12.3\ \Omega$

4. ఫంక్షన్ హాల్‌లో అలంకరణ దీపాలను శ్రేణిలో అమర్చుతారు.

19.3

1. $\frac{P}{Q} = \frac{6}{12} = \frac{1}{2}$ మరియు $\frac{R}{S} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$

$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

$\therefore$ బ్రిడ్జి సంతులనం అయినది.

Hence $V_B = V_D$ మరియు $I_2 = 0$

$I_1 = \frac{V}{R} = \frac{12}{18} = \frac{2}{3} A$

మరియు $I - I_1 = \frac{12}{9} = \frac{4}{3} A$

2. ABCDA వలయంకు కిర్చాఫ్ రెండవ నియమంను అనువర్తించినపుడు

$2I_1 + 4I_1 + 3I_3 = 24$

$6I_1 + 3I_3 = 24$ ... (1) $\Rightarrow$ $2I_1 + I_3 = 8$ ..... (1)

DCEFD వలయంకు అదే విధంగా మనం రాయవచ్చు

$-3I_3 + 6I_2 = 12 \quad \Rightarrow \quad 2I_2 - I_3 = 4$ ..... (2)

D సంధి వద్ద, కిర్కాఫ్ మొదటి నియమాన్ని అనువర్తించినపుడు

$$I_2 + I_3 = I_1$$

(1) లో ప్రతిక్షేపించినపుడు

$$2I_2 + 3I_3 = 8$$

$$2I_2 - I_3 = 4$$

$$4I_3 = 4$$

$$I_3 = 1A$$

(2) లో ప్రతిక్షేపించినపుడు

$$2I_2 = 5 \quad \Rightarrow \quad I_2 = 2.5 \text{ A}$$

19.4

1. $V = E - Ir$

I పెరిగితే, V తగ్గుతుంది

2. $R_{20} = R_0 (1 + 20\ \alpha)$

$$R_{40} = R_0 (1 + 40\ \alpha)$$

$$\frac{R_{40}}{R_{20}} = \frac{1 + 40\alpha}{1 + 20\ \alpha}$$

$$\frac{1 + 40\alpha}{1 + 20\alpha} = \frac{30.16}{30} = 1 + \frac{0.16}{30}$$

$$1 + \frac{20\alpha}{1 + 20\ \alpha} = 1 + \frac{0.16}{30}$$

On cross-multiplication, we get $600\ \alpha = 0.16 + 3.2\ \alpha$

$$\Rightarrow \alpha \simeq \frac{0.16}{600} = 2.67 \times 10^{-4}\ K^{-1}$$

3. $I = \frac{V}{R} = \frac{3}{4.5} = \frac{30}{45} = \frac{2}{3} A$

$$V = E - Ir \Rightarrow 3 = 5 - \frac{2}{3} r$$

$$\therefore \quad r = \frac{2 \times 3}{2} = 3\Omega$$

4. $\frac{E_2}{E_1} = \frac{l_2}{l_1} \Rightarrow \frac{1.02}{E_1} = \frac{30}{45} \Rightarrow E_1 = 0.51 \times \frac{3}{2} = 1.53\,V$

5. $\frac{E_2}{E_1} = \frac{l_2}{l_1}$

$\frac{E_1}{3} = \frac{2}{3}$

$E_1 = 2\ V$

6. $P = I^2R$

$= 0.3 \times 0.3 \times 500$

$= 45\ W.$

7. $I = \frac{P}{V} \Rightarrow I_1 = \frac{40}{220} = \frac{2}{11}A$ మరియు $I_2 = \frac{100}{220} = \frac{5}{11}A$

$R = \frac{V^2}{P}, \Rightarrow R_1 = \frac{220 \times 220}{40} = 1210\Omega$

మరియు $R_2 = \frac{220 \times 220}{100} = 484\Omega$

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

16. $3.14 \times 10^{-6}\ \Omega m$

17. 32 ms.

18. (i) అన్ని నిరోధాలు శ్రేణిలో ఉన్నపుడు తుల్య నిరోధం 90Ω

(ii) అన్ని నిరోధాలు సమాంతరంగా ఉన్నపుడు తుల్య నిరోధం 10Ω

(iii) సమాంతరంగా ఉన్న రెండు నిరోధాలకు ఒక నిరోధం శ్రేణిలో ఉన్నపుడు తుల్య నిరోధం 45Ω

(iv) శ్రేణిలో ఉన్న రెండు నిరోధాలకు, ఒక నిరోధం సమాంతరంగా ఉన్నపుడు తుల్య నిరోధం 20Ω

19. 29Ω

20. $I = 1A,\ R = 12\Omega$

22. (a) $R = r = 1\Omega$ (b) $I = 2.5\ A$

20

అయస్కాంతత్వం

పరిచయం

ఆవేశిత కడ్డీలు ఒకదానికొకటి లేదా చిన్న కాగితం ముక్కలను ఏవిధంగా ఆకర్షించుకుంటాయో ఇంతకు ముందు అధ్యాయంలో తెలుసుకున్నారు. బహుశా మీరు అయస్కాంతంతో ఆడుకునే ఉంటారు. ఇనుప ముక్కలను ఆకర్షించే ధర్మాన్ని కలిగి ఉన్న పదార్థాలు. క్రీ.పూ. 600 లోనే గ్రీకు తత్త్వవేత్తలకు అయస్కాంతం అనే దృగ్విషయం గురించి తెలుసు. మాగ్నటైట్ (Fe_3O_4) అనబడే కొన్ని రాళ్ళు ఇనుప ముక్కలను ఆకర్షిస్తాయని వారు గమనించారు. ప్రకృతి సిద్ధంగా లభ్యమవుతున్న మాగ్నటైట్ ముక్కలను సహజ అయస్కాంతాలని అంటారు. మాగ్నెట్ అనే పదం అయస్కాంత ధాతువులను కనుక్కొన్న గ్రీస్‌దేశంలోని 'మెగ్నీషియా' ద్వీపం పేరు మీద వచ్చింది.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరువాత మీరు ఈ కింది విషయాలు తెలుసకుంటారు.

- అయస్కాంతాలు అంటే ఏమిటి? వాటి ధర్మాలు
- అయస్కాంత క్షేత్ర నిర్వచనం, అయస్కాంత క్షేత్ర రేఖలు
- వేలాడదీసిన అయస్కాంత (డైపోల్)పై ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రభావం గురించి
- అయస్కాంత అభివాహం, అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రేరణల నిర్వచనం, వాటి ప్రమాణాలు
- అయస్కాంతత్వంలో గాస్ నియమం
- అయస్కాంతీకరణ, అయస్కాంత తీవ్రతల నిర్వచనం
- వివిధ అయస్కాంత పదార్థాల అయస్కాంత ధర్మాలు
- భూ అయస్కాంత క్షేత్రం మూల రాశులు, వాటి మధ్య సంబంధం

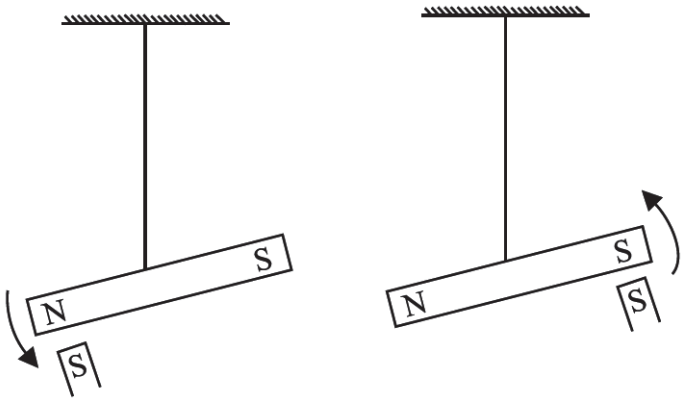
20.1 అయస్కాంతాలు, వాటి ధర్మాలు

ఏదైనా వస్తువు ఇనుప ముక్కను (లేదా స్టీల్ లేదా కోబాల్ట్ లేదా నికెల్) ఆకర్షించగలిగే ధర్మాన్ని అయస్కాంతత్వం అంటారు. సహజ అయస్కాంతం అనేది ఇనుము ధాతువు (Fe_3O_4). ఇది ఇనుము, కోబాల్ట్, నికెల్‌ల చిన్న ముక్కలను తనవైపు ఆకర్షించుకొంటుంది. సహజ అయస్కాంతాలు బలహీనంగా ఉంటాయి. కాని ఇనుము, ఉక్కు, కోబాల్టు వంటి పదార్థాలను కృత్రిమ అయస్కాంతాలుగా మార్చవచ్చు. ఇవి బలమయిన, శాశ్వత అయస్కాంతాలు. ఉదా: దండామస్కాంతం, అయస్కాంత సూచి, గుర్రపునాడ అయస్కాంతం. సహజ లేదా కృత్రిమ అయస్కాంతాలన్ని కొన్ని ధర్మాలను కలిగి ఉంటాయి. అయస్కాంతాల మూల ధర్మాల గురించి మీకు తెలిసి ఉండవచ్చు, కాని ఇక్కడ వాటిని మరొకసారి గుర్తు చేసుకుందాం.

1. **దిశా ధర్మం :** ఒక చిన్న దండాయస్కాంతంను స్వేచ్ఛగా ద్రవ్యరాశి కేంద్రం గుండా పోయే అక్షం వెంబడి భ్రమణం చేసేట్లు వేలాడదీసినపుడు, అది ఎప్పుడూ భూమి ఉత్తర – దక్షిణ దిశలలోనే విరామ స్థితికి వస్తుంది..

2. **ఆకర్షించే ధర్మం :** అయస్కాంత పదార్థాలయిన ఇనుము, ఉక్కు, కోబాల్టు ముక్కలను అయస్కాంతం ఆకర్షిస్తుంది. ఈ ముక్కలు అయస్కాంతం చివరలకే ఎక్కువగా అంటుకొని ఉంటాయి. అనగా అయస్కాంతం చివరల వద్ద, చివర్లకు దగ్గరగా ఉన్న బిందువుల వద్ద ఆకర్షణ బలం ఎక్కువగా ఉంటుంది. ఈ బిందువులనే అయస్కాంత ధ్రువాలని అంటారు. స్వేచ్ఛగా వేలాడదీసిన అయస్కాంతంలో భూ ఉత్తర దిక్కు వైపు చూపే అయస్కాంత చివరను ఉత్తర ధ్రువమని, భూ దక్షిణ దిక్కు వైపు చూపే అయస్కాంత చివరను దక్షిణ ధ్రువమని అంటారు. మన భూమి కూడ ఒక అయస్కాంతం లాగా పనిచేస్తుందని దిశా, ఆకర్షణ ధర్మాలు చెపుతాయా ? ఔను, భూమి అయస్కాంతం లాగా పని చేస్తుంది.

3. రెండు అయస్కాంతాల విజాతి ధ్రువాలు ఒకదానినొకటి ఆకర్షించుకుంటాయి, సజాతి ధ్రువాలు ఒకదానినొకటి వికర్షించుకుంటాయి (పటం 20.1)



పటం 20.1 : రెండు అయస్కాంతాల విజాతి ధ్రువాలు ఒకదానినొకటి ఆకర్షించుకుంటాయి, సజాతి ధ్రువాలు వికర్షించుకుంటాయి.

4. అయస్కాంత ధ్రువాలు ఎప్పుడూ జతగూడి ఉంటాయి. ఆ ధ్రువాలు వేరు చేయబడవు. అనగా అయస్కాంత ద్విధ్రువం అనే అతి చిన్న నమూనా అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని ఏర్పరుస్తుంది.

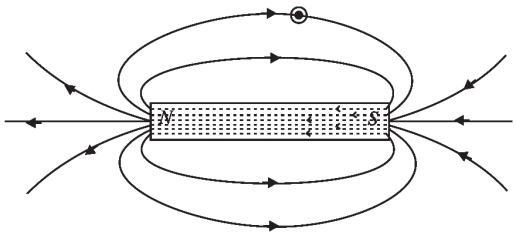
5. అయస్కాంతం దానికి దగ్గరగా ఉంచిన పదార్థంలో అయస్కాంతత్వంను ప్రేరణ చేస్తుంది. ఒక అయస్కాంతాన్ని, ఇనుప ముక్క దగ్గరకు తెచ్చినపుడు, అది అయస్కాంతానికి దగ్గరగా ఉన్న చివరలో వ్యతిరేక ధ్రువం, దూరంగా ఉన్న చివరలో సజాతి ధ్రువంను పొందుతుంది. ఈ దృగ్విషయాన్నే అయస్కాంత ప్రేరణ (magnetic induction) అంటారు.

20.2 అయస్కాంత క్షేత్రం బలరేఖలు

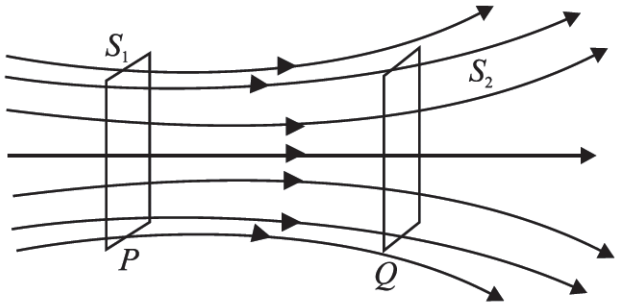
అయస్కాంతాలు లేదా అయస్కాంతం, ఇనుప ముక్కల మధ్య గల అన్యోన్య చర్యలు, వాటి ప్రభావం కొంత దూరం వరకు ఉంటుందని సూచిస్తాయి. అయస్కాంత క్షేత్రం ద్వారా దీనిని అర్థం చేసుకోవచ్చు. అయస్కాంతం చుట్టూ ఉండే ఏ ప్రాంతంలో అయితే ఒక అయస్కాంత సూచి (ఇంకో అయస్కాంతం) టార్క్ (బలం)కు లోనయి ఒక నిర్దిష్ట దిశలో విరామ స్థితికి వస్తుందో ఆ ప్రాంతాన్ని అయస్కాంతక్షేత్రం అంటారు. దీన్ని సదిశారాశి **B** తో సూచిస్తారు. దీనినే అయస్కాంతక్షేత్రం లేదా అయస్కాంత ప్రేరణ అంటారు. అయస్కాంత క్షేత్రం దిశ,

పరిమాణాలు దృశాత్మకంగా తెలపడానికి క్షేత్ర బలరేఖలను చిత్రీకరించడం సరి అయిన పద్ధతి. అయస్కాంత బలరేఖలు కల్పిత రేఖలు. అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉత్తర ధృవం చలించే పథాన్ని అయస్కాంత బలరేఖ లేదా క్షేత్ర రేఖ అంటారు. అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని బలరేఖల ద్వారా కింది విధంగా సూచించవచ్చు.

- అయస్కాంత క్షేత్రం **B** లో ఏదైనా ఒక బిందువు వద్ద క్షేత్ర దిశ ఆ బిందువు గుండా గీసిన అయస్కాంత బలరేఖకు స్పర్శ రేఖ దిశలో ఉంటుంది.
- బలరేఖలకు లంబంగా ఉన్న ప్రమాణ వైశాల్య తలం గుండా వెళ్ళే బలరేఖల సంఖ్య క్షేత్ర తీవ్రతకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటాయి. క్షేత్రం **B** అధికంగా ఉన్న ప్రదేశంలో బలరేఖలు దగ్గర దగ్గరగా ఉంటాయి; క్షేత్రం తక్కువగా ఉన్న ప్రదేశంలో బలరేఖలు దూర దూరంగా ఉంటాయి.
- రెండు సమాంతర తలాలు S_1, S_2 ల గుండా వెళ్ళే కొన్ని బలరేఖలను పటం 20.2 చూపిస్తుంది. S_1, S_2 తలాల వైశాల్యాలు సమానం, కాని S_2 గుండా వెళ్ళే బలరేఖల సంఖ్య S_2 గుండా వెళ్ళే బలరేఖల సంఖ్య కంటే ఎక్కువ. కాబట్టి ప్రమాణ వైశాల్యానికి, S_1 గుండా వెళ్ళే బలరేఖల సంఖ్య, ఐ2 గుండా వెళ్ళే బలరేఖల సంఖ్య కంటే ఎక్కువ. అందువల్ల ఆ ప్రాంతం చుట్టూ ఉన్న అయస్కాంత క్షేత్రం, Q ప్రాంతం చుట్టూ ఉన్న క్షేత్రం కంటే బలమయినది అని మనం చెప్పవచ్చు.



పటం 20.2 : రెండు సమాంతర తలాల గుండా వెళ్ళే అయస్కాంత బలరేఖలు



పటం 20.3 : దండాయస్కాంతం యొక్క అయస్కాంత క్షేత్ర బలరేఖలు.

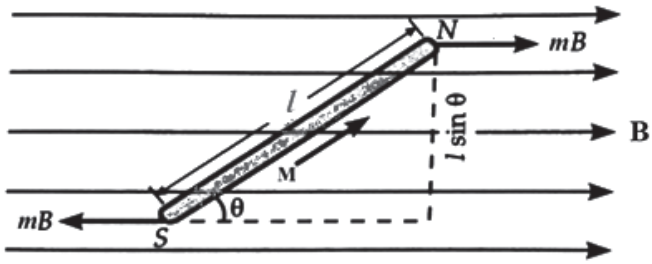
- ప్రతి అయస్కాంత బలరేఖ ఒక సంవృత వక్రం (Closed curve). అయస్కాంతం వెలుపల బలరేఖలు, ఉత్తర ధ్రువం నుండి దక్షిణ ధ్రువానికి, అయస్కాంతం లోపల ఇవి దక్షిణ ధ్రువం నుండి ఉత్తర ధ్రువానికి పోతాయి (పటం 20.3).

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 20.1

1. మీకు ఒక అయస్కాంతంను ఇచ్చారు. దాని ఉత్తర ధ్రువాన్ని ఏ విధంగా గుర్తిస్తారు.
2. మీకు రెండు సర్వసమానంగా కనిపించే ఇనుప దండాలు ఇచ్చారు. అందులో ఒకటి అయస్కాంతం. ఈ రెండింటిని మాత్రమే ఉపయోగించి, రెండింటిలో ఏది అయస్కాంతం అని మీరు ఎలా గుర్తిస్తారు.
3. మీకు ఒక దారం, రెండు దండాయస్కాంతాలు ఇచ్చారు. రెండు అయస్కాంతాల ధ్రువాలను మీరు గుర్తించడానికి ఉపయోగించిన పద్ధతిని వివరించండి.

20.3 అయస్కాంత క్షేత్రం బలరేఖలు

సమాన ధృశసత్వం కలిగిన రెండు వ్యతిరేక అయస్కాంత ధృవాలు కొంత దూరంతో వేరుచేయబడిన అమరికనే అయస్కాంత ద్విధృవం అంటారు. ఒక చిన్న దండాయస్కాంతాన్ని అయస్కాంత ద్విధృవంగా పరిగణించవచ్చు.



పటం. 20.4 : B అయస్కాంత ప్రేరణ గల ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలో వేలడదీసిన ఒక చిన్న దండాయస్కాంతం.

l పొడవు m ధృవసత్వం గల ఒక చిన్న దండాయస్కాంతాన్ని (N-S) ఏకరీతి అయస్కాంతక్షేత్రంలో Bలో క్షేత్రానికి θ కోణం చేసేలా ఉంచారు. దండాయస్కాంత ఉత్తరధృవంపై అయస్కాంతక్షేత్రం వల్ల కలిగే బలం (m×B) అయస్కాంతక్షేత్ర దిశలో పనిచేస్తే, దక్షిణధృవంపై కలిగే బలం (m×B) క్షేత్రదిశకు వ్యతిరేక దిశ. దిశలో పనిచేస్తుంది. ఈ రెండు బలాలు సమానం మరియు వ్యతిరేక దిశల్లో ఉంటాయి. దీని ఫలితంగా ఒక బలయుగ్మం లేదా పునఃస్థాపక టార్క్ (τ) ఏర్పడుతుంది.

పునఃస్థాపక టార్క్ 'τ' = రెండు బలాల మధ్య లంబదూరం × బలం

పటం. 20.4 నుంచి, ఉత్తర – దక్షిణ ధృవాలపై పనిచేసే బలాల మధ్య లంబదూరం $l \sin \theta$ కాబట్టి,

$$\tau = (l \sin \theta) \times (m\ B)$$

$$\tau = (ml)\ B \sin \theta \qquad (20.1)$$

ఇక్కడ ధృవసత్వం, దండాయస్కాంతాల లబ్ధాన్ని అయస్కాంత భ్రామకం అంటారు. దీనిని M (= ml). తో సూచిస్తారు. అందువల్ల పై సమీకరణాన్ని కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$\tau = MB \sin \theta \qquad (20.2)$$

సదిశారూపంలో,

$$\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B} \qquad (20.3)$$

ఈ పునఃస్థాపక టార్క్‌వల్ల, అయస్కాంతంలో శక్తి నిల్వ అవుతుంది. అయస్కాంత స్థితిజశక్తికి సమీకరణంను కింది విధంగా ఇవ్వవచ్చు.

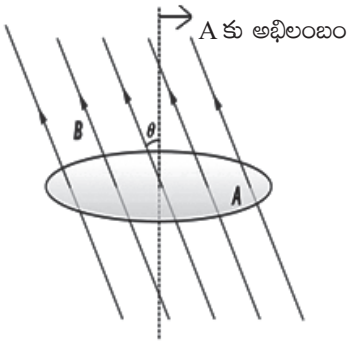
$$U_m = \int MB \sin\theta\, d\theta$$

$$U_m = -MB \cos \theta \qquad (20.4)$$

పై సమీకరణాన్ని బట్టి $\theta = 0°$ (అత్యంత స్థిరస్థానం) వద్ద స్థితిజశక్తి కనిష్ఠంగా (= –MB) , $\theta = 180°$ (అత్యంత అస్థిర స్థానం) వద్ద స్థితిజశక్తి (= +MB) గరిష్ఠంగా ఉంటుందని తెలుస్తోంది.

20.4 అయస్కాంత అభివాహకం (ϕ_B), అయస్కాంతక్షేత్ర ప్రేరణ (B)

అయస్కాంతక్షేత్రంలో ఉంచిన ఒక సంవృత ఉపరితలం గుండా వెళ్ళే అయస్కాంత క్షేత్ర (బల) రేఖలను ఆ వైశాల్యం గుండా అయస్కాంత అభివాహం (ϕ_B) అంటారు. ఇది ఒక అదిశారాశి. అభివాహానికి SI ప్రమాణం వెబర్.



పటం. 20.5 : B అయస్కాంతప్రేరణ గల క్షేత్రంలో ఉంచిన వైశాల్యం A గుండా అయస్కాంత అభివాహం

అయస్కాంతక్షేత్ర ప్రేరణను కూడా అయస్కాంత బలరేఖల పరంగా నిర్వచించవచ్చు. అయస్కాంతక్షేత్రంలో బలరేఖలకు బలంగా ఉంచిన ఏకాంక వైశాల్యం గుండా వెళ్ళే బలరేఖల సంఖ్య అయాస్కాంత ప్రేరణ పరిమాణం లేదా అయస్కాంత అభివాహ సాంద్రత **B**ని ఇస్తుంది. అయస్కాంతప్రేరణ SI ప్రమాణం వెబర్ / (మీటర్)^2 లేదా టెస్లా (T).

అయస్కాంతక్షేత్రంలో క్షేత్రరేఖలు చాలా దగ్గరగా ఉన్నట్లైతే ఆ ప్రదేశంలో అయస్కాంతప్రేరణ అధికంగా ఉంటుంది. క్షేత్రరేఖ మీద ఏ బిందువు వద్ద గీచిన స్పర్శరేఖ అయినా ఆ బిందువు వద్ద అయస్కాంతప్రేరణ (B) దిశను ఇస్తుంది. వాస్తవంగా, అయస్కాంతక్షేత్రరేఖలు అనేవి అంతరాళంలో ఒక నియమిత ప్రాంతంలో అయస్కాంత ప్రేరణ (B) ఏవిధంగా మారుతుందో (ధృవాల వద్ద అధికంగా) తెలుపుతాయి. ఇక్కడ ఉపరితలవైశాల్యాన్ని ఒక సదిశగా పరిగణించడమైంది. దీనినే ఉపరితల సదిశ $\vec{A}$ అంటారు. దీని దిశ ఉపరితలానికి బాహ్యదిశలో గీచిన లంబం దిశలో ఉంటుంది.

గణితాత్మకంగా, B అయస్కాంతప్రేరణ గల క్షేత్రంలో A వైశాల్యం గుండా అయస్కాంత అభివాహాన్ని కింది విధంగా నిర్వచిస్తారు.

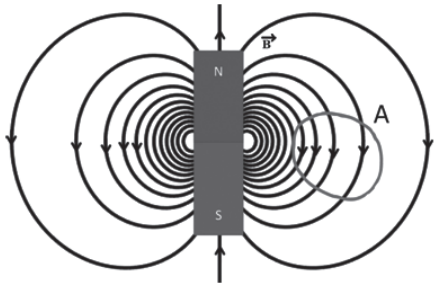
$$\phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA\cos\theta \qquad (20.5)$$

20.5 అయస్కాంతత్వం - గాస్ నియమం

పటం 20.6లో చూపినట్లు సంవృత ఉపరితలం Aకు చెందిన ఒక చిన్న వైశాల్య సదిశా మూలకం $\overrightarrow{\Delta A}$ ను తీస్కోండి. $\overrightarrow{\Delta A}$ గుండా అయస్కాంత అభివాహం $\Delta\phi_B$ అనుకోండి. అప్పుడు అయస్కాంత అభివాహాన్ని $\Delta\phi_B = \vec{B} \cdot \overrightarrow{\Delta A}$, గా నిర్వచిస్తారు. ఇక్కడ $\vec{B}$ అనేది $\overrightarrow{\Delta A}$ వద్ద అయస్కాంతక్షేత్రం. సంవృత ఉపరితల వైశాల్యం A ను అనేకమైన చిన్న వైశాల్యమూలకాలు ($\overrightarrow{\Delta A}$ లుగా) గా విభజించడమైంది కాబట్టి, సంవృత ఉపరితల వైశాల్యం A గుండా మొత్తం అభివాహాన్ని ప్రతి ఒక్కదాని గుండా ఉండే అభివాహాల మొత్తంగా రాయవచ్చు.

అప్పుడు నికర అభివాహం

$$\phi_B = \sum_{\substack{\text{అన్ని వైశాల్య}\\ \text{మూలకాలు}}} \vec{B} \cdot \overrightarrow{\Delta A} \qquad (20.6)$$



పటం. 20.6 : దండాయస్కాంతం యొక్క క్షేత్రరేఖలు – సంవృత ఉపరితలవైశాల్యం A.

అయస్కాంతక్షేత్ర రేఖలు అవిచ్ఛిన్న లూప్‌లు కాబట్టి, అన్ని సంవృత ఉపరితలాల గుండా ఎన్ని అయితే బలరేఖలు లోపలికి వస్తుంటాయో అన్ని బలరేఖలు బయటికి పోతుంటాయి. అందువల్ల, ఒక సంవృత ఉపరితలం గుండా నికర అభివాహం సున్నా.

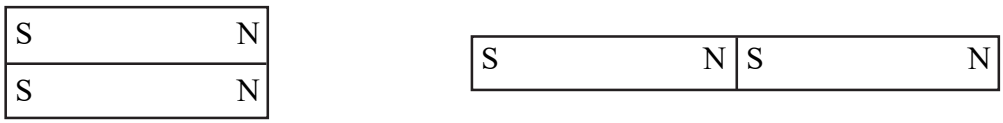
$$\phi_B = \sum_{\substack{\text{అన్ని వైశాల్య}\\ \text{మూలకాలు}}} \vec{B} \cdot \overrightarrow{\Delta A} = 0 \qquad (20.7)$$

ఇది అయస్కాంతత్వంలో గాస్ నియమానికి సమానం. కాబట్టి 'ఏ సంవృత ఉపరితలం ద్వారా అయినా ఉండే నికర అయస్కాంత అభివాహం సున్నా' అన్ని అయస్కాంతత్వంలో గాస్ నియమం తెలుపుతుంది.

అయస్కాంతత్వపు గాస్ నియమం, స్థిర విద్యుత్‌కు చెందిన గాస్ నియమంల మధ్య భేదం ఏమంటే – వివిక్త (ఏకాంక) అయస్కాంత ధృవాలు (ఏకధృవాలు) ఉనికిని కలిగి ఉండటమనేది మనకు తెలియదు. అనే సత్యాన్ని ప్రతింబించేది. Bకి జనకాలు గానీ, సింక్‌లుగానీ లేవు; కాబట్టి అత్యంత సరళమైన అయస్కాంత మూలకం అనేది ఒక ద్విధృవం లేదా ఒక విద్యుత్వవాహ లూప్. అన్ని అయస్కాంత దృగ్విషయాలను ఈ ద్విధృవాల లేదా / మరియు విద్యుత్వవాహ లూప్‌ల అమరిక పరంగా వివరించవచ్చు.

20.6 అయస్కాంతీకరణం, అయస్కాంత తీవ్రత

ఒక ఇనుప ముక్కను అయస్కాంతక్షేత్రంలో ఉంచినప్పుడు అది అయస్కాంతీకరణం చెందుతుంది. క్షేత్ర సత్వాన్ని బట్టి అయస్కాంతత్వ స్థాయి లేదా అయస్కాంతీకరణం చెందడం ఉంటుంది. కాబట్టి ఒక పదార్థం ఎంతవరకు అయస్కాంతీకరణం చెందింది అని వర్ణించడానికి ఒక రాశి అవసరం.



(a): ఒకే రకమైన రెండు అయస్కాంతాలను పక్కపక్కనే ఉంచినప్పుడు సంయుక్త అయస్కాంతం

(b) ఒకే రకమైన రెండు అయస్కాంతాలను చివరలు తాకేలా ఉంచినప్పుడు సంయుక్త అయస్కాంతం

పటం. 20.7

ఒకే ధృవసత్వం m, పొడవు l కలిగి ; ఒకే సైజు, ఆకారం కలిగిన రెండు దండాయస్కాంతాలను తీసుకోండి. ఈ రెండింటిని పటం. 20.7 (a) లో చూపినట్లు పక్కపక్కనే ఉంచినప్పుడు ధృవసత్వాలు సంకలనం చెంది అయస్కాంత భ్రామకం [$M = (2m)l = 2\,(ml)$] విడి అయస్కాంతం యొక్క భ్రామకానికి రెట్టింపవుతుంది.

రెండు అయస్కాంతాలను పటం. 20.7 (b)లో చూపినట్లు, చివరలు తాకేలా ఉంచినప్పుడు ఆసన్న ధృవాలు రద్దయి, పొడవులు సంకలనం చెందుతాయి. అప్పుడు అయస్కాంత భ్రామకం $M = m\,(2l) = 2\,(ml)$ అయి, విడి అయస్కాంతం యొక్క భ్రావమకానికి రెట్టింపవుతుంది. కాబట్టి స్పష్టంగా తెలిసేది ఏమంటే మొత్తం అయస్కాంత భ్రామకం విడివిడి అయస్కాంతాల భ్రామకాల మొత్తానికి సమానమవుతుంది.

ఈ ఉదాహరణల్లో, ఘనపరిమాణాన్ని రెట్టింపు చేయడం ద్వారా అయస్కాంత భ్రామకం రెట్టింపవుతుంది. కాని ఏకాంక ఘనపరిమాణానికి అయస్కాంత భ్రామకం మారలేదు. కాబట్టి అయసా&ంయికతాలు ఎంతవరకు అయస్కాంతీకరణం చెందాయో తెలిపే రాశిని అయస్కాంతీకరణ తీవ్రత (I) అంటారు. లేదా దీనినే అయస్కాంతీకరణం అంటారు. అందువల్ల, కింది సమాసాన్ని రాయవచ్చు.

$$\text{అయస్కాంతీకరణ} = \frac{\text{మొత్తం అయస్కాంత భ్రామకం}}{\text{ఘనపరిమాణం}}$$

$$I = \frac{M}{V} \qquad (20.8)$$

ఇక్కడ V అనేది ఘనపరిమాణం, M అనేది మొత్తం అయస్కాంత భ్రామకం.

$$M = ml.$$

పై సమీకరణం నుంచి,

$$I = \frac{ml}{V} = \frac{ml}{A \times l} = \frac{m}{A} \qquad (20.9)$$

ఇక్కడ A అనేది అయస్కాంతం మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం. కాబట్టి ఏకాంక మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యానికి గల ధృవసత్వాన్ని అయస్కాంతీకరణ (I) కు మరో నిర్వచనంగా చెప్పవచ్చు.

అయస్కాంత భ్రామకం (M)కు CGS ప్రమాణాలు $\frac{\text{ఎర్గ్}}{\text{అయర్‌స్పెడ్}}$, కాబట్టి అయస్కాంతీకరణ (I) కు ప్రమాణాలు $\frac{\text{ఎర్గ్}}{\text{అయర్‌స్పెడ్}-(\text{సెంమీ})^3}$ అవుతుంది.

అయస్కాంతీకరణ (I) కు SI ప్రమాణం $\frac{\text{ఆంపియర్}}{\text{మీటర్}}$.

