భౌతికశాస్త్రం

విద్యుదయస్కాంతత్వం
ఉష్ణగతికశాస్త్రం

BRAOU

డా॥ బి.ఆర్. అంబేద్కర్ సార్వత్రిక విశ్వవిద్యాలయము
హైదరాబాదు
1992

T-3393
3-12-93

సంపాదకులు:
ఆచార్య కె. రామారెడ్డి

సహసంపాదకులు:
డా.కె. జ్ఞానప్రసూన

రచయితలు
ఆచార్య ఎన్. మనోహరమూర్తి
డా.కె. నరసింహారెడ్డి
డా.డి.వి. రామమూర్తి
శ్రీ కె.వి.యస్. శర్మ
డా.కె.వి. శివకుమార్
డా.కె. సోమయ్య

కవర్ డిజైనర్
చంద్ర

గ్రాఫిక్ డిజైనర్
ఎస్. రమేష్

Dr. BRAOU
LIBRARY

Dr. B.R.A O.U. LIBRARY
Acc. T. 3393
Date 3-12-93
Call No 530 BD

BRAOU

ఆంధ్రప్రదేశ్ సార్వత్రిక విశ్వవిద్యాలయం.
హైదరాబాదు.

ప్రథమ ముద్రణ 1985

ద్వితీయ ముద్రణ 1991

కాపీరైటు © 1991 ఆంధ్రప్రదేశ్ సార్వత్రిక విశ్వవిద్యాలయం

అన్ని హక్కులు విశ్వవిద్యాలయానివి. ఈ పుస్తకంలోని ఏ భాగం అయినా ఉపయోగించుకోదలచుకుంటే, విశ్వవిద్యాలయం అనుమతి పొందాలి.

ఈ పాఠాలు సార్వత్రిక విశ్వవిద్యాలయం పాఠ్యప్రణాళికలో ఒక భాగం.

పాఠ్యప్రణాళిక మొత్తం వివరాలు ఈ పుస్తకం చివరలో ఉన్నాయి.

ఇతర వివరాలకు: డైరెక్టర్ (అకెడమిక్) ఆంధ్రప్రదేశ్ సార్వత్రిక విశ్వవిద్యాలయం
హైదరాబాదు (ఆ.ప్ర)

ముద్రణ: భారత బార్గవి ప్రెస్, హిమాయత్ నగర్, హైదరాబాదు.

పీఠిక

ఆంధ్రప్రదేశ్ సార్వత్రిక విశ్వవిద్యాలయం బోధించే రెండవ సంవత్సరం బి.యస్.సి., కోర్సు పాఠ్యప్రణాళిక ఆధారంగా విద్యుదయస్కాంతత్వం, ఉష్ణగతికశాస్త్రం అనే అంశాల సంకలనమే ఈ పుస్తకం. ఈ అంశాలు విజ్ఞాన శాస్త్రంలోని 3 సంవత్సరాల డిగ్రీ కోర్సులో రెండవ సంవత్సర అధ్యయనం చేయవలసిన ముఖ్యపాఠ్య పరిధిలోనిది. అయితే పాఠ్యప్రణాళిక, సౌలభ్యం కోసం కొన్ని ఖండికలుగా విభజింపబడింది. ప్రతి ఖండికలోను కొన్ని భాగాలుంటాయి. ప్రతి ఖండిక ఒక నిర్దిష్ట విభాగాన్ని సూచిస్తుంది. విద్యార్థి ఎక్కువ శ్రమ లేకుండా సులభంగా చదివి అర్థం చేసుకోవడానికి వీలుగా ఒక ప్రణాళికననుసరించి ఆయా శాఖల నిపుణులచేత ఈ పాఠాలు రూపొందించబడ్డాయి. ప్రతి భాగం దాని లక్ష్యంతో ప్రారంభమౌతుంది. పాఠం సారాంశం సంగ్రహంగా తెలుపబడుతుంది. విద్యార్థి తన అవగాహనా శక్తిని తానే పరీక్షించుకొనేందుకు వీలుగా ప్రశ్నలు, లెక్కలు యివ్వబడ్డాయి. అంతేకాక భౌతికశాస్త్రంలో ముఖ్యంగా ఒక భావనను అర్థం చేసుకోవాలంటే విద్యార్థి దానికి సంబంధించిన కొన్ని లెక్కలను చేయాల్సి ఉంటుంది. ఈ కారణంగా ప్రతి భాగంలోనూ కొన్నిమాదిరి లెక్కలు యివ్వబడ్డాయి.

1 నుండి 10 ఖండాల వరకు ముఖ్యంగా విద్యుదయస్కాంతత్వం అంటే అయస్కాంతత్వం, అయస్కాంత ప్రేరణం, స్థిర విద్యుత్, విద్యుదయస్కాంత వికిరణం మొదలైన అంశాలను గూర్చి చర్చించడం జరిగింది. ఉష్ణగతిక శాస్త్రం "11, 12" ఖండాలుగా రూపొందించబడింది. ఈ భాగాలు విద్యార్థికి భౌతికశాస్త్ర అధ్యయనానికే కాక ముఖ్యంగా విద్యుదయస్కాంతత్వం, ఉష్ణగతికశాస్త్రం గురించి విపులంగా తెలుసుకోడానికి వీలౌతుందని విశ్వవిద్యాలయం ఆకాంక్షిస్తోంది.

BRAOU

BRAOU

విషయసూచిక

ఖండం—1	: విద్యుదావేశాలు, విద్యుత్ క్షేత్రం	1
భాగం—1	: విద్యుదావేశాలు, విలోమ వర్గ నియమం, కేవెండిష్ నిరూపణం.	3
భాగం—2	: విద్యుత్ క్షేత్రం, తీక్షణత, బలరేఖలు, గాస్ నియమం దాని అనువర్తనాలు, ఏకరీతిగా ఆవేశింపబడిన బడిన గోళం బయట, లోపల విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత.	8
భాగం—3	: ఆవేశిత స్థూపాకార వాహకం వద్ద, ఆవేశిత పలకవద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత.	21
భాగం—4	: ఆవేశితతలంపైపనిచేసేయాంత్రికబలం. దీన్ని మేఘం జనించడానికి, సబ్బు బుడగ ఏర్పడడానికి అనువర్తించడం.	27
ఖండం—2	: విద్యుత్ శక్మం, క్షమత్వం	35
భాగం—5	: విద్యుత్ శక్మం	37
భాగం—6	: క్షమశీలత—వివక్త గోళం, స్థూపాకార వాహకం క్షమత్వాలు	51
భాగం—7	: సమాంతర పలకల క్షమశీలి	62
భాగం—8	: విద్యుత్ రోధకాలు	73
ఖండం—3	: విద్యుత్ప్రవాహం, నిరోధకత	87
భాగం—9	: విద్యుత్ ప్రవాహం, ప్రవాహ సాంద్రత	89
భాగం—10	: నిరోధకత, వాహకత్వం	96
భాగం—11	: జౌల్ నియమం, విద్యుత్ శక్తిసామర్థ్యం	104
ఖండం—4	: విద్యుచ్ఛాలక బలం, వలయాలు	109
భాగం—12	: విద్యుచ్ఛాలక బలం, కిర్ఛాఫ్ నియమాలు	111
ఖండం—5	: అయస్కాంత క్షేత్రం	125
భాగం—13	: అయస్కాంతత్వం, అయస్కాంత ప్రభావాలు	127
భాగం—14	: ఆంపియర్ సూత్రం—అనువర్తనాలు	136
భాగం—15	: బయట్—సావర్ట్ నియమం	145
ఖండం—6	: ఫారడే నియమం	151
భాగం—16	: విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణం	153
ఖండం—7	: అయస్కాంత, విద్యుత్ క్షేత్రాలలో ఆవేశిత కణచలనం	165
భాగం—17	: ప్రేరణవల్ల అయస్కాంత క్షేత్రం	167
భాగం—18	: విద్యుత్, అయస్కాంత క్షేత్రాలలో ఆవేశిత కణంగమనం	173

BRAOU

భాగం–19	: ఎలక్ట్రాన్ e/m	187
భాగం–20	: ఐసోటోప్ ద్రవ్యరాశి నిర్ణయం	190
ఖండం–8	: ప్రేరకత్వం	197
భాగం–21	: స్వయం ప్రేరకత్వం, అన్యోన్య ప్రేరకత్వం	199
భాగం–22	: అయస్కాంత క్షేత్రంలోని నిక్షిప్తశక్తి	205
ఖండం–9	: ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహాలు	211
భాగం–23	: LR, CR వలయాలు	213
భాగం–24	: LR, CR వలయాల్లో విద్యుత్ప్రవాహ ఉత్పన్నం, క్షయం	222
భాగం–25	: LCR వలయాల్లో తాత్కాలిక అనుక్రియ	234
భాగం–26	: LCR వలయాల్లో బలాత్కృత డోలనాలు, శ్రేణి, సమాంతర వలయాలు	238
ఖండం–10	: విద్యుదయస్కాంత వికిరణం	247
భాగం–27	: విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు, మాక్స్‌వెల్ సమీకరణాలు	249
భాగం–28	: పాయింటింగ్ సదిశరాశి	255
భాగం–29	: ద్విధృవం నుంచి వెలువడే వికిరణం	262
ఖండం–11	: స్థితి సమీకరణం	267
భాగం–30	: వాన్ డర్ వాల్ పదార్థ స్థితి సమీకరణాలు	269
ఖండం–12	: ఉష్ణగతిక శాస్త్ర నియమాలు	277
భాగం–31	: ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు శూన్య నియమం; మొదటి నియమం	279
భాగం–32	: ఉత్క్రమణీయ, అనుత్క్రమణీయ ప్రక్రియలు	289
భాగం–33	: కార్నోచక్రం	293
భాగం–34	: ఉష్ణగతిక శాస్త్ర రెండవ నియమం	304
భాగం–35	: ఎంట్రపీ, ఉత్క్రమణీయ, అనుత్క్రమణీయ (ద్విగత, ఏకగత) ప్రక్రియలు	312
భాగం–36	: ఉష్ణగతిక శక్మాలు	323
భాగం–37	: దశా సంక్రమణం	328

BRAOU

ఖండం-1 విద్యుదావేశాలు, విద్యుత్ క్షేత్రాలు

B R A O U

BRAOU

భాగం-1 విలోమ వర్గనియమం

విషయక్రమం

1.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
1.2 ప్రవేశిక
1.3 విద్యుదావేశాలు
1.4 విద్యుదావేశాల మధ్య ఆకర్షణ, వికర్షణలు
1.5 విలోమవర్గ సిద్ధాంతం
1.6 ఆవేశాల ప్రయాణాలు
1.7 విద్యుత్‌రోధక స్థిరాకం
1.8 సారాంశం
1.9 నమూనా జవాబులు
1.10 నమూనా ప్రశ్నలు

1.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో విద్యుదావేశాల విశదీకరణ ఉంది. మీరు విద్యుదావేశాలను అర్థం చేసుకొనడానికి వీలుగా

1. విలోమ వర్గ సిద్ధాంతం
2. విలోమ వర్గ నియమానికి కేవెండిష్ ప్రయోగాత్మక వివరణ
3. విద్యుత్‌రోధక స్థిరాకం భావన వివరణ ఉన్నాయి.

మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత విద్యుదావేశాలు వాటి మధ్య పరస్పర చర్యా ఫలితం వల్ల ఉత్పన్నమయ్యే బలపరిమాణాన్ని విలోమ వర్గ నియమ సహాయంతో లెక్కించగలరు.

1.2 ప్రవేశిక

"స్థిర విద్యుత్" శాస్త్రపు చరిత్ర చాలా సుదీర్ఘమైనది, గౌరవించదగినది కూడా. అది క్రీ.పూ ఆరవ శతాబ్దిలో గ్రీక్ తత్వవేత్త థేల్స్ పరిశీలనలతో ప్రారంభమైంది. ఆయన సీమగుగ్గిలం (Amber)ను కొన్ని వస్తువులతో రుద్దినపుడు చిన్న చిన్న గడ్డిపోచలను, దారపు పోగులను ఆకర్షిస్తుందని కనుగొన్నాడు. అయితే విద్యుత్ శాస్త్ర ప్రారంభకుడిగా మాత్రం బ్రిటిష్‌రాణి ఎలిజబెత్-I కి ప్రముఖ వైద్యుడుగా ఉండిన విలియం గిల్‌బర్ట్ (1544-1603)ను పేర్కొనవచ్చు. అతడు ప్రాచీన పరిశీలన నన్నింటిని జాగ్రత్తగా విశ్లేషించి క్రమబద్ధంగా సూత్రీకరణ చేశాడు.

B R A O U

1.3 విద్యుదావేశాలు

Electricity అనే పదము సీమగుగ్గిలానికి తుల్యమైన గ్రీకు పదము 'ఎలక్ట్రా' నుండి పుట్టింది. రుద్దటం, అటువంటి యితర పద్ధతులతో జనించిన విద్యుచ్ఛక్తిని 'స్థిర విద్యుత్' లేదా 'ట్రైబో విద్యుత్" అని అంటారు. రెండు రకాల విద్యుచ్ఛక్తుల ఉనికిని డ్యూఫే (Du Fay) (1699-1739) అను శాస్త్రజ్ఞుడు కనుగొన్నాడు. దృఢమైన రబ్బరు కడ్డీని బొచ్చు (Fur)తో రుద్ది, ఆ తర్వాత ఒక సిల్కుదారంతో వ్రేలాడదీయబడ్డ లోహపుగోళం దగ్గరకు తీసుకొనివస్తే, ఎలక్ట్రానులు రబ్బరుకడ్డీనుంచి లోహపుగోళంలోకి ప్రవహిస్తాయి. ఈ అధికమైన ఎలక్ట్రానులు లోహపుగోళంలో ప్రవేశించడంవల్ల లోహపుగోళం ఋణావేశమవుతుంది. అంటే, లోహపుగోళం రెసినీయ (Resinous) విద్యుత్తును కలిగి

ఉంటుంది. అదే విధంగా, రబ్బరుకడ్డీని బొచ్చుతో రుద్ది ఆ తర్వాత ఆ బొచ్చును లోహపుగోళం దగ్గరకు తీసుకొనివస్తే, ఎలక్ట్రానులు గోళంనుండి బొచ్చులోకి ప్రవహిస్తాయి. అంటే అది విట్రియస్ (Vitreous) విద్యుత్‌ను కలిగిఉంటుంది. ఈ రెండు రకాల విద్యుదావేశాలను గిల్‌బర్ట్ కనుగొన్నాడు. 18వ శతాబ్దికి చెందిన బెంజిమెన్ ఫ్రాంక్లిన్ అనే అమెరికన్ శాస్త్రజ్ఞుడు (1706-1790) ఒరిపిడివల్ల బొచ్చులో కలిగే విద్యుదావేశాన్ని ధనావేశం అని రబ్బరులో కలిగే విద్యదావేశాన్ని ఋణావేశం అని పేర్కొన్నాడు. ఆ తర్వాత జాన్‌కటన్ (1718-1772) అను ఆంగ్ల వైజ్ఞానికుడు ఒక పదార్థం ఒకరకమైన వస్తువుతో రుద్దినపుడు ఋణావేశాన్ని చూపుతుందని కనుగొన్నాడు. అంటే పదార్థాలన్నిటిని పట్టిక, 1.1లో చూపినట్లు ట్రైబో విద్యుత్ Tribo Electricity శ్రేణిలో అమర్చవచ్చునని తెలుస్తుంది. ఆ శ్రేణిలో పదార్థాల ఒరిపిడిలో వాటి ధనావేశ సామర్థ్యాన్నిబట్టి ఒక వరుసలో వ్రాయవచ్చు. అటువంటి శ్రేణిలో నున్న ఒక పదార్థం ఆ శ్రేణిలోదానికన్నా క్రింద ఉన్న పదార్థంతో రుద్దబడితే, అది ధనావేశం పొందుతుంది. కాని దానికంటే పైనున్న పదార్థంతో రుద్దబడితే అది ఋణావేశం పొందుతుంది.

పట్టిక 1.1 ట్రైబో విద్యుత్‌శ్రేణి: కుందేటి బొచ్చు, (Rabbit's Fur), గాజు (Glass), ఉన్ని (Wool), పిల్లిబొచ్చు (Cat's Fur),పట్టు (Silk), పత్తి (Cotton), సీమగుగ్గిలం (Amber), గంధకం (Sulphur).

1.4 విద్యుదావేశాల మధ్య ఆకర్షణ, వికర్షణలు

రెండు లోహపుగోళాలు సిల్కుదారాలతో పటం 1.1a లో చూపబడినట్లు ఒక చట్రానికి వ్రేలాడదీయ బడ్డాయనుకొందాము. దృఢమైన రబ్బరుకడ్డీని బొచ్చు (Fur)తో రుద్ది రెండు లోహపు గోళాలను తాకితే ఆ రెండు లోహపుగోళాలు ఒక దానినొకటి వికర్షించుకొంటాయి. (పటం. 1.1 b).

అదేవిధంగా ఆ రెండు లోహపుగోళాలను రబ్బరుకడ్డీతో రుద్దబడిన బొచ్చు (Fur)తో తాకితేకూడ ఒకదానినొకటి వికర్షించుకొంటాయి. (పటం. 1.1 c).

కాని బొచ్చు (Fur)తో రుద్దబడిన రబ్బరు కడ్డీతో ఒక లోహపు గోళాన్ని, అదేవిధంగా రబ్బరుకడ్డీతో రుద్దబడిన బొచ్చుతో మరొక గోళాన్ని తాకితే ఆ రెండు, గోళాలు ఒకదానినొకటి పటం 1.1d లో చూపినట్లు ఆకర్షించుకొంటాయి.

(1) సజాతి విద్యుదావేశాలు వికర్షించుకొంటాయని, విజాతి విద్యదావేశాలు ఆకర్షించుకొంటాయనీ (2) విద్యుదీకరణలో ధన, ఋణావేశాలు సమానంగా ఉంటాయని పై ప్రయోగంవల్ల తెలుస్తుంది.

1.5 విలోమవర్గ సిద్ధాంతం

చార్లెస్ అగస్టిన్ డి కూలామ్ అనే శాస్త్రజ్ఞుడు మొదట విద్యుత్ ఆకర్షణ, వికర్షణలను పరిమాణాత్మకంగా కొలిచాడు. విమోటన త్రాసు (Torsional balance) ను ఉపయోగించి అతడు బిందు ఆవేశాల మధ్య ఆకర్షణ, వికర్షణ బలాలను విశదీకరించే నియమాలను అధ్యయనం చేశాడు. "బిందు ఆవేశాల మధ్య బలం వాటి ఆవేశ పరిమాణాలకు అనులోమానుపాతంలోను, వాటి మధ్య దూరపువర్గానికి విలోమానుపాతంలోను ఉంటుందని" అతడు స్థిరీకరించాడు.

పటం. 1.2లో విమోటన త్రాసు చూపబడింది. ఈ పరికరంలో పటం 1.1లో చూపినట్లు ఒక వ్రేలాడే పోగు ఉంటుంది. ఆ పోగుకు రెండు చివరల a,b చిన్న గోళాలుంటాయి. ఆవేశాలు a,b గోళాలకే పరిమితమౌతాయి. a,bలు ఆవేశితమైతే 'a' మీద ఉన్న విద్యుదావేశం అవలంబన పోగు (suspension fibre)ను త్రిప్పడానికి ప్రయత్నిస్తుంది. ఈ పురిని ప్రతితులన (counter. balance) చేయాలంటే అవలంబన శీర్షాన్ని 'θ' కోణం ద్వారా త్రిప్పి రెండు ఆవేశాల మధ్య దూరం సమానము (ముందు దూరం)గా చేయాలి. అపుడు 'a' విద్యదావేశం మీదనున్న బలానికి 'θ' కొలమానం అవుతుంది.

B R A O U

కూలమ్ మొదటి ప్రయోగ ఫలితాలను

$$F = \frac{1}{r^2}$$

అనే సమీకరణం ద్వారా చూపవచ్చు. ఇందు F అనునది రెండు విద్యుదావేశాల మధ్యగల బలం. (1.1)
బలం, రెండు విద్యుదావేశాలను కలిపే సరళరేఖ వెంబడి ఆవేశాల దిశలకు వ్యతిరేక దిశలో ఉంటుంది. ఈ

విమోటన త్రాసులోని గోళాలమీద ఉన్న ఆవేశాల సాపేక్ష కొలతలతో విద్యుత్ బలాలు ఎలా మార్పు చెందుతాయో కూడా కూలమ్ అధ్యయనం చేశాడు. అతడి అధ్యయనాల సారాంశం

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \text{లేదా} \quad F = \frac{q_1 q_2}{r^2}$$ (1.2)

ఇక్కడ F అనేది బలం. q_1, q_2 స్వేచ్ఛా బిందు ఆవేశాల పరిమాణాలు. 'r' అన్నది q_1, q_2 ల మధ్య దూరం, k అనేది విద్యుదావేశాలను ఆవరించిన యానకపు ప్రకృతిపై ఆధారపడే స్థిరాంకం. (1.2) సమీకరణాన్ని కూలమ్ స్థిర విద్యుత్ బల సూత్రం లేక **కూలమ్ విలోమ వర్గ సూత్రం** అని అంటారు. ఈ సూత్రం ఆవేశిత పదార్థాల కొలతలు వాటి మధ్య దూరంతో పోల్చినప్పుడు చాలా తక్కువగా ఉన్నప్పుడే ఖచ్చితంగా వర్తిస్తుంది. అట్టి ఆవేశిత పదార్థాలను మామూలుగా "బిందు ఆవేశాలు" అంటారు.

సామాన్యంగా $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ దీనిలో ε_0 స్వేచ్ఛాంతరాళపు పరమ ప్రవేశ్యత. కావున స్వేచ్ఛాంతరాళంలో

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \varepsilon_0$$ (1.3)

ఐనా, విద్యుదావేశాలను ఆవరించి ఉన్న యానకం స్వేచ్ఛాంతరాళం (అంటే గాలి) కంటే వేరయినపుడు (భిన్నమైనపుడు), k బదులు $(\frac{1}{K})$ గా వ్రాయాలి. Kని సాపేక్ష ప్రవేశ్యత relative permitivity అని అంటారు. $K = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon}$. ε ε_0 వరుస క్రమంలో యానకపు, స్వేచ్ఛాంతరాళం యొక్క ప్రవేశ్యతలు. (κ)ని యానకపు విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకంగా కూడ పేర్కొంటారు.

$$F = \frac{1}{4\pi\kappa} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

1.6 ఆవేశాల ప్రమాణాలు

MKS (మీ. కి.గ్రా. సెకండు) ప్రమాణంలో విద్యదావేశపు ప్రమాణం కూలూంబ్. ఒక తీగ అడ్డుకోతలో ఒక సెకనుకు ప్రవహించు విద్యదావేశం ఒక **ఆంపియర్** స్థిర విద్యుత్ప్రవాహాన్ని (steady current) కలిగిస్తే ఆ విద్యదావేశాన్ని ఒక కూలూంబ్‌గా నిర్వచిస్తారు.

$$q = it$$ (1.4)

ఇక్కడ 'i' అనేది ఆంపియర్లలో విద్యుత్ప్రవాహం. t అనేది సెకండ్లలో కాలం. ప్రయోగాత్మకంగా ఒక కూలూంబ్ బిందు ఆవేశాన్ని సదృశ బిందు ఆవేశానికి ఒక మీటరు దూరంలో స్వేచ్ఛాంతరాళంలో ఉంచినపుడు అది $1/1.113 \times 10^{-10}$ న్యూటన్‌ల బలంతో వికర్షించబడుతుందని తెలుస్తుంది. ఈ రకంగా MKS ప్రమాణాలలో, (1.1) సమీకరణంలోని అనుపాత కారకం Proportionality constant యొక్క విలువవ

$$\kappa = 1.113 \times 10^{-10} \text{ కూలూంబ్}^2 / \text{న్యూ. మీ.}^2$$

$$\varepsilon_0 = 4\pi = (8.85 \times 10^{-12}) \text{ కూలుంబ్}^2 \text{ న్యూ. మీ.}^2 / \ldots.. \quad (1.5)$$ అవుతుంది.

4π అను పరిమాణం యిప్పుడు కొంచెం కష్టంగా తోచినా, తర్వాత ఏర్పడే సమీకరణాలను సూక్ష్మీకరించడానికి ఎంతో ఉపయోగపడుతుంది. కాబట్టి యిక్కడనే దానిని కూడా యిస్తున్నాం. అందువల్ల స్వేచ్ఛాంతరాళంలో

$$F = \frac{q_1 q_2}{2\pi\varepsilon_0} \text{ న్యూటన్‌లు}$$

BRAOU

యానకంలో $F \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon K r^2}$ న్యూటన్‌లు

కాని బలం, దూరం మొదలైనవాటిలో CGS వ్యవస్థలో చెప్పినపుడు, ε_0 యొక్క ప్రమాణాలు వేరుగా ఉంటాయి. స్వేచ్ఛావరణంలో ఉన్న ఒక ఆవేశం సదృశ ఆవేశానికి 1 సెం.మీ. దూరంలో నుండి 1 డైను బలంతో వికర్షింపబడితే, అట్టి ఆవేశాన్ని "ప్రమాణావేశం" అంటారు. దానిని ఒక విద్యుత్ స్థిర ప్రమాణం (వి.స్థి.ప్ర) 1 esu లేదా స్థిర కూలూంబ్ అని అంటారు. ఆ విధంగా పరమ ప్రవేశ్యతను నిర్మితియం (dimensionless) గా తీసుకొని దాని విలువను ఏకతకు స్థిరీకరిస్తారు.

$\varepsilon_0 = 1$ కాబట్టి K సాపేక్ష ప్రవేశ్యత యానకపు పరమ ప్రవేశ్యతకు సమానంగా ఉంటుంది. గాలియొక్క ప్రవేశ్యత దాదాపుగా ε_0 కు సమానంగా ఉంటుంది. సాపేక్ష ప్రవేశ్యత లేదా విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకానికి ప్రమాణం లేదు. బలాన్ని CGS వ్యవస్థలో గాని MKS వ్యవస్థలో గాని తెలిపినా విద్యుత్ రోధక స్థిరాంక విలువ మారదు.

ε_0 యొక్క కొలవబడ్డ విలువ $= 8.85 \times 10^{-12}$ కూలూంబ్ ^{2} / న్యూ మీ. ^{2}

$$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ ఫారడ్‌లు/మీ.}$$

ఆవేశపు విద్యుత్ స్థిర ప్రమాణాలను (esu of charge)CGS వ్యవస్థలోను MKS వ్యవస్థలోను కలిపే సమీకరణం ఈ క్రింద విధంగా ఉంటుంది.

1 కూలూంబ్ $= 3 \times 10^8$ వి.స్థి.ప్ర. (esu) $= 3 \times 10^9$ స్థిర కూలూంబ్స్ ఆవేశపు ప్రకృతి సిద్ధమైన ప్రమాణం ఒక ఎలక్ట్రాను లేక ప్రోటాను పొందే ఆవేశమే. ఎలక్ట్రాన్లు అన్ని ఒకేవిధంగా ఉండి ఒకే ఆవేశం, $e = 4.806 \times 10^{-10}$ (esu) వి.స్థి.ప్ర. లేక 1.602×10^{-10} కూలూంబ్‌లు కలిగి ఉంటాయి.

మీ అవగాహనను పరీక్షించుకొనండి

MKS పద్ధతిలో ఆవేశానికి ప్రమాణమేమిటి

1.7 విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం

విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం లేదా సాపేక్ష ప్రవేశ్యత K అనేది యానకపు ఉష్ణోగ్రత, పీడనం, ద్రవ్యస్థితి మీద ఆధారపడుతుంది. అది విద్యుస్థైతిక దృగ్విషయాలలో, గణనీయమైన పాత్ర వహిస్తుంది. దాని విలువ గాలిలోకంటే ఘన, ద్రవ పదార్థాలలో చాల ఎక్కువగా ఉంటుంది. పదార్థం తేమను పీల్చుకొనడం వల్ల దాని విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం చాలా మార్పు చెందుతుంది. ఒక యానకం విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం K దాని వక్రీభవన గుణకం 'n' లను ఒకే పౌనఃపున్యం వద్ద కొలిస్తే, విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం, వక్రీభవన గుణక వర్గానికి n^2 కు సమానంగా ఉంటుంది. అంటే $K = n^2$. ఈ సమీకరణం కాంతియొక్క విద్యుదయస్కాంత సిద్ధాంతానికి బలాన్నిస్తుంది.

మాదిరి లెక్క:- ఉదజని పరమాణువులోని ఎలక్ట్రాను, ప్రోటానుల మధ్య సగటు దూరం $a = 5.3 \times 10^{-11}$ మీ. వాటి మధ్యగల బలాన్ని విలువకట్టండి.

జవాబు:

కూలూంబ్ సిద్ధాంతం ప్రకారం $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{q^2}$

కాని $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ 9×10^9 న్యూ./కూ^{2} $q_1 = q_2 = 1.6 \times 10^{-10}$ కూలూంబ్స్‌లు.

కాబట్టి $F = 9 \times 10^9 \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} = 8.1 \times 10^{-8}$ న్యూటనులు.

ఈ విద్యుద్బలం గురుత్వాకర్షణ బలం (ఉదజని పరమాణువులోని ఎలక్ట్రాన్ - ప్రోటానుల మధ్య) కంటే 10^{39} రెట్లు ఎక్కువ.

BRAOU

1.8 సారాంశం

గాజు అంబర్ మొదలైన వస్తువులను సిల్క్, ఉన్ని, మొదలైన వాటితో రుద్దినపుడు ఆ పదార్థాలపై విద్యుదావేశాలు కలుగుతాయి. సజాతి ఆవేశాలను వికర్షించుకుంటాయి. విజాతి ఆవేశాలు ఆకర్షించుకుంటాయి. రెండు ఆవేశాల మధ్య ఆకర్షణ లేక వికర్షణ బలం, ఆవేశాల మధ్య దూరవర్గంతో విలోమానుపాతంగా మారుతుంది.

1.9 నమూనా జవాబులు

అవగాహనను పరీక్షించుకోండి.

MKS పద్ధతిలో ఆవేశాన్ని కూలాంబ్స్‌లలో సూచిస్తారు.

1.10 నమూనా ప్రశ్నలు

I. **ఈ క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానాలు రాయండి.**

1. విద్యుదావేశాలకు సంబంధించిన విలోమవర్గ నియమాన్ని గూర్చి చర్చించండి.
2. వివిధరకాల విద్యుత్తులను గూర్చి విశదీకరిస్తూ, వాటిని ఉత్పత్తి చేసే పదార్థాలను గూర్చి చర్చించండి.

II. **ఈ క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు వ్రాయండి.**

1. ఒక విద్యుదావేశిత కడ్డీ పొడి బెండు ముక్కలను ఆకర్షిస్తుంది. అయితే బెండుపొడి కడ్డీని తాకిన తర్వాత దానినుండి బెండుపొడి ఉధృతంగా పైకెగురుతుంది. కారణం వివరించండి.
2. ఒక బంధిత (Insulated) బల్లమీద నిల్చున్న మనిషి ఒక బంధిత ఆవేశిత వాహకాన్ని తాకినప్పుడు, వాహకం పూర్తిగా ఉత్సర్గం (discharge) పొందుతుందా ? ఎందువలన?
3. గాలిలో తేమ ఎక్కువైనప్పుడు స్థిర విద్యుత్ ప్రయోగాలను సరిగా చేయలేము. ఎందువలన!

III. **ఈ క్రింది లెక్కలను సాధించండి.**

1. ఇనుము కేంద్రకంలో ఉన్న రెండు ప్రోటానుల మధ్య ఉండే వికర్షణ బలాన్ని లెక్కకట్టండి. (ప్రోటాన్ల మధ్య దూరం 4×10^{-15} మీ అని తీసుకోండి).

   (జవాబు : $F = 14$ న్యూ)

2. 3.0×10^{-6} కూలూంబులుగల ఆవేశం -1.5×10^{-6} కూలూంబులు గల ఆవేశం నుండి 12 సెం.మీ. దూరంలో ఉంది. ప్రతి విద్యుదావేశం మీది బలాన్ని పరిమాణాలను లెక్కకట్టండి.

   (జవాబు : 3.125×10^{-10} న్యూ)

3. ఒక చతురస్రం నాలుగు మూలలలో నాలుగు సమాన బిందు ఆవేశాల q విలువ కలిగి నిశ్చల స్థితిలో నిలుపవలసినదిగా కోరడమైంది. ఆ చతురస్రం యొక్క కేంద్రంవద్ద ఎంత ఆవేశాన్నుంచితే ఆ నిశ్చల స్థితి సాధ్యమౌతుంది?

   (జవాబు : 4q)

– **రచన, అనువాదం : డా.వి. రామమూర్తి**

B R A O U

భాగం – 2 గౌస్ సిద్ధాంతం

విషయక్రమం

2.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
2.2 ప్రవేశిక
2.3 విద్యుత్ క్షేత్రం
2.4 విద్యుత్‌క్షేత్ర తీవ్రత
2.5 విద్యుత్ బలరేఖలు
2.6 విద్యుత్ప్రేరణ
2.7 విద్యుత్‌భ్రంశం
2.8 గౌస్‌సిద్ధాంతం
2.9 క్షేత్రానికి గౌస్ సిద్ధాంత అనువర్తనం
2.10 అనువర్తనాలు
2.10.1 ఏకరీతిలో ఆవేశితమైన గోళంలో క్షేత్ర తీవ్రత
2.10.1 ఆవేశపు బిందువు గోళంలాగా ఉన్నప్పు డు
2.11 సారాంశం
2.12 నమూనా జవాబులు
2.13 నమూనా ప్రశ్నలు

2.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో (1) విద్యుత్ క్షేత్రం, (2) విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత అనే భావాల ప్రతిపాదన (3) బలరేఖల ఉపయోగం (4) గౌస్ సిద్ధాంతం వివరణ ఉన్నాయి.

మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత (1) విద్యుత్ క్షేత్రం, విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రత అంటే ఏమిటో వివరించ గలుగుతారు.

(2) విద్యుత్ బలరేఖలను ఉపయోగించి విద్యుత్ ప్రేరణను వివరించ గలుగుతారు.

(3) ఆవేశం కల వాహకంకి దగ్గరగా ఉన్న బిందువు వద్ద క్షేత్ర తీవ్రతను లెక్కించగలరు.

2.2 ప్రవేశిక

16వ శతాబ్దంలో న్యూటన్ గురుత్వాకర్షణలకు లోబడి చెట్టునుండి పడిన ఆపిల్‌ను గమనించాడు. దీనికి కారణం ఆపిల్ మీద భూమి ఆకర్షణ శక్తి ఉందని, ఆ ఆకర్షణ బలం చాల గొప్పదని చెప్పాడు. అంటే ఆపిల్ భూమియొక్క గురుత్వాకర్షణ క్షేత్రంలో ఉన్నదని తెలిపాడు. కొంత పరిమితమైన తలంలో గురుత్వాకర్షణ క్షేత్రం దాదాపు స్థిరంగా ఉంటుంది.

నదిలో నీటి ప్రవాహం ప్రవాహ క్షేత్ర చర్యకు లోబడి ఉంటుంది. అంటే ప్రవాహ ప్రవణత (Flow gradient) యొక్క ప్రభావం లేకపోతే నీరు నదిలోకి ప్రవహించదు కదా! కొంత పరిధిలో ప్రవాహ క్షేత్రం కూడా స్థిరంగా ఉంటుంది.

BRAOU

2.3 విద్యుత్ క్షేత్రం

బొచ్చు (fur) తో రుద్దబడిన రబ్బరు కడ్డీ యింకొక బొచ్చుతో రుద్దబడిన కడ్డీని వికర్షించడానికి కారణం కడ్డీలపై ఉన్న ఆవేశాలే. ఆవేశాలు లేకపోతే వికర్షణ ఉండదు. ఒక ఆవేశిత పదార్థం చుట్టూ ఉన్న ప్రాంతంలో విద్యుదావేశాల ప్రభావం వాహకాలపై ఉంటే అప్పుడు ఆ ప్రాంతాన్ని "విద్యుత్‌క్షేత్రం" అంటారు. విద్యుత్ క్షేత్రం లేదా గురుత్వాకర్షణ క్షేత్రం, ప్రవాహ క్షేత్రాలు వాటి నావరించి ఉన్న కొద్ది ప్రాంతాలలో మాత్రమే ప్రభావకాలు (Effective) గా ఉంటాయి ఈ క్షేత్రాలు కాలంతో బాటు మార్పు చెందకపోతే, వాటిని **"స్థావర క్షేత్రాలు"** లేదా **స్థిర క్షేత్రాలు** అంటారు.

2.4 విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రత

విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉంచబడిన ఒక బిందువు వద్ద, ఒక ప్రమాణ విద్యుత్ స్థిర ఆవేశం పొందిన బలం, ఆ బిందువు వద్ద నున్న విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత లేక క్షేత్ర సత్యము (Field Strength) లేదా విద్యుత్ క్షేత్ర సదిశరాశికి కొలమానం.

ప్రమాణ ఆవేశం ఉన్నందువల్ల ఆ విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణతలో అనుకొన్నంత మార్పు ఉండదు.

విలోమవర్గ సిద్ధాంతం ప్రకారం q_1 అనే ఆవేశం దగ్గరలో నున్న q_2 అనే ఆవేశం మీద బల కూలూంబ్ నిర్వచించినట్లు

$$F = q_1 \frac{q_2}{\kappa r^2}$$

దీనిలో r అనేది q_1, q_2 ల మధ్య దూరం. κ అనేది q_1, q_2 ల ఆవరించియున్న యానకపు విద్యుత్‌రోధక స్థిరాంకం. కాని నిర్వచనం ప్రకారం, q_1 నుండి 'r' దూరంలో నుంచిన ప్రమాణ ఆవేశం ($q_2 = 1$ అయినపుడు) మీద ప్రసరించే బలాన్ని విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత E అని అంటారు. అందువల్ల $E = \frac{q_1}{\kappa r^2}$ .... (1.1a)

కాబట్టి $F = q_2 E$ .... (2.1)

(2.1) సమీకరణం విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణతకు ఒక సరికొత్త నిర్వచనాన్ని సూచిస్తుంది. మనం E ని

$$E = \underset{q_2 \to 0}{Lt} \frac{\vec{F}}{q_2} = \underset{q \to 0}{Lt} \frac{\vec{F}}{q}$$

అని నిర్వచించవచ్చు. .... (2.2)

[ప్ర]సరించే బలాలు సూటిగాను తాక్షణికాలు (Instantaneous) గాను భావింపబడేవి. ఈ సుదూర చర్య ([A]ction-at-a-distance) భావన అయస్కాంత, గురుత్వాకర్షణ బలాలలో కూడా ఉండేది,. కానీ ఈ రోజుల్లో బలాలను విద్యుక్షేత్ర ప్రభావాలుగా చెప్పడం వాడుకలో ఉంది.

మనం స్థావర క్షేత్రాలు, స్థావర ఆవేశాల మధ్య బలాలను గూర్చి మాత్రమే శ్రద్ధ కనబరిస్తే, అప్పుడు క్షేత్ర సుదూర చర్య దృక్పథాలు రెండూ కూడా సంపూర్ణంగా తుల్యంగా ఉంటాయి. కాని q_1 అనే ఒక ఆవేశంలోని త్వరణం దాని పరిసరాలకు ఎలా తెలుపబడుతుంది? క్షేత్ర భావన ప్రకారం, త్వరణం పొందిన ఆవేశం దాన్ని ఆవరించిన క్షేత్రంలోని అలజడులు q_2 అనే ఆవేశానికి కాంతివేగంతో సమమైన వేగంతో సంపర్గం (Communicate) చేయబడతాయి. సుదూర చర్య ప్రకారం, q_1 లోని త్వరణం q_2 కు తక్షణమే సంపర్గం కావాలి. కాని ఈ రెండవ దృక్పథం సరియైనది కాదని ఋజువైంది. ఉదాహరణకు, ఒక రేడియో ప్రసారిణి (transmitter) ఆంటెనాలోని త్వరిత ఎలెక్ట్రాన్లు గ్రాహక ఆంటెనా

BRAOU

(Receiving antenna) లోని ఎలక్ట్రాన్‌లను l/c కాలం అయిన తర్వాతనే ప్రభావితం చేస్తాయి. (ఇక్కడ l అనేది అంటెనాల మధ్య దూరం, c అనేది కాంతివేగం).

ఒక క్షేత్రంలోని ఆవేశాలు పొందిన బలాలు బిందువు బిందువుకు మారుతాయి. ఈ మార్పు తీక్షణత, దిశలపై కూడా ఆధారపడుతుంది. ఈ రెంటిల్లో దేనిలోనూ మార్పులేకపోతే అప్పుడు ఈ క్షేత్రం ఏకరీతి (uniform) గా ఉందంటారు. విద్యుత్‌క్షేత్రం ఒక సదిశరాశి విద్యుత్ తీక్షణత ఒక సదిశరాశి కాబట్టి, ఏ బిందువువద్ద నైనా వివిధ ఆవేశాల వల్ల కలిగే ఫలిత తీక్షణతను సదిశరాశి నియమాన్ననుసరించి కనుగొనవచ్చు.

తార్కిక మీ.కి.సె. ప్రమాణ వ్యవస్థ (Rationalsied MKS system) లో

$$\vec{E} = \frac{q_1 \hat{r}}{4\pi\varepsilon_0 \kappa r^2} \text{ న్యూటనులు/కూలుంబ్}$$

$$= \frac{q_1 \hat{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \quad (\kappa = 1 \text{ స్వేచ్ఛావరణంలో అయితే})$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{(q_1)}{r^2} \text{ న్యూటనులు/కూలుంబ్}$$

CGS వ్యవస్థలో $\vec{E} = \frac{q_1 \hat{r}}{\kappa r^2}$ డైన్‌లు/ఎ.స్థి.ప్ర.

2.5 విద్యుత్ బలరేఖలు

"ఒక ప్రమాణ ధనా ఆవేశం ప్రయాణం చేసే దిశను తెలిపే వక్రాన్ని విద్యుత్ బలరేఖగా నిర్వచించవచ్చు. ఆ వక్రానికి ఏ బిందువు వద్ద నైనా గీచిన స్పర్శరేఖ, ఆ బిందువు వద్దనున్న విద్యుత్ బలం దిశను తెలుపుతుంది."

ఈ 'బలరేఖ' భావనను మైఖల్ ఫారడే విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత $\vec{E}$ ను తెలపడానికి ఉపయోగించాడు. దీనివల్ల విద్యుత్ క్షేత్ర వ్యూహాన్ని సులభంగా తెలుసుకోడానికి, వీలౌతుంది.

ప్రమాణ అడ్డుకోత వైశాల్యంలో పోయే బలరేఖల సంఖ్య ఆ ప్రదేశంలోని విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత E యొక్క పరిమాణాన్ని తెలుపుతుంది. $\vec{E}$ ఎక్కువైనపుడు బలరేఖలు దట్టంగా ఉంటాయి. E తక్కువైనపుడు బలరేఖలు విరళీకృతమై (పలుచగా) ఉంటాయి.

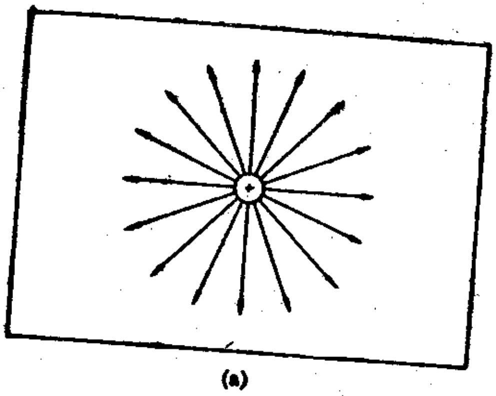
ఒక క్షితిజ సమాంతర గాజుపలకపై రంపపు పొట్టును గాని, లేదా జిప్సమ్ పొడినిగాని ఉంచి, గాజుపలక క్రింద అత్యావేశిత వస్తువును ఉంచితే బలరేఖల అస్థిత్వం తెలుస్తుంది. అపుడు పొట్టు కణాలుగాని లేదా జిప్సమ్ పొడి కణాలు గాని ఆవేశాన్ని పొంది ఒక నిర్దిష్ట దిశలో అమరుతాయి. ఈ బలరేఖలను ఆవరించి ఉండేదే బలనాళిక (tube of force).

క్షేత్రరేఖలు ఆవేశాలనుండి మొదలయి వాటి మీదనే అంతమొందుతాయి. ఒక విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని స్థిరావేశాల ద్వారా కనుగొనవచ్చు. విద్యుత్ క్షేత్రాలు స్థిర విద్యుదావేశాల వల్ల లేదా చలన ఆవేశాల వల్ల కూడా ఏర్పడవచ్చు. ఒక సమదైశిక రోధకంలో అవి అనవచ్ఛిన్నంగా (continum) ఉంటాయి. అయితే అవి విరుద్ధ ఆవేశాలతో ముగుస్తాయి. ఒక చివర ధనాత్మకంగా ఉంటే మరో చివర ఋణాత్మంగా ఉంటుంది.

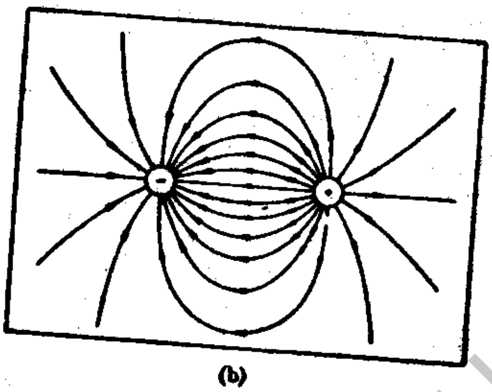
ఆకర్షణ, వికర్షణ బలాబలాలను విశదీకరించడానికి బలనాళికలకు అనుదైర్ఘ్యంగా (longitudinally) తన్యత, బలనాళికలకు లంబంగ పార్శ్వపీడనాలు ఉంటాయని ఫారడే ఊహించాడు. బలనాళికలు ఉన్నపుడు యానకంలో వికృతి ఏర్పడుతుంది.

ఒక ధనావేశిత వస్తువు నుండి ఉత్పన్నమైన బలనాళిక ఒక నిరావేశిత వస్తువును తాకినపుడు, అది ఆ రెండవ వస్తువులో ఋణావేశాన్ని కల్గిస్తుంది. కాని నాళికపై అక్షీయ తన్యత ఉన్నందువల్ల అది అనుదైర్ఘ్యంగా సంకోచిస్తుంది. అందువల్ల విరుద్ధ ఆవేశాల మధ్య ఆకర్షణ ఏర్పడుతుంది. రెండవ

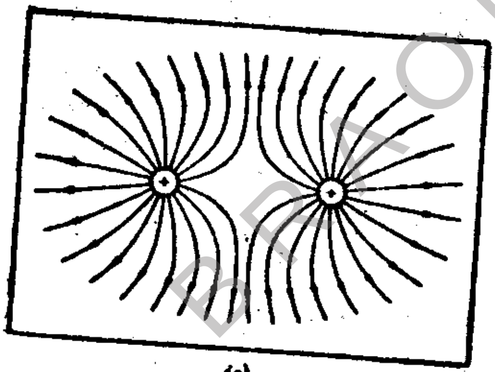
వస్తువు రెండవ చివరనున్న ధనావేశం వలన కలిగే వికర్షణ తక్కువగా ఉంటుంది. రెండు సదృశ అవేశాల విషయంలో, బలరేఖలు ఒకదానినొకటి వికర్షించుకొంటాయి. కొన్ని సందర్భాలలోని బలరేఖలు పటం 2.1లో చూపినాము.



(a)



(b)



(c)

పటం 2.1 విద్యుత్ బలరేఖలు

మీ అవగాహనను పరిక్షించుకోండి.

విద్యుత్ బలరేఖ అనగా నేమి?

2.6 విద్యుత్ప్రేరణ

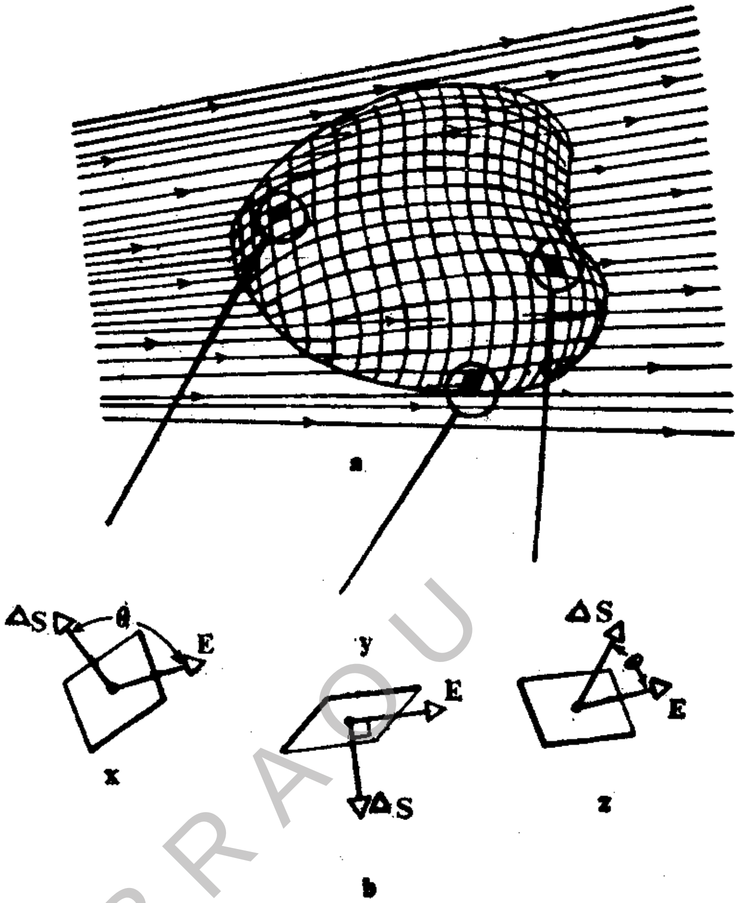
ఫారడే ఈ బలరేఖలకు, బలనాళికలకు ఒక పరిణామాత్మక సార్థకత కలిగించాడు. వి.స్థి. ప్రమాణాలలో (esu), ఒక బిందువు వద్ద విద్యుత్ స్థిరక్షేత్రం తీక్షణతను ఒక ప్రమాణ వైశాల్యంలో నున్న బలరేఖల సంఖ్యతో తెలువుతారు.

ఒక ప్రమాణ విద్యుదావేశం నుండి 4π బలరేఖలు ఉదారమయితే, ఈ బలరేఖలను ప్రామాణ ప్రేరణ రేఖలు అంటారు. 'r' వ్యాసార్థం గల గోళీయతలంపై ప్రమాణవైశాల్యంలో ఉద్గారం చెందే ప్రేరణ

రేఖల సంఖ్యను అభివాహక సాంద్రత అంటారు. అభివాహక సాంద్రత (flux density) ను ఈ క్రింది విధంగా తెలియజేయవచ్చు.

$$\text{అభివాహక సాంద్రత} = \frac{4\pi q}{4\pi r^2} = \frac{q}{r^2} = \frac{\kappa\, q}{\kappa\, r^2} = \kappa\, E \qquad \dots (2.3)$$

విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణతల తెలిపే రేఖలు బలరేఖలు అయితే, KE ని తెలిపే రేఖలు ప్రేరణ రేఖలు. ఒక తలానికి లంబదిశలో పోయే ప్రేరణ రేఖల సంఖ్య మొత్తం సంపూర్ణ లంబ విద్యుత్ ప్రేరణ లేదా విద్యుత్ అభివాహకం (electric flux) అని అంటారు.



BRAOU

పటం. 2.2 వివిధ ఉపరితల భాగాల ద్వారా విద్యుదభివాహకం

$$\text{సంపూర్ణ అభివాహం (total flux)}\ \phi = \iint_S \vec{E}\ ds$$

$\iint_S$ అనే గుర్తుకల సమాకలనాన్ని (Surface integfral) సూచిస్తుంది. E బిందువు, బిందువుకు మారుతూ ఉండి, తలభాగం (surface element) ds బలరేఖకు θ కోణంతో వంగి ఉంటే, అపుడు విద్యుత్ అభివాహం φ ని

$$\phi = \iint_S E.\ ds. = \iint_S E.\cos\theta\ ds. \qquad \dots (2.4)$$

అని నిర్ధారించవచ్చు.

సంవృతతలంలో, బలరేఖలు బయటకు చొచ్చు కొని ఉంటే φ ని ధనాత్మకమనీ, లోనికి చొచ్చుకొని ఉంటూ φ ని ఋణాత్మకమనీ చెబుతారు. అభివాహకమనేది ఏ సదిశక్షేత్రానికయినా ఉండే సహజ గుణం. అది క్షేత్రంలో ఉండే ఒక కల్పిత తలం. అది సంవృతంగా (clsoed) నైనా లేదా వివృతంగా (open) నైనా ఉండవచ్చు. ఉదాహరణకు ధారారేఖా ప్రవాహంలో (Stream line flow)

అభివాహకాన్ని అట్టి తలంలో ఖండించే బలరేఖల సంఖ్యతో తెలుపుతారు. అయస్కాంత క్షేత్రంలో అభివాహకాన్ని అట్టి తలాన్ని ఖండించే అయస్కాంత బలరేఖల సంఖ్యతో తెలుపుతారు.

2.7 విద్యుత్ భ్రంశం

ఒక ప్రేరణనాళిక ధనావేశం నుండి మొదలయి ఋణావేశంతో అంతం అవుతుంది కాబట్టి, ధనావేశాన్ని నాళిక ఒక కొననుండి ఒక దిశలో చెందు భ్రంశంగా ఊహించవచ్చు. అలాగే ఋణావేశాన్ని నాళిక ఇంకొక కొననుండి వ్యతిరేక దిశలో భ్రంశంగా భావించవచ్చు.

క్షేత్రదిశకు లంబదిశలో ప్రమాణ వైశాల్యంలో భ్రంశం చెందు ఆవేశాన్ని మూమూలుగా విద్యుత్ భ్రంశంగా గుర్తిస్తారు. D ని విద్యుత్ భ్రంశం (Electrical Displacment) అంటారు. దీనిని విద్యుత్ తీక్షణత, యానకం ప్రవేశ్యత κ మరియు శూన్యపు ప్రవేశ్యతల లబ్ధముగా వ్రాస్తారు.

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \kappa E \ \kappa$$

κE అభివాహక సాంద్రత, s తలవైశాల్యం అయితే, κEs అన్నది సంపూర్ణ లంబ విద్యుత్ ప్రేరణ అవుతుంది. ...... (2.5)

$$\overrightarrow{D} = \varepsilon_0 \kappa \vec{E} = \varepsilon_0 \kappa \frac{q.1}{\kappa r^2} = \frac{\varepsilon_0 q}{r^2} \hat{r} \qquad .... (2.6)$$

కాబట్టి $\vec{D}$ అన్నది κ మీద ఆధారపడదు.

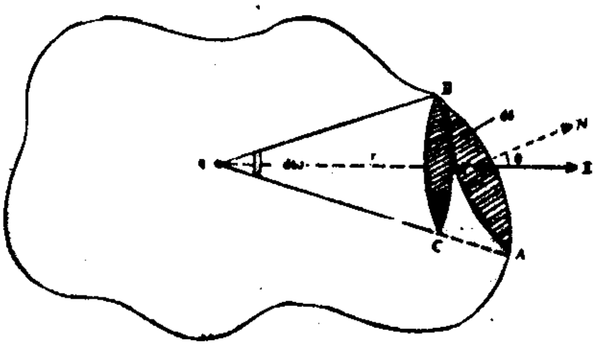
$$D \text{ MKS వ్యవస్థలో } = \frac{\varepsilon_0 \kappa q}{4\pi\varepsilon_0 K r^2} = \frac{q}{4\pi r^2}$$

$$= \frac{\varepsilon_0 q}{4\pi r^2} \text{ కూలూంబ్/మీటర్}^2 \qquad (2.7)$$

విద్యుత్క్షేత్రం E కి, ప్రతిబలమునకు సారూప్యముంటే, విద్యుత్ భ్రంశం D కి, యానకంలోని వికృతికి సారూప్యముంటుంది. ఒక విద్యుదావేశిత పదార్థమును ఆవరించిన యానకంలో నున్న వికృతి (strain) మాక్స్‌వెల్‌ను వికిరణము యొక్క విద్యుదయస్కాంత సిద్ధాంత ప్రతిపాదనకు పురిగొల్పింది.

2.8 గాస్ సిద్ధాంతం

కార్ల్ ఫ్రెడరిక్ గాస్ (177-1855) ఖగోళ, గణిత, విద్యుచ్ఛక్తి, అయస్కాంత శాస్త్రాలలో చాల గణనీయమైన పరిశోధనలు చేసాడు. గాస్ సిద్ధాంతం వలన ఒక సంవృత తలంలోని విద్యుదావేశాలు



పటం 2.3 గాస్ సూత్రం

B R A O U

తెలిస్తే దాని ఉపరితలంపై ఏ బిందువు వద్దనైనా విద్యుక్షేత్రం కనుగొనడానికి వీలౌతుంది. అదేవిధంగా క్షేత్రానికి కారణ భూతులైన విద్యుదావేశాలను కూడా, ఆ క్షేత్ర తీక్షణత తెలిస్తే కనుగొనవచ్చు. "ఒక సంవృత తలం విద్యుత్‌క్షేత్రంలో ఉంటే, దానిలోని సంపూర్ణ సమ విద్యుత్ ప్రేరణం లేదా అభివాహం ఆ తలంలోని విద్యుదావేశాల మొత్తా (లేదా సంపూర్ణ ఆవేశం)నికి 4π రెట్లు ఉంటుంది" దీన్నే గౌస్ సిద్ధాంతం అంటారు.

సిద్ధాంతం నిరూపణ

K విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం గలిగిన ఒక ఏకరీతి సమదైశిక యానకంలో +q కూలూంబ్‌లు విద్యుదావేశంగల బిందు ఆవేశాన్ని గూర్చి చర్చిద్దాం.

q అనే ఈ ఆవేశం చుట్టూ గీయబడిన సంవృతతలంలో P అనే బిందువు వద్ద ఆవేశతమైన విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత E అనుకొందాం. P నుండి q దూరం 'r' అయితే $E = q/4\pi/\kappa r^2$. ఒక చిన్న తల వైశాల్యభాగం 'ds' ఆ P అనే బిందువుని ఆవరించి ఉందనుకొందాం. తలంపై P వద్ద గీచిన లంబం, ఆ బిందువు వద్దనున్న విద్యుత్ తీక్షణత దిశ PE తో θ కోణం చేస్తుంది. కాబట్టి PN వెంబడి E యొక్క లంబఅంశం $E \cos\theta$ అవుతుంది.

తల వైశాల్యభాగంపై నున్న సమ విద్యుత్ప్రేరణం

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_0 \, \kappa E \cos\theta \, ds = \varepsilon_0 \kappa \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 \kappa r^2} \cos\theta \, ds = \frac{q ds}{4\pi r^2} \cos\theta \qquad \text{... (2.8)}$$

కాని $\dfrac{ds\cos\theta}{r^2}$ అన్నది ds చే q వద్ద ఏర్పడ్డ ఘనకోణమని మనకు తెలుసు. (అనుబంధం-1).

దీనిని 'dω' అని సూచిస్తారు. ds మీద సంవృత విద్యుత్ప్రేరణం $= \dfrac{q.d\hat{\omega}}{4\pi}$ ..... (2.9)

సంపూర్ణ సంవృత తలం మీద సంపూర్ణ సమ విద్యుత ప్రేరణం

$$= \int_0^{4\pi} \frac{q.d\hat{\omega}}{4\pi} = q \text{ కులూంబులు} \qquad \text{.... (2.10)}$$

దీనికి కారణం అంతరాళంలో ఒక బిందువు వద్ద చేయబడిన ఘనకోణం 4πకి సమానం కావడమే.

q ధనాత్మకమైతే, ప్రేరణం బయటికి ఆదేశితమౌతుంది.

q ఋణాత్మకమైతే, ప్రేరణం లోనికి ఆదేశితమౌతుంది.

సంవృతతలంలోని ఒక ఆవేశం కంటే ఎక్కువ ఆవేశాలు ఉన్నపుడు ప్రతి ఆవేశం, మొత్తం ఆవేశం Q కి అంశదానం చేస్తుంది. కాబట్టి ఈ ఆవేశాలన్నిటి వలన కలుగు సంపూర్ణ విద్యుత్ప్రేరణం

$$Q = \Sigma q \qquad \text{... (2.11)}$$

అవుతుంది.

ఘనపరిమాణం మీద ఆవేశం అవిచ్ఛిన్నంగా విభజింపబడినప్పు డు $q = \iiint_v \rho . dv$ అవుతుంది. ρ అనేది ఆవేశసాంద్రత (ఒక ఘన ప్రమాణానికి ఉన్న ఆవేశం). దీనిని కూలూంబ్/మీటరు^{3}లలో కొలుస్తారు. dv అన్నది ఘనభాగం.

అప్పు డు సంపూర్ణ సమ విద్యుత్ ప్రేరణం $= \iiint_v \rho \, dv.$ .... (2.12)

BRAOU

2.9 క్షేత్రానికి గౌస్ సిద్ధాంత అనువర్తనం

సంపూర్ణ సమ విద్యుత్ ప్రేరణను కొన్ని సమయాల్లో $\iint_s D_n.ds.$ గా కూడా తెలుపుతారు. $\overrightarrow{D_n}$ అన్న తల వైశాల్య భాగం ds వద్ద భ్రంశపు లంబాంశం. కాని $\overrightarrow{D_n}$ అన్నది విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత యొక్క లంబాంశానికి అనుబంధితమైంది.

$$\overrightarrow{D_n} = \varepsilon_0 \kappa E_n = \varepsilon_0 E_n$$

కాబట్టి $\iint_s \overrightarrow{Dn}\ ds = \iint_s \kappa En.\ \overrightarrow{ds} = \iiint_v \rho.\ dv$ ...... (2.13)

లేదా $\iiint_s En.\ ds = \frac{1}{\varepsilon_0 \kappa} \iiint_v \rho\ dv = \frac{1}{\varepsilon_0} \iiint_v \rho\ dv$ (2.14)

సంవృత తలానికి వెలుపల నున్న ఆవేశాలు, క్షేత్రానికి గాని, సమ అభివాహానికి గాని అంశదానం చేయవు. విద్యుత్ క్షేత్రంలో గీయబడిన సంవృత తలానికి గౌసీయ తలం (Gaussian surface) అని పేరు. దీనికి కారణం గౌస్ సిద్ధాంతం ఆ ఆతలంలో మాత్రమే వర్తిస్తుంది.

గౌస్ సిద్ధాంతం నుంచి ఉత్పన్నమైన కూలూంబ్ సిద్ధాంతం

విద్యుత్ తీక్షణత E కనుగొనవలసిన ప్రదేశంలో నున్న ఒక బిందువు P వద్ద రెండవ ఆవేశం q_2 ను ఉంచామనుకొందాం. బిందువు Pని ఆవరించి గీచిన సంవృతతలంలో మొదట ఆవేశం q_1 కూడా ఉంటుంది. q_2 ఆవేశం వల్ల q_1 మీద పనిచేసే బలం F ను

$$\overrightarrow{F} = q_2 \overrightarrow{E}$$

అనే సమీకరణం ద్వారా తెలుపుతారు. (2.15)

కాని, $\overrightarrow{E} = q_1/kr^2$ కావున $\overrightarrow{F} = \frac{q_1\ q_2}{kr^2}\ \hat{r}$

(2.16) సమీకరణం కూలూంబ్ సిద్ధాంతం రూపమే. (2.16)

గౌస్ సిద్ధాంతం, కూలూంబ్ సిద్ధాంతం కూడ ఒకటేనని, వాటిని రూపొందించడంలో మాత్రం కొద్దిగా తేడా ఉందని గమనించవచ్చు. బల సిద్ధాంతం విలోమ త్రిఘాతము (ఘనము) అయిన గౌస్ సిద్ధాంతం సరిగా వర్తించదు. గౌస్ సిద్ధాంతం క్షేత్రం, దానిలో నున్న జనకాలు (ఆవేశాలు) మధ్యనున్న సంబంధాన్ని తెల్పుతుంది.

"కులూమ్ సిద్ధాంతం విద్యుదావేశాలు తెలిసినట్లయితే విద్యుత్ క్షేత్రం తెలుసుకొనుటకు ఉపయోగపడినట్లే గౌస్ సిద్ధాంతం విద్యుత్ క్షేత్రం తెలిసినట్లయితే, దానిలో ఉన్న విద్యుదావేశాల మొత్తాలను కనుగొనుటకు ఉపయోగపడుతుంది".

గౌస్ సిద్ధాంతం మాక్స్‌వెల్ రూపొందించిన విద్యుదయస్కాంతత్వ సిద్ధాంతపు మూల సమీకరణాలలో ఒకటి. కూలూంబ్ సిద్ధాంతం ఆ సమీకరణాల శ్రేణిలో చేర్చకపోవడానికి కారణం, దానిని మనం గౌస్ సిద్ధాంతం నుంచి పొందగలగడమే.

2.10 అనువర్తనాలు

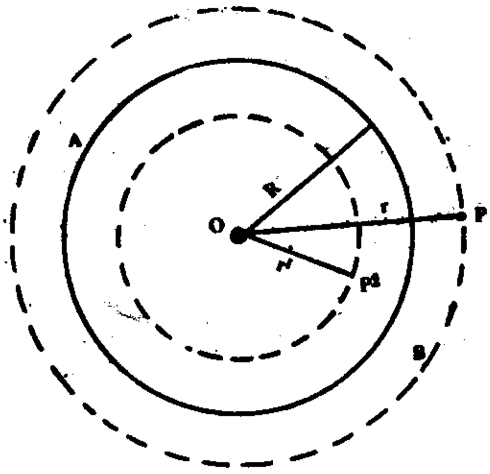
2.10.1 ఏకరీతిలో ఆవేశితమైన గోళంలో క్షేత్ర తీవ్రత

Dr. BRAOU
LIBRARY

Acc. No: T-3393
Class No: 530
BOU

B R A O U

+q కూలూంబ్‌లుగల ఏకరీతిగా ఆవేశితమైన గోళం వెలుపలగా దగ్గర P అనే బిందువును తీసుకొందాం. ఆ బిందువు నావరించి యున్న యానకం యొక్క విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం K అనుకొందాం.



పటం 24. గోళీయ వాహకంవద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత

ఆవేశిత గోళం చుట్టూ ఏక కేంద్ర గోళీయ గౌసియన్ తలాన్ని P బిందువుద్వారా పోవునట్లు గీయండి.

గోళం యొక్క సంపూర్ణతల వైశాల్యం = $4\pi r^2$. ఇందులో 'r' అనేది ఆవేశిత గోళపు కేంద్రం నుండి P బిందువు వద్దకు గల దూరం. గోళంమీద ఏ బిందువు వద్దనైనా విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రత E అని అనుకొందాం. ఇది తలంలో ప్రతి బిందువు వద్ద లంబదిశలో ఉంటుంది.

సంపూర్ణ సమ విద్యుత్తేరణం (సం.స.వి.ప్రే.) = $\varepsilon_0\ \kappa E\, 4\pi r^2$ .... (2.17)

కాని, గౌస్ సిద్ధాంతం ప్రకారం, సంపూర్ణ సమ విద్యుత్తేరణం 'q' కాబట్టి

$$\varepsilon_0\ \kappa E.\ 4\pi r^2 = q$$

$$E = \frac{q}{\varepsilon_0\ \kappa 4\pi r^2} \text{ న్యూటనులు/కూలూంబ్} \quad .... (2.18)$$

లేదా

$$= \frac{q}{\varepsilon_0\ \kappa 4\pi r^2} \text{ వోల్టులు/మీటర్}$$

ఈ సమీకరణం యానకం ఏదైనప్పటికి వర్తిస్తుంది. యానకం స్వేచ్ఛావరణం అయితే $\kappa = 1$, కాబట్టి .... (2.19)

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \text{ న్యూటనులు/కూలూంబ్}$$

ఆవేశ అవిచ్ఛిన్నం (continuous) అయితే,

ఇందులో 'σ' ఆవేశపు తలసాంద్రత. అపుడు సమీకరణం (2.19)ని ..... (2.20)

$$E = \frac{4\pi r^2 \sigma}{4\pi\varepsilon_0\ \kappa\ r^2} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\ \kappa} \text{ వోల్టులు మీటరు}$$

గా వ్రాయవచ్చు.

'σ' కూలూంబ్/మీటర్‌లలో వ్యక్తపరుస్తారు.

తలంనుండి బలరేఖలు బయటకు వ్యాపిస్తే క్షేత్రం బలహీన మౌతుంది. (2.19) సమీకరణం ప్రకారం ఒక గోళీయ ఆవేశిత వాహకము వెలుపలనున్న బిందువువద్ద విద్యుత్‌క్షేత్ర తీక్షణత, ఆ

BRAOU

ఆవేశం గోళ కేంద్రం వద్ద కేంద్రీకృతమైతే ఎంత తీక్షణత ఉంటుందో దానికి సమానం. q కూలూంబ్‌లలో ఉంటే, E న్యూటనులు/కూలూంబ్‌లో ఉంటుంది.

CGS వ్యవస్థలో

$E = \frac{q}{\kappa r^2}$ esu/cm (ఎ.స్థి.ప్ర.) / సె.మీ. లేదా డైనులు / ఎ.స్థి.ప్ర)

2.10.2 ఆవేశపు బిందువు గోళంలాగా ఉన్నపుడు

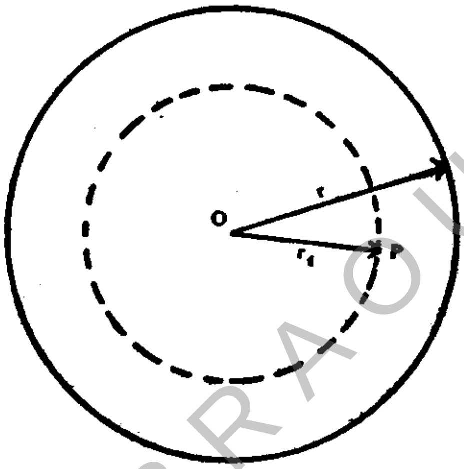
ఆ ఆవేశపు బిందువు P^1 గోళీయతలంపై ఉండునట్లు P^1 ద్వారా ఇంకొక ఏకకేంద్ర గోళీయ తలాన్ని ఊహించండి.

ఆ తలంపై సం.స.వి.ప్రే $= 4\pi r^2 kE$

కాని గౌస్ సిద్ధాంతం ప్రకారం, సం.స.వి.ప్రే = లోపలనున్న ఆవేశం.

లోపలనున్న ఆవేశం శూన్యం కాబట్టి, సం.స.వి.ప్రే. = 0. అందువల్ల **వాహకగోళంలో విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత శూన్యం.**

గోళీయ సౌష్టవ విద్యుద్విభజనలో వింతాసక్తిని కలిగించేది ఏకరీతిగా ఆవేశితమైన గోళం. అట్టి ఆవేశంలో ఏకరీతి విభజన ద్రవ, వాయు విద్యుత్ రోధకాలలో మాత్రమే జరుగుతుంది. **గోళం అవాహకమైనప్పుడు**



B R A O U

పటం. 2.5 ఏకకేంద్ర గౌసీయ తలం

ఆవేశ సాంద్రత = $\rho = \frac{q}{\frac{4}{3}\pi r^2}$ అవుతుంది.

q, r లు వరుసగా ఆవేశం, గోళ వ్యాసార్థాలు. ఇది గోళం లోపల అన్ని బిందువుల వద్ద స్థిరాంకంగాను గోళం వెలుపల అన్ని బిందువుల వద్ద శూన్యంగా ఉంటుంది. లోపల P అనే బిందువు వద్ద సంపూర్ణ తీక్షణత E ని పొందడంలో ఆవేశం అంతా కేంద్రం వద్ద కేంద్రీకృతమైందని అనుకొందాం. అపుడు

$$\varepsilon_0 \kappa \dot{E}\, 4\pi r^2{}_1 = \frac{4}{3}\pi r^2 \rho$$

లేదా $$E = \frac{r_1 \rho}{3\varepsilon_0 \kappa} = \frac{r_1}{3\varepsilon_0 \kappa \frac{4}{3}\pi r^2} = \frac{q r_1}{4\pi\varepsilon_0 \kappa r^2} \qquad \text{..... (2.22)}$$

CGS వ్యవస్థలో $$E = \frac{q r_1}{\kappa r^2} \qquad \text{...... (2.22a)}$$

బిందువు వద్ద P కేంద్రానికి దగ్గరగా వస్తుంటే క్షేత్ర తీవ్రత శూన్యానికి పడిపోతూ ఉంటుంది.

మాదిరి లెక్క –1 : థామ్సన్ పరమాణు నమూనాను తీసుకొందాం. పరమాణువులోని ధనావేశం 1.0×10^{-10} మీ వ్యాసార్థం గల గోళం చుట్టూ ఏకరీతిలో పంపిణీ చేయబడిందనుకొందాం. అప్పుడు Z= 79 గల బంగారు పరమాణుతలం వద్ద విద్యుత్క్షేత్రం E విలువ కట్టండి.

జవాబు :

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}$$ ఇక్కడ ఎలక్ట్రాన్ల మధ్య పరస్పర వికర్షణలను లెక్కలోకి తీసుకోవడం లేదు.

$\kappa = 1;\ q = Ze$ కాబట్టి Eని పైవిధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$= 1.1 \times 10^{+13} \text{ న్యూ/కూ.}$$

కానీ, ఇది చాలా లోపభూయిష్టమైన ఆలోచన. తర్వాత రూథర్‌ఫర్డ్, థామ్సన్ పరమాణు నమూనాను మెరుగుపరచి పరమాణువులోని ధనావేశాలు అన్నీ విస్తృతంగా ఉండకుండా పరమాణు కేంద్రకంలో ఒక చిన్న ప్రాంతంలో కేంద్రీకృతం అయివుంటాయని ఆ ప్రాంతాన్నే కేంద్రకం అంటారని తెలియ బరచాడు.

బంగారు పరమాణువు (Z= 79) కేంద్రక వ్యాసార్థం = 6.9×10^{-15} మీ. పరమాణువులోని ఎలెక్ట్రాన్లతో సంబంధించిన ప్రభావాలను గణనలోనికి తీసుకోకపోతే, కేంద్రకతలం వద్ద విద్యుత్‌క్షేత్రం E ని

$$E = \frac{(9\times10^{9}\text{ న్యూ.మీ}^2/\text{కూ}^2)(79)(1.6\times10^{-19}\text{ కూ})}{(6.9\times10^{-15})^2\text{ మీ}^2}$$

$$= 2.3\times10^{21} \text{ న్యూ/మీ.}$$

గా నిర్ధారించవచ్చు. ఈ క్షేత్రం థామ్సన్ నమూనాతో గణించిన క్షేత్రంకంటే 10^8 రెట్లు ఎక్కువ.

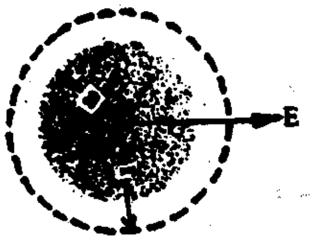
మాదిరిలెక్క – 2 : 'a' వ్యాసార్థం గల గోళం ఘనపరిమాణంలో సంపూర్ణ ఆవేశం q ను ఏకరీతిలో విభజించినపుడు ఆ గోళ కేంద్రము నుండి 'r' దూరంలో విద్యుత్ తీక్షణత విలువ ఎంత?

జవాబు :

q ఆవేశం, గోళం ఘనపరిమాణం $\frac{4}{3}\pi a^3$ మీద ఏకరీతిలో విభజింపబడినందువల్ల విద్యుదావేశ ఘనసాంద్రత ρ

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho = q \text{ లేదా } \rho = \frac{3q}{4\pi a^3}$$

B R A O U



పటం 2.6

(1) r > a అయినపుడు

గాస్ అభివాహ సిద్ధాంతం ప్రకారం

$$\varepsilon \iint_S \vec{E}\cdot\vec{ds} = q \text{ లేదా } \varepsilon\, \pi 4r^2 = q$$

$$E = \frac{q}{\varepsilon 4\pi r^2}$$

ఆవేశం గోళీయ సౌష్ఠవము పొందింది కాబట్టి E స్థిరాంకంగా ఉంటుంది. వెలుపలి తలం (r వ్యాసార్థం గల గోళీయ తలం) "గౌసీయతల" మవుతుంది.

(2) $r < a$ అయినపుడు

గౌసీయతలం $\rho \frac{4}{3} \pi r^3$ ప్రమాణం గల [illegible] మాత్రం ఆవరిస్తుంది.

అపుడు

$$\varepsilon \iint_s E.ds = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{3q}{4\pi a^3} \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{qr^3}{a^3}$$

లేదా $\varepsilon \, 4\pi r^2 = \frac{qr^3}{a^3}$ లేదా $E = \frac{qr}{4\pi\varepsilon a^3}$

2.11 సారాంశం

విద్యుదావేశిత పదార్థం చుట్టూ ఉన్న ప్రాంతంలో ఆవేశాల ప్రభావం వాహకాలపై ఉన్నంత మేర విద్యుక్షేత్రం ఉందని అంటాము. విద్యుక్షేత్రం సదిశరాశి, బలరేఖలు విద్యుక్షేత్ర వ్యూహాన్ని తెలుపుతాయి. ఒక సంవృత తలం విద్యుక్షేత్రంలో ఉంచినపుడు దాని సంపూర్ణ సమవిద్యుత్ప్రేరణ ఆ తలంలోని విద్యుదావేశాల మొత్తానికి 4π రెట్లు ఉంటుంది.

2.12 నమూనా జవాబులు

మీ అవగాహనను పరీక్షించుకొనండి.

ఒక ప్రమాణ ధన ఆవేశం ప్రయాణం చేసే దిశను తెలిపే వక్రాన్ని విద్యుత్ బలరేఖ అని అంటారు.

2.13 నమూనా ప్రశ్నలు

I. **ఈక్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానాలు రాయండి.**

1. గౌస్ సిద్ధాంతాన్ని నిర్వచించండి. ఏకరీతిగా ఆవేశితం చేసిన వాహకగోళంలో విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణతను గౌస్ సూత్రాన్ని అనువర్తించి ఎలా కనుగొంటారా చర్చించండి.
2. గౌస్ సూత్రం నుంచి కూలామ్ సూత్రాన్ని రాబట్టండి. గౌస్ సూత్రాన్ని ఉపయోగించి ఏకరీతిగా ఆవేశితం చేసిన అవాహకపు గోళం యొక్క విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణతను సాధించండి.

II. **ఈక్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి.**

1. ఒక సమబాహు త్రిభుజపు మూలల వద్ద ఉంచిన మూడు సమాన ఆవేశాల వలన కలిగే క్షేత్ర తీవ్రతను గౌస్ సిద్ధాంతం ఉపయోగించి కనుగొనవచ్చునా? విశదీకరించండి.
2. విద్యుత్ క్షేత్రాల మధ్య గురుత్వాకర్షణ క్షేత్రాల మధ్య ఉన్న సామ్యాలను గూర్చి వివరించండి. అవి ఏ విషయాలలో సామ్యాన్ని కలిగి ఉండవో తెల్పండి.
3. "ఒక ఆవేశిత విద్యుత్ వాహక తలంపైన విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత ఆ తలానికి లంబదిశలో ఉంటుంది". ఈ నిర్వచనాన్ని సమర్థించండి.

BRAOU

III. **ఈ క్రింది లెక్కలను సాధించండి.**

1. ఒక విద్యుత్‌క్షేత్రంలో ఉంచిన +2 మైక్రోకూలూంబ్‌ల ఆవేశం, 8×10^{-4} న్యూ. ల బలాన్ని అనుభవం పొందుతూ ఉంది. అప్పుడు విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రత ఎంత?
(జవాబు : 400 న్యూ/కూ)

2. 20 సెం.మీ. వ్యాసం కలిగి, 3 నేనే, కూలూంబ్‌లు/మీ^{2} తలఆవేశం గలిగిన గోళానికి 2 మీ. దూరంలో విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత ఎంత విలువను కలిగి ఉంటుంది?
(జవాబు : 2.05 న్యూ/కూ)

3. 'a' మీటర్లు వ్యాసార్థం గల వర్తులాకారపు వలయం ఏకరీతి ఆవేశ సాంద్రత λ కూ/మీ కలిగి ఉంది. వలయం అక్షంలో కేంద్రంనుండి 'd' మీటర్లు దూరంలో ఉన్న బిందువు వద్ద క్షేత్ర సత్వాన్ని కనుగొనండి.
(జవాబు : $\frac{\lambda ad}{2\varepsilon(a^2+d^2)}$)

4. రబ్బరు బెలూను, (a) గోళీయ (b) సాసర్ ఆకారములు కలిగి ఉన్నపుడు ఆ బెలూను ఆవేశితమయితే, లోపల విద్యుత్ క్షేత్రం ఆవశ్యంగా శూన్యం కావలసిందేనా? ఎందువలన?

5. 'a' మీటర్లు వ్యాసార్థం గల ఆవేశిత వాహకగోళం తలానికి r మీటర్ల దూరంలో విద్యుత్ సత్వం (క్షేత్రబలం) కనుగొనండి.
(గోళతల ఆవేశ సాంద్రత కూలూంబ్‌లు/మీటరు2)
(జవాబు $E = \frac{a\sigma 2}{\varepsilon(a+r)^2}$

6. (1) వెండి, 92) సీసం, కేంద్రకతలాల వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణలను కనుగొనండి.

7. U^{235} పరమాణువు యొక్క విద్యుత క్షేత్ర సత్వం (బలం) గణననుండి, కేంద్రకం యొక్క స్థిరత్వం (stability) ని చర్చించ గలరా?

రచన, అనువాదం : డా. ఏ. రామమూర్తి

BRAOU

భాగం - 3

విషయ క్రమం

3.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
3.2 ప్రవేశిక
3.3 ఒక అనంత స్థూపాకార ఆవేశిత వాహకం వద్ద క్షేత్ర తీవ్రత
3.4 ఒక సమతల ఆవేశిత ఫలకం
3.5 ఆవేశిత వాహక తలంపై విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత. కూలూంబ్ సిద్ధాంతం
3.6 సారాంశం
3.7 నమూనా జవాబులు
3.8 నమూనా ప్రశ్నలు

3.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈభాగంలో ఆవేశిత వాహకం వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రతను లెక్కకట్టడం వివరించ బడింది.

మీరు ఈభాగం చదివిన తరువాత గౌస్ సిద్ధాంతాన్ని ఉపయోగించి స్థూపాకార ఆవేశిత వాహకం వద్ద క్షేత్ర తీవ్రతను లెక్కకట్టగలుగుతారు.

3.2 ప్రవేశిక

మీరు ఈభాగంలో వాహకాల వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రాలను గురించి చదువుతారు.

3.3 ఒక అనంత స్థూపాకార ఆవేశిత వాహకం వద్ద క్షేత్ర తీవ్రత

పటం 3.1 అనంతమైన ఆవేశిత కడ్డీ యొక్క అడ్డుకోత (section) ను సూచిస్తుంది. రేఖలోని అన్ని బిందువుల వద్ద దైర్ఘ్య ఆవేశసాంద్రత (ఒక ప్రమాణ దైర్ఘ్యానికి గల ఆవేశము, కూలుంబులు/మీటరు) స్థిరాంకముగా ఉంటుంది. ఆ ఆవేశిత స్థూపం విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకము, K, ఉన్న యానకములో ఉన్నదనుకొందాం. స్థూపము నుండి r దూరంలో ఉన్న ఒక బిందువు P ను తీసికొందాము. P గుండా 'h' పొడవుగల ఒక స్థూపాకార గౌసీయతలాన్ని ఊహించండి. స్థూపానికి గల ముఖాలకు సమాంతరంగా విద్యుత్ తీక్షణత E ఉంటుంది. కాబట్టి ఈ ముఖముల మీద సమప్రేరణం శూన్యమవుతుంది. స్థూపతలంపై E స్థిరాంకంగా ఉంటుంది, ఈ తలంగుండా అభివాహం K E. x 2πrh అవుతుంది. (2πrh) అనేది తలవైశాల్యము).

పటం 3.1 ఉన్న గౌసీయతలం ఆవరించిన ఆవేశం

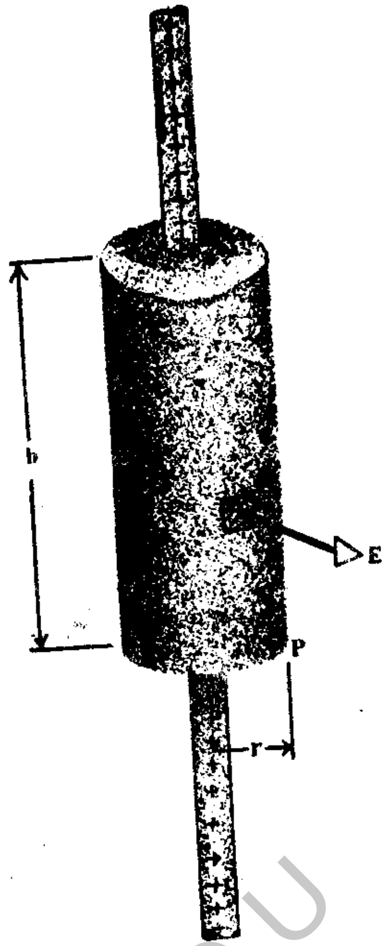
'గౌస్' సిద్ధాంతం ప్రకారం $\varepsilon_0 \iint \vec{E} \cdot \vec{ds} = q$

$$\varepsilon o = E\kappa . 2\pi rh = \lambda \quad \text{లేదా} \qquad \text{......(3.1)}$$

$$E = \frac{\lambda}{2\varepsilon_0 \pi \kappa r} \text{ కూలుంబులు/మీటరు} \qquad \text{...(3.2)}$$

ధనావేశానికి E దిశ బయటకు త్రైజ్యా దిశలో ఉంటుంది.

BRAOU

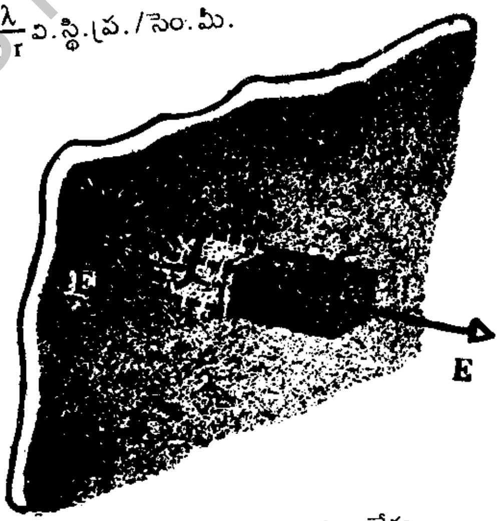


పటం 3.1 ఆవేశిత స్థూపాకార వాహకం

ఆవేశిత స్థూపాకార వాహకం వ్యాసార్థం R మీద ఆధారపడదు. కాబట్టి విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత సమాసం (expression) ఒక ఆవేశరేఖకు గాని లేదా ప్రమాణ పొడవుగల ఆవేశిత తీగకు గాని ఒకేరకంగా ఉంటుంది.

CGS వ్యవస్థలో $E = \frac{2\lambda}{\kappa r}$ ఏ.స్థి.ప్ర./సెం.మీ. ..... (3.3)

BRAOU



పటం 3.2 సమతల ఫలకావేశం

గౌస్ సిద్ధాంతాన్ని ఉపయోగించి 'E' ని సాధించడం చాలా తేలిక. ఈ సమస్య యొక్క సౌష్టవమును పూర్తిగా ఉపయోగించుకొంటే గాని, సాధన తేలికకాదు. గౌసు సిద్ధాంతము ఏరకమైన సౌష్టవతలానికైనా వర్తిస్తుంది. మనం ఈ సమస్యను అధ్యయనం చేయడానికి ఒక ఘనవాన్నిగాని, గోళాన్ని గాని మరే యితర సౌష్టవ తలాన్ని గాని తీసికొనవచ్చు. కాని ఈ సమస్య సాధనలో స్థూపాకార తలమును తీసికొంటేనే మనము పూర్తి సౌలభ్యాన్ని పొందవచ్చు అని గమనించాలి. అపుడు పరిష్కారము చాలా సులభంగా ఉంటుంది.

3.4 ఒక సమతల ఆవేశిత పలకం

పటం 3.2 లో ఒక పలుచని అనంతమైన అవాహక ఫలకావేశాన్ని చూపాము. దానిలో తల (విద్యుత్) ఆవేశ సాంద్రత, σ స్థిరాంకముగా ఉంటుంది. యానకం విద్యుత్‌రోధక స్థిరాంకం K తలానికి దగ్గరగా ఒక బిందువు P ని తీసికొందాము. P ద్వారా, ప్రమాణ వైశాల్యము అడ్డుకోతగల దీర్ఘ చతురస్ర పట్టకమును గీచిన, ఆ పట్టకం ముఖాలు సమతల ఫలకానికి సమాంతరంగా ఉంటాయి. ఈ ముఖాల గుండా వెలువడే బలరేఖలు వీటికి లంబదిశలో ఉంటాయి. విద్యుత్ బలం ఫలకతలానికి లంబదిశలో ఉన్నందున, పట్టకం ప్రక్కవైపునుండి సమ విద్యుత్ ప్రేరణ (normal electric induction) శూన్యమవుతుంది.

పట్టకంలోని సంపూర్ణ ఆవేశము అయినందున గౌస్ సిద్ధాంతం ప్రకారం, దీనిలో సంపూర్ణ సమ విద్యుత్ ప్రేరణం $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ గా తెలిసికొనవచ్చు. ఫలకతంపై కోయబడిన ప్రమాణ వైశాల్యము యొక్క యిరువైపుల నుండి బయటకు ఆదేశితమైంది ఈ విద్యుత్ బలము. కావున ఈ ఆవేశ ఫలకం మీద ఉన్న సంపూర్ణ సంపూర్ణ సమ విద్యుత్ ప్రేరణము $= \kappa E + \kappa E = 2\kappa E$

అంటే $2\kappa E = \sigma/\varepsilon_0$

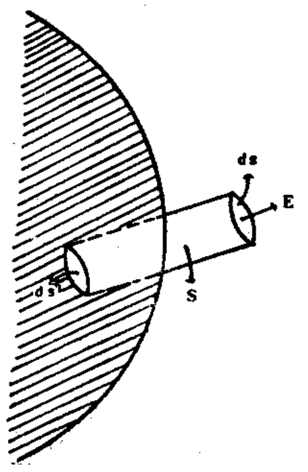
లేదా $E = \frac{\sigma}{2\text{Kappa } E_0}$ న్యూటనులు/కూలుంబ్ ... (3.4)

.... (3.5)

అనేది అనంత ఫలకావేశం దగ్గరనున్న విద్యుత్ తీక్షణత. వాహకతలం మీద ఆవేశం, వెలుపలికి ప్రసరించి, ప్రేరణ రేణలను బయటకు పంపుతుంది. ఫలకం ఇరువైపులనున్న ప్రతిబిందువు వద్ద E సమానంగా ఉంటుంది.

సెం.గ్రా.సె. వ్యవస్థలో $E = \frac{2\pi\sigma}{\kappa}$ డైనులు/ఎ.స్థి.ప్ర ... (3.6)

3.5 ఆవేశిత వాహకతలంపై విద్యుత్‌క్షేత్ర తీక్షణత- కూలూంబ్ సిద్ధాంతం



పటం 3.3. కూలూంబ్ సిద్ధాంతం

BRAOU

ఒక ఆవేశిత వాహకం తలంపైన చిన్న వైశాల్యం ను తీసికొని దానినుండి ఉద్గారంచెందే బలనాళికను పరిశీలిద్దాం. ఈతలంమీద తలసాంద్రత σ, ఈతలము K, విద్యుతరోధక స్థిరాంకం గల యానకంలో నుంది. ఆవేశం ధనాత్మక మయితే, తలం దగ్గర ఉన్న బిందువుల వద్ద క్షేత్ర తీక్షణత E దిశ తలంనుండి బయటకు లంబదిశలో ఉంటుంది. E, తలానికి లంబదిశలో లేకుంటే అపుడు తలంలో దాని అంశం ఉంటుంది. ఈ అంశం అప్పుడు వాహకంలోని ఆవేశవాహకకారుల మీద చర్య తీసికొని, నిలకడ విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని (electric current) కలిగిస్తుంది. అట్టి తలప్రవాహాలు, పైన చెప్పిన విద్యుత్ స్థిర షరతులలో, లేకపోవడం వల్ల E వాహకతలానికి లంబదిశలోనే ఉన్నదని అర్థం అవుతుంది. ఈ నాళికను వాహకంలోనికి కొద్ది దూరం వ్యాపింప జేసినట్లయితే, స్థూపము తయారవుతుంది. Sకు మరీ దగ్గరగా ds, ds^1 అనే రెండు తలాలను గీయాలి. ఒక తలం వెలుపలకు మరొక తలం లోపలికి సమాన దూరములో ఉండాలి. ds మరియు ds^1 ముఖాలుగా తయారయిన స్థూపాల ప్రక్కలనుండి, పొడవుకు లంబదిశలో నుండి, ఉత్సర్గమయ్యే సమ విద్యుత్ ప్రేరణ శూన్యంగా ఉంటుంది. దీనికి కారణం ఆ స్థూపాలు గౌసియన్ తలాలు కావడమే. విద్యుదావేశం వాహతలం మీద మాత్రమే ఉండడం వలన ds^1 మీద ఆవేశం ఉండదు. అందుకని దానిద్వారా ఉత్సర్గమయ్యే సమ విద్యుత్ ప్రేరణం శూన్యమవుతుంది.

ds ద్వారా ఉత్సర్గమయ్యే సంపూర్ణ సమ విద్యుత్ ప్రేరణం = κ Eds కాని, గౌసు సిద్ధాంతం ప్రకారం

సంపూర్ణ సమ విద్యుత్ ప్రేరణ = $(\sigma ds/\varepsilon_0)$

(σds, S తలము మీదనున్న ఆవేశము)

... (3.7)

కాబట్టి $E = \dfrac{\sigma}{\varepsilon_0 K}$

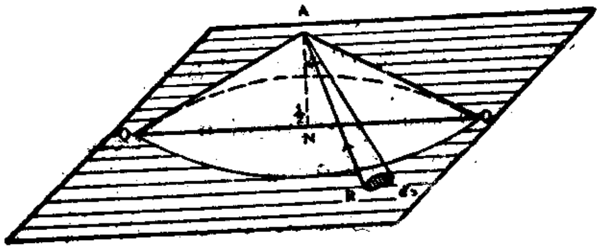
వాహకంలోని ప్రతి బాగాన్ని ఈవిధంగా విశ్లేషణం చేయవచ్చు. కాబట్టి, ఒక ఆవేశిత వాహక తలం దగ్గర ఉన్న ఏ బిందువు వద్దనైనా విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణతను $\sigma/\varepsilon_0 K$. గా గుర్తిస్తారు. ఇదే కూలూంబ్ సిద్ధాంతం. .... (3.8)

విద్యుత భ్రంశం = D = ε KE = $4\pi\sigma$

ఇందు σ ని కూలుంబ్/మీటరు^{2} లలో కొలుస్తారు. (CGS సెం.గ్రా.సె.) వ్యవస్థలో

$E = \dfrac{4\pi\sigma}{K}$ వోల్టులు/మీటరు. E ని వాహకం మీది సంపూర్ణ ఆవేశం వల్ల కలిగే విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణతగా గుర్తించాలి.

సమీకరణాలు (3.5), (3.7) నుండి ఒక ఆవేశిత వాహక తలం దగ్గర విద్యుత్ తీక్షణత సమతల ఫలకావేశం వద్ద ఉన్న తీక్షణతకు రెండురెట్లు అని తెలుస్తుంది. పటం 3.3లో విద్యుత్ అభివాహమంతా వెలుపలి తలమునుండి బహిర్గతమవుతుంది, కాని పటం 3.2లో అభివాహకంలో సగం ఒక వైపునుండి మిగతా సగం మరియొక వైపునుండి బహిర్గతమవుతుంది.



పటం 3.4 శంఖువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత

మాదిరిలెక్క 1 :– తలంనుండి $\frac{1}{2}$" దూరములో ఉన్న బిందువు A వద్దనున్న సంపూర్ణ తీక్షణత $\sigma/2\varepsilon_0$ లో సగము A నుండి 1" దూరాననున్న బిందువుల వద్ద ఉన్న ఆవేశాల వల్ల వచ్చింది, అని ఋజువు చేయండి.

జవాబు : R వద్దనున్న వైశాల్యపు భాగం ds మీద ఆవేశము = σds. R నుండి A యొక్క దూరం r అయితే, ఆ ఆవేశం R వద్ద ఉత్పత్తి చేసే విద్యుత్ తీక్షణత $\frac{\sigma ds}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ ఇది RA దిశలో ఉంటుంది. లంబము AN వెంబడి దాని అంశభాగము $Eo = \frac{\sigma ds \cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{\sigma d\omega}{4\pi\varepsilon_0}$

దీనిలో 'dω' అనేది A వద్ద ds చేత చేయడిన ఘనకోణం.

A నుండి 1" దూరములో నున్న తలంలోని బిందువులు, N కేంద్రముగా NQ వ్యాసార్థంగాగల వృత్తములోనే ఉంటాయి. (AQ = 1" కావున). A వద్ద సంపూర్ణ తీక్షణతలో, ఈ వృత్త వైశాల్యంలోని ఆవేశం అంశదానం చేసే మొత్తం భాగం $\frac{\sigma\omega}{4\pi\varepsilon_0} = \frac{\sigma 2\pi(1-\cos 60^\circ)}{4\pi\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{4\varepsilon_0}$ కావున, మొత్తం తీక్షణతలో సగము A నుండి 1" దూరములో ఉన్న ఆవేశాల వల్ల వచ్చింది. (ఈ బిందువులన్ని 60° అర్థసుడి కోణంగల సమ వృత్తాకార శంఖువులో ఉంటుంది).

3.6 సారాంశం

ఆవేశిత స్థూపాకార వాహకానికి దూరంలోని విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత $\frac{T}{2\pi CEor}$ T అనేది ప్రమాణ దూరానికి గల ఆవేశం. దూరంలో ఉన్న అనంతమైన విద్యుదావేశిత ఫలకం విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$. σ ఆవేశ సాంద్రతమవుతుంది. కాని పటం 3.2 లో అభివాహకంలో సగం ఒకవైపునుండి మిగతా సగం మరియొక వైపు నుండి బహిర్గత మవుతుంది.

3.7 నమూనా ప్రశ్నలు

I. ఈక్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానాలు వ్రాయండి.

1. ఒక అనంత ధనావేశిత ఫలకానికి 'r' దూరంలోగల విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణతకు సంబంధించిన సమీకరణాన్ని సాధించండి.
2. గౌస్ సిద్ధాంతం అనువర్తించి ఒక ఒక అనంత ఆవేశిత రేఖకు R దూరంలో గల విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రత $E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 R}$ అని నిరూపించండి. దీనిలో λ ప్రమాణ దూరానికిగల ఆవేశం.

II. ఈక్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి.

1. ఆవేశిత స్థూపాకార విద్యుద్వాహకం లోపల P అనే బిందువు ఉంటే విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత విలువ ఎంత? వివరించండి.
2. $\lambda \rightarrow 0$ అయినప్పు డు గౌస్‌సూత్రం వర్తిస్తుందా? ఎందువల్ల?
3. సమతల అనంత విద్యుదావేశిత ఫలకం సమస్యలో విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత E,P అనే బిందువును ఆవరించి ఉన్న తలం స్వరూపంపై ఆధారపడుతుందా? వివరించడి.

BRAOU

III. ఈక్రిందివానిని సుమారు 5 పంక్తులలో వివరించండి.

(a) విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత

(b) ఆవేశ సాంద్రత

(c) గౌసియన్ తలం

(d) విద్యుత్ క్షేత్ర రేఖలు

IV. ఈక్రిందిలెక్కలను సాధించండి.

1. 100 మి.గ్రా. సెం.మీ. బంగారు పత్రాన్ని భూమికి సమాంతరంగా ఉండే ఆవేశిత ఫలకం మీద ఉంచారు. ఆ పత్రం ఫలకం నుండి పైకి ఎగరడానికి కావలసిన కనీస ఫలకావేశ సాంద్రత ఎంత?

(సూచన : $F = 2\pi r^2 \times mg$)

2. గాలిలో ఉన్న వాహకపు వస్తువుపై ఉంచదగిన ఆవేశపు గరిష్ఠతల సాంద్రత ఎంత?

(జవాబు : 8 ఏ.స్థి.ప్ర/సెం.మీ.)

రచన, అనువాదం : డా.వి. రామమూర్తి

BRAOU

భాగం–4 ఆవేశిత వాహకపు తలంపై పనిచేసే యాంత్రికబలం

విషయక్రమం

4.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
4.2 ప్రవేశిక
4.3 ఆవేశిత వాహకపు తలంపై పనిచేసే యాంత్రికబలం లేదా ప్రతిబలం
4.4 ఆవేశిత సబ్బుబుడగపై పనిచేసే పీడనము
4.5 ఆవేశిత కణముపై మేఘ రచన
4.6 సారాంశం
4.7 నమూనా ప్రశ్నలు
4.8 చదవదగిన గ్రంథాలు

4.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో విద్యుత్ ఆవేశిత వాహకతలం మీద పనిచేసే యాంత్రికబలం భావన వివరణ ఉంది.

మీరు ఈభాగం చదివిన తరువాత

(1) విద్యుదీకృత సబ్బుబుడగపై పీడనాన్ని లెక్కించగలరు.

(2) మేఘపేటికలో ఒక ఆవేశిత కణంపై మేఘం ఏర్పడే విధానాన్ని వివరించగలుగుతారు.

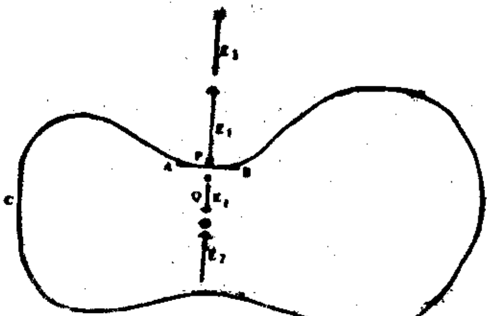
4.2 ప్రవేశిక

మీరు ఈభాగంలో ఆవేశిత వాహకపుతలంపై పనిచేసే యాంత్రికబలం గురించి చదువుతారు.

BRAOU

4.3 ఒక ఆవేశిత వాహకపు తలంపై పనిచేసే యాంత్రికబలం లేదాప్రతిబలం

K విద్యుత్‌రోధక స్థిరాంకంగల యానకంలో ఒక వాహకం C ని ఉంచారు. వాహకపు ఆవేశతలసాంద్రత 'σ' అనుకుందాం. వాహకపు చిన్న వైశాల్యం ABకి వెలుపల, లోపల తలాల దగ్గరగా అనంత సూక్ష్మదూరంలోని బిందువులు P మరియు Q అనుకుందాం. AB తలవైశాల్యం ds. దీనిని సమతలంగా ఊహిస్తాం. (AB చాలా చిన్నది కాబట్టి.)



పటం 4.1 ఆవేశిత వాహకపు తలంపైని యాంత్రికబలం

P వద్ద విద్యుత్‌తీక్షణత పాక్షికంగా 'ds' మీదనున్న ఆవేశంవలన, పాక్షికంగా వాహకపు మిగతాభాగంలో ఉన్న ఆవేశాల వలన ఉంటుంది. ఈ అంశాలను వరుస క్రమంలో E_1 మరియు E_2 అనుకుందాం. P వద్ద ఫలిత తీక్షణత, $E = E_1 + E_2$

కూలూంబ్ సిద్ధాంతం ప్రకారం $E = \sigma/\varepsilon_0 k$ వాహకంలోపల Q వద్ద విద్యుదావేశాలు ఏమి లేనందున, అక్కడ తీక్షణత శూన్యమవుతుంది. కాబట్టి

$$-E_1 + E_2 = 0 \text{ లేదా } E_1 = E_2 \tag{4.1}$$

$\therefore$ ఫలిత తీక్షణత $E = 2E1 = \sigma/\varepsilon_0 \kappa$

$$\text{లేదా } E_2 = E_1 = \sigma/2\varepsilon_0 \kappa \text{ కూలుంబ్‌లు/మీటరు}^2 \tag{4.1a}$$

ఇపుడు వైవాల్యభాగం 'ds' ను వాహకము నుండి వేరుచేసినట్లు అనుకుందాం. అపుడు 'ds' మీద ఆవేశం వాహకం యొక్క మిగతా భాగాలపై ఉన్న ఆవేశ క్షేత్రంలో ఉంచబడుతుంది. మిగతా భాగాలవల్ల కలిగే విద్యుత్ తీక్షణత

$$E_1 = E_2 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0 \kappa} \tag{4.2}$$

ds తలంపై తలసాంద్రత σ అయితే, మొత్తం ఆవేశం = σ.ds అవుతుంది. అపుడు ఆ తలవైశాల్య భాగం పొందిన యాంత్రికబలం (లేదా ప్రతిబలం), F ను తెలిసికోవచ్చు.

F = ఆవేశం x విద్యుతక్షేత్ర తీక్షణత

$$= \sigma . ds \times \frac{\sigma}{2\varepsilon_0 \kappa} = \frac{\sigma^2 ds}{2\varepsilon_0 \kappa} \tag{4.3}$$

ప్రమాణ వైశాల్యంగల తలంపై ఉన్న వెలుపలి యాంత్రిక బలము లేదా ప్రతిబలము =

$$P = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0 \kappa} \text{ న్యూ/మీ}^2 \tag{4.4}$$

$$\text{సెం.గ్రా.సె. CGS వ్యవస్థలో } p = \frac{2\pi \sigma^2}{\kappa} \text{ డైన్‌లు/సెం.మీ.} \tag{4.5}$$

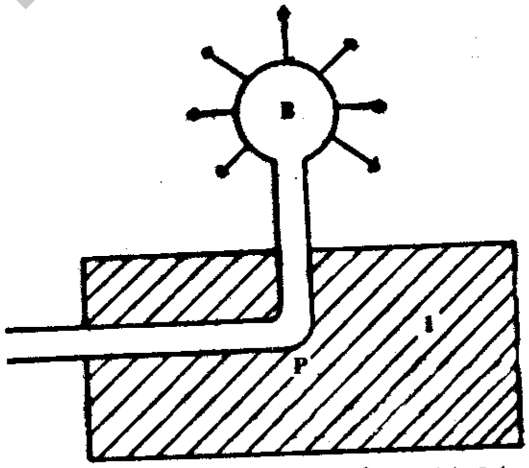
σ^2 ఎప్పుడూ ధనాత్మకమే. కాబట్టి తలంమీది ప్రతిభాగం వద్ద గల పీడనం వెలుపలదిశగా ఆదేశితమై ఉంటుంది. అంటే, తలం ప్రతిబలానికి లేదా బాహ్య విద్యుత్ పీడనానికి గురియైందని భావము.

$$\text{కూలుంబ్ సిద్ధాంతం ప్రకారము } \sigma = \varepsilon_0 \kappa E \tag{4.6}$$

కాబట్టి ప్రమాణ వైశాల్యానికి గల యాంత్రికబలం

$$\text{లేదా ప్రతిబలం } p = \frac{1}{2\varepsilon_0 k} (\varepsilon_0 K)^2 = \frac{\varepsilon_0 \kappa E^2}{2} \text{ న్యూ/మీ}^2 \tag{4.7}$$

$$\text{సెం.గ్రా.సె. (CGS) వ్యవస్థలో ప్రతిబలం } P = \frac{\kappa E^2}{8\pi} \text{ డైనులు/(సెం.మీ.)}^2 \tag{4.7a}$$



పటం 4.2 B ఆవేశిత సబ్బుబుడగ 1. మైనపు దిమ్మ

BRAOU

వాహకంలో నుండి ఏభాగము నిజంగా ఎడదీయబడక పోయినా కూడా, ఈ మాత్రపుబలం ఆవేశంమీద ఉంటుంది. వాహకం సమతలమైనా, గుల్ల లేదా ఘనగోళమైనా, దానితలంపై ఏభాగంలోనైనా ఈ బలం (లేదా పీడనం) ఇంతే ఉంటుంది. ఎందుకంటే, ఈ అన్ని సందర్భాలలో చిన్న వైశాల్యభాగాలను సమతలంగా భావించవచ్చు. ఆ సమయాలలో ఆవేశిత వాహకం వ్యాకోచం చెందుతుంది. ఉదాహరణకు, ఈ విద్యుత్ బల ప్రభావం వలన ఒక ఆవేశిత బుడగ వ్యాకోచం చెందుతుంది.

ఒక తలాన్ని విద్యుదీకరణం చేసినపుడు 'కలిగే బాహ్యాపీడనాన్ని ఒక సబ్బుబుడగను' ఆవేశం చేయుటద్వారా (పటం 4.2) చూపవచ్చు.

సబ్బుబుడగను, ఊదుగొట్టాన్ని ఫారఫిన్ మైనం దిమ్మలో అమర్చి, బంధితం (insulate) చేస్తారు. ఈ బుడగను ఆవేశితం చేస్తే,అప్పుడు దాని పరిమాణం బహిఃకర్షణం (Out ward pull) వల్ల పెద్దది అవుతుందని తెలుస్తుంది.

ఆవేశిత వాహకం యొక్క తలంమీద ప్రతి ప్రమాణ వైశాల్యం గూడా ఈ బహిఃకర్షణం అనుభవిస్తుంది. అందువల్ల ఈ బహిఃకర్షణం యానకంలోని ప్రమాణ బలనాళికల వెంబడి తన్యతను కూడా కలిగిస్తుంది.

సాధారణ పరిస్థితులలో గాలిలో 'σ' గరిష్ఠ విలువ = 2.667×10^{-5} న్యూ/మీ^{2}. అప్పుడు ప్రమాణ వైశాల్యంలో గరిష్ఠ బహిఃకర్షణం $p = \frac{\sigma^2 - 40}{2\varepsilon_0 \kappa}$ న్యూ/మీ^{2} లేదా 400 డైనులు/సెం.మీ^{2} అవుతుంది.

ఆవేశసాంద్రత ఈ విలువ నధిగమిస్తే, ఆవేశ స్యందనం (Leakage of charge) జరుగుతుంది.

మాదిరి లెక్క - 1:3 గ్రాముల బంగారాన్ని 78 సెం.మీ^{2}. లు వైశాల్యం గల చిన్న పత్రాలుగా విడగొట్టారు. ఒక చిన్నముక్కను దీనిలోనుంచి తీసి ఒక వాహకంపై ఉంచారు. ఈ బంగారు పత్రాన్ని వాహకపు తలం నుండి గభాలున ఎగరడానికి, వాహకమునకు కావలసిన ఆవేశ సాంద్రతను కనుగొనండి.

జవాబు :

బంగారు పత్రము గభాలున ఎగరడానికి, బంగారు పత్ర బరువు, వాహకపు బహిఃకర్షణానికి సరిగా సరిపోవాలి.

అంటే $mg = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0 \kappa}$

యానకం గాలి కావున $\kappa = 1$

$$\therefore \sigma^2 = \frac{3 \times 10^{-2} \times 98}{2 \times 78 \times 10^{-4} \times 8.85 \times 10^{-12}}$$

$= 2.13$ క్యూ^{2}/మీ^{4}

$\sigma = 1.48$ కూలుంబులు/మీ^{2} (దాదాపు)

ఒక ఆవేశిత తలంపై అనుభూతమైన (experienced) బలం అనువర్తనాలు ఎన్నో ఉన్నాయి. కాని మనము ప్రస్తుం రెండింటిని మాత్రం చర్చిద్దాం.

4.4 ఆవేశిత సబ్బుబుడగపై పనిచేసే పీడనము

r వ్యాసార్థము గల ఒక సబ్బు బుడగ లోపలిపీడనం బయటి పీడనం కంటె $P = \frac{4T}{r}$ న్యూ/మీ^{2} అధికంగా ఉంటుంది. దీనిలో T సబ్బు ద్రావణము యొక్క తలతన్యత. ఇది బుడగ లోపలవైపుకు పనిచేస్తుంది. ఈ బుడగకు q కూలుంబ్‌ల ఆవేశాన్నిస్తే ఆ బుడగపై ఆవేశపు తలసాంద్రత $\sigma = \frac{q}{4\pi r^2}$ ... (4.8) అవుతుంది. అపుడు ఆ తలం గాలిలో బహిః కర్షణానికి లోనవుతుంది. ఆ బహిః కర్షణం

$$= \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0 \kappa} = \frac{q^2}{16\pi^2 r^4 \; 2\varepsilon_0 \kappa} = \frac{q^2}{32\pi^2\varepsilon_0 \kappa r^4} \qquad (4.9)$$

అవుతుంది.

ఈ బహిఃకర్షణం వల్లనే బుడగ వ్యాకోచిస్తుంది. బుడగ ఆవేశితమైనపుడు, అధికపీడం P ని (4.10) సమీకరణం ద్వారా సాధించవచ్చును.

(4.10)

$$P = \frac{4T}{r} - \frac{q^2}{32\pi\varepsilon_0 \kappa r^4} \qquad (4.10a)$$

శూన్యమైతే, $p = 0$

$$q = \sqrt{128\, T\pi^2\varepsilon_0 r^3}$$

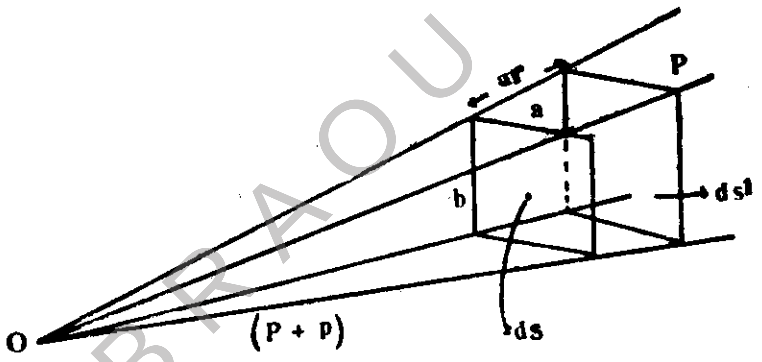
$$q = 8\pi\sqrt{2\varepsilon_0 T r^3} \qquad (4.11)$$

సెం.గ్రా.సె. (CGS) వ్యవస్థలో $\sqrt{32\pi T r^3}$

4.10 సమీకరణ నిరూపణ

r వ్యాసార్థము గల సబ్బుబుడగను σ తలసాంద్రత కలిగేవరకు ఆవేశితం చేశామనుకొందాం. ఈ ఆవేశం బుడగ బహిఃతలంపై మాత్రమే ఉంటుంది. అందువల్ల ఆ తలం బహిఃకర్షణానికి గురవుతుంది.

బుడగలో ఒక భాగాన్ని తీసికొందాం. లోపలినుండి బయటకు పనిచేసే పీడనము (P+P) అని, బయటినుండి లోపలికి పనిచేసే పీడనము P అని అనుకొందాం. సబ్బు ద్రావణం తలతన్యత T అనుకొందాం. వ్యాకోచంలో బుడగ వ్యాసార్థం 'dr' తలవైశాల్యము ds నుండి ds^1 కు పెరుగుతుందనుకొందాము.



B R A O U

పటం 4.3 సబ్బుబుడగ వ్యాకోచం

పటం 4.3 నుండి ds = a.b. బుడగ వ్యాకోచించినపుడు, బుడగపై చేసిన పని దాని స్వేచ్ఛా తలశక్తి (free surface energy) లోని వృద్ధికి సమానం. రెండు తలాలను పరిగణనలోనికి తీసికొంటే, నిశ్చలస్థితిలో

$$(P+\beta)\, ds.dr + \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0}\, ds.\, dr - P.\, ds.\, dr = sT\,(ds^1 - ds) \qquad (4.12)$$

దీనిలో β అనునది అధికపీడనం

ds మరియు ds^1 విలువలను ప్రతిక్షేపించిన,

$$P.ab.dr + \frac{\sigma^2}{\varepsilon_0}\, ab.\, dr = 2T\left(a\left(\frac{1+dr}{r}\right) b\left(1+\frac{dr}{r}\right) - ab\right) \qquad (4.13)$$

$$\left(P+\frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0}\right) ab.dr = 2T.\, ab.\, dr\, \frac{2}{r} \qquad (4.14)$$

or $P + \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0} = \frac{4T}{r}$ or $P = \frac{4T}{r} - \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0}$ న్యూ/మీ.

సెం.గ్రా.సె. (CGS) వ్యవస్థలో $P = \left(\frac{4T}{r} - 2\pi\sigma^2\right)$ డై/సె.మీ (4.15)

(4.16)

మాదిరిలెక్క–2: 5 సెం.మీ వ్యాసార్థంగల ఒక బంధిత సబ్బు బుడగను 10 . ఎ.స్థి. ప్ర.లతో ఆవేశితం చేస్తారు. ఆవేశం వలన దాని వ్యాసార్థము లోని వృద్ధిని కనుగొనండి. (వాతావరణ పీడనమును 10^6 డైనులు/ సెం.మీ గా ఊహించుకోండి)

జవాబు

బోయిల్ సిద్ధాంతము ప్రకారం $P\alpha \frac{1}{v}$ or $P\alpha \frac{1}{r^3}$ లేదా $P = \frac{\kappa}{r^3}$ ఇందు (κ స్థిరాంకం)

$\frac{dP}{dr} = -\frac{3k}{r^4} = -\frac{3p}{r}$ లేదా $dr = -\frac{r}{3}\frac{dp}{p}$

పీడనంలోని మార్పు విద్యుదావేశం వలన కలుగుతుంది.

కాబట్టి, $dp = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0} = \frac{q^2}{32\varepsilon_0\pi^2 r^4}$

$dr = \frac{-q^2}{96}$

4.5 ఆవేశిత కణముపై మేఘరచన (Cloud formation)

తలతన్యతా సూత్రం ప్రకారం, r వ్యాసార్థంగల గోళీయ బొట్టుమీద ద్రవ తలంచే లోపలికి ప్రయోగింపబడిన పీడనం $= \frac{2T}{r}$

ఇది ఒక బొట్టును సంకోచింప చేయడానికి సహాయపడుతుంది. అయితే, ఆ బొట్టు మీద 'q' అను ఆవేశం ఉంటే అప్పుడు అక్కడ వెలుపలికి ఆదేశితం అయిన విద్యుత్ స్థిర పీడనం $\frac{q^2}{32\pi^2\varepsilon_0 r^4}$ కు సమానంగా ఉంటుంది. ఆవేశిత బొట్టును సంకోచింపచేసే పీడనం $= \left(\frac{2T}{r} - \frac{q^2}{32\pi^2\varepsilon_0 r^4}\right)$ న్యూ/మీ^{3}

సెం.గ్రా.సె. (VGS) వ్యవస్థలో $P = \left(\frac{2T}{r} - \frac{q^2}{8\pi r^4}\right)$ డై/చ.సెం.మీ (4.17)

(4.18)

$$P = \left(\frac{2T}{r} - 2\pi\sigma^2\right)$$

ఇక్కడ σ తల ఆవేశసాంద్రత. $\frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0}$ ఎపుడూ ధనాత్మకంగా ఉంటుంది. (q ధన, ఋణాత్మకం అయినా కూడా). r తక్కువయి, బొట్టు ఆవేశితం కాకుంటే ఆ కణం కుచించుకుపోతుంది. అనావేశిత కణాలపై బొట్లు ఏర్పడే అవకాశము చాలా తక్కువ. కాని ఒక (ద్రవపు) సంతృప్త భాష్పంలో ఆవేశితకణం ఉండి, ఆ భాష్పాన్ని హటాత్తుగా చల్లబరిస్తే, పరిమిత పరిమాణపు బొట్లు ఆ కణాలపై ఏర్పడుతాయి. ఈ విధముగా ఒక ధూళిలేని (Dust free) అతిసంతృప్త భాష్పమునుపయోగించి విద్యుదావేశముల ఉనికిని కనుగొనవచ్చును. ఈ విధముగా ధూళి లేని (Dust-free) అతి సంతృప్త భాష్పమునుపయోగించి విద్యుదావేశములను కనుగొను పద్ధతిని బుద్బుద పేటిక, విల్సన్ మేఘపేటిక పద్ధతుల (Techniques) లో రేడియో ధార్మిక కిరణములు α, β, γ కాస్మిక్ వికిరణాలను కనుగొనుటకు అమితంగా ఉపయోగించారు.

మాదిరిలెక్క 3 : ఒక గోళీయ సబ్బుబుడగ వ్యాసార్థం, తల తన్యతలు వరుసగా 'a' మరియు 'T' అయితే, బుడగ దైర్ఘ్యమితి (Linear dimension) ని రెండురెట్లు అయేట్లుగా వ్యాకోచం చెందడానికి

BRAOU

కావలసిన విద్యుదావేశం $4\pi a^2 (12T+7pa)^{\frac{1}{2}}$ వి.స్థి.ప్ర. అని చూపండి. (దీనిలో p వాతావరణ పీడనము).

జవాబు :

బుడగలో తొలిపీడనం $p_1 = p + \frac{4T}{a}$. వ్యాసార్థము రెండురెట్లు పెరిగితే, ఘనపరిమాణము 8 రెట్లు పెరిగిత అంతర్ పీడనము 8వ వంతుకు పడిపోతుంది. ఈ పీడనపాతానికి (Fall in pressure) కారణం బుడగను ఆవేశితం చేసినప్పు డు కలిగే బహిఃష్కర్షణం. అందువల్ల

$$p + \frac{4T}{a} = p_1$$

$$\text{and } p + \frac{4T}{2a} - \frac{q^2}{8\pi(2a)^4} = \frac{p_1}{8}$$

$$\therefore\ 8p + \frac{16T}{a} - \frac{q^2}{16\pi a^4} = p + \frac{4T}{a} \text{ or } 7p + \frac{12T}{a} = \frac{q^2}{16\pi a^4}$$

$$\therefore\ q = 4\left[\pi a^3 (7pa + 12)\right]^{\frac{1}{2}}$$

4.6 సారాంశం

ఒక ప్రమాణ వైశాల్యం గల ఆవేశిత విద్యుద్వాహకం నుండి వెలువడే బహిర్గత బలం $\frac{KE^2}{8\pi}$ కి సమానం. ఈ బలం తలానికి లంబదిశలో ఉంటుంది.

విద్యుదీకృత సబ్బు బుడగలోని అధికపీడనం $P = \frac{4T}{r} - \frac{q^2}{8\pi r^4}$ అయ్యే వరకు వ్యాకోచిస్తుంది. r బుడగ వ్యాసార్థం, q విద్యుదావేశం, T తలతన్యత.

BRAOU

4.7 నమూనా ప్రశ్నలు

I. ఈక్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానాలు రాయండి.

1. ఒక ఆవేశిత వాహకతలం యొక్క ప్రమాణ వైశాల్యంపై పనిచేసే యాంత్రిక బలానికి సంబంధించిన సమీకరణాన్ని రాబట్టండి. దీనిని ప్రయోగ పూర్వకంగా ఎలా తెలియ జేస్తారు?
2. ఒక ఆవేశిక కణంపై సంతృప్త బాష్పవాయు మేఘం ఏర్పడే విధానాన్ని చర్చించండి. ఈ భావనను బుద్బుధ, మేఘ పేటికలకు అనువర్తించే పద్ధతిని రాయండి.

II. ఈక్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి.

1. ఒక ఆవేశిత తలంపై పనిచేసే బలం యాంత్రిక స్వభావం కలదా? ఎందువల్ల? వివరించండి.
2. స్థిర విద్యుత్ పీడనానికి సంబంధించిన సమీకరణం (4.4) గోళీయ వాహకాలకు మాత్రమే వర్తిస్తుందా? లేదా? ఎందువల్ల?
3. మేఘపేటికలో మేఘం ఏర్పడడానికి ఆవేశితకణం మాత్రమే కావలెనా లేక అనావేశిత కణమైనా మేఘాన్ని ఏర్పరుస్తుందా? వివరించండి.

III. ఈక్రింది లెక్కలను సాధించండి.

1. ఒక సబ్బుబుడగ వ్యాసార్థం 12 సెం.మీ. 12,000 వోల్టులకు, దానిని ఆవేశితం చేసినపుడు, బుడగలోన ఏర్పడే అధిక పీడనాన్ని కనుగొనండి. (సబ్బు ద్రావణం

తలతన్యత 25 డై/ సెం.మీ. సూచన : $q = \frac{12000}{300} \times 12$ ఎ.స్థి.ప్ర. అధిక పీడనం = $\frac{4T}{r} \frac{q^2}{8\pi r^4}$

(జవాబు : 35.9 డైనులు/సెం.మీ.)

2. 4 గ్రాములు బరువు, 10 సెం.మీ. వ్యాసార్థం గల ఒక డొల్లలోహపు అర్థగోళాన్ని ఒక బంధిత చట్రంపైనుంచి, క్షితిజ సమాంతర తలములో దానిని సగానికి కోసివేసినారు. ఆ తలానికి 50 ఎ.స్థి.ప్ర.ల విద్యుదావేశమును కల్పించారు. పైనున్న అర్థగోళం క్రింద ఉన్న అర్థగోళం నుండి లేవనెత్తబడుతుందా? తెలపండి.

3. 3 సెం.మీ. వ్యాసార్థం గల సబ్బు బుడగను 120 ఎ.స్థి.ప్ర. ఆవేశితం చేస్తే, ఆ బుడగ అంతరాళంలోని అధిక పీడనాన్ని కనుగొనండి. (సబ్బు ద్రావణం తలతన్యత T = 25 డై/సెం.మీ.)

(జవాబు 25 డైనులు/సెం.మీ2)

4. 0.5 సెం.మీ. వ్యాసార్థం గల సబ్బుబుడగను శూన్యంలోకి విసిరినారు. అది 216 ఎ.స్థి.ప్ర. ఆవేశంతో ఆవేశితమైతే దాని సరికొత్త వ్యాసార్థాన్ని కనుగొనండి. (జవాబు: 1.906 సెం.మీ.)

4.8 చదవదగిన గ్రంథాలు

1.	Holliday, D. and Resmick, R. (1980)	Physics Part II	Wiley Eastern Pvt. Ltd. New Delhi.
2.	Bansilal, S. (1965)	Mathematical Theory of Electromagnestism	Asia Publishing House, Bombay.
3.	Gamow, G. and Cleveland, J.M. (1960)	Physics Foundations and Frontiers	Printice-Hall, New Delhi.
4.	Vasudeva, D.N. (1980)	Electricity and Magnetism	S. Chand and Co., New Delhi.
5.	Tippens, P.E. (1978)	Applied Physics	Mc Graw-Hill Book Co., New York.

BRAOU

రచన అనువాదం : డా.వి. రామమూర్తి

BRAOU

ఖండం-2 విద్యుత్ శక్మం

BRAOU

BRAOU

భాగం – 5 శక్మం

విషయ క్రమం

5.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
5.2 ప్రవేశిక
5.3 విద్యుత్ శక్మం
5.4 సమ శక్మాలు
5.5 విద్యుత్ శక్మం, క్షేత్ర తీక్షణత
5.6 ఒక బిందు ఆవేశం వలన శక్మం
5.7 శక్మం యొక్క సదిశాత్మక రూపం
5.8 విద్యుత్ ద్విధృవం
5.9 ద్విధృవం వలన కలిగే విద్యుత్ శక్మం
    5.9.1 ఒక ద్విధృవంచే అనుభవితమైన టార్క్
5.10 స్థిర విద్యుత్ ఉత్పాదకం
5.11 సారాంశం
5.12 నమూనా జవాబులు
5.13 నమూనా ప్రశ్నలు

5.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో విద్యుత్ శక్మ భావన విశదీకరణ ఉంది. విద్యుత్ శక్మ భావనను చదివి అర్థం చేసుకొనడానికి వీలుగా

1) సమశక్మ తలాలు వివరణ.

2) బిందు ఆవేశం వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ శక్మ ఉత్పాదన ఉన్నాయి.

మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

1) విద్యుత్ ద్విధృవం వల్ల కలిగే విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణతను లెక్కించగలరు.

2) స్థిర విద్యుత్ ఉత్పాదకం పనిచేసే తీరును వివరించ గలుగుతారు.

BRAOU

5.2 ప్రవేశిక

మీరు, ఈభాగంలో విద్యుత్‌శక్మ భావన గురించి వివరంగా చదువుతారు.

5.3 విద్యుత్ శక్మం

ఒక ఆవేశిత కడ్డీ చుట్టూ ఆవరించి ఉన్న విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని, విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత, E అనే సదిశ రాశితో సూచిస్తారు. అంతేకాక 'విద్యుత్‌శక్మం' అనే అదిశరాశి ద్వారా కూడా సూచించవచ్చు. ఈ రెండు పరిమాణాలు ఒకదాని కొకటి సంబంధం కలవి. అయితే ఒక సమస్యను చర్చించడంలో ఏది ఉపయోగించాలి అనేది మన అవకాశం, సందర్భం బట్టి ఉంటుంది.

ఒక బిందువు P (r) వద్ద ఉన్న విద్యుత్ స్థిర శక్మం, (లేదా స్థూలంగా విద్యుత్ శక్మం)ను, ఒక ప్రమాణ ధనావేశాన్ని అనంత దూరంనుంచి ఆబిందువు వద్దకు తెచ్చుటలో క్షేత్రానికి విరుద్ధంగా చేసిన 'పని'గా నిర్వచించవచ్చు. ఈ విద్యుత్ శక్మం ఒక వాహకంలోని ప్రవాహం, దానిని ఇంకొక వస్తువుతో సంబంధం కలిపినప్పుడు, ఏదిశలో పయనిస్తుందో, ఆ దిశను నిర్ణయిస్తుంది. ఇది గురుత్వాకర్షణ స్థాయి, ఉష్ణోగ్రతలకు సదృశంగా ఉంటుంది.

స్వేచ్ఛాస్థితిలో ఉన్న వస్తువులు ఎప్పుడూ, గరిష్ఠ గురుత్వాకర్షణ శక్మం గల బిందువు నుండి కనిష్ఠ శక్మం గల బిందుదిశలో పయనిస్తాయి. ఉష్ణం గూడా అధిక ఉష్ణోగ్రత గల వస్తువునుండి అల్ప ఉష్ణోగ్రత గల వస్తుదిశలో ప్రసరిస్తుంది. అదేవిధంగా, విద్యుచ్ఛక్తి కూడా అధికశక్మస్థాయి నుండి అల్పశక్మస్థాయికి ప్రవహిస్తుంది. కాబట్టి విద్యుత్ ప్రవాహం ప్రసరించాలంటే, రెండు బిందువుల మధ్య శక్మ భేదముండాలి.

ధనశక్మాన్ని ఒక వస్తువులోని విద్యుత్ స్థితిగా వర్ణిస్తూ, ఆ స్థితిలో వస్తువులోనికి భూమినుండి ఎలెక్ట్రానులు ప్రవహిస్తాయని గుర్తించాలి. ఇంకొక రకం స్థితిలో, ఎలెక్ట్రానులు వస్తువునుండి భూమిలోనికి ప్రవహిస్తే అపుడు ఆ వస్తువు ఋణశక్మంతో ఉందని చెప్పాలి. భూమి పరిమాణము చాలా పెద్దది కాబట్టి ఏమాత్రం విద్యుత్‌చ్ఛక్తి లోతుపాతులు కూడా దాని విద్యుత్ శక్మాన్ని గమనించ తగ్గ మార్పులేదని గ్రహించాలి. అందుకని భూమి 'శూన్యశక్మం'లో ఉన్నట్లు ఊహిస్తారు. ఏ వస్తువునయినా భూమికి సంధానం చేస్తే, అది శూన్యశక్మంలోకి వస్తుంది. అపుడు ఆ వస్తువును ఎర్త్ (earth) చేసారని అంటారు. ఎర్తింగును ⏚ అనే సంకేతంతో సూచిస్తారు.

ఒక శోధనావేశం q_0 A నుండి B కి కదలటంలో చేయబడిన పని W_{AB}. శక్మభేదానికి గల సంబంధాన్ని ఈక్రింది సమీకరణం సూచిస్తుంది.

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} \qquad (5.1)$$

V_B, V_A కంటె (a) ఎక్కువగా ఉన్నప్పుడు (b) తక్కువగా ఉన్నప్పుడు లేదా (c) సమానంగా ఉన్నప్పుడు చేయబడిన పని వరుసక్రమంగా (a) ధనాత్మకం (b) ఋణాత్మకం లేదా (c) శూన్యం అవుతుంది.

విద్యుత్‌శక్మం (లేదా శక్మభేదం)నకు 'మీ.కి.సె.' వ్యవస్థలో ప్రమాణం జౌలు/కూలుంబ్ ఒక ప్రత్యేక ప్రమాణం. 'వోల్ట్'ను 1 వోల్ట్ = 1 జౌలు/కూలుంబ్‌గా నిర్వచించారు. దానికి సరియైన ప్రమాణం 'సెం.గ్రా.సె.' వ్యవస్థలో 1 ఎర్గ్/స్థి.వి.ప్ర ఆవేశం లేదా స్థిరవోల్ట్. సాధారణంగా బిందువును ఈ విద్యుదావేశాలకు అనంత అధిక దూరము (V_A) గా తీసుకొని, ఆ బిందువు వద్ద విద్యుత్ శక్మాన్ని శూన్యంగా భావిస్తారు. అప్పుడు సమీకరణం (5.1)

$$V = \frac{W}{q_0} \qquad (5.2)$$

అవుతుంది.

విద్యుత్ శక్మం, V_A ని అనియంతగా (arbitrary) శూన్యంగా తీసుకొన్నందువల్ల దానిని నిర్దేశ శక్మం (reference potential) అంటారు. ఈ నిర్దేశ శక్మం శూన్యానికి బదులు −10V కూడా కావచ్చును. పెక్కు విద్యుత్ వలయ విశ్లేషణ సమస్యలలో, 'నేల' లేక 'భూమిశక్మం' నిర్దేశినిగా తీసుకుంటారు.

ఒక వివక్త ధనావేశం వద్ద ఉన్న శక్మం ధనాత్మమే. దీనికి కారణం ఈ ధనావేశాన్ని అనంతదూరం నుండి ఈ బిందువు వద్దకు (బాహ్యాకారకంచే) (outside agent) చేయబడిన పని ధనాత్మకం కావడమే. అదేవిధంగా, ఒక వివిక్త ఋణావేశం వద్దనున్న శక్మం ఋణాత్మకం దీనికి కారణం బహిర్ కారకుడు, ఒక (ధనాత్మక) శోధనావేశాన్ని అనంతదూరము నుండి తెచ్చుటనాపుటకు, ఉపయోగించవలసిన సంయమన బలము (restraining force).

సమీకరణము (5.2) సూచించిన విద్యుత్ శక్మం అదిశరాశి, ఎందుకంటె చేయబడిన, పని, విద్యుదావేశం రెండూ అదిశరాశులే. కాబట్టి (5.1) వ సమీకరణములో ఉన్న W_{AB} (V_B-V_A)లు, శోధనావేశాన్ని A నుండి B వద్దకు తెచ్చుటలో అనుసరించిన మార్గం (path) మీద ఆధారపడవు.

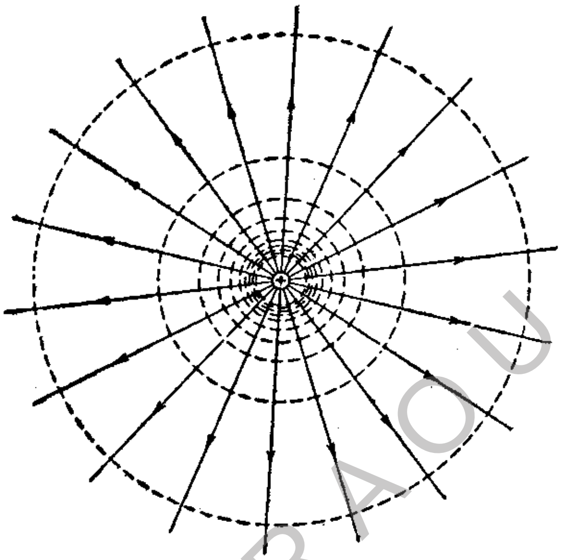
BRAOU

5.4 సమశక్మాలు (Equipotentials)

ఒక విద్యుత్ క్షేత్రంలోని సమాన శక్మాలుగల బిందువులన్నిటి ద్వారా గీయబడిన తలమే 'సమశక్మతలము' అట్టి తలంలోని ఏ బిందువు వద్ద నుండి ఐనా ఇంకొక బిందువు వద్దకు ఆవేశాన్ని కదపడానికి, ఏ పని చేయనక్కరలేదు. కారణం సమీకరణం (5.2) ప్రకారం

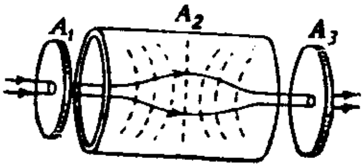
$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q} = 0 \tag{5.3}$$

విద్యుదావేశం ఒక బిందువు వద్ద సాంద్రీకృతమైనట్లు భావిస్తే అప్పుడు ఆ బిందువు నుండి సమాన దూరంలో ఉన్న అన్ని బిందువుల శక్మాలు సమానంగా ఉంటాయి. ఆ బిందువులన్నిటినీ కలిపే తలం సమ్మశక్మతల మవుతుంది. అంటే ఒక బిందు ఆవేశము చుట్టూ ఉన్న సమశక్మతలాలు, ఆ బిందు ఆవేశం కేంద్రంగా గల ఏకకేంద్ర గోళముల శ్రేణులే. కాని ఆ శ్రేణుల విద్యుత్ శక్మాలు ఒకదాని నుండి ఇంకొకటి వేరుగా ఉంటాయి. (పటం 5.1) ఒక ఆవేశిత వాహక తలం మీద ఒక బిందువు వద్ద పనిచేసే బలం (అనగా విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత) ఆ బిందువు వద్ద తలానికి లంబదిశలో ఉంటుంది. కాబట్టి బలం పనిచేసే దిశల వెంబడి ఉండే బలరేఖలు, ఈ సమశక్మతలాలను లంబదిశలో ఉంటాయి.



పటం 5.1 సమశక్మతలం - బలరేఖలు

బలరేఖలు ఎల్లప్పుడూ ఈ సమశక్మ తలాలను లంబదిశలో ఖండిస్తాయి. అంటే ఏ బిందువు వద్దనైనా ఫలిత విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత, ఆ బిందువు వద్ద సమశక్మ తలమునకు లంబదిశలో ఉంటుంది. ఆవేశ వస్తువుల మధ్యనున్న బలరేఖలు సమ్మశక్మ తలాల అస్తిత్వాల వలన, కదిలే ఆవేశిత అణువుల ధారలను అభికేంద్రీకృతం గాని చేసే పద్ధతి ఒకటి తెలుస్తుంది. (పటం. 5.2)



పటం 5.2 విద్యుత్ కటకం

BRAOU

A_1, A_2, A_3 లు పక్కపక్కగా నుండే మూడు బోలు లోహస్థూపాలు. A_1, A_2, A_3 ల శక్మములు వరుసగా 500, 2000, 500 V అనుకుందాము. అప్పుడు A_1 గుండా పయనించే ఎలెక్ట్రాన్ పుంజము A_2 గుండా విస్తృతీకరించి (spread), A_3 గుండా పోవునపుడు సాంద్రీకృత మవుతుంది. వక్రం బలరేఖల ననుసరించి ఎలెక్ట్రానులు పోతాయి.

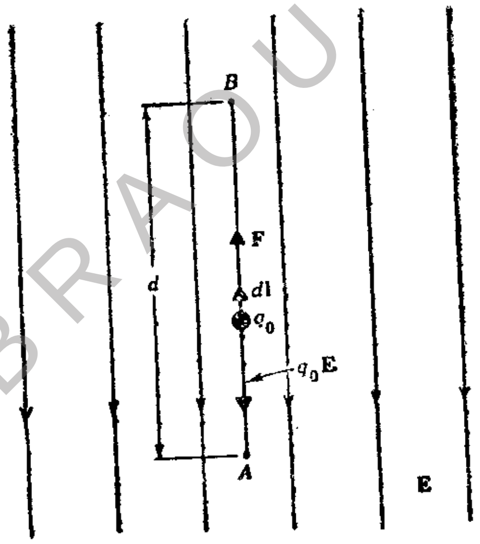
పటంలోని బిందురేఖలు సమశక్మతలములను తెలుపుతాయి. ఎలెక్ట్రానులు పయనించే క్షేత్రములోని సమశక్మతలాలకు లంబదిశగా, అవి (ఎలెక్ట్రానులు) కదలుటకు ప్రయత్నిస్తాయి. ఈరకంగా వివిధ శక్మాలకావేశితమైన స్థూపముల ఏర్పాటును 'విద్యుత్ కటకం'గా గుర్తించవచ్చు. A_1, A_3 లను ఒకే శక్మ (వోల్టేజి)ల వద్దనుంచి, A_2 మీద వోల్టేజిని మార్చటం ద్వారా సమశక్మతలాల రూపాలను మార్చవచ్చు. అంతేకాక ఎలెక్ట్రానులను వివిధ రకాలుగ నాభ్యంతరాలకు తీసుకురావచ్చు. ఈ ఎలెక్ట్రానుల కటకం భావనను కాథోడ్ కిరణ డోలనలేఖిని, ఎలెక్ట్రాన్ వివర్తన పరికరం, ఎలెక్ట్రాన్ సూక్ష్మదర్శిని మొదలైన సాధనాల నిర్మాణంలో వాడుతారు.

