16 విద్యుత్ పొటెన్షియల్ మరియు కెపాసిటర్స్

ప్రవాహి, ఉష్ణశక్తి ప్రవహించే దిశల గురించి మీరు రెండవ, మూడవ పాఠంలో తెలుసుకున్నారు. వేరు వేరు నీటి మట్టాలున్న రెండు పాత్రలను ఒక గొట్టంతో అడుగు భాగంలో కలిపితే పాత్రలలో గల నీటి పరిమాణానికి సంబంధం లేకుండా ఎక్కువ మట్టం ఉన్న పాత్ర నుండి నీరు తక్కు మట్టం గల పాత్రలోకి, మట్టాలు సమానం అయ్యేంతవరకు ప్రవహిస్తుంది. నీటి మట్టం నీటి పీడనాన్ని తెలియచేస్తుంది. అట్లాగే రెండు వస్తువుల ఉష్ణశక్తి ఎల్లప్పుడూ ఎక్కువ ఉష్ణోగ్రత గల వస్తువు నుంచి తక్కువ ఉష్ణోగ్రత గల వస్తువులోకి ప్రవహిస్తుంది. ఇక్కడ కూడ ఉష్ణశక్తి ప్రవాహ దిశ, వస్తువులోని ఉష్ణశక్తి పరిమాణం పైన ఆధారపడదు.

ఇదే విధంగా రెండు బిందువుల మధ్య విద్యుదావేశ ప్రవాహాన్ని విద్యుత్ పొటెన్షియల్ నిర్ణయిస్తుంది. ఒక ధనావేశం ఎప్పుడూ ఎక్కువ పొటెన్షియల్ వద్ద ఉన్న బిందువు నుంచి తక్కువ పొటెన్షియల్ ఉన్న బిందువు దిశగా ప్రవహిస్తుంది. విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఒక శోధన ధనావేశంను స్వేచ్ఛగా వదిలినపుడు అది విద్యుత్ క్షేత్ర దిశలో ప్రవహిస్తుంది. దీన్ని బట్టి **విద్యుత్ క్షేత్రం (E), విద్యుత్ పొటెన్షియల్ (V)** అనే భౌతిక రాశులు ఒకదానికొకటి అత్యంత సన్నిహితమైనవిగా చెప్పవచ్చు. ఈ పాఠంలో విద్యుత్ క్షేత్రం, విద్యుత్ పొటెన్షియల్ అనే భౌతికరాశుల మధ్యగల సంబంధం గురించి నేర్చుకుంటారు. విద్యుదావేశాలను నిల్వ ఉంచే పరికరం కెపాసిటర్ గురించి కూడ ఈ పాఠంలో నేర్చుకుంటారు. విద్యుద్వలయాలలో పలుచోట్ల కెపాసిటర్‌లను ఉపయోగిస్తారు.

లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తర్వాత మీరు కింది విషయాలు తెలుసుకుంటారు.

- ఒక బిందువు వద్ద గల విద్యుత్ పొటెన్షియల్‌ను, పొటెన్షియల్ తేడాను వివరించగలడం.
- ఒక బిందు ఆవేశం వల్ల కలిగే విద్యుత్ పొటెన్షియల్‌కు, డైపోల్ వల్ల ఒక బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్‌కు సమాసాలు రాబట్టడం.

- కెపాసిటర్ పని చేసే విధానం లేక సూత్రం వివరించి, వాటి ఉపయోగాలు చెప్పగలడం.
- సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ – కెపాసిటెన్స్‌కు సూత్రం రాబట్టడం.
- కెపాసిటర్లను సంధానం చేసి తుల్య (ఫలిత) కెపాసిటెన్స్‌ను రాబట్టడం.
- కెపాసిటర్‌లో నిల్వ ఉండే శక్తిని లెక్కించడం.
- విద్యుత్ క్షేత్రంలో విద్యుత్‌రోధక ధ్రువణంను వివరించడం.

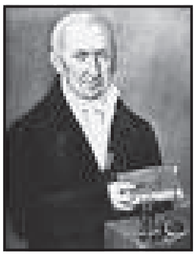
16.1 విద్యుత్ పొటెన్షియల్ మరియు పొటెన్షియల్ తేడా

విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఒక విద్యుదావేశాన్ని క్షేత్రానికి వ్యతిరేకదిశలో జరపటానికి బాహ్య కారకం పని చేయవలసి ఉంటుంది. శక్తి నిత్యత్వ నియమం ప్రకారం ఈ పని ఆవేశంలో స్థితిజ శక్తిగా నిల్వ ఉంటుంది. కాబట్టి విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఒక బిందువు వద్ద ఉంచిన ఆవేశంకు స్థితిజ శక్తి ఉంటుందని మనం చెప్పవచ్చు. క్షేత్రంలో ఉన్న ఆవేశ స్థితిజ శక్తిని స్థాన అదిశా ప్రమేయంగా మనం చూడొచ్చు. ప్రమాణ ఆవేశానికైతే పొటెన్షియల్ అంటారు. అంటే విద్యుత్ క్షేత్రంలో వేరు వేరు బిందువుల వద్ద పొటెన్షియల్ వేర్వేరుగ ఉంటుంది. విద్యుత్ క్షేత్రంలో ధనావేశాన్ని ఉంచిన అది తన స్థితిజ శక్తిని తగ్గించుకోవడానికి ఎక్కువ పొటెన్షియల్ నుంచి తక్కువ పొటెన్షియల్ దిశగా ప్రవహిస్తుంది. తరువాత పాఠంలో పొటెన్షియల్ తేడా అనే భావన విద్యుత్ వలయాలలో విద్యుత్ ప్రవాహంకు ఏ విధంగా తోడ్పడిందీ తెలుసుకుంటారు.

ఒక విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉండే ఏదైనా ఒక బిందువు వద్దకు అనంత దూరం నుంచి ప్రమాణ ధన విద్యుదావేశాన్ని విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేకంగా తీసుకురావడానికి చేయవలసిన పనియే ఆ బిందువు వద్ద విద్యుత్ పొటెన్షియల్ అంటారు. విద్యుత్ పొటెన్షియల్ ఒక అదిశరాశి.

అలెక్సాండర్, కౌంట్ వోల్టా

(1745-1827)



ఇటలీలో గల కెమాలో జననం, వోల్టా పెవియా విశ్వవిద్యాలయంలో 20 సంవత్సరాలకు పైగా ప్రొఫెసరుగా ఉన్నారు. ఇతని సమకాలీకులైన ప్రముఖ వ్యక్తులందరికి, వోల్టా గురించి తెలుసు ల్యూగీ గ్వాల్వని గమనించిన కప్ప కండరాలలో ఉండే జంతు విద్యుత్ శక్తి ఆమ్ల లేదా ఉప్పు ద్రావణంలో వేరు చేయబడిన రెండు లోహాల మధ్య జరిగే సాధారణ దృగ్విషయమే అని ఇతను నిరూపించారు. తొలి విద్యుత్ ఘటాన్ని కనుగొన్నారు. దీన్నే వోల్టాయిక్ ఘటం అంటారు. ఈయన గౌరవర్థం, పొటెన్షియల్ తేడాకు వోల్టు ప్రమాణం ఇతని పేరు మీద ఇచ్చారు.

క్షేత్రానికి వ్యతిరేకంగా ధనావేశం పని చేస్తే, పొటెన్షియల్‌ను ధనాత్మకంగా, ప్రమాణ ధనావేశాన్ని అనంత దూరం నుంచి విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఒక బిందువు వద్దకు తీసికొని వచ్చుటలో జరిగిన పనిని క్షేత్రం చేస్తే, పొటెన్షియల్‌ను రుణాత్మకంగా తీసుకుంటాం.

ఒక విద్యుత్ క్షేత్రంలో A, B లు రెండు బిందువులు అనుకుందాం (పటం 16.1). q_0 శోధన విద్యుదావేశాన్ని A బిందువు నుండి B బిందువుకి ఏదేని మార్గం వెంబడి జరపటానికి, బాహ్యబలం చేయవలసిన పని

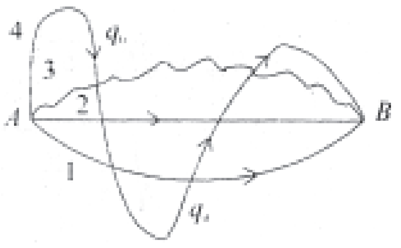
$$W_{AB} = q_0 (V_B - V_A) \quad ..... (16.1)$$

A, B బిందువుల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా

$$V_{AB} = V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} \quad .... (16.2)$$

V_A, V_B లు వరసగా A, B బిందువుల వద్ద పొటెన్షియల్‌లు

ఒక విద్యుత్ క్షేత్రంలో ప్రమాణ ధన ఆవేశాన్ని విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేకంగా ఒక బిందువు నుంచి మరొక బిందువుకు కదల్చడానికి చేయవలసిన పనే ఆ రెండు బిందువుల మధ్య గల పొటెన్షియల్ తేడాగా నిర్వచిస్తారు. ఈ పని పథంపైన ఆధారపడదని గమనించాలి. (ఈ కారణం వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రం ఒక నిత్యత్వ క్షేత్రం అని చెప్పవచ్చు). SI పద్ధతిలో పొటెన్షియల్, పొటెన్షియల్ తేడాకి ప్రమాణం వోల్ట్ (volt)



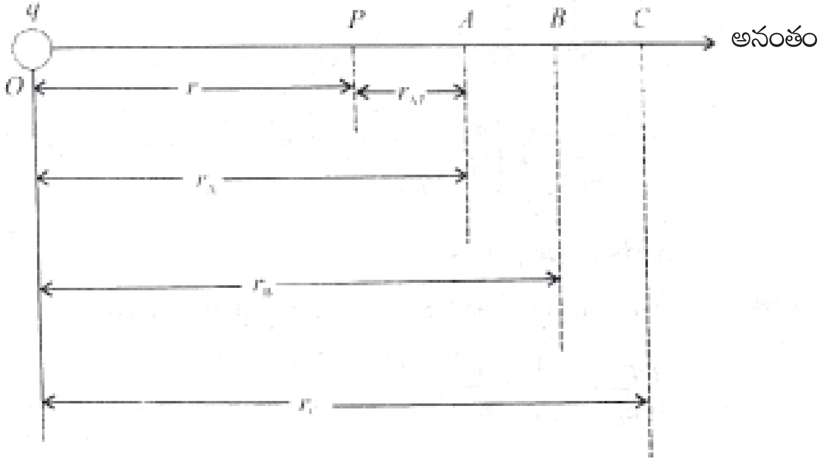
పటం 16.1 : విద్యుత్ క్షేత్రంలో శోధనావేశంను ఒక బిందువు నుంచి మరొక బిందువు వద్దకు తీసుకురావడానికి చేసిన పని, అనుసరించే మార్గంపైన ఆధారపడదు.

1 వోల్ట్ = 1 జౌల్ / 1 కులూంబ్. ఒక కూలూంబ్ విద్యుదావేశాన్ని విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఒక బిందువు నుండి మరో బిందువుకు క్షేత్ర దిశకు వ్యతిరేకంగా జరపటానికి చేయవలసిన పని ఒక జౌల్ అయితే, ఆ బిందువుల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడాను ఒక వోల్టు అంటారు. ఒక కూలూంబ్ విద్యుదావేశాన్ని అనంతదూరం నుంచి విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేకంగా ఒక బిందువు వద్దకు తీసుకురావడానికి చేయవలసిన పని ఒక జౌల్ అయితే, ఆ బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్ ఒక వోల్టు అంటాం.