పదార్థాల అయస్కాంత ధర్మాలను వర్ణించడానికి కింద తెలిపిన విధంగా మరిన్ని పదాలు అవసరం. ఒక పదార్థాన్ని అయస్కాంతీకరణం చెందించడానికి అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని అనువర్తించడం జరుగుతుంది. పదార్థాల గుండా అయస్కాంతక్షేత్రాలు ప్రయాణించేటప్పుడు, పదార్థాలు కూడా వాటంతట అవే అంతర అయస్కాంత క్షేత్రాలను కలుగజేస్తాయి. అయితే ఇక్కడ ఫలిత అయస్కాంతక్షేత్రంలో ఏ భాగం బాహ్య అయస్కాంత క్షేత్రం వల్ల వస్తుంది. ఏ భాగం పదార్థం వల్ల కలిగే క్షేత్రం వల్ల వస్తుంది. అనే ఒక అయోమయ పరిస్థితి కలుగుతుంది. అందువల్ల మనం మరొక అయస్కాంతక్షేత్ర రాశిని నిర్వచిస్తాము. దీనినే అయస్కాంతక్షేత్ర తీవ్రత లేదా అయస్కాంతీయ బలం అంటారు. దీనిని H తో సూచిస్తారు. దీన్ని కింది విధంగా నిర్వచిస్తారు.

$$H = \frac{B}{\mu} = \frac{B}{\mu_0} - M \qquad (20.10)$$

ఇక్కడ μ అనేది యానకం (పదార్థం) పెర్మియానిలిటీ. μ_0 అనేది శూన్యం లేదా స్వేచ్ఛాంతరాళం పెర్మియబిలిటీ. అయస్కాంతక్షేత్ర తీవ్రత H అనేది పదార్థంలో బాహ్యక్షేత్రం వల్ల కలిగే ప్రభావం. ఇది పదార్థం యొక్క అయస్కాంత ప్రతిస్పందన మీద ఆధారపడదు. అప్పుడు B కి కింది విధంగా ఒక సంబంధాన్ని రాయవచ్చు.

$$B = \mu_0 (H + M) \qquad (20.11)$$

H, M లు ఒకే ప్రమాణాలు కలిగి ఉంటాయి. $\frac{\text{ఆంపియర్}}{\text{మీటర్}}$. ఇక్కడ M ను పదార్థం యొక్క అయస్కాంతీకరణ అంటారు. H నుంచి B ను మరింత వేరుపరచి చెప్పాలనుకున్నప్పుడు, H ను బాహ్య అయస్కాంతక్షేత్రంగా; B ను క్షేత్రంలో పదార్థాల అయస్కాంత ధర్మాల వల్ల కలిగే అయస్కాంతక్షేత్రం కూడా కలిగి ఉండే మొత్తం అయస్కాంతక్షేత్రంగా భావించవచ్చు.

సమీకరణం 20.10లో μని అయస్కాంత పెర్మియబిలిటీ అంటారు. ఒక పదార్థం తన గుండా అయస్కాంత క్షేత్ర రేఖలను పోనిచ్చే సామర్థ్యంగా దీన్ని నిర్వచిస్తారు.

$$\text{అయస్కాంత పెర్మియబిలిటీ } (\mu) = \frac{B}{H} \qquad (20.12)$$

పదార్థంలో ప్రేరితమైన అయస్కాంతీకరణ తీవ్రత (I)కు అనువర్తించిన అయస్కాంత క్షేత్రం(H) కి మధ్యగల నిష్పత్తిని ససెప్టిబిలిటీ అంటారు. దీన్ని χ తో సూచిస్తారు.

$$\chi = \frac{I}{H} \qquad (20.13)$$

సమీకరణాలు 20.12, 20.13 ల నుంచి, అయస్కాంత పెర్మియబిలిటీ, ససెప్టిబిలిటీల మధ్య సంబంధాన్ని కింది విధంగా ఇవ్వచ్చు.

$$\mu = \mu_0 (1 + \chi) \qquad (20.14)$$

ఇక్కడ μ_0 అనేది స్వేచ్ఛాంతరాళం పెర్మియబిలిటీ. యానకం (పదార్థం) పెర్మియబిలిటీకి, స్వేచ్ఛాంతరాళం పెర్మియబిలిటీకి మధ్యగల నిష్పత్తిని సాపేక్ష పెర్మియబిలిటీ (μ_r) అంటారు..

$$\text{సాపేక్ష పెర్మియబిలిటీ } (\mu_r) = \frac{\mu}{\mu_0} \qquad (20.15)$$

20.7 పదార్థాల అయస్కాంత ధర్మాలు

అయస్కాంతక్షేత్రంలో పదార్థాల ప్రవర్తనను బట్టి స్థూలంగా వాటిని మూడు రకాలుగా వర్గీకరించవచ్చు. (i) అయస్కాంతంచే బలహీనంగా వికర్షించబడేవి డయా అయస్కాంత పదార్థాలు (ii) అయస్కాంతంచే బలహీనంగా

ఆకర్షించబడేవి పారా అయస్కాంత పదార్థాలు (iii) అయస్కాంతంచే బలంగా ఆకర్షించబడేవి ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థాలు. ఇనుము, నికెల్, కోబాల్ట్ లాంటి పదార్థాలు. ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థాలు. ఇప్పుడు మనం మరింత వివరంగా పదార్థాల అయస్కాంత ధర్మాలను అధ్యయనం చేద్దాం.

20.7.1 డయా అయస్కాంత పదర్థాలు

డయా అయస్కాంత పదార్థాలు అనువర్తించిన అయస్కాంత క్షేత్ర దిశకు వ్యతిరేకంగా బలహీనంగా అయస్కాంతీకరణం చెందుతాయి. ఉదా: బంగారం, వెండి, రాగి, ఆంటిమొని, బిస్మత్, సిలికాన్, పాదరసం, నీరు, గాలి, హైడ్రోజన్, నైట్రోజన్ మొదలగునవి.

సాధారణంగా, పరమాణువుల అయస్కాంత భ్రామకాలు, వాటి సదిశా మొత్తం సున్నా అయ్యేలా దిగ్విన్యాసం చెంది ఉంటాయి. అలాంటి డయా అయస్కాంత పదార్థాన్ని బాహ్య అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉంచినప్పుడు అనువర్తిత క్షేత్ర దిశకు వ్యతిరేక దిశలో పదార్థం అంతటికి నికర అయస్కాంత భ్రామకాన్ని పొందుతుంది. డయా అయస్కాంత పదార్థాల పరమాణువులు జతకూడని ఒంటరి ఎలక్ట్రాన్లను కలిగి ఉండవు.

అభిలక్షణాలు

1. డయా అయస్కాంత పదార్థాలు చాలా చిన్నదైన, రుణ ససెప్టిబిలిటీ విలువలను కలిగి ఉంటాయి. కాబట్టి $\chi_m < 0$.
2. డయా అయస్కాంత పదార్థం పరమాణువుల అయస్కాంత భ్రామకాలు అనువర్తిత క్షేత్రదిశకు వ్యతిరేకదిశలో అమరి ఉంటాయి.
3. ఈ పదార్థాల పరమాణు అయస్కాంతాలు అయక్షేత్రంచే స్వల్పంగా వికర్షింపబడతాయి.
4. డయా అయస్కాంత పదార్థాలను అసమరీతి అయస్కాంతక్షేత్రంలో ఉంచినప్పుడు, బలమైన క్షేత్రం ప్రదేశాల నుండి బలహీన క్షేత్ర ప్రదేశాల వైపు చలిస్తాయి.
5. బాహ్యక్షేత్రాన్ని తొలగించగానే అవి అయస్కాంత ధర్మాలను తమలో నిలుపుకోలేవు.
6. ఈ పదార్థాల ససెప్టిబిలిటీ ఉష్ణోగ్రతపై ఆధారపడదు.

20.7.2 పారా అయస్కాంత పదార్థాలు

పారా అయస్కాంత పదార్థాలు అనువర్తిత క్షేత్రదిశలో బలహీనంగా అయస్కాంతీకరణం చెందేవి. ఉదా: అల్యూమినియం, ప్లాటినమ్, మాంగనీస్, క్రోమియం, సోడియం, కాల్షియం, లిథియం, టంగ్‌స్టన్, నియొబియమ్, ఆక్సీజన్ మొదలగునవి.

పారా అయస్కాంత పదార్థాలలో ప్రతి పరమాణువు శాశ్వత అయస్కాంత ద్విధృవ భ్రామకం కలిగి ఉండేలా పరమాణువుల ఆర్బిటాల్ మరియు స్పిన్ అయస్కాంత భ్రామకాలు దిగ్విన్యాసం చెంది ఉంటాయి. ఉష్ణచలనం (కంపనం) వల్ల అయస్కాంత భ్రామకాలు యాదృచ్ఛిక దిగ్విన్యాసాలను కలిగి ఉంటాయి. ఫలితంగా, నికర అయస్కాంత భ్రామకం సున్నా అవుతుంది. ఈ పదార్థాలను బాహ్య అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉంచినప్పుడు,

ప్రతి పరమాణు అయస్కాంతం క్షేత్రదిశలోకి అమరేలా ప్రయత్నిస్తుంది. పదార్థాలు నికర అయస్కాంత భ్రావమకాన్ని పొంది, అయస్కాంతీకరణం చెందుతాయి. పారా అయస్కాంత పదార్థాల పరమాణువులు చాలా తక్కువగా ఒంటరి ఎలక్ట్రాన్లను కలిగి ఉంటాయి.

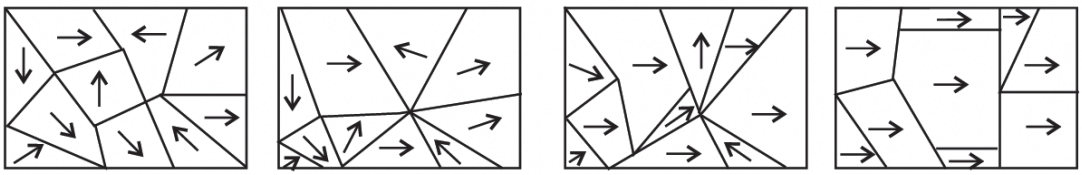
అభిలక్షణాలు

1. పారా అయస్కాంత పదార్థాలు చిన్నదైన, ధనాత్మక ససెప్టిబిలిటీని కలిగి ఉంటాయి. కాబట్టి వీటికి $\chi_m > 0$.
2. పారా అయస్కాంత పదార్థాల పరమాణువుల అయస్కాంత భ్రామకాలు అనువర్తిత క్షేత్రదిశలోకి అమరి ఉంటాయి.
3. ఈ పదార్థాల పరమాణు అయస్కాంతాలు అయస్కాంత క్షేత్రం చేత స్వల్పంగా ఆకర్షింపబడతాయి.
4. పారా అయస్కాంత పదార్థాలను అసమరీతి అయస్కాంతక్షేత్రంలో ఉంచినప్పుడు, బలహీన క్షేత్ర ప్రాంతాల నుండి బలమైన క్షేత్ర ప్రాంతాలకు చలించడానికి ప్రయత్నిస్తాయి.
5. బాహ్య అయస్కాంతక్షేత్రాన్ని తొలగించ గానే ఈ పదార్థాలు తమలో అయస్కాంత ధర్మాలను నిలువుకోలేవు.
6. పారా అయస్కాంత పదార్థాల ససెప్టిబిలిటీ వాటి ఉష్ణోగ్రత మీద ఆధారపడుతుంది.

20.7.3 ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థాలు

ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థాలు అనువర్తిత క్షేత్రదిశలో బలంగా అయస్కాంతీకరణం చెందిన పదార్థాలు. బాహ్య అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని తొలగించినా కూడా ఇవి తమలో అయస్కాంత భ్రామకాన్ని నిలుపుకొంటాయి. ఉదా: ఇనుము, కోబాల్ట్, నికెల్ మొదలగునవి.

ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థాలలో, పరామాణువుల ద్విధృవ భ్రామకానికి స్పిన్ అయస్కాంత భ్రామకం తోడ్పాటు చాలా అధికంగా ఉంటుంది. ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థంలో ఉండే చిన్న ప్రాంతాలను డొమైన్‌లు అంటారు. ఒక డొమైన్‌లోని అయస్కాంత ద్విధృవాలు అన్నీ ఒకే దిశలో అమరి ఉంటాయి. కాని డొమైన్‌లు అన్నీ యాధృచ్ఛికంగా దిగ్విన్యాసం చెంది ఉంటాయి. ఫలితంగా, పదార్థ మొత్తం అయస్కాంత భ్రామకం సున్నా అవుతుంది. బాహ్య అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని అనువర్తించినప్పుడు, డొమైన్‌లు కొద్దిగా భ్రమణం చెంది, క్షేత్రదిశలోకి అమరడం వల్ల ఫలిత అయస్కాంత భ్రామకాన్ని ఇస్తాయి. ఈ ప్రక్రియను పటం 20.8లో చూపిన విధంగా సులభంగా అర్థం చేసుకోవచ్చు.



B = 0 (a) **B** > 0 (b) **B** >> 0 (c) **B** >>> 0 (d)

పటం. 20.8 : ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థంలో డొమైన్‌లు

పటం. 20.8 (a) పది డొమైన్‌లను చూపిస్తుంది. సరళత కోసం మనం ద్విమితీయ ఉదాహరణను తీసుకున్నాము. అన్ని డొమైన్‌లు, పదార్థ మొత్తం అయస్కాంతీకరణం సున్నా అయ్యేలా, అమరి ఉన్నాయి. బాహ్య అయస్కాంతక్షేత్రం అనువర్తించిన తర్వాత స్థితిని పటం. 20.8 (b) చూపిస్తుంది. క్షేత్రదిశకు సమాంతరంగా ఉండే డొమైన్ సైజు మిగతా డొమైన్‌ల కంటే కూడా పెరుగుతూ ఉండేలా డొమైన్‌ల సరిహద్దులు (డొమైన్ గోడలు) పునరమరిక చెందుతాయి. అనువర్తిత క్షేత్ర పరిమాణాన్ని పెంచే కొద్దీ, క్షేత్రానికి అనుకూలంగా ఉండే డొమైన్‌ల సైజు పెరగడమే గాక, డొమైన్ దిగ్విన్యాసం కూడా కొద్దిగా మారుతుంది. ఫలితంగా అయస్కాంతీకరణం అధికమవుతుంది [పటం. 20.8 (c)]. చాలా బలమైన అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని అనువర్తించినప్పుడు, ఘనపరిమాణం అంతా కూడా (పదార్థం అంతా) ఒకే ఒక్క (ఒంటరి) డొమైన్‌లాగా ప్రవర్తిస్తూ, పటం 20.8 (d) లో చూపినట్లు, సంతృప్త అయస్కాంతీకరణను ఇస్తుంది. బాహ్య అయస్కాంతక్షేత్రాన్ని తొలగించగానే, పదార్థంలో నికర అయస్కాంతీకరణ అలాగే ఉంటుంది (నిలుపుకొంటుంది). అధిక సామర్థ్యం గల సూక్ష్మదర్శిని సహాయంతో ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థాలలోని డొమైన్‌లను చాలా సులభంగా చూడవచ్చు.

ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థ ఉష్ణోగ్రతను ఒక నిర్దిష్ట సందిగ్ధ విలువ కంటే ఎక్కువ చేసినప్పుడు, పదార్థం పారా అయస్కాంతమవుతుంది. ఈ సందిగ్ధ ఉష్ణోగ్రతను క్యూరీ ఉష్ణోగ్రత అంటారు T_c.

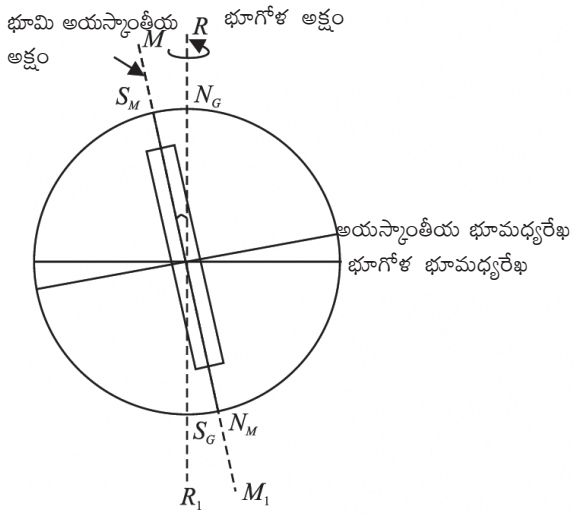
అభిలక్షణాలు

1. ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థాలు అధిక, ధనాత్మక ససెప్టిబిలిటీ విలువను కలిగి ఉంటాయి. $\chi_m > 1$.
2. ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థాల పరమాణువుల అయస్కాంత భ్రామకాలు అనువర్తిత అయస్కాంత క్షేత్ర దిశలో అమరి ఉంటాయి.
3. ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థంలోని పరమాణు అయస్కాంతాలు అయస్కాంతక్షేత్రాలవైపు బలంగా ఆకర్షితమవుతాయి.
4. ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థాలను అసమరీతి అయస్కాంతక్షేత్రంలో ఉంచినప్పుడు బలహీన ప్రాంతాల నుంచి బలమైన ప్రాంతాలవైపు చలిస్తాయి.
5. బాహ్య అయస్కాంతక్షేత్రాన్ని తొలగించినా కూడా ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థాలు అయస్కాంత ధర్మాలను కోల్పోవు.
6. ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థాల ససెప్టిబిలిటీ పదార్థ ఉష్ణోగ్రతపై ఆధారపడుతుంది.
7. ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థాలలో, అయస్కాంతీకరణ అనువర్తిత క్షేత్రానికి అనులోమంగా ఉండదు. ఈ పదార్థాలు శైథిల్య ధర్మాన్ని ప్రదర్శిస్తాయి.

20.8 భూమి అయస్కాంత క్షేత్రం లేదా భూ అయస్కాంత క్షేత్రం

అయస్కాంతాల దిశా ధర్మాన్ని వివరించడానికి భూమి ఒక పెద్ద అయస్కాంతం వలే పనిచేస్తుందనుకుంటాం. అనగా భూమి లోపల ఒక పెద్ద దండాయస్కాంతం ఉందని అనుకుంటాం. ఈ అయస్కాంత దక్షిణ ధ్రువం

భూగోళ ఉత్తర ధ్రువానికి దగ్గరగా ఉందనీ, అయస్కాంత ఉత్తర ధ్రువం భూగోళ దక్షిణ ధ్రువానికి దగ్గరగా ఉందనీ భావించాం. భూమి భ్రమణ అక్షం RR_1, భూమి అయస్కాంతీయ అక్షం MM_1.



పటం. 20.9 : భూ అయస్కాంత క్షేత్రం

కృత్యం 20.1

అయస్కాంత సూచికతో ఒక చిన్న ప్రయోగం చేద్దాం. (ఈ ప్రయోగాన్ని గ్లోబ్ భ్రమణ అక్షం వెంబడి గల ఒక దండాయస్కాంతం తో చేయవచ్చు. దండాయస్కాంత ఉత్తర ధ్రువం గ్లోబ్ దక్షిణ ధ్రువం వైపు ఉండేట్లు అమర్చాలి). క్షితిజ సమాంతర, నిలువు తలాలలో తిరిగేట్లుగా, అయస్కాంత సూచికను స్వేచ్ఛగా వేలాడదీయాలి. భూమి ఉపరితలంపై భూమధ్య రేఖకు దగ్గరగా ఈ సూచిక వుంటే, అది క్షితిజ సమాంతర తలంలో విరామ స్థితికి వస్తుంది. ఉత్తరార్ధగోళంలోని ప్రదేశాలకు ఈ సూచికను తీసుకొని వెళ్ళాం అనుకుందాం. అయస్కాంత సూచిక నిలువు తలంలో భ్రమణం చెంది, మనం భూగోళ ఉత్తర ధ్రువం వైపు వెళ్ళిన కొద్దీ, అయస్కాంత సూచిక ఉత్తర ధ్రువం భూమి వైపు కిందికి దిగుతుంది. చివరగా కెనడా లోని హడ్‌సన్ బే దగ్గర, అయస్కాంత సూచిక ఉత్తర ధ్రువం నిట్టనిలువుగా కిందికి ఉంటుంది. ఉత్తరానికి 60 తో తూర్పు వైపు గల ఈ ప్రదేశాన్ని భూ అయస్కాంతం యొక్క దక్షిణ ధ్రువంగా తీసుకుంటాం. భూ ఉత్తర ధ్రువం నుంచి ఈ ప్రదేశం 650 కి.మీ. దూరంలో ఉంటుంది. ఇదే అయస్కాంత సూచికను దక్షిణార్ధగోళంలోకి తీసుకొని వెళ్ళితే, సూచిక దక్షిణ ధ్రువం కిందికి దిగుతుంది. భూగోళ దక్షిణ ధ్రువానికి పడమరగా 650 కి.మీ. దూరంలో సూచిక నిట్టనిలువుగా కింది వైపు ఉంటుంది. దీనిని భూ అయస్కాంతం యొక్క ఉత్తర ధ్రువంగా అనుకుంటాం. **దీని నుంచి భూమి అయస్కాంతీయ అక్షం ఖచ్చితంగా భూగోళ అక్షంతో ఏకీభవించదు అని మనం నిర్ధారించవచ్చు.**

భూ అయస్కాంత క్షేత్రం గురించి ఒక ముఖ్యమయిన విషయం ఏమిటంటే, అది స్థిరంగా ఉండదు, కాలంతో పాటు దాని దిశ, పరిమాణం మారుతూ ఉంటాయి.

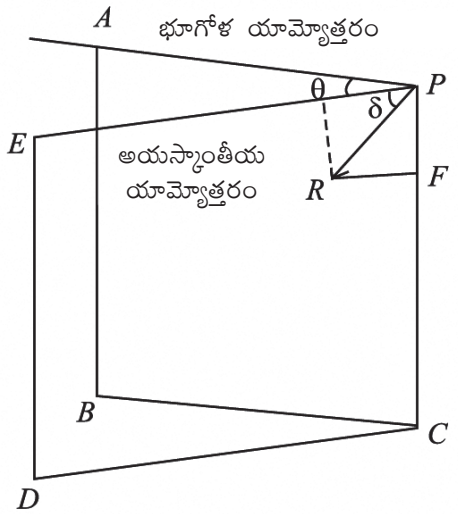
భూ అయస్కాంత క్షేత్ర మూల రాశులు

ఒక ప్రదేశంలో భూ అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని నిర్ణయించే రాశులను భూ అయస్కాంత మూల రాశులు అంటారు. అవి (a.) డిప్ (dip) లేదా ఇన్‌క్లినేషన్ (δ) (b) డెక్లినేషన్ θ (Declination) మరియు (c) భూ అయస్కాంత క్షేత్రం యొక్క క్షితిజ సమాంతర అంశం (B_H)

20.8.1 ఇన్‌క్లినేషన్ లేదా డిప్ (δ)

ఒక ప్రదేశంలో అయస్కాంత సూచికను స్వేచ్ఛగా వేలాడదీసిన, అది క్షితిజ సమాంతర తలంలో విరామ

స్థితికి రాదని మీరు గమనిస్తారు. అది, భూమి యొక్క క్షేత్ర ఫలిత తీవ్రత దిశ వైపు ఉంటుంది. తలం PCDE ని పటం 20.10 చూపిస్తుంది. ఇది భూమి ఉపరితలంపై P బిందువు వద్ద అయస్కాంత యామ్యోత్తరం (magnetic meridian) (భూ అయస్కాంత ఉత్తర, దక్షిణ ధ్రువాల గుండా వెళ్ళే నిలువు తలం), PABC అనేది భూగోళ యామ్యోత్తరం (geographic meridian) (భూగోళ ఉత్తర, దక్షిణ ధ్రువాల గుండా వెళ్ళే నిలువు తలం). P బిందువు వద్ద భూ అయస్కాంత క్షేత్ర దిశ, పరిమాణం ను PR సూచిస్తుంది అనుకుందాం. క్షితిజ సమాంతరం తో PR, δ కోణం చేస్తుందని గమనించండి. ఈ కోణాన్ని భూమి ఉపరితలం పై P వద్ద ఇన్‌క్లినేషన్ లేదా డిప్ అంటారు.



పటం. 20.10 : భూ అయస్కాంత క్షేత్రం యొక్క మూలరాశులు

భూ అయస్కాంత క్షేత్రం యొక్క ఫలిత తీవ్రత దిశకు, అక్కడ క్షితిజ సమాంతర దిశకు మధ్య గల కోణాన్ని ఆ ప్రదేశంలో **డిప్ లేదా ఇన్‌క్లినేషన్** అంటారు.

20.8.2 డెక్లినేషన్(θ)

పటం 20.10 ను మళ్ళీ గమనించండి. PCDE తలం భూ అయస్కాంత క్షేత్ర సదిశ PR ను కలిగి ఉంది. P బిందువు వద్ద PCDE, PABC తలాల మధ్య గల కోణాన్ని డెక్లినేషన్ అంటారు. దీనిని θ కోణంతో చూపించాం.

ఒక ప్రదేశంలో భూగోళ మరియు అయస్కాంత యామ్యోత్తరాల మధ్య కోణాన్ని డెక్లినేషన్ అంటారు.

20.8.3 క్షితిజ సమాంతర అంశం (B_H)

ఫలిత అయస్కాంత క్షేత్రం PR ను P బిందువు వద్ద పటం 20.10 చూపిస్తుంది. పరిమాణం, దిశలలో, భూ అయస్కాంత క్షేత్రం యొక్క క్షితిజ సమాంతర అంశం PE, నిలువు అంశం PF లు సూచిస్తాయి. P బిందువు వద్ద అయస్కాంత క్షేత్రం B అనుకుందాం. క్షితిజ సమాంతర అంశం

$$B_H = B \cos \delta \qquad (20.16)$$

క్షితిజ లంబ అంశం

$$B_V = B \sin \delta \qquad (20.17)$$

సమీకరణాలు (20.16), (20.17) ల వర్గాలను కలపగా

$$B_H^2 + B_V^2 = B^2 \cos^2\delta + B^2 \sin^2\delta = B^2$$

సమీకరణం (20.17) ను (20.16) తో భాగించగా

$$\frac{B_V}{B_H} = \tan\delta \qquad (20.18)$$

మీరేమి నేర్చుకున్నారు

- ఏదైనా వస్తువు ఒక ఇనుప ముక్కను ఆకర్షించే స్వభావాన్ని కలిగి ఉండడమే అయస్కాంతత్వం.
- ప్రతీ అయస్కాంతం రెండు ధృవాలు కలిగి ఉంటుంది. వాటిని వేరుచేయలేము.
- సజాతి ధృవాలు వికర్షించుకుంటాయి. విజాతి ధృవాలు ఆకర్షించుకుంటాయి.
- ఒక అయస్కాంతం చుట్టూ ఉండే ఏ ప్రాంతంలో అయితే అయస్కాంత సూచి (ఇంకో అయస్కాంతం) టార్క్‌కు లోనవుతుందో (బలం) ఆ ప్రాంతాన్ని అయస్కాంతక్షేత్రం అంటారు.
- అయస్కాంతోఏత్ర రేఖలు కల్పితరేఖలు. అయస్కాంతక్షేత్రంలో ఉత్తరధృవం చలించే పథాన్ని అయస్కాంత బలరేఖ లేదా క్షేత్రరేఖ అంటారు.
- అయస్కాంత ద్విధృవ భ్రామకం M గల ఒక దండాయస్కాంతాన్ని అయస్కాంతక్షేత్రం Bలో క్షేత్రంతో θ కోణం చేస్తూ వేలాడదీసినప్పుడు, దానిపై ఒక బలయుగ్మం లేదా పునఃస్థాపక టార్క్ $\tau = MB \sin\theta$ కలుగుతుంది.
- అయాస్కాంతక్షేత్రంలో ఒక సంవృత వైశాల్యం గుండా ప్రయాణించే అయస్కాంతక్షేత్రరేఖలను, ఆ వైశాల్యం గుండా అయస్కాంత అభివాహం (ϕ_B) అంటారు.
- అయస్కాంత అభివాహం ప్రమాణాలు : **వెబర్**
- అయస్కాంతక్షేత్రంలో క్షేత్రదిశకు లంబంగా ఉంచిన ఏకాంక వైశాల్యం గుండా ప్రయాణించే అయస్కాంత బలరేఖల సంఖ్యను అయస్కాంత అభివాహ సాంద్రత లేదా అయస్కాంత ప్రేరణ **B** అంటారు.
- అయస్కాంతప్రేరణకు SI ప్రమాణం : వెబర్ / (మీటర్)^2 (లేదా) టెస్లా.
- అయస్కాంతత్వంలో గాస్ నియమం ప్రకారం ఏదైనా సంవృత తలం గుండా నికర అయస్కాంత అభివాహం సున్నా.
- ఏదైనా అయస్కాంత పదార్థంపై బాహ్య అయస్కాంతక్షేత్రం ప్రయోగించినప్పుడు, పదార్థ ఏకాంక ఘనపరిమాణంలో ప్రేరితమైన అయస్కాంత భ్రామకాన్ని అయస్కాంతీకరణ అంటారు. పదార్థాలను వాటి అయస్కాంతీయ ప్రవర్తనను బట్టి స్థూలంగా మూడు రకాలుగా వర్గీకరించారు. అవి (i) డయా అయస్కాంత పదార్థాలు (ii) పారా అయస్కాంత పదార్థాలు (iii) ఫెర్రో అయస్కాంత పదార్థాలు.
- అయస్కాంతాల దిశా ధర్మాన్ని, భూమి ఒక అయస్కాంతంగా ప్రవర్తిస్తుందని భావించి వివరించవచ్చు. అందువల్ల భూమి ఒక పెద్ద అయస్కాంతం మరియు దీని చుట్టూ ఉండే క్షేత్రాన్ని భూ అయస్కాంత క్షేత్రం అంటారు.

- భూ అయస్కాంత ఉత్తర, దక్షిణ ధృవాల గుండా వెళ్ళే నిలువు తలంలో (అయస్కాంత యామ్యోత్తరం) భూ అయస్కాంత క్షేత్రం, క్షితిజ సమాంత అంశంతో చేసే కోణాన్ని (δ) డిప్ లేదా అవపాతము లేదా నతి అంటారు.
- ఒక ప్రదేశంలో అయస్కాంత యామ్యోత్తరం, భౌగోళిక యామ్యోత్తరంతో చేసే కోణాన్ని (θ) ఆ ద్రేశం వద్ద దిక్పాతం అంటారు.
- B అనేది భూ అయస్కాంతక్షేత్రం ఫలిత సదిశ అయితే, క్షితిజ సమాంతర అంశం $B_H = B \cos \delta$.

ముగింపు అభ్యాసం

1. అయస్కాంత క్షేత్రం, అయస్కాంతక్షేత్ర రేఖలను నిర్వచించండి.
2. అయస్కాంత అభివాహం, అయస్కాంత క్షేత్రాలను నిర్వచించి, వాటి ప్రమాణాలను పేర్కొనండి.
3. అయస్కాంతత్వంలో గాస్ నియమాన్ని ప్రవచించి, వివరించండి.
4. అయస్కాంతీకరణ, అయస్కాంత తీవ్రతలను నిర్వచించండి.
5. అయస్కాంత పదార్థాలను వర్గీకరించి వాటిని వివరించండి.
6. భూ అయస్కాంత క్షేత్రం మూలరాశులు ఏవి? వాటిని వివరించండి.
7. అయస్కాంతం దగ్గరికి ఒక చిన్న పదార్థం ముక్కను తెచ్చారు. ఈ కింది ఖాళీలను ఔను లేదా కాదు అనే పదాలతో పూరించండి.

పదార్థం	వికర్షణ		ఆకర్షణ	
	బలహీనం	బలం	బలహీనం	బలం
డయా అయస్కాంతత్వం				
పారా అయస్కాంతత్వం				
ఫెర్రో అయస్కాంతత్వం				

8. ఒక పెట్టెలో సర్వసమానమైన రెండు అయస్కాంతాలను కలిపి మీరు పెట్టాలి. వాటిని ఏ విధంగా పెడతారు మరియు ఎందుకు అలా పెడతారు.

N S లేదా N S

N S S N

9. రెండు ధ్రువాల మధ్య అయస్కాంత బలం 80 యూనిట్లు. ధ్రువాల మధ్య దూరాన్ని రెట్టింపు చేసినపుడు వాటి మధ్య బలం ఎంత ?

10. దండాయస్కాంత పొడవు 10 cm., అడ్డుకోతవైశాల్యం 1.0cm^2. అయస్కాంతీకరణ I=10^2 Am. ధ్రువసత్వంను కనుక్కోండి.

11. సర్వసమానమైన రెండు అయస్కాంతాలను ఒకే సరళరేఖ లో ఒకదాని ఉత్తర ధ్రువం మరొకదాని ఉత్తర ధ్రువంకు అభిముఖంగా ఉంచారు. వేరే ఇతర క్షేత్రం ఏదీ లేనపుడు, బలరేఖలను గీయండి.

12. దండాయస్కాంత క్షేత్రం, భూ అయస్కాంత క్షితిజ సమాంతర అంశానికి పరిమాణంలో సమానంగానూ, దిశలో వ్యతిరేకంగానూ ఉన్న బిందువులను తటస్థ బిందువులు లేదా శూన్య బిందువులు అంటారు.

    (a) దండాయస్కాంతాన్ని భూ అయస్కాంతయమ్యోత్తర రేఖాతలంలో దాని ఉత్తర ధ్రువం ఉత్తరం వైపు ఉంచినపుడు, తటస్థ బిందువులను గుర్తించండి.