మీ అవగాహనను పరీక్షించుకొనండి

ధన, ఋణ పొటెన్షియల్ అనగా నేమి?

5.5 విద్యుత్ శక్మం, క్షేత తీక్షణత

ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రములోని బిందువులు A,B లు (పటం 5.3) క్షేత్రదిశలో B నుండి A కు దూరం 'd' అనుకుందాం. A నుండి B కి కలిపే సరళరేఖ వెంబడి ఒక ధన శోధనావేశం q_0, త్వరణం లేకుండా, ఒక బహిర్ కారకం చేత కదపబడిందని అనుకుందాం.



పటం 5.3 A నుండి B కి కదులు శోధనావేశం

ఆవేశం మీది విద్యుత్ బలం q_0 E క్రిందికి (పటంలో) సూచిస్తుంది. ఈ రకంగా విద్యుదావేశాన్ని కదుపుటకు, ఈ విద్యుత్ బలాన్ని ప్రతితులనం (counter balance) చేస్తూ ఒక బాహ్య బలం F అదే పరిమాణం కలదై, వ్యతిరేక దిశలో (పటంలో) పనిచేసేదిగా ఉండాలి. ఈ ప్రతిబలం F ను అందించే కారకము (agent) చేసేపని = W_{AB}.

$$W_{AB} = Fd = q_0Ed \qquad \ldots (5.4)$$

కాని సమీకరణం (5.1) ప్రకారం,

$$\frac{W_{AB}}{q_0} = V_B - V_A$$

కాబట్టి

$$\frac{W_{AB}}{q_0} = (V_B - V_A) = Ed \qquad \text{... (5.5)}$$

సమీకరణం (5.4) శక్మభేదం (శ.భే) మరియు క్షేత్ర సత్వా (field strength)ల మధ్య సంబంధాన్ని, సరళ సన్నివేశాలలో (simple cases) తెలుపుతుంది (5.4) సమీకరణం నుండి, మనకు మీ.కి.సె. వ్యవస్థలో విద్యుత్ క్షేత్రమునకు ఇంకొక ప్రమాణం వోల్టు/మీటరుగా పొందుతాము. కాని ఈ ప్రమాణము న్యూటను/కూలూంబ్‌నకు తుల్యము (సర్వసమము). సమీకరణము (5.3) ను భూమ్యాకర్షణ క్షేత్రంలో ఒక రాతిని A నుండి B కి ఎత్తుటకు చేయు పనిని తెలుపుటకు ఉపయోగించవచ్చును. ఈ సమీకరణము విద్యుత్ క్షేత్రం, భూమ్యాకర్షణ క్షేత్రాల మధ్య సామ్యాన్ని తెలుపుతుంది.

క్షేత్రం ఏకరీతిగా నుండకపోయినా, A నుండి B కి కదలే పథము సరళరేఖ కాక పోయినా, చేయబడిన పనిని గణించుటకు, పథంలోని చిన్న చిన్న రేఖాఖండాల వెంబడి పనిని గణిస్తూ ఆ పనుల మొత్తాన్ని పథదూరము (పథదూరము (పథము పొడవు) AB ద్వారా సమాకలనము చేయవచ్చు.

అపుడు

$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F} \cdot \vec{dl} = -q_0 \int_A^B \vec{E} \cdot \vec{dl} \qquad \text{... (5.6)}$$

అవుతుంది.

ఈ సమాకలనాన్ని 'రేఖా సమాకలనం' అంటారు. మనం F కు బదులుగా T q_0 Eని ప్రతిక్షేపించాము. లేకపోతే శోధనావేశము త్వరణం పొందుతుంది.

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} = -\int_A^B \vec{E} \cdot \vec{dl} \qquad \text{...(5.7)}$$

అవుతుంది. A బిందువును అనంత దూరంలో ఉండే బిందువుగా పరిగణిస్తే, V_A శూన్యమవుతుంది. అప్పు డు

$$V = V_B = -\int_{\infty}^{B} \vec{E} \cdot \vec{dl} \qquad \text{... (5.8)}$$

సమీకరణములు (5.7), (5.8)లనుపయోగించి, క్షేత్రంలో వివిధ బిందువుల వద్ద తీవ్రత (సత్వం E తెలిస్తే ఏ రెండు బిందువుల మధ్యనున్న శక్మభేదమైనా గణించవచ్చు.

5.6 ఒక బిందు ఆవేశం వలన శక్మం

ఒక బిందు ఆవేశం q_0 వలన కలిగే విద్యుత్ క్షేత్రం సత్వం.

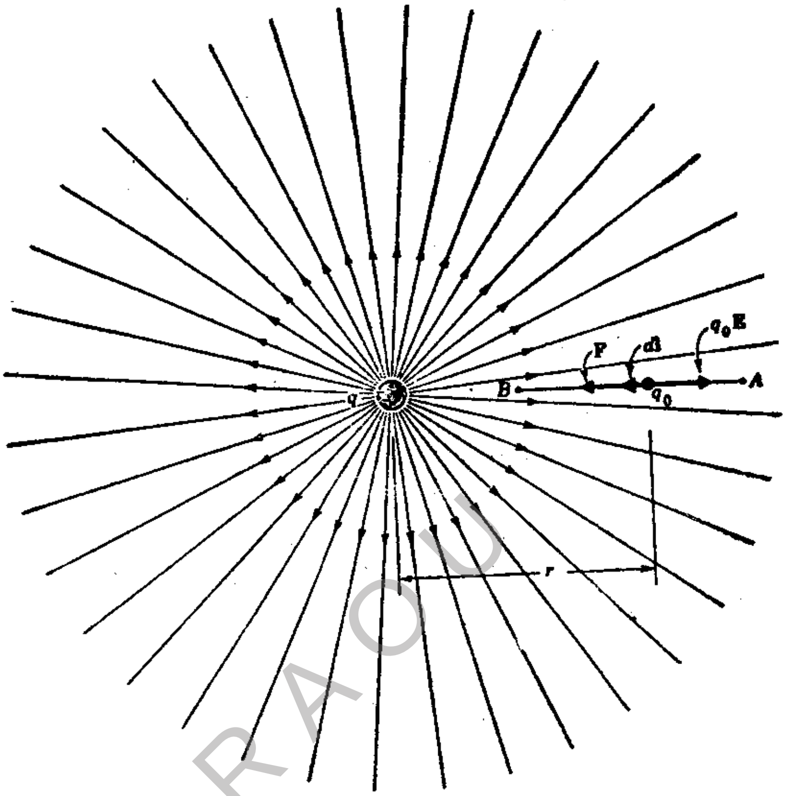
$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r_2}$$

B R A O U

అయినందున, మరియు 1 అధికమవుతూ, తద్వారా d తగ్గుతూ (పటం 5.4) A నుండి B కి కదులుతుంటే అప్పుడు

$$-\int_{A}^{B} E.\,dl = -\int_{r_A}^{r_B} E.\,dr \qquad \dots (5.9)$$

అవుతుంది.



BRAOU

పటం 5.4 బిందు ఆవేశం వల్ల కలిగే శక్మం

$$V_B - V_A = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\int_{r_A}^{r_B}\frac{dr}{2} \qquad \dots (5.10)$$

లేదా

$$(V_B - V_A) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}\right) \qquad \dots (5.11)$$

A బిందువును అనంత దూరంలో తీసుకుంటే

$(r_A \longrightarrow \infty)$, $V_A = 0$.

అవుతుంది.

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$$ ... (5.12)

ఒకవేళ కొన్ని బిందు ఆవేశాల సముదాయాలుంటే, వాటి వలన కలిగే శక్మాలన్నిటిని గణిస్తూ ముందుగా ఒక్కొక్క ఆవేశము వలన కలుగు శక్మమును గణించుతూ, ఆ శక్మాలన్నిటిని కలపాలి. ఈ రకంగా చేయునపుడు వివిధ ఆవేశాల మధ్య కలిగే పరస్పర ఆకర్షణ (వికర్షణలను) పరిగణనలోకి తీసుకోవడం లేదు. అప్పుడు

$$V = \sum_n V_n = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_n \frac{q_n}{r_n}$$

అవుతుంది. ... (5.13)

ఇందులో q_n, r_n లు వరుసగా n^{th} ఆవేశం పరిగణించిన బిందువు నుండి n^{th} ఆవేశం దూరాలు. V ని గణించుటలోని మొత్తము బీజాత్మక మొత్తమేగాని సదిశాత్మక మొత్తంకాదు. ఇదియే విద్యుత్ క్షేత్ర సత్వం కంటే శక్మం నుపయోగించినందువలన కలిగే పరిగణనా లాభము (Computational advantage).

విద్యుదావేశ వితరణ (Dsitribution) అవిచ్ఛిన్నంగా ఉంటే, అప్పుడు dq ఆవేశం భేదాత్మక పెరుగుదల గాను, r ను V గణించు బిందువు నుండి దాని దూరంగాను, dV ను ఆ బిందువు వద్ద కలుగ చేసే భేద్మాతక శక్మముగాను గుర్తించాలి. అప్పుడు

$$V = \int dV = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{dq}{r}$$ ... (5.14)

ρ యానకంలోని ఆవేశ సాంద్రత అయితే,

$dq = \rho\, dv$ (dv ఘన పరిమాణ భేదాత్మకం.)

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{\rho\, dv}{r}$$ ... (5.15)

సెం.గ్రా.సె. వ్యవస్థలో

$$V = \int \frac{\rho dv}{r}$$ ... (5.15a)

విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఒక బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణతను ఆ బిందువు వద్ద ఉన్న ప్రమాణ ఆవేశం మీద బలంగా గుర్తించినట్లే, ఆ బిందువు వద్ద శక్మాన్ని ప్రమాణ ఆవేశం యొక్క స్థితిజశక్తిగా గుర్తించాలి. శక్తి అదిశరాశి అయినట్టే, శక్మము కూడా అదిశరాశియే.

5.7 శక్మం యొక్క సదిశాత్మక రూపం

ఆవేశాన్ని నిరూపక అక్షాల కేంద్రం వద్ద ఉన్నట్లుగా ఊహిస్తే, అప్పుడు

$$dV = -(E_x\,dx + E_y\,dy + E_z\,dz)$$

అవుతుంది. దీనివలన E_x, E_y, E_z లు వరుసగా విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత యొక్క అక్షాలలోని అంశాలు. ... (5.16)

కాబట్టి

$$E_x = -\frac{dv}{dx};\ E_y = -\frac{dV}{dy};\ E_z = -\frac{dV}{dz}$$

అప్పుడు E ని సదిశాత్మకంగా వ్రాయవచ్చు.

$$E = i\,E_x + j\,E_y + k\,E_z$$

$$= -i\frac{dV}{dx} - j\frac{dV}{dy} - k\frac{dV}{dz} = -\text{gradient } V$$

$$E = -\text{ప్రవణత } V = -\nabla V$$ ... (5.17)

'∇' ను భేదాత్మక ప్రక్రియాకారకం (Differential operator) అంటారు. అది ... (5.18)

$\left(i\frac{d}{dx} + j\frac{d}{dy} + k\frac{d}{dz}\right)$ కి సమానం.

BRAOU

ఎలక్ట్రాన్ వోల్ట్

ఒక విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఆవేశం కదిలితే, పని చేయబడుతుంది. ఈ పనికి కావలసిన శక్తి గతిజశక్తిగా మారుతుంది. ఎలెక్ట్రాన్ విద్యుదావేశం 4.77×10^{-10} esu (లేదా 1.602×10^{-19} కూలూంబ్‌లు) కాబట్టి దానిని ఒక వోల్టు ($= \frac{1}{300}$ ఐ.స్థి.(ప.) శక్మభేదం గుండా కదల్చుటకు చేయదగిన పనిలేదా తద్వారా అది పొందిన గతిజ శక్తి

$$= \frac{4.77 \times 10^{-10}}{300} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ ఎర్గ్‌లు } (1.6 \times 10^{-12} \text{ జౌల్‌లు})$$

ఈ శక్తి పరిమాణాన్ని 'ఒక ఎలెక్ట్రాన్ వోల్ట్' (ev) అంటారు. ఈ శక్తి ప్రమాణాన్ని పరమాణు భౌతిక, కేంద్రక భౌతిక శాస్త్రాలలో వాడుతారు. అతిశక్తి త్వరణకాలైన సైక్లోట్రాన్, బీటాట్రాన్‌లలో, శక్తి ప్రమాణాన్నిగా మిలియన్ ఎలెక్ట్రాన్ వోల్ట్ (MeV) ను వాడుతారు.

మీ అవగాహనను పరీక్షించుకొనండి?

ఎలక్ట్రాన్ వోల్టు అనగా నేమి?

5.8 విద్యుత్ ద్విధృవం

విరుద్ధ సంజ్ఞలు గల రెండు సమాన ఆవేశాలు కొంత నియమిత దూరంలో విడదీయబడి ఉంటే, ఆ వ్యవస్థను విద్యుత్ ద్విధృవం అని అంటారు.

ఒక విద్యుత్ రోధకం (ఉదాహరణకు గాజుదిమ్మె) ను సమాన విరుద్ధ ఆవేశములు గల రెండు లోహ ఫలకాల మధ్య ఉంచినామనుకొందాం. అపుడు విద్యుత్ రోధకంలోని పరమాణువులు విద్యుత్ స్థిర క్షేత్రమునకు లోనౌతాయి. అట్టి విద్యుత్ స్థిర క్షేత్రంలో, (విద్యుత రోధకములోని) పరమాణువులలోని ఎలెక్ట్రానులు ధనావేశ ఫలకం వైపునకు భ్రంశం పొందుతాయి. (విద్యుత్ రోధకములోని) ప్రోటానులు లేదా ధనావేశ కణాలు ఋణావేశ ఫలకము వైపునకు భ్రంశము చెందుతాయి. ఈ ఆవేశముల స్థాన భ్రంశములు లేదా విస్థాపనలు (shifts) ఫలకాల మధ్యనున్న క్షేత్రసత్వం మీద ఆధారపడుతాయి. అప్పు డు ఈ వికృత పరమాణువుల ఒక విద్యుత్ ద్విధృవంను ఏర్పరుస్తాయి. పైన వివరించిన వికృతి వలన కలిగిన ధనావేశ, ఋణావేశముల గరిమనాభులు ఏకీభవించవచ్చును. లేదా విడివిగా ఉండవచ్చు. అవి రెండు ఏకీభవించక, ఆ అణువును అధృవాణువులు (non-polar moelcules) అని అంటారు. అవి రెండు ఏకీభవిస్తే, కొంత నియమిత దూరంలో ఉంటే, ఆ అణువును ధృవాణవు (polar molecule) అని అంటారు. నీరు ఒక ధృవాణువు అయితే బెంజీన్ అధృవాణువు. ఆ ఆవేశాల మీద ఆవేశము, వాటిమధ్య (ధన, ఋణావేశముల మధ్య) దూరాల లబ్ధాన్ని ధృవ భ్రామకం (లేదా Dipole moment) అని అంటారు.

5.9 ద్విధృవం వలన కలిగే విద్యుత్ శక్మం :

+q, –q ప్రమాణాలు ఆవేశాలుగా కలిగి, వాటి మధ్య దూరము AB = 2*l* ఉండే ఒక ద్విధృవమును తీసుకొందాం. (*l* అనునది పరమాణుమితిలో ఉంటుంది). (పటం 5.5)

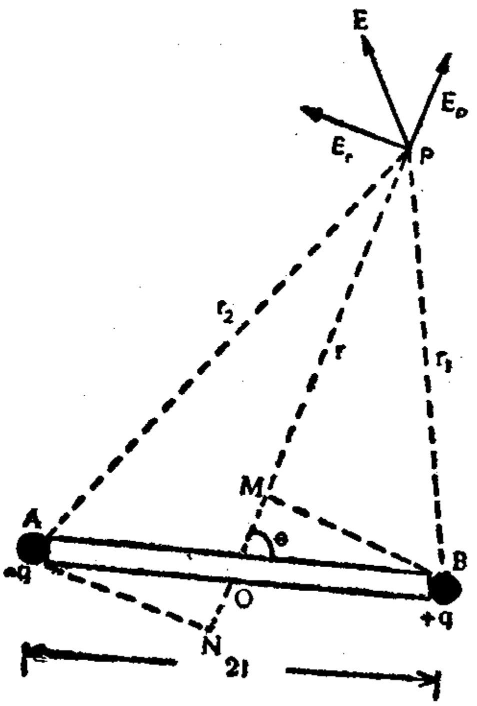
O నుండి r దూరంలో ఉన్న P బిందువు వద్ద శక్మం

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{r_1} - \frac{q}{r_2}\right) \quad \text{... (5.19)}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{r - l\cos\theta} - \frac{q}{r + l\cos\theta}\right) \quad \text{... (5.20)}$$

$$= \frac{2q\,l\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0(r^2 - l^2\cos^2\theta)} = \frac{2ql\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad (\because l << r)$$

BRAOU



పటం. 5.5. విద్యుత్ ద్విధృవం

నిర్వచనం ప్రకారం, ఆవేశం (q), వాటి మధ్య దూరం (2l) లబ్దాన్ని విద్యుత్ ద్విధృవ భ్రామకం అంటారు. దానిని P'తో సూచిస్తారు.

$$\therefore \; V = \frac{P \cos\theta}{4\pi\varepsilon_o r^2} \qquad \text{... (5.21)}$$

ద్విధృవం వలన బిందువు P వద్ద OP దిశలో విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత

$$Er = -\frac{dV}{dr} = -\frac{2P\cos\theta}{4\pi\varepsilon_o r^3} \qquad \text{... (5.22)}$$

OP దిశకు లంబదిశలో విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత = E_p

$$E_p = -\frac{1}{r}\frac{dv}{d\theta} = -\frac{1}{r}\frac{d}{d\theta}\left(\frac{P\cos\theta}{4\pi\varepsilon_o r^2}\right) = \frac{P\sin\theta}{4\pi\varepsilon_o r^3} \qquad \text{... (5.23)}$$

ఫలిత క్షేత్ర తీక్షణత E ని E గా వ్రాస్తారు.

$$E = \sqrt{E_r^2 + E_p^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\sqrt{\left(\frac{2P\cos\theta}{r^3}\right)^2 + \left(\frac{P\sin\theta}{r^3}\right)}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o r^3} P\sqrt{1 + 3\cos^2\theta}$$

$$= \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_o r^3}\sqrt{1 + 3\cos^2\theta}\right) P \qquad \text{... (5.24)}$$

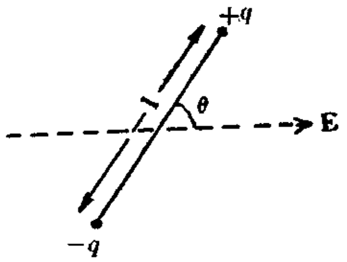
θ = 0 అయితే $V = \frac{P}{4\pi\varepsilon_o r^3}$, $dE = \frac{P}{2\pi\varepsilon_o r^3}$ ... (5.25)

$\theta = \pi/2$, అయితే $V = o, E_r = 0, \; E = (P/4\pi\varepsilon_o r^2)$ ... (5.26)

AB యొక్క సమద్విఖండిని (right bisector) ఒక సమశక్మతలం.

5.9 ఒక ద్విధృవంచే అనుభవితమైన టార్క్

ఒక విద్యుత్ ద్విధృవం (ఉదాహరణకు ఒక ఉదజని పరమాణువు) E తీక్షణతగల ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉన్నప్పు డు అది ఒక యుగ్మం లేదా టార్క్‌ను అనుభవిస్తుంది. ఆ యుగ్మాన్ని tan $\tau = P\,(E \sin \theta)$ సమీకరణం ద్వారా తెలియ జేస్తారు. దీనిలో θ ద్విధృవ అక్షము మరియు Eల మధ్య కోణము. (పటం 5.6)



పటం 5.6 ద్విధృవయుగ్మం యొక్క టార్క్

ద్విధృవము యొక్క స్థితిజశక్తిని P. E గా వ్రాస్తారు.

$$\vec{P} \cdot \vec{E} = -PE\cos\theta = -qlE\cos\theta \qquad \ldots (5.27)$$

సదిశరాశి పరిభాషలో, యుగ్మం = P X E

ఇంతవరకు మనం అనావేశిత వాహకం సామీప్యంలో విద్యుత్ క్షేత్రం ఏమాత్రం విరూపింప (distorted) బడదని అనుకున్నాం. కాని ప్రత్యక్షానుభవంలో, క్షేత్రములో విరూపణ ఉంటుంది. దీనికి కారణం ప్రేరితావేశాల మొత్తాలు ఏకరీతిలో నుండకపోవడమే. ఒక అనావేశిత వాహకంపై ప్రేరితావేశాల పంపిణీని కనుగొనుటకు లార్డ్ కెల్విన్‌చే పరికృతమైన 'విద్యుత్ బింబాలు' (Electrical images) అనే పద్ధతిలో సరళంగా కనుగొనవచ్చును.

ఈ పద్ధతినుపయోగించి ఒక విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉంచబడిన వాహకంపై విద్యుత్ తీక్షణత, వాహకపు శక్మాలను కనుగొనవచ్చు.

విద్యుత్ బింబాలు కనుగొనడానికి :

(i) వాహకపు శక్మం ఒకే విలువ కలిగి ఉండాలి.

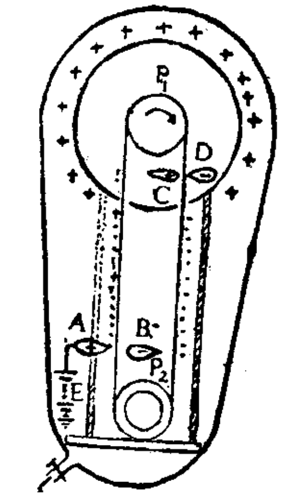
(ii) అనంత దూరాల వద్ద నున్న బిందువుల వద్ద శక్మం ఒకే విలువ కలిగి ఉండాలి.

(iii) మౌలిక క్షేత్రం (Original field) లో నున్న ఏ సంవృత తలం (clsoed surface) మీద కూడా సంపూర్ణ సమ(లంబ) ప్రేరణం ఒకేవిలువ కలిగి ఉండాలి.

5.9 స్థిర విద్యుత్ ఉత్పాదకం (Electrostatic Generator)

స్థిర విద్యుత్ స్థైతిక కారకములు ముందుగా 1890 సం॥లో లార్డ్ కెల్విన్ ఊహించినప్పటికి, దానికి ఉపయోగ రూపకల్పన చేసి, నేటి నవ్య నమూనాలోకి 1931 సం॥లో తెచ్చినవాడు R.J. వాన్‌డీగ్రాఫ్.

BRAOU



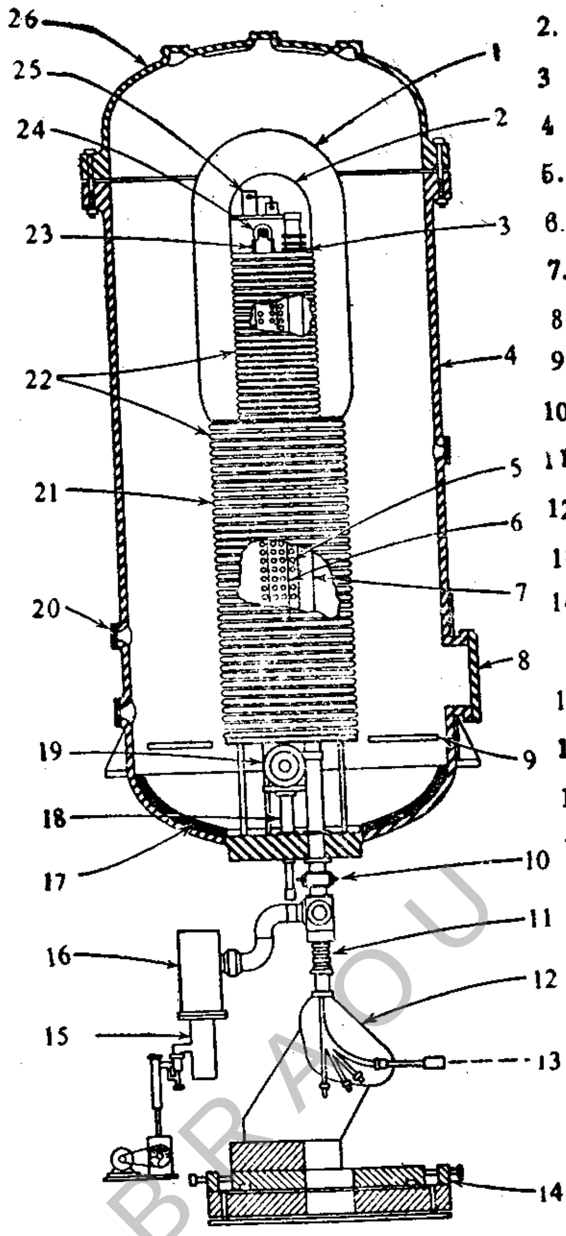
పటం 5.7 వాన్ డీ గ్రాఫ్ ఉత్పాదకం

కొన్ని మిలియన్ వోల్ట్‌ల స్థాయిలో విద్యుత్ శక్మ భేదాన్ని కలిగింప చేసే సాధనము ఇది. దీనిలో జనితమైన శక్మ భేదాన్ని ఉపయోగించి ఇది ఆవేశిత కణాలను, శక్తివంతంగా చేయడానికి, త్వరణాన్ని అందిస్తుంది. ఇటువంటి శక్తియుత కణపుంజాలను, చాలా రకాల పరమాణు విచ్ఛేదన ప్రయోగాలలో ఉపయోగించవచ్చు. ఆ రకమైన ఉద్పాదకంలోని ముఖ్య భాగాలను పటం 5.7 లో చూపడమైంది. అందులో ఒక బంధిత స్థూపమును ఆధారంగా చేసుకొని ఉన్న 4.5 మీటర్ల వ్యాసం గల ఒక పెద్ద బోలు లోహ గోళము 'S' యున్నది. P_1 అను కప్పీకి (గోళం కేంద్రంవద్ద నున్న సోమరి కప్పీ) విద్యుత్ మోటారునకు తగిలించిన కప్పీల మీద సిల్కు లేదా రబ్బరులాంటి బంధన వస్తువు (insulating material) తో చేయబడిన బెల్టు ఉంటుంది. ఈ బెల్టు స్తంభాల మధ్య పరుగెత్తుతుంది. A, B, C, D లు నాలుగు సూచక వాహకాలు. వాటి సూచక కొనలు పటంలో చూపిన మాదిరి ఉంటాయి. A కు కొద్దిగా ధన ఆవేశాన్ని ఇస్తారు. దీనికై ఘటం ధన ధృవానికి A ని సంధించి, ఘటపు ఋణ ధృవాన్ని నేలకు తాకిస్తారు (సంధిస్తారు). P_2 కప్పీ కూడా నేలకు సంధిస్తారు. D ని 'S' కు సంధిస్తారు. పటం 5.7 లో చూపిన దిశలో కప్పీని పరిగెత్తించినప్పుడు, A మీదనున్న ధనావేశము ఉత్సర్గము చెంది పైకి పోవుచున్న బెల్టుమీదకు అపవహిస్తుంది. దీనికి కారణము సూచక కొనల చర్యయే. ఇటువంటి ఉత్సర్గాన్ని "కరోనా ఉత్సర్గము" (Corona discharge) అని అంటారు.

పైకి పోవుచున్న ధనావేశములు C వద్ద ఉత్సర్గము చెంది దానిని మరల ధానావేశితము చేస్తుంది. ఇది, మరల D మీద ఋణావేశాన్ని, గోళంమీద ధనావేశాన్ని ప్రేరేపిస్తుంది. D మీద నున్న ఋణావేవాన్ని, గోళంమీద ధనావేశాన్ని ప్రేరేపిస్తుంది. మీద నున్న ఋణావేశం క్రిందికి దిగివస్తున్న బెల్టు మీద వెదజల్లబడి, ఉత్సర్గము చెందుతూ B ని మరల ఋణావేశితం చేస్తుంది. దీనివలన A మీద ధనావేశం పెరుగుతుంది. బెల్టుమీద ఋణావేశం B కు ఉత్సర్గం అయి మరలా P_2 ద్వారా నేలను తాకుతుంది. గోళం చాలా చాలా ఎక్కువ ధనావేశాన్ని కలుగ చేస్తుంది. కాని ఈ ధనావేశం చాలా మృదువైన కొన్ని వందల వోల్టులను ప్రయోగిస్తే, గోళం వెలుపల తలము మీద కొన్ని మిలియన్ వోల్టుల శక్మాన్ని సాధించవచ్చు. ఒక సదృశ అమరికలో, A ను ఘటం ఋణ ధృవానికి కలిపి, ధవ ధృవాన్ని నేలకు సంధిస్తే, గోళం వెలుపలి తలానికి ఋణావేశం కల్పించవచ్చు.

ఆవేశిత గోళం చుట్టూ ఉన్న గాలి ఇంత ఎక్కువ శక్మము తట్టుకోలేదు. గాలి మామూలు పీడనం కలిగి యుంటే స్పందనం (leakage) మొదలవుతుంది. స్పందనం లేకుండా ఉండాలి అంటే, ఈ ఉత్పాదకాన్ని ఆవరించి ఒక పెద్ద లోహపు తొట్టెలో ఉంచాలి. ఈ తొట్టె నేలకు సంధించి ఉండాలి. దీనికి రెండు గొట్టాల నమర్చి, చదరపు సెం.మీ.కి 3.5 kg నుండి 7.0 kg. పీడనం గల గాలిని గోళం, బెల్టు, లోహపు తొట్టె మధ్య స్థలంలోకి పంపాలి. 1937 వ సంవత్సరంలో వాషింగ్‌టన్‌లోని కార్నెగి ఇన్‌స్టిట్యూట్‌లో రూపొందించబడిన వాన్ డీ గ్రాఫ్ ఉత్పాదకంలోని లోహపు తొట్టె సగటు వ్యాసం సుమారు 12 మీటర్లు. ఈ ఉత్పాదకం 5 MeV శక్మాన్ని ఉత్పాన చేస్తుంది.

BRAOU



1. సమశక్మ కవచం
2. అధిక వోల్టేజీ టెర్మినల్
3 ధనఅయాన్ జనకం
4 ఉక్కు-పీడన టాంకు
5. క్షేత్ర నియంత్రణ కడ్డీలు
6. రోధక బెల్ట్
7. ధనఅయాన్ త్వరణీకరణ గొట్టం
8. మాన్‌రోల్
9. జరపగల ప్లాట్‌ఫారం
10. ప్రధాన కవాటం
11. ఎత్తైనావంగ గల కప్లింగ్
12. విశ్లేషక అయస్కాంతం
13. కిరణపుంజ అక్షం
14. సర్దుబాటుచేయగల అయస్కాంత ఆధారం
15. పంప్‌చేసే వ్యవస్థ
16. డ్రై ఐస్ ట్రాప్
17. సీసపు కవచం
18. బెల్ట్ తన్యత సర్దుబాటు
19. 1800rpm మోటర్లు
20. కిటికీలు
21 బంధకనాళం
22. సమశక్మ తలాలు
23. విద్యుదావేశ గ్రాహకం
24. అంతర్‌నిర్మితమైన 2kw విద్యుచ్ఛక్తి జనకం
25. ఎలెక్ట్రానిక్ వలయాలు
26. తీసివేయగల టాంకి మూత

BRAOU

పటం 5.8 MITలోని వాన్‌డీగ్రాఫ్ ఉత్పాదకం

అమెరికా సంయుక్త రాష్ట్రాలలోని మెసాచుస్సెట్స్‌లో (MIT) ని వాన్ డీ గ్రాఫ్ స్థిర విద్యుదుత్పాదకం 9 MeV ల శక్తిగల ప్రోటాన్‌లను ఉత్పాదన చేస్తుంది. దీనిని పటం 5.8లో చూడవచ్చు. మనదేశంలో ప్రస్తుతం ఈ వాన్ డీగ్రాఫ్ ఉత్పాదకాలు బొంబాయిలోని బాబా అణు పరిశోధనా కేంద్రంలోను, కలకత్తాలోని సాహా ఇన్‌స్టిట్యూట్ ఆఫ్ ఫిజిక్స్‌లోను, వాల్తేరులోని ఆంధ్ర విశ్వవిద్యాలయం లోను ఉన్నాయి.

మాదిరి లెక్క – 1 :

0.015 మీ. దూరం ఎడదీయబడ్డ లోహ ఫలకాలకు 500 V శక్మాన్ని అనుసంధిస్తే, ఒక ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రం రూపొందింది. ఈ క్షేత్రంలో ఉంచబడ్డ 5×10^{-9} కూలూంబ్‌ల ధనావేశంపై బలాన్ని గణించండి.

జవాబు :

$q = 5 \times 10^{-9}$ కూ. $E = \dfrac{500}{0.015}$ న్యూ./కూ.

$\therefore$ బలం $F = \dfrac{500}{0.015} \times 5 \times 10^{-9} = 16.67 \times 10^{-5}$ న్యూ.

మాదిరిలెక్క - 2:

ఒక సబ్బు బుడగ వ్యాసార్థం 1.5×10^{-2} మీ. ఆ బుడగ లోపల, బయట పీడనం సమానంగా ఉండాలి అంటే, బుడగకు శక్మం ఎంత ఉండాలి? (సబ్బు బుడగ తలతన్యత 24×10^{-3} న్యూ./మీ.)

జవాబు :

తలనత్యత వల్ల లోపలికి వర్తించే పీడనం $= \dfrac{4T}{r}$

బయటకు వర్తించే యాంత్రిక బలం $= \dfrac{\sigma^2}{2\varepsilon_0}$

బుడగ గోళాకారం కలిగి ఉంటుంది కాబట్టి దాని సంపూర్ణ ఆవేశం $= q$

అయితే, దానిమీద శక్మం

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

పీడనాలు సమానంగా ఉండాలి కాబట్టి $\dfrac{\sigma^2}{2\varepsilon_0} = \dfrac{4T}{r}$

$$\frac{1}{2\varepsilon_0}\left(\frac{q}{4\pi r^2}\right)^2 = \frac{4T}{r}$$

$$q = \sqrt{\frac{2 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 16\pi^2 (1.5 \times 10^{-2})^4 \times 4 \times 24 \times 10^{-3}}{(1.5 \times 10^{-2})}}$$

$= 3.009 \times 10^{-3}$ కూ.

శక్మం $= V = \dfrac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$

$$= \frac{3.009 \times 10^{-3}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12} \times 1.5 \times 10^{-2}}$$

$= 1.803756 \times 10^4$ వోల్టులు

$= 18037.56$ వోల్టులు

5.11 సారాంశం

ప్రమాణ ధన ఆవేశాన్ని అనంత దూరం నుంచి ఒక బిందువు వద్దకు, తీసుకొని రావడానికి, విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేకంగా జరిపే పనిని ఆ బిందువు యొక్క విద్యుత్‌శక్మం అంటాము. విద్యుత్ శక్మ భావన భూమ్యాకర్షణ లాంటి భావన లాంటిది. విద్యుత్ క్షేత్రంలో బిందువు వద్దగల విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణతను ఆ బిందువు వద్ద క్షేత్రబలం అని అంటాము. విద్యుత్ శక్మం అదిశరాశి.

ధన, ఋణ బిందు ఆవేశాలు ఒక దానినుండి వేరొకటి విడదీయబడి రెండుగా వేర్పడి దూరంగా ఉంటే వాటిని ద్విధ్రువం (dipoles) అంటాము.

5.12 నమూనా జవాబులు

మీ అవగాహనను పరీక్షించుకొనండి - 1

BRAOU

విడిగా ఉన్న ధన ఆవేశము చుట్టూ ఉన్నశక్మాన్ని (ధన శక్మం) ధన పొటెన్షియల్ అంటారు. ధన ఆవేశాన్ని అనంత దూరంనుండి కావాల్సిన బిందువుకు తీసుకొనిరావడానికి చేయవల్సిన పని ధనం కావున ఈ శక్మాన్ని ధనశక్మం అంటారు.

మీ అవగాహనను పరీక్షించుకోనండి – 2

ఎలక్ట్రాన్‌ను ఒక వోల్ట్ శక్మ భేధం గుండా కదల్చడానికి జరిగిన పనిని ఎలక్ట్రాన్ వోల్టు అంటారు.

5.13 నమూనా ప్రశ్నలు

I. ఈక్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానాలు రాయండి.

1. రెండు బిందువుల మధ్య విద్యుత్ శక్మభేదం ఆ రెండు బిందువుల మధ్య గల విద్యుత్ క్షేత్రం యొక్క రేఖీయ సమాకలనం అని నిరూపించండి.
2. ఒక బిందువు ఆవేశం q వల్ల r దూరంలో గల విద్యుత్ శక్మాన్ని కనుగొనండి.
3. విద్యుత్ క్షేత్రం E = — ప్రవణత V = — ∇ V అని నిరూపించండి. దీనిలో V అనేది శక్మం.
4. ద్విధృవం అంటే ఏమిటి? అది ఎలా ఏర్పడుతుంది? ద్విధృవం వల్ల ఏర్పడ్డ విద్యుత్ శక్మాన్ని ఒక బిందువు వద్ద గణించండి. దీని ద్వారా విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని రాబట్టండి. విద్యుత్ క్షేత్ర విలువ i) ఒక బిందువు విద్యుత్ ద్విధృవం అక్షం మీద ఉన్నప్పుడు ii) ద్విధృవ అక్షానికి లంబదిశలో ఉన్నప్పుడు ఎంత ఉంటుందో గణించండి.

II. క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు వ్రాయండి.

1. సమశక్మతలం భావన వివరించండి.
2. విద్యుద్విధృవాన్ని పోలిన ద్విధృవం అయస్కాంతత్వంలో ఊహించగలరా? అది ఎలా ఏర్పడుతుంది? దాని ప్రవర్తన ఎలా ఉంటుందో వివరించండి?
3. వాన్‌డీ గ్రాఫ్ ఉత్పాదకం ఎలా పనిచేస్తుందో వివరించండి.
4. విద్యుద్విధృవం అంటే ఏమిటి? దీనిని గూర్చి వివరించండి.

III. క్రింది లెక్కలను సాధించండి.

1. 0.04 మీ. దూరంగల రెండు సమాంతర ఫలకల మధ్య 2.5×10^{-7} కూలూంబ్‌లు విద్యుదావేశం ఉంచబడింది. ఆ ఫలకలకు ఎంత వోల్టేటిని అనువర్తిస్తే అప్పుడు ఆ ఆవేశం మీద 10^{-4} న్యూ.ల బలం ప్రయోగించ బడుతుంది. (జవాబు : 160 వో.)
2. 3సెం.మీ. వ్యాసార్థాలు గల రెండు లోహపు గోళాల మీద వరుసగా 30 వి.స్థి.ప్ర. -90 వి.స్థి.ప్ర. ఆవేశాలు కలిగి ఉన్నాయి. వాటి మధ్యాంతరం 200 సెం.మీ. అప్పుడు a) వాటి మధ్య బిందువు వద్ద శక్మాన్ని b) ప్రతిగోళం మీద శక్మాన్ని విలువ కట్టండి. (జవాబు : --0.6 వి.స్థి.ప్ర; 9.7, 30 వి.స్థి.ప్ర.)
3. ఒక ఎలక్ట్రాన్ కాంతివేగాన్ని పొందాలంటే అది ఎంత శక్మాంతరంతో ప్రయాణం చేయాలో తెల్పండి. (న్యూటన్ గతిజశాస్త్ర ప్రకారం)
   (సూచన : గతిజశక్తి = $\frac{1}{2} mv^2 = eV$ ని ఉపయోగించండి.)
   (జవాబు : 2.5×10^5 వోల్టులు)
4. A అనే బిందువు --2 మైక్రో కూలూంబ్‌లకు 30 సెం.మీ. దూరంలో ఉంది. a) A వద్ద విద్యుత్ శక్మాన్ని కనుక్కోండి. b) A వద్ద +4 నేనో కూలూంబ్‌ల ఆవేశాన్నుంచితే స్థితిజ శక్తి ఎంత?
   (జవాబు : a) -6×10^{-4} వోల్టులు b) -24×19^{-5} జౌల్‌లు)

రచన అనువాదం : డా.వి. రామమూర్తి

BRAOU

భాగం - 6 క్షమశీలత

విషయక్రమం

6.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
6.2 ప్రవేశిక
6.3 క్షమశీలత
6.4 ఆవేశిత కెపాసిటర్ క్షేత్రంలో నిక్షిప్తమైన శక్తి
6.5 కెపాసిటర్లు
6.5.1 సమాంతర బంధంలో కెపాసిటర్లు
6.5.2 శ్రేణీబంధంలోకెపాసిటర్లు
6.6 వాహకపు క్షమత్వం
6.6.1 వివక్తగోళం
6.6.2 రెండు ఏక కేంద్ర గోళాలు
6.6.3 స్థూపాకార కండెన్సరీ క్షమశీలత - సబ్‌మెరైన్ కేబుల్స్
6.6.4 స్థూపాకార జారుడు కండెన్సర్
6.7 సారాంశం
6.8 నమూనా జవాబులు
6.9 నమూనా ప్రశ్నలు

6.1 ఉద్దేశాలు

ఈ భాగంలో క్షమశీలత అనే భావన ప్రతిపాదించబడింది.

మీరు ఈభాగం చదివిన తరువాత

1) శ్రేణి, సమాంతర బంధాలతో కలిపిన కెపాసిటర్ల తుల్యమైన క్షమశీలతను గణించగలుగుతారు.
2) వివక్త గోళం, ఏకకేంద్రగోళాల, స్థూపాకార కెపాసిటర్ల క్షమశీలతలను రాబట్ట గలుగుతారు.

B R A O U

6.2 ప్రవేశిక

మీరు ఈభాగంలో క్షమశీలత అనే భావనను గురించి తెలుసుకుంటారు.

6.3 క్షమశీలత

r వ్యాసార్థంగల గోళం మీద ఉన్న ఆవేశం +q అనుకొందాం. వాహక గోళం పూర్తిగా పరిసరాల నుండి వివక్తం చేయబడిందనుకొందాం.

ఈగోళం విద్యుత్ శక్మం

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r} \qquad \ldots (6.1)$$

r వ్యాసార్థం , −q ఆవేశం గల మరియొక వాహక గోళం వద్దకు మొదటి గోళాన్ని తెస్తే ఏమవుతుంది? ఈ విషయాన్ని చర్చిద్దాం. ఈ రెండవ వాహపు శక్మం

$$V^1 = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r} \qquad \text{... (6.2)}$$

రెండవగోళం ఉనికి వల్ల మొదటిగోళం పరిసరంలోని విద్యుదావేశ గోళీయ సౌష్టవత (Spherical symmetry) లో మార్పుండదు. రెండు ఆవేశిత గోళాల మధ్య దూరం వాటి వ్యాసార్థాల కంటే చాలా ఎక్కువ అయినప్పు డే, ఈ ఊహ నిజమౌతుంది. ఆ రెండు గోళాలు ఒకదాని కొకటి దగ్గరగా వస్తే గోళీయ సౌష్టవం దెబ్బతింటుంది. ఒక వివక్త వస్తువు దగ్గరకు ధనావేశాన్ని తీసుకొని వస్తే, ఆ వస్తువు శక్మం తగ్గుతుంది. కాబట్టి ఒక ఋణావేశాన్ని తీసుకువస్తే, ఆ వస్తువు శక్మం తగ్గుతుంది. కాబట్టి ఒక ఋణావేశిత గోళం ఉనికి వలన ధనావేశిత గోళం మీద శక్మం తగ్గుతుంది. అట్లాగే ఒక ధనావేశిత గోళం ఉనికి వలన ఋణావేశిత గోళం మీద శక్మం పెరుగుతుంది. ఇలాగ, వాహక గోళాల మీద ఆవేశాలు సమానంగా ఉన్నా, వాటి మధ్య దూరం తగ్గే కొద్దీ, శక్మభేదం కూడా తగ్గుతుంది. హెచ్చింపబడిన శక్మం, ఆవేశముల నిష్పత్తిని వాహకం యొక్క క్షమశీలత లేదా క్షమత అంటారు.

$$Q/V = C \qquad \text{... (6.3)}$$

d^1 దూరం వద్ద శక్మం V^1 క్షమత్వము C^1 అయితే, మరలా d" దూరం వద్ద శక్మం V" క్షమత్వము C" అయితే

$$q = C^1 V^1 = C'' V'' \qquad \text{... (6.4)}$$

"ఒక వాహకం, దాని శక్మాన్ని ఒక ప్రమాణానికి పెంచడానికి ఉపయోగించవలసిన ఆవేశంగా" అవాహక క్షమతను నిర్వచించవచ్చు.

క్షమతకు మీ.కి.సె. వ్యవస్థలోని ప్రమాణము కూలూంబ్. దీని 'ఫారడ్' వోల్ట్ అంటారు. ఈ ప్రమాణాన్నే మైకేల్‌ఫారడే, తన ప్రయోగ నైపుణ్యాలతో బాటు క్షమత్వం అనే భావనను రూపొందించిన సందర్భముగా, ఆయన గౌరవ పూర్వకముగా ఉపయోగిస్తున్నారు.

కాబట్టి 1 ఫారడ్ = 1 కూలూంబ్/వోల్ట్

$$= \frac{3\times10^9 \text{ వి.స్థి.ప్ర.ల ఆవేశము}}{1/300 \text{ వి.స్థి.ప్ర.శక్మం}}$$

$= 9 \times 10^{11}$ వి.స్థి. ప్రమాణం క్షమత్వము.

కాని ఒక ఫారడ్ చాలా పెద్ద ప్రమాణం కాబట్టి, దాని కంటె చిన్నదయిన మైక్రోఫారడ్ (microfarad = 10^{-6} ఫారడ్‌లు = μ f), పికోఫారడ్ లేదా మైక్రోపారడ్ ($\mu\mu$f = pf=10^{-12}ఫారడ్) లను సామాన్యంగా ఉపయోగిస్తారు.

కాని క్షమతకు విద్యుత్ స్థిర ప్రమాణాన్ని, "ఒక వస్తువు శక్మాన్ని ఒక వి.స్థి.ప్ర. పెంచడానికి ఉపయోగించే వి.స్థి. ప్రమాణపు ఆవేశంగా" కూడా నిర్వచించవచ్చు.

K విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకంగా ఉన్న యానకంలో, ఆవేశిత వస్తువు శక్మం $\frac{V^1}{K}$ అవుతుంది. అప్పు డు KC' క్షమత అవుతుంది. (V', C' లు వరుసగా శూన్యయానకంలోని శక్మము, క్షమతలు).

q ఆవేశాన్ని భరిస్తున్న కెపాసిటర్‌ను, μ అణువులు కలిగి V ఘన పరిమాణముగల ఆదర్శ భాష్పంతో ఉన్న దృఢమైన పాత్ర (container) కు పోల్చవచ్చు.

అదర్శ భాష్పమును గురించి ఉన్న సిద్ధాంతాల ప్రకారం

$$\mu = \left(\frac{V}{RT}\right) P$$

కెపాసిటల్‌ను $q = (CV)$ ... (6.4)

కాబట్టి క్షమత్వము అన్నది ఒక స్థిర ఉష్ణోగ్రత వద్ద పాత్ర ఘనపరిమాణానికి తుల్యం : క్షమతల అంటే ఒక కెపాసిటర్ మీద ఎంత ఆవేశమును నిలుపవచ్చునో, అదేవిధంగా (కొంతపరిధిలో) ఎంత భాష్పమునైనా పాత్రలో ఉంచవచ్చునని తెలుస్తుంది. ఆవేశం కొంత సందిగ్ధఅవధిని దాటితే, కెపాసిటర్‌లో భంజనము (break down) జరిగినట్లే పాత్రలోని బాష్పం సందిగ్ధ అవధిని దాటిన బరువును దాటితే పాత్ర అంచులు పగుళ్ళు చూపుతాయి.

సమానమైన, విరుద్ధ సంజ్ఞలుగల ఆవేశాలు గల రెండు వాహకాలను (ఏ ఆకారము కలిగి యున్నవైనా), కొంత మధ్యాంతరానికి దగ్గరగా తీసుకొని వస్తే ఆ వాహకాల అమరికను కెపాసిటర్ లేదా

BRAOU

కండెన్సర్ అంటారు. వాహకాలను కండెన్సరు యొక్క ఫలకాలు అంటారు. ఒక కెపాసిటరు యొక్క క్షమత్వం (a) ప్రతిఫలకం జ్యామితి, (b) ఒక దానితో నింకొకదాని ప్రాదేశిక సంబంధం (c) వాటిని ఉంచిన ఆయానకంల మీద ఆధారపడుతుంది. కెపాసిటర్‌లను సామాన్యంగా –| |– అన్న సంకేతంతో చూపుతుంటారు.

ఈ కెపాసిటర్‌లు చాలా ఉపయోగకరమైన సాధనాలు. ఇది భౌతిక శాస్త్రజ్ఞులకు, వాస్తు శాస్త్రజ్ఞులకు (Engineers) కూడా చాలాఉపయోగకరమైనవి. ఉదాహరణకు (i) కెపాసిటర్లనుపయోగించి ఎలెక్ట్రాన్ పుంజాల వివర్తన సాధిస్తారు. (ii) అవి చిన్న ఘనపరిమాణాల స్థలంలో అతిదృఢ విద్యుత్ క్షేత్రాలను నిక్షిప్తం చేయగలవు. కావున వాటిని విద్యుత్ శక్తి నిలువకు (Storing) వాడుతారు. (iii) ఈ కెపాసిటర్లు లేకపోతే ఎలెక్ట్రానిక్స్, ఆధునిక సంసర్గ వాస్తుశాస్త్రా (Communication engineering) లలో ఏమి పురోభివృద్ధి ఉండదు. వాటిని (a) వోల్టేజి చాంచల్యాని అదుపులో పెట్టడానికి (b) స్పందన సంకేతాలు (pulsed signals) దూరానికి ప్రసారం చేయడానికి (c) రేడియో పౌనఃపున్య తరంగాలను ఉత్పాదనం, గ్రహింపు చేయడంలోను, మరికొన్ని సందర్భాలలో కూడా ఉపయోగిస్తారు.

6.4 ఒక ఆవేశిత కెపాసిటర్ క్షేత్రంలో నిక్షిప్తమైన శక్తి

ఒక ఆవేశిత కెపాసిటర్‌లో ఉన్న శక్తి దానిని ఆవేశ పరచడానికి ఉపయోగించిన పనికి సమానం. ఏ సమయములోనైనా, ఫలకముల మధ్య శక్మం భేదం –V అనుకుందాం. దాని శక్మం V అయినపుడు, ఒక చిన్న ఆవేశం dq ను కెపాసిటరు దగ్గరకు తీసుకువచ్చుటలో చేసిన పని (dW) = (V, dq)

ఆ ఫలకం ఆవేశం q స్థాయికి పెంచుటకై చేయవలసిన పని మొత్తం పని

$$W = \int_0^q V\, dq \text{ ఎర్గ్‌లు} \qquad \dots (6.5)$$

దీనిని తిన్నగా సమాకలనం చేయడం వీలుపడదు. కారణం V స్థిరాంకము కాక, q మీద ఆధార పడుతుంది.

కాబట్టి $$W = \int_0^q \frac{q}{c}\, dq = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2} q V = \frac{1}{2} CV2 \qquad \dots (6.6)$$

సమీకరణం (6.5) ఒక ఆవేశిత కెపాసిటరులోని నిక్షిప్తమైన శక్తిని తెలుపుతుంది. వికూలూంబ్‌లలోను, C ఫారడ్‌లలోను, V వోల్టలలోను ఉంటే W జౌల్‌లలో ఉంటుంది. q విద్యుత్ రోధక యానకంలో ఈ శక్తి నిక్షిప్తంగానో లేదా ప్రకాశంగానో ఉంటుంది.

ఒక స్థిరశక్మానికి కండెన్సరును ఆవేశం కలిగించడం

ఫలకాల మధ్య దూరాన్ని తగ్గిస్తే, క్షమత్వం పెరుగుతుంది. తద్వారా నిక్షిప్త ఆవేశం కూడా పెరుగుతుంది. ఈ ఆవేశం పెరుగుదల ఘటం (battery) వలన కలుగుతుంది. ఈ పద్ధతిని స్థిరశక్మం వద్ద ఆవేశము కలిగించుట అని అంటారు. V అన్నది ఘటం వోల్టేజ్, dC క్షమత్వం పెరుగుదల అయితే ఆవేశం కలిగించుటలో చేసిన పని W అవుతుంది.

$$W = \int V\, dq = \int V^2\, dC \text{ జౌల్‌లు}$$

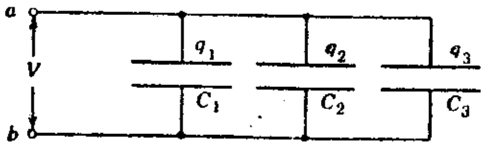
లేదా $$W = CV^2 \text{ జౌల్‌లు.} \qquad \dots (6.7)$$

6.5 కెపాసిటర్లు

6.5.1 సమాంతర బంధంలో కెపాసిటర్లు

BRAOU

మూడు కెపాసిటర్లను సమాంతరంగా సంధానము చేస్తే, వాటికి తుల్యమైన కెపాసిటర్ ని మనం ఈ క్రింది విధముగా కనుగొంటాము.



పటం 6.1 సమాంతర బంధంలో మూడు కెపాసిటర్లు

తుల్యమగు కెపాసిటర్ అంటే ఈ సమాంతర బంధాన్ని a, b కొనల మధ్య సంధించినప్పుడు వచ్చే విద్యుత్ కొలతలు, ఈ తుల్య కెపాసిటర్‌ను ఉపయోగించినప్పుడు (a, b ల మధ్య) కూడా అంతే పరిమాణముతో వస్తాయని, తద్వారా సమాంతర కెపాసిటర్‌లు, తుల్య కెపాసిటరుతో సదృశ, సరూప, సమానాలు అని తెలుసుకుంటాము.

పటం 6.1లోని ప్రతి కెపాసిటర్ చివరల శక్మం భేదం సమానంగా ఉంటుంది. దీనికి కారణం, అన్నింటిపై ఫలకాలు 'a' కొనకు సంధించి ఉంటే, వాటి క్రింది పలకాలు, 'b' కొనకు సంధించి ఉండటమే. q = c v అనే సమీకరణం ఈ కెపాసిటర్లకు అనువర్తిస్తే,

$$q_1 = C_1 V;\ q_2 = C_2\ V;\ q_3 = C_3\ V \qquad \dots (6.8)$$

ఈ కెపాసిటర్ల కలయిక వలన కలుగు సంపూర్ణ ఆవేశం = q

$$q = q_1 + q_2 + q_3 = (C_1 + C_2 + C_3)\ V$$

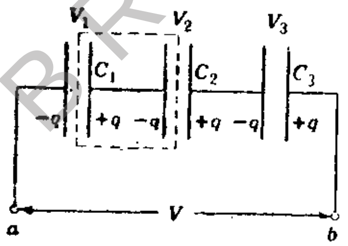
అపుడు తుల్య కపాసిటీ = తుల్య క్షమత $= C = \frac{q}{v} = (C_1 + C_2 + C_3)$ అంటే

$$C_{eef} = C_1 + C_2 + C_3$$

ఈ ఫలితం ఎన్ని కెపాసిటర్లు సమాంతరముగా సంధింపబడినా వర్తిస్తుంది.

6.5.2 శ్రేణి బంధంలో కెపాసిటర్లు

పటం 6.2 లో మూడు కెపాసిటర్‌లను శ్రేణి బంధంలో కలిపిన విధం చూపబడింది. వాటిని తుల్యమైన కెపాసిటర్ C ని ఈ క్రింది విధంగా కనుక్కొంటారు.



పటం 6.2 శ్రేణి బంధంలో మూడు కెపాసిటర్లు

పై పటంలో చూపిన సంధానంలో, ప్రతి ఫలకము మీది ఆవేశం q సమానంగా ఉండాలి. దీనికి కారణం, ఈ ఫలకాల మీద తొలుతగా నుండిన నికరమైన ఆవేశం, శూన్యం గావడమే. ఈ ఫలకాలను ఘటానికి సంధించినందువలన ఆవేశాల వేర్పాటు మాత్రమే జరుగుతుంది. కాని వీటి నికరావేశం శూన్యంగానే ఉంటుంది. C_1 కాని C_2 కాని 'విస్ఫులింగాలు' వదలవు అని అనుకుంటే (పటంలో చూపిన) బిందురేఖల మధ్య ఆవరించిన ప్రదేశంలో, ఆవేశం లోపలి నుండి బయటకు గాని లేదా బయట నుండి లోపలికి గాని రాలేదు. q = c v కాబట్టి

$$V_1 = \frac{q}{C_1};\ V_2 = \frac{q}{C_2};\ V_3 = \frac{q}{C_3} \qquad \dots (6.10)$$

BRAOU

శ్రేణి సంధానానికి శక్మభేదం

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V = q\,(1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3)$$

తుల్య క్షమత్వం $= \frac{q}{V} = \frac{1}{(C_1 + C_2 + C_3)}$

కాని $V = q/C$

$$\frac{1}{C_{eff}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \qquad \ldots (6.11)$$

శ్రేణిబంధంలో, తుల్య క్షమత్వము ఎల్లప్పు డూ ఆ శ్రేణిలో నున్న కనిష్ట క్షమత్వం కంటే కూడా తక్కువగా ఉంటుంది. ఈ ఫలితం ఎన్ని కెపాసిటర్‌లు శ్రేణి బఃధంలో కలిపినా (సంధించినా) వర్తిస్తుంది,.

6.6 వాహకపు క్షమత్వం

6.6.1 వివక్త గోళం

r మీటర్లు వ్యాసార్థం గల గోళం క్షమత్వం

$$= \frac{q}{q/4\,\pi\varepsilon_0 r} = 4\,\pi\,\varepsilon_0\,r$$ కూలూంబ్‌లు/వోల్ట్‌లు

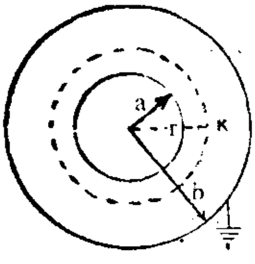
వి.స్థి.ప్ర.లో గోళం వ్యాసార్థము 1 సెం.మీ. ఉంటే, దాని క్షమత్వము కూడా 1 వి.స్థి.ప్ర. అవుతుంది. 9×10^{11} సెం.మీ. వ్యాసార్థంగ గల గోళీయ వాహకం మాత్రమే 1 ఫారడ్ క్షమత్వం కలిగి ఉంటుంది. దాని వ్యాసార్థం 9×10^{5} సెం.మీ. అయితే, క్షమత్వం 1μf ఉంటుంది. అదేరకంగా వ్యాసార్థం 0.9 సెం.మీ. అయితే, క్షమత్వము 1μμf ఉంటుంది. కాని భూమి వ్యాసార్థము 6.4×10^{8} సెం.మీ. అంటే దాని క్షమత్వము ≈ 0.007 ఫారడ్‌లు ఉంటుంది. యానకం విద్యుత్ రోధక గుణకము K అయినపుడు, గోళం యొక్క శక్మం $\frac{q^1}{4\pi\varepsilon_0 Kr}$ మరియు గోళము క్షమత్వము $= (4\pi\varepsilon_0\,K\,r)$ అవుతాయి. కాబట్టి గోళీయ వాహకము నావరించిన యానకం, గాలి కాకుండా ఇంకే ఇతరమైన యానకాలుగా ఉంటే అప్పుడు దాని క్షమత్వం ఎక్కువగా ఉంటుంది.

ఒక వాహకపు క్షమత్వాన్ని హెచ్చు చేయడానికి ఉపయోగించే ఏ రకమైన అమరికనైనా 'విద్యుత్ కండెన్సరు లేదా 'కెపాసిటరు' అని అంటారు. జలాశయాన్ని నీళ్ళను నిలువ చేయడానికి ఉపయోగించినట్లే కండెన్సర్‌ను విద్యుత్ శక్తిని నిలవ చేయడానికి ఉపయెగిస్తారు.

BRAOU

6.4.2 రెండు ఏక కేంద్ర గోళాలు

పటం 6.3లో చూపినట్లు బయటి గోళాన్ని నేలకు సంధించినప్పు డు, కండెన్సర్ క్షమత్వం గురించి చర్చిద్దాం.



పటం 6.3 రెండు ఏకకేంద్ర గోళములు

a,b లు వరుసగా A, B అనే గోళాల వ్యాసార్థములు. Bని ఎర్త్ చేసామని అనుకుందాం A, B మధ్యగల శక్మభేదం.

$$V = \int_b^a -\frac{q\,dr}{4\pi\varepsilon_0 \kappa r^2} = \frac{q}{4\pi \varepsilon_0 \kappa}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right) \quad \text{... (6.11)}$$

$$\therefore C = \frac{q}{v} \frac{q}{q/4\pi\varepsilon_0 \kappa\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)} = \frac{4\pi\varepsilon_0 \kappa . ab}{(b-a)} \text{ ఫారడ్‌లు.} \quad \text{... (6.12)}$$

ఈ రెండు గోళముల నావరించి గాలి ఉన్నపుడు $\kappa = 1$, అపుడు

$$C = \frac{4\pi\varepsilon_0 ab}{(b-a)} \text{ ఫారడ్‌లు} \quad \text{.. (6.12 a)}$$

C ఫారడ్లలో ఉండి, a, b లు వరుసగా మీటర్‌లలో ఉంటే,

అపుడు $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-10}$ ఫారడ్‌లు/మీటరు

$$\text{సెం.గ్రా.సె. వ్యవస్థలో } C = \frac{ab}{(b-a)} \text{ ఎ.స్థి.ప్ర.} \quad \text{... (6.13)}$$

A గోళాన్ని ఒక ఎర్త్‌గా చేసిన వాహకంచే ఆవరింప చేస్తే, A క్షమత్వం పెరుగుతుంది.

$$\text{సెం.గ్రా.సె. వ్యవస్థలో } C = \frac{a}{\left(1 - \frac{a}{b}\right)} \text{ ఎ.స్థి.ప్ర.} \quad \text{... (6.14)}$$

గా వ్రాయవచ్చు.

$b \longrightarrow \infty$ అయినప్పు డు C=a= గోళం వ్యాసార్థం. ఈరకంగా, ఒక ఆవేశిత గోళాన్ని బయటి పొరను అనంత దూరంకు నెట్టబడిన 'కండెన్సర్'గా భావించవచ్చు.

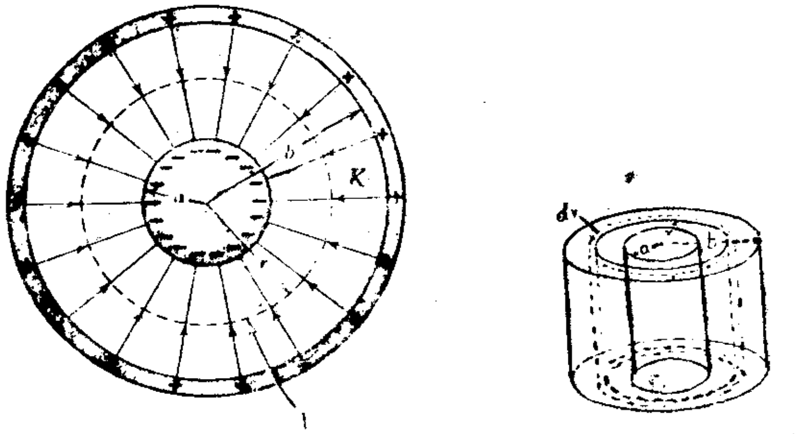
వాస్తవంలో, ప్రతి ఆవేశిత వాహకము కొంత క్షమత్వం కలిగి ఉంటుంది. మామూలుగా ఒక తీగకు చాలా కొద్ది, తల వైశాల్యం ఉంటుంది. అందుకని వాటి క్షమత్వం చాలా తక్కువగా ఉంటుంది. అయితే టెలిగ్రాఫ్ తీగలు, ఎక్కువ వోల్టేజి ప్రసారం చేస్తే తీగెలు కండెన్సర్‌లుగా పరిగణింప బడే క్షమత్వం కలిగి ఉంటాయి.

ఒక ఎర్త్ చేయబడిన వాహకం దగ్గరకు ఇంకొక ఆవేశిత వాహకాన్ని తెచ్చినప్పు డు, ఆవేశిత వాహకం శక్మం తగ్గుతుంది. అందువల్ల, దాని క్షమత పెరుగుతుంది. (ఎర్తు చేయబడిన వాహకం దగ్గరగా నున్న) ఆవేశిత వాహకం మీద శక్మాన్ని ఒకే స్థాయిలో ఉంచాలంటే, దానికి ఎక్కువ ఆవేశాన్ని ఇవ్వాలి.

కండెన్సర్‌ను ఏకముఖ ప్రవాహము (D.C. Current) వలయంలో ఉంచితే, అది నిలకడ ప్రవాహాన్ని (Steady Current) తన ద్వారా ప్రవహింప చేయదు. ఈవిధమైన కండెన్సరును బ్లాకింగ్ కన్డెన్సర్ (Blocking COndenser) అని అంటారు. ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహం A.C. Current) వలయాలలో దాని ప్రవర్తన వేరుగా ఉంటుంది.

6.4.3 స్థూపాకార కండెన్సర్ క్షమశీలత – సబ్‌మెరైన్ కేబుల్

అధిక వ్యాసార్థము గల బోలు లోహపు స్థూపంలో సహాక్షీయింగా (Coaxially) ఇంకొక లోహపు స్థూపము ఉంచబడింది. స్థూపాల మధ్య ప్రదేశము విద్యుత్ రోధకంతో నిండి ఉంది. ఇపుడు ఒక స్థూపాకార కన్డెన్సరు తయారయింది. ఒక సబ్‌మెరైన్ కేబిల్ దీనికి (ఈరకపు కండెన్సర్‌కు) నిత్యజీవితంలో ఒక ఉదాహరణ. సబ్‌మెరైన్ కేబిల్ కండెన్సరులో లోపలి వాహకం రాగి మేకు అయితే, వెలుపలి ఎర్త్ చేయబడిన వాహకం సముద్రపు నీరు, పాలిస్టెరీన్‌తో చేయబడిన బంధనపు తొడుగు (రాగి మేకు చుట్టూ ఉంచే తొడుగు) విద్యుత్ రోధకం. a,b లు వరుసగా లోపలి మరియు వెలుపలి స్థూపాల వ్యాసార్థాలు (లేదా విద్యుత్ రోధకపు లోపలి, వెలుపలి అంచుల వ్యాసార్థాలు) K, విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం.



పటం 6.4 స్థూపాకార కన్‌డెన్సర్ 1. గౌసియన్ తలం

లోపలి స్థూపాన్ని సెం.మీ. పొడవుకు q కూలూంబ్‌ల ప్రకారం ఆవేశితం చేస్తే, ఆ స్థూపము అక్షము నుండి 'r' దూరంలో ఉన్న విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత, E గౌసు సిద్ధాంతము ప్రకారము

$$\frac{2q}{4\pi\varepsilon_0 \kappa\, r} \quad \ldots (6.15)$$

అవుతుంది.

అపుడు వెలుపలి, లోపలి స్థూపాల మధ్య శక్మాంతరం

$$V = -\int_{b}^{a} \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 \kappa} \cdot \frac{2q}{r} \cdot dr \quad \ldots (6.16)$$

అవుతుంది.

$$V = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0 \kappa} \log_e \left(\frac{b}{a}\right) \quad \ldots (6.17)$$

కాబట్టి, ప్రమాణ పొడవునకు గల క్షమత్వము, $C = q/V$

$$C = \frac{q}{\frac{q}{2\pi\varepsilon_0 k} \log_e \left(\frac{b}{a}\right)} = \frac{2\pi\varepsilon o \kappa}{\log_e \left(\frac{b}{a}\right)} \quad \ldots (6.18)$$

1 సెం.మీ. పొడవుగల స్థూపాకారపు కన్‌డెన్సర్ క్షమత = C అయితే

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0 \kappa l}{\log_e \left(\frac{b}{a}\right)} = \frac{2\pi\varepsilon_0 \kappa\, l}{2.303 \log_{10} \left(\frac{b}{a}\right)} \quad \ldots (6.19)$$

l, b, a లు మీటర్లలో ఉంటే, C ఫారడ్‌లలో ఉంటుంది.

సెం.గ్రా.సె. వ్యవస్థలో

$$C = \frac{\kappa\, l}{4.6060 \log_{10} \left(\frac{b}{a}\right)} \quad \ldots (6.20)$$

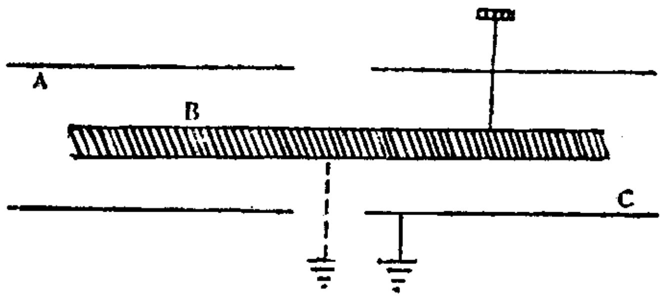
సమీకరణాలు (6.19) (6.20) అనుపాత గణకం (Proportional COunter) లో క్షమత్వం శక్మాంతరాలు గణించుటకు ఉపయోగిస్తారు.

6.6.4 స్థూపాకార జారుడు కండెన్సర్

ఇది ఒక చర కన్‌డెన్సర్. దీనిలో ఒకే వ్యాసంగల రెండు సహాక్ష బోలు లోహపు స్థూపాలు A, C లు ఉంటాయి. ఈ రెండు స్థూపాల మధ్య కొద్దిగా గాలి దూరే స్థలం ఉంటుంది. ఈ రెంటిలో, ఒక

BRAOU

స్థూపాన్ని ఎర్త్ చేస్తారు. C ఒక లోపలి లోహపు స్థూపము Bని మోస్తుంది. ఇది కూడా మిగతా స్థూపాలతో సహాక్షంగా ఉంటుంది. ఈ లోపలి స్థూపాన్ని లక్షం వెంబడి Aకు లోపల, వెలుపలగా ఒక చిన్న సూక్ష్మమాపక (Micrometer) స్క్రూ సాయంలో కదిలించవచ్చు. ఈ స్క్రూ B మీద బిగించబడి ఉంటుంది. ఈ స్క్రూ సాయంతో A లోపలనున్న B యొక్క పొడవును క్షుణ్ణంగా ఖచ్చితంగా కొలువవచ్చు.



పటం 6.5 స్థూపాకార జారుడు కన్‌డెన్సర్

A స్థూపం మామూలుగా ఇంకొక ఎర్తు చేయబడిన స్థూపంచే పరివృత్తం కాబడి ఉంటుంది. దీనివలన A ఆవేశం వెలుపలి వస్తువులకు స్పందనం కాదు. B, Cలను ముందుగా ఎర్త్ చేయాలి. Aను బంధనం చేసిన తర్వాత ఆవేశం కలిగించాలి. Bని Aలోకి 1 దూరము కదిలించినపుడు A క్షమతలోనిమార్పును

$$\frac{2\pi\varepsilon_0 \kappa 1}{2.303 \log_{10}\left(\frac{b}{a}\right)}$$

అనే సమీకరణము ద్వారా తెలుపవచ్చు. దీనిలో a, b లు వరుసగా A, B స్థూపముల వ్యాసార్థములు.

ఇట్లాగే ఒక ప్రత్యేక స్థితిలో సూక్ష్మమాపకాన్ని ఉంచి, దీని కెపాసిటీని ఇంకొక ప్రమాణ కండెన్సర్‌లో పోల్చి కొలతలు చేస్తే, ఈ కండెన్సర్‌లోని క్షమతా మార్పులును పై సమీకరణము (6.19) ద్వారా కనుగొనవచ్చు. అపుడు ఈ కండెన్సర్ నుపయోగించి ఇంకొక కండెన్సర్ యొక్క క్షమత్వమును కొలుషవచ్చు.

BRAOU

మాదిరి లెక్క -1 :

సమాంతర ఫలకాలు గల క్షమశీలిలో మధ్యయానకం గాలిని ఉంచారు. ఫలకాల మధ్య దూరం అన్నిచోట్ల 1.5 మిల్లీ మీటర్లు. దాని క్షమత్వం 1.5 ఫా. కావడానికి ఫలకం వైశాల్యం ఎంత ఉండాలి?

జవాబు :

$$C = \frac{q}{V} = \frac{\varepsilon_0 EA}{Ed} = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

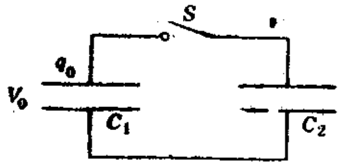
లేదా $A = \frac{Cd}{\varepsilon_0} = \frac{1.5 \times 10^{-3}\text{మీ.} \times 1.5\text{ఫా.}}{8.9 \times 10^{-12}\text{క్యూ/న్యూ.మీ.}^2}$

$A = 2.532 \times 10^8$ మీ^{2}.

మాదిరిలెక్క - 2 :

ఒక క్షమశీలి C_1 ని V_0 శక్మ భేదం ఉండేట్లు ఆవేశితం చేసారు. ఆవేశ కారకమైన ఘటాన్ని తొలగించి మరియొక ఆవేశిత క్షమశీలి C_2ను పటం 6.6లో చూపినట్లు కలిపారు. ఆ రెండు క్షమశీలుల కలయిక వల్ల కలిగే శక్మ భేదం కనుక్కోండి.

జవాబు :



పటం 6.6

మొదటి ఆవేశం q_0 రెండు క్షమశీలుల C_1, C_2 ల మధ్య విభజింప బడింది. అందువల్ల

$q_0 = q_1 + q_2$

కాని $q = CV$

$\therefore\ C_1V_0 = C_1V + C_2V$

లేదా $V = \left(\frac{C_1V_0}{C_1C_2}\right)$

దీన్నిబట్టి ఒక తెలియని క్షమశీలి C_2 విలువ, C_1 విలువను బట్టి కనుగొనవచ్చు.

6.7 సారాంశం

విద్యుదావేశం q, శక్మభేదం V కి గల నిష్పత్తి క్షమశీలత "C" సమానం అంటే

$$C = \frac{Q}{V}$$

క్షమతను ఫారడ్‌లలో కొలుస్తారు, క్షమశీలులను శ్రేణీ బంధంలో ఉంచినపుడు తులనాత్మక క్షమత్వం $\frac{1}{C_{eff}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \text{- - - - - - - - - - -} + \frac{1}{C_4}$ అవుతుంది.

సమాంతర బంధంలో తులనాత్మక క్షమత్వం $C_{eff} = C_1 + C_2 + C_3 + \text{- - - - - - -} + C_4$

క్షమశీలిలో నిక్షిప్తమైన శక్తి $\frac{1}{2}CV^2$ కి సమానం.

6.8 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నలకు సమాధానాలు విశదంగా రాయండి.

1. ఒక ఆవేశిత క్షమశీలిలో నిక్షిప్తమై యున్న శక్తి సమీకరణాన్ని రాబట్టండి.
2. r, R లు వరుసగా వ్యాసార్థాలుగా కలిగిన రెండు ఏక కేంద్రీయ గోళాలు కలిగిన క్షమశీలి i) రెండు గోళాల మధ్య యానకం గాలిగా ఉన్నప్పు డు ii) నిర్దేశ రోధక స్థిరాంకం K కలిగిన రోధకం యానకంగా ఉన్నప్పు డు క్షమత్వాన్ని లెక్కకట్టండి.
3. స్థూపాకార కండెన్సర్ యొక్క క్షమత్వానికి సమీకరణాన్ని సాధించండి.

II. క్రింది ప్రశ్నలకు కుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి.

1. ఒక క్షమశీలిని విద్యుత్ ఘటానికి కలిపినపుడు క్షమశీలిలోని రెండు పలకలు ఒకటి ఋణావేశం, మరొకటి ధనావేశం పొందుతాయి. అయితే ఈ ఆదేశ విలువలు సమానంగా ఉంటాయి. ఎందుచేత?
2. విద్యుదావేశం పలకల ఆకృతిపైన, పరిమాణం పైన ఆధారపడుతుందా? ఎందుచేత?

BRAOU

3. ఒక వివక్త వాహక గోళం ధనావేశితం చేయబడింది. దాని బరువు ఆవేశితం గావించడం వల్ల పెరుగుతుందా? తగ్గుతుందా? లేక మారదా? ఎందువల్ల?

4. a, b లు వ్యాసార్థాలుగా గలిగిన ఒక గోళీయ క్షమశీలిలో b > a అయితే శక్మం క్షమత్వం విలువెంత?

5. ఒక వాహకం యొక్క శక్మం, క్షమత్వం అంటే మీకు అర్థమైన విషయాలను విపులీకరించండి.

6. ఒక క్షమశీలిని తక్కువ శక్మంగల మరియొక క్షమశీలితో జతచేసినప్పుడు శక్తి నష్టం జరుగుతుంది. ఎందుచేత?

III. క్రింది లెక్కలను సాధించండి.

1. ఒక వాహకంలోని ఆవేశం వల్ల కలిగే తల ప్రమాణ వైశాల్యంపై పనిచేసే బలం సమీకరణాన్ని కనుగొనండి. 30.000 వోల్టుల శక్మంనకు ఆవేశితమైన కండెన్సర్ గాజు ఫలకంపైన చదరపు సెం.మీ. ఉండే యాంత్రికబలం కనుగొనండి. (గాజు K, t లు వరుసగా 4.4 x 10^{-4} మీటర్లు) 5 x 10^{-2} మీ. వ్యాసార్థం గల బంధిత గోళాన్ని 177 కూలూంబ్‌లకు ఆవేశం చేసినప్పుడు ఆ గోళం తల వైశాల్యంపై పనిచేసే స్థిర విద్యుత్ బలాన్ని గణించండి.

(జవాబు : 99.51 న్యూ.చ.మీ.; 44.78 న్యూ/చ.మీ.)

2. ఒక సమాంతర ఫలక కన్‌డెన్సరు వృత్తాకార పలకముల వ్యాసము వరుసగా 10.0 సెం.మీ., 16.0 సెం.మీ. వాటి మధ్యాంతరం 1 మీ.మీ. 100 వోల్టుల శక్మభేదం ఫలకములపై నాపాదించిన వాటిపై ఎంత ఆవేశం ఉంటుంది?

(జవాబు : 1.728 x 10^{-8} కూలుంబ్)

3. వరుసగా 9 సెం.మీ., 10 సెం.మీ. వ్యాసార్థాలు గల ఒక గోళము, సమాక్ష గోళీయ పెంకు కలిగిన కండెన్సరు యొక్క క్షమత్వం కనుక్కోండి. (ఫలకం మధ్య గాలి యానకము)

వెలుపలి పెంకును (i) బంధనము చేసినపుడు (ii) ఎర్త్ చేసినపుడు (iii) గోళముపై 13.3 x 10^{-9} కులూంబుల ఆవేశము నాపాదించినపుడు, దానిపై శక్మాన్ని కనుక్కోండి.

(జవాబు : 3 x 10^{-8} కూలుంబ్‌లు, 1.48 x 10^{-9} కూ; 0.148 x 10^{-9} కూ.)

4. 10 సెం.మీ. వ్యాసార్థం గల గోళాన్ని 3.33 x 10^{-9} కూలూంబ్‌ల ఆవేశం ఉండేట్లు శక్మాన్ని ఆపాదించారు. గోళీయతలంపై పరచబడిన ఒక చ.మి. మీ బంగారు పత్రాన్ని ఆ గోళం నుండి 20 సెం.మీ.ల దూరాన బిందువు వద్దకు మార్చారు. చేయబడిన పని ఎంత?

(జవాబు : 5.3 x 10^{-10} జౌల్‌లు)

5. ఒక కేబిలు 4 మి.మీ. వ్యాసార్థం గల రాగి కాండము (Core) కలిగి యున్నది. దీనిని పరివత్తం (Surrounding) చేసి ఒక బంధన వస్తువు పొర (Layer) ఉన్నది. ఈ లోపలి పొర మందము 5 మి.మీ., దాని విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం 3.5. ఒక సెం.మీ. పొడవుగల కేబిల్ క్షమత ఎంత?

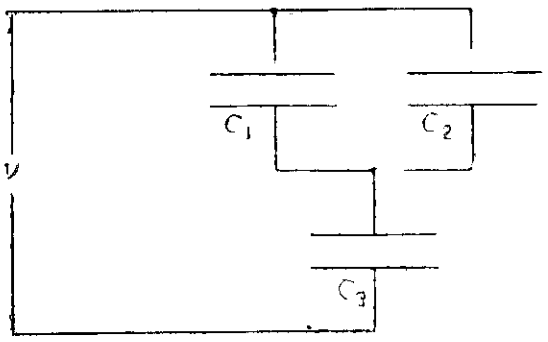
(జవాబు ≈ 100 సెం.గ్రా.సె.)

6. 300 వోల్టుల శక్మ భేదానికి సమాంతరంగా 2.0 μf, 4.0 μf క్షమతలు గల రెండు కెపాసిటర్‌లను సంధించారు. ఈ వ్యవస్థలో నిక్షిప్తమైన మొత్తం శక్తిని గణించండి.

(జవాబు : 0.27 జౌల్‌లు)

B R A O U

7. పటం 6.7 లో చూపిన అమరికలో



పటం 6.7

(i) $C_1 = 10\ \mu F, C_2 = 5\ \mu F, C_3 = 4\ \mu F, \ V = 100\ V.$

(ii) $C_1 = 5\ \mu F; \ C_2 = 4\ \mu F; \ C_3 = 1\ \mu F, \ V = 100\ V.$

అయితే కన్‌డెన్సరుల ఈ కలయికలో తుల్య క్షమత్వాన్ని గణించండి.

BRAOU

భాగం – 7 సమాంతర పలకల క్షమశీలి

విషయక్రమం
7.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
7.2 ప్రవేశిక
7.3 సమాంతర పలకల క్షమశీలి
7.4 కండెన్సర్‌లలో రకాలు
7.4.1 చరకండెన్సరు
7.4.2 స్థిర కండెన్సర్‌లు
7.43 రక్షక వలయ ప్రమాణ కండెన్సర్
7.5 ఆవేశిత కండెన్సర్ ఫలకల మధ్య విద్యుత్ బలం
7.5.1 ఆవేశాలు సమానంగా ఉన్నప్పుడు
7.5.2 ఫలకాల మధ్య శక్మభేదం ఒకేస్థాయిలో సమంగా ఉన్నప్పుడు
7.6 ఫలకలను విడిగా ఉంచుటకు కావల్సిన శక్తి
7.7 ఆవేశిత కండెన్సర్ క్షేత్రంలో నిక్షిప్తమైన శక్తి
7.8 సారాంశం
7.9 నమూనా జవాబులు
7.10 నమూనా ప్రశ్నలు

7.1 ఉద్దేశాలు

ఈ భాగంలో సమాంతర పలకల క్షమశీలి క్షమత్వ సమీకరణం ఉత్పాదించ బడింది.
మీరు ఈభాగం చదివిన తరువాత

1) సమాంతర పలకల క్షమశీలి క్షమత్వాన్ని
2) ఒక ఆవేశిత కండెన్సర్ క్షేత్రంలో నిక్షిప్తమైన శక్తి లెక్కించగల్గుతారు.
3) పలురకాల కండెన్సర్‌లు పనిచేసే విధానాన్ని ఉపయోగాలను వివరించ గలుగుతారు.

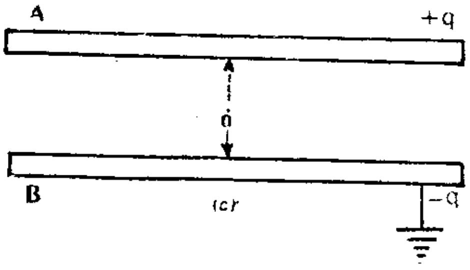
BRAOU

7.2 ప్రవేశిక

మీరు ఈభాగంలో వివిధ రకాల కండెన్సర్‌ల గురించి తెలుసుకుంటారు.

7.3 సమాంతర పలకల క్షమశీలి

క్షమత్వం, శక్మాలను గూర్చి మనం ఖండిక-2 లో 5,6 – భాగాలలో చర్చించాం. ఇప్పుడు సమాంతర భాగాలలో పలకల క్షమశీలి, దాని క్షమత్వం గురించి చర్చిద్దాం.



పటం 7.1 a సమాంతర పలకల క్షమశీలి

ఒక సమాంతర పలకల క్షమశీలిలో ఏ ఆకృతి చెందినదైనా రెండు లోహపు పలకలు విద్యుత్ రోధకంచే ఎడదీయబడి ఉంటాయి. రెండు పలకలు A, B ల మధ్య (పటం 7.1a) దూరం ఎక్కువైతే పార్శ్వీయ పీడనం (lateral pressure) వల్ల, పలకల కొనలలో ఉండే బలరేఖలు వక్రంగా ఉంటాయి. వాటికి స్థిరమైన మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం కూడా ఉండదు. బలరేఖలు సమాన అంతరాలు (equally spaced) కలిగి ఉండవు. అందువల్ల ఉజ్జాయింపు చర్యగా మనం A,Bలమధ్య ప్రదేశంలో అంతటా బలరేఖలు సరళరేఖలుగా ఉండేటట్లు, దాని పలకలు రెండూ దగ్గరగా ఉన్నాయని అనుకుందాం. ఈ రెండు ఫలకలమధ్య విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత E,కూడా ఏకరీతిలో ఉంటుందని ఊహిస్తాం.

ఈ రెండు ఫలకలు A చ.మీ. వైశాల్యం కలిగి +q కూలూంబులు ఆవేశం కలిగి ఉంటాయి. Bని ఎర్తు చేస్తాం. (ఎర్తు చేయడం అంటే ఫలకాన్ని నేలకు సధించడం. అప్పుడు ఆ ఫలక శూన్యశక్మంలో ఉంటుంది. (మామూలుగా ఎర్తు చేయడాన్ని సంకేతపరంగా ⏚ అను గుర్తుతో సూచిస్తారు.) "d" ఫలకముల మధ్య దూరం, మీటర్లలో ఉంటే, K అనునది ఈ కండెన్సరు నుంచే యానకపు విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం K.

(a) A B ల మధ్య శక్మభేదం V జౌల్‌లు అయితే,

$$V = \int_d^0 -\vec{E}\cdot\vec{dr} = \int_d^0 -\frac{\sigma.dr}{\varepsilon_0\kappa} = \frac{\sigma d}{\varepsilon_0\kappa} \qquad \ldots (7.1)$$

కాని σ ఆవేశపు తలసాంద్రత = q/A

అందుకని

$$V = \frac{q\,d}{\varepsilon_0 A\kappa} \qquad \ldots(7.2)$$

అప్పుడు

$$C = q/V = \frac{\varepsilon_0 A\kappa}{d} \text{ ఫారడ్‌లు} \qquad \ldots (7.3)$$

అవుతుంది.

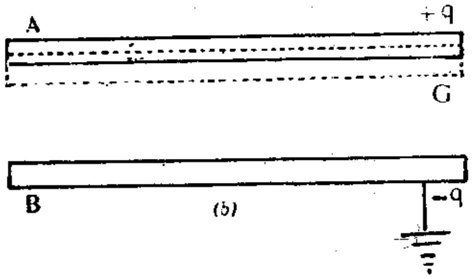
యానకం గాలి అయితే $\kappa = 1$, అప్పుడు $C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$ ఫారడ్‌లు.

సెం.గ్రా.సె. వ్యవస్థలో

$$C = \frac{A}{4\pi d} \text{ ఎ.స్థి.ప్ర.}$$

K రోధక స్థిరాంకంగా గల కండెన్సర్‌కు, గాలి యానకంగా కండెన్సరకు ఉన్నంత క్షమత కలగాలంటే, విద్యుత్ రోధకపు మందము (kd) కావాలి.

BRAOU



పటం 7.1 b గౌసు సిద్ధాంతము నుండి క్షమత్వం

సాధారణంగా ఈ విద్యుత్ రోధకాలను వాహక ఫలకముల మధ్య ఒకదానికొకటి చాలా దగ్గరగా ఉండే విధంగా పెడతారు. దీనివలన ఆ ఫలకాలపై ఎక్కువ శక్మ భేదము నుపయోగించడానికి వీలవుతుంది.

మనము సమీకరణము (7 .1)ని గౌస్ సిద్ధాంతము నుపయోగించి కూడా పొందవచ్చు. పటం 7.1b లో బిందురేఖలు, కండెన్సరు ఫలకాలతో ఆకృతి పరిమాణాలలో సమానంగా ఉన్న "A" వైశాల్యాం కల సమతలంచే ఆవరింపబడిన గౌసీయ తలం 'G' ని సూచిస్తాయి.

పక్కలనుండి వచ్చే సమ (లంబ) ప్రేరణం శూన్యమవుతుంది. A లోపల ఉన్నతలము భాగములో కూడా ప్రేరణం శూన్యము. మనం ఇప్పు డు పరిగణనలోకి తీసుకోవలసిన ప్రేరణ, ఫలకాల మధ్య నున్న గౌసీయ తలాముఖము నుండి వెలువడే ప్రేరణం మాత్రమే. అక్కడ సమప్రేరణము =EA

కాబట్టి, గౌసీయ సిద్ధాంతం ప్రకారం

$$EA = \frac{q}{\varepsilon_0 \kappa} \quad \text{లేదా} \quad E = \frac{q}{\varepsilon_0 \kappa A} \qquad \text{... (7.4)}$$

దీనిలో q స్వేచ్ఛావేశం మాత్రమే. కాని

$$V = -\int E.dr = Ed \qquad \text{... (7.5)}$$

అందువలన

$$C = q/V = \frac{\varepsilon_0 \kappa AE}{Ed} \text{ ఫారడ్‌లు.} \qquad \text{... (7.3)}$$

సెం.గ్రా.సె. వ్యవస్థలో $C = \frac{KA}{4\pi d}$ సెం.గ్రా.సె. ప్రమాణములు ... (7.6)

ఒక బంధిత అనావేశిత వాహకాన్ని గాలి (యానకముగాగల) కండెన్సర్ ఫలకముల మధ్య చొప్పించినందువల్ల కలుగు ప్రభావం కండెన్సర్ ఫలకల మధ్య క్షేతము పర్యంతమును తగ్గించుట మాత్రమే. ఫలకల మధ్య వేర్పాటు (పటం 71.c లో చూపబడింది.) C లోపల క్షేతమేమీ ఉండజాలదు.

అప్పు డు శక్మ భేదం (శ.భే)

$$\text{శ.భే} = \frac{\sigma d_1}{\varepsilon_0} + \frac{\sigma(d-d_1-t)}{\varepsilon_0} \qquad \text{... (7.7)}$$

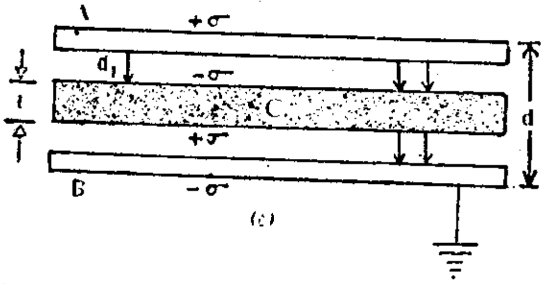
$$= \frac{\sigma}{\varepsilon_0}(d--t) \qquad \text{... (7.8)}$$

$$\text{క్షమత} = \frac{\varepsilon_0 A\sigma}{\sigma(d-t)} = \frac{\varepsilon_0 A}{(d-t)} \qquad \text{... (7.9)}$$

ఒక వాహకాన్ని చొప్పించినందువలన కలిగే క్షమత్వంలోని మార్పు

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{(d-t)} - \frac{\varepsilon_0 A}{d} = \frac{\varepsilon_0 At}{d(d-t)} \qquad \text{.... (7.10)}$$

B R A O U



7.1 C పటం సమాంతర పలకల క్షమశీలిలో విద్యుత్ క్షేత్రాలు

ఫలకల పరిమాణాలు, విద్యుత్ రోధకం పరిమాణాలు సెం.మీ.లలో ఇస్తే, క్షమత్వం ఎ.స్థి.ప్ర.లలో ఉంటుంది. ఈక్షమత్వంను 9×10^5 తో భాగిస్తే, ఇది మైక్రోఫారడ్‌లకు మారుతుంది. ఫలకల మధ్య ప్రదేశాన్ని K స్థిరాంకం గల విద్యుత్ రోధకంచే నింపితే ఈ సమాంతర పలకముల కండెన్సర్ క్షమత్వం.

$$C = \frac{KA}{4\pi d} \quad \frac{10^{-5}}{9} \ \mu F \quad (\text{ఎ.స్థి.ప్ర})$$

A, B ఫలకలలో నొకదానిని ఘటానికి సంధించి, ఇంకొక దానిని ఎర్త్ చేయడానికి బదులుగా రెండు ఫలకలను ఘటం రెండు ధృవాలకు సంధించినా, క్షమత్వం సమీకరణంలో మార్పు ఉండదు. ఫలకను ఎర్త్ చెయ్యడంలోని ఉద్దేశం వాటిపై రెండు సమానమైన, విరుద్ధంగాగల ఆవేశాలను జనియింప చేయడమే.

రెండు ఫలకలకు బదులుగా, అక్కడ 'n' సదృశ ఫలకలన ఒకదానికొకటి సమాన దూరంలో ఉన్నట్లుగా అమర్చి, ఏకాంతర ఫలకాలను కలిపినట్లయితే ఈ అమరిక యొక్క క్షమత్వమును సమీకరణం (7.11) ద్వారా తెలుపవచ్చు.

$$C = \frac{(n-1)\,\varepsilon_0\,\kappa\,A}{d} \qquad \text{... (7.11)}$$

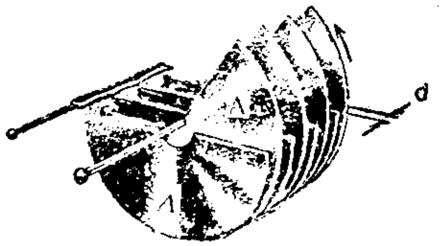
K = 1, అయితే $$C^1 = \frac{(n-1)\,\varepsilon_0\,A}{d} \qquad \text{... (7.12)}$$

సెం.గ్రా. వ్యవస్థతో వరుసగా

$$C = \frac{(n-1)\,\kappa\,A}{4\pi d}\ ; \quad C^1 = \frac{(n-1)\,A}{4\pi d} \qquad \text{... (7.13)}$$

7.4 కండెన్సర్‌లలో రకాలు

7.4.1 చర కండెన్సరు



పటం 7.2 వాయుచర కండెన్సర్

పటం 7.2లో చూపిన విధంగా ఫలకల శ్రేణిని అమరిస్తే, ఈ అమరికను చర కండెన్సరు అని అంటారు. దీనిలో ఒక ఫలకముల సమితి (set) స్థిరంగా ఉంటుంది. ఈ సమితిని 'స్టేటారు' అని అంటారు. ఇంకొక సమితిని 'రోటార్' అని అంటారు. ఈ రకపు కండెన్సరును ఎలక్ట్రానిక్స్‌లో, వివిధ రంగాలలో అధికంగా ఉపయోగిస్తారు. దీనిని పౌనఃపున్యంలో మార్పు తేగల క్షమత్వ మార్పును కలిగించుటకు ఉపయోగిస్తారు. దీనిని రేడియో, టెలివిజన్ మొదలైన పరికరాలలో విరివిగా ఉపయోగిస్తారు.

BRAOU

7.4.2 స్థిరకండెన్సర్‌లు

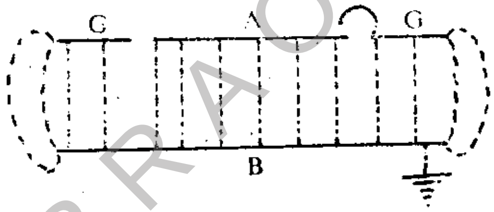
స్థిర క్షమత్వం గల స్థిరమైన కండెన్సర్‌లను సమాంతర ఫలకముల కండెన్సర్‌లుగా మాత్రమే రూపొందిస్తారు. మైకా లేదా కాగితపు తలాలు వాటి మీద అతిస్వల్ప లోహపు పూతలు కలిగి ఉంటాయి. ఈ మైకా లేదా కాగితపు పొరల మధ్య విద్యుత్ రోధకంగామైనంను ఏర్పాటు చేస్తారు. ఆ తర్వాత ఈ కాగితపు పొరలను తక్కువ స్థలం ఆక్రమించుటకై చుట్టి పెడతారు. ఇటువంటి కండెన్సర్‌లలో ఒక శ్రేణి ఏకాంతర పత్రాలను కలిపి మరియొక కొన ఉండేట్లు సమాంతరంగా పేర్చి, ఎక్కువ క్షమత్వం వచ్చే విధంగా చేస్తారు. అటువంటి స్థిరమైన కండెన్సర్‌లను కొన్ని సమయాలలో పెట్టెలలో అమరుస్తారు.

ఈ రోజులలో పింగాణిని స్వల్ప నష్టాలు గల విద్యుత్ రోధకాలుగా అన్ని పౌనఃపున్యాల వద్ద ఉపయోగిస్తున్నారు.

విద్యుత్ విశ్లేషక కండెన్సర్లు (Electrolytic condensers) లను సాధారణంగా ఎక్కువ క్షమత్వము సాధించడానికి ఉపయోగిస్తారు. వీటి పరిమాణాలు అతి చిన్నవిగా ఉంటాయి.

7.4.3 రక్షక వలయ ప్రమాణ కండెన్సరు (Guard-ring Standard Condensers)

ఒక సమాంతర ఫలకపు కండెన్సర్ క్షమత్వము $C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$ అయితే ఈ సందర్భములో, ఫలకముల మధ్య వైశాల్యమంతటా విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణతకు ఒకే విలువ ఉంటుందని ఊహింపబడుతుంది. ఫలకాల కొనలలో బలక్షేత్రం మరియు క్షేత్ర తీక్షణతలు ఏకరీతిలో ఉండనందువలన ఈ పై సమీకరణం ఉజ్జాయింపుగా మాత్రమే వర్తిస్తుంది. ఈ కొనలలో (ఏకరీతిలో లేని) ప్రభావాలను అధిగమించుటకు, లార్డ్ కెల్విన్ లోపలి ఫలకకు సమాన తలంలో ఉండి, వలయముచే ఆవరించిన, వృత్తాకారపు ఫలకమును ఉపయోగించినాడు. (పటం 7.3) B యొక్క వైశాల్యము = A + G ల కలిపిన మొత్తము వైశాల్యము తొలుతగా Bని ఎర్తు చేసి, A, G ల మధ్యనున్న వాహకపు తీగె సాయంతో వాటిని రెంటిని సమాన శక్మంలో ఉంచుతారు. ఆ తర్వాత తీగను G వైపునకు (మీదకు) వంచుతారు. అప్పుడు A, B ల మధ్య క్షేత్రం ఏకరీతిలో నుంటుంది. A ఫలకం ప్రభావ



పటం 7.3 రక్షక వలయం క్షమశీలి

$$\text{అప్పుడు} \quad C = \frac{A^1 \varepsilon_0}{d} \qquad \dots (7.14)$$

వైశాల్యం = $A^1 = A$ ఫలకపు వైశాల్యము + $\frac{1}{2}$ (అంతరపు వైశాల్యము) B ఫలకకు అమర్చిన సూక్ష్మమాపకం నుపయోగించి, ఫలకల మధ్య దూరాన్ని మార్చవచ్చును.

మాదిరి లెక్క – 1:

6 సెం.మీ. పొడవు 4 సెం.మీ. వెడల్పు గల 15 లోహపు బద్దీ (Strips) లతో ఒక సమాంతర ఫలకపు కండెన్సర్‌ను చేసారు. వాటిని విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం 6, స్థిర మందం 0.15 మి.మీ. గల మైకా ఫలకలచే విడదీసారు. అపుడు క్షమత్వ మెంత?

జవాబు :

$$C = [(n-1)\ \varepsilon_0\ \kappa\ A/d]$$

$$= \frac{14 \times 8.9 \times 10^{-12}\ (\text{Coul}^2/\text{nt.m}^2) \times 6 \times (6 \times 10^{-2} \times 4 \times 10^{-2})}{15 \times 10^{-4}\text{m}}$$

$= 12000\ \mu\mu F$
$= 12000\ pF$

మాదిరి లెక్క – 2:

ఒక కండెన్సర్ 0.05 మై. పాల క్షమత్వము కలిగి ఉండాలి. అది తగరపు రేకు ఫలకలచే చేయబడి మైకా పొరలచే విడదీయబడి ఉంటుంది. ఆ కండెన్సర్‌లో 30 మైకా పొరలు ఉండి, ప్రతి తగరపు రేకు ముక్క ఒకవైపు వైశాల్యం 10 చ.సెం.మీ.లు, మైకా విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకము $\kappa = 6.5$ అయితే, ఉపయోగింపబడిన ప్రతి మైకా పొర ఉజ్జాయింపు మందం కనుగొనండి.

జవాబు :

$$d = \frac{(n-1)\,\varepsilon_0\,\kappa\,A}{C}$$

$$= \frac{29 \times 8.9 \times 10^{-12} \times 6.5 \times 10 \times 10^{-4}}{0.5 \times 10^{-6}}$$

$$d = \frac{29 \times 8.9 \times 6.5}{0.05} \times 10^{-9} = 3.35 \times 10^{-5} \text{ మీ}$$

7.5 ఆవేశిత కండెన్సర్‌ల ఫలకల మధ్య విద్యుత్ బలం

కొనల ప్రభావాన్ని వదిలేస్తే, ఒక ఆవేశిత కండెన్సర్ యొక్క రెండు ఫలకల మధ్య విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత, ఒక అనంత ఆవేశిత వాహకతలం యొక్క క్షేత్రానికి తుల్యం, కాబట్టి ఒక ఆవేశిత వాహకం మీది తలంపైన పనిచేసే బలాన్నే గణించే సమీకరణాన్ని, వాహక కండెన్సర్‌కు కూడా అనువర్తింపవచ్చు.

ఇక్కడ రెండురకాల సన్నివేశాలున్నాయి.

7.5.1 ఆవేశాలు సమానంగా ఉన్నప్పుడు

ప్రతిఫలకం యొక్క అంతర్ తలాల మధ్యనున్న ప్రమాణ వైశాల్యం మీది యాంత్రిక బలం లేదా ఆకర్షణ బలం. బహిర్గత విద్యుత్ పీడన (A తలము మీద ప్రమాణ వైశాల్యం మీద పనిచేసే పీడనానికి) సమానము. ఈ పీడనమును

$$F = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0\kappa} \quad \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0\,\kappa\,A^2} \text{ న్యూటన్‌లు/మీటరు}^2$$

గా తెలుపుతారు. σ అనునది A తలంమీద తల ఆవేశ సాంద్రత.

BRAOU

కావున A చ.మీ. వైశాల్యం కలిగిన ఫలకలు A, B ల మధ్య ఆకర్షణ బలం $= \frac{q^2}{2\,\varepsilon_0\,\kappa\,A}$ న్యూటన్‌లు. ఈ రెండు ఫలకలను 'd' మధ్యాంతర దూరానికి విడదీయుటకు చేయవలసిన పని.

$$W = \text{బలము} \times \text{దూరము} = \frac{q^2 \times d}{2\varepsilon_0\,\kappa\,A} \text{ జౌల్‌లు.}$$

$$\text{కాబట్టి} \quad W = \frac{q^2 d}{2\varepsilon_0\,\kappa\,A} \text{ జౌల్‌లు.} \qquad \ldots (7.15)$$

$\kappa = 1$ అయితే, ఆకర్షణ బలం $= \frac{q^2}{2\varepsilon_0 A}$ న్యూటన్‌లు. అంటే

ఆవేశాలు ఒకేస్థాయిలో ఉండి, κ విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం గల యానకం ఫలకల మధ్య ఉంటే, ఫలకముల మధ్య ఆకర్షణ బలం, గాలి యానకముగా నున్నప్పటి బలానికి $\left(\frac{1}{\kappa}\right)$ వ వంతు మాత్రమే ఉంది.

కాని సాధారణముగా కొలువబడే పరామితి (parameter) ఫలకముల మీద శక్మమే గాని, విద్యుదావేశం కాదు. అందుకని ఆకర్షణ బలంకు వ్రాసిన సమీకరణాలు విద్యుదావేశం ప్రమేయం

(function) గా గాకుండా, పలకముల మధ్య శక్మభేదం ప్రమేయంగా వ్రాసినప్పుడు మాత్రమే ఎక్కువ ఉపయోగకారులుగా ఉంటాయి.

7.5.2 ఫలకాల మధ్య శక్మభేదం ఒకే స్థాయిలో సమంగా ఉన్నప్పు డు

(అంటే) రెండు ఫలకములు. (ధనధృవము A కు, ఋణధృవముకు B ఉండునట్లు ఘటం రెండు చివరలకు సంధించినప్పు డు

$$q = CV = \frac{\varepsilon_0 \kappa A}{d} V; \quad F = \frac{q^2}{2\kappa\varepsilon_0 A^2}$$

కాబట్టి చదరపు మీటర్ ఫలకం మీద ఆకర్షణ బలం

$$F = \frac{(\kappa \varepsilon_0 A. V/d)^2}{2\kappa \varepsilon_0 A^2} = \frac{\kappa \varepsilon_0 V^2}{2d^2} \text{ న్యూ/మీ.} \quad \dots (7.16)$$

సమీకరణము 7.5 వలన శక్మభేదం స్థిరంగా వుంటే, ఆకర్షణ బలం నేరుగా K విలువకు అనులోమాను పాతంలో ఉంటుంది. అంటే 'κ' స్థిరాంకం గల విద్యుత్ రోధకం యానకంగా గల పలకం మీద బలం, గాలి యానకంగా గల పలకం మీద బలానికి 'κ' రెట్లుంటుంది.

మాదిరి లెక్క – 3

వృత్తాకారచ్ఛేదం గల ఒక సమాంతర ఫలకల కన్‌డెన్సరు 10 సెం.మీ. వ్యాసార్థము గల తన ఫలకములను 1 మి.మీ. దూరములో ఉంచింది. ఆ ఫలకముల మధ్య విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం 6 గల నూనె. వాటి మధ్య శక్మభేదం 300 వోల్ట్‌లయితే, ఫలకాల మధ్య ఆకర్షణ బలంను కనుగొనండి.

జవాబు :

$$\text{ఆకర్షణ బలం} = \frac{\kappa \varepsilon_0 A}{2d^2} V^2$$

$$= \frac{6 \times 8.9 \times 10^{-12} \times \pi \times (10^{-1})^2 \times (300)^2}{2 \times (10^{-3})^2}$$

$$= 7.54 \times 10^{-2} \text{ న్యూటన్‌లు.}$$

7.6 ఫలకలను విడిగా ఉంచుటకు కావలసిన శక్తి

ఒక ఆవేశిత కండెన్సర్ యొక్క ఫలకములు స్థిర శక్మము వద్ద విద్యుత్ బంధితాలయితే, వాటి మధ్య దూరాన్ని స్వల్పదూరం కు పెంచితే చేయబడిన పని = బలం × దూరము.

చేయబడిన పని

$$W = \frac{\kappa \varepsilon_0}{2d^2} V^2 x \quad \dots (7.17)$$

ఫలకల మధ్యనున్న విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత E అయితే $V = Ed$

$$\text{చేయబడిన పని} = W = \frac{\kappa \varepsilon_0}{2d^2} E^2 d^2 x = \frac{1}{2} \kappa \varepsilon_0 E^2 x \quad \dots (7.18)$$

1 చదరపు సెం.మీ. చే ఆవరింపబడిన ఘనపరిమాణం = x. 1 కాబట్టి ప్రమాణ ఘన పరిమాణంలో, చేయబడిన పని

= ప్రమాణ ఘనపరిమాణంలో నిక్షిప్తమైన శక్తి

$$= \frac{1}{2} \kappa \varepsilon_0 E^2 = \text{శక్తి సాంద్రత} = \frac{\kappa}{2} DE \quad \dots (7.19)$$

విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం $\kappa = 1$ అయితే

$$\text{ప్రమాణ ఘన పరిమాణంలో చేయబడిన పని } \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2 \quad \dots (7.20)$$

BRAOU

దీనిలో $D = \varepsilon_0 E$ ని విద్యుత్ భ్రంశంగా తెలుపుతారు. (దీనిని గురించి 8వ భాగంలో వివరంగా చర్చిద్దాం)

V ఘనపరిమాణంగల ప్రదేశంలో నిక్షిప్తమైన శక్తిని $\frac{1}{2}\int \vec{D}\cdot\vec{E}\,dv$ గా వ్రాస్తారు.

(Dని కూలూంబ్‌లు చ.మీ. Eని వోల్టులు మీటర్‌లలో తెలుపుతారు.

7.7 ఆవేశిత కండెన్సర్ క్షేత్రంలో నిక్షిప్తమైన శక్తి

ఒక ఆవేశిత కండెన్సర్‌లో నిక్షిప్తమైన శక్తి, దానిని ఆవేశితం చేయడంలో గావింపబడిన పనికి సమానము. ఏ సమయంలోనైనా, ఫలకముల మధ్య శక్మ భేదంను 'V' అనుకొనుము. అనంతం నుండి 'V' శక్మంగల కండెన్సర్ దగ్గరకు ఒక చిన్న ఆవేశం 'dq' ను తెచ్చుటకు చేయబడిన పని,

$$dW = V.dq$$

కండెన్సర్‌ను సంపూర్ణ ఆవేశం 'q' స్థాయికి ఆవేశం చేయుటకు గావింపబడిన మొత్తము పని,

$$W = \int_0^q V\,dq \quad \text{జౌల్‌లు} \qquad \text{... (7.21)}$$

కాని V స్థిరాంకంగా కాక q ప్రమేయంగా ఉన్నది. కాబట్టి

$$W = \int_0^q \frac{q}{c}\,dq = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2}qV = \frac{1}{2}CV^2 \qquad \text{... (7.22)}$$

ఈ సమీకరణము ఒక ఆవేశితకండెన్సర్‌లోనిక్షిప్తమైన శక్తిని తెలుపుతుంది.

q కూలూంబులలోను, C ఫారడ్‌లలోను మరియు V వోల్టులలోను ఉంటే, W జౌల్‌లలో తెలుపుతుంది.

σ తల సాంద్రతగల సమాంతర ఫలకపు కండెన్సర్‌కు, బంధిత ఫలకముల వైశాల్యం A, మధ్యాంతరం d, అయితే, నిక్షిప్త శక్తిని

$$\text{శక్తి} = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}A^2\sigma^2.\frac{d}{\kappa A\varepsilon_0} = \frac{\sigma^2(Ad)}{2\kappa\,\varepsilon_0} \qquad \text{... (7.23)}$$

అనే సమీకరణం ద్వారా తెలుపుతారు.

$$\text{శక్తిసాంద్రత} = \frac{\sigma^2}{2\kappa\,\varepsilon_0} \qquad \text{... (7.24)}$$

ఇలా, ఒక సమాంతర ఫలకల కండెన్సర్ యొక్క నిక్షిప్త శక్తి, ఆ ఫలకములను విడదీయుటకు చేసిన యాంత్రిక పనికి సమానము. ఈ శక్తి విద్యుత్ రోధకములో నిక్షిప్తంగా ఉండడమో, అంతర్గతంగా ఉండడమో చేస్తుంది. ఈ శక్తిని, విడదీయగల భాగాలున్న లేడిన్ జాడీనుపయోగించి సులభంగా చూపగలము. ఈ రకంగా నిక్షిప్తమైన శక్తి విద్యుత్ రోధకపు శక్తి $1/2\,\kappa\,\varepsilon_0\,E^2$ జౌల్‌లు/మీటర్‌కు సమానము ఈశక్తి ఒక ఆవేశిత వాహకపు శక్తికిసమానము. ఎందువలనంటే ఈ వాహకం దాని నావరించిన గోడలతో వాటి మధ్యనున్న గాలి విద్యుత్ రోధకంగా ఒక కండెన్సరు వలె ఏర్పడుతుంది. రెండు వాహకాలలో ఒకటి విద్యుత్‌రోధక స్థిరాంకం κ కలిగి, రెండవది గాలి విద్యుత్ రోధకంగా కలిగి ఉంటే, వాటి రెంటికి శక్మాలు (V) సమానమయితే, అప్పుడు విద్యుత్ రోధకం, (κ) తోనున్న వాహకంలో శక్తి గాలి నావరింపబడిన వాహకపు శక్తికి κ రెట్లు అధికంగా ఉంటుంది. ఇది ఏవాహకమునకు అయినా లేక కండెన్సర్‌కు అయిన వర్తిస్తుంది.

ఈ ఫలకలను ఘటం రెండు ధృవాలకు సంధించి, వాటిని +q, —q ఆవేశితాలుగా చేశామనుకుందాం. ఇప్పుడు ఘటాన్ని తీసేసి, ఆవేశాలను స్థిరంగా ఉండేటట్లుగా చేస్తే, విద్యుత్ రోధక

B R A O U

స్థిరాంకం K గలరోధకమును ఫలకల మధ్య చొప్పిస్తే, అప్పుడు శక్మము 1/κ కు తగ్గుతుంది. శక్తి $\frac{q^2}{2C}$ కూడా ఇదే నిష్పత్తి $\frac{1}{\kappa}$ లోనే తగ్గుతుంది. అంటే శక్తి అదృశ్యమైందని భావం. ఈ అదృశ్యమైన శక్తి రోధకాన్ని ఫలకల మధ్య చొప్పించుటలో ఉపయోగించబడింది. ఈరకంగా గాకుండా, ఘటం సంధానాన్ని అట్లాగే ఉంచి, రోధకమును చొప్పించితే, శక్మం స్థిరంగా ఉంటుంది. అప్పుడు ఫలకముల ఆవేశం, తద్వారా శక్తి కూడా వాటి తొలుత ఉన్న విలువలకు రెట్లు పెరుగుతాయి. ఈ అధికమైన శక్తిని ఘటం ప్రసాదిస్తుంది. ఈ రోధకము కండెన్సర్ ఫలకం మధ్య ఆంశికం (partially) గా చొప్పిస్తే, ఈశక్తి కనిష్ఠ శక్తి స్థితిని పెంపొందుతుంది. అప్పుడు ఈ రోధకం పలకల మధ్యకు లాగబడుతుంది.

అట్లా, ఒకే శక్మానికి ఆవేశితం గావింపబడిన రెండు సమాన వాహకాలు, వాటి ఆవేశాలు, శక్తులను వాటి వాటి విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకంను అనులోమానుపాతంగా కలిగి ఉంటాయి.

V వోల్ట్‌ల ఘటానికి సంబంధింపబడిన, C పారడ్‌లు క్షమత్వముగల ఒక సమాంతర పలకముల కండెన్సర్‌లోని ఫలకాల మధ్యాంతరాన్ని తగ్గిస్తే, దాని క్షమత్వం పెరుగుతుంది. నిక్షిప్తమైన ఆవేశము కూడా పెరుగుతుంది. ఈ అధికమైన ఆవేశంను ఘటము సరఫరా చేస్తుంది. ఈ పద్ధతిని "స్థిరశక్మం వలన ఆవేశం" (charging at constant potential_ అని అంటారు. ఈ సమాంతర ఫలకలముల వాయు కండెన్సర్‌లో పలకలముల మధ్య దూరాన్ని మార్చినప్పుడు, శక్తిలోని మార్పు రెండు రకాలుగా అధ్యయనం చేయవచ్చు.

i) శక్మం ఆవేశం స్థిరంగా ఉంటే, శక్తిలోని మార్పు = $\frac{q^2}{2\varepsilon_0 A}(d - d^1)$

స్థిరంగా ఉంటే, శక్తిలోని మార్పు = $\frac{AV^2}{2\varepsilon_0}\left(\frac{(d - d^1)}{dd^1}\right)$

శక్మం (లేదా శక్మం భేదం) V_1, క్షమత్వము C_1 కుగల వాహకం (లేదా ధనాత్మకంగా ఆవేశితమైన కండెన్సరు ఫలకం) ఉందని అనుకొందాం. దీనిన శక్మం (లేదా శక్మ భేదం) V_2, క్షమత్వం C_2 గల ఇంకొక వాహకం (లేదా ధనాత్మకంగా ఆవేశితం చేయబడిన కండెన్సర్ ఫలకం)నకు సంధించామనుకుందా. అప్పుడు ఆవేశాలు పంచుకోబడి, $V_1 > V_2$ అవుతుంది. ఆ సమయంలో శక్తి నష్టం (ΔE)ని

$$\Delta E = \frac{C_1 C_2 (V_1 - V_2)^2}{2(C_1 + C_2)} \qquad \text{... (7.25)}$$

గా చూపవచ్చు.

$V_1 = V_2$ అయినప్పుడు తప్ప, ఈ శక్తి నష్టం ఎప్పుడూ ధనరాశియే $V_1 \neq V_2$ అయితే, ఆవేశములు పంచుకొన్నప్పుడంతా శక్తి నష్టం కలుగుతుంది. విద్యుఛ్ఛక్తి ఎప్పుడూ అదృశ్యం కాలేదు కాబట్టి, స్పర్శ (లేక సంధానం)కు ముందు మొత్తం ఆవేశం స్పర్శ తర్వాతనున్న మొత్తం ఆవేశమునకు సమానము. ఈ శక్తి నష్టం, ఆ రెండు వాహకాలను కలిపే వాహకంలో విస్ఫులింగం రూపంగానే లేదా వేడిగానే ప్రతిబింబిస్తుంది. ఒక కండెన్సర్‌ను నేలకు సంధించడం ద్వారా ఉత్సర్గం (discharge) చేయిస్తే, ఈ ఆవేశం అంతా నేలకు ఇవ్వబడుతుంది. ఆవేశిత కండెన్సర్ ఫలకలు లఘువలయం చేయబడి (short circuit) రకంగా అవుతుంది.

ఈ కండెన్సర్‌ను ఉత్సర్గం చేయడమన్న పద్ధతి ఫ్లాష్ ఫోటోగ్రాఫ్‌లు తీయడంలో వాడుతారు. ఫ్లాష్ ఉత్సర్గ పరికరంలో చాలా ఎక్కువ క్షమత్వంలో ఆవేశితమైన కండెన్సర్ ఒక అనార్ద్ర ఘటానికి సంధింపబడి ఉంటుంది. ఇది ఉత్సర్గ నాళిక ద్వారా ఉత్సర్గం చెందుతుంది. ఆ ఉత్సర్గ నాళిక (Discharge tube) లో అతి స్వల్ప పీడనం వద్ద వాయువు, ఒక మెగ్నీషియం తీగ ఉంటాయి.

మాదిరి లెక్క - 4 :

20μf క్షమత్వంలో ఆవేశితమైన 1500V శక్మంగల కండెన్సర్ A కు సమాంతరంగా 10μf క్షమత్వం కలిగి 150 V ఆవేశితమైన కండెన్సర్ B కు సంధించారు. సంధానం ముందు మొత్తం శక్తి, సంధానం తర్వాత శక్తి నష్టం సామాన్య (ఉభయ) శక్మంను కనుగొనండి.

జవాబు :

7.8 సారాంశం

సమాంతర ఫలకల క్షమశీలి క్షమత్వం C పలక వైశాల్యంకి (A) అనులోమానుపాతంలోను పలకల మధ్య దూరానికి విలోమానుపాతలో ను ఉంటుంది.

A మీద ఆవేశం = $20 \times 10^{-6} \times 1500 = 0.03$ కూలూంబ్‌లు.

B మీద ఆవేశం = $10 \times 10^{-6} \times 150 = 0.0015$ కూలూంబ్‌లు.

క్షమత్వం మొత్తం = $30\mu f$

సంధానం ముందు మొత్తం శక్తి = $\frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-6} \times (1500)^2 + (1/2)(10\times10^{-6}) \times (150)^2$

= 22.61 జౌల్‌లు

సంధానం తర్వాత శక్తి $= \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{(0.0315)^2}{2\times30\times10^{-6}}$

= 16.54 జౌల్‌లు.

= కాబట్టి శక్తి నష్టం = 6.07 జౌల్‌లు.

ఉభయశక్మం (Common potential) $= \frac{q}{C} = \frac{0.0315}{30\times10^{-6}} = 1050$ V

మాదిరి లెక్క – 5 :

$6.4 \times 10^{+6}$ మీ. వ్యాసార్థం గల భూమిని, స్వేచ్ఛావరణంలో నున్న ఒక ఆవేశిత గోళంగా ఊహించు కొని, దాని తలంపై 300 వో/మీ.ల విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ఆపాదించి దాని ఆవేశం, శక్తిని అది ఉత్సర్గతం చెందునప్పుడు జనితమైన శక్తి (ఉష్ణశక్తి)ని కనుగొనండి.

జవాబు :

విద్యుత్ తీక్షణత = E = 300 వో/మీ $\frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{q}{4\pi r^2 \varepsilon_0}$

కాబట్టి దానిపై విద్యుదావేశం = $\varepsilon_0 = 4\pi r^2 \varepsilon_0 E$

$q = 4\pi (6.4 \times 10^6)^2 \; 8.85 \times 10^{-12} \times (300) = 1.37 \times 107$ కూ.

శక్తి $= \frac{q^2}{2C} = \frac{(4\pi)^2 \; (6.4 \times 10^6)^4 \; \varepsilon_0^2 \; (300)^2}{2 \times 4\pi \; (6.4 \times 10^6) \; \varepsilon_0}$

$= 2\pi (300)^2 \; (6.4 \times 10^6)^3 \; \varepsilon_0$

$= 1.31 \times 10^{15}$ జౌల్స్.

జనితమైన ఉష్ణశక్తి $= \frac{1.3139 \times 10^{15}}{4.2}$ కాలరీలు.

మాదిరిలెక్క – 6 :

4 సెం.మీ. వ్యాసం గల గోళీయ వాహకం నుండి 20 సెం.మీ. దూరంలో నున్న బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత = 30 వో/సెం.మీ. వాహకపు శక్తిని గణించండి.

జవాబు :

E = 3000 వో/మీ.

$C = 4\pi\varepsilon_0 \; (0.02)$ V వద్ద 20 cm $= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 \; (0.02)}$

$V = E.d = \frac{q}{c}$ లేదా $q = 4\pi\varepsilon_0 \; (0.02) \; 3000 \; (0.02)$

$\frac{q^2}{2C} = \frac{[4\pi\varepsilon_0 \; (0.02) \; 3000 \; (0.02)]^2}{2 \times 4\pi\varepsilon_0 \; (0.02)}$

$4\pi q\varepsilon_0 = \frac{(3000)^2 \; (0.02)^3}{2} = 4.00 \times 10^{-13}$ జౌల్‌లు.

BRAOU

ఉంటుంది. అదే విధంగా, రబ్బరుకడ్డీని బొచ్చుతో రుద్ది ఆ తర్వాత ఆ బొచ్చును లోహపుగోళం దగరకు తీసుకొనివస్తే, ఎలక్ట్రాన్లు గోళంనుండి బొచ్చులోకి ప్రవహిస్తాయి. అంటే అది విట్రియస్

అంటే $C = \frac{A}{4\pi d}$

రెండు వేర్వేరు పదార్థాలలో చేయబడిన సారూప్య వాహకాలను ఒకే శక్మానికి ఆవేశితం చేస్తే వాటి ఆవేశాలు, శక్తులూ, వాటి వాటి రోధక స్థిరాంకాలకు అనులోమాను పాతంలో ఉంటాయి.

7.9 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నలకు సమాధానాలు విశదంగా వ్రాయండి.

1. ఒక ఆవేశిత సమాంతర పలక క్షమశీలిలో నిక్షిప్తమైన శక్తికి సంబంధించిన సమీకరణాన్ని సాధించండి. ఒక విద్యుత్ రోధకపు దిమ్మె ప్రభావం ఈ క్షమశీలిపై వివరించండి.
2. విద్యుదావేశం వల్ల ఒక వాహకం ప్రమాణ తల వైశాల్యం మీద పనిచేసే బలానికి సంబంధించిన సమీకరణాన్ని గణించండి.
3. బహుపలకల క్షమశీలిలో N పలకలను వేరుచేస్తూ గాలి యానకంగా ఉంది. దాని క్షమత్వం $C = \frac{(N-1)\,\varepsilon_0 A}{d}$ అని నిరూపించండి. దీనిలో A ఒక్కొక్క పలక వైశాల్యం, d పలకకు, పలకకు మధ్య దూరం.

II. క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి.

1. విద్యుదావేశం పలకల ఆకృతి పైన, పరిమాణం పైన ఆధారపడుతుందా? ఎందుచేత?
2. ఒక వివక్త వాహకగోళం ధనావేశితం చేయబడింది. దాని బరువు ఆవేశితం గావించడం వల్ల పెరుగుతుందా? తగ్గుతుందా? లేక మారదా? ఎందువల్ల?
3. a, b లు వ్యాసార్థాలుగా గలిగిన ఒక గోళీయ క్షమశీలిలో $b > a$ అయితే శక్మం క్షమత్వం విలువెంత?
4. ఒక వాహకం యొక్క శక్మం, క్షమత్వం అంటే మీకు అర్థమైన విషయాలను విపులీకరించండి.
5. ఒక క్షమశీలిని తక్కువ శక్మం గల మరియొక క్షమశీలితో జతచేసినప్పు డు శక్తి నష్టం జరుగుతుంది. ఎందుచేత?
6. సమాంతర పలకల మధ్య విద్యుత్ రోధకపు దిమ్మెని నెమ్మదిగా ప్రవేశపెట్టడం సాధ్యమా? కాకపోతే ఎందువల్లనో వివరించండి.

రచన, అనువాదం : డా. వి. రామమూర్తి

BRAOU

భాగం - 8 విద్యుత్ రోధక యానకం

విషయక్రమం

8.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
8.2 ప్రవేశిక
8.3 విద్యుత్ రోధకం - పరమాణు దృక్పథం
8.4 విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం
8.5 సమాంతర ఫలకల కండెన్సర్ క్షమత్వంపై రోధక దిమ్మె ప్రభావం
8.6 విద్యుత్ భ్రంశం, విద్యుత్ ధృవణం, విద్యుత్ క్షేత్రం
8.7 సంయుక్త రోధకం నింపిన సమాంతర పలకల కండెన్సర్ క్షమత్వం
8.8 సారాంశం
8.9 నమూనా ప్రశ్నలు
8.10 చదవదగిన గ్రంథాలు

8.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం వివరణ ఉంది.

మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

1) విద్యుత్ రోధకం అంటే ఏమిటో విద్యుత్ రోధకాన్ని క్షమశీలిలో చొప్పించడం వల్ల క్షమత్వం ఎలా మార్పు చెందుతుందో వివరించ గలుగుతారు.
2) విద్యుత్ రోధకాల ప్రవర్తనను పరమాణు దృక్పథంతో వివరించ గలరు.

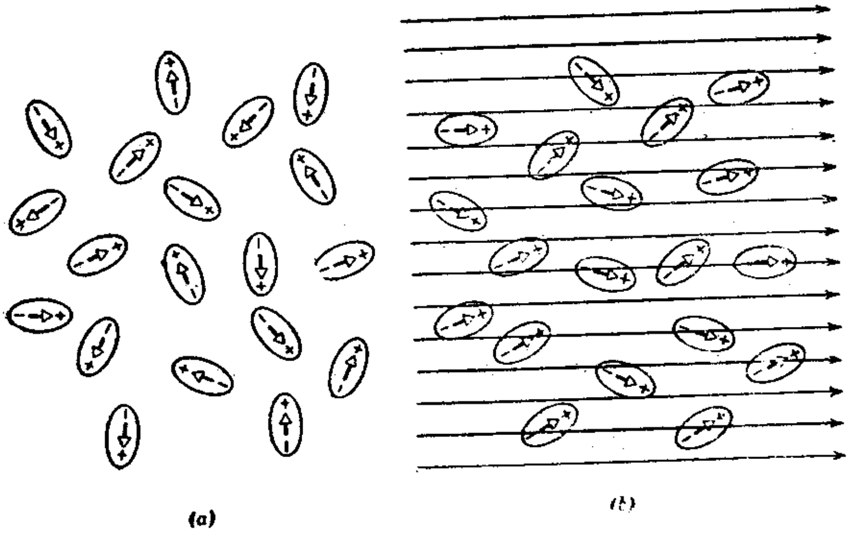
8.2 ప్రవేశిక

మీరు ఈ భాగంలో విద్యుత్ రోధక యానకం, క్షమశీలిలో విద్యుత్ రోధక యానకం ప్రభావం గురించి తెలుసుకుంటారు.

8.3 విద్యుత్ రోధకం - పరమాణు దృక్పథం

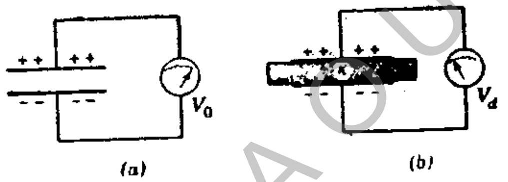
ఒక విద్యుత్ రోధకాన్ని విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉంచితే ఏం జరుగుతుందో చర్చిద్దాం. నీరులాంటి కొన్ని విద్యుత్ రోధకాల అణువులు ఎప్పుడు శాశ్వత విద్యుత్ ధృవణ భ్రామకాలను కలిగి ఉంటాయి. అటువంటి అణువులను ధృవాణువులు (Polar molecules) అంటారు. ఈ శాశ్వత ద్విధృవ భ్రామకాలు బాహ్య క్షేత్ర దిశతో సహఅక్షంలో ఉండేటట్లు అమరడానికి ప్రయత్నిస్తాయి. అయితే ఈ అమరిక (పటం 8.1 (a), (b)) (అంటే ఈ ధృవాణువుల సహపంక్తి రచనా స్థాయి) ఉష్ణ సంక్షోభం (thermal agitation) వలన పూర్తిగా జరుగదు. కాని ఈ సహపంక్తి రచనా స్థాయిని (a) విద్యుత్ క్షేత్రం పెంచడం ద్వారానే లేదా ఉష్ణోగ్రతను తగ్గించడం ద్వారానే పెంచంచ్చు.

BRAOU



పటం 8.1 a) క్షేత్రం లేనపుడు b) క్షేత్రం అనువర్తించినపుడు ధృవాణువుల సహపంక్తి రచన, యాదృచ్ఛిక దిగ్విన్యాసాలు

అణువులు ధృవాణువులు అయినా లేదా అధృవాణువులు అయినా, వాటిని విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉంచినప్పుడు వాటిలో కొంత విద్యుత్ ప్రేరణము ఉంటుంది. కాని ఈ బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం అణువు లేదా పరమాణువులలోని ఋణావేశ, ధనావేశాలను విడదీయుటకు ప్రయత్నిస్తుంది. ఈ ప్రేరిత విద్యుత్ ధృవ భ్రామకం బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం ఉన్నతం కాలం ఉంటుంది.



పటం 8.2 విద్యుత్ వలయంలో a) గాలియానకంగా b) రోధకం యానకంగా సమాంతర పలక కండెన్సరు

BRAOU

ఒక స్థిర ఆవేశం q కలిగి, ఘటానికి సంధింపబడని ఒక సమాంతర ఫలకం కండెన్సర్‌ను ఉపయోగిస్తామను కుందాం. (పటం 8.2) ఇది ఏకరీతి బహిర్ విద్యుత్ క్షేత్రం "E_0" ను కలిగిస్తుంది. ఒక రోధకము దిమ్మెను ఈ క్షేత్రంలో ఉంచుదాం. రోధకపు దిమ్మెపై విద్యుత్ ప్రభావము ఏమంటే, "పూర్తి దిమ్మెలో ధనావేశాల గరిమనాభి, ఋణావేశముల గరిమనాభి నుండి విడదీయబడడమే." అయినా, పూర్తి దిమ్మె మాత్రం విద్యుత్‌పరంగా తటస్థంగానే ఉంటుంది. కొబట్టి ధనావేశాల పేర్పు, దిమ్మె యొక్క ఒక ముఖం (కండెన్సర్ ఫలకల ముఖానికి సమాంతరంగా) మీద ఉంటాయి. దిమ్మె యొక్క రెండవ ముఖం (కండెన్సర్ ఫలకలకు సమాంతరంగా నన్ను ముఖం) పైన ఋణావేశము ఉంటుంది, కాని దిమ్మె లోపల ఏ ఆవేశం ఉండదు. అణువులు, పరమాణువులు సమంగా ఉంటాయి. రోధకాలలోని ఎలెక్ట్రాన్‌ల నిశ్చలస్థితి నుండి భ్రంశాలు పరమాణు వ్యాసాల కంటె తక్కువగా ఉంటాయి.

ఈ ప్రేరిత తలావేశాలు ఎల్లప్పుడూ "వాటివల్ల కలిగే విద్యుత్ క్షేత్రం (E_1)బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రము (E_0) అడ్డగించు రీతిలో ఉంటాయి. అపుడు ఫలిత విద్యుత్ క్షేత్రం E, $E= E_0+E_1$ అవుతుంది. ఒక రోధకంలో, బహిర్ క్షేత్రం వలన ప్రేరితమైన, తలావేశము ఎల్లప్పుడూ, ఆ విద్యుత్ రోధకంలోని సహజ క్షేత్రాన్ని (లేక ఆ క్షేత్రమును) తగ్గించే రకంగానే ఉంటుంది. ఈ విద్యుత్ క్షేత్రములోని బలహీనత్వము (weekening), ఎప్పుడూ (అరోధకమును ఆవేశిత బంధిత కన్‌డెన్సరు ఫలకముల మధ్య చొప్పించినపుడు, వాటిమధ్య కల) శక్మ భేధమును తగ్గించుట ద్వారా ప్రతిబింబిస్తుంది. మరీ

స్పష్టంగా చెప్పాలంటే, ఒక విద్యుత్ రోధక దిమ్మెను ఒక ఆవేశిత సమాంతర ఫలకల కండెన్సర్‌లో చొప్పించి నపుడు,

$$\frac{E_0}{E} = \frac{V_0}{V_d} = \kappa \quad ... (8.1)$$

(పటం 8.2 చూడండి).

స్థిర విద్యుచ్ఛక్తిలోని చాలా ప్రాథమిక సత్యాలకు 'ప్రేరిత విద్యుత్ తలా వేశమే' వివరణ. ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రంలో నున్న విద్యుత్ రోధక వస్తువు ఏమాత్రం విద్యుత్ బలానికి లోనవదు.

8.4 విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం

ఒక పదార్థము విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం లేదా సాపేక్ష ప్రవేశ్యత, K, దాని ఉష్ణోగ్రత, పీడనము స్ఫటిక స్థితి మొదలైన వాటిపై ఆధారపడుతుంది. అది పెక్కు విద్యుత్ స్థైతిక చర్యలలో చాలా ముఖ్య పాత్రను పోషిస్తుంది. ఘన, ద్రవ పదార్థాల రోధక స్థిరాంకం కంటె చాలా ఎక్కువ (ఎక్కువ) విలువ కలిగి ఉంటాయి. ఒక పదార్థపు విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకంను "రోధకాన్ని, సమాంతర ఫలకల కండెన్సర్ ఫలకల మధ్య చొప్పించినపుడు ఉన్న కెపాసిటర్ క్షమత్వం (C') కు, ఆరోధకం లేనప్పు డు కెపాసిటరు క్షమత్వము (C) కు గల నిష్పత్తిగా" కూడా నిర్వచింపవచ్చు. కొన్ని రోధకాల గుణాలు (ధర్మాలను) కూడా పట్టికలో చూపడమైంది.

రోధక స్థిరాంకములోని మార్పు

ఒక పదార్థపు విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం, దాని స్వచ్ఛత (purity) మీద మాత్రమే గాక, మిగతా పరామితులైన ఉష్ణోగ్రత, అనువర్తిత వోల్టేజి (applied voltage) యొక్క పౌనఃపున్యం, ఆర్ద్రత (humidity) మొదలైన వాటిపై కూడా ఆధారపడుతుంది.

పట్టిక 8.1లో యిచ్చిన రోధక సత్వంను మామూలుగా, 'రోధకంభంజనము (dielectic breakdown) జరుగకుండా, ఆరోధకంపై ఎంత గరిష్ట శక్మ ప్రవణత (potential gradient) ఆపాదించగలమో ఆ విలువగా నిర్వచిస్తారు.

ఘన పదార్థాల రోధక స్థిరాంకాలు ఉష్ణోగ్రతతో పెరుగుతూ ఉంటాయి కాని ద్రవ పదార్థాలకు ఉష్ణోగ్రత పెరుగుదలతో రోధక స్థిరాంకాలు తగ్గుతాయి.

8.5 సమాంతర పలకల కండెన్సర్ క్షమత్వంపై రోధక దిమ్మె ప్రభావం

తొలుతగా మైకేల్ ఫారడే, 1837 వ సంవత్సరంలో 'ఫలకముల మధ్యాంతరాళాన్ని రోధకంతో నింపితే కలిగే ప్రభావాలను అధ్యయనం చేశాడు. ఫారడే రెండు సర్వసమ కెపాసిటర్‌లను నిర్మించి ఒకదానిలో సాధారణ పీడనంలో గాలి యానకంగా ఇంకొకదానిలో రోధకం నుంచి అధ్యయనం చేశాడు. ఈ రెండు కెపాసిటర్‌లను ఒకే శక్మభేదానికి ఆవేశితం చేసినప్పుడు, అతడు ప్రయోగాత్మకంగా, "రోధకం యానకంగాగల కెపాసిటర్‌లో ఆవేశం రెండవ దానిలో ఆవేశం కంటె ఎక్కువ"ని కనుగొన్నాడు. అంటే ఒకేస్థాయి V కి, రోధకం ఉన్నప్పు డు ఆవేశం q ఎక్కువ ఉంటుంది. కాబట్టి, $C = q/V$ అనే సమీకరణం నుండి, "పలకల మధ్య రోధకం ఉంచినపుడు, కెపాసిటల్ క్షమత్వం పెరుగుతుంద"ని అర్థమవుతుంది. రోధకము నుంచినప్పు డు ఉన్న క్షమత్వం (C^1) లకు, రోధకం లేనపుడు క్షమత్వం (C) లకు గల నిష్పత్తిని ఆరోధకపు స్థిరాంకం అంటారు. పట్టిక 8.1లో రోధకాల ధర్మాలను వివరించినాము.

Dr. BRAOU
LIBRARY
Acc. No: T-3393
Class No: 530
BOU

పట్టిక 8.1 కొన్ని రోధకాల ధర్మాలు

పదార్థం	రోధక స్థిరాంకం	రోధకసత్వం (కి.వో/మి.మీ.)	పదార్థం	రోధక స్థిరాంకం	రోధకసత్వం (కి.వో/మి.మీ.)
ఫ్లిన్ట్ గాజు	5.0		శూన్యము	1.00000 (అనంతం)	∞
క్రౌన్‌గాజు	8.9		కాగితము	3.5	14
గంధకము	2.4		పింగాణి	6.5	4
ఎబొనైట్	3.2		సంయుక్త		
పారఫిన్	4.0		క్వార్ట్జ్	3.8	8
రబ్బరు	2.2		బెక్‌లైట్	4.8	12
మైకా	4.6		పాలిఎథిలీన్	2.3	50
అసిటోన్	21.0		పాలిస్టైరీన్	2.6	2.5
ఇథైల్‌ఆల్కహాల్	26.8		టెఫ్లాన్	2.1	60
స్వేదనజలము	78.0	–	నియోప్రిన్	6.9	12
గాలి	1.000 58	0.8	T_iO_2	100	6
ఉదజని	1.000.26	–			

రెండు కెపాసిటర్‌లు ఒకేస్థాయిలో ఆవేశంకలిగి ఉంటే, వాటివాటి శక్మ భేదములు వేరుగా ఉంటాయి. రోధకం ఉంచినపుడు, పలకల మధ్య శక్మ భేదం (V_d) రోధకం లేనపుడు పలకల మధ్య శక్మభేదం V_0 అయితే V_d, V_0 లను

$$V_d = \frac{V_0}{\kappa} \qquad \ldots (8.2)$$

అనే సమీకరణం తెలుపుతుంది.

అయితే

$$C = q/V,\ C_1 = \frac{q}{V_d} = \frac{q}{V_0/\kappa} = \kappa.\ \frac{q}{V_0} \qquad \ldots (8.3)$$

$$C_1 = \kappa C \qquad \ldots (8.4)$$

అట్లా సమాంతర ఫలక కండెన్సర్‌లో, ఫలకముల మధ్యాంతరాళంలో రోధకంను చొప్పించినందువలన, క్షమత్వమును K రెట్లు పెంచవచ్చు (K విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకము). సామాన్యంగా ఏ కెపాసిటర్ యొక్క క్షమత్వం నైనా

$$C = \kappa \varepsilon_0 L \qquad \ldots (8.5)$$

అనే సమీకరణం ద్వారా తెలుపవచ్చు. దీనిలో 'L' కెపాసిటర్ జ్యామితి మీద ఆధారపడుతుంది. దానికి 'పొడవు' యొక్క మితి (లేక పరిమాణం) ఉంటుంది. సమాంతర ఫలకల కండెన్సరుకు, $L = \frac{A}{d}$ గా ఉంటుంది. స్థూపాకార కండెన్సర్‌కు

$$L = \frac{2\pi l}{\log_e\ (b/a)}$$

B R A O U

8.6 విద్యుత్ భ్రంశం, విద్యుత్ ధృవణం, విద్యుత్ క్షేత్రం

విద్యుదయస్కాంత శాస్త్రంలోని లఘు సమస్యలకు (ఉదాహరణకు, ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రంలో లంబదిశలో ఉంచిన దీర్ఘ చతురస్రాకార దిమ్మె), రోధకాన్ని గూర్చి (ఇంతకు మునుపు చర్చించిన పాఠ్యాంశాల ప్రకారం ఇచ్చిన విషయ పరిశీలన చాలును. ఏకరీతి కాని బహిర్ విద్యుత్ క్షేత్రములో ఉంచిన రోధకములో విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణతను కనుగొనటం వంటి క్లిష్టతర సమస్యల సాధించడానికి, ఈ క్రింద ఇచ్చిన క్రొత్త రూపకల్పన చాలా అవసరం.