ఒక బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్ విలక్షణమైన రాశి కాదని గమనించండి. ఎందుకంటే మనం తీసుకునే శూన్య స్థితిశక్తి (అనంతం) పైన పొటెన్షియల్ విలువ ఆధారపడుతుంది కాబట్టి. కాని ఒక స్థిరక్షేత్రంలో రెండు బిందువుల మధ్య గల పొటెన్షియల్ తేడా విలక్షణ విలువ కలిగి ఉంటుంది. ఇపుడు బిందు ఆవేశం వల్ల కలిగే విద్యుత్ పొటెన్షియల్‌ను ఎలా కనుక్కుంటామో తెలుసుకుందాం.

16.1.1. ఒక బిందు ఆవేశం వల్ల కలిగే విద్యుత్ పొటెన్షియల్

+q బిందు విద్యుదావేశం O అనే బిందువు వద్ద ఉన్నదనుకుందాం. O నుండి r దూరంలో గల P బిందువు వద్ద విద్యుత్ పొటెన్షియల్‌ను కనుక్కొందాం (పటం 16.2), OP = r.



పటం 16.2 : విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉండే P బిందువు వద్దకు, అనంతదూరం నుంచి q శోధన ఆవేశాన్ని తీసుకురావడానికి చేయవలసిన పనే ఆ బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్

బిందు విద్యుదావేశం వల్ల P వద్ద ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం.

$$E_P = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \times \frac{q}{r^2} \qquad ..... (16.3)$$

అదే విధంగా A వద్ద ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రం

$$E_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r_1^2} \qquad ...... (16.4)$$

P, A బిందువులు అతి దగ్గరగా ఉంటే E_P, E_A ల గుణ మధ్యమం ను ఈ బిందువుల మధ్య గల సరాసరి క్షేత్రంగా తీసుకుంటాం.

$$E_{AP} = \sqrt{E_A \times E_P}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r_A^2} \times \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r^2}}$$

$$= \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r_A r} \qquad ...... (16.5)$$

ఈ ప్రాంతంలో ఉంచిన శోధన ఆవేశం q_0 మీద పని చేసే బల పరిమాణం

$$F_{AP} = q_0 E_{AP} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{qq_0}{r_A r} \qquad ...(16.6)$$

శోధనావేశం q_0ని A నుంచి P కి కదల్చడానికి చేయవలసిన పని

$$W_{AP} = F_{AP} \times r_{AP}$$

$$= \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{qq_0}{r_A r} \times (r_A - r)$$

$$= \frac{qq_0}{4\pi \epsilon_0} \times \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{r_A}\right] \qquad ... (16.7)$$

ఇక్కడ r_{AP} అనేది A, P బిందువుల మధ్య దూరం.

ఇదే విధంగా ఆవేశంను B నుంచి A కి కదల్చడానికి చేసిన పని,

$$W_{BA} = \frac{qq_0}{4\pi \epsilon_0} \times \left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right] \qquad ... (16.8\ a)$$

మరియు శోధన ఆవేశంను C నుంచి B కి కదల్చడానికి చేసిన పని

$$W_{CB} = \frac{qq_0}{4\pi \epsilon_0} \left[\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_C}\right] \qquad ... (16.8\ b)$$

మరియు మొదలగునవి.

శోధన ఆవేశాన్ని అనంత దూరం నుంచి P బిందువు వద్దకు తీసుకురావడానికి చేసిన మొత్తం పని

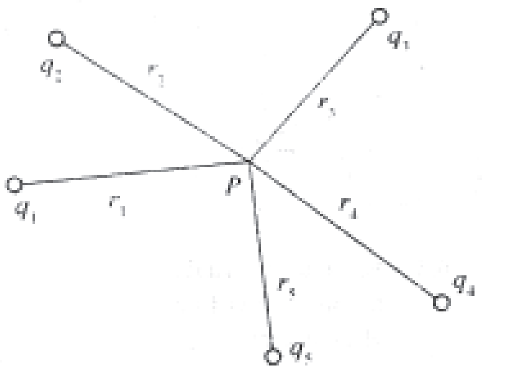
$$W = \frac{qq_0}{4\pi \epsilon_0} \times \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{r_A} + \frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} + \frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_C} + ... - \frac{1}{\infty}\right]$$

$$= \frac{qq_0}{4\pi \epsilon_0} \times \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{\infty}\right] = \frac{qq_0}{4\pi \epsilon_0 r} \qquad ... (16.9)$$

నిర్వచనం ప్రకారం, ఒక బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్, $V_P = \frac{W}{q_0}$

$$V_P = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r}. \qquad ... (16.10)$$

పొటెన్షియల్, దూరానికి విలోమానుపాతంలో ఉందని గమనించండి. q ధనావేశం అయితే పొటెన్షియల్ ధనాత్మకంగా, q ఋణావేశం అయితే పొటెన్షియల్ ఋణాత్మకంగా ఉంటుంది.



పటం 16.3 : ఒక ఆవేశ వ్యవస్థ వల్ల P బిందువు వద్ద ఏర్పడే పొటెన్షియల్

q_1, q_2, q_3 .... పరిమాణాలు గల ఆవేశాల సమూహం వల్ల ఏదయిన ఒక బిందువు వద్ద ఏర్పడే ఫలిత విద్యుత్ పొటెన్షియల్ ఆ ఆవేశాల వల్ల ఏర్పడే వ్యక్తిగత పొటెన్షియల్‌లను అన్నింటిని బీజీయంగా కూడితే వస్తుంది (పటం 16.3)

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots\ldots\ldots = \sum_{i=1}^{N} \frac{q_i}{4\pi \epsilon_0 r_i} \qquad \ldots (16.11)$$

16.1.2. విద్యుత్ డైపోల్ వల్ల ఒక బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్

AB అనే విద్యుత్ డైపోల్‌లో A వద్ద -q, B వద్ద +q బిందు ఆవేశాలు 2l దూరంలో ఉన్నాయనుకుందాం. డైపోల్ మధ్య బిందువు O అనుకుందాం. (r, θ) ధ్రువ నిరూపకాలు గల బిందువు P వద్ద పొటెన్షియల్‌ను లెక్కిద్దాం. ఇక్కడ పటం (16.4)లో చూపినట్లుగా $OP = r$, $\angle BOP = \theta$, $AP = r_1$ మరియు $BP = r_2$. సమీకరణం (16.10)ను ఉపయోగించి A, B ల వద్ద ఉన్న ఆవేశాల వల్ల P వద్ద ఏర్పడే పొటెన్షియల్‌ను సులభంగా లెక్కించవచ్చు.

$$V_1 = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \times \frac{(-q)}{r_1}$$

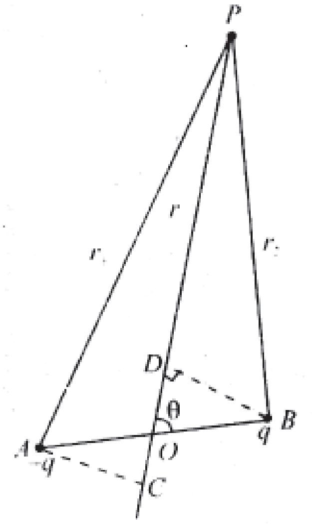
మరియు $V_2 = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \times \frac{q}{r_2}$

డైపోల్‌లోని రెండు ఆవేశాల వల్ల, P వద్ద ఏర్పడే ఫలిత పొటెన్షియల్

$$V = V_1 + V_2$$

అనగా $$V = \frac{q}{4\pi \epsilon_0}\left[\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right] \qquad \ldots (16.12)$$

పై ఫలితాన్ని ఇంకా సులభంగా చెప్పడానికి మనం A, B ల నుండి OP సరళరేఖపై AC, BD లంబాలు గీద్దాం. ΔBOD నుంచి $OD = l\cos\theta, \Delta OAC$ నుంచి $OC = l\cos\theta$ గా రాయవచ్చు. డైపోల్ చిన్నదయితే (AB <<OP) పటం 16.4 నుంచి PB = PD, PA = PC గా తీసుకుంటాం. అపుడు $r_1 = r + l\cos\theta$, $r_2 = r - l\cos\theta$. ఈ ఫలితాలను సమీకరణం (16.12)లో వాడినపుడు



$$V = \frac{q}{4\pi\in_0}\left[\frac{1}{(r - l\cos\theta)} - \frac{1}{(r + l\cos\theta}\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\in_0}\left[\frac{(2l\cos\theta)}{(r^2 - l^2\cos^2\theta)}\right]$$

$$= \frac{q\times 2l\cos\theta}{4\pi\in_0 r^2}$$

ఇక్కడ $l << r$ కాబట్టి, $l^2\cos^2\theta$ పదాన్ని r^2 తో పోల్చినపుడు ఉపేక్షించాం.

పటం 16.4: విద్యుత్‌డైపోల్ వల్ల P బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్

డైపోల్ భ్రామకం p పరిమాణం $q\times 2l$ కాబట్టి పై ఫలితాన్ని ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$V = \frac{p\cos\theta}{4\pi\in_0 r^2} \qquad .... (16.13)$$

బిందు ఆవేశం వల్ల ఏర్పడే పొటెన్షియల్‌లో మాదిరి కాకుండా, డైపోల్ వల్ల ఏర్పడే పొటెన్షియల్ దూర వర్గానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుందని పై ఫలితం చూపిస్తుంది.

ఇపుడు కొన్ని ప్రత్యేక సందర్భాలను పరిశీలిద్దాం.