    (b) దండాయస్కాంతాన్ని భూ అయస్కాంతయమ్యోత్తర రేఖాతలంలో దాని ఉత్తర ధ్రువం దక్షిణం వైపు ఉంచినపుడు, తటస్థ బిందువులను గుర్తించండి.

13. 10 సెం.మీ. పొడవున్న ఒక దండాయస్కాంతాన్ని రెండు సమానభాగాలుగా ఒక్కొక్కటి 5 సెం.మీ. ఉండేలా విభజించారు. ఏదైనా ఒక ముక్క ధృవసత్వం, మునుపటి దండాయస్కాంతంతో పోల్చి చూసినప్పుడు ఎలా ఉంటుంది?

14. 10 సెం.మీ. పొడవుగల దండాయస్కాంతం ధృవసత్వం 10 A m. దండాయస్కాంతం అక్షీయరేఖపై, మధ్యబిందువు నుంచి 30 సెం.మీ. దూరంలో అయస్కాంతక్షేత్రాన్ని లెక్కించండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

20.1

1. ఒక అయస్కాంతాన్ని దాని ద్రవ్యరాశి కేంద్రం వద్ద దారం తో వేలాడదీసి, నిశ్చలస్థితికి రానివ్వాలి. భూ అయస్కాంత ఉత్తర దిశ వైపు ఉండే అయస్కాంత చివరను దాని ఉత్తర ధ్రువంగా చెపుతాము.

2. రెండు దండాయస్కాంతాల చివరలను దగ్గరగా తేవాలి. వాటి మధ్య ఆకర్షణ ఉంటే, దండాలలో ఒకటి అయస్కాంతం మరొకటి ఇనుప దండం అని చెపుతాం. ఇపుడు ఈ దండాలలో ఒకదానిని బల్ల పై పరిచి దాని పొడవు గుండా మరొక దానితో తాకించాలి. ఏకరీతిగా బలం పనిచేస్తే, చేతిలో ఉన్న దండం అయస్కాంతం అని బల్ల పై ఉన్నది ఇనుప దండం అని చెపుతాం. ఏకరీతి కాకుండా, అసమాన బలం పనిచేస్తే పై దానికి వ్యతిరేకంగా చెపుతాం.

3. ఒక అయస్కాంతాన్ని దారం తో వేలాడదీసి దాని దక్షిణ ధ్రువంను కనుక్కోవాలి. మొదటి దానితో వికర్షింపబడిన రెండవ అయస్కాంత చివర దాని దక్షిణ ధ్రువంగా చెపుతాం.

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

9. 20 యూనిట్లు

10. 1.02×10^{-2} Am

13. మారదు. అయస్కాంతం పొడవు మీద ధృవసత్వం ఆధారపడదు.

14. 2.3×10^{-6} T

21

చలించే ఆవేశాలు - అయస్కాంతత్వం

పరిచయం

ఇంతకు ముందు అధ్యాయంలో విద్యుత్ మరియు అయస్కాంత క్షేత్రాల గురించి నేర్చుకున్నాము. కాని మీరు ఎప్పుడైనా విద్యుచ్ఛక్తికి, అయస్కాంతత్వానికి గల సంబంధం గురించి ఆలోచించారా? 1820 సంవత్సరంలో ఆయర్‌స్టెడ్ అనే శాస్త్రవేత్త వీటి మధ్యగల సంబంధాన్ని కనుకొన్నాడు. ప్రస్తుతం అయస్కాంతత్వం, విద్యుచ్ఛక్తి ఒకదానికొకటి ఎంత సన్నిహిత సంబంధం కలిగి ఉన్నాయో మనకు తెలుసు.

ఈ పాఠంలో మీరు విద్యుత్ప్రవాహం వల్ల కలిగే అయస్కాంత ఫలితాల గురించి తెలుసుకుంటారు. అయస్కాంత క్షేత్రంలో చలించే ఆవేశాల మరియు విద్యుత్ప్రవాహం కలిగిన వాహకాల ప్రవర్తన గురించి కూడా చర్చించడమైంది. ఈ సూత్రాల ఆధారంగా మోటారు వంటి విద్యుత్ పరికరాలు, అమ్మీటర్, ఓల్ట్‌మీటర్, గాల్వానామీటర్ వంటి కొలిచే సాధనాలు పనిచేసే విధానాన్ని చర్చిస్తాము.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరువాత మీరు కింది విషయాలు తెలుసుకుంటారు.

- విద్యుత్ ప్రవాహం యొక్క అయస్కాంత ఫలితం : ఆయర్‌స్టడ్ ప్రయోగం;
- బయోట్ సవర్ట్ నియమం ప్రవచించి, దాని అనువర్తనాలు;
- విద్యుత్ ప్రవాహం వల్ల కలిగే అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రేరణకు సమాన ఉత్పాదన;
- వాహకంలో విద్యుత్ ప్రవాహం వల్ల కలిగే అయస్కాంత క్షేత్రానికి దిశను సూచించడం;
- ఆంపియర్ వలయ నియమం, దాని అనువర్తనాలను వివరించడం.
- ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఆవేశితకణం చలనాన్ని వివరించడం.
- ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉంచిన విద్యుత్ ప్రవహించే వాహకంపై పనిచేసే బలనానికి సమాసాన్ని రాబట్టడం.
- విద్యుత్ ప్రవహించే రెండు తిన్నని సమాంతర వాహకాల మధ్య పనిచేసే బలానికి సమాసాన్ని రాబట్టడం.
- గాల్వానా మీటర్, అమ్మీటర్, ఓల్ట్‌మీటర్‌లు ఏ సూత్రంపై ఆధారపడి పనిచేస్తాయో వివరించడం.

21.1 విద్యుచ్ఛక్తి మరియు అయస్కాంతత్వం : మూల భావనలు

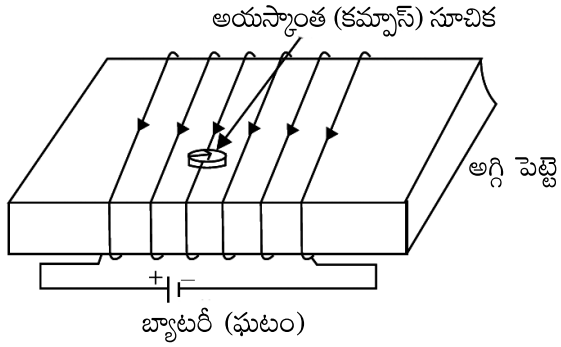
వాహకం కొనల మధ్య గల పొటెన్షియల్ తేడా వల్ల వాహకాలలో ఎలక్ట్రానులు ప్రవహించినపుడు, విద్యుత్ ప్రవాహం జనిస్తుందని మీకు తెలుసు. విద్యుత్ ప్రవహించే ఒక వాహకం, దగ్గరలో స్వేచ్ఛగా ఉన్న అయస్కాంత సూచిక మీద బలాన్ని ప్రదర్శిస్తుంది. అయస్కాంత సూచిక ఒక అయస్కాంతం చేత కూడ ప్రభావితం అవుతుంది. కాబట్టి విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న ఒక వాహకం చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రం ఏర్పడి ఉంటుందని మనం చెప్పవచ్చు. అయస్కాంత క్షేత్రం ఔ ని దృశాత్మకంగా తెలపటం కోసం అయస్కాంత బలరేఖలు అనే భావనను వాడతాం. ఈ పాఠంలో వీటన్నింటి గురించి మరియు అయస్కాంత ప్రవేశ్య శీలత (అయస్కాంత పెర్మియబిలిటి) గురించి తెలుసుకుంటారు.

21.2 విద్యుత్ ప్రవాహం చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రం

మనం ఒక చిన్న ప్రయోగాన్ని చేద్దాం.

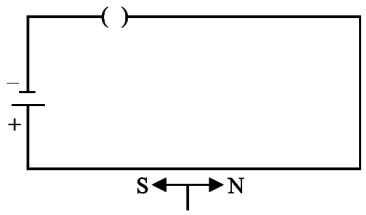
కృత్యం 21.1

1.5 వోల్టు బ్యాటరీని, 1 మీ పొడవు గల తీగను, అయస్కాంత సూచికను, ఒక అగ్గిపెట్టెను తీసుకుందాం. అగ్గిపెట్టె చుట్టూ విద్యుత్ తీగను 10 – 15 చుట్లు తిప్పాలి. ఈ చుట్ల కింద అయస్కాంత సూచికను పటం 21.1 లో చూపిన విధంగా ఉంచాలి. ఉత్తర – దక్షిణ దిశల వెంబడి తీగ ఉండేటట్లుగా ఈ అగ్గిపెట్టెను ఒక బల్ల పై ఉంచాలి. స్వేచ్ఛగా ఉన్న తీగ చివరలను బ్యాటరీకి కలపాలి.

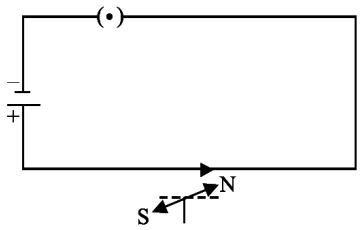


పటం 21.1 : విద్యుత్ ప్రవాహం వల్ల అయస్కాంత క్షేత్రం ఏర్పడుతుందని నిరూపించుట

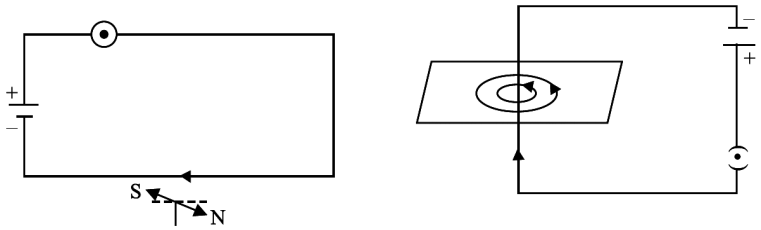
అయస్కాంత సూచికకు ఏమవుతుంది? అయస్కాంత సూచిక అపవర్తనం చెందుతుందని మీరు గమనిస్తారు. అనగా తీగ చుట్ల చుట్టూ, లోపల అయస్కాంత క్షేత్రం ఏర్పడిందని తెలుస్తుంది. బ్యాటరీ ధ్రువాలను మార్చి విద్యుత్తును వ్యతిరేక దిశలో ప్రవహింపచేస్తే, అయస్కాంత సూచిక కూడ వ్యతిరేక దిశలో అపవర్తనం చెందుతుంది. తీగ గుండా విద్యుత్ ప్రవాహం లేనపుడు, ఉత్తర – దక్షిణ దిశలో అయస్కాంత సూచిక స్థిరత్వాన్ని పొందుతుంది. పటం 21.2(a) తీగ గుండా విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నప్పుడు అయస్కాంత సూచిక పటం 21.2(b) లో చూపినట్లు అపవర్తనం చెందుతుంది. విద్యుత్ ప్రవాహ దిశను మారిస్తే సూచికలో అపవర్తనం కూడా పటం 21.2(c) లో చూపినట్లు, వ్యతిరేకంగా ఉంటుంది. ఒక అయస్కాంత సూచికను విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న నిలువు తీగ దగ్గరకు తీసుకొని వెళ్ళినపుడు, అయస్కాంత బలరేఖలు తీగ చుట్టూ ఏక కేంద్ర వృత్తాలుగా పటం 21.2(d) లో చూపినట్లు ఉంటాయి.



(a) విద్యుత్ ప్రవాహం లేదు, అపవర్తనం లేదు.



(b) ఉత్తరం వైపు విద్యుత్ ప్రవాహం, పడమర వైపు, ఉత్తర ధ్రువం యొక్క అపవర్తనం.



(c) విద్యుత్ ప్రవాహం వ్యతిరేక దిశలో ఉంటే, అపవర్తనం దిశ కూడ వ్యతిరేక దిశలో ఉంటుంది.

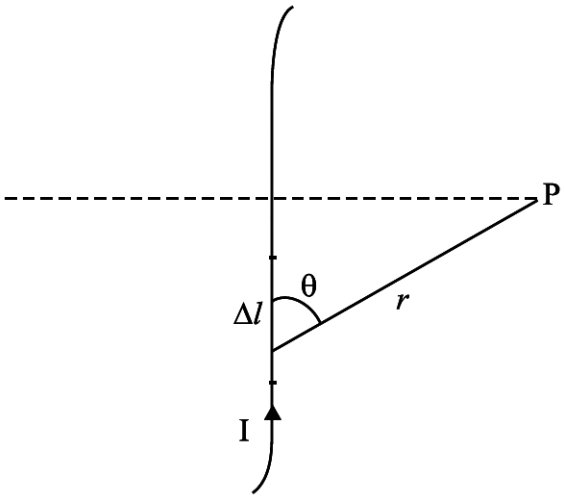
(d) తిన్నని వాహకం గుండా విద్యుత్ ప్రవాహం వల్ల వాహకం చుట్టూ ఏర్పడిన వృత్తాకార బలరేఖలు.

పటం 21.2 : విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న వాహకం చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రం.

డెన్‌మార్క్‌లోని కొపెన్‌హాగెన్ లో భౌతికశాస్త్రం ఆచార్యులుగా ఉండే హన్స్ క్రిష్టియన్ ఆయర్‌స్టెడ్, 1820 సంవత్సరంలో ఇటువంటి ప్రయోగాలు చేసి, విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న వాహకం చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రం ఏర్పడుతుందని గమనించారు.

21.3 బయోట్ - సవర్ట్ నియమం (Biot-Savart's Law)

బయోట్ – సవర్ట్ నియమం, వాహకంలో ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహానికి ఫలితంగా దాని చుట్టూ ఏర్పడే అయస్కాంత క్షేత్రానికి మధ్య నుండే పరిమాణాత్మక సంబంధాన్ని ఇస్తుంది. విద్యుత్ ప్రవాహమున్న వాహకం ప్రతి భాగం కూడ వాహకం చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని ఏర్పరచడానికి తోడ్పడుతుంది. అందువల్ల వాహకం అన్ని భాగాల యొక్క ప్రభావాలను కలిపితే ఒక బిందువు వద్ద B నికర విలువ వస్తుంది. పటం 21.3లో చూపినట్లుగా విద్యుత్ ప్రవాహమున్న వాహకం వల్ల ఏర్పడే నికర అయస్కాంత క్షేత్రం, విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న Δl పొడవు గల అల్పాంశాల వల్ల ఏర్పడిన క్షేత్రాల సదిశల మొత్తానికి సమానం.



పటం 21.3 : విద్యుత్ ప్రవాహమున్న అల్పాంశం Δl వల్ల P వద్ద అయస్కాంత క్షేత్రం

ప్రయోగాల ప్రకారం, Δl అల్పాంశం వల్ల ఏర్పడిన క్షేత్రం ΔB_0 ఈ కింది వాటి పై ఆధారపడి ఉంటుంది.

1) వాహకం గుండా ప్రవహించే విద్యుత్తు I కి అనులోమానుపాతంలో

2) అల్పాంశం పొడవు Δl కి అనులోమానుపాతంలో

3) ప్రవాహ అల్పాంశం నుంచి P బిందువుకి గల దూరం యొక్క వర్గానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

4) అల్పాంశంకి, అల్పాంశంను, P బిందువును కలిపే రేఖ మధ్య గల కోణం యొక్క సైన్ విలువకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

వీటన్నింటిని జతపరచడం ద్వారా ఈ కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$|\Delta B_0| \propto \frac{I\,\Delta l\,\sin\theta}{r^2}$$

$$|\Delta B_0| = \frac{\mu_0}{4\pi}\,\frac{I\,\Delta l\sin\theta}{r^2} \qquad (21.1)$$

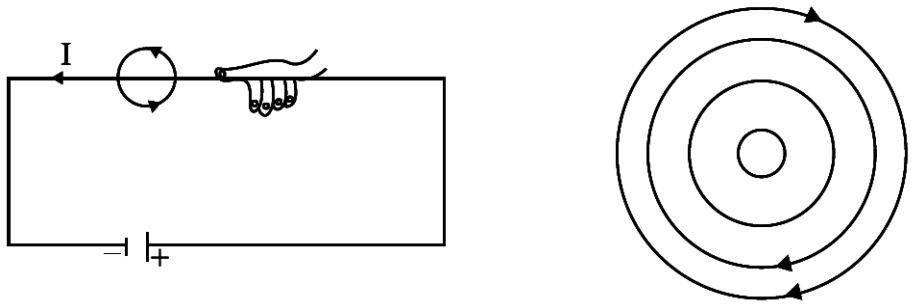
ఇక్కడ μ_0 అనేది శూన్య యానకం ప్రవేశ్య శీలత. దీని విలువ $4\pi \times 10^{-7}$ Wb A^{-1} m^{-1}. గాలి ప్రవేశ్య శీలత విలువ కూడ సుమారుగా μ_0 కు సమానంగా ఉంటుంది.

వాహకంను, గాలి కాక వేరే ఏదైనా ఇతర యానకంలో ఉంచినపుడు, అయస్కాంత క్షేత్ర విలువ మారుతుంది. అపుడు క్షేత్ర విలువను కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$B = \mu\, B_0.$$

ఇక్కడ μ అనేది యానకం ప్రవేశ్య శీలత.

B యొక్క దిశ : ఒక బిందువు వద్ద గల అయస్కాంత క్షేత్రం సదిశ రాశి. B యొక్క దిశను కుడిచేతి నియమం ను అనువర్తించి కనుక్కోవచ్చు. ఈ నియమాన్ని అనువర్తించడానికి, కొన్ని సరళ సందర్భాలలో ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్రాల దిశలను తీసుకుందాం. పటం 21.4(a)లో చూపినట్లుగా, కుడిచేతిలో ఒక విద్యుత్ ప్రవాహమున్న వాహకాన్ని చేయి బొటనవేలు ప్రవాహ దిశను సూచిస్తున్నట్లుగా పట్టుకున్నారనుకోండి. అప్పుడు మూసి ఉన్న మిగతా వేళ్ళు వాహకం చుట్టూ ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్ర దిశను సూచిస్తాయి. కాగితం మీద అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని సూచించడానికి, కాగితం తలం లోపలికి విద్యుత్ ప్రవహిస్తుందని అనుకుందాం. అపుడు కుడి చేతి నియమం ప్రకారం, అయస్కాంత క్షేత్ర బలరేఖలు కాగితం తలంలో ఉంటాయి (పటం 21.4 (b)).



(a) కుడిచేతి నియమం : విద్యుత్ ప్రవాహ దిశలో బొటన వేలు, మూసి ఉన్న మిగతా వేళ్ళ దిశలో అయస్కాంత క్షేత్ర బల రేఖలు.

(b) కుడి చేతి నియమం ప్రకారం, విద్యుత్ ప్రవాహం కాగితం తలం లోపలికి ఉన్నపుడు, అయస్కాంత క్షేత్ర బలరేఖలు కాగితం తలంలో ఉంటాయి.

పటం 21.4 : అయస్కాంత క్షేత్ర దిశ

21.3.1 బయోట్ - సవర్ట్ నియమం అనువర్తనాలు

అయస్కాంత క్షేత్రం యొక్క పరిమాణాన్ని బయోట్ - సవర్ట్ నియమం ఇస్తుందని మీకు తెలుసు. ఇప్పుడు దీన్ని అనువర్తించి, మనం వేరు వేరు ఆకారాలు గల వాహకాల చుట్టూ ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్రాలను కనుక్కుందాం. వాహకం అల్పాంశాల సముదాయం కాబట్టి ప్రతి అల్పాంశం వల్ల ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్రాలను కలపడం వల్ల

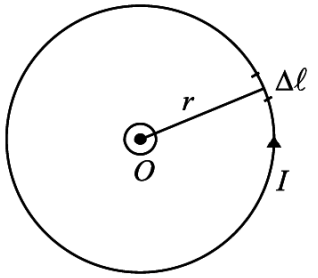
వాహకం వల్ల ఏర్పడిన నికర అయస్కాంత క్షేత్రం ను కనుక్కోవచ్చు. మొదట విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న తీగ చుట్టను తీసుకుని, దాని కేంద్రం వద్ద ఏర్పడే అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని కనుక్కుందాం.

విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న తీగచుట్ట కేంద్రం వద్ద ఏర్పడే అయస్కాంత క్షేత్రం

పటం 21.5 ను గమనించండి. అది విద్యుత్తు I ప్రవహిస్తున్న r వ్యాసార్ధం గల, తీగ చుట్టను చూపుతుంది. తీగ చుట్ట కేంద్రం O వద్ద ఏర్పడే అయస్కాంత క్షేత్రం కనుక్కోవడానికి, చుట్టపైన అనే విద్యుత్తు ప్రవాహమున్న అల్పాంశంను తీసుకోవాలి. విద్యుత్ ప్రవాహమున్న అల్పాంశం Δl , r ల మధ్య కోణం 90° అని గమనించండి. Δl వల్ల కేంద్రం O వద్ద ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్రం, సమీకరణం (21.1) నుంచి ఈ కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$|\Delta B| = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{\Delta l}{r^2} \sin 90°$$

$$|\Delta B| = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{\Delta l}{r^2} \qquad (\text{as } \sin 90° = 1)$$



పటం 21.5 : విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న వృత్తాకార తీగచుట్ట.

ΔB దిశ తీగచుట్ట తలానికి లంబంగా ఉంటుంది. తీగచుట్టలోని ప్రతి అల్పాంశం వల్ల ఏర్పడిన క్షేత్రాలు అన్నీ ఒకే దిశలో ఉంటాయి కాబట్టి, వాటన్నింటినీ కలిపితే కేంద్రం వద్ద ఫలిత క్షేత్రం వస్తుంది.

$$|B| = \Sigma|\Delta B| = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} \Sigma \Delta l = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2}(2\pi r)$$

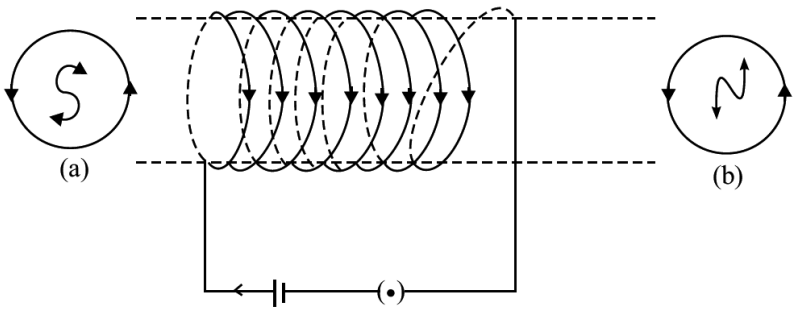
విద్యుత్ I ప్రవహిస్తున్న, r వ్యాసార్ధం గల తీగ చుట్ట కేంద్రం వద్ద ఏర్పడే అయస్కాంత క్షేత్రంను ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$|B| = \frac{\mu_0 I}{2r} \qquad (21.2)$$

తీసుకున్న తీగచుట్టలో ఒకటి కంటే ఎక్కువ చుట్లు ఉన్నపుడు (n చుట్లు ఉన్నట్లయితే), అయస్కాంత క్షేత్రం విలువ

$$|B| = \frac{\mu_0 nI}{2r} \qquad (21.3)$$

పటం 21.4 లో ఇచ్చిన నియమాన్ని ఉపయోగించి, నికర క్షేత్ర దిశను మీరు పరిశీలించుకోవచ్చు. తీగచుట్ట ఏ భాగంలోనయినా కుడిచేతి నియమాన్ని ఉపయోగించి, మీరు అదే ఫలితాన్ని పొందుతారు. (విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న తీగచుట్ట వల్ల ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్ర దిశను గుర్తించడానికి మరొక సులభమయిన నియమం ఉంది, దానిని చివరి నియమం (End-rule) అంటారు. పటం 21.6 (a), (b) లలో దీనిని చూపించాం.



పటం 21.6 : అయస్కాంత క్షేత్ర దిశ : చివరి నియమం (End-rule)

తీగచుట్ట ఏదైనా ఒక చివరను ఒక పరిశీలకుడు గమనించినపుడు, సవ్య దిశలో విద్యుత్ ప్రవాహం ఉంటే, తీగచుట్ట ముఖం (తలం) తుల్య అయస్కాంత దక్షిణ ధ్రువంగా ప్రవర్తిస్తుంది, అంటే B యొక్క దిశ లోపలి వైపు ఉంటుంది. అపసవ్య దిశలో విద్యుత్ ప్రవాహం ఉంటే, తీగచుట్ట ముఖం, తుల్య అయస్కాంత ఉత్తర ధ్రువంగా ప్రవర్తిస్తుంది లేదా క్షేత్ర దిశ ఆ చివర నుండి బయటి వైపుకు ఉంటుంది.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 21.1

1. (i) ఒక స్థిర ఎలక్ట్రాను (ii) ఒక కదిలే ఎలక్ట్రాను వల్ల ఏర్పడే క్షేత్రం గురించి మీరు ఏమి చెప్పగలరు?
2. ఉష్ణశక్తి వల్ల వాహకం లోని ఎలక్ట్రాన్లు స్థిరమైన చలనంలో ఉంటాయి. వాహకం కొనల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా అనువర్తించే వరకు, అవి ఎందుకు అయస్కాంతత్వంను చూపించవు.
3. పొడవయిన తీగలో విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నది. దీనిని మొదట ఒక చుట్టు గల తీగచుట్టగా, తరువాత తక్కువ వ్యాసార్ధం గల రెండు చుట్ల తీగచుట్టగా చేశారు. తీగచుట్ట కేంద్రం వద్ద అయస్కాంత క్షేత్రం మారుతుందా ? మారితే ఎందుకు, ఎంత మారుతుంది.

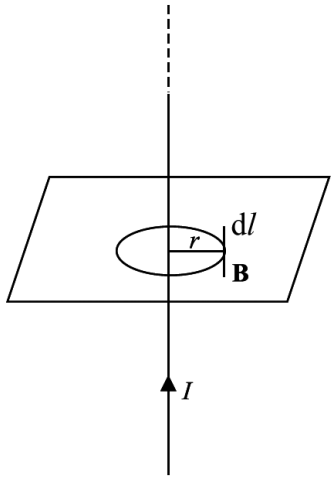
ఆంద్రి మేరి ఆంపియర్ (1775 – 1836)

ఫ్రెంచ్ భౌతికశాస్త్రవేత్త, గణితవేత్త, రసాయనశాస్త్రవేత్త అయిన ఆంపియర్ బాలమేధావి. ఇతను 12 సంవత్సరాల వయస్సులోనే అధునాతన గణితంలో పట్టు సాధించాడు. సైద్ధాంతిక పరిజ్ఞానం, ప్రయోగాత్మక నైపుణ్యం కలిపి, ఆంపియర్ ఎన్నో కష్టతరమైన ప్రయోగాలు చేసి వాటి ఫలితాలను విద్యుత్ గతిశాస్త్రం సిద్ధాంతాలుగా ప్రచురించారు. ఇవి విద్యుత్, దాని అయస్కాంత ఫలితాలకు గణిత శాస్త్ర రుజువులను ఇస్తాయి. ఆంపియర్ గౌరవార్థం విద్యుత్ ప్రవాహం ప్రమాణాన్ని అతని పేరు మీద పిలుస్తారు. అతను పనిలో పడిపోయి పురస్కారాలను, గౌరవాలను పట్టించుకునే వారు కాదు. చక్రవర్తి నెపోలియన్, తనతో విందు చేయవలసిందిగా పంపిన ఆహ్వానాన్ని కూడ ఒకసారి అతను మరచిపోయారు. అతని సమాధి పై ఆఖరుకు సంతోషం (Happy at last) అనే వాక్యం రాయబడింది. దీని వల్ల అతని జీవితమంతా బాధతో, కష్టాలతో గడిచిందని తెలుస్తుంది. కాని అతని సృజనాత్మకతను ఇది ఏ మాత్రం తగ్గించలేదు.

21.4 ఆంపియర్ వలయ నియమం

విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న వాహకం చుట్టూ ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్రంను మరొక పద్ధతిలో లెక్కించడానికి ఆంపియర్ వలయ నియమాన్ని ఉపయోగిస్తారు.

విద్యుత్ ప్రవాహం గల తిన్నని వాహకం చుట్టూ వ్యాసార్థం గల ఒక సంవృత వలయాన్ని, పటం 21.7 లో చూపినట్లు, పరిగణించండి. ఆంపియర్ వలయ నియమం ఒక సంవృత వలయం చుట్టూ గల అయస్కాంత క్షేత్రం B యొక్క రేఖీయ సమాకలనం, మొత్తం విద్యుత్తు 'I' కి μ_0 రెట్లు ఉంటుందని చెపుతుంది. గణితశాస్త్రంలో దీనిని మనం ఈ కింది విధంగా రాస్తాం.



పటం 21.7 : ఆంపియర్ వలయ నియమం.

$$\oint B.dl = \mu_0 I \qquad (21.4)$$

ఇక్కడ 'dl' అనేది సంవృత వలయం వెంబడి చిన్న పొడవు.

సంవృత వలయం ఆకారం లేదా పరిమాణం పైన ఇది ఆధారపడదని గమనించండి.

21.4.1 ఆంపియర్ వలయ నియమం అనువర్తనాలు

మనం ఇపుడు ఆంపియర్ వలయ నియమాన్ని అనువర్తించి, రెండు సరళమైన పరిస్థితులలో అయస్కాంత క్షేత్రంను కనుక్కుందాం.

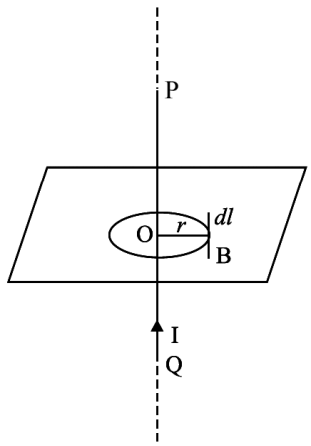
(a) విద్యుత్ ప్రవాహం ఉన్న తిన్నని పొడవైన వాహకం వల్ల అయస్కాంత క్షేత్రం : Refer to పటం 21.8.లో చూపినట్లు అనంతమైన పొడవు ఉన్న తీన్నని వాహకం POQ లో I విద్యుత్ ప్రవహిస్తోంది. వాహకాన్ని కేంద్రంగా తీసుకుని, r వ్యాసార్థం ఉన్న ఒక వృత్తాన్ని పటంలో చూపినట్లు నిర్మించారనుకోండి. అప్పుడు

$$\Sigma B.\ dl = B\ (2\pi r)$$

ఆంపియర్ వలయ నియమాన్ని అనువర్తించి, మనం ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$\Sigma B.\ dl = |B|\ (2\pi r) = \mu_0 I$$

లేదా $$|B| = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \qquad (21.5)$$

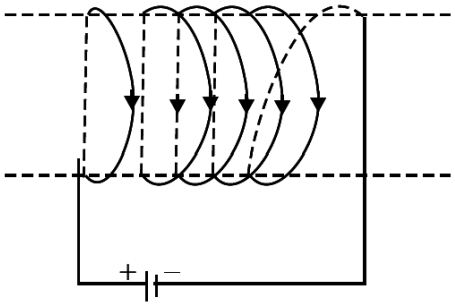


పటం 21.8 : విద్యుత్ ప్రవాహమున్న అనంతమైన పొడవు ఉన్న తీన్నని వాహకం

పై సమీకరణం, విద్యుత్ ప్రవాహమున్న అనంతమైన పొడవు గల వాహకం చుట్టూ ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్రం ను ఇస్తుంది.

సోలెనాయిడ్, టొరాయిడ్ లను ఎక్కువగా మోటారులు, జనరేటర్‌లు, ఆట వస్తువులు, ఫ్యాన్ – చుట్లు, విద్యుదయస్కాంతాలు. ట్రాన్స్‌ఫార్మర్‌లు మొదలగు వాటిలో వాడతారు. వీటిని ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంను ఏర్పరచడానికి వాడతారు. హెచ్చు అయస్కాంత క్షేత్రాలు మనకు అవసరమైనపుడు, మెత్తని (రీళితీశి) ఇనుమును తీగచుట్టలో ఉంచుతారు.