తలంమీద ప్రమాణ వైశాల్యంలో ప్రేరేపింపబడిన తలావేశమునువిద్యుత్ ధృవణం (electric polarization) అంటారు.

$$P = (q^1/A) \quad \ldots (8.6)$$

ఈ ఆవేశానికి "ధృవణము" అన్నమాట చాల చక్కగా అమరుతుంది. దీనికి కారణం రోధకం ధృవణం చెందినప్పుడు మాత్రమే ఈ ప్రేరిత తలావేశము q' కనబడుతుంది అనే సత్యం. సమీకరణం 8.4లో లవ, హారముల రెంటిని రోధకపు దిమ్మె మందం d చే గుణిస్తే, విద్యుత్ ధృవణం p ను ఇంకొక తుల్య పద్ధతిలో నిర్వచింప వచ్చును.

$$P = \frac{q^1 d}{Ad} = \frac{\text{ప్రేరితవిద్యుత్ద్విధృవభ్రామకం}}{\text{దిమ్మెఘనపరిమాణం}} \quad \ldots (8.6a)$$

q'd, Ad లు వరుసగా ప్రేరిత విద్యుత్ ద్విధృవ భ్రామకం మరియు దిమ్మె ఘనపరిమాణాలు కాబట్టి విద్యుత్ ధృవణంను, "విద్యుత్ రోధకపు ప్రమాణ ఘనపరిమాణంలో ప్రేరేపింపబడిన విద్యుత్ ద్విధృవ భ్రామకంగా" కూడా నిర్వచింపవచ్చు. ఈ నిర్వచనము బట్టి P ని సదిశరాశిగా పరిగణింపవచ్చు. దీనికి కారణం ప్రేరిత విద్యుత్ ద్విధృవ భ్రామకం కూడా సదిశరాశిగా ఉండడమే. ఈ ధృవణం P దిశ ప్రేరిత ఋణావేశం నుండి ప్రేరిత ధనావేశం వైపు ఉంటుంది.

q, q^1 లు వరసగా పలకలమీద స్వేచ్ఛావేశం, ప్రేరిత తలావేశాలు, A అనునది ఫలకముల వైశాల్యం అయితే q, q' ఈకింది సమీకరణం చేత సంధింపబడింది.

$$\frac{q}{A} = \varepsilon_0 = \frac{q}{(\kappa \varepsilon_0 A)} + \frac{q^1}{A} \quad \ldots (8.7)$$

ఈ సమీకరణంను మరల పునర్వ్యవస్థీకరిస్తే

$$\frac{q}{A} = \varepsilon_0 E + P \quad \ldots (8.8)$$

అవుతుంది.

సమీకరణం(8.5)లో కుడివైపు ఉన్న పరిమాణం, విద్యుత్ స్థైతిక సమస్యలలో చాలాసార్లు కనబడుతుంది. దానిని విద్యుత్ భ్రంశం (D) అని వ్రాస్తే

$$D = \varepsilon_0 E + P \quad \ldots (8.9)$$

అప్పుడు $D = \frac{q}{A}$ ... (8.10)

అవుతుంది.

విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత E, ధృకణం P రెండు రాశులూ, సదిశాత్మకాలే కాబట్టి D కూడా సదిశరాశిగా ఉండాలి.

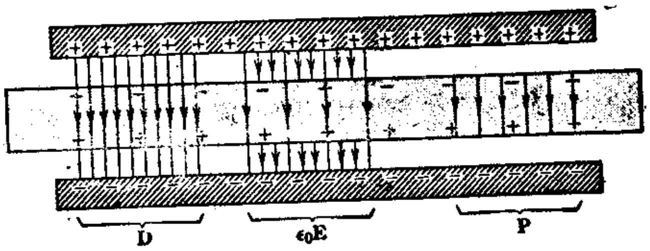
కాబట్టి $\vec{D} = \varepsilon_0 E + \vec{P}$

ఇంకా క్లిష్టతర సమస్యలలో, $\vec{D}$, $\vec{E}$, లు $\vec{P}$ లు పరిణామాలలోను, దిశలలోను కూడా బిందువు, బిందువుకు మారవచ్చు. నిర్వచనం ప్రకారం, ఈకింది విషయాలను గమనించవచ్చు.

BRAOU

1. విద్యుత్ భ్రంశము

D స్వేచ్ఛావరణంలోని ఆవేశాలతో మాత్రమే సంబంధం కలిగి ఉంటుంది. విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత ను బలరేఖలచే చూపించినట్లే, సదిశ క్షేత్ర D ను భ్రంశ రేఖలు D చే చూపించవచ్చు. (పటం 8.3) భ్రంశ రేఖలు D స్వేచ్ఛావేశాల మీద ఆరంభమయి స్వేచ్ఛావేశముల మీదనే అంతమొందుతాయి.



పటం 8.3 రోధకములో భ్రంశ, క్షేత, ధృవణాలు

2. విద్యుత్ ధృవణం

P ధృవణావేశాలతో మాత్రమే సంబంధం కలిగి ఉంటుంది. వీటిని కూడా రేఖలచే సూచింపవచ్చు. ఈ రేఖలు (ధృవణరేఖలు) ధృవణావేశాల మీద ఆరంభమయి మరల ధృవణావేశాల మీద అంతమొందుతాయి.

3. విద్యుత్ క్షేత్రం

విద్యుత్ క్షేత్రం E మాత్రం అక్కడ ఉన్న అన్ని ఆవేశాలతో సంబంధం కలిగి ఉంటుంది. ఆ ఆవేశాలు స్వేచ్ఛావేశాలు అయినా, లేదా ధృవణావేశాలు అయినా అక్కడ E ఉంటుంది. విద్యుత్ క్షేత్ర రేఖలు ఈ రెండు రకాల ఆవేశాల ఉనికిని ప్రతిబింబిస్తాయి.

భ్రంశం D ధృవణం P ప్రమాణాలు ఒక్కటే అవి కూలుంబ్/మీటరు^{2}గా ఉంటే క్షేత్ర తీక్షణత యొక్క ప్రమాణం న్యూటను/కూలుంబ్ మాత్రమే.

విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత E, తగినచోట ఉంచిన శోధనావేశం మీద పనిచేసే బలంవలన నిర్ధారింప బడుతుంది. ఇది చాలా మౌలికమైన ప్రాముఖ్యం కలది. D,Pలు క్లిష్టతర సమస్యలో సాధనకు ఉపకరించే సహాయక సదిశరాశులు మాత్రమే.

$$D = \frac{q}{A} = \kappa \varepsilon_0 \left(\frac{q}{\kappa \varepsilon_0 A}\right) = \kappa \varepsilon_0 E \quad \text{... (8.11)}$$

$$P = \frac{q^1}{A} = \frac{q}{A}\left(1-\frac{1}{\kappa}\right) = D\left(1-\frac{1}{\kappa}\right) \quad \text{... (8.12)}$$

$$P = \kappa \varepsilon_0 E \left(1-\frac{1}{\kappa}\right) = \varepsilon_0 (\kappa - 1) E \quad \text{... (8.13)}$$

సమీకరణము 8.13లో వలన, శూన్యంలో $\kappa = 1$అయినప్పుడు, ధృవణ సదిశరాశి P శూన్యమవుతుంది. (కొన్ని రకాలైన మైనాలు కరిగిన స్థితిలో ఉన్నప్పుడు ధృవణం చెందితే, అవి బహిర్గతమైన ధృవణకారులైన క్షేత్రము తీసివేసినా కూడా, ఘనీభవించిన తరవాత కూడా ఆ ధృవణంను స్థిరముగా ఉంచుకుంటాయి. అటువంటి వాటిని 'ఎలక్ట్రెట్'లు అంటారు. వాటిలో శాశ్వతమైన స్థిరమైన విద్యుత్ ద్విధృవ భ్రామకాలు ఉండడం వల్ల, ఇవి శాశ్వత అయస్కాంతాలకు విద్యుత్ సదృశ్యాలు (electric analogues) అవుతాయి. అయస్కాంతాలకు సదృశ్యమైన నామమే 'ఎలక్ట్రెట్' ఏ వస్తువుల నుండి ఎలక్ట్రెట్‌లను తయారు చేయవచ్చునో, ఆ వస్తువులను 'ఫెర్రో ఎలక్ట్రిక్'లు అంటారు. ఎలక్ట్రెట్‌లు సమీకరణము 8.13నకు తలనొగ్గవు. ఎందుకంటే E = O అయినా P ≠ O). అంటే విద్యుత్ ధృవణము రోధకాలు ఉన్నప్పుడే ఉంటుందని స్పష్టమవుతుంది. సమీకరణ (8.11), (8.18) ఒకే విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకాలు κ గల సమదైశిక వస్తువులలో D, P ల దిశ, ఏ బిందువు వద్దనైనా, అక్కడి దిశతో ఏకీభవిస్తుందని తెలుపుతుంది.

విద్యుత్ భ్రంశంనకు, గౌసు సిద్ధాంతంను, అంటే

BRAOU

$$\oint \vec{D} \cdot \vec{ds} = q \qquad \text{... (8.14)}$$

అనే సమీకరణముచే తెలుపవచ్చు. దీనిలో q స్వేచ్ఛావేశాలను మాత్రమే తెలుపుతుంది. ప్రేరిత తలావేశాలు వదలి వేయబడినవి అని అర్థము. పట్టిక 8.2లో విద్యుత్ సదిశరాశులు D, E, P ల ప్రాథమిక ధర్మాలను చూపాము.

పట్టిక 8.2 మూడు విద్యుత్ సదిశరాశులు

పేరు	సంకేతము	వీటితో అనుసంధించబడింది	సీమాస్థితి
విద్యుత్ క్షేత్ర సత్వం	E	అన్ని ఆవేశాలు	స్పర్శ రేఖీయాంశము అవిచ్ఛిన్నం (సతతం)
విద్యుత్ భ్రంశం	D	స్వేచ్ఛావేశాలు మాత్రమే	లంబాంశము అవిచ్ఛిన్నం (సంతతం)
ధృవణం	P	ధృవణావేశాలు మాత్రమే	శూన్యంలో అదృశ్యమౌతుంది.

E కి నిర్వచనా సమీకరణం	$\vec{F} = q\vec{E}$
మూడు సదిశరాశుల మధ్య సామాన్యసంబంధం :	$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$
రోధక యానకం ఉన్నప్పుడు గౌసు సిద్ధాంతం	$\oint \vec{D} \cdot \vec{ds} = q$ (q స్వేచ్ఛావేశాలు మాత్రమే)
కొన్ని రోధక వస్తువులకు అనుభవిక (emperical) సూత్రము	$\vec{D} = \kappa \varepsilon_0 \vec{E}$ $\vec{P} = (\kappa - 1) \varepsilon_0 \vec{E}$

BRAOU

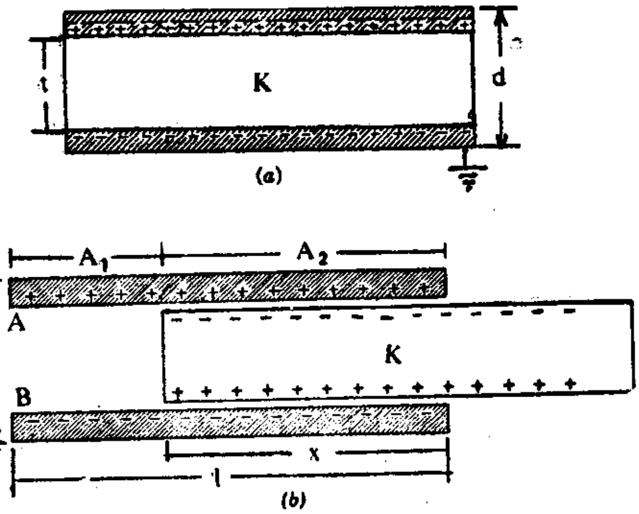
ఏకరీతి విద్యుత్ రోధకం

పరమాణు స్థాయిలో విద్యుత్ రోధకప్రవర్తన, పతన బహిర్ క్షేత్రం వలన ప్రేరితములైన తలావేశములు గురించి ఈ భాగం ప్రథమ భాగాలలో చదివాం. విద్యుత్ క్షేత్రం తీక్షణత, శక్మాల మార్పులను గురించి కూడా మనం ముందుభాగాలలో చదివాం. గాజుదిమ్మెవంటి ఏకరీతి విద్యుత్ రోధకాన్ని చూపించినప్పుడు క్షమత్వం, దానితోబాటు శక్మం, విద్యుత్భ్రంశం వంటి ఇతర పరామితులలో మార్పులను ముందు భాగాలలోనే చర్చించినాం.

మనం ఇప్పుడు సమాంతర ఫలకలుగల కండెన్సర్‌ల మధ్య ప్రదేశంలో ఒక సంయుక్త రోధకంను చొప్పించినప్పుడు, ఈ క్షమత్వం, ఆవేశం, శక్మభేదం, విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత విద్యుత్ భ్రంశములు ఎట్లా మార్పు చెందుతుందో చర్చిద్దాం.

8.7 సంయుక్త రోధకం నింపిన సమాంతర పలకల కండెన్సర్ క్షమత్వం

ఈ సంయుక్త రోధకంను కండెన్సర్ ఫలకల మధ్యాంతరాళంలో చొప్పించినపుడు, A,B ఫలకల మధ్య శక్మ భేదము మార్పు వస్తుంది. (పటం 8.4)



పటం 8.4 సంయుక్త రోధకం నింపిన సమాంతర ఫలక కన్‌డెన్సరు

A, B ఫలకల మధ్య శక్మభేదంను గణించుటకు, గాలి మరియు రోధకాలు నింపిన భాగాలలో మనము $V = -\int \vec{E}.\vec{dr}$ అనే సమాసాన్నే వాడుతాం.

ఫలకములు ఆశికంగా విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం K మందం t సె.మీ. గల దిమ్మెతోనూ, మరో అంశికంగా (d --- t) మందంగల వాయువు (గాలి)తోనూ విడదీయబడి ఉంటుంది. అప్పు డు ఫలకల మధ్య శక్మభేదం

$$V = \int_{(d-t)}^{0} -\frac{\sigma}{\varepsilon_0}\,dt + \int_{0}^{t} -\frac{\sigma}{\kappa\,\varepsilon_0}\,dt \qquad \text{... (8.15)}$$

$$V = \frac{\sigma}{\varepsilon}\,(d - t) + \frac{\sigma t}{\kappa\,\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\left(d - t + \frac{t}{\kappa}\right) \qquad \text{... (8.16)}$$

కాని $\sigma = q/A$

కాబట్టి క్షమత్వం

$$C = q/V = \frac{A\varepsilon_0}{\left(d - t + \frac{1}{\kappa}\right)} = \frac{A\varepsilon_0}{\left(d - \frac{t(\kappa - 1)}{K}\right)} \qquad \text{... (8.17)}$$

$t = d$. అయితే $C = \frac{\kappa\,A\,\varepsilon_0}{d}$ ... (8.18)

అవుతుంది.

మందం $t = d$ అయినప్పు డు

విద్యుత్ రోధకం చొప్పింపక పూర్వం ఉన్న (మూల) శక్మభేదం = $\frac{\sigma d}{\varepsilon_0}$ ఇది విద్యుత్ రోధకం చొప్పించిన తరవాత ఉన్న శక్మభేదం కంటే ఎక్కువ. అయితే విద్యుత్ రోశకంను చొప్పించిన తర్వాత క్షమత్వం ఎక్కువ అవుతుంది.

ఫలకముల మధ్యాంతరాళంలో విద్యుత్ రోధకంను చొప్పించినందువలన, విద్యుత్ భ్రంశం D విలువలో ఏమీ మార్పు ఉండదన్న విషయాన్ని ముఖ్యంగా గమనించాలి. దీనికి కారణం

$\kappa_1 E_1 = \kappa_2 E_2$ స్థిరం ... (8.19)

BRAOU

విద్యుత్ రోధకంను చొప్పించినందువలన శక్మం తగ్గుతుంది కాబట్టి క్షమత్వాన్ని ముందు ఉన్న విలువలోనే ఉంచాలంటే, ఫలకల మధ్య దూరంను పెంచాలి. ఎక్కువ చేయవలసిన దూరం x ను

$$x = \frac{(\kappa - 1)\,t}{K} \qquad \dots (8.20)$$

(ఫలకల మధ్యాంతరాళంలో గాలితోబాటుగా) వరుసగా విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకములు K_1, K_2 గలిగి, మందాలు t_1, t_2 గల రోధకములు ఉంటే, శక్మభేదం

$$\text{శ.భే.} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\left(d - (t_1 + t_2) + \left(\frac{t_1}{\kappa_1} + \frac{t_1}{\kappa_2}\right)\right) \qquad \dots (8.21)$$

సర్వసాధారణంగా, వరుసగా విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకములు κ_1, κ_2 .... మరియు మందాలు t_1, t_2 .... గల రోధకాలను సమాంతర ఫలకములు కండెన్సర్ ఫలకముల మధ్య ఉంచినపుడు

$$\text{శక్మభేదం} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\left(d - (t_1 + t_2 + \dots) + \frac{t_1}{\kappa_1} + \frac{t_2}{\kappa_2}\right) + \dots$$

$$\text{క్షమత్వం } C = \frac{A\varepsilon_0}{\left(\left(d - \frac{t_1(\kappa_1 - 1)}{\kappa_1} - \frac{t_2(\kappa_2 - 1)}{\kappa_2}\right)\right)} \qquad \dots (8.22)$$

లేదా

$$C = \frac{A\varepsilon_0}{\left(\frac{t_1}{\kappa_1} + \frac{t_2}{\kappa_2} + \frac{t_3}{\kappa_3} + \dots\right)} \qquad \dots (8.23)$$

సమీకరణం 8.22 $d > (t_1 + t_2 + t_3 + \dots)$ అయినప్పుడు వర్తిస్తుంది. సమీకరణం (8.13) ఫలకముల మధ్యాంతరాళములో గాలి గాకుండా పెక్కు విద్యుత్ రోధకములు ఉన్నప్పుడు మాత్రం వర్తిస్తుంది.

కాని విద్యుత్ రోధకం, ఫలకలు A, B ల మధ్య అంశికంగాను, వెలుపల మిగతా అంశం ఉన్నప్పుడు సందర్భం వేరేగా ఉంటుంది. (పటం 8.4b) అప్పుడు దాని క్షమత్వమును ఈక్రింది రకంగా నిర్ధారిస్తారు.

A_1, A_2 లు వరుసగా A, B ఫలకల మధ్య వాయువు (గాలి)చేతను, మరియు విద్యుత్ రోధకం చేతను ఆవరించ బడిన వైశాల్యాలు. మనము ఫలకముల చివరలోను మరియు విద్యుత్ రోధకం చేత ఆవరించ బడిన ప్రదేశములులోను తప్ప మిగిలిన వాయుపూరిత ప్రదేశంలో బలరేఖలు సరళరేఖలుగా ఉంటుంది అనుకుంటే,

BRAOU

$$C = \frac{A_2\varepsilon_0}{\left(\frac{d - (\kappa - 1)t}{\kappa}\right)} + \frac{A_1\varepsilon_0}{d} \qquad \dots (8.24)$$

A_1 ను తగ్గిస్తే C కూడా తగ్గుతుంది.

పటం 8.4b లో మందం $t = d$ (మధ్యాంతరాళం) అయినప్పుడు

$$C = \frac{\kappa A_2 \Sigma_0}{d} + \frac{A_1\varepsilon_0}{d} \qquad \dots (8.25)$$

l = ఫలకము యొక్క పొడవు, x ఫలకం లోపలినున్న విద్యుత్ రోధకాంశం పొడవు, ఫలకం వైశాల్యం A అయితే

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{(l - x)}{l}\ ;\ A_1 + A_2 = A$$

$$A_1 = \frac{l - x}{l}A;\ A_2 = \frac{x}{l}A$$

A_1, A_2 ల విలువలను సమీకరణం (8.25)లో ప్రతిక్షేపిస్తే $t = d$ అయినప్పుడు

$$C = \left(\varepsilon_0 \frac{x}{l}A + \frac{(-x + l)}{l}A\,\varepsilon_0\right) d \qquad \dots (8.26)$$

$$C = \frac{\kappa \varepsilon_0 (xA)}{kd} + \frac{(1-x) A\varepsilon_0}{kd} \quad \ldots (8.27)$$

$$\text{శక్మభేదం } V = \frac{q}{C} = \frac{\sigma A}{C} = \frac{\sigma\, ld}{\varepsilon_0[(\kappa - 1) x+1]} \quad \ldots (8.28)$$

ఆవేశం $q = CV$

విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత $E_0 = \frac{q}{\varepsilon_0 A}$

విద్యుత్ భ్రంశం $D = \kappa \varepsilon_0 A \frac{(\kappa.q)}{A}$

మాదిరిలెక్క - 1 :-

2 చ.మీ. వైశాల్యం గల ఒక సమాంతర ఫలకల కండెన్సర్ ఫలకల మధ్యాంతరాళము 5×10^{-3} మీ. కలిగి ఉన్నవి. వాటిమధ్య శక్మభేదం 10^4 వోల్టులు అయితే (i) (a) ప్రతి ఫలకములపై విద్యుదావేశము (b) క్షమత్వం (c) ప్రతిఫలకంపై తల ఆవేశ సాంద్రత σ (d) విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత (e) మధ్యాంతరాళములో విద్యుత్ భ్రంశంను కనుక్కోండి.

(ii) ఘటముల కొనలను విడదీసి, 5 విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం, 0.5×10^{-2} మీ. మందంగల రోధకంను ఫలకల మధ్య చొప్పిస్తే, క్షమత్వం, విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత, శక్మ భేదం, విద్యుత్ భ్రంశములను కనుక్కోండి.

జవాబు :

i) $C = \frac{\varepsilon_0 \kappa A}{d} = \frac{8.9 \times 10^{-12} \times 1 \times 2}{5 \times 10^{-3}} = 3.56 \times 10\text{-}3\ \mu F.$

$q = CV = 3.56 \times 10^{-9} \times 10^4 = 3.56 \times 10^{-5}$ కూ.

$\sigma = \frac{q}{A} = \frac{3.56 \times 10^{-5}}{2} = 1.78 \times 10^{-5}$ కూ./చ.మీ.

$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{1.78 \times 10^{-5}}{8.9 \times 10^{-12}} = 2.0 \times 10^6$ వో./మీ.

$D = \varepsilon_0 E = \frac{1.78 \times 10^{-5} \times 8.9 \times 10^{-12}}{8.9 \times 10^{-12}} = 1.78 \times 10^{-5}$ వో./మీ.

ii) $C_1 = C.\kappa = 3.56 \times 10^{-9} \times 5 = 17.8 \times 10^{-3}\ \mu F$

$q_1 = C^1 V = 17.8 \times 10^{-9} \times 10^4 = 17.8 \times 10^{-5}$ కూ.

$\sigma_1 = \frac{q^1}{A} = \frac{17.8 \times 10^{-9} \times 10^4}{2} = 8.9 \times 10^{-5}$ కూ./చ.మీ.

$E_1 = \frac{\sigma^1}{\kappa\varepsilon_0} = \frac{8.9 \times 10^{-5}}{5 \times 8.9 \times 10^{-12}} = 2.0 \times 10^6$ వో./మీ.

$D_1 = \varepsilon_0 KE^1 = \frac{5 \times 8.9 \times 10^{-5} \times 8.9 \times 10^{-12}}{5 \times 8.9 \times 10^{-12}} = 8.9 \times 10^{-5}$ వో./మీ.

శ.భే. $p.d = E_1.d = 2 \times 10^6 \times 0.5 \times 10^{-2} = 1 \times 10^4$ వో.

మాదిరిలెక్క - 2:

0.5 సెం.మీ. మందం, 7.0 విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకముగల విద్యుత్ రోధకపు దిమ్మెను 100 చ.సెం.మీ. వైశాల్యం, 10 సెం.మీ. మధ్యాంతరాళంగా గల సమాంతర ఫలకల కండెన్సర్ మధ్యాంతరాళములో నుంచబడింది. మధ్యాంతరాళంలో రోధకం లేనప్పుడు ఫలకల మధ్య శక్మభేదం= 100 వోల్టులు. దిమ్మెను చొప్పించే ముందు క్షమత్వం C_0 ను కనుక్కోండి.

జవాబు :

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d} = \frac{8.9 \times 10^{-12}\text{కూ}^2/\text{న్యూ.మీ}^2 .(10^{-2}\text{మీ}^2)}{1 \times 10^{-2}\text{మీ.}}$$

$= 8.85\ \mu\mu f.$

BRAOU

స్వేచ్ఛావేశం $q = CV = 8.85 \times 10^{-12} \times 100 = 8.85 \times 10^{-10}$ కూలూంబ్‌లు కెపాసిటర్‌ను ఆవేశం చేసే పద్ధతి (technique) ననుసరించి, దిమ్మెను చొప్పించినా కూడా స్వేచ్ఛావేశం మారకుండా స్థిరంగా అట్లాగే ఉంటుంది. కాని ఆవేశం సమకూర్చే ఘటంను విడదీస్తే, ఆవేశం అట్లాగే ఉండదు.

గౌస్ సిద్ధాంతం ననువర్తించి

$$\varepsilon_0 = \int K \vec{E} . \vec{ds} = \varepsilon_0 EA = q$$

(దీనిలో $\kappa = 1$. దీనికి కారణం అభివాహక సమాకలనం (flux integral) గావించే తలం ఏ విద్యుత్ రోధకం గుండా పోకపోవడమే) కాబట్టి,

$$E = \frac{q}{\varepsilon_0 A} = \frac{8.9 \times 10^{-10}}{8.9 \times 10^{-12} \times 10^{-2}} = 1 \times 10^4 \text{ వో/మీ.}$$

దిమ్మెను చొప్పించినా కూడా విద్యుత్ క్షేత్రం E మారదని గమనించ వలెను. కాని రోధక యానకంలో మాత్రం విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత మారుతుంది. ఆ రోధక యానకంలో

$$\varepsilon_0 = \kappa A = q$$

దీనిలో 'κ' ఉనికికి కారణం సమశక్మతలం రోధకం గుండా పోవడమే. కాని కుడివైపున 'q' ఉనికికి కారణం ఫలకం మీద ఆవేశము స్వేచ్ఛావరణంలో ఉండడమే.

$$E^1 = \frac{q}{\kappa \varepsilon_0 A} = \frac{E}{\kappa} = \frac{1 \times 10^4}{7} = 0.14 \times 10^4 \text{ వో./మీ.}$$

ఫలకముల మధ్య శక్మభేదము = V

$$V = -\int \vec{E} . \vec{dl} = E(d-t) + E^1 t$$

$$= 1 \times 10^4 (5 \times 10^{-3}) + (0.14 \times 10^4 \times 5 \times 10^{-3})$$

$V = 57.15$ వోల్టులు.

ఇది మూల అనువర్తిత శక్మభేదమగు (original applied potential) 100 వోల్ట్‌లకు భిన్నంగా ఉంటుంది.

దిమ్మె ఫలకల మధ్యాంతరాళంలో ఉన్నప్పు డు, క్షమత్వం C,

$$C = \frac{q}{V} = \frac{8.9 \times 10^{-10}}{57} = 15.61 \ \mu\mu F.$$

రోధకము దిమ్మెను చొప్పించినపుడు, ఈ శక్మభేదం 100 వోల్టుల నుండి 57.15 వోల్టులకు పడిపోగా, క్షమత్వం మాత్రం 8.85 μμf నుండి 15.4 μμf, దాదాపు 1.74 రెట్లు పెరుగుతుంది. ఈ రోధకం దిమ్మె ఫలకల మధ్యాంతరాళంను పూర్తిగా ఆక్రమిస్తే, అప్పు డు క్షమత్వం K = 4 రెట్లు పెరుగుతంది.

విద్యుత్ రోధకములో

$$E = \frac{\kappa}{\kappa \varepsilon_0 A} = \frac{8.9 \times 10^{-10}}{7 \times 8.9 \times 10^{-12} \times 10^{-2}} = \frac{1}{7} \times 10^4$$

$= 1.43 \times 10^3$ వోల్ట్‌లు/మీ.

$D =$ విద్యుత్ భ్రంశం $= K\varepsilon_0 E$

$= 7 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 1.43 \times 10^3 \approx 8.85 \times 10^8$ కూ./చ.మీ

$P =$ విద్యుత్ ధృవణం $= \varepsilon_0 (K-1) E$

$= 8.85 \times 10^{-12} \times 6 \times 1.43 \times 10^3 \approx 75.4 \times 10^{-9}$ కూ./చ.మీ.

వాయుపొరలో

$E = \frac{q}{\varepsilon_0 A}$ వోల్ట్‌లు/మీ.

$D = \varepsilon_0 E = 8.85 \times 10^{-12} \times 10^4 = 8.85^{-8}$ కూ/చ.మీ.

$P = \varepsilon_0 (K-1) E = \varepsilon_0 ((1-1) E = 0$

కాబట్టి మధ్యాంతరాళంలో విద్యుత్ రోధకం ఉన్నప్పు డు

$D = (\varepsilon_0 E + P) = (8.85 \times 10^{-12} \times 1.43 \times 10^3) + (7.54 \times 10^{-8})$

$= 8.85 \times 10^{-8}$ కూలూంబ్/చ.మీ.

వాయుపొరలో (రోధకం వెలుపల)

$(\varepsilon_0 E + P) = 8.85 \times 10^{-8}$ కూలూంబ్/చ.మీ.

కాబట్టి విద్యుత్ భ్రంశం D విద్యుత్ రోధకంలోను, వాయుపొరలోను కూడా ఒకే విలువ కలిగి ఉంటుంది.

మాదిరి లెక్క – 3:

ఒక సమాంతర ఫలకముల కండెన్సర్‌ను శక్మభేదం V స్థాయికి ఆవేశితము చేసి, ఆ తరవాత బంధితం చేశారు. 4 మి.మీ. మంద కల రోధకపు గాజుదిమ్మెను పలకముల మధ్య చొప్పించినప్పుడు తిరిగి అదే శక్మభేదం ఉండునట్లు చేయడానికి పలకల మధ్య దూరంను 3.2 మి.మీ.లు పెంచాలి. గాజు విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకంను కనుక్కోండి.

జవాబు :

దిమ్మెను చొప్పించినప్పుడు, శక్మం తగ్గుతుంది. శక్మం అట్లే ఉండడానికి ఫలకముల మధ్యాంతరాళము 'x' ను పెంచాలి. x విలువ

$$x = \frac{\kappa - 1}{\kappa} \text{ లేదా } \frac{1}{\kappa}(1 - x/t)$$

$$\kappa = \frac{1}{1-(x/t)} = \frac{1}{1-(3.2/4)} = \frac{1}{0.2} = 5.$$

కావున గాజు విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం = 5.

మాదిరి లెక్క – 4

K విద్యుత్ స్థిరాంకం, t మందంగల విద్యుత్ రోధకపు దిమ్మెను సమాంతర పలకల-కండెన్సర్ యొక్క పలకల మధ్యాంతరాళంలోకి చొప్పిస్తే కలిగే శక్తి మార్పుకు సమాసమును ఉత్పాదించండి.

జవాబు :

a) విద్యుదావేశం స్థిరంగా ఉన్నప్పుడు

$$\text{క్షమత్వం} = \frac{A\varepsilon_0}{d - t(1 - 1/K)}$$

$$\text{శక్తి} = \frac{q^2}{2C} = \frac{q^2}{2A\varepsilon_0}\left(d - t\left(1 - \frac{1}{K}\right)\right)$$

కావున దిమ్మెను చొప్పించినందు వలన శక్తి

$$\frac{q^2}{2A\varepsilon_0} t\,(1 - 1/\kappa) \text{. పరిమాణం మేరకు తగ్గుతుంది.}$$

d = t అయినప్పుడు, దిమ్మె మందం సమాంతర ఫలకలముల కన్‌డెన్సరు యొక్క గాలి పొర (వాయుపొర) మందానికి సమానమయినపుడు, శక్తిలోని తగ్గుదల

$$\frac{q^2}{2\kappa A\varepsilon_0}$$

b) శక్మం స్థిరంగా ఉన్నప్పుడు (అంటే) ఘటం రెండు కొనలు పలకలకు సంధించి ఉన్నపుడు

$$\text{క్షమత్వం} = \frac{A\varepsilon_0\kappa}{\left(d - t\left(1 - \frac{1}{\kappa}\right)\right)}$$

$$\text{అందువలన శక్తి} = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{A\varepsilon_0\kappa V^2}{\left(d - t\left(1 - \frac{1}{\kappa}\right)\right)}$$

రోధకం లేనప్పటికన్నా, రోధకంను చొప్పించిన తర్వాత శక్తి ఎక్కువగా ఉంటుంది.

కాబట్టి పై రెండు సందర్భాలు మనకు a) ఆవేశము స్థిరముగా ఉన్నప్పుడు, శక్తికి $\frac{q^2}{2C}$ అనే సమీకరణాన్ని (b) శక్మం స్థిరంగా ఉన్నప్పుడు, శక్తికి $\frac{1}{2}CV^2$ అనే సమీకరణాన్ని వాడాలని సూచిస్తాయి.

BRAOU

8.8 సారాంశం

విద్యుత్ రోధకాన్ని బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉంచినపుడు ఋణాత్మక, ధనాత్మక విద్యుదావేశాల కేంద్రాలు విడదీయ బడతాయి. ఆవేశాలు విడివడడాన్ని ప్రేరిత విద్యుత్ ధృవణం అంటారు.

అణువులు a) ధృవాణులు b) నిరధృవాణువులు అని రెండు రకాలు. నిర్ ధృవాణువులకు శాశ్వత విద్యుత్ ద్విధ్రువ భ్రామకం ఉండదు.

క్షమశీలి క్షమత్వం విలువ విద్యుర్రోధకంతో C^1, విద్యుత్ రోధకం లెకుండా C అయితే ఈ రెండు విలువల నిష్పత్తిని రోధక స్థిరాంకంగా నిర్వచిస్తాం.

$$K = \frac{C^1}{C}$$

విద్యుత్ స్థిరాంకం, ఉష్ణోగ్రత, పీడనం, పదార్థ స్ఫటిక స్థితి, అనువర్తిత విద్యుక్షేత్ర పౌనఃపున్యం మీద ఆధారపడుతుంది.

విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకం ఘన పదార్థాలలో ఉష్ణోగ్రత పెరిగే కొద్దీ పెరుగుతుంది. అయితే ద్రవ, వాయు పదార్థాలలో ఉష్ణోగ్రతతో తగ్గుతుంది.

8.9 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నలకు సమాధానాలు విశదముగా రాయండి.

1. ఒక సమాంతర పలక క్షమశీలిలో సంయుక్త విద్యుత్ రోధకం యానకంగా ఉన్నప్పు డు దాని క్షమత్వానికి సంబంధించిన సమీకరణాన్ని రాబట్టండి.
2. ఒక క్షమశీలిని విద్యుద్ఘటానికి కలిపి పలకల మధ్య విద్యుర్రోధక దిమ్మె జారవిడువ బడింది. దాని క్షమత్వం, ఆవేశం, శక్మభేదం, విద్యుత్ క్షేత్రసత్వం ఎలా మారుతాయో వివరించండి.
3. ఒక రోధకపు దిమ్మె (స్థిరాంకం K)ను సమాంతర పలకల మధ్య ప్రవేశపెట్టినప్పు డు విద్యుదావేశం స్థిరంగా ఉండగా శక్తి తగ్గింది. అయితే విద్యుత్ శక్మాన్ని స్థిరంగా ఉంచినప్పు డు శక్తి విలువ పెరిగింది. కారణాలు వివరించండి.

II. క్రింది ప్రశ్నలకు సమాధానాలు క్లుప్తంగా రాయండి.

1. ధృవాణువుల రోధక స్థిరాంకం ఉష్ణోగ్రతతో మారుతుందా? ఎందువల్ల? వివరించండి?
2. ఈక్రింది వాక్యాన్ని చర్చించండి? ఒక విద్యుత్ రోధక పదార్థంలో విద్యుత్ క్షేత్ర రేఖలను ఎంత సులభంగా విద్యుత్ రోధకం ప్రవేశింప జేస్తుందో తెలిపే ప్రమాణమే ప్రవేశ్యత.

III. క్రింది లెక్కలను సాధించండి.

1. ఒక సమాంతర ఫలకం కండెన్సర్‌ను A = 0.01 చ.మీ. d = 0.05మీ. శక్మభేదం =100 V. దీనిలో గాలిని యానకంగా వాడారు. ఇప్పు డు గాలిని విద్యుత్ రోధకం స్థిరాంకము 6 గల గాజుచే మార్పిడి చేసిన, క్రొత్త క్షమత్వము మరియు క్రొత్త శక్మ భేదాన్ని కనుగొనండి.

   (జవాబు : 640 μμf, 16.67 వోల్టులు)

2. 8×10^{-3} మీటర్ల మందముగల బంధిత వస్తువుచే చేయబడిన దిమ్మెను సమాంతర ఫలకల కన్‌డెన్సరు క్షమత్వము దాని మౌలిక విలువ (Original value) కు తిరిగి రప్పించుట కోసము. ఫలకముల మధ్య దూరమును 7 x 10 - మీ. పెంచాలని గమనించారు. బంధిత వస్తువు యొక్క విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకము గణించండి.

   (జవాబు : K = 8)

BRAOU

3. ఒక సమాంతర పలకల కన్‌డెన్సరు యొక్క పలకల మధ్య దూరము 24×10^{-2} 1.2×10^{-2} మీ. మందము, విద్యుత్ రోధక స్థిరాంకము విలువ 5 కలిగిన ఒక దీర్ఘ చతురస్రాకారపు దిమ్మెను ఫలకల మధ్య చొప్పించి, ఫలకల క్షమత్వము మార్పు చెందకుండా ఉండేవిధంగా, వాటి మధ్యాంతరమును పెంచారు. ఇప్పుడు ఫలకల మధ్యనున్న నూతన దూరమెంత?

(జవాబు : 3.36×10^{-2}మీ)

4. బాగా మధ్యాంతరము కల రెండు వర్షపు బొట్ల వ్యాసార్థములు వరుసగా 2 మరియు 3 మి.మీ. వాటిమీద శక్మములు వరుసగా 40 మరియు 60 వి.స్థై.ప్ర. ఆ రెండు నీటి బొట్లు కలిసినపుడు కరుగు శక్తి మార్పు ఎంత? వాటి శక్మస్థాయి ఎంత?

(జవాబు : 408 ఎర్గ్‌లు; 856 వి.స్థై.ప్ర.)

8.10 చదవదగిన గ్రంథాలు

1.	Halliday, D, and Resnick, R	Physics Part - II	Wiley Eastern Pvt. Ltd., New Delhi.
2.	Vasudeva, D.N.	Fundamentals of Electricity and Magnetism	S. Chand and Company New Delhi.
3.	Duckworth, E.	Electricity and Magnetism.	Holt-Reinhat and Winston. Pulications, New York.
4.	Bueche, F.J.	Introduction to Physics for Scientist and Engineers	Mc Graw-Hill International Book Company, New Delhi.
5.	Corsan, D.R. and Lorian, P	Introduction to Electromagnetic Fields and Waves.	Fremann Toppa, London.

రచన, అనువాదం : డా. వి. రామమూర్తి

B R A O U

ఖండం-3 విద్యుత్ ప్రవాహం నిరోధం

B R A O U

BRAOU

భాగం – 9 : విద్యుత్ ప్రవాహం

విషయక్రమం

9.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
9.2 ప్రవేశిక
9.3 ప్రవాహం, ప్రవాహ సాంద్రత భావన
9.4 అవసరవడి
9.5 నిరోధం
9.6 సారాంశం
9.7 నమూనా జవాబులు
9.8 నమూనా ప్రశ్నలు

9.1 ఉద్దేశాలు

ఈభాగంలో ప్రవాహం, ప్రవాహ సాంద్రతల వివరణ ఉంది.

మీరు ఈభాగం చదివిన తరువాత

1) విద్యుత్ వాహకంలోని ప్రవాహం, ప్రవాహ సాంద్రతలను వివరించగలుగుతారు.
2) అవసరవడి ప్రవాహ సాంద్రతకు అనులోమాను పాతంలో ఉంటుందని కూడా గ్రహిస్తారు.

9.2 ప్రవేశిక

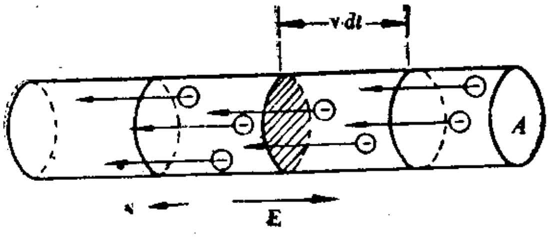
ఈ భాగంలో ప్రవాహం, ప్రవాహ సాంద్రతల గురించి తెలుసుకుంటాము.

9.3 ప్రవాహం, ప్రవాహ సాంద్రతల భావన

సాధారణంగా పెక్కు స్వేచ్ఛావేశాలున్న దానిని "వాహకం" అంటాము. దానిని విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉంచితే ఆ ఆవేశాలు అనువర్తిత క్షేత్రం వల్ల ఉద్భవించే బలం వల్ల గమిస్తాయి. లోహ వాహకంలో ఈ స్వేచ్ఛా ఆవేశాలు ఎలెక్ట్రనులు. విద్యుత్ విశ్లేష పదార్థంలో ఈ స్వేచ్ఛా ఆవేశాలు ఋణ, ధన అయాన్లు అని రెండు రకాలుగా ఉంటాయి. సరియైన స్థితిలో ఉన్న వాయువు (నియాన్ బల్బులోని వాయువు వలె) కూడా ఒక వాహకమే. దానిలో స్వేచ్ఛావేశాలు ఋణ, ధన అయానులే కాక ఋణ ఎలెక్ట్రానులు కూడా ఉంటాయి. ఈ స్వేచ్ఛావేశాల గమనాన్నే "ప్రవాహం" అంటారు. సూక్ష్మంగా విద్యుత్ప్రవాహం అంటారు.

ఒక వాహకంలో మనం సంతత విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని నెలకొల్పాలి అంటే అవిచ్ఛిన్న క్షేత్రాన్ని లేదా శక్మ ప్రవణాన్ని ఏర్పరచాలి. క్షేత్రం యొక్క ప్రమాణ పరిమాణం మారినప్పటికన్నీ మనం క్షేత్రాన్ని ఒకే దిశలో ఉంచగలిగితే అప్పుడు ఏర్పడే ప్రవాహాన్ని "ఏకముఖ" ప్రవాహము అంటాము. ఆవర్తనం మారే క్షేత్రంవలన ప్రవాహ దిశ కూడా మారుతుంది. కాబట్టి ఫలిత ప్రవాహాన్ని "ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహం" అంటారు. ఏకముఖ, ఏకాంతర ప్రవాహములకు వరుసగా D.C. మరియు A.C. అని సంకేతాలు వాడుకలో ఉన్నాయి.

ఒక లోహపు తీగ కొనలను ఒక అనార్ద్ర ఘటానికి లేదా ఒక సంచాయ ఘటమునకు కలిపితే ఆ తీగలో విద్యుత్ క్షేత్రం లేక శక్మ ప్రవణం ఏర్పడుతుంది. ఈక్షేత్ర ప్రభావం వల్ల ఈ తీగలోని స్వేచ్ఛా ఎలెక్ట్రాన్‌లు క్షేత్ర దిశకు ఎదురుగా పనిచేసే బలానికి గురి అవుతాయి. అందువల్ల ఆ దిశలో అవి త్వరిత పడతాయి. ఈ స్వేచ్ఛా ఎలెక్ట్రానులు స్థిరంగా ఉన్న ధనాత్మక అయానులతో అభిఘాతాలు చెందడం వల్ల వాటి గతి మందగిస్తుంది. తిరిగి అవి త్వరితపడుతూ ఉంటాయి. వాటి గతి ఈవిధంగా అనుక్రమంగా త్వరిత, మందమైన చలనంగా ఉంటుంది. కాని అవి ఒక నిర్దిష్ట సగటు వేగాన్ని క్షేత్రానికి వ్యతిరేక దిశలో పొంది ఆ సగటు వేగంతో నిలకడగా పోతాయి. ఈ ఎలెక్ట్రాన్‌లు ఉష్ణశక్తికి కూడా గురియగుట వలన అవి అస్తవ్యస్త చలనాన్ని పొందుతాయి. ఉష్ణ వికిరణము అస్తవ్యస్తంగా ఉంటుంది. కాని దానిని ప్రస్తుతము గ్రహింప నవసరంలేదు.



పటం 9.1 వాహకంలో స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రాన్ల గతి

పటం 9.1లో ఒక తీగయొక్క భాగమునందు కుడివైపున్న క్షేత్రమును తత్ఫలిత ఎలక్ట్రాన్‌ల గతిని ఎడమవైపుకు సూచింపబడింది. ప్రతి ఎలక్ట్రాన్ సగటు స్థిరవేగం V_d తో పయనిస్తుంది అనుకొందాం. dt కాల వ్యవధిలో ప్రతి ఎలక్ట్రాన్ పయనించే దూరము V_d dt అవుతుంది. పటంలో గీతలతో చూపబడిన మధ్యచ్ఛేదము వంటి యేతలన్నైనా 'dt' కాలములో దాటు ఎలక్ట్రాన్‌ల సంఖ్య, V_d dt పొడవుగల తీగభాగములో లేదా A v_d dt ఘనపరిమాణములో ఉండే ఎలక్ట్రాన్ల సంఖ్యగా ఉంటుంది. ఇచ్చట A తీగయొక్క మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం. ఏకాంక ఘనపరిమాణంలోని వాహక ఎలక్ట్రాన్‌ల సంఖ్య 'N' అయిన, ఆ తలాన్ని 'dt' కాలములో దాటు ఎలక్ట్రాన్ల సంఖ్య AN v_d dt, ప్రతి ఎలక్ట్రాన్ ఆవేశము 'e' అయిన ఆ తలాన్ని dt కాలంలో దాటు నికర ఆవేశం

$$dq = NAe\,v_d\,dt \qquad ...(9.1)$$

ఒక తలమునకు ఒకవైపునుండి రెండవ వైపునకు రవాణా చేయబడిన ఆవేశాల రేటు $\frac{dq}{dt}$ దీనిని తగయందలి ప్రవాహం అని అంటారు.

$$i = dq/dt \qquad ...(9.2)$$

పై రెండు సమీకరణాల నుండి

$$i = NAe\,v_d \qquad ...(9.3)$$

అవుతుంది.

మీ అవగాహనను పరీక్షించుకొనండి.

"ఆంపియర్" నిర్వచించండి.

M.K.S. వ్యవస్థలో ప్రవాహ ప్రమాణ "ఆంపియర్" (కూలూంబ్/సెకను). తక్కువ ప్రవాహాలు మిల్లి ఆంపియర్ (ma=10^{-3} ఆం). లేక మైక్రో ఆంపియర్ (μa = 10^{-6} ఆం.)లలో కొలువబడుతాయి.

వివిధ రకాల ఆవేశ కణాలు, నియాన్ ట్యూబ్‌లో వలె, వివిధ పరిమాణాల్లో ఉండి వేర్వేరు వేగా ు కలిగి ఉంటే, dt కాలంలో ఒక తలాన్ని దాటే నికర ఆవేశం

$$dq = Adt\,(N_1 q_1 v_1 + N_2 q_2 v_2 + N_3 q_3 v_3 + ...) \qquad ...(9.4)$$

ప్రవాహం

BRAOU

$$i = \frac{dq}{dt} = A \sum Nqv_d \quad \text{... (9.5)}$$

ప్రవాహమున్న ఒక తీగయందు స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రాన్‌లు దాని పొడవంతా సమవితరణతో పంపిణీ చేయబడి ఉంటాయి. దానిమధ్యచ్ఛేదం, ప్రవాహం స్థిరంగా ఉంటే ఆ ఎలక్ట్రాన్‌లు ఏ చ్ఛేదము వద్దనైనా సమంగా వితరితమై ఉంటాయి.

ఆ తీగలోని "ప్రవాహ సాంద్రత"ను సాధారణంగా 'J' తో సూచిస్తారు. ఇది ఒక సదిశరాశి. దానిని ఏకమాత్ర మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యము నందలి ప్రవాహమని నిర్వచించవచ్చు.

$$J = i/A = Nev_d \quad \text{... (9.6)}$$

పై సమీకరణం సగటు ప్రవాహ సాంద్రతను నిర్వచిస్తుంది. కాని ప్రవాహం సమవితరితం కానప్పు డు అనంత సూక్ష్మ వైశాల్యం 'dA' ను చాటు ప్రవాహం 'di' ని ఊహించి, ప్రవాహ సాంద్రతను

$$J = \frac{di}{dA} \quad \text{... (9.7)}$$

అని నిర్వచించాల్సి ఉంటుంది.

ఒక వస్తువు యొక్క ద్రవ్యరాశి, పొడవు, సాంద్రతల వలెనే ప్రవాహం 'i' ని కూడా ఒక స్థూలరాశిగా భావించవచ్చు. దీనికి అనురూపమైన సూక్ష్మరాశి ప్రవాహ సాంద్రత 'J' ఒక వాహకంలో, 'J' ప్రతి బిందువు వద్ద కొంతమవిలువను కలిగి ఉంటుంది. అది ఆ బిందువు యొక్క అభిలక్షణం కాని మొత్తం వాహకము యొక్క అభిలాక్షణిక ధర్మంకాదు. సదిశ J యొక్క అభివాహము 'ds' తలమునకున్న, 'J,i' లకు గల సంబంధం.

$$i = \oint \vec{J} \cdot \vec{ds} \quad \text{... (9.8)}$$

ఇందులో ds తల వైశాల్యము అంశ సమాకలనాన్ని సమస్యలోని తలం మీద తీసుకొంటారు.

మాదిరిలెక్క – 1

ఒక సెం.మీ. వ్యాసము కల ఒక రాగి వాహకం 100 ఆం.ల ప్రవాహమున్న దానిని పరిశీలిద్దాం. దాని ప్రవాహ సాంద్రత

$$J = \frac{i}{A} = \frac{100}{\frac{1}{4}\pi (0.01)^2} = 1.27 \times 10^6 \text{ ఆం./మీ.}$$

రాగిలోహంలో ఎలక్ట్రాన్‌ల సాంద్రత 8.5×10^{28} ఎలక్ట్రాన్‌లు/మీ^{3}. అయిన ఎలక్ట్రాన్‌ల అపసరవడి

$$V_d = \frac{J}{Ne} = \frac{1.27 \times 10^6}{8.5 \times 10^{28} \times 1.6 \times 10^{-19}} = 0.93 \times 10^{-4} \text{ మీ/సెం.}$$

అందువల్ల ఈ వేగం అతి తక్కువ. స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రాన్‌ల సగటు వేగాన్ని కాంతి, మరియు విద్యుత్ తరంగాల వేగముగా పొరపడరాదు. ఆ వేగము 3×10^8 మీ./సె.

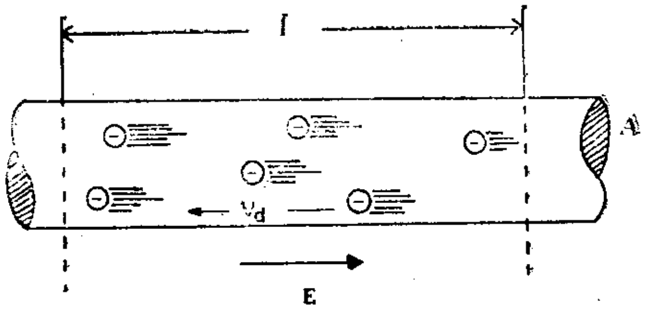
9.4 అపసరవడి

చాల పరిస్థితులలో మనం ఆవేశ వాహకాలను, అనగా వాహకములోని ఎలక్ట్రాన్‌లను చిన్న కణాలుగా భావింపవచ్చు. ఈ ఆవేశాలు అస్తవ్యస్త తాపగమనానికి గురి అవుతాయి. అందువల్ల ఒక లోహంలో ఎలక్ట్రాన్‌లు బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం లేనప్పుడు కూడా చలిస్తూ ఉంటాయి. ఏవిధంగానైనా ఆ లోహంలో విద్యుత్ క్షేత్రం ఏర్పడినప్పు డు ఆ క్షేత్ర ఫలితబలం వల్ల ఎలెక్ట్రాన్‌ల గతి, స్థితి కొంత పరివర్తన చెందుతుంది. ఆ ఎలెక్ట్రాన్‌లు ఉష్ణశక్తి వలన ఆకస్మిక అస్తవ్యస్త గతికి సుమారుగా 10^5 మీ./సె.లోనై నెమ్మదిగా బాహ్య క్షేత్ర ప్రభావము వలన సమాంతర దిశలో సుమారు 0.1 సెం.మీ.తో అపసరణం చెందుతాయి.

BRAOU

పటం 9.2 అనువర్తిత విద్యుత్ క్షేత్రం ఎలక్ట్రాన్లను వేగంతో కుడివైపుకు అపసరణం చేస్తుంది
విద్యుత్ క్షేత్రం E దిశ ఏది?

ఈ పరిస్థితిని పటం 9.2 సూచిస్తుంది. ఇచ్చట అపసర ఫలితం, భావనను అర్థం చేసుకోవడానికి మామూలు కంటె అధికముగా చూపబడింది. ప్రవాహ సాంద్రత J నుంచి అవసరవడి V_d ని గణించవచ్చు.



పటం 9.3 వాహకంలో ఎలక్ట్రాన్లు విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేక దిశలో అపసరణ చెందుట

పటం 9.3 ఒక లోహపు తీగలో ఎడమవైపుకు v_d వేగంతో పోవు ఎలెక్ట్రాన్‌ల అపసరణమును, కుడివైపుకు పనిచేసే విద్యుత్ క్షేత్రమును తెలుపుతుంది. N, ఏకాంక ఘన పరిమాణంలోని వాహక ఎలెక్ట్రాన్‌ల సంఖ్య అయితే Al ఘనపరిమాణము నందలి ఎలెక్ట్రాన్‌ల సంఖ్య NAl అవుతుంది.

$$q = (NAl)e \qquad \text{... (9.9)}$$

పరిమాణం గల ఆవేశం కుడినుంచి ఆ తీగయందు ప్రవహించుటకు కావలసిన కాలము 't' ని

$$t = \frac{l}{v_d} \qquad \text{... (9.10)}$$

గా రాయవచ్చు. 'i' ప్రవాహాన్ని

$$i = \frac{q}{t} = \frac{NAle}{l/v_d} = NAev_d \qquad \text{... (9.11)}$$

సమీకరణం 9.6, 9.11 నుండి v_d కోసం సాధిస్తే

$$V_d = \frac{i}{NAe} = \frac{JA}{NeA} = \frac{J}{Ne} \qquad \text{... (9.12)}$$

అవుతుంది.

కనుక అవసరవడి, ప్రవాహ సాంద్రత J కు అనులోమ అనుపాతంలో ఉంటుంది. ఎలెక్ట్రాన్‌ల సంఖ్యకు విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

మాదిరిలెక్క – 2

0.25 సెం.మీ.ల వ్యాసం గల ఒక రాగితీగ, 0.16 సెం.మీ.ల వ్యాసంగల ఒక వెండి తీగకు అతికించబడింది. ఈ సంయోగ తీగ 5.0 ఆం.ల స్థిర ప్రవాహాన్ని కలిగి ఉంటే ప్రతి తీగలోని ప్రవాహ సాంద్రత ఎంత?

జవాబు :

ప్రతి వాహకపు మధ్యచ్ఛేదంలోను ప్రవాహము సంధి దగ్గర తప్ప ఏకరీతిగా వితరణ చెందుతుంది. అందువలన ప్రతి తీగలోను అన్ని బిందువుల వద్ద ప్రవాహ సాంద్రత స్థిరంగా

B R A O U

ఉంటుంది అనుకోవచ్చు. వెండి తీగ మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం = 0.049 (సెం.మీ.)^2 సమీ. (9.6) నుంచి

$$J_{Cu} = \frac{i}{A} = \frac{5amp}{(0.049cm)^2} = 120\ amp/cm^2$$

రాగి తీగ మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం = 0.02 (సెం.మీ)^2 కాబట్టి

$$J_{Ag} = \frac{i}{A} = \frac{5amp}{(0.02cm)^2} = 250\ amp/cm^2$$

ఇందులో తీగల పదార్థాలు వేరు అనే అంశం గణనలోకి రాదు.

మాదిరి లెక్క 3

మాదిరిలెక్క - 2 లోని రాగి తీగయందలి అపసరవడి ఎంత?

జవాబు

రాగితీత ప్రవాహ సాంద్రత 102 ఆం/(సెం.మీ.)^2 రాగి తీగలో ప్రతి పరమాణువుకు ఒక స్వేచ్ఛా ఎలెక్ట్రాన్ ఉన్నదనుకోండి. ఏకాంక ఘనపరిమాణములోని పరమాణువుల సంఖ్య

$N = \frac{n_0 d}{M}$ ఇచ్చట n_0 అవగాడ్రో సంఖ్య

d, సాంద్రత, M రాగి పరమాణు భారం అప్పుడు ఏకాంక ఘన పరిమాణంలోని స్వేచ్ఛా ఎలెక్ట్రాన్‌ల సంఖ్య

$$N = \frac{n_0 d}{M} = \frac{(6 \times 10^{23}\ atoms/mole)\ (1\ electron/atom)\ (8.93\ gm/cm^3)}{63.54}$$

$$\approx 8.4 \times 10^{22}\ eletrons/cm^3$$

అపసరవడి $v_d = \frac{J}{Ne} = \frac{102\text{ఆం.}}{8.4 \times 10^{22} \times 1.6 \times 10^{-19}} = 0.008$ సెం.మీ.

అంటే రాగితీగలో ఎలెక్ట్రాన్‌లు ఒక సెం.మీ. అపసరించటానికి 125 సెకనులు కాలం పట్టుతుంది. అందుచేత ఎలక్ట్రాన్‌ల అపసరవడిని ఆ తీగయందు పయనించు విద్యుత్ క్షేత్ర మార్పుల పయన వేగం కాంతి వేగమునకు సమానమైన దానితో పొరపడరాదు.

9.5 నిరోధం

వాహకములో కూడా ఆవేశాలు కదులుటకు పరిపూర్ణంగా స్వేచ్ఛగా ఉండవు. పటం 9.2లో చూపినట్లు ఆవేశాలు అస్తవ్యస్త పథాన్ని అవలంబిస్తాయి. ఆ వాహకములో స్థిరంగా ఉన్న పరమాణువుల భాగాలతో ఆ ఆవేశాలు అభిఘాతము చెందుట వల్ల ఈ పథం ఏర్పడుతుంది. ముందు చర్చించినట్లు ఈ ప్రయాణం చేసే ఆవేశాలు అభిఘాతాలు చెందునపుడు విద్యుత్ క్షేత్రము వలన పొందిన శక్తిని చాలా వరకు కోల్పోతాయి. ఈవిధంగా కోల్పోయిన శక్తి ఆ వాహకంలో ఉష్ణంగా మారుతుంది. క్లుప్తంగా ఈ విద్యుత్ శక్తిని ఉష్ణశక్తికి మార్చిడిని గమనిస్తున్న ఆవేశాలపై పనిచేయు ఘర్షణ బలాలే కారణంగా భావించవచ్చు.

'V' ప్రమాణం గల పొటెన్షల్ తేడాను లేదా శక్మభేదాన్ని ఒక రాగి కడ్డీ మరియు ఒక ఇనుప కడ్డీ కొనలకు అనువర్తిస్తే వేరు వేరు ప్రవాహాలు నిస్తాయి. ఇచ్చట పరిగణించవలసినది వాహక లక్షణం, దాని నిరోధం మనం నిరోధాన్ని పొటెన్షల్ తేడా 'V' దాని యందుండు ప్రవాహం 'i' ల నిష్పత్తిగా నిర్వచించవచ్చు.

$$R = v/i$$

నిరోధ భావనను అర్థంచేసికొనడానికి వాహకంలోని ఆవేశాల ప్రవాహాన్ని గొట్టం ద్వారా ప్రవహించే నీటితో పోల్చవచ్చు. ఆ గొట్టం కొనల మధ్యపీడానాల తేడాని పంపు సహాయంతో ఏర్పరచటం జరుగుతుంది. ఈ పీడనంలోని తేడాను నిరోధకం కొనల మధ్య విద్యుత్ ఘటం సహాయంతో నెలకొల్పిన పొటెన్షల్ తేడాతో పోల్చవచ్చు. నీటి ప్రవాహాన్ని (సెం.మీ.^{3}/సె), విద్యుత్ ప్రవాహం (కూ./సె) తో పోల్చవచ్చును. నియమిత పీడనం తేడాకి నీటి ప్రవాహం రేటును గొట్టం

BRAOU

స్వభావం నిర్ణయిస్తుంది. అది సన్నమా లేక వెడల్పా? అది పొట్టిది లేక పొడవా? అది ఖాళీదా లేక ఇసుక లేక గులక రాళ్ళతో నింపబడి యున్నదా? మున్నగునవి. ఈ అభిలక్షణాలు వాహకం నిరోధానికి సదృశంగా ఉంటాయి.

9.6 సారాంశం

ఉత్తమ వాహకాలలో స్వేచ్ఛా ఆవేశాలు ఉంటాయి. ఈ ఆవేశాలు బాహ్యావిద్యుత్ క్షేత్రంలో చలిస్తాయి. ఏక మాత్ర వైశాల్యానికి చెందిన ప్రవాహాన్ని ప్రవాహ సాంద్రత అంటారు. ప్రవాహ సాంద్రత ఆవేశ ప్రమాణానికి, అపసరవడికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

9.7 నమూనా జవాబు

మీ అవగాహనను పరీక్షించుకొనండి - 1

ఆంపియర్ విద్యుత్ ప్రవాహానికి ప్రమాణము. ఒక సెకను కాలంలో ఒక కూలూంబ్ ఆవేశం ప్రవహిస్తే ఒక ఆంపియర్ విద్యుత్ ప్రవహించిందంటారు.

9.8 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానాలు రాయండి.

1. ఒక వాహకంలో అపసరవడి, చలన శీలతకు సమాసాలను ఉత్పాదించండి.
2. అపసరవడి అంటే ఏమిటో నిర్వచించండి? అపసరవడి విద్యుదయస్కాంత తరంగ వేగం అనే పదాలను గుర్తించి వాటికి కల భేదాలను వివరించండి.

II. క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి.

1. విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని, ప్రవాహ సాంద్రతని గుర్తించి వాటికి గల భేదాలు వివరించండి.
2. విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని, ప్రవాహ సాంద్రతని గుర్తించి వాటికి గల భేదమేమిటి? అవి రెండూ ఒకటేనా? వాటి ప్రమాణాలేవి?

III. ఈ క్రింది సమస్యలను సాధించండి.

1. 10 Ω ల నిరోధకంలో 4 నిమిషములు పాటు 5 ఆం.ల ప్రవాహం ఉంది. ఈ కాల వ్యవధిలో (1) ఎన్ని కులూంబ్‌లు ప్రవాహం ఉంటుంది? (2) ఎన్ని ఎలెక్ట్రాన్‌లు ఆ నిరోధకం యొక్క ఏ మధ్యచ్ఛేదమునైనా దాటుతాయి?

   (జ. 1200 కూ.; 7.5×10^{21} ఎలెక్ట్రానులు)
2. ఒక చదరపు అల్యూమినియము కడ్డీ పొడవు 1.0 మీ; భుజం 5.0 మి.మీ. (a) దాని కొనల మధ్య నిరోధం ఎంత? (b) పై నిరోధంతో సమానంగా ఉండేటట్లు 1.0 మీ. పొడవున్న వృత్తాకారపు రాగి దండం వ్యాసం ఎంత? (జ. 1.12×10^{-3} Ω. 2.2 మి.మీ.)
3. 12 నంబర్ గేజ్‌గల రాగితీగ వేడిచేయక ముందు ప్రవహింపగల గరిష్ఠ ప్రవాహం 30 ఆం.లు, వాని వ్యాసం 0.26 సెం.మీ. ఒక మీటర్ పొడవు తీగ నిరోధాన్ని గణించండి. 30 ఆం.లు ప్రవాహముంటే దాని కొనల మధ్య ఎంత ఎక్కువ శక్మ భేదం ఉండాలి?

   (జ. 3.2×10^{-3} Ω; 0.096V))

BRAOU

4. 10 మీ.ల పొడవు, 0.20 సెం.మీ.ల వ్యాసార్థం గల ఒక తీగ ఉంది. దాని కొనలకు 1.5V విద్యుత్ ఘటాన్ని కలిపితే దానిలో 0.70 ఆం.ల ప్రవాహం ఉంటుంది. దాని నిరోధాన్ని కనుగొని ఆ పదార్థం నిరోధకతను గణించండి. (జ. 2.14 Ω; 6.7×10^{-7} Ωమీ.)

రచయిత: డా. కె.వి. శివకుమార్

అనువాదం : డా. ఆర్.వి. రామచందర్

B R A O U

భాగం – 10 నిరోధకత, ఓమ్‌నియమం

విషయ క్రమం

10.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
10.2 ప్రవేశిక
10.3 నిరోధకత, విద్యుత్ వాహకత
10.4 ఓమ్ నియమం
10.5 నిరోధకత ఉష్ణోగ్రత గుణకం
10.6 నిరోధకత – పరమాణు దృక్పథం, మధ్యమ స్వేచ్ఛాపథం
10.7 సారాంశం
10.8 నమూనా జవాబులు
10.9 నమూనా ప్రశ్నలు

10.1 ఉద్దేశాలు,లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో నిరోధకత, వాహకత్వ వివరణ ఉన్నాయి.

మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

1) ఉష్ణోగ్రతతో నిరోధకతలోని మార్పుని వివరించగలుగుతారు.
2) వాహకం నిరోధకత వాహక పరిమాణం మీద కాని, ఆకారం పైన కాని ఆధారపడి ఉండదని తెలుసుకొంటారు. అనోమియ వాహకాలు ఏవో గుర్తించగలరు.

10.2 ప్రవేశిక

ఈభాగంలో నిరోధకత, వాహకత్వం గురించి తెలుసుకుంటారు.

10.3 నిరోధకత (విశిష్ట నిరోధం), విద్యుత్ వాహకత

ఒక వాహకం విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని నిరోధిస్తుందని మనం ముందే గమనించాము. అది స్నిగ్ధకరమైన ఘర్షణ బలానికి సాదృశ్యము, స్నిగ్ధతవల్ల మందగమనం కలిగించే బలాలు వస్తువుల వడికి అనుపాతంలో నుండుట వలన ఆవేశం 'q' యొక్క అవసరవడి 'V_d' దానిని చలింపచేసే విద్యుత్ బలం 'Eq' కు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుందని భావింపవచ్చు. అప్పు డు

$$v_d \approx Eq \qquad \text{... (10.1)}$$

అని రాయవచ్చు.

ఒక వాహకంలో ఆవేశం స్వేచ్ఛగా చలించగలిగితే 'Eq' బలం 'V_d' విలువను అతి ఎక్కువగా పెంచుతుంది. ఇట్టి పరిస్థితుల్లో ఆవేశ చలన శీలత చాలా ఎక్కువ అంటారు. ఇక వాహకంలో చలన శీలత 'μ' 'V_d', 'E' ల మధ్య అనుపాత స్థిరాంకంగా నిర్వచింపవచ్చు. అందువల్ల

$$v_d = \mu E \qquad \text{...(10.2)}$$

BRAOU

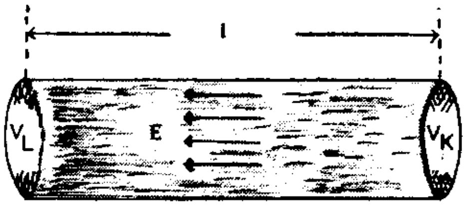
వాహకంలో ప్రవాహ సాంద్రతను కనుగొనడానికి v_d సమీకరణం (9.12)ను వాడవచ్చు. ప్రతిక్షేపించినప్పు డు

$$J = Nq V_d = Nq\mu E \quad \text{... (10.3)}$$

అవుతుంది.

μNq ను తరచుగా ఆ పదార్థపు వాహకత్వం 'σ' గా భావిస్తారు. దాని ఉత్క్రమాన్ని నిరోధకత 'ρ' అని అంటారు. ρ,σ లు ఆ పదార్థము యొక్క అభిలక్షణాలు. అవి వాహకం యొక్క ప్రమాణ, ఆకృతులపై ఆధారపడవు. ప్రవాహ సాంద్రత 'J' కి వాహకత్వము 'σ' లేక నిరోధకత 'ρ' గల సంబంధం

$$J = \sigma E = \frac{E}{\rho} = \frac{i}{A} v_d \quad \text{... (10.4)}$$



పటం 10.1 విద్యుత్ క్షేత్రం E ఏకరీతిలో ఉంటే $V_K - V_L = El$

ప్రయోగాత్మకంగా వాహకంలో ప్రవాహం దానికొనలకున్న శక్మ భేదాల సంబంధంతో మాత్రమే మనకు ప్రమేయం. ఉదాహరణకు పటం 10.1లో చూపినట్లు 'l' పొడవుగల వాహక తీగలో సమ విద్యుత్ క్షేత్రము 'E' అయితే దాని కొనలలో శక్మభేదం

$$V = Vk - VL = -\int_{l}^{k} \vec{E}\, \vec{dl} = El \quad \text{... (10.5)}$$

సదిశ సంకేతాలను వదిలేసి $E = \frac{V}{l}$ ను సమీకరణం (10.4)లో ప్రతిక్షేపిస్తే

$$V = \frac{\rho l}{A} i \quad \text{...(10.6)}$$

అవుతుంది. ఈ సంబంధాన్ని తరచుగా

$$V = iR \quad \text{... (10.7)}$$

అని రాస్తారు. ఇచ్చట సమలావుగల ఋజుతీగ కనుక $R = \frac{\rho l}{A}$. R, రాశి ఆ తీగయొక్క నిరోధం. పదార్థం యొక్క మూల ప్రవర్తనను పరిశీలించునపుడు సూక్ష్మరాశులు E, J, ρ మౌళికంగా ప్రాముఖ్యతను వహిస్తాయి.

మాదిరిలెక్క - 1

ఒక స్థూపాకార కార్బన్ కడ్డీ 2 సెం.మీ. వ్యాసము మరియు 50 సెం.మీ. పొడవు కలదు. దాని రెండుకొనల మధ్య కొలిచిన నిరోధం ఎంత? 20 °C వద్ద కార్బన్ నిరోధకత 3.5×10^{-5} ఓమ్ .మీ.

జవాబు

$$R = \frac{(3.5\times10^{-5} \text{ Ohm-m})\ (0.50 \text{ meters})}{\pi\ (0.01 \text{ meter})^2}$$

$= 0.055$ Ohm.

B R A O U

సమీ. (10.7) వలయములో ఏ మూలకం నిరోధాన్నైనా నిర్వచించుటకు వాడవచ్చు. దాని చివరల శక్మభేదం 'V' దానిలో ప్రవాహం 'i' అయితే నిరోధం $R = \frac{V}{i}$ అని నిర్వచించవచ్చు.

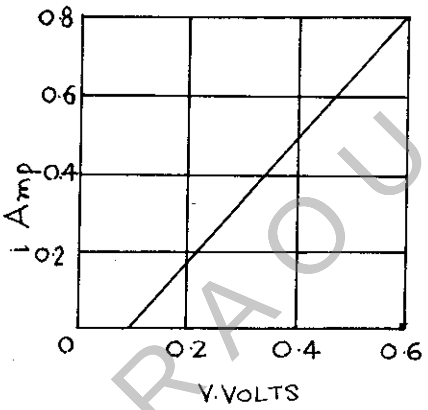
నిరోధం ప్రమాణం 'వోల్టు/కూ/సె' లేదా 'వోల్టు/ఆం'. ఈ ప్రమాణాన్ని ఓమ్ (Ω) అని అంటారు. నిరోధకత ప్రమాణం ఓం. సెం.మీ. వాహకత ప్రమాణము 'మో' (℧).

10.4 ఓమ్ నియమం

స్థిర ఉష్ణోగ్రత వద్ద సమీకరణం (10.7) $V = iR$, ఒక నిరోధం 'R' లో స్థిరప్రవాహం 'i' ని 'V' శక్మభేదంతో నెలకొల్పిన, ఎల్లప్పుడూ వర్తిస్తుంది. విభక్తము $\frac{V}{i}$ మూలకం నిరోధమని నిర్వచిస్తారు. ఈ సమీకరణాన్ని జార్జ్‌సైమన్ ఓమ్ (1789-1854) ప్రయోగాత్మకంగా కనుగొన్నాడు. V,i మిత అవధులలో 'R' స్థిరంగా ఉంటుందని అతడు తెల్పాడు.

$R = V/i$ ఓమ్ నియమం అంటారు.

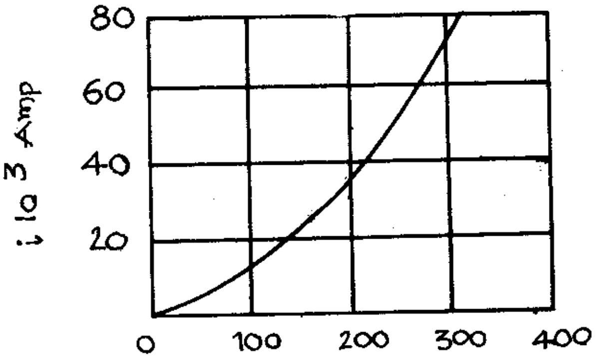
సాధారణంగా R స్థిరంగా ఉండదు. 'R' మారదన్న ఓమ్ భావాన్ని విడవాలి. అంతేకాక పదార్థాలను వేడిచేసినప్పుడు వాటి నిరోధం మారుతుంది. తత్ఫలితంగా ఓమ్ నియమం పాటింపబడదు. సమీ. (10.7) ఓమ్ నియమంలో ఒక గొప్ప భాగం, 'V', 'i' లను ఉష్ణోగ్రత తిరిగి పొందకలగినంత వరకు అది యెల్లవేళలా సహజమే. ఉష్ణోగ్రత స్థిరంగా ఉన్నంతవరకు ఇంచుమించు



పటం. 10.2 ఒక రాగి తీగలో శక్మభేదంతో విద్యుత్ప్రవాహం మారేతీరు ఇది ఓమ్ నియమాన్ని పాటిస్తుంది.

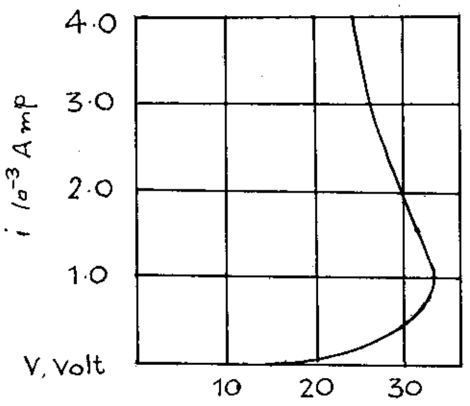
BRAOU

అన్ని లోహ వాహకాలకు ఓమ్ నియమం వర్తిస్తుంది. (పటం 10.2) పెక్కు వాహకాలు ఓమ్ నియమాన్ని పాటించవు. ఉదాహరణకు పటం 10.3లో శూన్య నాళిక యొక్క V-i గ్రాఫ్ చూపబడింది.



10.3 ఒక శూన్య నాళికలో విద్యుత్ప్రవాహం శక్మభేదంతో మారే తీరు ఈ వాహకం ఓమ్ నియమాన్ని పాటించదు

ఇది సరళ రేఖ కాదు. దాని నిరోధం కొలవడానికి ఉపయోగించిన వోల్టేజ్ మీద ఆధారపడుతుంది. పటం 10 .4 లో థర్మిస్టర్ (ఒక అనోమియ పరికరం) యొక్క లక్షణం చూపబడింది.



పటం. 10 .4 థర్మిస్టర్‌లో విద్యుత్ ప్రవాహం, శక్మభేదంతో విలక్షణంగా మారేతీరు ఈ వక్రరేఖ థర్మిస్టర్‌లో విద్యుత్ ప్రవాహం మారేకొద్దీ దాని మధ్య శక్మపాతాన్ని సూచిస్తుంది. ఈరేఖ ఆకారాన్ని బట్టి థర్మిస్టర్‌ను తయారుచేసిన పదార్థానికి హెచ్చు ఋణ నిరోధకత ఉష్ణోగ్రతా గుణకం గలదిగా ఊహించవచ్చు.

ఇదొక అర్థవాహకం (అర్థవాహకాలనబడు ఒక తరగతికి చెందిన పదార్థాలు వాహకాల బంధకాల మధ్య విద్యుత్ వాహన సామర్థ్యాన్ని కలిగినవి. (ఉదా: జెర్మినియం, సిలికాన్,) దీనికి హెచ్చైన ఋణ నిరోధకత ఉష్ణోగ్రతా గుణకం ఉండి ఉష్ణోగ్రతతో ఎక్కువగా మారుతుంది. శూన్య నాళికలు, స్ఫటిక ఏక దిక్కారులు థర్మిస్టర్‌లు, ట్రాన్సిస్టర్‌ల వంటి పెక్కు వాహకాలు ఓమ్ నియమాన్ని పాటించవు.

పట్టిక 10.1 నిరోధకతలు, ఉష్ణగతా గుణకాలు

పదార్థం	20^0C వద్ద నిరోధం (ρ)	20^0C వద్ద α(C°)
వెండి	1.6×10^{-8}	3.8×10^{-8}
రాగి	1.7 "	3.9 "
అల్యూమినియం	2.8 "	3.9 "
టంగ్‌స్టన్	5.6 "	4.5 "
నికల్	6.8 "	6.0 "
ఇనుము	10.0 "	5.0 "
మాంగనీన్	44.0 "	1000.0 "
గ్రాఫైట్ (కార్బన్)	3500.0 "	-0.5 "
గాజు	10^{11} "	--
క్వార్ట్జ్ (ఫ్యూజ్డ్)	75×10^{16}	--
అంబర్	5×10^{14}	--

మీ అవగాహనను పరీక్షించుకొనండి.

అనోమియ నిరోధాలు అనగా నేమి?

10.5 నిరోధకత ఉష్ణోగ్రతా గుణకం

పదార్థాల నిరోధకత ఉష్ణోగ్రతతో మారునని ప్రయోగాలు తెలిపాయి. లోహాలకు సాధారణంగా నిరోధం, ఉష్ణోగ్రత పెరిగిన కొద్దీ, హెచ్చుతుంది. కాని అర్థవాహకాల, బంధకాలకు తరచుగా ఉష్ణోగ్రత

BRAOU

పెరిగిన నిరోధకత తగ్గుతుంది. సీమిత ఉష్ణోగ్రతా వ్యాప్తుల పరిధిలో ఈ దిగువ సంబంధం వర్తిస్తుందని గమనించబడింది.

$$\rho = \rho_{ref} \{1 + \alpha\ (t - t_{ref})\}$$

లేక $$\rho = \rho_{ref}\ \{1 + \alpha\,(\Delta t)\}$$

...10.8

ఇందులో 't' ఉష్ణోగ్రత వద్ద 'ρ'నిరోధకత, 'ρ_{ref}' ప్రమాణ ఉష్ణోగ్రత 't_{ref}' వద్దనున్న నిరోధకత, α, నిరోధకత ఉష్ణోగ్రతా గుణకం అనబడు ఒక ప్రాయోగిక స్థిరాంకం. దీనికి క్రింది సంబంధం కలదు.

$$\alpha = \frac{1}{\rho}\frac{\Delta\rho}{\Delta t} = \frac{1}{\rho ref} = \frac{\rho\text{-}\rho ref}{t\text{-}tref}$$

రాగికి నిరోధకత 1.7×10^{-8} Ω-మీ. మరియు క్వార్ట్జ్‌నకు 10^{16} Ω-మీ. కొన్ని భౌతిక ధర్మాలు ఈ వ్యాప్తిలో కొలవబడతాయి. కొన్ని సాధారణ వస్తువుల ρ, α విలువలను పట్టిక 10.1 లో కూర్చబడినవి.

10.6. నిరోధకత – పరమాణు దృక్పథం, మధ్యమ స్వేచ్ఛాపథం

లోహంలోని సంయోజక ఎలెక్ట్రానులు పరమాణు కేంద్రకాలకు అంత గట్టిగా బంధింపబడవు. అవి జాలకం (వరుసలలో పరమాణ/వుల అమరిక)నందు స్వేచ్ఛగా తిరుగుతూ ఉంటాయి. వీటిని వాహక ఎలెక్ట్రానులు అంటారు. వెండి లోహంలో ప్రతి పరమాణువుకు ఇటువంటి ఎలెక్ట్రాను ఒకటి ఉంటుంది. తక్కిన 46 ఎలెక్ట్రానులు వెండి కేంద్రకానికి బంధింతమై అయానిక్ కోర్‌లుగా ఏర్పడతాయి. విద్యుత్ క్షేత్రం లేనప్పుడు ఆ ఎలెక్ట్రానులు అస్తవ్యస్తంగా, ఒక పాత్రలో బంధించిన వాయువు అణువులవలె, తిరుగుతూ ఉంటాయి. వాహక, ధనాత్మక అయాన్ కోర్‌లతో నిరంతరం అభిఘాతాలు చెందుట వలన ఆకస్మిక మార్పులు వాటివడిలోను, దిశలోను జరుగుతాయి. పాత్రలో బంధించిన వాయువు అణువుల అభిఘాతాలకు ఈ అభిఘాతాలు సమరూపాలు. అందుచేత మనం జాలక, ఎలెక్ట్రాన్ అభిఘాతాలను కూడా మధ్యమ స్వేచ్ఛా పథముతో వివరించవచ్చును. ఎలెక్ట్రాను అభిఘాతాల మధ్య ప్రయాణం చేసే సగటు దూరాన్ని τ అంటారు.

0^0K వద్ద ఒక ఆదర్శ లోహ స్ఫటికంలో జాలకం ఇంచుమించు ఆ ఉష్ణోగ్రత దగ్గర ఘనీభవించుటవలన ఎలెక్ట్రాన్ జాలక అభిఘాతాలు జరగవు. క్వాంటం భౌతికశాస్త్రం ప్రకారం అన్ని ఆదర్శ స్ఫటికాలకు T -> O అయితే λ-> ∞ అవుతుంది. కాని యదార్థ స్ఫటికాలలో అభిఘాతాలు జరుగుతాయి. అందుకు కారణాలు

1) ఏ ఉష్ణోగ్రత 'T' వద్దనైనా అయానిక్ కోర్‌లు వాటి సమతా స్థలాల వద్ద అనియత పద్ధతిలో కంపనం చేస్తుంటాయి.
2) మలిన పదార్థాలు అంటే, ఇతర పరమాణువులు ఉండవచ్చు.
3) పరమాణువులు వరుసలు తప్పడం లేక స్థానంభ్రంశం చెందడంవంటివి, జాలకంలో అసంపూర్ణతలు కూడా ఉండవచ్చు.

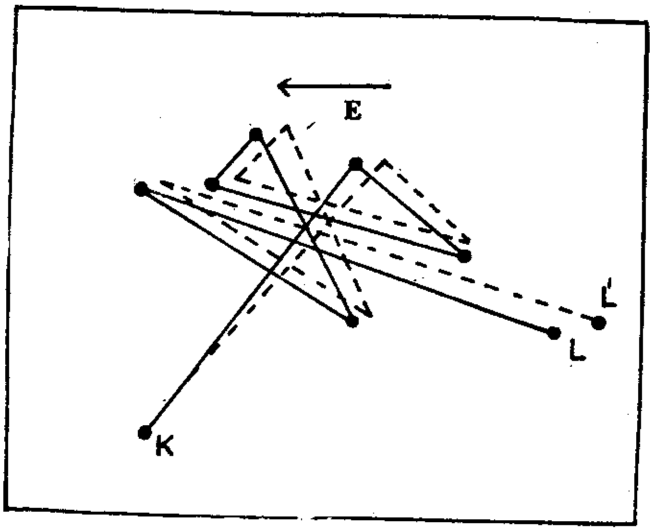
దీని ఆధారంగా ఒక లోహం నిరోధకతను క్రింది విధంగా పెంచవచ్చును. a) దాని ఉష్ణోగ్రతను పెంచి, b) కొద్దిగా మలిన పదార్థాలను కలిపి, c) అసంపూర్ణతలను పెంచుటకై దానికి విపరీతంగా వికృతి కలిగించి, అంటే దానిని కమ్మెచ్చు (die) ద్వారా లాగి.

ఇటువంటి లోహానికి విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని అనువర్తిస్తే ఎలెక్ట్రాన్‌లు వాటి అనియత చలనాన్ని మార్చుకొని క్షేత్రానికి వ్యతిరేక దిశలో నెమ్మదిగా సగటు అపసరవడి 'V_d' తో అపసరం చెందుతాయి. అపసరవడి, ప్రాభావిక సగటువడి కన్నా చాలా తక్కువ (9వ భాగంలో మాదిరిలెక్క-2 చూడండి). పటం-10.5 రెండు వడులమధ్య సంబంధాన్ని చూపుతుంది. అనువర్తిత క్షేత్రంల లేనప్పుడు ఎలెక్ట్రాన్ పయనించే అనియత మార్గాన్ని ఘనరేఖ చూపుతుంది. ఎలెక్ట్రాన్ 'K' నుంచి 'L' కి పోతూ దారిలో అభిఘాతాలు చెందుతుంది. అనువర్తిత విద్యుత్‌క్షేత్రం 'E' ప్రభావం వల్ల అదే ఎలెక్ట్రాను పథాన్ని

BRAOU

ఖండిత రేఖలు సూచిస్తాయి. పటం 10.5 లో ఎలెక్ట్రాన్ కుడికి నెమ్మదిగా అపసరంచెంది L ని కాకుండా L^1ని చేరుతుంది. ఇచ్చట ఎలెక్ట్రాన్ పొందు అపసరాన్ని అర్థంచేసుకొనుటకై చాలా రెట్లు పెంచి చూపబడింది.

అపసరవడి V_d ని అనువర్తిత విద్యుత్ క్షేత్రం E, ప్రాభావిక సగటువడి v మధ్యమ స్వేచ్ఛాపథం λ పరంగా గణించవచ్చు. లోహంలోని ఎలెక్ట్రానుకు విద్యుత్‌క్షేత్రాన్ని అనువర్తిస్తే అది 'eE' బలానికి గురి అగుట వలన న్యూటన్ రెండవ గమన నియమం ప్రకారం దానికి త్వరణం 'a' ఇవ్వబడుతుంది.



పటం 10.5. ఘనరేఖ ఒక ఎలెక్ట్రాన్ K నుంచి L చేరేముందు ఆరు అభిఘాతాలు చెందడం సూచిస్తుంది. అనువర్తిత విద్యుత్‌క్షేత్రం వల్ల అదే ఎలెక్ట్రాన్‌ల పథాన్ని ఖండితరేఖ సూచిస్తుంది. విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేకంగా ఎలెక్ట్రాన్ అపసరణం చెందడం గమనించండి.

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m} \qquad ...(10.9)$$

అయాన్‌కోర్‌తో అభిఘాతం చెందిన ఎలెక్ట్రాన్‌ను తీసికోండి. సహజంగా దాని తరువాతి అభిఘాతం వరకు ఎలెక్ట్రాన్ వేగం సగటున $a\frac{1}{v}$ మేరకు మారి యుండవచ్చు. ('l' అభిఘాతాల మధ్య దూరం), ఇందులో $\frac{1}{v}$ అభిఘాతాల మధ్య ఉన్న సగటు కాలం .

అపసరవడి $\vec{V_d} = \vec{a}\frac{\lambda}{v} = \frac{\vec{E}e}{m}\frac{\lambda}{v}$ ...(10.10)

'V_d' మనము ప్రవాహ సాంద్రత 'j' సమీ. (9.12) పరంగా వ్రాసి, సమీ (10.10) తో కలిపితే

$$\vec{V}d = \frac{\vec{J}}{Ne} = \frac{e\vec{E}}{mv}\lambda$$

వస్తుంది. ఈ సమీకరణాన్ని, సమీ (10.4) $\left(\rho = \frac{E}{J}\right)$తో కలిపితే

$$\rho = \frac{mv}{Ne^2}$$

వస్తుంది. v, λ లు అనువర్తిత విద్యుత్‌క్షేత్రం 'E' మీద ఆధారపడవని చూపగలిగితే ఈ సమీకరణాన్ని లోహాలు ఓమ్ నియమాన్ని పాటిస్తాయనే వివరణగా తీసుకొనవచ్చు. ఈ సందర్భంలో పదార్థం ఓమ్ నియమాన్ని పాటించుటకు కావలసినట్లే ఇచ్చట 'E' మీద ρ ఆధారపడదు. ఎలెక్ట్రానుల వడి వితరణ మీద V,λ రాశులు ముఖ్యంగా ఆధారపడతాయి. v,10^8 సెం.మీ./సె ప్రమాణంలోను Vl, 10^{-2} నుంచి 10^{-3} సెం.మీ.) సె. ప్రమాణంలో ఉన్నవి. వీటి నిష్పత్తి ఉజ్జాయింపుగా 10^{10} ఉంటుంది. అందుచేత

B R A O U

అన్ని వ్యావహారిక పరిస్థితులలో సమీ. (10.11) యొక్క కుడిభాగము 'E' మీద ఆధారపడదు. కనుక ఈ పదార్థం ఓమ్ నియమాన్ని పాటిస్తుంది.

మాదిరి లెక్క - 2

వెండిలోని స్వేచ్ఛా ఎలెక్ట్రానుల (a) అభిఘాతాల మధ్య సగటు కాలము, (b) మధ్యమ స్వేచ్ఛాపథం λ లు ఎంత?

జవాబు

(a) సమీ (10.11) నుంచి

$$a)\ \tau = \frac{\lambda}{v} = \frac{m}{Ne^2\rho}$$

= (9.1 × 10^{-21} కి.గ్రా.(6 × 10^{28}/మీ^{3}) (1.6 × 10^{-19} కూలూ)^2 (1.6 × 10^{-8} Ωమీ)

= 3.7 × 10^{-14} సె.

b) మధ్యమ స్వేచ్ఛాపథము $\lambda = \tau v$

$\lambda = \tau\ v$ = (3.7 x 10^{-14} సె.) (1.6 x 10^{-8} సెం.మీ./సె)

= 5.9 × 10^{-6} సె.

జలస్థితి పీడనాన్ని ఒక లోహానికి అనువర్తిస్తే దాని నిరోధకత చాల తక్కువగా మారుతుంది. బిస్మత్‌ను ఒక అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉంచితే దాని నిరోధకత మారుతుంది. ఈ నిరోధకతలోని మార్పును బట్టి బిస్మత్‌ను అయస్కాంత క్షేత్ర బలములను కొలచుటకై ఉపయోగించవచ్చు. కాంతి దీప్తిచే సిలినియం లోహం యొక్క నిరోధకత తగ్గుతుంది. కాంతి, ఎలెక్ట్రానులను ఆ లోహము నుంచి విడుదల చేసి దానిని మంచి వాహకంగా తయారు చేస్తుంది.

10.7 సారాంశం

వాహకంలోని వాహకత్వం వాహకం ఆవేశంతో చలన శీలతపైన ఆధారపడుతుంది. నిరోధకత, వాహకత్వం పదార్థము యొక్క అభిలక్షణాలు. అవివాహకం ప్రమాణం, ఆకృతులపై ఆధారపడవు. నిర్దిష్ట ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఒక వాహకం కొసలకున్న శక్మభేదం, దానియందలి ప్రవాహానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. ఇదే ఓమ్ నియమము.

శూన్య నాళికలు, వాయునాళికలు, అర్ధవాహకాలు, థర్మిస్టర్‌లు, థైరిస్టర్‌లు, ఓమ్ నియమాన్ని పాటించవు. వీటిని అనోమీయ వాహకాలు అంటారు.

BRAOU

10.8 నమూనా జవాబులు

మీ అవగాహనను పరీక్షించుకొనండి.

ఓమ్ నియమాన్ని పాటించం వాహకాలను అనోమీయ వాహకాలు అంటారు.

10.9 నమూనా ప్రశ్నలు

I. **క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానాలు రాయండి.**

1) ఒక విద్యుద్వాహకంలో నిరోధతకు సమీకరణాన్ని ఉత్పాదించండి. వాహకం నిరోధకత యొక్క ముఖ్య కారకాలు ఏవి?

2) ఓమ్ నియమాన్ని నిర్వచించి వివరించండి. ఈ నియమం అన్ని వాహకాలకు వర్తిస్తుందా? అనోమియ నిరోధాలేవి? కొన్ని ఉదాహరణలివ్వండి.

3) వాహకంయొక్క నిరోధకత దాని ఎలక్ట్రాన్ మధ్యమ స్వేచ్ఛా పథాలకు గల సంబంధాన్ని రాబట్టండి. సగటుకాలంలో అంటే ఏమిటి?

4) విద్యుత్ వాహకం, ఉష్ణవాహకత్వం మధ్య సారూప్యాన్ని వివరించండి. ఉష్ణవాహకత్వం K, విద్యుద్వాహకత్వం σ లకు గల సంబంధ ప్రమేయం $\frac{K}{\sigma} = 3\left(\frac{K}{e}\right)T$ ను ఉత్పాదించండి. ఇచ్చట K బోల్టుజ్‌మన్ స్థిరాంకం, e ఎలక్ట్రాన్ యొక్క ఆవేశం, T పరమ ఉష్ణోగ్రత

II. క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి.

1) ఒక వాహకంలో విద్యుత్ ప్రవాహానికి నిరోధం అనే భావనను గూర్చి విశదంగా వివరించండి.

2) వాహకత్వ ప్రమాణం ఆధారంగా మూలకాలను వర్గీకరించగలరా? వర్గీకరించ గలిగితే వాటిని వివరించండి. ప్రతి తెగకు కొన్ని ఉదాహరణలివ్వండి.

3) పరమ శూన్య ఉష్ణోగ్రత వద్ద వాహకపు నిరోధం దాదాపు శూన్యమనే దృగ్విషయాన్ని ఊహించగలరా? ఆ దృగ్విషయమేది? దీన్ని గురించి సంగ్రహంగా రాయండి.

4) అర్థ వాహకం అంటే ఏమిటి? దీనిలో ఉష్ణోగ్రత పెరిగే కొద్దీ నిరోధం ఎందుకు తగ్గుతుందో వివరించండి.

5) అయస్కాంత నిరోధం అంటే ఏమిటి? దీనికి కొన్ని ఉదాహరణలివ్వండి.

6) ఎలక్ట్రాన్ ప్రవాహాన్ని, వ్యవహారిక విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని గుర్తించి విశదంగా వివరించండి.

III. క్రింది లెక్కలను సాధించండి.

1) ఒక లోహపు దండం పొడవు 1.00 మీ. వ్యాసం 0.55 సెం.మీ. 20^0C వద్ద దాని కొనల మధ్య నిరోధం $2.87 \times 10^{-3}\Omega$ అదే లోహంతో 2.00 సెం.మీ.ల వ్యాసం 1.0 మి.మీ. మందం గల పలక తయారు చేయబడినది. (1) ఎదురెదురుగా ఉన్న గుండ్రని ముఖాల మధ్య నిరోధం ఎంత? (2) ఆ పదార్థమేది?

(జ. $2.2 \times 1.^{-7}\Omega$ నికల్ $\rho = 6.8 \times 1\times^{-8}\Omega$ మీ.)

2) అల్యూమినియమ్ వాహకానికి 0^0C వద్ద నిరోధపు విలువ రెట్టింపు అయ్యే ఉష్ణోగ్రత ఏది? ఆకారంతోను, పరిమాణంతోను సంబంధం లేకుండా అన్ని అల్యూమినియం వాహకాలకి ఈ ఉష్ణోగ్రతే వర్తిస్తుందా ?

(జ. 260^0C: అవును)

3) ఒక చదరపు అల్యూమినియం దండం పొడవు 1.0 మీ. భుజం 5.0 మి.మీ. (1) దాని కొనల మధ్య నిరోధం ఎంత? (2) పైదాని నిరోధంతో సమానంగా ఉండేటట్లు 1.0 మీ. పొడవున్న వృత్తాకారపు వెండి దండం వ్యాసం ఎంత ?

(జ. $1.12 \times 10^{-3}\Omega$; 2.13 మి.మీ.)

4) 24 నంబర్ గేజ్‌గల మ్యాంగనిన్ తీగ యొక్క నిరోధకత 20^0C వద్ద 1.73 Ω మీ. 0^0C వద్ద దాని నిరోధాన్ని గణించండి.

రచన: డా.కె.వి. శివకుమార్
అనువాదం : డా. ఆర్.వి. రామచందర్

BRAOU

భాగం - 11 జౌల్ నియమం

విషయక్రమం

11.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
11.2 ప్రవేశిక
11.3 జౌల్ నియమం
11.4 సారాంశం
11.5 పదకోశం
11.6 నమూనా ప్రశ్నలు

11.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో విద్యుత్ శక్తి, ఉష్ణశక్తిగా మార్చడం వివరించబడింది. మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

1) విద్యుత్ సామర్థ్యాన్ని లెక్కకట్టగలరు.
2) సరళ వాహకమందు ఉద్భవించిన ఉష్ణ విలువరేటు దానియందు ఉండు ప్రవాహ వర్గానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుందని తెలుసుకుంటారు.

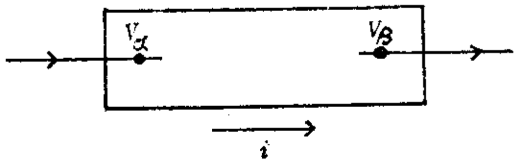
11.2 ప్రవేశిక

ఈ భాగంలో విద్యుత్‌శక్తి, ఉష్ణశక్తిగా ఎలా మార్చవచ్చో వివరించబడింది.

BRAOU

11.3. జౌల్ నియమం

సౌలభ్యం కోసం ఒక వాహకంలో విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని ఏర్పరచడానికి అన్ని స్వేచ్ఛా ఎలెక్ట్రాన్‌లు ఒకే స్థిరవేగంతో పోతున్నట్లనుకొన్నాము. కాని కచ్చితంగా చెప్పాలంటే ఎలెక్ట్రాన్‌ల గతిని, ఒక త్వరణాల శ్రేణిగా తలచి, అందులో ప్రతి త్వరణం వాహకంలో ఒకనిర్దిష్ట అయాన్ కోర్‌తో అభిఘాతం చెందుట వలన అదృశ్యమౌతుందని భావించాలి. ఈ స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రాన్‌లు వాటి అభిఘాతాల మధ్య స్వేచ్ఛాపథాలలో గతిజశక్తిని పొంది, ఆ శక్తిని ధన ఆయాన్ కోర్‌తో అభిఘాతం చెందినప్పుడు దానికి సరఫరా చేస్తాయి. అందుచేత ఆ ధన ఆయాన్ కోర్‌లు శక్తిని పొంది వాటి కంపన పరిమితిని దాని మధ్యమ స్థానం వద్ద పెంచుకొంటాయి. ఇంకొక విధంగా చెప్పాలంటే ఈ శక్తి ఉష్ణశక్తిగా మారుతుంది.



పటం 11.1 ఒక వలయ భాగంలో ఆవేశం బదిలీ

ఉష్ణోద్భవ రేటునకు ఒక ప్రమేయాన్ని రాబట్టుటకై ఒక వలయంనందు ఏ భాగములోనికైనా నివేశమునకు సాధారణ ప్రమేయాన్ని గణించాలి. పటం 11.1 నందు సూచించినట్లు ఒక వలయభాగం

దీర్ఘ చతురస్రాకారం గలదిగా భావిద్దాం. దానియందు ఎడమ నుంచి కుడికి ప్రవాహం 'i' ఉన్నదనుకొందాం. α,β చివరలకు V_α మరియు V_β వరుసగా శక్మాలు ఉన్నాయనుకొందాం. ఆ చివరల మధ్య ఉన్నభాగం ఒక వాహకము, ఒక జెనరేటర్, ఒక విద్యుత్ ఘటము లేదా ఒక మోటారు ఏదయినా కావచ్చు.

'dt' కాల వ్యవధిలో dq = idt ఆవేశ పరిమాణం ఆవలయ భాగంలోనికి a చివర నుంచి ప్రవేశిస్తుంది. అదేకాలంలో సమాన పరిమాణంకల ఆవేశం β చివర నుంచి వెలుపలికి వస్తుందనుకొందాం. ఆ విధంగా V_α శక్మము నుంచి V_β శక్మమునకు ఆవేశము dq చేరవేయబడినది. ఆవేశము కోల్పోవు శక్తి

$$dW = dq\,(V\alpha - V_\beta) = idt\, V_{\alpha\beta} \qquad \text{... (11.1)}$$

కోల్పోయిన శక్తిరేటు లేక నివిష్ట సామర్ధ్యము

$$P = \frac{dW}{dt} = i\, V_{\alpha\beta} \qquad \text{... (11.2)}$$

అందుచేత నివిష్ట సామర్ధ్యము కొనల శక్మభేదం, ప్రవాహము పరిమాణాలు వాటి దిశలపై ఆధారపడుతుంది. i కూలాం/సె లేక ఆంపియర్లలో శక్మభేదం జౌల్/కూలాం లేదా 'ఓల్టో'లలో ఉంటే సామర్ధ్యం 'జౌలు/సె. లేక 'వాట్'లలో ఉంటుంది.

$$\frac{\text{కూలాం}}{\text{సె.}} \times \frac{\text{జౌ}}{\text{సె.}} = \text{వాట్}$$

సమీ (11.2) సర్వ సాధారణ సంబంధం, అది α,β మధ్య ఉన్న అన్ని భాగాలకి లేదా పరికరాలకు వస్తుంది. ఆ భాగం స్వచ్ఛమైన నిరోధమైతే సరఫరాచేసిన మొత్తం శక్తి ఉష్ణంగా మారుతుంది. ఇందులో శక్మభేదం

$$V_{\alpha\beta} = iR \qquad \text{... (11.3)}$$

కాబట్టి $P = iV_{\alpha\beta} = i \times iR = i^2 R$

$$P = i^2 R \qquad \text{... (11.4)}$$

లేదా $P = \frac{V^2 \alpha\beta}{R}$ ($\because V\alpha\beta = iR$)

లేదా dt కాలములో dH ఉష్ణం ఉద్భవిస్తే $P = \frac{dH}{dt}$ అయితే

$$\frac{dH}{dt} = i^2 R \qquad \text{... (11.6)}$$

"వాహకం సరళమైనదై, నిరోధం 'R' ప్రవాహం 'i' మీద ఆధారపడనప్పుడు, స.మీ. (11.6) ఉష్ణోత్పత్తి రేటు ప్రవాహ వర్గానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుందని చెప్పవచ్చు. జౌల్ ఈ యథార్థాన్ని ప్రయోగాత్మకంగా కనుగొన్నాడు. అందుచేత ఇది జౌల్ నియమం అని పిలువబడుతుంది. ఓమ్ నియమంను పాటించు పదార్థం తప్పక జౌల్ నియమాన్ని కూడా పాటిస్తుంది. సమీ. (11.5) లో నిరోధం ఓమ్‌లలో ఉండి, ప్రవాహం ఆంపియర్‌లలో ఉంటే ఉష్ణోద్భవ రేటు 'జౌల్/సె' లేక 'వాట్' లలో ఉంటుంది. దీనిని 'కేలరీ/సె'ల లోనికి మార్చుటకు 1 కేలరీ = 4,186 జౌల్‌ను వాడాలి.

వాహకములో ఉష్ణద్భవరేటు దాని ఉష్ణోగ్రత పెరుగుదల రేటు అనరాదని గ్రహించాలి. ఉష్ణోగ్రత పెరుగుదల రేటు ఆవాహక ఉష్ణధారణ సామర్థ్యం, వాహన, సంవాహన, వికిరణాలతో కోల్పోవు ఉష్ణరేటుపై ఆధారపడుతుంటుంది. సాధారణంగా ఉష్ణాన్ని కోల్పోయేరేటు వాహక ఉష్ణోగ్రత పెరుగుటవలన హెచ్చుతుంది. ఉష్ణమును కోల్పోవురేటు ఉష్ణోద్భవ రేటుకు సమానమగునంతవరకు వాహక ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతుంది. ఆ రెండు రేట్లు సమానమైనపుడే దాని ఉష్ణోగ్రత స్థిరంగా ఉంటుంది. అందువల్ల వలయంలో ప్రజ్వలన బల్బును ఉంచితే దాని తంతు ఉష్ణోగ్రత అకస్మాత్తుగా, వికిరణంతో వేడిని కోల్పోవు రేటు ఉష్ణ ఉద్భవ రేటు అనగా i^2R కు సమానమగునంతవరకు పెరుగుతుంది. దానికి విరుద్ధంగా ఒక ఫ్యూజ్ తీగను కేటాయిస్తే ఒక నిర్దిష్ట ప్రవాహావిలువను మీరినప్పుడు తుది ఫలిత ఉష్ణోగ్రతను చేరకముందే అది కరుగునట్లు తయారుచేయుదురు.

మాదిరి లెక్క – 1

ఒక మీటర్ పొడవైన 48 ఓమ్‌ల నైక్రోమ్ తాపక తీగను మీకిచ్చిన దానిని రెండుగా ఖండించి రెండు ఎడి చుట్టలుగా చుట్టి ఎక్కువ ఉష్ణాన్ని పొందగలరా? ప్రతి సందర్భంలోను తీగ చుట్టలను 220 వోల్ట్‌లైన్‌కు విడివిడిగా కలపాలి.

48 Ω నిరోధం గల ఎడిచుట్ట సామర్థ్యం సమీ. (11.5) నుంచి

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(220)^2}{48} = 1008 \text{ Watts}$$

సగం పొడవున్న చుట్ట సామర్థ్యం $P = \frac{V^2}{R} = \frac{(220)^2}{24} = 2016 \text{ Watts}$

దీనిని పరీక్షించి చూచిన 1000 వాట్‌ల తాపక తీగను సగానికి ఖండించి తిరిగి ఎడివిడిగా చుట్టి 4000 వాట్‌లను పొందగలమని అనిపిస్తుంది. ఇది ప్రాయోగిక భావన ఎందుకు కాదు?

మాదిరి లెక్క 2

0.25 ఆం.ల ప్రవాహం 200 Ω ల నిరోధంలో ఉంది. ఆ నిరోధంలో నష్టమైన సామర్థ్యం ఎంత?

జవాబు

సమీ (11.2)ను అనువర్తించిన వచ్చు సామర్థ్యం

$$P = iV = i^2R = (0.25)^2 \cdot 12.5 \text{ వాట్‌లు}$$

కాబట్టి ఈ సందర్భములో ప్రతి సెకనుకు 12.5 జౌల్‌ల శక్తి నష్టమగును. లేక ప్రతి సెకనుకు $\frac{12.5}{4.185}$ ~3 కేలరీల ఉష్ణం ఉద్భవించపబడును.

మాదిరి లెక్క 3

100 వాట్‌ల బల్బు 220 వోల్ట్‌ల మీద పనిచేయుటకై రూపొందింపబడినది. దానిని 220 V ల జనకంతో నడిపిన అందలి ప్రవాహము, దాని నిరోధాలను కనుగొనండి.

జవాబు

$$P = Vi \qquad i = \frac{P}{V} = \frac{100 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 0.45 \text{ amps}$$

బల్బునకు శక్మపాతము 220 వాల్టులు, దాని యందు ప్రవాహం 0.45 ఆం.ఓమ్ నియమం ప్రకారం

$$R = \frac{V}{i} = \frac{220}{0.45} = 484\ \Omega$$

B R A O U

11. 4 సారంశం

ఎలక్ట్రానులు విద్యుద్వాహకాలు ఎలక్ట్రానులు చలిస్తున్నపుడు ధన అయాన్‌కోర్‌లను ఢీకొంటాయి. అభిఘాత ఫలితంగా వాటి గతిజశక్తి అయాన్‌కోర్‌లకు బదిలీ అవుతుంది. గతిజ శక్తిలోని పెరుగుదల ఉష్ణశక్తిగా మారుతుంది. వాహకమందు ఉద్భవించిన ఉష్ణవిలువ రేటు దానియందుండు ప్రవాహ వర్గమునకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. విద్యుత్ సామర్థ్యం ప్రమాణం వాట్.

11.5 పదకోశం

స్థిరవిద్యుత్ యంత్రం — స్థిరవిద్యుత్ సూత్రము నుపయోగించి ఎక్కువ శక్మాలను తయారుచేయు ఒక యంత్రము

ఉష్ణ విద్యుత్ — ఉష్ణ విద్యుత్ ఫలితాల నుపయోగించి ఉష్ణశక్తిగా మార్చడం. ఉదా: ఉష్ణ యుగ్మము.

 ప్రజ్వలితకాంతి — మెరియుచున్న తాపకమునుంచి వెలువడు కాంతి

11.6 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానాలు రాయండి.

1) ఒక ఋజువాహకంలో ఉష్ణోద్భవ రేటు ప్రవాహ వర్గానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుందని చూపండి.

II. క్రింది ప్రశ్నకు క్లుప్తంగా సమాధానం రాయండి.

1) వాహకంలో విద్యుత్ సామర్థ్యానికిగల సమాసాన్ని ఉత్పాదించండి.

III. క్రింది సమస్యలను సాధించండి.

1) 3.0 ఆం.ల ప్రవాహమున్న ఒక నిరోధంలో 100 వాట్‌ల రేటులో ఉష్ణం ఉద్భవింపబడుతుంది. దాని నిరోధం ఎంత? *(జ. 11 Ω)*

2) నైక్రోమ్ తాపకంలోని తీగ ఉష్ణోగ్రత 800^0C లు, అనువర్తిత పొటెన్షల్ తేడా 110 V ఉన్నప్పుడు 500 వాట్లను ఉత్సర్గం చేస్తుంది. తీగ ఉష్ణోగ్రతని శీతలీకరణ తైల తాపనపాత్రలో ఉంచి 200^0C వద్ద స్థిరం చేస్తే ఎంత సామర్థ్యాన్ని దుర్వ్యయం చేస్తుంది? అనువర్తిత పొటెన్షల్ తేడా అంతే ఉంటుంది. నైక్రోమ్‌కి α విలువ 4×10^{-4} $/C^0$

3) ఒక విద్యుత్ టోస్టర్ 120 వోల్టుల వద్ద 900 వాట్‌ల ఉష్ణాన్నిచ్చునట్లు తయారు చేయబడినది. ఆటోస్టర్ ఎంత ప్రవాహాన్ని తీసికొంటుంది? పని చేయునపుడు దాని నిరోధం ఎంత?

(జ. 7.5 ఆం. 16Ω)

రచన : డా. కె.వి. శివకుమార్

అనువాదం : డా. వి.ఆర్. రామచందర్

B R A O U

BRAOU

ఖండం-4 విద్యుచ్ఛాలకబలం

BRAOU

BRAOU

భాగం - 12. కిర్ఛాఫ్ నియమాలు

విషయక్రమం

12.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

12.2 ప్రవేశిక

12.3 విద్యుచ్ఛాలక బలం

12.4 కిర్ఛాఫ్ నియమాలు

12.5 ఏకమాత్ర పరిపథం, కిర్ఛాఫ్ నియమదృష్టాంతం

12.6 బహుళ పరిపథ వలయాలు - కిర్ఛాఫ్ నియమాల దృష్టాంతం

12.7 సారాంశం

12.8 నమూనా ప్రశ్నలు

12.9 చదవదగిన గ్రంథాలు

12.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో విద్యుచ్ఛాలక బలం భావన వివరణ, కిర్ఛాఫ్ నియమాల నిర్వచనం ఉన్నాయి. మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

1) కిర్ఛాఫ్ నియమాలను నిర్వచించగలుగుతారు.

2) కిర్ఛాఫ్ నియమాలను ఏకపరిపథ, బహుళ పరిపథ వలయాలలోని విద్యుత్ ప్రవాహానికి శక్మభేదానికి గల ప్రమేయాలను రాబట్టగలుగుతారు.

12.2 ప్రవేశిక

ఖండిక-3 లో ఒక వాహకంలో ప్రవాహాన్ని ఏర్పరచడానికి ఆ వాహకానికి విద్యుత్ క్షేత్రం లేదా శక్మ భేదాన్ని కలిగించాలని చూశాము. ప్రవాహాన్ని కొనసాగించుటకై శక్తిని నిరంతరం దానికి అందించాలి అని కూడా గ్రహించాము. ఈ శక్తి ఉష్ణంగా మారుతుంది. వాహకంలో ఉద్భవించే ఉష్ణం ఉష్ణగతిక శాస్త్ర భావంలో "అనుక్రమణీయ ప్రక్రియ"గా ఉంటుంది.

ఇప్పుడు వేరొకశక్తి మార్పిడి పద్ధతిని గమనిద్దాం. ఇది ఉష్ణగతిక శాస్త్రభావంలో "ఉత్క్రమణీయ ప్రక్రియ". ఈ రకమైన మార్పులను కలిగించే పరికరాలు సంచాయక ఘటం, ఉత్పాదకం (జెనరేటర్) లేదా మోటారు వంటి సాధనాలు. ఒక కారు మోటారును నడపడానికై ఉపయోగించే సంచాయక ఘటాన్ని గమనిద్దాం. ఆ సంచాయక ఘటంలోని రసాయనిక శక్తి గతిజ శక్తిగా మారి స్టార్టర్ మోటారు యొక్క షాఫ్ట్ వద్ద ప్రతిఫలిస్తుంది. ఆ కారు స్టార్టయిన వెంటనే మోటారు విడదీయబడుతుంది. వెంటనే జనరేటర్, ఆ సంచాయక ఘటంలోకి, వ్యతిరిక్త దిశలో ఛార్జి చేసే ప్రవాహాన్ని పంపుతుంది. ఆ ఘటంలో రసాయనిక ప్రతి చర్యలు వ్యతిరిక్త దిశలో కొనసాగుతాయి. కారు యొక్క గతిజశక్తిని కొంత ఉపయోగించి జనరేటర్‌తో రసాయన శక్తి పునః స్థాపింపబడుతుంది. అందువల్ల ఘటంలో ప్రవాహ దిశపైన ఆధారపడి దానిలో జరుగు శక్తి బదిలీలు.

1) రసాయన శక్తి → విద్యుత్ శక్తి

2) విద్యుత్ శక్తి → రసాయన శక్తి

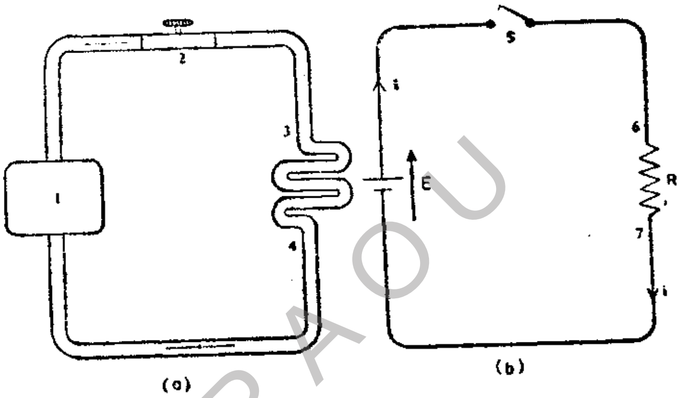
విద్యుత్ శక్తి నిరోధంలో ఉష్ణశక్తి (i^2R) గా మార్పు అనుక్రమణీయ మార్పుకు వ్యతిరిక్తంగా ఘటములో విద్యుత్‌శక్తి, రసాయనికశక్తిగా ఉత్క్రమణీయంగా ఉంటుంది. విద్యుత్ శక్తిని ఇతర శక్తిగా

BRAOU

ఉత్క్రమణీయంగా మార్చే పరికరాన్ని విద్యుచ్ఛాలక బలపీఠం (స్థానం) అని అంటారు. విద్యుత్ వలయాల అభిలక్షణం వ్యవహారికంగా ప్రాముఖ్యమైన విషయం. ఈ ఖండికలో విద్యుత్ పరిపథ వలయాలకు సంబంధించిన కిర్ఛాఫ్ నియమాలను చర్చిద్దాం.

12.3 విద్యుచ్ఛాలక బలం

విద్యుత్ ఘటాలు, ఉత్పాదకాలు (జనరేటర్‌లు) మొదలగు పరికరాలలో గల రెండు బిందువులకు వాటిని కలిపితే వాటి మధ్య శక్మ భేదం ఏర్పరచే సామర్థ్యం కలిగి ఉంటాయి. అటువంటి సాధనాలను విద్యుచ్ఛాలక బల పీఠాలు/స్థానాలు అని అంటారు. సంక్షిప్తంగా అవి e.m.f. స్థానాలు అనబడుతాయి. పటం. 12 .1 (b) లో e.m.f. స్థానం 'E' ని సూచించే ఒక విద్యుత్ ఘటం ఒక నిరోధం 'R' కు కలుపబడినది. e.m.f. స్థానం పై కొనను ధనాత్మకం (+)గాను, క్రింది కొనను ఋణాత్మకం (-) గాను ఉంచుతుంది. వలయంలో e.m.f. స్థానం, పటం 12 .1 (a) యందలి, పైపుల వ్యవస్థలోకి నీటిని పంపుటకై పంపు ప్రక్రియకు దగ్గర సారూప్యము. e.m.f. స్థానం దానియందు ప్రవహించే ప్రతి ప్రమాణ ఆవేశాన్ని హెచ్చు శక్మ స్థాయికి చేరవేయుటకై కొంత పనిని చేయాల్సి ఉంటుంది. వలయంలో ఈవిధంగా కోల్పోయిన శక్తి రేటుకు సమానంగా పనిని సరఫరా చేయాలి.



B R A O U

పటం. 12 .1 (a) నీటి పంపు (b) విద్యుద్వలయం
నీటి పంపు యాంత్రిక సాదృశ్యాన్ని ఒక విద్యుద్వలయంలో విద్యుచ్ఛాల బల స్థానం యొక్క పని చేసే తీరును తెల్పడానికి ఉపయోగించబడింది.
1. నీటి పంపు 2. కవాటం 3. అధిక పీడనం 4. అల్పపీడనం
5. స్విచ్ 6. అధిక శక్మం 7. అల్ప శక్మం

ప్రవాహం ఎలెక్ట్రాన్‌లతో కూడుకొన్నా వ్యవహారికంగా దానిని ధనాత్మక ఆవేశాల ప్రవాహం అనుకొంటాం. అందువల్ల ఆవేశం, నిరోధంలో ఎక్కువ శక్మం నుంచి తక్కువ శక్మాన్ని చేరినపుడు శక్తిని కోల్పోతుంది. నీటి పంపు సమరూపంలో చూస్తే నీరు ఎక్కువ పీడనం నుండి తక్కువ పీడనంకు ప్రవహిస్తుంది. (కవాటం) వాల్వును మూసినప్పుడు పీడనం ఉన్నప్పటికీ నీరు ప్రవహించదు. అదేరకంగా స్విచ్‌ని తీసినప్పుడు శక్మ భేదం ఉన్నప్పటికీ ప్రవాహం ఉండదు. ఏక ప్రమాణ ఆవేశంపై చేయబడు పనిని e.m.f. అన్నందువల్ల దానిని శక్మభేద ప్రమాణంతోనే తెల్పాలి. అంటే 'జౌల్/సె.' లేక 'ఓల్ట్'. e.m.f. జనకం నుంచి 'dq' విద్యుదావేశ వలయపు ఏ మధ్యచ్ఛేదం ద్వారా అయినా 'dt' సమయంలో పోయినపుడు, ఈ కాలంలో మార్పబడిన శక్తి 'dw' అయితే e.m.f. ను

$$E = \frac{dw}{dq} \qquad \ldots (12.1)$$

అని చెప్పవచ్చు. అప్పుడు dt సమయంలో జనకం dw పనిచేస్తుంది.

వని చేయబడిన రేటు లేదా సామర్థ్యం

$$dw = E\,dq \quad \ldots (12.2)$$

$$P = \frac{dw}{dt} = E\frac{dq}{dt} = Ei \quad \ldots (12.3)$$

"ఒక ఓల్ట్, e.m.f. స్థానం నించి పోయే ప్రతికూలాం ఆవేశం పైన జౌల్ పనిని చేస్తుంది"

ఉదాహరణకు 6V ఘటం ప్రతి కూలాం ఆవేశాన్ని తక్కువ శక్మం (-కొన) నుంచి ఎక్కువ శక్మం (+ కొన)వైపుకు పంపుటకై 6 జౌల్‌ల పని చేస్తుంది. వలయంలో ధన ఆవేశాలు పోవునట్లు చేసే e.m.f., E చిహ్నాము ప్రక్కన బాణం (→) గుర్తును జనకంలో దిశను సూచించుటకై వాడుతారు. వ్యవహారిక ప్రవాహం దిశను విద్యుత్ ఘటం + నుంచి దూరంగా పోతున్నట్లు సూచిస్తారు. అయితే ప్రవాహం పరికల్పిత ధనావేశాల బాహ్య నిరోధం గుండా -కొనవైపుకు చూపబడుతుంది.

12.4 కిర్ఛాఫ్ నియమాలు

ఎక్కువ ప్రవాహ లూప్‌లు లేదా మెష్‌లతో కూడుకున్న విద్యుత్‌జాలం ఒక సంక్లిష్ట వలయం. చాలా ఎక్కువ పరిపథాలు (లూప్‌లు), ఎక్కువ e.m.f. జనకాలున్న సంక్లిష్ట జాలానికి ఓమ్ నియమం అనువర్తించడం చాల కష్టం. ఈ వలయాలను పరిశీలించుటకై చాలా సులభ పద్ధతిని ఒక జెర్మన్ శాస్త్రజ్ఞుడు, గస్టావ్ కిర్ఛాఫ్, కనుగొన్నాడు. అందులో రెండు నియమాలు కిర్ఛాఫ్ పేరుతోనే ఉన్నాయి.

కిర్ఛాఫ్ ప్రథమ నియమం

ఒక సంధిని చేరు విద్యుత్ ప్రవాహాల మొత్తం ఆ సంధిని వీడే ప్రవాహాల మొత్తానికి సమానము. లేదా ఏ సంధి దగ్గరైనా విద్యుత్ ప్రవాహాల బీజీయ సంకలనం శూన్యం కావాలి.

$$\Sigma_i \text{ చేరు} = \Sigma_i \text{ విడుచు} \quad \ldots (12.4)$$

కిర్ఛాఫ్ రెండవ నియమం

ఒక విద్యుత్ పరిపథంలో ఉన్న e.m.f.ల మొత్తం ఆలూప్‌లోని 'iR' పాతాల (వోల్టేజ్‌పాతాల) (Voltage drops) మొత్తానికి సమానం.

$$\Sigma E = \Sigma iR \quad \ldots (12.5)$$

మూడులేక ఎక్కువ తీగలు కలిసే చోటును సంధి అంటారు.

BRAOU

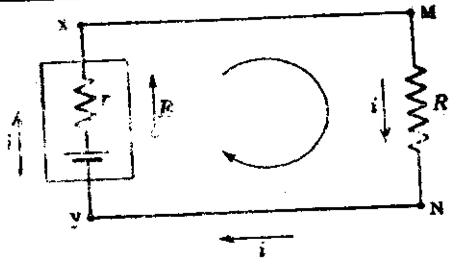
12.5 ఏకమాత్ర పరిపథం : కిర్ఛాఫ్ నియమ దృష్టాంతం

పటం 12.2 వలయంలో అన్ని స్థానాలు స్వభావజ ఆంతరిక నిరోధం 'r' కలిగి యున్నాయన్న భావాన్ని బలపరుస్తుంది. అది పరికరం స్వతసిద్ధం కాబట్టి ఆ నిరోధాన్ని తీసివేయాలనుకున్నా తీయలేము. emf ఆంతరిక నిరోధాలు పటంలో వేరు వేరుగా చూపబడ్డాయి.

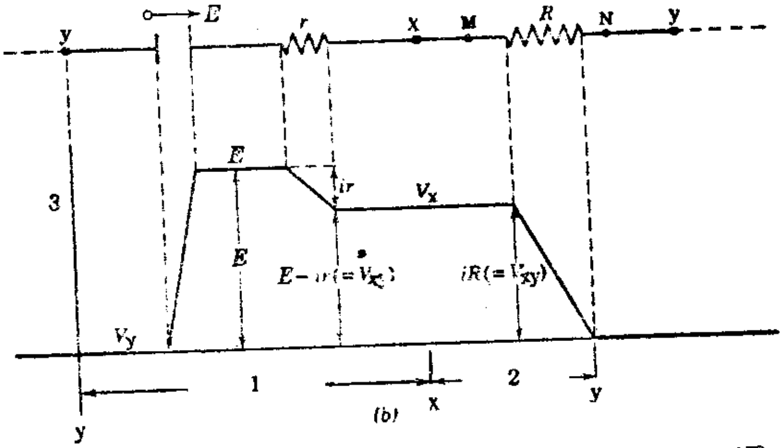
పరిపథం (లూపు) నియమం లేదా కిర్ఛాఫ్ రెండవ నియమాన్ని అనువర్తిస్తే i వస్తుంది.

$$E = ir + iR$$

$$\text{లేక } i = \frac{E}{r + R} \quad \ldots (12.6)$$



(a)



(b)

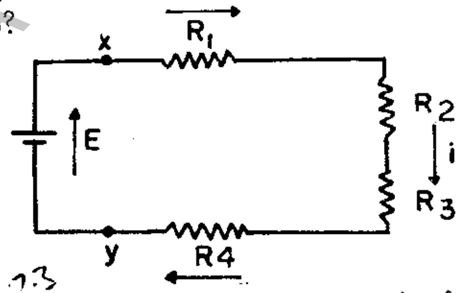
పటం. 12.2 (a) ఏకమాత్ర పరిపథ వలయం, దీర్ఘచతురస్రాకారంగా ఉన్న దిమ్మె ఆంతరిక నిరోధం r ను గలిగిన విద్యుచ్చాలక బలస్థానం

(b) అదే వలయాన్ని సౌలభ్యం కోసం సరళరేఖగా గీశారు. బిందువు y నుండి సవ్యదిశలో పయనిస్తే ఎదుర్కొనే శక్మ భేదాల్ని సమంగా కింద చూపారు.

1. e.m.f. స్థానం 2. బాహ్య నిరోధం 3. శక్మం, వోల్టులు

మాదిరి లెక్క - 1

4 నిరోధాలు, పటం 12.3లో, x, y మధ్య వాటిద్వారా ఒకే వాహక మార్గం ఉండేటట్లు శ్రేణిలో కలుపబడ్డాయి. ఈ నిరోధాల తుల్య నిరోధం ఎంత?



.13

కండి. b) మీరు పటం 12.3 నాలుగు నిరోధాలు MN ల మధ్య శ్రేణిలో కలిపారు.

జవాబు

వలయంలో ఫలిత ప్రవాహం ఒకటే ఉంటుంది. కాబట్టి లూపు సిద్ధాంతాన్ని అనువర్తిస్తే

$$-iR_1 - iR_2 - iR_3 - iR_4 - E = 0$$

అవుతుంది.

$$E = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) \text{ అయితే } \frac{E}{i} = R_{egg}$$

$$E/i = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{eff} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

శక్మభేదం (పొటెన్షల్ భేదం)

సాధారణంగా ఒక వలయంలో రెండు బిందువుల మధ్య శక్మభేదంను కనుగొందాం. ఇప్పుడు x, y బిందువుల మధ్య శక్మభేదం Vxy కి వలయ E, R, r పరామితుల సంబంధాన్ని కనుగొందాం. దీనిని

రాబట్టడానికి (పటం 12.2 చూడండి. M నుంచి బయలుదేరిన నిరోధం R ద్వారా విద్యుత్ ప్రవాహానికి ఎదురుగా ప్రయాణం చేసి N ని చేరడానికి ప్రయత్నిద్దాం. M, N ల వద్ద శక్మాలు వరుసగా V_M V_N లు అయితే

$$V_M = V_N + iR$$

దీనినే తిరిగి వ్రాస్తే

$$V_{MN} = V_M - V_N = iR \qquad ...(12.7)$$

స.మీ. (12.7) నుంచి MN బిందువుల మధ్య శక్మభేదం V_{MN} పరిమాణం iR ని కలిగి ఉంటుందని తేల్పవచ్చు. బిందువు M, బిందువు N కంటే ఎక్కువ ధనాత్మకము. (12.6), (12.7) సమీకరణాలను కలిపితే

$$V_{MN} = iR = \frac{E}{r + R}R \text{ లేదా } \frac{R}{R + r}E \qquad ... (12.8)$$

రెండు బిందువుల మధ్య శక్మభేదం, ఏ మార్గము ద్వారానైనా వలయాన్ని చుట్టి వచ్చినప్పుడు ఎదుర్కొను శక్మాల మార్పుల బీజీయ సంకలనంగా ఉంటుంది.

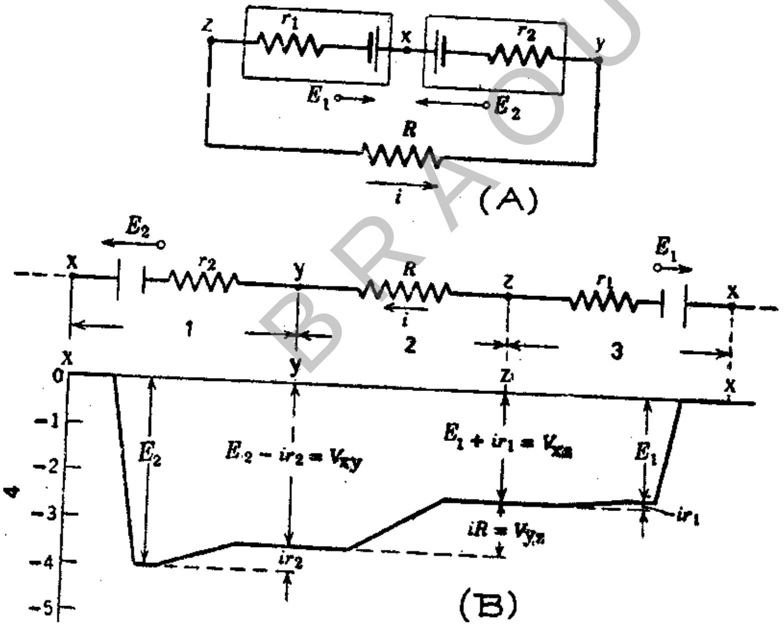
మాదిరి లెక్క – 2

పటం 12.4 లో చూపినట్లు E_1, E_2 లు వరుసగా 4 వోల్ట్‌లు, 8 వోల్ట్‌లు మరియు నిరోధాలు r_1, r_2, R లు వరుసగా 2, 4, 10 ఓమ్‌లు అనుకోండి. విద్యుత్ ప్రవాహం ఎంత? (a) x, y ల మధ్య, (b) x, z ల మధ్యగల శక్మభేదాలు ఎంత?

E_1, E_2, e.m.f. లు పరస్పర వ్యతిరేకం. కాని E_2 ఎక్కువైనందువల్ల అది విద్యుత్ ప్రవాహ దిశను నియంత్రణం చేస్తుంది. ఈ విధంగా 'i' దిశ అపసవ్యంగా ఉంటుంది. x నుంచి సవ్యదిశలో పోతే పరివధ సిద్ధాంతం ప్రకారం

$$-E_2 + ir_1 + iR + ir_2 + E_1 = 0$$

i కోసం సాధిస్తే,



పటం 12.4

a) ఏకమాత్ర పరిపథ వలయం

b) అదే వలయాన్ని సౌలభ్యంకోసం . . త్మకంగా సరళరేఖలో చూపబడింది. వలయంలో సవ్యంగా x బిందువునుంచి పయనిస్తే ఎదుర్కొనే శక్మ భేదాల్ని కింద చూపాం. పటంలో కింద x బిందువు వద్ద శక్మాన్ని శూన్యంగా అనుకుందాం.

1. emf స్థానం 2. బాహ్యనిరోధకం 3. emf 1 స్థానం 4. శక్మం, వోల్ట్‌లు

$$i = \frac{E_2 - E_1}{R + r_1 + r_2}$$

$$i = \frac{8\text{-}4 \text{ volts}}{(10 + 2 + 4) \text{ Ohms}} = \frac{4}{16} = 0.25 \text{ amp.}$$

(a) 'y' నుంచి బయలుదేరి 'x' ను చేరితే x, y ల మధ్య శక్మభేదం పొందవచ్చు.

$$V_{xy} = (V_x - V_y) = ir_2 + E_2 = E_2 - ir_2$$
$$= 8 - 0.25 \times 4 = 7.0 \text{ వోల్టులు}$$

'x' బిందువు ఎక్కువ ధనాత్మకం. 7.0 వోల్టుల శక్మభేదం 8.0 వోల్టుల e.m.f. కన్నా తక్కువ. పటం 12.4 b ని చూడండి. (b) z, x బిందువులకు z నుంచి బయలుదేరి వలయంలో x ను చేరినపుడు

$$V_{xz} = V_x - V_z = E_1 ir_1 = 4 + 0.25 \times 2 = 4.5 \text{ వోల్టులు}$$

ఇది 'z' కన్న 'x' ఎక్కువ శక్మాన్ని కలిగియున్నట్లు తెలుపుతుంది. E_1 (4.5 ఓల్టులు). ఆ కొనల శక్మభేదం e.m.f. (4 ఓల్టులు)కన్న ఎక్కువగా ఉంది. పటం 12.4 b, ని చూడండి.

ఇప్పుడు 'y' నుంచి బయలుదేరి 'x' ను వేరొక మార్గం ద్వారా R,r,E_1 చేరి మొదటి ఫలితాన్ని పరీక్షిద్దాం.

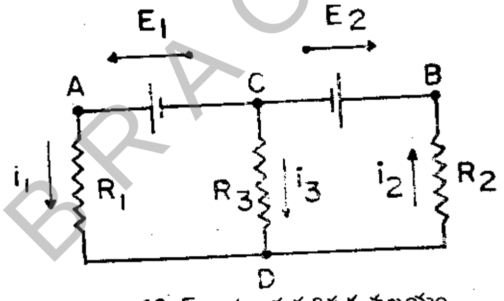
$$V_{xy} = iR + ir_1 + E_1$$
$$= 0.25 \times 10 + 0.25 \times 2.0 + 4.0 + 7.0 \text{ వోల్టులు}$$

ఇది మునుపు వచ్చిన ఫలితమే.

12.6 బహుళ పరిపథ వలయాలు – కిర్ఛాఫ్ నియమాల దృష్టాంతం

పటం 12.5లో చూపిన పరిపథాన్ని పరీక్షిద్దాం. ఆ వలయంలో C, D అనే రెండు సంధి బిందువులు ఉన్నాయి. దానిలో CAD ఎడమశాఖ, CD మధ్య శాఖ, CBD కుడి శాఖ అని మూడు

BRAOU



పటం 12.5 బహుళ పరిపథ వలయం

శాఖలు ఉన్నాయి. i_1, i_2, i_3 అని చూపిన ప్రవాహాలు వరుసగా R_1, R_2, R_3 నిరోధాలలో ఉన్నాయి. i_1, i_2, i_3 ప్రవాహాలు సంధి, D వైపుకాని D కి దూరంగా కాని విద్యుదావేశాలను తీసికొనిపోతాయి. సంధిని సమీపించే విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని ధనాత్మకంగాను సంధిని వదిలే ప్రవాహాన్ని ఋణాత్మకంగాను భావించినపుడు

$$i_1 + i_3 - i_2 = 0 \quad \text{... (12.9)}$$

కిర్ఛాఫ్ నియమానుసారంగా ఏ సంధి దగ్గరయినా విద్యుత్ ప్రవాహాల బీజీయ సంకలనం శూన్యం కావాలి.

పరిపథ సిద్ధాంతమును వివిధ లూపులకు అనువర్తించి దీనిని మనం పరిష్కరించవచ్చు. పటం 12.5లోని ఎడమ లూపుని అపసవ్యదిశలో చుట్టివస్తే పరిపథ సిద్ధాంతం ప్రకారం

$$E_1 + i_3R_3 - i_1R_1 = 0 \quad \text{... (12.10)}$$

అవుతుంది. కుడి లూపుకు అనువర్తిస్తే

$$-E_2 - i_2R_2 - i_3R_3 = 0 \quad \text{... (12.11)}$$

వస్తుంది. పై మూడు సమీకరణాలను ఉపయోగించి i_1, i_2, i_3 లను సాధిస్తే

$$i_1 = \frac{(R_3 + R_2)\,E_1 - E_2R_3}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1} \quad \text{... (12.12)}$$

$$i_2 = \frac{E_1R_3 - E_2\,(R_1 + R_3)}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1} \quad \text{... (12.13)}$$

$$i_3 = \frac{-E_1R_2 - E_2R_1}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1} \quad \text{... (12.13)}$$

లభిస్తాయి. ఒకవేళ $R_3 = \infty$ (అనంతం) అయినపుడు

$$i_1 = i_2 = \frac{E_1 - E_2}{R_1 + R_2 i_3} \quad i_3 = 0$$

అవుతాయి.

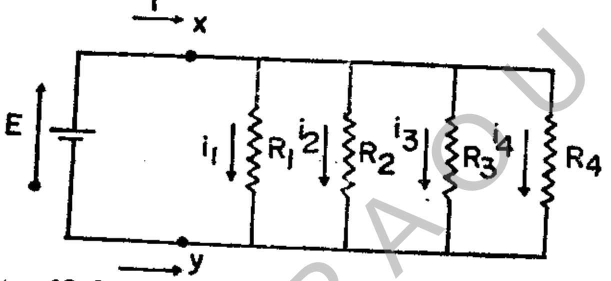
పటం 12.5లోని A C B D A సంపూర్ణ లూపుకు, పరిపథ సిద్ధాంతాన్ని అనువర్తిస్తే

$$i_1R_1 - i_2R_2 - E_2 + E_1 = 0 \quad \text{... (12.15)}$$

అవుతుంది. (12.10), (12.11) సమీకరణాలను కలిపినపుడు లభించే ఫలితమేయిది. వేరే కాదు.

మాదిరి లెక్క – 3

(పటం 12.6) R_1, R_2, R_3, R_4 నిరోధాలు e.m.f. స్థానానికి సమాంతరంగా కలుపబడినవి. వాటి సంయోగ నిరోధం ఎంత?



పటం 12.6 x, y కొనల మధ్య నిరోధకాలు సమాంతరంగా కలుపబడ్డాయి.

B R A O U

జవాబు

నాలుగు శాఖలలోని విద్యుత్ ప్రవాహాలు

$$i_1 = \frac{E}{R_1}\ ;\quad i_2 = \frac{E}{R_2}\ ;\quad i_3 = \frac{E}{R_3} \text{ and } \quad i_4 = \frac{E}{R_4}$$

ఇచ్చట x y ల మధ్య శక్మభేదం E.

సంధి 'x' వద్ద సంధి సిద్ధాంతాన్ని అనువర్తిస్తే

$$i = i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = E = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

కాని i = E/R

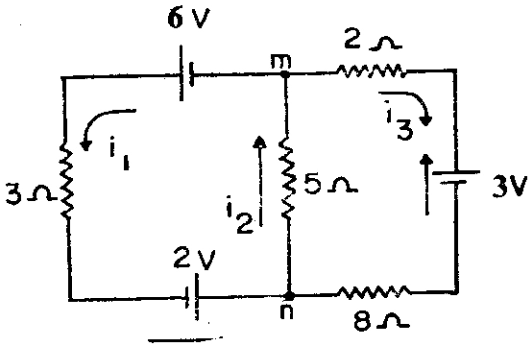
ఈ రెంటిని కలిపితే

$$\frac{1}{R_{eff}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

వస్తుంది.

మాదిరి లెక్క – 4

పటం 12.7లో విలువలు తెలియని ప్రవాహములను కిర్ఛాఫ్ నియమాలనుపయోగించి సాధించండి.



పటం 12.7

i_1, i_2, i_3 ల దిశలను పటంలో చూపిన తీరులో ఉన్నాయనుకొందాం. కిర్ఛాఫ్ నియమాన్ని సంధి 'm' కి అనువర్తిస్తే వచ్చే సమీకరణం

$\sum i$ ప్రవేశించు $= \sum i$ నిర్గమించు

$$i_2 = i_1 + i_3$$

ఎడమ లూపును 'm' నుంచి అపసవ్య దిశలో చుట్టివస్తే క్రింది ఓల్టేజ్ సమీకరణం వస్తుంది.

$$\sum E = \sum i R$$

$$6V + 2V = i_1 (3\Omega) + i_2 (5\Omega)$$

$$8V = (3\,\Omega)\, i_1 + (5)\, i_2$$

'm' నుంచి బయలుదేరి కుడిలూపును సవ్యదిశలో చుట్టివస్తే ఇంకొక ఓల్టేజ్ సమీకరణం వస్తుంది.

$$-3V = i_3 (2\Omega) + i_2 (5\Omega) + i_3 (8\Omega)$$

ఋణాత్మక సంకేతం చుట్టు, దిశకు జనక ఉత్పాదన దిశ విరుద్ధంగా ఉండడం వల్ల సంభవిస్తుంది. సూక్ష్మీకరిస్తే వచ్చే సమీకరణం

$$10\, i_3 + 5\, i_2 = -3A \qquad \text{... (III)}$$

i_1, i_2, i_3 లకై సాధించవలసిన మూడు సమకాలిక సమీకరణాలు

$$i_1 - i_2 + i_3 = 0 \qquad \text{... (I)}$$

$$3\, i_1 + 5\, i_2 = 8A \qquad \text{... (II)}$$

$$10\text{-}\, i_3 + 5\, i_2 = -3A \qquad \text{... (III)}$$

సమీకరణం 1 నుంచి వచ్చు $i_1 = i_2 - i_3$ ని II లో ప్రతిక్షేపిస్తే వచ్చేది

$$3\,(i_2 - i_3) + 5\, i_2 = 8A$$

$$8\, i_2 - 3\, i_3 = 8A \qquad \text{... (IV)}$$

III, IV లను i_2, i_3 లకై సాధిస్తే వచ్చే ఫలితం

$$i_2 = 0.75A, \quad i_3 = -0.67A$$

II లో i_2 విలువను ప్రతిక్షేపిస్తే $i_1 = 1.42$ ఆం. వస్తుంది.