ప్రత్యేక సందర్భాలు

సందర్భము I : P బిందువు డైపోల్ అక్షీయ రేఖ పైన ధనావేశం వైపు ఉన్నపుడు $\theta = 0$ మరియు $\cos\theta = 1$. అపుడు సమీకరణం (16.13) నుంచి

$$V_{\text{అక్షీయం}} = \frac{p}{4\pi\in_0 r^2} \qquad ...... (16.14)$$

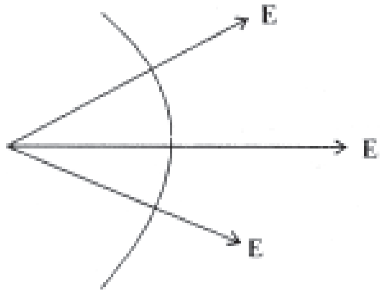
సందర్భము II : P బిందువు డైపోల్ అక్షీయ రేఖపైన రుణావేశం వైపు ఉన్నపుడు $\theta = 180^0, \cos\theta = -1$ కాబట్టి

$$V_{\text{అక్షీయం}} = \frac{-p}{4\pi\in_0 r^2} \qquad ...... (16.15)$$

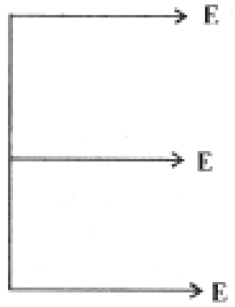
సందర్భము III : P బిందువు డైపోల్ మధ్య లంబరేఖ (AB యొక్క లంబ సమద్విఖండన రేఖ) పైన ఉన్నపుడు $\theta = 90^0,\ \cos\theta = 0$. అపుడు

$$V_{\text{మధ్యలంబరేఖ}} = 0 \qquad \text{..... (16.16)}$$

అనగా డైపోల్ మధ్య లంబరేఖపై ఉన్న అన్ని బిందువుల వద్ద డైపోల్ వల్ల ఏర్పడే పొటెన్షియల్ సున్న అవుతుంది. డైపోల్‌ను 3D అంతరాళంలో ఉంచిన దాని మధ్య లంబరేఖ పేపరు తలంలో ఉంటుంది. ఈ తలంలోని అన్ని బిందువుల వద్ద పొటెన్షియల్ సున్న. అనగా అన్ని బిందువుల వద్ద సమానమైన పొటెన్షియల్ ఉందన్నమాట. సమ పొటెన్షియల్‌లు కలిగిన బిందువులన్నింటినీ కలిపితే ఏర్పడే ఉపరితలాన్ని సమపొటెన్షియల్ తలం అంటారు. సమ పొటెన్షియల్ ఉపరితలానికి గీచిన లంబరేఖ దిశలో విద్యుత్ క్షేత్రం ఉంటుంది. సమపొటెన్షియల్ తలంపై ఒక బిందువు నుంచి మరొక బిందువు వద్దకు ఆవేశాన్ని తీసుకురావడానికి చేసిన పని సున్నా అవుతుంది.



(ఏ) : గోళాకార సమపొటెన్షియల్ తలం



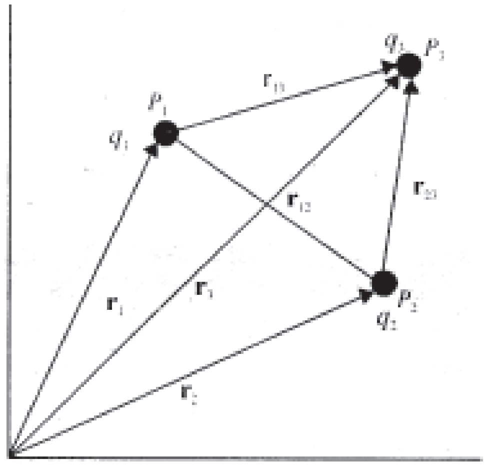
(బి) : సమతల సమపొటెన్షియల్ తలం

పటం 16.5 : సమపొటెన్షియల్ తలాలు మరియు విద్యుత్ క్షేత్ర దిశలు

16.1.3. బహుళ బిందు ఆవేశ వ్యవస్థ యొక్క స్థితి శక్తి

విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉన్నపుడు ఒక బహుళ ఆవేశ వ్యవస్థ పొందిన శక్తే, స్థిర విద్యుత్ స్థితి శక్తి. ఆవేశాలు అనంత దూరంలో ఉంటే వాటి మధ్య అన్యోన్య చర్య జరగదు మరియు వాటి స్థితి శక్తి సున్నా. ఆవేశ వ్యవస్థను ఏర్పరచాలంటే ఈ ఆవేశాలన్నింటిని జమ చేయాలి. అంటే వాటిని ఒకదాని దగ్గరకు ఇంకొకదాన్ని తీసుకురావాలి. ఇలా ఆవేశాలను అనంత దూరం నుంచి దగ్గరకు తీసుకురావడానికి పని చేయవలసి ఉంటుంది. ఈ పని ఆవేశ వ్యవస్థ యొక్క స్థితి శక్తిగా నిలువ ఉంటుంది. దీన్నే ఆవేశ వ్యవస్థ యొక్క స్థిర విద్యుత్ స్థితి శక్తి అంటారు. *అనంత దూరం వేరు చేయబడిన అనేక ఆవేశాలను వ్యవస్థలో వరసగా వాటి స్థానాలకు తీసుకురావడానికి చేయవలసిన మొత్తం పనిని ఆ ఆవేశ వ్యవస్థ యొక్క స్థితి శక్తిగా నిర్వచిస్తాం.*

q_1 బిందు ఆవేశాన్ని $\mathbf{r}_1$ స్థాన సదిశ గల బిందువు P_1 వద్ద ఉంచామనుకుందాం. q_2 ఆవేశం అనంతంలో ఉందనుకుందాం. q_2 ని అనంతదూరం నుంచి తీసుకువచ్చి $\mathbf{r}_2$ స్థాన సదిశ గల బిందువు P_2 వద్ద ఉంచాలి. ఇక్కడ పటం (16.6)లో చూపినట్లు $P_1P_2 = \mathbf{r}_{12}$



పటం 16.6 : కొంత దూరం వేరుచేయబడిన ఆవేశాల వ్యవస్థ యొక్క స్థితి శక్తి

P_1 వద్ద గల ఆవేశం q_1 వల్ల P_2 వద్ద ఏర్పడే విద్యుత్ పొటెన్షియల్

$$V_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1}{|\mathbf{r}_{12}|} \qquad \text{.... (16.17)}$$

అని మనకు తెలుసు.

పొటెన్షియల్ నిర్వచనం ప్రకారం, అనంతదూరం నుంచి q_2 ఆవేశాన్ని P_2 వద్దకు తీసుకురావడానికి చేయవలసిన పని

W = (P_2 వద్ద పొటెన్షియల్) × ఆవేశ విలువ

ఈ పని q_1, q_2 అనే రెండు ఆవేశాల వ్యవస్థ యొక్క స్థిర విద్యుత్ స్థితి శక్తి (U) గా నిలువ ఉంటుంది. కాబట్టి

$$U = \frac{q_1 \times q_2}{4\pi\epsilon_0 |\mathbf{r}_{12}|} \qquad \text{.... (16.18)}$$

రెండు ఆవేశాలు ఒకే సంజ్ఞ కలిగి ఉంటే, ఆ ఆవేశాలను దగ్గరగా తీసుకురావడానికి వికర్షణ బలంకు వ్యతిరేకంగా పని చేయాలి. కాబట్టి వ్యవస్థ విద్యుత్ స్థితి శక్తి పెరుగుతుంది. మరొక వైపు ఆవేశాలను దూరంగా జరపటానికి, క్షేత్రం పని చేస్తుంది. ఫలితంగా వ్యవస్థ యొక్క స్థితి శక్తి తగ్గుతుంది. ఆవేశాలు వ్యతిరేక సంజ్ఞ కలిగి ఉంటే (ఒకటి ధనాత్మకం, రెండవది రుణాత్మకం) ఆవేశాలను దగ్గరగా తీసుకువచ్చినపుడు, ఆవేశ వ్యవస్థ యొక్క స్థితిశక్తి తగ్గుతుంది మరియు ఆవేశాలను ఒకదాని నుంచి మరొకటి వేరుచేసిన వ్యవస్థ స్థితిశక్తి పెరుగుతుంది.

మూడు ఆవేశాలు గల వ్యవస్థకు (పటం 16.6), సమీకరణం (16.18) ని ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left[\frac{q_1 q_2}{\mathbf{r}_{12}} + \frac{q_1 q_3}{\mathbf{r}_{13}} + \frac{q_2 q_3}{\mathbf{r}_{23}}\right] \qquad \text{..... (16.19)}$$

ఇదే విధంగా అనేక ఆవేశాలతో కూడిన బహుళ ఆవేశ వ్యవస్థకు స్థితి శక్తిని లెక్కించవచ్చు.

సమీకరణాలు (16.3), (16.13)లను కలిపితే, సమ విద్యుత్ క్షేత్రంలో గల డైపోల్ యొక్క స్థితి శక్తిని కింది విధంగా రాయవచ్చు.

$$U_\theta = -pE\cos\theta = -\mathbf{p.E} \qquad ...... (16.20)$$

ఇక్కడ **p** అనేది విద్యుత్ క్షేత్రం **E** లో గల డైపోల్ విద్యుత్ భ్రామకం, θ అనేది **p**, **E** ల మధ్య కోణం.

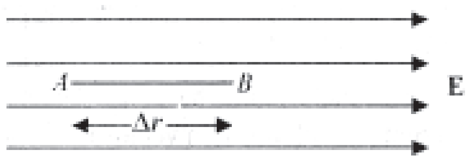
16.2 విద్యుత్ క్షేత్రం, పొటెన్షియల్‌ల మధ్య సంబంధం

ఒక ఏకరీతి (సమ) విద్యుత్ క్షేత్రం **E** లో Δr దూరం ఎడంగా ఉన్న A, B అనే రెండు బిందువులను తీసుకుందాం. నిర్వచనం ప్రకారం A, B ల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా ΔV, ప్రమాణ ధన శోధనావేశాన్ని A నుంచి B కి కదల్చడానికి చేయవలసిన పనికి సమానం.

ΔV = (ప్రమాణ ధనావేశంపై గల బలం) × (AB)

$$= \mathbf{E} \,.\, \Delta\mathbf{r} = E(\Delta r)\cos 180^0$$

$$= -E\,\Delta r$$



లేదా $\mathbf{E} = -\dfrac{\Delta V}{\Delta r}$ ...... (16.21)

రుణ సంజ్ఞ విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేకంగా పని జరిగినట్లు సూచిస్తుంది. $\dfrac{\Delta v}{\Delta r}$ భౌతికరాశి పొటెన్షియల్ దూరంతో మారే రేటును తెలియచేస్తుంది. దీనినే పొటిన్షియల్ ప్రవణత (Potential gradient) అంటారు. విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఏదయినా ఒక బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రత ఆ బిందువు వద్ద క్షేత్ర దిశలో ఉన్న పొటెన్షియల్ యొక్క రుణ ప్రవణతకు సమానం. విద్యుత్ పొటెన్షియల్ ఒక అదిశ రాశి, కాని విద్యుత్ పొటెన్షియల్ ప్రవణత సంఖ్యాత్మకంగా విద్యుత్ క్షేత్రానికి సమానం కాబట్టి అది ఒక సదిశ అని గుర్తుంచుకోండి.

పై సంబంధం నుంచి ఒక ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రంకు ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$E = \frac{V_A - V_B}{d} \qquad ..... (16.22)$$

ఇక్కడ V_A, V_B లు వరసగా d దూరంలో ఉన్న A, B బిందువుల వద్ద గల పొటెన్షియల్‌లు.

ఉదాహరణ 16.1 : 1.6×10^{-19}C ఆవేశం కల ఒక ధనావేశ కణాన్ని 10 వోల్టుల బ్యాటరీలో రుణ టెర్మినల్ (కొన) నుంచి ధన టెర్మినల్‌కు జరపటానికి చేయవలసిన పని ఎంత?

సాధన : సమీకరణం (16.2) నుంచి

$$V_{AB} = \frac{W_{AB}}{q_0}$$

$V_{AB} = 10V, q_0 = 1.6\times10^{-19}C$ కాబట్టి

$W_{AB} = (10V)\times(1.6\times10^{-19}C) = 1.6\times10^{-18} J$

ఉదాహరణ 16.2 : కార్తీజియన్ నిరూపక వ్యవస్థలో మూలబిందువు వద్ద q అనే బిందు ఆవేశం ఉంది. x బిందువు వద్ద విద్యుత్ పొటెన్షియల్ 400 V మరియు విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం 150 NC^{-1} అయితే x, q లను కనుక్కోండి.