(b) **ఒక సోలెనాయిడ్ వల్ల ఏర్పడే అయస్కాంత క్షేత్రం :** పొడవైన, అతి దగ్గరగా చుట్టబడిన సర్పిలాకారపు తీగచుట్టనే సోలెనాయిడ్ అంటారు. దీనిని పటం 21.9 లో చూపించాం. I విద్యుత్ ప్రవాహమున్న తీగ చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రం ఏర్పడుతుందని మనకు తెలుసు. సొలెనాయిడ్ పొడవు L, దానిలో ప్రమాణ పొడవుకు గల చుట్ల సంఖ్య n అనుకుందాం. అప్పుడు ఈ పొలెనాయిడ్‌చే ఆవృతమైన విద్యుత్ ప్రవాహం $I_e = I\,(nL)$ ఆంపియర్ వలయ నియమం నుండి



పటం 21.9 : సొలెనాయిడ్

$$B.L = \mu_0 I_e \quad \text{లేదా}$$

$$B.L = \mu_0 I\,(nL)$$

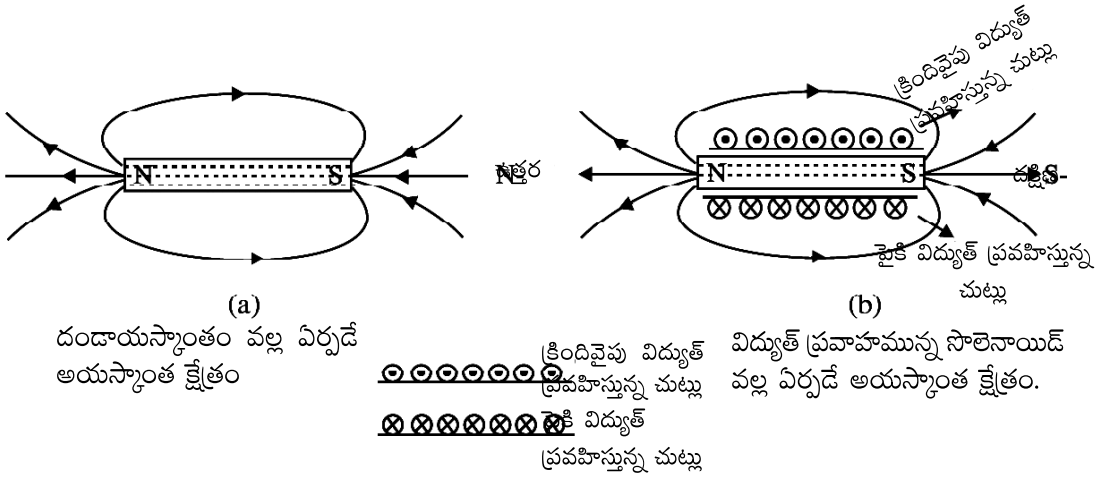
$$|B| = \mu_0 nI$$

సొలెనాయిడ్ అక్షం వెంబడి, అయస్కాంత క్షేత్ర దిశ ఉంటుంది. ఒక తిన్నని సొలెనాయిడ్ అనంతం కాదు. కాబట్టి పొడవాటి లోపల సొలెనాయిడ్, దాని కేంద్రం దగ్గర $|B| = \mu_0 nI$ సరి అయినది.

తక్కువ వ్యాసార్థం కలిగిన సొలెనాయిడ్‌లకు, దాని చివరల వద్ద గల B పరిమాణం ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$|B| = \frac{\mu_0 nI}{2} \qquad (21.6)$$

సొలెనాయిడ్ గుండా విద్యుత్ ప్రవహించినప్పుడు, దాని చుట్టూ అది అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని ఉత్పత్తి చేస్తుంది. సొలెనాయిడ్, దండయస్కాంతం వలే ప్రవర్తిస్తుంది, మరియు అయస్కాంత క్షేత్రం పటం 21.10 లో చూపించిన విధంగా ఉంటుంది.



పటం 21.10 : దండాయస్కాంతం లాగా సొలెనాయిడ్ ప్రవర్తించడం

ఉదాహరణ 21.1

50 cm పొడవు ఉన్న సొలెనాయిడ్, ప్రతీ దానిలో 250 చుట్లు ఉన్న 3 పొరల చుట్లను కలిగి ఉంది. అన్నింటికంటే కింద వున్న పొర వ్యాసార్ధం 2 cm దాని గుండా ప్రవహించే విద్యుత్ 4.0 A అయితే (a) సొలెనాయిడ్ కేంద్రం దగ్గర, అక్షం మీద మరియు అక్షం గుండా (b) దాని అక్షం చివరల దగ్గర (c) సొలెనాయిడ్ బయట దాని మధ్యలో గల B పరిమాణాన్ని లెక్కించండి.

సాధన :

a) కేంద్రం వద్ద లేదా సొలెనాయిడ్‌కి దగ్గరగా

$$|B| = \mu_0 nI$$

$$= 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{3\times 250}{0.5} \times 4$$

$$= 16\mu \times 1500 \times 10^{-7}\ T$$

$$= 24\pi \times 10^{-4}\ T$$

b) చివరల వద్ద

$$B_{ends} = \frac{1}{2}B_{centre} = \frac{1}{2}(24\pi \times 10^{-4}\ T)$$

$$= 12\pi \times 10^{-4}\ T$$

c) సొలెనాయిడ్ బయట, అయస్కాంత క్షేత్రం సున్నా.

ఉదాహరణ 21.2

ఒక తిన్నని పొడవైన తీగలో 12 A విద్యుత్ ప్రవాహం ప్రవహిస్తోంది. తీగ నుంచి ఎంత దూరంలో అయస్కాంత క్షేత్రం 3×10^{-5} T ఏర్పడుతుందో, కనుక్కోండి.

సాధన :

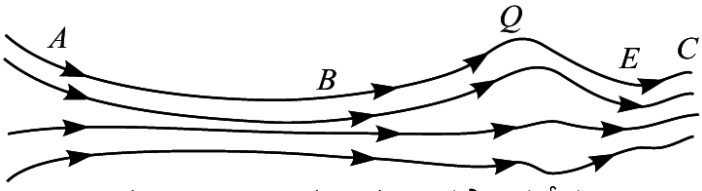
$$|B| = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \Rightarrow r = \frac{\mu_0 I}{2\pi B}$$

$$r = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 12}{2\pi \times 3 \times 10^{-5}} = 0.25\,m$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 21.2

1. అయస్కాంత క్షేత్ర బలరేఖల చిత్రీకరణ ఇచ్చే సమాచారం (a) క్షేత్ర దిశ మాత్రమే (b) క్షేత్ర పరిమాణం మాత్రమే (c) క్షేత్ర దిశ, పరిమాణం రెండింటినీ (d) క్షేత్రం యొక్క బలం
2. బయోట్ – సవర్ట్ నియమం, ఆంపియర్ వలయ నియమాల నుండి తెలుసుకునే ఉమ్మడి విషయం ఏమిటి?

3. ఈ కింద చూపిన ఏకరీతి గాని అయస్కాంత క్షేత్రం యొక్క బలరేఖల చిత్రం లో ఏ బిందువు వద్ద క్షేత్రం (i) ఏకరీతిగా ఉంది, (ii) బలహీనంగా ఉంది (iii) బలం గా ఉంది.



పటం 21.11 : ఒక విలక్షణ అయస్కాంత క్షేత్రం

4. 3 A విద్యుత్, 10 cm పొడవు ఉన్న సొలెనాయిడ్ గుండా ప్రవహించినపుడు, దాని లోపల గల అయస్కాంత క్షేత్రం 0.002 T. దానిలో ఉన్న చుట్ల సంఖ్యను కనుక్కోండి.

21.5 అయస్కాంత క్షేత్రంలో చలనం లో ఉండే ఆవేశం పై పనిచేసే బలం

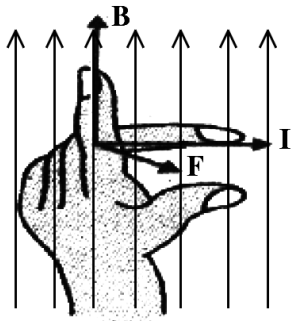
అయస్కాంత క్షేత్రంలో, ఆవేశిత వస్తువు చలనంలో ఉంటే, అది బలానికి లోనవుతుంది. ఆవేశిత వస్తువు ఈ విధంగా బలాన్నే లోరెంట్జ్ బలం (Lorentz force) అంటారు. +q ఆవేశం కలిగి, **B** అయస్కాంత క్షేత్రంలో, v వేగంతో కదిలే కణం పై గల లోరెంట్జ్ బలం.

$$\mathbf{F} = q\,(v \times \mathbf{B}) \qquad \text{లేదా}$$

$$|\mathbf{F}| = q\,v\,\mathbf{B}\,\sin\theta \qquad (21.7)$$

ఇక్కడ v, B దిశల మధ్య కోణం θ. F దిశను ఫ్లెమింగ్ ఎడమ చేయి నిబంధన ద్వారా పొందవచ్చు.

ఫ్లెమింగ్ ఎడమ చేతి నిబంధన, ప్రకారం ఎడమ చేతి బొటనవేలు, చూపుడు వేలు, మధ్య వేలు పరస్పరం లంబంగా ఉండేట్లు, మన ఎడమ చేతిని చాచినప్పుడు, చూపుడు వేలు అయస్కాంత క్షేత్రం దిశను, మధ్య వేలు క్షేత్రం లోని ధనావేశ వేగం దిశను సూచిస్తే, లోరెంట్జ్ బలం దిశను బొటనవేలు సూచిస్తుంది. (పటం 21.12).



పటం 21.12 : ఫ్లెమింగ్ ఎడమ చేతి నిబంధన

గుర్తుంచుకోవలసిన కొన్ని ముఖ్యమయిన విషయాలు.

- **F** అనేది ఒక యాంత్రిక బలం. దీనివల్ల ఆవేశిత వస్తువు చలనానికి గురవుతుంది.
- బలం దిశను, ఫ్లెమింగ్ ఎడమ చేతి నిబంధన ద్వారా పొందవచ్చు.
- రుణావేశాలకు, మధ్యవేలును ఆవేశ చలనం యొక్క వ్యతిరేక దిశలో ఉంచాలి.
- ఆవేశం విరామస్థితికి రాగానే, బలం సున్నా అవుతుంది.
- అయస్కాంత క్షేత్రం **B** వెంబడి ఆవేశాలు చలిస్తే, బలం సున్నా అవుతుంది.
- ఆవేశాలు, క్షేత్రానికి లంబంగా చలించినపుడు, బలం గరిష్ఠంగా ఉంటుంది, F = qv**B**.

21.6 ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలోని విద్యుత్ ప్రవాహం కలిగిన వాహకం మీద బలం

లోరెంట్జ్ బలం భావనను సులభంగా ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రం **B** లో ఉంచిన విద్యుత్ ప్రవాహమున్న వాహకాలకు పొడిగించవచ్చు. అయస్కాంత క్షేత్రం, కాగితం తలానికి సమాంతరంగా ఉందనుకుందాం. Δl పొడవు, I విద్యుత్ ప్రవాహం ఉన్న వాహకాన్ని క్షేత్రానికి లంబంగా ఉంచారు. విద్యుత్ ప్రవాహం, v_d డ్రిఫ్ట్ వేగంతో కింది వైపు ప్రవహిస్తోందని అనుకుందాం. కాబట్టి విద్యుత్ ప్రవాహం కలగచేసే ప్రతి ఎలక్ట్రాను పై గల లోరెంజ్ బలం, $\mathbf{F} = e\, v_d \mathbf{B}$.

వాహకంలో N ఎలక్ట్రానులు ఉంటే, దాని పై గల నికర బలం,

$$\mathbf{F} = N\, e\, v_d \mathbf{B} = (nA\, \Delta l)\, e\, v_d \mathbf{B} \qquad (21.8)$$

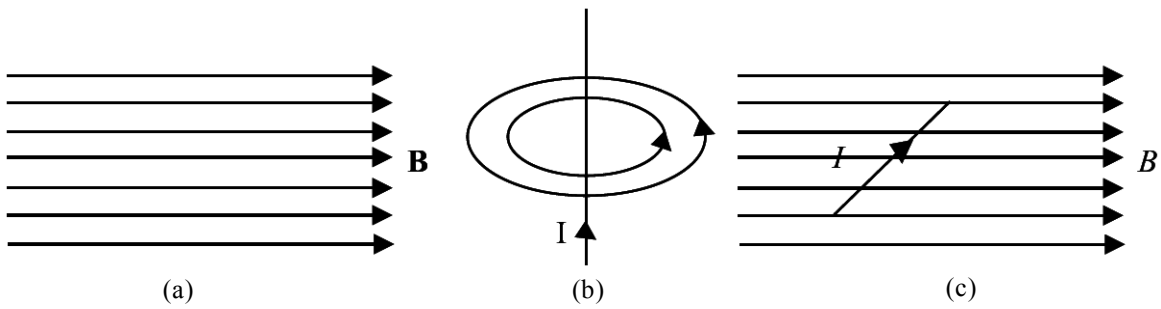
ఇక్కడ n అనేది ఏకాంక లేదా ప్రమాణ ఘనపరిమణంకు గల స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రానుల సంఖ్య.

కాని $neAv_d = I$.

$$\mathbf{F} = I\, \Delta l\, \mathbf{B} \qquad (21.9)$$

వాహకం, పటం 21.13 (c) లో చూపినట్లు **B** తో θ కోణం చేసినట్లయితే, అపుడు

$$|\mathbf{F}| = I\, \Delta l\, \mathbf{B} \sin\theta \qquad (21.9\ a)$$



పటం 21.13 : (a) విద్యుత్ ప్రవాహమున్న వాహకం పై పనిచేసే బలం (b) ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రం (c) విద్యుత్ ప్రవాహమున్న వాహకం క్షేత్రదిశకు కోణం లో ఉన్నప్పుడు వాహకంపై క్షేత్రదిశకు లంబంగా ఉన్నప్పుడు వాహకంపై పనిచేసే బలం

విద్యుత్ ప్రవాహ దిశ, అయస్కాంత క్షేత్ర దిశలో ఉంటే అప్పుడు $\theta = 0$ పటం 21.13 (a) లో చూపినట్లు పటం 21.13 (b) లో చూపినట్లు, విద్యుత్ ప్రవాహ దిశ అయస్కాంత క్షేత్రానికి లంబంగా ఉంటే $\theta = 90°$ అవుతుంది. అప్పుడు వాహకంపై గరిష్ఠ బలం, $\mathbf{F} = I\, \Delta l\, \mathbf{B}$ పనిచేస్తుంది.

బలం దిశను ఫ్లెమింగ్ ఎడమ చేతి నిబంధన ద్వారా పొందవచ్చు.

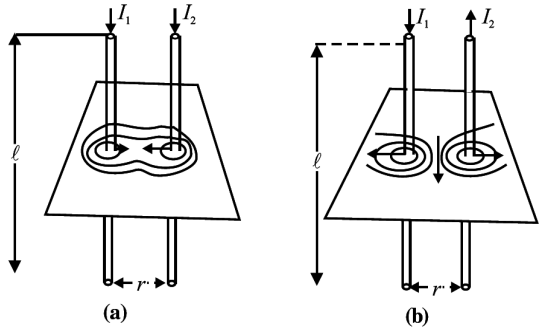
అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రమాణాన్ని, విద్యుత్ ప్రవాహమున్న వాహకం అయస్కాంత క్షేత్రంలో లోనయ్యే బలం పదాలతో నిర్వచించటానికి, సమీకరణం (21.9) ను ఉపయోగిస్తాం. పదాలను సరిచేసి, సమీకరణాన్ని ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$\mathbf{B} = \frac{\mathbf{F}}{\mathrm{I}\Delta l}$$

F ను న్యూటన్‌లో, I ను ఆంపియర్‌లో, Δl ను మీటరు లో తీసుకుంటాం కాబట్టి B ప్రమాణం $\mathrm{N\,A^{-1}m^{-1}}$. దీనిని టెస్లా (T) అంటారు.

21.7 విద్యుత్ ప్రవహించే రెండు తిన్నని సమాంతర తీగల మధ్య బలం

ప్రతి విద్యుత్ ప్రవాహం ఉన్న వాహకం చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రం ఉంటుందని మీకు తెలుసు. అంటే ఇది దగ్గరగా ఉన్న విద్యుత్ ప్రవాహం గల మరొక వాహకం పై బలాన్ని ప్రదర్శిస్తుంది. విద్యుత్ ప్రవహించే రెండు తిన్నని సమాంతర వాహకాల మధ్య పని చేసే బలం అన్యోన్యమయినది మరియు అయస్కాంతం నుంచి ఉత్పత్తి అయినది. విద్యుత్ ప్రవాహం కల తీగ నికర ఆవేశం ను కలిగి ఉండదు. కాబట్టి విద్యుత్ పరంగా దాని మాదిరిగా ఉండే మరొక తీగ తో అన్యోన్య చర్య జరపదు.



పటం 21.14 : విద్యుత్ ప్రవాహమున్న రెండు సమాంతర తీగల మధ్య ఉండే బలాన్ని ప్రయోగ పూర్వకంగా నిరూపణ చేయడం

రెండు సమాంతర తీగలు పటం 21.14 లో చూపినట్లు r దూరంలో ఎడంగా ఉన్నాయి. వీటిలో వరసగా I_1, I_2 విద్యుత్ ప్రవాహాలు ప్రవహిస్తున్నాయి అనుకుందాం. మొదటి తీగ వల్ల, r దూరంలో గల అయస్కాంత క్షేత్రం, $B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}$. అదే విధంగా రెండవ తీగ వల్ల, దాని నుంచి r దూరంలో గల అయస్కాంత క్షేత్రం, $B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r}$. ఈ క్షేత్రాలు, తీగల పొడవుకు లంబంగా ఉంటాయి. పొడవు l కలిగి విద్యుత్ ప్రవాహమున్న వేరొక వాహకం పై పనిచేసే బలం.

$$F = BI\,l = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} I_2 l$$

లేదా ఏకాంక పొడవు పై పనిచేసే బలం

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} \qquad (21.10)$$

విద్యుత్ ప్రవాహాలు ఒకే దిశలో ఉంటే బలాలు ఆకర్షిత బలాలు మరియు విద్యుత్ ప్రవాహాలు వ్యతిరేక దిశలో ఉంటే అవి వికర్షిత బలాలు. సమీకరణం (21.10) ను, విద్యుత్ ప్రవాహం ప్రమాణాన్ని నిర్వచించటానికి ఉపయోగించవచ్చు. $I_1 = I_2 = 1$ A, $l = 1$ m, r = 1 m అయితే, అపుడు

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} = 2\times 10^{-7}\,\mathrm{N}$$

అనంతమైన పొడవు ఉన్న రెండు తిన్నని సమాంతర విద్యుత్ వాహకాలను ఉంచినప్పుడు, వాటి ద్వారా ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహం ఈ ప్రతి వాహకంపై మీటర్ పొడవుకు 2×10^{-7} N m^{-1} బలానికి సమానమైన బలాన్ని ఉత్పత్తి చేయగలిగితే ఆ విద్యుత్ ప్రవాహం విలువ ఒక ఆంపియర్‌కు సమానం.

21.8 ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రం లో కదిలే ఆవేశం

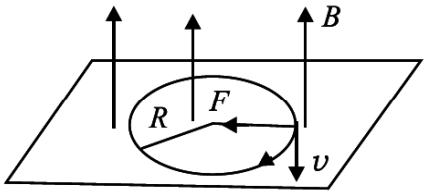
ఇపుడు మనం వివిధ సందర్భాలలో అయస్కాంత క్షేత్రంలో కదిలే ఆవేశం పై, విద్యుత్ ప్రవాహం ఉన్న వాహకం పై పనిచేసే లోరెంట్జ్ బలం గురించి ఆలోచించగలం. వస్తువు పై బలం చేసే పని, వస్తువు చలన దిశలో గల దాని అంశం పై ఆధారపడుతుంది. అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఆవేశిత కణం పై పనిచేసే బలం, కణం చలన దిశకు లంబంగా ఉంటే, ఏ పని జరగదు. కాబట్టి కణం అపవర్తనం చెందినప్పటికీ, అదే వేగం v ని, గతిజ శక్తిని కలిగి ఉంటుంది. మరొక వైపు విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఆవేశిత కణం యొక్క వేగం, శక్తి, కణం పై పనిచేసే క్షేత్ర బలం వల్ల ప్రభావితం అవుతాయి. ఆవేశిత కణం పై ప్రతి స్థానంలో దాని చలనానికి లంబంగా బలం పనిచేయడం వల్ల అయస్కాంత క్షేత్రానికి లంబంగా చలించే ఆవేశం వృత్తాకార పథం ను అనుసరిస్తుంది (పటం 21.15). ఆవేశిత కణం చలించే వృత్తాకార పథం వ్యాసార్ధం R ను తెలుసుకోవడానికి, అయస్కాంత బలం 'qvB', కణంకు అవసరమైన అభికేంద్ర బలాన్ని $\left(\frac{mv^2}{R}\right)$ ఇచ్చి, వృత్తాకార మార్గంలో చలించే విధంగా చేస్తుందని మనం గమనించాం. అందువల్ల మనం కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

On rearranging, we get

$$R = \frac{mv}{qB} \qquad (21.11)$$

ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలో కదిలే ఆవేశిత కణం అనుసరించిన వృత్తాకార పథం వ్యాసార్ధం, దాని ద్రవ్యవేగం (mv) కు అనులోమానుపాతం లోను, కణం ఆవేశానికి మరియు అయస్కాంత క్షేత్రానికి విలోమానుపాతంలోను ఉంటుంది. అంటే ద్రవ్యవేగం ఎక్కువగా ఉంటే, వృత్తం పెద్దగా ఉంటుంది.



పటం 21.15 : ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఆవేశిత కణం పథం.

క్షేత్రం బలంగా ఉంటే, వృత్తం చిన్నదిగా ఉంటుంది. వృత్తాకార మార్గంలో చలించే కణం భ్రమణ ఆవర్తన కాలం

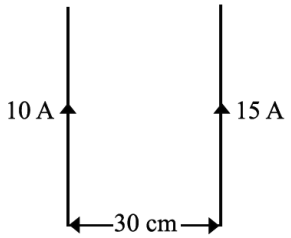
$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{Bq} \qquad (21.12)$$

పై సమీకరణం నుంచి భ్రమణ ఆవర్తన కాలం వేగం మీద, వ్యాసార్ధం మీద ఆధారపడదని తెలుస్తుంది. అంటే ఒకసారి కణం, అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉన్నదంటే అది ఒకే వ్యాసార్ధం గల వృత్తం గుండా అనేక సార్లు తిరుగుతూ ఉంటుంది. m, B, q లు స్థిరంగా ఉంటే v మరియు R లు మారినా కూడా ఆవర్తన కాలం మారదు.

ఇపుడు (a) క్షేత్రం B బలంగా ఉన్నపుడు (b) క్షేత్రం B బలహీనంగా ఉన్నపుడు (c) క్షేత్రం లేనపుడు (d) B దిశ మారినపుడు (e) కణం ఎక్కువ వేగంతో అయస్కాంత క్షేత్రంలోకి ప్రవేశించినపుడు (f) కణం, B తో కోణం చేస్తూ ప్రవేశించినపుడు (g) ఆవేశిత కణం, ఆవేశాన్ని కోల్పోయినపుడు, R మరియు T లకు ఏమవుతుందో ఆలోచించండి.

ఉదాహరణ 21.3

పటం 21.16 ను గమనించండి. 5 m పొడవు, 10 A, 15 A విద్యుత్ ప్రవాహాలు కలిగిన రెండు సమాంతర తీగల మధ్య గల బలాన్ని కనుక్కోండి. ఈ బల స్వభావం ఏమిటి?



పటం 21.16

సాధన : రెండు పొడవైన సమాంతర తీగలలో విద్యుత్ ప్రవాహాలు ఒకే దిశలో ప్రవహిస్తే, ఆ తీగలు ఒకదానినొకటి ఆకర్షించుకుంటాయి.

ఆకర్షణ బలం, $\frac{F}{5} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 15}{2\pi \times 0.3} = 10^{-4}\,\text{Nm}^{-1}$

$\therefore \quad F = 5 \times 10^{-4}\ \text{Nm}^{-1}$

బలం స్వభావం ఆకర్షించేదిగా ఉంటుంది.

ఉదాహరణ 21.4

ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రం 0.2 T లో $3 \times 10^7\ \text{ms}^{-1}$ వేగంతో ఒక ఎలక్ట్రాను వృత్తాకార పథంను క్షేత్రంకు లంబంగా అనుసరిస్తే, ఆ పథం వ్యాసార్ధం ను లెక్కించండి.

సాధన : $R = \frac{mv}{qB}$ అని మనకు తెలుసు.

ఇక్కడ $m_e = 9 \times 10^{-31}$ kg, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $v = 3 \times 10^7\ \text{ms}^{-1}$ మరియు B = 0.2 T.

$$R = \frac{9 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^7}{0.2 \times 1.6 \times 10^{-19}} = 8.5 \times 10^{-4}\,\text{m}$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 21.3

1. ఒక ప్రోటానుల ప్రవాహం, ఎలక్ట్రానుల ప్రవాహం కు సమాంతరంగా వ్యతిరేక దిశలో కదులుతుంటే, వాటి మధ్య గల బల స్వభావం ఏ విధంగా ఉంటుంది?
2. అయస్కాంత మరియు విద్యుత్ క్షేత్రాలు రెండూ ఎలక్ట్రానుని అపవర్తనం చెందిస్తాయి. వాటి మధ్య తేడా ఏమిటి?
3. ఒక వస్తువును నిలువుగా ఉన్న స్ప్రింగుకు వేలాడదీశారు. స్ప్రింగు గుండా విద్యుత్‌ను ప్రవహింపచేసిన, వస్తు స్థానం పై దాని ప్రభావం ఎలా ఉంటుంది.

21.9 ఒక ద్విధ్రువం లాగా పనిచేయడం విద్యుత్ ప్రవాహ లూప్

సమీకరణం (21.2) నుంచి, తీగచుట్ట కేంద్రం వద్ద గల అయస్కాంత క్షేత్రం

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r}$$

పై సమీకరణంలో లవంను, హారంను $2\pi r^2$ తో గుణించగా,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r}\left(\frac{2\pi r^2}{2\pi r^2}\right)$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2IA}{r^3}$$

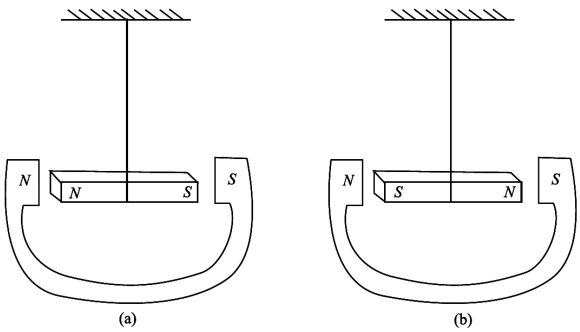
$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2M}{r^3} \qquad (21.13)$$

ఇక్కడ A అనేది లూప్ వైశాల్యం, M (= AI) అనేది అయస్కాంత భ్రామకం. అంటే విద్యుత్ ప్రవాహమున్న లూప్ లేదా తీగ చుట్ట, అయస్కాంత ద్విధ్రువంగా ప్రవర్తిస్తుంది అని ఇది చూపిస్తుంది. లూప్ ఒక ముఖం ఉత్తర ధ్రువం లాగా, మరొకటి దక్షిణ దక్షిణ ధ్రువం లాగా ప్రవర్తిస్తాయి.

ఇపుడు ఒక చిన్న ప్రయోగాన్ని చేద్దాం.

కృత్యం 21.2

పటం 21.17 లో చూపినట్లుగా, ఒక దండాయస్కాంతాన్ని దారం తో గుఱ్ఱపు నాడా అయస్కాంతం ధ్రువాల మధ్య వేలాడదీయాలి.



పటం 21.17 : గుఱ్ఱపు నాడా అయస్కాంతం మధ్యలో వేలాడదీసిన దండాయస్కాంతం

పటం 21.17(a) లో చూపిన దండాయస్కాంతంను కొద్దిగా ప్రక్క వైపుకు స్థానభ్రంశం చెందించిన ఏమవుతుంది? సజాతి ధ్రువాలు వికర్షించుకుంటాయి కాబట్టి, దండాయస్కాంతం పై టార్క్ పనిచేసి, దానిని 180° గుండా తిప్పడానికి ప్రయత్నిస్తుంది. పటం 21.17(b) లో చూపినట్లుగా అది విరామ స్థితికి వస్తుంది. విద్యుత్ వలయం, అయస్కాంతం వలె ప్రవర్తిస్తుంది కాబట్టి, అది బాహ్య క్షేత్రంలో అదే విధంగా విరామ స్థితికి వస్తుంది. 21.10 విద్యుత్ ప్రవాహ లూప్‌కు స్థిర విద్యుత్ సాదృశ్యం స్థిర విద్యుత్తు పాఠంలో మీరు ఈ కింది సమీకరణాలు ఇంతకు ముందే చదివారు.

విద్యుత్ డైపోల్ (ద్విధ్రువం) అక్షం పై అధిక దూరంలో (దాని కేంద్రం నుండి x దూరంలో అనుకోండి) గల బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం,

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{2P}{r^3} \qquad (21.13\ a)$$

విద్యుత్ ప్రవాహమున్న తీగచుట్ట వల్ల దాని అక్షంపై x దూరంలో ఏర్పడే అయస్కాంత క్షేత్రం,

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2\,NIA}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2M}{r^3} \qquad (21.13\ b)$$

ఇక్కడ M అనేది అయస్కాంత డైపోల్ భ్రామకం.

ఈ సమాసాలను పోల్చినపుడు మనకు ఈ కింది సాదృశ్యములు తెలుస్తాయి.

- విద్యుత్ ప్రవాహమున్న లూప్ ఒక అయస్కాంత ద్విధ్రువం లాగా పనిచేస్తుంది. ఆ ద్విధ్రువం యొక్క అయస్కాంత భ్రామకం,

$$M = NIA \qquad (21.13\ c)$$

- విద్యుత్ లూప్ రెండు ముఖాలు, అయస్కాంత ద్విధ్రువం ధ్రువాల మాదిరిగానే వేరుచేయలేనివి.
- ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రంలో విద్యుత్ డైపోల్ ప్రవర్తించినట్లు గానే, ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలో అయస్కాంత డైపోల్ ప్రవర్తిస్తుంది.
- విద్యుత్ డైపోల్ చుట్టూ విద్యుత్ క్షేత్రం ఉంటుంది. అదే విధంగా అయస్కాంత డైపోల్ చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రం ఉంటుంది.

అయస్కాంత డైపోల్ అక్షం పై గల బిందువు వద్ద అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని ఈ కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{2M}{r^3} \qquad (21.13\ d)$$

అయస్కాంత డైపోల్ మధ్యలంబ రేఖ పై గల బిందువు వద్ద అయస్కాంత క్షేత్రం.

$$B = -\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{M}{r^3} \qquad (21.13\ e)$$

స్థిర విద్యుత్ సాదృశ్యం

అయస్కాంత ద్విధ్రువానికి ఉత్పాదించిన సమీకరణం 21.13 d ను, విద్యుత్ ద్విధ్రువ సమీకరణంలో పోల్చి చేస్తే, M అయస్కాంత భ్రామకం గల దండాయస్కాంతం వల్ల సుదూరంలో ఏర్పడే అయస్కాంత క్షేత్రం, విద్యుత్ క్షేత్రంలో P ద్విధ్రువ భ్రామకం గల విద్యుత్ ద్విధ్రువానికి సాదృశ్యంగా ఉంటుందని చెప్పవచ్చు. దీనికి అనురూపంగా ఉండే సంబంధాలను కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$E \rightarrow B, \quad P \rightarrow M, \quad \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \rightarrow \frac{\mu_0}{4\pi}$$

ఉదాహరణ 21.5

అయస్కాంత భ్రామకం (పరమాణువులో కక్ష్యలో పరిభ్రమించే ఎలక్ట్రాన్‌కు ఉండేది) అతి చిన్న విలువను బోర్ మాగ్నటాన్ (Bohr Magneton) అంటారు. $\mu_B = \frac{eh}{4\pi m}$. ఇది ఒక ప్రాథమిక స్థిరాంకం. దాని విలువను కనుక్కోండి.

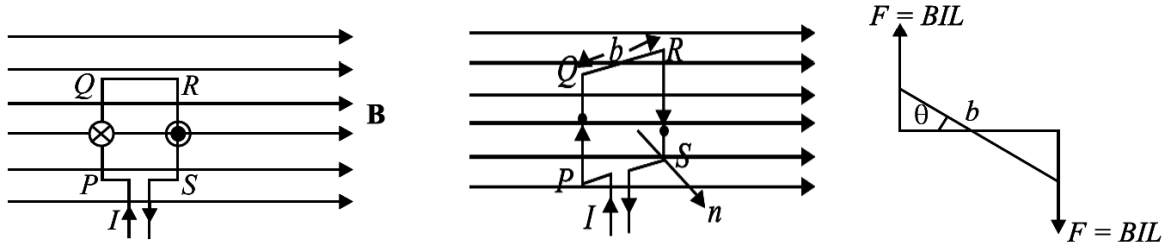
సాధన :

$$\mu_B = \frac{eh}{4\pi m} = \frac{(1.6 \times 10^{-19}\,C) \times (6.6 \times 10^{-34}\,Js)}{4 \times 3.14 \times (9 \times 10^{-31}\,kg)} = 9.34 \times 10^{-24}\,JT^{-1}$$

21.11 విద్యుత్ ప్రవాహమున్న తీగచుట్ట పై పనిచేసే టార్క్

ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రం B లో ఉంచిన విద్యుత్ ప్రవాహమున్న తీగచుట్ట (L & b లు వరుసగా పొడవు, వెడల్పులు) పై నికర బలం కాకుండా, టార్క్ పనిచేస్తుంది. ఈ టార్క్ తీగచుట్టను తిప్పి క్షేత్రదిశకు లంబంగా తీగ తలాన్ని తీసుకురావడానికి ప్రయత్నిస్తుంది. ఈ సూత్రం ఆధారంగానే విద్యుత్ మోటారులు, మీటరులు మొదలగునవి పని చేస్తాయి. ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రం B కి సమాంతర తలంలో గల దీర్ఘ చతురస్రాకార తీగచుట్టలో ప్రతి భుజం పై పనిచేసే బలాన్ని కనుక్కుందాం పటం 21.18 (a)) 'PQRS'

వలయం భుజాలు 'PS', 'QR' లు B కి సమాంతరంగా ఉన్నాయి. కాబట్టి వాటిపై బలం పనిచేయదు. కాని 'PQ', 'RS' భుజాలు B కి లంబంగా ఉన్నాయి. కాబట్టి వాటిపై బలం గరిష్ఠంగా ఉంటుంది. 'PQ', 'RS' లపై పనిచేసే బలదిశను మనం సులభంగా కనుక్కోవచ్చు.