$i_1 = 1.42$ ఆం., $i_2 = 0.75$ ఆం., $i_3 = -0.67$ ఆం.

3 విలువ ఋణాత్మక మగుటవల్ల ఊహించిన ప్రవాహదిశ తప్పు అని తెలుతుంది. ఊహించిన దిశకు ప్రవాహం వ్యతిరేకంగా ఉంటుందని తెలుస్తుంది. పై ఫలితాలను పరీక్షించుటకై ఇంకొక ఓల్టేజ్

B R A O U

సమీకరణాన్ని, బాహ్య పరిపథానికి కిర్ఛాఫ్ రెండవ నియమాన్ని అనువర్తించి వ్రాయవచ్చు. 'm' నుంచి బయలుదేరి అపసవ్య దిశలో చుట్టివస్తే

$$6V + 2V + 3V = i_1 (3\Omega) - i_3 (8\Omega) - i_3 (2\Omega)$$

$$11A = 3\, i_1 - 10 i_3$$

ఇందులో i_1, i_2 ల విలువలను ప్రతిక్షేపిస్తే 11 ఆం. = 11 ఆం.

రెండువైపులు సమానంగానే ఉంటాయి. ఇక్కడ i_3 యొక్క ఋణాత్మక విలువనే వాడినట్లు గమనించాలి.

12.7 సారాంశం

జనరేటర్, మోటారు, ఘటంవంటి పరికరాలు రెండు బిందువుల మధ్య శక్మ భేదాన్ని కలిగించగలవు. వీటిని emf జనకాలు అంటారు. వలయంలో ఏ సంధి దగ్గరైనా విద్యుత్ ప్రవాహాల బీజీయ సంకలనం శూన్యం. విద్యుత్ పరిపథంలో ఉన్న emf ల మొత్తం ఆలూప్‌లోని iR పాతాల మొత్తానికి సమానం.

12.8 నమూనా ప్రశ్నలు

I. ఈ క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానం రాయండి.

1) ఒక వాహకంలో అపసరవడికి, చలనశీలతకు సమాసాలను ఉత్పాదించండి.

2) అపసరవడి అంటే ఏమిటో నిర్వచించండి. అపసరవడి, విద్యుదయస్కాంతరంగ వేగం అనే పదాలను గుర్తించి వాటికిగల భేదాలను వివరించండి.

3) ఒక విద్యుద్వాహకంలో నిరోధకతకు సమీకరణాన్ని ఉత్పాదించండి. వాహకం నిరోధకత యొక్క ముఖ్య కారకాలేవి?

4) ఓమ్ నియమాన్ని నిర్వచించి వివరించండి. ఈ నియమం అన్ని వాహకాలకు వర్తిస్తుందా? అనోమీయ నిరోధాలేవి? కొన్ని ఉదాహరణలివ్వండి.

5) వాహకం యొక్క నిరోధకత, దాని ఎలెక్ట్రాన్ మధ్యమ స్వేచ్ఛా పథాలకు గల సంబంధాన్ని రాబట్టండి. సగటుకాలం τ అంటే ఏమిటి?

6) విద్యుత్ వాహకత్వం, ఉష్ణవాహకత్వం మధ్య సారూప్యాన్ని వివరించండి. ఉష్ణవాహకత్వం K, విద్యుద్వాహకత్వం σ లకు గల సంబంధ ప్రమేయం $\frac{K}{\sigma} = 3\left(\frac{k}{e}\right)$ T (వైడమన్ - ఫ్రాంజ్ నియమం)ను ఉత్పాదించండి. ఇచ్చట k బోల్ట్జ్‌మన్ స్థిరాంకం, 'e' ఎలక్ట్రాన్ యొక్క ఆవేశం, T పరమ ఉష్ణోగ్రత

7) ఒక ఋజువాహకంలో ఉష్ణోద్భవ రేటు ప్రవాహ వర్గానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుందని చూపండి.

8) కిర్ఛాఫ్ నియమాలను నిర్వచించండి. వీటిని అనువర్తించి ఏక పరి పథవలయంలో విద్యుత్ప్రవాహానికి, శక్మభేదానికిగల ప్రమేయాలను రాబట్టండి.

9) కిర్ఛాఫ్ నియమాలననుసరించి బహు పరిపథ వలయాల (multiple loop) విద్యుత్ ప్రవాహానికి, విద్యుత్ శక్మభేదానికి గల సంబంధాల్ని ఉత్పాదించండి.

II. ఈ క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి.

1) విద్యుత్ప్రవాహాన్ని, ప్రవాహ సాంద్రతని గుర్తించి వాటికిగల భేదాలు వివరించండి.

BRAOU

2) శక్మభేదానికి, విద్యుచ్ఛాలక బలానికి గల భేదమేమిటి? అవి రెండూ ఒకటేనా? వాటి ప్రమాణాలేవి?

3) ఒక వాహకంలో విద్యుత్‌ప్రవాహానికి నిరోధం అనే భావనను గూర్చి విశదంగా వివరించండి.

4) వాహకత్వపుమానం ఆధారంగా మూలకాలను వర్గీకరించగలరా? వర్గీకరించగలిగితే వాటిని వివరించండి. ప్రతి తెగకు కొన్ని ఉదాహరణలివ్వండి.

5) పరమ శూన్య ఉష్ణోగ్రత వద్ద వాహకపు నిరోధం దాదాపు శూన్యమనే దృగ్విషయాన్ని ఊహించగలరా? ఆ దృగ్విషయమేది? దీన్ని గురించి సంగ్రహంగా రాయండి.

6) అర్ధవాహకం అంటే ఏమిటి? దీనిలో ఉష్ణోగ్రత పెరిగే కొద్దీ నిరోధం ఎందుకు తగ్గుతుందో వివరించండి.

7) అయస్కాంత నిరోధం అంటే ఏమిటి? దీనికి కొన్ని ఉదాహరణలివ్వండి.

8) ఎలెక్ట్రాన్ ప్రవాహాన్ని, వ్యవహారిక విద్యుత్ప్రవాహాన్ని గుర్తించి విశదంగా వివరించండి.

9) ఒక వాహకంలో విద్యుత్ సామర్థ్యానికి గల సమాసాన్ని ఉత్పాదించండి.

10) విద్యుచ్ఛాలక బలం అంటే ఏమిటి? అంతర నిరోధం అంటే ఏమిటి?

11) కిర్ఛాఫ్ నియమాల అర్థాన్ని పరివర్తన సూత్రాల పరంగా చర్చించండి.

III. ఈ క్రింది లెక్కలను సాధించండి.

1) 1.00 మి.మీ.ల వ్యాసార్థంగల ఒక వెండి తీగలో 2 ఆం.ల ప్రవాహమున్నది. ఆ తీగలో ప్రవాహ సాంద్రతను కనుగొనండి. (జ. 6.4×10^5 ఆం./మీ.^{2})

2) పై లెక్కలో 2 ఆం.ల ప్రవాహాన్ని 50 సెం.మీ.ల పొడవుగల తీగలో నెలకొల్పుటకు ఎంత శక్మభేదం కావాలి. (జ. 5.4×10^{-3} ఓ)

3) మొదటి లెక్కలో అపసరవడిని గణించండి. (జ. 7×10^5) మీ/సె)

4) 10Ω ల నిరోధకంలో 4 నిముషములపాటు 5 ఆం.ల ప్రవాహం ఉంది. ఈ కాలవ్యవధిలో (1) ఎన్ని కులూంబ్‌లు ప్రవాహం ఉంటుంది? (2) ఎన్ని ఎలెక్ట్రాన్‌లు ఆ నిరోధకం యొక్క ఏ మధ్యచ్ఛేదమునైనా దాటుతాయి ?
(జ. 1200 కూ. ; 7.5×10^{21} ఎలెక్ట్రానులు)

5) ఒక చదరపు అల్యూమినియము కడ్డీపొడవు 1.0 మీ; భుజం 5.0 మి.మీ. (a) దాని కొనల మధ్య నిరోధం ఎంత ? (b) పై నిరోధంతో సమానంగా ఉండేటట్లు 1.0 మీ. పొడవున్న వృత్తాకారపు రాగి దండం వ్యాసం ఎంత ?
(జ. 1.12×10^{-3} Ω, 2.2 మి.మీ.)

6) 12 నంబర్ గేజ్‌గల రాగి తీగ వేడిచేయకముందు ప్రవహింపగల గరిష్ఠ ప్రవాహం 30 ఆం.లు, దాని వ్యాసం 0.26 సెం.మీ. ఒక మీటర్ పొడవు తీగ నిరోధాన్ని గణించండి. 30 ఆం.లు ప్రవాహముంటే దాని కొనల మధ్య ఎంత ఎక్కువ శక్మ భేదం ఉండాలి?
(జ. 3.2×10^{-3} Ω ; 0.096 V)

7) 10 మీ.ల పొడవు, 0.20 సెం.మీ.ల వ్యాసార్థం గల ఒక తీగ ఉంది. దాని కొనలకు 1.5 V విద్యుత్ ఘటాన్ని కలిపితే దానిలో 0.70 ఆం.ల ప్రవాహ ఉంటుంది. దాని నిరోధాన్ని కనుగొని ఆ పదార్థం నిరోధకతను గణించండి.
(2.14 Ω ; 6.7×10^{-7} Ω మీ.)

8) ఒక లోహపు దండం పొడవు 1.00 మీ. వ్యాసం 0.55 సెం.మీ. 20^{0}Cల వద్ద దాని కొనల మధ్య నిరోధం 2.87×10^{-3}Ω అదే లోహంతో 2.00 సెం.మీ.ల వ్యాసం 1.0 మి.మీ. మందంగల పలక తయారుచేయబడినది. (1) ఎదురెదురుగా ఉన్న గుండ్రని ముఖాల మధ్య నిరోధం ఎంత? (2) ఆ పదార్థమేది ?
(జ: 2.2×10^{-7}Ω, నికల్ $\rho = 6.8 \times 10^{-8}$ Ω మీ.)

BRAOU

9) అల్యూమినియమ్ వాహకానికి 0^0C వద్ద నిరోధపు విలువ రెట్టింపు అయ్యే ఉష్ణోగ్రత ఏది ? ఆకారంతోను, పరిమాణంతోను సంబంధంలేకుండా అన్ని అల్యూమినియం వాహకాలకి ఈ ఉష్ణోగ్రతే వర్తిస్తుందా ?

(జ. 260^0C అవును)

10) ఒక చదరపు అల్యూమినియం దండం పొడవు 1.0 మీ. భుజం 5.0 మి.మీ. (1) దాని కొనల మధ్య నిరోధం ఎంత ? (2) పైదాని నిరోధంతో సమానంగా ఉండేటట్లు 1.0 మీ. పొడవున్న వృత్తాకారపు వెండి దండం వ్యాసం ఎంత?

(జ. $1.12 \times 10^{-3}\ \Omega$; 2.13 మి.మీ.)

11) 24 నంబర్ గేజ్‌గల మ్యాంగనిన్ తీగ యొక్క నిరోధకత 20^0C వద్ద 1.73 Ω మీ. 0^0C వద్ద దాని నిరోధాన్ని గణించండి.

12) నికల్‌లో స్వేచ్ఛా ఎలెక్ట్రాన్‌ల మధ్యమ స్వేచ్ఛాపథాన్ని గణించండి.

$$[n = \frac{\text{అవగాడ్రో స్థిరాంకము} \times \text{సాంద్రత}}{\text{పరమాణుభారం}} = \frac{6.0 \times 10^{23} \times 8.9}{5.9}$$

$$= 9.0 \times 10^{28} \text{ ఘ.మీ.ను వాడుము})$$

13) 3.0 ఆం.ల ప్రవాహమున్న ఒక నిరోధంలో 100 వాట్‌ల రేటులో ఉష్ణం ఉద్భవింపబడుతుంది. దాని నిరోధం ఎంత ?

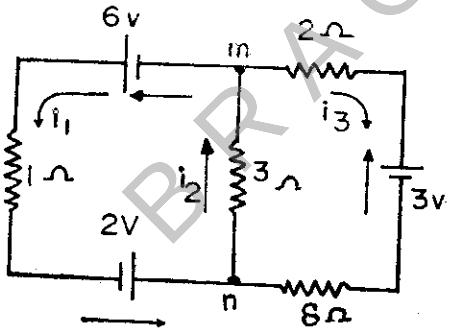
(జ. 11 Ω)

14) నైక్రోమ్ తాపకంలోని తీగ ఉష్ణోగ్రత 800^0C లు, అనువర్తిత పొటెన్షల్ తేడా 110 V లు ఉన్నప్పుడు 500 వాట్లని ఉత్సర్గం చేస్తుంది. తీగ ఉష్ణోగ్రతని శీతలీకరణ తైల తాపన పాత్రలో ఉంచి 200^0C వద్ద స్థిరం చేస్తే ఎంత సామర్థ్యాన్ని దుర్వ్యయం చేస్తుంది ? అనువర్తిత పొటెన్షల్ తేడా అంతే ఉంటుంది. నైక్రోమ్‌కి α విలువ $4 \times 10^{-4}/C^0$.

15) ఒక విద్యుత్ టోస్టర్ 120 వోల్టుల వద్ద 900 వాట్‌ల ఉష్ణాన్నిచ్చునట్లు తయారు చేయబడినది. ఆ టోస్టర్ ఎంత ప్రవాహాన్ని తీసికొంటుంది ? పని చేయునపుడు దాని నిరోధం ఎంత ?

(జ. 7.5 ఆం; 16Ω)

16) కిర్ఛాఫ్ నియమాలను ఉపయోగించి పటము IV.1 లోని ప్రవాహాలను సాధించుము.



పటము iv-1

17) R_1 18 ఓమ్‌ల R_2 9 ఓమ్‌ల నిరోధాలను సమాంతరంగా, మరియు శ్రేణిలో ఒక 24 వోల్టుల విద్యుత్ ఘటమునకు కలిపినప్పటి ప్రతి సంయోగంనందు ఫలిత నిరోధం ఎంత ? ఏ సంయోగం విద్యుత్ ఘటం నుంచి ఎక్కువ ప్రవాహంను లాగును?

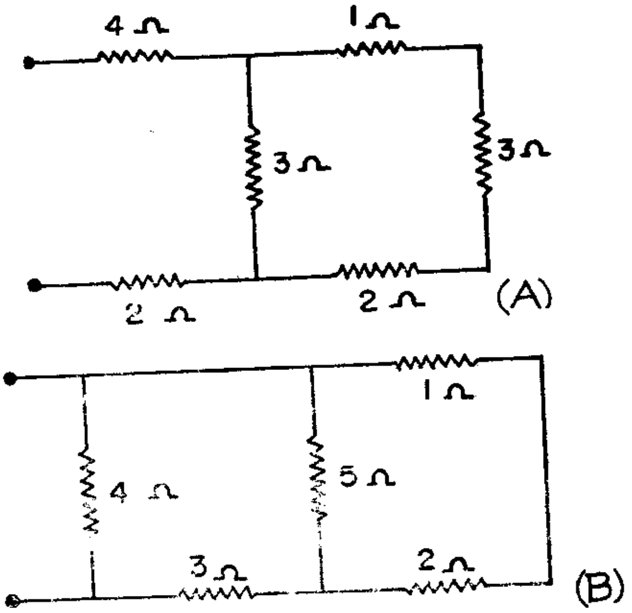
(జ. 6Ω, 27Ω; సమాంతర)

18) $R_1 = 100\Omega, R_2 = 150\Omega, R_3 = 80\Omega$ ల మూడు నిరోధాలు ఇవ్వబడినవి. వాటిని (i) శ్రేణిలో (ii) సమాంతరంగా సంయోగపరచిన వాటి తుల్య నిరోధాన్ని కనుగొనుము.

(జ. 330 Ω; 34 Ω)

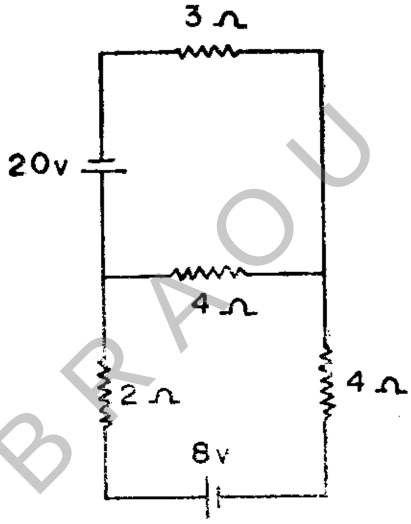
BRAOU

19) పటము IV, 20 (a), (b) లలో తుల్య నిరోధాన్ని గణించండి. (జ. 8 Ω; 2.3 Ω)



పటము iv-2

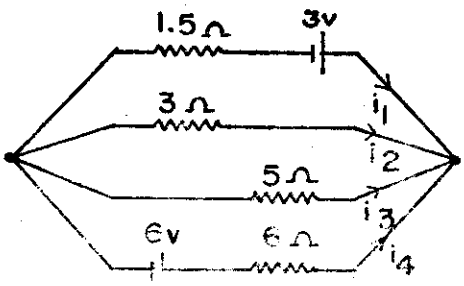
20) పటము IV.30 లో చూపిన వలయంలోని ప్రవాహాలను కిర్ఛాఫ్ నియమాల సహాయంతో సాధించండి. (జ. 23.8 మి.ఆం., 190 మి. ఆం., 214 మీ.ఆం.)



పటము iv-3

21) క్రింద చూపబడిన వలయానికి కిర్ఛాఫ్ నియమాలను అనువర్తించి ప్రతి శాఖలో ప్రవాహాలను గణించండి.

(జ. 536 మి.ఆం., 732 మి. ఆం.,, 439 మి. ఆం., 634 మి. ఆం.)



పటము iv-4

12.9 చదవదగిన గ్రంథాలు

1) Paul E. Tippens, "Applied Physics" 2nd Edition, Mc Graw Hill Book Company, New York.

2) Sears, F.W., "Electricity and Magnetism" Addison-wesley publishing company, Massachusetts.

3) Halliday, D and Resnik, R., "Physics-PartII" Wiley Eastern Limited, New Delhi.

4) Bueche, F.J. "Introduction to Physics for Scientists and Engineers" Mc Graw Hill International Book Company, New Delhi.

రచన, : డా. కె.వి. శివకుమార్

అనువాదం : డా.ఆర్.వి.రామచందర్

BRAOU

BRAOU

ఖండం-5 అయస్కాంత క్షేత్రం

BRAOU

BRAOU

భాగం – 13 ఆంపియరు సూత్రం

విషయక్రమం

13.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
13.2 ప్రవేశిక
13.3 అయస్కాంత క్షేత్రం
13.4 ఆంపియరు సూత్రం
13.5 తిన్ననైన తీగలో విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నపుడు దాని చుట్టూ ఉన్న ప్రాంతంలో ఒక బిందువు వద్ద అయస్కాంత ప్రేరణ
13.6 అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖలు
13.7 సారాంశం
13.8 నమూనా జవాబులు
13.9 నమూనా ప్రశ్నలు

13.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో అయస్కాంతక్షేత్ర భావన వివరించబడింది. మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

1) సరళమైన వాహకపు తీగలో విద్యుత్ ప్రవహించేటప్పుడు ఏర్పడే అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని గణించగలుగుతారు.
2) అయస్కాంత ప్రేరణరేఖలను (magnetic lines of Induction) వివరించగలరు.

13.2 ప్రవేశిక

ముందు భాగాలలో మనం విద్యుదావేశాలు ఒకదాని మీద ఒక విద్యుత్ బలాన్ని కలిగిస్తాయని తెలుసుకొన్నాం. ఈ ఖండికలో అయస్కాంత బలాలను గూర్చి తెలుసుకొందాం. విద్యుదావేశాలను చలింపచేసి అయస్కాంత బలాలను గూర్చి తెలుసుకొందాం. విద్యుదావేశాలను చలింపచేసి అయస్కాంత బలాన్ని సృష్టించవచ్చు. అదే విధంగా అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని చలింపచేసి విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని కూడా జనింపచేయవచ్చు. పరివర్తనాలు ఉత్పాదకాలు, విద్యుత్ మోటార్లు, టెలివిజన్లు, రేడియోలు వివిధ విద్యుత్ మోటార్లు పనిచేసే విధానంలో విద్యుత్, అయస్కాంత బలాలు వాటి మధ్యగల సంబంధంప్రాముఖ్యం వహిస్తుంది. ఈ ఖండికలో అయస్కాంత క్షేత్రం, అయస్కాంతబలం, అయస్కాంత ప్రభావాలు విద్యుదావేశాలు గమనిస్తున్నపుడు ఎలా ఉత్పన్నమౌతాయో తెలుసుకొందాం.

13.3 అయస్కాంత క్షేత్రం

దరిదాపు విజ్ఞానశాస్త్రం అభివృద్ధి మొదటి నుండియే శాస్త్రజ్ఞులు అయస్కాంతత్వం, అయస్కాంతమును గూర్చి తెలుసుకున్నారు. 16వ శతాబ్దంలోనే గిల్‌బర్ట్ అను ఆంగ్లేయ వైద్యుడు అయస్కాంతాల యొక్క ధర్మాలను గూర్చి విశదీకరించుతూ భూమిచుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రము ఉన్నట్లు గుర్తించాడు. భూమిచుట్టూ ఉన్న అయస్కాంత క్షేత్ర స్వభావం, అయస్కాంతీకరించబడిన గోళం

BRAOU

చుట్టూవున్న అయస్కాంత క్షేత్ర స్వభావం ఏకరీతిగా ఉంటాయని కూడా చూపినాడు. 1820లో ఆయిర్‌స్టెడ్ (Oersted) అను శాస్త్రజ్ఞుడు, వాహకాలలో (సన్నని తీగ) విద్యుత్‌ను ప్రవహింప చేసినపుడు దాని చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రం వుంటుందని కనుగొన్నాడు. ఈ మౌలిక పరిశీలనే నేడు అత్యధికమైన అయస్కాంత క్షేత్రాలను జనింపచేయడానికి వీలు కల్పించింది. ప్రయోగ పరిశీలనలు ఏమి తెలిపాయంటే వాహకాల గుండా విద్యుత్‌ను ప్రసరింపజేసినప్పుడు తమ చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని జనింపచేస్తాయి. అయస్కాంత క్షేత్రంలో ప్రతి బిందువువద్ద ఉండు అయస్కాంత క్షేత్రాలు దిశను, పరిమాణాన్ని కలిగియుంటాయి. కాబట్టి అయస్కాంత క్షేత్రం, అయస్కాంత ప్రేరణ రెండింటిని కూడా సదిశరాశులుగా పేర్కొనవచ్చును. అయస్కాంత ప్రేరణను సదిశ రాశిగా సూచిస్తారు. అయస్కాంత ప్రేరణ B అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖలతో సంబంధము కలిగి వుంటుంది.

ఈ సంబంధాన్ని ఈ క్రింది అంశాలతో అర్థం చేసికోవచ్చు.

1) అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖపై ఏ బిందువు వద్దనైనా గీయబడిన స్పర్శరేఖ ఆ బిందువు వద్ద అయస్కాంత ప్రేరణ దిశను సూచిస్తుంది.

2) అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖలు గుణాత్మకంగా క్షేత్రంలోని ఒక బిందువువద్ద క్షేత్రపు సత్వాన్ని (strength) తెలియజేస్తాయి. ప్రమాణ వైశాల్యం గుండా పోయే ప్రేరణ రేఖల సంఖ్యక్షేత్రపు సత్వాన్ని తెలియజేస్తాయి. కాబట్టి అయస్కాంత ప్రేరణ B యొక్క తీవ్రతను ప్రమాణ వైశాల్యం గుండా పోయేటటువంటి ప్రేరణ రేఖల సంఖ్యను బట్టి గణించవచ్చు. ప్రమాణ వైశాల్యం గుండా పోయే ప్రేరణరేఖల అయస్కాంతక్షేత్ర అభిసరణం అంటారు. ఈ అభిసరణం, వైశాల్యం, ప్రేరణలు ఈ క్రింది సమీకరణ ద్వారా కట్టుబడి వుంటాయి.

$$\phi_B = \int \vec{B} \cdot \vec{ds} \qquad \ldots 13.1$$

ϕ_B ని అయస్కాంత క్షేత్ర అభిసరణం లేదా అయస్కాంత క్షేత్ర అభివాహం అంటారు. దీనిని కొలిచే ప్రమాణం వెబరు (Weber).

$$B = \phi_B \text{ Area} \qquad \ldots 13.2$$

కాబట్టి అయస్కాంత ప్రేరణకు వెబరు/మీటరు^{2} అనునది ప్రమాణం. దీనిని టెస్లా (Tesla) అని కూడా అంటారు.

(CGS) సెం.గ్రా.సె. వ్యవస్థలో ప్రమాణం గౌసులు.

$$\frac{\text{వెబరు}}{\text{మీటరు}^2} = 10^4 \text{ గౌసులు} = 1 \text{ టెస్లా}$$

మీ అవగాహనను పరీక్షించుకోనండి

అయస్కాంత ప్రేరణ ప్రమాణం

BRAOU

13.4 ఆంపియరు సూత్రం

ఒక వాహకంగుండా విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నపుడు ముఖ్యంగా మూడు అది ప్రభావాలు కలుగజేస్తుంది. 1) అయస్కాంతత్వపు ప్రభావం, 2) ఉష్ణాన్ని జనింపజేసే ప్రభావం, 3) రసాయనక మార్పులను కలుగజేసే ప్రభావం. ఈ మూడింటిలో ఏదానినైనా ఉపయోగించి వాహకం గుండా ప్రవహిస్తున్న విద్యుత్ ప్రవాహపు పరిమాణాన్ని తెలుసుకోవచ్చు. ఈ విభాగంలో అయిస్కాంత క్షేత్రాలు ఏర్పరచే ప్రభావాలు పరిశీలిద్దాం.

విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న తీగ సమీపంలో ఒక అయిస్కాంత సూచిక నుంచినట్లయితే అది తన ఉత్తర - దక్షిణ దిశలను సూచించే దిశనుండి విక్షేపము చెందుతుందన్న విషయాన్ని 1820 సంవత్సరంలో ఆయిరెస్టెడ్ అను డేనిష్ భౌతిక శాస్త్రవేత్త కనుగొన్నాడు. వాహకంలో విద్యుత్ ప్రవాహ దిశను ఉత్క్రమణం చేస్తే సూచిక విక్షేపం కూడా ఉత్క్రమణం చెందుతుంది. లాప్లాస్, ఆంపియరు; వాహకంలో విద్యుత్ ప్రవాహం వల్ల దాని చుట్టూ జనించే అయిస్కాంత ప్రేరణలను గణిత రూపంలో సూచించ

వచ్చునని చూపారు. ఇట్లు చూపబడిన ఒక సమీకరణాన్నే ఆంపియరు సూత్రం అంటారు. ఈ ఆంపియరు సూత్రం వాహకం ద్వారా ప్రవహించే విద్యుత్ i కి, దానివల్ల జనించే అయస్కాంత క్షేత్రం B కి మధ్య గల సంబంధాన్ని తెలియజేస్తుంది. దీన్ని ఈక్రింది సమీకరణం ద్వారా

$$\oint \vec{B} . \vec{dl} = \mu_0 i$$

సూచించవచ్చు. ... 13.3

ఈ సమీకరణంలో dl వాహకంలోని కొంత నిర్దిష్టమైన చిన్నభాగం μ_0 ప్రవేశ్యశీలత (permiability) స్థిరాంకం, శూన్యాంతరాళంలో (in vaccum space) పెర్మియబిలిటీ స్థిరాంకపు విలువ $\mu_0 = 4\pi X 10^7$ వెబరు/ఆంపియర్, మీటరు.

ఈ సమీకరణం (13.3)ను రూపొందించడానికి దారి తీసిన, ఆంపియరు చేసిన చారిత్రాత్మక ప్రయోగాన్ని పరిశీలిద్దాం. విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న తిన్నని తీగనుండి వేరు వేరు దూరాలలో (r) అయస్కాంత ప్రేరణలను (B) కొలవడమే ఈప్రయోగంలోని ముఖ్యాంశం. విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న తీగ సమీపంలో ఒక అయస్కాంత సూచికను ఉంచామనుకొందాం. (ఈ అయస్కాంత సూచికను ద్విధృవం (dipole) అని కూడా అంటారు).

ఇట్లు ఉంచినపుడు అయస్కాంత సూచిక బాహ్య అయస్కాంత క్షేత్రపు దిశలో ఉండేట్లుగా విక్షేపం చెందుతుంది. ఈ విక్షేపం వల్ల సూచిక ఉత్తర ధృవం, బాహ్య అయస్కాంతక్షేత్రపు (B) దిశలో ఉంటుంది. ఈ అయస్కాంత క్షేత్రపు దిశ B తీగను కేంద్రంగా ఉంచి r వ్యాసార్థం గల వృత్త పరిధిపై గీయబడిన స్పర్శ రేఖ దిశలో ఉంటుంది. ఈ విధంగా సూచిక విక్షేపం చెందినపుడు దానిపైన టార్క్ (τ) పని చేస్తున్నదన్నమాట. ఈ బలయుగ్మపు విలువ తెలుసుకొనడానికి, మనం సూచికను దాని సమతాస్థితికి θ కోణంలో బాహ్యంగా దానిపై పనిచేసి త్రిప్పాల్సి ఉంటుంది. ఈ పునఃస్థాపక బలభ్రామకం

$$\tau = \vec{\mu} X \vec{B} \quad \text{... 13.4}$$

లేదా $\tau = \mu B \sin\theta$ ... 13.5

ఇక్కడ μ అయస్కాంత సూచిక యొక్క అయస్కాంత భ్రామకం. μBల మధ్యకోణం θ. ఒక అయస్కాంత సూచికకు సంబంధించినంత వరకు దాని అయస్కాంత భ్రామకపు విలువ స్థిరాంకం. యిది సూచిక స్థానాన్ని బట్టి దిశను బట్టి మారకుండా స్థిరంగా ఉంటుంది. తీగనుండి వివిధ దూరాలలో (r) τ, θ విలువలను బట్టి ఒకే అయస్కాంత సూచికతో అయస్కాంత ప్రేరణ B ఎలా మారుతుందో తెలుసుకోవచ్చు. ప్రయోగాల ద్వారా తెలిసిన దేమనగా దూరం (r) విలువతో B విలోమానుపాతంలోను విద్యుత్ ప్రవాహం i తో B విలువ అనులోమానుపాతంగాను మారుతున్నట్లు తెలిసింది.

$$B \alpha \frac{i}{r} \quad \text{... (13.6)}$$

ఈ సమీకరణంలో అనుపాత గుణకంగా $\frac{\mu_0}{2\pi}$ ని ప్రవేశ పెట్టవచ్చు. μ_0 అనునది శూన్యాంతరాళపు పెర్మియబిలిటీ స్థిరాంకం.

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i}{r} \quad \text{... (13.7)}$$

$$B(2\pi r_0 = \mu) i \quad \text{... (13.8)}$$

ఈ సమీకరణం ఎడమ వైపు భాగమును ఒక రేఖాసమాకలనం $\oint$Bdl గా వ్రాయవచ్చు. r వ్యాసార్థంగా గల వృత్త పరిధి 2πr లోని చిన్న భాగం dl ను సమాకలనం చేయడంవల్ల $\int$dl వస్తుంది. ఈ వృత్త పరిధిపై గీయబడి స్పర్శరేఖ చిన్నభాగం (dl), B ఒకే దిశలో ఉంటాయి.

$$\oint \vec{B} \; \vec{dl} = \oint \vec{B} \; \vec{dl}$$

$$= \vec{B} \oint \vec{dl}$$

$$= B \; 2.\pi r \quad \text{... (13.9)}$$

BRAOU

$$\therefore \oint \vec{B} \cdot \vec{dl} = \mu i \qquad \text{... (13.9a)}$$

దీనినే అంపియరు సూత్రం అంటారు. ఇది సామాన్యీకరణ చేయబడిన సమీకరణం కాబట్టి సమాకలనం చేయగల ఏ ప్రేరణకైనా, ఎలాంటి విద్యుత్ సము దాయాలకైనా ఇది వర్తిస్తుంది.

13.5 తిన్నతైన తీగలో విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నపుడు దాని చుట్టూ ఉన్న ప్రాంతంలో ఒక బిందువు వద్ద అయస్కాంత ప్రేరణ

పటం 13.1లో చూపినట్లు తిన్నని తీగలో i విద్యుత్‌ను ప్రవహింపచేసినపుడు దాని చుట్టూ అయస్కాంత ప్రేరణ B జనిస్తుంది. తీగనుండి r దూరంలో idl మౌలిక వాహకపు ప్రవాహం వల్ల dB అయస్కాంత ప్రేరణ జనించినదనుకొందాం.

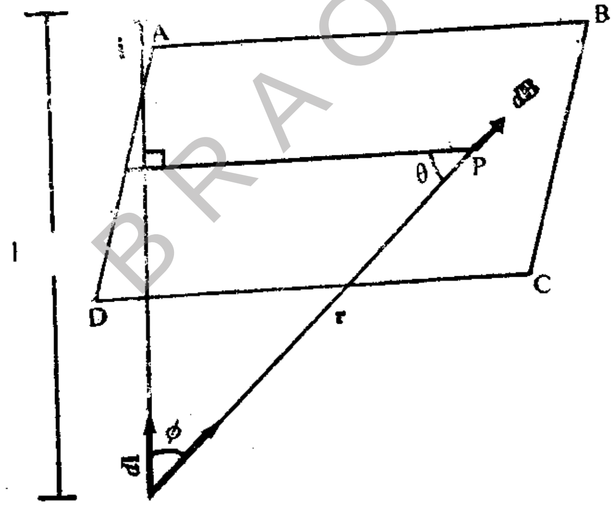
$$dB = \frac{\mu_0}{2\pi} \; \frac{dl \sin \phi}{r^2} \qquad \text{... (13.10)}$$

dl, sinϕ, r^2 లను కోణం θ లో చెప్పి పై సమీకరణాన్ని ఈ క్రింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi r} \int_{-\pi/2}^{+\pi/2} \cos\theta \, d\theta$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi r} \qquad \text{... (13.11)}$$

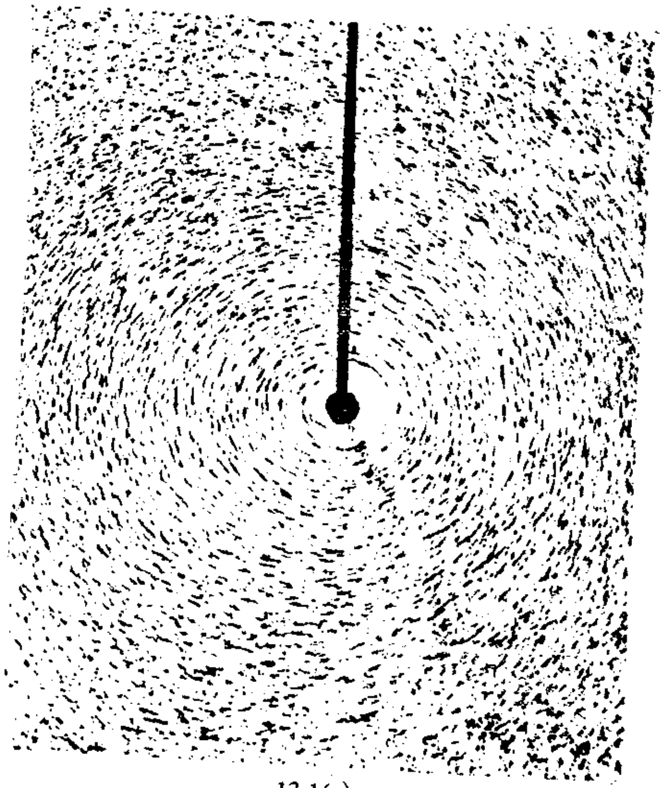
ఈ సమీకరణంలో B, తీగనుండి దూరంగా వెళ్ళిన కొద్దీ విలోమానుపాతంలో తగ్గుతుందని తెలుస్తుంది. B, తీగకు లంబంగా గల తలంలో ఉంటుంది. ఈ అయస్కాంత ప్రేరణపు ప్రేరణరేఖలు తీగకు లంబతలంలో తీగ కేంద్రంగాగల వృత్తాలుగా ఉంటాయి.



పటం. 13.1 i విద్యుత్ప్రవాహం గల తిన్నని పొడవైన తీగ

13.6 అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖలు

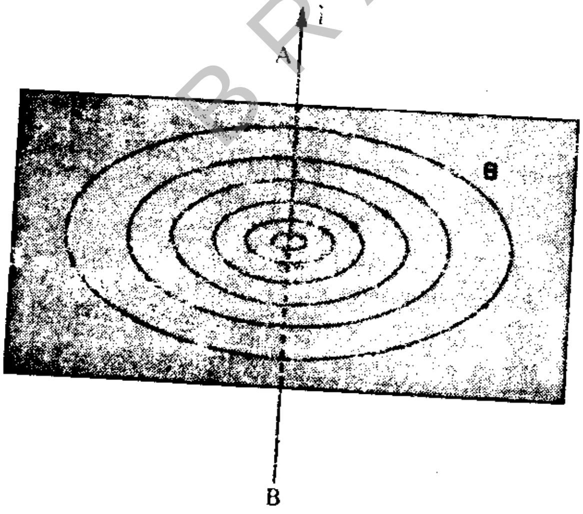
పటం 13.2లో చూపినట్లు ఒక అట్టముక్కకు కర్ణాలు ఖండించుకొనే బిందువు 'O' వద్ద ఒక రంధ్రమును ఏర్పరచి దాని గుండా AB అనే తిన్నని తీగను ప్రవేశపెట్టామనుకొందాం. ఈ తీగలో



13.1(a)

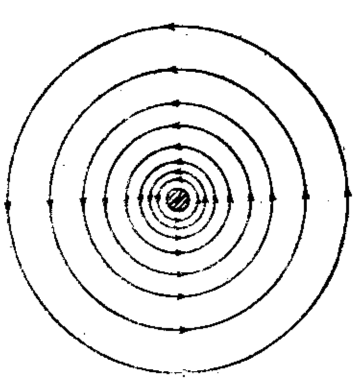
విద్యుత్ i ఊర్ధ్వ దిశలో ప్రవహిస్తుందనుకొందాం. తీగె, అట్టముక్కకు లంబదిశలో ఉంటుంది. ఈ అట్టపై ఇనపరజనను చల్లితే ఈ ఇనుప రజను రేణువులు పటంలో చూపినట్లు ఒక నిర్దిష్ట ఆకారంలో (ఏకకేంద్రవృత్తాలుగా) అమరుతాయి. ఈ ఇనుపరజను అమరిక అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖల వ్యూహాన్ని తెలుపుతుంది. ఈ అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖా వలయాన్ని గమనిస్తే, ఈ రేఖల మధ్య దూరం కేంద్రం 'O' నుండి దూరంగా పోయేకొద్దీ హెచ్చుతున్నట్లు తెలుస్తుంది.

BRAOU



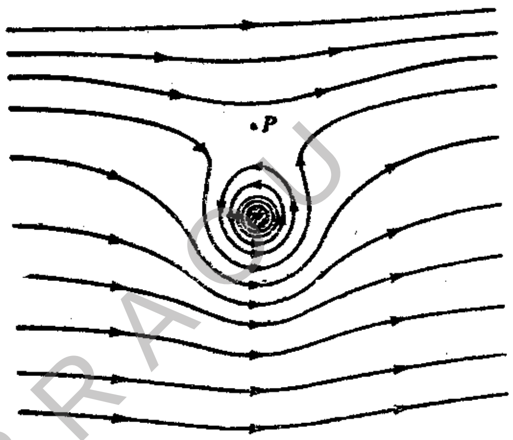
పటం. 13.2 (a,b) బలమైన విద్యుత్తు ప్రవాహం గల తీగ చుట్టూ అట్టమీద ఇనుపరజను అమరేతీరు అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖలను తెలుపుతుంది. (PSSC వారి సౌజన్యంతో)

ఈ గమనిక వల్ల ఇదివరకే చెప్పినట్లు అయస్కాంత ప్రేరణ (B) దూరం (r) తో విలోమానుపాతంలో మారుతుందని తెలుస్తుంది. కాబట్టి దూరం పెరిగే కొద్దీ ప్రేరణ రేఖల మధ్య దూరం హెచ్చినందువల్ల అయస్కాంత ప్రేరణ విలువ తగ్గుతుంది.



పటం 13.3 పొడవైన సూత్రాకారపు తీగవద్దగల అయస్కాంత ప్రేరణ B రేఖలు. కేంద్రం దగ్గర గల నల్లని చుక్క విద్యుత్ప్రవాహం 'I' సూచిస్తుంది. ఇది పటం నుంచి బయటకు వెలువడు దిశలో ఉంటుంది. (మధ్యచ్ఛేద దృశ్యం).

ప్రేరణ రేఖల భావనను ధృవపరుస్తూ వాటి ప్రాముఖ్యతను క్షుణ్ణంగా ధృవీకరించిన వారిలో మైకేల్ ఫారడే ముఖ్యుడు. సాగదీయబడిన రబ్బరు పట్టీలో ప్రతి బిందువు వద్ద యాంత్రికశక్తి ఏవిధంగా ఉంటుందో అదేవిధంగా అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రభావితపు శక్తి స్థావరంగా అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖలలో ఉంటుందని ఫారడే ధృవీకరించాడు. విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్న తీగను అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉంచినప్పు డు దానిపై పనిచేసే బలాలను పరిణామాత్మకంగా $F = \vec{I} \times \vec{B}$ అనే సమీకరణం ద్వారా పొందవచ్చు.



BRAOU

పటం 13.4 ఒక తీగ గుండా విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్నప్పు డు ఆ తీగను బాహ్య అయస్కాంత క్షేత్రం B_eలో ఉంచినపుడు ఏర్పడే అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖలు

విద్యుత్ప్రవాహం గల తీగను బాహ్య అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉంచితే తీగ చుట్టూ ఏర్పడిన ప్రేరణ రేఖల ఆకృతి ఎలా మార్పు చెందుతుందో పటం 13.4లో చూపాము. పటంలో చూపినట్లు విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్న తిన్నని తీగను బాహ్య అయస్కాంత క్షేత్రం (B_e) లో ఉంచినపుడు తీగవల్ల జనించే ప్రేరణ రేఖలు క్షేత్ర దిశకు లంబంగా దిక్ విన్యాసాన్ని చెందుతాయి. ఏదేని ఒక బిందువు వద్ద ఫలిత ప్రేరణ (B) సమరీతి బాహ్యక్షేత్రం (B_e), తీగవల్ల ఏర్పడ్డ అయస్కాంత ప్రేరణ (B_i)ల సదిశ రాశుల మొత్తానికి సమానం. కాబట్టి తీగపైభాగంలో B_e, B_i రద్దయి ఫలిత ప్రేరణ B శూన్య విలువను పొందుతుంది. కాని తీగ క్రింది భాగంలో B విలువ B_e, B_i లు పరస్పర మిళితమై ప్రబలీకృతమౌతుంది. కాబట్టి పటం 13.4లో P బిందువువద్ద B_e, B_i లు ఒకదానికొకటి రద్దయినందువల్ల ఫలిత క్షేత్రం శూన్యం అవుతుంది. తీగకు సమీపంలో ఫలితక్షేత్రం ముఖ్యంగా B_i వల్ల ఏర్పడుతుంది.

మాదిరి లెక్క - 1

బోలుగా ఉన్న ఒక స్థూపాకారపు వాహకం లోపలి, బయటి వ్యాసార్థాలు a, b దీనిగుండా i విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నపుడు వాహకపు లోపలి భాగంలో ఏర్పడే అయస్కాంత క్షేత్రం

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi(b^2-a^2)} \frac{r^2-a^2}{r}$$

అని చూపండి.

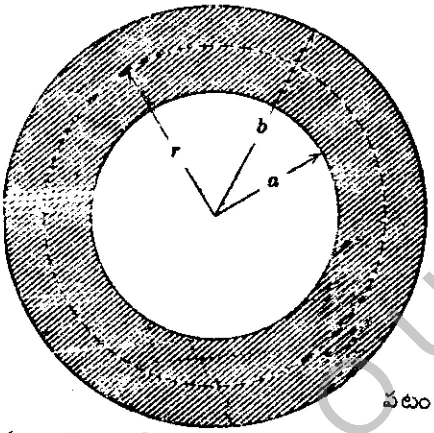
r కేంద్రము నుండి పరిశీలనలో నున్న బిందువు వద్దకు గల దూరం $(a<r<b)$

జవాబు

వాహకపు ముఖతల వైశాల్యమంతా విద్యుత్తు విస్తరించబడుతుంది. కాబట్టి r వ్యాసార్థమును ఆవరించియున్న తలంలో ఉన్న విద్యుత్తు.

$$= i \frac{\pi(r^2 - a^2)}{\pi(b^2 - a^2)}$$

$$= i \frac{(r^2 - a^2)}{(b^2 - a^2)}$$



పటం 13.5

ఈ విద్యుత్ మాత్రమే r వ్యాసార్థపు ఆవరణలో B ని కలుగజేస్తుంది.

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi} \frac{(r^2 - a^2)}{(b^2 - a^2)} \frac{1}{r}$$

(ఆంపియరు సూత్రం ప్రకారం)

ఒకవేళ $a = 0$ అయితే బోలు స్థూపం ఘన స్థూపంగా మారుతుంది.

కావున

$$B = \frac{\mu_0 i r}{2\pi b^2}$$

BRAOU

మాదిరి లెక్క - 2

ఒక దీర్ఘమైన రాగి తీగగుండా 10 ఆంపియర్ల విద్యుత్తు ప్రవహిస్తోంది. ఈ రాగి తీగలోని సమతలం 'S' యొక్క అయస్కాంత అభివాహాన్ని లెక్కకట్టండి.

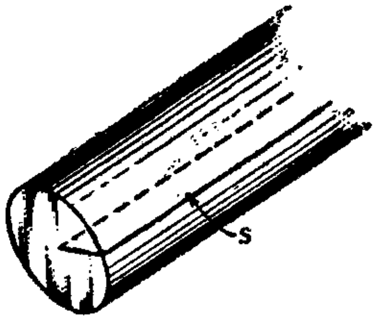
జవాబు

కేంద్రం నుంచి r దూరంలో గల ఒక బిందువును తీసుకొందాం

ఆంపియర్ సూత్రాన్ని అనుసరించి

$$\oint \vec{B} . \vec{dl} = \mu_0 i$$

గా వ్రాయవచ్చు.



పటం. 13.6

ఈ లెక్కలో

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi r}\frac{\pi r^2}{\pi a^2}\ i = \frac{\mu_0 r}{2\pi a^2}\ i$$

$$B = \frac{1}{a}\int_0^a \vec{B}\ \vec{dr} = \frac{1}{a}\int_0^a \frac{\mu_0 i}{2\pi a^2}\ r.dr$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi a^3}\int_0^a r.dr = \frac{\mu_0 i}{2\pi a^3}\left[\frac{r^2}{2}\right]_0^a = \frac{\mu_0 i a^2}{4\pi a^3}$$

పటంలో చూపిన తలంగుండా సగటు క్షేత్ర విలువ తీగలోని సమతలానికిని ఒక మీటరుకు అయస్కాంత అభివాహం $S = a \times 1\ m^2$ తీగ లోపల

$$B.S. = \frac{\mu_0 i a^2 a}{4\pi a^3} = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{4\pi} \times 10 = 10 \times 10^{-7}\ \text{Weber/m.}$$

BRAOU

13.7 సారాంశం

విద్యుత్ ప్రవహించే రాగితీగ అయస్కాంత ప్రభావాన్ని కలిగి ఉంటుంది. అయస్కాంత సూచిక దిక్కులు మార్చగలదని కనుగొన్నవారు ఆయర్‌స్టెడ్. అయస్కాంత క్షేత్రం ఒక సదిశరాశి. అయస్కాంత ప్రేరణను $\vec{B}$ అనే సదిశరాశితో సూచిస్తారు.

ప్రమాణ వైశాల్యం గుండా ప్రవహించే అయస్కాంత ప్రేరణరేఖలను అయస్కాంత అభిసరణ అంటారు. దీన్ని ϕB తో సూచిస్తాం.

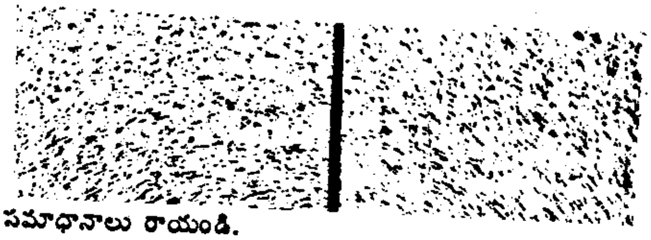
13.8 నమూనా జవాబులు

అయస్కాంత ప్రేరణ ప్రమాణం వెబర్

13.9 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నకు విశదంగా జవాబు రాయండి.

1) ఒక పొడుగైన తీగలో విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నప్పుడు ఒక బిందువు వద్ద ఏర్పడే అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని లెక్కకట్టడానికి ఆంపియర్ సూత్రం ఏవిధంగా ఉపయోగపడుతుందో వివరించండి. విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న ఒక తీగలో అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖలు ఏవిధంగా ఉంటాయో దృష్టీకరించి వివరించండి.



II. క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి.

1) అంపియర్ సూత్రం యొక్క సమాకలన రూపాన్ని రాబట్టండి.

2) విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న తీగలోని ఒక బిందువు వద్దగల అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖలు ఏవిధంగా విశదీకరించగలవో చర్చించండి.

III. ఈ క్రింది లెక్కలను సాధించండి.

1) R వ్యాసార్థం గల వృత్తాకార మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యంగల ఒక పొడవాటి సరళమైన విద్యుద్వాహకం గుండా i విద్యుత్తు ప్రవహిస్తోంది. ఈ విద్యు వాహకం లోపల a వ్యాసార్థంగల స్తూపాకారపు ఏకరీతి రంధ్రం చేయబడింది. వాహకపు అక్షానికి స్తూపాకార రంధ్రం యొక్క అక్షం సమాంతరంగా b దూరంలో ఉంది. ఈ రంధ్రంలోపల అయస్కాంత ప్రేరణం ఏకరీతిగా ఉంటుందని దాని విలువ

$$B = \frac{b\ i}{2\pi\ (R^2 - a^2)}$$ అని చూపండి

2) వృత్తాకార కక్ష్యలో $\frac{h}{2\pi}$ కోణీయ ద్రవ్య వేగంతో స్థిరంగా ఉన్న ప్రోటాన్ చుట్టూ తిరుగుతోంది. h (ప్లాంక్ స్థిరాంకం) $= 6.63 \times 10^{-34}$ జౌల్. సెకండ్, అయితే అయస్కాంత భ్రామకం ప్లాంక్ స్థిరాంకం ద్వారా గణించండి. ప్రోటాన్ వద్ద అయస్కాంత ప్రేరణ క్షేత్ర B ని గణించండి. ఈ క్షేత్రం విలువ స్వల్పమా ? లేక అత్యధికమా ?

అనువాదం : డా.కె. సోమయ్య

BRAOU

భాగం - 14 విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న వాహకాలు

విషయక్రమం

14.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
14.2 ప్రవేశిక
14.3 విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న రెండు వాహకాలు
14.4 విద్యుత్ ప్రవాహపు త్రాసు
14.5 విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నపుడు సోలెనాయిడ్ ద్వారా ఏర్పడే అయస్కాంత ప్రేరణ
14.6 సారాంశం
14.7 నమూనా జవాబులు
14.8 నమూనా ప్రశ్నలు

14.1 ఉద్దేశ్యాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నప్పుడు రెండు తీగల మధ్యనున్న ఫలిత బల గణన వివరణ ఉంది. మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

1) సోలెనాయిడ్ ద్వారా విద్యుత్ ప్రవహించునపుడు ఏర్పడే అయస్కాంత ప్రేరణను వివరించగలరు.
2) విద్యుత్ ప్రవాహపు త్రాసుపనిచేయు విధానాన్ని వర్ణించగలరు.

14.2 ప్రవేశిక

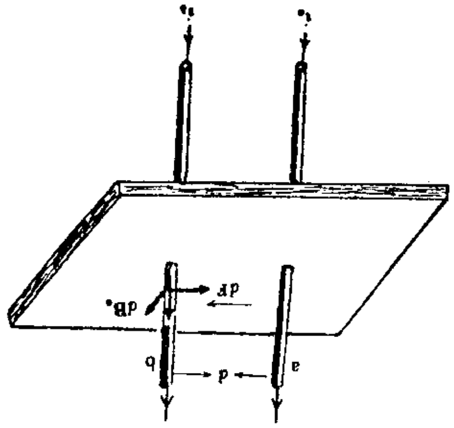
మీరు ఈ భాగంలో విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నపుడు రెండు తీగల మధ్యనున్న ఫలిత బలాన్ని లెక్కించడం ఎలాగో తెలుసుకొంటారు.

B R A O U

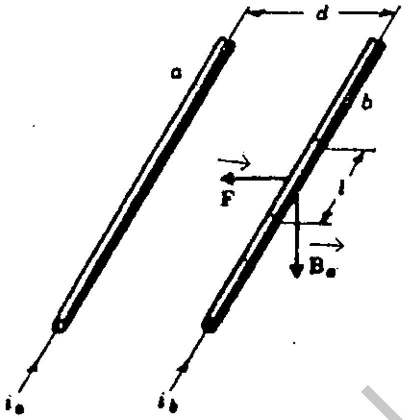
14.3 విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్న రెండు వాహకాలు

సమాంతరంగా రెండు తీగలలో విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్నపుడు వాని మధ్య ఎలాంటి బలం ఉంటుందో పరిశీలిద్దాం. పటం 14.1లో చూపినట్లు a, b అను రెండు సమాంతరంగా ఉన్న తీగలలో ప్రవహిస్తున్న విద్యుత్‌లు i_a మరియు i_b ఒకే దిశలో ఉన్నాయనుకొందాం. ఆ రెండు సమాంతర తీగల మధ్య దూరం d అనుకొందాం. a తీగలలో i_a విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్నపుడు దాని చుట్టూ అది జనింపజేసే అయస్కాంత ప్రేరణ B_a అనుకొందాం. తీగ b వద్ద ఉన్న అయస్కాంత ప్రేరణ B_aను కింది సమీకరణం ద్వారా పొందవచ్చు.

$$B_a = \frac{\mu_0 i_a}{2\pi d} \quad \dots (14.1)$$



పటం. 14.1 ఒకే దిశలో విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్న పొడవైన రెండు సమాంతర తీగలు



పటం. 14.2 రెండు తీగలు సమాంతరంగా ఉండి వాటి గుండా సమాంతరంగా విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్నపుడు అవి రెండు ఒకదానినొకటి ఆకర్షించుకొంటాయి.

BRAOU

పటం 14.2లో చూపినట్లు ఈ అమస్కాంత ప్రేరణ B_a యొక్క దిశ తీగ b వద్ద అధోముఖంగా (క్రిందికి) ఉంటుంది.

i_b విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్న తీగ b, తీగ a వద్ద జనింపజేసిన అయస్కాంత ప్రేరణ B_a అవుతుంది. కాబట్టి l పొడవు ఉన్న ఈ తీగలపైన పనిచేసే అయస్కాంత బలం F_b ని $\vec{il} \times \vec{B}$ సమీకరణం (14.2) ద్వారా గణించవచ్చు.

$$F_b = i_b l B_a$$

$$= \frac{\mu_0 l i_a i_b}{2\pi d} \quad \text{... (14.2)}$$

సదిశ సూత్రాన్ననుసరించి ఈ బలము (F_b) తీగల సమతలంలో నుండి a వైపుకు ఉంటుంది. ఇదేవిధంగా తీగ b ద్వారా ఏర్పడిన అయస్కాంత ప్రేరణ B_b గా తీగ a లో ఉంటుంది. తీగలలో విద్యుత్తు i_a ప్రవహించడం వల్ల దాని మీద పనిచేసే బలం $F_a = (i_a l X B_b)$

$Fa = \frac{\mu_0 i_a i_b}{2\pi d}$ సమీకరణం ద్వారా లభిస్తుంది. ఈ బలం తీగల తలంలో ఉంటూ, తీగ b వైపుకు పనిచేస్తుంది. ఈ రెండు బలాలు F_a, F_b లు సమానంగా ఉంటూ వ్యతిరేక దిశలో పనిచేస్తాయి కాబట్టి ఇవి పరస్పరం ఆకర్షించుకొంటున్నవని అర్థం.

సమాంతరంగా ఉన్న తీగలలో విద్యుత్ ప్రవాహం వ్యతిరేక దిశలలో ఉంటే వాటి మధ్య వికర్షణ బలం ఉంటుందని పైవిధంగా నిరూపించవచ్చు. సమీకరణం (14.2) నుండి ప్రమాణ పొడవుపై

పనిచేస్తున్న బలాన్ని గణించి దానిద్వారా విద్యుత్ ప్రవాహానికి ప్రమాణం అయిన 'ఆంపియర్'ను నిర్వచించవచ్చు. సమీకరణం (14.2) నుండి

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 i_a i_b}{2\pi d} \quad \ldots (14.3)$$

అని వస్తుంది.

సమాంతరంగా ఉన్న తీగల మధ్య దూరం 1 మీటరు ఉండి $i_a = i_b = i$ అయేటట్లు ఈ తీగల మధ్య ఆకర్షణ లేక వికర్షణ బలం ($2 X 10^7$ N/meter) ఉండేటట్లుగా, ఉమ్మడి విద్యుత్ ప్రవాహం విలువ i ని సరిచేసినట్లైతే, ఆ విద్యుత్ ప్రవాహం (i=1 అనేది) 'ఆంపియర్' అవుతుంది.

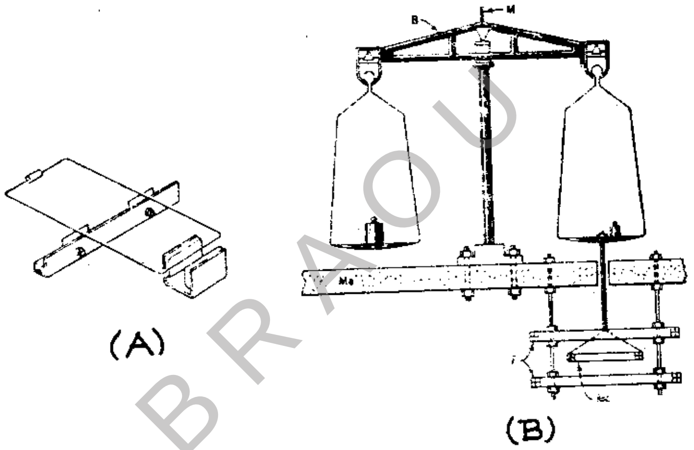
$$\frac{F}{l} - \frac{\mu_0 i^2}{2\pi d} = \frac{4\pi X 10^{-7} \text{ (web/amp-mt) (1 amp}^2)}{2\pi \text{ (1 meter)}}$$

$$= 2 X 10^{-7} \text{ nt/meter} \quad \ldots (14.4)$$

ఈ ప్రక్రియ ననుసరించి విద్యుత్ ప్రవాహపు త్రాసును నిర్మించారు.

14.4 విద్యుత్ ప్రవాహపు త్రాసు:

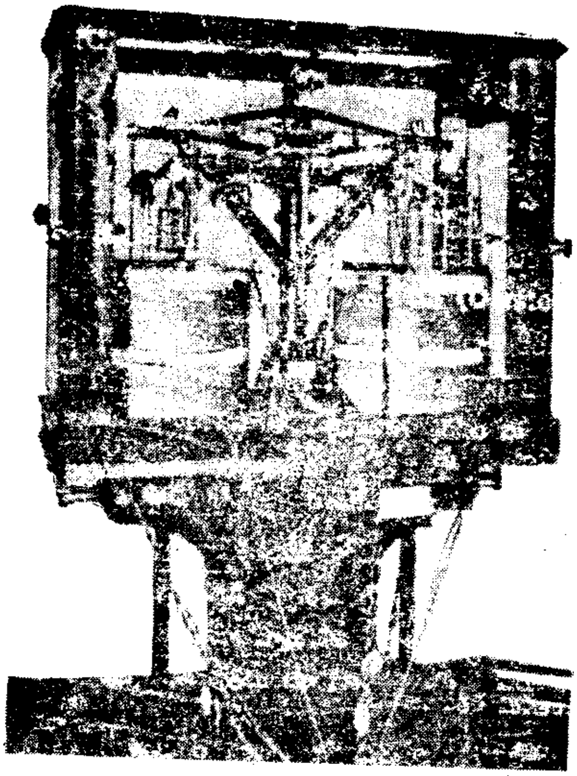
ఆకర్షణ/వికర్షణ బలాల అనువర్తనగా విద్యుత్తు ప్రవాహపు త్రాసును పరిశీలిద్దాం. నేషనల్ బ్యూరో ఆఫ్ స్టాండర్డ్స్ వారు విద్యుత్ ప్రవాహ ప్రమాణీకరణానికి ఈ త్రాసునుపయోగిస్తారు. సూత్రప్రాయపు త్రాసు పటం 14.3 లో చూపబడింది.



BRAOU

పటం 14.3 a) సామాన్య విద్యుత్తు ప్రవాహ త్రాసు
b) వ్యవహారికపు విద్యుత్తు ప్రవాహపు త్రాసు
B - తులాదండం
M - దర్పణం
Ma - చలువరాతి పలక
Mc - చరవేష్టనం
F - స్థిర వేష్టనాలు

ఈ త్రాసు నిర్మాణంలో ముఖ్యంగా మూడు తీగచుట్టలుంటాయి. బల్లపై బంధించబడిన రెండు తీగచుట్టల మధ్య మూడవ తీగచుట్ట త్రాసు పళ్ళెం క్రిందనుండి వ్రేలాడుతూ బంధించబడి యుంటుంది. కొలువబడే విద్యుత్ ప్రవాహం, ఈ మూడు చుట్టలలో ఉమ్మడిగా ప్రవహించేటట్లు ఏర్పాటు చేయబడుతుంది. సమాంతర తీగల మధ్య చూపబడిన విధంగానే ఈ తీగచుట్టల మధ్య బలం పనిచేయడం ద్వారా పళ్ళెంకు వ్రేలాడ దీయబడిన తీగచుట్ట కిందకు లేదా మీదకు (విద్యుత్ ప్రవాహపు దిశకు అనుగుణంగా) లాగబడుతుంది. అప్పుడు తగిన బరువులు పళ్ళెంలో వేసి ఆ తీగ

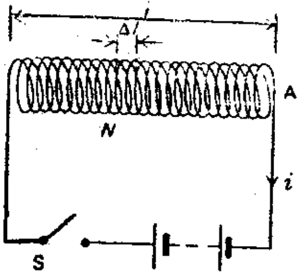


పటం 14.4 లండన్ జాతీయ భౌతిక పరిశోధనాలయంలోని విద్యుత్ప్రవాహపు త్రాసు.
(క్రౌన్ కాపీరైటు. (NPL) సౌజన్యంతో)

చుట్టను సమతాస్థితికి తెస్తారు. పళ్ళెంలో వేసిన బరువులనుండి దానిపైన పనిచేసే యాంత్రిక బలాన్ని దీనిద్వారా విద్యుత్ప్రవాహపు విలువను గణిస్తారు.

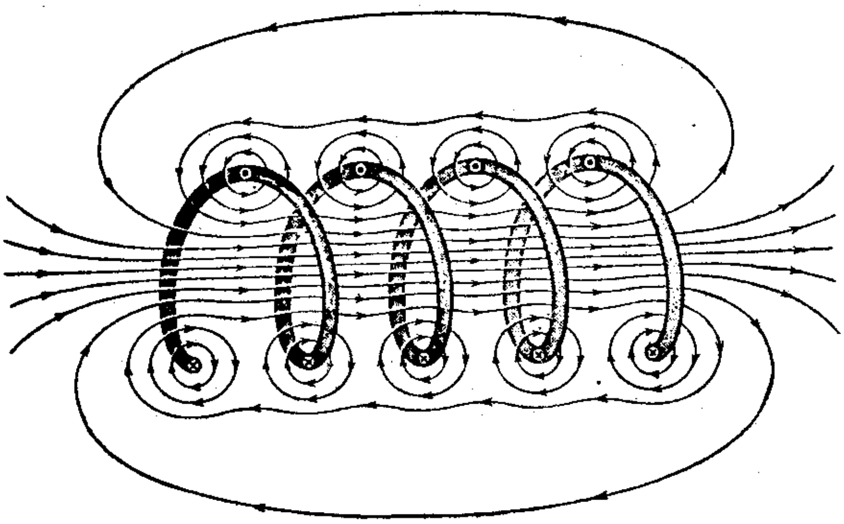
14.5 విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నప్పుడు సోలెనాయిడ్ ద్వారా ఏర్పడే అయస్కాంత ప్రేరణ

ఒక పొడుగాటి తీగద్వారా ఒకే వ్యాసం కలిగియుండునట్లు అనేక చుట్లుగా చుట్టబడిన ఆకృతిని 'సోలెనాయిడ్' అంటారు. ఆదర్శ సోలెనాయిడ్ పొడవు దాని వ్యాసం కన్నా అనేక రెట్లు ఎక్కువ



పటం 14.5 సోలెనాయిడ్ N -- చుట్ల సంఖ్య A -- మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం.

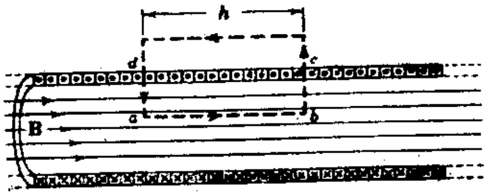
ఉంటుంది. నిలకడ గల విద్యుత్తును ఈ సొలెనాయిడ్ గుండా పంపించినపుడు దాని చుట్టూ ఏర్పడే అయస్కాంత ప్రేరణను మనం యిప్పుడు లెక్క కడదాం. మొత్తం అయస్కాంత ప్రేరణ వేర్వేరు చుట్ల వలన ఏర్పడిన ప్రేరణల సదిశల మొత్తానికి సమానంగా ఉంటుంది. సొలెనాయిడ్‌లోని ఒక చుట్టను మాత్రమే పరిశీలిస్తే అది వంకరగా వంచబడిన ఛాపం అకృతిలో ఉన్నట్లు తెలుస్తుంది. కాబట్టి యిది తిన్నని తీగలాగా ప్రవర్తిస్తే ఏర్పడిన ప్రేరణ రేఖలు, ఏకకేంద్రక వృత్తాలుగా ఉంటాయి. కాబట్టి సొలెనాయిడ్ వలన ఏర్పడిన ప్రేరణ దానిలోని మొత్తం చుట్ల వల్ల ఏర్పడిన ప్రేరణల సదిశల మొత్తానికి సమానమవుతుంది.



పటం 14.5 b) సొలెనాయిడ్ లోపల, బయట అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖలు

సౌలభ్యం కోసం దూరదూరంగా చుట్టు ఉన్న సొలెనాయిడ్‌ను పరిశీలిస్తే చుట్లవల్ల ఏర్పడిన అయస్కాంత ప్రేరణలు ఒకదానికొకటి రద్దు చేసుకుంటాయని తెలుస్తుంది. సొలెనాయిడ్ అక్షానికి దూరంగా ఉన్న బిందువుల వద్ద సమాంతరంగా సాంద్రీకరణం చెందుతాయి. సొలెనాయిడ్ పైభాగంలో ఏర్పడిన క్షేత్రాలు క్రిందిభాగంలో ఏర్పడిన క్షేత్రాలు ఒకదాని కొకటి రద్దు చేసుకోవడం కారణంగాను, సామాన్యంగా వాడే సొలెనాయిడ్ పొడవు దాని వ్యాసం కన్న చాలా రెట్లు పెద్దగా ఉన్న కారణంగాను, సొలెనాయిడ్ మధ్యచ్ఛేదం వద్ద క్షేత్రం దాదాపు శూన్యంగా ఉంటుంది. పొడవు తక్కువగా నున్న సొలెనాయిడ్ విషయంతో బాహ్యక్షేత్రం విలువ అంతరక్షేత్రం విలువ కన్నా తక్కువగా లేదా బలహీనంగా ఉంటుంది.

సొలెనాయిడ్ వలన ఏర్పడిన అయస్కాంత ప్రేరణను కిందివిధంగా లెక్క కట్టవచ్చు. పటం 14.5cలో చూపినట్లు ఒక దీర్ఘ చతురస్రం abcd ని తీసికొని ఆంపియర్ సూత్రాన్ని అనువర్తింప జేద్దాం.



పటం 14.5 c అనంతమైన పొడవుగల సొలెనాయిడ్ బయట క్షేత్రం శూన్యంగా ఉండాలి.
(ఆదర్శ సొలెనాయిడ్ చేద దృశ్యం.)

అంపియర్ సూత్రం ప్రకారం

$$\oint \vec{B}.\vec{dl} = \mu_0 i$$

దీర్ఘ చతురస్రంలో ఒక్కొక్క భుజం వెంబడి B ని సమాకలనం చేసి నాలుగు భుజాల వలన వచ్చిన మొత్తం లెక్క కట్టినట్లైతే అది $\oint B.dl$ సమానమవుతుంది.

$$\oint \vec{B}.\vec{dl} = \int_a^b \vec{B}.\vec{dl} + \int_b^c \vec{B}.\vec{dl} + \int_c^d \vec{B}.\vec{dl} + \int_d^a \vec{B}.\vec{dl} \quad \text{... (14.5)}$$

కుడివైపున నున్న మొదటి సమాకలనం Bh కు సమానం. h అనునది దీర్ఘ చతురస్రపు భుజం ab యొక్క పొడవు. ఈ పొడవు ab(h) సొలెనాయిడ్ అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటుంది. కుడివైపున వున్న రెండవ, నాల్గవ సమాకలనాల విలువలు సున్న అవుతాయి. ఎందుకంటే భుజాలు bc, da లు అయస్కాంత ప్రేరణ B కు లంబంగా ఉంటాయి. కాబట్టి

$$\int_b^c \vec{B}.\vec{dl} = \int_d^a \vec{B}.\vec{dl} = 0$$

మూడవ సమాకలనంలో నున్న భుజం, సొలెనాయిడ్‌కు పూర్తిగా బయటనున్న కారణంగా B విలువ సున్నా అవుతుంది. కాబట్టి పూర్తి దీర్ఘ చతురస్రానికి $\oint \vec{B}.\vec{dl}$ అనునది Bh కి సమానవుతుంది. ప్రమాణ పొడవులోనున్న చుట్ల సంఖ్య 'n' అనుకుంటే 'h' పొడవులో ఉన్న చుట్ల సంఖ్య nh అవుతుంది. సొలెనాయిడ్‌లో ప్రవహిస్తున్న మొత్తం విద్యుత్తు i_0, h పొడవులో నున్న చుట్లలో ప్రవహిస్తున్న విద్యుత్తు i అయితే

$$i = i_0\,(nh) \quad \text{... (14.6)}$$

కాబట్టి అంపియర్ సూత్రం ప్రకారం

$$Bh = \mu_0 i_0 nh$$
$$B = \mu_0 i_0 n \quad \text{...... (14.7)}$$

సమీకరణం (14.7) ను అనుసరించి సొలెనాయిడ్ వలన ఏర్పడిన ప్రేరణ B దాని వ్యాసంపై ఆధారపడి ఉండదు అని తెలుస్తుంది. సమీకరణం (14.7) దీర్ఘమైన సొలెనాయిడ్‌కై ఉత్పాదించబడినప్పటికి యిది అన్ని పరిమయితమైన సొలెనాయిడ్‌లకు వర్తిస్తుంది.

మీ అవగాహనను పరీక్షించుకొనండి.

సొలెనాయిడ్ వలన ఏర్పడిన ---------- మరియు ---------- ఆధారపడదు.

మాదిరి లెక్క – 1

ఒకదానికొకటి d దూరంలో ఉన్న రెండు సమాంతర తీగలగుండా వ్యతిరేక దిశలో i విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్నట్లయితే, రెండు తీగల నుండి ఒకేదూరం R లో గల బిందువు వద్ద అయస్కాంత ప్రేరణ

$$\frac{2\mu_0\, i.d}{\pi(4R^2+d^2)}$$

సమానం అని చూపండి.

జవాబు

పటం 14.6లో చూపినట్లు లంబ అంశాలు ఒకదానికొకటి రద్దు చేసుకొని, క్షితిజాంశాలు కలిసి ఫలిత క్షేత్రాన్నిస్తాయి.

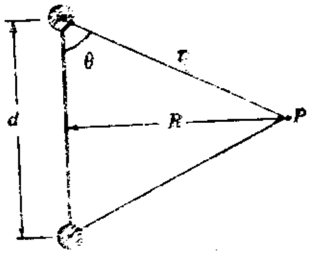
బిందువు P వద్ద ప్రతి తీగవలన కలుగు

$$B = \frac{\mu_0 \cos\theta}{2\pi r^2}$$

రెండు తీగలవల్ల

B R A O U

$$B = \frac{2\mu o\ i}{2\pi R}\ \cos\theta$$



పటం 14 .6

కాని పటం ప్రాకరం

$$\cos\theta = \frac{d}{2}\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + \ \ R^2}$$

$$r = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + \ R^2}$$

$$= \frac{1}{2}\ \sqrt{d^2 + 4R^2}$$

$$\therefore\ B = \frac{2\mu_0 i}{2\pi\ \frac{1}{2}\ \sqrt{d^2 + 4R^2}}\ \times\ \frac{d}{\sqrt{d^2 + 4R^2}}$$

$$= \frac{2\mu o\ i\ d}{\pi\,(d^2+4R^2)}$$

మాదిరిలెక్క 2: టోరాయిడ్ యొక్క అయస్కాంత క్షేత్రం

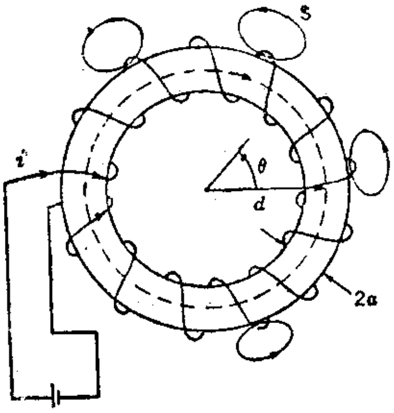
పటం 14 .7 లో ఒక తీగ N చుట్లు టోరాయిడ్ చుట్ట చుట్టిన విధం చూపబడింది. ఆ తీగలో i విద్యుత్రవాహం ప్రవహిస్తుంది. టోరాయిడ్ సగటు వ్యాసార్థం d అనుకొందాం. టోరాయిడ్ యొక్క మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యం 'a', వ్యాసార్థం d కంటె చాలా తక్కువగా ఉంటుంది. అందువల్ల గణిత రూపంలో a << d అని రాయవచ్చు.

టోరాయిడ్ అంతరాళాన్ని వేరుచేసే సరిహద్దుల వల్ల (అంటే హెలిక్స్ చుట్ట లోపల) అయస్కాంత స్పర్శ రేఖా క్షేత్రం B అవిచ్ఛిన్నంగా ఉంటుంది. అందువల్ల అయస్కాంత అభిసరణ సాంద్రత టోరాయిడ్ బయటికంటె లోపల ఎక్కువగా ఉంటుంది. అయస్కాంత అభిసరణ రేఖలు టోరాయిడ్ లోపల కేంద్రీకృతమౌతాయి.

'd' వ్యాసార్థం గల వలయ పథంలో సమాకలనం చేయడానికి ఆంపియర్ సూత్రాన్ని అనువర్తిస్తే

$$\int B.dl = \mu_0\, i$$

$$B\,(2\pi d) = \mu_0\, i\, N$$



పటం 14 .7 N చుట్లుగల టోరాయిడ్

BRAOU

గా రూపొందుతుంది. దీనిలో i టోరాయిడ్‌లో ప్రవహించే విద్యుత్ప్రవాహం, N టోరాయిడ్‌లోని తీగచుట్ల సంఖ్య, అయస్కాంత ప్రేరణ

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{iN}{d}$$

గా రాయవచ్చు.

మాదిరిలెక్క – 3:

10 సెం.మీ. పొడవుగల నాలుగు తీగలు ఒకదానికకటి పటం 14.8లో చూపినట్లు సమాంతరంగా ఉన్నాయి. వాటి మధ్యచ్ఛేదాన్ని పరిశీలిస్తే పటంలో చూపినట్లు 20 సెం.మీ. గల చతురస్రం ఏర్పడింది. ఒక్కొక్క తీగలో 20 ఆంపియర్ల విద్యుత్ ప్రవహిస్తోంది. చతురస్రంలోని కర్ణాలు ఖండించుకొనే బిందువు వద్ద అయస్కాంత ప్రేరణ (క్షేత్రం) విలువలను దిశను కనుక్కోండి.

జవాబు

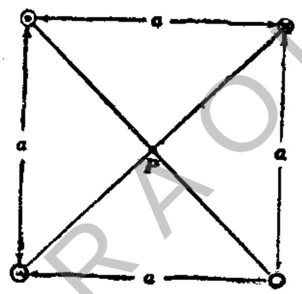
$i = 20$ ఆంపియర్లు; $a = 20$ సెం.మీ. $= 0.20$ మీటర్లు.

అయస్కాంత క్షేత్ర దిశలు ప్రతి తీగలోను పటంలో చూపబడ్డాయి. లంబాంశాలు మాత్రమే ఒకదానికొకటి సహకరించుకొని అయస్కాంత క్షేత్రానికి తోడ్పడతాయి. అందువల్ల చతురస్రంలో కర్ణాలు ఖండించుకొనే బిందువు వద్ద

$$B = 4 \times \frac{\mu_0 i}{2\pi a\sqrt{2}} \cos\theta$$

$$= \frac{4 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 20}{2 \times \pi \times 0.2/\sqrt{2}} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$= 8 \times 10^{-5}$ వెబర్/(మీటర్)^2



పటం 14.8

మాదిరి లెక్క – 4

ఒక సోలెనాయిడ్ పొడవు 1 మీటర్. దాని సగటు వ్యాసం 3 సెం.మీ. 5 పొరలుగా తీగ చుట్టబడింది. ఒక్కొక్క పొరలో 850 చుట్లున్నాయి. దాని ద్వారా 5 ఆంపియర్ల విద్యుత్ ప్రవహిస్తుంది. అయితే దాని కేంద్రం వద్ద అయస్కాంత క్షేత్రం B విలువ ఎంత?

జవాబు

$$B = n\mu_0 i_0$$

$$= 4\pi \times 10^{-7} \times 5 \times 5 \times 850$$

$$= 2.7 \times 10^{-2}$$

14.6 సారాంశం

ఒకదానికొకటి కొంత దూరంలో ఉండి సమాంతరముగా ఉన్న తీగలలో ఒకే దిశలో విద్యుత్తు ప్రవహిస్తుంటే వాటి మధ్య ఆకర్షణ బలం ఉంటుంది. విద్యుత్తు సమాంతర తీగలలో వ్యతిరేక దిశలో ప్రవహిస్తే వాని మధ్య వికర్షణ బలం ఉంటుంది. రెండు సమాంతర తీగల మధ్య దూరం d లో ఉండి వాటిలో i_a, i_b విద్యుత్తు ప్రవాహాలు ప్రవహిస్తుంటే వాటి మధ్య గల ప్రమాణ దూరం గల ఫలితబలం

$$\frac{F}{J} = \frac{\mu_0 i_a i_b}{2\pi d}$$

సొలెనియాడ్‌లో ప్రేరణ చుట్టిన తీగ వలయాల సంఖ్యమీద, వానిలో ప్రసరించే విద్యుత్తు మీద ఆధారపడి ఉంటుంది. $B = \mu_0$ in.

14.7 నమూనా జవాబులు

మీ అవగాహనను పరీక్షించుకొనండి.

సొలెనాయిడ్ వలన ఏర్పడిన ప్రేరణ దాని వ్యాసం మరియు పొడవు పై ఆధారపడి ఉండదు.

14.8 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నకు విశదంగా సమాధానం రాయండి.

1) సమాంతరంగా ఉండే రెండు తీగలలో ఒకే విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్నప్పు డు ఆ రెండు తీగల మధ్య గల ఆకర్షణ బలానికి గల సమీకరణాన్ని రాబట్టండి.

II. క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానం రాయండి.

1) విద్యుత్ ప్రవాహపు త్రాసు పనిచేసే విధానం వివరించండి.

2. ఒక సొలెనాయిడ్ యొక్క అయస్కాంత ప్రేరణకు సంబంధించిన సమీకరణాన్ని రాబట్టండి.

III. క్రింది లెక్కలను రాబట్టండి.

1) విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న చతురస్రాకారపు వలయంలో కర్ణాలు ఖండించుకొనే మధ్య బిందువు వద్ద అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని లెక్క కట్టండి.

(a) కేంద్రం నుంచి భుజానికి గల దూరం R అనుకొని N భుజాలు గలిగిన బహుభుజి ఆకారం గల వాహకంలో i విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్నప్పు డు కేంద్రం వద్ద గల అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని గనించండి. b) మీరు రాబట్టిన సమీకరణం $N \rightarrow \infty$ అయితే వృత్తాకార వలయంలోని కేంద్రం వద్ద గల అయస్కాంత క్షేత్రానికి సరిపోల్చి చూడండి.

2) R వ్యాసార్థం గల స్థూపాకార తీగగుండా i విలువగల విద్యుత్ స్థిరంగా ప్రవహిస్తోంది. a) తీగ బయట విద్యుత్ప్రవాహం ఏకరీతిగా వితరణం చెందినపుడు, b) విద్యుత్తు ప్రవాహ సాంద్రత J తీగ అక్షం నుంచి గల దూరానికి అనులోమానుపాతంలో ఉండేట్లుగా విద్యుత్ వితరణ చెందినప్పుడు తీగ బయట, లోపల అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని లెక్కకట్టండి.

3) ఒక టోరాయిడ్‌లో N తీగ చుట్లగుండా i విద్యుత్ ప్రవాహం కలిగించే అయస్కాంత ప్రేరణ క్షేత్రం B, ఒక తీగగుండా Ni విలువ గలిగిన విద్యుత్ప్రవాహం టోరాయిడ్ అక్షం గుండా ప్రవహించేటప్పుడు ఏర్పడే అయస్కాంత ప్రేరణ క్షేత్రానికి సమానమని చూపండి.

రచన, అనువాదం: డా. కె. సోమయ్య

BRAOU

భాగం - 15 బయట్‌సావర్ట్ సూత్రం

విషయ్రకమం

15.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
15.2 ప్రవేశిక
15.3 బయట్ సావర్ట్ సూత్రం
15.4 తిన్నని తీగలో విద్యుత్ ప్రవాహంవల్ల జనించు అయస్కాంత ప్రేరణ
15.5 వృత్తాకార విద్యుద్వాహక అక్షంపై అయస్కాంత ప్రేరణ.
15.6 సారాంశం
15.7 నమూనా వాబులు
15.8 నమూనా ప్రశ్నలు

15.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈభాగంలో ఒక అసొష్టవ తీగ గుండా విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నప్పు డు దాని పరిసర ప్రాంతంలోని ఏదైనా బిందువు వద్ద ఏర్పడిన అయక్షేత్ర వివరణ ఉంది. (బయట్-సావర్ట్ సూత్రం)

మీరు ఈభాగం చదివిన తరువాత

బయట్-సావర్ట్ సూత్రాన్ని సరళమైన తీగకు, వలయాకారంలో ఉన్న తీగకు అనువర్తించి అయస్కాంత ప్రేరణను లెక్కించ గలుగుతారు.

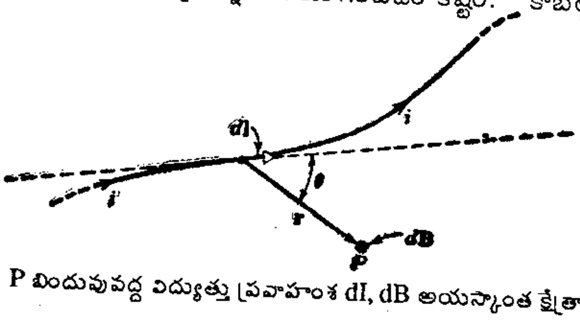
15.2 ప్రవేశిక

మీరు ఈభాగంలో అసొష్టవ తీగగుండా విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నపుడు దాని పరిసర ప్రాంతంలో ఏదైనా బిందువు వద్ద ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్రం గురించి తెలుసుకుంటారు.

B R A O U

15.3 బయట్-సావర్ట్ సూత్రం

సొష్టవ వాహకం గుండా విద్యుత్ ప్రవాహం ఏకరీతిగా ఉన్నప్పు డు మాత్రమే అంపియర్ అయస్కాంత ప్రేరణను సులభంగా తెలిసికోవచ్చు. కాని అసొష్టవ వాహకం గుండా విద్యుత్ప్రవాహం ఏకరీతిగా లేనపుడు అంపియర్ సూత్రాన్ని ఉపయోగించడం కష్టం. కాబట్టి ఈ అసొష్టవ వాహకంలో



పటం 15.1 P బిందువువద్ద విద్యుత్తు ప్రవాహంశ dI, dB అయస్కాంత క్షేత్రాంశను నెలకొల్పుతుంది.

విద్యుత్ప్రవాహం వల్ల జనించు అయస్కాంత ప్రేరణను తెలుసుకోవడానికి బయట్-సావర్ట్, వాహకాన్ని అల్పాంశాల కూర్పుగా భావించి అయస్కాంత ప్రేరణ ఈక్రింది అంశాలపై ఆధారపడి యుండునని నిరూపించినారు.

పటం 15.1 లో చూపినట్లు అసౌష్టవ వాహకంలో i విద్యుత్తు ప్రవహిస్తుందనుకొందాం. బాహ్య బిందువు P వద్ద dl అల్పాంశం వలన కలుగు అయస్కాంత ప్రేరణ

(i) అల్పాంతర పొడవు dl కు అనులోమానుపాతంలోనూ,

(ii) విద్యుత్ప్రవాహాని (i) కి అనులోమానుపాతంలోనూ,

(iii) దూరం (r) వర్గానికి విలోమాను పాతంలోనూ,

(iv) అల్పాంశం వద్ద గీయబడిన స్పర్శరేఖ దూరం r తో కలుగజేయు కోణం, Sin θ కు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

$$dB \;\alpha\; idl \frac{\sin\theta}{r^2} \qquad \text{... (15.1)}$$

పై సమీకరణంలో dl, r లను సదిశలుగా తీసికోవచ్చు. కాబట్టి అయస్కాంత ప్రేరణ dB యొక్క దిశ $\vec{dl} \times \vec{r}$ దిశలో ఉంటుంది. సమీకరణం (15.1) ని బయట్-సావర్ట్ సూత్రం అంటారు.

$$\vec{dB} \;\alpha\; i \frac{\vec{dl} \times \vec{r}}{r^3} \qquad \text{... (15.2)}$$

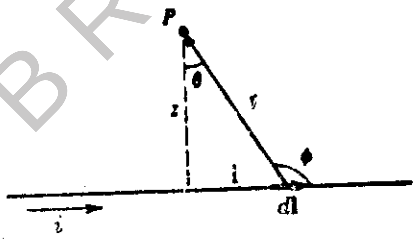
$$\vec{dB} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \frac{\vec{dl} \times \vec{r}}{r^3} \qquad \text{... (15.3)}$$

పూర్తి విద్యుద్వాహకం అల్పాంశాల కూర్పుగా భావించాం. కావున బిందువు వద్ద ఫలిత అయస్కాంత ప్రేరణ సమీకరణం (15.3)ను సమాకలనం చేసి పొందవచ్చు.

బయట్ సావర్ట్ సూత్రాన్ని ఉపయోగించి తిన్నని తీగ వృత్తాకారపు విద్యుద్వాహకం వల్ల కలిగే అయస్కాంత ప్రేరణ తెలుసుకోవడం.

15.4 తిన్ననితీగలో విద్యుత్ప్రవాహం వల్ల జనించు అయస్కాంత ప్రేరణ

BRAOU



పటం15.2 i విద్యుత్ప్రవాహం గల l పొడవు గల తిన్నని తీగ

పటం 15.2లో చూపినట్లు తిన్నని తీగకు పైన z దూరంలో ఉన్న బిందువు P వద్ద అయస్కాంత ప్రేరణను తెలుసుకుందాం. వాహకంలో ప్రవహించు విద్యుత్తు i అనుకొందాం.

పటం 15.2 ప్రకారం dl x r పుటకు లంబదిశలో ఉంటుంది.

$$dl \sin\theta = dl \cos\theta$$

$$l = z \tan\theta$$

$$\therefore\; dl = \frac{z}{\cos^2\theta}\, d\theta \;\; \text{మరియు} \;\; \frac{z}{r} = \cos\theta$$

$$\therefore \frac{1}{r^2} = \frac{\cos^2\theta}{z^2}$$

కావున $B = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left(\frac{\cos^2\theta}{z^2}\right) \left(\frac{z}{\cos^2\theta}\right) \cos\theta \, d\theta$ ... (15.5)

$$= \frac{\mu_0 i}{4\pi z} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \cos\theta \, d\theta$$

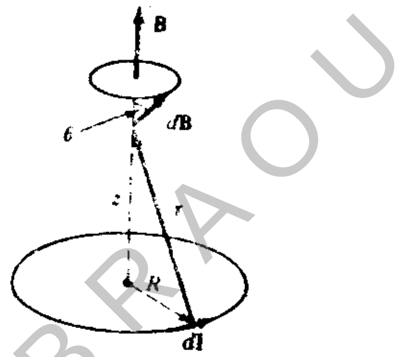
$$= \frac{\mu_0 i}{4\pi z} (\sin\theta_2 -- \sin\theta_1)$$ ... (15.6)

సమీకరణం (15.6) ఏ తిన్నని అల్పాంశమునకైనను వర్తిస్తుంది. తొలి తుది కోణములు θ_1, θ_2 పొడవైన తిన్నని తీగకు $\frac{-\pi}{2}$, $\frac{-\pi}{2}$ అవుతాయి.

కావున $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi z}$ ... (15.7)

ఈ సమీకరణాన్ని మనం అంపియర్ సూత్రాన్ని ఉపయోగించి కూడా పొందాము. అనగా అంపియర్ సూత్రం యట్-సావర్ట్ సూత్రం రెండూ కూడ ఒకే ఫలితాన్నిస్తాయి.

15.5 వృత్తాకార విద్యుద్వాహక అక్షంపై అయస్కాంత ప్రేరణ



B R A O U

పటం 15.3 విద్యుత్ప్రవాహం గల వృత్తాకారపు తీగ వలయం

వృత్తాకార విద్యుద్వాహకానికి z దూరంలో అయస్కాంత ప్రేరణను తెలిసికొందాం. వృత్తం గుండా ప్రవమించు విద్యుత్తు అర్ధవ్యాసం 'r' అనుకొందాం. dl అల్పాంశం వల్ల ఏర్పడే ప్రేరణ dB యొక్క దిశ పటంలో చూపినట్లుంటుంది. dl అల్పాంశం పరిధి గుండా సమాకలనం చేసినపుడు dB ఒక శంఖాకృతినిస్తుంది. ఇలా చేసినపుడు క్షితిజాంశాలు ఒకదానికొకటి రద్దు చేసుకొంటాయి. లంబాంశంలో ఒకదానితో నొకటి కలుస్తాయి.

P వద్ద ఫలితం $B = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int \frac{dl}{r^2} \cos\theta$ ... (15.8)

r, q లను z విలువలతో వ్రాసినపుడు

$$r = \sqrt{r^2 + z^2}$$ ... (15.9) (a)

$$\cos\theta = \frac{R}{r} = \frac{R}{\sqrt{R^2+z^2}}$$ ... (15.9) (b)

ఈ విలువలను సమీకరణం (15.8) లో ప్రతిక్షేపించినపుడు

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int \frac{R}{(R^2 + Z^2)^{3/2}} \, dl \qquad \text{... (15.10)}$$

ఈ సమీకరణం (15.10) ని సమాకలనం చేసినప్పుడు $\int dl$ వృత్త పరిధినిస్తుంది.

$$B = \frac{\mu_0 i}{z} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \qquad \text{... (15.11)}$$

చాలాదూరంలో ఉన్న బిందువు వద్ద అయస్కాంత ప్రేరణ కనుక్కోవాలంటే $z >> R$ కావున (15.11) ను ఈక్రింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$B = \frac{\mu_0 iR^2}{2z^3}$$

ఈ సమీకరణాన్ని తిరిగి వ్రాసినపుడు

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{NiA}{z^3} \quad (\therefore A = R^2)$$

$$= \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\mu}{z^3} \qquad \text{... (15.12)}$$

సమీకరణం (15.2) లో $\mu = NiA$. μ అయస్కాంత ద్విధ్రువ భ్రామకం NA చుట్టల వైశాల్యాల లబ్ధం. సమీకరణం (15.12) నుండి తెలిసే విషయమేమిటంటే విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్నప్పుడు వృత్తాకారపు విద్యుద్వాహకాన్ని అయస్కాంత ద్విధ్రువంగా భావించవచ్చు. దీనిని అయస్కాంత క్షేత్రం B లో ఉంచినపుడు దానిపై పనిచేయు బల భ్రామకం $\tau = \vec{\mu} \times \vec{B}$ అవుతుంది.

మాదిరి లెక్క – 1

భోర్ సిద్ధాంతం ప్రకారం హైడ్రోజన్ పరమాణువులో ఎలక్ట్రాన్ 5.1×10^{-11} మీటర్లు వ్యాసార్ధము కన్న కేంద్రకం చుట్టూ సెకనుకు 68×10^{15} సార్లు భ్రమణం చేసినపుడు కక్ష్య కేంద్రం వద్ద ఏర్పడే అయస్కాంత ప్రేరణను లెక్కించండి.

ఎలక్ట్రాన్ భ్రమణం వల్ల కలుగు విద్యుత్తు $= 1.6 \times 10^{-19} \times 68 \times 10^{15}$

$= 1.1 \times 10^{-3}$ ఆంపియర్లు.

కక్ష్య కేంద్రం వద్ద $B = \frac{\mu_0 i}{2R}$

$$\therefore B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1.1 \times 10^{-3}}{2 \times 5.1 \times 10^{-11}} = 14 \text{ వెబర్/చ.మీ.}$$

BRAOU

15.6 సారాంశం

అల్పాంతర పొడవుగల విద్యుద్వాహకంలో విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నప్పుడు దాని పరిసర ప్రాంతంలోని అయస్కాంత ప్రేరణ అల్పాంతర పొడవుకు అనులోమాను పాతంలోను, విద్యుత్ ప్రవాహ సత్వానికి అనులోమాను పాతంలోను, దూర వర్గానికి విలోమానుపాతంలోను అల్పాంశం వద్ద గీయబడిన స్పర్శరేఖ దూరంతో చేయు కోణం $\sin\theta$ కు అనులోమాను పాతంలోను ఉంటుంది.

15.7 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నకు విశదంగా సమాధానం రాయండి.

1. ఒక సరళమైన తీగను తీసుకొని, సాధారణ బయట్-సావర్టు నియమం యొక్క ప్రత్యేక రూపమే ఆంపియర్ సూత్రమని నిరూపించండి.

II. క్రింది ప్రశ్నకు క్లుప్తంగా సమాధానం రాయండి.

1. ఒక వృత్తాకార తీగ వలయపు కేంద్రం గుండా పోయే అక్షంమీది బిందువు వద్దగల అయస్కాంత ప్రేరణను బయట్-స్టావర్ట్ నియమాన్ని ఉపయోగించి లెక్కకట్టండి.

III. క్రింది లెక్కలను సాధించండి.

1. t మందంలోపలి వ్యాసార్థం r_1, బయటి వ్యాసార్థం r_2 గలిగిన ఒక కంకణాకార వాహకపు బిళ్ళలో i విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్నప్పు డు a) లోపలి, బయటి అంచులు మధ్య b) బల్ల పరుపు తలాల మధ్య c) లోహపు బిళ్ళ చుట్టూ అయస్కాంత అభిసరణ సాంద్రత B, r (వ్యాసార్థంతో) ఎలా మారుతుందో లెక్కకట్టండి.
2. l పొడవుగల ఒక తిన్నని తీగముక్క గుండా i విద్యుత్తు ప్రవహిస్తోంది. ఈ తీగ ముక్కను సమద్విఖండన చేసే రేఖ వెంబడి R దూరంలో దానితో కూడిన అయస్కాంత ప్రేరణ క్షేత్ర పరిమాణం

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R} \frac{l}{(l^2+4R^2)^4}$$

అని చూపండి.

రచన, అనువాదం డా. కె. సోమయ్య

B R A O U

BRAOU

ఖండం-6 ఫారడే నియమం

BRAOU

BRAOU

భాగం – 16 ఫారడే మరియు లెంజ్ నియమం

విషయ క్రమం

16.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
16.2 ప్రవేశిక
16.3 విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ
16.4 ఫారడే విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ సూత్రం
16.5 లెంజ్ సూత్రం
16.6 ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం సమీకరణం
16.7 కాలంతో మారే అయస్కాంత క్షేత్రాలు
16.8 కదిలే తీగ చుట్టుగాల్వనీ మాపకం
16.9 అవరోధం - దాని సవరణ
16.10 సారాంశం
16.11 నమూనా ప్రశ్నలు
16.12 చదవదగిన గ్రంథాలు

16.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ అనే భావం వివరించబడింది.

మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

(1) అయస్కాంత ప్రేరణ అంటే ఏమిటో వివరించ గలుగుతారు.

(2) కదిలే తీగ చుట్ట గాల్వనీ మాపకం పనిచేసే విధానాన్ని వర్ణించ గలుగుతారు.

16.2 ప్రవేశిక

విద్యుత్ అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని ఏర్పరుస్తుందన్న ఆవిష్కారాన్ని ఆయిర్‌స్టెడ్ కనుగొన్న తర్వాత యితర శాస్త్రజ్ఞులు అయస్కాంత క్షేత్రం విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని సృష్టిస్తుందా? అనే విషయంపై చాలా కృషి చేయసాగారు. అయితే ఈ విషయాన్ని మొదట 1831లో మైఖేల్ ఫారడే సాధించగలిగాడు. వివిధ విద్యుత్ సాధనాలు, ఉత్పాదకాలు, విద్యుత్ ట్రాన్స్‌ఫార్మర్‌లు ఫారడే కనుగొన్న విద్యుత్ అయస్కాంత ప్రేరణ సూత్రాన్ని ఆధారంగా చేసుకుని పనిచేస్తాయి. చౌకగాను, ఉపయోగకరంగాను విద్యుదుత్పాదకంలో విద్యుత్తును ఉత్పత్తి చేయడానికి, పంపిణీ చేయడానికి ఈ విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణం సహాయపడింది.

16.3 విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణం

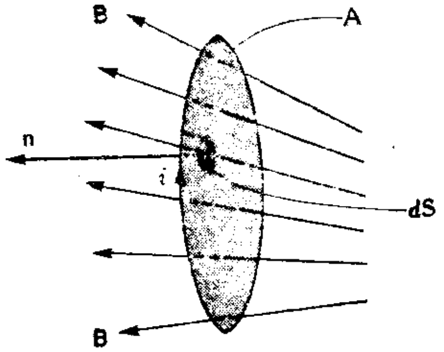
ఒక తీగెద్వారా విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నప్పుడు దాని చుట్టు అయస్కాంత క్షేత్రము ఏర్పడుతుందని గత పాఠంలో తెలుసుకున్నాము. 1831వ సంవత్సరములో మైఖేల్ ఫారడే అనే శాస్త్రజ్ఞుడు మారుతున్న అయస్కాంత బల రేఖలను ఒక రాగితీగె చుట్టు లోపలి పరిధి లోనికి

పరిమితం చేసినట్లయితే ఆ తీగచుట్టలో విద్యుచ్ఛాలక బలం ప్రేరితము అవుతుందని ప్రయోగాల ద్వారా నిరూపించాడు. ఇట్లు జనించిన విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని విద్యుత్ శక్తి ఉత్పాదనకు వాడవచ్చు. ఫారడే చేసిన ఈ సామాన్యమైన ప్రయోగాన్ని పరిశీలిద్దాం.

A వైశాల్యం గల ఒక తీగె చుట్టను ఒక అయస్కాంత క్షేత్రం B లో ఉంచినామనుకొందాం. అప్పుడు వైశాల్యం A గుండా పోవు అయస్కాంత అభివాహం ϕ ని ఈక్రింది సమీకరణం ద్వారా నిర్వచించవచ్చు.

$$\phi = \int \hat{n}\,\vec{B}\,ds \qquad \ldots (16.1)$$

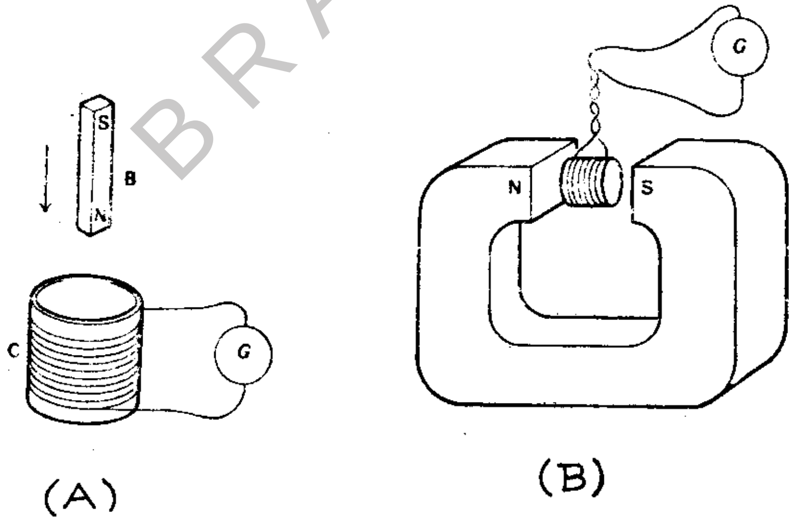
ఈ సమీకరణంలో n అనేది పరిశీలనలోనున్న బిందువు వద్ద తీగెచుట్ట ముఖ తలమునకు లంబంగా గీయబడిన ప్రమాణ సదిశ, ds అనేది సమాకలనార్థము తీసుకొనబడిన మూలక వైశాల్యము లంబంగా గీయబడిన ప్రమాణ సదిశదిశ, క్షేత్రదిశ ఒకే దిశలో ఉన్నప్పుడు ($\theta = 0^0$) అభివాహము ధనాత్మకంగా ఉంటుంది. అది వ్యతిరేకదిశలో నున్నప్పుడు ($\theta = 180^0$) అభివాహం ఋణాత్మకంగా ఉంటుంది. (పటం 16.1 చూడండి.)



పటం 161. అయస్కాంత క్షేత్రంలోని తలంగుండా అయస్కాంత అభిసరణం

పటము 16.2 లో చూపినట్లు ఒక తీగె చుట్ట రెండు చివరలు ఓ గాల్వానీమాపకము (galvanometer) నకు కలుపబడినవి. ఒక దండ అయస్కాంతము దాని సమీపములో నుంచబడింది.

B R A O U



పటం 16.2

a) తీగచుట్టలో C దండయస్కాంత M చలనం

b) శాశ్వత అయస్కాంత ధృవాల మధ్య తీగచుట్ట C చలింప చేసే విధానం.

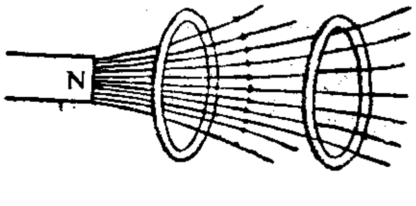
సామాన్య పరిస్థితులలో గాల్వానీ మాపకపు సూచిక ఎలాంటి అపవర్తనం చెందదు. దాని అయస్కాంతము యొక్క ఉత్తర ధృవమును తీగె చుట్టకు అభిముఖంగా నుంచి అకస్మాత్తుగా తీగె చుట్టలోనికి నెట్టితే గాల్వానీమాపకము క్షణికంగా అపవర్తనం చెందుతుంది. ఈ అపవర్తనము వల్ల అర్థమయ్యే విషయం ఏమంటే తీగ చుట్టలో చాల కొద్ది కాలము విద్యుచ్ఛాలక బలం జనించినట్లు, దానివల్ల విద్యుత్ ప్రవహించినట్లు గాల్వానీమాపకపు అపవర్తనం తెలియ చేస్తుంది. మళ్ళీ అయస్కాంత దండం తీగె చుట్టలో నుండి అకస్మాత్తుగా వెనుకకు తీసుకొంటే గాల్వానీమాపకము రెండవసారి కూడ అపవర్తనం చెందుతుంది. అయితే యిది మొదట అపవర్తనానికి వ్యతిరేకదిశలో ఉంటుంది. అనగా అయస్కాంతమును వెనుకకు తీసుకున్నప్పుడు కూడ తీగచుట్టలో విద్యుత్ వ్యతిరేక దిశలో ప్రవహించిందన్నమాట. ఇదే ప్రయోగాన్ని దండయస్కాంత దక్షిణ ధృవమును తీగెచుట్టకు అభిముఖంగా ఉంచి చేస్తే అప్పుడు కూడా పై ఫలితములే కనిపించాయి. కాని అపవర్తనాలు రెండుసార్లు కూడా వ్యతిరేకదిశలో ఉన్నాయి. ఈ ప్రయోగాలనే తిరిగి రెండవ విధంగా చేసినాడు. ఏమనగా అయస్కాంతమును స్థిరంగా వుంచి తీగచుట్టను అయస్కాంతము వైపు అకస్మాత్తుగా నెట్టడం మరియు వెనుకకు తీసుకొనడం. ఈ ప్రయోగంలో కూడ గాల్వానీ మాపకం అపవర్తనం చూపించింది. ఈ అపవర్తన దిశలు కూడ ఒక దానికొకటి వ్యతిరేకంగా ఉన్నాయి.

పలుమార్లు ఈ ప్రయోగాలు చేసి తెలుసుకొనినదేమనగా తీగచుట్టలో విద్యుత్ ప్రవాహము నెలకొనడానికి తీగెచుట్ట లేదా అయస్కాంత దండాలు రెండింటిలో ఏదో ఒకటి కదులుతూ ఉండాలనేది ముఖ్యాంశం. తీగెచుట్టలో ప్రవహించే విద్యుత్తు ప్రవాహం విలువ అయస్కాంత దండాన్ని కదిల్చే వేగంపైన ఆధారపడి ఉంటుంది. అయస్కాంత దండాన్ని స్థిరంగా ఉంచి తీగె చుట్టను కదిల్చినప్పుడు కూడ తీగెచుట్టలో ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహపు విలువ తీగెచుట్ట కదిలే వేగంపైన ఆధారపడి యుంటుంది.

పై ప్రయోగంలో కనిపించిన విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని ప్రేరిత విద్యుత్ ప్రవాహం అని అంటారు. ఈ ప్రవాహాన్ని కలుగ జేసినది ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం. ప్రేరిత ప్రవాహం ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం గూర్చిన నియమములను ఫారడే, లెంజ్ అనే శాస్త్రజ్ఞులు రూపొందించారు.

16.4 ఫారడే విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ సూత్రం

మారుతున్న అయస్కాంత అభివాహం వల్ల విద్యుచ్ఛాలక బలం ప్రేరితం అవుతుందనే విషయం తెలుసుకున్నాము. కావున దండయస్కాంతము వల్ల ఏర్పడిన అయస్కాంత అభివాహం దానిని తీగ చుట్టవైపుకు లేదా తీగచుట్టనుండి బయటకు కదిల్చినపుడు తీగ చుట్టతో లింక్ అయివున్న అభివాహం పరిమాణం కూడా మారుతోంది. కాబట్టి ఈ అభివాహపు పరిమాణంలో కలిగే మార్పులు మాత్రమే ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలమునకు కారణము అని ఫారడే విశదీకరించాడు. దండాయస్కాంతము తీగచుట్ట వైపుకు కదిలించినపుడు తీగ చుట్టకు లింక్ అయివున్న అభివాహపు పరిమాణం పెరుగుతుంది. అయితే అయస్కాంతాన్ని దూరంగా తీసికొని పోయే కొద్దీ లింక్ అయివున్న అభివాహం తగ్గుతుంది. కాబట్టి మొదటి విషయంలో విద్యుచ్ఛాలక బల పరిమాణము హెచ్చుతుంది. రెండవసారి ఇది తగ్గుతుంది లేదా ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం వాహకంలోని ప్రవాహం కాలంతో మారుతున్న అభివాహకపు రేటుపై ఆధారపడి ఉంటాయి.



పటం 16.3 అయస్కాంతాన్ని తీగచుట్టుకు దూరంగా తీసుకొని పోయినప్పుడు అయస్కాంత అభివాహం (అయస్కాంత అభిసరణం) విలువ తగ్గుతుంది.

BRAOU

ఈ పరిశీలనే ఫారడే తన విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ సూత్రంగా విశదీకరించినాడు. ఈ సూత్రం ప్రకారం "ఒక విద్యుద్వలయంలో ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలము వలయం ద్వారా లింక్ అయివున్న అయస్కాంత అభివాహం ϕ_B కాలంతో తగ్గే రేటుకు సమానము.

దీన్ని సమీకరణంగా రూపొందిస్తే

$$\text{Tri } 1/\varepsilon = \frac{-d\phi_B}{dt} \quad \text{... (16.2)}$$

అవుతుంది.

దీని వోల్టులలోను, ϕ_B మారురేటును $\left(\frac{d\phi_B}{dt}\right)$ వెబరు/సెకనులలో కొలుస్తారు. దీన్నే ఫారడే ప్రేరణ సూత్రం అంటారు. తీగచుట్ట ఒక చుట్టకు బదులు N చుట్లు కలిగి ఉంటే సమీకరణం (16.2) ను కిందవిధంగా రాయవచ్చు.

$$= -N\frac{d\phi_B}{dt}$$

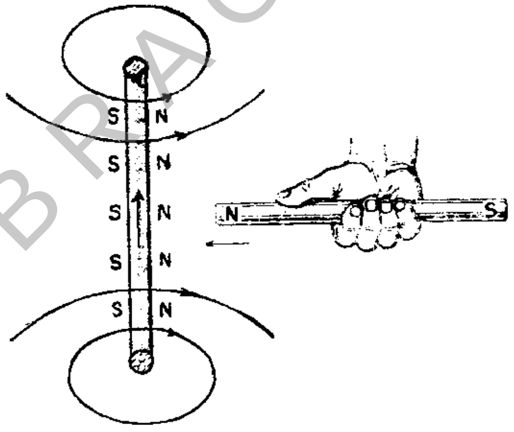
$$\text{లేదా } = \frac{-d}{dt}(N\phi_B) \quad \text{... (16.3)}$$

సమీకరణం (16.3)లో $(N\phi_B)$ తీగచుట్టల ద్వారా పోయే మొత్తం అభివాహాన్ని తెలియ జేస్తుంది.

16.5 లెంజ్ సూత్రం

ఫారడ్ సూత్రం = $\frac{-d}{dt}$ $(N\phi B)$ లో (negative sing) (ఋణసంజ్ఞ) ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలదిశను సూచిస్తుంది. ఈ విషయం లెంజ్ సూత్రం ద్వారా తెల్పుతారు. ఈ సూత్రం శక్తి నిత్యత్వ సూత్రానికి అనుగుణ్యమై వుంటుంది. లెంజ్ సూత్రం ప్రకారం ప్రేరిత విద్యుత్తు ప్రవాహ దిశ ఎప్పుడు దానిని కలుగ జేసే మార్పును ప్రతిఘటించేదిగా ఉంటుంది. ఫారడే సూత్రము లోని (--) ఋణసంజ్ఞ ఈ ప్రతిఘటనాన్ని తెలియ జేస్తుంది. (పటము 16.4) ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలపు దిశను తెలుసుకొనడానికి పటం 16.4 లో చూపిన సామాన్య ప్రయోగాన్ని పరిశీలిద్దాం.

B R A O U



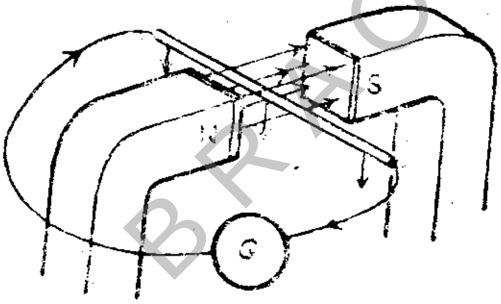
పటం 16.4 అయస్కాంతం ఉత్తర ధృవం వేష్టనవ వైపుకు తీసికొని పోతే ప్రేరిత ప్రవాహ దిశ పటంలో చూపినట్లు ఉంటుంది. దీనివల్ల అయస్కాంత క్షేత్రం ఏర్పడుతుంది. ఈ క్షేత్రం దండ అయస్కాంతం యొక్క చలనాన్ని ప్రతిఘటిస్తుంది.

ఉత్తర ధృవం తీగచుట్టుకు అభిముఖంగా వున్న అయస్కాంతం తీగచుట్ట వైపుకు తీసికొని పోవడం వల్ల అది తీగచుట్టలో విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని ప్రేరేపిస్తుంది. ఈ ప్రేరేపిత విద్యుచ్ఛాలక బలము వల్ల ప్రవహించే ప్రేరిత విద్యుత్తు ప్రవాహము దాని స్వంత అయస్కాంత క్షేత్రమును నెలకొల్పుతుంది. ఇట్లు అయస్కాంత ద్విధృవంగా ఏర్పడుతుంది. ఈ అయస్కాంత ద్విధృవం ఉత్తర, దక్షిణ ధృవములను కలిగి వుంటుంది. అంటే తీగె చుట్టు ముఖము ఉత్తర ధృవంగాను రెండవ ముఖము దక్షిణ ధృవంగాను ప్రవర్తిస్తుంది. తీగెచుట్టలో ఏ ముఖము నుంచి అయస్కాంత ప్రేరణ రేఖలు బహిర్గమౌతాయో ఆ ముఖము ఉత్తర ధృవంగాను రెండవ ముఖము దక్షిణ ధృవంగాను భావిస్తారు. లెంజ్ సూత్రం ప్రకారము తీగచుట్ట అయస్కాంత దండపు కదలికను వ్యతిరేకించాలి. కనుక అయస్కాంత ఉత్తర ధృవమునకు ఎదురుగా వున్న తీగ చుట్ట ముఖము ఉత్తర ధృవం అవుతుంది. ఇప్పుడు తీగెచుట్ట ఉత్తర ధృవము మరియు అయస్కాంత ఉత్తర ధృవము ఒకదానినొకటి అభిముఖముగా ఉండడం వల్ల అవి రెండు పరస్పరము వికర్షించుకోవాలి. కుడి చేతి నియమము (Right hand rule) ననుసరించి దండఅయస్కాంతము నుండి తీగెచుట్ట వైపుకు చూసినప్పుడు తీగచుట్టలో ప్రేరిత విద్యుత్తు ప్రవాహము అపసవ్య దిశలో ఉంటుంది. అదేవిధంగా తీగచుట్ట కుడి ముఖము దక్షిణ ధృవంగా కావలెనంటే దానిలో ప్రేరిత విద్యుత్తు ప్రవాహము సవ్యదిశలో ప్రవహించ వలసి వుంటుంది.

ఈవిధంగా అయస్కాంతాన్నితీగ చుట్టుకు దగ్గరగా గాని, దూరంగా గాని తీసుకొని పోతూ ఉన్నప్పుడు దాని కదలికను ప్రేరిత విద్యుత్ప్రవాహము ప్రతిఘటిస్తుంది.

16.6 ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం సమీకరణం

పటం 16.5 చూపినట్లు ఒక తీగె ముక్కను గాల్వానీ మాపకము రెండు చివరలతో కలుపుతూ దానిని ఒక శాశ్వతఅయస్కాంత ధృవముల మధ్య క్రిందికి మీదికి కదల్చినట్టయితే గాల్వానీ మాపకము అపవర్తనము సూచిస్తుంది. తీగెలో ప్రవహించే ప్రేరిత విద్యుత్ ప్రవాహపు దిశ దానిని కదిలే

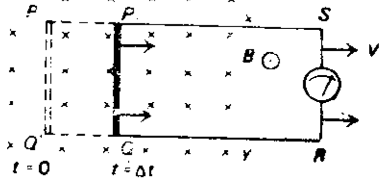


BRAOU

పటం 16.5

దిశపైన అయస్కాంత క్షేత్ర దిశపైన ఆధాపడుతుంది. విద్యుత్ ప్రవాహపు పరిమాణము తీగెను ఎంత వేగంతో కదిల్చితే దానిపై అయస్కాంత క్షేత్ర సత్వం ఆధారపడి వుంటుంది.

ప్రేరిత విద్యుత్ ప్రవాహము రెండు విషయాల ద్వారా తెలుసుకోవచ్చు.



పటం 16.6 ఒక దీర్ఘచతురస్రాకారపు తీగ వలయం PQRS అయస్కాంత క్షేత్రం నుంచి బయటకు లాగబడింది.

a) అయస్కాంత క్షేత్రంలో కదులుచున్న ఆవేశాలపై పనిచేసే బలం ద్వారా b) కదిలెడు ఆవేశముల ద్వారా విద్యుత్ ప్రవాహం లభిస్తుంది. ఒకే నమూనా వల్ల ఈ ప్రేరణ స్వభావాన్ని అర్థం చేసుకొనడానికి పటము 16.6ను పరిశీలిద్దాం. l పొడవు కలిగిన PQ అను వాహకం PQRS వలయములోని భాగం. ఈ PQ ఎడమ నుండి కుడివైపునకు V వేగముతో అయస్కాంత క్షేత్రము B లో కదులుతున్నదనుకొందాం. అయస్కాంత క్షేత్ర దిశ వలయంతో నున్న అభివాహపు పరిమాణ మార్పు వలన విద్యుత్ ప్రవాహము ప్రేరిపిత మవుతుంది. కాబట్టి ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రములో PQRS వలయం V వేగముతో ఎడమనుండి కుడికి కదులుతున్నదన్నమాట. ఈ క్షేత్రం విద్యుద్వలయం PQRS కు లంబ దిశలో వుండి కాలంతో xy వరకు వ్యాపిస్తుంది. కావున ఈ ఆవేశాలపై B V లకు లంబంగా బలం F పనిచేస్తుంది. l పొడవు వెంబడి పనిచేసే ఈ బలం

$$F = +BeV \qquad \text{... (16.4)}$$

ఎడమచేతి నియమము (left hand rule) ప్రకారం ఈ బలం Q నుండి P వైపుకు పనిచేస్తుంది. దీని ఫలితంగా దిశలో ధనఆవేశం Q నుండి P ప్రవహిస్తుంది. ఇందువల్ల అది శక్తిని పొందుతుంది.

$$Fl = Bevl \qquad \text{... (16.5)}$$

అంతే వలయపు గమనం అయస్కాంత క్షేత్రములో కదులుటవల్ల ప్రేరేపిత విద్యుచ్ఛాలక బలం ε కూడా యింతే పని చేస్తుంది.

$$\therefore\ \varepsilon = Bevl$$

లేక $\varepsilon = Bvl$ ... (16.6)

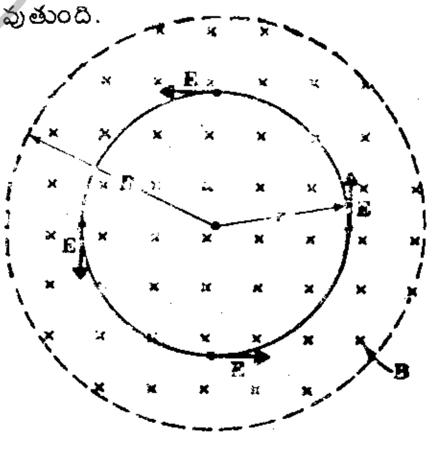
ధనావేశము గమనదిశయే విద్యుత్ ప్రవాహ దిశ కాబట్టి వలయం PARQ లో P ధనాత్మకంగా Q ఋణాత్మకంగా ఉంటుంది. ప్రేరణ విద్యుచ్ఛాలక బలం వల్ల కలిగిన విద్యుత్ ప్రవాహము.

$$i = \frac{E}{R} = \frac{Bvl}{R} \qquad \text{... (16.7)}$$

ఇక్కడ తీగ యొక్క నిరోధం.

16.7 కాలంతో మారే అయస్కాంత క్షేత్రాలు

సాపేక్షంగా తీగచుట్టగాని, అయస్కాంతంగాని కదపడం వల్ల విద్యుచ్ఛాలక బలం ప్రేరేపిత పవుతుందని తెలుసుకున్నాం. అయినా అయస్కాంతముగాని తీగెచుట్టను గాని భౌతికంగా కదపకుండా అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని కాలంతో మార్చడం వల్ల ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక జలం కలుగ జేయవచ్చు. కాలంతో మారే అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఒక తీగె నుంచినప్పుడు దాని ద్వారా పోయే అయస్కాంత అభివాహం మారడం వల్ల తీగెచుట్టలో ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం కలుగుతుంది. తద్వారా తీగెచుట్టలో విద్యుత్ ప్రవాహము ప్రేరితమవుతుంది.



పటం 16.7 కాలంతో మారే అయస్కాంత క్షేత్రాలు

BRAOU

కాలంతో మారే అయస్కాంత క్షేత్రము నిచ్చునట్లుగా ఏర్పాటు 16.7లో చూపినట్లు ఒక ప్రత్యేకమైన ఏర్పాటు చేయబడింది. అయస్కాంత క్షేత్రం కాలంతో ఏకరీతిగా హెచ్చుదంగాని తగ్గడం జరుగునట్లు ఏర్పాటు అవుతుంది. ఇందువల్ల జనించిన ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలమును $\varepsilon = -d\phi_B/dt$ అనే సమీకరణాన్ని ఇస్తుంది. మారుతున్న అయస్కాంత అభివాహం తీగెచుట్టు వివిధ బిందువుల వద్ద ఒక ప్రేరిత విద్యుత్ క్షేత్రము E ను నెలకొల్పుతుంది. ఇట్లు ప్రేరేపింపబడిన విద్యుత్తు క్షేత్రాలు కూడ మామూలుగా స్థిర విద్యుదావేశములు కలుగ జేయు క్షేత్రాల మాదిరిగా యదార్థమైనవి.

పటం 16.7 లో చూపినట్లు అయస్కాంత క్షేత్రములో గీయబడిన r వ్యాసార్థంగా వృత్తము నుండి అయస్కాంత అభివాహం ϕ_B పోతూ వుంది. కాలంతో యిది మారటం వల్ల ఈ వృత్తం వెంబడి లభించు ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం $\varepsilon = -d\phi_B/dt$ గీయబడిన స్పర్శరేఖ వెంబడి యుంటుంది. కావున విద్యుత్తు క్షేత్ర బలరేఖలు ఏక కేంద్ర వృత్తాలుగా వుంటాయి.

వృత్తం చుట్టు ఒక ఆవేశం ε_0 తిరుగుందనుకొంటే, దాని పరిభ్రమణమునకు దాని పైన చేయవలసిన పని $W = \varepsilon q_0$ అవుతుంది. ఈ పనిని మరోవిధంగా కూడ పరిగణించ వచ్చు. విద్యుత్తు క్షేత్రం E ఆవేశం (q_0) పై కలుగ జేయు బలం Eq_0 పని Eq_0 $(2\pi r)$ అవుతుంది.

$\therefore \varepsilon q_0 = q_0 E\, 2\pi r$

$\varepsilon = E 2\pi r$ ... (16.8)

$\varepsilon = \int E.dl$

సమీకరణం (16.9) అన్ని సందర్భాలకు వర్తిస్తుంది. ... (16.9)

$$\varepsilon = \frac{-d\phi B}{dt}$$

ఫారడే విద్యుదయస్కాంత సూత్రము $\varepsilon = \frac{d\phi_B}{dt}$

$$\therefore \oint \vec{E}.\vec{dl} = -\frac{d\phi B}{dt} \quad \text{... (16.10)}$$

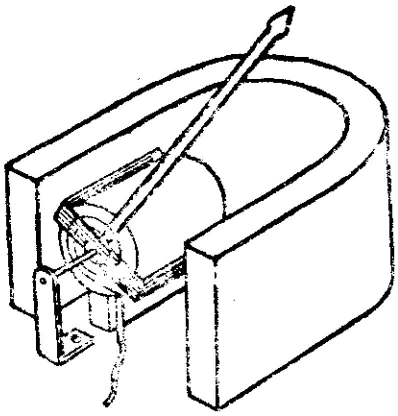
ముఖ్యమైన పరిశీలనాంశము ఏమనగా కాలంలో మారుతున్న అయస్కాంత క్షేత్రం అంతరాళం విద్యుత్తు క్షేత్రమును కలుగ జేస్తుంది. ఫారడే ప్రేరణ సూత్రాన్ని బలపరచే ఆధారాలెన్నో ఉన్నాయి. ఒక ముఖ్యమైన కణత్వరణి బీటాట్రాన్ వాహకపు తీగల మీద ఆధారపడకుండా జనించే క్షేత్రాలపై ఆధారపడుతుంది.

16.8 కదిలే తీగ చుట్ట గల గాల్వానీ మాపకము

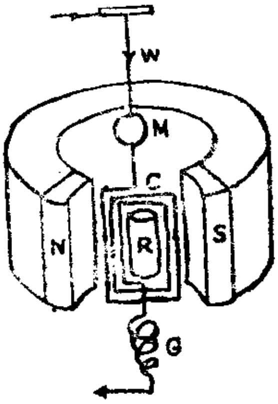
అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రభావములను ప్రయోగించి విద్యుత్ప్రవాహములను కొలవవచ్చు. అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రభావాలనుపయోగించి విద్యుత్ప్రవాహాలను, విద్యుదావేశముల ఉనికిని తెలుసుకొనుటకు వాడే సాధనాలను గాల్వానీ మాపకాలు అంటారు. పలురకములైన ఉపయోగాలకు గాను గాల్వానీ మాపకములు పలు విధములుగా రూపొందించ బడ్డాయి. విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్న తీగచుట్టను శాశ్వత అయస్కాంత ధృవముల మధ్య పెట్టి నిర్మించబడినది. కదిలెడి తీగ చుట్ట గాల్వనీ మాపకము. ఈ పరికముతో అతి తక్కువ కాలంలో మాత్రమే ప్రవహించగల విద్యుత్ప్రవాములను కొలువ వచ్చును.

పటం 16.8లో చూపినట్లు సమతల ముఖము (Flat) గల తీగ చుట్టును గుబ్బపునాద ఆకారంగల శాశ్వత అయస్కాంత ధృవముల మధ్య ఫాస్ఫర్ బ్రాంజు (Phosphor bronze) తీగెతో వ్రేలాడదీయబడి ఉంటుంది. ఏ విద్యుద్వలయములో విద్యుత్తును కొలువవలెనో దానికి తీగచుట్టును కలువుతారు. తీగ చుట్టుద్వారా విద్యుత్ప్రవహిస్తున్నప్పుడు తీగచుట్ట చుట్ట ఆ విద్యుత్తు తన స్వంత అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని కలుగ జేస్తుంది. ఇట్లు ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్రం విద్యుత్ప్రవాహ

BRAOU



పటం 16.8 a) కదిలే తీగచుట్ట గల
గాల్వనీ మాపకపు నమూనా



పటం 16.8 b) కదిలే తీగచుట్ట గల
గాల్వనీ మాపకం

ప్రభావములు శాశ్వత అయస్కాంత క్షేత్రములో అంతరచర్య జరుపుకుంటాయి. అంతరచర్య వలన శాశ్వత అయస్కాంత ధృవముల మధ్య వ్రేలాడవీయబడిన తీగచుట్టు సమతా స్థితి నుండి అపవర్తనం చెందుతుంది. లేదా విద్యుత్తు ప్రవాహము ఈ తీగె చుట్టపై పని చేసేటట్లుగా భ్రామకము కలుగ జేస్తుంది. ఈ విధంగా తీగచుట్ట పొందే అపవర్తనం దాని గుండా పోయే విద్యుత్తు ప్రవాహకమునకు అనులోమాను పాతంలో వుంటుంది.

తీగచుట్టపై పనిచేసే బల భ్రమకము $\tau = B\,i\,n\,A$ --- (16.11) ఈ సమీకరణంలో B శాశ్వత అయస్కాంతపుక్షేత్రం n తీగె చుట్టలోని చుట్ల సంఖ్య A తీగె చుట్టముఖతల వైశాల్యం. i విద్యుత్ ప్రవాహము (దేనినైతే కొలువ వలసి యున్నదో), తీగచుట్టపై కలుగ చేసిన బలభ్రామకమునకు వ్యతిరేక దిశలో, పరిభ్రమకం పనిచేసి దానికి ప్రతిఘటిస్తుంది. పరిభ్రమకము పరికోణమునకు అనులోమాను పాతములో ఉంటుంది. ఈ పరిభ్రమకము $K\phi$ అనుకొందాం. K ను తీగె ఏమోటన స్థిరాంకం అని, øని కోణీయ అపవర్తనం అంటారు. తీగ చుట్ట సమతా స్థితిలో ఉన్నప్పుడుపై రెండు భ్రమకములకు సమానము.

$$\therefore \tau = B i n A = K\phi \qquad \text{... (16.12)}$$

$$\text{or } i = \frac{K}{B n A}\,\phi \qquad \text{... (16.13)}$$

సమీకరణం (16.13) ఆధారంగా తీగ చట్టు గాల్వనీ మాపకమును నిర్మిస్తారు.

విద్యుత్ ప్రవాహ సున్నితత్వము

అల్ప విద్యుత్ ప్రవాహాలకు కూడా అధిక అపవర్తనాలు చూపించినట్లయితే ఆ గాల్వనీ మాపకమునకు సున్నితత్వము ఎక్కువగా వున్నదంటారు. కావున ప్రమాణ విద్యుత్ ప్రవాహము కలుగ జేసే అపరవ్తనం ఆ గాల్వనీ మాపకపు సున్నితత్వమవుతుంది.

$$\frac{\phi}{i} \quad \frac{BnA}{K} \qquad \text{... (16.14)}$$

సమీకరణం (16.14) ప్రకారం B,n,A లను పెంచి Kని తగ్గించి హెచ్చు సున్నితత్వము పొందవచ్చు. దాని BnA లను పెంచడం గాని K ని తగ్గించడం గాని కొంత అవధి వరకు మాత్రమే చేయగలం. దానికి మించి అసాధ్యం.

16.9 అవరోధం – దాని సవరణ

వాడుకలోనున్న గాల్వనీ మాపకములు నిలకడగా నున్న విద్యుత్ ప్రవాహములు మాత్రమే కొలవడానికి ఉపయోగిస్తారు. తీగచుట్ట గాల్వనీ మాపకము దానిని పని చేయించే షరతులను బట్టి

B R A O U

ప్రకంపనలు చేయకుండా ఒకచోట నిలకడ కోణీయ విక్షేపణములు చూపించవచ్చు. లేదా సరళ హరాత్మకమైన విక్షేపణాలు కూడా చూపించవచ్చు. యదార్థ పరిస్థితిలలో యిది చూపించే విక్షేపణలు సరియైన విక్షేపణాలు కావు. అవి అవరోధించబడిన విక్షేపణములు. ఈ అవరోధానికి గాలి నిరోధకం వంటి పెక్కు కారణములుండవచ్చు. కనుక విక్షేపణాన్ని ఖచ్చితంగా కొలవాలంటే అవరోధాల ప్రభావాన్ని లెక్కలోకి తీసుకొని మొదటి విక్షేపణాన్ని సవరించాలి. ఈ సవరణను అవరోధ సవరణ అంటారు.

ఇది ప్రయోగాత్మకంగా తెలిసేదేమంటే రెండు అనుక్రమ గరిష్ఠ అపవర్తనాల నిష్పత్తి సమానము. అంటే అవరోధం వల్ల విక్షేపణ గతి తగ్గురేటు స్థిరం.

$\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$ .... వరుసగా కుడి మరియు ఎడమవైపు పొందిన గరిష్ఠ అపవర్తనాలు అనుకొందాం.

$$\text{అప్పుడు} \quad \frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{\phi_2}{\phi_3} = \frac{\phi_3}{\phi_4} = \dots = d \qquad \dots (16.15)$$

ఇచ్చట d ఒక స్థిరాంకం. దీవని క్షీణత (Decrement) అంటారు. $\log_e d$ లాగరిథ్మిక్ డిక్రిమెంట్ (logarithmic decrement) అంటారు. λ తో సూచిస్తారు.

$$\therefore \lambda = \log_e d$$

$$\text{లేదా} \quad e^{\lambda} = d \qquad \dots (16.16)$$

కాబట్టి సమీకరణం (16.15)ను తిరిగి వ్రాయవచ్చు.

$$\therefore \frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{\phi_2}{\phi_3} = \frac{\phi_3}{\phi_4} = \dots d = e^{\lambda} \qquad \dots (16.17)$$

వరుసగా కుడి, ఎడమవైపు పొందిన ϕ_1, ϕ_2, విక్షేపణలు అర్థడోలనములో వేరుచేయబడగా, ϕ_1, ϕ_3 లు రెండు అర్థడోలనముతో వేరుచేయబడినవి. కాబట్టి $\frac{\phi_1}{\phi_2}$ ని

$$\therefore \frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{\phi_2}{\phi_3} = \frac{\phi_3}{\phi_4} = e^{\lambda}\, e^{\lambda} = e^{2\lambda} \qquad \dots (16.18)$$

ఇదేవిధంగా ϕ_1, ϕ_4 లు మూడు అర్థడోలనముచే వేరుచేయబడితే

$$\therefore \frac{\phi_1}{\phi_4} = \frac{\phi_1}{\phi_2} \cdot \frac{\phi_2}{\phi_3} \cdot \frac{\phi_3}{\phi_4} = e^{\lambda} \cdot e^{\lambda} \cdot e^{\lambda} = e^{3\lambda} = \qquad \dots (16.19)$$

గా వ్రాయవచ్చు.

(16.18), (16.19)ల పరిశీలన ప్రకారము ϕ_0 అవరోధములేని మధ్యమస్థితిగల విక్షేపణము, ϕ_1 మొదటి విక్షేపణము అయితే ϕ_0, ϕ_1 లు పావుడోలనము (1 /4)లో వేరు చేయబడవలసి ఉంటుంది.

$$\therefore \frac{\phi_0}{\phi_1} = e^{\lambda/2}$$

$$\phi_0 = \phi_1 e^{\lambda/2} \qquad \dots (16.20)$$

$$\text{లేదా} \quad \phi_0 = \phi_1 \left(1 + \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda^2}{4} + \dots \right) \qquad \dots (16.21)$$

$$\text{సుమారుగా} \quad \phi_0 = \phi_1 \left(1 + \frac{\lambda}{2} \right) \text{ గా వ్రాయవచ్చు.} \qquad \dots (16.22)$$

అనగా మొదటి విక్షేపణము ϕ_1 ను $(1 + \lambda/2)$ చే గుణించినచో అవరోధము కలుగని విక్షేపణము ϕ_0 లభిస్తుంది. ఇట్లు సవరణ చేయుటవల్ల విద్యుత్తు ప్రవాహాన్ని విద్యుదావేశములను ఖచ్చితంగా తెలుసుకొనవచ్చును.

ఉదాహరణగా తెలుసుకొనుట

ఒక ప్రయోగంలో 1వ మరియు 11వ విక్షేపణములు కనుగొన్నారనుకొందాం.

అప్పుడు $\frac{\phi_1}{\phi_{11}} = e^{10\lambda}$

లేదా $\log_e \frac{\phi_1}{\phi_2} = 10\lambda$

లేదా $\lambda = \frac{1}{10} \log_e \left(\frac{\phi_1}{\phi_2}\right)$ ... (16.23)

ϕ_1 మరియు ϕ_2 లు తెలుసును కాబట్టి λ ను కనుగొని (16.22) ద్వారా ఖచ్చితమైన ϕ_0 ని పొందవచ్చును.

మాదిరి లెక్క -1

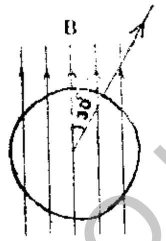
అంగుళము ముఖతల వైశాల్యం, వ్యాసం గల రాగి తీగెతో చేయబడిన 10 సె.మీ. వ్యాసముగల వృత్తాకారపు వర్తులం B అయస్కాంత ప్రేరణముకు లంబంగా ఉంచబడింది. వర్తులంలో 10 ఆంపియర్ల విద్యుత్తు ప్రవహించవలెనంటే అయస్కాంత ప్రేరణ B ఏ రేటులో మారాలి?

జవాబు

రాగితీగ వ్యాసార్థము = 0.12×10^2 మీ.

రాగి తీగె విద్యున్నిరోధము $R = \frac{1.7 \times 10^{-8} \pi \times 10 \times 10^{-2}}{\pi \times (0.127)^2 \times 10^{-4}}$

$= 105.5 \times 10^{-5}$ ఓములు



పటం 16.9

$\phi_B = BA = 78.54 \times 10^{-34} B$

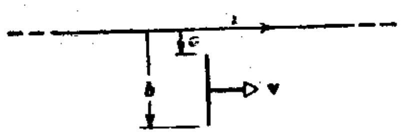
$\therefore \varepsilon = \frac{d\phi_B}{dt} = 78.5 \times 10^{-4} \times \frac{dB}{dt}$

$\therefore \; i = 10, \frac{\varepsilon}{R} = 10 = \frac{78.5 \times 10^{-4}}{1.054 \times 10^{-5}} \times \frac{dB}{dt}$

$\therefore$ dB/dt = 1.34 వెబరులు/చ.మీ.సెకను

మాదిరి లెక్క - 2

ప్రవక్క పటములో చూపినట్లు ఒక చిన్న కడ్డీ పెద్ద తీగె పొడవునకు సమాంతరముగా V వేగంతో కదులుతోంది. i = 100 ఆంపియరు, a = 1 సెం.మీ. b = 20 సెం.మీ. V = 5.0 మీ./సె. అయిన కదులుతున్న కడ్డీలో కనిపించు ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలమును కనుగొనుము.



పటం 16.10

BRAOU

$$B = \frac{1}{19}\int_{1}^{20} \frac{\mu_0 i}{2\pi R}\, dR$$

$$= \frac{1}{19}\,\frac{4\pi \times 10^{-7} \times 100}{2\pi}\int_{1}^{20}\frac{dR}{R}$$

$$= \frac{200 \times 10^{7}}{19}\left[\log R\right]_{1}^{20}$$

$$\therefore\ \varepsilon = B.V.\,19$$

$$= 200 \times 10^{-7} \times 1.301 \times 5 \times 2.303$$

$\varepsilon = 3 \times 10^{-4}$ వోల్టులు

16.10 సారాంశం

విద్యుద్వాహకం గాని లేదా అయస్కాంత క్షేత్రంగాని పరస్పరం చలిస్తుంటే వాహకంలో విద్యుచ్ఛాలకబలం ప్రేరేపింపబడుతుంది. ప్రేరేపింపబడిన విద్యుచ్ఛాలక బలం దిశ అయస్కాంత క్షేత్రంలో వాహకం చలిస్తున్న దిశపై ఆధారపడుతుంది. జనించే విద్యుత్ విలువ వాహకం అయస్కాంత అభివాహపు రేఖలను ఖండించే రేటుకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. ఉత్పత్తి అయ్యే విద్యుచ్ఛాలక బలం విలువ అయస్కాంత అభివాహపు రేఖలకు వాహకం యొక్క చుట్ల సంఖ్యకు ప్రత్యక్ష అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. ప్రేరిత విద్యుత్ప్రవాహదిశ విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని ప్రేరేపించడానికి ఉపయోగించిన విద్యుత్ ప్రవాహదిశకు వ్యతిరేకంగా ఉంటుంది.

ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం $\varepsilon = \frac{d\phi B}{dt}$

B R A O U

16.11. నమూనా ప్రశ్నలు

I. ఈ క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానం రాయండి.

1) ఒక వృత్తాకార పరవలయంలో ప్రేరేపింపబడే విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని వివరించే ఫారడే ప్రేరణ సూత్రాన్ని, లెంజ్ నియమాన్ని గూర్చి వివరంగా చర్చించండి.

2) తీగచుట్ట చలిస్తున్న గాల్వనీ మాపకాన్ని పటంతో వివరిస్తూ అది ఏ నియమం ప్రకారం రూపొందించబడ్డదో వివరించండి. విద్యుత్ప్రవాహాలను ఖచ్చితంగా కొలవడానికి అవరోధపు సవరణ ఏవిధంగా తోడ్పడుతుందో చర్చించండి.

II. ఈ క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి.

1) కాలంతో మారే అయస్కాంత క్షేత్రాలను గూర్చి చర్చించండి.

2) శక్తి నిత్యత్వ సూత్రపరంగా పేరిత ప్రవాహాన్ని, వోల్టేజిని ఏవిధంగా వివరిస్తారు ?