సాధన : విద్యుత్ క్షేత్రం $E = \frac{V}{x}$

సంఖ్యా విలువలను ప్రతిక్షేపించగా

$$150 = \frac{400}{x}$$

లేదా $x = 2.67$ m

విద్యుత్ క్షేత్రం ను ఈ కింది విధంగా కూడా రాయవచ్చు.

$$E = \frac{1}{4\pi\in_0}\frac{q}{x^2}$$

$\frac{1}{4\pi\in_0} = 9\times10^9 NC^{-2}m^2, E = 150NC^{-1}, x = 2.67m$ లను ప్రతిక్షేపిస్తే

$$q = \frac{(150NC^{-1})\times(2.67m)^2}{9\times10^9 NC^{-2}m^2}$$

$$= 11.9\times10^{-8} C$$

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 16.1

1. + q ఆవేశం, R వ్యాసార్ధం గల లోహపు గోళతలంపై సమంగా వితరణ చెందింది. గోళ కేంద్రం నుంచి r(>R) బిందువు వద్ద గల పొటెన్షియల్ ఎంత?

   ....

2. బిందు ఆవేశం q చుట్టూ r వ్యాసార్థం గల వృత్తం గుండా ఒక బిందు ఆవేశాన్ని కదిలించడానికి చేయవలసిన పనిని లెక్కించండి.

   ....

3. విద్యుత్ పొటెన్షియల్ V స్థిరంగా ఉన్న ఒక ప్రాంతంలోని విద్యుత్ క్షేత్రం **E** గురించి మీరు ఏమి చెప్పగలరు.

....

4. ఒక బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం సున్నా అయితే, ఆ బిందువు వద్ద విద్యుత్ పొటెన్షియల్ ఖచ్చితంగా సున్నా అవుతుందా?

....

5. రెండు సమ పొటెన్షియల్ తలాలు ఖండించుకుంటాయా?

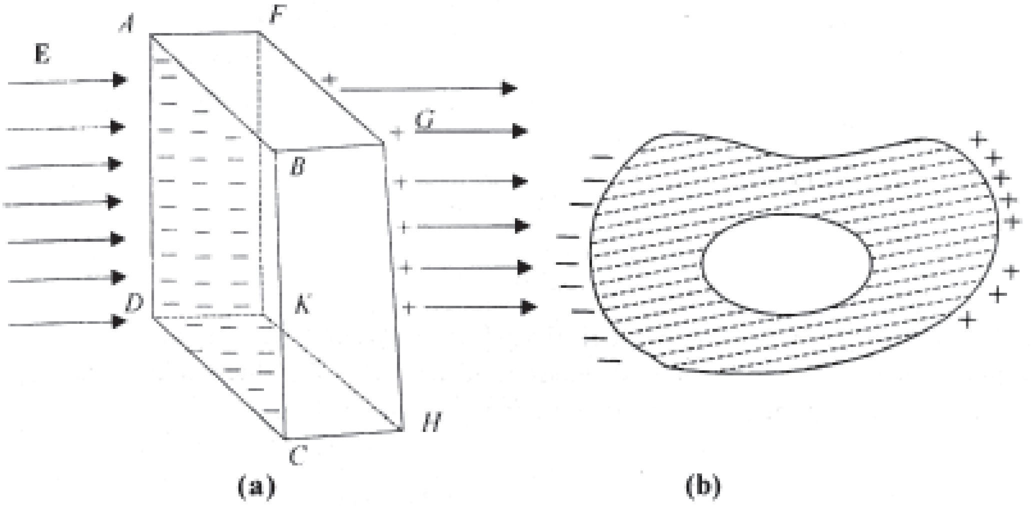
....

ఆవేశ వాహకత్వం ఆధారంగా పదార్థాలను **వాహకాలు, బంధకాలు** అని విభజించారు. ఘన పదార్థాలలో విద్యుత్ వాహకత్వం స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రాన్ల వల్ల జరుగుతుంది, ప్రవాహిలో ఇది అయానుల వల్ల జరుగుతుంది. వాహకాలకు విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని అనువర్తించినపుడు, వాహకం ద్వారా విద్యుదావేశం ప్రవహిస్తుంది అంటే విద్యుత్ ప్రవాహానికి ఈ ఆవేశాల చలనమే కారణం అన్నమాట. లోహాలు మంచి వాహకాలు. స్వేచ్ఛావేశాలు లేని పదార్థాలను **బంధకాలు** అంటారు. కలప, ఎబొనైట్, గాజు, క్వార్ట్జ్, మైకా మొదలగునవి బంధకాలకు ఉదాహరణలు. వాహకాల వాహకతకు, బంధకాల వాహకతకు మధ్యస్థంగా వాహకత కలిగిన పదార్థాలను **అర్ధవాహకాలని** అంటారు. వాహకాల, బంధకాల విద్యుత్ వాహకతల నిష్పత్తి సుమారుగా 10^{20} ఉంటుంది. ఇపుడు మనం విద్యుత్ క్షేత్రంలో వాహకాల ప్రవర్తన గురించి తెలుసుకుందాం.

16.2.1. విద్యుత్ క్షేత్రంలో వాహకాల ప్రవర్తన

వాహకాల పరమాణువులలోని ఎలక్ట్రానులు దృఢంగా బంధించబడి ఉండవు. ఈ ఎలక్ట్రాన్లు స్వేచ్ఛగా వాహక పదార్థం అంతటా తిరుగుతూ ఉంటాయి. అయితే బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం ఏదీ లేనప్పుడు వాహకంలో ఒక భాగం నుంచి మరొక భాగానికి ఎలక్ట్రాన్ల నికర బదిలీ ఏదీ ఉండదు. వాహకం స్థిర విద్యుత్ సమతాస్థితిలో ఉందని అంటాం.

బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం **E** లో ఉంచిన ఒక వాహకాన్ని పటం 16.7(ఎ) చూపిస్తుంది. వాహకంలోని స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రానులు విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేక దిశలో త్వరణం పొందుతాయి. ఫలితంగా వాహక ABCD తలంపై ఎలక్ట్రాన్లు వచ్చి చేరతాయి. ఎలక్ట్రానులను తీసివేయడం వల్ల FGHK తలం ధనాత్మకంగా ఆవేశితం చెందుతుంది. ఈ ఆవేశాలు (తలం ABCD పై ఋణాత్మకం, తలం FGHK పై ధనాత్మకం) వాటి సొంత క్షేత్రాలను **E** కి వ్యతిరేక దిశలో ఏర్పరుస్తాయి. **E** విలువ $\mathbf{E}_1$ కు సమానం అయ్యే వరకు FGHK నుంచి ABCD కి ఎలక్ట్రాన్ల బదిలి కొనసాగుతూనే ఉంటుంది. వాహకాలు ఈ సమతాస్థితిని సాధారణంగా 10^{-16} s కాలంలో పొందుతాయి. వాహకంలో ఏదైన కోటరము (cavity) ఉంటే, కోటరములో గల విద్యుత్ క్షేత్రం సున్నా అవుతుంది. (పటం 16.7 (బి))



పటం 16.7 : స్థిర విద్యుత్ పరిరక్షణ ప్రక్రియ

(a) ABCD తలంపైకి స్వేచ్ఛా ఎలక్ట్రానులను బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం లాగుతుంది. FGHK తలం, ఎలక్ట్రాన్లు లోపించడం వల్ల ధనాత్మకంగా ఆవేశితం చెందుతుంది, వాహకం లోపల నికర క్షేత్రం సున్నా అవుతుంది.

(b) వాహకం లోపల కోటరము ఉంటే, కోటరంలోపల విద్యుత్ క్షేత్రం సున్నా అవుతుంది.

ఆవేశిత వాహకానికి లేదా తటస్థంగా ఉన్న వాహకం పైన బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం చేత ఆవేశాలను ప్రేరేపించినపుడు ఈ ఫలితాలు వర్తిస్తాయి.

వాహకం యొక్క ఈ ధర్మాన్ని **స్థిర విద్యుత్ పరిరక్షణ ప్రక్రియ**లో వాడతారు – అంతరాళంలోని కొంత ప్రాంతాన్ని బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం నుంచి పరిరక్షించడమనే దృగ్విషయం. బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రాల నుంచి సున్నితమైన విద్యుత్ పరికరాలను పరిరక్షించడానికి వాటిని బోలు వాహకాలలో ఆవృతం(enclosed) చేస్తారు. అలాగే మెరుపులతో కూడిన ఉరుములు వచ్చినపుడు బయట ఉండే కంటే బస్సులో గాని కారులోగాని మనం ఉంటే సురక్షితంగా ఉంటాం. కారు లేదా బస్సు యొక్క లోహపు దేహం(metallic body) మెరుపుల నుండి పరిరక్షిస్తుంది.

స్థిరవిద్యుత్ సమతాస్థితిలోని విద్యుద్వాహకం ఈ కింది ధర్మాలను కలిగి ఉంటుంది.

- వాహకం లోపల విద్యుత్ క్షేత్రం ఉండదు.
- వాహక ఆకారంతో సంబంధం లేకుండా, ఆవేశిత వాహకానికి బయట ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రం, వాహక తలానికి లంబంగా ఉంటుంది.
- వాహకంకి ఇచ్చిన ఆవేశం అంతా దాని ఉపరితలం మీదనే ఉంటుంది.

16.3 కెపాసిటెన్స్

సమానమైన విజాతీయ విద్యుదావేశాలు +Q, −Q గల రెండు వాహకాలను తీసుకుందాం. వాటి మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా V ఉంది. అటువంటి వాహకాల అమరికను కెపాసిటర్ అంటారు. వాహకం మీది ఆవేశం, పొటెన్షియల్ తేడాకి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుందని ప్రయోగ పూర్వకంగా కనుగొన్నారు. వాహకాల మీద ఆవేశం పెరిగిన కొద్దీ పొటెన్షియల్ తేడా కూడా పెరుగుతుంది. కాని వాటి మధ్య గల నిష్పత్తి స్థిరంగా ఉంటుంది. ఈ నిష్పత్తినే కెపాసిటర్ యొక్క కెపాసిటెన్స్ అంటారు.

$$C = \frac{Q}{V} \qquad \ldots\ldots (16.23)$$

రెండు వాహకాలలో ఏదైనా వాహకంపై గల ఆవేశ పరిమాణంకి, వాటి మధ్య గల పొటెన్షియల్ తేడా V కి గల నిష్పత్తిని కెపాసిటెన్స్ అని నిర్వచిస్తారు. ఇది కెపాసిటర్ ఆవేశాన్ని నిలువ ఉంచుకునే సామర్థ్యానికి కొలత.

SI పద్ధతిలో కెపాసిటెన్స్‌కి ప్రమాణం ఫారడ్ (farad) (F). విద్యుద్వాహకాలకు ఒక కూలూంబ్ ఆవేశాన్ని ఇచ్చినపుడు వాటి మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా ఒక వోల్టు పెరిగితే కెపాసిటెన్స్ ఒక ఫారడ్ అవుతుంది.

$$1 \text{ ఫారడ్} = \frac{1 \text{ కులూంబ్}}{1 \text{ వోల్టు}} \qquad \ldots\ldots\ldots (16.24)$$

ఆవేశానికి అతి పెద్ద ప్రమాణం కూలూంబ్ అని మీరు ఇంతకు ముందు తెలుసుకున్నారు. అలాగే కెపాసిటెన్స్‌కు ఫారడ్ అతి పెద్ద ప్రమాణం. సాధారణంగా చిన్న ప్రమాణాలైన మైక్రో ఫారడ్(μF) ల లోను, పికోఫారడ్ (pF) లలోను కెపాసిటీని కొలుస్తారు.