(a) క్షేత్రానికి సమాంతరంగా తీగచుట్ట ఉన్నపుడు

(b) క్షేత్రానికి లంబంగా తీగచుట్ట ఉన్నపుడు.

(c) విద్యుత్ ప్రవాహమున్న తీగ చుట్టపై పనిచేసే టార్క్

పటం 21.18 : దీర్ఘచతురస్రాకార తీగచుట్టలో భుజాలపై పనిచేసే బలం

వాస్తవంగా $|F_{PQ}| = |F_{RS}|$ మరియు అవి వ్యతిరేక దిశలలో ఉన్నాయి. కాబట్టి తీగచుట్ట పై నికర బలం ఏదీ ఉండదు F_{PQ}, F_{RS} లు ఒకే సరళరేఖలో పనిచేయడం లేదు. ఇవి బలయుగ్మంగా మారి టార్క్‌ను కలుగచేసి, తీగచుట్టను తిప్పడానికి ప్రయత్నిస్తాయి. అయస్కాంత క్షేత్రంలో తీగచుట్ట ఏ ఆకారంలో ఉన్నా ఇది వర్తిస్తుంది.

ఒక వేళ తీగచుట్ట తలం అయస్కాంత క్షేత్రానికి లంబంగా ఉంటే, అప్పుడు నికర బలం లేదా టార్క్ ఏదీ ఉండదు. (పటం 21.18 (b) చూడండి).

టార్క్ = బలం × రెండు బలాల మధ్య లంబదూరం = $B\,I\,L\,b \sin\theta$

పటం 21.18 (b) & (c) అనే దీర్ఘ చతురస్రాకార తీగచుట్టను చూపిస్తుంది. దీనిలో Iవిద్యుత్ ప్రవహిస్తుందని అనుకుందాం. అయస్కాంత క్షేత్రం B కి, తీగచుట్ట దీ తలానికి గీసిన లంబానికి మధ్యకోణం θ. అప్పుడు టార్క్

$$\tau = N\ B\ I\ L\ b \sin\theta$$

ఇక్కడ N అనేది తీగచుట్టలోని చుట్ల సంఖ్య. పై సమీకరణాన్ని ఈ విధంగా కూడ రాయవచ్చు.

$$|\tau| = N\ B\ I\ A \sin\theta \qquad (21.14)$$

ఇక్కడ A అనేది తీగచుట్ట వైశాల్యం = L × b

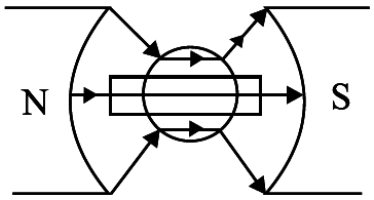
$$|\tau| = B\ (NIA) \sin\theta$$

$$|\tau| = |B|\ |M| \sin\theta \qquad (21.15)$$

ఇక్కడ M (= NIA) ను విద్యుత్ ప్రవాహమున్న తీగచుట్ట అయస్కాంత భ్రామకం అంటారు.

కాబట్టి టార్క్, B, A, I, N, θ లపై ఆధారపడుతుందని తెలుస్తుంది.

అయస్కాంత క్షేత్రంలో తీగచుట్ట ఏకరీతిగా భ్రమణం చెందాలంటే స్థిర బలభ్రామకం లేదా టార్క్ అవసరం. తీగచుట్ట తలం అయస్కాంత క్షేత్రం వెంబడి లేదా సమాంతరంగా ఉన్నపుడు బలయుగ్మం దాదాపు స్థిరంగా ఉంటుంది. అయస్కాంత ధ్రువ చివరలను వక్రంగా చేసి మరియు కేంద్రం వద్ద మెత్తని ఇనుము అంతర్భాగాన్ని (కోర్) ఉంచడం ద్వారా దీనిని పొందవచ్చును. ఈ విధంగా చేసినపుడు రేడియల్ క్షేత్రం ఇస్తుంది.



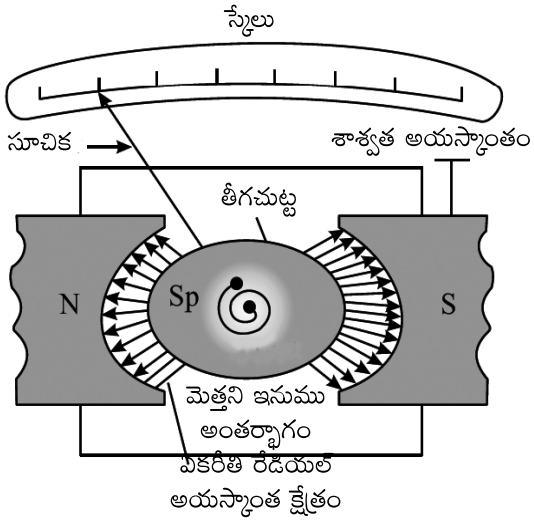
పటం 21.19 : రేడియల్ క్షేత్రంలో తీగచుట్టపై పనిచేసే స్థిర టార్క్

తీగచుట్ట లోపల ఉంచిన మెత్తని ఇనుము అంతర్భాగం అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని బలంగా, ఏకరీతిగా కూడ చేస్తుంది. ఫలితంగా హెచ్చు టార్క్ వస్తుంది (పటం 21.19)

21.12 గాల్వనామీటరు

ఇంతవరకు మీరు నేర్చుకున్న దాని నుండి ఏదైనా వలయంలోని విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని శోధించే పరికరం గురించి ఆలోచించవచ్చు. ఇటువంటి పరికరాన్ని గాల్వనామీటరు అంటారు. విద్యుత్ ప్రవాహమున్న తీగచుట్టను అయస్కాంత క్షేత్రం లో ఉంచినప్పుడు, తీగచుట్ట పై టార్క్ పనిచేస్తుంది అనే సూత్రం పై గాల్వనామీటరు పనిచేస్తుంది.

గాల్వనామీటరు, అనయస్కాంత ఫ్రేము పై (Frame) చుట్టిన తీగచుట్టను కలిగి ఉంటుంది. తీగచుట్ట లోపల ఒక మెత్తటి ఇనుప స్తూపం ఉంటుంది. స్ప్రింగ్‌లకు కలిపిన రెండు కీలకాల (pivots) పై, సూచికతో ఈ అమరిక ఆధారపడి ఉంటుంది. దీనిని గుర్రపు నాడా ఆకారపు అయస్కాంత ధ్రువాల మధ్య ఉంచాలి. ఈ ధ్రువాలు రేడియల్ క్షేత్రాన్ని ఇస్తాయి (పటం 21.20 ను చూడండి).



పటం 21.20 : కదిలే తీగచుట్ట గాల్వనామీటరు.

కదిలే తీగచుట్ట గాల్వనామీటరు పనిచేసే విధానంను అర్థం చేసుకోవడానికి, విద్యుత్ ప్రవాహమున్న తీగచుట్టను అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉంచినపుడు, తీగచుట్ట పై టార్క్ పనిచేయడం వల్ల తీగ చుట్ట భ్రమణం చెందుతుంది అని మనం గుర్తు చేసుకుందాం. స్ప్రింగ్‌లో పునఃస్థాపక బలం ఏర్పడుతుంది. ఫలితంగా పునఃస్థాపక టార్క్ కలుగుతుంది. తీగచుట్టలో అపవర్తనం (లేదా పురి కోణం) α, ప్రమాణ అపవర్తనానికి తీగకు కావలసిన టార్క్ (భ్రామకం) లేదా విమోటన స్థిరాంకం k అయితే, మనం

$NBIA \sin\theta = k\alpha$ గా రాయవచ్చు.

$\theta = 90°$ కు $\sin\theta = 1$ కాబట్టి

$$NBIA = k\alpha$$

లేదా $$I = \frac{k\alpha}{NBA} \qquad (21.16)$$

ఇక్కడ $\frac{k}{NBA}$ ను గాల్వనామీటరు స్థిరాంకం అంటారు.

దీని నుంచి మనం

$$\alpha \propto I$$

అని చెప్పవచ్చు.

అంటే N, B, A, k లు స్థిరంగా ఉన్నప్పుడు గాల్వనామీటరులో కలిగిన అపవర్తనం, దాని గుండా ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహానికి అనులోమానుపాతంలో $\frac{\alpha}{I}$ ఉంటుంది. నిష్పత్తిని గాల్వనామీటరు యొక్క విద్యుత్ సూక్ష్మ గ్రాహ్యత (sensitivity) అంటారు. దీనిని ప్రమాణ విద్యుత్ ప్రవాహానికి గల తీగచుట్ట అపవర్తనంగా నిర్వచిస్తారు. విద్యుత్ ప్రవాహం ఎక్కువగా ఉంటే, టార్క్ బలంగా ఉండి, తీగచుట్ట ఎక్కువగా తిరుగుతుంది. అతిచిన్న విద్యుత్ ప్రవాహాలను ($0.1\ \mu A$) దీనిని ఉపయోగించి కొలవవచ్చు.

గాల్వనా మీటరు సూక్ష్మగ్రాహ్యత : ఎక్కువ సూక్ష్మగ్రాహ్యత కలిగిన గాల్వనామీటరు కొరకు,

- N ఎక్కువగా ఉండాలి.
- B ఎక్కువగా, ఏకరీతిగా, రేడియల్ గా ఉండాలి.
- తీగచుట్ట వైశాల్యం ఎక్కువగా ఉండాలి.
- విమోటన స్థిరాంకం తక్కువగా ఉండాలి.

N, A విలువలను కొంత అవధి తరువాత పెంచలేము. N, A హెచ్చు విలువలు, గాల్వనామీటరు పరిమాణంను, విద్యుత్ మరియు జడత్వ నిరోధంను పెంచుతాయి. బలమైన గుర్రపునాడా అయస్కాంతాన్ని ఉపయోగించడం ద్వారా, మెత్తటి ఇనుముతో చేసిన స్తూపాన్ని తీగచుట్ట లోపల ఉంచడం ద్వారా B ని పెంచవచ్చు. క్వార్జ్, ఫాస్ఫర్ – బ్రాంజ్ వంటి పదార్థాలను ఉపయోగించి, k విలువను తగ్గించవచ్చు.

21.13 అమ్మీటరు మరియు వోల్టుమీటరు

(a) **అమ్మీటరు :** తగిన విధంగా షంట్ చేయబడిన గాల్వనామీటరే, అమ్మీటరు. వలయంలో ప్రవహించే విద్యుత్‌ను ఇవ్వడానికి దాని స్కేలు క్రమాంకనం చేయబడింది. గాల్వనామీటరును అమ్మీటరుగా మార్చడానికి, తక్కువ నిరోధం ఉన్న తీగను గాల్వనామీటరుకు సమాంతరంగా కలపాలి. షంట్ నిరోధం, అమ్మీటరు వ్యాప్తి (range) మీద ఆధారపడుతుంది. ఈ కింది విధంగా దానిని కనుక్కోవచ్చు.

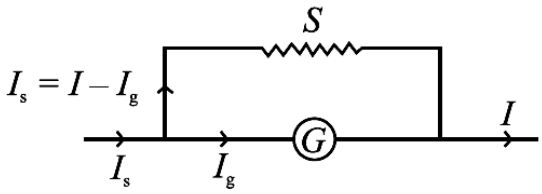
గాల్వనామీటరు నిరోధం G, గాల్వనామీటరులో స్కేలు విభాగాల సంఖ్య N అని అనుకుందాం. k అనేది దక్షతాంకం (figure of merit) లేదా గాల్వనామీటరులోని స్కేలులో ఒక విభాగం అపవర్తనానికి కావలసిన విద్యుత్ ప్రవాహం. అప్పుడు గాల్వనామీటరులో పూర్తి అపవర్తనం రావడానికి ప్రవహించాల్సిన విద్యుత్ $I_g = Nk$.

గాల్వానామీటరు కొలవాల్సిన గరిష్ఠ విద్యుత్ ప్రవాహం I అనుకుందాం.

పటం 21.21 ను చూడండి. A, B బిందువుల మధ్య వోల్టేజి,

$$V_{AB} = I_g G = (I - I_g)S$$

$$S = \frac{I_g G}{I - I_g} \qquad (21.17)$$



పటం 21.21 : షంట్ చేయబడిన గాల్వనామీటరు, అమ్మీటరుగా పనిచేస్తుంది.

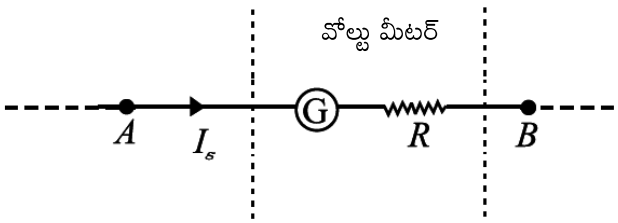
ఇక్కడ S అనేది షంట్ నిరోధం.

G, S లు సమాంతరంగా ఉండటం వల్ల, అమ్మీటరు ఫలిత నిరోధం R ను కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$R = \frac{GS}{G + S} \qquad (21.18)$$

షంట్ నిరోధం తక్కువగా ఉండటం వల్ల, గాల్వనామీటరు, షంట్‌ల ఫలిత నిరోధం అతి తక్కువగా ఉంటుంది. ఫలితంగా అమ్మీటరు నిరోధం గాల్వనామీటరు నిరోధం కంటే తక్కువగా ఉంటుంది. ఆదర్శ అమ్మీటరు నిరోధం దాదాపు ఉపేక్షించదగినంతగా ఉంటుంది. అందువల్ల వలయంలో అమ్మీటరును శ్రేణిలో కలిపినపుడు, విద్యుత్ ప్రవాహం విలువ మారదు.

(b) **వోల్టుమీటరు :** ఒక వలయంలో రెండు బిందువుల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడాను కొలవడానికి ఉపయోగించే సాధనం వోల్టుమీటరు. పటం 21.22 లో చూపినట్లు గాల్వనామీటరును వోల్టుమీటరుగా మార్చడానికి అధిక విలువ ఉన్న నిరోధంను, గాల్వనా మీటరుకు శ్రేణిలో కలపాలి. నిరోధం విలువ, వోల్టుమీటరు వ్యాప్తి (Range) పై ఆధారపడుతుంది. దీనిని ఈ విధంగా కనుక్కోవచ్చు.



పటం 21.22 : గాల్వనామీటరు ను వోల్టుమీటరుగా మార్చటం.

అధిక విలువ ఉన్న నిరోధాన్ని R అనుకుందాం. ఈ నిరోధాన్ని గాల్వనామీటరుకు శ్రేణిలో కలపారనుకొందాం. A, B బిందువుల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా V వోల్టు అయితే, అపుడు వోల్టు మీటరు మొత్తం నిరోధం G + R అవుతుంది. ఓమ్ నియమం నుంచి,

$$I_g (G + R) = V$$

$$G + R = \frac{V}{I_g}$$

$$R = \frac{V}{I_g} - G \qquad (21.19)$$

అంటే, R నిరోధంను, గాల్వనామీటరుకు శ్రేణిలో కలపడం వల్ల, అది, 0 – V వోల్టు వ్యాప్తి లేదా రేంజి గల వోల్టు మీటరుగా పనిచేస్తుంది. గాల్వనామీటరును మార్చక ముందు, గరిష్ఠ పొటెన్షియల్‌ను ($I_g \times G$) నమోదు చేసిన స్కేలు, దాన్ని వోల్టుమీటరుగా మార్చిన తరువాత అదే స్కేలు పొటెన్షియల్ V ని నమోదు చేస్తుంది. దాని ప్రకారంగా స్కేలు క్రమాంకనం చేయబడుతుంది. వోల్టుమీటరు నిరోధం, గాల్వనామీటరు నిరోధం కన్నా ఎక్కువగా ఉంటుంది. వోల్టుమీటరు ఫలిత నిరోధం.

$$R_V = R + G \qquad (21.20)$$

ఆదర్శ వోల్టుమీటరు నిరోధం అనంతంగా ఉంటుంది. వలయంలో పొటెన్షియల్ తేడాను కొలవవలసిన బిందువులకు సమాంతరంగా వోల్టుమీటరును కలుపుతారు. వలయం నుంచి వోల్టుమీటరు విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని గ్రహించదు. కాని గాల్వనామీటరు తీగచుట్ట అపవర్తనం చెందుతుంది. ఇది అసాధ్యం అనిపిస్తుంది. కాని దీని గురించి ఆలోచించండి.

ఉదాహరణ 21.6

ఒక వృత్తాకార తీగచుట్ట వ్యాసార్ధం 8.0 cm చుట్ల సంఖ్య 30. 6.0 6.0 A విద్యుత్ ప్రవాహమున్న ఈ తీగచుట్టను 1.0 T పరిమాణం గల ఏకరీతి క్షితిజ సమాంతర అయస్కాంత క్షేత్రంలో నిలువుగా వేలాడదీశారు. క్షేత్ర బలరేఖలు, తీగచుట్టకు గీసిన లంబంతో 90° కోణం చేస్తాయి. తీగచుట్టను తిరగకుండా ఆపడానికి, అనువర్తించవలసిన ప్రతి టార్క్ (counter torque) పరిమాణంను కనుక్కోండి.

సాధన :

$N = 30,\ I = 6.0\ A,\ B = 1.0\ T,\ \theta = 90°,\ r = 8.0\ cm = 8 \times 10^{-2}\ m$

తీగచుట్ట వైశాల్యం, $A = \pi r^2 = \frac{22}{7} \times (8 \times 10^{-2})^2 = 2.01 \times 10^{-2}\ m^2$

$\therefore$ టార్క్ $= N\ I\ A\ B \sin\theta$

$= 30 \times 6 \times (2.01 \times 10^{-2}) \times 1 \times \sin 90°$

$= 30 \times 6 \times 2.01 \times 10^{-2} = 3.61\ Nm$

ఉదాహరణ 21.7

ఒక తీగచుట్ట గాల్వనామీటరు నిరోధం 12.0 Ω. 2.5 mA విద్యుత్ ప్రవాహం ఉన్నపుడు, అది పూర్తి అపవర్తనం చూపిస్తుంది. అయితే దానిని (a) 0 – 2A వ్యాప్తిగల అమ్మీటరు గాను (b) 0 – 10 వోల్టు వ్యాప్తిగల వోల్టుమీటరు గాను మీరు ఎలా మార్చగలరు?

సాధన :

(a) ఇక్కడ, $G = 12.0\ \Omega$, $I_g = 2.5\ mA = 2.5 \times 10^{-3}\ A$, $I = 2A$

సమీకరణం (21.17) నుంచి,

$$S = \frac{I_g G}{I - I_g}$$

$$= \frac{2.5 \times 10^{-3} \times 12}{2 - (2.5 \times 10^{-3})} = 15 \times 10^{-3}\ \Omega$$

0 – 2A వ్యాప్తి గల అమ్మీటరుగా గాల్వనామీటరును మార్చడానికి, $15 \times 10^{-3}\ \Omega$ షంట్ నిరోధాన్ని, గాల్వనామీటరు తీగచుట్టకు సమాంతరంగా కలపాలి.

(b) వోల్టుమీటరుగా మార్చడానికి, నిరోధం R ను శ్రేణిలో కలిపామనుకుందాం.

సమీకరణం 21.19 నుంచి,

$$R = \frac{V}{I_g} - G$$

$$= \frac{10}{2.5 \times 10^{-3}} - 12 = 4000 - 12 = 3988\,\Omega$$

గాల్వనామీటరును, వోల్టుమీటరుగా మార్చడానికి, 3988 Ω నిరోధంను శ్రేణిలో కలపాలి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 21.4

1. రేడియల్ అయస్కాంత క్షేత్రం అంటే ఏమిటి?
2. కదిలే తీగచుట్ట గాల్వనామీటరులో మెత్తని ఇనుము అంతర్భాగం యొక్క ముఖ్య విధి ఏమిటి ?
3. అమ్మీటరు, వోల్టుమీటరు, గాల్వనామీటరు – వీటిలో దేనికి అతి తక్కువ నిరోధం ఉంటుంది. వివరణ ఇవ్వండి.
4. 20 Ω నిరోధం గల తీగచుట్ట కలిగిన గాల్వనామీటరులో 20 mA విద్యుత్ ప్రవాహం ఉన్నపుడు స్కేలులో పూర్తి అపవర్తనం వస్తుంది. గాల్వనామీటరు గుండా గరిష్ఠ విద్యుత్ ప్రవాహం 3A పంపాలంటే ఎంత నిరోధాన్ని కలపాలి, ఎలా కలపాలి.

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- విద్యుత్ ప్రవాహం ఉన్న వాహకం చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రం ఉంటుందని ఆయర్‌స్టడ్ ప్రయోగం నిరూపించింది.
- విద్యుత్ ప్రవాహమున్న ప్రతి వాహకం చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రం ఏర్పడుతుంది. బయోట్ – సవర్ట్ సూత్రం ఈ అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని ఇస్తుంది.

$$|\Delta B_0| = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,\Delta l\,\sin\theta}{r^2}.$$

- విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న తీగచుట్ట కేంద్రం వద్ద ఏర్పడే అయస్కాంత క్షేత్రం. $|B| = \frac{\mu_0 I}{2r}$.
- ఆంపియర్ వలయ నియమం, వాహకం చుట్టూ ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్ర పరిమాణంను ఇస్తుంది.

$$\oint B\,.dl = \mu_0 I$$

- అనంతమైన పొడవు నుండి విద్యుత్ ప్రవాహం గల వాహకం వల్ల అయస్కాంత క్షేత్రం $|B| = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$.
- సాలినాయిడ్ లోపల అయస్కాంత క్షేత్రం $|B| = \mu_0\, nI$
- సాలినాయిడ్ వల్ల దాని చివరల వద్ద అయస్కాంత క్షేత్రం $|B| = \frac{\mu_0\, nI}{2}$.
- కదిలే ఆవేశం q పై పనిచేసే లొరెంట్జ్ బలం, $F = q\,(v \times B)$ మరియు ఈ బలం దిశను ఫ్లెమింగ్ ఎడమ చేతి నియమం ఇస్తుంది.
- అయస్కాంత క్షేత్రం B లో పొడవు Δl, విద్యుత్ ప్రవాహం I ఉన్న తీగ పై పనిచేసే యాంత్రిక బలం,

  $F = I\,\Delta l\,B.$

- I_1, I_2 విద్యుత్ ప్రవాహాలు కల తిన్నని సమాంతర వాహకాల మధ్య ప్రమాణ పొడవుకు పనిచేసే అన్యోన్య బలం $\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$.
- సమాన విద్యుత్ ప్రవాహం గల రెండు తిన్నని సమాంతర తీగలను శూన్యంలో లేదా గాలిలో 1 m ఎడంలో ఉంచినప్పుడు, ఆ తీగలు ప్రమాణ పొడవుకు 2×10^{-7} N m^{-1}, బలానికి లోనవుతే, ప్రతి తీగలో ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహం ఒక ఆంపియర్‌కు సమానం.
- అయస్కాంత క్షేత్రానికి లంబంగా చలించే ఆవేశిత కణం అనుసరించే వృత్తాకార పథం వ్యాసార్ధం $R = \frac{mv}{qB}$.

- విద్యుత్ ప్రవాహమున్న లూప్ అయస్కాంత డైపోల్ లాగా ప్రవర్తిస్తుంది. దాని అయస్కాంత భ్రామకం M (= AI) ఇక్కడ A అనేది లూప్ వైశాల్యం. I అనేది లూప్ గుండా విద్యుత్ ప్రవాహం.
- విద్యుత్ ప్రవాహం ఉన్న తీగచుట్టను అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉంచినట్లైతే తీగచుట్ట పై పనిచేసే టార్క్

$$|\tau| = B\ (NIA)\ \sin\theta = |B|\ |M|\ \sin\theta$$

- వలయం లోని విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని శోధించడానికి గాల్వనామీటరును ఉపయోగిస్తారు.
- షంట్ చేయబడిన గాల్వనా మీటరునే అమ్మీటరు అంటారు. అధిక నిరోధాన్ని శ్రేణిలో కలుపబడిన గాల్వనామీటరునే వోల్టుమీటరు అంటారు. అమ్మీటరుతో విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని కొలుస్తారు, వోల్టుమీటరుతో పొటెన్షియల్ తేడాను కొలుస్తారు.

ముగింపు అభ్యాసం

1. బయోట్-సవర్ట్ నియమం ప్రవచించి, వివరించండి.
2. విద్యుత్ ప్రవాహమున్న వృత్తాకార లూప్ అక్షంపై అయస్కాంత క్షేత్రానికి సమాసాన్ని ఉత్పాదించండి.
3. ఆంపియర్ వలయ నియమాన్ని ప్రవచించి, వివరించండి.
4. అనంతమైన పొడవు ఉండి విద్యుత్ ప్రవాహం గల వాహకం వల్ల కలిగే అయస్కాంత క్షేత్రానికి సమాసాన్ని ఉత్పాదించండి.
5. సాలినాయిడ్ వల్ల కలిగే అయస్కాంత క్షేత్రానికి సమాసం ఉత్పాదించండి.
6. అయస్కాంత క్షేత్రంలో చలించే ఆవేశంపై పనిచేసే బలానికి సమాసాన్ని ఉత్పాదించండి.
7. విద్యుత్ ప్రవాహం గల రెండు తిన్నని సమాంతర వాహకాల మధ్య ఏకాంక పొడవుకు పనిచేసే బలానికి సమాసం ఉత్పాదించి, ఆంపియార్ ప్రమాణాన్ని నిర్వచించండి.
8. ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలో విద్యుత్ ప్రవాహం గల లూప్‌ను ఉంచినప్పుడు దానిపై పనిచేసే టార్క్‌ను సమాసాన్ని ఉత్పాదించండి.
9. గాల్వానా మీటర్ నియమం, నిర్మాణం, పనిచేసే విధానాన్ని వివరించండి.
10. విద్యుత్ ప్రవాహమున్న వాహకం చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రం ఏర్పడుతుందని మీరు ఏ విధంగా చూపుతారు? ఒక నిర్దిష్టమైన ప్రదేశంలో దాని పరిమాణం, దిశలను ఏ విధంగా కనుక్కుంటారు.
11. అయస్కాంత క్షేత్రంలో కదిలే ఆవేశంపై ఒక బలం పనిచేస్తుంది, కాని ఈ బలం దాని వడిని మార్చదు. ఎందువల్ల?
12. పొడవైన తిన్నని విద్యుత్ ప్రవాహమున్న తీగకు ఏదేని క్షణం లోనయినా ఆవేశిత కణం సమాంతరంగా కదులుతుంది. కణం మీద ఏదైనా బలం పనిచేస్తుందా?
13. ఒక తీగ గుండా 10 ఆంపియర్ల విద్యుత్ ప్రవహిస్తోంది. ఈ తీగను అయస్కాంత క్షేత్రం 5T కు లంబంగా ఉంచారు. తీగ $\frac{1}{10}$m పొడవు పై పనిచేసే బలం కనుక్కోండి.

14. పొడవైన తిన్నని తీగలో 12 ఆంపియర్ల విద్యుత్ ప్రవహిస్తోంది. దాని నుంచి 48 cm దూరంలో అయస్కాంత క్షేత్ర తీవ్రతను కనుక్కోండి.

15. 3m పొడవు కల రెండు సమాంతర తీగలు ఒకదాని నుంచి మరొకటి 0.05 m దూరంలో ఉన్నాయి. ప్రతీ తీగలో ఒకే దిశలో 5 A విద్యుత్ ప్రవాహముంది. వాటి మీద పనిచేసే బలాన్ని కనుక్కోండి. దాని స్వభావం మీద మీ అభిప్రాయం తెలపండి.

16. 50 cm పొడవు గల సోలినాయిడ్ గుండా 8.0 A విద్యుత్ ప్రవాహమున్నపుడు, కేంద్రం వద్ద అయస్కాంత క్షేత్రం 4.0×10^{-2} NA^{-1} m^{-1} సోలినాయిడ్‌లో గల చుట్ల సంఖ్యను కనుక్కోండి.

17. రెండు సర్వసమాన గాల్వనా మీటర్లు ఉన్నాయి. అందులో ఒకటి అమ్మీటరు, మరొకటి మిల్లీ అమ్మీటరుగా మార్చాలి. దేని షంటు ఎక్కువ నిరోధాన్ని కలిగి ఉంటుంది?

18. 20 Ω నిరోధం గల గాల్వనా మీటరు, 0.005 A విద్యుత్‌కు పూర్తి అపవర్తనాన్ని ఇస్తుంది. 1 A విద్యుత్తును కొలిచే అమ్మీటరుగా దానిని మార్చడానికి కావలసిన షంటు విలువను కనుక్కోండి. అమ్మీటరు నిరోధం ఎంత?

19. 5×10^{-11} m వ్యాసార్ధం కల వృత్తాకార కక్ష్యలో ఒక ఎలక్ట్రాను సెకండుకు 7.0×10^{15} పరిభ్రమణాల రేటుతో కదులుతుంది. కక్ష్య కేంద్రం వద్ద అయస్కాంత క్షేత్రం B ని కనుక్కోండి.

20. 0.16 m వ్యాసార్ధం కలిగి 200 చుట్లు గల వృత్తాకార తీగచుట్టలో 4.8 ఆంపియర్ల విద్యుత్ ప్రవాహమున్నప్పుడు, దాని కేంద్రం వద్ద గల అయస్కాంత క్షేత్రంను కనుక్కోండి.

21. పటం 21.23 ను చూడండి. A, B, C ల వద్ద అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని కనుక్కోండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

21.1

1. (i) విద్యుత్ (ii) అయస్కాంత మరియు విద్యుత్

2. సమతాస్థితిలోని వాహకం తటస్థంగా ఉంటుంది. అంటే నికర విద్యుత్ ప్రవాహం ఏదీ అది కలిగి ఉండదు. ఉష్ణీయ ఎలక్ట్రాన్లు తమ అనియత చలనం కారణంగా వాటి వల్ల ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్రాలను రద్దు చేస్తాయి.

3. మొదటి సందర్భంలో తీగ పొడవు $I_1 = 2\pi r$.

రెండవ సందర్భంలో తీగ పొడవు $I_2 = (2\pi r_2) \times 2 = 4\pi r_2$.

కాని $I_1 = I_2$

$$\therefore \quad 2\pi r = 4\pi r_2 \quad \Rightarrow \quad r_2 = \frac{r}{2}$$

$|B| = \dfrac{\mu_0 nI}{2r}$ ను ఉపయోగించి

$$|B_1| = \frac{\mu_0 I}{2r}, \qquad |B_2| = \frac{\mu_o.2.\,I}{2\times\frac{r}{2}} = \frac{2\mu_o I}{r} = 4B_1$$

అంటే 2 చుట్లు గల తీగచుట్ట కేంద్రం వద్ద గల అయస్కాంత క్షేత్రం B, మొదటి సందర్భంలో గల దానికంటే నాలుగు రెట్లు బలంగా ఉంటుంది.

21.2

1. C
2. రెండు నియమాలు, విద్యుత్ ప్రవాహం ఉన్న వాహకాల వల్ల ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని సూచిస్తాయి.
3. (i) B, (ii) A, (iii) C.
4. $B = \mu_0 \frac{n}{l} I \Rightarrow 4\pi \times \frac{10^{-7}\times n}{0.1m} \times 3A = 0.002$ లేదా $n = \frac{0.002\times 10^7}{12\pi} = 50$ చుట్లు

21.3

1. ప్రోటానుల ప్రవాహం ఎలక్ట్రానుల ప్రవాహంకు సమానంగా, వ్యతిరేక దిశలో ఉండటంవల్ల, బలం ఆకర్షిత బలమై ఉంటుంది.
2. అయస్కాంత క్షేత్రంలో చలనంలో ఉండే ఆవేశం పై పనిచేసే బలం, ఆవేశ చలనానికి లంబంగా ఉండటం వల్ల, ఆవేశం మీద ఉన్న బలం చేసే పని శూన్యం. అందువల్ల ఆవేశం గతిజ శక్తిలో మార్పురాదు. విద్యుత్ క్షేత్రం లో ఆవేశం క్షేత్ర దిశలో అపవర్తనం చెందుతుంది. కాబట్టి క్షేత్రం ఆవేశానికి బలరేఖల దిశలో త్వరణాన్ని కలిగిస్తుంది.
3. స్ప్రింగ్ ప్రతి చుట్టులో విద్యుత్ ప్రవాహం దిశ ఒకే విధంగా ఉంటుంది. ఒకే దిశ లో ఉన్న సమాంతర విద్యుత్ ప్రవాహాలు ఆకర్షణ బలాన్ని కలగచేస్తాయి. కాబట్టి అన్ని చుట్లు దగ్గరగా వస్తాయి మరియు స్ప్రింగ్ లోని విద్యుత్ ప్రవాహం ఏ దిశలో ఉన్నా వస్తువు పైకి జరుపబడుతుంది.