III. క్రింది సమస్యలను సాధించండి.

1) $\frac{dB}{dt}$ రేటుతో ఒక ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రేరణం B విలువ మారుతూ ఉంది. r వ్యాసార్థం, m ద్రవ్యరాశిగల రాగితీగ మీకివ్వబడింది. దాని R వ్యాసార్థంగల వృత్తాకార వలయంగా రూపొందించాలి. అయస్కాంత ప్రేరణం B పరవలయానికి లంబదిశలో

ఉందనుకొని ఆ వలయంలో ప్రేరేపింప బడిన విద్యుత్ ప్రవాహం తీగ కొలతలపై ఆధారపడదని దాని విలువ

$$i = \frac{m}{4\pi\rho\varsigma}\frac{dB}{dt}$$ కి సమానమని చూపండి. దీనిలో ρ తీగ నిరోధకత, ς రాగి సాంద్రత.

2) R వ్యాసార్థం గలిగిన స్థూపాకారపు ప్రదేశాన్ని ఏకరీతి అయస్కాంతక్షేత్రప్రేరణం B పూర్తిగా నింపుతుంది.

పటం 1 లోచూపినట్లు 1 పొడవుగల ఒక లోహపు కడ్డీ దానిలో (B) ఉంచబడింది. అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రేరణ B dB రేటులో ఆవేశితమౌతూ మారుతూ ఉంటే లోహపుకడ్డీ చివరల ప్రేరితమైన విద్యుచ్ఛాలక బలం

$$\varepsilon = \frac{dB}{dt}\sqrt{R^2-\left(\frac{1}{2}\right)^2}$$ అని చూపండి.

3) R వ్యాసార్థంగల స్థూపాకార ప్రదేశం B విలువ కలిగిన అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రేరణంతో నిండి ఉంది. సెకను 100 గాస్‌ల లెక్కన B విలువ తగ్గుతూ ఉంది. పటం 2 లో చూపినట్లు a,b,c వద్ద ఉంచిన ఎలక్ట్రాన్ అనుభవించే తక్షణ త్వరణం విలువలు, దిశలు లెక్కగట్టండి. r = 5 సెం.మీ. అనుకోండి.

(సూచన: b గుండా పోయే లంబాక్షం చుట్టూ అక్షీయ సౌష్ఠవత ఉన్నంతవరకు R దూరం తర్వాత మారే క్షేత్ర విలువ మీ సమాధానాన్ని (లేదా జవాబును) మార్చలేదు).

4) ఒక వాహకపు కడ్డీ AB పటం 3 లో చూపినట్లు 50 సెం.మీ. దూరంగల AD, BC అనే పట్టాలతో సంబంధం కలిగి ఉంది. ఈ AB కడ్డీ ఒక చదరపు మీటరుకు 1 వెబర్ కలిగిన అయస్కాంత ప్రేరణ దిశకు లంబంగా ఉంది. (అంటే అయస్కాంత ప్రేరణ దిశ ఈ కాగితానికి లంబదిశలో ఉంది). మొత్తం ABCD వలయం యొక్క నిరోధం. 0 .4 ఓమ్‌లు స్థిరంగా అనుకోబడింది. i) 8 మీ/సె. వేగంతో కడ్డీని ఎడమవైపుకు జరిపితే ప్రేరేపించబడే విద్యుచ్ఛాలక బలం విలువ దిశ కనుగొనండి. ii) ఆ కడ్డీని గమనంలో ఉంచాలంటే ఎంత బలం కావాలి iii) F బలం వల్ల యాంత్రికంగా ఎంత రేటుతో పని జరిగిందో దానిని కడ్డీలో జనించే ఉష్ణరేటుతో సరిపోల్చి చూడండి.

16.12. చదవదగిన గ్రంథాలు

1.	Kraus, J.D. and Carver, K.R.	Electromagnetics	Mc Graw Hill Kogakusha Ltd., Tokyo
2.	Corsan, D.R. and Lorrian	Introduction to Electromagnetic Fields and Waves	Freeman Toppa, London
3.	Griffiths D.J.	Introduction to Electrodynamics	Prentice Hall of India, New Delhi
4.	Plonsey R., and Collin, R.E.	Principles and Applications of Electromagnetic	Tata Mc Graw Hill Publishing Company Ltd., New Delhi (1978)
5.	Laud, B.B.	Electromagnetics	Wiely Eastern Ltd., New Delhi
6.	Grant, I.S. and Philips, W.R.	Electromagnetism	Wiley Eastern Publications, New Delhi
7.	Jackson, C.D.	Clssical Electrodynamics	
8.	Halliday, D. and Resnick, R.	Physics Part II	
9.		Electricity and Magnetism, Berkeley Physics Course 2	Mc Graw Hills, New Delhi
10.	Snell, W.D. and Taylor	Physics Concepts and Models	Addison Wesley Publications, New Delhi.

రచన, అనువాదం: డా.కె. సోమయ్య

BRAOU

ఖండం-7 విద్యుత్, అయస్కాంత క్షేత్రాలలో కణచలనం

B R A O U

BRAOU

భాగం-17 అయస్కాంత క్షేత్రం, అయస్కాంత బలం, బలభ్రామకం

విషయక్రమం

17.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

17.2 ప్రవేశిక

17.3 గమనములోనున్న ఆవేశముపై పనిచేసే అయస్కాంత క్షేత్రపు చర్య

17.4 విద్యుత్ ప్రవాహముపై పనిచేసే అయస్కాంత బలం

17.5 విద్యుత్ ప్రవహించే తీగచుట్టపై పనిచేయు బలభ్రామకము

17.6 క్షేత్రములో నుంచిన తీగ చుట్టలోనున్న స్థితిజశక్తి

17.7 సారాంశం

17.8 నమూనా ప్రశ్నలు

17.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో అయస్కాంత క్షేత్రంలో చలిస్తున్న ఆవేశములపై అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రభావం చర్చించబడింది. మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

1) విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న తీగ చుట్టపై బాహ్య అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రభావాన్ని వర్ణించగలరు.

2) క్షేత్రంలో ఉంచిన తీగచుట్టలోని స్థితిశక్తిని లెక్కించగలుగుతారు.

17.2 ప్రవేశిక

ఈ భాగంలో అయస్కాంత క్షేత్రంలో చలిస్తున్న ఆవేశముపై అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రభావం వివరించబడింది.

BRAOU

17.3 గమనములోనున్న ఆవేశముపై పనిచేయు అయస్కాంత క్షేత్రపు చర్య

ఈ భాగమునందు అయాస్కాంత క్షేత్రము ఎలా ఏర్పడినది అనే విషయమును గూర్చి ఆలోచించకుండానే, ఒక బిందువు వద్ద అయస్కాంత క్షేత్రము ఉన్నదా లేదా అనే విషయము పరిశోధించగలము. ఏ ప్రాంతములోనైతే అయస్కాంత క్షేత్రము ఉన్నట్లు భావించబడుతుందో ఆ ప్రాంతములో ఒక ఆవేశము ప్రవేశపెట్టబడినది అనుకొందాము. మామూలు పరిస్థితులలో గమనములోనున్న ఈ ఆవేశముపై ఎలాంటి బలములు పనిచేయవు. ఉదాహరణగా ఒకవేళ అయస్కాంత క్షేత్రము ఆ ప్రాంతములోనున్నట్లయితే, ఆ ఆవేశంపై ఒక బలము పనిచేస్తుండడము వలన ఆ ఆవేశం అపవర్తనం చెందుతోంది. ఏ ప్రాంతములోనైతే ఆవేశం అపవర్తనం చెందుతోందో అచ్చట అయస్కాంత క్షేత్రము వున్నట్లు అర్థం. ఈ అయస్కాంత ప్రేరణ $\vec{B}$ ని కోణంపై పనిచేసే బలము F దానిపై ఆవరించి ఉన్న ఆవేశ పరిమాణము q కణపు వేగం V రాశులలో చెప్పవచ్చును.

అయస్కాంత ప్రేరణ ఉనికిని తెలిసికొన్న తర్వాత దాని దిశను ఈవిధంగా తెలుసుకొనవచ్చును. $\vec{V}$ వేగంతో ప్రవేశ పెట్టబడిన కణపు వేగదిశ Bకి లంబంగా ఉన్నదనుకొందాము. ఆవేశము యొక్క వేగం $\vec{V}$ పరిమాణము స్థిరంగా నుంచి దాని దిశను మారిస్తే దానిపై పనిచేయు బలము $\vec{F}$ పరిణము మారుతోంది. ప్రయోగాత్మకంగా తేలిన విషయము ఏమనగా బలము $\vec{F}$ యొక్క పరిమాణము $\vec{V}$ మరియు $\vec{B}$ లు ఒక దానికొకటికి లంబంగా నున్నపుడే, గరిష్ఠ విలువను కలిగి యుంటుంది. కావున ఈ గరిష్ఠబలమును కొలవడం వలన $\vec{B}$ పరిమాణము దిశలను కూడా నిర్వచించవచ్చు.

$$\therefore F_{\text{గరిష్ఠ}} = qVB \qquad \ldots (17.1)$$

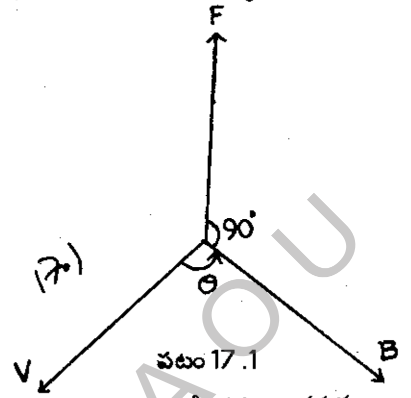
సమీకరణం 17.1ల $\vec{V}$ మరియు $\vec{B}$ లు లంబంగా నుండుటయే గాకుండా $\vec{F}$, $\vec{V}$, $\vec{B}$ లు సదిశరాశులు. కావున సమీకరణం 17.1 ని సదిశాపరంగా వ్రాయవచ్చు.

$$\therefore \vec{F} = q\vec{V} \times \vec{B} \qquad \ldots (17.2)$$

పరిమాణాత్మకంగా

$$F = qVB \sin\theta \qquad \ldots\ldots (17.3)$$

ఈ సమీకరణములో θ అనునది V మరియు Bల మధ్య కోణం పటము 17.1ని చూడండి.



పటం 17.1

BRAOU

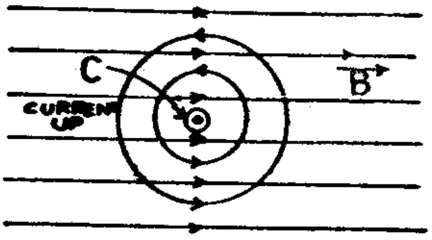
దీనిని బట్టి తెలిసిన దేమనగా అయస్కాంత క్షేత్రము తనగుండా పోతూన్న ఆవేశంపై అపవర్తన బలమును కలుగజేస్తుంది. ఆ విధంగానే విద్యుత్ క్షేత్రం కూడా తమ గుండా పోయే ఆవేశములపై బలమును కలుగజేస్తుంది. విద్యుత్‌క్షేత్రం అయస్కాంత క్షేత్రము రెండూ ఉన్న ప్రాంతములో విద్యుత్ ఆవేశము చలించినట్లయితే దానిపై పనిచేసే ఫలితములను గణనలోనికి తీసికొనవలెను.

$$\therefore \vec{F} = q\vec{E} + q\vec{V} \times \vec{B} \qquad \ldots (17.4)$$

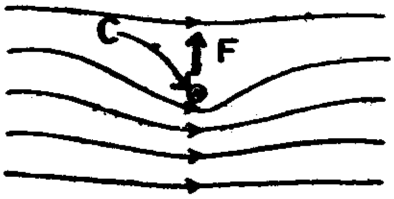
E అనునది విద్యుత్ క్షేత్రపు విలువ. ఈ సమీకరణం 17.4 లారెంజ్ సమీకరణములనియు, ఈ ఫలిత బలమును లారెంజ్ బలము అనియు అందురు.

17.4 విద్యుత్ ప్రవాహముపై పనిచేసే అయస్కాంత బలము

గమనంలోనున్న ఆవేశమును అయస్కాంత క్షేత్రములో నుంచినట్లయితే దానిపైన అపవర్తన బలము పనిచేస్తుందని తెలిసికొన్నాము. విద్యుత్ ప్రవాహము అనగా గమనములోనున్న ఆవేశముల కూర్పు అని మనకు తెలుసు. కావున విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న తీగెను అయస్కాంత క్షేత్రములో నుంచినట్లయితే దానిపైన అయస్కాంత బలము పనిచేసి దానిపైన అపవర్తనం కలుగజేస్తుంది. కావున ఈ అయస్కాంత బలము Fను ఈ క్రింది విధంగా తెలుసుకోవచ్చును.



(a)



(b)

పటము 17 .2 లో చూపినట్లు i విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న 'l' పొడవుగల తీగను అయస్కాంత క్షేత్రం $\vec{B}$ లో నుంచినామనుకొనుము. విద్యుత్ ప్రవాహ సాంద్రత దిశ $\vec{J}$ మరియు $\vec{B}$ దిశ ఒకదానికొకటి లంబముగా నుండునట్లు అమర్చబడినవి.

తీగలో విద్యుత్ ప్రవాహమునకు కారణం, అందులోని స్వేచ్ఛ ఎలక్ట్రానులు, కావున ఒక ఎలక్ట్రాను పై పనిచేసే బలములను కనుగొని తద్వారా మొత్తము బలమును కనుగొనవచ్చును.

సమీకరణం 17 .3 ప్రకారం ఒక స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రానుపై పనిచేయు బలము F

$$F = qVd\,B\,\mathrm{Sin}\,\theta = q\,Vd\,B (\because) \phi = 90^0 \qquad \ldots (17.5)$$

ఈ సమీకరణంలో ఎలక్ట్రాను ఆవేశము Vd డ్రిఫ్ట్‌ద్రుతి (Drift Speed) కాని $Vd = \frac{\vec{J}}{nq} n$ అనునది ప్రమాణ ఘన పరిమాణంలోనున్న ఎలక్ట్రానుల సంఖ్య

$$\vec{F} = q\left(\frac{\vec{J}}{nq}\right)\vec{B}$$

$$\vec{F} = \frac{JB}{n} \qquad \ldots (17.6)$$

తీగ మధ్యచ్ఛేద వైశాల్యము A అనుకొనిన దాని ఘన పరిమాణము lA అవుతోంది. తీగలోనున్న మొత్తం ఎలక్ట్రానుల సంఖ్య nlA.

కావున మొత్తం ఎలక్ట్రానుల సంఖ్యపై పనిచేయు బలము

$$F = nlA\,F'$$

$$\therefore F = nlA\,\frac{JB}{n}$$

$$\therefore \quad F = ilB \; (\because JA = 1) \qquad \ldots (17.7)$$

ఇప్పు డు సమీకరణము 17 .7 ను ఉపయోగించి అయస్కాంత బలము $\vec{F}$ ను తెలుసుకొనవచ్చును. ఈ సమీకరణము ఎలాంటి నిడివిగల తీగకైనా వర్తిస్తుంది. l, B లు సదిశరాశులు.

$$\therefore \vec{dF} = i\vec{dl} \times \vec{B} \quad \vec{dl} \text{ తీగనిడివి} \qquad \ldots (17.8)$$

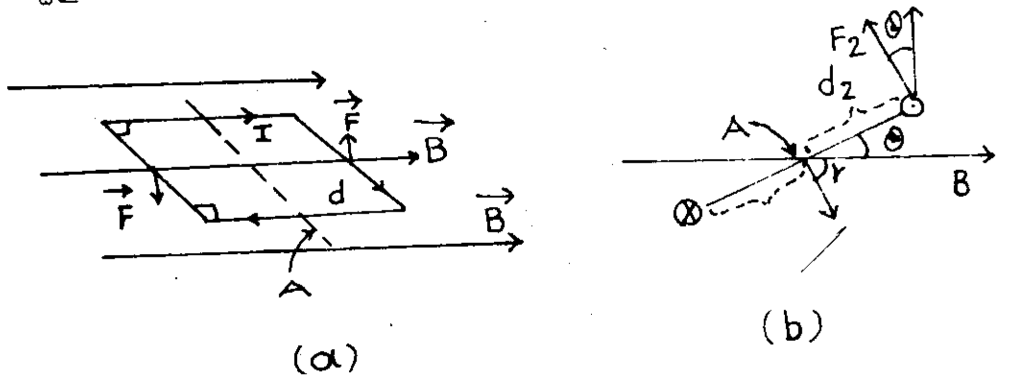
సమాకలనము చేసినచో సమీకరణము 17 .8 కి సమానము

$$\therefore \vec{F} = i\vec{l} \times \vec{B} \qquad \ldots (17.9)$$

B R A O U

17.5 విద్యుత్ ప్రవహించే తీగచుట్టపై పనిచేయు బలభ్రామకము

విద్యుత్ ప్రవహించే తీగచుట్టను సమాంతరముగా అయస్కాంత క్షేత్రంలో వుంచినప్పుడు, అయస్కాంత బలము ఈ తీగచుట్టపై పనిచేసి చుట్టను భ్రమణం చెందించుటకు ప్రయత్నిస్తుంది. ఈ భ్రమణము చెందించుటకు పనిచేయు బలమును బలభ్రమకము లేదా యాంత్రిక భ్రమకము అంటారు. బలభ్రమకపు విలువ బలము మరియు అది పని చేయు బిందువు యొక్క త్రైజ్యాదూరము (Radial distance)ల లబ్దమునకు సమానము. పటము 17.3 లో చూపినట్లు తీగచుట్టపై పనిచేస్తున్న బలభ్రమకము తెలుసుకొందాం.



పటము 17.3 (a) & (b)

దీర్ఘ చతురస్రాకారము నుండి l మరియు d భుజములుగల తీగచుట్టలో i విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్నప్పుడు అయస్కాంత క్షేత్రము B లో నుంచినామనుకొనుము.

సమీకరణము 17.8 ప్రకారము తీగచుట్టలోని ఏ అల్పాంశము dl పైననైనను పనిచేయు బలము

$\vec{dF}$

$$\vec{dF} = i\vec{dl} \times \vec{B} \qquad \text{... (17.8)}$$

తీగచుట్ట తలము, అయస్కాంత క్షేత్రపు దిశ $\vec{B}$ తో θ కోణము చేస్తున్నదనుకొందాము (పటము 17.3 (b) అప్పుడు చుట్టపై పనిచేసే స్పర్శాత్మక బలము

$F_t = /F/ \cos\theta$

$$\therefore F_t = iB\cos\theta \int_0^l dl$$

$$= iBl\cos 0 \qquad \text{... (17.10)}$$

తీగ చుట్టపై పనిచేయు మొత్తం బలభ్రమకము

$$\therefore \tau = 2F_t\frac{d}{2}$$

$$= iBld\cos\theta$$

కాని ld = A (చుట్ట వైశాల్యము)

$$\therefore \tau = iAB\cos\theta \qquad \text{...(17.11)}$$

BRAOU

సమీకరణము 17.11 ప్రకారము బలభ్రమకము విద్యుత్ i కి చుట్ట వైశాల్యము A మరియు అయస్కాంత క్షేత్ర తీవ్రత B కి అనులోమాను పాతములో నుంటుంది. సమీకరణములో iA లబ్ధమును అయస్కాంత భ్రమకము లేదా అయస్కాంత ద్విధ్రువ భ్రమకం అని కూడ పిలుస్తారు.

$\therefore$ అయస్కాంత భ్రమకము $\mu = NiA$

N అనునది తీగ చుట్టలోని చుట్టల సంఖ్య

$$\therefore \tau = \mu B \cos\theta$$

లేదా $\tau = \mu B \sin\alpha$ ... (17.12)

α అనునది చుట్ట తలమునకు చేయబడిన లంబము B తో చేయుకోణము (పటము 17.3 (b) చూడండి).

అయస్కాంత భ్రమకము $\vec{\mu}$ చుట్టతలమునకు గీయబడిన లంబము ఒకే దిశలోనున్నవనుకుంటే

బలభ్రమకము $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ ... (17.13)

కావున బలభ్రామకము $\vec{\tau}$ ను ఒక సదిశ రాశిగా పరిగణించవచ్చును మరియు $\vec{\tau}$ యొక్క దిశ $\vec{\mu}$, $\vec{B}$ వైపు తిరుగుతున్నపుడు ఏర్పడు భ్రమణ అక్షపు దిశలో నుంటుంది.

17.6 క్షేత్రములో నుంచిన తీగచుట్టలోనున్న స్థితిజశక్తి

ఒక అయస్కాంత ద్విధృవమును విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నప్పుడు తీగ చుట్ట అయస్కాంత క్షేత్రములో నుంచినవుడు దానిపైన బలభ్రమకము పనిచేస్తుంది. అంటే బాహ్యంగా బలభ్రమకము ద్విధృవపు దిగ్విన్యాసమును మార్చుటకు పనిచేస్తుంది. కావున ద్విధృవము కొంత స్థితిజశక్తిని కలిగియున్నదన్నమాట. యాదృచ్ఛికంగా ఈ శక్తి శూన్యము అనుకొనుము. లేదా $\vec{\mu}$ మరియు $\vec{B}$ లు ఒకదానికొకటి లంబంగా నున్నపుడు ($\alpha = 90^\circ$)స్థితిజ శక్తి d అ శూన్యమనుకొనుము.

ఏ స్థితిలో నున్నప్పుడైనా అయస్కాంత ద్విధృవము కలిగియున్న స్థితిజ శక్తిని దాని శూన్యశక్తి స్థానమును ఈ స్థితిలోనికి భ్రమణము చేయించుటకు చేయబడిన పని అని అర్థము కావున $d\alpha$ భ్రమణమును ప్రమాణముగా తీసుకొని సమకలనము చేసినచో ద్విధృవపు స్థితిజశక్తిని కొలువవచ్చును.

$$U = \int_0^\alpha \frac{\alpha}{\tau} . dl$$

$$U = \int_0^\alpha NiAB \sin\alpha . d\alpha$$

$$U = \mu B \int_0^\alpha \sin\alpha . d\alpha$$

$$U = -\mu B \cos\alpha$$

లేదా $U = -\vec{\mu} . \vec{B}$ ... (17.14)

B R A O U

ఉదాహరణ - 1

60 సెం.మీ. పొడవుగల 10 గ్రాముల తీగ 0.4 వెబరు చ.మీ. విలువగల అయస్కాంత క్షేత్రములో బంధించబడియున్నది. దానిపై పనిచేస్తున్న తన్యతను తొలగించవలెనంటే ఎంత విద్యుత్ పంపించవలెను.

తన్యత = అయస్కాంత బలము

$$\therefore \; mg = ilB$$

$$i = \frac{mg}{lB} = \frac{9.8 \times 10^{-2}}{0.6 \times 0.4} = 0.41 \text{ ఆంపియర్లు}$$

ఉదాహరణ - 2

10 సెం.మీ. పొడవు 5 సెం.మీ. వెడల్పు గల దీర్ఘ చతురస్రాకారపు చుట్టలో 0.10 ఆంపియర్లు విద్యుత్తు పంపిస్తు 0.50 వెబరు/చ.మీ. అయస్కాంత క్షేత్రములో భ్రమణం చెందినట్లు ఒక చివర బంధించబడియున్నది. చుట్టతలము, క్షేత్ర దిశతో 30° కోణము చేస్తున్న చుట్టపై పనిచేయు బలభ్రమకమును కనుగొనుము.

వాహకముపై పనిచేయు బలము F = niBl

$$\therefore \; F = 20 \times 0.1 \times 0.5 \times 0.1 \text{ న్యూటన్లు}$$

$$\therefore \; \tau = F \times 0.05 \cos 30^0$$

$$\tau = 0.1 \times 0.05 \times \cos 30^0$$

$$\therefore \; \tau = 4.3 \times 10^{-3} \text{ న్యూటను మీటర్లు}$$

17.7 సారాంశం

అయస్కాంత క్షేత్రంలో చలిస్తున్న ఆవేశముపై బలము పనిచేస్తుంది.

17.8 నమూనా ప్రశ్నలు

BRAOU

I. క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానాలు రాయండి.

1) చలనంలోనున్న ఆవేశిత కణంపై అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రభావాన్ని చర్చించండి.

2) అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉంచిన ఒక విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్న తీగపై పనిచేసే బలాన్ని లెక్కించడానికి సమీకరణాన్ని రాబట్టండి.

II. క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి.

1) కరెంట్ లూప్‌పై పని చేయు టార్క్‌ను రాబట్టడానికి సమీకరణాన్ని ఉత్పాదించండి.

2) క్షేత్రంలో లూప్‌తో సంబంధమున్న స్థితిశక్తిని గూర్చి వ్రాయండి.

III. క్రింది లెక్కలను సాధించండి.

1) సమరీతి అయస్కాంత క్షేత్రం "B" లోనికి "m" ద్రవ్యం V వేగంకల ఆవేశిత కణం ప్రవేశించింది. సదిశ రాశులయిన 'V", "B" లు θ కోణం చేస్తున్నాయనుకొంటే ఆవేశిత కణం యొక్క చలనాన్ని నిర్ధారించండి.

భాగం - 18 ఆవేశిత కణగమనం, హాల్ ఫలితం

విషయక్రమం

18.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
18.2 ప్రవేశిక
18.3 విద్యుత్ క్షేత్రంలో విద్యుదావేశ కణం
18.4 అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఆవేశకణం యొక్క గమనం
18.5 అనువర్తనాలు
18.5.1 సైక్లోట్రాను
18.5.2 హాల్ ఫలితం
18.6 ఎలక్ట్రాన్ విద్యుదావేశము నిర్ణయించడం - మిల్లికన్ తైలబిందు పద్ధతి
18.7 సారాంశం
18.8 సమూనా ప్రశ్నలు

18.1 ఉద్దేశ్యాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో విద్యుత్ ఆవేశితకణం స్థిరంగా ఉన్నప్పు డు, చలనంలో ఉన్న ప్పు డు విద్యుత్ అయస్కాంత క్షేత్రాల ప్రభావాల చర్చ ఉంది. మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

1) విద్యుత్ బలరేఖల గుండా కదులుతున్న ఆవేశిత కణం శక్తి, విద్యుత్ క్షేత్ర ప్రభావం వల్ల పెరుగుతుందని,
2) ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలో చలిస్తున్న ఆవేశిత కణాలపై పనిచేసే బలం క్షేత్ర దిశను బట్టి మారదని గ్రహిస్తారు.

18.2 ప్రవేశిక

మీరు ఈభాగంలో హాల్ ఫలితం గురించి తెలుసుకుంటారు.

18.3 విద్యుత్ క్షేత్రంలో విద్యుదావేశ కణం

M ద్రవ్యరాశి, q విద్యుదావేశము కలిగిన ఒక కణాన్ని E విద్యుత్ క్షేత్రంగుండా పంపినపుడు (ఒకదాని నుంచి మరొకటి బంధితమయిన రెండు సమాంతర లోహపు పలకలపు విద్యుత్ ఘటం చివరలకు కలిపినట్లయితే, విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ఉత్పాదించవచ్చు) విద్యుదావేశంపై, విద్యుత్ క్షేత్రం కలిగించే బలము.

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad \ldots (18.1)$$

గా వ్రాస్తారు

కాని న్యూటన్ రెండవ గమన సూత్రం ప్రకారము, కణంలోని త్వరణంలోని మార్పు

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad \ldots (18.2)$$

సమీకరణం ప్రకారం కలుగుతుంది. లేక

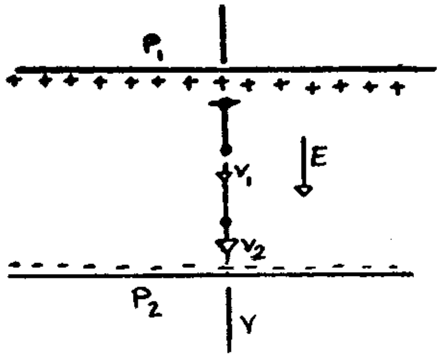
BRAOU

$$\vec{a} = \vec{F}/m \quad \text{... (18.3)}$$

పైన వివరించినట్లుగా, ఒక దానినుంచి మరొకటి బంధితమైన P_1, P_2 అనే రెండు సమాంతర లోహపు ఫలకలను విద్యుత్‌ఘటం టెర్మినల్స్‌కు కలిపినట్లయితే సమ విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ఉత్పాదించవచ్చు. ఫలకల మధ్య దూరము వాటి పరిమాణముతో పోల్చితే చాలా తక్కువైనప్పుడు, చివరలో తప్ప వాటి మధ్యనున్న క్షేత్రం దాదాపుగా సమంగా ఉంటుంది. బాహ్య విద్యుదావేశాలతో నెలకొల్పిన క్షేత్రంలో కణం చలనాన్ని గణించేటప్పుడు కణం విద్యుదావేశం వల్ల కలిగిన క్షేత్రాన్ని అంటే స్వయం క్షేత్రాన్ని వదిలివేయవలసి ఉంటుంది.

విద్యుదావేశ కణం యొక్క త్వరణాన్ని విద్యుత్ క్షేత్రం యొక్క రెండు విభిన్న స్థితులలో పరిశీలన జరుపుదాం.

స్థితి 1. సమ విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఆవేశ కణం (విరామస్థితిలో నుంచి వదిలివేయుట)



(పటం 18.1)

పటం 18.1 లో చూపిన విధంగా ఒక సమ విద్యుత్ క్షేత్రంలో q విద్యుదావేశము, m ద్రవ్యరాశి గల కణాన్ని విరామస్థితిలో ఉంచి వదిలివేసినాము. అలాంటప్పుడు దాని గమనము గురుత్వాకర్షణ క్షేత్రంలో వస్తువు క్రిందపడటాన్ని పోలి ఉంటుంది. అప్పుడు స్థిరత్వరణము

$$\vec{a} = \frac{qEy}{m}$$ (త్వరణము y దిశలో ఉంటుంది)

సమత్వరిత గమన సమీకరణాలను ఇలాంటి పరిస్థితులకు అన్వయించినపుడు తొలివేగము $V_0 = O$ అయితే, తుది వేగము

$$\vec{V} = \vec{a}\ t = \frac{q\vec{E}t}{m} \quad \text{... (18.3)}$$

ఎందుకంటే కణ గమన దిశ y – దిశలోనే ఉంటుంది. అంటే పై విద్యుత్ పలకనుండి క్రింది విద్యుత్ ఫలకవైపు ఉంటుంది. ఇలాంటి స్థితిలో t కాలంలో, కణం y – దిశలో ప్రయాణించిన దూరం

$$y = \frac{1}{2}at^2$$

$$V = \frac{qEt^2}{2m} \quad \text{... (18.4)}$$

మరియు $V^2 = 2ay$

$$= 2q\frac{Ey}{m} \quad \text{... (18.5)}$$

Y దూరం ప్రయాణించటం వలన కణం గ్రహించిన గతిశక్తి

$$K.E. = \frac{1}{2}mV^2$$

BRAOU

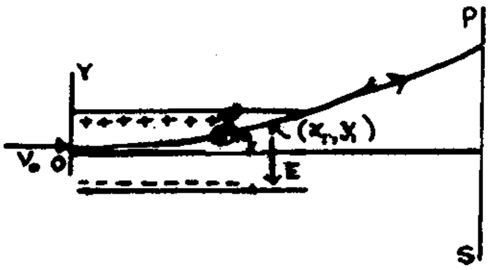
$$= \frac{1}{2} m \left(\frac{2qEy}{m}\right)$$

$$= qEy \qquad \ldots (18.6)$$

$$= q^2 E^2 t^2 / 2m$$

నుండి గణించవచ్చును.

స్థితి 2. సమవిద్యుత్ క్షేత్రంలో ఆవేశకణం (కణం తొలివేగం సున్నా కానప్పుడు)



పటం 18.2

పటం 18.2 లో చూపినట్లు సమవిద్యుత్ క్షేత్రం E కి లంబదిశలో V_0 వడితో m ద్రవ్యరాశి, e విద్యుత్ ఆవేశం ఉన్న ఆవేశకణాన్ని ప్రక్షేపం చేసినాము. అప్పుడు అలాంటి కణంయొక్క గమనం అది విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉన్నంతకాలం పరావలయమార్గాన్ని (parabolic) పోలి ఉంటుంది. క్షేత్రఫలకల నుండి ఆవేశకణం బయలుదేరి అది పరావలయానికి నిర్గమన బిందువువద్ద గీచిన స్పర్శరేఖ దిశలో అంటే సరళరేఖ వెంబడి ప్రయాణిస్తుంది. అలాంటి ఆవేశకణం గమనాన్ని సాధారణంగా క్షితిజ సమాంతర దిశలో

$$\text{గతి } (x) = V_0 t \qquad \ldots (18.7)$$

చే సూచిస్తారు. అలాగే క్షితిజ లంబదిశలో దాని గతి

$$y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{qE}{2m}t^2 \qquad \ldots (18.8)$$

సమీకరణాలు 18.7 మరియు 18.8 లను పోల్చిన

$$y = \frac{qE\,x^2}{2mV_0^2}$$ అని వస్తుంది.

ఇది కణం యొక్క పరావలయ మార్గాన్ని సూచిస్తుంది.

ఉదాహరణ – 1

రెండు సమాంతర పలకల మధ్యనున్న విద్యుత్ క్షేత్ర బలము 1.0×10^3 న్యూ క్యూలంబ్‌లు. 5×10^8 సెం.మీ./ సెకను వడి కల్గిన ఎలక్ట్రాను సమాంతర దిశలో క్షేత్రాన్ని/ ప్రవేశిస్తే a) ఎలక్ట్రాను విరామస్థితికి రావబడానికి ముందు ఎతదూరం ప్రయాణం చేస్తుంది? b) విరామ స్థితికి రావడానికి ఎంతకాలం పడుతుంది ? c) ఒకవేళ ఎలక్ట్రాను 0.8 సెం.మీ. దూరం ప్రయాణించిన పిదప విద్యుత్‌క్షేత్రాన్ని ఆపివేస్తే ఎలక్ట్రాను తొలిశక్తి నుండి ఎంత శాతం శక్తిని కోల్పోతుంది?

a) $V_0 = 5 \times 10^8$ సెం.మీ./సెకను

$= 5 \times 10^8$ మీ/సె.

$e = 1 \times 10^3$

BRAOU

మరియు $F = ma = qE$

$$\therefore \; a = \frac{qE}{m}$$

గమన సమీకరణాల నుండి

$V^2 - V_0 = 2aS$ అను దానిని తీసుకొన్నట్లయితే

$$-5 \times 5 \times 10^{12} = -2\frac{qES}{m}$$

('—' అనగా ఋణ త్వరణం)

$$25 \times 10^{12} = \frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1 \times 10^{3} \times S}{9 \times 11 \times 10^{-31}}$$

లేదా $S^0 = 7.11$ మీటర్లు

b) $V = V_0 + at$

$V = -at$ ఎందుకంటే $V = O$

$$t = \frac{V_0}{a} = \frac{V_0 m}{qE} = \frac{5 \times 10^{6} \times 9 \times 11 \times 10^{-31}}{1.6 \times 10^{-19} \times 10^{3} \times 1}$$

$= 29 \times 10^{-18}$ సెకన్లు

c) తొలి గతిశక్తి $= \frac{1}{2} m V_0^2$

కోల్పోయిన గతిశక్తి $= eEx$

తొలి గతిశక్తి $= \frac{1}{2} \times 9.3 \times 10^{-31} \times 25 \times 10^{12}$

$V = 113.7 \times 10^{-19}$

కోల్పోయిన గతిశక్తి $= 1.6 \times 10^{-19} \times 1 \times 10^{3} \times 1 \times 10^{-13}$

$= 11.8 \times 10^{-19}$

$\therefore$ కోల్పోయిన గతిశక్తి శాతం

$$= \frac{12.8 \times 10^{-19}}{11.3 \times 10^{-19}} \times 100 = 11\%$$

18.4 అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఆవేశకణం యొక్క గమనం

స్థిరంగా (చలన రహితంగా) ఉన్న విద్యుదావేశంపై క్షేత్రం ఎలాంటి ప్రభావము చూపదు.

e ఆవేశంగల కణము, $\vec{V}$ వడితో, $\vec{B}$ అయస్కాంత క్షేత్ర బలంగల క్షేత్రంలోకి లంబదిశలో ప్రయాణిస్తుంది అనుకొందాము. అప్పుడు కణం 1 దూరం ప్రయాణం చేయడానికి పట్టినకాలం $t = l/v$ అవుతుంది. కదిలే విద్యుత్ ఆవేశ కణం, విద్యుత్ ప్రవాహం (i) ని కలిగిస్తుంది.

$$it = q$$

$$i = q/t = \frac{q}{l/v}$$

$$= \frac{qv}{l}$$

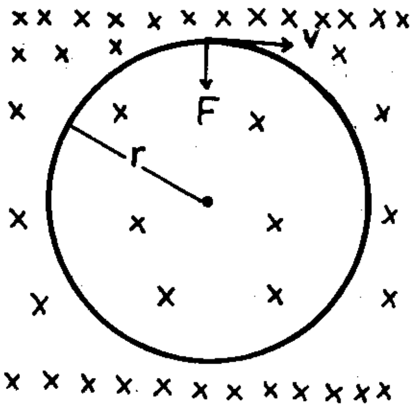
లేదా $il = qv$

B R A O U

అలాంటి ఆవేశ కణం మీద సగటు బలం

$$F = \mu Hil = BqV \qquad \text{... (18.9)}$$

పటం 18.3 లో చూపిన విధంగా



పటం - 18.3

q ఋణ విద్యుత్ ఆవేశంగల కణాన్ని V వేగంతో B బలతీవ్రతగల ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రంలోకి లంబంగా ప్రవేశపెట్టినచో దాని గమనము కాగితం తలంలో ఉంటుంది. ఫ్లెమింగ్ ఎడమచేతి నియమాన్ని అనుసరించి ఈ కణం మార్గానికి, అయస్కాంత క్షేత్ర దిశకు రెండింటికి లంబదిశలో Bqv బలం పనిచేసి కణాన్ని వృత్తాకారంలో వక్రింపచేస్తుంది. ఇలా వృత్తాకారంలో వక్రింపచేయడానికి కావలసిన అభికేంద్రబలాన్ని సమకూర్చుతుంది.

$$\therefore \; qvB = \frac{mv^2}{r} \qquad \text{... (18.10a)}$$

$$\text{లేక } r = \frac{mv}{qB} \qquad \text{... (18.10b)}$$

అయితే r అనునది ఇక్కడ వృత్తాకార పథము యొక్క వ్యాసార్థం

కోణీయ వేగము ω ను V/r చే సూచిస్తారు కాబట్టి సమీకరణం 18.9 ఈ క్రింది విధంగా రూపాంతరము చెందుతుంది.

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m} \qquad \text{... (18.11)}$$

అయితే పౌనఃపున్యము ν (దీనిని హెర్ట్జ్‌లలో కొలుస్తారు)

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\varepsilon B}{2\pi m} \qquad \text{... (18.12)}$$

ఈ సమీకరణంవల్ల కణం వడి, ν పై ఆధారపడి ఉండదు అని విశదమవుతుంది. వడి కణాలు పెద్ద వృత్తాలలోను మంద కణాలు చిన్న వృత్తాలలోను తిరుగుతాయి. కాని అన్ని కణాలు క్షేత్రంలో ఒక భ్రమణం చేయడాన్ని ఒకే కాలం (T) (అవర్తనకాలం) తీసుకుంటాయి.

క్షేత్రంలోని విద్యుదావేశిత కణం అభిలక్షణ (Characteristic) పౌనఃపున్యము; భూమి గురుత్వాకర్షణ క్షేత్రంలో ఊగుతున్న లోలకం లేదా డోలనాలు చేస్తున్న ద్రవ్యరాశి - స్ప్రింగు వ్యవస్థ యొక్క అభిలక్షణ పౌనఃపున్యముతో పోల్చవచ్చు. కణాలు ఈ పౌనఃపున్యముతో సైక్లోట్రానులో భ్రమణం చేస్తాయి. కనుక దీనిని క్షేత్రంలో కణపు సైక్లోట్రాను పౌనఃపున్యము అని అంటారు.

స్థితి ii)

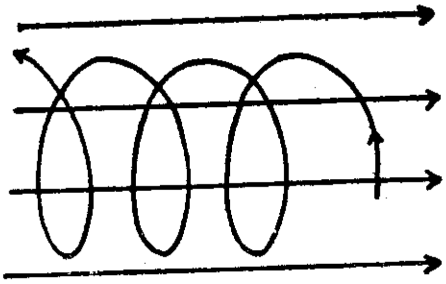
అయస్కాంత క్షేత్ర దిశకు θ కోణం చేస్తూ ప్రయాణం చేస్తున్న ఆవేశకణం (V). లంబదిశలోను సమాంతర దిశలలోను రెండు అంశాలుగా విభజించవచ్చును.

BRAOU

$$V = V_{11} + V_1$$

ఇచ్చుట V_{11} అంటే క్షేత్ర దిశకు (B) సమాంతరంగా ఉండే వేగం యొక్క అంశము అలాగే $V_\perp$ వేగం యొక్క లంబ అంశము.

ఈ చలనం యొక్క ప్రక్షేపము (Projection) $\vec{B}$ కి ఒక లంబతలంపై వృత్తముగానే ఉంటుంది. సమీకరణము 18.10 లో దృతి $V_\perp$ గా తీసుకొంటే సమీకరణము 18.10 మరియు 18.11లు కూడా ఇక్కడ ఉపయోగించవచ్చు. సమాంతర వేగము V/ మాత్రం మారదు. (Bకి సమాంతర దిశలో బలము పనిచేయదు కాబట్టి) అందువల్ల కణం యొక్క పథం పటం 18.4 లో చూపినట్లు సమసర్పిలాకారము (helical shape) అనుసరిస్తుంది.



పటం 18.4

ఉదాహరణ – 2

1.2 web/m^2 అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉంచిన 0.5 మీటర్ల వ్యాసార్థముగల వృత్తాకార పరిధిలో తిరుగుతుంది. అయితే (a) దాని సైక్లోట్రాను పౌనఃపున్యము (b) ప్రోటాను గతిశక్తి (in Mev) ని కనుగొనుము.

(a) సమీకరణము 18.10 నుండి

$$qVB = \frac{mv^2}{r}$$

$$\omega = \frac{V}{r} = \frac{Bq}{m}$$

$$= \frac{(1.2 \text{ వెబర్స్/మీటర్}^2)(1.60 \times 10^{-19} \text{ కూలంబ్స్})}{1.67 \times 10^{-27} \text{ కి.గ్రా.}}$$

$$= 1.15 \times 10^8 \text{ రేడియన్స్/సెకను}$$

BRAOU

అయితే పౌనఃపున్యము ν (హెర్ట్జ్‌లలో)

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = 1.83 \times 10^7 \text{ హెర్ట్జ్}$$

(b) $qvB = \frac{mv^2}{r}$

$$v = \frac{qBr}{m}$$

$$\text{గతిశక్తి} = \frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{qBr}{m}\right)^2$$

$$= \frac{1}{2} q^2 b^2 r^2/m$$

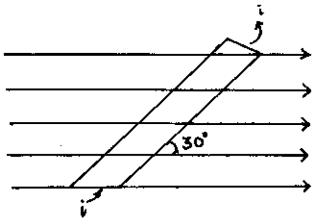
$$= \frac{(1.60 \times 10^{-19})(1.2)(0.5)^2}{2 \times 1.67 \times 10^{-27} \times 1.60 \times 10^{-19}}$$

$$= 1.7 \times 10^{-7} \text{ eV}$$

$= 17$ Mev.

ఉదాహరణము – 3

5.0 సెం.మీ. పొడవుగల ఒక తీగగుండా 3 ఆంపియర్స్ విద్యుత్ ప్రవహిస్తుంది. పటములో చూపిన విధంగా 10^{-13} వెబర్స్/మీ. అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఈ తీగను ఉంచబడింది. అయితే అయస్కాంత తీగపై పనిచేసే అయస్కాంత బలాన్ని కనుగొనండి.



పటం 18.5

$$F = i\vec{l} \times \vec{B}$$ (సమీకరణం 18.9 నుండి)

$$F = ilB \sin \theta$$

ఇచ్చట $\theta = 30°$ ($\vec{l}$ మరియు $\vec{B}$ ల మధ్యకోణము)

$$F = 3.0 \text{ (ఆంపియర్స్) } (5.0 \times 10^{-12} \text{ మీ}) \, 10^{-3} \text{ (వెబర్స్/మీ) } (0.5)$$

$$= 7.5 \times 10^{-5} \text{ న్యూటన్లు}$$

ఈ బలము పనిచేసే దిశ పేపరు తలానికి లంబంగా క్రిందికి ఉంటుంది.

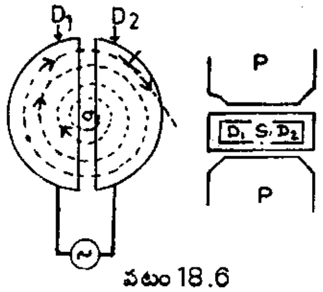
18.5 అనువర్తనాలు

18.5.1 సైక్లోటాను

ఇంతవరకు వివరించిన ప్రకారం ఎప్పు డయితే విద్యుదావేశ కణాలు విద్యుత్ క్షేత్రం గుండా ప్రయాణించినపుడు అవి శక్తిని గ్రహిస్తాయి. అలాగే ధన విద్యుదేవేశిత కణం ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రం గుండా ప్రయాణించినపుడు దానిపై పనిచేసే బలాన్ని ఈ క్రింది సమీకరణం ద్వారా సూచిస్తాము.

$$F = q\vec{V} \times \vec{B}$$

అయితే అలాంటి కణం చలనము $\vec{B}$ కి $\vec{V}$ కి లంబంగా, అంటే పూర్తిగా పుట తలంలోనే ఉంటుంది. కణం మీద $qv\vec{B}$ పరిమాణం గల పార్శ్వ అపవర్తన బలం ఉందని పై సమీకరణం సూచిస్తుంది. ఈ బలం పుటతలంలోనే ఉంటుంది కావున కణం ఈ తలాన్ని వదిలిపెట్టలేదు. కాబట్టి కణం వృత్తాకార పరిధిలో తిరుగుతుంది. (పటం 18.5)



పటం 18.6

BRAOU

అలాంటి వృత్తాకార పరిధి వ్యాసార్థము r అయితే

$$r = \frac{mv}{qB} \quad \text{... (18.10 b)}$$

పై సమీకరణం ప్రకారం కణం ప్రయాణం చేసే వృత్తాకార పరిధి వ్యాసార్థం దాని ద్రవ్య వేగానికి అనులోమాను పాతంలోను మరియు అయస్కాంత ప్రేరణ, ఆవేశాల లబ్ధానికి విలోమాను పాతంలో ఉంటుంది. కాబట్టి ఏకరీతి ఋణక్షేత్రము కణం యొక్క శక్తిని మార్చలేదు. మరియు వేగం కూడా స్థిరంగా ఉంటుంది. విద్యుత్ ఆవేశ కణాలను త్వరణం చెందించే పరికరాన్నే సైక్లోట్రాను అంటారు. ఇది సమీకరణం 18.10 (b) పై ఆధారపడి పనిచేస్తుంది.

విద్యుదావేశ కణము అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఒక చుట్టు పూర్తిచేయడానికి పట్టేకాలము (వృత్తాకార మార్గము యొక్క చుట్టుకొలత $2\pi r$ కాబట్టి)

$$T = \frac{\text{దూరము}}{\text{దృతి}} = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi mv}{vqB}$$

$$= \frac{2Tm}{qB}$$

పై సమీకరణము నుండి, ఆ వర్తనకాలం కణం యొక్క ద్రవ్యరాశి, ఆవేశము మరియు అయస్కాంత క్షేత్ర తీవ్రత పైనే ఆధారపడుతుంది కాని కణము యొక్క దృతిపైనగాని కక్ష్యయొక్క వ్యాసార్థంపైనగాని ఆధారపడి ఉండదని తెలుస్తుంది.

పటము 18.6 సైక్లోట్రాన్ యొక్క రేఖీయంగా చూపుతుంది. అయస్కాంత క్షేత్రము పటములో చూపిన విధంగా ఊర్ధ్వ దిశను కలిగి ఉంటుంది. దీనిలో ఖాళీగా ఉండి రాగిరేకుతో చేసిన రెండు "డీ"లు (ఇవి ఇంగ్లీషు అక్షరం D ఆకారంలో పోలి ఉండటం వల్ల వీటిని D's అంటారు) ఏకాంతర పొటెన్షిల్ లేదా (alternating potential difference) ఉన్న ఆసిలేటర్‌కి కలుపుతారు. పొటిన్షిల్ తేడా సంజ్ఞ సెకనుకు ఒక మిలియన్‌సార్లు మారుతూ ఉంటుంది. విద్యుదావేశమున్న కణము, ఉదాహరణకి ఒక ధనావేశమున్న ప్రోటాన్ సరిమైన ఉత్పత్తి స్థానము గుండా "డీ"ల మధ్య ఉన్న ఖాళీస్థలంలో చేరగానే, ఋణ ఆవేశమున్న "డీ"చే ఆకర్షించ బడుతుంది. పటం 18.6లో చూపిన విధంగా "డీ"లో ప్రవేశించిన ప్రోటాన్ అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రభావముచే అర్ధవృత్తాకార మార్గములో తిరుగుతుంది. ప్రోటాన్ మరో ప్రక్కద్వారా బయటికి రాగానే రెండవ డీ యొక్క ఆవేశము ఋణాత్మకమయేటట్లు ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహ పౌనఃపున్యము నిర్ణయించబడుతుంది. అందువలన డీల మధ్యనున్న ఖాళీగుండా పోతూ త్వరణం పొంది, రెండవ డీలో కూడా ఎక్కువ వ్యాసార్థమున్న అర్ధవృత్తాకార మార్గంలో ప్రయాణం చేసి బయటికి రాగానే మళ్ళీ త్వరితం చెందుతుంది. ఈ విధంగా అనేకసార్లు ప్రోటాన్ త్వరణం పుంజుకోవడం ద్వారా ఎక్కువ శక్తిని పొందుతుంది. ఆ తరువాత డీకి ఉన్న ఒక ప్రత్యేక మార్గం ద్వారా బయటికి రాగలుగుతుంది. ఈ విధంగా ఆవేశ పూరిత కణంపై సాపేక్షంగా తక్కువ విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని అనేకసార్లు ఉపయోగించి వాటిని త్వరితం చెందించడమే సైక్లోట్రాన్ ముఖ్యసూత్రము. ఇందులో ఆసిలేటర్ యొక్క ఆవర్తన కాలము (అయస్కాంత క్షేత్ర ప్రభావము వల్ల "డీ"లో తిరుగుతున్న) ప్రోటాన్ ఆవర్తనకాలమునకు సమానము. అయినంత కాలం డీల మధ్యకి చేరిన ప్రోటాన్ ఎదురుగా ఉన్న డీచే ఆకర్షించబడుతుంది. మరియు ప్రతిసారి దాని దృతి కక్ష్యయొక్క వ్యాసార్థము పెరుగుతూ ఉంటుంది. గరిష్ఠ వ్యాసార్థము డీల వ్యాసార్థానికి సమానం.

ప్రోటాన్ డ్యూటెరాన్ మరియు α కణాలు ఈవిధంగా సైక్లోట్రాన్‌లో త్వరితం చెందిస్తారు. కణము పొందే గరిష్ఠవేగము డీ యొక్క వ్యాసార్థముపైన ఆధారపడి ఉంది కాబట్టి వాటి శక్తి డీల పరిమాణముపై ఆధారపడి ఉంటుంది.

$$v_{max} = \frac{BqR_d}{m}$$

R_d డీ వ్యాసార్థము.

$$Emax = \frac{1}{2}m\left(\frac{BqRd}{m}\right)^2$$

BRAOU

$$= \frac{B^2Rd^2}{2} = \frac{q^2}{m} \quad \text{....(18.12)}$$

ఉదాహరణ – 4

ఒక సైక్లోట్రాన్ 1.5 వెబర్స్/మీ^{2} అయస్కాంత క్షేత్ర తీవ్రత కలిగి ఉంది ప్రోటాన్‌లను త్వరితం చేస్తుంది. అయితే దానియొక్క ఆవర్తన కాలము మరియు పౌనఃపున్యము కనుక్కోండి. 10 MeV శక్తి గలిగిక ప్రోటాన్ యొక్క ధృతి ఎంత ?

$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$= \frac{2\pi \times 1.7 \times 10^{-27}\ kg}{1.6 \times 10^{-19}\ coul \times 1.5\text{వెబర్/మీ}^2}$$

$$= 4.5 \times 10^{-8}\ \text{సె}$$

(ప్రోటాన్ విద్యుదావేశము $e = 1.6 \times 10^{-19}$ కూలుంబ్స్ మరియు ద్రవ్యరాశి 1.7×10^{-27} కేజి కాబట్టి)

ఆసిలేటర్ యొక్క పౌనఃపున్యము

$$f = \frac{1}{T}\ 2.2 \times 10^7\ \text{సె}^{-1}$$

$$= 22\ \text{మిలియన్ హెర్ట్జ్}$$

అనగా ఇది ఒక పూర్తి ప్రయోగాత్మకంగా వీలైనంత పౌనఃపున్యం. రెండు డీల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా 1,00,000 వోల్టులు. అయితే ప్రోటాన్ 10^5 eV శక్తిని ప్రతిసారి ఖాళీని దాటినప్పు డు పొందుతుంది. ప్రోటాన్ 100 సార్లు ఖాళీగుండా పోయినట్లయితే (అనగా 50 పూర్తి చుట్లు) 10^7 eV శక్తిని పొందుతుంది. $1eV = 1.6 \times 10^{-19}$ Joules)

ఈ విధంగా ప్రోటాన్ గతిశక్తి

$$K.E. = 10^7\ eV \times 1.6 \times 10^{-19}\ \text{జౌల్స్}/eV$$

$$= 1.6 \times 10^{-12}\ \text{జౌల్స్}$$

$$K.E. = \frac{1}{2} mv^2$$

కాబట్టి $V = \sqrt{\frac{2\ K.E}{m}} = \frac{2 \times 1.6 \times 10^{-12}\text{జౌల్స్}}{1.7 \times 10^{-27}\text{కి.గ్రా.}} = 4.4 \times 10^7$ మీ/సె.

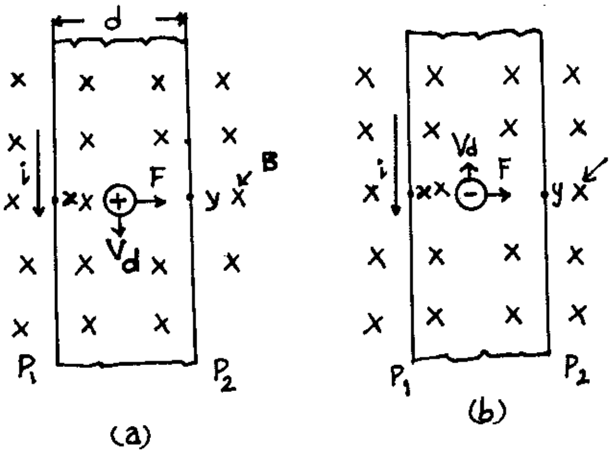
కాని కాంతివేగము (3×10^8 మీ/సె)ను పోలియున్న వస్తువు యొక్క ద్రవ్యరాశి వేగముతో పాటు పెరుగుతుంది. కాబట్టి సైక్లోట్రాన్‌లో తిరుగుతున్న కణం యొక్క ఆవర్తనకాలం స్థిరంగా ఉండనేరదు. వడితో మారకుండా ఉండలేదు. మరియు విద్యుత్ క్షేత్రం అనుగుణమయేటప్పటికి కణం "డీ"ల మధ్య ఖాళీకి చేరలేక పోవడముతో అది త్వరితం చెందక పోవచ్చును కూడా. ఎక్కువ శక్తివంతమైన కణాలకు త్వరితం చేయడానికి మారుతున్న పౌనఃపున్యమున్న సాధనాలను మరెన్నో క్రొత్త పద్ధతులను సింక్రోట్రాను, సింక్రోసైక్లో ట్రాన్‌ల పేరిట రూపొందించారు.

18.5.2 హాల్ ఫలితం

విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్న ఒక లోహపు వాహకం అయస్కాంత క్షేత్రంలో ఉంచితే, దానిపై విద్యుత్ ప్రసారదిశకు మరియు అయస్కాంత క్షేత్ర దిశకు లంబంగా బలము పని చేయబడి బలదిశలో కదులుతుందని చూశాము. లేక విద్యుత్ వాహకము స్థిరంగా ఉంచితే, విద్యుత్ ప్రసారానికి మూలమైన విద్యుదావేశాలు తిర్యక్ అయస్కాంత క్షేత్రము వల్ల వాహకపు పరిధిలోనే ప్రక్కకి వంగడం జరుగుతుంది. అందువలన తిర్యక్ పొటెన్షియల్ తేడా ఏర్పడుతుంది. కాబట్టి చదునైన లోహపు రేకుముక్క గుండా విద్యుత్ ప్రసారాన్ని ఒక దిశలో మరియు లోహపు తలం లంబదిశలో అయస్కాంత క్షేత్రం కలుగజేస్తే తిర్యక్ పొటెన్షియల్ తేడా లోహపు ముక్క ఎదురెదురు బిందువుల (x, y) మధ్య

BRAOU

ఏర్పడుతుంది. దీనినే మార్ తిర్యక్ పొటెన్షియల్ లేదా హాల్ పొటెన్షియల్ అంటారు (.పటం 18.7)



పటం 18.7

ఎలక్ట్రాన్‌లు పై దిశలో (సాంప్రదాయ విద్యుత్ ప్రసారదిశకు వ్యతిరేక దిశలో) కదలడం ద్వారా ఏర్పడిన విద్యుత్ ప్రవాహము పటంలో చూపిన మాదిరిగా ఫ్లెమింగ్స్ ఎడమచేతి సూత్ర ప్రకారం ఎలక్ట్రానులపై బలం y దిశవైపు ఉంటుంది. అందువలన ఎలక్ట్రానులు y వైపు చేరి దానిని ఋణాత్మకంగాను, x ని ధనాత్మకంగాను మార్చుతాయి. ఈవిధంగా x మరియు y ల మధ్య ఏర్పడిన విద్యుచ్ఛాలక పొటెన్షియల్ గుర్తును బట్టి లోహపు రేకులో విద్యుత్ ప్రవాహము ఋణాత్మక విద్యుదావేశాల (ఎలక్ట్రాన్) ద్వారా ఏర్పడుతుందని తెలుస్తుంది.

పై విమర్శతో, వాహకంలో ఉన్న విద్యుదావేశాల పైన తిర్యక్ బలం పనిచేయడం వల్ల హాల్ పొటెన్షియల్ ఏర్పడుతుందని తెలియుచున్నది. q వాహక కణం యొక్క ఆవేశం; v, కణం యొక్క డ్రిఫ్ట్ వేగం; N ప్రమాణ ఘన పరిమాణంలో నున్న విద్యుదావేశాల సంఖ్య; B, అయస్కాంత క్షేత్ర తీవ్రతలను సూచిస్తే హాల్ పొటెన్షియల్ (V_H) ద్వారా ఏర్పడిన విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రత, E సంతులన స్థితి (అనగా F = 0) వద్ద వీటి మధ్యనున్న సంబంధం ఈక్రింది సమీకరణం తెలుపుతుంది.

$$Eq = qVB$$

లోహపు రేకు యొక్క మందము d, వెడల్పు, b అయితే

$$E = \frac{V_H}{b} = Bv$$

కాని $i = Nq\,Vbd$ కాబట్టి

$$v = \frac{i}{Nqbd}$$

$$\frac{V_H}{bd} = \frac{Bi}{Ned} = \frac{1}{Nq}\frac{Bi}{bd}$$

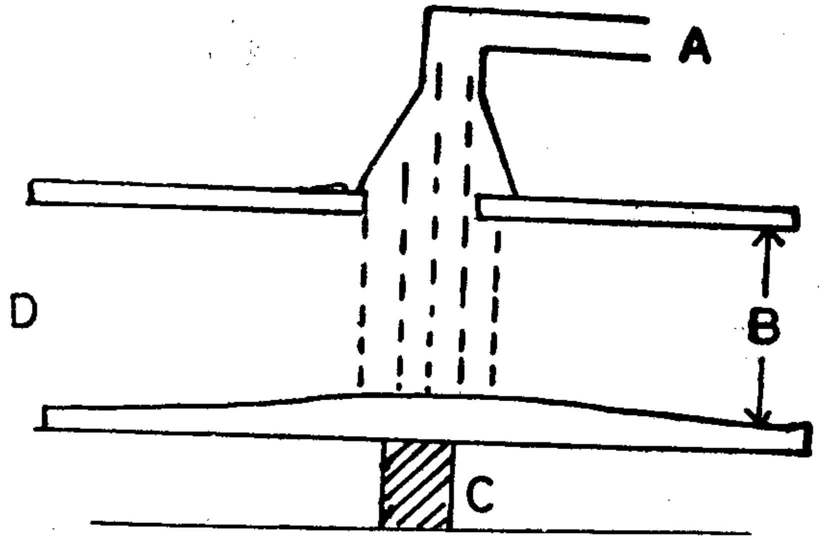
$$= R_H \frac{Bi}{bd}$$

ఇక్కడ $R_H = \frac{1}{Nq}$ హాల్ గుణకము అంటారు.

18.6 ఎలక్ట్రాన్ విద్యుదావేశము నిర్ణయించడం – మిల్లికన్ తైల బిందు పద్ధతి

ఎలక్ట్రాన్ విద్యుదావేశము (e) కనుగొనుటకు మిల్లికన్ పద్ధతి చాల సులభమైనది. 'e' ని నిర్ణయించే ప్రయోగములో ఉపయోగించే వస్తువు చాలా తక్కువ ఎలక్ట్రానులను కలిగి ఉండటమే

కాకుండా ఒక ఎలక్ట్రాన్ ద్వారా కలిగే మార్పును గమనించ గలిగినదై ఉండాలి. ప్రయోగములో ఎక్కువ విద్యుత్ క్షేత్రం ఉపయోగించినప్పటికి, ఎలక్ట్రాన్ ఆవేశము చాలా తక్కువ కాబట్టి వస్తువుపై పనిచేసే బలము కూడా తక్కువగా ఉంటుంది. అందువల్ల వస్తువు చాలా తేలికదై ఉండాలి. వస్తువుపై గురుత్వాకర్షణ బలము కూడా పని చేస్తుందని మరిచిపోకూడదు. ఈ గురుత్వాకర్షణ బలము విద్యుత్ బలాన్ని అధిగమించకుండా ఉండాలంటే వస్తువు ద్రవ్యరాశి తెలిసినదియై ఉండాలి. వస్తువు కలిగిన ఆవేశాలపై పనిచేసే విద్యుత్ బలము దానిపై పనిచేయు గురుత్వాకర్షణ బలము ఒకే పరిమాణములో ఉన్నట్లయితే గురుత్వ బలము పోలిక ప్రమాణముగా ఉపయోగ పడుతుంది.



పటం 18.8

మిల్లికన్, ఒక తైల బిందువును వస్తువుగా ఉపయోగించెను. ఇది సాధారణ పరమాణీకరణ యంత్రం (Atomiser) నుండి ఎంపిక చేయబడింది. ఈ తైల బిందువలను కేవలం సూక్ష్మదర్శినిలో మాత్రమే చూడగలుగుతాము. సూక్ష్మదర్శిని గుండా ఇది కాంతివంతమయిన బిందువులుగా (సూర్యకాంతిలో ధూళి కణంలాగా) కనిపిస్తాయి. ఎందుకనగా బిందువులు తీవ్రకాంతి పుంజమును పరిక్షిప్తము (Scatter) చేస్తాయి.

ఇలాంటి బిందువు గురుత్వ ప్రభావము వలన క్రిందికి పడుచున్నప్పుడు గాలిగుండా ప్రయాణం చేస్తుంది కాబట్టి గాలి నిరోధము పని చేస్తుంది. గాలి ఏవిధంగా నిరోధాన్ని కలిగిస్తుందో 'స్టోక్స్' కనుగొన్నాడు. స్టోక్స్ ప్రకారం వస్తువుపై నిరోధక బలం R, దాని వేగానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. లేదా

$$R = KV \qquad \text{... (18.14)}$$

అనుపాత స్థిరాంకము K, స్టోక్స్ క్రింది విధంగా నిర్ణయించాడు.

$$K = 6\pi\eta r \qquad \text{... (18.15)}$$

ఇక్కడ వస్తువు η చలనాన్ని వ్యతిరేకిస్తున్న యానక స్నిగ్ధతా గుణకము. మరియు r బిందువు యొక్క వ్యాసార్థము.

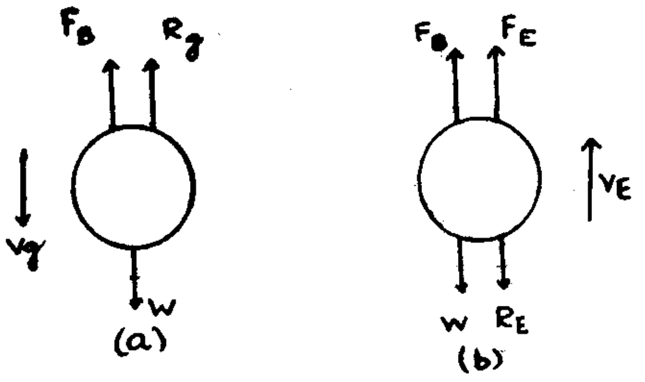
క్రింది పడుతున్న తైల బిందువుపై పనిచేయు బలాలు: బిందువు భారము W. గాలియొక్క ఉత్ప్లవన బలము F_B మరియు నిరోధక బలము R (=KV) (Fig. 18.8) వీటి ఫలిత అధోబలము (F)

$$F = W - F_B - KV \qquad \text{... (18.16)}$$

వస్తువు క్రిందికి పడక పూర్వము వేగము మరియు నిరోధక బలాలు శూన్యంగా ఉండి ఫలిత బలము $W\text{-}F_B$ కి సమానముగా ఉండును. కాబట్టి ముందుగా బిందువు అధోత్వరణము కలిగి ఉంటుంది. అందువలన ఫలిత బలము శూన్యాన్ని సమీపిస్తుంది. అప్పుడు బిందువు స్థిరవేగము V_g తో పడుతుంది. దీనినే అంతిమ వేగము అంటారు. F = O, $V = V_1$ కాబట్టి సమీకరణము 18.16 క్రిందివిధంగా మారుతుంది.

BRAOU

$$E = W - F_B - Kv$$



క్రిందకి పడుతున్న పైకి వెళుతున్న

పటం 18.9

$$W - F_B = KV_g \qquad \text{... (18.17)}$$

ρ, ρ_a లు తైలం మరియు గాలి సాంద్రతలని వరుసగా అనుకొంటే

$$\omega = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g.\ F_B = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_a \qquad \text{... (18.18)}$$

K విలువను సమీకరణము 18.15 నుండి ప్రతిక్షేపించగా

$$\frac{4}{3}\pi r^3 (\rho - \rho_a) g = 6\pi \eta r v g \qquad \text{... (18.19)}$$

పై సమీకరణములో r తప్ప అన్ని రాశులు తెలిసినవే కాబట్టి, r విలువను లెక్కకట్టవచ్చు. అందువల్ల K, తెలిసిన లేదా కొలవ గలిగిన పరిమాణాలలో రాస్తే

$$K = 18\pi [\eta^3 V_g / 2g (\rho - \rho_a)]^{1/2} \qquad \text{... (18.20)}$$

ప్రయోగములో అధిక విద్యుత్ క్షేత్రములోనున్న రెండు క్షితిజ సమాంతర ఫలకల మధ్య తైల బిందువు పటం 18.8లో చూపిన మాదిరిగా ఉంటుంది. బిందువు పైనున్న ఋణ లేక ధన విద్యుదావేశము దానిలోనున్న ఎక్కువ లేదా తక్కువ ఎలక్ట్రానులపై ఆధారపడి ఉంటుంది. పరమాణీకరణిలో నున్న నాజిల్ వద్ద ఏర్పడిన రాపిడివల్ల మరియు గాలిలో మిగిలిన అవాంఛిత విశ్వ కిరణాల (Cosmic rays) తాకిడివల్ల లేదా ప్రత్యేకముగా X— కిరణాలచే ఉత్పత్తి అయిన కణాల వల్ల తైలబిందువునకు ఈ ఆవేశము కలుగును. విద్యుత్ క్షేత్రం E లో నున్న బిందువుపై పని చేస్తున్న బలము (=qE) దిశ ఎల్లప్పుడు ఊర్ధ్వముఖముగా ఉండేలాగ సరియైన క్షేత్ర దిశను నిర్ణయించవచ్చు. తైల బిందువు ఎల్లప్పుడు రెండు ఫలకలను తాకకుండా వాటి మధ్య పైకిగాని క్రిందికిగాని కదిలేలాగ ఉంచుతారు. బిందువు కదలికను గమనించడానికి ఉపయోగించే సూక్ష్మ దర్శినిలో రెండు క్షితిజ సమాంతర వెంట్రుక గీతలు ఉండి వాటి మధ్య దూరము బిందువు ప్రయాణం చేస్తున్న నిలువు గీత మీద నిర్ణీత దూరాన్ని తెలుపుతుంది. బిందువు ఈ నిర్ణీత దూరము ప్రయాణం చేయడానికి పట్టిన కాలం కొలవడంతో దానిని అంతిమ వేగాన్ని కొలవగలము. బిందువు ప్రయాణంలో ఇగిరి పోదు. కాబట్టి దాని వేగము మారదు. అందువల్ల దాని భారము కూడా మారదు. ఏమైనా వేగములో పెరుగుదల విద్యుదావేశము (e) పైనే ఆధారపడుతుంది. బిందువు పైకి కదులుచున్నప్పుడు దానిపై పనిచేసే బలము క్రింది సమీకరణము తెలుపుతుంది.

$$F = qE + F_B - W - Kv \qquad \text{... (18.21)}$$

అంతిమ వేగము V_E ని చేరగానే ఫలిత బలము శూన్యం అవుతుంది. కాబట్టి

$$qE = W - F_B + KV_E \qquad \text{... (18.22)}$$

కాని సమీకరణము 18.17 ద్వారా

$$W - F_B = KV_g$$

$$\text{కావున} \quad e = \frac{K}{E}(v_g + v_E) \qquad \text{... (18.23)}$$

అంతిమవేగము స్థిరంగా ఉంటుంది కాబట్టి వాటిని కొలవడం సాపేక్షికంగా సులభము.

BRAOU

పై సమీకరణము (18.23) ద్వారా బిందువు పై నున్న ఆవేశము q ని కొలము గలుగుతాము. ఈ ప్రయోగములో ఒక రకమైన బిందువుకు v_g ని విద్యుత్ క్షేత్రం శూన్యం చేసి మరియు అదే బిందువుకు వివిధ v_E లను విద్యుత్ క్షేత్రంగా ఉండగా కొలుస్తారు. అతిసరిగా నిర్ధారించిన e విలువ $(1.60210 \pm 0.0007) \times 10^{-19}$ కూలమ్‌లు.

ఉదాహరణ 5 :

అవేశమున్న తైలబిందువు 300 వోల్టు/సెం.మీ. ఉన్న క్షేత్రంలో నిశ్చలంగా వేలాడ దీయబడింది. బిందువు ద్రవ్యరాశి 9.75×10^{-12} గ్రా. అయితే దానిపై నున్న ఆవేశమెంత?

ఈ ఉదాహరణలో E = 300 వోల్టు/సెం.మీ.

= 30,000 వోల్టు/మీ,.

$m = 9.75 \times 10^{-12}$ గ్రా.

$= 9.75 \times 10^{-15}$ కి.గ్రా.

మరియు g = 9.8 మీ/సె 2

కాబట్టి $qE = mg$

$$q = \frac{mg}{E} = \frac{9.75 \times 10^{-15} \times 9.8}{30000} = 31.85 \times 10^{-16}$$ కూలమ్బ్స్.

ఉదాహరణ 6

గురుత్వాకర్షణతో క్రిందికి పడుతున్న ఒక అవేశ పూరిత తైల బిందువు ఊర్ధ్వ విద్యుత్ క్షేత్ర సహాయంతో 6920 వోల్టుల పొటెన్షియల్ తేడా ఉన్న రెండు సమతల లోహపు ఫలకల మధ్య అరికట్ట బడింది. ఫలకల మధ్య దూరము 1.3 సెం.మీ. విద్యుత్ క్షేత్రం తొలగించినపుడు బిందువు 1.9×10^{-4} మీ/సె.ల సమవేగముతో క్రిందికి పడితే a) బిందువు వ్యాసార్థము b) బిందువు పై నున్న ఆవేశములను కనుగొనుము.

(తైల సాంద్రత = 0.9×10^3 కి.గ్రా./సెం.మీ^{3}

గాలి సాంద్రతా గుణకము = 1.81×10^{-5} న్యూటన్లు/మీ^{2})

గాలియొక్క సాంద్రత, తైల బిందువు సాంద్రతతో పోల్చితే చాలా తక్కువ కాబట్టి లెక్కలోకి తీసుకోనవసరం లేదు.

a) వ్యాసార్థానికి సమీకరణము

$$r = \left(\frac{9\eta v_1}{2g\rho - \sigma}\right) \left(\frac{9\eta v_1}{2g\rho}\right)^{1/2}$$

ఇచ్చిన విలువలను ప్రతిక్షేపించగా

$$r = \left(\frac{9 \times 1.81 \times 10^{-5} \times 1.9 \times 10^{-4}}{9 \times 9.81 \times 0.9 \times 10^3}\right)^{1/2}$$

$= 1.75 \times 10^{-6}$ m

b) $$qE = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho - \sigma) g$$

$$\approx \frac{4}{3}\pi r3 \rho g$$

అక్కడ $E = \frac{6920}{1.2 \times 10^{-2}}$ వోల్టు/మీ

కాబట్టి $e \times \frac{6920}{1.2 \times 10^{-2}} = 4.3\pi (1.75 \times 10^{-6})^3 \times 0.9 \times 10^3 \times 9.81$

సాధించగా $e = 4.042 \times 10^{-19}$ కూలమ్బ్స్

BRAOU

18.7 సారాంశం

ఆవేశిత కణం విద్యుత్ బలరేఖల వెంట చలించేటప్పు డు దాని శక్తి పెరుగుతుంది. ఆవేశిత కణం ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలో చలిస్తున్నప్పు డు కణంపై పనిచేసే బలం క్షేత్ర దిశను బట్టి మారదు. క్షేత్ర దిశలో కణం చలిస్తున్నప్పు డు కణ గమనంలో మార్పు ఉండదు.

18.8 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నలకు సమాధానలు విశదంగా రాయండి.

1) స్థిరమైన, చలిస్తున్న విద్యుత్ ఆవేశాలపై విద్యుత్ మరియు అయస్కాంత క్షేత్రాల ప్రభావాన్ని గూర్చి వ్రాయండి.

2) స్థిరమైన, చలిస్తున్న విద్యుత్ ఆవేశితాలపై విద్యుత్ మరియు అయస్కాంత క్షేత్రాల ప్రభావ అనువర్తనాలను తెలపండి.

II. క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానలు రాయండి.

1) హాల్ ఫలితమనగా నేమి?

2) మిల్లికాన్ తైల బిందువు పద్ధతిని వర్ణించండి.

III. కింది లెక్కలను సాధించండి.

1) సమరీతి అయస్కాంత ప్రేరణ 'B' క్షితిజ సమాంతరంగా దక్షిణ, ఉత్తర ధృవాలను సూచిస్తున్నది. ఈ ప్రేరణ పరిమాణం 1.5 వెబర్స్/మీ^{2}. 5.0 MeV ప్రోటాను ఈ క్షేత్రంగుండా క్రిందికి పోయినట్లయితే దానిపై పనిచేసే బలమెంత?

2) న్యూక్లియర్ ప్రయోగాలలో 1.0 MeV ప్రోటాన్ సమరీతి అయస్కాంత క్షేత్రంలో వర్తులాకారంగా తిరుగుతున్నది. అపుడు (i) ఆల్ఫా కణానికి (ii) డ్యుటిరాన్ అదే కక్ష్యలో తిరుగుతున్న వనుకొంటే వాటికి ఎంత శక్తి అవసరం?

3) 1 మీటరు పొడవున్న తీగ B = 1.5 వెబరు /చ.మీ. క్షేత్రముతో 30° కోణము చేస్తున్నట్లు ఏర్పాటు చేయబడిన తీగ గుండా 10 అంపియర్ల విద్యుత్తు ప్రవహింప జేసిన తీగపై పనిచేయు బలమును కనుగొనుము.

4) ఏలాంటి ఆకృతి గల తీగ చుట్టకైనను γ = NAiB Sin θ వర్తించునని చూపుము.

5) L మీటర్లు పొడవున్న తీగను వృత్తాకారముతో మలిచి i విద్యుత్తు ప్రవహింప జేస్తు అయస్కాంత క్షేత్రము B లో నుంచినారు. దానిపై పనిచేయు బలభ్రమకము $\tau = \frac{1}{4\pi} L^2 iB$ అని చూపుము.

BRAOU

భాగం – 19 ఎలక్ట్రాన్ $\frac{e}{m}$ విలువ

విషయక్రమం

19.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
19.2 ప్రవేశిక
19.3 థామ్సన్ ప్రయోగం
19.4 సారాంశం
19.5 నమూనా ప్రశ్నలు

19.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో థామ్సన్ పద్ధతిని ఉపయోగించి ఎలక్ట్రాన్ e/m ను ప్రయోగ పూర్వకంగా నిర్ణయించడం వివరించ బడింది.

మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

ఎలక్ట్రాను యొక్క ద్రవ్యరాశి, ఆవేశాల విలువను ఖచ్చితంగా నిర్ణయించ గలుగుతారు.

19.2 ప్రవేశిక

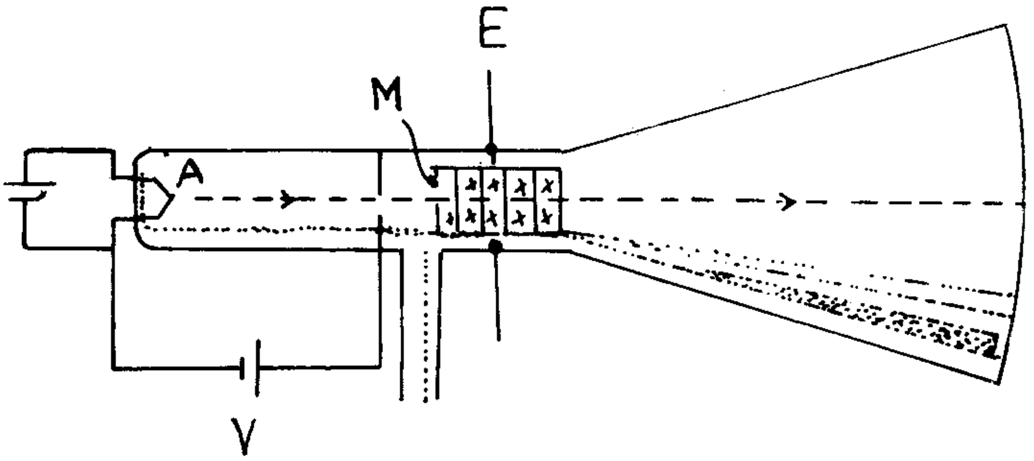
ఎలక్ట్రాన్ ప్రాథమిక స్వభావాన్ని గురించి 1914-1916 మధ్య ప్రాంతంలో ఎఫ్. ఎర్రెన్‌హాఫ్ట్)F. Ehrenhaft) కు హెచ్.ఎ. మిల్లికన్‌కు వివాదం జరిగింది. 1897 లో జె.జె. థామ్సన్ కాథోడ్ కిరణాలు, ఋణావేశిత కణాల సముదాయమని నిరూపించాడు. ఇ. వీహార్ట్ (E. Wiechert), డబ్ల్యు. కాఫ్మన్ (W. Kaufmann) లు 1897 ప్రారంభంలో జర్మనీలో, అయస్కాంత క్షేత్రంలో కాథోడ్ కిరణాల మార్గాలను గురించిన ఫలితాలను పేర్కొన్నారు. ఉత్సర్గనాళంలో ఏ వాయువును ఉపయోగించినా కాథోడ్ కణం విద్యుదావేశం, ద్రవ్యరాశిల నిష్పత్తి (e/m) విలువ ఒకటేనని కాఫ్మన్ కనుగొన్నాడు. వీహార్ట్ ఈ e/m విలువలను, ద్రావణంలో ఉన్న హైడ్రోజన్ అయాన్ e/m విలువలతో పోల్చి, ఈ కణాల ద్రవ్యరాశి హైడ్రోజన్ పరమాణువు ద్రవ్యరాశిలో $\frac{1}{1000}$ వంతు ఉంటుందని తీర్మానించాడు. తరవాత జె.జె. థామ్సన్ పై విషయాన్ని గురించి అధ్యయనం చేశాడు. అతని ప్రయోగాలలో కచ్చితత్వం లోపించినా సాంప్రదాయికంగా గుర్తింపు నొందాయి.

BRAOU

19.3 థామ్సన్ ప్రయోగం

1897 లో జె.జె. థామ్సన్ కేంబ్రిడ్జిలోని కావెండిష్ ప్రయోగశాలలో, విద్యుత్, అయస్కాంత క్షేత్రాలలో ఎలక్ట్రాన్ కిరణ పుంజం అపవర్తనాలను గుర్తించి, ఎలక్ట్రాన్ విద్యుదావేశానికి, (e) ద్రవ్యరాశి (m) కి గల నిష్పత్తిని కనుగొన్నాడు. హెచ్.ఎ. లోరెంజ్ (H.A. Lorentz), పి. జీమన్‌లు, థామ్సన్ పద్ధతికి విభిన్న పద్ధతిని ఉపయోగించి పరమాణువులలోని ఎలక్ట్రాన్ e/m విలువను కనుగొన్నాడు.

థామ్సన్ పరికరాన్ని పటం 19.1 లో చూడవచ్చు.



పటం 19.1 థామ్సన్ పరికరం

ఈ పద్ధతిలో కాథోడ్ (ఫిలమెంట్) A నుంచి వెలువడిన ఎలక్ట్రాన్‌లు అనువర్తిత పొటెన్షియల్ V వల్ల త్వరణం చెందుతాయి. తరువాత, ఒకదాని కొకటి లంబ దిశలలో ఉన్న విద్యుత్ క్షేత్రం (E), అయస్కాంత క్షేత్రం (B) లలోకి ఎలక్ట్రాన్‌లు లంబదిశలో ప్రవేశిస్తాయి. ప్రయోగ పరికరంలో అయస్కాంత, విద్యుత్ క్షేత్రాలు పరస్పరం లంబదిశలో అమర్చిబడి ఉంటాయి. అప్పుడు ఎలక్ట్రాన్ పుంజం ప్రతి దీప్త తెర (S) మీద పడుతుంది. తెర S పైన వెలుగుచుక్కను చూడగలం. ఎలక్ట్రాన్‌లు ప్రయాణించే ప్రదేశాన్నంతా శూన్యీకరిస్తారు. అందువల్ల ఎలక్ట్రాన్‌లు, వాయు అణువులతో జరిపే అభిఘాతాలను అరికట్టవచ్చు. విద్యుత్ క్షేత్రం (E), అయస్కాంత క్షేత్రం (B) తో చలించే విద్యుదావేశిత కణంపై పనిచేసే బలం

$$F = qE + q\,v \times B \qquad ...(19.1)$$

దీనిలో q కణ విద్యుదావేశం V వేగం

విద్యుత్ క్షేత్రం వల్ల కణం ఊర్ధ్వ దిశలో, అయస్కాంత క్షేత్రం వల్ల అధో దిశలో అపవర్తనం చెందుతుందని పటం 19.1 నుంచి తెలుస్తుంది.

రెండు క్షేత్రాల వల్ల కలిగే అపవర్తనాలు ఒకదాని కొకటి సమానంగానూ, వ్యతిరేక దిశలలోను ఉండేటట్లు, ఆ క్షేత్రాల తీవ్రతలను తగినట్లుగా (F = 0 అయేట్లు) సర్దితే సమీ 19.1

$$q E = q V \vec{B} = 0 \qquad ...(19.2)$$

అవుతుంది.

ఎలక్ట్రాన్‌కు సమీ 19.2 ను కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$eE = eVB \qquad ...(19.3)$$

$$E = VB \qquad ...(19.4)$$

BRAOU

19.4 సారాంశం

ఎలక్ట్రాన్ $\frac{e}{m}$ విలువ $1.7 \times 10''$ కూలుంబ్/కి.గ్రా.

19.5 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నలకు సమాధానాలు రాయండి.

ఎలక్ట్రాన్ $\frac{e}{m}$ విలువను నిర్ణయించే ప్రయోగాన్ని వర్ణించండి.

II. **క్రింది ప్రశ్నకు క్లుప్తంగా సమాధానం రాయండి.**

ఎలక్ట్రాన్ $\frac{e}{m}$ విలువను నిర్ణయించే సూత్రాన్ని వివరించండి.

BRAOU

భాగం - 20 ఐసోటోప్ ద్రవ్యరాశి నిర్ణయం

విషయక్రమం

20.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
20.2 ప్రవేశిక
20.3 ఆస్టన్ ద్రవ్యరాశి వర్ణపట గ్రాహకం
20.4 డెంప్‌స్టర్ ద్రవ్యరాశి వర్ణపట గ్రాహకం
20.5 సారాంశం
20.6 నమూనా జవాబులు

20.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈభాగంలో ఐసోటోప్ ఏర్పాటు పద్ధతిని ఉపయోగించి ఐసోటోప్ పరమాణు ద్రవ్యరాశులను నిర్ణయించడం వివరించ బడింది.

మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

ఐసోటోప్‌ల పరమాణు ద్రవ్యరాశిని నిర్ణయించ గలుగుతారు.

20.2 ప్రవేశిక

గోల్ట్‌స్టైన్ అను శాస్త్రజ్ఞుడు 1886 సం॥లో సన్నని రంధ్రాలున్న కేథోడ్ గల ఉత్సర్గనాళంలో సరళరేఖలలో వచ్చే కిరణ ప్రవాహాన్ని కనిపెట్టాడు. ఈ కిరణాలు ధనావేశ కణాలతో కూడినదవడం చేత వీటిని ధన కిరణాలంటారు. ఈ ధన కిరణ కణాలు కేథోడ్ మరియు ఆనోడ్ మధ్య ప్రదేశములో ఏర్పడతాయి.

కేథోడ్ కణాలు ఉత్సర్గ నాళములో నున్న వాయు అణువులను మరియు పరమాణువులను ఢీకొనడంతో ఈ ధన అయానులు ఏర్పడతాయి. వాయువు కొన్ని అన్యవాయు (impurity) కణాలను కలిగి ఉంటే, ధన కిరణాలు అన్ని వాయువుల అయానులతో మిళితమై ఉంటుంది. కాని కేథోడ్ కిరణాలు కేవలం ఎలక్ట్రానులచే ఏర్పడి ఒకే రకమైనవిగా ఉంటాయి. ఈవిధంగా ధన, కేథోడ్ కిరణాలు భిన్న లక్షణాన్ని కలిగి ఉంటాయి.

BRAOU

వాయుకణాల సంఘటన సమాచారం తెలుపే ఈ ధన కిరణాల విశ్లేషణము చాలా ముఖ్యమైనది. ఈ విభాగమునే ద్రవ్యరాశి వర్ణపట గ్రహణము (Mass Spectrography) అంటారు.

20.3 ఆస్టన్ ద్రవ్యరాశి వర్ణపట గ్రాహకం

సూత్రం :

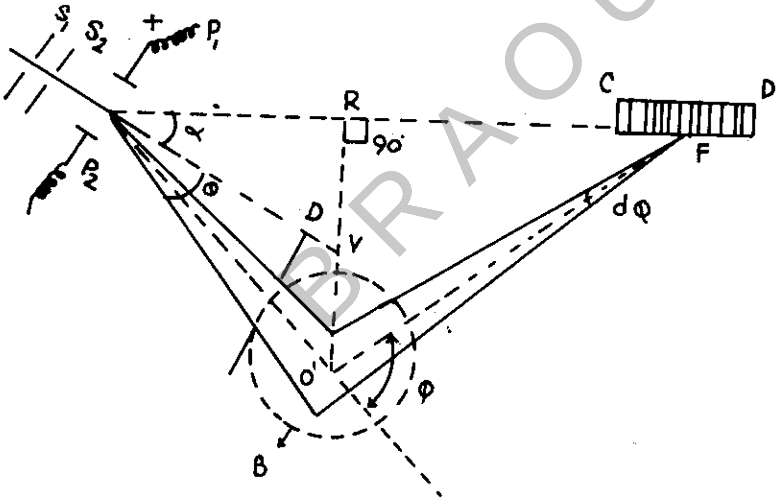
ఆస్టన్ ద్రవ్యరాశి వర్ణపట గ్రాహకము ఖచ్చితమైన ఐసోటోప్ ద్రవ్యరాశులను నిర్ణయించు పరికరము. దీని సూత్రము మరియు పనిచేయు విధము థామ్‌సన్ పద్ధతికి భిన్నంగా ఉంటుంది. ఇందులో థామ్‌సన్ పద్ధతిలో వలె విద్యుదయస్కాంత క్షేత్రాలు ఒక బిందువు వద్ద, ఏక కాలంలో కాకుండా, ఒకదాని తరువాత ఒకటి మొదట విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ఆ తరువాత విద్యుత్ క్షేత్రానికి లంబదిశలో అయస్కాంత క్షేత్రం ఉండేటట్లుగా ఆస్టన్ ప్రయోగించినాడు. విద్యుదస్కాంత క్షేత్రాల మధ్య దూరం, వాటి తీక్షణత మరియు దిశ, విద్యుత్ క్షేత్రం వల్ల కిరణ పుంజములో కలిగిన విక్షేపణము

(dispersion) అయస్కాంత క్షేత్రం సరిచేసే విధంగా అమర్చుతారు. దీనివల్ల కిరణ పుంజములో ఏకోన్ముఖత చెడిపోదు.

కేథోడ్ గుండా బయలుదేరిన ధన కిరణాలు అతి సన్ననయిన చీలికల నుపయోగించి సన్నని కిరణ రేఖలుగా మార్చబడును. రెండు విద్యుదావేశ పూరిత ఫలకలు P_1 మరియు P_2 ల సహాయంతో వాటి మధ్య ఏర్పడిన స్థిర విద్యుత్ క్షేత్ర దిశ కిరణ పుంజ దిశకు లంబంగా ఉండేట్లు విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ఏర్పరుస్తారు. అప్పుడు కణాలు అపవర్తనే కాక (deflection) వాటి వేగాలు వేరు వేరు కాబట్టి విక్షేపణం కూడా చెందుతాయి. విక్షేపణము చెందిన కాంతి పుంజముపై అయస్కాంత క్షేత్రదిశ స్థిర విద్యుత్ క్షేత్రదిశకు లంబంగా ఉండే విధంగా అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని కలిగిస్తారు. దానివల్ల అయస్కాంత క్షేత్రం, విక్షేపణము మరియు విచలనము లేదా అపవర్తము ఒకే సమతలంలో వ్యతిరేక దిశలలో కలుగ జేస్తుంది. అపవర్తనం చెందిన దిశలో ఫోటోగ్రాఫిక్ ప్లేట్ నుంచితే రేఖీయ చాయలు (line images) వస్తాయి. ప్రతిరేఖ ఒక ప్రత్యేకమైన (e/m) విలువను తెలుపుతుంది. రేఖల సంఖ్య, మూలకంలో నున్న ఐసోటోప్‌ల సంఖ్యను తెలుపుతుంది.

ప్రయోగ వర్ణన :

ఆస్టన్ ద్రవ్యరాశి వర్ణపట గ్రాహకము యొక్క వివిధ భాగాలు పటం 20.1 చూపుతుంది. ధన కిరణాలు స్థిర విద్యుత్ క్షేత్రంలో ప్రవేశించక ముందు వాటి దిశను A_0 తెలుపుతుంది. S^1 మరియు S^2 అను చీలికలు సన్నని ధన కిరణ రేఖలను కలుగ జేస్తాయి. P_1 మరియు P_2 పలకలు స్థిర విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని కలుగ జేస్తాయి. కిరణపుంజం క్రింది వైపు అపవర్తనము, విక్షేపణము చెందుతుంది. θ మరియు $d\theta$ లు అపవర్తన మరియు విక్షేపణ కోణాలనుకుందాము. విభాజకము (Diaphram) D ద్వారా ఎంపిక చేసిన కొన్ని కిరణాలను అయస్కాంత ధృవాల మధ్యగుండా పంపబడును. ఇక్కడ అయస్కాంత క్షేత్రం పుట సమతలానికి లంబంగా లోపలి వైపు ఉంటుంది. ఫ్లేమింగ్ ఎడమచేతి సూత్ర ప్రకారం కిరణ పుంజము పైదిశలో అపవర్తనం చెందుతుంది. ఈ అయస్కాంత క్షేత్రం, విద్యుత్ క్షేత్రం వల్ల కలిగిన అపవర్తనాన్ని తొలగిస్తూ కణాలన్నింటిని తిరిగి కలిపి సన్నని రేఖలుగా ఫోటోగ్రాఫిక్ ప్లేట్ (గుర్తింపు పరికరము) CD మీద కేంద్రీకరింప జేస్తుంది. ఈ రేఖలు వర్ణపట రేకలను పోలి ఉంటాయి.



పటం 20.1

స్థిర విద్యుత్ క్షేత్రం వల్ల కలిగిన అపవర్తనము చాలా తక్కువ అని శిఖరము దగ్గర నున్న వక్రతా వ్యాసార్థము r అని అనుకొంటే

$$eE = \frac{mv^2}{r}$$

లేదా $$\frac{1}{r} = \frac{eE}{mv^2}$$

ఇక్కడ E, విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రత; m, ద్రవ్యరాశి; V కణంవేగం మరియు e, కణావేశము.

అపవర్తన కోణము θ, వ్యాసార్థానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది. కాబట్టి

$$\theta = c\frac{Ee}{mv^2} = c_1\frac{e}{mv^2} \quad C_1 = cE$$

కావున విక్షేపణము $$\frac{d\theta}{dV} = -\frac{2C_1e}{mv^3} = -\frac{2\theta}{V} \qquad \text{... (20.1)}$$

అయస్కాంత క్షేత్రంలో వక్రతా వ్యాసార్థము r అయితే

$$Bev = \frac{mv^2}{r^1}$$

లేదా $$\frac{1}{r_1} = \frac{Be}{mv}$$

$$\therefore \phi = C\frac{Be}{mv} \quad (c^2 = cB)$$

మళ్ళీ విక్షేపణము $$\frac{d\phi}{dv} = -C_2\frac{e}{mv^2} = -\frac{\phi}{v} \qquad \text{...(20.2)}$$

సమీకరణము 20.1 మరియు 20.2 ల ద్వారా

$$\frac{d\theta}{\theta} = 2\frac{d\phi}{\phi} \qquad \text{...(20.3)}$$

అనగా ఒక నిర్దిష్ట ఆవర్తనానికి, విద్యుత్ క్షేత్రం వల్ల కలిగిన విక్షేపణము అయస్కాంత క్షేత్రం వల్ల కలిగిన దానికంటే రెడింతలుఉంటుంది. అతి తక్కువ మార్పు d మరియు dϕ లు ఒకే ద్రవ్యరాశి, ఆవేశము కలిగి వాటి వేగాల తేడా dv ఉన్న కణాలను తెలుపుతాయి.

అయస్కాంత క్షేత్రం లేనపుడు (a + b) దూరానికి కిరణములో కిరణములో కలిగిన విక్షేపణము

$$= (a+b)\ d\theta \qquad \text{...(20.4)}$$

ఇక్కడ a = OO' దూరము

మరియు b = O'F దూరము

అయస్కాంత క్షేత్రం, విద్యుత్ క్షేత్రానికి లంబదిశలో ఉండి b దూరంలో అంతే విక్షేపణం ఎదురుదిశలో కలిగిస్తుంది. కాబట్టి అయస్కాంత క్షేత్రం వల్ల కలిగిన విక్షేపణము

$$= bd\ \phi \qquad \text{...(20.5)}$$

అన్ని అయానులు ఒకే స్థానానికి కేంద్రీకరించ బడ్డాయి కాబట్టి

$$(a+b)\ d\theta = bd\phi$$

మరియు $$\frac{d\theta}{d\phi} = \frac{b}{a+b} \qquad \text{...(20.6)}$$

సమీకరణము 20.3 నుండి

$$\frac{d\theta}{d\phi} = \frac{2\theta}{\phi}$$

కావున $$\frac{b}{a+b} = \frac{2\theta}{\phi}$$

లేదా $$b\phi = 2\ (a+b)\theta$$

$$b(\phi - 2\theta) = 2a\theta \qquad \text{...(20.7)}$$

ఇదే కిరణ కేంద్రీకరణకు నియమము.

పొడగించిన CD రేఖకు OR లంబమని మరియు $\underline{|ROV} = \alpha$ అని అనుకొందాం.

Δ ROO' లో

$$RO^1 = OO^1\ \text{Sin}\ (\alpha + \theta)$$
$$= a\ \text{Sin}\ (\alpha + \theta)$$

BRAOU

ΔRO^1F లో $RO^1 = OF \sin \underline{RFO}$.

$$= b \sin(180 - \phi - \alpha - \theta)$$
$$= b \sin(\phi - \alpha - \theta)$$

కావున $a \sin \alpha + \theta = b \sin(\phi - \alpha - \theta)$

కోణాలు చాలా చిన్నవైతే

$$a(\alpha + \theta) = b(\phi - \alpha - \theta)$$

సమీకరణాలు 20.7 మరియు 20.8 లు C = α అయినపుడు ఒకటే అని తెలుస్తుంది. కాబట్టి ఫోటోగ్రాఫీ ప్లేట్‌ను ధనావేశ కిరణ దిశతో కోణం చేస్తున్నట్లు ఉంచడమే కిరణ కేంద్రీకరణ నియమము.

ఆస్టన్ ప్రయోగములో క్రింది ముఖ్య విషయాలు గమనించవచ్చు.

i) ఒకే e/m ఉన్న అన్ని కణాలు వాటి వేగాలతో ప్రమేయం లేకుండా ఒకేసారి కేంద్రీకరించ వీలవుతుంది.

ii) వేరు వేరు ద్రవ్యరాశులున్న కణాలు వేరు వేరు బింధువుల వద్ద కేంద్రీకృత మవుతాయి.

iii) ఆస్టన్ వివిధ మూలకాల ద్వారా వచ్చిన ధన కిరణాల సాపేక్ష పరమాణు ద్రవ్యరాశులు పూర్ణ సంఖ్యలు కనుగొన్నారు.

మూలకములోని పరమాణువులు ఈ పూర్ణసంఖ్యలకు అనుగుణంగా రెండు లేదా అంతకంటే ఎక్కువ ద్రవ్యరాశులు కలిగే వేరువేరు సమృద్ధతలను కలిగి ఉంటాయి. ఉదాహరణకు జినాన్ (130.2 పరమాణు భారము) పరమాణు భారాలు 128, 129, 130, 131, 132, 134 మరియు 136 ...ణువుల మిళితము. ఇవి జినాన్ యొక్క ఐసోటోప్‌లు.

...ర్పట గ్రాహకం

...టోప్‌ల ద్రవ్యరాశులనే కాకుండా వాటి సాపేక్ష సమృద్ధతలను ...క పద్ధతి డెంప్‌స్టర్ పద్ధతి. పరిశీలనలో నున్న మూలకం ... అరలో రేకును వేడిచేయడం వల్ల ఏర్పడిన వాయు ...ent) గుండా వెలువడిన ఎలక్ట్రానులచే తాడనం (collision) ... ఈ అయానులు ఒకే శక్తి కలిగి ఉండునట్లు స్థిర ...చేయవచ్చు. అయానులను స్థిర పొటెన్షియల్ తేడా ...లుగుతుంది. తరువాత పుట తలానికి లంబదిశలో ...మార్గంలో పయనిస్తాయి.

...యనిస్తూ చీలిక S (పటం 20.2) ద్వారా బయటికి ...ంచు కొంటాయి. స్థిర విద్యుత్ క్షేత్రములో

... mv^2

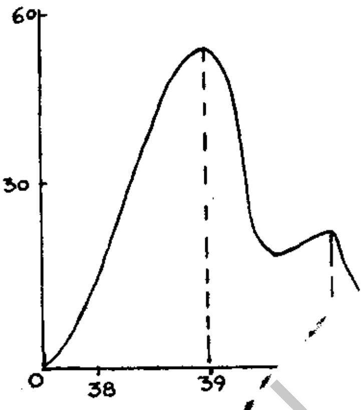
B R A O U

అయస్కాంత క్షేత్రములో

$$\frac{mv^2}{r} = Bev$$

కాబట్టి $$\frac{e}{m} = \frac{2v}{B^2 r^2} \qquad ...(20.9)$$

డెంప్‌స్టర్ H విలువను స్థిరంగా ఉంచి, V ని మార్చి వేరు వేరు e/m విలువలున్న అయానుల విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని కొలుస్తారు. ఒక V విలువ వద్ద నిర్ణీత వ్యాసార్ధము r ఉన్న వృత్తంలో చలిస్తాయి. కాబట్టి సరియైన వోల్టేజ్ వద్ద విద్యుత్ ప్రవాహము గరిష్టము. మరో e/m విలువున్న అయానులంటే గరిష్ట విద్యుత్ ప్రవాహము మరో వోల్టేజ్ వద్ద తెలుపుతుంది. ఈవిధంగా త్వరితం చేస్తున పొటెన్షియల్, పరమాణు ద్రవ్యరాశులను పోలి ఉంటుంది. అంతే కాక పరమాణు సాపేక్ష సమృద్ధతను కూడా తెలుపుతుంది. పటము 20.3 లో పొటాషియం మూలకము (ద్రవ్యరాశి 39 మరియు 41) యొక్క పరమాణు ద్రవ్యరాశులు 39 మరియు 41లున్న ఐసోటోప్‌లను చూపబడ్డాయి.



పటం 20.3

ఉదాహరణ 1

ఒకేసారి ఒకే బిందువు దగ్గిర పనిచేస్తున్న
మరియు 3.4×10^4 వోల్ట్స్/మీ విద్యుత్ క్షే
పడుతున్నప్పుడు కిరణ పుంజములో మార్పు లే
తొలగిస్తే ఎలక్ట్రాన్ పథ వ్యాసార్థ మెంత? (
విద్యుదావేశము = 1.6×10^{-19} కూలమ్స్)

నిశ్చల స్థితిలో $Bev = Ee$

BRAOU

20.5 సారాంశం

పరమాణు ద్రవ్యరాశులను వాటి విశిష్టతావేశము ఆధారముగా నిర్ణయించే రెండు ముఖ్యమైన పద్ధతులు వివరించ బడినవి. ఐసోటోప్ పరమాణు ద్రవ్యరాశి సమృద్ధత లెక్కించు పద్ధతి వివరించుటకు ఉదాహరణ ఇయ్యబడినవి.

20.6 నమూనా ప్రశ్నలు

I. **క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానం రాయండి.**

1) ఐసోటోప్ ద్రవ్యరాశులను ఏవిధంగా విడదీయగలరో వివరించండి.

2) ఆస్టన్స్ ప్రయోగం సూత్రాన్ని, ఉపయోగాలని వివరించండి.

II. **క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానం రాయండి.**

1) డెంప్స్టర్, ద్రవ్యరాశి వర్ణపట మాపకాన్ని వర్ణించి దాని సూత్రాన్ని తెలపండి.

BRAOU

BRAOU

ఖండం-8 ప్రేరకత్వం

BRAOU

BRAOU

భాగం - 21 స్వయం ప్రేరకత్వం, అన్యోన్య ప్రేరకత్వం

విషయక్రమం

21.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
21.2 ప్రవేశిక
21.3 స్వయం ప్రేరకత్వం
21.4 అన్యోన్య ప్రేరకత్వం
21.5 సొలెనాయిడ్ స్వయం ప్రేరణ
21.6 సారాంశం
21.7 నమూనా జవాబులు
21.8 నమూనా ప్రశ్నలు

21.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో స్వయంత ప్రేరకత్వం, అన్యోన్య ప్రేరకత్వాల వివరణ ఉంది.
మీరు ఈ భాగం చదివన తరువాత
(1) స్వయం ప్రేరణ గుణకాన్ని, అన్యోన్న ప్రేరణ గుణకాన్ని లెక్కకట్ట గలరు.

21.2 ప్రవేశిక

ఈ భాగంలో స్వయం ప్రేరకత్వం, అన్యోన్య ప్రేరకత్వాల గురించి తెలుసుకుంటారు.

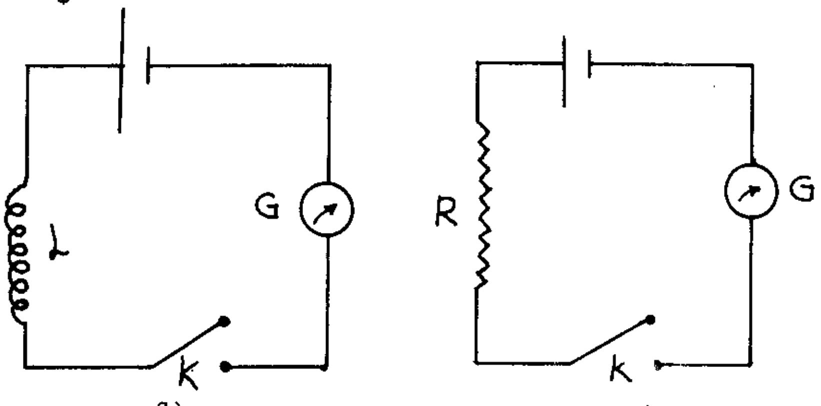
21.3 స్వయం ప్రేరకత్వం

ఒకదానితో నొకటి ఉన్న దండ అయస్కాంతము మరియు తీగ చుట్ట సాపేక్షంగా గమనములో నున్నట్లయితే తీగచుట్టలో విద్యుచ్ఛాలక బలము ప్రేరేపితము అవుతుందని క్రిందటి పాఠములో తెలుసుకున్నాము. అటులనే రెండు తీగచుట్టలను ఒకదాని ప్రక్కన ఇంకొకటి ఉంచి, ఒకదానిలోకి విద్యుత్ ప్రవాహం పంపితే అందులో అయస్కాంత అభివాసము పుట్టి పక్కనే వున్న రెడంవ తీగ చుట్టను ఖండించు తుంది. ఒకవేళ మొదటితీగలోని విద్యుత్తును మాటి మాటికి మార్చినచో రెండవ తీగచుట్ట ఖండించుచున్న అయస్కాంత అభివాస పరిమాణము మాటమాటకు మారి అందులో విద్యుచ్ఛాలక బలము ప్రేరేపితమవుతోంది. అని కూడా క్రిందటి పాఠములో తెలుసుకొన్నాము. అశ్చర్యకరమైన విషయమేమనగా ఒకే తీక చుట్టను తీసుకొని దానిలోనికి పరిమాణాత్మకంగా మాటమాటకు మారుతున్న విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని పంపిస్తే ఆ తీగ చుట్టలో కూడ విద్యుచ్ఛాలక బలము ప్రేరేపితమవుతుందని శాస్త్రజ్ఞులు ప్రయోగాత్మక పరిశీలన వలన తెలుసుకున్నారు. ఈ దృగ్విషయమునే స్వయం ప్రేరణ అంటారు. ఇట్లు జనించిన విద్యుచ్ఛాలక బలమును స్వయం ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలము అంటారు.

స్వయం ప్రేరణ ఈక్రింది సామాన్య ప్రయోగం ద్వారా అర్థం చేసుకొన వచ్చును. పటములు 21.1 (a) మరియు 21.1 (b) లను పరిశీలించుము. ఈ రెండు పటములను ఒక విషయములో తప్ప మిగతా విషయములన్నింటిలో కూడ ఒకే పోలికలను కలిగి యున్నవి.

BRAOU

పటము 21.1(b) లో అయస్కాంత కోరుపై చుట్టబడిన తీగచుట్ట ఉంది. మరియు 21.1(a) లో అంతే విద్యున్నిరోధకము గల నిరోధకము ఉంది. రెండు వలయములలో కూడ ఒకే కాలము వద్ద స్విచ్‌లను నొక్కిన యెడల విద్యుత్ ప్రవాహము వున్నట్లు రెంటిలో కూడ మీటర్లు చూపించును. కాని పూర్తి పరిమాణమును జూపించును. వెంటనే 21.1(a) లోని మీటరు గరిష్ఠ విలువను చూపెడుతోంది మరియు 21.1 (b) లోని మీటరు మాత్రమే కొన్ని క్షణములు ఆలస్యంగా గరిష్ఠ విలువను చూపిస్తుంది. అదే ప్రకారంగా రెండు వలయములలో కూడా ఏకకాలమందు స్విచ్చులను తీసివేసినప్పు డే 21.1(a) లోని మీటరు తక్షణమే శూన్య స్థాయికి పడిపోగా 21.1 (b) లోని మీటరు మాత్రము కొలది క్షణములు ఆలస్యంగా శూన్యస్థాయికి చేరుకుంటుంది.



(b) (a)

పటం 21.1

పటము 21.1 (b) లో తీగచుట్ట వున్నంత మాత్రమే ప్రవాహ పరిమాణ పెరుదల, తరుగుదలలో తక్షణ స్థాయి నొందకుండ ఆలస్యం ఎందుకు జరుగుతోంది. ఎందుకనగా అకస్మాత్తుగా స్విచ్ నొక్కినప్పు డు మరియు స్విచ్ తీసివేసినపుడు అయస్కాంత అభివాహము జనించు గరిష్ఠ, కనిష్ఠ స్థాయిలను చేరవలసి ఉంది. ఇట్లు ఇభివాహములో కలుగుతున్న పరిమాణాత్మక మార్పు వలన ఫారడే సూత్రము ప్రకారము ఈ ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలము అనువర్తిత విదుద్యచ్ఛాలక బలమును దిశపరంగా వ్యతిరేకిస్తుంది. అందువలననే రెండుసార్లు కూడ మీటర్లు గరిష్ఠ, కనిష్ఠ విలువలను చేరుకోవడంలో ఆలస్యం జరిగింది. ఇది స్వయం ప్రేరణ ఫలితమే.

యాంత్రిక శాస్త్రములో జడత్వం లాగానే విద్యుత్ ద్వివలయాలలో స్వయం ప్రేరణ పని చేస్తుంది. కావున ఒక విధంగా స్వయం ప్రేరణ కూడా జడత్వమనబడును. ఇట్లు స్వయం ప్రేరణను కలుగ జేయు తీగచుట్టను ప్రేరకములు అందురు. విద్యుద్వివలయములలో దీనిని —mm— అను గుర్తుతో సూచింతురు.

స్వయం ప్రేరణ గుణకము

N చుట్లను కలిగియున్న ఒక పొడవాటి సొలెనాయిడ్ తీసుకొనుము. ప్రతి చుట్టుతో లింక్ అయి వున్న అభివాహము ϕ_B అనుకొనుము.

ఫారడే విద్యుదయస్కాంత ప్రకారము ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలము E

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}(N\phi_B) \qquad \dots (21.1)$$

$(N\phi_B)$ అనునది అన్నిచుట్లతో లింక్ అయివున్న మొత్తం అభి వాహము. సామాన్యంగా ఈ అభివాహము ఆసొలెనాయిడ్ గుండా ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహముపై ఆధారపడి యుండును.

$$\therefore N\phi_B \propto i$$

$$\therefore N\phi_B = Li \qquad \dots (21.2)$$

ఈ సమీకరణములో L అనునది అనులోమాను పాత గుణకం. దీనినే స్వయం ప్రేరణ గణకం అందురు.

సమీకరణములు 21.2 మరియు 21.2 లను కలిపి వ్రాయగ

BRAOU

$$\varepsilon = -L\frac{di}{dt} \quad ...(21.3)$$

లేదా $$L = -\frac{\varepsilon}{di/dt} \quad ...(21.4)$$

సమీకరణములు 21.2 మరియు 21.4 ల ఆధారంగా స్వయం ప్రేరణ గణకంను ఈక్రింది విధంగా నిర్వచించ వచ్చును.

(1) ప్రమాణ విద్యుత్ ప్రవాహము ఒకే తీగచుట్టలో ప్రవహించేటప్పుడు చుట్టలో ఏర్పడే అయస్కాంత అభివాహాన్ని దాని స్వయం ప్రేరణ గణకం అంటారు.

(2) ఒక తీగ చుట్టలో ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహము ఏక ప్రమాణ రేటును క్షీణిస్తే ఆ చుట్టలో ప్రేరేపితమైన విద్యుత్ చ్ఛాలక బలమే దాని స్వయం ప్రేరణ గణకం అవుతుంది.

సమీకరణం 21.4 ప్రకారము స్వయం ప్రేరణ గుణకంనకు ప్రమాణములు ఓల్ట్. సెకను/ఆంపియర్లు

∴ 1 హెన్రి = 1 ఓల్ట్ సెకను/ఆంపియరు.

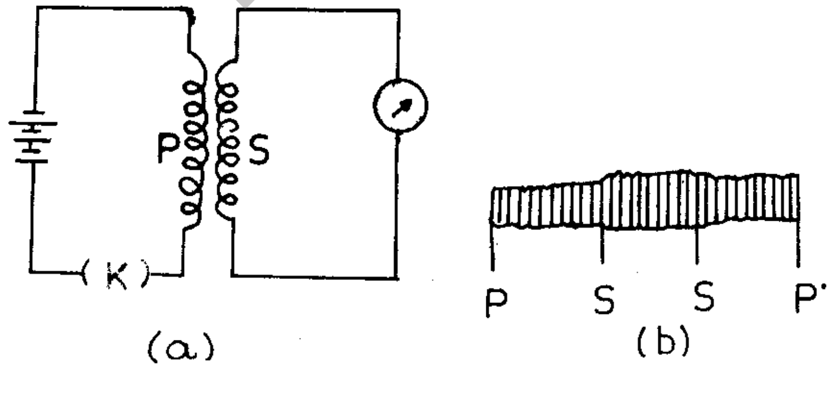
ప్రయోగాత్మకంగా హెన్రి చాలా పెద్ద ప్రమాణము. కావున చిన్న ప్రమాణముల వాడటం జరుగుతోంది.

1 మిల్లి హెన్రి = 10^{-3} హెన్రి

1 మైక్రో హెన్రి = 10^{-6} హెన్రి.

21.4 అన్యోన్య ప్రేరకత్వం

పటం 21.2 చూపినట్లు ఒక దానిలో ఒకటి వున్న రెండు తీగచుట్ల P మరియు S ల పరిశీలింతము. P నుండి విద్యుత్ ప్రవాహము పంపినపుడు S స్వల్ప విద్యుచ్ఛాలక బలము జనించును. ఈ విద్యుచ్ఛాలక బలమెట్లు జనించుననగా P గుండా విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్నప్పుడు దాని చుట్టూ వున్న అభివాహములోని కొంత భాగము S తోను కూడా లింక్ అయి వుటుంది. ఈ లింక్ అయి ఉన్న అభివాహము పెరగుతున్న అభివాహమును ఎదిరించుట వలన స్వల్ప విద్యుచ్ఛాలక బలము S లో కనిపిస్తుంది. ఈ దృగ్విషయము జరగడానికి రెండు చుట్టలు కూడా కారనం. కావున దీనిని అన్యోన్య ప్రేరణ అందురు. ఇట్లు ప్రేరేపితమైన విద్యుచ్ఛాలక బలము S తో లింక్ అయిన అభివాహము లేదా P గుండా ప్రవహిస్తున్న విద్యుత్‌పై ఆధారపడి యుండును.



పటం 21.2

BRAOU

$$\therefore N\phi_B \ \alpha \ i$$

లేదా $N\phi_B = Mi$ ...(21.5)

అనులోమానుపాత గుణకము M ను అన్యోన్య ప్రేరణ గుణకం అందురు. M విలువ ముఖ్యంగా రెండు తీగె చుట్టల మధ్య దూరం మరియు అది ఉంచబడిన యానకంపై ఆధారపడి యుండును.

సమీకరణము 21.5 ను అవకలనము చేయగా

$$\frac{d}{dt}(N\phi_B) = M\frac{di}{dt}$$

కాని ఫారడే సూత్రము ప్రకారము

$$-\varepsilon = M\frac{di}{dt}$$

లేదా $M = -\frac{\varepsilon}{di/dt}$ ...(21.6)

సమీకరణం 21.6 ప్రకారము M కు ప్రమాణములు ఓల్ట్ సెకను/ఆంపియరు అనగా M మరియు L లు ఒకే ప్రమాణము కలిగి యుండును.

అవగాహనను పరీక్షించు కొనండి.

హెన్రీ __________ కి ప్రమాణము.

21.5 సొలెనాయిడ్ స్వయం ప్రేరణ

సొలెనాయిడ్ స్వయం ప్రేరణ గణకమును ఈ క్రింది విధముగా రాబట్టవచ్చును.

ప్రేరకమునకు

$$L = \frac{N\phi_B}{i}$$ ...(21.7)

ప్రమాణ పొడవు n నకు తీగచుట్టలు కలిగి A ముఖ్య తల వైశాల్యం కలిగి l పొడవున్న ప్రేరకమును తీసుకొనుము.

దానితో లింక్ అవుతున్న అభివాహము $N\phi_B$

$$N\phi_B = nl\,BA$$

B అనునది ϕ_B అభివాహమును కలుగ జేస్తున్న అయస్కాంత ప్రేరణ.

సొలెనాయిడ్ (ప్రేరకము)నకు $B = \mu_0 ni$ ...(21.8)

అని మనకు తెలుసు.

రెండు సమీకరణములను కలిపి వ్రాయగా

$$N\phi_B = nl\,\mu_0\,niA$$

$$N\phi_B = \mu_0 n^2 liA$$ ...(21.9)

∴ సొలెనాయిడు స్వయం ప్రేరణ గుణకము

$$L = \frac{\mu_0 n^2\, liA}{i}$$

లేదా $L = \mu_0\, n^2\, l\, A$ ...(21.10)

సమీకరణము 21.10 ప్రకారము సొలెనాయిడ్ స్వయం ప్రేరణ గణకము L దాని ఘన పరిమాణము (lA) మరియు తీగచుట్ల సంఖ్య వర్గము (n^2) అనులోమాను పాతములో నుండును. లేదా L సొలెనాయిడ్ యొక్క జ్యామితీయ రాశులపై ఆధారపడి యుండును.

ఉదాహరణ - 1

BRAOU

10 హెన్రీల విలువ గల యిండక్టరు (ప్రేరకము) ద్వారా 2 ఆంపియర్ల విద్యుత్ ప్రవహిస్తుంది. దానిలో 100 ఓల్టుల స్వయం ప్రేరక విద్యుద్చాలక బలము కనిపించ వలెనన్న విద్యుత్ ప్రవాహపు మార్పు రేటు ఎంత వుండవలయును.

$$\varepsilon = L\frac{di}{dt}$$

$$\therefore 100 = 10\frac{di}{dt}$$

$\therefore \frac{di}{dt} = 10$ ఆంపియర్లు/సెకన్లు.

ఉదాహరణ – 2

0.1 అంగుళం వ్యాసం గల ఒక రాగితీగె 10 చుట్లు వుండునట్లు 4 సెం.మీ. వ్యాసం కలిగి 2 మీటర్ల పొడవు కల సొలెనాయిడ్‌గా వుంచబడింది. అయిన దాని స్వయం ప్రేరణ గణకం ఎంత?

$$\therefore L = \mu_0 n^2 l A$$

$$= 1.26 \times 10^{-6}\left(\frac{10}{0.1 \times 2.54}\right)^2 \times 1 \times \pi \times \left(\frac{2}{10^2}\right)^2$$

$$= 245.4 \times 10^{-6}\,H$$

లేదా $L = 0.245$ మిల్లి హెన్రీలు

2.16 సారాంశం

ప్రమాణ విద్యుత్ ప్రవాహం ఒకే తీగ చుట్టలో ప్రవహించే టప్పుడు చుట్టలో ఏర్పడే అయస్కాంత అభివాహాన్ని దాని స్వయం ప్రేరణ గణకం అంటారు. దీనిని L తో సూచిస్తారు.

$$L = -\frac{\varepsilon}{\frac{di}{dt}}$$

స్వయం ప్రేరణ గుణకానికి ప్రమాణము హెన్రీ

1 హెన్రీ = 1 ఓల్ట్ – సెకను/ఆంపియరు

అన్యోన్య ప్రేరణ గుణకాన్ని M తో సూచిస్తారు.

$$M = -\frac{\varepsilon}{\frac{dt}{dt}}$$

B R A O U

21.7 నమూనా జవాబులు

మీ అవగాహనను పరీక్షించు కొనండి.

హెన్రీ ప్రేరకత్వానికి ప్రమాణము

21.8 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నకు విశదంగా సమాధానం రాయండి

(1) స్వయం ప్రేరణ అన్యోన్య ప్రేరణ గుణకాలకు సమాసాలను రాబట్టండి.

II. క్రింది ప్రశ్నకు క్లుప్తంగా సమాధానం రాయండి.

(1) సొలెనాయిడ్ ఇండక్టన్స్‌లను గణించడానికి కావలసిన సమీకరణాన్ని రాబట్టండి.

III. క్రింది లెక్కలను సాధించండి.

(1) 'R' వ్యాసార్థం గల సోలెనాయిడ్ యొక్క స్వయం ప్రేరకతను ప్రమాణ పొడవుకు కనుక్కోండి. సోలెనాయిడ్ ప్రమాణ పొడవులో N చుట్లున్నాయనుకోండి.

(2) L_1, L_2 ఇండక్టన్స్‌లు దూరదూరంగా ఉన్నాయి. అపడు దాని ఫలిత ఇండక్టెన్స్ $L_1 + L_2$ (శ్రేణిలో కలపబడి యున్నప్పుడు) అవుతుందని నిరూపించండి. అలాగే $\frac{1}{2}L$ ఫలిత ఇండక్టన్స్ అవుతుందని (సమాంతరంగా కలపబడి యున్నపుడు మరియు $L_1 = L_2 = L$) నిరూపించండి.

(3) దీర్ఘ చతురస్రాకారవు ముకతల వైశాల్యం కలిగి లోపల బయటి వ్యాసార్థాలు వరుసగా a, b ఎత్తు h, n చుట్లు గల టొరాయిడ్ స్వయం ప్రేరకతను కనుక్కోండి.,

(4) (a) 'S" దూరంలో వేర్పాటు చేయబడిన యున్న రెండు పొడవైన తీగెలమధ్య ఉండే అన్యోన్య ప్రేరకతను ప్రమాణ పొడవుకు కనుక్కోండి.

(b) పై రెండు తీగెలలోని ఒక తీగెలో 'i' విద్యుత్తు ప్రవహిస్తున్నప్పుడు మరో తీగె 'v' వేగంతో మొదటి తీగెను S దూరం నుండి సమీపిస్తున్నపుడు దానిలో ప్రేరేపించబడే emf అను ప్రమాణ పొడవుకు కనుక్కోండి.

(5) తిన్నని తీగె మరియు దీర్ఘ చతురస్రాకారవు చుట్ట మధ్య గల అన్యోన్య ప్రేరకతను కనుక్కోండి.

(6) రెండు ఏక కేంద్రక తీగె చుట్టల వ్యాసార్థాలు r_1, r_2 లు అయినపుడు వాటి మధ్య అన్యోన్య ప్రేరకతను కనుక్కోండి.

(a) లోపలి తీగెచుట్ట వ్యాసార్థం, బయటి తీగెచుట్ట వ్యాసార్థం కన్న తక్కువగా నుండును.

(b) పై నిబంధన లేనపుడు అన్యోన్య ప్రేరేకతను కనుక్కోండి.

(7) 'l' పొడవు గల తీగెలో అయస్కాంత అభివాహము (magneticflux) ఉన్నది. అయిన దాని స్వయం ప్రేరకత $\mu_0 l^2/8\pi$ ఉంటుందని, యిది తీగె వ్యాసంతో పని లేదని చూపండి.

(8) ఏకరీతి సాంద్రతగల 'i' విద్యుత్తు ఒక తీగె గుండా ప్రవహిస్తుంది. ప్రమాణ పొడవుకు తీగెలో ప్రోగు పడే అయస్కాంత శక్తి $\mu_0 l^2/16\pi$ ఉంటుందని చూపండి.

BRAOU

భాగం - 22 అయస్కాంత శక్తి

విషయ క్రమం

22.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
22.2 ప్రవేశిక
22.3 అయస్కాంత క్షేత్రంలో నున్న శక్తి
22.4 అయస్కాంత క్షేత్రములోని శక్తి సాంద్రత
22.5 ట్రాన్సుఫార్మర్ - పనిచేయు విధానం
22.6 సారాంశం
22.7 నమూనా ప్రశ్నలు

22.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో ట్రాన్స్‌ఫార్మర్ పనిచేసే సూత్రం వివరించబడింది.
మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత
అయస్కాంత క్షేత్రంలోని శక్తిసాంద్రతను లెక్కకట్టగలరు.

22.2 ప్రవేశిక

విద్యుత్ క్షేత్రములో శక్తి యిమిడి వుండునని గత భాగములలో తెలుసుకొన్నాము. అస్తవ్యస్థంగాను ఆవేశములను ఒక నియమిత ఆకృతిలో ఏర్పాటు చేయుటకు కావలసిన పనియే ఆ ఆకృతిని ఆవరించి యున్న క్షేత్రములో శక్తిగా నుండునని మనకు తెలుసును. అదే విధముగా విద్యుత్ ప్రవాహముల వివరణ పరచడంలో ఖర్చు పెట్టబడిన శక్తి, వానిని ఆవరించి యున్న అయస్కాంత క్షేత్రములలో శక్తిగా యిమిడి యుండును. ఉదాహరణకు ఏకదిశలో విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నప్పుడు రెండు సమాంతర తీగెలమధ్య ఆకర్షణ బలము వుండును. వానిని విడదీయవలెనన్న కొంతపని చేయవలెను గదా! అనగా ఈ ఖర్చు చేయబడిన పని ఆ తీగెల చుట్టూ ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్రములో శక్తిగా యిమిడి యుండునన్నమాట. అదేవిధముగా తీగెలను తిరిగి దగ్గరగా తీసుకొచ్చిన యెడల ఖర్చు పెట్టబడిన శక్తినితిరిగి పొందవచ్చును.

22.3 అయస్కాంత క్షేత్రంలో నున్న శక్తి

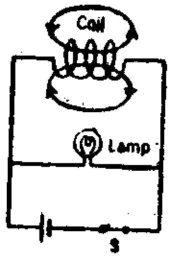
విద్యుత్ ప్రవహిస్తున్నపుడు ఒక యిండక్టరు (ప్రేరకము) చుట్టూ ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్రములో కూడశక్తి యిమిడి యుండును. ఈ విషయమును ఈ క్రింది సామాన్య ప్రయోగము ద్వారా అర్థము చేసుకొనవచ్చును. పటము 22.1లో చూపినట్లు స్విచ్ మూసినప్పుడు బల్బు వెలుగును. స్విచ్ తెరిచినపుడు కూడ బల్బు క్షణకాలము మొదటి తీవ్రత కన్న ఎక్కువ తీవ్రతలో వెలుగును. ఈ తీవ్రతలో గలిగిన హెచ్చుదలకు ప్రేరకము యొక్క అయస్కాంత క్షేత్రములోనున్న శక్తియే కారణము. పటము 22.2లో చూపినట్లు ఘటము నుండి అందించబడిన శక్తి నుండి, అయస్కాంత క్షేత్రము ఏర్పరుచుటకు చేయవలసిన పనిని తద్వారా అయస్కాంత క్షేత్రములోనున్న శక్తిని గణింతుము.

పటము 22.2లో చూపినట్లు ఘటము యొక్క విద్యుచ్చాలక బలము ε నిరోధకము యొక్క విద్యున్నిరోధక శక్తి R మరియు ప్రేరకము యొక్క ప్రేరణ గుణకము L అనుకొనుము.

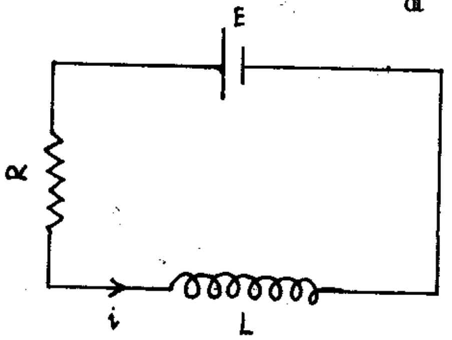
ప్రేరకము మధ్యనున్న శక్మ బేధము $L \frac{di}{dt}$

వలయములలోని పురోగము దిశలోని

శక్మబేధము $\varepsilon - L\frac{di}{dt}$



పటం 22.1



పటం22.2

ఓము సూత్రము ప్రకారముః

$$\varepsilon - L\frac{di}{dt} = iR \qquad ...(22.1)$$

వలయము నుండి dq ఆవేశమును చలింపచేయుటకు చేసిన పని dw అనుకొనుము.

$$\therefore \; dw = \varepsilon \, dq$$

$$dw = \varepsilon \; idt \qquad ...(22.2)$$

$$\therefore \; \frac{dw}{dt} = \varepsilon \; i$$

$$\therefore \; \varepsilon \, i = Li\frac{di}{dt} + i^2 R \qquad ...(22.3)$$

సమీకరణము 22.3 పని, శక్తులది సారూప్యంగా ఈ క్రింది భౌతిక అర్థమును యిస్తుంది. సమీకరణములోని ఎడమ భాగపు రాశి, వలయములో ఘటమునుండి బాహ్యంగా అందింపబడుచున్న శక్తి రేటును తెలియజేస్తుంది. కుడి భాగపు రాశులలో i^2R అనునది నిరోధకములో జనించిన ఉష్ణరాశి శక్తిని తెలియజేస్తుంది. కావున ఉష్ణముగా మార్చబడిన శక్తి అంతయు కూడ ప్రేరకము చుట్టూ వున్న అయస్కాంత క్షేత్రముతో ఉండవలెనన్న మాటయే కదా! అందువలన అయస్కాంత క్షేత్రములో శక్తి యిమిడి యున్నది.

అయస్కాంత క్షేత్రములో యిమిడి వున్న శక్తి

$$\therefore \; Li\frac{di}{dt} = \frac{dU_B}{dt} \qquad ...(22.4)$$

లేదా

$$dU_B = Lidi$$

$$\therefore \; UB = \int dU_B = \int Li\,di$$

$$U_B = \frac{1}{2} Li^2 \qquad ...(22.5)$$

కావున సమీకరణము 22.5 ప్రేరకమును ఆవరించియున్న అయస్కాంత క్షేత్రములోని శక్తిని యిస్తుంది. ఈ శక్తియొక్క మితులు ప్రేరకపు ప్రేరణ గణకము మరియు దానిగుండా ప్రవహిస్తున్న ప్రవాహపు వర్గముల లబ్దమునకు సమానము.

BRAOU

22.4 అయస్కాంత క్షేత్రములోని శక్తి సాంద్రత

ప్రేరకమును ఆవరించి యున్న అయస్కాంత క్షేత్రములో శక్తి యిమిడి యుండునని తెలుసుకొన్నాము. ప్రేరకము యొక్క ఘన పరిమాణములో ఈ శక్తి ఏకరీతిగా వితరణం చెందునని భావించి శక్తి సాంద్రతకు సమీకరణము రాబట్టవచ్చును.

సొలెనాయిడ్ యొక్క పొడవు l, ముఖతల వైశాల్యం A అనుకొనిన దాని ఘన పరిమాణము lA అగును.

అయస్కాంత క్షేత్రపు శక్తి సాంద్రత $u_B = \frac{U_B}{lA}$

$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

$$u_B = \frac{\frac{1}{2}Li^2}{Al} \qquad ...(22.6)$$

కాని $L = \mu_0 n^2 Al$ అని మనకు తెలుసు.

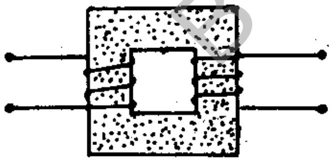
$$\therefore \quad u_B = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0} \qquad ...(22.7)$$

ఈ సమీకరణ కేవలము సొలెనాయిడ్ కొరకు ఉత్పాదించినదైనప్పటికి, ఇది అన్ని అయస్కాంత క్షేత్రములకు వర్తించును.

22.5 ట్రాన్స్‌ఫార్మర్ – పనిచేయు విధానం

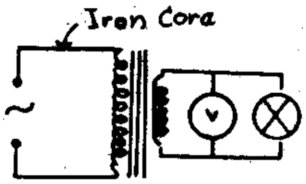
దైనందిన జీవితములో గృహోపయోగములకు కావలసిన తక్కువ ఓల్టేజిను మరియు పరిశ్రమలకు ఎక్కువ ఓల్టేజిను సరఫరా చేయగల సాధనము ట్రాన్స్‌ఫార్మర్. జనకస్థానము నుండి లభించిన ఎక్కువ ఓల్టేజిని తగ్గించడము మరియు తక్కువ ఓల్టేజిని ఎక్కువ చేయడం అనే ప్రక్రియను పరివర్తనము అందురు. ఇట్లు పరివర్తనము చెందించు సాధనము ట్రాన్స్‌ఫార్మర్. కాని ఇచ్చట ఒక విషయము ఏమనగా ఓల్టేజ్ హెచ్చించబడినపుడు అల్పప్రవాహము మరియు ఓల్టేజ్ తగ్గించబడినపుడు అధిక ప్రవాహములు ప్రవాహమవుతాయి. ఈ పరివర్తన ప్రక్రియ ఏకాంతర ప్రవాహములలోనే సాధ్యం. ట్రాన్స్‌ఫార్మర్‌లు అన్యోన్య ప్రేరణ దృగ్విషయమును ననుసరించి పనిచేస్తాయి.

BRAOU



(a)

పటం 22.3 a



(b)

పటం 22.3 b

పటము 22.3 (a) లో చూపినట్లు ట్రాన్స్‌ఫార్మర్ నందు ఉమ్మడి కోరుపై చుట్టబడిన రెండు తీగె చుట్టలు ఉంటాయి. ఈ కోరుగా సామాన్యంగా హెచ్చు ప్రవేశ్యశీలత కల యినుమును వాడుతారు. హెచ్చుగా అయస్కాంత అభివాహము కలుగజేస్తు తద్వారా రెండు తీగె చుట్ల మధ్య అన్యోన్య ప్రేరణను అధికం చేయడమే ఈ కోరువిధి. పరివర్తనము చెందించవలసిన వోల్టేజి P గుండా పంపిస్తారు. కావున P ప్రాథమిక చుట్ట అనియు, పరివర్తనము చెందిన వోల్టేజి S గుండా పొందుతారు. S ని గౌణ చుట్ట అనియు అందురు. తీగె చుట్టలను కోరుచుట్టు చుట్టేటప్పు డు అయస్కాంత అభివాహమూ లీక్ (Leak) కాకుండా మరియు ఆవర్తప్రవాహాలవల్ల శక్తి నష్టం లేకుండా కోరును స్తరితము (Lamination)

చేస్తు జాగ్రత్తలు తీసుకుంటారు. ట్రాన్స్ ఫార్మర్ అన్ని భాగములను బంధితము చేసేటందుకుగాను ట్రాన్స్ ఫార్మర్ తైలంలో ముంచుతారు.

ప్రాథమిక చుట్టలోనికి ఏకాంత ఓల్టేజిని పంపినపుడు అది కోరు లోపల చర అయస్కాంత అభివాహమును కలుగజేస్తుంది. ఫారడే సూత్రము ప్రకారము ఏకాంతర విద్యుచ్ఛాలక బలము ప్రాథమిక చుట్టలోనికి అనువర్తింప చేసిన ఓల్టేజికి దరిదాపు సమానము.

ప్రాథమిక చుట్టలో దానిచుట్ల సంఖ్య N, అనుకొనియు మరియు అయస్కాంత అభివాహము మార్పురేటు dø/dt అనుకొనిన

$$\text{లెంజ్ సూత్రము ప్రకారము } \varepsilon_1 = -N_1\left(\frac{d\phi}{dt}\right) \qquad ...(22.8)$$

గౌణ చుట్ట కూడ అదే కోరుపైన చుట్టబడి యున్నది. కావున ప్రాథమిక చుట్టలోని పూర్తి అభివాహము మరియు దాని మార్పులు కూడ గౌణ చుట్టతో లింక్ అయి వుండును. గౌణ చుట్టలోని చుట్ల సంఖ్య N_2 అనుకొనుము. మరియు దీనితో లింక్ అయివున్న అభివాహపు మార్పు రేటు $\frac{d\phi}{dt}$ తరపున మారుతున్న అభివాహము వలన గౌణ చుట్టలో కూడ విద్యుచ్ఛాలక బలము జనించును. ఈ విద్యుచ్ఛాలక బలము ε_2 అయిన

$$\varepsilon_2 = -N_2\left(\frac{d\phi}{dt}\right) \qquad ...(22.9)$$

సమీకరణము 22.8 మరియు 22.9 ల పోల్చగా

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = t \qquad ...(22.10)$$

సమీకరణము 22.10 ట్రాన్స్‌ఫార్మర్ సమీకరణము అనియు $\frac{N_1}{N_2}$ = ct నిష్పత్తిని పరివర్తక నిష్పత్తి అనియు అంటారు. పై సమీకరణం ప్రకారం $N_2 > N_1$ అయినప్పుడు $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ అవుతోంది. అనగా గౌణ చుట్టతో లభించు ఓల్టేజిఎక్కువగా నుండును. ఇట్టి ట్రాన్స్‌ఫార్మర్‌ను ఆరోహణ ట్రాన్స్‌ఫార్మర్ అంటారు. మరియు $N_1 > N_2$ అయినప్పుడు $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ అవుతోంది. ట్రాన్స్‌ఫార్మరును అవరోహణ ట్రాన్స్‌ఫార్మర్ అందురు.

22.10 ను ఈ విధముగా కూడ వ్రాయవచ్చును.

$$\frac{\text{గౌణచుట్టలోని emf}}{\text{ప్రాథమిక చుట్టలోని emf}} = \frac{\text{గౌణ చుట్టలోని చుట్లు } (N_2)}{\text{ప్రాథమిక చుట్టలోని చుట్లు}(N_1)} \qquad ...(22.11)$$

ఆదర్శమైన ట్రాన్స్ ఫార్మర్ నందు శక్తి నష్టము జరుగును.

$$\text{కావున } \varepsilon_2 i_2 = \varepsilon_1 i_1 \qquad ...(22.12)$$

$$\text{లేదా } \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} \qquad ...(22.13)$$

అనగా ఆరోహణ అవరోహణ ట్రాన్స్‌ఫార్మర్‌లయందు గౌణ చుట్టలో వరుసగా అల్ప మరియు అధిక ప్రవాహములు వరుసగా వుంటాయన్నమాట.

ఎన్ని జాగ్రత్తలు తీసుకొన్నప్పటికి ట్రాన్స్‌ఫార్మర్‌లయందు ఈ క్రింది కారణముల వలన శక్తి నష్టం జరుగుతుంది.

a) కొంత శక్తి ఉష్ణరూపములో నష్టమవుతుంది.

b) అవర్తక ప్రవాహముల వలన అయస్కాంత లీకేజి, శైథిల్య నష్టము వాటుకొనవలెనన్న పెద్ద పెద్ద ట్రాన్స్‌ఫార్మర్‌ల దక్షత 98% మరియు చిన్న చిన్న ట్రాన్స్‌ఫార్మర్‌ల దక్షత 90% కన్న ఎక్కువగా వుంటుంది.

BRAOU

ఉదాహరణ - 1

5 సెం.మీ. వ్యాసార్థము కల తీగచుట్టద్వారా 100 ఆంపియర్లు విద్యుత్ ఏంపియర్లు ఏర్పడిన అయస్కాంత క్షేత్రములో శక్తిసాంద్రత ఎంత ?

$$\upsilon_B = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0} = \text{ మరియు } B = \frac{\mu_0 i}{2R}$$

$$\upsilon_B = \frac{1}{2}\frac{\mu_0 i^2}{4R^2}$$

$$= \frac{1.26 \times 10^{-6} \times (100)^2 \times 10^4}{8 \times 5 \times 5} = 0.63 \text{ జౌల్స్/మీ}^3$$

ఉదాహరణ - 2

ఒ ఆదర్శ ట్రాన్స్ ఫార్మర్ పరివర్తన నిష్పత్తి 2 ప్రాథమిక చుట్టలో 10 ఏకాంతర వోల్టు (Ac volts) ల శక్మము అనువర్తింపచేసిన, గౌణ చుట్టలో లభించు వోల్టేజ్ ఎంత ?

$$\varepsilon 2 = \frac{N_2}{N_1}\varepsilon_1$$

$$\varepsilon_2 = 2 \times 10 = 20\,y \text{ వోల్టులు.}$$

22.6 సారాంశం

అయస్కాంత క్షేత్రంలో యిమిడి ఉన్న శక్తి

$$\upsilon_B = \frac{1}{2}Li^2$$

అయస్కాంత క్షేత్రంలోని శక్తి సాంద్రత $\upsilon_B = \dfrac{\frac{1}{2}Li^2}{1 \times A}$

ఆరోహణ ట్రాన్స్‌ఫార్మర్‌లో గౌణ చుట్టలోని చుట్ల సంఖ్య, ప్రాథమిక చుట్టలోని చుట్ల సంఖ్యకన్నా ఎక్కువ. అవరోహణ ట్రాన్స్‌ఫార్మర్‌లో గౌణ చుట్టలోని చుట్ల సంఖ్య ప్రాథమిక చుట్టలోని చుట్ల సంఖ్యకన్నా తక్కువ.

B R A O U

22.7 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నకు విశదంగా సమాధానం రాయండి.

1) ట్రాన్స్‌ఫార్మర్ సూత్రాన్ని విశదంగా తెలుపండి.