1 మైక్రో ఫారడ్ = 10^{-6} ఫారడ్, μF గా రాస్తాము.

1 పికో ఫారడ్ = 10^{-12} ఫారడ్, pF గా రాస్తాము.

విద్యుత్ వలయంలో కెపసిటర్‌ను రెండు సమాంతర రేఖలతో సూచిస్తారు.

16.3.1. గోళాకార వాహకం యొక్క కెపాసిటెన్స్

r వ్యాసార్థం గల గోళాకార వాహకానికి q ఆవేశాన్ని ఇచ్చామనుకుందాం. గోళం పొటెన్షియల్ V అయితే,

$$V = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r}$$

$C = \frac{q}{V}$ కాబట్టి,

$$C = \frac{q}{\frac{q}{4\pi \in_0 r}} = 4\pi \in_0 r = \frac{r}{9\times10^9} \qquad \text{....... (16.25)}$$

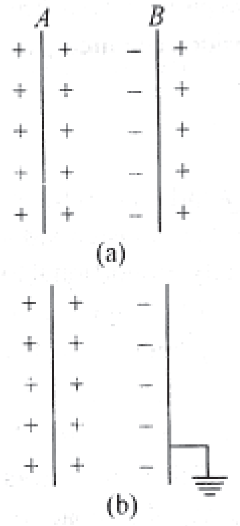
గోళాకార వాహకం యొక్క కెపాసిటెన్స్ దాని వ్యాసార్ధానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుందని పై సమీకరణం ద్వారా తెలుస్తుంది. సంఖ్యాత్మకంగా ఇది వ్యాసార్ధాన్ని 9×10^9 తో భాగిస్తే వచ్చిన విలువకు సమానం. ఇక్కడ వ్యాపార్ధాన్ని మీటర్‌లలో తీసుకుంటాం. ఉదాహరణకు 0.18m వ్యాసార్ధం గల గోళాకార వాహకం యొక్క కెపాసిటెన్స్.

$$C = \frac{0.18}{9}\times10^{-9}\,F = 20pF$$

16.3.2. కెపాసిటర్ సూత్రం

భౌతికశాస్త్ర ప్రయోగశాలలో మనం అనేక రకాలైన కెపాసిటర్‌లను చూస్తుంటాం. విద్యుత్ శక్తి సరఫరా వ్యవస్థలో కెపాసిటర్‌లను వాడతారు. రేడియో, టి.వి., వర్ధకం, డోలకంలలో కెపాసిటర్‌లను విరివిగా వాడతారు. ఒక కెపాసిటర్ రెండు వాహకాలను కలిగి ఉంటుంది, అందులో ఒకటి ఆవేశితమైనది, రెండవది సాదారణంగా భూమికి కలిపి ఉంటుంది. విద్యుత్ కెపాసిటర్ పని చేసే విధానాన్ని లేక సూత్రాన్ని అర్థం చేసుకోవడానికి ఒక తటస్థ విద్యుద్వాహక పలక A ను తీసుకుందాం. పలక A కు q ధన ఆవేశాన్ని ఇచ్చినపుడు దాని పొటెన్షియల్ V కి పెరుగుతుంది. వాహక పలక A యొక్క కెపాసిటీ $C = \frac{q}{V}$ అయితే వాహకం అదనంగా (q కంటే ఎక్కువ) ఆవేశాన్ని భరించలేదు.

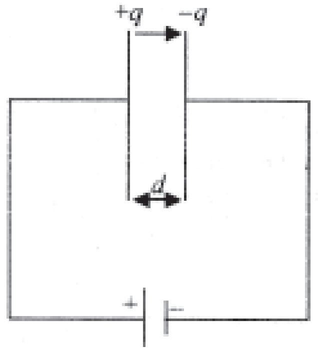
ఇప్పుడు మరొక తటస్థమైన లోహపు పలక B ను A కి సమాంతరంగా కొంత దూరంలో ఎడంగా ఉంచుదాం. స్థిర విద్యుత్ ప్రేరణ కారణంగా, B పలక మీద A కి ఎదురుగా సమాన రుణావేశం, అంతే పరిమాణం కలిగిన +q ధనావేశం, B పలక రెండో వైపున ప్రేరితం అవుతుంది. (పటం 16.8 (ఎ)). B పైన ప్రేరితమైన రుణావేశం A పొటెన్షియల్‌ని తగ్గిస్తే, B పైన ప్రేరితమైన ధనావేశం A పొటెన్షియల్‌ని పెంచుతుంది. ఇప్పుడు B పలకను భూమికి సంధానం చేస్తే B పలకపై ప్రేరితమైన ధనావేశం తటస్థీకరింపబడి రద్దుకాగా, A కి ఎదురుగా B పై ప్రేరితమైన రుణావేశం మాత్రం A మీద ఉన్న ధనావేశం చేత ఆకర్షితం అవుతూ అట్లాగే ఉండి పోతుంది. ఇలాంటి సందర్భంలో B పలకపై మిగిలి ఉన్న రుణావేశం A యొక్క పొటెన్షియల్‌ను తగ్గించి, దాని కెపాసిటెన్స్‌ను పెంచుతుంది.



పటం 16.8 : కెపాసిటర్ పని చేసే విధానం లేక సూత్రం (a), (b)

ఒక తటస్థ వాహకానికి సమీపంగా మరొక ఆనావేశిత వాహకాన్ని తీసుకువచ్చి, ఈ అనావేశిత వాహకం యొక్క వెలుపలి ఉపరితలాన్ని భూమికి కలపడం ద్వారా మొదటి వాహకం యొక్క కెపాసిటెన్స్‌ని పెంచవచ్చు. ఇదే కెపాసిటర్ యొక్క మూలసూత్రం. హెచ్చు ఆవేశాలను నిలవ చేయుటకు కెపాసిటర్‌లను వాడతారు. విద్యుచ్ఛక్తిని నిలవచేయడానికి వాడే పరికరాలలో కెపాసిటర్‌లు ఉపయోగపడతాయి.

సమాంతర పలకల కెపాసిటర్



పటం 16.9 : సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ సూత్రం

కెపాసిటర్ రూపాలన్నింటిలోను అత్యంత సరళమైన సమాంతర పలకల కెపాసిటర్‌లో రెండు సమాంతర (వాహక) లోహపు పలకలుంటాయి. ఒక్కొక్క పలక వైశాల్యం A, రెండు పలకలను d దూరంలో ఉంచాలి. పలకల మధ్య గల ప్రదేశాన్ని గాలి, పేపరు, మైకా, గాజు మొదలగు పదార్థాలతో నింపవచ్చు. పటం 16.9లో చూపినట్లుగా ఈ పలకలను ఒక విద్యుత్‌ఘటానికి (battery) కలపాలి. కెపాసిటర్ పూర్తిగా ఆవేశితమైనపుడు పలకలు + q ఆవేశం, – q ఆవేశంను పొందాయనుకుందాం. ఈ ఆవేశాల వల్ల పలకల మధ్య ఏకరీతి (సమ) విద్యుత్ క్షేత్రం **E** నెలకొంటుంది. పలకల పరిమాణంతో పోల్చినపుడు d స్వల్పమైతే, అంచుల వద్ద కొద్దిగా విచలనం పొందిన విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ఉపేక్షింపవచ్చు.

ఏదైనా పలకలపై ఉపరితల ఆవేశ సాంద్రత σ అయితే, పలకల మధ్య విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 A}$$

మరియు పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా V = Ed.

కాబట్టి d దూరంలో వేరు చేయబడిన రెండు సమాంతర పలకల మధ్య ప్రదేశాన్ని గాలితో నింపినప్పుడు ఆ సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ యొక్క కెపాసిటెన్స్

$$C_0 = \frac{q}{V} = \frac{q}{\frac{qd}{\epsilon_0 A}} = \frac{\epsilon_0 A}{d} \qquad \dots (16.26)$$

దీన్ని బట్టి సమాంతర పలకల కెపాసిటెన్స్ పలకల వైశాల్యానికి అనులోమానుపాతంలోను, వాటి మధ్య గల దూరానికి విలోమానుపాతంలోను ఉంటుందని చెప్పవచ్చు. హెచ్చు కెపాసిటెన్స్ కావలెనంటే, పలకల వైశాల్యం ఎక్కువగా వాటి మధ్య దూరం తక్కువగా ఉండాలి.

కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గాలి లేదా శూన్యం కాకుండా రోధకాన్ని ఉంచినపుడు, సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ యొక్క కెపాసిటెన్స్

$$C = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{k\epsilon_0 A}{d}$$

ఇక్కడ $\in$ ను రోధక యానకం యొక్క పెర్మిటివిటీ అంటారు. సమాంతర పలకల కెపాసిటర్‌లో పలకల మధ్య ప్రదేశాన్ని రోధక యానకంతో నింపినపుడు దాని కెపాసిటెన్స్ గాలి లేదా శూన్యంతో నింపినపుడు గల కెపాసిటెన్స్‌కు K రెట్లు ఉంటుంది.

$$C = KC_0 \qquad \dots (16.27)$$

6.3.3. సాపేక్ష పెర్మిటివిటీ లేదా రోధక స్థిరాంకం (Relative permittivity or Dielectric constant)

ఆవేశాల మధ్య గల బలాలను లెక్కించి రోధక స్థిరాంకంను మనం నిర్వచించవచ్చు. కూలూంబ్ నియమం ప్రకారం. q_1, q_2 పరిమాణాలు గల రెండు ఆవేశాలు స్వేచ్ఛా అంతరాళంలో ఒకదాని ఒకటి r దూరంలో ఉన్నపుడు వాటి మధ్య ఉండే బల పరిమాణం.

$$F_v = \frac{1}{4\pi \in_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \dots (16.28)$$

ఇక్కడ $\in_0$ స్వేచ్ఛా అంతరాళం (గాలి లేక శూన్యం) పెర్మిటివిటి. ఈ ఆవేశాలు అంతే దూరంలో మరొక యానకంలో ఉన్నపుడు వాటి మధ్య ఉండే బలం

$$F_m = \frac{1}{4\pi \in} \frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \dots (16.29)$$

సమీకరణాలు (16.28), (16.29) నుంచి

$$\frac{F_v}{F_m} = \frac{\in}{\in_0} = \in_r \qquad \dots (16.30)$$

ఇక్కడ $\in_r$ (లేదా K) ను సాపేక్ష పెర్మిటివిటీ అంటారు. దీనిని యానకం రోధక స్థిరాంకం అని కూడ అంటారు. రోధక స్థిరాంకం యానకం పెర్మిటివిటీ $\in$ కి, శూన్య యానక పెర్మిటివిటీ $\in_0$ కి గల నిష్పత్తి అని గమనించండి. శూన్య యానకంలో రెండు ఆవేశాల మధ్యగల బలానికి, అవే ఆవేశాలు యానకంలో అంతే దూరంలో ఉన్నపుడు వాటి మధ్యగల బలానికి గల నిష్పత్తిని కూడ రోధక స్థిరాంకం అని మనం నిర్వచించవచ్చు.