21.4

1. తీగచుట్ట తలం సమాంతరంగా గల క్షేత్ర తలాన్ని రేడియల్ అయస్కాంత క్షేత్రం అంటారు.
2. మెత్తటి ఇనుము అంతర్భాగం గుండా అయస్కాంత క్షేత్ర బలరేఖలు గుమికూడడం వల్ల అయస్కాంత క్షేత్ర తీవ్రత పెరిగి, గాల్వనామీటరు సూక్ష్మ గ్రాహ్యతను (Sensitivity) పెంచుతుంది.
3. అమ్మీటరు తక్కువ నిరోధాన్ని కలిగి ఉంటుంది. వోల్టుమీటరు ఎక్కువ నిరోధాన్ని కలిగి ఉంటుంది. అమ్మీటరు లో, గాల్వనామీటరు తీగచుట్టకు తక్కువ నిరోధాన్ని సమాంతరంగా కలుపుతారు. అదే వోల్టుమీటరులో అయితే గాల్వనామీటరుకు ఎక్కువ నిరోధాన్ని శ్రేణిలో కలుపుతారు.
4. తీగచుట్టకు సమాంతరంగా తక్కువ నిరోధం R_s ను కలపాలి.

$$R_s = \frac{GI_g}{I - I_g} = \frac{20\times(20\times10^{-3})}{3-(20\times10^{-3})} = 0.13\Omega$$

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

13. 5 N

14. 5 μN

15. ఆకర్షిత బలం 10^{-4} N m^{-1}

16. $\frac{625}{\pi}$ చుట్లు

18. 0.1 Ω

19. 4.48 πT

20. 1.2 π mT

21. $B_A = 2 \times 10^{-7}$ T, $B_B = \pi \times 10^{-7}$ T మరియు $B_C = 10^{-7}$ T

22

విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ

పరిచయం

మనకు లభ్యమవుతున్న శక్తి రూపాలన్నింటిలో విద్యుచ్ఛక్తి చాలా అనుకూలమైనది. ఇది మన ఇంట్లో దీపాల్ని వెలిగిస్తుంది. రైళ్ళను నడుపుతుంది. ప్రసార సాధనాలను పనిచేయిస్తుంది. మొత్తం మీద మన జీవితాన్ని సుఖమయం చేస్తుంది. అలాగే మన ఇంట్లో ఉపయోగించే విద్యుత్ ఉపకరణాల చిట్టా కూడా చాలా పెద్దది. విద్యుత్ శక్తి ఎలా ఉత్పత్తి అవుతుందని మీరెప్పుడైనా ఆలోచించారా? నీటికి ఉండే శక్తి నుపయోగించుకొని టర్బైన్ ద్వారా నడుపబడే జనరేటర్ జలవిద్యుచ్ఛక్తిని ఉత్పత్తి చేస్తుంది. బొగ్గు, వాయువు, న్యూక్లియర్ ఇంధన ఆధార విద్యుత్ కేంద్రాలలో టర్బైన్ ఆవిరిని ఉపయోగించుకొని జనరేటర్‌ను పనిచేయిస్తుంది. పట్టణ విద్యుత్ ఉపకేంద్రాల నుండి కేబుల్ ద్వారా విద్యుచ్ఛక్తి మన ఇళ్ళకు చేరుతుంది. నీవెప్పుడైనా విద్యుత్ ఉపకేంద్రాన్ని సందర్శించావా? అక్కడ ప్రతిష్టాపితమైన పెద్ద యంత్రాలు ఏమిటో తెలుసా? ఆ యంత్రాలను పరివర్తకాలు అంటారు. విద్యుచ్ఛక్తిని మనకందు బాటులోకి తెచ్చే ముఖ్యమైన సాధనాలు జనరేటర్, పరివర్తకాలు. ఈ పరికరాలు విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ ఆధారంగా పనిచేస్తాయి.

విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ, దీనిని నియంత్రించే నియమాలు, వీటి ఆధారంగా పనిచేసే పరికరాలు గురించి ఈ పాఠంలో నేర్చుకుంటారు. విద్యుత్ జనరేటర్లు, పరివర్తకాల నిర్మాణం, పనిచేసే విధానం గురించి, విద్యుచ్ఛక్తిని మనకందించడంలో వాటి పాత్రను గురించి కూడా చదువుతారు.

లక్ష్యాలు

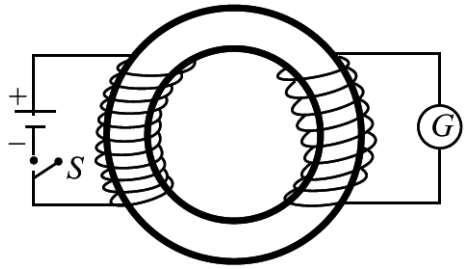
ఈ పాఠం చదివిన తరువాత ఈ కింది విషయాలు తెలుసుకుంటారు.

- ప్రయోగాల ద్వారా విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ దృగ్విషయాన్ని గురించిన వివరణ.
- విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణలోని లెంజ్ నియమం, ఫారడే నియమంల వివరణ
- ఎడ్డీ ప్రవాహాల ప్రాముఖ్యత
- చలనాత్మక విద్యుచ్చాలక బలం భావన
- స్వయం ప్రేరణ, అన్యోన్య ప్రేరణ ల గురించిన వర్ణన
- ac మరియు dc జనరేటర్లు పనిచేసే విధానం వర్ణన

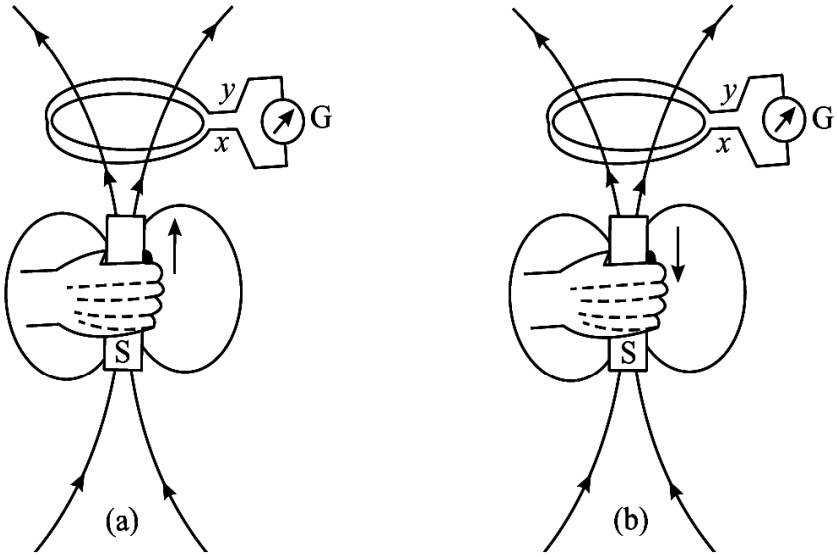
22.1 విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ

ఒక విద్యుత్ ప్రవాహక తీగ గుండా ప్రవహించే నిలకడ విద్యుత్ ప్రవాహం నిలకడ అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని ఉత్పత్తి చేస్తుందని ఇంతకుముందు పాఠంలో చదువుకున్నారు. నిలకడ అయస్కాంత క్షేత్రం, విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని ఏర్పరచగలదని ఫారడే మొదట (తప్పుగానే) భావించాడు.

అయస్కాంత ప్రేరిత ప్రవాహాల మీద ఫారడే చేసిన పరిశోధనల ప్రయోగ అమరికను పటం 22.1 లో చూపించారు. కుడివైపు ఉన్న తీగచుట్టలోని ప్రవాహం ఇనుపచట్రంలో కేంద్రీకృతమయ్యే విధంగా అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని ఏర్పరుస్తుంది. ప్రేరిత ప్రవాహాన్ని సూచించడానికి కుడి వైపు ఉన్న తీగచుట్టలో గాల్వనోమీటరును అనుసంధానం చేశారు. వలయంలో నిలకడ విద్యుత్ ప్రవాహమున్నప్పుడు గాల్వనోమీటర్ లో అపవర్తనం ఉండదు. ఎడమవైపు వలయంలోని స్విచ్‌ను మూసినపుడు గాల్వనోమీటరు ఒక క్షణం అపవర్తనం చూపుతుంది. అలాగే స్విచ్‌ను తెరిచినపుడు కూడా క్షణం సేపు అపవర్తనం వ్యతిరేక దిశలో నమోదు అవుతుంది. ఎడమవైపు వలయంలోని ప్రవాహం వల్ల కలిగిన అయస్కాంత క్షేత్రం మారినపుడు మాత్రమే ప్రవాహం ప్రేరేపితమవుతుందని అర్థమవుతుంది.



పటం 22.1 ఇనుప చట్రానికి చుట్టిన రెండు తీగ చుట్టలు, స్విచ్‌ను తెరచినప్పుడు లేదా మూసినప్పుడు గాల్వనామీటర్ Gలో ఒక క్షణం అపవర్తనం కలగడం



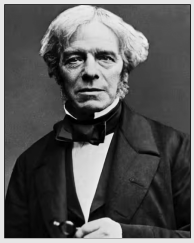
పటం 22.2 : (a) అయస్కాంతాన్ని తీగచుట్ట వైపుకు జరిపినపుడు విద్యుత్ ప్రవాహం ప్రేరేపితమవ్వడం (b) అయస్కాంతాన్ని తీగచుట్టనుండి దూరంగా జరిపినపుడు వ్యతిరేక దిశలో విద్యుత్ ప్రవాహం ప్రేరేపిత మవ్వడం.

పటం 12.2 లో చూపిన ప్రయోగం ద్వారా అయస్కాంత క్షేత్రంలోని మార్పు కలుగజేసే ప్రభావాన్ని అర్థం చేసుకోవచ్చు. తీగ చుట్ట పరంగా అయస్కాంతం నిశ్చలస్థితిలో ఉంటే తీగచుట్టలో ప్రేరణ ప్రవాహం ఉండదు. అయస్కాంతాన్ని తీగ చుట్ట వైపుకు జరిపినపుడు పటం 22.2 (a) లో చూపిన దిశలో విద్యుత్ ప్రవాహం ప్రేరేపితమవుతుంది. అలాగే అయస్కాంతాన్ని వ్యతిరేకదిశలో జరిపినపుడు వ్యతిరేకదిశ లో ప్రవాహం ప్రేరేపితమవుతుంది. (పటం 22.2 (b)). పై రెండు సందర్భాలలో అయస్కాంత క్షేత్రంలో మార్పులు తీగచుట్ట సమీపంలో జరిగాయి. అయస్కాంతం పరంగా తీగచుట్టను జరిపినా కూడా తీగచుట్టలో ప్రేరిత విద్యుత్ ప్రవాహ గమనాన్ని చూడవచ్చు. వలయంలో ఉండే

ఇటువంటి విద్యుత్ ప్రవాహం తీగ చుట్ట యొక్క స్వేచ్ఛగా ఉండే x, y చివరల మధ్య విద్యుచ్ఛాలక బలం ఉనికిని తెలియజేస్తుంది.

అయస్కాంతక్షేత్రం, విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని ప్రేరేపించే దృగ్విషయాన్ని విద్యుదయస్కాంతప్రేరణ అంటారు. ఈ పని యొక్క ప్రాముఖ్యతను ప్రతిభావంతుడైన ఫారడే గుర్తించి పరిశోధన చేశాడు. ఈ దృగ్విషయం పరిమాణాత్మక వివరణను విద్యుదయస్కాంత ఫారడే నియమం అంటారు. దీని గురించి ఇప్పుడు చర్చిద్దాం.

మైకేల్ ఫారడే (1791 - 1867)



నిరంతరకృషి, పట్టుదల, విజ్ఞానశాస్త్రం పట్ల మక్కువ మానవీయతలతో గొప్పవాడైన వ్యక్తికి మంచి ఉదాహరణ బ్రిటిష్ ప్రయోగాత్మక శాస్త్రవేత్త మైకేల్ ఫారడే. బుక్‌బైండర్ వద్ద సహాయకుడిగా తన కెరీర్‌ను ప్రారంభించి, బైండింగ్ కొరకు వచ్చే పుస్తకాలను చదివే అవకాశాన్ని వినియోగించుకున్నాడు. తనురాసిన నోట్సును హంప్రిడేవికి పంపించినపుడు, హంప్రిడేవి ఇతని ప్రజ్ఞను గుర్తించి రాయల్ ఇనిస్టిట్యూట్‌లో తన శాశ్వత సహాయకుడిగా నియమించుకున్నాడు.

హంప్రిడేవి తన జీవితంలో అతి గొప్ప అన్వేషణ మైకేల్ ఫారడే అని తెలియజేశాడు. అతను చెప్పింది నిజం ఎందుకంటే విద్యుత్ యుగానికి కావలసిన ప్రాథమిక అన్వేషణలెన్నో మైకేల్‌ఫారడే చేశాడు. దీని ఫలితంగా ఎలక్ట్రిక్ జనరేటర్, పరివర్తకం, ఎలక్ట్రిక్ మోటార్, విద్యుత్ విశ్లేషణ మొదలైనవన్నీ సాధ్యమయ్యాయి.

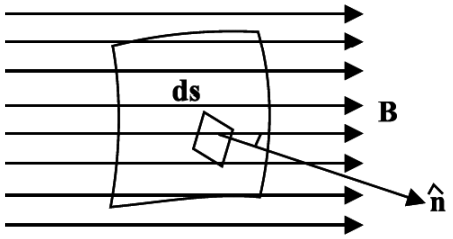
22.1.1 విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ ఫారడే నియమం.

మారుతున్న అయస్కాంత క్షేత్రం, ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలాల మధ్య సంబంధాన్ని తీగచుట్ట తలంలో ఉన్న అయస్కాంత అభివాహం ϕ_B పరంగా చెప్పవచ్చు. అయస్కాంత అభివాహం అంటే ఏమిటని మీరడగవచ్చు? అయస్కాంత అభివాహంను నిర్వచించడానికి పటం 22.3 (a) ను చూడండి. దీనిలో ఇచ్చిన తలాన్ని వైశాల్యం **ds** గా గల విలక్షణ అనంతసూక్ష్మ అల్పాంశం గా విభజించారని భావిద్దాం. **ds** దిశ, ఆ బిందువు వద్ద తలానికి లంబంగా ఉంటుంది. వైశాల్య అల్పాంశం **ds** కు, అయస్కాంత అభివాహం $\mathbf{d}\,\phi_B$ ను స్థిరవిద్యుత్‌తో ఉన్న పోలిక నుండి ఈ కింది విధంగా నిర్వచించవచ్చు.

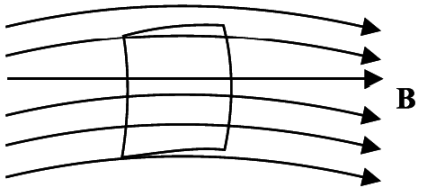
$$d\phi_B = \mathbf{B}.\mathbf{ds} \qquad (22.1)$$

మొత్తం తలానికి పై అల్పాంశాల వల్ల పొందిన అయస్కాంత అభివాహాలను సంకలనం చేయగా

$$d\phi_B = \Sigma\mathbf{B}.\mathbf{ds} \qquad (22.2)$$



(a)
అనంత సూక్ష్మ వైశాల్యం ds కు అయస్కాంత అభివాహం $d\phi_B = B.ds$,



(b)
ఒక తలంలో అయస్కాంత అభివాహం, ఆ తలాన్ని ఖండిస్తున్న రేఖల సంఖ్యకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

పటం 22.3

అయస్కాంత అభివాహానికి SI ప్రమాణం వెబర్ (Wb),

ఇక్కడ 1 Wb = 1 Tm^2.

విద్యుత్ బలరేఖలలో వలెనే, పటం 22.3 (b) లో చూపిన విధంగా తలాన్ని ఖండిస్తున్న అయస్కాంత రేఖల సంఖ్య, తలం గుండాపోయే అయస్కాంత అభివాహంకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

ఫారడే నియమం ప్రకారం పరిపథంలో బద్ధమై ఉన్న తలంలో ఉండే అయస్కాంత అభివాహం కాలంతో పాటు మారుతున్నప్పుడు తీగపరిపథంలో విద్యుచ్ఛాలకబలం ప్రేరేపితమవుతుంది. ప్రేరణ విద్యుచ్ఛాలక బలం పరిమాణం, అయస్కాంత అభివాహంలో మార్పు రేటుకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. గణితాత్మకంగా

$$|\varepsilon| = \frac{d\phi_B}{dt} \qquad (22.3)$$

దీని నుండి అయస్కాంత అభివాహం ప్రమాణం (Wb), విద్యుచ్ఛాలక బలం ప్రమాణం (V) ల మధ్య సంబంధం

$$1V = 1Wb\ s^{-1}.$$

దగ్గరగా చుట్టబడిన తీగచుట్టలో ప్రేరితమైన విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని తీసుకోండి. తీగచుట్టలోని ప్రతీ చుట్టు ఒక పరిపథం లాగ ప్రవర్తిస్తుంది. ఒక్కొక్క చుట్టులోని ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని ఫారడే నియమాన్ని ఉపయోగించి గణించవచ్చు. చుట్లు అన్నీ శ్రేణిలో ఉన్నాయి కనుక ఒక్కొక్క చుట్టులోని ప్రేరితవిద్యుచ్ఛాలక బలాల మొత్తం తీగచుట్ట యొక్క మొత్తం ప్రేరితవిద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని ఇస్తుంది. తీగచుట్ట బాగా దగ్గరగా చుట్టబడి ఉందని అనుకున్నాం కనుక ఏదేని ఒక క్షణంలో ప్రతీ చుట్టు ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం సమానం. ప్రతిచుట్టులో ఒకే విద్యుచ్ఛాలక బలం ε ప్రేరితమయితే, N చుట్లు ఉన్న తీగచుట్టలోని మొత్తం ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం

$$|\varepsilon_r| = N|\varepsilon| = N\left(\frac{d\phi_B}{dt}\right) \qquad (22.4)$$

ఒక్కొక్క చుట్టుకు ఉన్న అయస్కాంత అభివాహం ϕ_B

ఫారడే నియమాన్ని కొన్ని పరిస్థితులకు అన్వయిద్దాం.

ఉదాహరణ 22.1

35 mm వ్యాసార్ధం గల, 75 చుట్లు గల తీగచుట్ట అక్షం, ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రానికి సమాంతరంగా ఉంది. 250 milli second లలో క్షేత్ర పరిమాణం 25 mT నుండి 50 mT వరకు స్థిర రేటుతో మారుతూ ఉంది. ఈ కాల వ్యవధిలో తీగచుట్టలోని ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలాల పరిమాణాన్ని నిర్ధారించండి.

సాధన :

క్షేత్రం, తీగచుట్ట అక్షానికి సమాంతరంగా, ఏకరీతిగా ఉంది కనుక ఒక్కొక్క చుట్టలో ఉన్న అభివాహం

$$\phi_B = B\pi R^2$$

ఇక్కడ R తీగ చుట్ట వ్యాసార్ధం. సమీ (22.4) నుండి ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం

$$|\varepsilon| = N\frac{d\phi_B}{dt} = N\frac{d(B\pi R^2)}{dt} = N\pi R^2\frac{dB}{dt} = N\pi R^2\left(\frac{B_2 - B_1}{t}\right)$$

తీగచుట్టలోని ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం పరిమాణం

$$|\varepsilon| = 75\pi\ (0.035\ m)^2\ (0.10\ Ts^{-1}) = 0.30\ V = 30\ mV$$

కాలంతో పాటు మారే క్షేత్రం ద్వారా ఏర్పడే ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలకబలం భావనను పై ఉదాహరణ వివరిస్తుంది.

ఉదాహరణ 22.2

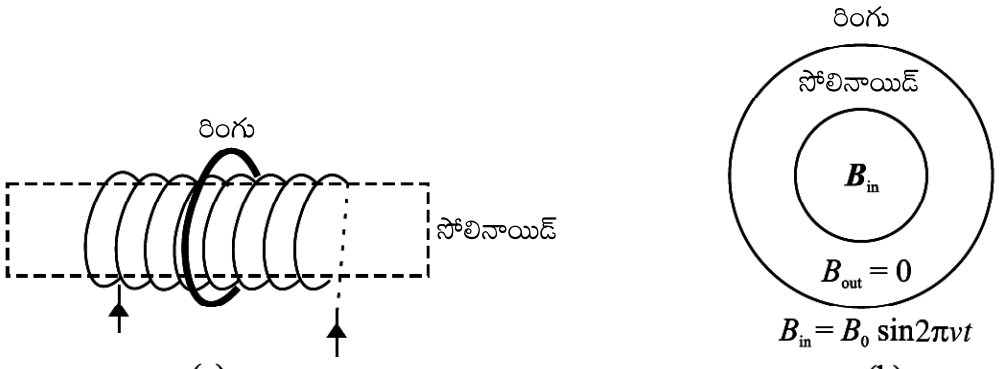
మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం 8 cm^2 గల పొడవైన సోలినాయిడ్ ను తీసుకోండి (పటం 22.4 (a), 22.4 (b)) దాని వైండింగ్‌లో కాల ఆధారితప్రవాహం అయస్కాంత క్షేత్రం $B(t) = B_0 \sin 2\pi\nu t$ ను ఏర్పరచింది. ఇక్కడ B_0 స్థిరాంకం ఇది 1.2 T కు సమానం, v అయస్కాంత క్షేత్ర పౌనఃపున్యం. ఇది 50 Hz తీగచుట్ట నిరోధం R = 1.0 Ω అయితే r వ్యాసార్ధం గల సోలినాయిడ్ అక్షం వద్ద కేంద్రీకరింపబడిన ప్రేరిత ప్రవాహం, విద్యుచ్ఛాలక బలాల్ని గణించండి.

సాధన :

అయస్కాంత అభివాహం

$$\phi_B = B_0 \sin 2\pi\nu t A$$

సోలినాయిడ్ మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యానికి లంబంగా ఉంది కనుక, అయస్కాంత క్షేత్ర దిశలోనే ఉంటుంది.



(a) బయట ఏకకేంద్ర వలయం గల పొడవైన సోలినాయిడ్

(b) సోలినాయిడ్, ఏకకేంద్రవలయాల మధ్యచ్ఛేదం.

పటం 22.4

ఇక్కడ $$|\varepsilon| = \frac{d\phi_B}{dt} = 2\pi AB_0 \cos 2\pi\nu t$$

$$= 2\pi\ .\ (50\ s^{-1})\ (8 \times 10^{-4}\ m^2)\ (1.2\ T)\ \cos 2\pi\nu t$$

$$= 0.3\ \cos 2\pi\nu t\ \text{volts}$$

$$= 0.3\ \cos 100\pi t\ \text{volts}$$

రింగులో ఉన్న ప్రవాహం $I = \frac{\varepsilon}{R}$

$$I = \frac{(0.3\cos 100\pi t)}{(1.0\Omega)} \text{volts}$$

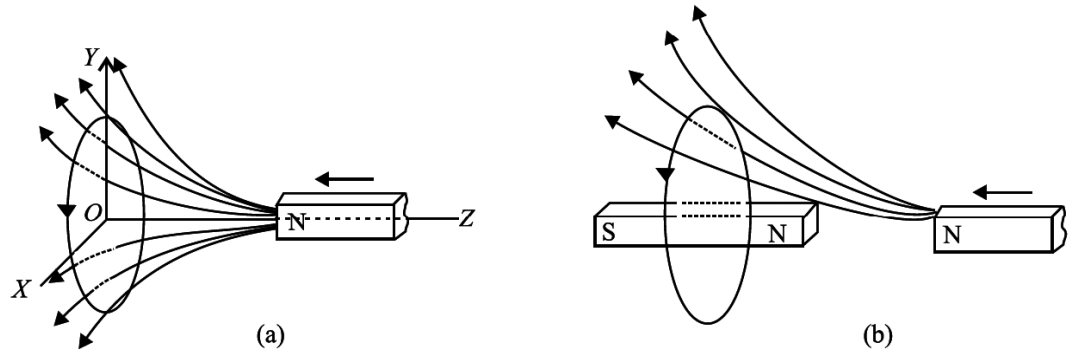
$$= + 0.3 \cos 100 \pi t \text{ A}$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 22.1

1. 1000 చుట్లు గల తీగచుట్ట వ్యాసార్ధం 5 cm (a) 1 s (b) 1 ms లలో తీగచుట్ట గుండా అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని 10 T నుండి 0 కు తగ్గించినపుడు తీగచుట్ట వద్ద ఏర్పడిన విద్యుచ్చాలక బలాన్ని కనుక్కోండి.
2. 250 చుట్లు కలిగిన తీగ చుట్టలో ఉన్న అయస్కాంత అభివాహం ϕ_B (t) = A+ Dt^2 ఇక్కడ A = 3 Wb, D = 15 Wbs^{-2} స్థిరాంకాలు (a) తీగచుట్టలోని ప్రేరిత విద్యుచ్చాలక బలం పరిమాణం $\varepsilon = (2ND)t$ కు సమానం అని చూపండి (b) t = 0 s, t = 3.0 s వద్ద ప్రేరిత విద్యుచ్చాలక బలం విలువ కట్టండి.
3. వాహక పరిపథం యొక్క తలానికి గీసిన లంబం, అంతరాళ ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రం θ తో స్థిరకోణాన్ని చేస్తుంది. తీగ చుట్ట వైశాల్యం S, క్షేత్ర పరిమాణం dB/dt రేటు ప్రకారం మారుతూ ఉంటే తీగ చుట్టలో ప్రేరిత విద్యుచ్చాలక బలం పరిమాణం $\varepsilon = (dB/dt)\, S \cos\theta$ అని చూపండి. S యొక్క ఏ దిగ్విన్యాసంలో తీగచుట్ట ε విలువ (a) గరిష్ఠం (b) కనిష్ఠం అవుతుంది.

22.1.2 లెంజ్ నియమం

వాహక రింగును సమీపిస్తున్న దండాయస్కాంతాన్ని తీసుకోండి (పటం 22.5 (a)). ఫారడే నియమాన్ని అనువర్తింప చేయుటకు మొదట మనం రింగు దృష్ట్యా ధన దిశను ఎంపిక చేసుకోవాలి. *O* నుండి *Z* వైపు ధన దిశగా తీసుకుందాం. (మనకు అనుకూలంగా ఉండే ఇంకేదైన ఎంపిక కూడా మంచిదే) ఈ ఆకృతి (Configuration) లో తీగ చుట్ట వైశాల్యానికి ధనాత్మక లంబం *z*- దిశలో ఉంటుంది మరియు అయస్కాంత అభివాహం రుణాత్మకం. దండాయస్కాంతం N - ధ్రువం మరియు వాహక రింగుల మధ్య దూరం తగ్గినపుడు రింగు గుండా ఎక్కువ క్షేత్ర రేఖలు వెళ్ళి అభివాహంను మరింత రుణాత్మకం చేస్తాయి. అప్పుడు $d\phi_B/dt$ రుణాత్మకం. మనం ఎంపిక చేసుకున్న దిశను బట్టి, ఫారడే నియమం ప్రకారం ధనాత్మకం. విద్యుత్ ప్రవాహం *I* దిశ పటంలో చూపినవిధంగా ఉంటుంది.



పటం 22.5 (a) లోహపు రింగును సమీపిస్తున్న దండాయస్కాంతం , (b) ప్రేరిత ప్రవాహం యొక్క అయస్కాంత క్షేత్రం రింగును సమీపిస్తున్న దండాయస్కాంతంను వ్యతిరేకించుట.

రింగులోని ప్రేరణ ప్రవాహం, గౌణ అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని ఏర్పరుస్తుంది. పటం 22.5 (b) లో చూపిన విధంగా ప్రేరణ అయస్కాంత క్షేత్రంను దండాయస్కాంతం ఉత్పత్తి చేసే అయస్కాంత క్షేత్రంలాగానే భావించవచ్చు. ప్రేరణ అయస్కాంత క్షేత్రం, సహజ అయస్కాంత క్షేత్రంను ఆకర్షించడం, వికర్షించడంను గుర్తుకు తెచ్చుకోండి. ఈ వ్యతిరేకత శక్తి నిత్యత్వ నియమం పర్యవసానమే, దానిని లెంజ్ నియమంగా సూత్రీకరించారు. **వాహకంలో విద్యుత్ ప్రేరేపిత మయినపుడు, ఏ మార్పు వల్ల విద్యుత్ ప్రేరేపితమయ్యిందో ఆ మార్పును వ్యతిరేకించేటట్లుగా అయస్కాంత క్షేత్రం ఏర్పడేలా విద్యుత్ ప్రవాహ దిశ ఉంటుంది.**

ఏమి లేనపుడు, మనమేమి పొందబోవడం లేదని ఈ నిర్వచనంలోని పదం "వ్యతిరేకత" తెలియజేస్తుంది. దండాయస్కాంతంను రింగు వైపుకు తోసినపుడు, రింగులోని ప్రేరణ ప్రవాహం ఏర్పరచే అయస్కాంత క్షేత్రం, అభివాహంలోని మార్పును వ్యతిరేకిస్తుంది. ప్రేరణ ప్రవాహం ఉత్పత్తి చేసిన అయస్కాంతక్షేత్రం ముందుకు వస్తున్న అయస్కాంతాన్ని వికర్షిస్తుంది. మనం అయస్కాంతాన్ని ముందుకు జరపాలి అనుకొంటే అయస్కాంతంమీద కొంత పనిచేయాలి. ఈ పని రింగులో విద్యుచ్ఛక్తిగా కనిపిస్తుంది. లెంజ్‌నియమం, శక్తి నిత్యత్వ నియమాన్ని అనుసరిస్తుంది. ఫారడే మరియు లెంజ్ నియమాల ఉమ్మడి సమాసాన్ని ఈ కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \qquad (22.5)$$

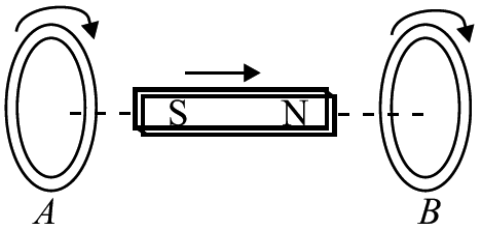
కారణానికి వ్యతిరేకతను రుణ సంజ్ఞ తెలుపుతుంది.

లెంజ్ నియమం అనువర్తనం కొరకు, ఉదాహరణ 22.2 లో చూపిన తీగచుట్టను తీసుకొందాం. దాని అక్షాన్ని లంబదిశలో తీసుకొని, అయస్కాంత క్షేత్రదిశ అక్షం వెంబడి ఊర్ధ్వ దిశలో ఉందనుకొందాం. తీగచుట్ట పై నుండి చూసే పరిశీలకుడికి ప్రేరణ విద్యుచ్చాలక బలం ఏ దిశలో కనిపిస్తుంది? సవ్యదిశలోనే ఉంటుంది. దీని ద్వారా ఏర్పడే అయస్కాంత క్షేత్రం మారుతున్న అయస్కాంత అభివాహాన్ని వ్యతిరేకిస్తుంది. ఇంకా ముందుకు పోవడానికి లెంజ్ నియమంను అనువర్తింపజేయడాన్ని నేర్చుకోవాలి. ఈ కింది అభ్యాసాన్ని ప్రయత్నించి చూడండి.

సంవృత వలయాలలోని ప్రేరిత విద్యుత్ ప్రవాహాలను లెంజ్ నియమం వివరిస్తుంది. ఎందుకంటే, సంవృత వలయాలల్లో మాత్రమే ప్రేరిత విద్యుత్ ప్రవాహాలను ఉత్పత్తి చేయవచ్చు. లేకుంటే మనం కేవలం ప్రేరిత వి.చా.బ, దాని దిశల గురించి మాత్రమే మాట్లాడాల్సి ఉంటుంది.

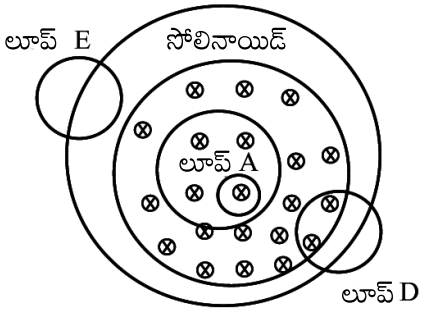
పాఠంలోని ప్రశ్నలు 22.2

1. పటం 22.6 లోని దండాయస్కాంతం కుడివైపుకు కదులుతుంది. స్థిర పరిపదం A మరియు B లలో ప్రేరణ ప్రవాహం దిశ ఏమిటి?



పటం 22.6

2. ఆదర్శ సోలినాయిడ్ మధ్యచ్ఛేదం పటం 22.7 లో చూపించారు. సోలినాయిడ్ లోపల ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రం పరిమాణం పెరుగుతూ ఉంది. సోలినాయిడ్ బయట $\mathbf{B} = 0$. ఏ వాహక పరిపథాలలో ప్రేరణ ప్రవాహం ఉంటుంది. ప్రతీ సందర్భంలో ప్రవాహ దిశ ఏమిటి?

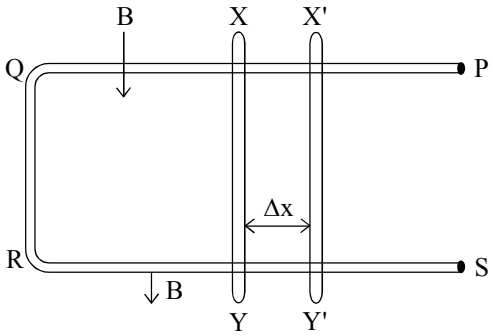


పటం 22.7

3. దండాయస్కాంత అక్షం, రాగి రింగు అక్షం వెంబడి ఉండేలా అమర్చబడి దాని పొడవు వెంబడి రింగు వైపుకు కదపబడింది. రింగులోపల ప్రేరణ ప్రవాహం ఉంటుందా? రింగులోపల ప్రేరణ విద్యుత్‌క్షేత్రం ఉంటుందా? దండాయస్కాంతం మీద అయస్కాంత బలం ఉంటుందా? వివరించండి.