II. క్రింది ప్రశ్నకు క్లుప్తంగా సమాధానం రాయండి.

1) అయస్కాంత క్షేత్రంలోని శక్తికి ఒక సమాధానాన్ని రాబట్టండి.

III. క్రింది లెక్కలను సాధించండి.

1) హైడ్రోజన్ పరమాణువులో ఎలక్ట్రాన్ తిరుగుతున్నపుడు దాని కేంద్రంవద్దనున్న అయస్కాంత శక్తి సాంద్రతను కనుక్కోండి.

2) ఒక కో ఆక్షియల్‌కు a = 1mm b = 4 mm మరియు 1 = 50 ఉన్నాయి. దీనిలోని లోపలి వాహకం 10 ఆంపియర్లు విద్యుత్తు ప్రవహిస్తుంటే బయటి వాహకం అదే పరిమాణం విద్యుత్తు వ్యతిరేక దిశలో ప్రవహిస్తుంది. కేబిల్ పొడవు ప్రమాణ పొడవులో ప్రోగుపడే అయస్కాంత శక్తిని (a) బయటి వాహకంలో (b) లోపలి వాహకంలో (c) రెండు వాహకాల మధ్య – లెక్కగట్టి పోల్చండి.

3) 2 ఆంపియర్లు/సెకనులను ప్రైమరి వలయం వలయం గుండా పంపినపుడు అది గౌణ వలయంలో 8 V_{rms} ను జనింపచేసిన ట్రాన్స్‌ఫార్మరులోని అన్యోన్య ప్రేరణను కనుగొనండి.

BRAOU

ఖండం-9 ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహాలు

BRAOU

BRAOU

భాగం - 23 LR మరియు CR వలయాలు

విషయక్రమం

23.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
23.2 ప్రవేశిక
23.3 సాధారణ ఎ.సి. జెనరేటర్
23.4 ఏకాంతర విద్యుచ్ఛాలక బలం మరియు విద్యుత్ ప్రవాహాల రేఖా పట సూచన
23.5 ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహము యొక్క ఫలిత లేదా వర్గ మూలము
23.6 ఏకాంతర విద్యుత్ వలయము యొక్క పవర్ గుణకము
23.7 LR వలయంలో శక్తి విలువ
23.8 నిరోధం మరియు కెపాసిటర్‌లు శ్రేణిలో ఉన్న ఏకాంతర విద్యుత్ వలయం
23.9 సారాంశం
23.10 నమూనా ప్రశ్నలు

23.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహాల వివరణ ఉంది. మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

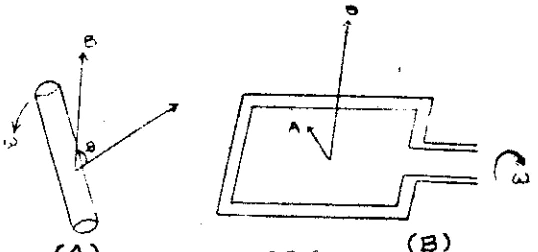
1) ఏ.సి. జనరేటర్ ప్రచాలన సూత్రాన్ని వివరించగలుగుతారు.
2) తక్షణ విద్యుత్ ప్రవాహము ఫలిత విద్యుత్ ప్రవాహాల మధ్య సంబంధాన్ని రాబట్టగలుగుతారు.
3) LR, CR వలయాలలోని శక్తి విలువను లెక్కించగలరు.

23.2 ప్రవేశిక

మీరు ఈ భాగంలో ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహాల గురించి తెలుసుకుంటారు.

23.3 సాధారణ ఎ.సి. జెనరేటర్

ఒక తీగవలయము, ఏకరీతి అయస్కాంత క్షేత్రములో (uniform magnetic field) స్థిరకోణీయవేగంతో (పటం 23.1) భ్రమణం చెందినప్పుడు, వలయంలో ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక



పటము 23.1

BRAOU

బలము (induced emf) హరాత్మక నియమాన్ని పాటిస్తుంది. భ్రమణం ఉచ్చు (rotating loop) యొక్క కోణీయవేగము మరియు ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలముల మధ్యనున్న సంబంధమును పరిశీలిద్దాం. వలయము భ్రమణంలో నున్నప్పుడు ఏ స్థితిలోనైనా దానిగుండా ప్రవహిస్తున్న అయస్కాంత అభివాహము (magnetic flux) ϕ_m క్రింది సమీకరణం తెలుపుతుంది.

$$\phi_m = \vec{B} \cdot \vec{A} \qquad ...(23.1)$$

ఇక్కడ $\vec{B}$ సమ అయస్కాంత క్షేత్ర అభివాహమును మరియు $\vec{A}$ వలయము వైశాల్య సదిశను తెలుపుతాయి. కాబట్టి

$$\phi_m = \vec{B} A \cos \phi \qquad ...(23.2)$$

ఇక్కడ ϕ, $\vec{B}$ మరియు $\vec{A}$ ల మధ్యకోణము.

తక్షణ ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలము ఫారడే నియమము ప్రకారము ఈ క్రింది సమీకరణము తెలుపుతుంది.

$$E = \frac{d\phi_m}{dt}$$

దీనిలో సమీకరణము 23.2 ప్రతిక్షేపించగా

$$E = \frac{d}{dt}(B A \cos \theta) = \frac{d\theta}{dt} B A \sin \theta$$

కోణీయ వేగము $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ కాబట్టి

$$E = B A \omega \text{ Sin } \phi \qquad ...(23.3)$$

ఈ సమీకరణమునుండి $\theta = \pi/2$ అయినప్పుడు గరిష్ఠప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలము E_{max} ఉంటుంది. కాబట్టి

$$\text{కాబట్టి } E_{max} = BA\omega \qquad ...(23.4)$$

మరియు ఏ సమయం దగ్గరయినా వలయంయొక్క దిగ్విన్యాసము (orientation) θ తెలుపు సమీకరణము

$$\theta = \omega\tau + \alpha \qquad ...(23.5)$$

ఇక్కడ $t = 0$ అయినప్పుడు θ విలువను δ తెలుపుతుంది.

సమీకరణము 23.4 మరియు 23.5 లను 23.3 లో ప్రతిక్షేపించగా

$$E = E_{max} \sin (\omega\tau + \alpha) \qquad ...(23.6)$$

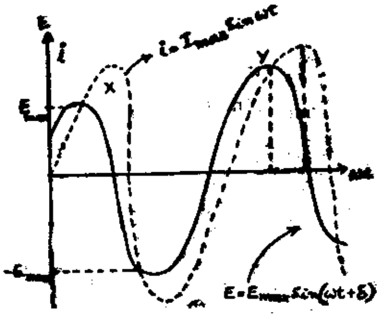
కాబట్టి పైన చెప్పినవిధంగా ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలము హరాత్మక డోలనిలాగా ప్రవర్తిస్తుంది.

23.4 ఏకాంతర విద్యుచ్ఛాలక బలము మరియు విద్యుత్ ప్రవాహముల రేఖాపట సూచన

పటం 23.2 లో $\omega\tau$ ని x నిరూపకముగా E ని y నిరూపకముగా తీసికొని సమీకరణము 23.6 ని సూచించబడింది.

పై పటములో నిలువుగీతలో చూపినట్లుగా తక్షణ విద్యుచ్ఛాలక బలము $\pm E_{max}$ ల మధ్య మారుతుంది. ఇక్కడ E_{max} గరిష్ఠ విద్యుచ్ఛాలక బలము సమీకరణము 23.6లోనున్న δ తొలిదశ కోణాన్ని (Initial phase angle) తెలుపుతుంది. కాబట్టి తొలి E విలువ (t = 0 వద్ద) E_{max} Sin δ అవుతుంది. తరువాత ఏదైనా సమయము వద్ద E యొక్క దశ తక్షణ దశ కోణం $(\omega\tau + \delta)$ ద్వారా

B R A O U



పటము 23.2

తెలుస్తుంది. విద్యుచ్ఛాలక బలం యొక్క ఒక పూర్తి ఏకాంతరీకరణమును (one complete alternation) ఒక ఆవర్తనమంటారు. ఈ ఆవర్తనము T కాలంలో పూర్తి అయితే దీనినే ఆవర్తన కాలము (Time period) అంటారు.

ఏకాంతం విద్యుచ్ఛాలక బలము (సమీకరణము 23.6) వలయంలో విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని కలిగిస్తుంది. ఈ విద్యుత్ ప్రవాహము కూడా హరాత్మకమే కాని విద్యుచ్ఛాలక బలముతో సమానదిశ కలిగి ఉండవలసిన అవసరములేదు. తొలి నియమాలు మరియు వలయ కారకాలు (circuit parameters) తక్షణ విద్యుత్ ప్రవాహము మరియు విద్యుచ్ఛాలక బలమును క్రింది విధముగా వ్రాయడానికి అనుకూలంగా ఉన్నాయనుకొందాము.

$$i = I_{max}\sin(\omega t + \delta_1) \qquad ...(23.7)$$

$$E = E_{max}\sin(\omega t+\delta_2) \qquad ...(23.8)$$

ఇక్కడ δ_1 మరియు δ_2 లు తొలిదశ (initial phase) లను తెలుపుతాయి. విద్యుచ్ఛాలక బలము విద్యుత్ ప్రవాహము కంటే ముందుగా గరిష్టాన్ని చేరితే బలము, ప్రవాహముకంటే ముందు సాగుతోంది అని అంటాము.

ఇక్కడ $\delta = \delta_2 + \delta_1 \qquad ...(23.9)$

విద్యుచ్ఛాలక బలము మరియు విద్యుత్ ప్రవాహాల మధ్యనున్న ఈ సాపేక్ష దశా కోణము (Relative phase angle) ప్రయోగాత్మకంగా చాలా ముఖ్యమైనది. అందువల్ల δ_2 లేదా δ_1 శూన్యం అయ్యేటట్లుగా ఆరంభకాలం శూన్యకాలంగా నిర్ణయించుట ఆనవాయితీ. $\delta_1 = 0$ అయితే, తక్షణ విద్యుత్ ప్రవాహము మరియు విద్యుచ్ఛాలక బలము సమీకరణాలు క్రింది విధంగా మార్చవచ్చు.

$$i(t) = I_{max}\sin\omega t \qquad ...(23.10)$$

$$E(t) = E_{max}\sin(\omega t + \delta) \qquad ...(23.11)$$

విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని సూచించే సమీకరణము 23.10 పటము 23.2 లో ఒంటు వక్రముగా చూపబడింది. సమీకరణాలు 23.10 మరియు 23.11లు సూచించినట్లుగా విద్యుత్ ప్రవాహ వక్రము పటము 23.2, విద్యుచ్ఛాలక బలవక్రముతో δ దశాభేదము కలిగి (రేడియనులలో) వెనక్కి ఉంటుంది.

23.5 ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహము యొక్క ఫలిత లేదా వర్గమధ్యమ మూలకము

ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహము యొక్క గరిష్ట మరియు ఫలిత విలువల మధ్య ఉన్న సంబంధమును లెక్కించుదాం. ఇది సరాసరి ఫలిత ఉష్ణమును (పరికరాల నుపయోగించి కొలువగలిగేది కాబట్టి) లెక్కించడము ద్వారా సాధించవచ్చు. ఏకాంతర (A,C) మరియు ఏకముఖ (D,C) విద్యుత్ ప్రవాహాలు ఒక నిరోధకములో ఒకేకాలంలో ఒకే ఉష్ణాన్ని కలిగించినప్పుడు, ఏకాంతర విద్యుత్ప్రవాహ వర్గమధ్యమ మూలము (root mean square) విలువ ఏకముఖ విద్యుత్ ప్రవాహ

BRAOU

విలువకి సమానమని చెబుతాయి. ఏ సమయంలోనైనా విద్యుత్ ప్రసారమున్న నిరోధములో జనించిన ఉష్ణం రేటు క్రింది సమీకరణము తెలుపుతుంది.

$$\text{జనించిన ఉష్ణము} = i^2R$$

$$\text{దీని సరాసరి విలువ} = \overline{i^2}R = I^2_{eff}R \qquad ...(23.12)$$

$$\text{లేదా } I_{eff} = \sqrt{\overline{i^2}} \qquad ...(23.13)$$

ఇక్కడ ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహ ఫలిత విలువ, పూర్తి ఆవర్తన కాలంలో తక్షణ విద్యుత్ ప్రవాహాల వర్గ మధ్యమ మూలమునకు సమానముగా తీసికొంటారు.

కాబట్టి ఫలిత విద్యుత్ ప్రవాహము వర్గ మధ్యమ మూలమని తరచుగా వాడతారు $\overline{i^2}$ విలువను ఈ క్రింది విధంగా గణించవచ్చు.

$$\overline{i^2} = \frac{\int_0^T i^2\,dt}{\int_0^T dt} \cdot \frac{\int_0^T i^2\,dt}{T} \qquad ...(23.14)$$

వర్గ మధ్యమ మూలాన్ని కనుగొనుటకు ఇందులో సమాకలనము ఒక ఆవర్తన కాలంపాటు చేయడం సరిపడుతుందని గమనించాలి. ఇలాంటి నిర్వచనమే విద్యుచ్ఛాలక బలానికి కూడా వర్తిస్తుంది.

$$\overline{i^2} = \frac{I_{max}^2 \int_0^T \sin^2 \omega t\,dt}{T} \qquad ...(23.15)$$

సర్వసమత (Identity) $\sin^2 \omega t = \frac{1}{2}(1-\cos 2\omega t)$ సమీకరణము 23.15 ల లో ఉపయోగించగా

$$i^2 = \frac{I_{max}^2}{2T}\left(t - \frac{\sin 2\omega t}{2\omega}\right)_0^T = \frac{I_{max}^2}{2T}T$$

$$\text{లేదా } \overline{i^2} = \frac{I^2_{max}}{2}$$

$$\text{ఈ విధంగా } I_{eff} = \sqrt{\overline{i^2}} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 0.707\, I_{max} \qquad ...(23.18)$$

ఇక్కడ ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహ ఫలిత విలువ దాని గరిష్ఠ విలువలో 0.707 భాగముంటుంది.

పై వాదనలన్నింటిని విద్యుచ్ఛాలక బలమునకు అనువర్తించడం వల్ల

$$E_{rms} = 0.707\, E_{max} \qquad ...(23.19)$$

ఇక్కడ E_{rms} విద్యుచ్ఛాలక బల వర్గమధ్యమ మూలము, అమ్మీటరు, వోల్టు మీటరువంటి ఏకాంతర విద్యుత్తును, కొలిచే పరికరాలు, ప్రత్యేకముగా వివరించనంతవరకు, ఫలిత లేదా వర్గ మధ్యమూలము విలువలనే కొలుస్తాయి. ఈ కారణంగా ఫలత విలువలు సాధారణంగా వాడుకలో ఉన్నాయి.

ఉదాహరణ – 1

సమీకరణము $i = 42.42 \sin 314\, t$ ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని తెలుపుతుంది. విద్యుత్ ప్రవాహము యొక్క (a) గరిష్ఠ విలువ (b) పౌనఃపున్యము మరియు (c) వర్గము మధ్యమ మూలములను నిర్ణయించండి.

$i = i_{max} \sin \omega t$ కాబట్టి

(a) $I_{max} = 42.42$

(b) $\omega t = 314\ t; j\omega = 314$ లేదా $2\pi f = 314$

$\therefore f = \frac{314}{2\pi} = 50$ హెర్ట్జ్

(c) $Irms = Imax\ \sqrt{2} = 42.42/\sqrt{2}$ ఆంపియర్లు.

ఉదాహరణ – 2

ఒక దిశలో విద్యుత్ ప్రవాహానికి 10 ఓమ్‌ల నిరోధము దాని వ్యతిరేక దిశలో ప్రవాహాన్ని పూర్తిగా అరికట్టే ఒక పరికరానికి విద్యుత్ పొటెన్షియల్ $E = 200 \sin 628t$ కలిగించబడింది. విద్యుత్ ప్రవాహ వర్గమధ్య మూలము విలువెంత?

ఏకాంతర విద్యుత్ పొటెన్షియల్ ప్రమాణ సమీకరణము

$E = I_{max} \sin \omega t$

దీనిని ఇచ్చిన సమీకరణమును పోల్చి చూడగా

$E_{max} = 200 \quad \omega = 628 \quad R = 10$

$I_{max} = \frac{E_{max}}{R} = \frac{200}{10} = 20$ ఆంపియర్స్

ఒక దిశలో విద్యుత్ ప్రసారము ఉంది కాబట్టి ఆ దిశలో

$I_{rms} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{20}{\sqrt{2}}$ ఆంపియర్స్

ఉదాహరణ – 3

ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహ వోల్టేజ్ 220 వోల్టులయితే దాని గరిష్ఠ విలువెంత ?

ఇక్కడ $Erms = 220$ $E_{rms} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}}$

లేదా $E_{max} = \sqrt{2} E_{rms} = \sqrt{2} \times 220 = 311.1$ వోల్టులు.

23.6 ఏకాంతర విద్యుత్ వలయము యొక్క పవర్ గుణకము (Power factor of an AC Circuit)

వలయంలో, ఏ క్షణంలోనైనా కోల్పోయిన శక్తిరేటు దానిగుండా ప్రవహిస్తున్న విద్యుత్ ప్రవాహము మరియు దాని చివరలు ఉన్న పొటెన్షియల్ తేడాలు లబ్ధమునకు సమానము కాబట్టి

తక్షణం కోల్పోయిన సామర్థ్యము = iV ...(23.20)

కోల్పోయిన సరాసరి సామర్థ్యము $= \overline{iV}$ ...(23.21)

$$= \frac{1}{T}\int_0^T iV\,dt \qquad ...(23.22)$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T I_{max} \sin \omega t\ V_{max} \sin(\omega t + \delta)\,dt \qquad ...(23.23)$$

BRAOU

$$= \frac{I_{max} V_{max}}{T} \int_0^T \sin \omega t \, [\sin \omega t \cos \delta + \cos \omega t \sin \delta] \, dt \qquad ...(23.24)$$

$$= \frac{I_{max} V_{max}}{T} \int_0^T \left[\left(\frac{1-\cos 2\omega t}{2}\right) \cos \delta + \sin \omega t \cos \omega t \sin \delta \right] dt \qquad ...(23.25)$$

$$= \frac{I_{max} V_{max}}{T} \left[\frac{t}{2} \cos \delta - \frac{\sin^2 \omega t \cos \delta}{4\omega} + \frac{\sin^2 \omega t \sin \delta}{2\omega}\right]_0^T \qquad ...(23.26)$$

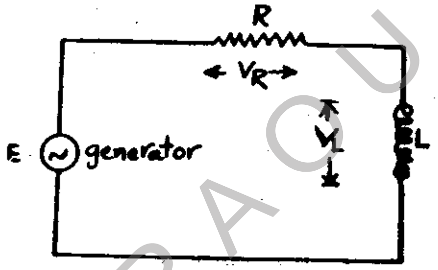
$$= \frac{I_{max} V_{max}}{2} \cos \delta \qquad ...(23.27)$$

$$= VI \cos \delta \qquad ...(23.28)$$

పై సమీకరణము 23.28లో ఉన్న $\cos \delta$ ను పవర్ గణకము అంటారు. కేవలము నిరోధకాలున్న వలయంలో $\delta = 0$ కాబట్టి పవర్ గుణకము ప్రమాణమైతుంది. అపుడు ఫలిత విద్యుత్ ప్రవాహము మరియు వోల్టేజ్‌ల లబ్ధము దాని సామర్థ్యమును తెలుపుతుంది.

23.7 LR వలయంలో శక్తి విలువ

స్వచ్ఛమైన L హెన్రీల ఇండక్టెన్స్ మరియు R ఓమ్‌ల నిరోధము శ్రేణిలో కలుపబడి ఉన్న ఒక వలయం (పటం 23.3) గురించి ఆలోచిద్దాం. ఈ వలయంలో ఏకాంతర వోల్టేజ్ ప్రసారంచేస్తే



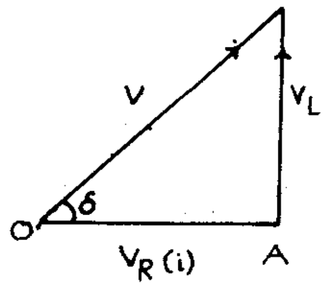
BRAOU

పటం 23.3

నిరోధము మరియు ఇండక్టెన్స్ చివర కలిగిన పొటెన్షియల్ తేడాలు వరుసగా V_r మరియు V_L లు అనుకొందాం. వలయంలో విద్యుత్ ప్రవాహము i అయితే అప్పుడు

$V_r = iR$ (విద్యుత్ ప్రవాహము దిశలోనే)

$V_L = i\omega L$ (90^0 దశాభేదముతో విద్యుత్ ప్రవాహానికి ముందుగా ఉంది) ఈ వోల్టేజ్‌లు సదిశా పటము (23.4) లో చూపబడ్డాయి.



పటము 23.4

V_L, V_R ల మధ్య దశాభేధము 90^0 కాబట్టి $V^2 = V^2{}_L + V^2{}_R$

$$V^2 = (\omega Li)^2 + (Ri)^2$$
$$= i^2 [R^2 + (\omega L)^2]$$

కాబట్టి $V = i\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$

$$i = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_L{}^2}} \qquad ...(20.29)$$

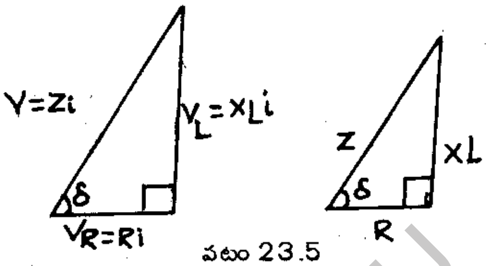
$\sqrt{R^2 + X_L{}^2}$ అను పదము వలయం యొక్క అవరోధము లేదా ఇంపిడెన్స్ అంటారు. దీనిని Z తో సూచిస్తారు. దీనిని ప్రమాణము ఓమ్.

$$z = \sqrt{R^2 + X_L{}^2} \qquad ...(20.30)$$

కాబట్టి సమీకరణము 23.37 క్రింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$i = \frac{V}{Z} \text{ లేదా } V = iZ \qquad ...(23.31)$$

వోల్టేజ్ V, V_L మరియు V_R లకు అనుపాతంగా ఉన్న భుజాలలో నిర్మించబడ్డ త్రిభుజాన్ని వోల్టేజ్ త్రిభుజమంటారు. ఇదేవిధంగా R, X_L మరియు Z లకు అనుపాతంగా నిర్మించబడ్డ త్రిభుజాన్ని



పటం 23.5

అవరోధ త్రిభుజమంటారు. పటము 23.5 ద్వారా సదిశ V, సదిశ i కంటే δ దశాకోణమా ముందుంటుందని తెలుస్తుంది. ఈ కోణము యొక్క కొసైన్ అనగా cos δ ని శక్తి గుణకము లేదా పవర్ గుణకము (Power factor) అందురు.

$$\text{కాబట్టి శక్తిగుణకము} = \cos\delta = \frac{R}{Z} \qquad ...(23.32)$$

R మరియు L శ్రేణిలో ఉన్న వలయంలో సామర్థ్యం

వోల్టేజ్, విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని δ దశాకోణము ముందుందని భావించి వాటిని క్రింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$V = V_{max} \sin \omega t$

$i = I_{max} \sin (\omega t - \delta)$

విద్యుత్ ప్రవాహము మరియు వోల్టేజ్ లబ్ధము సామర్థ్యమునకు సమానమని తెలుసు కాబట్టి

$P = V i$

$= V_{max} \sin \omega t \, I_{max} \sin (\omega t - \delta)$

$= V_{max} I_{max} \sin \omega t \sin (\omega t - \delta)$

$= \frac{1}{2} V_{max} I_{max} [\cos\delta - \cos (2\omega t - \delta)]$

ఇచ్చిన ఒక వలయానికి cos δ స్థిరరాశి కాని cos (2 ωt - δ) మారుతూ ఉండి ఒక ఆవర్తన కాలంలో శూన్యమవుతుంది కాబట్టి.

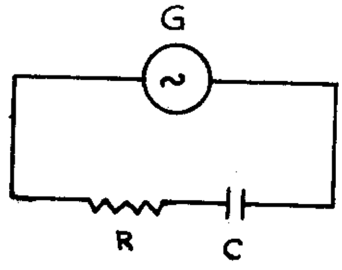
సరాసరి సామర్థ్యము $P_{av} = \frac{1}{2} V_{max} I_{max} \cos\delta$

$$= \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \times \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} Cos\ \delta = V_{rms} I_{rms} \cos\delta \quad ...(23.33)$$

కాబట్టి వలయం యొక్క నిజగుణకము (true factor) వాట్‌లలో రావటానికి విద్యుత్ ప్రవాహ వర్గ మధ్యమ మూలము మరియు వోల్టేజ్‌ల లబ్ధాన్ని ఏ గుణకముతోనైతే హెచ్చువేస్తాయో (cos δ) దానినే వలయ పవర్ గుణకమంటారు.

23.8 నిరోధము మరియు కెపాసిటర్‌లు శ్రేణిలో ఉన్న ఏకాంతర విద్యుత్ వలయం

R మరియు C లు శ్రేణిలో ఉన్న వలయంని పటం 23.6 తెలుపుతుంది. ప్రయోగించిన విద్యుచ్ఛాలక బలం V అని, తక్షణంలో కెపాసిటర్ C పై ఏర్పడిన విద్యుదావేశము e అని అనుకొందాము. నిరోధమువల్ల కలిగిన పొటెన్షియల్ తేడా VR = iR విద్యుత్ ప్రవాహ దశలోనే

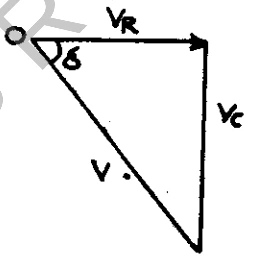


పటం 23.6

ఉంటుంది. కాని కెపాసిటర్ చివరల కలిగిన పొటెన్షియల్ తేడా $V_c = \frac{1}{\omega C}$ విద్యుత్ ప్రవాహములో 90^0 దశాభేధముంటుంది. కెపాసిటర్ ప్రతి నిరోధము (Reactance X_0 ఋణాత్మకమని భావిస్తారు. కాబట్టి వోల్టేజ్ త్రిభుజము పటము (23.7) నుండి.

$$V2 = V_R^2 + V_c^2$$
$$V2 + (iR)^2 + (iX_c)^2$$
$$V = i\sqrt{R^2 + X_c^2}$$

కాబట్టి $V = iZ \quad i = V/Z$



పటము 23.7

ఇక్కడ $Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$ వలయం యొక్క అవరోధము అంటారు. ఈ విధంగా వలయంలో విద్యుత్ ప్రవాహము i, వోల్టేజ్ V తో δ దశాభేధముతో ముందుంటుంది. మరియు వీటిని

$v = V_{max} \sin \omega t), \quad i = I_{max} \sin(\omega t + \delta)$

అని లేదా $i = I_{max} \sin \omega t, \quad V = V_{max} \sin(\omega t - \delta)$

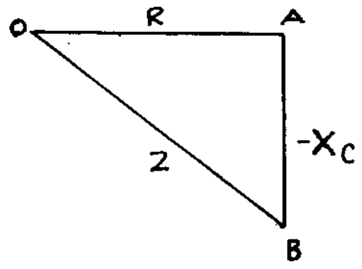
అనైనా సూచిస్తారు.

పటం 23.8 లో అవరోధ త్రిభుజం చూపబడినది.

BRAOU

కోల్పోయిన సామర్థ్యము = P = Vi

మరియు $P = V_{rms} I_{rms} \cos \delta$ ...(23.34)



పటం 23.8

23.9 సారాంశం

ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహంలో, ప్రవాహ ఆవర్తకంగా దిశ ఆవర్తకంగా మారుతూ ఉంటుంది.ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహ ఫలిత విలువ దాని గరిష్ఠ విలువలో 0.707 భాగముంటుంది.

$I_{eff} = 0.707\ I_{max}$

ఏకాంతర విద్యుత్ వలయం యొక్క పవర్ గుణకము $Iv \cos \delta$

23.10 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నకు విశదంగా సమాధానం రాయండి.

1) AC విద్యుత్ ప్రభావం (effective) విలువకు, గరిష్ఠ విలువకుగల సంబంధాన్ని తెలపండి.

II. క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానం రాయండి.

1) సరళ AC జనరేటర్‌ను వర్ణించండి.

2) AC వలయం పవర్ ఫాక్టర్ అనగానేమి ?

3) నిరోధానికి AC వోల్టేజి యొక్క అనువర్తనాన్ని వర్ణించండి.

BRAOU

భాగం – 24 LR వలయంలో విద్యుత్ ప్రవాహాలు

విషయక్రమం

24.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
24.2 ప్రవేశిక
 24.3.1 నిరోధకాలు
 24.3.2 ప్రేరకం
 24.3.3 కెపాసిటెన్స్
24.3 LR వలయంలో ప్రవాహం పెరుగుదల క్షీణత
24.4 CR వలయంలో ప్రవాహవృద్ధి, క్షీణత
24.5 సారాంశం
24.6 నమూనాప్రశ్నలు

24.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో LR, CR వలయాలలో విద్యుత్ ప్రవాహ పెరుగుదల, క్షీణతల గురించిన చర్చ ఉంది.

మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత L, C, R మరియు CR, LR వలయాలలోని విద్యుత్ ప్రవాహ పెరుగుదలను, క్షీణతను వివరించగలుగుతారు.

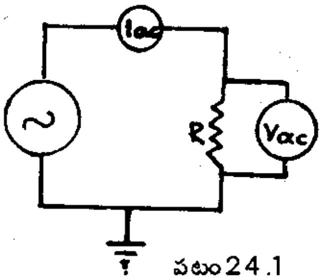
24.2 ప్రవేశిక

BRAOU

ఈ భాగంలో LR, CR వలయాలలో విద్యుత్ ప్రవాహాల పెరుగుదల, క్షీణతల గురించి తెలుసుకుంటారు.

24.3.1 నిరోధకాలు

పటం 24.1లో చూపినట్లు ఏకాంతర వలయంలో నిరోధము విద్యుత్ప్రవాహము, వోల్టేజ్‌ను కొలిచే ఏకాంతర మీటర్‌లు ఉన్నాయనుకొందాము. రెండు మీటర్‌లు ఆదర్శవంతంగా ఉన్నాయనుకొందాం. అంటే విద్యుత్తును కొలిచే మీటరుకు అత్యల్ప నిరోధం ఉందని, వోల్ట్ మీటరు గుండా అత్యల్ప విద్యుత్తు ప్రవహిస్తుందనీ అనుకొందాం. అంతేకాక రెండు మీటర్లు, విద్యుత్ప్రవాహం, వోల్టేజ్‌లకు గల తత్కాల దిశను తెలుపుతాయనుకొందాం.



పటం 24.1

ఈ సరళమైన సందర్భంలో ఏం జరుగుతుందో తెలుసుకోవడానికి వలయ సమీకరణాలను పరీక్షిద్దాం. విద్యుత్ప్రవాహ వలయంలో ఒక బిందువు వద్ద విద్యుత్ప్రవాహాన్ని కింది సమీకరణంచే సూచించవచ్చు.

$$\overline{i(t)} = o$$

అదేవిధంగా వోల్టేజ్‌ను

$$\overline{E(t)} = i(t)\,R \qquad ...(24.1)$$
$$...(24.2)$$

అని రాయవచ్చు.

R స్థిరాంకం కావున ప్రతిక్షణం కాలంతో iలో మార్పు, కాలంతో విద్యుత్ జనకం వోల్టేజ్‌లో మార్పుకు అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. అందువల్ల E(t)ను క్రిందివిధంగా రాయవచ్చు.

$$E(t) = V_0 \cos \omega t$$

V_0 జనకం యొక్క జ్యావక్రీయ విద్యుచ్ఛాలక బలం కనుక

$$i(t)\,R = V_0 \cos \omega t$$

లేదా $i(t) = \frac{V_0}{R} \cos \omega t$

ఈ సమీకరణానికి పరిష్కారం

$$i(t) = I_0 \cos \omega t$$

I_0 జ్యావక్రీయ విద్యుత్ప్రవాహం

$$I_0 \cos \omega t = \frac{V_0}{R} \cos \omega t \qquad ...(24.4)$$

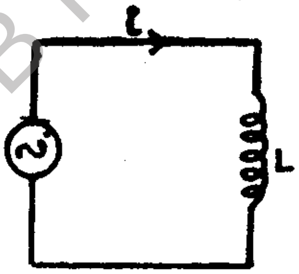
ఈ సమీకరణం నుంచి ఏకాంతర విద్యుత్ప్రవాహం గరిష్ఠ విలువ

$$I_0 = \frac{V_0}{R}$$

పై ఫలితం ఓమ్ సూత్రమే. ఇది ఏకముఖ, ఏకాంతర వోల్టేజ్‌లకు సమానంగా వర్తిస్తుంది. Rను సాధారణంగా నిరోధక ఇంపిడెన్స్ అంటారు.

24.3.2 ప్రేరకం (ఇండక్టర్)

పటం 24.2 లో చూపినట్లు ఏకాంతర వలయంలో ఆదర్శ ప్రేరకము L (నిరోధం శూన్యం) మాత్రమే ఉన్నదనుకొందాం.



పటము 24.2

వలయ సమీకరణం ప్రకారం

$$E + E_L = 0$$

E_L – ప్రేరకంలో ప్రేరిత వోల్టేజ్

ప్రేరిత విద్యుచ్ఛాలక బలం

$$E_L(t) = -L\frac{di}{dt} \text{ వోల్టులు} \qquad ...(24.5)$$

BRAOU

L – ప్రేరకం యొక్క స్వయంప్రేరణం

ప్రేరిత విద్యుచ్చాలక బలం (E_L) వలయంలోని విద్యుత్ప్రవాహాన్ని తగ్గించడానికి ప్రయత్నిస్తుందని సమీ. (24.5)లోని ఋణ గుర్తు సూచిస్తుంది.

కాని $E = V(t) = V_0 \cos \omega t$

$E = -E_L$ కనుక

$$L \frac{di}{dt} = V_0 \cos \omega t$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_0}{L} \cos \omega t \qquad ...(24.6)$$

$\frac{di}{dt}$ – విద్యుత్ప్రవాహ మార్పు రేటు.

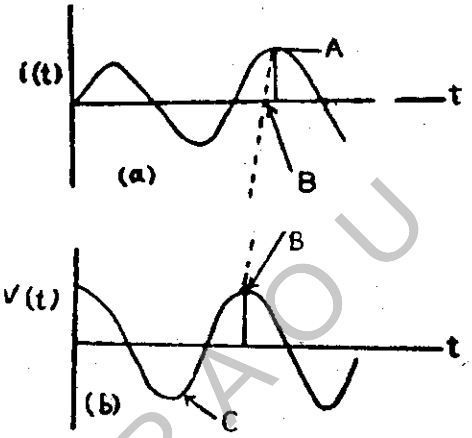
వలయంలో తత్కాల విద్యుత్ప్రవాహం

$$i(t) = \frac{V_0}{\omega L} \int \omega \cos \omega t \, dt$$

$$= \frac{V_0}{\omega L} \sin \omega t$$

$$= i_0 \sin \omega t \qquad ...(24.7)$$

i_0 కాలంతో మారే విద్యుత్ప్రవాహం కంపన పరిమితి.



పటము 24.3 (a) (b)

BRAOU

ప్రేరకంలోని ప్రవాహం ఏకాంతరంగా ఉంటుంది. వోల్టేజ్‌కి 90° లేదా π/2 వెనుకబడి ఉంటుందని పటం 24.3 నుంచి తెలుస్తుంది.

విద్యుత్ప్రవాహం కంపన పరిమితి

$$i_0 = \frac{V_0}{\omega L} = \frac{V_0}{2\pi f L} \qquad ...(24.8)$$

L విలువ మీదనేకాక అనువర్తిత వోల్టేజ్ పౌనఃపున్యం మీద కూడా ఆధారపడుతుంది. పౌనఃపున్యం విలువ పెరిగేకొద్దీ ఏకాంతర ప్రవాహం తగ్గుతుంది.

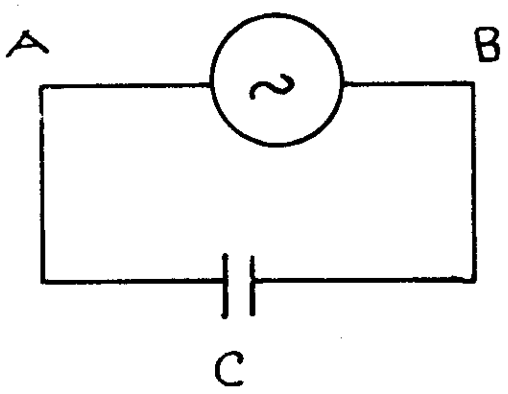
$$i(t) = \frac{V_0}{\omega L} (\cos \omega t - \pi/2) \qquad ...(24.9)$$

సమీ. 24.8 నుంచి నిరోధ ఏకాంతర వలయంలో R వహించే పాత్రను ప్రేరకం ఉన్న వలయంలో ωL వహిస్తుందని తెలుస్తుంది. ωL ను ప్రేరక ప్రతిఘాతం అంటారు.

24.3.3 కెపాసిటెన్స్

C కెపాసిటెన్స్ ఉన్న ఒక కెపాసిటర్ మీద ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని అనువర్తింపజేస్తే (పటం 24.4) కెపాసిటర్ రెండు పలకల మధ్య తత్కాల పొటెన్షియల్ తేడా

$$V(t) = \frac{q(t)}{C} \quad ...(24.10)$$



పటము 24.4

వలయ సమీకరణంలో, కెపాసిటర్ రెండు పలకల మధ్య వోల్టేజ్‌ను కూడా చేర్చాలి. కెపాసిటర్ ఆవేశం శూన్య విలువ నుంచి ఆవేశాన్ని పెంచితే

$$q(t) = \int i\,dt \quad ...(24.11)$$

t సమయంలో వలయ సమీకరణం

$$V(t) + E(t) = 0 \quad ...(24.12)$$

$i = \frac{dq}{dt}$ కనుక సమీ. 24.12ను అవకలనం చేస్తే

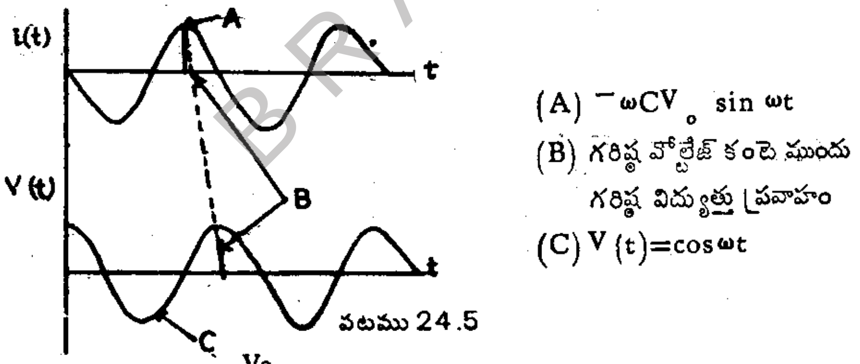
$$-\omega C\ V_0\ \sin \omega t\ dt = dq$$

$$-\omega C\ V_0\ \sin \omega t\ \frac{dt}{dq} = i(t) \quad ...(24.13)$$

విద్యుత్ప్రవాహం $= i_0 \sin \omega t$

$$i_0 = -\omega C\ V_0 \sin \omega t$$

కెపాసిటర్‌లోని విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని, దాని మీది విద్యుచ్ఛాలక బలాన్ని రేఖాచిత్రం (పటం 24.5) ద్వారా చిత్రీకరించవచ్చు. పటం 24.5 నుంచి విద్యుత్ ప్రవాహం ఏకాంతర విద్యుచ్ఛాలక బలంకన్నా 90^0 ముందు ఉంటుందని తెలుస్తుంది.



పటము 24.5

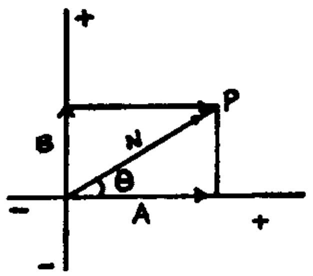
ప్రవాహం కంపన పరిమితి $i_0 = \frac{V_0}{(i/\omega C)}$ ...(24.14)

సమీ. 24.14 ప్రకారం నిరోధ ఏకాంతర వలయంలో R వహించే పాత్రను కెపాసిటర్‌గల ఏకాంతర వలయంలో $\frac{I}{\omega C}$ వహిస్తుందని తెలుస్తుంది. $\frac{I}{\omega C}$ ను కెపాసిటివ్ రీయాక్టెన్స్ అంటారు.

BRAOU

సంక్లిష్ట సంఖ్యలు

సంక్లిష్ట సంఖ్యల నుపయోగించి ఏకాంతర వలయాలను సులభంగా విశ్లేషించవచ్చు. సంక్లిష్ట సంఖ్య అంటే వాస్తవిక (A) కల్పిత (B) సంఖ్యక కూడిక. పటం 24.6లో చూపినట్లు ఈ రెండు సంఖ్యల సదిశ మొత్తం అవుతుంది.



పటము 24.6

వాస్తవిక సంఖ్యను j లేదా $\sqrt{-1}$ చే గుణిస్తే కల్పిత సంఖ్య అవుతుంది. సంక్లిష్ట సంఖ్యను కిందివిధంగా రాయవచ్చు.

$$P = A + jB \qquad ...(24.15)$$

సంక్లిష్ట సంఖ్యను మరోవిధంగా కూడా రాయవచ్చు.

$$P = Ne^{j\theta}$$

దీనిలో $e^{j\theta} = \cos\theta + j\sin\theta$ $\qquad$ ...(24.16)

N వాస్తవిక సంఖ్య. దీనిని మాడ్యులస్ (మధ్యమ గుణకమని) అంటారు. θ కోణం రేడియన్‌లలోఉంటుంది. N, θ లు రెండూ కలిసి సంక్లిష్టతలంలో ఒక సదిశ పరిమాణం, దిశ తెలుపుతాయి. (పటం 24.6).

కోణం θ కాలం ప్రమేయంగా తీసుకొంటే $\theta = \omega t$

సమీకరణం 24.17 ను కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$e^{j\omega t} = \cos\omega t + j\sin\omega t \qquad ...(24.18)$$

$e^{j\omega t}$ స్థిరకోణీయ వేగం ω తో భ్రమించే యూనిట్ సదిశరాశిని సూచిస్తుంది. ఏకాంతర వలయంలో భ్రమించే సదిశరాశిని $e^{j\omega t}$ సూచిస్తుంది. భ్రమించే సదిశ యొక్క వాస్తవిక, కల్పిత అంశాలను వరుసగా రెండు పదాలు $\cos\omega t$, $j\sin\omega t$ తెలుపుతాయి. ప్రతి ఒక్క పదమును జ్యావక్రియ ప్రమేయాలను సూచించడానికి ఉపయోగించవచ్చు.

నిరోధకం

ఏకాంతర వోల్టేజ్ $E(t) = V_0 \cos\omega t$ ను కిందివిధంగా రాయవచ్చు.

$$E(t) = V_0\, e^{j\omega t} \qquad ...(24.19)$$

ఇది ωకోణీయ వేగంతో భ్రమించే సదిశరాశి కంపన పరిమితి V_0 అని తెలుపుతుంది. సమీ. 24.18 ననుసరించి వోల్టేజ్ యొక్క సైన్ ప్రమేయాన్నిగాని, కొసైన్ ప్రమేయాన్నిగాని పొందవచ్చు.

వలయ సమీకరణం

$$i(t)R = V_0\, e^{j\omega t} = V_0(\cos\omega t + j\sin\omega t)$$

$$i(t) = \frac{V_0}{R} e^{j\omega t} = \frac{V_0}{R}\cos\omega t + j\sin\omega t \qquad ...(24.20)$$

నిరోధం యొక్క ఏకాంతర నిరోధక ప్రతిఘాతం వాస్తవ సంఖ్య R అవుతుంది.

ప్రేరకం

సమీ. 24.6 నుంచి ఏకాంతర వోల్టేజ్‌ను సంక్లిష్ట సంఖ్య రూపంలో రాయవచ్చు.

BRAOU

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_0}{L} e^{j\omega t} \qquad ...(24.21)$$

దీనిని సమాకలన రూపంలో రాస్తే

$$\int di = \int \frac{V_0}{L} e^{j\omega t} dt$$

సమాకలనం చేస్తే

$$i(t) = \frac{V_0}{j\omega L} e^{j\omega t} \qquad ...(24.22)$$

సమీ. 24.22 ను నిరోధ ఏకాంతర వలయంతో పోలిస్తే ప్రేరక ప్రతిఘాతం సంక్లిష్టరూపంలో అవుతుంది.

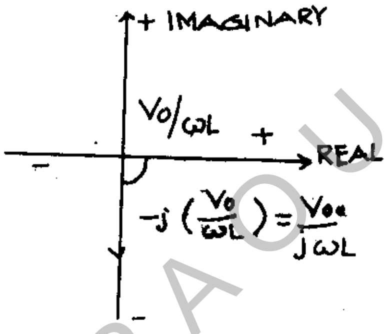
$$X_L = j\omega L \qquad ...(24.23)$$

$\frac{V_0}{j\omega L}$ పదం వాస్తవికం అయితే ప్రేరకంలో ప్రవహించే ప్రవాహం, దాని అనువర్తిత వోల్టేజ్ ఒకే దశలో ఉంటాయి.

$\frac{V_0}{\omega L}$ ను $\frac{1}{j}$ చే గుణించటా

$$\frac{1}{j} = \frac{j}{jj} = \frac{j}{-1} = -1 \qquad ...(24.24)$$

అవుతుంది. ఇది కల్పిత సంఖ్య. $\frac{V_0}{\omega L}$ ను -j చే గుణించడం అంటే సదిశను -90° తిప్పడం అవుతుంది. (పటం 24.7)



BRAOU

పటము 24.7

అంటే విద్యుత్ ప్రవాహం వోల్టేజ్‌కు 90° వెనుకబడి ఉంటుంది. సంక్లిష్టరూపంలో చెప్పినప్పు డు ప్రతిఘాత సదిశను తెలిపే సమాసం దశను గురించి కూడా తెలుపుతుంది.

కెపాసిటర్

సమీ. 24.11 నుంచి ఏకాంతర వలయంలోని కెపాసిటరుకు సమీకరణాన్ని కిందివిధంగా రాయవచ్చు.

$$q(t) = CV_o e^{j\omega t} \qquad ...(24.25)$$

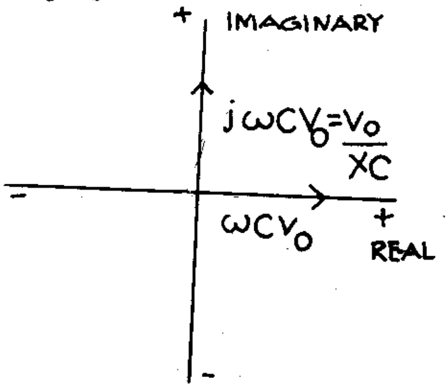
కాలంతో అవకలనం చేస్తే

$$i(t) = \frac{dq}{dt} = j\omega C V_o e^{j\omega t} \qquad ...(24.26)$$

కెపాసిటర్ ప్రతిఘాతానికి సంశ్లిష్ట రూపం $\frac{1}{j\omega C}$ అవుతుంది.

$$X_c = \frac{1}{j\omega C} = \frac{-j}{\omega C} \qquad ...(24.27)$$

సమీ. 24.26 ప్రకారం వాస్తవిక సంఖ్య ωCV_0 ను J తో గుణిస్తే ప్రవాహ సదిశ వస్తుంది. ఈ విధంగా గుణించడం వల్ల పటం 24.8లో చూపినట్లు విద్యుత్ ప్రవాహ సదిశ, వోల్టేజ్‌కు ముందు దిశలో 90° భ్రమిస్తుంది. అంటే వోల్టేజ్‌కు విద్యుత్ ప్రవాహం 90° ముందు ఉంటుంది.



పటము 24.8

R, L, C వేరు వేరుగా ఉన్న సందర్భాలలో ఏకాంతర ఇంపిడెన్స్ ∠ రూపంలో విద్యుత్ ప్రవాహ కంపన పరిమితిని కిందివిధంగా రాయవచ్చు.

$$I_0 = \frac{V_0}{Z} \qquad \ldots(24.28)$$

$Z_R = R$ నిరోధక ఇంపిడెన్స్ —I_0, V_0 లు ఒకేదిశలో ఉంటాయి.

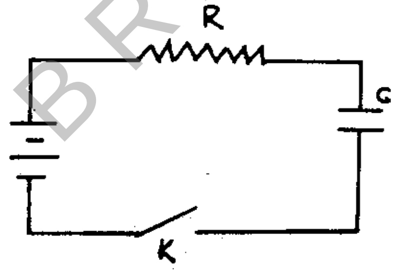
$Z_L = j\omega L = X_L$ ప్రేరక ప్రతిఘాతం, I_0, V_0 90° వెనుకబడి ఉంటుంది.

$Z_C = \frac{1}{j\omega C} = X_c$ కెపాసిటల్ రియాక్టెన్స్ I_0, V_0 కు 90° ముందు ఉంటుంది.

సాధారణంగా పై మూడింటివల్ల ఏకాంతర వలయంలో ఇంపిడెన్స్ ఉంటుంది.

24.4 LR వలయంలో ప్రవాహం పెరుగుదల, క్షీణత

ఒక ప్రేరకం L, నిరోధం R ను శ్రేణిలో మూసి, తెరచే స్విచ్ ద్వారా ఏకాంతర వోల్టేజ్ జనకానికి పటం 24.9 లో చూచినట్లు కలిపామనుకొందాము.



పటము 24.9

స్విచ్‌ని మూసిన వెంటనే వలయంలో ప్రవహించే తక్షణ ప్రవాహం i అయితే తక్షణ వోల్టేజ్

$$V = Ri + L\frac{di}{dt} \qquad \ldots(24.29)$$

అవుతుంది.

వలయం యొక్క తొలి, తుది అవధి విలువలు తెలిస్తే పై అవకలన సమీకరణాన్ని సాధించవచ్చు. ముందుగా వలయంలో ప్రవాహం మార్పు ఎట్లా ఉంటుందో ఊహిద్దాం. స్విచ్ మూసిన వెంటనే, ప్రవాహం శూన్యం కనుక వలయంలోని వోల్టేజ్ ప్రేరకం రెండు చివరలా ఉండాలి. అందువల్ల $\frac{di}{dt}$ కి

తొలి విలువ V/L చాలాకాలం తరువాత ప్రవాహం స్థిరంగా ఉంటుంది. కనుక ప్రేరక వోల్టేజ్ పదం శూన్యమవుతుంది. నిలకడ ప్రవాహం విలువ

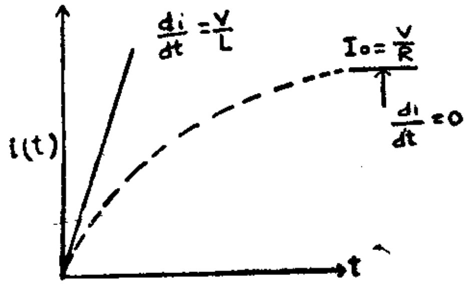
$$I_0 = \frac{V}{R}$$

ప్రారంభంలో పెరుగుతూ ఉన్న ప్రవాహం పటం 25.10 లో చూపినట్లు నిలకడగా ఉంటుంది. పరివర్తన ప్రాంతం వక్రంలో చుక్కలతో చూపిన భాగం గురించి కొన్ని విషయాలు తెలుసుకోవాలి.

వలయంలో విద్యుత్ప్రవాహం శూన్యం నుంచి నిలకడ స్థానంకు ఎక్స్‌పొనెన్షియల్‌గా అంటే

$$i\,(t) = I_0\,(i\text{-}e^{-t/\tau}) \qquad ...(24.30)$$

సమీకరణం ప్రకారం పెరుగుతుందని చూపాలి.



పటము 24.10

τ ను వలయంతో ప్రేరకం కాల స్థిరాంకం అంటారు.

సమీ. 24.29ను కిందివిధంగా రాయవచ్చు.

$$\frac{-R\,di}{V-Ri} = \frac{-R}{L}\,dt$$

పై సమీకరణాన్ని సమాకలనం చేస్తే

$$\log\,(V-Ri) = \frac{-Rt}{L} + c$$

C స్థిరాంకం t = o అయినప్పుడు i = o అవుతుంది.

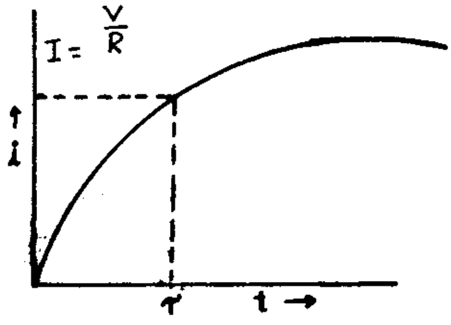
అప్పుడు $c = \log V_0$

$$V - Ri = Ve^{-(R/L)\,t} \qquad ....(24.31)$$

విద్యుత్ ప్రవాహం $i = \frac{V}{R}\,((1-e^{-(R/L)t})$ ...(24.32)

$$= i_0\left(1-e^{(-R/L)t}\right)$$

కాలానికి, ప్రవాహానికి ఒక గ్రాఫ్ గీస్తే పటం 24.11లో చూపినట్లు ఉంటుంది. వలయంలో విద్యుత్ ప్రవాహం R/L విలువ లేదా వ్యుత్క్రమ రాశి $\frac{L}{R} = T$ మీద ఆధారపడి ఉంటుంది.



పటము 24.11

సమీ. 24.32లో T విలువరాస్తే

$$i = I_o = (1-e^{-t/\tau})$$

అవుతుంది. క్షణిక విద్యుత్ ప్రవాహం, నిలకడ విద్యుత్ ప్రవాహంలో $\left(1-\frac{i}{e}\right)$ లేదా 0.632 కావడానికి పట్టేకాలం τ

BRAOU

$t = \tau$ అయితే

$$i = I_0 \left(1 - \frac{1}{e}\right) = I_0 (1 - 0.368)$$

$$= 0.632\, I_0 \qquad ...(24.34)$$

ఇతర భౌతిక స్థితులలో సమీకరణాలు $V = Ri + L\frac{di}{dt}$ ను పోలి ఉంటాయి. కనుక వాటి పరిష్కారాలు సమీ. 24.32 రూపంలో ఉంటాయి. వాటిలో చరరాశి ఎక్స్‌పొనెన్షియల్‌గా పెరుగుతూ నిలకడ విలువను చేరుతుందని గుర్తించవచ్చు. అప్పుడు అవకలన సమీకరణం పరిష్కారంలో వరుసగా వేసే అంచెలు (Steps) వదలివేయవచ్చు. ఎక్స్‌పొనెన్షియల్ రూపంలో పరిష్కారాన్ని రాసి, అవసరమైన స్థిరరాశులను గణించాలి. ఈ పద్ధతిని కింది సమీకరణం ఉపయోగించి వివరించవచ్చు.

$$i(t) = Io\,(1 - e^{-t/\tau}) \qquad ...(24.35)$$

సమీ. 24.35ను అవకలనం చేస్తే

$$\frac{di}{dt} = \frac{I_0}{\tau} e^{-t/\tau}$$

$t = o$ అయినప్పుడు $e^{-t/\tau} = 1$

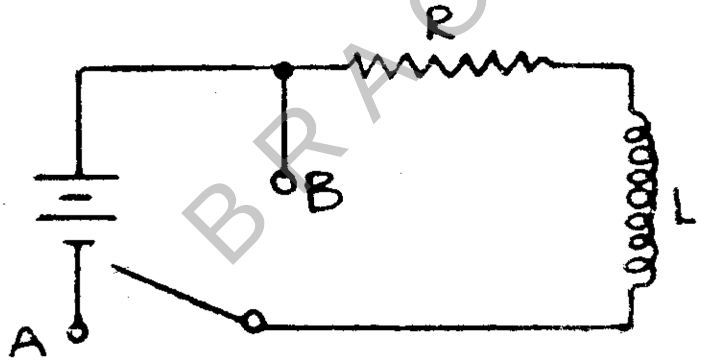
$$\therefore \left(\frac{di}{dt}\right)_0 = \frac{i_0}{\tau}$$

విద్యుత్ ప్రవాహ వక్రం వాలు V/L కు సమానమని మనకు తెలుసు కనుక

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_0 = \frac{I_0}{\tau} = \frac{V}{L} = \frac{V}{R\tau} \qquad ...(24.36)$$

$$\therefore \text{ప్రేరణ కాల స్థిరాంకం } \tau = \frac{L}{R} \qquad ...(24.37)$$

పైన వివరించిన LR వలయంలో స్విచ్‌ను A నుంచి B కి మార్చి (పటం 24.12) అనువర్తిత వోల్టేజ్‌ను V నుంచి సున్నకు హఠాత్తుగా తగ్గించినామనుకొందాం. అప్పుడు



BRAOU

పటము 24.12

వలయంలో బాటరీ ఉండదు. కాని విద్యుత్ ప్రవాహం ఎక్స్‌పొనెన్షియల్‌గానున్న విలువకు తగ్గేంతవరకు ప్రవహిస్తుంది. స్విచ్‌ను మార్చినప్పుడు $t = o$ అనుకొందాం. అప్పుడు వలయం సమీకరణం

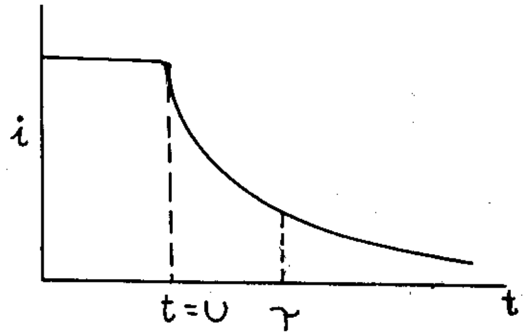
$$Ri - L\frac{di}{dt} = O \qquad ...(24.38)$$

అవుతుంది. చరరాశులను వేరుచేయడం వల్ల ఈ సమస్యను పరిష్కరించవచ్చు. లేదా ఊహించిన ఎక్స్‌పొనెన్షియల్ పరిష్కారానికి నేమాంత విలువలను అనువర్తించి నేరుగా పరిష్కారం రాయవచ్చు. ఈ సందర్భంలో $t = o$ అయితే $I_0 = V - Ri$ (ప్రవాహం నిలకడగా ఉన్నప్పుడు ప్రేరకం చివరల వోల్టేజ్ లేదు కనుక)

చాలాకాలం తరువాత ప్రవాహం సున్న విలువను చేరుతుంది. కనుక సమీ. 24.38కు పరిష్కారం కింది రూపంలో ఉంటుంది.

$$i(t) = I_0 e^{-t/\tau} = \frac{V}{R} e^{-t/\tau} \qquad ...(24.39)$$

τ కు L/R విలువే ఉంటుందని చూపవచ్చు. కాలానికి విద్యుత్ ప్రవాహానికి గ్రాఫ్ గీస్తే పటం 24.13లు చూపిన విధంగా ఉంటుంది.

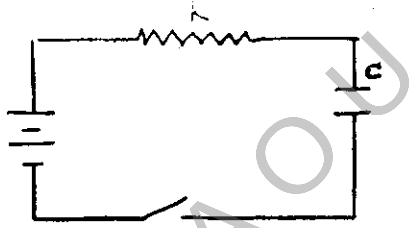


పటము 24.13

క్షణికప్రవాహం, తొలి నిలకడ ప్రవాహంలో $\frac{i}{e}$ వంతు తగ్గడానికి పట్టేకాలం τ

24.5 CR వలయంలో ప్రవాహవృద్ధి, క్షీణత

CR వలయాన్ని పటం 24.14లో చూపినాము.



పటము 24.14

స్విచ్‌ను మూసినప్పు డు వలయం సమీకరణం

$$V_0 = R\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} \qquad ...(24.40)$$

ప్రవాహానికి $\frac{dq}{dt}$ ఉపయోగిస్తే చరరాశులు q, t అవుతాయి. ఇక్కడ కెపాసిటర్ మీద ఆవేశం q.

t = o అయినప్పు డు q = o. చాలాకాలం తర్వాత, కెపాసిటర్‌కు ప్రవహించే ఆవేశం ఆగిపోయినప్పు డు

$$CV_0 = Q_0 \qquad ...(24.41)$$

సమీ. 24.41 కు పరిష్కారం కిందిరూపంలో ఉండేట్లు ఊహించవచ్చు.

$$q(t) = Q_0 (1 - e^{-t/\tau}) \qquad ...(24.42)$$

ఈ సమీకరణం తెలిపే ప్రమేయంలోని q కు t = o t = 0 వద్ద సరైన విలువలు ఉన్నాయి. ఈ ప్రమేయం ఆకారం పటం 24.16తో చుక్కల వక్రంతో చూపబడింది. సమీ. 24.42ను దాని అవకలనం $\frac{dq}{dt}$ను వలయ సమీకరణం 24.40లో ప్రతిక్షేపిస్తే

$$V_0 = \frac{R}{T} Q_0\, e^{-t/\tau} + \frac{q_0}{C}(1 - e^{-t/\tau}) \qquad ...(24.43)$$

BRAOU

$t = 0$ అయినప్పుడు

$$V_0 = \frac{RQ_0}{\tau}$$

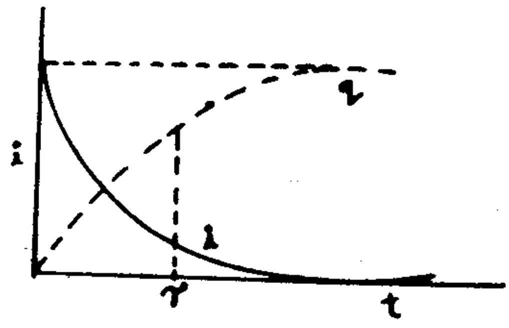
సమీ. 24.41 ను ఉపయోగిస్తే

$$\tau = RC \qquad ...(24.44)$$

స్థిరరాశి τ గణించడం వల్ల సమీకరణం24.40 లేదా సమీ. 24.43 అన్నికాలాలకూ సరిపోతుంది. దీనినుంచి సమీ. 24.42 కచ్చితంగా కావలసిన పరిష్కారమని తెలుస్తుంది. సమీ. 24.42 ను అవకలనం చేయడంవల్ల క్షణిక విద్యుత్ ప్రవాహానికి సమాసాన్ని రాబట్టవచ్చు.

$$\frac{dq}{dt} = i = \frac{Q_0}{RC} e^{-t/\tau} = \frac{V}{R} e^{-t/\tau} \qquad ...(24.45)$$

ప్రవాహ క్షీణతను తెలిపే వక్రం పటం 24.15 లో గీతతో చూపినట్లు ఉంటుంది.

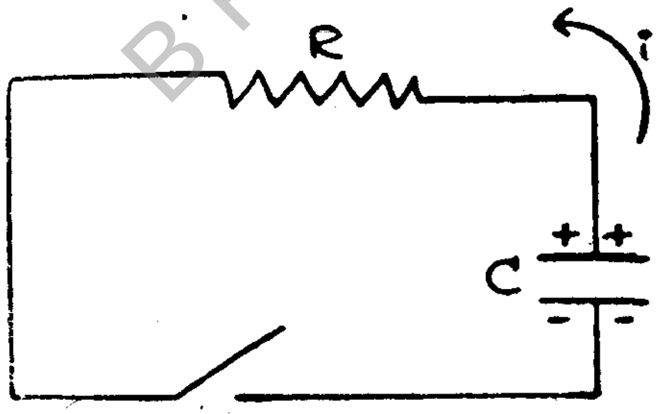


పటము 24.15

చివరగా పటం 24.16లో చూపినట్లు కెపాసిటర్‌ను ఉత్సర్గ పరచే సందర్భాన్ని గురించి తెలుసుకొందాము స్విచ్‌ను తెరచినప్పుడు ఆవేశపూరితమైన కెపాసిటర్ ఉత్సర్గమవుతుంది. ఆవేశపూరిత కెపాసిటర్ పలకల మధ్య వోల్టేజ్ $V_0 = Q_0/C$ వలయం సమీకరణం కిందివిధంగా రాయవచ్చు.

$$\frac{Q}{C} + R\frac{dq}{dt} = 0$$

B R A O U



పటము 24.16

$$q = Q_0 e^{-t/CR} \qquad ...(24.48)$$

దీనిని అవకలన సమీకరణానికి పరిష్కారమని చూపవచ్చు.

 విద్యుత్ ప్రవాహానికి సమీకరణం

$$i = -\frac{dq}{dt} = \frac{Q_0}{RC} e^{-t/RC}$$

$$= \frac{V_0}{R} e^{-t/\tau}$$

ఈ ఫలితం సమీకరణం 24.39తో సర్వసమంగా ఉంది. కాని విద్యుత్ ప్రవాహం కెపాసిటర్‌ను ఉత్సర్గపరచే దిశలో ప్రవహిస్తుంది. ముందు సందర్భంలో విద్యుత్ ప్రవాహం కెపాసిటర్‌ను ఆవేశపరచే దిశలో ఉంది.

24.6 సారాంశం

నిరోధకం, ప్రేరకం కెపాసిటెన్స్‌లకు ఏకాంత వోల్టేజ్ అనువర్తించబడింది. ప్రేరకంగుండా ప్రవహించే ప్రవాహం ఏకాంతరంగాను, వోల్టేజి 90° లేదా π/2 వెనుకబడి ఉంటుంది. కెపాసిటెన్స్‌గుండా ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహం ఏకాంతర విద్యుచ్ఛాలక బలంకన్న 90° ముందు ఉంటుంది. నిరోధకంలోని విద్యుత్ ప్రవాహం జ్యావక్రంగాను అనువర్తి వోల్టేజి దశలోను ఉంటుంది.

24.7 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానం రాయండి.

1) LR వలయంలో విద్యుత్తు పెరుగుదల, క్షయాన్ని చర్చించండి.

2) LR వలయంలో ప్రోగుపడే శక్తికి సంబంధించిన సమాసాన్ని రాబట్టండి.

II. క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానం రాయండి.

1) కెపాసిటర్ 'C' లో తత్కాల వోల్టేజిని రేఖాత్మకంగా వివరించండి.

2) CR వలయాల్లో విద్యుత్ పెరుగుదల చర్చించండి.

BRAOU

భాగం – 25 LCR వలయాల్లో క్షణిక అనుక్రియ

విషయక్రమం

25.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
25.2 ప్రవేశిక
25.3 LCR వలయాలు
25.4 సారాంశం
25.5 నమూనా ప్రశ్నలు

25.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

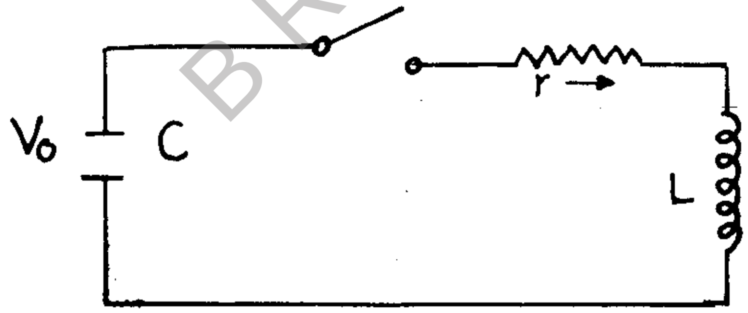
ఈ భాగంలో LCR వలయాల్లో క్షణిక అనుక్రియ వివరణ ఉంది. మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత L C R వలయానికి సరళ లఘులోలకంతో పోల్చగలరు.

25.2 ప్రవేశిక

మీరు ఈ భాగంలో LCR వలయాల గురించి చదువుతారు.

25.3 LCR ల వలయాలు

ఈ పాఠంలో శ్రేణి LCR వలయం యొక్క క్షణిక అనుక్రియను గురించి తెలుసుకొందాం. LCR వలయానికి, అవరుద్ధ యాంత్రిక డోలకానికి సాదృశ్యం ఉంది. ఒక లఘులోలకాన్ని, దాని నిశ్చలస్థానం నుంచి పక్కకులాగి వదలినప్పుడు, ఘర్షణ పరిమాణం, అవరోధంను అనుసరించి లఘులోలకం ముందు, వెనుకకు క్రమంగా తగ్గే కంపన పరిమితితో డోలనాలు చేస్తుంది. లేదా నిశ్చలస్థానంవైపు కదులుతుంది. మనం ఇక్కడ విద్యుత్ సాదృశ్యాన్ని గురించి తెలుసుకొందాం.



పటము 25.1

పటం 25.1లో చూపినట్లు ఇండక్టెన్స్ (ప్రేరకం) L, కెపాసిటర్ C,నిరోధకము R ఉన్న వలయానికి ఒక స్థిర విద్యుచ్చాలక బలం V ప్రయోగించామనుకొందాం. వలయాన్ని మూసి కెపాసిటర్‌ను ఆవేశపరచామనుకొందాం. కెపాసిటర్ మీది ఆవేశం q వల్ల దాని పలకల మధ్య వోల్టేజ్

$$V_o = \frac{q_o}{c} \qquad ...(25.1)$$

$t = 0$ వద్ద స్విచ్‌ను మూసినప్పుడు ఆవేశం q వలయంలోని ప్రేరకం, నిరోధకం ద్వారా వ్యర్థమవుతుంది. సవ్యదిశలోని ప్రవాహాన్ని ధనప్రవాహంగా తీసుకొందాం. ధన విద్యుత్ ప్రవాహం వల్ల కెపాసిటర్ మీది ఆవేశం తగ్గుతుంది కనుక

$$i(t) = -\frac{dq}{dt} \qquad ...(25.2)$$

ప్రవాహం కాలంతో మారుతుంది కనుక i (t) గా రాసినాము. కెపాసిటర్ పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడాకూడా కాలంతో మారుతుంది.

$$\therefore \; V_c(t) = \frac{q(t)}{C} \qquad ...(25.3)$$

సమీకరణం 25.3 ను అవకలనంచేసి సమీ. 25.2 నుంచి ప్రతిక్షేపిస్తే V_c కాలంతో మారే రేటును కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$\frac{dV_c}{dt} = \frac{1}{C}\frac{dq}{dt} = -\frac{1}{C}\, i\,(t) \qquad ...(25.4)$$

వలయ సమీకరణం ప్రకారం

$$V_c(t) - L\frac{di}{dt} = i(t)\,R \qquad ...(25.5)$$

స్విచ్‌ను మూసినప్పుడు ప్రవాహం శూన్యంగా ఉండి తరువాత పెరుగుతుంది కనుక $\frac{Ldi}{dt}$ సంజ్ఞను సరిగా ఎన్నుకోవడం జరిగింది. $\frac{di}{dt}$ మొదట ధనాత్మకం. ఫారడే ప్రేరణ నియమంవల్ల ప్రేరకంలో ప్రేరేపితమైన విలోమ విద్యుచ్చాలక బలం $\frac{di}{dt}$ ని తగ్గించడానికి ప్రయత్నిస్తుంది.

సమీకరణం 25.4 ను, దాని అవకలనాన్ని సమీకరణం 25.5లో ప్రతిక్షేపిస్తే,

$$\frac{dt^2 V_c}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{dV_c}{dt} + \frac{1}{Lc}V_c = 0 \qquad ...(25.6)$$

అవుతుంది.

ఇది అవకలన సమీకరణము. దీని పరిష్కారానికి కెపాసిటర్ పలకల మధ్య వోల్టేజ్ V_c కు కాలంతో ప్రమేయంగా ఒక సమాసాన్ని ఊహించాలి. దానికి అవరుద్ధ డోలాయమానంగా ఊహించి ఆ పదాన్ని సంశ్లిష్ట సంఖ్యగా వ్రాస్తే సమీకరణం 25.6ను సులభంగా సూక్ష్మీకరించవచ్చును కనుక పరిష్కారాన్ని కిందివిధంగా రాయవచ్చు.

$$Vc(t) = Vo\, e^{-\alpha t} e^{J\omega t} \qquad ...(25.7)$$

దీనిలో స్థిరరాశులు α, ω లు వాస్తవిక సంఖ్యలు సమీకరణం 25.7 తెలిపే పరిష్కారం అవకలన సమీకరణాన్ని తృప్తి పరచేటట్లు స్థిరరాశుల విలువలు కనుక్కోవాలి.

$t = 0$ అయినపుడు $V_c(t) = V_0$ అవుతుంది. ఇది మనం ప్రారంభించినప్పుడి స్థితి చాలాకాలం తరువాత మొదటి పదం $V_0 e^{-\alpha t}$ శూన్యమవుతుంది. అప్పుడు $Ve = O$. మనం దీనిని ఎక్స్‌పొనెన్షియల్ అవరోధ పదంగా ఊహించాము.

రెండవ పదం సంశ్లిష్ట సంఖ్య రూపంలో తెలిపిన జ్యావక్రీయ పదం సమీకరణం 25.7 ను తిరిగిరాస్తే.

$$Vc(t) = V_o\, e^{(j\omega-\alpha)t}{}_o$$

$$\frac{dV_c}{dt} = (j\omega - \alpha)\; Vo\, e^{(j\omega-\alpha)t}$$

$$\frac{d^2 V_c}{dt^2} = (j\omega - \alpha)^2\; V_o\; e^{(j\omega-\alpha)t}$$

ఈ విలువను సమీకరణం 25.6 లో ప్రతిక్షేపించి సూక్ష్మీకరిస్తే

$$-\omega^2 - 2j\omega\alpha + \alpha^2 + \frac{R}{L}(j\omega - \alpha) + \frac{1}{LC} = 0$$

BRAOU

ఈ సమీకరణంలో వాస్తవిక, కల్పిత పదాలు రెండూ ఉన్నాయి. కాని వాస్తవిక, కల్పిత పదాలు రెండూ శూన్యమయినప్పు డే సశ్లిష్ట సంఖ్య శూన్యమవుతుంది. అందువల్ల పై సమీకరణంలో వాస్తవిక, కల్పిత పదాలను వేరుచేస్తే,

కల్పిత భాగం

$$-2j\omega\alpha + \frac{R}{L} j\omega = 0 \text{ అవుతుంది.}$$

$$\text{లేదా } \alpha = \frac{R}{2L}$$

వాస్తవిక భాగం

$$-\omega^2 + \alpha^2 - \frac{R}{L}\alpha + \frac{1}{LC} = 0$$

α బదులుగా $\frac{R}{2L}$ రాస్తే

$$\omega^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}$$

ఈ L, ω విలువలు ఊహించిన పరిష్కారం అవకలన సమీకరణాన్ని తృప్తిపరచేట్లు చేస్తాయి.

మనం ఇప్పు డు LCR వలయం సందిగ్ధ అవరోధం చెందడానికి నియమాన్ని తెలుసుకొందాం. డోలాయమాన చలనానికి ω వాస్తవికంగా ఉండాలి కనుక $\frac{1}{LC} > \frac{R^2}{4L^2}$ అయినప్పుడు మాత్రమే డోలనాలు సంభవిస్తాయి.

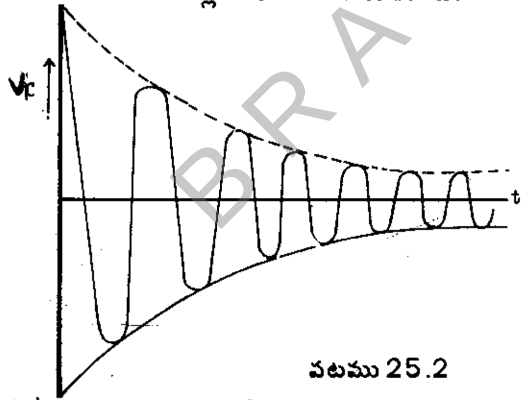
సమీకరణం 25.7 లో ω కల్పితం అయితే $e^{j\omega t}$ లు ఘాతాంకం వాస్తవికం ఋణాత్మకం అవుతుంది. అందువల్ల ఆ పదం అవరోధ పదం అవుతుంది.

$\frac{1}{LC}$ విలువ $\frac{R^2}{4L^2}$ కన్న ఎక్కువగా ఉంటే వోల్టేజ్ డోలనాలు చేస్తుంది.

$$V_c(t) = V_0 e^{-Rt/2L} e^{j\omega t}$$

$$\text{ఇక్కడ } \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

వోల్టేజ్ పటం 25.2 లు చూపినట్లు కాలంతో మారుతుంది.



B R A O U

పటము 25.2

1/LC తో పోల్చినప్పు డు నిరోధం చాలా స్వల్పమైనప్పు డు, పరిష్కారం $V_c(t) = V_0 e^{j\omega_0 t}$ అవుతుంది. ఇక్కడ $\omega_0 = \frac{1}{LC}$ ఇప్పు డు వలయం అవరోధం లేకుండా ω_0 అనునాద పౌనఃపున్యంతో డోలనాలు చేస్తుంది. నిరోధం డోలనాలను అపవర్తనం చేసి పౌనఃపున్యాన్ని తక్కువ విలువలకు తగ్గించడానికి ప్రయత్నిస్తుంది.

1) $\frac{1}{LC} = \frac{R^2}{4L^2}$ అయితే $\omega = 0$ అవుతుంది. అప్పు డు వలయం కింది సమీకరణం ప్రకారం సందిగ్ధావరోధితం అవుతుంది.

$$V_c(t) = V_0 e^{-Rt/2L}$$

2) $\frac{R^2}{4L^2} > \frac{1}{LC}$ అయితే

ω కల్పిత రాశి ω^1 అవుతుంది.

$$\omega^1 = j\left(\frac{R}{4L^2} - \frac{1}{LC}\right) = j\sqrt{A}$$

ఇక్కడ A వాస్తవిక ధన సంఖ్య. ఇప్పుడు వోల్టేజ్ సమీకరణం

$V_c(t) = V_o e^{-(\alpha - j\omega)t}$ అవుతుంది.

$$= V_o e^{(\alpha + \sqrt{A})}$$

$$Vo \exp -\left(\frac{R}{2L} + \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{C}}\right)t$$

నిరోధక పదంతో పోల్చినప్పుడు $\frac{1}{LC}$ విలువ చాలా స్వల్పమైతే పరిష్కారం కిందివిధంగా ఉంటుంది.

$$V_c(t) = V_o e^{-Rt\,2L}$$

25.4 సారాంశం

LCR వలయం అఘులోలకంతో పోల్చబడింది.

25.5 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానం రాయండి.

1) సమాంతర LCR వలయాలను శ్రేణీ అనువాద వలయాను గూర్చి రాయండి.

2) శ్రేణీ అనువాద LCR వలయం గుణకాన్ని తెలిపే సమాసాన్ని రాబట్టండి.

II. క్రింది వానిపై వ్యాఖ్యలు రాయండి.

1) సమాంతర LCRవలయం

2) శ్రేణీ అనువాద వలయం

BRAOU

భాగం – 26 శ్రేణీ, సమాంతర అనునాద వలయాలు

విషయక్రమం

26.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
26.2 ప్రవేశిక
26.3 LCR శ్రేణి వలయం
26.4 శ్రేణి అనునాద వలయం
26.5 LCR శ్రేణి అనునాద వలయం Q గుణకం.
26.6 సమాంతర LCR వలయం
26.7 సమాంతర అనునాద వలయం
26.8 సారాంశం

26.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో LCR శ్రేణి వలయం, శ్రేణి అనునాద వలయం, సమాంతర LCR వలయం, సమాంతర అనునాద వలయాల వివరణ ఉంది.

మీరు ఈభాగం చదివిన తరువాత

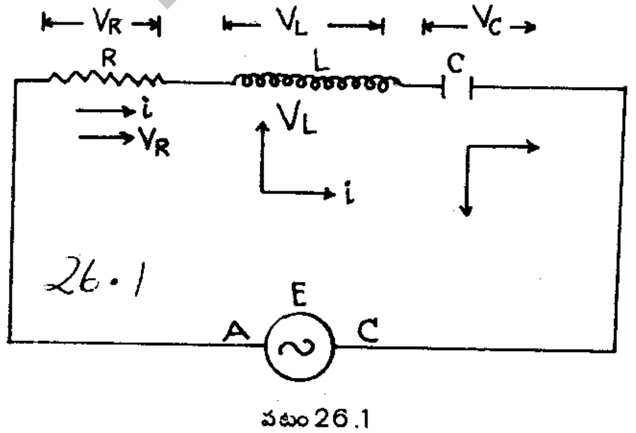
శ్రేణి అనునాద LCR వలయం Q గుణకాన్ని తెలిపే సమీకరణాన్ని రాబట్ట గలుగుతారు.

26.2 ప్రవేశిక

ఈభాగంలో శ్రేణీ, సమాంతర అనునాద వలయాల చర్చ ఉంది.

26.3 LCR శ్రేణి వలయం

ఇంతవరకు R,L మరియు C మూలకాలు వేరువగా ఉన్న వలయాలలో ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహము – వోల్టేజిల మధ్య సంబంధము గురించి ఆలోచించినాము. ఒక్కొక్క మూలకం చివరల



పటం 26.1

B R A O U

ఏకాంతర వోల్టేజి కలిగిస్తే ప్రతిదానిలో ఏకాంతర విద్యుత్తు ప్రవహిస్తుంది. కాకపోతే మూలకాన్ని బట్టి దానిలో ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహము దశ, ప్రయోగించిన ఏకాంతర వోల్టేజ్ దశలో సమానంగా (R) లేదా 90° వెనకబడి (L) లేదా 90° ముందు (C) గా ఉంటుంది. ఇప్పుడు భ్రమణంలో ఉన్న సదిశా కంపన పరిమితులను సాధారణ LCR శ్రేణి వలయ సమస్యకు అనువర్తింప చేద్దాం.

విద్యుత్ ప్రవాహ - అవిచ్ఛిన్న సమీకరణము (Current continuity equation) $\Sigma i = 0$ శాఖలు లేని శ్రేణి వలయానికి అనువర్తిస్తే, వలయంలో ప్రతి బిందువు వద్ద విద్యుత్ ప్రవాహము సమానమని తెలుస్తుంది. ఉదాహరణకి పటములో చూపిన బిందువు వద్ద కుడివైపు మరియు ఎడమవైపు ప్రవహించు విద్యుత్ ప్రవాహాలు సమానము. ఈ సూత్రము వలయంలోని B మరియు C ల వంటి ఏ బిందువుకైనా వర్తిస్తుంది.

ఈవిధంగా ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహము వలయంలో ప్రతిచోట ఒకే కంపన పరిమితి మరియు దశ కలిగి ఉంటుంది. కాబట్టి విద్యత్ ప్రవాహాన్ని కింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$i = I_0 \cos \omega t \quad ...(26.1)$$

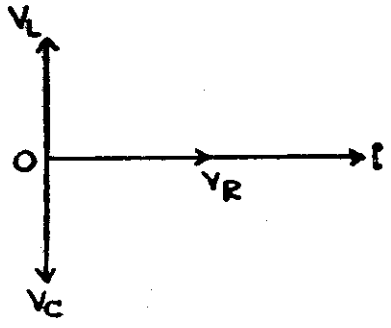
లేదా $$i = I_0 e^{j\omega t} \quad ...(26.2)$$

కాని విద్యుత్ ప్రవాహము ప్రతిచోట ఒకటే అయి మరియు ప్రత్యేక మూలకం యొక్క దశ మరియు కంపన పరిమితుల మధ్య సంబంధము నిలిచి ఉండాలంటే ఏకాంతర వోల్టేజ్ సదిశలు ఒక్కొక్క మూలకానికి వేరు వేరు కంపన పరిమితులను మరియు దశలను కలిగి ఉండాలి. ఇంతేగాక, ప్రతిమూలకం అడ్డంగా ఉన్న తక్షణ వోల్టేజ్‌ల మొత్తము జనరేటర్ వోల్టేజ్‌తో సమానం కావాలి. ఇది కెపాసిటర్ అడ్డంగా ఏర్పడిన వోల్టేజ్ మార్పుతో ... రెండవ వలయ సమీకరణాన్ని తృప్తి పరుస్తుంది.

$$\Sigma E = \quad i R + \Sigma \frac{Q}{C} \quad ...(26.3)$$

ఎడమ పక్క పదంలో ఇండక్టన్స్ ఫలితము కూడా లకిని ఉంది. అనగా K లో జెనరేటర్ పొటెన్షియల్ మాత్రమే కాకుండా $L\frac{di}{dt}$ పదం కూడా కలిసి ఉంది.

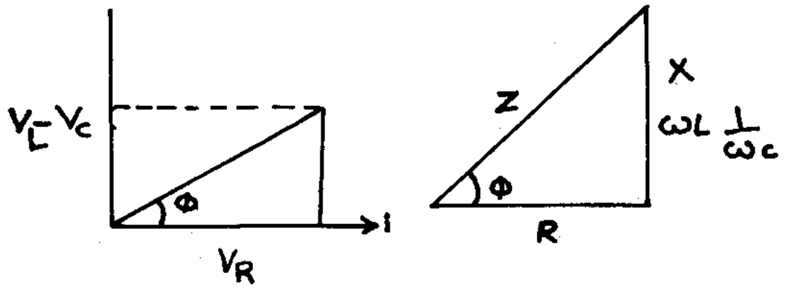
ప్రతిమూలకం చిప ..ల వోల్టేజ్ జ్యావక్రీయం (sinusoidal) ... ు ఒకే పౌనఃపున్యము (freequency) కలిగి ఉండడము వల్ల, ప్రతి వోల్టేజి అదే పౌనఃపున్యము కలిగి భ్రమణంలో ఉన్న సదిశ కంపన పరిమితిలో సూచిస్తారు. ఈవిధంగా ప్రతి వోల్టేజ్ సదిశ యొక్క సాపేక్ష దిశ, కంపన పరిమితులను కనుగొని మరియు సదిశల మొత్తము వోల్టేజ్ మూల దశ మరియు వోల్టేజ్‌లతో సమానం చేస్తే వలయ సమీకరణము ప్రతిక్షణంలో తృప్తి చెందుతుంది. విద్యుత్ ప్రవాహ సదిశ మూల్యాలు దశలో బేధం లేనంత కాలం ఒకే సమయంలో V_R, V_L మరియు V_C ల సాపేక్ష దశలు ఈ పటాల భ్రమణం ద్వారా కనుగొనవచ్చు. వోల్టేజ్ సదిశల ఫలిత దిశ మరియు విద్యుత్ ప్రవాహ సదిశ I పటము 26.2లో చూపబడ్డాయి. పటం 26.1లో V_R, V_L మరియు V_C ల సదిశ మొత్తము A మరియు B బిందువుల మధ్య నున్న పొటెన్షియల్ తెలుపుతోంది.



పటము 26.2

BRAOU

ఈ మొత్తం పటము 26.3 A లేదా B లో చూపిన విధంగా వోల్టేజ్ సదిశలను తిరిగి వ్రాసి పొందవచ్చు



పటం 26.3

రెండింటిలో కూడా సదిశ మొత్తము V_{AC} తో సూచించబడి బిందువులో గుర్తించిన సదిశ తెలుపుతుంది. ఏ మూలకం గుండానైనా ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహం మరియు వాటి సంయోగముతో ఏర్పడిన వలయం చివరి బిందువుల వద్దనే పొటెన్షియల్, V_{AC} ల మధ్యనున్న ఫలిత దశాభేదము θ తెలుపుతుంది.

వలయ సమీకరణం ప్రకారం ఈ వోల్టేజ్ V_{AC} దశలోను మరియు కంపన పరిమితులలోను చోదక విద్యుచ్ఛాలక పొటెన్షియల్ E తో సమానంగా ఉంటాయి కాబట్టి

$$E = V_{AC} = V_R + V_L + V_C \qquad ...(26.4)$$

వేరు వేరు పొటెన్షియల్‌ల పరిమాణం

$V_R = RI_R$

$V_L = \omega_L I_L$

$$V_C = \frac{I}{\omega C} I_C \qquad ...(26.5)$$

కాని $I_R = I_L = I_C = I_O$

కాబట్టి 26.4 సమీకరణం మార్చి క్రింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$E = I_0 (R + j\omega L + \frac{1}{jwc} = I_o Z \qquad ...(26.6)$$

వివిధ దశలను తెలుపేట్లు అవరోధ పదము (impedence term) ఒక దిశగా వ్రాయబడింది.

సమీకరణము 26.6 లోని Z యొక్క పరిమాణము

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \qquad ...(26.7)$$

ఇది శ్రేణిలో ఉన్న మూడు మూలకాల ఏకాంతర అవరోధము. చోదక వోల్టేజ్ మరియు వలయంలోని విద్యుత్ ప్రవాహము మధ్యనున్న దశాకోణము θ తెలిపే సమీకరణము

$$\tan\theta = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R} \qquad ...(26.8)$$

ఇక్కడ నిర్వచించిన ప్రకారం θ కోణము ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహము, చోదక వోల్టేజ్ E తో పోల్చితే ఎంత వెనకబడి ఉందో తెలుపుతుంది.

ఇండక్టివ్ మరియు కెపాసిటివ్ ప్రతిరోధము (Reactance) ను సాధారణ పదాలలో అవరోధము ఈ క్రింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$
$$= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \qquad ...(26.9)$$

మరియు $\tan\theta = \frac{X_L - X_C}{R}$

BRAOU

తక్షణ విద్యుత్ ప్రవాహము క్రింది సమీకరణము తెలుపుతుంది.

$$i(t) = \frac{V_0 \cos(\omega t - \theta)}{Z} \quad ...(26.10(a))$$

సంశ్లిష్ట సంకేతాల నుపయోగించితే, అవరోధము

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad ...(26.11)$$

ఇది సమీకరణము 26.8 భావాన్ని కలిగి ఉంది. ఈ సంకేతము, LCR శ్రేణి వలయంలో విద్యుత్ ప్రవాహ సమీకరణము

$$i(t) = \frac{V_0 e^{j\omega t}}{R + j(\omega L - 1/\omega C)} \quad ...(26.10(b))$$

26.4 శ్రేణి అనునాద వలయం

ఇండక్టన్స్, కెపాసిటెన్స్ మరియు నిరోధము కలిగియున్న ఒక ఏకాంతర వలయంలో ఇండక్టివ్ నిరోధము మరియు కెపాసిటివ్ ప్రతిరోధము సమానమైతే ప్రతిక్షణం విద్యుత్ ప్రవాహదశ ప్రయోగించిన వోల్టేజ్ దశలో సమానమవుతుంది. మరియు వలయం కేవలం నిరోధ ఫలితం కలిగి ఉంటుంది. Z = R

శ్రేణిలో అవరోధము యొక్క పరిమాణము

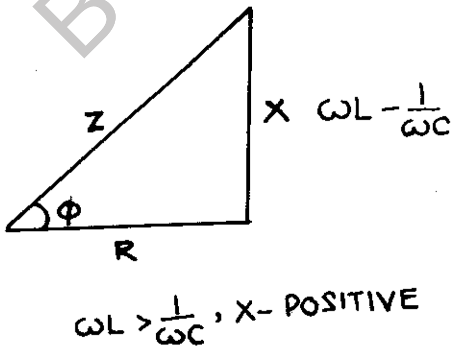
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

ఫలిత ప్రతిరోధము $X_L > X_C$ లేదా $X_L < X_C$ పై ఆధారపడుతుంది. ఇండక్టివ్ ప్రతిరోధము X_L, పౌనఃపున్యమునకు అనులోమాను పాతములో ఉంటూ, పౌనఃపున్యము శూన్యం నుండి పెరుగుతున్నప్పు డు పెరుగుతుంది. కెపాసిటివ్ ప్రతిరోధము పౌనః పున్యానికి విలోమాను పాతములో ఉంది కాబట్టి అనంత విలువ నుండి తగ్గుతూ ఉంటుంది. ఒక పౌనఃపున్యం వద్ద ఈ రెండు ప్రతిరోధాలు సమానమవుతాయి. దానినే అనువాద పౌనఃపున్యము (f_r) అంటారు. అనువాద పౌనఃపున్యము వద్ద రెండు ప్రతిరోధాలు సమానం కాబట్టి

$X_L - X_C = 0$ $X_L = X_C$

అపుడు $V_L = V_C$



పటము 26.4

కాబట్టి $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ లేదా $\omega^2 = \frac{1}{LC}$

$\omega = 2\pi f_r$ కాబట్టి $2\pi f_r = \sqrt{1/LC}$

$$\therefore = fr = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ Hertz} \quad ...(26.12)$$

26.5 LCR శ్రేణి అనునాద వలయం యొక్క Q గుణకం

LCR వలయంలో నిరోధక శక్తిని వినియోగించుకుంటూ ఉంటుంది. కావున వలయం యొక్క సహజ డోలనాలు క్రమంగా తగ్గుతూ ఉండి, చివరకు నశించి పోతాయి.

డోలన వ్యవస్థ (osillatory system) లోని 'అవరుద్ధాన్ని కొలిచే కారకాన్ని 'Q గుణకం' అంటారు. కాలంతోపాటు ఆంప్లిట్యూడ్ మారకుండా ఉండే వక్రాన్ని అవరుద్ధం కాని (undamped) వ్యవస్థ అంటారు. అలా కాక కాలంతోపాటు ఆంప్లిట్యూడ్ మారే వక్రాన్ని అవరుద్ధ (damped) వ్యవస్థ అంటారు. అవరుద్ధం ఎంత తక్కువయితే Q విలువ అంత ఎక్కువగా ఉంటుంది. ఒక డోలకం యొక్క పౌనఃపున్యం ω అయినపుడు Q (మిత్రులు లేని నిష్పత్తి)ను క్రింది విధంగా నిర్వచిస్తారు.

$$Q = \frac{\text{నిల్వయున్న శక్తి}}{\text{నష్టపోయే సరాసరి శక్తి}}$$

LCR వలయంలో శక్తి కెపాసిటర్ నుండి ఇండక్టర్‌కు, ఇండక్టర్ నుండి కెపాసిటర్‌కు మారుతూ ఉంటుంది.

ఈ మార్పిడి సాగుతున్నంత సేపు వలయ నిరోధము వల్ల శక్తి వ్యయము జరుగుతూనే ఉంటుంది. మరియు డోలనాలు సాగుతూంటే వ్యవస్థలోని శక్తి క్రమంగా తగ్గుతూంటుంది. అనువాద (Resonance) పౌనఃపున్యం వద్ద V_L మరియు V_R ల నిష్పత్తి వోల్టేజ్ వృద్ధి లేదా Q గుణకము అంటారు

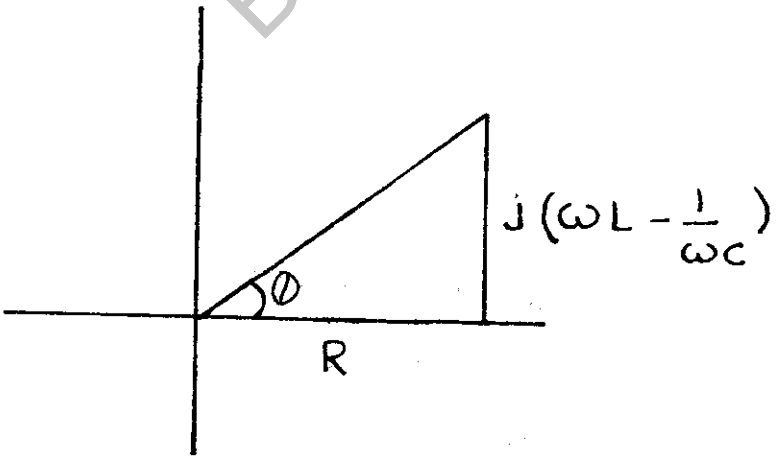
$$Q = \frac{V_L}{V_R} = \frac{j\omega L}{iR}$$

ఇక్కడ $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ మరియు i = అనువాదం వద్ద విద్యుత్ ప్రవాహము. కావున అనువాదము వద్ద $V_L = V_C = QV$

$$\text{మరియు } f_r = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$Q = 2\pi \frac{1}{2\pi}\frac{L}{R}\sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$= \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} \quad ...(26.14)$$



పటము 26.5

సాధారణంగా వలయానికి Q విలువ ఎక్కువ అయితే, చోదక పౌనఃపున్యము (ω) అనుక్రియ (Response) వాడి గాను శిఖరము ఎత్తుగాను ఉంటాయి.

పటం 26.5 LCR వలయంలో ప్రయోగించిన విద్యుచ్ఛాలక బల పౌనఃపున్యం ఆధారంగా అనుక్రియ (విద్యుత్ ప్రవాహము) వక్రం సూచిస్తుంది. అనువాదం (C) వద్ద వలయంలో విద్యుత్ ప్రవాహము మరియు దాని ద్వారా వ్యయమయిన సామర్థ్యము గరిష్ఠమని గ్రహించవచ్చు. ఈ వక్రం ఆధారంగా అనువాద శిఖరానికి A,B బిందువుల మధ్య దూరం 2Δω ఒక్కడ వ్యయమయిన సామర్థ్యము శిఖర విలువలో సగముంటుంది. (లేదా విద్యుత్ ప్రవాహము, గరిష్ఠ విలువకంటే $\frac{1}{\sqrt{2}}$ రెట్లు తగ్గుతుంది.

26.6 సమాంతర LCR వలయం

శ్రేణి వలయానికి భిన్నమయిన సమాంతర LCR వలయము ఈ సమాంతర వలయాలలో అన్ని మూలకాలకు సంబంధించి విద్యుత్ ప్రవాహకు కాకుండా వోల్టేజ్ సమానంగా ఉంటుంది. అందువల్ల మూడు శాఖలలో ప్రవహించు విద్యుత్ ప్రవాహము వేరువేరు కంపన పరిమితులను (Amplitudes), దశలను కలిగి ఉంటాయి. వలయానికి కలిగించిన ఏకాంతర వోల్టేజ్ డోలన పరిమితి, V_0 అయితే ప్రతి మూలకం గుండా ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహ డోలన పరిమితులు

$$I_R = \frac{V_0}{R}$$

$$I_C = \frac{V_0}{X_C} = \frac{V_0}{1/j\omega C}$$

$$I_L = \frac{V_0}{X_L} = \frac{V_0}{j\omega L} \qquad ...(20.15)$$

ఏ క్షణంలోనైనా ఈ మూడు విద్యుత్ ప్రవాహాల మొత్తం విద్యుచ్ఛాలక బలపీఠం గుండా ప్రవహించే విద్యుత్ ప్రవాహానికి సమానం కావాలి. ఈ నియమము తృప్తి చెందాలంటే మూడు ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహాల ఉత్పత్తి సదిశలు, సదిశా సంకలనం పాటించి మొత్తం ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహ సదిశకు సమానం కావాలి.

I_0 మొత్తం విద్యుత్ ప్రవాహ డోలన పరిమితిగా తీసుకుంటే

$$I_0 = I_R + I_C + I_L$$

$$= V_0\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{X_C} + \frac{1}{X_L}\right)$$

$$= V_0\frac{1}{Z} \qquad ...(26.16)$$

అవరోధము యొక్క విలోమము

$$\frac{1}{Z} = \left[\frac{1}{R^2} + \left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)^2\right]^{1/2} \qquad ...(26.17)$$

ఇందులో శ్రేణి వలయంలో మాదిరిగా X_C మరియు X_L ల సంజ్ఞలు పాటించాము. విద్యుత్ ప్రవాహము యొక్క మొత్తము సమీకరణము

$$i = \left[\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{XC} - \frac{1}{XL}\right)^2\right]^{1/2} V_o \cos(\omega t + \phi) \qquad ...(26.18)$$

$$\tan\theta = \frac{\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}}{\frac{1}{R}} = \frac{\omega C - \frac{1}{\omega L}}{\frac{1}{R}}$$

విద్యుత్ ప్రవాహము, వోల్టేజ్‌ను అదిగమించే దశాకోణము θ తెలుపుతుంది.

ఇదే సమస్యను సంక్లిష్ట విధానముతో వ్రాయుగా, అవరోధ పదాలు

BRAOU

$$Z_R = R$$
$$Z_L = j\omega L = X_L$$
$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} = X_C \qquad ...(26.19)$$

వీటిని సమీకరణము 26.16 లో ప్రతిక్షేపించగా

$$I_0 = \frac{V_0}{Z} = V_0\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + \frac{1}{1/j\omega C}\right) \qquad ...(26.20)$$

$$i\,(t) = \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + \frac{1}{1/j\omega C}\right) V_0\, e^{j\omega t} \qquad ...(26.21)$$

అవరోధ విలోమము వ్రాయగా

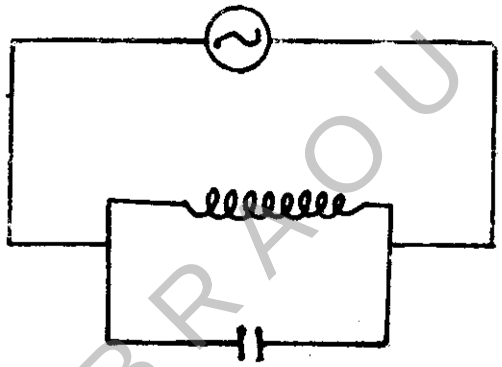
$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right) \qquad ...(26.22)$$

ఈ సంక్లిష్ట సంఖ్యలను సాధించగా ఫలిత సమీకరణం 26.17 లభిస్తుంది.

26.7 సమాంతర అనునాద వలయం

సమాంతర అనునాద వలయం పటం 26.6లో చూపబడింది. ఇందులో ఇండక్టెన్స్ యొక్క నిరోధము అతి స్వల్పమనీ ఊహించబడింది. ఇండక్టెన్స్‌లోని విద్యుత్ ప్రవాహము యొక్క దశ ప్రయోగించిన వోల్టేజ్ దశతో 90° వెనుకబడి ఉంటుంది. మరియు దీని సమీకరణము

$$i_L = \frac{V_{max} \sin (\omega t - 90°)}{j\omega L}$$



పటము 26.6

కాని కెపాసిటర్ గుండా పోయే విద్యుత్ ప్రవాహదశ ప్రయోగించిన వోల్టేజ్ దశతో 90° ముదుంటుంది. ఈ విద్యుత్ ప్రవాహ సమీకరణము

$$i_C = V_{max} \frac{\sin(\omega t + 90°)}{j\omega C}$$

ఈ రెండు విద్యుత్ ప్రవాహాలు వ్యతిరేక దశలలో ఉన్నాయి. కాబట్టి వీటిని ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహముగా తీసుకొనవచ్చు. ప్రయోగించిన విద్యుత్ ప్రవాహము i అయితే

$$i = i_L + i_C$$
$$= \frac{V_{max}}{j\omega L} \sin (\omega t - 90) + V_{max}\, j\omega C \sin (\omega t + 90)$$
$$= V_{max} j\,(\omega C - \frac{1}{j\omega L}) \cos \omega t$$

$\omega C = \frac{1}{\omega L}$ అయినప్పుడు విద్యుత్ ప్రవాహము శూన్యమవుతుంది. అనగా $X_C = X_L$ అయినపుడు

$$\omega C = \frac{1}{\omega L}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 2\pi f_r$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$$ హెర్ట్జ్

ఈ అనువాద పౌనఃపున్యం వద్ద వలయం విద్యుత్ ప్రవాహాన్ని అరికట్టి ఏకాంతర ప్రవాహ శుద్ధచోక్ (perfect choke) లా పని చేస్తుంది. ఇలాంటి వలయాలను అశ్వీకార వలయాలంటారు (Rejector circuits).

ఉదాహరణ 1

L = 0.02 హెన్రీలు. C = 0.5 మైక్రో-ఫారడ్‌లు మరియు R = 10 ఓమ్స్ ఉన్న ఒక LCR వలయానికి 200 వోల్టుల ఏకాంతర వోల్టేజ్ ప్రయోగించినపుడు, ప్రయోగించిన వోల్టేజ్ యొక్క అనువాద పౌనఃపున్యం కనుగొనండి. మరియు ఇండక్టర్, కెపాసిటర్‌ల చివరల ఉన్న విద్యుత్ పొటెన్షియల్ భేదము కనుగొనండి.

అనునాదము వద్ద ప్రయోగించిన పొటెన్షియల్ పౌనఃపున్యము f_r అనుకొనగా

$$f_r = \frac{1}{2\pi}\frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.02 \times 0.5 \times 10^{-6}}}$$

$$= 1.59 \times 10^3 \text{ C.G.S.}$$

అనునాదం వద్ద వలయంలో ప్రవహిస్తున్న విద్యుత్ ప్రవాహము

$$i_r = \frac{200}{10} = 20$$ ఆంపియర్స్

ఇండక్టర్ చివరల పొటెన్షియల్ భేదము

$$= \frac{1}{C\omega} \times i_r$$

$$= 0.02 \times 2\pi f_r \times 20$$

$$= 0.02 \times 2\pi \times 1.59 \times 10^3 \times 20$$

= 4000 వోల్టులు.

కెపాసిటర్ చివరల పొటెన్షియల్ భేదము

$$= \frac{1}{C\omega} \times i_r$$

$$= \frac{20\sqrt{0.02 \times 0.5 \times 10^{-6}}}{0.5 \times 10^{-6}}$$

= 4000 వోల్టులు.

26.8 సారాంశం

డోలన వ్యవస్థ లోని అవరుద్ధాన్ని కొలిచే కారకాన్ని Q గుణకం అంటారు. సమాంతర LCR వలయం అశ్వీకార వలయం అని శ్రేణీ అనునాద వలయాన్ని శ్వీకార (Cacceptor) వలయం అని అంటారు.

BRAOU

BRAOU

ఖండం-10 విద్యుదయస్కాంత వికిరణం

BRAOU

BRAOU

భాగం - 27. మాక్స్‌వెల్ సమీకరణాలు

విషయక్రమం

27.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
27.2 ప్రవేశిక
27.3 మాక్స్‌వెల్ సమీకరణాలు
27.4 విద్యుదయస్కాంత కోటర డోలకము
27.5 సారాంశం
27.6 నమూనా ప్రశ్నలు

27.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈభాగంలో విద్యుదయస్కాంత వికిరణం అనే భావన వివరించ బడింది.

మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

1) విద్యుదయస్కాంతానికి సంబంధించిన అనుభావిత సూత్రాలను వివరించ గలుగుతారు.

2) మాక్స్‌వెల్ స్థానభ్రంశ ప్రవాహ భావన సహాయంతో ప్రదేశంలో (Space) ఏ విధంగా విద్యుదయస్కాంత శక్తి ప్రసారం జరుగుతుందో వర్ణించగలరు.

27.2 ప్రవేశిక

19వ శతాబ్దం వరకు విద్యుత్ మరియు అయస్కాంత క్షేత్రాలలో విడి విడిగా, శాస్త్రజ్ఞులు కొన్ని సూత్రాలను ప్రాయోజికంగాను, మరికొన్ని సైద్ధాంతికంగాను వివరించినారు. వీటిలో ఫారడే ప్రతిపాదించిన విద్యుత్ క్షేత్రం మరియు అయస్కాంత క్షేత్రం అనే భావన మౌలిక విషయాలు, విద్యుదయస్కాంత తరంగ శాస్త్రాభివృద్ధికి చాలా వుపయోగపడినాయి.

ముఖ్యంగా ఆంపియర్ పరిశోధనల వలన, ఒక లోహపు తీగలో విద్యుత్ ప్రవాహమున్నప్పు డు, దాని చుట్టూ అయస్కాంత క్షేత్ర మేర్పడుతుందని తెలిసింది. అట్లాగే ఒక స్థలంలో కొంత స్థిర విద్యుదావేశమున్నప్పు డు తదనుగుణంగా విద్యుత్ క్షేత్ర మేర్పడుతుందని తెలుస్తుంది. అంటే, ఒక లోహపు తీగెలో విద్యుత్రప్రవాహ మున్నప్పు డు, అది దూరంగా విద్యుత్ప్రవాహమున్న వేరే తీగపై బలాన్ని కలుగ జేస్తుందని తెలుసుకున్నారు. ఇది న్యూటన్ ప్రతిపాదించిన విశ్వ గురుత్వాకర్షణ సిద్ధాంతాన్ని పోలి ఉన్నది. దీనినే దూరంగా వున్న వస్తువుపై చర్య అంటాము. (Action-at-a-distance). ఈ చర్యలో భౌతికంగా యిమిడి వున్న యాదార్థాన్ని ఫారడే, క్షేత్రాల ప్రతిపాదన ద్వారా వివరించాడు. ఈ విధంగా రెండు వేరు వేరుగా ఉన్న శాస్త్ర విభాగాల మధ్య సమన్వయము ఏర్పరచి క్లార్క్ మాక్స్‌వెల్ అనే బ్రిటిష్ శాస్త్రజ్ఞుడు విద్యుదయస్కాంత వికిరణ సిద్ధాంతాన్ని వివరించే మౌలిక సమీకరణాలను ఉత్పాదించాడు.

27.3 మాక్స్‌వెల్ సమీకరణాలు

ఈ సమీకరణాలు ఈ దిగువ చెప్పబడిన కొన్ని మౌలిక ప్రయోగ ఫలితాలపై ఆధారబడి ప్రతిపాదించ బడినది.

(a) ఒక స్థలంలో కొంత స్థిర విద్యుదావేశము ఉంటే, తదనుగుణంగా ఒక స్థిర విద్యుత్ క్షేత్ర మేర్పడుతుంది.

(b) స్థిర విద్యుత్ క్షేత్ర అపసరణము (divergence) విద్యుదావేశ సాంద్రతకు అనులోమాను పాతంలో ఉంటుంది.

(c) అయస్కాంత ధృవాన్ని ఏర్పరచలేక పోయినా విద్యుత్ క్షేత్ర మేర్పడుతుంది.

(d) కాలానుగుణంగా మార్పు చెందే అయస్కాంత క్షేత్రం విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ప్రేరేపిస్తుంది. (ఫారడే నియమము)

(e) స్థిర అయస్కాంత క్షేత్రానికి అపసరణం ఉండదు.

(f) స్థిర అయస్కాంత క్షేత్రం యొక్క కర్ల్ (curl) విద్యుత్ ప్రవాహ సాంద్రతకు అనులోమాను పాతంగా ఉంటుంది.

పైన పొందు పరచబడిన మౌలిక విషయాలు పరిశీలించి మాక్స్‌వెల్ గతిక విద్యుత్ క్షేత్ర అపసరణం, విద్యుదావేశ సాంద్రతకు అనులోమాను పాతంగా ఉంటుందని, అయస్కాంత ధృవం ఉండదు కాబట్టి అయస్కాంత క్షేత్రానికి అపసరణం ఉండదని ఊహించాడు. అట్లాగే, ప్రయోగ ఫలితాల ఆధారంగా ప్రతిపాదించిన సూత్రాలు అన్ని సందర్భాలలోను యదాతథంగా పనికిరావని గ్రహించి ఆంపియర్ సూత్ర సమీకరణంలో మరో పదాన్ని చేరిస్తే, ఆ సంస్కరించిన సమీకరణము సర్వత్రా యదాతథంగా ఉపయోగ పడుతుందని, సైద్ధాంతికంగా మాక్స్‌వెల్ చూపినాడు. ఈ విధంగా అదనంగా చేర్చిన పదము విద్యుత్ రోధకాల (dielectrics) ధ్రువీకరణానికి (Polarisation) సంబంధించినవి. ఒక విద్యుత్ రోధకము యొక్క ధ్రువీకరణంలో కాలానుగుణమైన మార్పులు వచ్చేటపుడు, అటువంటి మార్పువల వల్ల విద్యుత్ స్థానభ్రంశము ప్రవాహము (Displacement Current) కలుగుతుందని, అటువంటి స్థాన భ్రంశ ప్రవాహమూ కూడా అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని కలుగ జేస్తుందని భావించాడు. దానికి సంబంధించిన కొత్త పదాన్ని చేర్చి పాత సమీకరణాన్ని సమీకరించినాడు. ఈ సంస్కరణ ఫలితంగా వచ్చిన సమీకరణాన్ని మిగిలిన విద్యుత్, అయస్కాంత సమీకరణాన్నింటిని మాక్స్‌వెల్ సమీకరణాలు అంటారు.

ఈ సమీకరణాల ప్రకారం ఒక విద్యుత్ క్షేత్రంలో కాలంతో బాటు క్షేత్రతత్వం మారుతూ ఉంటే, చుట్టూ ఉన్న ప్రదేశంలో అయస్కాంత క్షేత్ర మేర్పడుతుంది. అట్లాగే, ఒక అయస్కాంత క్షేత్రంలోని మార్పుల వల్ల, దాని చుట్టూ విద్యుత్ క్షేత్ర మేర్పడుతుంది. ఈ విధంగా, ఒక దానిపైన ఒకటి ఆధారపడిన విద్యుత్ అయస్కాంత బల తీవ్రతలతో కాలానుగుణమైన స్పందన శక్తి విద్యుత్ అయస్కాంత తరంగ రూపంలో ప్రసారమవుతుంది. అంటే, ఈ సమీకరణాల పరిష్కారాలు తరంగ రూపంలో ఒక నిర్దిష్టమైన వేగంతో ప్రసారం చెందుతాయి. కాబట్టి, ఎక్కడైన కాలానుగుణంగా మార్పు చెందే విద్యుత్ క్షేత్రము వల్ల ఉత్పత్తి అయ్యే అయస్కాంత క్షేత్రం, విద్యుత్ ప్రవాహము వల్ల మరియు స్థాన భ్రంశ ప్రవాహము వల్ల ఉత్పత్తి అయ్యే అయస్కాంత క్షేత్రాల మొత్తానికి సమాన మవుతుంది. అనగా

$$\nabla \times \vec{H} = J + \frac{dD}{dt} \rightarrow 27.1$$ (మార్పు చేసిన ఆంపియర్ నియమం)

ఇతర మౌలిక విద్యుదయస్కాంత క్షేత్ర సమీకరణాలు :

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{dB}{dt} \rightarrow 27.2$$ (Faraday నియమం)

$$\nabla . \vec{E} = \rho/\varepsilon \rightarrow 27.3$$ (గౌస్ విద్యుత్ క్షేత్ర నియమం)

$$\nabla . \vec{B} = O \rightarrow 27.4$$ (గౌస్ అయస్కాంత క్షేత్ర నియమం)

సమీకరణాలు 27.1 నుండి 27.4 వరకు మాక్స్‌వెల్ విద్యుదయస్కాంత సమీకరణాలందురు. ఏదైన విద్యుదావేశము మరియు విద్యుత్ప్రవాహం లేని సజాతీయ యానకంలో పై సమీకరణాలు వ్రాసినపుడు యీ క్రింది విధంగా మార్పు చెందును. i.e.,

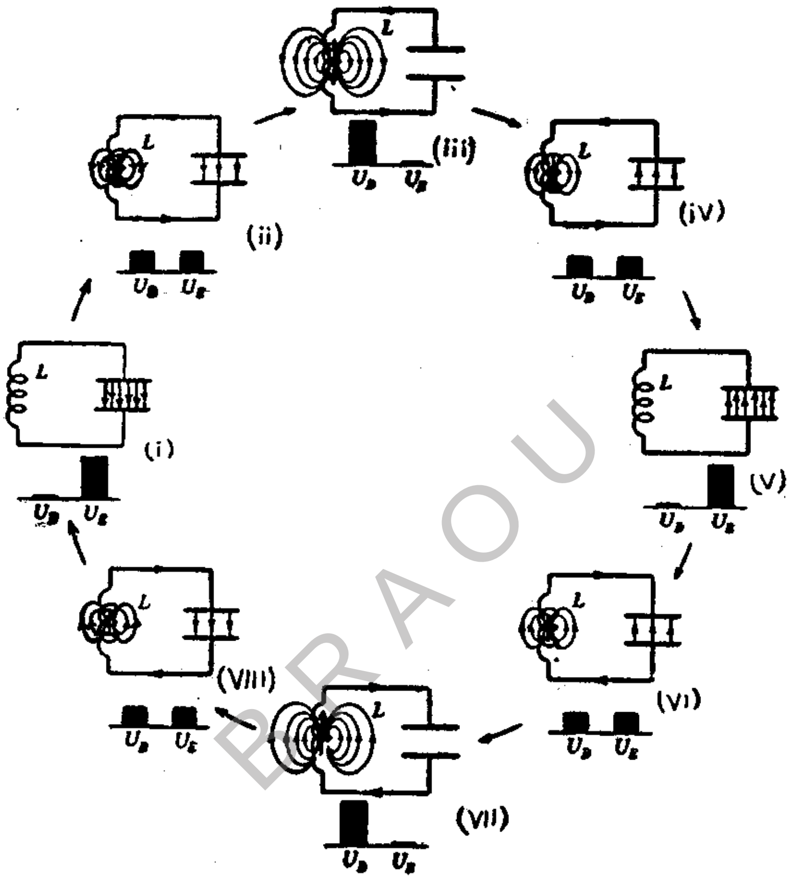
$$\nabla \times \vec{H} = \varepsilon \frac{d\vec{E}}{dt} \quad ...(27.5)$$

$$\nabla \times \vec{E} = \mu \frac{d\vec{H}}{dt} \qquad ...(27.6)$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0 \qquad ...(27.7)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \qquad ...(27.8)$$

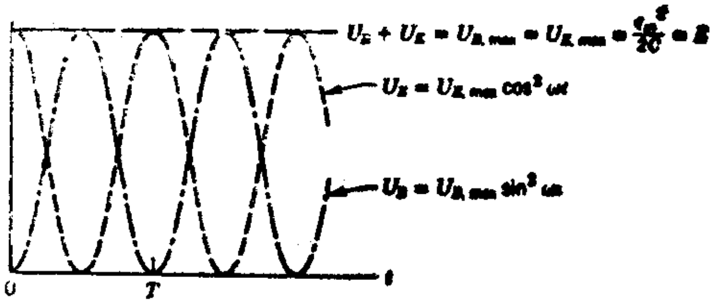
పై సమీకరణాలను భౌతిక శాస్త్ర విజ్ఞాన దృక్పథంలో పరిశీలించి నట్లయితే, కాలంతో మారుతున్న విద్యుత్ క్షేత్రం అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని ఏర్పరస్తుందని (సమీకరణం 27.5) మరియు మారుతున్న అయస్కాంత క్షేత్రం విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ఉత్పత్తి చేస్తుందని (సమీకరణం 27.6) గమనించ వచ్చు. అనగా! ఏదైనా విద్యుత్ లేక అయస్కాంత సంచలనము కలిగితే, ఈ రెండింటి పరస్పర అన్యోన్య చర్యవల్ల విద్యుత్ శక్తి అయస్కాంత శక్తిగాను, అది మరల విద్యుత్ శక్తి గాను మార్పు చెందుతూ విద్యుదస్కాంత తరంగాలుగా ప్రసరిస్తుంది. అంటే, పైవిధంగా విద్యుదయస్కాంత శక్తి ఏదేని ప్రదేశములో ప్రసరిస్తున్న తరంగంగా భావించ వచ్చును. (ఇది పటములు 27.1 మరియు 27.2 ల నుంచి పూర్తిగా అవగతమవుతుంది.



BRAOU

పటము 27.1

ఉదాహరణకు, నిశ్చలంగా ఉన్న కొలను మధ్యలో ఒక బకెటు నీటిని పోసినట్లయితే, అక్కడ ఉన్న నీటి ఉపరితలము పైకి క్రిందికి డోలనములు చేయును. అంటే, చుట్టూ ఉన్న నీటిని నిశ్చల స్థితికి భంగము కలుగుతుంది అనగా! దానికి పీడనములో జరిగే ఆవర్తన మార్పులు దాని చుట్టూ ఉన్న నీటికి అంద చేస్తుంది. ఈ విధంగా దాని శక్తి చుట్టూ ఉన్న నీటికి ప్రసారితమయి, ఆ భాగం డోలనాలు చేస్తుంది. అదేవిధంగా, కొలను మధ్య భాగంలో కల్గించిన విచలనం వల్ల ఉత్పత్తి అయిన తరంగము దాని ఉపరితల తరంగంగా అంచులకు ప్రయాణిస్తుంది. అంటే, నీటి తరంగ అస్థిరత్వానికి ముఖ్య కారణం కొంత ఘన పరిమాణం నీటిలో పీడనం మార్పుల వల్ల కలిగే కదలికలు దాని చుట్టూ ఉన్న నీటిపై ప్రభావము చూపించడమే.



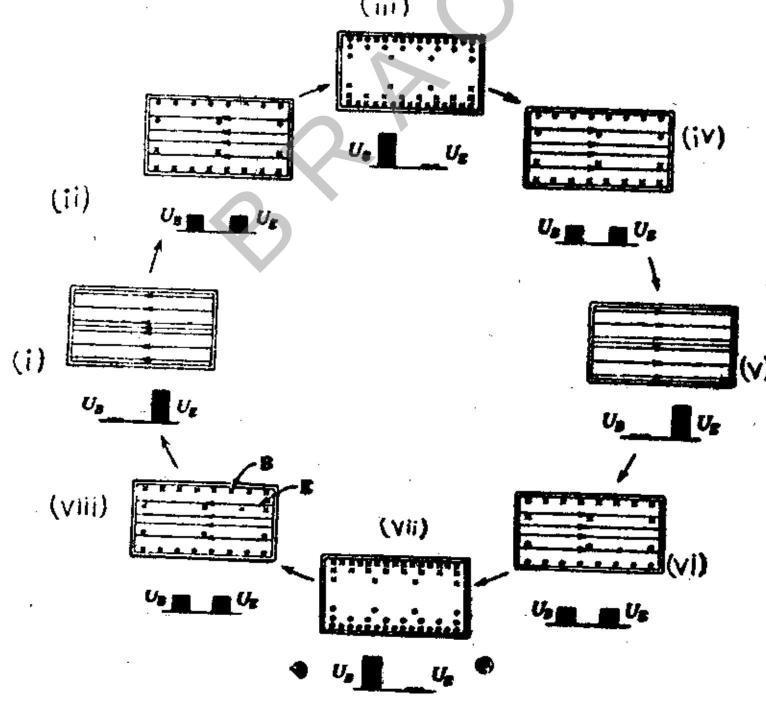
పటము 27.2

కాబట్టి, విద్యుదయస్కాంత తరంగ అస్థిత్వానికి మౌలిక కారణాలు కూడా పైన వర్ణించిన ప్రక్రియకు సాదృశ్యంగా ఉంటాయి. అనగా! కాలంతో మారుతున్న అయస్కాంత క్షేత్రం, ఆ ప్రదేశం మరియు దాని చుట్టుపక్కల ఉన్న ప్రదేశంలో విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ప్రేరేపిస్తుంది. కాబట్టి, ఏదైనా ప్రదేశంలో విద్యుత్ లేక అయస్కాంత విచలనం కలిగినప్పుడు యిది ఆ ప్రదేశానికి మాత్రమే పరిమితమయి ఉండకుండా, దాని చుట్టు ప్రక్కల ఉన్న ప్రదేశాలలో తదనుగుణమైన క్షేత్రాలను ప్రేరేపిస్తుంది. నిరంతరం జరిగే ఈ చర్యల వల్ల శక్తి, విద్యుదయస్కాంత తరంగాలుగా అవధులు లేని బయటి ప్రదేశాలకు దుర్వ్యయమయ్యేంత వరకు ప్రయాణిస్తుంది.

ఈవిధంగా విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు ఉద్భవించి, ప్రసారిస్తాయని మాక్స్‌వెల్ ప్రతిపాదించి, సైద్ధాంతికంగా నిరూపించినప్పటికి, శాస్త్రజ్ఞులు అందరూ వీటిని ఆమోదించ లేదు. కాని హెర్ట్జ్ (Hertz) శాస్త్రజ్ఞుడు ప్రయోగ పూర్వకముగా ఉత్పత్తి చేసిన తర్వాతగాని, మాక్స్‌వెల్ సమీకరణాలలో యిమిడి ఉన్న విద్యుదయస్కాంత వికిరణానికి సంబంధించిన భౌతిక శాస్త్ర విజ్ఞానము విశదమైనది

27.4 విద్యుదయస్కాంత కోటర డోలకము

రాగి లేక ఏదైనా విద్యుత్ వాహక పదార్థంతో చేయబడిన మూసిన స్థూపాన్ని తీసుకొని, దానిలో ఏ పదార్థ యానకము లేకపోయినా డోలాయమాన విద్యుదయస్కాంత క్షేత్ర వ్యవస్థను స్థాపించ వచ్చును. అటువంటి విద్యుదయస్కాంత కోటరం అను వాచకము వితరిత విద్యుదయస్కాంత డోలకంగా పని



పటం 27.3

BRAOU

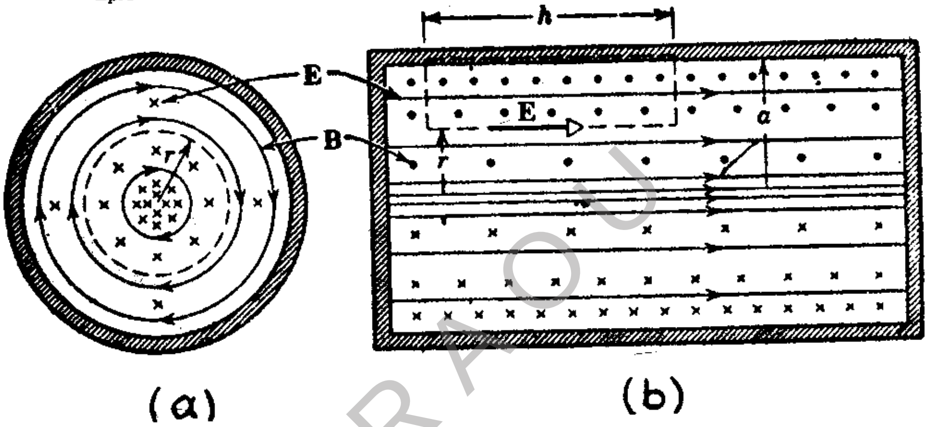
చేస్తుంది. కోటరం ప్రక్క గోడలో ఉన్న చిన్న రంధ్రము ద్వారా దానిని మాగ్నెట్రన్ వంటి విద్యుదయస్కాంత వికిరణ-జనకానికి సరియైన విధంగా కలిపి కోటరంలో వివిక్త పౌనఃపున్యాలు ఉన్న చాల రకాలు డోలనాలు జనింప చేయవచ్చు. సరళత కోసం కనిష్ట పౌనఃపున్యము ఉన్న మౌలిక విధానాన్ని పరిశీలిద్దాము. ఆవర్తనంలో (cycle) 8వ వంతు కాల వ్యవధిలో తీసిన ఛాయా చిత్రాల శ్రేణి పటం 27.3లో చూపబడింది. కోటరంలోని విద్యుత్ క్షేత్రం E: కాలంలో ఎట్లా మారేది క్షితిజ సమాంతర రేఖలతో చూపబడినది. విద్యుత్ బలరేఖలు స్థూపానికి ఒక చివరన ఉన్న ధనావేశాల నుంచి, రెండవ చివరన ఉన్న ఋణావేశాల మీద అంతమవుతాయి. కాలంతో E మారి చివరకు అది ఉత్క్రమం చెందితే, స్థూపం లోపలి గోడ మీద ఒక చివర నుంచి మరొక చివరకు విద్యుత్ ప్రవహిస్తుంది. కోటరంలో ఏ బిందువు వద్దనైనా ఏకాంక ఘనపరిమాణంలో విద్యుత్ క్షేత్రంలో నిల్వ ఉన్న శక్తిని

$U_E = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$ వ్రాయవచ్చు.

B యొక్క వృత్తాకార రేఖలను చుక్కలు, క్రాస్‌లు చూపుతాయి. స్థూపానికి సహాక్షంగా ఉండే అయస్కాంత బలరేఖలు వృత్తాలు పటం 27.4 (a & b) చూడవచ్చును. పటం 27.3లో చూపినట్లు, విద్యుత్ క్షేత్రం శూన్యమైనప్పుడు అయస్కాంత క్షేత్ర విలువ గరిష్టమనీ, అట్లాగే విద్యుత్ క్షేత్రం గరిష్టమైనప్పుడు అయసాంత క్షేత్రం కనిష్టమని గమనించ వచ్చు. అట్లాగే కోటరంలో ఏ బిందువు వద్ద నైనా ఏకాంక ఘన పరిమాణంలో సంచితమైన అస్కాంత శక్తి U_B ని

$$U_B = \frac{1}{2}\mu_0 H^2$$

$$U_B = \frac{1}{2\mu_0}B^2$$ గా వ్రాయవచ్చు.



పటం 27.4

B R A O U

ప్రతి చిత్రానికి క్రింద ఉన్న బార్ రేఖా పటాలు సంచిత విద్యుత్ అయస్కాంత శక్తులను చూపుతాయి. అట్లాగే కాలంతో మార్పు చెందే అయస్కాంత క్షేత్రం విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ప్రేరేపిస్తుందని, కాలంతో మారే ఈ స్థాన భ్రంశ విద్యుత్ క్షేత్రం అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని ప్రేరేపిస్తుందని పటంనుండి గ్రహించ వచ్చు. శక్తి వేరే విధంగా నష్టం కానట్లయితే కోటరంలో ఒకసారి ప్రతిష్ఠింప బడిన, డోలనాలు విద్యుదయస్కాంత పరస్పర ప్రేరేపణల వలన ఎల్లప్పుడు ఉంటాయి.

27.5 సారాంశం

మాక్స్‌వెల్ విద్యుదయస్కాంత సమీకరణాలు

$$\nabla \times \overrightarrow{H} = i + \frac{\partial D}{\partial t}$$

$$\nabla \times \overrightarrow{E} = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \times \overrightarrow{E} = 0$$

$$\nabla \times \vec{B} = 0$$

27.6 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నకు విశదంగా సమాధానం రాయండి.

ఎలక్ట్రో మాగ్నెటిక్ కావిటీ ఆసిల్లేటర్ నిర్మాణము, పనిచేయు విధానాన్ని చర్చించండి.

II. క్రింది ప్రశ్నకు క్లుప్తంగా సమాధానం రాయండి.

మాక్స్‌వెల్ సమీకరణాన్ని తెలపండి.

BRAOU

భాగం - 28 తరంగాలు మరియు శక్తి సరఫరా

విషయక్రమం

28.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
28.2 ప్రవేశిక
28.3 పురోగామి తరంగాలు
28.4 సామర్థ్యము మరియు పాయింటింగ్ సదిశ
28.5 సారాంశం
28.6 నమూనా ప్రశ్నలు

28.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో మాక్స్‌వెల్ సమీకరణాలు, ప్రదేశంలో విద్యుదయస్కాంత వికిరణము చలనం వివరణ ఉంది.

1) విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు శూన్యంలో కూడా ప్రయాణిస్తాయి అని తెలుసుకుంటారు.
2) విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు తిర్యక్ తరంగ స్వభావాన్ని కలిగి ఉంటాయని యానకంలో విద్యుదయస్కాంత శక్తిని ఒకచోటనుండి మరొకచోటుకు రవాణా చేస్తాయి అని వివరించగలుగుతారు.

28.2 ప్రవేశిక

అవధులు లేని ఏ ప్రదేశంలోనైనా విద్యుదయస్కాంత శక్తి కేంద్రీకృతమై ఉన్నప్పుడు, అక్కడే నిలిచి ఉండక ఆ శక్తి పూర్తిగా దుర్వ్యయము జరిగే వరకు తరంగ రూపంలో ప్రయాణిస్తుంది. మాక్స్‌వెల్ సమీకరణాల ఫలితాలు, విద్యుదయస్కాంత శక్తి ఈ విధంగా తరంగ రూపంలో ప్రయాణించే సమీకరణాలను ఉత్పత్తి చేస్తాయని తెలుసుకుంటాము.

BRAOU

28.3 పురోగామి తరంగాలు

$\vec{E}$ మరియు $\vec{H}$ సదిశలు కలిగియున్న మొదటి రెండు మాక్స్‌వెల్ సమీకరణాలను పరిశీలిద్దాము.

ఈ రెండు సమీకరణాలను సమకాలికంగా సాధించడం ద్వారా ఏదేని ఒక చరరాశిని విలోపనము (eliminate) చేయవచ్చును. విద్యుదావేశము, వాహకత్వం లేని ఒక సజాతీయ యానకాన్ని పరిగణనలోకి తీసుకొన్నట్లయితే, మొదటి రెండు మాక్స్‌వెల్ సమీకరణాలను ఈ క్రింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu \frac{d\vec{H}}{dt} \quad ...(28.1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \varepsilon \frac{d\vec{E}}{dt} \quad ...(28.2)$$

సమీకరణం 28.1 కి రెండువైపులా కర్ల్ (curl) తీసుకొన్నప్పుడు

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = -\mu \nabla \times \frac{d\vec{H}}{dt} \qquad ...(28.3)$$

అవుతుంది. పై సమీకరణం కుడివైపు పార్శ్వపు అవకలనక్రమం మార్చినపుడు (దీనివలన విలువ మారదు గాబట్టి) మనకు

$$\nabla \times \nabla \times \nabla E = -\mu \frac{d}{dt} (\nabla \times \vec{H}) \qquad ...(28.4)$$

28.2 సమీకరణం నుండి $\nabla \times \vec{H}$ విలువను సమీకరణం 28.4 లో ప్రతిక్షేపించగా

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = -\mu \frac{d}{dt}\left(\varepsilon \frac{d\vec{E}}{dt}\right) = -\mu\varepsilon \frac{d^2\vec{E}}{dt^2} \qquad ...(28.5)$$

వస్తుంది. గణిత శాస్త్ర సిద్ధాంతాన్ననుసరించి,

$\nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = \nabla.(\nabla . \vec{E}) - \nabla^2\vec{E}$ అవుతుంది.

మనం విద్యుదావేశము లేని సజాతీయ యానకాన్ని పరిశీలిస్తున్నందువలన, విద్యుత్ క్షేత్ర అపసరణం సున్నా అవుతుంది. కాబట్టి

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{E}) = -\nabla^2\vec{E} \text{ అవుతుంది.} \qquad ...(28.6)$$

$$-\nabla^2 E = -\mu\varepsilon \frac{d^2\vec{E}}{dt^2}$$

$$\text{అనగా } -(\nabla^2 E) = -\mu\varepsilon \frac{d^2\vec{E}}{dt^2} \qquad ...(28.7)$$

సూచిక: ఇక్కడ ∇^2 అనునది లాప్లాసియన్ పరిక్రియా కారకము (Laplacian operator). దీనిని

$\nabla^2 = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}$ అని వ్రాయుదురు.

సమీకరణం 28.7 ను కార్టీసియన్ నిరూపకాలలో విశదీకరించి వ్రాసినట్లయితే మనకు

$$\frac{d^2E_x}{dx^2} + \frac{d^2E_x}{dy^2} + \frac{d^2E_x}{dz^2} = \mu\varepsilon \frac{d^2E_x}{dt^2}$$

$$\frac{d^2E_y}{dx^2} + \frac{d^2E_y}{dy^2} + \frac{d^2E_y}{dz^2} = \mu\varepsilon \frac{d^2E_y}{dt^2}$$

$$\frac{d^2E_z}{dx^2} + \frac{d^2E_z}{dy^2} + \frac{d^2E_z}{dz^2} = \mu\varepsilon \frac{d^2E_z}{dt^2}$$

సమీకరణాలు వచ్చును.

ఉదాహరణకు $E_x = O, E_z = O$ అయి, E_y అనునది x ప్రమేయంగా ఉన్నప్పుడు, సమీకరణం 28.7 ఈ క్రింది విధంగా మార్పు చెందును. i.e.

$$\frac{d^2E_y}{dx^2} = \mu\varepsilon \frac{d^2E_y}{dt^2} \qquad ...(28.8)$$

సమీకరణం 28.8 సాధారణంగా విద్యుత్ క్షేత్ర పురోగామి తరంగాన్ని తెలిపే అవకలన సమీకరణమని విశదమవుతుంది. కాబట్టి ఈ సమీకరణం యొక్క పరిష్కార సమీకరణం

$$E_y = f(x-vt) \qquad ...(28.9)$$

రూపంలో ఉంటుంది. ఇక్కడ $v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}$ అనునది తరంగ వేగము మరియు ప్రమేయం f (x–vt). ఏదేని (x–vt) యొక్క ప్రమేయమని తెలుస్తుంది. ఇట్లాగే సమీకరణం 28.8 కి వేరే ఫలిత సమీకరణాలు f (x+vt) మొదలగునవి కూడ కలిగి ఉంటుంది.

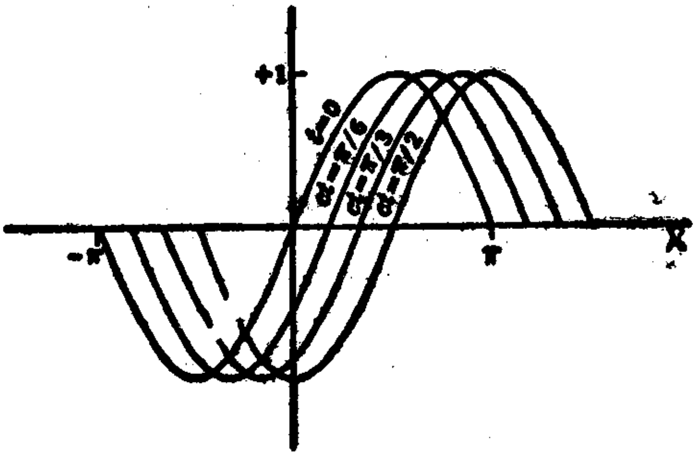
ఇప్పుడు మనం ఎన్నుకొన్న పరిష్కార సమీకరణం 28.9 తిర్యక్ విద్యుదయస్కాంత తరంగమని చూపవలసి ఉంది. ఉదాహరణకు, అంతరాళంలో ప్రయాణించే తరంగం (సమీకరణం

BRAOU

28.9) జ్యా వక్రియ ప్రకృతి కలిగి ఉన్నదనుకొంటే, అటువంటి తరంగం ఈ క్రింది సమీకరణం తెలుపుతుంది.

$$E_y = E_{oy}e^{i(kx - \omega t)} \qquad ...(28.10)$$

పై సమీకరణంలో వేరు వేరు కాలాలకు, x విలువ ఎట్లా మారుతుందో పటం 28.1 తో చూపబడింది. అనగా అంతరాళంలో ప్రయాణించే తరంగం మనం చూడగలిగినట్లైతే పటం 28.1 వివిధ కాల



పటము 28.1

వ్యవధుల్లో $ct=\left(0, \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{3} \& \frac{\pi}{2}\right)$ అంతరంగ ఛాయాచిత్రాలను తెలుపుతుంది. పటాన్ని బట్టి ఈ తరంగాలన్నీ జ్యావక్రియ తరంగాలనీ, $ct = \frac{\pi}{6}$ సూచించు వక్రం $ct = 0$ ను సూచించు వక్రాన్ని బట్టి స్థానభ్రంశం చెంది ఉంటుందని తెలుపుతుంది. అట్లాగే మిగిలిన వక్రాలు కూడా ఒకదానిని బట్టి ఒకటి స్థానభ్రంశం చెంది ఉన్నవి. అనగా అన్ని తరంగాల కంపన పరిమితి E_y సమానంగా ఉండవలెనంటే x విలువ కాలంతోబాటు వృద్ధి చెందుతూ ఉంటుంది. కాబట్టి దాని ఫలితం మనకు కాలానుగుణంగా, ఎడమవైపు నుండి కుడివైపుకు ప్రయాణించే తరంగం అని తెలుస్తుంది. అట్లాగే, కాలంతో దూరంలో కలిగే మార్పు, తరంగ వేగాన్ని యిస్తుంది. పటాన్ని బట్టి, విద్యుత్ క్షేత్ర సదిశ గుణకం E_y, y- అక్షం వెంబడి ఉన్నప్పుడు, తరంగం x అక్షం వెంబడి ప్రయాణిస్తుంది. కాబట్టి, సమీకరణం 28.10 తెలిపే తరంగం తిర్యక్ ప్రకృతి కలిగియున్నది. ఇదేవిధంగా $\vec{E}$ ని విలోపనం చేయడం ద్వారా అయస్కాంత క్షేత్ర సదిశ కలిగిన సమీకరణాన్ని పొందవచ్చును.

$$\nabla^2 H = \mu\varepsilon \frac{d^2 \vec{H}}{dt^2} \qquad ...(28.11)$$

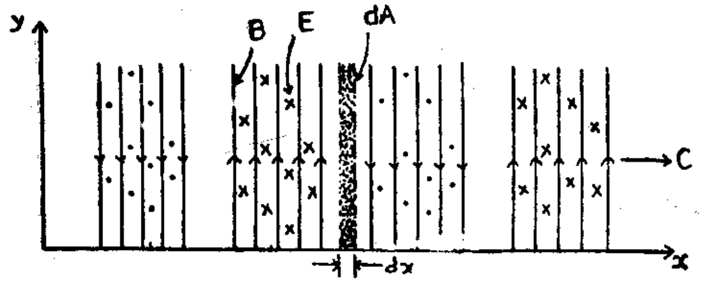
అట్లాగే, దీని పరిష్కార సమీకరణం కూడా ప్రయాణించే అయస్కాంత క్షేత్ర తరంగంగా మనకు తెలుస్తుంది.

ఈ సమీకరణాల ప్రకారం, ఒక విద్యుత్ క్షేత్రంలో కాలంతోబాటు క్షేత్ర సత్వం మారుతూ ఉంటే, చుట్టూ ప్రదేశంలో అయస్కాంత క్షేత్రం ఏర్పడుతుందనీ, అట్లాగే, అయస్కాంత క్షేత్రంలోని మార్పులవల్ల దాని చుట్టూ విద్యుత్ క్షేత్ర మేర్పడుతుందని గమనించవచ్చును. ఈ విధంగా ఒక దానిపైన ఒకటి ఆధారపడిన విద్యుదయస్కాంత తరంగరూపంలో ప్రసారమవుతుంది. శూన్య ప్రదేశంలో ఈ తరంగ వేగం $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$ అవుతుంది. μ_0, ε_0 అనునవి పరిమాణాత్మక స్థిరాంకములు. వీటి విలువను ఉపయోగించి, మాక్స్‌వెల్ 1865వ సం.లో C విలువ 3×10^8 మీటర్లు/సెకను అని కనుగొన్నాడు. మాక్స్‌వెల్ సూచించిన విద్యుదయస్కాంత తరంగాలను హెర్ట్జ్ ప్రయోగాత్మకంగా ధ్రువపరచి రేడియో ప్రసారాలవంటి సాధనాలకు దారి చూపినాడు.