రోధక స్థిరాంకంను ఈ విధంగా కూడ రాయవచ్చు.

$$K = \frac{\text{పలకల మధ్య రోధక యానకంతో గల కెపాసిటెన్స్}}{\text{పలకల మధ్య శూన్య యానకంతో కెపాసిటెన్స్}} = \frac{C_m}{C_0}$$

కాబట్టి $C_m = KC_0 \qquad \dots (16.31)$

లోహాలకు $K = \infty$, మైకాకు $K \approx 6$, కాగితంకు $K = 3.6$

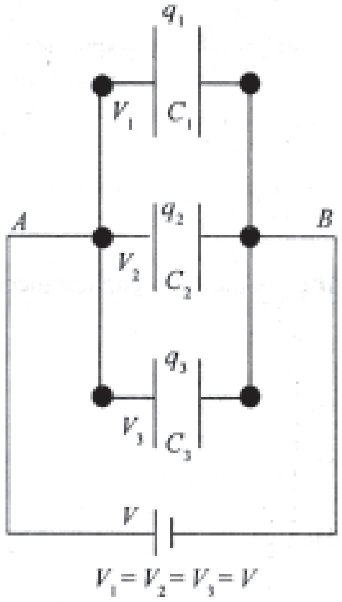
16.4 కెపాసిటర్ల సంధానం

విద్యుత్ మరియు ఎలక్ట్రానిక్ వలయాల యొక్క ముఖ్యమైన అంశాలు కెపాసిటర్లు. వేర్వేరు పనుల కొరకు వివిధ రకాలైన కెపాసిటెన్స్‌లు గల కెపాసిటర్లు మనకు కావలసి ఉంటుంది. ఒక్కోసారి సరైన విలువ గల కెపాసిటెన్స్ ఉండక పోవచ్చు. అటువంటి పరిస్థితులలో ఉన్న కెపాసిటర్‌లతో కావలసిన కెపాసిటెన్స్ విలువను (తక్కువ లేదా ఎక్కువ) రాబట్టడానికి కెపాసిటర్ల సంధానం మనకు ఉపయోగపడుతుంది. కెపాసిటర్లను సాధారణంగా రెండు పద్ధతులలో కలుపుతారు. ఒకటి శ్రేణి సంధానం రెండు సమాంతర సంధానం.

కెపాసిటర్ల శ్రేణీ సంధానం, సమాంతర సంధానం గురించి ఇపుడు తెలుసుకుందాం.

16.4.1. కెపాసిటర్ల సమాంతర సంధానం

సమాంతర సంధానంలో ప్రతి కెపాసిటర్‌లోని మొదటి పలకను ఒక బ్యాటరీ ధ్రువానికి, రెండవ పలకను బ్యాటరీ మరొక ధ్రువానికి పటం 16.10 లో చూపినట్లు కలుపుతారు. సంధానానికి అనువర్తించిన పొటెన్షియల్ తేడా V అనుకుందాం. కెపాసిటర్ల సమాంతర సంధానంలో ప్రతి ఒక్క కెపాసిటర్ పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడాకు ఒకే విలువ ఉంటుంది కాని ఆవేశం మాత్రం వేరు వేరు కెపాసిటర్లకు వేరు వేరు పరిమాణాలలో వితరణ చెంది ఉంటుంది.



పటం 16.10 : కెపాసిటర్ల సమాంతర సంధానం

కెపాసిటర్లపై ఏర్పడే విద్యుదావేశాలను q_1, q_2, q_3 అనుకుంటే

$$q_1 = C_1V$$
$$q_2 = C_2V$$
$$q_3 = C_3V \qquad ...(16.32)$$

సంధానం యొక్క అన్ని కెపాసిటర్ల మీద గల మొత్తం విద్యుదావేశం q అయితే

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$
$$= (C_1 + C_2 + C_3) V \text{ .... } (16.33)$$

కెపాసిటర్‌ల సమాంతర సంధానంలో తుల్య (ఫలిత) కెపాసిటెన్స్ C_p అనుకుంటే అపుడు

$$q = C_P V$$

పై సమీకరణాల నుంచి

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

$$\therefore C_P = C_1 + C_2 + C_3$$

n కెపాసిటర్లను సమాంతరంగా కలిపితే అపుడు ఫలిత కెపాసిటెన్స్

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots\ldots\ldots\ldots + C_n = \sum_{i=1}^{n} C_i \qquad \ldots\ldots (16.34)$$

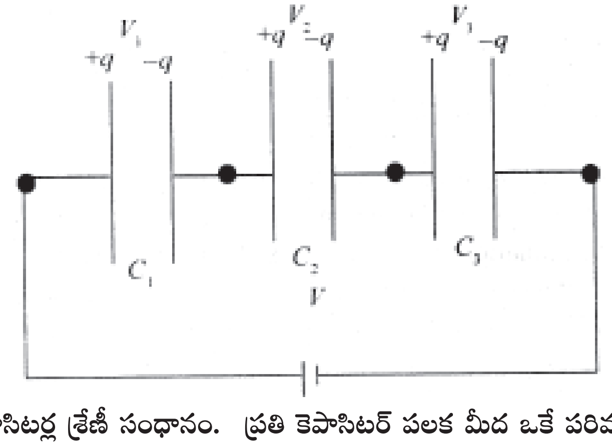
కాబట్టి తుల్య కెపాసిటెన్స్, సమాంతర సంధానంలోని కెపాసిటీల మొత్తానికి సమానం.

సమాంతర సంధానంలోని అన్ని కెపాసిటర్ల పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా ఒకే విలువను కలిగి ఉంటుంది. కాని వేరు వేరు కెపాసిటర్లకు ఆవేశం వేరు వేరు పరిమాణాలలో వితరణ చెంది ఉంటుందని గుర్తుంచుకోండి. ఆవేశ సంచయనం (ప్రోగు చేయుట) కు ఈ సంధానాన్ని వాడతారు.

16.4.2. కెపాసిటర్ల శ్రేణీ సంధానం

కెపాసిటర్ల శ్రేణీ సంధానంలో మొదటి కెపాసిటర్ యొక్క రెండవ పలకను రెండవ కెపాసిటర్ యొక్క మొదటి పలకకు, రెండవ కెపాసిటర్ యొక్క రెండవ పలకను మూడవ కెపాసిటర్ యొక్క మొదటి పలకకు .... ఈ విధంగా కలుపుకుంటూ పోతారు. చివరికి మొదటి కెపాసిటర్ యొక్క మొదటి పలకను, ఆఖరి కెపాసిటర్ యొక్క రెండవ పలకను ఒక బ్యాటరీ ధన, రుణ ధ్రువాలకు పటం 16.11లో చూపినట్లుగా కలుపుతారు. శ్రేణీ సంధానం చివరల మధ్య బ్యాటరీ వల్ల కలిగే పొటెన్షియల్ తేడా V. C_1 కెపాసిటర్‌లో మొదటి పలకకు +q ఆవేశాన్ని ఇస్తే ప్రేరణ వల్ల మిగిలిన కెపాసిటర్లలో q ఆవేశాలు పటం 16.11లో చూపినట్లు ఏర్పడతాయి. కాబట్టి శ్రేణీ సంధానంలో ప్రతి కెపాసిటర్ పలకల మీద ఒకే పరిమాణంలో ఆవేశం q ఉంటుంది. కాని వేరు వేరు కెపాసిటర్ల పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడాలు వేరు వేరుగా ఉంటాయి. శ్రేణిలో ఉన్న మూడు కెపాసిటర్ల పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడాలు వరసగా V_1, V_2, V_3 అందాం. అపుడు

$$V_1 = \frac{q}{C_1}, V_2 = \frac{q_2}{C_2}, V_3 = \frac{q_3}{C_3} \qquad \ldots(16.35)$$



పటం 16.11 : కెపాసిటర్ల శ్రేణీ సంధానం. ప్రతి కెపాసిటర్ పలక మీద ఒకే పరిమాణంలో ఆవేశం ఉంటుంది.

కెపాసిటర్లను శ్రేణిలో కలిపినపుడు తుల్య (ఫలిత) కెపాసిటెన్స్ C_S అనుకుంటే అపుడు

$$V = \frac{q}{C_S}$$

మరియు $V = V_1 + V_2 + V_3$ ...(16.36)

కాబట్టి $\frac{q}{C_S} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$

లేదా $\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$ ...(16.37)

n కెపాసిటర్లను శ్రేణిలో కలిపినప్పుడు తుల్య లేదా ఫలిత కెపాసిటెన్స్ C_S అయితే

$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + ... + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$$

కాబట్టి శ్రేణి సంధానంలో తుల్య కెపాసిటెన్స్ ఉత్క్రమం, శ్రేణిలోని కెపాసిటెన్స్ ఉత్క్రమాల మొత్తానికి సమానం. పై సమీకరణం నుంచి కెపాసిటర్‌లను శ్రేణీలో కలిపినపుడు తుల్య కెపాసిటెన్స్ విలువ శ్రేణిలోని కనిష్ఠ కెపాసిటెన్స్ విలువ కంటే తక్కువగా ఉంటుందని మీరు అంగీకరిస్తారు.

కెపాసిటర్ల శ్రేణీ సంధానంలో ప్రతి కెపాసిటర్ మీద ఒకే పరిమాణంలో ఆవేశం ఉంటుందని, కాని కెపాసిటర్ల పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడాలు వాటి కెపాసిటెన్స్‌కు విలోమానుపాతంలో ఉంటాయని గమనించండి. అంటే శ్రేణిలో కనిష్ఠ కెపాసిటెన్స్ విలువ గల కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గరిష్ఠ పొటెన్షియల్ తేడా ఉంటుందని అర్థం.

ఉదాహరణ 16.3 : సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గాలి ఉన్నప్పుడు దాని కెపాసిటీ $22.0\mu F$ పలకల మధ్య దూరం d. కెపాసిటర్ పలకల మధ్య $\frac{d}{2}$ మందం గల రోధక పలకను ఉంచారు. రోధక స్థిరాంకం K= 5 అయితే ప్రభావక కెపాసిటెన్స్ ఎంత?

సాధన: కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గాలి ఉన్నపుడు కెపాసిటెన్స్

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d} = 22.0\mu F$$

కొత్త వ్యవస్థను రెండు కెపాసిటర్ల శ్రేణీ సంధానంగా అనుకుంటే

$$C_1 = \frac{K\epsilon_0 A}{\frac{d}{2}} = \frac{2K\epsilon_0 A}{d} = 2KC_0$$

మరియు $C_2 = \frac{\epsilon_0 A}{\frac{d}{2}} = \frac{2\epsilon_0 A}{2} = 2C_0$

ప్రభావక కెపాసిటెన్స్ Cని ఈ విధంగా రాయవచ్చు.