22.2 చలనాత్మక విద్యుచ్చాలక బలం (Motional Electromotive Force)

ఒక ముందపాటి రాగి తీగ XY అనేది PQRS అనే మందంగా ఉన్న తీగ చట్రంపై ఉందనుకోండి. ఈ మొత్తం అమరిక B అనే అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉంది. పటం 22.8 లో చూపినట్లు పుట తలంలో లోపలికి లంబంగా క్షేత్రం B పని చేస్తుంది. రాగి తీగ చట్రంపై కదులుతున్నప్పుడు ఘర్షణ వల్ల ఎలాంటి నష్టం జరగడం లేదనుకోండి. XQRY అనే ఒక సంవృత వలయాన్ని ఏర్పరుస్తూ, కొంత వైశాల్యాన్ని ఆవృతం చేస్తోంది. ఈ వైశాల్యం XY చలించినప్పుడల్లా మారుతుంది.



పటం 22.8

l పొడవు గల వాహకం XY, Δt సమయంలో Δx దూరం చలించి అనే X'Y' కొత్త స్థానానికి చేరిందనుకోండి. అప్పుడు లూప్ వైశాల్యం పెరుగుదల $l\Delta x$ అవుతుంది.

అయస్కాంత అభివాహం $\Delta\phi$ లో మార్పు $= Bl\Delta x$

అయస్కాంత అభివాహంలో మార్పురేటు $= \dfrac{Bl\Delta x}{\Delta t}$

$= Blv$

ఇక్కడ $\left(v = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}\right)$ అనేది వాహకం వేగం XY.

ఫారడే–లెంజ్ నియమం ప్రకారం, ప్రేరిత విద్యుచ్చాలక బలం అనేది అయస్కాంత అభివాహంలోని మార్పురేటుకు సమానం

$$\therefore \qquad \varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -Blv$$

అందువల్ల, B అయస్కాంత క్షేత్రంలో l పొడవు గల వాహకం v వేగంతో చలించడం వల్ల దానిలో కలిగే ప్రేరిత విద్యుచ్చాలక బలం పరిమాణాత్మక విలువ Blv అవుతుంది.

అంటే, అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని మార్చకుండా వాహకాన్ని కదిలించడం ద్వారా దానిలో ప్రేరిత విద్యుచ్చాలక బలాన్ని ఉత్పత్తి చేయగలిగాము.

అయస్కాంత క్షేత్రంలో చలించే వాహకంలో ప్రేరితమైన విద్యుచ్చాలక బలాన్ని చలనాత్మక విద్యుచ్చాలక బలం అంటారు.

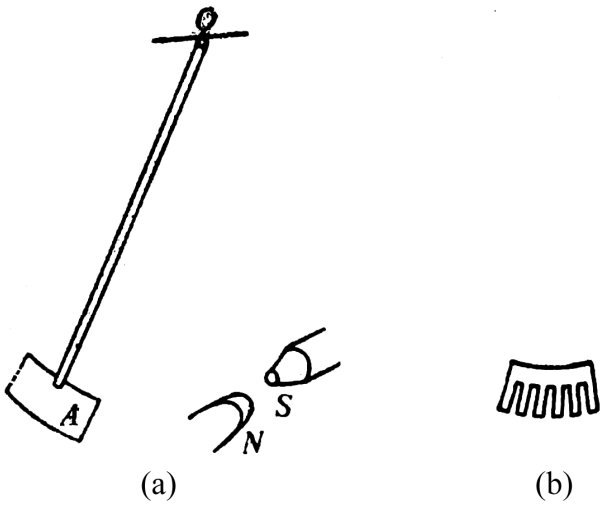
పాఠంలోని ప్రశ్నలు 22.3

1. l పొడవు గల కడ్డీ v స్థిర వేగంతో B అయస్కాంత క్షేత్రంలో లంబంగా చలిస్తోంది. కడ్డీలో ప్రేరితమయ్యే విద్యుచ్చాలక బలం కాలంతో ఎలా మారుతుందో తెలిపే గ్రాఫ్‌ను గీయండి.
2. ఉత్తర-దక్షిణ (N-S) దిశలో ఉన్న ఒక తీగను స్వేచ్ఛగా కిందికి వదిలారు. తీగ చివరల (కొనల) మధ్య ప్రేరితమయ్యే విద్యుచ్చాలక బలం ఎంత?

22.3 ఎడ్డీ ప్రవాహాలు (సుడి ప్రవాహాలు) (Eddy Currents)

ఒక పెద్ద లోహపు విమ్మోను లేదా ముక్కను అయస్కాంత క్షేత్రంలో చలింపచేసినా లేదా కాలంతో మారే అయస్కాంత అభివాహానికి దగ్గరగా ఉంచినప్పుడు, లోహపు అంతర్భాగంలో అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖలకు లంబంగా ఉండే తలాల్లో ప్రేరిత విద్యుత్ ప్రవాహాలు ఏర్పడతాయి. ఈ విద్యుత్ ప్రవాహాల దిశను లెంజ్ నియమం ద్వారా కనుక్కోవచ్చు. ఈ ప్రభావాన్ని 1895 సంవత్సరంలో ఫోకాల్ట్ కనుక్కొన్నాడు.

ఎడ్డీ ప్రవాహాల ఉత్పత్తిని పటం 22.9 (a) లో చూపిన ఒక సరళ ప్రయోగం ద్వారా చూపవచ్చు. పటంలో చూపిన విధంగా తన తలానికి లంబంగా గల అక్షం పరంగా ఊగ గలిగిన ఒక రాగి పలకను బలమైన విద్యుదయస్కాంత ధృవాల మధ్య డోనాలాలు చేసేలా ఏర్పాటు చేయడమైంది. విద్యుదయస్కాంతాల ద్వారా విద్యుత్ ప్రవహించనంత వరకూ, పలక చేసే డోలనాలు గాలి అవరోధం వల్ల నెమ్మదిగా క్షీణిస్తూ ఉంటాయి. విద్యుదయస్కాంతాల ద్వారా విద్యుత్ ప్రవహించడం మొదలవగానే, పలక చలనం చాలా శీఘ్రంగా ఆగిపోతుంది. దీనికి కారణం ఏమంటే, పలకలో ప్రేరితమైన విద్యుత్ ప్రవాహాలు పలక చలనాన్ని వ్యతిరేకించే దిశలో (Circulate) చెందుతాయి. (లెంజ్ నియమం ప్రకారం)



పటం 22.9

ఈ రాగి పలకలో, పటం 22.9 (b) లో చూపినట్లు, దీర్ఘచతురస్రాకార చీలికను చేస్తే, ఎడ్డీ ప్రవాహాల ప్రవాహానికి లభ్యమయ్యే వైశాల్యం తగ్గడం వల్ల, విద్యుదయస్కాంత అవరుద్ధం తగ్గి, పలక మరింత ఎక్కువ కాలం డోలనాలు చేయగలుగుతుంది.

లోహ కాండం (కోర్)పైన చుట్టిన తీగ చుట్టలు గల ట్రాన్స్‌ఫార్మర్లు, విద్యుత్ మోటార్లు, డైనమోలు వంటి పరికరాలలోని లోహకోర్‌లలో ఎడ్డీ విద్యుత్ ప్రవాహాలు ఏర్పడతాయి. ఎడ్డీ ప్రవాహాలు ఉష్ణాన్ని ఉత్పత్తి చేయడమే గాక (శక్తి నష్టం) తమకు తాము అభివాహాన్ని ఏర్పరచుకోవడం వల్ల ఇవి అవాంఛనీయాలు. ఒక లోహ కోర్‌ను చేయడానికి వాడిన లోహ స్తరితాల (Laminations of metal) ను ఉపయోగించి ఎడ్డీ ప్రవాహాలను కనిష్ఠమయ్యేట్లు చేస్తారు. ఈ లోహ స్తరితాలను వార్నిష్ వంటి విద్యుద్బంధక పదార్థంలో ఒకదాని నుంచి మరొక దాన్ని వేరుపరుస్తారు. ఈ లోహ స్తరితాల తలాన్ని ఎడ్డీ ప్రవాహాల పథాలను అడ్డంగా ఖండించేటట్లుగా అయస్కాంత క్షేత్రానికి సమాంతరంగా అమర్చాలి. ఈ అమరిక ఎడ్డీ ప్రవాహాల సత్వాన్ని తగ్గిస్తుంది. దీనితో ఉష్ణ నష్టం గణనీయంగా తగ్గుతుంది.

కాబట్టి ట్రాన్స్‌ఫార్మర్‌లలో స్తరిత కోర్ (laminated core) ను వాడటం వల్ల ప్రాభావిక నిరోధం పెరిగి, ప్రేరిత ఎడ్డీ ప్రవాహం తగ్గడం వల్ల శక్తి నష్టం తగ్గుతుంది. ఎడ్డీ ప్రవాహాలు కొన్ని సార్లు అవాంఛనీయాలు. మరికొన్ని సార్లు వీటిని లాభదాయకంగా వాడుకొంటారు.

22.3.1 అనువర్తనాలు

(i) ఎలక్ట్రిక్ బ్రేకులు : బలమైన, స్థిర అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని భ్రమణం చెందే ఒక డ్రమ్‌పై హఠాత్తుగా అనువర్తించగానే (ప్రయోగించగానే) డ్రమ్‌లో ఎడ్డీ ప్రవాహాలు ఏర్పడి, ఒక టార్క్‌ను కలిగిస్తాయి. డ్రమ్ చలనాన్ని ఈ టార్క్ ఆపుతుంది. ఎలక్ట్రిక్ రైళ్ళను ఆపడానికి ఈ సూత్రాన్ని వాడతారు.

(ii) ప్రేరణ కొలిమి : అత్యధిక ఉష్ణోగ్రతలను ఉత్పత్తి చేయడానికి ప్రేరణ కొలిమిని ఉపయోగిస్తారు. కరిగించవలసిన లోహాల చుట్టూ ఉండే తీగ చట్టు ద్వారా ఒక అధిక పౌనఃపున్యం గల ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని పంపించడం ద్వారా చాలా వేగంగా మారే అయస్కాంత క్షేత్రం ఏర్పడుతుంది. దీనితో లోహాలలో జనించే ఎడ్డీ ప్రవాహాలు వాటిని కరిగించడానికి సరిపోయే అధిక ఉష్ణోగ్రతలను ఉత్పత్తి చేస్తాయి. లోహ ధాతువు నుంచి లోహాన్ని పొందడానికి ఈ ప్రక్రియను ఉపయోగిస్తారు.

(iii) ప్రేరణ మోటారు : భ్రమణం చెందే అయస్కాంతక్షేత్రంలో లోహ స్థూపాన్ని ఉంచినప్పుడు దానిలో ఎడ్డీ ప్రవాహాలు ఉత్పత్తి అవుతాయి. ఈ విద్యుత్ ప్రవాహాలు స్థూపం, క్షేత్రాల మధ్య సాపేక్ష చలనాన్ని తగ్గిస్తాయి. కాబట్టి స్థూపం క్షేత్రం దిశలో భ్రమణం చేయడం ప్రారంభిస్తుంది. ప్రేరణ మోటారు పనిచేసే సూత్రం ఇదే.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 22.4

1. ఎడ్డీ ప్రవాహాల భావనతో పనిచేసే పరికరాల పేర్లు తెల్పండి.
2. పైన తెల్పిన పరికరాలలో చలించే వ్యవస్థకు ఎలాంటి లోహ పలకను కలుపుతారు?

3. గృహాలలో వినియోగించే అనలాగ్ విద్యుత్ మీటర్‌లలో భ్రమణం చెందుతున్న మెరిసే లోహపు బిళ్ళ ఉంటుంది. ఎందుకు?

4. ఎడ్డీ ప్రవాహాల అవాంఛనీయ ప్రభావాలను పేర్కొనంది.

   (i) ఎడ్డీ ప్రవాహాలు సాపేక్ష చలనాన్ని వ్యతిరేకిస్తాయి.

   (ii) ఎడ్డీ ప్రవాహాలు పరికరాలలో ఉష్ణరూపంలో శక్తి నష్టాన్ని కలగజేస్తాయి. పర్యవసానంగా, ఆ పరికరాల జీవిత కాలం తగ్గుతుంది.

22.4 ప్రేరకత (Inductance)

వలయంలోని ప్రవాహం మారితే, దాని చుట్టూ మారుతున్న అయస్కాంత క్షేత్రం ఏర్పడుతుంది. ఈ క్షేత్రంలోని ఒక భాగం అదే వలయం గుండా పోతే దానిలో విద్యుత్ ప్రవాహం ప్రేరేపితమవుతుంది. ఈ వలయం సమీపానికి ఇంకొక వలయాన్ని తీసుకువచ్చామనుకుందాం. అపుడు ఆ వలయం లోని అయస్కాంత క్షేత్రం కూడా మారుతూ దాని గుండా విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని ప్రేరేపిస్తుంది.

వలయాల్లో ప్రేరణ విద్యుచ్ఛాలక బలాలు ఈ కింది రెండు విధాలుగా కనిపించవచ్చు.

- తీగ చుట్టలోని ప్రవాహాన్ని మార్చడం ద్వారా, ప్రతీ ఒక చుట్ట లోని అయస్కాంత అభివాహం మారుతూ, తద్వారా తీగచుట్టవద్ద ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం కనిపిస్తుంది. ఈ ధర్మాన్ని స్వయం ప్రేరకత అంటారు.
- ఒక తీగచుట్ట లోని అభివాహం మరియొక తీగచుట్టలో అనుసంధానించబడేలా ఒకదానికొకటి దగ్గరగా అమర్చబడిన రెండు తీగల చుట్టలలో ఒక తీగచుట్టలోని మారుతున్న విద్యుత్ ప్రవాహం మరియొక తీగచుట్టలో విద్యుత్‌చ్ఛాలక బలాన్ని ప్రేరేపిస్తుంది. ఈ సందర్భంలో రెండు తీగచుట్ల యొక్క స్వయంప్రేరకత గురించి మాట్లాడదాం.

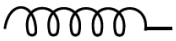
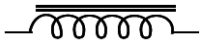
22.4.1 స్వయం ప్రేరకత

విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని కలిగి ఉన్న వాహక పదార్థ పరిపథంను తీసుకుందాం. విద్యుత్ ప్రవాహం, అయస్కాంత క్షేత్రం **B** ను ఏర్పరుస్తుంది. పరిపథంలో ఉన్న అయస్కాంత అభివాహం

$$d\phi = \mathbf{B}.\ \mathbf{ds}$$

బాహ్య అయస్కాంత అభివాహం లేనప్పుడు (ఉదాహరణకు సమీపంలో విద్యుత్‌ప్రవాహం ఉన్న తీగచుట్ట) బయోట్ సావర్ట్స్ నియమం ప్రకారం అయస్కాంత క్షేత్రం తద్వారా అభివాహం, పరిపథంలోని ప్రవాహం (I) కు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

$$\phi \propto I \quad \text{or} \quad \phi = LI \qquad (22.6)$$

ఇక్కడ L ను తీగచుట్ట స్వయంప్రేరణ లేదా స్వయం ప్రేరకత్వం అంటారు. ప్రవాహంలోని మార్పును వ్యతిరేకించే వలయంలోని భాగాల్ని ప్రేరకంలు అంటారు. ఇవి సాధారణంగా తీగచుట్ల రూపంలో వేరు వేరు పరిమాణం, ఆకారాల్లో ఉంటాయి. ప్రేరకం సంకేతం.  దాని అయస్కాంత ప్రభావాన్ని ఎక్కువ చేయడానికి తీగచుట్టను ఇనుప అంతర్భాగం (Iron Core) లో ఉంచినట్లయితే సంకేతం పైన రెండు గీతలతో చూపిస్తారు.  ప్రేరకం యొక్క ప్రేరణ దాని జ్యామితి (Geometry) మీద ఆధారపడుతుంది.

పరిపథంలోని ప్రవాహం మారుతున్నప్పుడు దానితో అనుసంధానించబడిన అయస్కాంత అభివాహం కూడా మారుతూ, రెండు చివరల మధ్య స్వయం ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం ను ఏర్పరుస్తుంది. లెంజ్ నియమం ప్రకారం ప్రేరితవిద్యుచ్ఛాలక బలం దాని మార్పుకి కారణమయిన దానిని వ్యతిరేకిస్తుంది.

ఫారడే, లెంజ్ ప్రేరణ నియమాల ఉమ్మడి రూపాన్ని సమీ (22.5), (22.6) లను కలిపి చెప్పవచ్చు.

So far you have learnt that if current in a loop changes, the magnetic flux linked through

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -L\frac{dI}{dt} \qquad (22.7\ a)$$

$$= -L\left(\frac{I_2 - I_1}{I}\right) \qquad (22.7\ b)$$

ఇక్కడ I_1, I_2 లు వరుసగా, $t = 0, t = \tau$ వద్ద ప్రవాహ విలువలను తెలియజేస్తాయి.

సమీ (22.7 b) నుపయోగించి స్వయం ప్రేరణ ప్రమాణాన్ని నిర్వచించవచ్చు.

$$\text{ప్రమాణం } L = \frac{\text{విద్యుచ్ఛాలక బలం ప్రమాణం}}{\text{ప్రమాణం } dI/dt}$$

$$= \frac{\text{వోల్టు}}{\text{ఆంపియర్ / సెకండ్}}$$

$$= \text{ఆంపియర్ / సెకండ్}$$

ఓమ్ – సెకండును హెన్రీ అంటారు. (దీని సంకేతం రూపం H)

చాలా అనువర్తనాలలో హెన్రీ పెద్ద ప్రమాణం అవుతుంది కనుక చాలాసార్లు mH (10^{-3} H), mH (10^{-6}H) ను ఉపయోగిస్తాం.

స్వయంప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని **తిరో విద్యుచ్ఛాలక బలం (back emf)** అంటారు. ప్రేరకంలోని తిరోవిద్యుచ్ఛాలక బలం, విద్యుత్ ప్రవాహంలోని మార్పు రేటు మీద ఆధారపడి, ప్రవాహంలోని మార్పును వ్యతిరేకిస్తుంది. అనంతమైన విద్యుచ్ఛాలక బలం అసాధ్యం కనుక, ప్రేరక ప్రవాహంలో తత్కాల మార్పు (Instantaneous change) ఏర్పడదని సమీ (22.7 b) నుండి చెప్పవచ్చు. **ప్రేరకం గుండా పోయే ప్రవాహం తత్కాల మార్పు నొందదని చెప్పవచ్చు.**

ప్రేరకం యొక్క ప్రేరణ దాని జ్యామితీయ ఆకారం మీద ఆధారపడుతుంది. సిద్ధాంతం ప్రకారం ఏ వలయానికైన స్వయంప్రేరణను గణించవచ్చు. కాని వాస్తవానికి సరళ జ్యామితీయ ఆకారం ఉన్న పరికరాలకు తప్ప, ఇది కష్టం. విద్యుత్ వలయాల్లో ఎక్కువగా సోలినాయిడ్ అనే పరికరాన్ని ప్రేరకంగా వాడతారు. సోలినాయిడ్ స్వయం ప్రేరణను గణిద్దాం.

(b) సోలినాయిడ్ స్వయం ప్రేరణ (Self-inductance of a solenoid) : A అడ్డుకోత వైశాల్యం, l పొడవుతో, N చుట్లు గల పొడవైన సోలినాయిడ్ ను తీసుకోండి. దాని ప్రేరణను కనుక్కోవడానికి సోలినాయిడ్‌లోని ప్రవాహాన్ని, దాని ద్వారా ఉన్న అయస్కాంత అభివాహానికి సంబంధాన్ని తీసుకురావాలి.

ఇంతకుముందు పాఠంలో పొడవైన సోలినాయిడ్ యొక్క అయస్కాంత అభివాహానికి ఆంపియర్ నియమాన్ని ఉపయోగించాం.

$$|\mathbf{B}| = \mu_0 nI$$

ఇక్కడ $n = N/l$ ఏకాంక పొడవుకు ఉన్న చుట్ల సంఖ్యను సూచిస్తుంది. I సోలినాయిడ్ గుండా పోయే ప్రవాహం.

సోలినాయిడ్ N చుట్ల గుండా పోయే మొత్తం అభివాహం

$$\phi = N\,|\mathbf{B}|\,A = \frac{\mu_0 N^2 AI}{l} \qquad (22.8)$$

సోలినాయిడ్ స్వయం ప్రేరణ

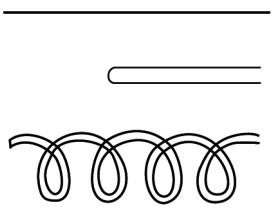
$$L = \frac{\phi}{I} = \frac{\mu_0 N^2 A}{l} \qquad (22.9)$$

ఈ సమాసాన్ని ఉపయోగించి ఒక విలక్షణ సోలినాయిడ్ స్వయం ప్రేరణను, తిరో విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని, వాటి పరిమాణాలను గురించి తెలుసుకోవచ్చు.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 22.5

1. 1 m పొడవు, 20 cm వ్యాసంగల సోలినాయిడ్ 10,000 చుట్ల తీగను కలిగి ఉంది. దాని గుండా ప్రవహిస్తున్న 2.5 A విద్యుత్ ప్రవాహం 1.0 ms లలో సున్నాకు తగ్గిపోయింది. ప్రవాహం తగ్గుతున్నపుడు ప్రేరకంలోని తిరోవిద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని గణించండి.

2. l పొడవు గల వైరును రెండు సమభాగాలుగా మడిచి స్తూపాకార బంధకంపై ప్రేరణ కలిగించని నిరోధం (non-inductive resistor) గా చేశారు. ఈ ఆకృతిని ప్రేరణ కలిగించనది అని ఎందుకంటారు. (పటం 22.10)



పటం 22.10

3. 9.7 mH సోలినాయిడ్ ఏ ప్రవాహ మార్పు రేటుతో 35 mV ల స్వయం ప్రేరణ విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని ఉత్పత్తి చేస్తుంది.

22.4.2 అన్యోన్య ప్రేరణ (Mutual Inductance)

తీగచుట్టలోని ప్రవాహం మారినపుడు దాని చుట్టు మారుతున్న అయస్కాంత అభివాహం ఏర్పడి, అది దాని సమీపంలో ఉన్న తీగ చుట్టలో ప్రేరణ విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని ఏర్పరుస్తుంది. B తీగ చుట్టలో ప్రతీ చుట్టలోని అయస్కాంత అభివాహం, A తీగచుట్టలోని ప్రవాహం యొక్క అయస్కాంత క్షేత్రం వల్ల ఏర్పడినది. (పటం 22.11)

తీగచుట్టలోని ప్రవాహ మార్పువల్ల వేరొక తీగ చుట్టలో విద్యుచ్ఛాలక బలం ప్రేరేపితమవుతుంది.

$$\phi_2 \propto \phi_1 \propto I_1 \Rightarrow \phi_2 = MI_1 \qquad (22.10)$$

ఇక్కడ M ను రెండు తీగ చుట్టల అన్యోన్య ప్రేరణ అంటారు. రెండవ తీగచుట్టలో తిరోవిద్యుచ్ఛాలక బలం ప్రేరేపితమవుతుంది.

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\phi}{dt}$$

$$= -M\frac{dI}{dt} = -M\left(\frac{I_2 - I_1}{t}\right) \qquad (22.11)$$

ఇక్కడ A తీగ చుట్టలో t s లో, విద్యుత్‌ప్రవాహం I_1 నుండి I_2 కు మారుతుంది.

అయస్కాంత పదార్థాలు సమీపంలో లేనపుడు అన్యోన్య ప్రేరణ రెండు తీగచుట్టల జ్యామితి మీద ఆధారపడుతుంది. అన్యోన్య ప్రేరణ SI ప్రమాణం, స్వయం ప్రేరణ ప్రమాణం లాగానే హెన్రీ (H).

ఉదాహరణ 22.3

ఒక వలయంలోని తీగచుట్ట వేరుగా ఉన్న రెండవ వలయంలోని తీగచుట్టకు దగ్గరగా ఉంది. సంయోగం యొక్క అన్యోన్యప్రేరణ 340 mH. 15 ms కాల వ్యవధిలో 1వ తీగచుట్టలోని ప్రవాహం నిలకడగా 28 mA నుండి 57 mA కు మారుతుంది. 2వ తీగచుట్టలో 36 mA నుండి 16 mA కు మారుతుంది. ప్రతీ తీగచుట్టలో వేరొక తీగ చుట్టలోని ప్రవాహ మార్పువల్ల ఏర్పడిన ప్రేరణ విద్యుచ్ఛాలక బలంను నిర్ధారించండి.

సాధన :

15 ms నిమిషాల కాల వ్యవధిలో, స్థిర రేటులో తీగ చుట్లలోని ప్రవాహమార్పు.

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{57\ \text{mA} - 23\ \text{mA}}{15\,\text{ms}} = 2.3\ \text{As}^{-1}$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{16\ \text{mA} - 36\ \text{mA}}{15\,\text{ms}} = -1.3\ \text{As}^{-1}$$

సమీ (22.11) నుండి ప్రేరణ విద్యుచ్ఛాలక బలంల పరిమాణాలు

$$\varepsilon_1 = -\ (340\ \text{mH}) \times (2.3\ \text{As}^{-1}) = -\ 0.78\ \text{V}$$

$$\varepsilon_2 = (340\ \text{mH}) \times (1.3\ \text{As}^{-1}) = 0.44\ \text{V}$$

సమీ (22.11) నుండి ప్రేరణ విద్యుచ్ఛాలక బలంల దిశను సూచిస్తుంది.

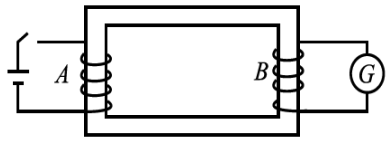
అన్యోన్య ప్రేరణ దృగ్విషయం మీద ఆధారపడి పనిచేసే ముఖ్యమైన ఉపకరణం పరివర్తకం. దీనిని గురించి తరువాత అధ్యయంలో నేర్చుకుంటారు. స్వయంప్రేరణ ఆధారంగా పనిచేసే పరికరాలు చోక్ తీగచుట్ట, ఇగ్నిషన్ కోయల్ మొదలగునవి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 22.6

1. పటం 22.11 లో వలయాలకు కుడిపక్కన ఉన్న పరిశీలకుడి ప్రకారం స్వయం ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలాల దిశను కనుక్కోండి (a) ఒక క్షణం వద్ద విద్యుత్ ప్రవాహం i_1, పెరుగుతున్నపుడు రెండవ

తీగచుట్ట గుండా విద్యుత్‌చ్ఛాలక బలం దిశ ఏమిటి? (b) ఒక క్షణం వద్ద i_2 తగ్గితే, మొదటి తీగ చుట్ట గుండా విద్యుత్‌చ్ఛాలక బలం దిశ ఏమిటి.

2. పటం 22.11 లోని తీగచుట్ల అక్షాలు ఒకదానికొకటి లంబంగా ఉండే విధంగా తిప్పామనకుందాం. అన్యోన్యప్రేరణ విలువ అంతే ఉంటుందా, పెరుగుతుందా లేదా తగ్గుతుందా? వివరించండి.



పటం 22.11: రెండు తీగచుట్ల మధ్య అన్యోన్య ప్రేరణ

22.5 పవర్ జనరేటర్ (Power Generator)

ఎలక్ట్రిక్ పవర్ జనకాలలో ముఖ్యమైనది జనరేటర్. యాంత్రికశక్తిని, అయస్కాంత క్షేత్ర సహాయంతో విద్యుత్‌శక్తిగా మార్చే సాధనాన్ని జనరేటర్ అంటారు. ఏ విద్యుత్ పవర్ జనకం జనరేటర్ లాగ పెద్ద మొత్తంలో విద్యుత్ పవర్ ఉత్పత్తి చేయలేదు. ఒక వాహకం లేదా వాహకాల సమూహంను అయస్కాంత క్షేత్రంలో భ్రమణం చెందిస్తారు. భ్రమణ వాహకంలో విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ వల్ల వోల్టేజి ఏర్పడుతుంది. వాహకాలను భ్రమణం చెందించడానికి కావలసిన శక్తిని నీరు, బొగ్గు, డీజిల్, గ్యాస్, న్యూక్లియర్ ఇంధనం కూడా సమకూర్చుతాయి. అనుగుణంగా మనకు వరుసగా హైడ్రోజనరేటర్లు, థర్మల్ జనరేటర్లు, న్యూక్లియర్ జనరేటర్లు ఉన్నాయి.

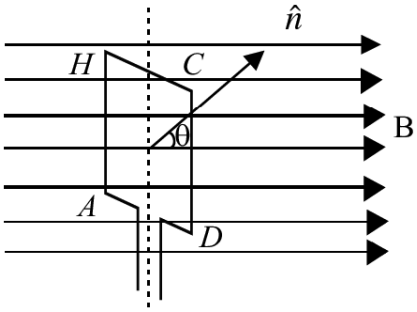
రెండు రకాల జనరేటర్లు ఉన్నాయి.

- ఏకాంతర ప్రవాహ జనరేటర్ లేదా A.C. జనరేటర్, ఏకాంతరకం (Alternators) అని కూడా అంటారు.
- ఏకముఖ ప్రవాహ జనరేటర్ లేదా D.C. జనరేటర్ లేదా డైనమో

ఈ రెండు జనరేటర్లు విద్యుదయస్కాంతప్రేరణ సూత్రంమీద పనిచేస్తాయి.

22.5.1 A.C. జనరేటర్ లేదా ఏకాంతరకం (Generator or Alternator)

జనరేటర్‌లో సాధారణంగా అయస్కాంత క్షేత్రంలో భ్రమణం చేస్తున్న తీగ పరిపథం ఉంటుంది. పటం 22.12 చూడండి. ఇది ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉంచిన దీర్ఘచతురస్రాకార తీగ పరిపథంను చూపిస్తుంది. క్షితిజ సమాంతర అక్షం వెంబడి పరిపథం భ్రమణంలో ఉన్నందున పరిపథం ద్వారా అయస్కాంత అభివాహం మారుతుంది. దీనిని చూడటానికి పటం 22.12 చూపిన పరిపథం గుండా అయస్కాంత అభివాహంను గుర్తుకు తెచ్చుకోండి.



పటం 22.12 : అయస్కాంత క్షేత్రంలో భ్రమణంలో ఉన్న తీగ పరిపథం.

$$\phi(t) = \mathbf{B}.\hat{\mathbf{n}}A$$

ఇక్కడ **B** క్షేత్రం, A వైశాల్యం గల పరిపథం తలంకు లంబంగా ఉన్న యూనిట్ సదిశ $\hat{\mathbf{n}}$. ఏదేని క్షణమందు క్షేత్రదిశకు, పరిపథంకు మధ్య కోణం θ, $\phi(t)$ ను ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$\phi(t) = AB\cos\theta$$

స్థిరకోణీయ θ, వేగం ωతో పరిపథంను తిప్పినపుడు

$$\theta = \omega t \qquad (22.12)$$

$$\therefore \qquad \phi\ (t) = AB\ \cos\ \omega t$$

విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణలోని ఫారడే నియమం నుపయోగించి పరిపథంలో ప్రేరితమైన విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని గణించవచ్చు.

$$\varepsilon(t) = -\frac{d\phi}{dt} = \omega\ AB \sin \omega t \qquad (22.13)$$

N చుట్లు కలిగిన తీగచుట్టలో ప్రేరితమయిన విద్యుచ్ఛాలక బలం

$$\varepsilon(t) = N\ \omega\ AB\ \sin\ \omega t \qquad (22.14)$$

$$= \varepsilon_0\ \sin\ \omega t$$

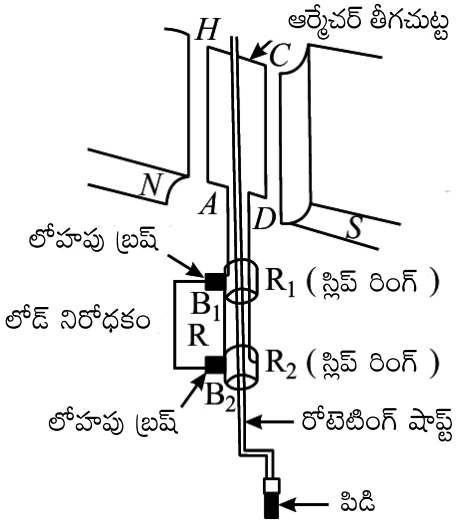
where ε_0 is maximum emf

అంటే ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలో దీర్ఘచతురస్రాకార తీగచుట్టను భ్రమణం చెందిస్తే, జ్యా వక్రీయ (సైనుసోయిడల్) విద్యుచ్ఛాలక బలం ప్రేరేపితమవుతుంది.

A.C. జనరేటర్ నాలుగు ముఖ్య భాగాలను కలిగి ఉంది. (పటం 22.13 ను చూడండి) (i) ఆర్మేచేర్ (Armature), (ii) క్షేత్ర అయస్కాంతం (Field magnet), (iii) స్లిప్ రింగులు (Slip-rings), (iv) బ్రషెస్ (Brushes).