B.R.A.O.U

28.4 సామర్థ్యము మరియు పాయింటింగ్ దిశ

ఏదైనా యానకం ద్వారా తరంగాలు ప్రసరిస్తున్నప్పుడు వాటి ద్వారా శక్తి ప్రసరిస్తుంది. విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు ప్రసరిస్తున్నప్పు డు ప్రసార దిశకు లంబంగా ఉన్న ఏకాంక తలవైశాల్యం ద్వారా ఏకాంక కాలంలో ప్రసారమయ్యే శక్తిని పాయింటింగ్ సదిశ P అంటారు. మొత్తం వైశాల్యం $\vec{A}$ అయినపుడు $\vec{P}\,\vec{A}$ లబ్దాన్ని A గుండా ప్రసారమయ్యే సామర్థ్యం అంటారు. $\vec{P}$ సదిశకు అభివాహ గీతలు గీసినపుడు అవి విద్యుదయస్కాంత శక్తి ప్రసారాన్ని చూపుతాయి.



పటము 28.2

పటం 28.2 లో చూపినట్లు, ఊహాత్మక తలంలో ఉన్న కొంత ప్రదేశాన్ని పరిశీలిద్దాము. ఈ ప్రదేశంనుండి ప్రసారమయ్యే విద్యుదయస్కాంత శక్తి రేటు $\vec{P}$ తో ఆవృతమైన తలాన్ని సమాకలనం చేసి కనుగొనవచ్చును. అనగా ఈతలం నుండి బయటికి ప్రసారమయ్యే సామర్థ్యం (power) $\oint \vec{P}.\vec{dA}$ సమానమవుతుంది. కాబట్టి దీనికి అనుగుణంగా ఆ ప్రదేశంలో నిల్వ ఉంచబడిన విద్యుదయస్కాంత శక్తి తగ్గుతూ ఉంటుంది. కొంత ఘనపరిమాణంలో ఈవిధంగా నిల్వ అయిన విద్యుదయస్కాంత శక్తి, విద్యుత్ క్షేత్రం వల్ల విద్యుత్ స్థానభ్రంశము, అయస్కాంతక్షేత్రంవల్ల అయస్కాంత ప్రేరణ కలుగజేయడానికి చేయవలసిన పని మొత్తానికి సమానమవుతుంది.

కాబట్టి

$$\text{విద్యుత్ శక్తి} = \frac{1}{2}\int \vec{D}.\vec{E}\,dV \qquad ...(28.12)$$

$$\text{అయస్కాంత శక్తి} = \frac{1}{2}\int \vec{B}.\vec{H}\,dV \qquad ...(28.13)$$

$$\text{మొత్తం శక్తి} = \frac{1}{2}\int\left(\vec{B}.\vec{H} + \vec{D}.\vec{E}\right)dV \qquad ...(28.14)$$

పై సమీకరణాన్ని కాలంతో అవకలనం చేస్తే మనకు నిలువ ఉంచిన శక్తి తగ్గే రేటు వస్తుంది కాబట్టి, ఆ ప్రదేశంలో శక్తి తగ్గే రేటు

$$= \frac{d}{dt}\left[\frac{1}{2}\int (\vec{B}.\vec{H} + \vec{D}.\vec{E})\,dV\right] \qquad ...(28.15)$$

వేరే విధంగా శక్తి వృథా కానప్పుడు మనకు

$$\oint \vec{P}\;\vec{dA} = -\frac{1}{2}\frac{d}{dt}\int (\vec{B}.\vec{H} + \vec{D}.\vec{E})\,dV \text{ వస్తుంది}$$

$\vec{B} = \mu\vec{H}$ మరియు $\vec{D} = \varepsilon\vec{E}$ కాబట్టి

$$\oint \vec{P}.\vec{dA} = -\frac{1}{2}\int \frac{d}{dt}(\mu\vec{H}.\vec{H} + \varepsilon E.E)\,dV$$

$$= -\frac{1}{2}\oint\left(\mu\vec{H}.\frac{d\vec{H}}{dt} + \varepsilon\vec{E}.\frac{d\vec{E}}{dt}\right)dV$$

BRAOU

$$= -\frac{1}{2}\left(\vec{H} \cdot \frac{d\vec{B}}{dt} + E \cdot \frac{d\vec{D}}{dt}\right)dV \qquad ...(28.16)$$

అవుతుంది. $\vec{B}$ మరియు $\vec{D}$ యొక్క తత్కాల (తాక్షణిక విలువలను పరిగణనలోకి తీసుకొని మాక్స్‌వెల్ సమీకరణాలు (28.1 & 28.2) ప్రతిక్షేపించగా, మనకు

$$\oint \vec{P} \cdot \vec{dA} = -\int \left(\vec{H} \cdot \frac{d\vec{B}}{dt} + E \cdot \frac{d\vec{D}}{dt}\right)dV$$

$$= \int (\vec{H} \cdot (\nabla \times \vec{E}) - \vec{E} \cdot \nabla \times \vec{H})dV \qquad ...(28.17)$$

వస్తుంది. కాని గణితశాస్త్ర సిద్ధాంతం ప్రకారం

$$\nabla \cdot (\vec{A} \times \vec{B}) = \vec{B} \cdot (\nabla \times \vec{A}) - \vec{A} (\nabla \times \vec{B}) \qquad ...(28.18)$$

కాబట్టి సమీకరణం 28.17

$$\oint \vec{P} \cdot \vec{dA} = \oint \nabla (\vec{E} \times \vec{H}) dV \qquad ...(28.19)$$

అవుతుంది.

కాని గౌస్ (Gauss theorem) సిద్ధాంత ప్రకారం

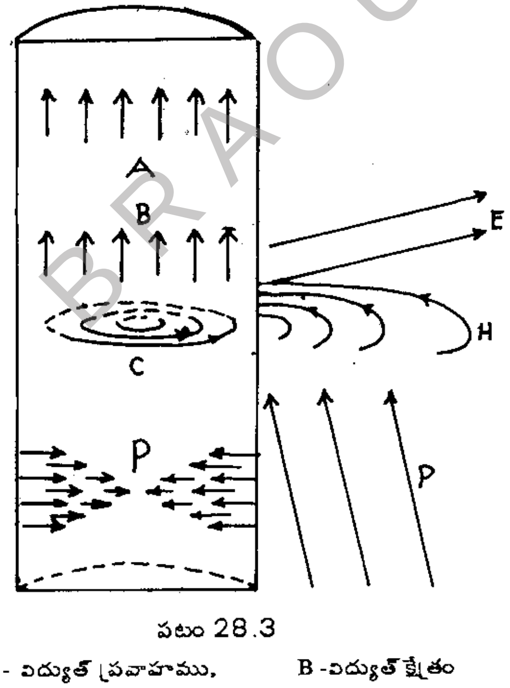
$\int \nabla (\vec{E} \times \vec{H}) dV = \int (\vec{E} \times \vec{H}) \vec{dA}$ అవుతుంది.

$$\oint \vec{P} \cdot \vec{dA} = \oint (\vec{E} \times \vec{H}) \vec{dA} \qquad ...(28.20)$$

అవుతుంది. కాబట్టి పాయింటింగ్ సదిశ $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$ ...(28.21)

అవుతుంది. (లేక ఏదేని ప్రదేశంలో $\vec{P} = \frac{1}{2\mu}(\vec{E}_m \times \vec{B}_m)$ గా వ్రాయవచ్చును)

అయితే విద్యుదయస్కాంత క్షేత్రం తరంగ రూపంలో ప్రసారమవుతూ ఉన్నపుడు ఆ తరంగాల ద్వారా ఈ శక్తి ప్రవహిస్తూ ఉంటుంది.



పటం 28.3

A - విద్యుత్ ప్రవాహము, B - విద్యుత్ క్షేత్రం

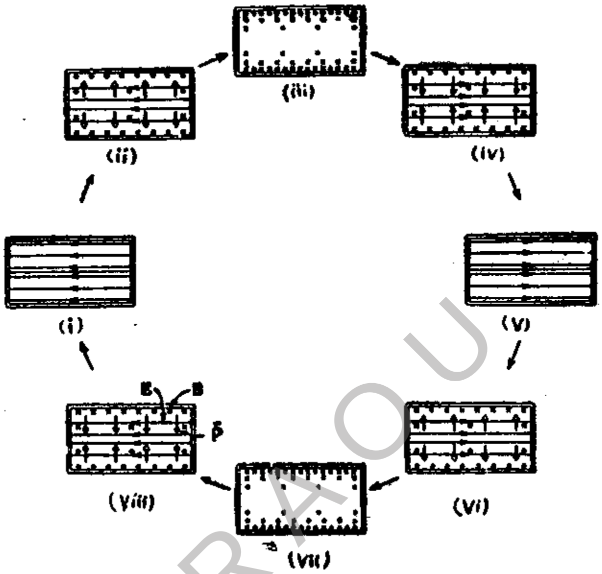
C - అయస్కాంత క్షేత్రం D - పాయింటింగ్ క్షేత్రము

ఉదాహరణకు, పొడవుగా ఉన్న స్థూపాకార వాహకంగుండా విద్యుత్ ప్రసారాన్ని పరిశీలిద్దాము. పటం 38.3లో పైకి ప్రసరిస్తున్న విద్యుత్ వాహక అర్ధభాగాన్ని చూపించడమైనది. వాహకంలోని

విద్యుత్ క్షేత్రం ఏకరీతిగా పైకి ఉన్నది. దాని చుట్టూ బాహ్యంగా ఉన్న తీవ్ర క్షేత్రం దానికి స్పర్శ రేఖీయంగా ఉంటుంది. అట్లాగే, వాహకం లోపలి అయస్కాంత క్షేత్రం వృత్తాకారంగా ఉండి దాని తీవ్రతవృత్త అర్థ వ్యాసానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. వాహకంలోని పాయింటింగ్ క్షేత్రం $\vec{E} \times \vec{H}$, వ్యాసార్ధం వెంబడి లోనికి పోయినా కొలది క్షీణిస్తూ ఉంటుంది. ఈ విధంగా లోనికి ప్రసరించే పాయింటింగ్ క్షేత్రం వాహక నిరోధంవల్ల నష్టమయ్యే శక్తికి సమానమవుతూ, వాహక అక్షము సమీపించిన కొలది తగ్గుతూ అక్షంవద్ద సున్నా అవుతుంది. ముఖ్యంగా, వాహకం చుట్టూ ఉన్న పాయింటింగ్ క్షేత్రం దానికి సమాంతరంగా ప్రసరిస్తుంది. ఈ విధంగా విద్యుదయస్కాంత శక్తి వాహకం వెంబడి ప్రసరిస్తుంది. అనగా వాహకం ఈ శక్తి ప్రసారానికి సహాయకారిగా మాత్రమే పనిచేస్తుందని గమనించవలెను.

పాయింటింగ్ సదిశ, అనగా విద్యుదయస్కాంత తరంగం ప్రసరించే దిశను కుడిచేతి నియమం ద్వారా తెలుసుకొనవచ్చును. కుడిచేత వ్రేళ్ళను $\vec{E}$ నుండి $\vec{H}$ దిశకు వక్రము చెందించినట్లయితే, చేతి బొటనవ్రేలు తరంగ ప్రసారదిశను చూపుతుంది.

ఉదాహరణ: 1. పటం 28.4 లో చూపిన కోటరంలోని శక్తి ప్రసారాన్ని పాయింటింగ్ సదిశ ద్వారా విశ్లేషించండి.



పటము 28.4

జవాబు:

అక్షం ప్రాంతంలో $\vec{E}$ కి గరిష్ఠ విలువ ఉంటుందికాబట్టి శక్తి అంతా విద్యుత్తుగా ఉన్నప్పుడు (పటాలు 28.4 i మరియు v) అది అక్షం వెంబడి కేంద్రీకృతమై ఉంటుంది. శక్తి అంతా అయస్కాంత శక్తిగా ఉన్నప్పుడు (పటాలు 28.4 iii మరియు vii) అది గోడల దగ్గర కేంద్రీకృతమై ఉంటుంది. అందువల్ల మధ్యభాగం నుంచి గోడల దగ్గర ఉండే ప్రాంతానికి శక్తి ముందుకు వెనుకకు ఆవర్తకంగా కదులుతుంది. కోటరంలో వివిధ బిందువుల వద్ద ఆవర్తనంలో వివిధ సమయాలలో $\vec{P}$ దిశను పూరించని బాణాలు చూపుతున్నాయి. పటాలు 28.4 i, iii, v, vii లకు $\vec{P}$ శూన్యానికి సమానమని గమనించ వచ్చును. ఎందుకనగా, వీటికి సంభవించిన తత్కాల క్షేత్ర ఆకృతులు క్షణికం మాత్రమే స్థిరంగా ఉండి శక్తి ప్రవహించదు కావున $\vec{P}$ శూన్యమవుతుంది.

BRAOU

28.5 సారాంశం

మాక్స్‌వెల్ సమీకరణాలలోని విద్యుత్ మరియు అయస్కాంత క్షేత్ర సదిశలు ప్రదేశంలో నిర్దిష్టవేగంతో ప్రయాణిస్తున్న పురోగామి విద్యుదయస్కాంత తరంగడోలన పరిమితాలను తెలుపుతాయి. విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు శూన్యప్రదేశంలో ప్రయాణిస్తాయి. తిర్యక్ తరంగ స్వభావాన్ని కలిగి యానకంలో విద్యుదయస్కాంత శక్తిని ఒకచోటి నుండి మరొకచోటికి రవాణా చేస్తాయి. పాయింటింగ్ సదిశ రాశి శక్తి ప్రసారాన్ని సూచిస్తుంది.

28.6 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి.

1) పాయింటింగ్ సదిశరాశి అనగానేమి?

2) ప్రయాణించు తరంగాలు అనగానేమి?

BRAOU

భాగం – 29 కాంతి స్వభావం

విషయ క్రమం

29.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
29.2 ప్రవేశిక
29.3 ద్విధ్రువ వికిరణము
29.4 కాంతి స్వభావం
29.5 విద్యుదయస్కాంత వర్ణపటం మరియు కాంతి
29.6 సారాంశం
29.7 నమూనా ప్రశ్నలు

29.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో కాంతి కిరణము విద్యుదయస్కాంత వర్ణపటంలో ఒక భాగమని తెలియచేయబడింది.

మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత కాంతి తరంగ మరియు కణ స్వభావం కలిగి ఉంటుందని గ్రహిస్తారు.

29.2 ప్రవేశిక

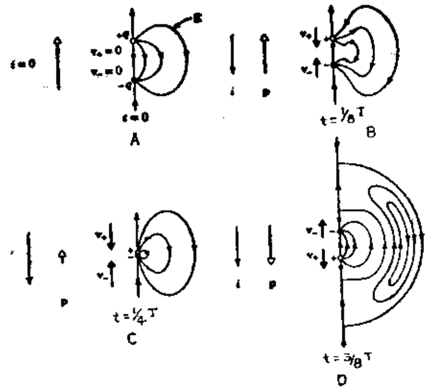
వికిరణం ముఖ్యంగా శక్తియొక్క ఉద్గారము మరియు వ్యాపకాలను గూర్చి వివరిస్తుంది. ఈ ప్రక్రియను విద్యుదయస్కాంత, ధ్వని మరియు కణ వికిరణములను మూడు ప్రధాన భాగాలుగా వర్గీకరింపవచ్చును. ఈ పాఠంలో మనం విద్యుదయస్కాంత వికిరణాన్ని గూర్చి చర్చిస్తాము. దీనిని శక్తి అధికమయ్యే విధాన్ని బట్టి లేక తరంగదైర్ఘ్య అవరోహణాన్ని బట్టిగాని రేడియో, సూక్ష్మ తరంగాలు, పరారుణ, కాంతి, అతినీల, X- కిరణములు మరియు γ కిరణములుగా విభజీకరింప వచ్చును.

విద్యుదయస్కాంత వికిరణం, కాలానుగుణంగా మార్పు చెందే విద్యుత్ మరియు అయస్కాంత క్షేత్ర తీవ్రతల ననుసరించి ఉంటుంది. కాబట్టి విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు త్వరణంతో కదులుతూ ఉన్న విద్యుదావేశంనుంచి ఉత్పన్నమవుతాయని భావించవచ్చును. 19వ శతాబ్దిలో క్లార్క్ మాక్స్వెల్ (Clark Maxwell) అనే బ్రిటిష్ శాస్త్రజ్ఞుడు సైద్ధాంతికంగా, విద్యుదయస్కాంత బలతీవ్రతలతో కాలానుగుణమైన స్పందన శక్తి విద్యుదయస్కాంత తరంగరూపంలో ప్రసారమవుతుందని నిరూపించినాడు.

BRAOU

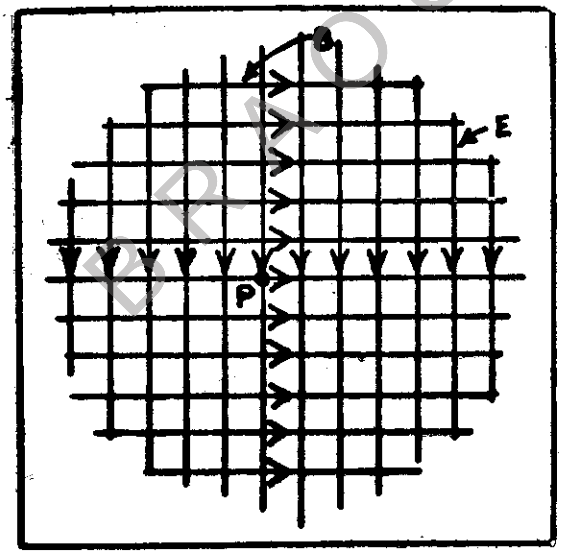
29.3 ద్విధ్రువ వికిరణము (Dipole Radiation)

శూన్య ప్రదేశంలో సరళ హరాత్మక చలనంలో నున్న విద్యుదావేశము, ద్విధ్రువ వికిరణమునిస్తుంది. పటం 29.1 ఏ విధంగా ద్విధ్రువ డోలకంనుండి విద్యుదయస్కాంత వికిరణం వెలువడుతుందో చూపుతుంది. ఇటువంటి ద్విధ్రువం యొక్క భ్రామకం Pతో గుర్తించిన బాణాలుసూచిస్తున్నవి. (సమాన మరియు వ్యతిరేక విద్యుదావేశం qల మధ్య దూరం a అయినప్పు డు దాని ద్విధ్రువ భ్రామకం q.a అవుతుంది) ద్విధ్రువ భ్రామకం జ్యా వక్రీయంగా (sinusoridal) డోలనాలు



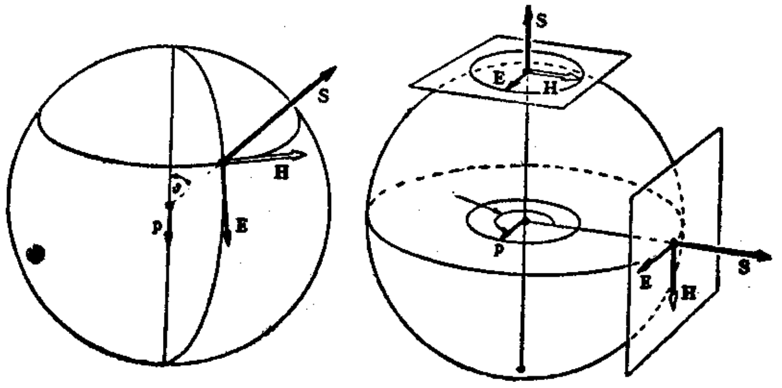
పటం29.1

చేస్తున్నప్పుడు, విద్యుత్ ద్విధ్రువం నుండి వికిరణం వెలువడుతుంది. అట్లాగే డోలాయమాన ఆవేశాలు పటంలో iతో గుర్తించిన బాణాలు సూచించే ప్రవహాలను జనింపజేస్తాయి. ఈ డోలయమాన విద్యుత్ప్రవాహాలు అయస్కాంత క్షేత్రాన్ని ($\vec{B}$) జనింపజేస్తాయి. డోలనావర్తనకాలంలో అష్టాంశం అంతరం ఉండే నాలుగు డోలన దశలలో ఆవేశాల వేగాలు, విద్యుత్ ద్విధ్రువభ్రామకం, తుల్య ప్రవాహాల $\vec{E}$ రేఖలు పటం 29.1 d నుండి a వరకు చూడవచ్చును. సరళత కోసం $\vec{B}$ రేఖలు పటంలో చూపలేదు. $\vec{B}$ రేఖలు, $\vec{E}$ రేఖలు కూడా 'c' వేగంతో ద్విధ్రువానికి దూరంగా కదిలిపోయే వివృత లూప్‌లను ఏర్పరుస్తాయి. దీనిని బట్టి ద్విధ్రువం నుండి వెలువడు విద్యుత్ రేఖల అపసరణం (divergence) సున్నా అని తెలుస్తుంది. అట్లాగే అయస్కాంత వివృత లూప్‌లు విద్యుత్ ద్విధ్రువానికి సహాక్షంగా, సమతలానికి లంబంగా ఉంటాయి. అన్యోన్యాశ్రితాలయిన ఈ ప్రయాణించే విద్యుత్, అయస్కాంత క్షేత్రాలే విద్యుదయస్కాంత వికిరణము. పటం 29.1 d లో P వద్ద ఉన్న పరిశీలకుడు చూసే విద్యుదయస్కాంత తరంగ తత్కాల దృశ్యము ఎట్లా ఉంటుందో పటం 29.2 చూపుతుంది.



పటము 29.2

సాధారణంగా విద్యుదయస్కాంత తరంగాలను జనింపజేసే పద్ధతి ఆ తరంగ పౌనఃపున్యంపై మరియు దానిని గ్రహించి విశ్లేషించే సాంకేతిక పరిజ్ఞానంపై ఆధారపడి ఉంటుంది. ఉదాహరణకు రేడియో తరంగాలు ప్రసార ఆంటెనాలో ఎలక్ట్రానులు డోలనాలు చేయడంవల్ల జనిస్తాయి. అట్లాగే పరమాణువులలోని ఎలక్ట్రానులు ఎక్కువ శక్తిస్థాయి (higher energy level) నుంచి తక్కువ శక్తిస్థాయిలోకి వచ్చినపుడు కాంతి వెలు వడుతుంది. విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు రేఖీయ మరియు వృత్తాకార డోలకాల నుండి ఎట్లా జనిస్తాయో పటం 29.3 లో చూపబడింది.



(a) (b)

పటము 29.3

29.4 కాంతి స్వభావము (Nature of light)

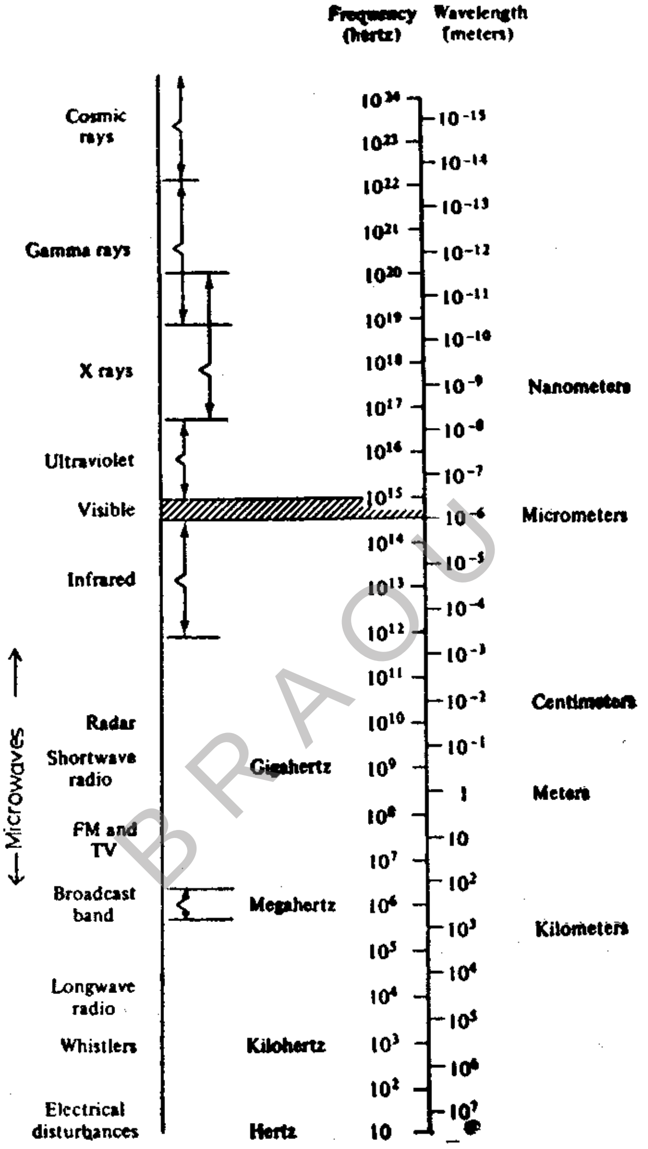
విశ్వానికి సంబంధించిన వార్తలన్నీ కాంతి మనకందజేస్తున్నది. నక్షత్రాలు, సూర్యుడి నుంచి వచ్చే కాంతి, వాటి అస్తిత్వాన్ని (existence), స్థానాల్ని వాటి కదలికలు, వాటి యొక్క అంగికభాగాలు (constituents) మరియు అనేక ముఖ్యమైన విషయాలను తెలుపుతుంది. మనచుట్టూ ప్రకృతిలో కనిపించే వస్తువులను వాటి నుంచి వచ్చే కాంతినిబట్టి చూడగలుగుతున్నాము. మనకు కనిపించే అనేక రంగులు, ఆ వస్తువులను తెలుసుకొనే పరిజ్ఞానాన్ని మనకంద జేస్తున్నాయి. కాబట్టి మనము, ఈ భౌతిక ప్రపంచం యొక్క అతి ముఖ్యమైన విషయాలు కొన్ని, వానిలోని వస్తువుల నుంచి వెలువడే కాంతిని బట్టి తెలుసుకొనవచ్చును.

కాంతి నిర్దిష్ట వేగంతో ప్రయాణిస్తుందని సైద్ధాంతికంగాను మరియు ప్రయోగ పూర్వకంగాను నిరూపించారు. విద్యుదయస్కాంత తరంగం వలె కాంతి తరంగం కూడ శూన్య ప్రదేశంలో $3x10^8$ మీటర్లు/సెకన్లు వేగంతో ప్రయాణిస్తుంది. గ్రహాలు, ఉపగ్రహాలు మొదలగునవి స్వయంప్రకాశాలు కానందువల్ల, సూర్యుని కాంతి వీటిపైబడి పరావర్తనం (reflection) చెందడంవలన వీటిని మనం చూడగలుగు తున్నాము. అట్లాగే కాంతి ఒక యానకం నుండి వేరొక యానకం లోకి ప్రయాణించేటప్పు డు వక్రీభవనం (refraction) చెంది వేరే వేగంతో ప్రయాణిస్తుంది. ఇలాంటి దృగ్విషయాలన్నింటిని 18వ శతాబ్దంలో న్యూటన్ శాస్త్రవేత్త కణ సిద్ధాంతం నాధారంగా విశదీకరించెను. కాని 19వ శతాబ్దం మొదటి భాగంలో థామస్ యంగ్ (Thomos Young) అనే శాస్త్రవేత్త వ్యతికరణము (interference) అనే దృగ్విషయాన్ని గూర్చి అధ్యయనం చేసెను. అట్లాగే వివర్తనం (diffraction) మరియు ధృవణం (polarication) అనే దృగ్విషయాలను కూడ అధ్యయనం చేశారు. ఈ దృగ్విషయాలన్నీ, కాంతి తరంగ సిద్ధాంతం నాధారంగా మాత్రమే అర్థం చేసుకోడానికి వీలయింది. అయినప్పటికి 20వ శతాబ్ది ప్రారంభంలో ఐన్‌స్టైన్ (Einstein) కనుగొన్న ఫోటో విద్యుత్ఫలితాన్ని (photo electric effect) కాంతికణ సిద్ధాంతానాధారంగా విశదీకరించెను. కాంతి ఫోటానులనబడే (photons) కణాలుగా ప్రసరిస్తుందని విశదీకరించి, ఒక ఫోటాను శక్తి $E = h\upsilon$ అనే సమీకరణం ద్వారా వస్తుందని ప్రతిపాదించెను. (ఇక్కడ h అనునది ప్లాంకు స్థిరాంకము, υ అనునది పౌనఃపున్యము). ఆధునిక దృక్పథంలో కాంతికి, కణ మరియు తరంగాలనే ద్వైత స్వభావ (dual nature) ముందని అనుకొంటాము.

BRAOU

29.5 విద్యుదయస్కాంత వర్ణపటము మరియు కాంతి

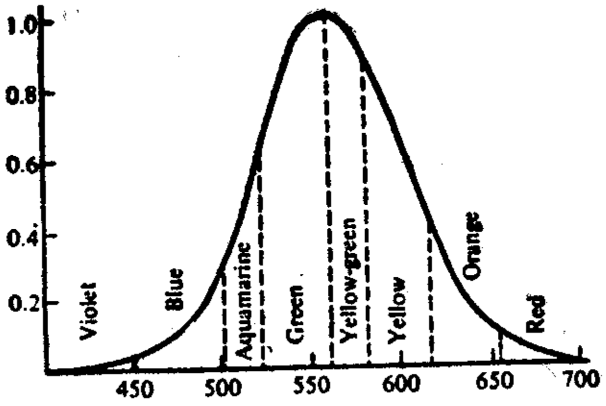
వ్యతికరణం మరియు వివర్తనం అనే దృగ్విషయాలు తరంగం యొక్క అభిలక్షణాలయినప్పటికి, ధృవణం కాంతి యొక్క తిర్యక్ తరంగ ప్రకృతిని తెలుపుతుంది. అట్లాగే విద్యుదయస్కాంత తరంగంవలె, కాంతి తరంగం కూడ శూన్య ప్రదేశంలో అదే వేగంలో ప్రయాణిస్తుంది. ఈ విషయాలను పరిశీలించి జేమ్స్ క్లార్క్ మాక్స్‌వెల్, కాంతి విద్యుదయస్కాంత వర్ణపటంలో ఒక భాగమని ప్రతిపాదించాడు. పటం 29.4 లో చూపినట్లు, కాంతి విద్యుదయస్కాంత వర్ణపటంలో ఒక చిన్న భాగమని తెలుస్తుంది. ఇది 700 నుంచి 400 నానో మీటర్లు (nm) తరంగ దైర్ఘ్యాన్ని కలిగియున్న విద్యుదయస్కాంత వర్ణపట భాగంగా గుర్తించవచ్చును. (1 nm = 10^{-9} మీటర్లు).



BRAOU

పటము 29.4

అట్లాగే పటం 29.5 లో చూపినట్లు, ఊహాత్మకంగా ప్రమాణ పరిశీలకుని కళ్ళుయొక్క అత్యధిక సాపేక్ష సూక్ష్మ గ్రాహ్యత సుమారు 555 x 10^{-9} nm వద్ద ఉంటుంది.



పటము 29.5

సాధారణంగా పదార్థములతో కాంతి తరంగ అన్యోన్యచర్య (interaction) విద్యుత్ క్షేత్ర ప్రభావం వలన జరుగుతుంది. పటం 29.4లో చూపించిన అన్ని తరంగాలు విద్యుదయస్కాంత స్వభావం కలిగి శూన్యప్రదేశంలో ఒకే వేగంలో (3×10^8 మీటర్లు/సెకను) ప్రయాణిస్తాయి. వాటి తరంగ దైర్ఘ్యం లేదా పౌనఃపున్యంలో మాత్రమే భేధం ఉంటుంది. అలాగే వాటిని జనింపజేసే, మరియు వాటిని కనుగొనే యంత్రాలలో మాత్రం బేధం ఉండవచ్చును ఈ విషయం దృష్టిలో ఉంచుకొని, కాంతిని కంటికి ఇంద్రియజ్ఞానాన్ని కలిగించే విద్యుదయస్కాంత వికిరణంగా భావించవచ్చును. విద్యుదయస్కాంత వర్ణపటానికి నియమితమైన ఎగువ అవధిగాని, దిగువ అవధిగాని లేదు.

29.6 సారాంశం

డోలాయమాన విద్యుదావేశం విద్యుదయస్కాంత తరంగాలను ఉత్పత్తి చేస్తుంది. కాంతికి తరంగ మరియు కణద్వైతస్వభావం కలదు.

29.7 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానం రాయండి.

1) కాంతి విద్యుదయస్కాంత వర్ణపటంలో భాగమేనని చూపండి. కాంతి స్వభావాన్ని చర్చించండి.

BRAOU

ఖండం-11 : స్థితి సమీకరణం

BRAOU

BRAOU

భాగం - 30 : వాస్తవ వాయువులు

విషయక్రమం

30.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
30.2 ప్రవేశిక
30.3 ఆదర్శ వాయువు స్థితి సమీకరణం
30.4 PV = RT సమీకరణం వాస్తవ వాయువులను వర్ణించ లేకపోవడానికి సంభావ్య కారణాలు
30.5 వాన్‌డర్ వాల్స్ స్థితి సమీకరణం
30.6 వాన్‌డర్‌వాల్స్ సమీకరణం నుంచి సందిగ్ధ స్థిరాంకాలను లెక్కకట్టడం.
30.7 వాన్‌డర్‌వాల్స్ సమీకరణం లక్షణాలు
30.8 సారాంశం
30.9 నమూనా ప్రశ్నలు
30.10 పదకోశం

30.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో ఆదర్శ వాయువు స్థితి సమీకరణ మాన్యత చర్చించబడింది. మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత వాన్‌డర్‌వాల్స్ స్థితి సమీకరణం నుంచి సందిగ్ధ స్థిరాంకాలను పొందగలరు.

30.2 ప్రవేశిక

మనం ప్రకృతిని అధ్యయనం చేసేటప్పుడు మనం సాధారణంగా (మన ఊహలో పదార్థంలో ఒక భాగాన్ని వేరుచేసి మన దృష్టిని దానిమీద కేంద్రీకరిస్తాం. మనం ప్రత్యేక అధ్యయనం చేసే ప్రకృతిలో అటువంటి భాగాన్ని వ్యవస్థ అంటారు. ఉదాహరణకు వ్యవస్థ ఒక పరమాణువు గాని, అణువుగాని కావచ్చు. అది కొంత ఘనపరిమానం గల వాయువుగాని ద్రవంగాని, లేదా ఘనపదార్థం ముక్క వంటి పరమాణువుల లేదా అణువుల పెద్ద సముదాయం కావచ్చు వ్యవస్థ యొక్క మూడు స్థితులు అన్నీ కలసికూడా ఏర్పడవచ్చు. వ్యవస్థ మినహా తక్కిన విశ్వాన్ని పరిసారాలు లేదా పరిసరం అంటారు.

ఒకసారి మన వ్యవస్థను ఎంపిక చేసుకున్న తరువాత ఆ వ్యవస్థ యొక్క స్థితిని ఆ వ్యవస్థకు సంబంధించిన పరిమాణాలపరంగా వర్ణించడం మొదలు పెడతాం. వ్యవస్థ దాని పరిసరాలతో జరిపే పరస్పర చర్యనుకూడా అధ్యయనం చేస్తాం. వ్యవస్థ పరిసరాలతో పరస్పరచర్య జరిపినపడు వ్యవస్థ స్థితిని వర్ణించే పరమాణాలు మారతాయి. ఉదాహరణకి మనకి ఆసక్తి ఉన్న వ్యవస్థ భూమి అనుకుందాం. అప్పుడు భూమివ్యవస్థ యొక్క యాంత్రిక స్థితి స్థిరంగా ఉన్న నక్షత్రాల చట్రానికి సంబంధించి దాని స్థానం, వేగంవల్ల తెలుస్తుంది. సూర్యుడు, గ్రహాలు, నక్షత్రాలు మొదలైనవి పరిసరాలు లేదా పరిసరం అవుతాయి. భూమి సూర్యుడు మొదలైనవాటితో జరిపే పరస్పర చర్య భూమిస్థానం, వేగంలో మార్పులు తెస్తుంది–అంటే దాని యాంత్రిక స్థితిలో మార్పు. ఒక వ్యవస్థకు ఇంకో ఉదాహరణ ఒక మొత్తం వాయువు. ఈ వ్యవస్థ యొక్క ఉష్ణగతిక స్థితి అనేది వాయువు యొక్క పీడనం, ఘన పరిమాణం వల్ల వర్ణించబడుతంది. వ్యవస్థగాని పరిసరాలలో పరస్పర చర్య జరిపినప్పుడు అది పరిసరాలనుంచి ఉష్ణాన్ని శోషించవచ్చు లేదా పరిసరాలకు ఉష్ణాన్ని ఇవ్వవచ్చు. అది పరిసరాలమీద కొంత యాంత్రిక పనిని కూడా చేయవచ్చు లేదా పరిసరాలు వాయువుమీద పనిచేయవచ్చు. ఈ పరస్పర చర్యలవల్ల వాయువు స్థితిని తెలిపే దాని పీడనం, ఘనపరిమాణం మారతాయి.

BRAOU

ఉష్ణశక్తి యాంత్రిక శక్తిగా చెందుతున్నప్పుడల్లా ఒక ఉష్ణగతిక ప్రక్రియ జరుగుతోందని అంటాం. అటువంటి పరివర్తనను జరిపే వ్యవస్థ ఉష్ణగతిక వ్యవస్థ అంటారు. అటువంటి వ్యవస్థ యొక్క స్థితిని తెలిపే పరిమాణాలను ఉష్ణగతిక చలరాసులు లేదా ఉష్ణగతిక నిరూపకాలు అంటారు.

ఒక వాయువుయొక్క ఉష్ణగతికస్థితి ఆ వాయువు యొక్క పీడనం, ఘనపరిమాణాల చేత నిర్ణయించబడుతుందని చెప్పియున్నాము. కచ్చితంగా చెప్పాలంటే కొంత మొత్తం వాయువు యొక్క ఉష్ణగతికస్థితి మూడు పరిమాణాలలో - అంటే పీడనం, ఘనపరిమాణం, ఉష్ణోగ్రత - ఏ రెండింటి విలువలనైనా ఇస్తే విశిష్టంగా చెప్పవచ్చు. అంటే ఈ మూడు పరిమాణాల మధ్య P,V,T, కింద చూపిన విధంగా ఒక ప్రమేయాత్మక సంబంధం వుంటుంది.

$$f(P,V,T,) = 0$$

అందువల్ల రెండింటి విలువలు ఇచ్చినప్పుడల్లా మూడోది ప్రమేయాత్మక సంబంధం వల్ల దానంతటదే నిర్ణయించబడుతుంది. అటువంటి సమీకరణాన్ని స్థితి సమీకరణం అంటారు.

30.3 ఆదర్శ ఆయువు యొక్క స్థితి సమీకరణం

కింది రకం సరళ సమీకరణం మనకిదివరకే తెలుసు

$$f(P,V,T.) = 0 \qquad 30.1$$

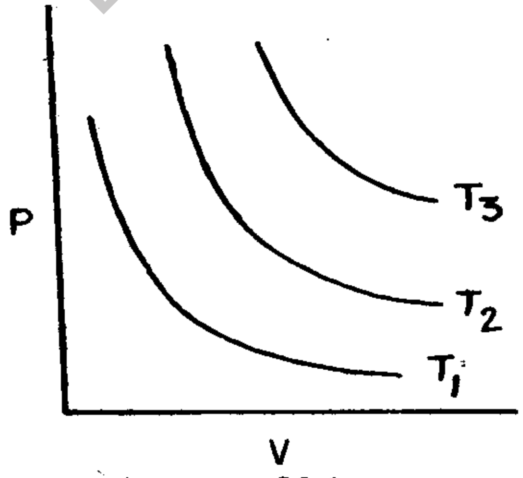
ఇది ఒక వాయువుకు అన్వయిస్తుంది. ఇదే ప్రసిద్ధమైన వాయుసమీకరణం. దీనిని 1 మోల్ వాయువుకు రాసినప్పుడు కింది రూపంలో వుంటుంది.

$$PV = RT, \qquad 30.2$$

ఈ సమీకరణాన్ని ప్రయోగాత్మక వాయు నియమాలు, అంటే బాయిల్స్ నియమం ఛార్లెస్ నియమం సహాయంతో వ్యుత్పన్నం చేయవచ్చు. పరమాణువుల, అణువుల స్వభావం గురించి మనం కొన్ని ఆదర్శీకరించిన ఊహానాలు చేసుకుంటే ఈ సమీకరణాన్ని వాయువుల అణుచల సిద్ధాంతం నుంచి కూడా వ్యుత్పన్నం చేయవచ్చు. ఈ స్థితి సమీకరణాన్ని PV=RT సాధారణంగా ఒక ఆదర్శ లేదా పరిపూర్ణ వాయువుకు స్థితి పమీకరణం అంటారు.

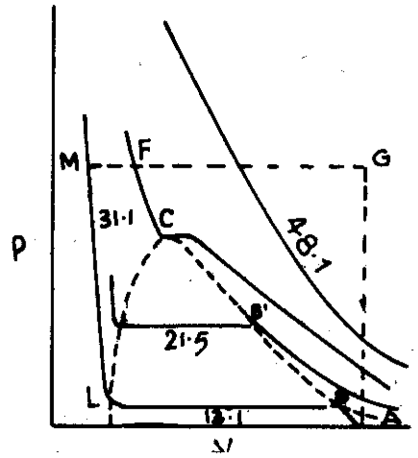
BRAOU

అధిక ఉష్ణోగ్రతల వద్ద, తక్కువ సాంద్రతలవద్ద వాస్తవ వాయువులు ఆదర్శ వాయువుయొక్క స్థితి సమీకరణాన్ని ఉజ్జాయింపుగా మాత్రమే పాటిస్తాయి. అల్ప ఉష్ణోగ్రతల వద్ద, అధిక పీడనాల వద్ద



పటము 30.1

వాయువులు ద్రవీకరణ చెందుతాయని మనకి తెలుసు. PV=RT సమీకరణం దీనిని ప్రాగుక్తం చెయ్యదు. ఒక ఆదర్శవాయువుకు స్థిర ఉష్ణోగ్రత వద్ద P.V ల మధ్య రేఖాపటం (P-V చిత్రం అంటారు) లంబ అతిపరావలయం (Rectangular by parabola) అవుతుంది. భిన్న ఉష్ణోగ్రతలకు మనకి భిన్న పరావలయాలు వస్తాయి. వీటిని పటం 30.1లో చూపడం జరిగింది. వాస్తవవాయువులకు (CO_2), వివిధ ఉష్ణోగ్రతల వద్ద P.V ల మధ్య ప్రయోగాత్మక వక్రాలు పటం 30.2లో చూపినట్లువుంటాయి. ఘనపరిమాణానికి సమాంతరంగా, ఋజువుగా వున్న వక్రాలలోని భాగాలు వాయువు ద్రవంగా మారుతున్న పరిస్థితిని సూచిస్తాయి. ఋజు రేఖ భాగానికి ఎడమ వైపున వక్రం లోని భాగం వాయువును మాత్రమే సూచిస్తుంది. దానికి కుడివైపున భాగం ద్రవాన్ని మాత్రమే సూచిస్తుంది. మూడో వక్రం మీద ఋజురేఖ భాగం నతివరివర్తన బిందువు (Point of inflection) మాత్రం అవుతుంది. ఈ బిందువు సందిగ్ధ బిందువు అంటారు.



పటము 30.2

ఈ బిందువు వద్ద వాయువు అంతా అకస్మికంగా ద్రవంగా మారుతుంది. వక్రం మీద సందిగ్ధ బిందువు ఉండే చోటుకు అనురూపమైన ఉష్ణోగ్రతను సందిగ్ధ ఉష్ణోగ్రత అంటారు. సందిగ్ధ బిందువు పీడనం, ఘనపరిమాణాలను సందిగ్ధ పీడనం, సందిగ్ధ ఘనపరిమాణం అంటారు. సందిగ్ధ ఉష్ణోగ్రతపైన, పీడనం ఎంతైనా, వాయువు ద్రవంగా మార్చటం వీలుకాదు. వాస్తవ వాయువుల ఈ ధర్మాలన్నీ PV=RT సమీకరణంలో వివరించలేమని ఇప్పు డు స్పష్టమైంది.

BRAOU

30.4 PV=RT సమీకరణం వాస్తవ వాయువులను వర్ణించలేకపోవడానికి సంభావ్య కారణాలు

వాస్తవ వాయువుల పరివర్తన ఇంకా ఎక్కువ కచ్చితంగా సూచించే స్థితి సమీకరణ, కోసం అన్వేషించాలని తెలుస్తుంది. ఆదర్శ వాయువుకు స్థితి సమీకరణాన్ని పరమాణువులు. అణువుల స్వభావం గురించి కొన్ని ఆదర్శీకరించిన ఊహనాలు చేస్తే వాయువుల అణుచలన సిద్ధాంతం నుంచి వ్యుత్పన్నం చేయవచ్చని పేర్కొన్నారు. ఈ ఊహానాలలో రెండింటిని చూద్దాం. మొదటగా వాయువు పరమాణువులకు లేదా అణువులకు ఘనపరిమాణమేమీ వుండదని మనం ఊహనం చేస్తాం. రెండోది, అభిఘాతాల సమయంలో తప్ప వాయువు పరమాణువుల మధ్య, అణువుల మధ్య పనిచేసే అంతరపరమాణుక, అంతర అణుక బలాలేవీ లేవని ఊహానం చేస్తాం. కాబట్టి PV=RT సమీకరణం ఈ ధర్మాలున్న పరమాణువులు, అణువులు ఉన్న వాయువులకు వర్తిసుంది. కాని వాస్తవ వాయువుల పరమాణువులకు, అణువులకూ ఈ ధర్మాలుండవు. వాస్తవ వాయువు పరమాణువులకు, అణువులకు నియత ఘనపరిమాణం వుంటుంది. వాయువు పరమాణువులు లేదా అణువుల మధ్య

అంతరపరమాణువు లేదా అంతర అణువు ఆకర్షక బలాలు కూడా వుంటాయి. కనక అన్ని వాయువులు PV=RT సమీకరణాన్ని పాటించవంటే ఆశ్చర్యం లేదు.

30.5 వాన్‌డర్‌వాల్స్ స్థితి సమీకరణం

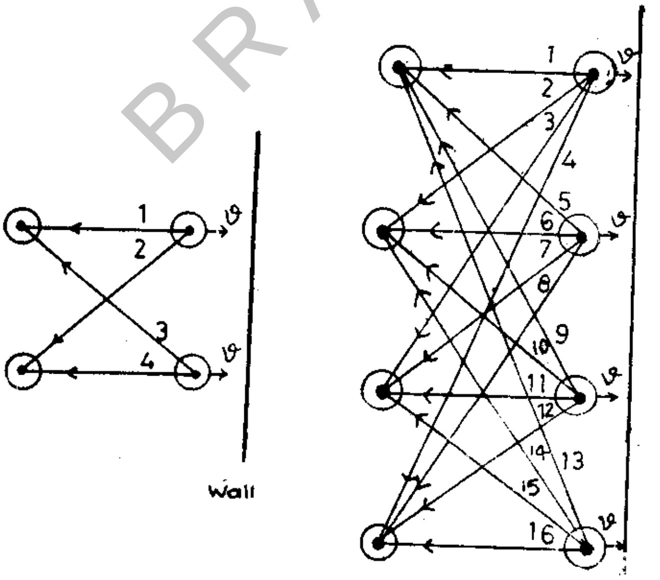
పై రెండు కారణాలను పరిగణనలోకి తీసుకుని వాస్తవ వాయువులకు వర్తించే ఒక స్థితి సమీకరణాన్ని వ్యుత్పన్నం చేయడానికి వాన్‌డర్‌వాల్స్ ప్రయత్నించాడు.

మొదటగా, ఆదర్శ వాయువు విషయంలో పరమాణువులు లేదా అణువులకు ఘన పరిమాణమేదీ వుండదు కనక వాయువు యొక్క మొత్తం ఘనపరిమాణం పరమాణువుల లేదా అణువుల చలనానికి స్వేచ్ఛగా అందుబాటులో వుంటుంది. కాని వాస్తవ వాయువులో పరమాణువులకు లేదా అణువులకు నియత ఘనపరిమాణం ఉంటుంది. కాబట్టి పరమాణువుల లేదా అణువుల చలనానికి అందుబాటులో వున్న స్వేచ్ఛాంతరాళం వాయువు ఘనపరిమాణం కన్న తక్కువగా వుంటుంది. స్వేచ్ఛాంతరాళం వాయువు ఘనపరిమాణంకన్న ఎంత తక్కువో ఆ పరిమాణాన్ని 'సహఘనపరిమాణం' అంటారు. దీనిని b అక్షరంతో సూచిస్తారు. V_m ఒకే ఒక పరమాణువు లేదా అణువుయొక్క ఘనపరిమాణాం అయితే, N అవొగాడ్రొ సంఖ్య అయితే b, $4NV_m$ సమానమవుతుందని నిరూపించవచ్చు. కాబట్టి ఆదర్శ వాయువుకు స్థితిసమీకరణంలో V బదులు (V-b) ప్రతిక్షేపించాలి. అందువల్ల ఈ సమీకరణం ఇప్పుడు కింది విధంగా అవుతుంది.

$$P(V-b) = RT \qquad 30.3$$

ఇక్కడ (V-b) పరమాణువుల లేదా అణువుల చలనానికి అందుబాటులో ఉన్న స్వేచ్ఛాంతరాళాన్ని సూచిస్తుంది.

తర్వాత అంతర పరమాణు లేదా అంతర అణు బలాల ఉనికిని పరిగణన లోకి తీసుకోవ డానికి ప్రయత్నిద్దాం. ఆదర్శవాయు సమీకరణంలో, అభిఘాత సమయంలో ఒకదానితో ఒకటి సంపర్కం కలిగివున్న సమయంలో తప్ప ఒకధానితో ఒకటి పరస్పర చర్య జరపని పరమాణువులు, లేదా అణువులు ప్రదర్శించే పీడనం P. కాని వాస్తవ వాయువులలో అంతర పరమాణు లేదా అంతర అణు బలాలు. అకర్షక స్వభావం కలవి. పరమాణువుల మధ్య లేదా అణువుల మధ్య అవి ఒకదానినొకటి



పటము 30.3

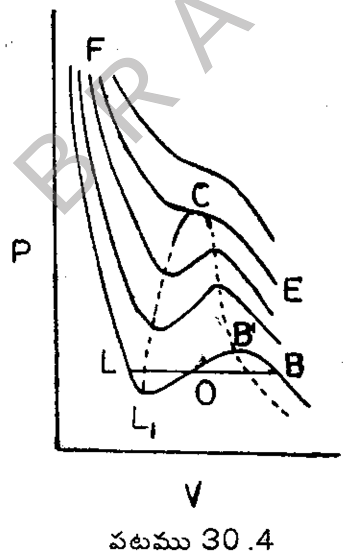
BRAOU

బాగా దూరంగా ఉన్నప్పటికీ చర్య జరుపుతాయి. వాయువు ప్రదర్శించే పీడనం పరమాణువు లేదా అణువుల పాత్ర గోడలతో జరిపే స్థితిస్థాపక అభిఘాతాల వల్లనే కలుగుతుంది. ఒక పరమాణువు లేదా అణువు పాత్ర గోడలను గుద్దుకున్నప్పు డల్లా దాని పక్కనగాని, వెనకగాని వున్న పరమావుణులు లేదా అణువులు వాటిని ఆకర్షించి గోడనుంచి దూరంగా తీసుకుపోతాయి. ఆ విధంగా పరమాణువుల లేదా అణువులు, ఆకర్షణ బలాలు లేకపోతే అవి గోడను గుద్దుకునే బలంకన్న తక్కువ బలంతో గోడను ఢీకొంటాయి. కాబట్టి గమనించిన పీడనం. ఆకర్షణ బలం లేని ఆదర్శ సందర్భంలో కనిపించే పీడనం కన్న తక్కువ వుంటుంది. ఆకర్షణబలాల వల్ల పీడనంలో కలిగే నష్టం అణువుల సంఖ్యాత్మక సాంద్రతయొక్క వర్గానికి అనుపాతంలో ఉంటుంది. ఎందువల్లనంటే పరమాణువు దా అణువుల సంఖ్యాత్మక సాంద్రతను రెట్టింపుచేస్తే, పరమాణువుల లేదా అణువుల మధ్య మధ్య ఆకర్షణబలాలా నాలుగు రెట్లు అవుతాయి. అందువల్ల పీడనం నష్టం కూడా నాలుగు రెట్లు అవుతుంది. (పటం చూడండి). పరమాణువుల లేదా అణువుల సంఖ్యాత్మక సాంద్రత వాయువు ఘనపరిమాణానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది. కనక పీడననష్టం, ఘనపరిమాణ వర్గానికి విలోమానుపాతంలో వుంటుందని చెప్పవచ్చు. లేదా ఇంకో విధంగా చెప్పాలంటే పీడన నష్టం a/V^2 సమానమవుతుంది. ఇందులో a ఒక స్థిరాంకం. అందువల్ల ఆకర్షక బలాలు లేకపోయినట్లయితే ఉండే ఆదర్శ పీడనం విలువ రావడానికి మనం దీనిని గమనించి పీడనానికి కలపాలి. కాబట్టి ఆదర్శవాయు సమీకరణంలోకి P బదులు $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)$ ప్రతిక్షేపిస్తాం. ఇప్పుడు ఆ సమీకరణం కింది విధంగా వుంటుంది.

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V-b) = RT \qquad 30.4$$

దీనిని వాన్‌డర్ వాల్స్ సమీకరణం అంటారు. సమీకరణానికి, స్థిర T విలువలకు గీస్తే పటం 30.4లో చూపినటువంటి వక్రాలు వస్తాయి. ఈ వక్రాలు వాస్తవ వాయువుల (పటం 30.2)

BRAOU



పటము 30.4

ప్రయోగాత్మక వక్రాలకు, ఆదర్శ వాయువు (పటం 30.1) వక్రాలకన్న ఎక్కువ సన్నిహితంగా వున్నాయని తెలుస్తుంది.

30.6 వానడర్ వాల్స్ సమీకరణంనుంచి సందిగ్ధ స్థిరాంకాలను లెక్కకట్టడం

వానడర్‌వాల్స్ సమీకరణం నుంచి a, b విలువలు తెలిస్తే సందిగ్ధ స్థిరాంకాలను లెక్కకట్టవచ్చు. ఇందుకు విపర్యయంగా ప్రయోగంనుంచి ఒక వాయువు యొక్క సందిగ్ధ స్థిరాంకాలు మనకి తెలిస్తే వాటిని ఉపయోగించి వానడర్‌వాల్స్ సమీకరణంలోని a, b స్థిరాంకాలు విలువలను నిర్ణయించవచ్చు.

సందిగ్ధ బిందువు నతిపరావర్తన బిందువు కావడం వల్ల ఈ బిందువు వద్ద V కి సంబంధించి P యొక్క మొదటి, రెండవ వ్యుత్పన్నాలు రెండూ సున్నాకావాలి. లేదా ఇంకో విధంగా చెప్తే సందిగ్ధ బిందువువద్ద

$$\frac{dP}{dV} = 0, \quad \frac{d^2P}{dV^2} = 0 \qquad 30.5$$

ఈ వక్రాలు స్థిర T వక్రాలు కావడంవల్ల ఈ రెండు సమీకరణాల నుంచి కిందివి వస్తాయి.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{-RT}{(V-b)^2} + \frac{2a}{V^3} = 0 \quad (T = \text{స్థిరాంకం}) \qquad 30.6$$

$$\frac{d^2p}{d^2V} = \frac{2RT}{(V-b)^3} + \frac{a}{V^4} = 0 \quad (T = \text{స్థిరాంకం}) \qquad 30.7$$

ఈ సమీకరణాల నుంచి కిందివి వస్తాయి

$$V_{cr} = 3b \qquad 30.8$$

$$T_{cr} = \frac{8a}{27R} \qquad 30.9$$

వీటిని వానడర్‌వాల్స్ సమీకరణంలో ప్రతిక్షేపిస్తే మనకు కిందిది వస్తుంది.

$$P_{cr} = \frac{a}{27bR} \qquad 30.10$$

లోగడ పేర్కొనట్లుగా సందిగ్ధ స్థిరాంకాలు తెలిస్తే మనం వాటిని ఉపయోగించి a,b ల విలువలు తెలుసుకోవచ్చు.

BRAOU

30.7 వానడర్‌వాల్స్ సమీకరణం యొక్క లక్షణాలు

పటం 30.2లోని వక్రాలను పటం 30.4తో పోలిస్తే ప్రయోగాత్మక వక్రాలలోని V - అక్షానికి సమాంతరంగా ఉన్న ఋజురేఖ భాగానికి బదులు వాన్‌డర్‌వాల్స్ సమీకరణం ఈ ప్రాంతంలో గరిష్ట కనిష్టను ఇస్తుందని మనకు తెలుస్తుంది. BB_1 ప్రాంతం అతిశీతల (అతి కసంతృప్త) భాష్పాన్ని, LL_1 ప్రాంతం అతితప్త ద్రవాన్ని సూచిస్తాయి. ఇవి రెండూ అస్థిర సమతాస్థితులే. అయితే ఈ స్థితులు ధూళి రేణువుల లేదా అయాన్‌ల వంటి సంఘటన లేదా బాష్పీభవన కేంద్రాలు లేని అత్యంత పరిశుద్ధ పదార్థాలను ఉపయోగించినప్పుడు ప్రయోగాత్మకంగా లభిస్తాయి. B_1OL_1 భాగం పూర్తిగా అస్థిరస్థితి. ఎందుకంటే ఇక్కడ ఘన పరిమాణం పీడనం తగ్గడంతోబాటు తగ్గుతుంది.

30.8 సారాంశం

వాయు స్థితి సమీకరణం PVSRT సమ్మేళనం కొన్ని ఊహనల సహాయంతో అణు చలన సిద్ధాంతం నుండి రాబట్టబడింది. ఆ ఊహనలు అణువులకు ఘనపరిమాణం ఉండదని. అభిఘాత సమయంలో తప్ప అణువులమధ్య బలాలేవీ ఉండవని.

వాయువు అణువుల నియత ఘనపరిమాణాన్ని లెక్కలోనికి తీసుకుంటే వాయువు ఘనపరిమాణం V నుంచి "సహానఘనపరిమాణం" b అనే ఒక పరిమాణాన్ని తీసివేయాలి.

అణువుల మధ్య ఆకర్షణ బలాలను లెక్కలోనికి తీసుకుంటే వాయు పీడనానికి గమనించిన పీడనం $\frac{a}{v^2}$ అనే మొత్తాన్ని కలపాలి. వాన్‌డర్ వాల్స్ సమీకరణం నుండి వాయు సందిగ్ధ స్థిర ాలను నిర్ణయిస్తాం.

30.9 నమూనా ప్రశ్నలు

ఎ. క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానం రాయండి

I. 1. ఒక స్థితి సమీకరణాన్ని వ్యుత్పన్నం చేసేటప్పు డు పరమాణువులు లేని అణువుల మధ్య ఆకర్షక బలం ఉనికిని ఎట్లా పరిగణనలోకి తీసుకుంటారు?

2. వానడర్‌వాల్స్ సమీకరణం అతితృప్త ద్రవాలను, అతిశీతల బాష్పాలను ఎలా ప్రాగుక్తం చేస్తుందో తెలపండి.

II. క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి

1. ఒక అదర్శవాయువు యొక్క స్థితి సమీకరణాన్ని వాస్తవ వాయువుల వర్తనను చర్చించండి.
2. వాయువుల అనుచలన సిద్ధాంతం యొక్క ఊహనలలో వాస్తవ వాయువుల పరమాణువుల, అణువుల ధర్మాలకు అనుగుణంగా లేనివి ఏవి?
3. పరమాణువుల లేదా అణువుల నియత ఘనపరిమాణం కారణంగా వాయువు ఘనపరిమాణంలో చేయవలసిన సవరణ ఏమిటి?

$$\frac{d^2P}{d^2V} = \frac{2RT}{(V-b)^3} + \frac{a}{V^4} = 0 \text{ (T = స్థిరాంకం)} \qquad 30.7$$

ఈ సమీకరణాల నుంచి కిందివి వస్తాయి.

30.10 పదకోశం

వ్యవస్థ	:	ప్రకృతిలో మన దృష్టిని కేంద్రీకరించిన భాగం
పరిసరాలు లేదా పరిసరం	:	వ్యవస్థ తప్ప మిగిలిన విశ్వం
ఉష్ణగతిక ప్రక్రియ	:	ఉష్ణశక్తి యాంత్రిక శక్తిగా పరివర్తనం చెందించబడే ప్రక్రియ

BRAOU

BRAOU

ఖండం–12 : ఉష్ణగతిక శాస్త్ర నియమాలు

BRAOU

BRAOU

భాగం - 31 : సున్న, మొదటి ఉష్ణగతిక శాస్త్ర నియమాలు

విషయక్రమం

31.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
31.2 ప్రవేశిక
31.3 ఒక వ్యవస్థ ఉష్ణ సమతా స్థితి
31.4 స్థిరోష్ణక లేక ఉష్ణ వాహక గోడలు
31.5 రెండు వ్యవస్థల మధ్య ఉష్ణ సమతాస్థితి
31.6 సున్న ఉష్ణగతిక నియమం
31.7 ఉష్ణోగ్రతభావన
31.8 ఉష్ణోగ్రతను కొలవడం
31.9 వివిధ రకాల ఉష్ణోగ్రత మాపకాలు
31.10 ఉష్ణ స్వభావం
31.11 ఉష్ణగతిక శాస్త్ర మొదటి నియమము
31.12 ఒక వాయువు వ్యాకోచం చెందుతుండగా దాని చేత చేయబడేపని
31.13 సారాంశం
31.14 నమూనా ప్రశ్నలు
31.15 పదకోశం

31.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో ఉష్ణగతిక శాస్త్ర భావనల వివరణ ఉంది. మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత వివిధ పద్ధతుల ద్వారా ఉష్ణోగ్రతను లెక్కించగలరు.
ఒక వాయువు వ్యాకోచిస్తున్నప్పు డు చేసే పనిని గణించగలరు.

31.2 ప్రవేశిక

మనం లోగడ పేర్కొన్నట్లుగా ఒక వ్యవస్థలోకి ప్రవహించి, వ్యవస్థ పనిచేసినప్పు డల్లా - అంటే ఉష్ణశక్తి యాంత్రిక శక్తిగా పరివర్తనం చెందడం - ఒక ఉష్ణ గతిక ప్రక్రియ జరుగుతుంది. నిత్యజీవితంలో మనకి అనేక ఉష్ణగతిక ప్రక్రియలు ఎదురవుతాయి. నిజానికి మన ఆధునిక నాగరికత ఆవిరియంత్రం కనిపెట్టడంతో ప్రారంభమయింది. ఇందులో బొగ్గును మండిచడంవల్ల లభించిన ఉష్ణశక్తి యాంత్రిక శక్తిగా మార్చబడుతుంది. ఆవిరియంత్రమే కాకుండా ఆధునిక సమాజం డీసెల్, పెట్రోల్ యంత్రాలమీద కూడ ఎక్కువగా ఆధారపడుతుంది. వీటిలో డీసెల్‌నుగాని పెట్రోలునుకాని మండించడం వల్ల లభించిన ఉష్ణశక్తి యాంత్రిక శక్తిగా మార్చబడుతుంది. ఈ విధంగా ఈ పరివర్తనం యొక్క అధ్యయనానికి ఆధునిక సమాజంలో ప్రాథమిక ప్రాముఖ్యం ఉంది. ఈ ప్రాముఖ్యమే ఉష్ణగతిక శాస్త్ర అభివృద్ధికి దారితీసింది.

ఉష్ణశక్తి యాంత్రికశక్తిగా పరివర్తనం చెందడం కొన్ని నియమాల ప్రకారం జరుగుతుంది. ఉష్ణయంత్రాలు పనిచేసే తీరుని అవగాహన చేసుకోవడానికి వాటిని రూపొందించడానికి ఈ నియమాల అధ్యయనం అవశ్యకం. ఈ నియమాలు సార్వజనీన స్వభావం కలవి. ఈ నియమాల విశ్లేషణవల్ల మనం

BRAOU

నివసించే విశ్వం యొక్క ప్రక్రియల అవగాహన, నిశిత పరిజ్ఞానం లభిస్తాయి. అందువల్ల తరువాతి కొద్ది పాఠాలలో ఈ నియమాలను అధ్యయనం చేయడం, విశ్లేషించడం, అనువర్తింపచేయడం జరుగుతుంది.

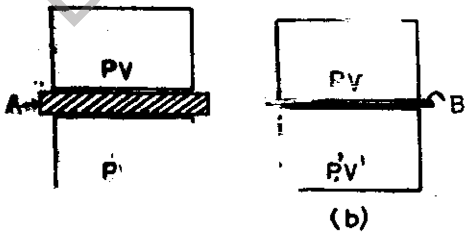
31.3 ఒక వ్యవస్థ యొక్క ఉష్ణ సమతాస్థితి

ఒక వ్యస్థను నిర్దేశించే ఉష్ణగతిక చలరాశులు స్థిరంగా ఉంటే అప్పుడు; వ్యవస్థ ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉన్నట్లు చెప్పబడుతుంది. ఒక మొత్తం వాయువు వంటి, స్థిర ద్రవ్యరాశి గల ఒక ఉష్ణగతిక వ్యవస్థకు, ఆ వ్యవస్థ యొక్క ఉష్ణగతిక స్థితిని నిర్దేశించే ఉష్ణగతిక చలరాశులు రెండు ఉంటాయి. ఉదాహరణకు పీడనం ఘనపరిమాణం. ఒక వాయువు యొక్క పీడనం, ఘనపరిమాణం కాలంతో పాటు మార్పు చెందకుండా స్థిరంగా ఉంటే అప్పుడు, ఆ వాయువు ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉన్నట్లు చెప్పబడుతుంది.

ఒక వ్యవస్థ ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉంటుందా లేదా అనేది ఇతర వ్యవస్థల సామీప్యత, ఈ వ్యవస్థకు, ఇతర వ్యవస్థలకు మధ్య ఉండే గోడ స్వభావం మీద ఆధారపడుతుంది.

31.4 స్థిరోష్ణక లేదా ఉష్ణవాహక గోడలు

A అనే వ్యవస్థ (కొంత మొత్తం ఏదో ఒక వాయువు), P,v ఉష్ణగతిక చర్యా రాశులతో ఉందనుకుందాం. ఇంకో వ్యవస్థ B (ఇది మళ్ళీ వేరే ఇతర వాయువు వేరే మొత్తంలో) P^1,V^1 ఉష్ణగతిక రాశులతో ఉందనుకొందాం. ఇప్పుడు వాటిమధ్య ఒక గోడలో వాటిని సంపర్కంలోకి తీసుకు వచ్చాయనుకుందాం (పటం 31.1) వ్యవస్థ A యొక్క P,V లను మారుస్తూ పోతామనుకుందాం. దీనివల్ల వ్యవస్థ B యొక్క P^1,V^1లలో మార్పులు కలిగితే, అప్పుడు వాటి మధ్య గోడ ఉష్ణవాహకమని అంటాం. లేదా ఇంకో విధంగా చెప్తే వ్యవస్థ యొక్క P^1,V^1 విలువలు, వ్యవస్థ A యొక్క P,v విలువలచేత నిర్ణయింపబడతాయి. లేదా వ్యవస్థ A యొక్క P,V విలువలు , వ్యవస్థ B యొక్క P,v విలువలచేత నిర్ణయింపబడతాయి. ఆ గోడ ఉష్ణవాహకమైతే, అలా కాకుండా వ్యవస్థ A యొక్క P,V విలువలలో మార్పులు వ్యవస్థ B యొక్క P^1,V^1 విలువలలో ఏమీ మార్పులు తీసుకురాకపోతే అప్పుడు స్పర్శగోడ స్థిరోష్ణకమని చెప్పబడుతుంది. ఈ విధంగా వాటి మధ్య ఒక స్థిరోష్ణక గోడ వుంటే వ్యవస్థ A యొకలో P,V విలువలు, వ్యవస్థ B యొక్క P,V^1 విలువలు ఒక దానిమీద ఒకటి ఆధారపడకుండా ఉంటాయి. పలచని లోహపు రేకులు ఉష్ణవాహక గోడలకు ఉదాహరణలు. మందమైన కర్ర, కాంక్రీట్, ఆస్‌బెస్టాస్ మొదలైన పొరలు స్థిరోష్ణక గోడలకు ఉదాహరణలు



పటము 31.1

రెండు వ్యవస్థలను ఒక ఉష్ణవాహక గోడ ద్వారా సంప...లోకి తీసుకువస్తే మామూలుగా ఆ రెండు వ్యవస్థల యొక్క ఉష్ణగతిక చలరాశులు అవిరుద్ధం... వు. అవి అవిరుద్ధంగా అయ్యేవరకు మారుతూనే వుంటాయి. అవిరుద్ధ విలువలు సమీపించిన తర్వాత ఇంక ఏ మార్పు ఉండదు. ఉష్ణగతిక

BRAOU

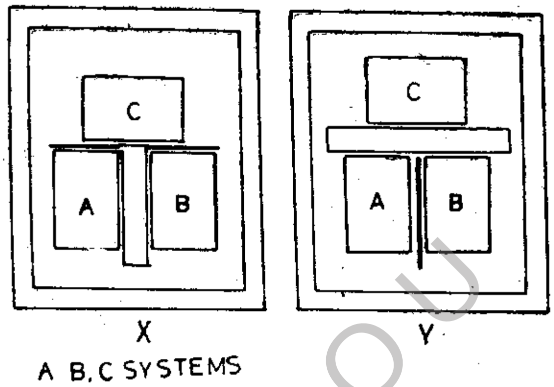
చలరాశుల విలువలు కాలంతో బాటు మారకుండా స్థిరంగా వుంటాయి. ఈ రెండు వ్యవసస్థలు ఒకదానిలో ఒకటి ఉష్ణసమతాస్థితిలో వుంటాయి.

31.5 రెండు వ్యవస్థల మధ్య ఉష్ణ సమతాస్థితి

రెండు వ్యవస్థల మధ్య ఉష్ణవాహక గోడతో అవి సంపర్కం కలిగివుంటే, వాటి ఉష్ణగతిక చలరాశులు కాలంతోపాటు మారకుండా స్థిరంగా వుంటే ఆ రెండు వ్యవస్థలు ఒక దానితో ఒకటి ఉష్ణ సమతాస్థితిలో వున్నట్లు చెప్పబడతాయి.

31.6 సున్న ఉష్ణగతిక నియమం

A,B అనే రెండు వ్యవస్థలు వాటి మధ్య స్థిరోష్ణక గోడతో ..యనుకుందాం. A,B లకు వ్యవస్థ C తో ఒక ఉష్ణవాహక గోడ ద్వారా సపర్కం ఉండేట్లు చేయం.. ఈ మొత్తం సముదాయం చుట్టూ ఒక స్థిరోష్ణక గోడ వుంటుంది. (పటం 31.2) కొంతకాలం తరువాత A,B వ్యవ్థలు C తో ఉష్ణసమతాస్థితికి



పటము 31.2

వస్తాయి. ఇప్పుడు మనం A,Bల మధ్య వున్న స్థిరోష్ణక గోడను తీసివేసి, ఒక ఉష్ణవాహక గోడను పెడితే ఇంక ఏ విధమైన మార్పు ఉండదు. అంటే A,Bలు ఒకదానితో ఒకటి ఉష్ణ సమతాస్థితిలో వుంటాయి. మనం ముందుగా A,Cలను ఉష్ణసమతాస్థితికి వచ్చేటట్టు చేసినా (C యొక్క స్థితి మార్చకుండా అంతటా ఉంచితే) A,Bలు ఒకదానితో ఒకటి ఉష్ణసమతా స్థితిలో ఉంటాయి. ఈ ఫలితాలను ఒక నియమం రూపంలో పేర్కొనడం జరిగింది. ఈ నియమం ప్రకారం "రెండు వ్యవస్థలు మూడోదానితో ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉంటే అవి ఒకదానితో ఒకటి ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉంటాయి. ఆర్.హెచ్. ఫౌలర్ దీన్ని సున్న ఉష్ణగతిక నియమం అన్నాడు.

31.7 ఉష్ణోగ్రత భావన

రెండు వ్యవస్థలు ఒకదానితో ఒకటి ఉష్ణ సమతాస్థితిలోకి వస్తే రెండు వ్యవస్థల యొక్క ఏదో ఒక ధర్మం ఒకే విలువను పొందుతుంది.

ఈ విధంగా A,Cతో సమతాస్థితిలో ఉన్నప్పు డు, C మళ్ళీ Bతో ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉన్నప్పు డు ఈ మూడు వ్యవస్థల పేర్కొన్న ధర్మం ఒకే విలువను కలిగి వుంటుంది. అందువల్ల A,B లను సంపర్కంలోకి తీసుకువస్తే అవి ఉష్ణ సమతాస్థితిలో వుంటాయి.

రెండు వ్యవస్థలు ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉన్నాయా లేదా అనేది నిర్ణయించే ఉష్ణగతిక వ్యవస్థయొక్క ఆ ధర్మాన్ని ఉష్ణోగ్రత అంటారు. కాబట్టి రెండు వ్యవస్థలు ఒకదానితో ఒకటి ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉండాలంటే ఉష్ణోగ్రత సమానత్వం ఆవశ్యకతపైన, సరిపోయిన పరిస్థితి అవుతుంది.

ఉష్ణోగ్రత యొక్క ఈ నిర్వచనం నిత్య జీవితంలో మన అనుభవంతో ఏకీభవిస్తుంది. తాకినప్పు డు ఒకే స్థాయి వేడి ఉన్న రెండు వ్యవస్థలు, వాటిని ఒకదానితో ఒకటి ఉష్ణవాహక సంపర్కంలోకి తీసుకువచ్చినప్పు డు అవి ఒకదానితో ఒకటి ఉష్ణసమతాస్థితిలో ఉంటాయని మనకు తెలుసు. మన స్పర్శజ్ఞానానికి ఆ రెండు వ్యవస్థలు వేరువేరు స్థాయిల వేడిని కలిగి ఉంటే, వాటిని ఉష్ణవాహక సంపర్కలోకి తీసుకువచ్చినపడు అవి ఒకదానితో ఒకటి ఉష్ణ సమతాస్థితిలొ ఉండవు. స్పర్శ జ్ఞానానికి ఉండే వేడి స్థాయి ఉష్ణోగ్రత యొక్క శాస్త్రీయ భావనకు మూలము, ఆధారము.

31.8 ఉష్ణోగ్రతను కొలవడం

ఉష్ణోగ్రతను గురించి శరీరధార్మిక భావం మారుతుంటే, వ్యవస్థలు అనేక భౌతిక ధర్మాలు మారతాయి. కాబట్టి ఈ ధర్మాలలో ఏ ఒక్కదానిలోనైనా వచ్చే మార్పును ఒక వ్యవస్థ యొక్క ఉష్ణోగ్రతను కొలవడానికి ఉపయోగించవచ్చు. ఉష్ణోగ్రత పట్ల మన శరీర ధార్మిక భారంతో పాటు మార్పుచెందే ఒక వ్యవస్థ యొక్క అటువంటి ధర్మాన్ని ఉష్ణ మాపక (Thermometric) ధర్మం అంటారు. ఆ వ్యవస్థను ఉష్ణమాపకం అంటారు.

మనం X అనే ఉష్ణమాపక ధర్మంతో ఒక ఉష్ణోగ్రత స్కేల్‌ను (కొలమానం) ఏర్పాటు చేయాలనుకున్నామనుకోండి. ఉష్ణోగ్రత T,X యొక్క రేఖీయ ప్రమేయం అనుకోండి.

$$T(X) = aX \qquad 31.1$$

ఇక్కడ a ఒక స్థిరాంకం.

T,X ల మధ్య రేఖీయ సంబంధం వుందంటే సమాన ఉష్ణోగ్రత వ్యత్యాసాలకు Xలో సమానమైన మార్పులు కలుగుతాయని భావం. ఆ వ్యవస్థ యొక్క రెండు ఉష్ణోగ్రతల మధ్య నిష్పత్తి, ఉష్ణోగ్రతల వద్ద X విలువల మధ్య నిష్పత్తి సమానమని కూడా దాని అర్థం.

$$\frac{T(X_1)}{T(X_2)} = \frac{X_2}{X_2} \qquad 31.2$$

స్థిరాంకం a ని నిర్ణయించడానికి, అన్ని ఉష్ణోగ్రతా మాపకాలు ఒకే ఉష్ణోగ్రత T ని ఇచ్చే ఒక ప్రమాణ స్థిరబిందువును మనం నిర్దేశిస్తాం. ఈ బిందువును నీటిత్రిక బిందువు (Triple point)గా ఎంచుకుంటాం. (నీటి ఆవిరి, నీరు మంచు (ఐస్) కలిసివుండే బిందువు). ఈ బిందువు యొక్క ఉష్ణోగ్రతను 273.16^0K కెల్విన్ (273.16^0K అని రాస్తారు)గా యాదృచ్ఛికంగా నిర్ణయించారు. అప్పు డు ఏ ఉష్ణోగ్రతా మాపకానికైనా

$$\frac{T(X)}{T(X_{tr})} = \frac{X}{X_{tr}} \qquad 31.3$$

BRAOU

ఇక్కడ tr అనే పాదాంకం (subscript) ఈ విలువలు త్రికబిందువు వద్ద ఉన్నాయని సూచిస్తుంది. ఇప్పు డు అన్ని ఉష్ణోగ్రతా మాపకాలను

$$T(X_{tr}) = 273.16^0 k \qquad 31.4$$

అవుతుంది గనక మనకు కిందిది లభిస్తుంది.

$$T(X) = 273.16^0 K \frac{X}{X_{tr}} \qquad 31.5$$

31.9 వివిధ రకాల ఉష్ణోగ్రతామాపకాలు

మనం ఉష్ణోగ్రతా మాపకంగా రెండు ఉష్ణగతిక చలరాశులు గల ఒక వ్యవస్థను, ఉదాహరణకు ఒక మొత్తం వాయువు ఉపయోగిస్తే వాటిలో ఒకదాన్ని స్థిరంగా ఉంచి రెండో దాన్ని మాత్రం మార్చటం అవసరమవుతుంది. కాబట్టి ఒక వాయువు విషయంలో మనం రెండు రకాల ఉష్ణోగ్రతా మాపకాలను నిర్మించవచ్చు. మొదటిది స్థిర ఘనపరిమాణ ఉష్ణోగ్రతా మాపకం, ఇందులో పీడనం మాత్రమే మారుతుంది. మనం ఉష్ణోగ్రతను కింది సమీకరణంతో కొలవవచ్చు.

$$T(P) = 273.16^0 K \frac{P}{P_{tr}} \qquad 31.6$$

రెండోవది స్థిర పీడన ఉష్ణోగ్రతా మాపకం. ఇందులో ఘనపరిమాణం మాత్రమే మారుతుంది. మనకి కింది సమీకరణంలో ఉష్ణోగ్రత లభిస్తుంది.

$$T(V) = 273.16^1 K \frac{V}{V_{tr}} \qquad 31.7$$

ఇవి కాకుండా ఒకే ఒక భౌతిక ధర్మంలో మార్పును ఉష్ణోగ్రతను కొలవడానికి ఉపయోగించే వ్యవస్థలున్నాయి. ఈ విధంగా ఒక ద్రవం యొక్క ఘనపరిమాణ వ్యాకోచాన్ని పాదరస ఉష్ణోగ్రతా మాపకం వంటి గ్లాస్‌లో ద్రవం ఉష్ణోగ్రతా మాపకాల విషయంలో ఉష్ణోగ్రతను కొలవడానికి ఉపయోగిస్తారు. ఒక తీగె విద్యుత్ నిరోధకతలో మార్పును ప్లాటినమ్ నిరోధకత ఉష్ణోగ్రతా మాపకంలో ఉష్ణోగ్రతను కొంలవడానికి ఉపయోగిస్తారు. కడ్డీ పొడవులో పెరుగుదలను ఉష్ణోగ్రతను కొలవడానికి ఉపయోగించవచ్చు. ఉష్ణయుగ్మం (Thermocouple) చేత ఉత్పాదించబడిన ఉష్ణం e.m.f. థర్మోపైల్స్‌లో ఉష్ణోగ్రతను కొలవడానికి ఉపయోగిస్తారు. పైరోమీటర్‌లలో ఉష్ణోగ్రతను కొలవడానికి ఒక వస్తువుచేత ఉద్గారించబడిన కాంతి వర్ణపట సంఘటన (రంగు)లో వైవిధ్యాన్ని ఉపయోగిస్తారు.

31.10 ఉష్ణం స్వభావం

వేరువేరు ఉష్ణోగ్రతల వద్ద ఉన్న రెండు వ్యవస్థలను దగ్గరకు తీసుకువస్తే ఎక్కువ ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న వ్యవస్థనుంచి తక్కువ ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న వ్యవస్థకు ఏదో ఒకటి ప్రవహిస్తుందని మనం అనుకుంటాం. ఉష్ణ సమతాస్థితి ఏర్పడేవరకు ఈ ప్రవాహం కొనసాగుతుంది. ఉష్ణోగ్రత వ్యత్యాసం వల్ల ఒక వ్యవస్థ నుంచి ఇంకో దానికి ప్రవహించే దానిని ఉష్ణం అంటాం.

తొలిరోజుల్లో ఉష్ణం ఏదో ఒక రకమైన ప్రవాహి అనుకునేవారు. ఈ ప్రవాహిని కెలోరిక్ అనేవారు. అధిక ఉష్ణోగ్రత వద్ద నున్న వస్తువుకు ఈ ప్రవాహి ఎక్కువ పీడనం వద్ద ఉంటుంది. తక్కువ ఉష్ణోగ్రత

BRAOU

వద్దనున్న వస్తువుకు ఈ ప్రవాహి తక్కువ పీడనం వద్ద వుంటుంది. ఈ విధంగా భిన్న ఉష్ణోగ్రతల వద్దనున్న రెండు వస్తువులను ఉష్ణ వాహక సంపర్కంలోకి తీసుకువచ్చినప్పుడు కెలోరిక్ ప్రవాహి అధిక పీడనం వద్దనున్న వస్తువు నుంచి అది తక్కువ పీడనం వద్ద ఉన్న వస్తువుకు పీడనాలు సమానమయ్యేవరకు ప్రవహిస్తుంది.

ఘర్షణ వ్లల ఉష్ణం ఉత్పత్తి కావడాన్ని వివరించడానికి, వస్తువులను కలిపి రుద్దిత వాటిలో ఉండే కెలోరిక్ ప్రవాహి బయటికి నెట్టివేయబడుతుందని అందువల్ల ఉష్ణం ఉత్పన్నమయినట్లు భావిస్తామని అనేవారు.

కాని ఈ సిద్ధాంతం ఎక్కువ కాలం నిలబడలేదు. రాయల్ సొసైటీ ఆఫ్ లండన్ వ్యవస్థాపకుడయిన కౌంట్ రుమ్ఫరేడ ఒక కానన్‌యొక్క బోర్ రంధ్రంలో మొద్దుగా వున డ్రిల్ బిట్‌ను విడవకుండా తిప్పితే అంతరించని ఉష్ణ మొత్తం ఉత్పత్తి చేయవచ్చని నిరూపించాడు. ఇది కెలోరిక్ సిద్ధాంతంతో ఏకీభవించదు. కెలోరిక్ సిద్ధాంతం ప్రకారం ఏ వస్తువుకైనా నియత మొత్తం కెలోరిక్ ప్రవాహి మాత్రమే ఉండగలదు. ఒకసారి ఈ మొత్తం ఘర్షణ వల్ల వెళ్ళగొట్టబడితే ఇంక ఉత్పత్తి ఏమీ జరగకూడదు. ఈ విధంగా ఘర్షణవల్ల అంతరించని మొత్తం ఉష్ణం ఉత్పాదించబడడం కెలోరిక్ సిద్ధాంతాన్ని బలపరచదు.

ఐస్‌ను నీరుగా మార్చలంటే ఉష్ణాన్ని సరఫరా చేయాలని మనకి తెలుసు. ఆ విధంగా నీటిలో మంచులోకన్న ఎక్కువ కెలోరిక్ ఉండాలి. రెండు మంచు గడ్డలను కలిపి రుద్దితే అవి కరిగి నీరు ఏర్పడుతుందని సర్ హంఫ్రీ డేవిస్ నిరూపించాడు. కెలోరిక్ సిద్ధాంతం సరైనదైతే రుద్దడంవల్ల మనం మంచునించి కెలోరిక్‌ని బయటకు నెట్టివేస్తాం. ఈ ప్రక్రియలో ఏర్పడిన ఉత్పన్నంలో మంచుకన్న తక్కువ కెలోరిక్ ఉండాలి. ఇది లోగడ పేర్కొన్న విషయానికి విరుద్ధంగా వుంది. డ్రిల్‌బిట్ చేసిన పని మొత్తానికి, ఉత్పాదించబడిన ఉష్ణ పరిమాణానికి సంబంధం వుందని కూడాకౌంట్‌రుంఫర్డ్ చూపించారు.

దీనినుంచి ఉష్ణం చలనం యొక్క ఒక రూపమని చలనం అదృశ్యమయినప్పుడల్లా ఉష్ణం ఉత్పత్తి అవుతుందని ఆయన నిర్ధారించాడు. దీనిని బట్టి ఉష్ణం శక్తియొక్క ఒక రూపమనే నిర్ధారణకు వస్తాం. ఎందుకంటే చలనం అదృశ్యమయినప్పుడల్లా, అదృశ్య మయ్యేది ఆ వస్తువు యొక్క గతిజశక్తి, దాని స్థానంలో ఉష్ణం కనిపిస్తుంది. కనక యాంత్రిక శక్తి ఉష్ణంగా మారడానికి ఇదొక ఉదాహరణ. కాబట్టి ఉష్ణం శక్తియొక్క ఒక రూపం.

యాంత్రిక, ఉష్ణశక్తి మధ్య పరివర్తన రేటు ఒకటి ఉండాలి. W జౌల్స్‌లో యాంత్రిక శక్తి అయితే, H కెలోరీలలో ఉష్ణశక్తి అయితే అప్పుడు కింది సమీకరణం ఉండాలి.

$$H = \frac{W}{J} \qquad 31.8$$

ఇక్కడ J= పరివర్తన స్థిరాంకం. దీనిని ఉష్ణం యొక్క యాంత్రిక తుల్యాంకం అంటారు. దీని విలువను మొదట జౌల్ నిర్ణయించాడు. ప్రస్తుత విలువ

J= 4.186 జౌల్స్/కెలోరీ.

మనం ఒక వ్యవస్థకు ఉష్ణాన్ని చేర్చినపుడు మనం నిజంగా దానికి శక్తిని చేరుస్తున్నామని లోగడ ఇదివరకే చెప్పడం జరిగింది. ఇది ఆ వ్యవస్థయొక్క అంతరశక్తి రూపంలో నిలవచేయబడాలి. కదిలే ముసలకంగల ఒక స్థూపంలో కొంతమొత్తం వాయువు ఉందనుకొందాం. ఈ వ్యవస్థ చుట్టూ మనం అన్నివైపులా స్థిరోష్ణక గోడలను ఏర్పాటు చేస్తామనుకుందాం. ఆ విధంగా ఈ వ్యవస్థను ఉష్ణం ప్రవేశించటం గాని దాని నుంచి ఉష్ణం వదలిపోవడం గాని జరగడానికి వీలులేదు. ముసలకాన్ని కిందికి కదల్చడం వల్ల వ్యవస్థ మీద కొంత పని చేయబడిందని అనుకుందాం. దీని ఫలితంగా ఆ వ్యవస్థ ఏదో ఒక ప్రారంభస్థితి i నుంచి; ఏదో ఒక అంతిమ స్థితి f కు పోతుందని అనుకుందాం. వాయువు యొక్క ప్రారంభ, అంతిమ

స్థితులు అలాగే ఉన్నంతకాలం, ప్రారంభస్థితి నుంచి అంతిమ స్థితికి ఏ మార్గం ద్వారా పోయినప్పటికీ మనం అదే మొత్తం పనిచేయాలని ప్రయోగాత్మకంగా కనుక్కోబడింది. మనం చేసిన పని మొత్తం వ్యవస్థయొక్క అంతరశక్తిగా నిలవ చేయబడాలి కనక, మనం చేసిన పని మొత్తం వ్యవస్థలోని అంతరశక్తిలో పెరుగుదలకు సమానం కావాలి. ప్రారంభస్థితి నుంచి అంతిమ స్థితికి మనం చేరుకునే మార్గం మీద ఇది ఆధారపడదని మనం కనుక్కొన్నాం. కనక, వ్యవస్థ యొక్క అంతరికశక్తి వ్యవస్థ యొక్క స్థితి యొక్క ప్రమేయమని మనం నిర్ధారిస్తాం ఆ విధంగా ప్రారంభ, అంతిమ స్థితులు ఒకటే అయినంత కాలం ప్రారంభ, అంతిమ స్థితులలోని అంతరికశక్తుల మధ్య వ్యవత్యాసం స్థిరంగా ఉండిపోతుంది. వ్యవస్థ ప్రారంభస్థితి నుంచి అంతిమస్థితి పోయేటప్పు డు ఆ వ్యవస్థ చేత చేయబడిన పనిని dw_{1}-f సూచిస్తుందనుకుందాం ఈ ప్రక్రియలో వ్యవస్థకు ఉష్ణాన్ని అందజేయడంగాని, దాని నుంచి ఉష్ణాన్ని తీసివేయడం గాని జరుగదు. వ్యవస్థ యొక్క అంతరిక శక్తులు అంతిమ, ప్రారంభస్థితులలో వరుసగా U_f, U_i అనుకుందాం.

అప్పు డుమనకి

$$dU = U_f - U_i - dW_{1 \to f}$$

వస్తుంది. ఇందులో du = వ్యవస్థ యొక్క అంతరిక శక్తిలో పెరుగుదల.

31.11 ఉష్ణగతిక శాస్త్ర మొదటి నియమం.

వ్యవస్థ చుట్టూ స్థిరోష్ణక గోడలు పెట్టకుండా వ్యవస్థ నుంచి ఉష్ణం బయటికి పోవడానికి, వ్యవస్థలోకి పోవడానికి అనుమతిస్తామనుకోండి. వ్యవస్థను ప్రవేశించే ఉష్ణ మొత్తం అనుకోండి. అప్పు డు dQ వ్యవస్థ యొక్క అంతరిక శక్తిలో పెరుగుదల + వ్యవస్థ చేత చేయబడిన వెలుపలి పనికి సమానం కావాలి.

$$dQ = U_f - U_i + dW_{i\text{-}f} \qquad 30.10$$

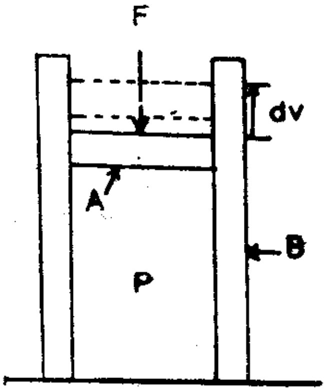
లేదా

$$dQ = dU + dW \qquad 30.11$$

దీనినే ఉష్ణగతిక శాస్త్ర మొదటి నియమం అంటారు.

31.12 ఒక వాయువు వ్యాకోచం చెందుతుండగా దాని చేత చేయబడేపని

వాయువుతో కూడిన ఒక స్తూపం ఉందనుకుందాం. దానికి స్వేచ్ఛగా కదలగల ఒక ముసలకం వుంటుంది. (పటం 31.3) ముసలకం dx దూరంపైకినెట్టబడినప్పు డు.



పటము 31.3

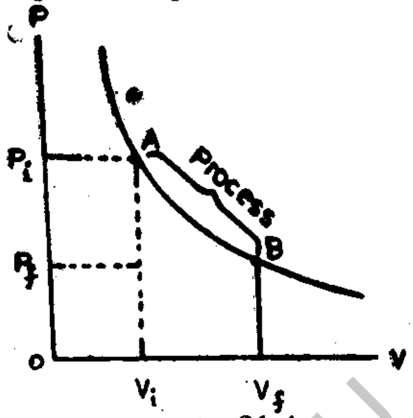
వాయువు చేత చేయబడిన పని కింది దానికి సమానమవుతుంది.

$$dW = F / dn = PA\, dx = PdV \qquad 31.12$$

ఇక్కడ A = స్తూపం యొక్క అడ్డకోత వైశాల్యము dv = ఘనపరిమాణంలో పెరుగుదల సాధారణంగా ఒక వాయువు ఘనపరిమాణం పెరుగుతుంటే దాని పీడనం స్థిరంగా వుండదు. కాబట్టి ఒక వాయువు వ్యాకోచం చెందుతుండగా దానిచేత చేయబడిన మొత్తం పనిని లెక్క కట్టడానికి మనం Pdv ని సమాకలనం చేయాలి.

$$W = \int_{v_i}^{v_f} Pdv \qquad 31.13$$

రేఖాపటం రీత్యా ఈ ఇంటిగ్రల్ P-V చిత్రంలో V_i, V_f పరిమితుల మధ్య (పటం **31.4**), వ్యవస్థ కదిలే వైశాల్యమే.



పటము 31.4

ముసలకం మీద పనిచేసే పీడనం వాయువు వ్యాకోచం చెందుతుండగా స్థిరంగా ఉంటే వాయువుచేత చేయబడిన పనిని తెలుసుకోవడం సులువు. ఇది కింది దానికి సమానం.

$$W = \int_{Vi}^{Vf} PdV = P\,(Vf\text{-}vi)$$

స్థూపంలోని వాయువు స్థిర ఉష్ణోగ్రత వద్ద వ్యాకోచం చెందుతున్నట్లయితే (అటువంటి ప్రక్రియను సమ ఉష్ణోగ్రత ప్రక్రియ అంటాం). ఆదర్శ వాయు సమీకరణాన్ని ఉపయోగించి మనం కింది విధగా ప్రతిక్షేపించవచ్చు.

$P = \frac{RT}{V}$ ఇక్కడ η = వాయువు యొక్క మోల్స్ సంఖ్య మనకి కిందది వస్తుంది.

$$\int_{v_i}^{v_f} Pdv = \eta RT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{v}$$

B R A O U

$= NRT \ln \frac{v_f}{v_i}$ 31.15

31.13 సారాంశం

ఒక వ్యవస్థ యొక్క స్థితిని నిర్దేశించే ఉష్ణగతిక చలరాశులు కాలంతోపాటు మారకుండా స్థిరంగా ఉంటే ఆ వ్యవస్థ ఉష్ణసమతాస్థితిలో ఉంటుంది. రెండు వ్యవస్థలు ఒక గోడ ద్వారా సంబంధం కలిగి ఉంటే ఒక వ్యవస్థ యొక్క ఉష్ణగతిక చలరాశులను మారిస్తే రెండో వ్యవస్థయొక్క ఉష్ణగతిక చలరాశులలో మార్పు సంభవిస్తే ఆ గోడ ఉష్ణవాహకం అని అంటారు. మొదటి వ్యవస్థ యొక్క ఉష్ణగతిక చలరాశులను మార్చినప్పు డు రెండో వ్యవస్థ యొక్క ఉష్ణగతిక చలరాశులలో అటువంటి మార్పేమీ లేకపోతే ఆ గోడ స్థిరోష్ణకం అని అంటాము. ఉష్ణవాహక గోడ ద్వారా సంబంధం కలిగిఉన్న రెండు వ్యవస్థలు వాటి ఉష్ణగతిక చలరాశులను కాలంతో పాటు మారకుండా స్థిరంగా నిలబెట్టుకుంటే రెండు వ్యవస్థలు ఒకదానితో ఒకటి ఉష్ణసమతాస్థితిలో ఉంటాయి. "రెండు వ్యవస్థలు మూడోదానితో ఉష్ణ సమతాస్థితిలో ఉంటే అవి ఒక దానితో ఒకటి ఉష్ణ సమతాస్థితిలో వుంటాయి. ఇది సున్న ఉష్ణగతికశాస్త్ర నియమం. ఉష్ణగతిక వ్యవస్థల సమానత్వం వాటి మధ్య ఉష్ణోగ్రత సమతాస్థితిని నిర్ణయిస్తుంది. ఉష్ణగతిక వ్యవస్థ ఈ ధర్మాన్నే ఉష్ణోగ్రత అంటాము. ఘనపరిమాణం, పొడవు విద్యుత్ నిరోధకత, ఉష్ణ e.m.f రంగు వంటి వ్యవస్థల వివిధ ధర్మాలను ఉష్ణోగ్రతను నిర్ణయించడానికి ఉపయోగించవచ్చు. ఉష్ణగతిక శాస్త్ర మొదటి నియమం ప్రకారం $dQ = dU + dW$ ఇక్కడ dQ వ్యవస్థకు అందజేసిన ఉష్ణశక్తి, dU = వ్యవస్థ యొక్క అంతర శక్తిలో పెరుగుదల, dW = వ్యవస్థ చేసిన పని.

31.14 నమూనా ప్రశ్నలు

క్రింది ప్రశ్నలకు సమాధానాలు రాయండి

1. ఒక వ్యవస్థ ఉష్ణసమతా స్థితిలో ఉందని ఎప్పు డు అంటారు?
2. ఉష్ణ వాహక గోడ అంటే ఏమిటి?
3. స్థిరోష్ణక గోడ అంటే ఏమిటి?
4. రెండు వ్యవస్థలు ఒకదానితో ఒకటి సమతాస్థితిలో ఉన్నాయని ఎప్పు డు అంటారు.
5. ఉష్ణోగ్రత అంటే ఏమిటి?
6. వివిధ రకాల ఉష్ణోగ్రతామాపకాలను వర్ణించండి.
7. ఉష్ణగతిక శాస్త్ర మొదటి నియమాన్ని పేర్కొని, వివరించండి.
8. ఒక వాయువు స్థిర ఉష్ణోగ్రత వ్యాకోచం చెందుతుండగా అది చేసే పని ఏమిటి?

31.15 పదకోశం

ఉష్ణ సమతాస్థితి : వ్యవస్థ యొక్క ఉష్ణగతిక చలరాశులు కాలంతో స్థిరంగా ఉండే వ్యవస్థ యొక్క స్థితి.

ఉష్ణ వాహక గోడ : రెండు వ్యవస్థల మధ్య ఉష్ణ సంపర్కాన్ని అనుమతించేగోడ ఇందులో ఒకదాని ఉష్ణగతిక చలరాశులను, ఇంకో దాని ఉష్ణగతిక చలరాశులను మార్చకుండా మార్చలేము. ఉష్ణ వాహక గోడ ఉష్ణ ప్రవాహాన్ని అనుమతిస్తుంది.

స్థిరోష్ణక గోడ : రెండు వ్యవస్థల మధ్య ఉష్ణ సంపర్కాని అనుమతించని గోడ, దీనివల్ల రెండు వ్యవస్థలలో ఏ ఒక్క దాని ఉష్ణగతిక చలరాశులనైనా, రెండో దాని చలరాశులను

BRAOU

		మార్చకుండా, మార్చవచ్చు. స్థిరోష్ణక గోడ ఉష్ణ ప్రవాహాన్ని అనుమతించదు.
ఉష్ణోగ్రతామాపకం	:	ఇతర వ్యవస్థ ఉష్ణోగ్రతలను నిర్ణయించడానికి ఉపయోగించే ఒక వ్యవస్థ.
సమ ఉష్ణోగ్రత ప్రక్రియ	:	స్థిర ఉష్ణోగ్రత వద్ద జరిగే ప్రక్రియ.

BRAOU

భాగం - 32 ద్విగత, అద్విగత చర్యలు.

విషయక్రమం

32.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
32.2 ప్రవేశిక
32.3 ద్విగత అద్విగత ప్రక్రియలు
32.4 సారాంశం
32.5 నమూనా ప్రశ్నలు

32.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో ద్విగత, అద్విగత ప్రక్రియలు అధ్యయనం ఉంది.
మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత ఏ ప్రక్రియ ద్విగత, అద్విగత ప్రక్రియో తెలుసుకొనగలుగుతారు.

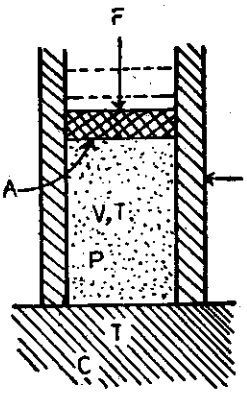
32.2 ప్రవేశిక

ఒక వ్యవస్థయొక్క భౌతిక లేదా రసాయనిక స్థితిలో మార్పును అనేక రకాల ప్రక్రియలవల్ల తీసుకొని రావచ్చు. ఆ వ్యవస్థ పరిసరాలతో పరస్పర చర్య జరపకపోతే, దానిని సంవృత వ్యవస్థ అంటారు. వ్యవస్థ ఒక సక్రియల శ్రేణిద్వారా పోయిన తర్వాత దాని మొదటి స్థితికి తిరిగి చేరుకుంటే ఆ ప్రక్రియను చక్రీయం అంటారు. అసలైన ప్రక్రియ ఏదైనా, అది ఎంత సంక్లిష్టమైనదైనా దానిని సరళ ప్రక్రియల అనుక్రమానికి తుల్యమైనదిగా పరిగణించవచ్చు. సరళ ప్రక్రియలను క్రింది విధంగా వర్గీకరించవచ్చు: 1) సమోష్ణోగత (ఉష్ణోగతలో మార్పు సున్న) 2) సమపీడన (పీడనములో మార్పు సున్న) 3) సమఘన పరిమాణ (ఘనపరిమాణంలో మార్పు సున్న) 4) స్థిరోష్ణక (వ్యవస్థకు, దాని పరిసరాలకు మధ్య ఉష్ణ బదిలీ వుండదు.). ఈ సరళ ప్రక్రియలు ద్విగతమైనా, అద్విగతమైనా కావచ్చు. ఈ భాగంలో ద్విగత, అద్విగత ప్రక్రియలంటే ఏమిటో సవివరంగా అధ్యయనం చేద్దాం.

32.3 ద్విగత అద్విగత ప్రక్రియలు

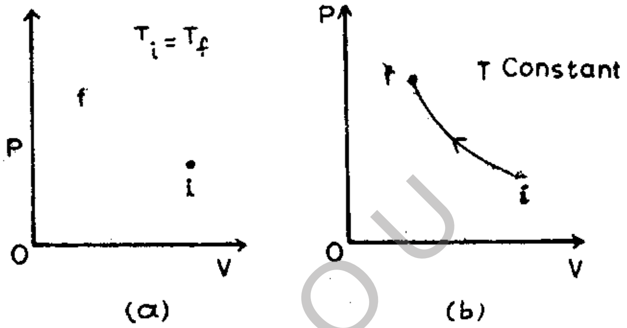
ఒక విలక్షణమైన ఉష్ణగతిక వ్యవస్థను పరిగణనలోకి తీసుకుంటే ద్విగత, అద్విగత ప్రక్రియల అభిలక్షణాలను బాగా అవగాహన చేసుకోవచ్చు. M ద్రవ్యరాశిగలిగి, V ఘనపరిమాణంగల స్థూపముసలకం అమరికలో నిర్బంధించబడిన ఒక వాస్తవ వాయువును తీసుకుందాం. ఆ వాయువు యొక్క పీడనం, ఉష్ణోగత వరసగా P, T అనుకోండి. ఈ వ్యవస్థ సమతాస్థితిలో ఉన్నప్పుడు ఉష్ణగతిక చలరాశులయిన P, T, Vలు కాలంతోపాటు మార్పు చెందవు. ఈ స్థూపంయొక్క గోడలు ఆదర్శవంతమైన ఉష్ణ నిరోధకాలు. దాని పీఠం మంచి వాహకం. ఈ స్థూపాన్ని పటం 32.1లో చూపినట్లు ఉష్ణోగత T వద్ద నిలకడగా వుంచిన ఒక పెద్ద ఉష్ణ ఆశయం మీద వుంచండి. ఇప్పుడు మనం వ్యవస్థను ఇంకో సమతాస్థితికి మార్చడానికి ప్రయత్నిద్దాం. అందులో ఉష్ణోగత T ప్రారంభస్థితిలోఉన్నంతే ఉంటుంది. కాని ఘనపరిమాణం మొదటి ఘనపరిమాణంలో సగానికి తగ్గిపోతుంది. దీనిని సాధించడానికి వున్న అనేక విధానాలలో రెండు విధానాలు బాగా ముఖ్యమైనవి.

BRAOU



పటం 32.1

ప్రక్రియ 1 : ముసలకాన్ని బాగా త్వరితంగా కిందికి దింపుతారు. కొంతసేపయిన తరవాత వ్యవస్థ ఆశయంతో సమతాస్థితిలోకి వస్తుంది. ఈ ప్రక్రియ సమయంలో వాయువు సంక్షుబ్ధం (Turbulent) గా ఉంటుంది. అందువల్ల పీడనం, ఉష్ణోగ్రతలను బాగా నిర్వచించడం సాధ్యంకాదు. ఈ ప్రక్రియను ఒక P-V చిత్రంమీద ఒక అవిచ్ఛిన్న రేఖగా సూచించడం సాధ్యం కాదు. ఎందుకంటే ఇచ్చిన ఒక ఘనపరిమాణంవద్ద వ్యవస్థయొక్క పీడనం ఎంత వుంటుందో మనకి తెలియదు. పటం 32.2లో చూపినట్లుగా వ్యవస్థ ఒక కొత్త సమతాస్థితులు శ్రేణిద్వారా i అనే ఒక సమతాస్థితినుంచి f అనే ఇంకో సమతాస్థితికి పోతుంది.

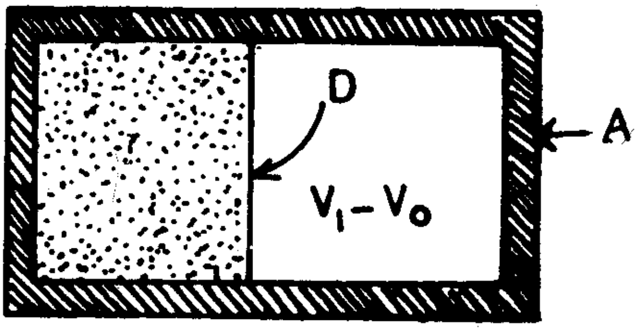


పటము 32.2

BRAOU

ప్రక్రియ 2: ముసలకాన్ని నెమ్మదిగా కిందికి దించుతారు. ఉదాహరణకు ముసలకం పైన ఇసుక వేయడంవల్ల అనుకోండి. ఈ ప్రక్రియలో అన్ని సమయాలలోను పీడనం, ఘనపరిమాణం, ఉష్ణోగ్రతలు బాగా నిర్వచించడానికి వీలవుతుంది. ముసలకం ఘర్షణ రహితమైనదిగా భావిస్తారు. దానిమీద కొన్ని ఇసుకరేణువులు వేయండి. దాని ఫలితంగా వ్యవస్థయొక్క ఘనపరిమానం కొద్దిగా తగ్గుతుంది. అందువల్ల ఉష్ణోగ్రత కొద్దిగా పెరుగుతుంది. వ్యవస్థ సమతాస్థితి నుంచి కొద్దిగా జరుగుతుంది. వ్యవస్థనుంచి ఆశయానికి ఉష్ణం బదిలీ జరుగుతుంది. కాని కొద్దికాలంలలోనే వ్యవస్థ ఒక ఒక కొత్త సమతాస్థితిని చేరుకుంటుంది. దాని ఉష్ణోగ్రత ఆశయంయొక్క ఉష్ణోగ్రతే అవుతుంది. మళ్ళీ కొన్ని ఇసుకరేణువులు ముసలకం మీద వేయండి. వ్యవస్థలోని వాయువుయొక్క ఘనపరిమాణం తగ్గుతుంది. కొంత సేపయిన తర్వాత వ్యవస్థ ఒక కొత్త సమతాస్థితికి వస్తుంది. ఈ ప్రక్రియను వరసగా కొన్నిసార్లు పునరావృత్త చేస్తే ఘనపరిమాణాన్ని దాని ప్రారంభస్థితి వద్దనున్న విలువలో సగానికి తగ్గించవచ్చు. ఈ ప్రక్రియ అంతా జరిగే సమయంలో వ్యవస్థ ఎల్లప్పుడు ఆశయంతో సమతాస్థితిలో వుంటుంది. ఈ మొత్తం ప్రక్రియను పీడనంలో చాలా తక్కువ మార్పులతో జరిపిస్తే మాధ్యస్థస్థితులు సమతాస్థినినుంచి ఇంకా తక్కువగా జరుగుతాయి. ఈ కొద్దిపాటి మార్పులసంఖ్యను అనిశ్చితంగా పెంచితే ప్రతి ప్రాథమిక మార్పుయొక్క ఘనపరిమాణాన్ని అనురూపంగా తగ్గించవచ్చు. ఇది ఒక ఆదర్శ ప్రక్రియకు దారితీస్తుంది. ఇందులో వ్యవస్థ సమతాస్థితుల ఒక అవిచ్ఛిన్న అనువక్రంద్వారా పోతుంది. ఈ మార్పులను పటం 32.2లో చూపిన P-V చిత్రం మీద ఒక అవిచ్ఛిన్న రేఖగా సూచించవచ్చు. ఈ ప్రక్రియలో Q అనే కొంత మొత్తం ఉష్ణం వ్యవస్థనుంచి ఆశయానికి బదిలీ చేయబడుతుంది.

ప్రక్రియ 1ని అద్విగత ప్రక్రియ అంటారు. ఎందుకంటే ఈ ప్రక్రియను వెనకకు మళ్ళించడం కష్టం. ఈ అంశాన్ని ఇంకా స్పష్టంగా ఉదాహరించడానికి పటం 32.3లో చూపినట్లుగా ఉష్ణబంధకం కావింపబడిన ఒక ఆవరణలో Vo ఘనపరిమాణంలో Po పీడనం వద్ద నిర్బంధింపబడిన ఒక వాయువును తీసుకొండి.



పటము 32.3

వాయువు V_0 ఘనపరిమాణంలో D అనే విభాజక పటలంవల్ల (Diaphragm) నిర్బంధించబడింది. వ్యవస్థలోని తక్కిన ఘనపరిమాణం (V_1 - V_0) రిక్తం (Evacuated) చేయబడింది. విభాజక పటలాన్ని పగలగొడితే వాయువు స్వేచ్ఛగా వ్యాకోచం చెందుతుంది. సమతాస్థితి ఏర్పడినప్పుడు దాని ఘనపరిమాణం V_1 అవుతుంది. ఇది ఒక యాదృచ్ఛికప్రక్రియ. ఇది అద్విగతమైనది. ఎందుకంటే ఆ వాయువు దానంతటదే దాని మొదటి ఘనపరిమాణం V_0కి ఎప్పటికీ తిరిగిచేరుకోదు. ప్రకృతిలో జరుగు అన్ని ప్రక్రియలను యాదృచ్ఛిక, అద్విగత లేదా సహజప్రక్రియలు అంటారు. యాదృచ్ఛిక ప్రక్రియలు ఎప్పుడూ, సమతాస్థితివైపు జరుగుతాయి. సమతాస్థితి ఏర్పడినప్పుడు అవి అంతమవుతాయి. పటం 32.1లో చూస్తే ముసలకాన్ని దాని మొదటి స్థానానికి అకస్మాత్తుగా తెచ్చామనుకోండి. ఈ ప్రక్రియ త్వరితంగా జరిగిపోయి. సమతాస్థితి ఏర్పడడంతో ఆగిపోతుంది. ప్రారంభ, అంతిమ స్థితులు సమతాస్థితులయినప్పటికీ ఆ ప్రక్రియను అద్విగత ప్రక్రియ అంటారు. కింది యాదృచ్ఛిక ప్రక్రియలు అద్విగత ప్రక్రియలు.

1. ఘర్షణవల్ల యాంత్రికశక్తి ఉష్ణంగా విచ్ఛేదన చెందటం
2. ఒక వెచ్చని వస్తువునుంచి ఒక చల్లని వస్తువుకు ఉష్ణం ప్రవహించటం.
3. రెండు వాయువుల పరస్పర విస్తరణ.
4. అతి శీతల ద్రవం ఘనీభవించడం.
5. H_2, F_2ల విస్ఫోటనం.

B R A O U

పై ప్రక్రియలు యాదృచ్ఛికంగా ఉత్క్రమణీయంగా జరుగుతాయనుకోవడం అసంభవం. వండిన గుడ్డును మళ్ళీ మామూలు గుడ్డుగా మార్చలేము" అని బెర్ట్రండ్ రస్సెల్ అన్నమాట అద్విగత ప్రక్రియకు మంచి ఉదాహరణ.

పటం 32.2(b)లో ఉదాహరింపబడిన ప్రక్రియ IIను ద్విగతప్రక్రియ అంటారు. వ్యవస్థయొక్క ధర్మాలలో ఒకదానిలో అతిస్వల్ప మార్పువల్ల ఒక ప్రక్రియయొక్క దిశను ఉత్క్రమణీయం చేయగలిస్తే ఆ ప్రక్రియను ఉష్ణగతికంగా ద్విగతప్రక్రియ అని నిర్వచిస్తారు. అసలు ప్రక్రియ ఏదీ కూడా ఉత్క్రమణీయం కాదు. కాని ప్రయోగ పరిస్థితుల ఎంపిక ద్వారా అసలు ప్రక్రియలు ఇంచుమించు సన్నిహితంగా సమీపించేటట్లు చేయగలిగే పరిమితే ఉత్క్రమణీయత. ఈ విధంగా ప్రక్రియ IIలో ముసలకంపైన వున్న కొన్ని ఇసుక రేణువులను తీసివేసి ముసలాకాన్ని నెమ్మదిగా కిందివైపు కదిలిస్తే, అప్పుడు బాహ్యపీడనం అంతర పీడనంకన్న dp అనే అంత తక్కువగా వుంటుంది. వాయువు వ్యాకోచం చెందుతుంది. వ్యవస్థ అది సంకోచం చెందుతున్నప్పుడు దానికి ముందున్న సమతాస్థితికి పోతుంది.

వ్యవస్థమీద బాహ్యాపీడనాన్ని అనుక్రామికంగా స్వల్పంగా dp అనే అంత తగ్గించడంవల్ల, ఈ వ్యవస్థ అంతకు ముందు గడిపిన సమతాస్థితులను వెనకకు మళ్లించవచ్చు.

ప్రక్రియ II ద్విగతం కావడమే కాకుండా సమ ఉష్ణం (Isothermal) కూడా. ఎందుకంటే వాయువుయొక్క ఉష్ణోగ్రతకు అన్ని సమయాల వద్ద, స్థూపం నిలిచివున్న ఆశయంయొక్క ఉష్ణోగ్రతకు అవకలన మొత్తం dT మాత్రమే వ్యత్యాసం వుంటుంది. ఇంకో విధంగా చెప్పాలంటే ఈ ప్రక్రియ స్థిరఉష్ణోగ్రత వద్ద జరుగుతుందని చెప్పవచ్చు.

వ్యవస్థలోని వాయువుయొక్క ఘనపరిమాణాన్ని కూడా స్థిరోష్ణకంగా తగ్గించవచ్చు. స్థూపాన్ని వాహకం కాని వేదికమీద, ఉదాహరణకు ఇసుక, వుంచడంవల్ల ఇలా చేయవచ్చు. స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలో ఉష్ణం వ్యవస్థను ప్రవేశించకుండా, లేదా వదలిపెట్టకుండా కట్టుదిట్టం చేస్తారు. స్థిరోష్ణక ప్రక్రియ ద్విగతంగాని, అద్విగతంగాని కావచ్చు. ద్విగత స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలో ముసలకాన్ని ఇసకవేయడం పద్ధతిని ఉపయోగించి చాలా నెమ్మదిగా కదిలిస్తారు. అద్విగత స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలో ముసలకాన్ని వేగంగా కిందికి నొక్కుతారు.

స్థిరోష్ణక సంపీడనంలో వాయువు ఉష్ణోగ్రత పెరుగుతుంది. ఎందుకంటే ఉష్ణగతికశాస్త్ర మొదటి నియమం ప్రకారం, ముసలకాన్ని కిందికి తోయడంలో చేసినపని dW, వ్యవస్థయొక్క అంతరశక్తిలో పెరుగుదల dUగా కనిపించాలి ముసలకాన్ని కిందికి తోయడంలో భిన్నవేగాలకు dWకి భిన్న విలువలుంటాయి. కాబట్టి dU, దానికి అనురూపమైన మార్పు dT ద్విగత, అద్విగత స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలకు ఒకటిగా వుండవు.

ఒక ప్రక్రియ ద్విగతమా, అద్విగతమా అనేది వ్యవస్థయొక్క స్థితిమీద, ప్రక్రియ స్వభావంమీద ఆధారపడుతుంది. ద్విగత ప్రక్రియలను మాత్రమే ఉష్ణ గతిక శాస్త్రంలో గణిత బద్ధంగా వర్ణించవచ్చు లేదా పటం 32.2b వంటి రేఖా పటాలతో సూచించవచ్చు. ప్రకృతి సిద్ధంగా సంభవించే ప్రక్రియలన్ని ఉష్ణ గతికశాస్త్రంలో అద్విగతమైనవి ఎందుకో తెలుసుకోవడం ముఖ్యం - ప్రత్యేకించి గతిక ప్రక్రియలలో ఉత్క్రమణీయతను కనీసం క్రమంగానైనా ఘర్షణ అస్థితిస్థాపకత మొదలైన వాటిని నిర్మూలించడంవల్ల అంతిమ పరిమితిగా సాధించవచ్చునన్నప్పుడు బోల్ట్జ్‌మన్ ప్రకారం, అనుత్క్రమణీయత, వాయువువంటి సంక్లిష్ట నిర్మాణాన్ని మొత్తంగా పరిగణనలోకి తీసుకున్నప్పుడు దాని ప్రవర్తనకే పరిమిత మవుతుంది. వైయక్తిక అణువుల ప్రవర్తనలో దీనిని ఎదురు చూడకూడదు. వైయక్తిక అణువులను మనం అధ్యయనం చేయలేకపోవడమో ఇందుకు కారణం. అద్విగత ప్రక్రియలో ఉత్క్రమణీయత అసాధ్యం కాదా అని గమనించడం కూడా మంచిది. అయితే ఇది దాదాపు అనంతగా అసంభావ్యం.

32.5 సారాంశం

1. వ్యవస్థ ప్రారంభస్థితి నుంచి అంతిమస్థితికి వెళ్లినప్పుడు ఒక ప్రక్రియను వెనకకు మళ్ళించడం సాధ్యం కాకపోతే ఆ ప్రక్రియను అద్విగత ప్రక్రియ అంటారు.
2. వ్యవస్థయొక్క ధర్మాలతో ఒక దానిలో అత్యల్పమార్పువల్ల ఒక ప్రక్రియయొక్క దిశను ఉత్క్రమణం చేయగలిస్తే ఆ ప్రక్రియను ఉష్ణగతికంగా ద్విగత లేదా ఉత్క్రమణీయ ప్రక్రియ అని నిర్వచిస్తారు.

32.6 నమూనా ప్రశ్నలు

1. క్రింది ప్రశ్నకు విశదంగా సమాధానంరాయండి.

ఏకగత, ద్విగత ప్రక్రియలను సోదాహరణంగా వివరించండి.

BRAOU

భాగం - 33 కార్నోయంత్రం

విషయక్రమం

33.1 ఉద్దేశం, లక్ష్యం
33.2 ప్రవేశిక
33.3 కార్నోచక్రం
33.4 ద్విగతకార్నో చక్రం
33.5 ఉష్ణయంత్రం దక్షత
33.6 కార్నోసూత్రం
33.7 సారాంశం
33.8 నమూనా ప్రశ్నలు

33.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో ఉష్ణయంత్రం దక్షత గణన వివరించబడింది. మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

కార్నో చక్రం అంటే ఏమిటో కార్నో చక్రం ఉష్ణాన్ని శక్తిగా మార్చడానికి ఏ విధంగా ఉపయోగ పడుతుందో వివరించగలుగుతారు.
రిఫ్రిజిరేటర్ పని చేసే సూత్రం వివరించగలుగుతారు.
ఉష్ణయంత్రం దక్షత వేడి వస్తువు, చల్లని వస్తువుల ఉష్ణోగ్రతల మీద ఆధారపడుతుందని పనిచేసే పదార్థం మీద ఆధారపడదని గ్రహిస్తారు.

33.2 ప్రవేశిక

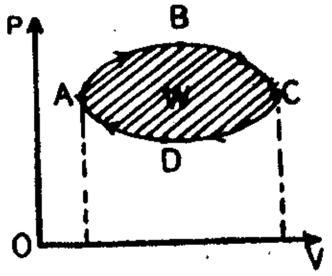
ఉష్ణగతక శాస్త్రపు నియమాలకు ఋణాత్మక ధర్మం ఉంది. దీనివల్ల ఈ నియమాలకు, భౌతిక శాస్త్రంలోని ఇతర నియమాలకు ఉన్న భేదాన్ని కనుక్కోవడానికి వీలవుతుంది. ఉష్ణ గతిక శాస్త్రపు ప్రథమ నియమాన్ని ఈ విధంగా పేర్కొనవచ్చు. శక్తిని నశింపచేయలేము. ఉష్ణ గతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమానికి కూడ ఈ విధమైన ఋణాత్మక భావం ఉంది. ఈ నియమాన్ని ఇట్లా చెప్పవచ్చు. ఒక వ్యవస్థ ఉష్ణగతిక సమతాస్థితిని పొందాలన్న సహజ స్వభావాన్ని కొంత క్రమమైన శక్తి (పని అనుకోండి)ని క్రమరహితమైన శక్తి ఉష్ణంగా మార్చకుండా వ్యతిరేకించలేము. ఉష్ణ యంత్రాల ఆవిష్కరణ అనేక పారిశ్రామిక విధానాలలో వాటి ఉపయోగాలు, రెండవ ఉష్ణ గతిక శాస్త్ర నియమం ఏర్పడటానికి దారి తీస్తాయి. ఉష్ణశక్తిని, యాంత్రికశక్తిగా మార్చడం అనే సిద్ధాంతంపై ఉష్ణ యంత్రాలు పనిచేస్తాయి. పెద్ద ఓడలలో ఉపయోగించే వాయు టర్బైన్‌లు, మోటారు వాహనాలు, విమానాలలో వాడే అంతర్దహన యంత్రాలు, అన్నింటిలో ఉష్ణశక్తిని యాంత్రిక శక్తిగా మార్చటమనే సామాన్య గుణం ఉంది.

ఉష్ణ యంత్రంలో సాధారణంగా ఒక వేడి వస్తువు ఉంటుంది. దీనిని ఉష్ణాశయం అంటారు. ఇది అధిక ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉష్ణాన్ని అందిస్తుంది. సింక్ అనే చల్లని వస్తువు లోనికి అల్ప ఉష్ణగ్రత వద్ద ఉన్న ఉష్ణాన్ని అందివ్వడం జరుగుతుంది. ఉష్ణ యంత్రంలోని పనిచేసే పదార్థం ఉష్ణాశయం నుంచి కొంత ఉష్ణాన్ని గ్రహించి, అది వ్యాకోచం చెందడం వల్ల కొంత బాహ్యాపని చేసి మిగిలిన ఉష్ణాన్ని సింక్‌కు అందిస్తుంది. విభిన్న ఉష్ణోగ్రతం వద్ద ఉన్న ఉష్ణాశయల, సింక్ లేకుండా ఉష్ణం నుంచి పనిని పొందడం సాధ్యంకాదు. ఉష్ణ యంత్రంలో జరిగే ప్రక్రియ చక్రీయం, ఉష్ణశక్తి, యాంత్రిక శక్తిగా మార్పునొందే చక్రీయ ప్రక్రియలను శాస్త్రవేత్త సాదీ కార్నో పేరున కార్నో చక్రము అంటారు. ఆదర్శ ద్విగత ఉష్ణయంత్రంపై సాదీ కార్నో జరిపిన సైద్ధాంతిక పరిశోధనలు, రెండవ ఉష్ణగతిక నియమం ప్రకృతి నియమంగా గుర్తింపు పొందడానికి దారి తీసాయి. ఈభాగంలో కార్నో చక్రంలోని వివిధ ప్రక్రియలు ఉష్ణయంత్రం గరిష్ట దక్షతను నిర్ణయించే కారకాలు, కార్నో సూత్రం గురించి తెలుసుకొందాం.

BRAOU

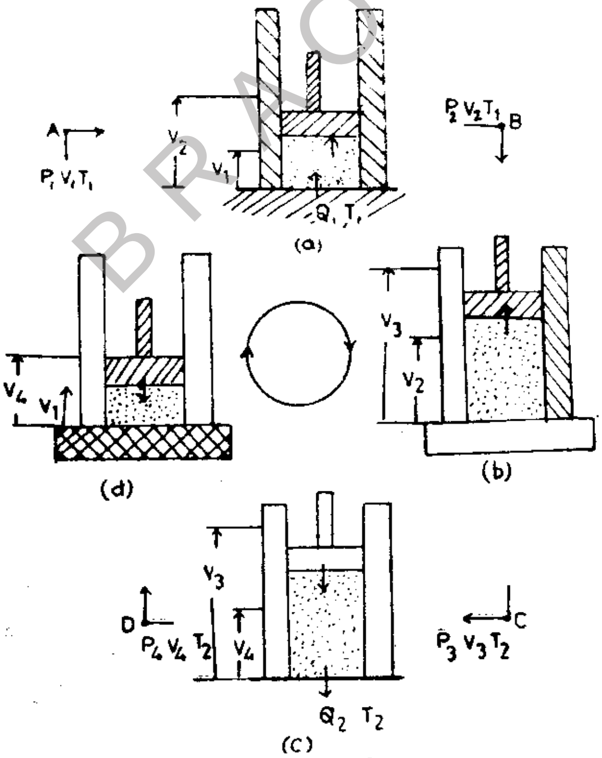
33.3 కార్నో చక్రం

ఒక స్థూపం-ముసలకం అమరికలో బంధితమైన వాయువు వ్యాకోచ, సంకోచాలు చెందుతుంది. ఈ ప్రక్రియ ద్విగతం, చక్రీయం, అయితే వ్యవస్థ కొంత పనిచేస్తుంది. లేదా వ్యవస్థ మీద కొంత పని జరుగుతుంది. పటం 33.1లో చూపినట్లు చక్రీయ ప్రక్రియ ABDCA మార్గంతో జరిగితే వ్యవస్థ చేసిన పని ధనాత్మకం. చక్రీయ ప్రక్రియ ADCBA మార్గంలో జరిగితే వ్యవస్థ చేసినపని ఋణాత్మకం అవుతుంది.



పటము 33.1

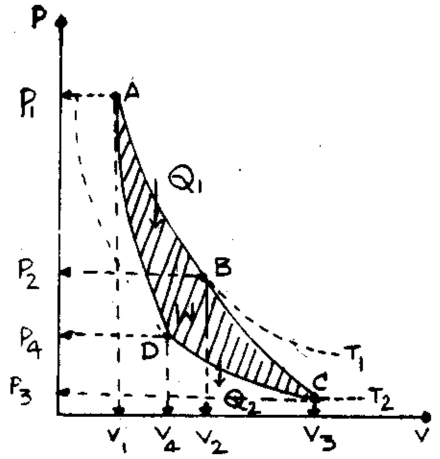
వ్యవస్థ కొంత నికరమైన పనిని చేయాలంటే సంక్లిష్ట చక్రం ఉపయోగించాలి. ఈ చక్రీయ ప్రక్రియలలో సరళమైనది, ఆదర్శమైనది కార్నో చక్రం. ఈ వ్యవస్థలో పని చేసే పదార్థం వాయువు. ఈ చక్రంలో రెండు ద్విగత సమ ఉష్ణోగ్రత ప్రక్రియలు, రెండు ద్విగత స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలు ఉంటాయి. అథమ ఉష్ణవాహకపు గోడలు, ఉత్తమ ఉష్ణవాహకపు పీఠంగల స్థూపంలోని ఆదర్శ వాయువు పనిచేసే పదార్థం. స్థూపంలో అథమ ఉష్ణ వాహకపు ముసలకం ఉంటుంది. పరిసరాలలో T_1, T_2 ఉష్ణోగ్రతల వద్ద ఉన్న రెండు ఉష్ణాశయాలు, రెండు అథమ ఉష్ణవాహకపు స్టాండ్‌లు ఉంటాయి. కార్నో చక్రంలోని ప్రక్రియలు కింద వివరించినట్లు నాలుగు అంచెలుగా జరుగుతాయి. కార్నో చక్రాన్ని పటం 33.2 లో చూపటం జరిగింది.



పటము 33.2

B R A O U

1. ప్రారంభంలో స్తూపంలోని వాయువు సమతా స్థితిలో ఉందనుకొందాం. దాని పీడనం P_1, ఘనపరిమాణంV_1, ఉష్ణోగ్రత T_1. ఈ స్థితిని పటం 33.3 లోని P-V పటంలో బిందువు A సూచిస్తుంది. స్తూపాన్ని T_1 ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న ఉష్ణాశయంపై ఉంచి వాయువు మెల్లగా వ్యాకోచించేటట్లు చేసామనుకోండి. ఈ ప్రక్రియ ద్విగత సమ ఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచం. వాయువు పీడనం P_2 ఘన పరిమాణం V_2 అయ్యేంతవరకు వాయువు T_1 ఉష్ణోగ్రత వద్ద వ్యాకోచం చెందిందనుకొందాం. ఈ స్థితిని పటం 33.3 లో B బిందువు సూచిస్తుంది. ఈ ప్రక్రియలో వాయువు స్తూపం పీఠం ద్వారా ఉష్ణ వాహనం వల్ల Q_1 ఉష్ణరాశిని గ్రహించినదనుకొందాం. ఇది సమ ఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియ కనక వాయువు ముసలకాన్ని పైకి లేవనెత్తడంలో కొంత పనిచేస్తుంది.



పటము 33.3

2. స్తూపాన్ని అధమ ఉష్ణవాహకపు స్టాండ్‌పై ఉంచి, వాయువు పీడన, ఘనపరిమాణ, ఉష్ణోగ్రత విలువలు P_3, V_3, T_2. వచ్చునంతవరకు వ్యాకోచింపచేసామనుకొందాం. ఈ స్థితిని పటం 33.3 లో C బిందువు సూచిస్తుంది. ఈ వ్యాకోచం ద్విగత స్థిరోష్ణక ప్రక్రియ ముసలకాన్ని పైకి నెట్టడంలో వాయువు కొంత పని చేస్తుంది కనక దాని ఉష్ణోగ్రత T_1 నుంచి T_2 కు తగ్గుతుంది.

3. ఇప్పుడు స్తూపాన్ని T_2 ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న ఉష్ణాశయంపై ఉంచి వాయువు మెల్లగా సంపీడనం చెందేట్లు జరిపామనుకొండి. వాము పీడత, ఘనపరిమాణ ఉష్ణోగ్రతలు వరసగా P_4, V_4, T_2 ఈ స్థితిని పటం 33.3 లో బిందువు D సూచిస్తుంది. ఈ ప్రక్రియలో Q_2 ఉష్ణరాశి వాయువు నుంచి ఉష్ణాశయానికి పీఠంగుండా ఉష్ణ సమానంవల్ల ప్రవహిస్తుంది. ఈ సంకోచం T_2 వద్ద జరిగే సమ ఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియ. ఈ ప్రక్రియలో ముసలకం వాయువుపై పని జరువుతుంది.

4. స్తూపాన్ని అధమ ఉష్ణ వాహకపు స్టాండ్‌పై ఉంచి వాయువు తొలి స్థితిని చేరేంత వరకు సంకోచం చెందేట్లు చేసామనుకోండి. ఈ సంకోచంలో బయటనుంచి ఉష్ణం వ్యవస్థను చేరదు, లేదా వ్యవస్థనుంచి ఉష్ణం బయటకు పోదు. కనక ఇది స్థిరోష్ణక ప్రక్రియ. ఈ ప్రక్రియలో వాయువుపై పని జరగటంవల్ల దాని ఉష్ణోగ్రత T_1 కు పెరుగుతుంది.

ఈ చక్రీయ ప్రక్రియలో జరిగిన మొత్తం పనిని పటం 33.3లోని గీతలుగీసిన భాగం తెలుపుతుంది. సమ ఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచ ప్రక్రియలో వ్యవస్థ గ్రహించిన ఉష్ణరాశి Q_1 సమ ఉష్ణోగ్రతా సంపీడన ప్రక్రియతో వ్యవస్థ అందజేసిన ఉష్ణరాశి Q_2 కనక, ఈ చక్రీయ ప్రక్రియలో వ్యవస్థ గ్రహించిన మొత్తం ఉష్ణశక్తి $Q_1 - Q_2$ అవుతుంది. వ్యవస్థ తొలి, తుది స్థితులు ఒకటిగా ఉన్నందున వ్యవస్థ అంతర్గత శక్తితో మార్పు ఉండదు. అందువల్ల వ్యవస్థ గ్రహించిన ఫలిత ఉష్ణశక్తి పనిగా మార్పు చెందుతుంది. ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు మొదటి నియమం ప్రకారం

$$W = Q_1 - Q_2$$

BRAOU

Q_1, Q_2 లు, ధనరాశులు వ్యవస్థపై కార్నో చక్రం ప్రభావంవల్ల ఉష్ణశక్తి పనిగా మార్పు చెందింది. కార్నో చక్రాన్ని పునరావృత్తం చేయడంవల్ల వ్యవస్థచేత ఎంత పనినైనా చేయించవచ్చు. ఈ విధంగా వ్యవస్థ ఉష్ణ యంత్రం వలె పనిచేస్తుంది.

ఆదర్శ కార్నో యంత్రంలో పనిచేసే పదార్థం ఆదర్శ వాయువు పనిచేసే పదార్థం ఏదైనా ఉండవచ్చు. దానిని బట్టి P-V పటం భిన్నంగా ఉంటుంది. సాధారణంగా ఉష్ణ యంత్రాలలో ఆవిరి, ఇంధనం గాలి మిశ్రమం, లేదా ఇంధనం, ఆక్సిజన్‌ను పనిచేసే పదార్థంగా ఉపయోగిస్తారు. గాసోలిన్ లేదా బొగ్గువంటి ఇంధనాన్ని దహించడంవల్ల లేదా న్యూక్లియర్ రియాక్టర్‌లలో కేంద్రక విచ్ఛిన్న ప్రక్రియలలో ద్రవ్యరాశి లయకరణంవల్ల ఉష్ణాన్ని పొందవచ్చు. ఉష్ణాన్ని సింకుకు విసర్జించవచ్చు. వాస్తవంగా ఉష్ణ యంత్రాలు ద్విగత చక్రీయంగా పనిచేయనప్పటికీ, ద్విగత కార్నో చక్రం, ఏ ఉష్ణ యంత్రంపైనా పని చేసే విధానం గురించి తెలుపుతుంది.

33.4 ద్విగత కార్నో చక్రం

స్థూపానికి ముసలకానికి మధ్య ఘర్షణ లేనందున, సమ ఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచం, స్థిరోష్ణక వ్యాకోచం సమ ఉష్ణోగ్రతా సంపీడనం, స్థిరోష్ణక సంపీడనం ఇవి ద్విగత ప్రక్రియలు. కనక కార్నో చక్రం ద్విగతమవుతుంది. పటం 33.3 లో చూపిన P-V పటంలో A బిందువునుంచి ప్రారంభించి కార్నో చక్రాన్ని ADCBA మార్గం వెంబడి తిరిగి పొందవచ్చు. ఈ ప్రక్రియలు వరసగా (1) స్థిరోష్ణక వ్యాకోచం (A నుంచి Dకు) (2) సమఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచం (D నుంచి Cకు) (3) స్థిరోష్ణక సంపీడనం (C నుంచి Bకు) (4) సమ ఉష్ణోగ్రతా సంపీడనం (B నుంచిA). ఈ ప్రక్రియలో అల్ప ఉష్ణోగ్రత T_2 వద్ద ఉన్న ఉష్ణాశయం నుంచి Q_2 ఉష్ణశక్తిని గ్రహించి, అధిక ఉష్ణోగ్రత T1 వద్ద ఉన్న ఉష్ణాశయానికి Q_1 ఉష్ణశక్తిని విసర్జించడం జరుగుతుంది. ద్విగత కార్నోచక్రంలో వ్యవస్థపై పని చేయవలసి ఉంటుంది. ద్విగత కార్ను చక్రాన్ని పునరావృత్తం చేయడం వల్ల అల్పఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న ఉష్ణాశయం నుంచి ఎంత ఉష్ణరాశినైనా తొలగించవచ్చు. ఈ విధంగా వ్యవస్థ శీతలీకరణయంత్రం (రిఫ్రిజిరేటర్)గా పని చేస్తుంది. శీతలీకరణ యంత్రం, అల్పఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న వస్తువు (శీతలీకరణ భాగం) నుంచి, అధిక ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న వస్తువు (గది)కు, మనం సరఫరా చేసిన విద్యుత్‌శక్తి వల్ల ఉష్ణాన్ని అందజేస్తుంది.

33.5 ఉష్ణయంత్రం దక్షత

ఒక చక్రీయ ప్రక్రియలో ఉష్ణయంత్రం చేసిన పనికి అది గ్రహించిన ఉష్ణ శక్తికి గల నిష్పత్తిని ఉష్ణయంత్రం దక్షతగా పేర్కొనవచ్చు.

BRAOU

ఆదర్శ ఉష్ణయంత్రానికి

$$\gamma = \frac{W}{Q1} = \frac{Q1-Q2}{Q1} = 1 - \frac{Q2}{Q1} \qquad 33.2$$

$Q_1>Q_2$ కనక ఉష్ణయంత్రం దక్షత 1 కంటె తక్కువ (సింక్‌కు విసర్జించిన ఉష్ణరాశి Q_2 శూన్యం కానంతవరకు) వాడుకలో ఉన్న ఉష్ణయంత్రాలన్నింటిని పరిశీలించిన తరవాత ప్రతి ఉష్ణయంత్రం బహిష్కరణ అఘాతంలో కొంత ఉష్ణాన్ని విసర్జిస్తుందని తెలిసింది. ఇది ఉష్ణయంత్రం గ్రహించిన ఉష్ణరాశి. ఈ ఉష్ణశక్తి పనిగా మార్పు చెందదు.

కార్నోయంత్రం దక్షతను ఉష్ణాశయం, సింక్‌ల ఉష్ణోగ్రతల T_1, T_2 లో కూడ పేర్కొనవచ్చు:

పటం 33.3లో వ్యవస్థను AB మార్గం ద్విగత సమఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచ ప్రక్రియలో ఆదర్శవాయువు ఉష్ణోగ్రత, అంతర్గత శక్తి స్థిరంగా ఉంటుంది. ఉష్ణగతిక శాస్త్ర మొదటి నియమం ప్రకారం వాయువు వ్యాకోచంలో గ్రహించిన ఉష్ణశక్తి Q_1. ఈ వ్యాకోచంలో జరిగిన పని W_1 కు సమానం అందువల్ల

$$Q_1 = W_1 = \mu RT_1 \log\left(\frac{V_1}{V_2}\right) \qquad 33.3$$

దీనిలో μ మోల్‌లలో వాయువు ద్రవ్యరాశి, R వాయు స్థిరాంకం, R విలువ 8.314 $j\,mol^{-1}\,K^{-1}$

$$Q_2 = W_2 = \mu RT_2 \log\left(\frac{V_3}{V_4}\right) \qquad 33.4$$

$V_2^r / V_4^r / V_3^r / V_1^r$

1 $(v_2V_4)^{r-1}$

2 $(V_1V_3)r\text{-}1$

CD మార్గం వెంబడి సమఉష్ణోగ్రతా సంపీడన ప్రక్రియలో మునలకం Q_2 ఉష్ణ శక్తిని T_2 వద్ద ఉన్న సింక్‌కు విసర్జించడంలో వాయువుపై W_2 పనిని చేస్తుంది. కనక సమీ.33.3ను సమీ.33.4 చే భాగించగా

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1 \log (V_1/V_2)}{T_2 \log (V_3/V_4)} \qquad 33.5$$

A B, C D మార్గాల వెంబడి జరిగే సమఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియలకు ఆదర్శ వాయువు విషయంలో ఈ విధంగా వ్రాయవచ్చు.

$$P_1V_1 = P_2V_2 \qquad 33.6$$

$$P_3V_3 = P_4V_4 \qquad 33.7$$

BC, DA మార్గాల వెంబడి జరిగే స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలకు

$$P2\,V_2^r = Pc\,V_3^r \qquad 33.8$$

$$P4V_4^r = P1\,V_1^r \qquad 33.9$$

సమీ. 33.9, 33.7, 33.8, 33.9 లను గుణిస్తే

$$P_1V_1P_3V_3P_2V_2^rP_4V_4^r = P_2V_2P_4V_4P_3V_3^rP_1V_1 \qquad 33.10$$

లేదా

$$V_1V_3V_1^rV_4^r = V_2V_4V_3V_4 \qquad 33.11$$

$$(V_2V_4)^{r-1} = (V_1V_3)^{r-1} \qquad 33.12$$

లేదా $V_2V_4 = V_1\,V_3$ 33.13

BRAOU

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \qquad 33.14$$

సమీ. 33.14 ను సమీ 33.5లో ప్రతిక్షేపిస్తే

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}\frac{\log (V_3/V_4)}{\log (V_3/V_4)} = \frac{T_1}{T_2} \qquad 33.15$$

ఉష్ణయంత్రం దక్షత నిర్వచనం ప్రకారం

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad 33.16$$

మాదిరి లెక్క - 1

10 అట్మాస్ఫియర్‌ల వద్ద పనిచేసే ఉష్ణయంత్రం దక్షతను కనుక్కోండి. ఈ పీడనం వద్ద నీరు 180^0C వద్ద మరుగుతుంది. సింక్ ఉష్ణోగ్రత 30^0C.