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2} \text{ లేదా } C=\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}$$

$$=\frac{2KC_0\times 2C_0}{2KC_0+2C_0}$$

$$=\frac{2kC_0}{K+1}$$

$$=\frac{2\times 5\times 22\times 10^{-16}F}{(5+1)}=\frac{10\times 22\times 10^{-6}}{6}F$$

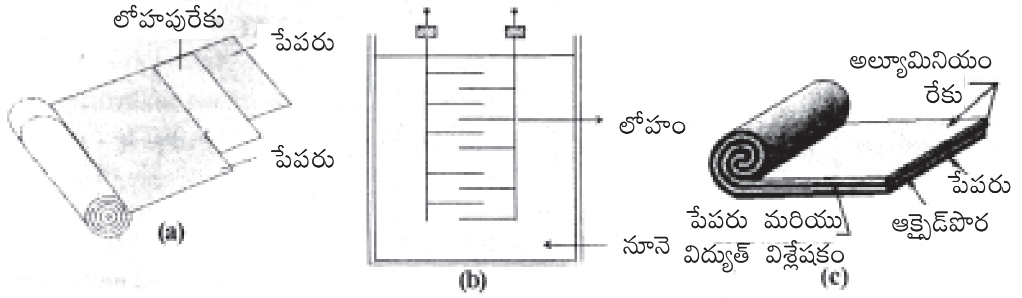
$$=36.7\mu F$$

కెపాసిటర్ల రకాలు

వేరు వేరు అనువర్తనాల కోసం వేరు వేరు రకాల కెపాసిటర్లను వాడతాం. అయితే వ్యాపార పరంగా మూడు రకాలైన కెపాసిటర్లను ఎక్కువగా వాడతాం. వాటిని పటం 16.12లో చూపించాం. కొన్ని ప్రత్యేక రకం కెపాసిటర్ల గురించి ఈ కింద వివరించడం జరిగింది.

1) **పేపర్ కెపాసిటర్ :** పేపర్ కెపాసిటర్‌లో నూనెలో గాని, మైనంలో గాని తడిపిన పేపరును రోధకంగా వాడతారు. ఈ పేపరును తగిన పరిమాణంలో తీసుకోవాలి. అదే పరిమాణం కలిగిన లోహపు రేకులు తీసుకుని ఈ పేపరుని లోహపు రేకుల మధ్య ఉంచుతారు. లోహపు రేకులు కెపాసిటర్ పలకలుగా పనిచేస్తాయి. అనేక లోహపు రేకులను మైనంలో తడిపిన కాగితాలను ఏకాంతరంగా అమర్చి పటం 16.12(ఎ) లో మాదిరిగా రూపొందిస్తారు. ఈ మొత్తం అమరికను చట్టగా చుట్టి ఒక స్థూపంలో ఉంచి మూసివేస్తారు. ఈ రకం కెపాసిటర్లు తక్కువ స్థలాన్ని ఆక్రమిస్తాయి. వీటిని ప్రయోగశాలలోను, రేడియో వలయాలలోను విరివిగా వాడతారు.

2) **వాహక పలక కెపాసిటర్లు (చర కెపాసిటర్లు) :** ఈ రకం కెపాసిటర్‌లో పలకల మధ్య ఉండే ప్రభావక వైశాల్యాన్ని మార్చడం ద్వారా కెపాసిటెన్స్‌ని మార్చవచ్చు. పటం 16.12(బి) లో చూపినట్లు రెండు లోహపు కడ్డీలకు ఏకాంతరంగా అనేక లోహ పలకలను కలుపుతారు. మొత్తం పలకల వ్యవస్థను సిలికాన్ నూనెలో ముంచుతారు. పలకల మధ్య సిలికాన్ నూనె రోధక యానకం లాగా పనిచేస్తుంది. హెచ్చు వోల్టేజి కెపాసిటర్లు ఈ రకానికి చెందినవే. చర కెపాసిటర్‌లో పలకల జతలు రెండు ఉంటాయి. ఒక పలకల జత కదలకుండా స్థిరంగా ఉంటుంది. రెండవ పలకల జతను తిప్పవచ్చు. ఈ పలకల జతను తిప్పినపుడు పలకల మధ్య ఉమ్మడిగా ఉండే ప్రభావక వైశాల్యం మారుతుంది. పర్యవసానంగా కెపాసిటెన్స్ మారుతుంది. రేడియో టీవీలలోని గ్రాహకాలలో అమర్చిన శృతి వలయాలలో ఈ చర కెపాసిటర్లను విరివిగా వాడతారు. వివిధ రేడియో కేంద్రాలను శృతి చేయడంలో ఈ చర కెపాసిటర్లు సహాయపడతాయి.



పటం 16.12: పలు రకాల కెపాసిటర్లు : a) పేపరు కెపాసిటర్ b) చర కెపాసిటర్ c) విద్యుద్విశ్లేషక కెపాసిటర్

3) **విద్యుద్విశ్లేషక కెపాసిటర్ :** విద్యుద్విశ్లేషక కెపాసిటర్‌ను పటం 16.12(సి)లో చూపించాం. ఒక లోహపు రేకును పెరుగుతున్న వ్యాసం గల స్థూపాకారంలో చుట్టి, ఆ అమరికను ద్రావణ రూపంలో ఉన్న ఒక విద్యుద్విశ్లేషకంలో ముంచాలి. ద్రావణంలోని అయానుల కారణంగా ద్రావణం వహనం చెందుతుంది. లోహపు రేకుకు, విద్యుద్విశ్లేకంకు మధ్య వోల్టేజిని అనువర్తించాలి. విద్యుద్విశ్లేషకం వహన గుణం కారణంగా, ఒక అతి పలుచని ఆక్సైడ్ పొర రేకుపై ఏర్పడుతుంది. ఈ పొర రోధక యానకంలా పని చేస్తుంది. రోధకం మందం చాలా తక్కువ అయినందు వల్ల ఈ రకం కెపాసిటర్ కెపాసిటెన్స్ చాలా ఎక్కువ. ఒక వలయంలో ఈ కెపాసిటర్‌ను కలిపేటప్పుడు ఆనోడ్ (A), కాథోడ్ (C) లను బ్యాటరీకి సక్రమంగా కలపాలి. లేకపోతే, ఆక్సైడ్ పొర బద్దలయిపోతుంది. (కెపాసిటర్ వహనం చెందడం మొదలు పెడుతుంది) ఈ కారణం వల్లనే, విద్యుత్ విశ్లేషక కెపాసిటర్‌లలో పైన ఆనోడ్‌ని, కాథోడ్‌ని విడివిడిగా స్పష్టంగా గుర్తిస్తారు. తక్కువ వోల్టేజి వద్ద అత్యధికంగా ఆవేశాన్ని నిలవ చేయడానికి ఈ రకం కెపాసిటర్లను వాడతారు.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 16.2

1. కెపాసిటెన్స్ పరిమాణాలు రాయండి.

....

2. ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రం **E** లో, d దూరంతో వేరుచేయబడిన రెండు బిందువుల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా ఎంత?

....

3. కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గాలి ఉన్నపుడు గల రాశులు $C_0, E_0. V_0$. ఇవి అదే కెపాసిటర్ పలకల మధ్య రోధక స్థిరాంకం K కలిగిన యానకం ఉన్నపుడు గల రాశులు C, E, V లకు ఏ విధమైన సంబంధం కలిగి ఉన్నాయి.

....

4. ఒక సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ పలకల మధ్య దూరం 50 సెం.మీ. మరియు దాని కెపాసిటెన్స్ 1.0μF పలకల మధ్య గాలి నింపినప్పుడు పలకల వైశాల్యాన్ని కనుక్కొండి.

....

16.4.3. కెపాసిటర్‌లో నిల్వ ఉండే శక్తి

కెపాసిటర్‌ను ఆవేశ పూరితం చేయటం అనగా తక్కువ పొటెన్షియల్ గల పలకల నుండి ఆవేశాన్ని ఎక్కువ పొటెన్షియల్ గల మరో పలకకు బదిలీ చేయటమే. రెండు సమాన విజాతి ఆవేశాలను వేరు చేయటానికి బాహ్య కారకం (బ్యాటరీ) పని చేయవలసి ఉంటుంది. ఈ పని కెపాసిటర్‌లో స్థిర విద్యుత్ స్థితి శక్తిగా నిలవ ఉంటుది. బ్యాటరీ తనలోని రసాయనాల శక్తిని ఖర్చు చేసి ఈ విధమైన ఆవేశ బదిలీకి కావలసిన పనిని చేస్తుంది. కెపాసిటర్‌కు ఉత్సర్గపరిస్తే ఈ శక్తిని ఉష్ణ శక్తిగా తిరిగి పొందవచ్చు.

అనావేశితంగా ఉన్న ఒక కెపాసిటర్‌ను తీసుకుని బ్యాటరీకి కలిపి ఆవేశితం చేద్దాం. అపుడు కెపాసిటర్ మీద చేరిన ఆవేశం తుది విలువ q అనుకుందాం. కెపాసిటర్ పలకల మధ్య తొలి పొటెన్షియల్ తేడా సున్నా. కెపాసిటర్ ఆవేశితం అయిన తరువాత పలకల మధ్య తుది పొటెన్షియల్ తేడా V.

కెపాసిటర్‌ను ఆవేశితం చేసే ప్రక్రియలో, సగటు పొటెన్షియల్ తేడా

$$\frac{0+V}{2} = \frac{V}{2}$$

$$= \frac{q}{2C}$$

ఆవేశితం అయ్యేప్పుడూ జరిగిన పని, $W =$ ఆవేశం $\times$ పొటెన్షియల్ తేడా

$$= q \times \frac{q}{2C} = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$$

ఇదే కెపాసిటర్‌లో నిల్వ ఉండే శక్తి U.

కాబట్టి స్థితిశక్తి $U = \frac{1}{2}qV = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}CV^2$ ...(16.38)

విద్యుత్ క్షేత్రంలో పలకల మధ్య ఈ శక్తి నిలవ ఉంటుంది. కెపాసిటెన్స్‌కు నిల్వ ఉండే శక్తి అనులోమానుపాతంలో ఉంది. పొటెన్షియల్ తేడా పెరిగితే ఈ శక్తి కూడ పెరుగుతుంది. కాని ప్రతి కెపాసిటర్ కొంత పరిమితి వరకే శక్తిని నిల్వ చేసుకుంటుంది.

ఆవేశితమైన కెపాసిటర్ల పలకలను ముట్టుకుంటే అపాయం కలుగుతుంది. మన శరీరం ద్వారా కెపాసిటర్ ఉత్సర్గమైన ఫలితంగా విద్యుత్ షాక్ ఏర్పడుతుంది. హెచ్చు కెపాసిటెన్స్ విలువ గల ఆవేశిత కెపాసిటర్ల వల్ల ఏర్పడే షాకులు చాలా అపాయకరమైనవి.

16.5 రోధకాలు మరియు రోధక ధ్రువణం

స్వేచ్ఛాలక్ట్రాన్లు లేని బంధకాల పదార్థాలే రోధకాలుగాపని చేస్తాయని మనకు తెలుసు. రోధకాలలో విద్యుత్ సులువుగా ప్రవహించదు. అయితే బాహ్యంగా విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ప్రయోగించినపుడు. దాని ప్రభావం రోధకం మీద ఉండి తీరుతుంది. రోధకాలు రెండు రకాలు. అవి అధ్రువిత రోధకాలు, ధ్రవిత రోధకాలు, వీటిని గురించి ఇపుడు తెలుసుకుందాం.