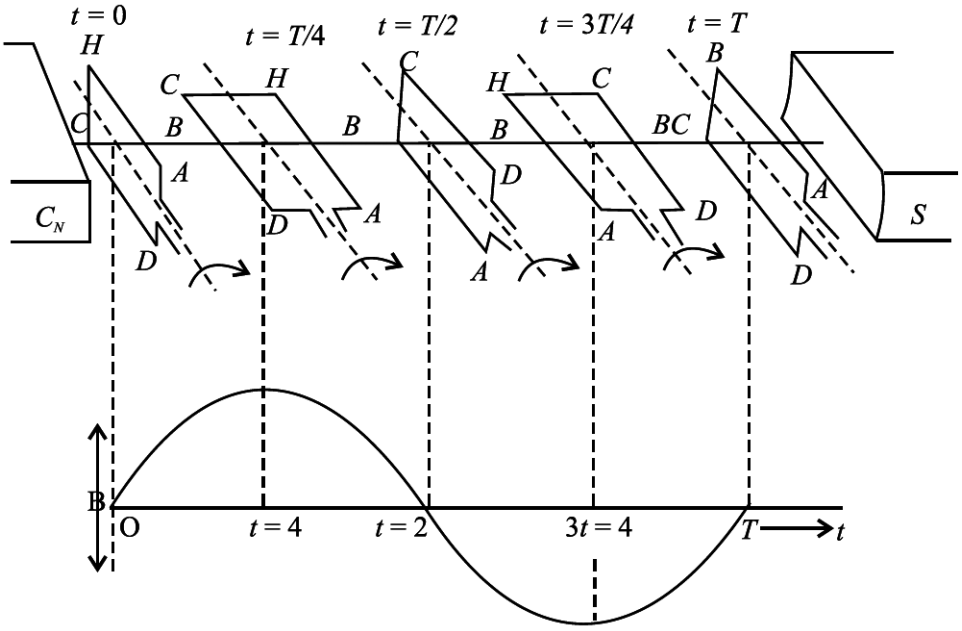
స్తూపాకార మెత్తని ఇనుప డ్రమ్‌పై బంధక రాగి తీగతో చుట్టబడి, ఎక్కువ సంఖ్యలో చుట్లు గల తీగచుట్టను ఆర్మేచర్ అంటారు. ఇది డ్రమ్ అక్షం గుండాపోతున్న షాఫ్ట్ రోటర్‌పై అయస్కాంత క్షేత్రానికి లంబంగా తిరగగలుగుతుంది. మెత్తటి ఇనుముతో చేసిన ఈ డ్రమ్ రెండు విధాలుగా ఉపయోగపడుతుంది. తీగచుట్టను స్థిరంగా ఉంచడానికి సహాయపడుతుంది మరియు తీగచుట్ట గుండా అయస్కాంతప్రేరణను పెంచుతుంది. ధృవాల మధ్య ఏకరీతి శాశ్వత రేడియల్ అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని ఏర్పరచడానికి క్షేత్ర అయస్కాంతాన్ని ఉంచుతారు.

ఆర్మేచర్‌లో ఉత్పత్తి అయిన ac ప్రవాహం సాధనంలో ప్రవహించడానికి, వాటి రెండు చివరలకు బ్రషెస్ ద్వారా అనుసంధానించబడ్డ స్లిప్ రింగులు ఉపయోగపడతాయి. ఈ రెండు లోహపు రింగులకే ఆర్మేచర్ చివరలను కలుపుతారు. ఈ రింగులను షాఫ్ట్‌కు కలుపుతారు. అవి షాఫ్ట్ నుండి మరియు ఒకదాని నుండి ఒకటి విద్యుద్బంధితమూ ఉంటాయి. స్థిరంగా ఉండి భ్రమణం చెందుతున్న రింగులతో స్పర్శతో ఉన్న నమ్యతగల లోహపు లేదా కార్బన్ కడ్డీలు బ్రష్ లు (B_1 మరియు B_2 (Fig. 22.13)). ఆర్మేచర్ మరియు రింగుల నుండి బయటి



పటం 22.13

వలయానికి విద్యుత్‌ను సరఫరా చేసే ప్రధాన తీగలకు ఈ బ్రష్ ల ద్వారానే విద్యుత్ ఇవ్వబడుతుంది. పటం 22.14 లో జనరేటర్ సూత్రం, పని చేసే విధానం చూపించారు.



పటం 22.14 : జనరేటర్ పనిచేసే సూత్రం

ఆర్మేచర్ తీగచుట్ట AHCD అపసవ్య దిశలో భ్రమణం చేస్తుందనుకోండి. ఇది భ్రమణం చేస్తున్నపుడు దీనితో ఉన్న అయస్కాంత అభివాహం మార్పు చెంది వలయంలో విద్యుత్‌ను ప్రేరేపిస్తుంది. ప్రేరణ విద్యుత్ ప్రవాహం దిశను ఫ్లెమింగ్ కుడిచేతి నియమం తెలుపుతుంది. ఆర్మేచర్ నిలువుస్థితిలో ఉందనుకుంటే, భ్రమణం అపసవ్యదిశలో AH తీగ కిందివైపుకు, DC తీగ పై వైపుకు కదులుతాయి. ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం దిశ H నుండి A కు, D నుండి C కు అంటే తీగచుట్టలో DCHA వెంబడి ప్రవహిస్తుంది. బాహ్య వలయంలో విద్యుత్తు B_1 R B_2 వెంబడి పటం 22.14 (a) లో చూపినట్లు ప్రవహిస్తుంది. ఆర్మేచర్ మొదటి అర్ధ భ్రమణంలో ఈ విద్యుత్ దిశ స్థిరంగా ఉంటుంది. రెండవ అర్ధ భ్రమణంలో (పటం 22.14 (b) AH తీగ పై వైపుకు, CD తీగ క్రింది వైపుకు కదులుతాయి. ఆర్మేచర్ తీగచుట్ట తో విద్యుత్తు AHCD దిశలో ప్రవహిస్తుంది, అంటే తీగ చుట్టలో ప్రేరణ విద్యుత్ ప్రవాహ దిశ ఉత్క్రమితమవు (reversed) తుంది. బాహ్య వలయంలో దీని దిశ B_2 RB_1. అందువలన బయటి వలయంలో కూడా ప్రతీ అర్ధ భ్రమణానికి ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం మరియు విద్యుత్ దిశ మారుతుంది. అంటే ఉత్పత్తి అయిన ప్రవాహం ప్రతీ ఆవర్తంలో ఏకాంతరంగా మారుతుంది. (పటం 22.14(c))

స్లిప్‌రింగులు మరియు బ్రష్‌ల అమరిక హెచ్చు నిర్గమ సామర్థ్యం తో కూడినపుడు బంధక, స్ప్రింగ్ ఇబ్బందులను ఏర్పరుస్తాయి. కనుక వాడుకలోని జనరేటర్లలో అర్మేచర్ (తీగచుట్ట) ను స్థిరంగా ఉంచి క్షేత్రాన్ని భ్రమణం చెందిస్తారు. ఇలాంటి జనరేటర్లలో ఆర్మేచర్ తీగచుట్టను జనరేటర్ ఉంచిన లోపలి భాగంలో స్థిరంగా ఉంచుతారు. క్షేత్రతీగ చుట్ట ధృవాలను స్థిరంగా ఉంచిన ఆర్మేచర్ లోపల షాఫ్ట్ మీద భ్రమణం చెందిస్తారు.

22.5.2 డైనమో (DC జనరేటర్)

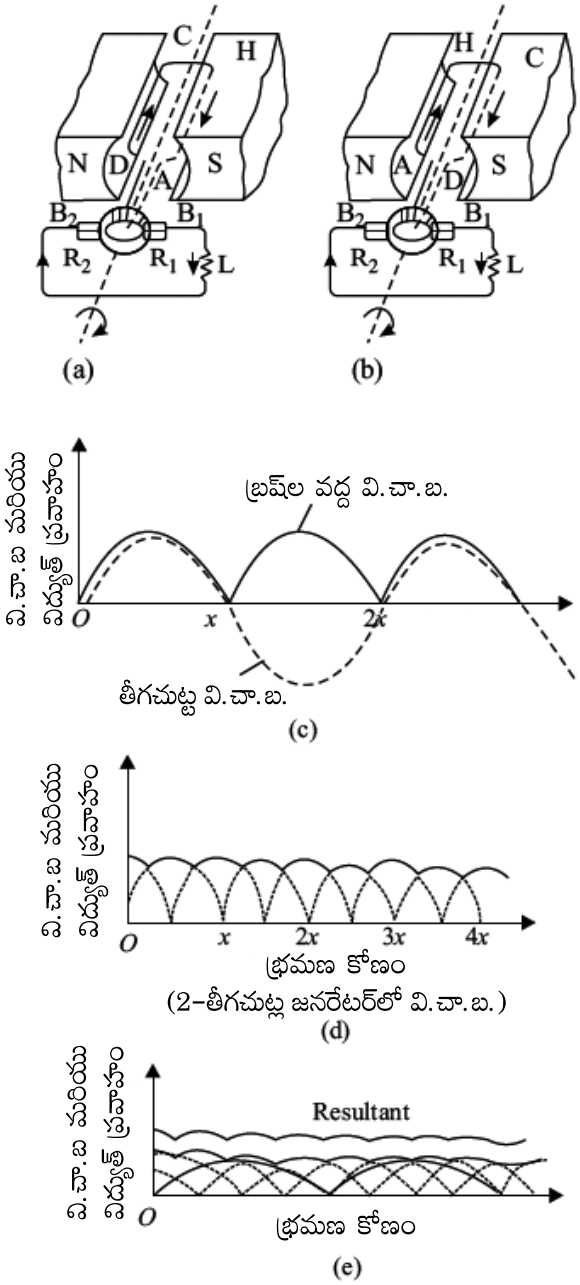
ఏకముఖ ప్రవాహంలో యాంత్రికశక్తిని విద్యుత్ శక్తిగా మార్చే యంత్రాన్ని డైనమో అంటారు. కాంతి కోసం సైకిల్‌కు బిగించబడిన డైనమోను మీరు చూసే ఉంటారు. ఆటో మొబైల్‌లో డైనమో రెండు రకాలుగా ఉపయోగపడుగుంది.

కాంతి కొరకు మరియు బ్యాటరీ చార్జింగ్ చేసుకోవడానికి, డైనమోలో ఉండే ముఖ్యమైన భాగాలు (i) క్షేత్రఅయస్కాంతం (ii) ఆర్మేచర్ (iii) కమ్యుటేటర్ స్ప్లిట్ రింగ్‌లు (iv) బ్రష్‌లు.

డైనమోలో ఉండే ఆర్మేచర్, క్షేత్ర అయస్కాంతాలు, ac జనరేటర్‌లో ఉండే వాటి కన్నా వేరుగా ఉంటాయి. డైనమోలో క్షేత్ర అయస్కాంతం స్థిరంగా ఉంటుంది. ఆర్మేచర్ భ్రమణంలో ఉంటుంది. కాని ఏకాంతరకం (ac జనరేటర్)లో ఆర్మేచర్ స్థిరంగా (స్థిరకారి) ఉండి, క్షేత్రం అయస్కాంత భ్రమణంలో (భ్రమణకారి) ఉంటుంది.

డైనమో స్ప్లిట్ రింగ్ కమ్యుటేటర్ ద్వారా ac జనరేటర్ ఉత్పత్తి చేసిన ac తరంగం లేదా సైను తరంగంను dc రూపంలోకి మారుస్తుంది. కమ్యుటేటర్ ప్రతీ సగభాగం పరిపథం ఒక చివరకు శాశ్వతంగా కలపబడి, పరిపథంతో కమ్యుటేటర్ భ్రమణంలో ఉంటుంది. ప్రతీ బ్రష్, కమ్యుటేటర్ ఒక భాగాన్ని వత్తుతూ ఉంటుంది. బ్రష్‌లు స్థిరంగా ఉంటాయి. కాని కమ్యుటేటర్ తిరుగుతూ ఉంటుంది. కమ్యుటేటర్‌లోని వ్యతిరేక భాగాలను బ్రష్‌లు వత్తుతూ ఉంటాయి. ప్రతీసారీ వోల్టేజ్ ధృవణత (polarity) ని మారుస్తుంది. స్ప్లిట్ రింగులు స్థానాన్ని మార్చుకొంటాయి. అంటే ఒక బ్రష్ ఎల్లప్పుడు ధనాత్మకంగా ఉంటూ వేరొక బ్రష్ రుణాత్మకం అవుతుంది. బ్రష్‌ల వద్ద చాంచల్య (fluctuating) వోల్టేజిని పొందవచ్చు.

dc జనరేటర్, ac డైనమో లాగానే చాలా వరకు అన్ని భాగాలను కలిగి ఉంటుంది. కాని acడైనమో ఒక విషయంలో వేరుగా ఉంటుంది. అది స్లిప్‌రింగ్ బదులు పటం 22.15 (a) లో చూపినట్లు ఒకే రింగులోని రెండు సగాలైన R_1, R_2 స్ప్లిట్ రింగులను వాడతాము. ఆర్మేచర్ తీగచుట్ట చివరలను ఈ రింగులకు కలుపుతారు. రింగు, ఆర్మేచర్‌తో బాటు తిరుగుతూ B_1, B_2 బ్రష్ లతో రింగు స్పర్శ మారుతూ ఉంటుంది. డైనమో ఈ భాగాన్ని కామ్యుటేటర్ అంటారు.



పటం 22.15 dc జనరేటర్

తీగచుట్ట సవ్య దిశలో భ్రమణం చెందినపుడు ఆర్మేచర్ లో ప్రవాహం ఏర్పడుతుంది. కాని కమ్యుటేటర్ దానిని బాహ్యవలయంలో dc గా మారుస్తుంది. మొదటి అర్ధ ఆవర్తంలో పటం 22.15 (a) విద్యుత్ DCHA వెంబడి ప్రవహిస్తుంది. బాహ్య వలయంలో విద్యుత్ B_1 L B_2 వెంబడి ప్రవహిస్తుంది. రెండవ అర్ధ ఆవర్తంలో పటం 22.15 (b)

ఆర్మేచర్‌లోని విద్యుత్ ఉత్క్రమితమై AHCD వెంబడి ప్రవహిస్తుంది, R_1 రింగు, B_1, నుండి B_2 కు స్పర్శలోకి వస్తుంది. అంటే బాహ్య వలయంలో విద్యుత్ ఎల్లప్పుడూ ఒకే దిశలో ప్రవహిస్తుంది. తీగచుట్టను అయస్కాంత బలరేఖలకు లంబంగా ఉన్న స్థితి నుండి భ్రమణం చెందిస్తున్నప్పుడు బాహ్య వలయంలో ఏర్పడే విద్యుత్, ప్రవాహాన్ని గ్రాఫ్ ద్వారా పటం 22.15 (c) లో చూపించారు. ఇటువంటి సరళ dc డైనమో ఉత్పత్తి చేసే విద్యుత్ ఏకదిశాత్మకం (Unidirectional). కాని దీని విలువ చెప్పుకోదగినంతగా మారుతూ ఉంటుంది. తీగచుట్ట ప్రతీ భ్రమణంలో కనీసం రెండు సార్లు శూన్య విలువకు పడిపోతుంది.

పరస్పరం లంబంగా ఉన్న రెండు తీగచుట్టలను ఉపయోగించి, కమ్యుటేటర్ రింగును నాలుగు భాగాలుగా విభిజించి తీగచుట్ట చివరలకు కలపడం ద్వారా ఈ మార్పును అధిగమించవచ్చు. ఈ సందర్భంలో రెండు తీగ చుట్టలు దశలో $\pi/2$ భేదం కలిగిన సమాన విద్యుచ్చాలక బలాలను ఏర్పరుస్తాయి. పటం 22.15 (d) లో చూపినట్లు ఫలిత విద్యుత్ ప్రవాహం లేదా విద్యుచ్చాలక బలం రెండింటిని అధ్యారోపణం ద్వారా పొందవచ్చు. ఈ విధంగా హెచ్చు, తగ్గులను (fluctuations) బాగా తగ్గించవచ్చు. ఇలాగే నిలకడ, ప్రవాహాన్ని ఎక్కువ సంఖ్యలో చుట్లు గల ఎక్కువ తీగచుట్టలను ఉపయోగించి పొందవచ్చు. తీగచుట్టలు స్వతంత్రంగా పనిచేసి, బాహ్య వలయంకు విద్యుత్‌ను పంపించేలా, కమ్యుటేటర్ రింగును తీగచుట్టల చివరల సంఖ్యను బట్టి విభజిస్తారు. ఫలిత విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని పటం 22.15 (e) లో చూపించారు. ఇది కాల అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 22.7

1. ac మరియు dc జనరేటర్‌ల మధ్య భేదాలను తెల్పండి.
2. dc జనరేటర్‌లోని ముఖ్యమైన భాగాల పేర్లను తెల్పండి.
3. జనరేటర్‌లో కమ్యుటేటర్‌ను ఎందుకు ఉపయోగిస్తాం.
4. నిత్యజీవితంలో డైనమోను ఎక్కడ ఉపయోగించడం చూశావు?

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- తీగచుట్ట తలంలో ఉన్న అయస్కాంత అభివాహం మారినపుడు తీగచుట్టలో ప్రవాహం ప్రేరేపితమవుతుంది. ఈ దృగ్విషయాన్ని విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ అంటారు.
- పరిపథంలో ప్రేరణ విద్యుచ్చాలక బలంను ఫారడే నియమం ఇస్తుంది.

$$\varepsilon = \frac{d\phi_B}{dt}$$

ఇక్కడ ϕ_B పరిపథంలో ఉన్న అయస్కాంత అభివాహం

- లెంజ్ నియమం ప్రకారం, ప్రేరణ విద్యుచ్చాలక బలం దాని ఉత్పత్తికి కారణమైనదానిని వ్యతిరేకిస్తుంది.
- తీగచుట్టలో ప్రవాహం మారినపుడు, దాని గుండా స్వయం ప్రేరణ విద్యుచ్చాలక బలం ఏర్పడుతుంది.

- A మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం, N చుట్లు, l పొడవు గల గట్టిగా చుట్టబడిన పొడవైన సోలినాయిడ్ స్వయం ప్రేరణ.

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$$

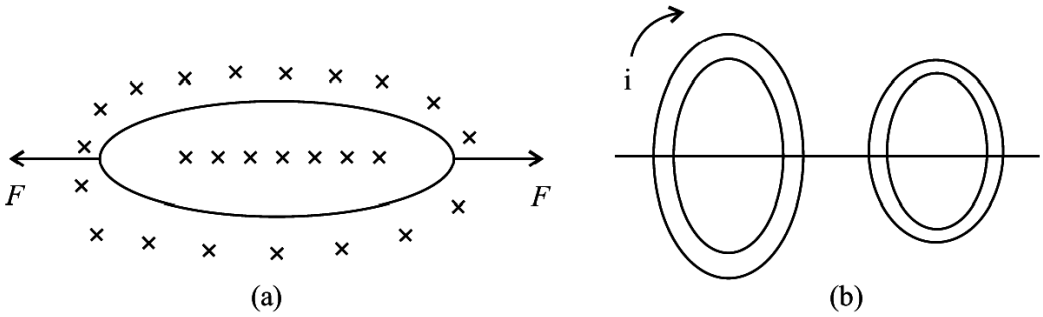
- The changing currents in two nearby coils induce emf mutually.
- ఒకదానికొకటి సమీపంలో ఉన్న రెండు తీగచుట్టలలో మారుతున్న విద్యుత్ ప్రవాహం వల్ల అవి పరస్పరం విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని ప్రేరేపించుకుంటాయి.
- ఒక లోహదిమ్మె లేదా వలయంలో అనుసంధానమైన ఉండే అయస్కాంత అభివాహం మారినప్పుడు దిమ్మె లేదా వలయంలో ప్రేరిత విద్యుత్ ప్రవాహం ఉత్పత్తి అవుతుంది. ఈ విద్యుత్ ప్రవాహాన్నే ఎడ్డీ ప్రవాహం అంటారు.
- ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఒక విద్యుత్ వాహకం చలించినప్పుడు ఆ వాహకం కొనల మధ్య ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం ఉత్పత్తి అవుతుంది. ఈ ప్రేరిత వి.చా.బ.ను చలనాత్మక వి.చా.బ అంటారు.
- జనరేటర్, యాంత్రికశక్తిని, విద్యుత్ శక్తిగా మారుస్తుంది. ఇది విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ సూత్రం మీద పనిచేస్తుంది.

ముగింపు అభ్యాసం

1. 250 చుట్లు గల ప్రతీ పరిపథం తల వైశాల్యం $S = 9.0 \times 10^{-2}$ m^2. (a) ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం 7.5 V అయితే తీగచుట్టలోని ప్రతీ చుట్టలో ఉన్న అభివాహంలోని మార్పురేటు ఎంత? (b) తీగచుట్ట అక్షం నుండి 45° వద్ద ఉన్న ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రం వల్ల అభివాహం ఏర్పడితే ఆ విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని ప్రేరేపించే క్షేత్రం మార్పు రేటు ను గణించండి.

2. (a) పటం 22.16 (a) లో F తో సూచించిన బలాలతో లాగడం ద్వారా పరిపథం వైశాల్యాన్ని తగ్గించినపుడు పరిపథంలో ప్రేరితమయ్యే విద్యుత్ దిశ ఏమిటి. B కాగితం లోపలికి ఉంటూ దానికి లంబంగా ఉంటుంది.

   (b) పటం 22.16 (b)లో చూపించని బ్యాటరీ వల్ల ఎడమవైపు నుండి చూసినపుడు ఆకస్మాత్తుగా పెద్ద పరిపథంలో సవ్యదిశలో ప్రవాహం ఏర్పడినపుడు చిన్న పరిపథంలో ప్రేరితమైన విద్యుత్ దిశ ఏమిటి?



పటం 22.16

3. (a) సోలినాయిడ్‌లో చుట్ల సంఖ్యను రెండింతలు చేసినపుడు స్వయం ప్రేరణ ఎంత పరిమాణంలో మారుతుంది.

(b) స్పార్క్‌ప్లగ్‌లో హెచ్చు వోల్టేజిని ప్రయోగించి ప్లగ్ లోని రెండు వాహకాల మధ్య స్పార్క్‌ను కలుగజేసినపుడు వాహనంలోని పెట్రోల్ మండుతుంది. ఒక దానిపై ఒకటి ఉంచి గట్టిగా చుట్టబడిన రెండు తీగ చుట్టల అమరిక హెచ్చు వోల్టేజిని ఇస్తుంది. వాహనంలోని బ్యాటరీ నుండి విద్యుత్ ప్రవాహం తక్కువ చుట్లు ఉన్న తీగ చుట్ట నుండి ప్రవహిస్తుంది. స్విచ్ నుపయోగించి ఈ ప్రవాహానికి ఆవర్తకంగా అవరోధం కల్పించారు. ప్రవాహంలో ఆకస్మాత్తుగా జరిగే ఈ మార్పుల వల్ల ఎక్కువ చుట్లు గల తీగచుట్టలో అధిక విద్యుచ్చాలక బలాన్ని ప్రేరేపిస్తుంది. ఈ విద్యుచ్చాలక బలమే స్పార్క్‌ను నడిపిస్తుంది. ఒక విలక్షణ ఇగ్నిషన్ తీగచుట్ట 3.0 A విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని తీసుకొని, 24 kV విద్యుత్‌చ్చాలక బలాన్ని స్పార్క్ ప్లగ్‌ను సరఫరా చేస్తుంది. ఈ తీగ చుట్టలో ప్రతి 0.10 ms కొకసారి ప్రవాహానికి అవరోధాన్ని కల్పించిన ఇగ్నిషన్ తీగచుట్టలో స్వయం ప్రేరణను కనుగొనండి.

4. విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ అంటే ఏమిటి? విద్యుదయస్కాంత ఫారడే నియమాలను వివరించండి.

5. లెంజ్ నియమాన్ని తెల్పండి. లెంజ్ నియమం,శక్తినిత్యత్వ నియమం పరిణామమని చూపించండి.

6. స్వయం ప్రేరణ అనగానేమి. స్వయం ప్రేరణ భౌతిక ప్రాముఖ్యతను వివరించండి.

7. స్వయం ప్రేరణ, అనోన్య ప్రేరణల మధ్య భేదాన్ని తెలపండి . ఏ విషయాలమీద అవి ఆధారపడతాయి.

8. 9×10^{-2} s లో ప్రవాహం 10 H నుండి 7 A వరకు మారే 10 A ప్రేరకంలో ఎంత విద్యుచ్చాలక బలం ప్రేరితమవుతుంది.

9. ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉన్న మందపాటి చట్రంపై ఉంచిన ఒక కడ్డీలో ప్రేరితమయ్యే చలనాత్మక వి.చా.బ.కు సమీకరణాన్ని రాబట్టండి.

10. 80 cm పొడవు గల కడ్డీ లంబంగా ఉన్న స్థిర అయస్కాంతక్షేత్రంలో 4 m/s చలిస్తున్నప్పుడు, కడ్డీలో ప్రేరితమైన వి.చా.బ. 64 mV అయితే B విలువ ఎంత?

11. ఎడ్డీ ప్రవాహాలు అంటే ఏమిటి? వివరించండి. ఎడ్డీ ప్రవాహాల ముఖ్య అనువర్తనాలను తెల్పండి.

12. a.c. జనరేటలర్ పనిచేసే సూత్రం, నిర్మాణం మరియు పరిచేసే విధానాన్ని వర్ణించండి.

13. d.c జనరేటర్ పనిచేసే సూత్రం, నిర్మాణం మరియు పనిచేసే విధానాన్ని వర్ణించండి.

14. 2 web/m^2 అభివాహ సాంద్రత గల క్షేత్రానికి లంబంగా 10 cm పొడవు గల తీగ 4 m/sec వేగంతో చలించినప్పుడు తీగలో ఎన్ని ఓల్ట్‌ల వి.చా.బ. ఉత్పత్తి అవుతుంది?

పాఠంలోని ప్రశ్నల సమాధానాలు

22.1

1. $N = 1000$, $r = 5 \times 10^{-2}$ m మరియు $B_1 = 10$ T $B_2 = 0$T

(a) $t = 1$ s కు

$$|\varepsilon| = N\frac{(B_2 - B_1)}{t}\pi r^2$$

$$= 10^3 \times \frac{10 \times \pi \times 25 \times 10^{-4}}{1}$$

$$= 25\ \pi V$$

$$= 25 \times 3.14 = 78.50\ V$$

(b) $t = 1$ ms కు

$$|\varepsilon| = \frac{10^3 \times 10\pi \times 25 \times 10^{-4}}{10^{-3}}$$

$$= 78.5 \times 10^3 V$$

2. $\phi = A + Dt^2$ కనుక $\varepsilon_1 = \frac{d\phi}{dt} = 2Dt$

$\therefore \quad \varepsilon = N\varepsilon_1 = 2N\ Dt$

$= 2 \times 250 \times 15\ t = 7500\ t$

$t = 0$ కు $\varepsilon_1 = 0$ అప్పుడు $\varepsilon = 0$ V

$t = 3$ s కు $\varepsilon = 22500$ V

3. $\phi = \mathbf{B.S} = BS\cos\theta$

$$|\varepsilon| = N\frac{d\phi}{dt}$$

$$|\varepsilon| = \left|NS\frac{dB}{dt}\cos\theta\right| \because \theta \text{ స్థిరాంకం}$$

(a) $|\varepsilon|$ గరిష్ఠం

$\cos\theta = 1$ అయినప్పుడు $\theta = 0$ తీగచట్టక్షేత్రానికి లంబంగా ఉంటుంది.

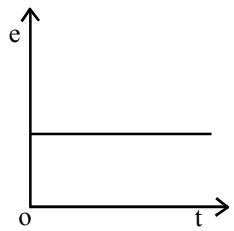
(b) $|\varepsilon|$ కనిష్ఠం

$\theta = 90$ అయినప్పుడు అంటే తీగచుట్ట తలం క్షేత్రానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది.

22.2

1. తీగచుట్టను అయస్కాంతం వైపు నుండి చూసినపుడు A మరియు B లలో అపసవ్యదిశ ఉంటుంది.
2. ఒక్క పరిపథం E కు తప్ప అన్ని పరిపథాలలో అయస్కాంత అభివాహం మారుతుంది. వాటిలో ప్రతీ ఒక్క దానికి ప్రేరిత విద్యుచ్చాలక బలం అపసవ్యదిశలో ఉంటుంది.
3. అవును, రింగులో ప్రేరిత విద్యుత్ ప్రవాహం ఉంటుంది. రింగులో ప్రవహిస్తున్న విద్యుత్ ప్రవాహం కారణంగాఏర్పడే వికర్షణ బలంతో దండాయస్కాంతం పని చేస్తుంది.

22.3



1. కడ్డీ స్థిరవేగంతో చలిస్తోంది కాబట్టి ప్రేరిత విద్యుచ్చాలక బలం (e) స్థిరంగా ఉంటుంది. అది Blv కి సమానంగా ఉంటుంది.
2. తీగ చలించే దిశకు లంబంగా ఎలాంటి అయస్కాంత క్షేత్రం లేదు కాబట్టి, తీగ చివరల మధ్య ప్రేరితమైన విద్యుచ్చాలక బలం సున్నా.

22.4

1. కదిలే తీగచట్టు గాల్వనా మీటరు, బాలెన్సెస్, అమ్మీటర్‌లు, ఓల్ట్ మీటర్లు.
2. రాగి పలక
3. జ్యా వక్రీయంగా (Sinusoidally) మారే విద్యుత్ ప్రవాహాలు ఉత్పత్తి చేసే అయస్కాంత క్షేత్రాలు ఆ బిళ్ళలో విద్యుత్ ప్రవాహాలను ప్రేరేపిస్తాయి.
4. (i) ఎడ్డీ ప్రవాహాలు సాపేక్షచలనాన్ని వ్యతిరేకిస్తాయి.

   (ii) ఎడ్డీ ప్రవాహాలు పరికరాలలో ఉష్ణరూపంలో శక్తి నష్టాన్ని కలగజేస్తాయి. పర్యవసానంగా, ఆ పరికరాల జీవిత కాలం తగ్గుతుంది.

22.5

1. $$\varepsilon = L\frac{dI}{dt} = \omega\frac{N^2A}{l}\frac{(I_2 - I_1)}{t}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times \pi \times 10^{-2} \times (2.5 - 0)}{1 \times 10^{-3}}$$

$$= 10^{-6}\ \text{V}$$

2. రెండు సమాంతర తీగలలో విద్యుత్ వ్యతిరేకంగా ప్రవహిస్తుంది. స్వయం ప్రేరక ప్రవాహాలను వ్యతిరేకిస్తుంది. కనుక ప్రేరణ ప్రభావాన్ని కనిష్ఠం చేస్తుంది.

3. $3.5 \times 10^{-3} = 9.7 \times 10^{-3} \times \frac{dI}{dt}$

$$= \frac{dI}{dt} = \frac{3.5}{9.7} = 0.36 \text{ A s}^{-1}$$

22.6

1. (a) i_1, పెరిగితే, మొదటి తీగ చుట్ట నుండి వచ్చే అభివాహం కూడా పెరుగుతుంది. అందువల్ల O నుండి చూసినపుడు సవ్యదిశలో ప్రవహిస్తున్న విద్యుత్ ప్రవాహం వల్ల రెండవ తీగచుట్టలోని ప్రేరిత ప్రవాహం అభివాహాన్ని వ్యతిరేకిస్తుంది. అందువల్ల B ధనాత్మకంగా, A రుణాత్మకంగా ఉంటుంది.

   (b) i_2, తగ్గితే మొదటి తీగచుట్ట నుండి వచ్చే అభివాహం తగ్గుతుంది. దీనిని పెంచడానికి ప్రేరిత విద్యుత్, C ని ధన ప్రొటెన్షియల్ వద్ద, D ని రుణ ప్రొటెన్షియల్ వద్ద ఉంటేవిధంగా బయటి వైపుకు అపసవ్యదిశలో ప్రవహించాలి.

2. ఉండదు, స్వయంప్రేరణ తగ్గుతుంది. రెండు తీగ చుట్టలు ఒకదాని కొకటి లంబంగా ఉన్నప్పుడు, ఒక తీగ చుట్ట నుండి వేరొక తీగ చుట్టకు సంధాన అభివాహం కనీసం ఉంటుంది కనుక.

22.7

1. (i) a.c. జనరేటర్ లో స్లిప్ రింగులుంటే, d.c. జనరేటర్ లో స్ప్లిట్‌రింగు కామ్యుటేటర్ ఉంటుంది.

   (ii) a.c. జనరేటర్ ప్రవాహ వోల్టేజిని సైను సోయిడల్‌రూపంలో ఏర్పరిస్తే, d.c. జనరేటర్ ఒకే దిశలో ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని ఏర్పరుస్తుంది.

2. జనరేటర్‌లోని ఆవశ్యక భాగాలు ఆర్మేచర్, క్షేత్ర అయస్కాంత, స్లిప్‌రింగులు, బ్రష్‌లు.

3. కమ్యుటేటర్ a.c. తరంగరూపాన్ని, d.c. తరంగరూపంలోకి మారుస్తుంది.

4. కాంతి కొరకు సైకిల్‌కు అనుసంధానిస్తారు.

ముగింపు అభ్యాసం సమాధానాలు

1. (a) 3×10^{-2} W_b s^{-1} (b) 0.47 T s^{-1}

3. (a) నాలుగు రెట్లు అవుతుంది. (b) 0.8 H

8. 333.3 V

10. 0.2 Tesla

14. 0.8 Volts