ఉష్ణయంత్రం దక్షత $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{(273+180) - (273+30)}{(273+180)}$

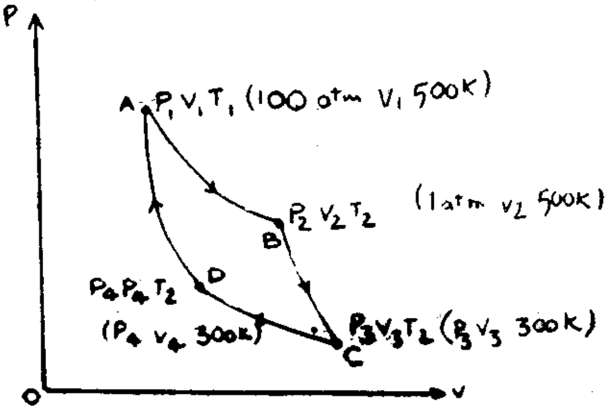
$$= \frac{453-303}{453} = 0.33$$

ఉష్ణయంత్రం దక్షత = 33%

మాదిరి లెక్క - 2

కార్నో చక్రంలో ఒకమోల్ ఆదర్శ వాయువు పనిచేసే పదార్థంగా పనిచేస్తుంది. దాని Cv = 25J mol K^{-1} కార్నో చక్రం ప్రారంభస్థితిలో పీడనం 10 అట్మా ఉష్ణోగ్రత 500 K వాయువు సమ ఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియంగా 1 అట్మా, పీడనం వరకు వ్యాకోచించి తరవాత స్థిరోష్ణకంగా 300 K వద్ద వున్న వ్యాకోచిత స్థితిని చేరుకొంటుంది. ప్రతి అఘాతంలోను ఉష్ణశక్తి, చేసిన పని విలువలను కనుక్కోండి. వ్యవస్థ దక్షతను కనుక్కోండి.

పై లెక్కలో ఇచ్చిన దత్తాంశాన్ని పటం 33.4 చూపటం జరిగింది.



పటము 33.4

BRAOU

సమ ఉష్ణోగ్రత సంపీడన ప్రక్రియలో A నుంచి B వాయువు చేసేపని

$$W_1 = \int PdV = \mu RT1 \int_{V_2}^{V_1} \frac{dV}{d} \mu RT_1 \log \frac{V_2}{V_1}$$

స్తూపంలో ఉన్న వాయువు ద్రవ్యరాశి 1 కనక $\mu = 1$ సముష్ణోగ్రతా ప్రక్రియలో $P_1 V_1 = P_2 V_2$

$$\because \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_2}{P_1}$$

$$\because W_1 = RT_1 \log \frac{P_1}{P_2} = 2.303\ RT_1 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}$$

లెక్కలో ఇచ్చిన దత్తాంశం ప్రకారం

$T_1 = 500\ KP_1 = 10$ అట్మా $P_2 = \cdot 1$ అట్మా

$R = 8314\ J\ mol^{-1}\ (K^0)^{-1}$

$$Q_1 = W_1 = 8.314 \times 1 \times 500 \times 2.303 \log 10 \frac{10}{1}$$

$$= 8.314 \times 1 \times 500 \times 2.303\ (1)\ J$$

$$= 9547\ J$$

పనిచేసే పదార్థం ఆదర్శ వాయువు కనక స్థిరోష్ణక వ్యాకోచంలో ఉష్ణం బయట నుంచి వ్యవస్థను చేరదు. వ్యవస్థనుంచి బయటకు పోదు. ముసలకాన్ని నెట్టినప్పు డు ఉష్ణశక్తి మార్పిడివల్ల ఉష్ణోగ్రత T_1 నుంచి T_2కు మారినప్పు డు (పటం 33.4 లో BC మార్గం వెంబడి) వాయువు చేసిన పని

$$W_2 = \mu C_v (T_1 - T_1) = 25 J\ mol^{-1} K^{-1}\ (I\ mol)\ (500\ 300)\ K$$

$$= 25 \times 200\ J$$

$$= 5000\ J$$

$\because$ CD మార్గం వెంబడి జరిగే సముఉష్ణోగ్రతా సంపీడనంలో వాయువు సింక్‌కు విసర్జించిన ఉష్ణశక్తి.

$$Q_2 = W_3 = \int P\,dV = \int_{V_3}^{V_4} \mu RT_2 \frac{dV}{V} = \mu RT_2 \log \frac{V_4}{V_3}$$

పని చేసే పదార్థం 1 మోల్ ద్రవ్యరాశిగల ఆదర్శ వాయువు కనక

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} = \frac{P_1}{P_2}$$

$$Q_2 = W_3 = 2.303\ RT_2 \log_{10} \frac{P_2}{P_1}$$

B R A O U

$$= 2.303 \times 8.314 \times 300 \log_{10} \left(\frac{1}{10}\right)$$

$$= - 2.303 \times 8.314 \times 300 \log_{10} {}^{10}$$

$$= - 5744 \text{ J}$$

స్థిరోష్ణక సంపీడన ప్రక్రియలో మార్గం DA వెంబడి వాయువుపై పని జరిగి వ్యవస్థ ఉష్ణోగ్రత T_2 నుంచి T_1 కు మారుతుంది. అందువల్ల

$$W_4 = \mu C_v (T_2 - T_1) = 1 \times 25 \times (300\text{-}500) = -5000 \text{ J}$$

ఉష్ణయంత్రం దక్షత

$$\eta = \frac{Q_1\text{-}Q_2}{Q2} = \frac{9754\text{-}5744}{9754} = 0.41 = 41$$

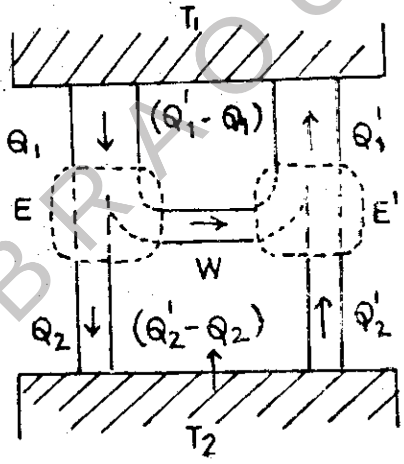
లేదా

$$\eta = \frac{T_1\text{-}T_2}{T1} = \frac{500\text{-}300}{500 = 0.4} = 40$$

33.6 కార్నో సూత్రం

ప్రయోగిక ఉష్ణ యంత్రాల పరిశీలనలు, ఆదర్శ కార్నో యంత్రం విశ్లేషణనుంచి కార్నో ఉష్ణ యంత్రం దక్షతకు ఒక సూత్రాన్ని ప్రతిపాదించారు. కార్నో సూత్రాన్ని కింది విధంగా పేర్కొనవచ్చు. రెండు ఉష్ణోగ్రతల మధ్య పనిచేసే ఏ ఏకగత యంత్రం దక్షతకంటే ఎక్కువగా ఉండదు. క్లాసియస్, కెల్విన్‌లు పై

BRAOU



పటము 33.5

సూత్రం ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమం పర్యవసానమని చూపారు. ద్విగత యంత్రం దక్షత పనిచేసే పదార్థంపై ఆధారపడదు. ఉష్ణోగ్రతలపై ఆధారపడుతుంది. కార్నో సూత్రాన్ని నిరూపించడానికి పటం 33.5 లు చూపినట్లు రెండు ద్విగత యంత్రాలు E, E^1 తీసుకొందాం.

ఉష్ణ యంత్రాలు E, E^1 లు T_1 T_2 ఉష్ణోగ్రతల మధ్య పనిచేస్తాయి. $T_1 > T_2$. యంత్రాలలోని పనిచేసే పదార్థంగా భిన్నంగా ఉండవచ్చు. వాటి తొలి పీడనాలు వేరుగా ఉండవచ్చు. యంత్రం E ముందు

దిశలో (కార్నో చక్రీయ ప్రక్రియ దిశలు) పనిచేస్తుందని. యంత్రం E^1 వెనుక దిశలో (ద్విగత కార్నో చక్రీయ ప్రక్రియ దిశలో) పనిచేస్తుందనుకొందాం యంత్రం E, T_1 ఉష్ణోగ్రత వద్ద Q_1 ఉష్ణాన్ని గ్రహించి T_2 ఉష్ణోగ్రత వద్ద Q_2 ఉష్ణశక్తిని విసర్జిస్తుంది. వెనుక దిశలో పనిచేసే యంత్రం E_1 (శీతలీకరణ యంత్రం) T_2 వద్ద Q_2 ఉష్ణాన్ని గ్రహించి T_1 వద్ద Q^1, ఉష్ణ శక్తిని విసర్జిస్తుంది. E, E^1 యంత్రాలను పటం 33.5 చూపినట్లు యాంత్రికంగా కలిపామనుకొందాం. ఒక వలయంలో E చేసిన పని E^1 ను నడపడానికి సరిపోయేట్లు అఘాత పొడవులను సర్దుబాటు చేసామనుకొందాం.

E దక్షత η, E^1 దక్షత η^1 కంటె ఎక్కువనుకొందాం.

$\therefore \eta > \eta^1$

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} > \frac{Q_1^1 - Q_2^1}{Q_1^1} \qquad 33.18$$

ఒక వలయంలో ఒక యంత్రం చేసిన పని, ఒక వలయంలో రెండవ యంత్రం చేసిన పనికి సమానం. కనక

$$W = W^1 \qquad 33.19$$

లేదా $Q_1 - Q_2 = Q^1{}_1 - Q_2{}^1$ 33.20

$Q_1 - Q_2 > 0$ కనుక సమీ.లు 33.20, 33.18 నుంచి

$$\frac{1}{Q_1} > \frac{1}{Q_2^1} \qquad 33.21$$

లేదా $Q_1 < Q_1^1$ 33.22

$W = W_1$ కనక

$$Q_2 < Q_2{}^1 \qquad 33.23$$

సమీకరణములు 33.22, 33.22 నుంచి లేప ఉష్ణాశయం Q^1-Q_1 ఉష్ణశక్తిని గ్రహిస్తుందని, చల్లని సింక్ $Q^1{}_2$-Q_2 ఉష్ణశక్తిని నష్టపోతుందని తెలుస్తుంది కాని ఈ ప్రక్రియలో సంయోగ వ్యవస్థ E+E^1 ఏ పనిచేయడం లేదు. అంటే T_2 వద్ద ఉన్న వస్తువు నుంచి T_1 వద్ద ఉన్న వస్తువుకు ఏవిధమైన పని జరగకుండా ఉష్ణశక్తి మార్పిడి జరుగుతున్నది. ఇది ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమానికి విరుద్ధం అందువల్ల to η, η^1 కంటె ఎక్కువగా ఉండటానికి వీలు లేదని చెప్పవచ్చు. యంత్రం E^1 ముందు దిశలో, E వెనుక దిశలో పనిచేస్తున్నాయనుకొంటే పైన వివరించినట్టే η^1, η కంటె ఎక్కువగా ఉండడానికి వీలులేదని నిరూపించవచ్చు దీని ఫలితంగా

$$\eta = \eta^1 \qquad 33.24$$

అని చూపి కార్నో సూత్రంలోని మొదట భాగాన్ని నిరూపించాం.

కార్నో సూత్రంలోని రెండవ భాగాన్ని నిరూపించడానికి E ను ఏకయంత్రంగాను, E_1ను ద్విగత యంత్రంగాను తీసుకొందాం. ముందు పేర్కొన్న విశ్లేషణ ప్రకారం η, η^1 కంటె ఎక్కువగా ఉండటానికి వీలులేదని చూపవచ్చు. E ఏకగత యంత్రం కనక వలాయాన్ని ద్విగతం చేయలేము, కనుక η^1, η కంటె

BRAOU

ఎక్కువగా ఉండటానికి వీలులేదని నిరూపించలేము. కనక η, η^1 కంటె తక్కువగా ఉండాలి. లేదా సమానంగా ఉండాలి.

$\eta^1 = \eta$ ద్విగత కనక

η ఏకగత $\leq \eta$ ద్విగత 33.25

అని చూపి కార్నో సూత్రం రెండవ భాగాన్ని నిరూపించవచ్చు.

మాదిరి లెక్క – 3

200^0C ఉష్ణోగ్రత. 10 అట్మా పీడనం వద్ద ఉన్న ఉష్ణాశయం నుంచి ఉష్ణ యంత్రం ఆవిరిని గ్రహించి, 1 అట్మా పీడనం, 100^0C వద్ద ఉన్న గాలిలోకి బహిష్కరిస్తుంది. ఆవిరి యంత్రం గరిష్ట దక్షతను గణించండి.

కార్నో సూత్రం ప్రకారం ఆవిరి యంత్రం గరిష్ట దక్షత, వేడి, చల్లని వస్తువుల ఉష్ణోగ్రతలపై ఆధారపడుతుంది.

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{(200+273)-(100+273)}{200+273}$$

$$= \frac{100}{473} = 0.2111$$

లేదా $\eta = 21.1\%$

ఉష్ణయంత్రం వాస్తవిక దక్షత. ఆదర్శ పరిస్థితులలో మాత్రమే మధ్యమయ్యే గరిష్ట దక్షత కంటె తక్కువగా ఉంటుంది. ఆవిరియంత్రాలలో సామాన్యంగా లభ్యమయ్యే దక్షత 15% సంశ్లిష్ట ఆవిరియంత్రాలలో దక్షత 35% వరకు పొందవచ్చు. కాని వాస్తవంగా లభించె దక్షత 20% సాధారణ మోటార్ ఇంజన్‌లో లభ్యమయ్యే దక్షత 22% పెద్ద డిసెల్ యంత్రాలలో లభించే దక్షత 40%

33.7 సారాంశం

కార్నోచక్రం ఉష్ణాన్ని శక్తిగా మారుస్తుంది.

కార్నో చక్రం ద్విగత చక్రం. దీనిలో వరసగా ఈ ప్రక్రియలు జరుగుతాయి. (1) సమ ఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచం (2) స్థిరోష్ణక వ్యాకోచం (3) సమ ఉష్ణోగ్రతా సంపీడనం (4) స్థిరోష్ణక సంపీడనం. కార్నో యంత్రం చేసిన పని $W = Q_1 - Q_2$. దీనితో Q_1- అధిక ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న ఉష్ణ జనకం నుంచి వ్యవస్థ గ్రహించిన ఉష్ణం, Q_2- అల్ప ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న సింక్‌కు వ్యవస్థ అందజేసిన ఉష్ణం.

ఉష్ణయంత్రం దక్షత $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ లేక $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$

ఉష్ణయంత్రం దక్షత, వేడి వస్తువు, చల్లని వస్తువుల ఉష్ణోగ్రతల మీద ఆధారపడుతేందేకాని, పనిచేసే పదార్థంమీద ఆధారపడదు.

కార్నోసిద్ధాంతాన్ని క్రింది విధంగా నిర్వచించవచ్చును. "రెండు ఉష్ణాశయాల మధ్య పనిచేసే ద్విగత యంత్రాల దక్షత ఒకటిగా ఉంటుంది. రెండు ఉష్ణాశయాల మధ్య పనిచేసే ద్విగత యంత్రం దక్షత కంటే, అవే ఉష్ణాశయాల మధ్య పనిచేసే ఏ ఏకగత యంత్రం దక్షత ఎక్కువగా ఉండదు.

33.8 సమూనా ప్రశ్నలు

I క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానం రాయండి.

1. కార్నో చక్రంలో వ్యవస్థ చేసిన పని, T_1 ఉష్ణోగ్రత వద్ద వ్యవస్థ గ్రహించిన ఉష్ణరాశికి, T_2 ఉష్ణోగ్రత వద్ద వ్యవస్థ ఇచ్చిన ఉష్ణరాశికి గల తేడాకు సమానమని చూపండి.
2. ఉష్ణ యంత్రం దక్షతను నిర్వచించండి. ఉష్ణాశయం, సింక్ ఉష్ణోగ్రతలలో ఉష్ణ యంత్రం దక్షతకు సమాసాన్ని రాబట్టండి.
3. కార్నో సిద్ధాంతాన్ని నిర్వచించి నిరూపించండి.

II క్రింది లెక్కలను సాధించండి.

3. ఒక అదర్శ ఉష్ణయంత్రం కార్నో చక్రీయంగా 300, 150^0C మధ్య నుడుస్తుంది. అది అధిక ఉష్ణోగ్రత వద్దగల ఉష్ణాశయం నుంచి $50X10^4$J ఉష్ణాన్ని గ్రహించింది. ఒక వలయంలో ఈ యంత్రం చేసిన పని ఎంత? **(జ.13.1J)**
4. కార్నో చక్రంలో 500^0K వద్ద ఒక వాయువు సమఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచం, **300^0**K వద్ద సమఉష్ణోగ్రతా సంపీడనం జరిగింది. వ్యాకోచంలో **2500**J ఉష్ణరాశి వాయువుకు ఇవ్వడమైంది. సమ ఉష్ణోగ్రతా పీడనంలో వాయువు విసర్జించిన ఉష్ణరాశి ఎంత? **(జ.1500J)**

B R A O U

భాగం - 34 : ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమము

విషయక్రమం

34.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
34.2 ప్రవేశిక
34.3 ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమం - నిర్వచనం
34.4 ఉష్ణగతిక ఉష్ణోగ్రతామానం
34.5 సారాంశం
34.6 నమూనా ప్రశ్నలు

34.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో ఉష్ణగతిక శాస్త్ర రెండవ నియమం, దాని అనువర్తనాలను గురించిన చర్చ ఉంది. మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

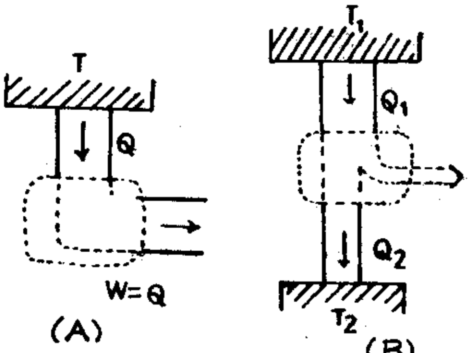
ఉష్ణశక్తినంతా పనిగా మార్చడం గురించి తెలుసుకుంటారు.
ఉష్ణగతిక ఉష్ణోగ్రత మానాన్ని వివరించగలుగుతారు.

34.2 ప్రవేశిక

ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు మొదటి నియమం ఉష్ణం పనిగా మారుతుందని తెలుపుతుంది. కదిలే భాగాల మధ్య రాపిడిని కలిగించే యంత్రాన్ని నిర్మించడంవల్ల, ఉష్ణాన్ని పనిగా మార్చడంలో 100% దక్షత పొందవచ్చునని అనుభవం వల్ల తెలుస్తుంది. కాని ఉష్ణాన్ని పూర్తిగా పనిగా మార్చడం సాధ్యంకాదని తెలుసుకొన్నారు. ఉష్ణాన్ని పూర్తిగా పనిగా మార్చడానికి చేసిన పరిశోధనలు ఉష్ణగతికశాస్త్రపు రెండవ నియమం నిర్వచనకు దారితీసాయి. ఉష్ణగతికశాస్త్రపు రెండవ నియమం నిర్వచనం, ఉష్ణగతిక ఉష్ణోగ్రతమానం నిర్వచనలో రెండవ నియమం ముఖ్య అనువర్తనం, గురించి ఈ భాగంలో తెలుసుకొందాం.

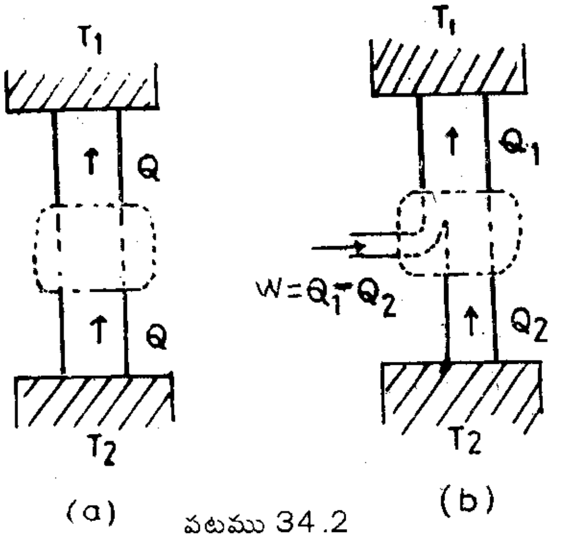
34.3 ఉష్ణగతికశాస్త్రపు రెండవ నియమం - నిర్వచనం

కార్నో చక్రంపై పనిచేసే ఆదర్శ కార్నో యంత్రంలోని అనేక ఉష్ణగతిక ప్రక్రియల విశ్లేషణ ఉష్ణాన్ని పూర్తిగా పనిగా మార్చడం అసాధ్యమని చూపుతుంది. గ్రహించిన ఉష్ణాన్నంతా పనిగా మార్చే ఆదర్శ ఉష్ణయంత్రాన్ని పటం 34.1 లో చూపినట్లు నిర్మించాలనుకొని, ప్రాయోగిక అనుభవాల వల్ల వ్యవస్థ గ్రహించిన ఉష్ణంలో కొంతభాగం అల్పఉష్ణోగ్రత వద్ద సింక్‌కు విసర్జించడం జరుగుతుందని తేలింది. గ్రహించిన ఉష్ణంలో కొంతభాగం మాత్రమే పనిగా మార్పుచెందుతుంది. దీనిని పటం 34.1 b లో చూపాం.



పటము 34.1

చల్లని వస్తువునుంచి ఉష్ణాన్ని వేడి వస్తువుకు, బాహ్యపని ప్రమేయం లేకుండా బదలాయించే శీతలీకరణ యంత్రం (పటం 34.2a) రూపకల్పన కూడ చేయలేకపోయారు. పటం 34.2b లో చూపిన వాస్తవ శీతలీకరణ యంత్రంలో సింక్‌నుంచి ఉష్ణాశయానికి ఉష్ణాన్ని బదలాయించడానికి W పని చేయాలి.



పటము 34.2

కార్నో చేసిన ఆవిష్కరణను సాధారణీకరించి క్లాసియస్, కెల్విన్‌ల ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమాన్ని రెండు విభిన్న రూపాలలో పేర్కొన్నారు. లార్డ్ కెల్విన్ ప్లాంక్‌తో కలిసి ఈ నియమాన్ని క్రింది విధంగా పేర్కొన్నారు.

ఉష్ణాశయం నుంచి ఉష్ణాన్ని గ్రహించి, దానికి తుల్యమైన పనిని మాత్రమే చేయడం తప్ప ఇతర ప్రభావం లేని, చక్రీయంగా పనిచేసే యంత్రాన్ని నిర్మించడం అసాధ్యం.

శీతలీకరణ పరికరాలతోటి అనుభవం వల్ల ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమాన్ని సాధారణీకరించడం జరిగింది. క్లాసియస్ ఈ నియమాన్ని క్రింది విధంగా పేర్కొన్నారు. చల్లని వస్తువునుంచి వేడి వస్తువుకు ఉష్ణాన్ని బదలాయించడం తప్ప ఇతర ప్రభావం లేని చక్రీయంగా పనిచేసే యంత్రాన్ని నిర్మించడం అసాధ్యం.

పైన పేర్కొన్న నిర్వచనాలతో సమానమైన అర్థాన్నిచ్చే నిర్వచనాలు చాలా ఉన్నాయి. ఈ నియమాన్ని ఏవిధంగా చెప్పినా, ఋణాత్మక రూపంతో ఉంది కాబట్టి నిరూపించలేము. రెండు నిర్వచనాలు సమానమని చూపడానికి ఒక నిర్వచనం తప్పు అయితే రెండవ నిర్వచనం కూడా తప్పేనని నిరూపిస్తే చాలు.

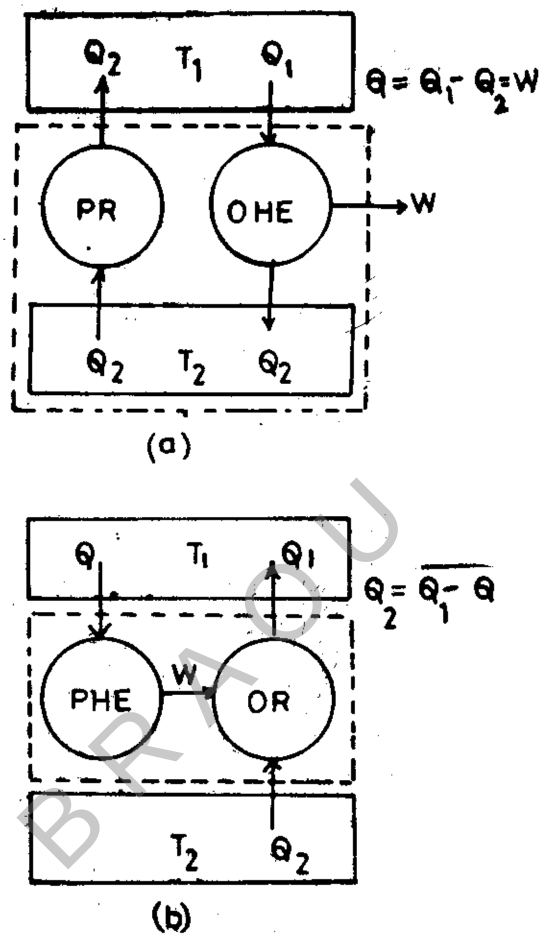
క్లాసియస్ నిర్వచనం తప్పని అనుకొందాం. అప్పుడు శీతలీకరణ యంత్రం బాహ్యపని ప్రమేయం లేకుండా నడుస్తుంది. ఈ ఆదర్శ శీతలీకరణ యంత్రాన్ని పటం 34.3a లో చూపినట్లు సాధారణ ఉష్ణయంత్రానికి కలపటం వల్ల పని నష్టం లేకుండా ఉష్ణం తిరిగి వేడి వస్తువును చేరి, ఉష్ణయంత్రం తిరిగి పని చేయటానికి ఉపయోగపడుతుంది. అంటే ఆదర్శ శీతలీకరణ యంత్రం, సాధారణ యంత్రాల కలయిక వల్ల, కెల్విన్-ప్లాంక్ నిర్వచనాన్ని ఉల్లంఘించే ఉష్ణయంత్రం ఏర్పడుతుంది.

కెల్విన్-ప్లాంక్ నిర్వచనం తప్పనుకుంటే ఉష్ణయంత్రం ఉష్ణాన్ని గ్రహించి, దానిని పూర్తిగా పనిగా మార్చుతుంది. ఈ ఆదర్శ ఉష్ణయంత్రాన్ని సాధారణ శీతలీకరణ యంత్రానికి సంధానం చేస్తే (పటం 34.3b) వేడి వస్తువునుంచి ఉష్ణాన్ని రాబట్టి, దానిని పూర్తిగా పనిగా మార్చి, ఆ పనిని శీతలీకరణ యంత్రం నడపడానికి ఉపయోగించవచ్చు. శీతలీకరణ యంత్రం చల్లని వస్తువునుంచి ఉష్ణాన్ని గ్రహించి, ఆ ఉష్ణాన్ని శీతలీకరణ యంత్రం పనిని ఉష్ణంగా మార్చిన ఉష్ణాన్ని, వేడి వస్తువుకు విసర్జిస్తుంది. దీని

BRAOU

ఫలితంగా చల్లని వస్తువునుంచి వేడి వస్తువుకు పని నష్టం లేకుండా ఉష్ణాన్ని బదలాయించడం జరుగుతుంది. ఈ ప్రక్రియ క్లాసియస్ నిర్వచనాన్ని ఉల్లంఘిస్తుంది.

పై వాదననుసరించి కెల్విన్-ప్లాంక్ నిర్వచనం సరిఅయితే క్లాసియస్ నిర్వచనం కూడా సరిగా ఉంటుందని తీర్మానించవచ్చు. ఈ విధంగా ఉష్ణగతికశాస్త్రపు రెండవ నియమాన్ని నిరూపించవచ్చు. ముందుగానే సమతాస్థితిలో లేని వ్యవస్థనుంచి మాత్రమే పనిని పొందగలం కనక ఉష్ణగతికశాస్త్రపు రెండవ నియమానికి, సమతాస్థితితో సంబంధం ఉంది. ఒక వ్యవస్థ సమతాస్థితిలో ఉంటే, తనకు తానుగా ఏ ప్రక్రియ జరగదు. పనిని ఉత్పాదించె పరికరం ఏదీ లేదు. యాదృచ్ఛిక ఉష్ణ ప్రవాహం అధిక ఉష్ణోగ్రతనుంచి అల్పఉష్ణోగ్రతకు ఉంటుందనీ, పని జరిగినప్పుడు మాత్రమే వ్యతిరేకచర్య సాధ్యమనీ రెండవ నియమం తెలుపుతుంది.



పటము 34.3

కెల్విన్, క్లాసియస్ నిర్వచనాలు ఉష్ణోగ్రతకు ప్రాథమిక నిర్వచనాలనిస్తాయి. ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమం ఆధారంగా నిర్వచించిన ఉష్ణోగ్రత, ఆదర్శ వాయువుకు $PV = nRT$ సమీకరణాన్ని తృప్తిపరచే ఉష్ణోగ్రతామానంతో సర్వసమంగా ఉంది.

34.4 ఉష్ణగతిక ఉష్ణోగ్రతామానం

ద్రవం లేదా వాయువు వ్యాకోచం వంటి ఒక పదార్థపు భౌతిక ధర్మంలో మార్పును, ప్లాటినం విద్యున్నిరోధంలో మార్పును, సెంటిగ్రేడ్ లేదా ఫారన్‌హీట్ మానంలో ఒక పదార్థపు ఉష్ణోగ్రతను

కొలవడానికి ఉపయోగిస్తారు. ఆ విధంగా కనుక్కొన్న ఉష్ణోగ్రత పదార్థపు స్వభావంపై ఆధారపడి ఉంటుంది. అందువల్ల కొలిచిన ఉష్ణోగ్రత పరమ ఉష్ణోగ్రత కాదు. సాపేక్ష ఉష్ణోగ్రత అవుతుంది. సెంటిగ్రడ, ఫారన్‌హీట్ మానాలు పదార్థపు నిర్దిష్ట ధర్మాన్ని ఆధారంగా చేసుకొని నిర్మించినవి. వీటిలో నీటి ఘనీభవనస్థానం, మరిగే స్థానాలను నిర్దేశ ప్రమాణాలుగా తీసుకున్నారు. ఆదర్శ ఉష్ణయంత్రాలపై కార్నో చేసిన పరిశోధనలు, ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమం నుంచి లార్డ్ కెల్విన్ ఉష్ణోగ్రతకు, పదార్థపు స్వభావంపై ఆధారపడని శక్తి పదాలలో నిర్వచించవచ్చని తెలుసుకున్నారు. ఆదర్శ కార్నో యంత్రం దక్షత విలువ నుంచి పరమ ఉష్ణోగ్రతామానానికి సిద్ధాంతాన్ని కనుక్కొన్నాడు. ఈ ఉష్ణోగ్రతామానాన్ని కెల్విన్ ఉష్ణోగ్రతామానం అంటారు.

Q_1, Q_2 ఉష్ణోగ్రతల వద్ద పనిచేసే ద్విగత ఉష్ణయంత్రాల దక్షత ఈ ఉష్ణోగ్రతల మీద ఆధారపడుతుందే కాని, పదార్థపు స్వభావంపై ఆధారపడదు.

$$\eta = f(\theta_1, \theta_2) \qquad 34.1$$

కాని $$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \qquad 34.2$$

θ_1 ఉష్ణోగ్రత వద్ద వేడిగా ఉన్న ఉష్ణాశయం నుంచి గ్రహించిన శక్తి Q_1, Q_2 ఉష్ణోగ్రతవద్ద ఉన్న సింక్‌కు ఇచ్చివేసిన శక్తి Q_2. θ_1, θ_2 లు యాదృచ్ఛిక స్కేలుపై కొలిచిన ఉష్ణోగ్రతలు సె.మీ. లు 34.1, 34.2 నుంచి

$$1 - \frac{Q_2}{Q_1} = f(\theta_1, \theta_2) \qquad 34.3$$

లేదా

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{1}{1 - f(\theta_1, \theta_2)} = F(\theta_1, \theta_2) \qquad 34.4$$

θ_1, θ_2 ల మరో ప్రమేయం F.

θ_2, θ_3 ల మధ్య పనిచేసే ద్విగత యంత్రానికి, $\theta_2 > \theta_3$ అయినప్పుడు

$$\frac{Q_2}{Q_3} = F(\theta_2, \theta_3) \qquad 34.5$$

ద్విగత యంత్రం Q_1, Q_3 ల మధ్య పనిచేస్తే .

$$\frac{Q_1}{Q_3} = F(\theta_1, \theta_3) \qquad 34.6$$

సమీ. 34.4 ను సమీ. 34.5 చె గుణించగా

$$\frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{Q_2}{Q_3} = \frac{Q_1}{Q_3} = F(\theta_1, \theta_3) = F(\theta_1, \theta_2) \times F(\theta_2, \theta_3) \qquad 34.7$$

$$F(\theta_1, \theta_2) = \frac{\phi(\theta_1)}{\phi(\theta_2)} \qquad 34.8$$

అయినప్పుడు మాత్రమే సమీ. 34.7 చెల్లుతుంది. దీనిలో θ ఉష్ణోగ్రత ప్రమేయం.

BRAOU

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\phi(\theta_1)}{\phi(\theta_2)}$$

అని వ్రాయవచ్చు.

$\theta_1 > \theta_2, Q1 > Q2$ కనక $\theta(Q_1) > \phi(Q_2)$

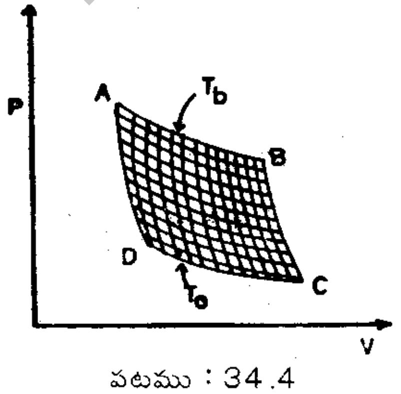
అంటే $\phi(\theta)$, θ యొక్క ఏకఘాత ప్రమేయం. దీనిని ఉష్ణోగ్రతను కొలవడానికి ఉపయోగించవచ్చు. $\phi(\theta)$ ను τ చే సూచిస్తే సమీ. 34.9 ను కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2} \qquad 34.10$$

సమీ. 34.10 ను ఒక కొత్త ఉష్ణోగ్రత నిర్వచించడానికి ఉపయోగించవచ్చు. ఈ కొత్త మానాన్ని ఉష్ణగతిక మానం లేదా కెల్విన్ మానం అంటారు. ఈ మానం పదార్థపు ధర్మాలపై ఆధారపడదు. సమీ. 34.10 సార్వత్రికంగా వాస్తవమైనది ఈ ఉష్ణోగ్రత మానంపై రెండు ఉష్ణోగ్రతల నిష్పత్తి. ఈ రెండు ఉష్ణోగ్రతల మధ్య ద్విగతంగా పనిచేసే యంత్రం గ్రహించిన విసర్జించిన ఉష్ణరాశుల నిష్పత్తికి సమానం.

కెల్విన్ ఉష్ణోగ్రత మానంపై శూన్యస్థానం $\tau = 0$ విలువ $Q_2 = 0$ అయ్యే ఉష్ణోగ్రతగా తీసుకొంటారు. అప్పుడు $W = Q_1$ అవుతుంది. అందువల్ల యంత్రం గ్రహించిన ఉష్ణమంతా పనిగా మారుతుంది. అప్పుడు యంత్రం దక్షత 100% అంటే $\eta = 1$. τ విలువ సున్న కంటె తక్కువ అంటే ఋణాత్మకం ఉండటానికి వీలులేదు. ఋణాత్మకం అయితే Q_2 ఋణాత్మకం అవుతుంది. అంటే యంత్రం, ఉష్ణాశయం సింక్ రెండింటి నుంచి ఉష్ణాన్ని గ్రహిస్తుంది. ఇది ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమానికి విరుద్ధం. అందువల్ల మనం పొందగల అల్పతమ ఉష్ణోగ్రత $\tau = 0$ ను ఈ ఉష్ణోగ్రతను పరమ శూన్య ఉష్ణోగ్రత అంటారు.

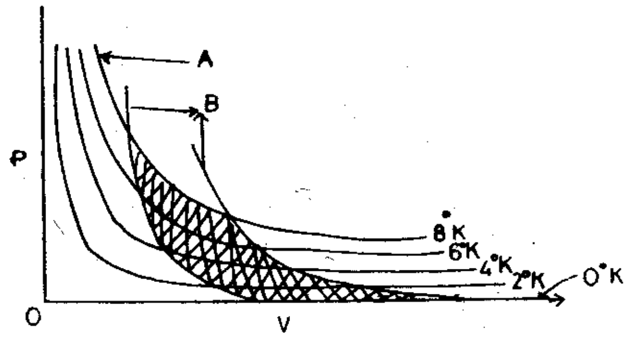
కెల్విన్ ఉష్ణోగ్రత మానంలో ఒక డిగ్రీ ప్రమాణాన్ని నిర్ణయించడానికి ద్విగత ఉష్ణయంత్రం ప్రమాణ పీడనం వద్ద, నీరు మరిగే ఉష్ణోగ్రత, నీరు ఘనీభవించే ఉష్ణోగ్రతల మధ్య పనిచేస్తున్నదనుకొందాం. కార్నో చక్రం వలె పనిచేసే ఈ యంత్రం సూచీపటాన్ని పటం 34.4 లోని ABCD సూచిస్తుందనుకొందాం. యంత్రం చేసిన పనిని ABCD వైశాల్యం తెలుపుతుంది. AB, CD లకు సమాంతరంగా సమ ఉష్ణోగ్రతా రేఖలు గీచి ABCD వైశాల్యాన్ని 100 సమభాగాలుగా విభజించామనుకొందాం. ఒక్కొక్క భాగం కెల్విన్ ఉష్ణోగ్రత మానంలో ఒక డిగ్రీకి సమానం. నీరు మరిగే ఉష్ణోగ్రత, నీరు ఘనీభవించే ఉష్ణోగ్రతల మధ్య పనిచేసే కార్నో చక్రాన్ని సూచించే సూచీపటం వైశాల్యంలో $\frac{1}{100}$ వంతు వైశాల్యానికి సమానమైన శక్తిని పొందడానికి ద్విగత ఉష్ణయంత్రాన్ని ఏ ఉష్ణోగ్రతల మధ్య నడపవలెనో ఆ ఉష్ణోగ్రత తేడా ఒక డిగ్రీ కెల్విన్ అని నిర్వచించవచ్చు.



పటము : 34.4

BRAOU

ఉష్ణాశయం ఉష్ణోగ్రతను నీరు మరిగే ఉష్ణోగ్రత వద్ద స్థిరంగా ఉంచి, సింక్ ఉష్ణోగ్రతను తగ్గించడం వల్ల యంత్రం చేసే పని పరిమాణాన్ని పెంచవచ్చు. పని చేసే పదార్థం అవిచ్ఛిన్నంగా చల్లబడేటట్లు స్థిరోష్ణక వ్యాకోచం BC ను కొనసాగనిస్తే, పదార్థం ఇక వ్యాకోచం చెందలేని పరిస్థితి ఏర్పడుతుంది. ఈ పరిస్థితికి సంబంధించిన సమ ఉష్ణోగ్రతారేఖను, శూన్య సమ ఉష్ణోగ్రత రేఖ అంటారు. ఈ సమ ఉష్ణోగ్రతా రేఖ ఉష్ణోగ్రత పటం 34.5 లో చూపినట్లు పరమ ఉష్ణోగ్రత మానంలో శూన్యస్థానాన్ని తెలుపుతుంది.



పటము 34.5

పైన తెలిపిన సైద్ధాంతికంగా రూపొందిన కెల్విన్ ఉష్ణోగ్రత మానం కింద నిరూపించినట్లు ఆదర్శ వాయు ఉష్ణోగ్రతా మానంతో ఏకీభవిస్తుంది. కనుక దానిని ఆచరణలో పొందవచ్చు.

ఆదర్శ వాయువు పనిచేసే పదార్థంగా గల ద్విగత ఉష్ణ యంత్రం దక్షత

$$\eta = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad 34.11$$

T_1 T_2 లు ఆదర్శ వాయు ఉష్ణోగ్రతా మానంలో కొలిచిన ఉష్ణాశయం సింక్ ఉష్ణోగ్రతలు. సమీ. 34.10, 34.11 ల నుంచి

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2} \qquad 34.12$$

సమీ. 34.12 ననుసరించి ఏదేని రెండు ఉష్ణోగ్రతల నిష్పత్తి ఆదర్శ వాయు ఉష్ణోగ్రతా మానంలో, ఉష్ణగతిక ఉష్ణోగ్రతా మానంలో సమానమని తెలుస్తుంది. $\tau_2 = 0$ అయితే $T_2 = 0$ కనక ఉష్ణగతిక ఉష్ణోగ్రతా మానం శూన్యస్థానం ఏకీభవిస్తోంది. ఆదర్శ వాయు ఉష్ణోగ్రతా మానం శూన్యస్థానంతో ఏకీభవిస్తుంది. ఆదర్శ వాయు ఉష్ణోగ్రతా మానంలో కొలిచిన నీటి మరుగు స్థానం ఉష్ణోగ్రత T_1 = నీటి ఘనీభవనస్థానం ఉష్ణోగ్రత T_2 అయితే

$$T_1 - T_2 = 100 \qquad 34.13$$

కెల్విన్ ఉష్ణోగ్రతామానంలో ఈ రెండు స్థిర బిందువులకు

$$\tau_1 - \tau_2 = 100 \qquad 34.14$$

కనక

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{100}{T_1} \qquad 34.15$$

$$\eta = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1} = \frac{100}{\tau_1} \qquad 34.16$$

B R A O U

రెండు ఉష్ణోగ్రతామానాలలో నీటి మరిగే స్థానం ఉష్ణోగ్రత, నీటి ఘనీభవన స్థానం ఉష్ణోగ్రతలు ఒకటేనని సమీ. 34.15, 34.16 లు సూచిస్తాయి. కనక ఏ ఉష్ణోగ్రత అయినా రెండు మానాలలోను సమానం అంటే రెండు మానాలు ఒకే మాదిరిగా ఉన్నాయి. క్లాసియస్ మానంలో మంచు ద్రవీభవన స్థానం 0^0 C కెల్విన్ ఉష్ణోగ్రత మానంలో 273.15 K కు సమానం.

శీతలీకరణ ప్రక్రియలలో ఉష్ణోగ్రత తక్కువగా ఉంటే ఇంకా అల్పతమ ఉష్ణోగ్రతలను పొందడం చాలా కష్టమనే మౌలిక లక్షణం ఇక్కడ గుర్తించాలి. ఈ ప్రయోగిక అనుభవం ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు మూడవ నియమానికి దారి తీసింది. దానిని ఈవిధంగా చెప్పవచ్చు. ఏ పద్ధతిలోనైనా, అది ఎంత ఆదర్శవంతమైనదైనా ఒక వ్యవస్థను నియమిత సంఖ్య గల ప్రక్రియలలో పరమ శూన్య ఉష్ణోగ్రతవద్ద సింక్ ఉండదు. కాబట్టి 100 % దక్షతగల ఉష్ణయంత్రాన్ని పొందడం ప్రాయోగికంగా అసాధ్యం.

34.5 సారాంశం

ఆదర్శ కార్నో యంత్రం పనిచేసే విధానంపై కార్నో చేసిన పరిశోధనల ఆధారంగా క్లాసియస్, లార్డ్ కెల్విన్‌లు ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమాన్ని రెండు వివిధ రూపాలలో పేర్కొన్నారు. కెల్విన్ ఈకింది విధంగా పేర్కొన్నారు.

చక్రీయ ప్రక్రియలో ఉష్ణాశయం నుంచి ఉష్ణాన్ని గ్రహించి, దానికి తుల్యమైన పని చెయ్యడం తప్ప ఇతర ఫలితాలనివ్వని పరికరాన్ని నిర్మిచడం అసాధ్యం అని క్లాసియస్ నిర్వచించిన సూత్రం.

చక్రియ ప్రక్రియలో చల్లని వస్తువు నుంచి వేడి వస్తువుకు ఉష్ణాన్ని చేరవేయడం తప్ప ఇతర ఫలితాల నివ్వని పరికరాన్ని నిర్మించడం అసాధ్యం.

ఉష్ణశక్తినంతా పనిగా మార్చడం అసాధ్యమని పని జరగకుండా చల్లని వస్తువు నుంచి వేడివస్తువుకు ఉష్ణప్రసారం జరగటం అసాధ్యమని రెండవసూత్రం తెలుపుతుంది.

ఆదర్శ ఉష్ణయంత్రాలపై కార్నో పరిశీలనలు, ఉష్ణగతకశాస్త్రపు రెండవనియమం ఆధారంగా, లార్డ్ కెల్విన్ ఉష్ణోగ్రతను, శక్తి పదాలలో నిర్వచించడం సాధ్యమనే విషయాన్ని తెలుసుకొన్నాడు, శక్తి నిర్దిష్ట పదార్థపు స్వభావంపై ఆధారపడదు.

ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు ఉష్ణోగ్రతా మానం లేదా కెల్విన్ ఉష్ణోగ్రతామానంలో ఏదేని రెండు ఉష్ణోగ్రతల నిష్పత్తి, రెండు ఉష్ణోగ్రతల మధ్య ద్విగతంగా పనిచేసే యంత్రం గ్రహించిన, విసర్జించిన ఉష్ణశక్తుల నిష్పత్తికి సమానం.

ఉష్ణయంత్రంలోని సింక్‌కు విసర్జించిన ఉష్ణరాశి Q_2 శూన్యమైనప్పుడు ఆ సింక్ ఉష్ణోగ్రత కెల్విన్ ఉష్ణోగ్రతామానంలో శూన్య స్థానపు విలువ అవుతుంది. అట్లాంటి యంత్రం దక్షత 100 % ఉంటుంది.

వాడుకలో పరమశూన్య ఉష్ణోగ్రతను చేరడం అసాధ్యం అందువల్ల 100% దక్షత గల ఉష్ణయంత్రాన్ని పొందడం అసాధ్యం.

నీరు మరిగే స్థానం, మంచు కరిగే స్థానం ఉష్ణోగ్రతల మధ్య తీసుకున్న కార్నో చక్రాన్ని తెలిపే సూచీపటం వైశాల్యంలో $\frac{1}{100}$ వంతుకు సమానమైన శక్తిని పొందడానికి ద్విగత ఉష్ణయంత్రాన్ని ఏ ఉష్ణోగ్రతల మధ్య నడపవలెనో ఆ ఉష్ణోగ్రతల తేడాను ఒక డిగ్రీ కెల్విన్ అంటారు.

BRAOU

ఆదర్శవాయు ఉష్ణోగ్రతామానం, ఉష్ణగతిక శాస్త్ర ఉష్ణోగ్రతామానాలు సర్వసమాలు.

ఉష్ణగతికశాస్త్రపు మూడవ నియమాన్ని ఈ విధంగా చెప్పవచ్చు. ఏ పద్ధతిలోనైనా, అది ఎంత ఆదర్శవంతమైనదైనా, ఒక వ్యవస్థను కొన్ని నియమిత ప్రక్రియలలో, పరమ శూన్య ఉష్ణోగ్రతకు తగ్గించడం అసాధ్యం.

34.6 నమూనా ప్రశ్నలు

క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానాలు రాయండి.

1. ఆదర్శ కార్నో యంత్రం పనిచేసే ఫలితాల నుంచి ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమం ఏర్పడటాన్ని చర్చించండి.
2. ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమం ఆధారంగా, ఉష్ణగతిక ఉష్ణోగ్రతామానం ఏర్పడటాన్ని వివరించండి.

BRAOU

భాగం - 35 : ఎంట్రపీ

విషయక్రమం

35.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
35.2 ప్రవేశిక
35.3 ఎంట్రపీ నిర్వచనం
35.4 ద్విగత ప్రక్రియలో ఎంట్రపీ మార్పు
35.5 ఏకగత ప్రక్రియలో ఎంట్రపీ మార్పు
35.5.1 ఉష్ణవహనం
35.5.2 స్వేచ్ఛా వ్యాకోచం
35.6 ఎంట్రపీ-ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమం
35.7 ఎంట్రపీ-క్రమరాహిత్యం
35.8 సారాంశం

35.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో ఎంట్రపీ భావన వివరించబడింది. మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

ఎంట్రపీని ఉపయోగించి ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమాన్ని నిర్వచించగలరు.
ఎంట్రపీ-క్రమరాహిత్యానికి గల సంబంధాన్ని రాబట్టగలరు.

35.2 ప్రవేశిక

కెల్విన్, క్లాసియస్ చెప్పిన ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమం. భౌతిక లేదా రసాయన ప్రక్రియలో జరిగే మార్పు దిశను స్థిరీకరించదు. కొత్తస్థితి ప్రమేయం ఎంట్రపీని నిర్వచించడం వల్ల ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమాన్ని గణిత రూపంలో చెప్పడానికి వీలయింది. మనం ఇప్పుడు ఎంట్రపీ అంటే ఏమిటో, ఏకగత ద్విగత ప్రక్రియలలో ఎంట్రపీ మార్పును గణించే పద్ధతి, ఎంట్రపీ-క్రమరాహిత్యంకు గల సంబంధం, తెలుసుకొందాం. భౌతికరాశి ఎంట్రపీని క్లాసియస్ ప్రవేశపెట్టాడు.

B R A O U

35.3 ఎంట్రపీ నిర్వచనం

కార్నో చక్రియ ప్రక్రియలో, పనిచేసే పదార్థం ఉష్ణగతిక మార్పును పొందుతుంది. పనిచేసే పదార్థానికి T_1 ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఇచ్చిన ఉష్ణరాశి Q_1 పనిచేసే పదార్థం నుంచి T_2 ఉష్ణోగ్రత వద్ద గ్రహించిన ఉష్ణరాశి Q_2 అయితే సమీ 33.15 నుంచి

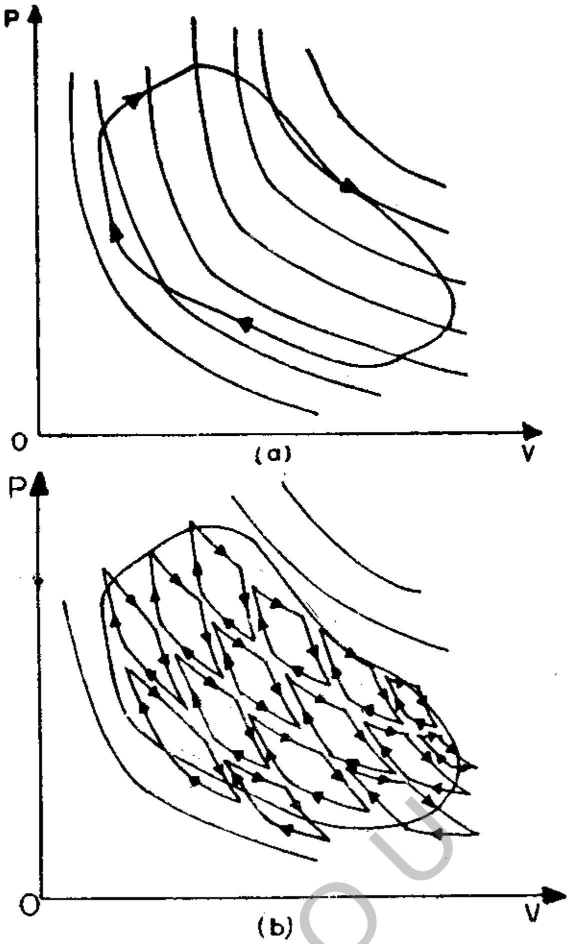
$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \qquad 35.1$$

పై సమీకరణంలో Q లను ధనాత్మక రాశులుగా తీసుకొన్నాం. Q వ్యవస్థను చేరేటప్పుడు ధనాత్మకంగానూ, వ్యవస్థను విసర్జించేటప్పుడు ఋణాత్మకంగానూ తీసుకొంటే

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0 \qquad 35.2$$

కార్నో చక్రానికి $\frac{Q}{T}$ బీజీయ రాశుల మొత్తం శూన్యమని పై సమీకరణం తెలుపుతుంది.

ద్విగత కార్నో చక్రాన్ని పటం 35.1లో చూపినట్లు అనేక సంఖ్యలోని కార్నో చక్రాలకు తుల్యంగా భావించవచ్చు. సమ ఉష్ణోగ్రతా రేఖల సమూహంపై అతిపాతం చెందిన



పటము 35.1

యాదృచ్ఛిక ద్విగత చక్రాన్ని పటం 35.1 a సూచిస్తుంది. ఈ సమ ఉష్ణోగ్రతా రేఖలను తగిన స్థిరోష్ణక రేఖలతో పటం 35.1bలో చూపినట్లు కలపడం వల్ల మొదటి చక్రాన్ని అనేక కార్నో చక్రాలుగా విభజించవచ్చు. కార్నో చక్రాల సమూహంలోని బాహ్యాభాగాలు ఒక వక్రంవలె ఉంటాయి. ఈ వక్రం సుమారుగా మొదటి కార్నో చక్రం వక్రం వలె ఉంటుంది. ఈ సమూహంపై కార్నో చక్రియ ప్రక్రియ జరిపితే కలిగే ఫలితం, మొదటి కార్నో చక్రియ ప్రక్రియలో కలిగే ఫలితానికి సమానంగా ఉంటుంది. దీని కారణం సరిహద్దు వక్రానికి లోపల ఉన్న కార్నో చక్రం అంచెలు, ముందు దిశలో, వ్యతిరేక దిశలో గీచినవి కావున రద్దయిపోతాయి. మొదటి కార్నో చక్రాన్ని అనంత సంఖ్యాకమైన కార్నోచక్రాలుగా విభజించడం వల్ల ప్రక్రియను సరిగ్గా పునరుత్పాదించవచ్చు. పటం 35.1-b లో చూపిన సమ ఉష్ణోగ్రత – స్థిరోష్ణక వరస రేఖలకు

$$\Sigma\frac{Q}{T} = 0 \qquad 35.3$$

సమ ఉష్ణోత్రా రేఖల మధ్య గల అనంత సూక్ష్మ ఉష్ణోగ్రతాభేధం అవధిలో

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0 \qquad 35.4$$

గుర్తు ఒక పూర్తి వలయం వెంబడి సమాకలనాన్ని సూచిస్తుంది. సమాకలిత ప్రమేయం విలువ సమాకలనం చేసిన మార్గంపై ఆధారపడదని, చక్రియ సమాకలనానికి శూన్య విలువ తెలుపుతుంది. ఆ ప్రమేయాన్ని ఉష్ణగతిక ధర్మం కల స్థితి ప్రమేయ మంటారు. ఈ ఉష్ణగతిక ధర్మాన్ని ఎంట్రపీ S అంటారు. అప్పుడు

$$d S = \frac{dQ}{T} \qquad 35.5$$

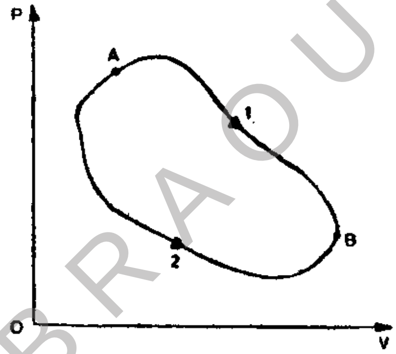
$$\oint d S = 0 \qquad 35.6$$

ఎంట్రపీకి ప్రమాణాలు $J K^{-1}$

ఒక పదార్థం స్థిరోష్ణక మార్పును పొందేటప్పుడు ఉష్ణాన్ని వ్యవస్థకు అందజేయడం లేదా దానినుంచి గ్రహించడం జరగదు. కనక స్థిరంగా ఉండే ఉష్ణ ధర్మంగల భౌతిక రాశిని ఎంట్రపీగా నిర్వచించవచ్చు. ఎంట్రపీని, ఉష్ణోగ్రత, పీడనాలవలె భౌతికంగా గ్రహించలేము. పదార్థపు స్థితిని నిర్వచించే ఉష్ణోగ్రత, పీడనం ఘనపరిమాణం అంతర్గత శక్తివలె ఎంట్రపీ నిశ్చితమైన విలువగల రాశి.

35.4 ద్విగత ప్రక్రియలో ఎంట్రపీలో మార్పు

ఒక వ్యస్థలోని రెండు సమతా స్థితులు A,B లను కలిపే మార్గాలు పటం 35.2లో చూపినట్లు ద్విగతం అనుకొందాం. ద్విగత ప్రక్రియలో ప్రక్రియ జరిగే వ్యవస్థకు



పటం 35.2

$$\int_{1A}^{B} d S + \int_{2B}^{A} d S = 0 \qquad 35.7$$

A,B లను కలిపే మార్గాలను 1.2 సూచిస్తాయి.

వలయం ద్విగతం కనక

$$\int_{1A}^{B} d S = \int_{2A}^{B} d S \qquad 35.8$$

ఒక వ్యవస్థలోని A,B ల వంటి ఏ రెండు సమతా స్థితుల మధ్యనైనా $\int_A^B dS$ రాశి, A,B లను కలిపే మార్గాలపై ఆధారపడదని సమీ. 35.9 తెలుపుతుంది.

A,B స్థితుల మధ్య ఎంట్రపీలో మార్పుగా వ్రాయవచ్చు.

$$S_B - S_A = \int_A^B dS = \int_A^B \frac{dQ}{T} \qquad 35.10$$

ద్విగత కార్నో చక్రంలో రెండు స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలు, రెండు సమ ఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియలు జరుగుతాయి. స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలలో ఉష్ణం వ్యవస్థను చేరదు. విడిచిపోదు. అందువల్ల ఎంట్రపీలో మార్పు ఉండదు. రెండు సమఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియలలో ఒకటి T_1 ఉష్ణోగ్రత వద్ద వ్యాకోచం, రెండవది T_2 వద్ద సంపీడనం. సమ ఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచ ప్రక్రియలలో T_1 వద్ద గ్రహించిన ఉష్ణరాశి Q_2. ఎంట్రపీలో పెరుగుదల T_1. సమ ఉష్ణోగ్రతా సంపీడన ప్రక్రియలలో T_2 వద్ద విసర్జించిన ఉష్ణరాశి Q_2. ఎంట్రపీలో తగ్గుదల T_2. కనుక మొత్తం వలయంలో ఎంట్రపీలో మార్పు

$$\Delta S = \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \qquad 35.11$$

ద్విగత చక్రానికి $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$

$$\Delta S = 0 \text{ ల} \qquad 35.12$$

అన్ని ద్విగత ప్రక్రియలో ఒక వ్యవస్థ ఎంట్రపీ స్థిరంగా ఉంటుందని సమీ 35.12 సూచిస్తుంది.

రెండు స్థితులు A,B ల మధ్య ఒక ప్రక్రియను ద్విగతంగా జరిపితే, సమీ 35.10 ననుసరించి

$$\int_A^B dS = -\int_B^A dS \qquad 35.13$$

లేదా

$$S_B - S_A = \Delta S_{AB} = -\Delta S_{BA} \qquad 35.14$$

AB ప్రక్రియలలో వ్యవస్థ గ్రహించిన లేదా విసర్జించిన ఉష్ణరాశి ద్విగతంగా పరిసరాల నుంచి, లేదా పరిసరాలకు మార్పు చెందాలని సమీ. 35.14 సూచిస్తుంది. కనక ద్విగతంగా జరిగిన ఏ ప్రక్రియలోనైనా వ్యవస్థ గ్రహించిన లేదా పోగొట్టుకొన్నా ఎంట్రపీని పరిసరాలు పోగొట్టుకోవాలి లేదా గ్రహించాలి. కనక వ్యవస్థ, పరిసరాల ఎంట్రపీ మార్పుల మొత్తం శూన్యం కావాలి. అంటే

$$\Delta S_{AB} \text{ (వ్యవస్థ)} = -\Delta S_{AB} \text{ (పరిసరాలు)} \qquad 35.15$$

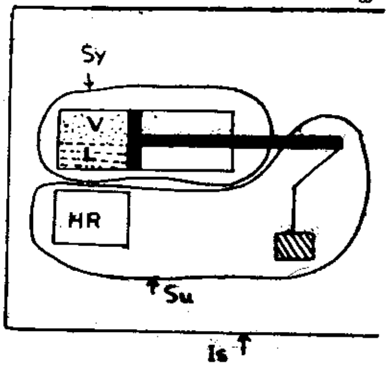
$$\Delta S \text{ (మొత్తం)} = \Delta S_{AB} \text{ (వ్యవస్థ)} + \Delta S_{AB} \text{ (పరిసరాలు)} \qquad 35.16$$

BRAOU

మాదిరి లెక్క - 1

100^0C వద్ద ఉన్న 1 మోల్ నీరు 1 అట్మా పీడనం వద్ద బాష్పంగా మారడంలో ఎంట్రపీలో మార్పును కనుక్కోండి.

వ్యవస్థలో 1 మోల్ నీరు ఉంది. పరిసరాలలో 100^0C వద్ద ఉన్న ఉష్ణాశయం ఉంది. (పటం 35.3)



పటము 35.3

ఉష్ణాశయానికి నీటికి మధ్య ఉష్ణ ప్రవణత అనంత సూక్ష్మం అందువల్ల వ్యవస్థ కావలసిన ఉష్ణాన్ని ఉష్ణాశయం నుంచి ద్విగతంగా గ్రహించి నీరు బాష్పంమారుతుంది.

వ్యవస్థ ఎంట్రపీలో మార్పు

$$\Delta S = \int \frac{dQ}{T}$$

T స్థిరరాశి కనక

$$\Delta S = \frac{1}{T} \int dQ = \frac{Q}{T}$$

1 గ్రా. నీటిని బాష్పంగా మార్చటానికి కావలసిన ఉష్ణరాశి బాష్పీకరణ గుప్తోష్ణం విలువ 2258 J/g కనక 1 మోల్ నీరు బాష్పంగా మారటానికి గ్రహించిన ఉష్ణరాశి Q అయితే

$$Q = 2258\ J/g \times 18 = 40644\ J$$

$$\Delta S\ (\text{వ్యవస్థ}) = \frac{Q}{T} = \frac{40644}{373} = 104\ JK^{-1}$$

పరిసరాలు, అంటే ఉష్ణాశయం 373^0C ఉష్ణోగ్రత వద్ద **40644** J ఉష్ణరాశిని కోల్పోవటం వల్ల, దాని ఎంట్రపీలో మార్పు ఉంటుంది. కనక పరిసరాల ఎంట్రపీలో మార్పు

$$\Delta S\ \text{పరిసరాలు} = -\frac{40644}{373} = -109\ JK^{-1}$$

వ్యవస్థ పరిసరాలు కలిగిన వ్యవస్థ ఎంట్రపీలో మొత్తం మార్పు విలువ సున్న.

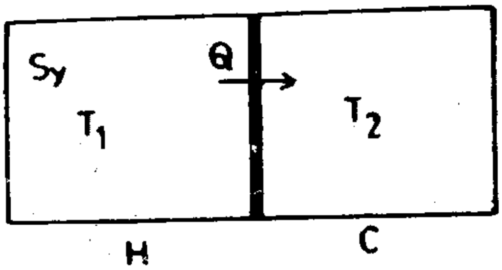
BRAOU

35.5 ఏకగత ప్రక్రియలో ఎంట్రపీలో మార్పు

ఒక వ్యవస్థ ఎంట్రపీ, స్థితి మీదనే ఆధారపడుతుంది. కనక ఏకగత ప్రక్రియలకు కూడ ఎంట్రపీలో మార్పు గణించవచ్చు. అయితే ఏకగత ప్రక్రియ ఒక సమతా స్థితి నుంచి ప్రారంభమై మరొక సమతా స్థితిలో అంతం కావాలి. ఏకగత ప్రక్రియలు, వేడి వస్తువు నుంచి చల్లని వస్తువుకు ఉష్ణ ప్రసారం (ఉష్ణ వహనం), శూన్యంలోకి వాయువు వ్యాకోచంవంటి యాదృచ్ఛిక ప్రక్రియలు అని మనకు తెలుసు. పై ప్రక్రియలలో ఎంట్రపీలో మార్పును కనుక్కొందాం.

35.5.1 ఉష్ణ వహనం

పటం 35.4లో చూపినట్లు T_1 ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న వేడి వస్తువునుంచి ఉష్ణం T_2 ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్న చల్లని వస్తువుకు ప్రవహిస్తుందనుకొందాం.



పటము 35.4

వేడి వస్తువు నుంచి చల్లని వస్తువుకు ప్రవహించిన ఉష్ణరాశి Q వేడి వస్తువు ఎంట్రపీలో మార్పు

$$\Delta S_{(\text{వేడి వస్తువు})} = -\frac{Q}{T} \qquad 35.17$$

చల్లని వస్తువు ఎంట్రపీలో మార్పు

$$\Delta S_{(\text{చల్లని వస్తువు})} = \frac{Q}{T_2} \qquad 35.18$$

వ్యవస్థ ఎంట్రపీలో మార్పు

$$\Delta S\ (\text{వ్యవస్థ}) = \Delta S\ (\text{వేడివస్తువు}) + \Delta S\ (\text{చల్లని వస్తువు}) \qquad 35.19$$

$$\Delta = -\frac{Q}{T1} + \frac{Q}{T_2} = Q\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \qquad 35.20$$

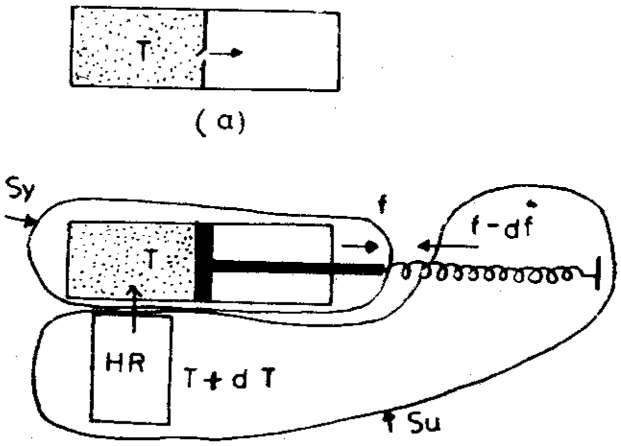
$T_1 > T_2$ కనక

$$\Delta S_{(\text{వ్యవస్థ})} > 0 \qquad 35.21$$

ఏకగత స్థిరోష్ణక ఉష్ణవహన ప్రక్రియలో వ్యవస్థ ఎంట్రపి పెరుగుతుంది.

35.5.2 స్వేచ్ఛా వ్యాకోచం

V_1 ఘనపరిమాణంగల ఒక ఆదర్శవాయువు శూన్యంలోకి వ్యాకోచం చెందిందనుకొందాం. దాని తుది ఘనపరిమాణం V_2 వ్యాకోచ ప్రక్రియలో వ్యవస్థపై ఎల్లాంటి పనిజరగలేదు. వాయువు అధమ ఉష్ణవాహక గోడలచే బంధితమై ఉంది. (పటం. 35.5)



(b)

పటము 35.5

కనక $Q = 0$ ఉష్ణగతిక శాస్త్రం మొటి నియమం నుంచి $\Delta V=0$ (అంటే) $U_i = U_f$, i,fలు ఆది, అంత్యస్థితులను తెలుపుతాయి. వాయువు ఆదర్శవాయువు కనక U ఉష్ణోగ్రతపై ఆధారపడుతుంది కాని ఘనపరిమాణం, పీడనాలపై ఆధారపడదు. అప్పుడు ఆద్యంతస్థితుల ఉష్ణోగ్రత ఒక్కటే, $T_i = T_f = T$

స్వేచ్ఛా వ్యాకోచం ఏకగత ప్రక్రియ ఘనపరిమాణం V_1 నుంచి V_2 కు మారినప్పుడు వ్యవస్థ ఎంట్రపీలో మార్పు కలుగుతుంది. వ్యాకోచం చెందిన వాయువుకు తొలివాయువుకు ఎంట్రపీలో తేడా కనుక్కోవడానికి ఈ ప్రక్రియను నేరుగా విశ్లేషణ చేయలేదు. స్వేచ్ఛా వ్యాకోచంలో వలె వ్యవస్థను అదే తొలిస్థితి నుంచి, అదే తుదిస్థితికి ద్విగతంగా తీసుకొని వెళ్ళడానికి జరపవలసిన ప్రక్రియను గురించి ఆలోచించినా, దీనిని ఎట్లా పొందాలో పటం 35.5b సూచిస్తుంది. ఇది సమ ఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియ ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు మొదటి నియమం ఆధారంగా గ్రహించిన ఉష్ణరాశి లెక్కించవచ్చు:

$$dQ = dW - PdV = \mu RT \frac{dV}{V}$$

వాయువు మోల్‌ల సంఖ్యను μ తెలుపుతుంది.

వ్యవస్థ ఎంట్రపీలో మార్పు

$$\Delta S_{\text{వ్యవస్థ}} = \int_{V_1}^{V_2} \frac{dQ}{T} = \mu R \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} \qquad 35.23$$

$$= \mu \log_e \left(\frac{V_2}{V_1}\right) \qquad 35.24$$

$V_2 > V_1$ కనక

B R A O U

ΔS (వ్యవస్థ) > 0 35.25

ఏకగత ప్రక్రియలో వ్యవస్థ ఎంట్రపీ పెరుగుతుంది.

35.6 ఎంట్రపీ – ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమం

ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమాన్ని వ్యవస్థ ఎంట్రపీలో కిందివిధంగా చెప్పవచ్చు.

ఒక సమతాస్థితిలో ప్రారంభమై, మరొక సమతాస్థితిలో అంతమయే సహజ ప్రక్రియ, వ్యవస్థ + పరిసరాల ఎంట్రపీల మొత్తం వృద్ధి అయేటట్లుగా జరుగుతుంది.

యాదృచ్ఛికమైన, సహజమైన అన్ని ఏకగత ప్రక్రియలు పై నిర్వచనంతో నిర్దిష్టంగా ఉంటాయి. విశ్వంలో ఒక ఉపయోగకరమైన ఉష్ణగతిక చరరాశి – ఎంట్రపీ ఉంటుందనేది రెండో నియమంలోని ముఖ్యమైన భాగం. రెండో నియమాన్ని ఈ విధంగా చెప్పడం, శూన్యనియమం నిర్వచనంలో ఉష్ణగతికరాశి, ఉష్ణోగ్రత ఉంటుందని చెప్పడం. మొదటి నియమం నిర్వచనంలో ఉష్ణగతికరాశి. అంతర్గత శక్తి ఉంటుందని చెప్పడంకు తుల్యంగా ఉంది.

సహజ దిశ కలిగిన ఏకగత ప్రక్రియలకు మాత్రమే పై విధంగా చెప్పిన రెండవ నియమం వర్తిస్తుంది. ఈ నియమం నుంచి ప్రధానంగా ఊహించినది, క్లాసియస్ మాటలలో – "విశ్వంలో శక్తి నిత్యము. విశ్వంలోని ఎంట్రపీ ఎల్లప్పుడు ఒక గరిష్ఠ విలువ వైపు ఉంటుంది. విశ్వంలో జరిగే సహజ ప్రక్రియలన్నీ యధేచ్ఛగా జరుగుతాయి. కనక, ఎంట్రపీ వృద్ధి పొందాలి. విశ్వంలోని మొత్తం ఎంట్రపీ అవిచ్ఛిన్నంగా పెరుగుతూ ఉంటుంది. దీనికి సర్ ఆర్థర్ ఎడింగ్టన్ చెప్పిన తాత్విక ఊహ "ఎంట్రపీ కాలానికి బాణం" వంటిది.

ద్విగత ప్రక్రియలకు, వ్యవస్థ, పరిసరాల ఎంట్రపీ మొత్తం స్థిరంగా ఉంటుంది. ప్రక్రియ ద్విగతం అయినప్పుడు పరిసరాలు, వ్యవస్థల ఉష్ణోగ్రతా భేదం dt.

స్థిరోష్ణక ప్రక్రియలలో ఏకగతం కానీ, ద్విగతంకానీ, పరిసరాలతో ఉష్ణ ప్రసారం ఉండదు. కనక ఎంట్రపీలో మార్పు వ్యవస్థలో మాత్రమే ఉంటుంది. ఎంట్రపీలో రెండవ నియమం నిర్వచనం ప్రకారం.

ద్విగత స్థిరోష్ణక ప్రక్రియకు $S_f = S_i$ 35.26

ఏకగత స్థిరోష్ణక ప్రక్రియకు $S_f > S_i$ 35.27

S_i, S_f లు వ్యవస్థ ఆద్యంత ఎంట్రపీలు

పరిపూర్ణ శీతలీకరణ యంత్రంలేదనే క్లాసియన్ నిర్వచనంతో ఎంట్రపీలో రెండవ నియమం నిర్వచనం అనుకూలంగా ఉంది. పరిపూర్ణ శీతలీకరణ యంత్రమనేది ఉంటే, అల్ప ఉష్ణోగ్రత గల ఉష్ణాశయం ఎంట్రపీ $\frac{Q}{T_2}$ తగ్గాలి, అధిక ఉష్ణోగ్రతల ఉష్ణాశయం ఎంట్రపీ $\frac{Q}{T_1}$ పెరగాలి. కాని వ్యవస్థ ప్రక్రియ ఒక పూర్తి వలయంలో జరుగుతుంది. కనక దాని ఎంట్రపీ స్థిరంగా ఉండాలి. అప్పుడు వ్యవస్థ, పరిసరాల ఎంట్రపీలో మార్పు తగ్గుతుంది. $(T_1 > T_2)$ ఇది రెండవ నియమాన్ని వ్యతిరేకిస్తుంది. కనక పరిపూర్ణ శీతలీకరణ యంత్రమనేది లేదని తెలుస్తుంది.

పరిపూర్ణ ఉష్ణ యంత్రం లేదనే కెల్విన్ ప్లాంక్ నిర్వచనంతో ఎంట్రపీలో రెండవ నియమం నిర్వచనం అనుకూలంగా ఉంది. పరిపూర్ణ ఉష్ణ యంత్రమనేది ఉంటే ఉష్ణాశయం ఎంట్రపీ Q/T తగ్గాలి. కాని వ్యవస్థ

BRAOU

ఎంట్రపీ స్థిరంగా ఉంటుంది. కనక వ్యవస్థ పరిసరాల మొత్తం ఎంట్రపీ తగ్గుతుంది. ఇది రెండవ నియమానికి వ్యవతిరేకం. కనక పరిపూర్ణ ఉష్ణ వస్తువనేది అసాధ్యం.

మాదిరి లెక్క - 2

0^0C వద్ద ఉన 5 ్ప మంచు ఏకగతంగా 0^0C వద్ద నీరుగా మారుతుంది. మంచు ద్రవీభవన గుప్తోష్ణం 333 J/g అయిన వ్యవస్థ ఎంట్రపీలో మార్పును కనుక్కోండి.

మంచు ఏకగతంగా కరగడానికి దానికి 0^0 C కంటె అత్యల్ప ఉష్ణోగ్రత అధికంగా గది ఉష్ణాశయం దగ్గర ఉంచాలి. ఉష్ణాశయం ఉష్ణోగ్రతను అత్యల్ప విలువకు తగ్గించి నప్పుడు కరిగిన మంచు గడ్డకట్టడానికి ప్రారంభిస్తుంది ఈ ప్రక్రియ ద్విగతం కనక ఎంట్రపీలో మార్పు

$$\Delta S = \int_0^Q \frac{dQ}{T} = \frac{Q}{T}$$

$$Q = 5 \times 10^3\ g \times 333\ j/g = 1665x - 10^3\ j$$

$$\Delta S_{\text{వ్యవస్థ}} = \frac{1.665 \times 10^6 j}{273K} = 6.1 \times 10^3\ j\ k^{-1}$$

పరిసరాలలో ఎంట్రపీ మార్పు

$$\Delta S_{\text{పరిసరాలు}} = -\frac{1.665x10^6}{273} = -6.1 \times 10^3\ j\ k^{-1}$$

వ్యవస్థ ఉష్ణాశయాల ఎంట్రపీలో మార్పు సున్నా, కాని సహజంగా మంచు కరగడం ఏకగత ప్రక్రియ, గ్లాసులో ఉన్న నీటిలో మంచు కరుగుతున్నదనుకోండి. ఈ సందర్భంలో వ్యవస్థ, పరిసరాల మొత్తం ఎంట్రపీ పెరుగుతుంది.

35.7 ఎంట్రపీ - క్రమరాహిత్యం

ఉష్ణం క్రమరహిత శక్తి, క్రమరాహిత్యం లేకుండా శక్తి ఉంటుంది. గాలిలో ప్రయాణించే తుపాకి గుండుకు లేదా U^{235} పరమాణువు క్రమమైన శక్తి ఉంటుంది. ప్రయాణించే గుండుకు గతిశక్తి ఉంటుంది. గుండు లోహపు ఫలకను తాకినప్పుడు దాని శక్తినంతా ఫలకకు ఇచ్చి, ఆగిపోతుంది. గుండు గతిశక్తి గుండు లోహపు ఫలకలోని పరమాణువుల క్రమరహిత చలనాలుగా పరివర్తనం చెందుతుంది. ఇది ఉష్ణరూపంలో అనుభూతి పొందిన క్రమరహితశక్తి.

కేంద్రంలోని న్యూక్లియాన్‌లను బంధించే బలాల వల్ల ఏర్పడిన స్థితిజశక్తి U^{235} పరమాణువు శక్తి. U^{235} పరమాణవు విచ్ఛిత్తి చెందినపుడు ఉష్ణరూపంలో అనుభూతి పొందే క్రమరహిత శక్తి వెలువడుతుంది.

పై రెండు ఉదాహరణలను బట్టి శక్తి క్రమరహితమైనప్పుడు ఉష్ణం అవుతుందని తెలుస్తుంది. శక్తి లేకుండా క్రమరాహిత్యం ఉండవచ్చు. దానికి శక్తిని ఉష్ణం అవుతుంది. క్రమరాహిత్యం శక్తిని వరసగా భౌతిక రాశులు ఎంట్రపీ, జౌల్‌లో చెప్పవచ్చు. క్రమ రాహిత్యానికి ఎంట్రపీతో సంబంధం ఉంటే సహజ ప్రక్రియలలో ఎంట్రపీ ప్రతి క్రమరాహిత్యం కూడా వృద్ధి పొందాలి. స్వేచ్ఛా వ్యాకోచం, ఉష్ణ సంవాసం వంటి ఏకగత ప్రక్రియలలో ఇదే జరుగుతుంది.

BRAOU

ఒక పెట్టెలో ముందుగా సగ భాగంలో (ఎడమ) మాత్రమే ఉన్న వాయు అణువుల స్వేచ్ఛా వ్యాకోచంలో పెట్టెనంతా నింపుతాయి. ఈ సందర్భంలో ఎంట్రపీ పెరుగుతుందని మనకు తెలుసు. అప్పుడు క్రమరాహిత్యం కడా పెరుగుతుంది. దీనికి కారణం వ్యాకోచానికి ముందు విశేషించి చెప్పిన వ్యవస్థను వ్యాకోచం తరువాత సాధారణీకరించి చెప్తాము. వ్యాకోచనానికి అణువుల పెట్టెలో ఎడమవైపు సగభాగంలో మాత్రమే ఉన్నాయి. వ్యాకోచం తరువాత అణువులు పెట్టెలో ఉన్నాయి.

ఉష్ణవహనంలో T_1, T_2 ఉష్ణోగ్రతల వద్ద ఉన్న రెండు వస్తువులను దగ్గరకు తెచ్చినపుడు. ఒక స్థిర ఉష్ణోగ్రత T చేరతాయి. ఈ సహజ ప్రక్రియలో వ్యవస్థ ఎక్కువగా క్రమరాహితమవుతుంది. రెండు వస్తువులను దగ్గరకు తీసుకురావడానికి ముందు వస్తువులోని అణువులన్నీ T_1 ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్నాయని, రెండో వస్తువులోని అణువులన్నీ T_2 ఉష్ణోగ్రత వద్ద ఉన్నాయని చెప్తాము. తరువాత వ్యవస్థలోని అణువుల ఉష్ణోగ్రత T అంటాము. ఉష్ణ వహనం వల్ల అతిగా విశ్లేషించి చెప్పడం నుంచి తక్కువగా విశ్లేషించి చెప్తున్నాము. అంటే క్రమరాహిత్యం పెరిగింది.

పై ఉదాహరణల నుంచి క్రమస్థితి నుంచి క్రమ రాహిత్యస్థితికి మార్పు చెందే పోకడ సహజమైందని తెలుస్తుంది.

విశ్వంలో అన్ని ప్రక్రియలు స్వేచ్ఛగా జరుగుతాయి. అందువల్ల విశ్వంలో ఎంట్రపీఎక్కువవుతూ వుంది. అంటే విశ్వం యొక్క క్రమస్థితి క్రమరహిత స్థితికి పోతున్నాము.

సాంఖ్యకయాంత్రిక శాస్త్రం ప్రకారం ఎంట్రపీ క్రమరాహిత్యాలకు గల సంబంధం

$$S = k \log_e W \qquad 35.28$$

k బోల్ట్స్‌మన్ స్థిరాంకం. W - క్రమరాహిత్యానికి తెలిపే పరామితి వ్యవస్థ ఉండగలిగే అన్ని స్థితులతో సంబంధించి ప్రస్తుత స్థితిలో వ్యవస్థ ఉండగల సంభావ్యతను W తెలుపుతుంది. ఈ సమీకరణం **ఉష్ణగతిక** రాశి (S)ని సాంఖ్యక రాశి (W) తో కలుపుతుంది.

సమ ఉష్ణోగ్రతా వ్యాకోచంలో ఒక ఆదర్శ వాయువు ఎంట్రపీలో మార్పును క్రమ రాహిత్యంతో గణించవచ్చు. ఈ ప్రక్రియలో అణువుల సంక్య (N)ఉష్ణోగ్రత స్థిరంగా ఉంటాయి. ఘనపరిమాణం మాత్రమే మారుతుంది. V ఘనపరిమాణంలో ఒక అణువు ఉండగల సంభావ్యత V కు అనుపాతంలో ఉంటుంది. కనక V ఘనపరిమానంలో ఒక అణువును గుర్తించే సంభావ్యత

$$W_1 = CV \qquad 35.29$$

C - స్థిరాంకం. V ఘనపరిమాణంలో, N అణువులను ఒకేసారి గుర్తించే సంభావ్యత

$$W = (W^1)^N = (CV)^N \qquad 35.30$$

సమీ. 35.30ను సమీ. 335.28లో ప్రతిక్షేపిస్తే

$$S = kN \log CV = kN (\log C + \log V) \qquad 35.31$$

T,N స్థిరంగా ఉన్నప్పుడు V_f, ఘనపరిమాణం కల స్థితికీ, V_i ఘనపరిమాణం కల స్థితికి ఎంట్రపీలో తేడా

$$S_f - S_i = kN (\log C + \log V_f) - KN (\log + \log V_i) \qquad 35.32$$

లేదా

$$S_f - S_i = kN \log \frac{V_f}{V_i} = \frac{RN}{N_0} \log \frac{V_f}{V_i} \qquad 35.33$$

$$S_f - S_i = \mu R \log \frac{V_f}{V_i} \qquad 35.34$$

No - అవగాడ్రో సంఖ్య

సమీ.లు 35.34, 35.24 ఒక్కటే.

ఏకగత వ్యాకోచం వల్ల వాయువు ఘనపరిమాణం రెండింతలయితే W విలువ $(CV)^N$ నుంచి $(C2V)^N$ అవుతుంది. సహజ ప్రక్రియ అయిన స్వేచ్ఛా వ్యాకోచంలో క్రమ రాహిత్యం పెరుగుతుంది. సాంఖ్యక యాంత్రిక శాస్త్రం ఆధారంగా ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమాన్ని నిర్వచించవచ్చు. సహజ ప్రక్రియలు జరిగే దిశను సంభావ్యతా నియమాల నుంచి నిర్ణయించవచ్చు. ఉష్ణగతికంగా గరిష్ఠ ఎంట్రపీ ఉన్న స్థితి సాంఖ్యకంగా ఎక్కువ సంభవమయే స్థితి, సమతాస్థితి అవుతుంది. కనక ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమం సాధ్యమయిన ఘటనలనే కాకుండా ఎక్కువగా సంభవమయే ఘటనల క్రమాన్ని చూపుతుంది.

35.8 సారాంశం

ఒక వ్యవస్థ ఎంట్రపీ దాని స్థితి ప్రమేయం. వ్యవస్థ ఎంట్రపీలో మార్పు, వ్యవస్థ తొలి, తుది స్థితుల మీద మాత్రమే ఆధారపడి ఉంటుంది. కాని ప్రక్రియ స్వభావంపై ఆధారపడదు. విశ్వంలో జరిగే ప్రక్రియలన్నీ సహజ ప్రక్రియలు కనక విశ్వం ఎంట్రపీ పెరుగుతూంటుంది. ఎంట్రపీ క్రమరాహిత్యం - ఒక దానితో ఒకటి సంబంధం కలవి. ఒక వ్యవస్థ ఎంట్రపీ పెరిగితే, దాని క్రమరాహిత్యం కూడా పెరుగుతుంది.

35.9 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానం రాయండి.

1. ఎంట్రపీని నిర్వచించండి. అన్ని ద్విగత ప్రక్రియలలో వ్యవస్థ, దాని పరిసరాల మొత్తం ఎంట్రపీ స్థిరంగా ఉంటుందని చూపండి.
2. ఏకగత ప్రక్రియలో వ్యవస్థ ఎంట్రపీలో మార్పు ఎల్లప్పుడూ ధనాత్మకమని సోదాహరణంగా చూపండి.
3. ఎంట్రపీలో ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమాన్ని నిర్వచించి, వివరించండి. ఈ నిర్వచనం క్లాసియస్ కెల్విన్ పేర్కొనిన నిర్వచనాలకు అనుకూలంగా ఉందని చూపండి.
4. ఒక వ్యవస్థ ఎంట్రపీ పెరిగితే దాని క్రమరాహిత్యం కూడా పెరుగుతుందని చూపండి.

BRAOU

భాగం - 36 : ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు శక్మాలు

విషయక్రమం

36.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
36.2 ప్రవేశిక
36.3 ఉష్ణగతిక శక్మాలు
36.4 సారాంశం
36.5 నమూనా జవాబులు
36.6 నమూనా ప్రశ్నలు

36.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో ఉష్ణగతిక శక్మాలకు సమాసాలను రాబట్టడం జరిగింది. మీరు ఈ భాగం చదివిన తరువాత

E, H, A, G, ల మధ్య సంబంధాలను ఉత్పాదించగలుగుతారు.

36.2 ప్రవేశిక

ఉష్ణగతికశాస్త్రపు నియమాలు, వ్యవస్థ ధర్మాలు ఆధారంగా చేసుకొని అనేకమైన ఉష్ణగతిక సమీకరణాలను రాబట్టవచ్చు. ఉష్ణగతికశాస్త్రపు మొదటి నియమం నుంచి

$$dE = dQ + dW \qquad 36.1$$

దీనిలో dE వ్యవస్థ శక్తిలో మార్పును, dQ జనించిన ఉష్ణాన్ని, dW జరిగిన పనిని తెలుపుతాయి. సమీ. 36.1 ఏకగత, ద్విగత ప్రక్రియలు రెండింటికి వర్తిస్తుంది.

కార్నో సిద్ధాంతం ప్రకారం ద్విగత ప్రక్రియకు

$$dQ = TdS \qquad 36.2$$

వ్యవస్థ పీడనం P, ఘనపరిమాణం V అయితే వ్యవస్థపై జరిగిన పని

$$dW = - PdV \qquad 36.3$$

సమీ.లు 36.2, 36.3ను సమీ. 36.1లో ప్రతిక్షేపించగా

$$dE = TdS - PdV \qquad 36.4$$

పై సమీకరణాన్ని క్లాసియస్ అవకలన సమీకరణం అంటారు. ఈ సమీకరణం PV పని చేసే సంవృత వ్యవస్థలకు మాత్రమే వర్తిస్తుంది. ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు మొదటి, రెండవ నియమాలలోని గణిత భావన ఈ సమీకరణంలో చేర్చి ఉంది. క్లాసియస్ సమీకరణం స్థితికి సంబంధించిన ఐదు ప్రాథమిక ప్రమేయాలను కలవడమే దాని ప్రత్యేకత.

BRAOU

36.3 ఉష్ణగతిక శక్మాలు

క్లాసియన్ అవకలన సమీకరణాన్ని, S, V ప్రమేయంగా వ్రాసిన E అవకలనంగా చెప్పవచ్చు. అప్పుడు

$$E = E(S, V) \tag{36.5}$$

$$dE = \left(\frac{\partial E}{\partial S}\right)_V dS + \left(\frac{\partial E}{\partial V}\right)_S dV \tag{36.6}$$

ఈ సమీకరణాన్ని క్లాసియన్ అవకలన సమీకరణం

$dE = TdS - PdV$ తో పోల్చితే

$$\left(\frac{\partial E}{\partial S}\right)_V = T \tag{36.5}$$

$$\left(\frac{\partial E}{\partial V}\right)_S = -P \tag{36.6}$$

ఒక వ్యవస్థ ఎంథాల్పి Hను S, Pల ప్రమేయంగా వ్రాస్తే

$$H(S, P) = E + PV \tag{36.7}$$

$H = H(S, P)$ కనక

$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_P dS + \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_S dP \tag{36.8}$$

$$H = E + PV \tag{36.9}$$

$$\therefore\ dH = dE + PdV + VdP \tag{36.10}$$

సమీ.లు 36.4, 36.10 నుంచి

$$dH = TdS - PdV + PdV + VdP \tag{36.11}$$

లేదా $dH = TdS + VdP$ (36.12)

సమీ. లు 36.8, 36.12 పోల్చితే

$$\left[\frac{\partial H}{\partial S}\right]_P = T \tag{36.13}$$

$$\left[\frac{\partial H}{\partial P}\right]_S = V \tag{36.14}$$

వ్యవస్థ హెల్మ్‌హోల్ట్జ్ స్వేచ్ఛాశక్తి A, T, V ల ప్రమేయంగా సూచిస్తే

$$A(T,V) = E - TS \tag{36.15}$$

BRAOU

A = A (T,V) కనక

$$dA = \left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial A}{\partial V}\right)_T dV$$ 36.16

$$A = E - TS$$ 36.17

$$\therefore\ dA = dE - TdS - SdT$$ 36.18

సమీ. లు 36.4, 36.18 నుంచి

$$dA = TdS - PdV - TdS\ \ SdT$$ 36.19

$$dA = -PdV - SdT$$ 36.20

సమీ. 36.16, 36.20 లు పోల్చితే

$$\left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_V = -S$$ 36.21

$$\left(\frac{\partial A}{\partial V}\right)_V = -P$$ 36.22

వ్యవస్థ గిబ్బ్ స్వేచ్ఛా శక్తి G ని, T, P ల ప్రమేయంగా సూచిస్తే

$$G(T, P) = E + PV - TS$$ 36.23

సమీ. 36.7 నుండి

$$G(T, P) = H - TS$$ 36.24

$$G(T, P) = A + Pv$$ 36.25

$$G = G(T, P)$$ 36.26

కాబట్టి $dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_T dP$ 36.27

కాని

$$G = A + Pv$$ 36.25

నుంచి $dG = dA + PdV + VdP$

సమీ. 36.20 నుంచి

$$dG = -PdV - SdT + PdV + Vdp$$ 36.28

$$\therefore\ dG = -SdT + Vdp$$ 36.29

సమీ. 36.27, 36.29 లు పోల్చగా

BRAOU

$$\left[\frac{\partial G}{\partial T}\right]_P = -S \qquad 36.30$$

$$\left[\frac{\partial G}{\partial P}\right]_T = V \qquad 36.31$$

E, H, A, G. స్థిర రాశులను ఉష్ణగతిక శక్మాలంటారు. ఈ ఉష్ణగతిక శక్మాలకు దారి తీసిన రూపాంతరణాల అను క్రమాన్ని మొదటగా గిబ్స్ కల్పన చేసాడు. వీటిలో ఒక శక్మం దాని సహజ చరరాశుల ప్రమేయంగా తెలిస్తే, ఇతర ఉష్ణగతిక శక్మాలను గణించవచ్చు. ఉదాహరణకు E (S, V) తెలిస్తే T (S, V), P (S, V) లను సమీ. 36.5, 36.6 నుంచి కనుక్కోవచ్చు. సమీ. 36.5, 36.6 లు నుంచి S ను తొలగిస్తే స్థితి సమీకరణం F (P, V, T) = 0 అవుతుంది.

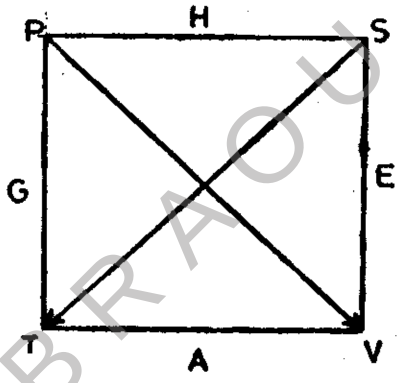
స్థిర ఘనపరిమాణం వద్ద జరిగే ప్రక్రియలు కంటె, స్థిర పీడనంవద్ద జరిగే ప్రక్రియలు వాడుకలో ఉన్నందున, ప్రాయోగిక ఉష్ణగతిక శాస్త్రంలో E, A ల కంటె H, G లు సహజంగా సంభవిస్తాయి. సైద్ధాంతికంగా పీడనం కంటె ఘనపరిమాణాన్ని సులువుగా నిర్వచించవచ్చు. కనక సాంఖ్యక ఉష్ణగతిక శాస్త్రంలో E, A లు ప్రాథమిక రాశులు. ఉష్ణగతిక సమతాస్థితి పరిశీలనలో A, G లు ముఖ్య పాత్రవహిస్తాయి. కింద సూచించిన నాలుగు అవకలన సమీకరణాలు

$dE = TdS - PdV$

$dH = TdS + VdP$

$dA = SdT - PdV$

$dG = -SdT + VdP$



BRAOU

పటము : 36.1

ఉష్ణగతిక చరరాశుల మధ్య అనేక ఉపయోగకర సమీకరణాలు రాబట్టడానికి ప్రారంభ సమీకరణంగా ఉపయోగిస్తాయి. పై అవకలన సమీకరణాలను గుర్తుంచుకోవడానికి పటం 36.1 లో చూపినట్లు స్మృతి సహాయక పరికరాన్ని వాడవచ్చు.

నాలుగు చరరాశులను P, S, T, V ఒక చతురస్రం నాలుగు మూలలో వ్రాయాలి. నాలుగు శక్మాలను E, H, A, G చతురస్రం భుజాలుగా, ప్రతి శక్మందాని సహజ చరరాశుల మధ్య ఉండేట్లు గుర్తించాలి. ఒక శక్మానికి అవకలన సమీకరణం వ్రాయడానికి, దాని ప్రతి చరరాశి అవకలనాన్ని దానికి కర్ణాభిముఖంగా ఉన్న రాశితో గుణించాలి. కర్ణం చలనం బాణం దిశలో ఉంటే కూడాలి. బాణం దిశకు వ్యతిరేక దిశలో ఉంటే తీసివేయాలి. ఉదాహరణకు E కు అవకలన సమీకరణం వ్రాయాలనుకోండి! పటంలో చూపినట్లు dE లో dV, dS లు ఉన్నాయి. dV గుణకం గుర్తును వ్యతిరేకిస్తుంది. అందువల్ల - P

అవుతుంది. dS గుణకం బాణం గుర్తు వెంబడి ఉంది. అందువల్ల + T అవుతుంది. $dE = TdS - PdV$ ఇదే విధంగా dH, dA, dG లను వ్రాయవచ్చు.

36.4 సారాంశం

E, H, A, G లు ఉష్ణగతిక శక్మాలు. ఈ ఉష్ణగతిక శక్మాలకు అవకలన సమీకరణాలు

$$dE = TdS - PdV$$

$$dH = TdS + VdP$$

$$dA = -SdT - PdV$$

$$dG = -SdT + VdP$$

భౌతిక రాశులు T, P, V, S లను ఉష్ణగతిక శక్మాల ప్రమేయంగా క్రింది విధంగా వ్రాయవచ్చు.

1. $T = \left(\frac{\partial E}{\partial S}\right)_V = \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_P$
2. $P = -\left(\frac{\partial E}{\partial V}\right)_S = -\left(\frac{\partial A}{\partial P}\right)_T$
3. $V = \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_S = \left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_T$
4. $S = -\left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_P$

36.5 నమూనా ప్రశ్నలు

I. క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి.

1. ఉష్ణగతిక శక్మాలు అంటే ఏవి? ఉష్ణగతిక శక్మాలకు అవకలన సమీకరణాలను వ్రాయండి.
2. ఉష్ణగతిక శక్మాలలో ఒక వ్యవస్థ పీడనం ఘనపరిమాణం ఉష్ణోగ్రతలకు సమాసాలు రాబట్టండి.

B R A O U

భాగం - 37 : ప్రావస్థాపరివర్తనాలు

విషయక్రమం

37.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు
37.2 ప్రవేశిక
37.3 ప్రావస్థా పరివర్తనాలు సామాన్యలక్షణాలు
37.4 ప్రావస్థానియమం - సమతాస్థితులలోని ప్రావస్థలకు దాని అనువర్తనం
37.5 బాష్ప - ద్రవ - ఘన సమతాస్థితి - త్రికబిందువు
37.6 సారాంశం
37.7 నమూనా ప్రశ్నలు
37.8 పదకోశం
37.9 చదవదగిన గ్రంథాలు

37.1 ఉద్దేశాలు, లక్ష్యాలు

ఈ భాగంలో ప్రావస్థాపరివర్తనాలు స్థలసమీకరణం పదాలలో తెలుపబడింది. మీరు ఈభాగం చదివిన తరువాత

1. ప్రావస్థానియమాన్ని నిర్వచించగలరు.
2. త్రికబిందువు వద్ద ఘన, ద్రవ, వాయుస్థితులలో ద్రవ్యం సమతాస్థితిలో ఉంటుందని తెలుసుకుంటారు.
3. ఆవేశం కల వాహకంకి దగ్గరగా ఉన్న బిందువువద్ద క్షేత్ర తీవ్రతను లెక్కకట్టగలరు.

37.2 ప్రవేశిక

మీరు ఈ భాగంలో ప్రావస్థానియమం గురించి తెలుసుకుంటారు.

37.3 ప్రావస్థా పరివర్తనాల సామాన్య లక్షణాలు

ఒక వాయు వ్యవస్థ యాంత్రిక, ఉష్ణ ధర్మాలను కొలవగలిగిన రాశులలో తెలుపవచ్చు. కచ్చితమైన సంఘటనలు గల వాయువును చరరాశులు, ద్రవ్యరాశి పదార్థపు మోల్‌లసంఖ్య, n సంఖ్యను, పీడనం P ఘనపరిమాణం V లేదా సాంద్రత ఉష్ణోగ్రత T లలో చెప్పవచ్చు. వీటిని నిర్దిష్ట సంఘటనంగల వాయు వ్యవస్థను నిర్వచించే నాలుగు చరరాశులు n, P, V, T లలో ఏ మూడింటికైననూ మన ఇష్టం ప్రకారం కచ్చితంగా చెప్పవచ్చు. అప్పుడు నాలుగో రాశిని కనుక్కోవచ్చు. గణితరూపంలో నాలుగు చరరాశులు ఒక ప్రమేయ సమీకరణంతో కలపబడి ఉండాలి.

$$F(n, P, V, T) = 0 \qquad 37.1$$

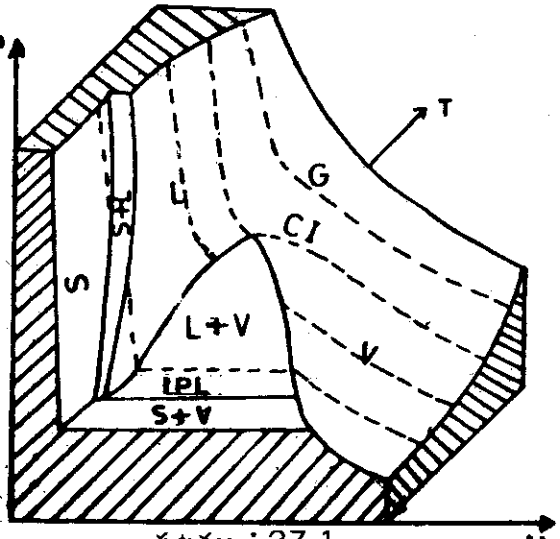
V, n కు అనుపాతంలో ఉంటుంది కనక ఒక మోల్ ద్రవ్యరాశిగల వాయువుకు స్థితి సమీకరణం

$$F(P, V, T) = 0 \qquad 37.2$$

అని వ్రాయవచ్చు.

స్థితి సమీకరణాన్ని ప్రయోగపూర్వకంగా కనుక్కొన్న P, V, T విలువలపట్టిక రూపంలోగాని, కొన్ని వక్రాలచే గ్రాఫీయంగాగాని, కొన్ని సైద్ధాంతిక, అనుభవిక ఊహ్యాయింపులమీద ఆధారపడిన విశ్లేషణ రూపంలోగాని చెప్పవచ్చు. ఒక వాయువు యొక్క మొత్తం P, V, T దత్తాంశానికి స్థితి సమీకరణాన్ని తెలిపే విశ్లేషణ సమానం లేదని ఇక్కడ ముఖ్యంగా గుర్తించాలి.

నియమిత ద్రవ్యరాశిగల పరికల్పిత శుద్ధ పదార్థానికి స్థితి సమీకరణాన్ని రేఖాత్మకంగా పటం 37.1 లో చూపడం జరిగింది. PVT తలాన్ని దృఢరేఖలచే ఐదు భాగాలుగా విభజించి, ఒక్కో భాగాన్ని,



పటము : 37.1

S = ఘనస్థితి; L = ద్రవస్థితి; V = బాష్పస్థితి; CI = త్రికబిందువు

ఆ భాగంలో ద్రవ్యం ఉండే స్థితితో గుర్తించారు. ఘన, ద్రవ, వాయు, బాష్ప ప్రాంతాలలో వ్యవస్థ సజాతీయమైన ఏక ప్రావస్థలో ఉంటుంది. మిగిలిన ప్రాంతాలలో రెండు విడి ప్రావస్థలు సమతాస్థితిలో ఉంటాయి. ఏదో ఒక ప్రక్రియలో ఒక దృఢరేఖను కదిలేట్లు చేస్తే ప్రావస్థా పరివర్తనం వెంబడి పదార్థం ధర్మాలలో అసంతత మార్పు ఉంటుంది. పటం 37.1లో (బిందు) గీతల వక్రాలు సమ ఉష్ణోగ్రత రేఖలను సూచిస్తాయి. జ్యామితీయంగా ఇవి T = స్థిరబిందువుల వద్ద F (PVT) = O కి వ్యతిచ్ఛేదన వక్రాలు. ద్రవ+బాష్ప ప్రాంతానికి గీచిన స్పర్శరేఖ సందిగ్ధ సముష్ణోగ్రతారేఖ అవుతుంది. ఈ ప్రాంతంలోని ఊర్ధ్వతమ బిందువు, స్పర్శ బిందువును సందిగ్ధ బిందువు అంటారు. సందిగ్ధ సముష్ణోగ్రతారేఖకు పైన ఉన్న ప్రాంతంను 'వాయువు' అని క్రింద ఉన్న ప్రాంతాలను, ద్విప్రావస్థ ప్రాంతాని కిరువైపులా 'ద్రవం', 'బాష్పం' అని నామకరణం చేసారు.

BRAOU

పటం 37.1లో చూపినట్లు త్రిక బిందువురేఖవద్ద ద్రవ్యం మూడు స్థితులు కలిసి సమతాస్థితిలో ఉంటాయి. 4.579 టార్ పీడనం 0.0100^{0} C ఉష్ణోగ్రతవద్ద నీటి త్రికబిందువు వుంటుంది. 1 గ్రా. నీటికి, త్రికబిందువు రేఖ, మూడు ప్రావస్థల పరిమాణాలననుసరించి 1 నుంచి 206.00 సెం.మి. ఘనపరిమాణం వరకు విస్తరించి ఉంటుంది. హీలియమ్‌కు ఘన-ద్రవ-బాష్ప త్రికబిందువు లేదు.

PVT తలంలోని ద్రవ-బాష్ప, ఘన-బాష్ప, ఘన-ద్రవ ప్రాంతాలు V అక్షానికి సమాంతరంగా ఉంటాయి. అంటే V, ఒకే విలువగల P, T ల ప్రమేయం కాదు. ఘనపరిమాణాన్ని నిర్ణయించే మూడో చరరాశి ఈ రెండు ప్రావస్థలకు సాపేక్షంగా ఉండే అనుపాతం.

కొన్ని పదార్థాల PVT స్వభావం పటం 37.1లో చూపలేదు. చాలా పదార్థాలకు ఘనస్థితులు ఒకటికన్నా ఎక్కువ పరివర్తనాలు ఉంటాయి. ఈ దృగ్విషయాన్ని సల్ఫర్, టిన్ వంటి మూలకాలలో,

రూపాంతరత అని, సమ్మేళనాలలో 'పాలిమార్ఫిజమ్' అని అంటారు. ఉదాహరణకు నీటికి అధిక పీడనంవద్ద 7 ఘన ప్రావస్థలుంటాయని తెలిసింది. హీలియమ్ 2.19^0 C కన్నా తక్కువ ఉష్ణోగ్రత వద్ద చెప్పు కోదగిన భౌతిక ధర్మాలుగల రెండవ ద్రవ ప్రావస్థకు (హీలియమ్ II) మారుతుంది. ఈ ప్రావస్థ I అట్మా-పీడనం వద్ద O^0 K వరకు ఉంటుంది.

పటం 37.1 లోని బిందు వక్రాలను PV తలంలో గీచిన వాటిని పటం 37.2 చూపుతుంది. స్థితి సమీకరణాన్ని గ్రాఫీయంగా ఈవిధంగా తెలుపుతారు. ఇక్కడ త్రిమితాయ తలాన్ని, ద్విమితీయ వక్రాలుగా చూపారు.

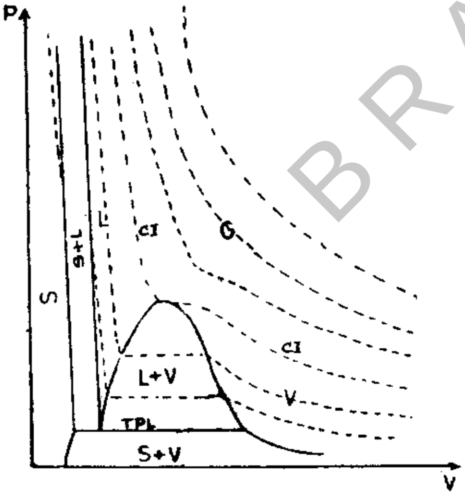
అధిక ఉష్ణోగ్రతలవద్ద సమ ఉష్ణోగ్రతరేఖలు, అతిపర వలయాకారంలో ఉంటాయి. ఉష్ణోగ్రత తగ్గేకొద్దీ, వాటిలో ఒక 'మెలిక' ఏర్పడి, అది క్షితిజ సమాంతరంగా మారి, సందిగ్ధ బిందువువద్ద ఇంకా తక్కువ ఉష్ణోగ్రతలవద్ద సమ ఉష్ణోగ్రతా రేఖలలో V అక్షానికి సమాంతరంగా ఒక రేఖీయభాగం ఏర్పడుతుంది. 37.2

ఒక పదార్థపు సంపీడ్యతను

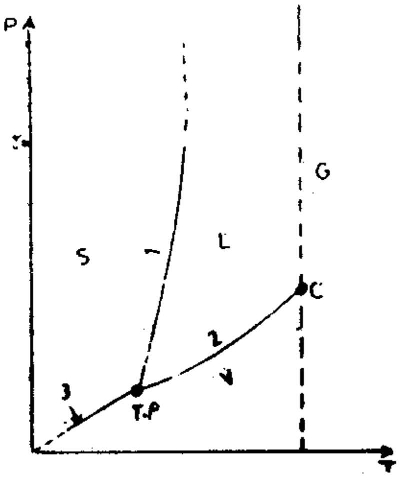
$$\beta = -\frac{1}{V}\left(\frac{dv}{dp}\right)_T \qquad 37.3$$

అని వ్రాయవచ్చు. PV పటంలో (పటం 37.2) సమ ఉష్ణోగ్రత రెఖల వాలు $\left(\frac{dp}{dv}\right)_T$ అవుతుంది. వీటికి సంపీడ్యతతో విలోమ సంబంధం ఉంది. β విలువ అల్పమైనప్పు డు $\left(\frac{dp}{dv}\right)_T$ నిటారుగా ఉంటాయి. β విలువ అధికమైనప్పు డు సమతలంలో ఉంటాయి. పటం 37.2 ప్రకారం సమ ఉష్ణోగ్రతా రేఖలు ఘన, ద్రవ ప్రాంతాలలో వాయువులలో కంటె నిటారుగా ఉంటాయి. పటం 37.2 ప్రకారం సమ ఉష్ణోగ్రతారేఖలు ఘన, ద్రవ ప్రాంతాలలో వాయువులలో కంటె నిటారుగా ఉంటాయి. దీనిని బట్టి సాంద్రకలిత ప్రావస్థలకంటె వాయువులు అధిక సంపీడ్యాలని తెలుస్తుంది. సందిగ్ధ బిందువువద్ద, ద్రవ+బాష్ప ప్రాంతాలలో సంపీడ్యత అనంతం.

BRAOU



పటము 37.2



పటం 37.3

S=ఘన; L=ద్రవ; V=బాష్ప స్థితులు   1. ఘనీభవన వక్రం 2. బాష్పీభవన వక్రం 3. ఉత్పతన వక్రం

P-T తలంపైన PVT తలపు ప్రక్షిప్తి పటం 37.3 సూచిస్తుంది. ఈ పటం పరిశుద్ధమైన పదార్థపు ప్రావస్థా స్వభావాన్ని తెలుపుతుంది. V అక్షానికి సమాంతరంగా ఉన్న రెండు ప్రావస్థా ప్రాంతాల

ప్రక్షేపాలు తలంలో వక్రాలుగా ఉంటాయి. అప్పుడు పటం 37.1 లోని ద్రవ-బాష్ప ప్రాంతం, ఘన-బాష్పప్రాంతం, ఘన-ద్రవ ప్రాంతంను వరసగా పటం 37.3లోని బాష్పీకరణ వక్రం. ఉత్పతన వక్రం, ఘనీభవన వక్రం సూచిస్తాయి. త్రికబిందురేఖ ఒకే బిందువుగా ప్రక్షేపితమైంది. సంతృప్త బాష్పపీడనం, ఉష్ణోగ్రతపై ఏ విధంగా ఆధారపడుతుందో బాష్పీభవన వక్రం సూచిస్తుంది. ఉత్పతన వక్రం, ఘనస్థితికి పైనున్న సమతాస్థితి బాష్పపీడనాన్ని ఉష్ణోగ్రత ప్రమేయంగా తెలుపుతుంది. బాష్పీకరణ, ఉత్పతన వక్రాల వాలులు ఎల్లప్పుడూ ధనాత్మకంగా ఉండి బాష్పపీడనం ఉష్ణోగ్రతతో పెరుగుతుందని సూచిస్తాయి. పీడనంలో మార్పు ఘన పదార్థం ఏర్పడటానికి తోడ్పడుతుందని కూడ సూచిస్తాయి.

37.4 ప్రావస్థా నియమం-సమతాస్థితులలోని ప్రావస్థలకు దాని అనువర్తనం

సమతాస్థితిలో విభిన్న ప్రావస్థలు కలిసి ఉండడానికి షరతులు, ప్రావస్థామార్పును గురించి తెలుసుకోవడం ముఖ్యం. స్థిర ఉష్ణోగ్రతా పీడనాల వద్ద ఒక వ్యవస్థ సమతాస్థితిలో ఉండటానికి గిబ్స్ స్వేచ్ఛాశక్తి విలువ కనిష్ఠంగా ఉండాలి. అందువల్ల ఏదేని అనంత సూక్ష్మ ప్రక్రియకు

$$dG_{T,p} = 0 \qquad 37.4$$

స్థిర, P, T ల వద్ద ఒకటికంటె ఎక్కువ ప్రావస్థలలో ఉన్న ఒక శుద్ధ పదార్థంగల సంవృత వ్యవస్థను తీసుకొందాం. dn మోల్‌ల పదార్థాన్ని రసాయన శక్మం μ_a ఉన్న ప్రావస్థనుంచి రసాయన శక్మం μ_b గల శక్మానికి మార్చుతూ ఒక అనంతసూక్ష్మ ప్రక్రియ జరిగిందనుకోండి. ఈ ప్రక్రియ జరగడానికి వ్యవస్థ స్వేచ్ఛాశక్తిలో మార్పు

$$dG_{T,p} = -\mu_a\,dn + \mu_b\,dn \qquad 37.5$$

వ్యవస్థ సమతాస్థితిలో ఉంటే $dG_{T,p} = 0$

$$\therefore\ -\mu_a\,dn + \mu_b\,dn = 0 \qquad 37.6$$

$$\therefore\ \mu_a = \mu_b \qquad 37.7$$

వ్యవస్థ సంశ్లిష్టత ఎటువంటిదైనా, అది సమతాస్థితిలో ఉన్నప్పుడు, ఒక ప్రావస్థలో ఉన్న ఒక ఘటకం రసాయన శక్మం, ఆ ఘటకం మరే ప్రావస్థలో ఉన్న దాని రసాయన శక్మానికి సమానం.

ప్రావస్థా నియమాన్ని గురించి తెలుసుకొనే ముందు ఘటకాల సంఖ్య C, స్వేచ్ఛా పరిమితుల సంఖ్య F కు నిర్వచనాలను ముందుగా తెలుసుకొందాం.

వ్యవస్థను రూపొందింపచేసే పదార్థాల కనిష్ఠ సంఖ్యను C తెలుపుతుంది. వ్యవస్థలోని పదార్థాలు ఒకదానితో నొకటి చర్య నొందకపోతే దానిలోని పదార్థాల సంఖ్య, ఘటకాల సంఖ్య C కు సమానం.

సమతాస్థితిలో ఉన్న ఒక వ్యవస్థ పరిస్థితిని నిర్వచించడానికి స్థిరీకరించవలసిన స్వతంత్ర్య చరాంశాల కనిష్ఠ సంఖ్యను స్వాతంత్ర పరిమితుల సంఖ్య F అంటారు. ఒక ప్రావస్థలో ఒక ఘటకం ఉన్న వ్యవస్థ పరిస్థితిని రెండు చరరాశులు P, T నిర్ణయిస్తాయి. కనక ఆ వ్యవస్థకు F = 2

ఏక ప్రావస్థలో ఒకటికంటె ఎక్కువ ఘటకాలు ఉంటే వ్యవస్థ P, T విలువలే కాకుండా సంఘటనాన్ని కూడా స్థిరీకరించాలి. సంఘటనాన్ని స్థిరీకరించడానికి (C - 1) గహన (intensive) చరరాశులు కావాలి. అన్ని మోల్ విభాగాల మొత్తం 1 (ఒకటి) కనక (C - 1) మోల్ విభాగాలను ఇచ్చివేస్తే మిగిలిన ఒకటి స్థిరంగా ఉంటుంది. అందువల్ల స్వతంత్ర సంఘటనాత్మక చరరాశులు (C - 1) మాత్రమే ఉంటాయి.

ప్రతి ప్రావస్థలో (C - 1) సంఘటనాత్మక చరరాశులుండేట్లు ఒక వ్యవస్థలో P ప్రావస్థలుంటే, మొత్తం సంఘటనాత్మక చరరాశులు P (C - 1) అన్ని ప్రావస్థలకు సమాన విలువలుండే P, T లను కలుపుకొని, మొత్తం చరరాశుల సంఖ్య P (C - 1) + 2. వ్యవస్థ స్వేచ్ఛాశక్తి, వ్యవస్థలోని ఘటకాల రసాయన శక్మం ఈ చరరాశుల ప్రమేయం అవుతాయి. వ్యవస్థ సమతాస్థితిలో ఉంటే ఈ చరరాశులన్ని స్వతంత్ర రాశులు కావు. దీనికి కారణం, ప్రతి ఘటకం రసాయన శక్మం విలువ అన్ని ప్రావస్థలలో సమానంగా ఉండాలి. ప్రతి ఘటకానికి, రసాయన శక్మాలమధ్య (P - 1) తుల్యతలు ఉంటాయి. కనక మొత్తం C ఘటకాలకు C (P - 1) తుల్యతలు ఉంటాయి. అప్పుడు స్వతంత్ర చరరాశుల సంఖ్య అంటే స్వాతంత్ర పరిమితుల సంఖ్య Fను

$$F = P(C - 1) + 2 - C(P - 1) \qquad 37.8$$

అని వ్రాయవచ్చు.

$$F = C - P + 2 \qquad 37.9$$

పై సమీకరణాన్ని గిబ్స్ ప్రావస్థా నియమం అంటారు.

ఉదాహరణ 1

ద్రవ, బాష్ప ప్రావస్థలో వితరణ చెంది ఒక ఘటకం ఉన్న వ్యవస్థకు స్వేచ్ఛా పరిమితుల సంఖ్యను గణించండి.

సమతాస్థితికి

$$\mu_1 (T,P) = \mu_v (T,P)$$

కనక C = 1, P = 2

$$\because \; F = C - P + 2 = 1 - 2 + 2 = 1$$

ఈ వ్యవస్థ ఏకచర వ్యవస్థ. సమతాస్థితిలో పీడనం, ఉష్ణోగ్రత ప్రమేయం. దీనిని P-T నిరూపకాలుగా కల ప్రావస్థా పటంలో ఒక రేఖగా సూచిస్తారు. (పటం 37.3లో బాష్పీభవన వక్రం). ఈ రేఖ ఏకకాలమందు ఉండే వక్రం. ఇది ప్రావస్థా పటాన్ని రెండు ప్రాంతాలుగా విభజిస్తుంది. ఒక్కొక్క ప్రాంతం F = 2 విలువతో ఉన్న ఏకప్రావస్థ వ్యవస్థను తెలుపుతుంది. అంటే ద్రవం అంతా ఒక వ్యవస్థలో, బాష్పమంతా మరో ప్రావస్థలో ఉంటాయి.

37.5 బాష్ప-ద్రవ-ఘన సమతాస్థితి-త్రిక బిందువు

శుద్ధ పదార్థం మూడు ప్రావస్థలు సమతాస్థితిలో ఉంటే

$$F = C - P + 2 \qquad 37.9$$

$$F = 1 - 3 + 2 = 0 \qquad 37.10$$

అవుతుంది. ఈ వ్యవస్థను అచరవ్యవస్థ అంటారు. ఇక్కడ ఉష్ణోగ్రత పీడనాలకు పదార్థంతో అభిలాక్షణికమైన స్థిర విలువలు ఉండటంవల్ల ఈ వ్యవస్థకు ఇక చరరాశులు ఏమీ ఉండవు. అచర వ్యవస్థను ఒక బిందువుగా తెలుపుతారు. ఈ బిందువు, ద్విప్రావస్థ సమతాస్థితిని తెలిపే రెండు వక్రాల ఖండన బిందువు, ఆ బిందువును త్రిక బిందువు అంటారు. (పటం 37.3)

BRAOU

నీటికి త్రికబిందువు వద్ద పీడనం 4.58 టార్, ఉష్ణోగ్రత 273.16 K. త్రికబిందు ఉష్ణోగ్రత ఇతర చరరాశులతో స్వతంత్రంగా ఉంటుంది. కనక దీనిని ఎక్కడైనా కచ్చితంగా పునరుత్పాదన చేయవచ్చు. అందువల్ల ఈ ఉష్ణోగ్రతను థర్మామీటర్ల క్రమాంకనంలో నిర్దేశ ఉష్ణోగ్రతగా వాడుతారు.

37.6 సారాంశం

ఘన, ద్రవ, బాష్ప వాయు, స్థితులుగా ద్రవ్యం సమతాస్థితిలో ఉండే బిందువును త్రిక బిందువు అంటారు. ప్రావస్థా నియమాన్ని కింది విధంగా చెప్పవచ్చు.

$$F = C - P + 2$$

దీనిలో F స్వాతంత్ర్య పరిమితుల సంఖ్య, C ఘటకాల సంఖ్య P ప్రావస్థల సంఖ్య తెలుపుతాయి. వాటికి త్రిక బిందువు 273.16^0 k ఉష్ణోగ్రత వద్ద , 46 టార్ల పీడనం వద్ద ఉంటుంది.

37.7 నమూనా ప్రశ్నలు

I. **ఈ క్రింది ప్రశ్నలకు విశదంగా సమాధానాలు రాయండి**

1. ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు శూన్య నియమాన్ని (zeroth law) పేర్కొనండి. ఒక వస్తువు ఉష్ణోగ్రతకు, దాని భౌతిక ధర్మాలకు గల సంబంధాన్ని వివరించండి.
2. ఒక వస్తువు ఉష్ణోగ్రతను కొలవడం గురించి క్లుప్తంగా వ్రాయండి.
3. ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు మొటి నియమాన్ని నిర్వచించి, దాని అనువర్తనాలను చర్చించండి.
4. ఏకగత, ద్విగత ప్రక్రియను సోదాహరణంగా వివరించండి.
5. కార్నో చక్రంలో వ్యవస్థ చేసిన పని, T_1 ఉష్ణోగ్రత వద్ద వ్యవస్థ గ్రహించిన ఉష్ణరాశికి, T_2 ఉష్ణోగ్రత వద్ద వ్యవస్థ ఇచ్చిన ఉష్ణరాశి గల తేడాకు సమానమని చూపండి.
6. ఉష్ణ యంత్రం దక్షతను నిర్వచించండి. ఉష్ణాశయం, సింక్ ఉష్ణోగ్రతలలో ఉష్ణయంత్రం దక్షతకు సమాసాన్ని రాబట్టండి.
7. కార్నో సిద్ధాంతాన్ని నిర్వచించి నిరూపించండి.
8. ఆదర్శ కార్నో యంత్రం పనిచేసే ఫలితాల నుంచి ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమం ఏర్పడటాన్ని చర్చించండి.
9. ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమం ఆధారంగా ఉష్ణగతిక ఉష్ణోగ్రతామానం ఏర్పడటాన్ని వివరించండి.

II. **క్రింది ప్రశ్నలకు క్లుప్తంగా సమాధానాలు రాయండి.**

1. ఎంట్రపీని నిర్వచించండి. అన్ని ద్విగత ప్రక్రియలలో వ్యవస్థ, దాని పరిసరాల మొత్తం ఎంట్రపీ స్థిరంగా ఉంటుందని చూపండి.
2. ఏకగత ప్రక్రియలో వ్యవస్థ ఎంట్రపీలో మార్పు ఎల్లప్పుడూ ధనాత్మకమని సోదాహరణంగా చూపండి.
3. ఎంట్రపీలో ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు రెండవ నియమాన్ని నిర్వచించి, వివరించండి. ఈ నిర్వచనం, క్లాసియస్, కెల్విన్ పేర్కొన్న నిర్వచనాలకు అనుకూలంగా ఉందని చూపండి.
4. ఒక వ్యవస్థ ఎంట్రపీ పెరిగితే దాని క్రమ రాహిత్యం కూడా పెరుగుతుందని చూపండి
5. ఉష్ణగతిక శక్మాలంటే ఏవి? ఉష్ణగతిక శక్మాలకు అవకలన సమీకరణాలను వ్రాయండి.

B R A O U

III. క్రింది సమస్యలను సాధించండి

1. కార్నో చక్రంలో 500^0K వద్ద ఒక వాయువు సముష్ణోగ్రతా వ్యాకోచం, 300^0K వద్ద సమఉష్ణోగ్రతా సంపీడనం జరిగింది. వ్యాకోచంలో 2500J ఉష్ణరాశి వాయువుకు ఇవ్వడమైంది. సమ ఉష్ణోగ్రతా పీడనంలో వాయువు విసర్జించిన ఉష్ణరాశి ఎంత? (1500 వి)
2. నీరు గడ్డకట్టకుండా, వాతావరణ పీడనం, $0C^0$ వద్ద ఉన్న నీటినుంచి ఉష్ణాన్ని తొలగించవచ్చు. మంచు ఏర్పడటానికి ముందు మంచును -5^0C వరకు చల్లార్చారు. ఆకస్మిక ఘనీభవనం జరిగినప్పు డు ప్రమాణ ద్రవ్యరాశికి ఎంట్రపీలో మార్పును కనుక్కోండి. (జ. 1.27 J/gm K)
3. సమ ఉష్ణోగ్రత 50^0C వద్ద ఒక మోల్ ఆదర్శ వాయువు 3 లీ. నుంచి 6 లీ. కు ద్విగతంగా వ్యాకోచం చెందింది. జరిగిన పనిని గణించండి.
4. 5 మోల్‌ల ఆదర్శ వాయువును పిస్టన్ (ముసలకం) సహాయంతో 20 అట్మాపీడనల, 300^0K వద్ద ఉంచారు. ఆకస్మికంగా పీడనాన్ని 1 అట్మాకు తగ్గించి. సమ ఉష్ణోగ్రత వద్ద వ్యాకోచం చెందనిచ్చారు. ఈ ప్రక్రియలో జరిగే ఉష్ణ మార్పును గణించండి. (Q = 11848J)
5. కార్నో చక్రంలో 1 మోల ఆదర్శవాయువు పనిచేసే పదార్థంగా ఉండి, సంపీడిత స్థితి 10 అట్మా పీడనం, 327^0C స్థితి నుంచి పనినిస్తుంది. అది ఒక వాతావరణ పీడనం వరకు సముష్ణోగ్రత ప్రక్రియగా వ్యాకోచించి 27^0C వద్ద స్థిరోష్ణకంగా వ్యాకోచిస్తుంది. వ్యవస్థచేసిన మొత్తం పనిని, దాని దక్షతను కనుక్కోండి.
6. సమ ఉష్ణోగ్రత వద్ద 5 మోల్‌ల వాయువు ద్విగతంగా, 25^0 లీ వద్ద 2 అట్మా పీడనం నుంచి 1 అట్మాకు వ్యాకోచం చెందింది. పరిసరాల ఎంట్రపీలో మార్పును కనుక్కోండి. (జ+28.8Jk^{-1})
7. 1 అట్మా స్థిర పీడనం వద్ద 3 మోల్‌ల మీదనే ఉష్ణోగ్రతను 300^0 నుంచి 1000^0K కు వృద్ధి చేసినప్పు డు ఎంట్రపీలో వృద్ధిని కనుక్కోండి.
   మీథేన్ ఉష్ణధార సామర్థ్యం. $Cp = 3.381+18x0.44 T 10^{-3}-43x10^{-7} t_2$ (జ.185 JK^{-2})

37.9 పదకోశం

బంధకం	:	ఉష్ణవాహకత్వం తక్కువగాగల పదార్థం (ఉష్ణబంధకం) లేదా విద్యుత్ వాహకత్వం తక్కువగా గల పదార్థం (విద్యుత్ బంధకం)
వియుక్త (ఏకాంతర)	:	బాహ్య ప్రభావం పనిచేయని వ్యవస్థ (బాహ్య ప్రాబల్యం లేని వ్యవస్థ)
విసరణం	:	అధిక గాఢతగల ప్రాంతం నుంచి అల్ప గాఢతగల ప్రాంతనకు, సరిహద్దు పొరద్వారా కణాలు-లేదా అణువులు చలించటం.
సమ ఉష్ణోగ్రతా ప్రక్రియ	:	స్థిర ఉష్ణోగ్రత వద్ద జరిగే ప్రక్రియ
స్థిరోష్ణక ప్రక్రియ	:	వ్యవస్థకూ పరిసరాలకు మధ్య ఉష్ణ వినిమయం లేకుండా వ్యవస్థలోనే జరిగే ప్రక్రియ.
స్వచ్ఛంద ప్రక్రియ	:	బాహ్య కారకం ప్రమేయం లేకుండా తనంతట తానుగా జరిగే ప్రక్రియ
విచ్ఛితి	:	U^{325} వంటి భార కేంద్రకాన్ని న్యూట్రాన్‌తో తాడనం చేసినప్పు డు, మధ్యస్థ ద్రవ్యరాశిగల రెండు ముక్కలుగా విడిపోవడం. ఈ ప్రక్రియలో న్యూట్రాన్‌లు, ఎలక్ట్రాన్‌లు, గామా కిరణాలు, ఉష్ణశక్తి వెలువడుతాయి.
సంభావ్యత	:	ఒక ఘటనను అనేకసార్లు పదేపదే చేయడంవల్ల ఒక ప్రత్యే ఘటన సంభవమయ్యే సంఖ్య

37.9 చదవదగిన గ్రంథాలు

1. Electromagnetism : I.S. Grant & W.R. Philips
2. Principles and Applications of Electromagnetic Fields : R. Plonsey & R.E. Collin

3. Physics Part-1 : R. Resnick & D. Halliday
4. Advanced Physical Chemistry : S.M. Blinder
5. An Introduction to Chemical Thermodynamics : R.P. Rastogi & R.R. Misra
6. Physical Chemisty : G.M. Barrow
7. భౌతిక శాస్త్రం : తెలుగు అకాడమీ

BRAOU

ఆంధ్రప్రదేశ్ సార్వత్రిక విశ్వవిద్యాలయం

(డిగ్రీస్థాయి)

రెండవ సంవత్సర పాఠ్యప్రణాళిక

భౌతికశాస్త్రం

విద్యుదయస్కాంతత్వం, ఉష్ణగతికశాస్త్రం

విభాగం—ఎ. విద్యుదయస్కాంతత్వం

ఖండం—1 : విద్యుదావేశాలు, విద్యుత్ క్షేత్రం
భాగం—1 : విద్యుదావేశాలు, విలోమ వర్గ నియమం, కేవెండిష్ నిరూపణం.
భాగం—2 : విద్యుత్ క్షేత్రం, తీక్షణత, బలరేఖలు, గాస్ నియమం దాని అనువర్తనాలు, ఏకరీతిగా ఆవేశింపబడిన గోళం బయట, లోపల విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత.
భాగం—3 : ఆవేశిత స్థూపాకార వాహకం వద్ద, ఆవేశిత పలకవద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర తీక్షణత.
భాగం—4 : ఆవేశిత తలంపై పనిచేసే యాంత్రిక బలం. దీన్ని మేఘం జనించడానికి, సబ్బు బుడగ ఏర్పడడానికి అనువర్తించడం.
ఖండం—2 : విద్యుత్ శక్మం, క్షమత్వం
భాగం—5 : విద్యుత్ శక్మం
భాగం—6 : క్షమశీలత—వివక్త గోళం, స్థూపాకార వాహకం క్షమత్వాలు
భాగం—7 : సమాంతర పలకల క్షమశీలి
భాగం—8 : విద్యుత్ రోధకాలు
ఖండం—3 : విద్యుత్ప్రవాహం, నిరోధకత
భాగం—9 : విద్యుత్ ప్రవాహం, ప్రవాహ సాంద్రత
భాగం—10 : నిరోధకత, వాహకత్వం
భాగం—11 : జౌల్ నియమం, విద్యుత్ శక్తిసామర్థ్యం
ఖండం—4 : విద్యుచ్ఛాలక బలం, వలయాలు
భాగం—12 : విద్యుచ్ఛాలక బలం, కిర్ఛాఫ్ నియమాలు
ఖండం—5 : అయస్కాంత క్షేత్రం
భాగం—13 : అయస్కాంతత్వం, అయస్కాంత ప్రభావాలు
భాగం—14 : ఆంపియర్ సూత్రం—అనువర్తనాలు
భాగం—15 : బయట్—సావర్ట్ నియమం
ఖండం—6 : ఫారడే నియమం
భాగం—16 : విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణం
ఖండం—7 : అయస్కాంత, విద్యుత్ క్షేత్రాలలో ఆవేశిత కణచలన[illegible]
భాగం—17 : ప్రేరణవల్ల అయస్కాంత క్షేత్రం
భాగం—18 : విద్యుత్, అయస్కాంత క్షేత్రాలలో ఆవేశిత కణం[illegible]
భాగం—19 : ఎలక్ట్రాన్ e/m
భాగం—20 : ఐసోటోప్ ద్రవ్యరాశి నిర్ణయం
ఖండం—8 : ప్రేరకత్వం

BRAOU

భాగం–21 : స్వయం ప్రేరకత్వం, అన్యోన్య ప్రేరకత్వం
భాగం–22 : అయస్కాంత క్షేత్రంలోని విక్షిప్తశక్తి
ఖండం–9 : ఏకాంతర విద్యుత్ ప్రవాహాలు
భాగం–23 : LR, CR వలయాలు
భాగం–24 : LR, CR వలయాల్లో విద్యుత్ప్రవాహ ఉత్పన్నం, క్షయం
భాగం–25 : LCR వలయాల్లో తాత్కాలిక అనుక్రియ
భాగం–26 : LCR వలయాల్లో బలాత్కృత డోలనాలు, శ్రేణి, సమాంతర వలయాలు
ఖండం–10 : విద్యుదయస్కాంత వికిరణం
భాగం–27 : విద్యుదయస్కాంత తరంగాలు, మాక్స్‌వెల్ సమీకరణాలు
భాగం–28 : పాయింటింగ్ సదిశరాశి
భాగం–29 : ద్విధ్రువం నుంచి వెలువడే వికిరణం
ఖండం–11 : స్థితి సమీకరణం
భాగం–30 : వాన్ డర్ వాల్ పదార్థ స్థితి సమీకరణాలు
ఖండం–12 : ఉష్ణగతిక శాస్త్ర నియమాలు
భాగం–31 : ఉష్ణగతిక శాస్త్రపు శూన్య నియమం; మొదటి నియమం
భాగం–32 : ఉత్క్రమణీయ, అనుత్క్రమణీయ ప్రక్రియలు
భాగం–33 : కార్నోచక్రం
భాగం–34 : ఉష్ణగతిక శాస్త్ర రెండవ నియమం
భాగం–35 : ఎంట్రపీ, ఉత్క్రమణీయ, అనుత్క్రమణీయ (ద్విగత, ఏకగత) ప్రక్రియలు
భాగం–36 : ఉష్ణగతిక శక్మాలు
భాగం–37 : దశా సంక్రమణం

BRAOU

FACULTY OF SCIENCE

SECOND YEAR (3 YEAR DEGREE COURSE) EXAMINATION

MODEL QUESTION PAPER

PHYSICS

COURSE II : ELECTROMAGNETISM & THERMODYNAMICS

Time : 3 hours. Max. Marks : 75

Section A (Marks 3 X 15 = 45)

Answer any three of the following.

ఏవైనా మూడు ప్రశ్నలకు సమాధానాలు రాయండి.

Each question carried 15 marks.

ప్రతి ప్రశ్నకు 15 మార్కులు.

Answer the following in about 30 lines.

సమాధానం సుమారు 30 పంక్తులలో రాయండి.

1. Give the theory of the charge particle motion in electric and magnetic fields leading to the accelarating charged particles.
   Mention some uses of particle accelarators.
   చలిస్తున్న విద్యుత్ ఆవేశాలపై విద్యుత్ మరియు అయస్కాంత క్షేత్రాల ప్రభావాన్ని గురించి రాయండి.
   కణత్వరణ కాల ఉపయోగాలను వివరించండి.

BRAOU

2. Derive an expression for the resistivity of a conductor.
   Explain why the resistance of a semi conductor decreases with temperature.
   ఒక వాహకం యొక్క నిరోధకతకు సమాసాన్ని రాబట్టండి.
   అర్ధవాహకం నిరోధకత ఉష్ణోగ్రతతో ఎందుకు తగ్గుతుందో వివరించండి.

3. State the laws of electromagnetic induction & explain them.
   విద్యుదయస్కాంత ప్రేరణ సూత్రాలను తెలిపి వాటిని వివరించండి.

4. Write a breif note on the measurement of temperature of a body.
   వస్తువు ఉష్ణోగ్రతను ఏ విధంగా కొలువవచ్చో క్లుప్తంగా వివరించండి.

5. State & Prove Carnot's theorem.
   కార్నో సిద్ధాంతాన్ని నిర్వచించి, నిరూపించండి.

Section B (Marks 5 X 6 =30)

Answer any five of the following questions.

ఏ ఐదు ప్రశ్నలకైనా సమాధానాలు రాయండి.

Each question carries 6 marks.

ప్రతి ప్రశ్నకు 6 మార్కులు.

The answer should be in about 10 lines.

సమాధానం సుమారు 10 పంక్తులలో రాయండి.

1. Find the intensity of electric field at a distance r (r R) from the centre of a sphere with radius R and charge Q, when the charge is distributed uniformly over the entire volume.
   ఏకరీతి ఆవేశం కల్గిన R వ్యాసార్థం, q ఆవేశముగల గోళం నుండి r దూరంలో ఉన్న బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రతను లెక్కించండి.

2. Explain the principle of a moving coil galvanometer.
   కదిలే తీగ చుట్ట గాల్వనామాపక

3. Explain Hall effect.
   హాల్ ఫలితాన్ని వివరించండి.

4. What are equipotential surfaces?

5. **Distinguish between current and current density.**
   విద్యుత్ ప్రవాహం మరియు ప్రవాహ సాంద్రతల మధ్య భేదమును తెలపండి.

6. **What is the power factor of an AC Circuit.**
   AC వలయం పవర్ ఫ్యాక్టర్ అనగానేమి.

7. **State the assumptions of kinetic theory of gases.**
   వాయువుల అణుచలన సిద్ధాంతం ఊహలను తెల్పండి.

8. **Explain the working principle of a refrigiration cycle.**
   రిఫ్రిజిరేటర్ ఏ సూత్రంపై ఆధారపడి పని చేస్తుంది వివరించండి.

9. **How are entropy and disorder related in a thermodynamic system.**
   ఉష్ణగతిక వ్యవస్థ ఎంట్రోపీ మరియు క్రమరాహిత్యముల మధ్య సంబంధం తెలపండి.

10. **Discuss the nature of light.**
    కాంతి స్వభావాన్ని చర్చించండి.

BRAOU

BRAOU

ANDHRA PRADESH OPEN UNIVERSITY

UNDERGRADUATE COURSE-II YEAR

SUBJECT : PHYSICS

COURSE - 2 : ELECTROMAGNETISM & THERMODYNAMICS

ASSIGNMENT NO. 1

N.B.

1. Do not copy the answer directly from any of the books.
2. As far as possible try to answer the questions independently in your own words.
3. If it is necessary to quote from any source give the correct reference.
4. Use your own foolscap pages for writing the assignments.
5. Leave sufficient margin for the comments of the evaluator.
6. Completion of this assignment normally should not take more than two hours time.

I. క్రింది ప్రశ్నలకు సుమారు 30 పంక్తులలో జవాబులు రాయండి.

1. a) గౌస్ సిద్ధాంతాన్ని నిర్వచించి, వివరించండి.

   b) గౌస్ సూత్రాన్ని అనువర్తించి అనంతంగా స్థూపాకార ఆవేశిత వాహకం వద్ద క్షేత్ర తీక్షణతను లెక్కకట్టండి.

2. కిర్చాఫ్ నియమాలను నిర్వచించండి. వీటిని అనువర్తించి ఏకమాత్ర పరిపథ వలయంలోని ప్రవాహాన్ని మరియు పొటెన్షియల్ భేదాన్ని కనుగొనండి.

3. ఓమ్ నియమాన్ని నిర్వచించండి. అనోమిత నిరోధాలేవి? కొన్ని ఉదాహరణ లివ్వండి.

II. క్రింది ప్రశ్నలకు సుమారు 10 పంక్తులలో జవాబులు రాయండి.

1. సమాంతర పలక క్షమశీల యొక్క క్షమతను గణించుము.
2. స్థిర విద్యుత్ విలోమ వర్గ నియమాన్ని వివరించండి.
3. వాన్‌డే గ్రాఫ్ (జనకం) జనరేటర్ పనిచేయు మూల సూత్రాన్ని వివరించండి.

B R A O U

BRAOU

ANDHRA PRADESH OPEN UNIVERSITY

UNDERGRADUATE COURSE-II YEAR

SUBJECT : PHYSICS

COURSE - 2 : ELECTROMAGNETISM & THERMODYNAMICS

ASSIGNMENT NO. 3

N.B.

1. Do not copy the answer directly from any of the books.
2. As far as possible try to answer the questions independently in your own words.
3. If it is necessary to quote from any source give the correct reference.
4. Use your own foolscap pages for writing the assignments.
5. Leave sufficient margin for the comments of the evaluator.
6. Completion of this assignment normally should not take more than two hours time.

I. క్రింది ప్రశ్నలకు సుమారు 30 పంక్తులలో జవాబులు రాయండి.

1. Q గుణకం అనగా నేమి? సమాంతర అనునాదవలయంలో అనునాదానికి సమీకరణాన్ని రాబట్టండి.
2. ఏకగత, ద్విగత ప్రక్రియలు అనగానేమి? సోదాహరణంగా వివరించండి.
3. కార్నో సిద్ధాంతాన్ని నిర్వచించి నిరూపించండి.

II. ఈ క్రింది ప్రశ్నలకు సుమారు 10 పంక్తులలో జవాబులు రాయండి.

1. ఫాయింటింగ్ సదిశరాశి అంటే ఏమిటో వివరించండి.
2. ఉష్ణగతిక శక్మాలు అనగానేమి? ఉష్ణగతిక శక్మాలను అవకలన సమీకరణాలను వ్రాయండి.
3. ప్రావస్థనియమం ఆధారంగా బిందువు శూన్యచరమని చూపండి.

BRAOU

BRAOU