(ఎ) అధ్రువిత రోధకాలు

పదార్థాలన్నీ కూడా అణువులతో ఏర్పడతాయి. అధ్రువిత రోధకాల అణువులలో, బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం ఏదీ లేనప్పుడు ధన విద్యుదావేశ కేంద్రం రుణ విద్యుదావేశ కేంద్రం ఒకే చోట ఏకీభవిస్తాయి. సాధారణ స్థితిలో ప్రతి అణువు, ఏ విధమైన విద్యుత్ ద్విధ్రువ భామకంను కల్గివుండదు సాధారణంగా, ఈ అణువులలోని విద్యుదావేశ వితరణలు సౌష్ఠవంగా ఉంటాయి. ఉదాహణకు నైట్రోజను. ఆక్సిజన్, బెజిన్, మీథేన్, CO_2 మొదలగునవి

(బి) ధ్రువిత రోధకాలు

ఈ రోధక అణువులు అసౌష్ఠవ ఆకారం కల్గి వుంటాయి. ఉదాహరణకు నీరు, Hcl, NH_3 మొదలగునవి. ధ్రువిత రోధక అణువులలో ధన విద్యుదావేశ, రుణ విద్యుదావేశ కేంద్రాలు ఒక నిర్దిష్ట దూరం ఎడంగా ఉంటాయి మరియు కొంత శాశ్వత విద్యుత్ ద్విధ్రువ భ్రామకాన్ని కల్గి ఉంటాయి.

అధ్రువిత రోధకాన్ని ఒక బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం (**E**) లో ఉంచినపుడు, ప్రతి అణువులోని ధన విద్యుదావేశ కేంద్రం క్షేత్ర దిశలోను, రుణ విద్యుదావేశ కేంద్రం క్షేత్ర దిశకు వ్యతిరేకంగాను స్థానభ్రంశం చెందుతాయి. ఈ విధంగా బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం వల్ల అధ్రువిత రోధకంలోని అణువులలో ఉండే ధన రుణ ఆవేశ కేంద్రాలు వేరు పడతాయి. అపుడు రోధక పదార్థం ధ్రువణం చెందింది అంటాం. రోధకంలోని ప్రతి అణువులోని ధన, రుణ ఆవేశ కేంద్రాలు విడివడటం వల్ల ప్రతి అణువు ఒక విద్యుత్ ద్విధ్రువంగా మార్పుచెందుతుంది. ఆవేశ కేంద్రాలను దూరంగా లాగే, బాహ్య విద్యుత్ క్షేత్రం వల్ల కలిగే బలం, ఆవేశ కేంద్రాలు మధ్య గల ఆకర్ష బలాన్ని సంతులనం చేస్తుంది. ప్రతి అణువు ధ్రువణం చెందింది అంటారు. అణు ద్విధ్రువం యొక్క ద్విధ్రువ భామకం p అయితే

$$\mathbf{p} = \alpha \in_0 \mathbf{E}$$

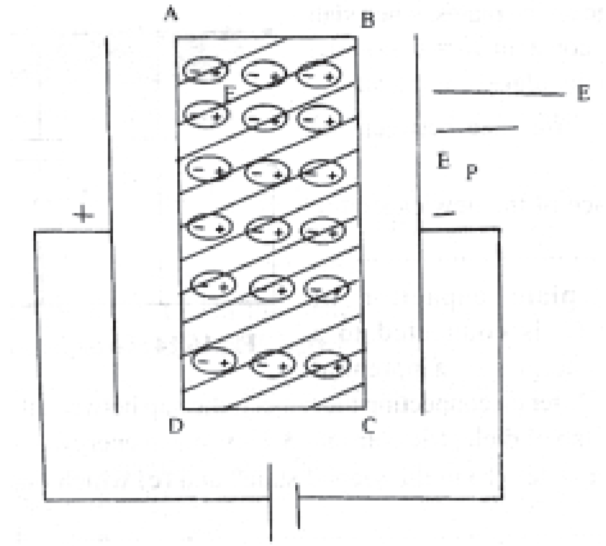
ఇక్కడ α అనుపాత స్థిరాంకం. దీన్ని పరమాణువు / అణువు యొక్క ధ్రువణ శీలత అంటారు.

ఇపుడు, ఒక అధ్రువిత రోధక పలక ABCD ని ఒక సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ యొక్క పలకల మధ్య ఉంచామనుకుందాం. కెపాసిటర్ పలకల మధ్య ఏర్పడిన విద్యుత్ క్షత్రం **E.** పటం 16.13 లో చూపినట్లుగా రోధకంలోని ప్రతి అణువు ధ్రువణం చెందుతుంది. పర్యవసానంగా రోధకం యొక్క రెండు ఉపరితలాల వద్ద ప్రేరిత ఆవేశాలు మిగిలి ఉంటాయి. అంటే, రోధకం మొత్తం మీద ధ్రువణం చెందింది. రోధక పలక ఎడమ చివర రుణ విద్యుదావేశం ప్రోగయి ఉంటుంది. కుడి చివర ధన విద్యుదావేశం ప్రోగయి ఉంటుంది. ఈ ప్రేరిత అవేశాల కారణంగా, రోధకం ఉన్న ప్రదేశంలో ఒక ప్రేరిత విద్యుత్ క్షేత్రం $\mathbf{E}_P$ ఏర్పడుతుంది. దీని దిశ, పలకల మీద

ఆవేశాల వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రం **E** కి వ్యతిరేకంగా ఉంటుంది. కాబట్టి అధ్రువిత రోధకం ఉండడం వల్ల పలకల మధ్య విద్యుత్ క్షేత్రం తగ్గుతుంది, రోధకం లో ఫలిత విద్యుత్ క్షేత్రం

$$\mathbf{E}_{\text{ఫలితం}} = \mathbf{E} - \mathbf{E}_P \qquad ...(16.39)$$

$V = Ed$ అయినందువల్ల కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గల పొటెన్షియల్ తేడా తగ్గుతుంది, $C = \frac{q}{V}$ అయినందున కెపాసిటర్ పలకల కెపాసిటెన్స్ విలువ పెరుగుతుంది.



పటం 16.13 : ఆవేశిత కెపాసిటర్ పలకల మధ్య రోధక పలక

స్థిర విద్యుత్ అనువర్తనాలు

సిర్థ విద్యుత్ అనేక విజ్ఞాన సాంకేతిక రంగాలలో ఉపయోగపడడమే కాకుండా విద్యుదయస్కాంత సిద్ధాంతాన్ని వివరించడానికి కూడా తోడ్పడుతుంది.

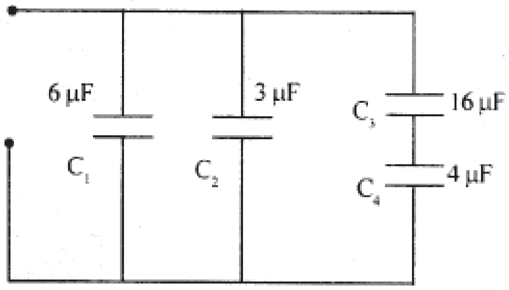
- విద్యుద్వలయాలలో పలుచోట్ల కెపాసిటర్లను ఉపయోగిస్తారు. విద్యుచ్ఛక్తి ప్రసారంలో ఇవి ముఖ్య భూమికను పోషిస్తాయి.
- ఆవేశాన్ని శోధించేందుకు వాడే పరికరం గోల్డ్ లీఫ్ ఎలక్ట్రోస్కోప్ (Gold leaf electroscope) విశ్వ కిరణాల మీద పరిశోధనలు చేయడానికి దారి చూపింది.
- బెంజామిన్ ఫ్లాంక్లిన్ రూపొందించిన తటిత్ వాహకం ఇప్పటికి కూడా ఉరుములు, మెరుపుల నుండి ఆకాశహర్మ్యాలను కాపాడుతుంది.
- స్థిర విద్యుత్ నియమం ఆధారంగానే ఫోటో కాపియర్లు పనిచేస్తాయి.

పాఠంలో ప్రశ్నలు 16.3

1. C_1=12mF మరియు C_2=4mF అనే రెండు కెపాసిటర్లను సంధానం చేశారు, ఈ కెపాసిటర్లను ఎ) శ్రేణిలో బి) సమాంతరంగా సంధానం చేసినపుడు తుల్య కెపాసిటెన్స్‌ను కనుక్కోండి.

....

2. పటం 16.14 లో చూపినట్లు నాలుగు కెపాసిటర్లను కలిపారు. వ్యవస్థ తుల్య కెపాసిటెన్స్ కనుక్కోండి.



పటం 16.14 : కెపాసిటర్లు సంధానం

....

3. పలకల మధ్య గాలి గల కెపాసిటర్ C=8mF ను 12V బ్యాటరీకి కలిపారు.

ఎ) కెపాసిటర్ ఆవేశితమైనపుడు గల ఆవేశం Q ఎంత?

....

బి) పలకల మధ్యలో స్థిరాంకం K=5 గల రోధక పలకను వుంచినపుడు కెపాసిటర్ పలకలపై గల ఆవేశం ఎంత?

....

సి) పలకల మధ్యగల పొటెన్షియల్ తేడా ఎంత?

....

డి) రోధక పలకను ఉంచినపుడు కెపాసిటెన్స్ ఎంత?

....

4. C_0 కెపాసిటెన్స్ గల ఒక సమాంతర పలకల కెపాసిటర్‌ను బ్యాటరీకి కలిపి ఆవేశితం చేసిన పొటెన్షియల్ తేడా V_0. బ్యాటరీని తీసి, పలకల మధ్య K రోధక స్థిరాంకం గల పలకను ఉంచారు.

ఎ) మొదటి సందర్భములో కెపాసిటర్‌లో నిలవ ఉన్న శక్తి కనుక్కోండి.

....

బి) రెండవ సందర్భములో కెపాసిటర్‌లో నిలవ వున్న శక్తి కనుక్కోండి.

....

సి) ఏ సందర్భములో శక్తి విలువ ఎక్కువగా ఉంటుంది. ఎందుకుంటుంది.

....

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- ప్రమాణ ఆవేశంను అనంత దూరం నుంచి విద్యుత్ క్షేత్రంలో వున్న ఒక బిందువుకు తీసుకరావడానికి విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని వ్యతిరేకిస్తూ చేయవలసిన పనియే ఆ బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్.
- విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఆవేశాన్ని ఒక బిందువు నుంచి మరోక బిందువుకు బదిలీ చేసినపుడు జరిగిన పని పథం మీద ఆధారపడదు.
- ఒక కూలూంబ్ శోధక విద్యుదావేశాన్ని అనంత దూరం నుంచి, విద్యుత్ క్షేత్రానికి వ్యతిరేకంగా ఒక బిందువు వద్దకు తీసుకురావడానికి చేయవలసినిన పని ఒక జౌల్ అయితే, ఆ బిందువు వద్ద పొటెన్షియల్ ఒక వోల్టు అంటారు.
- డైపోల్ మధ్య లంబరేఖపైన ప్రతి బిందువు వద్ద డైపోల్ వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ పొటెన్షియల్ సున్నా
- సమ పొటెన్షియల్ తలంలో, ప్రతి బిందువు సమానమైన పొటెన్షియల్‌ను కలిగి ఉంటుంది.
- విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఏదైన ఒక బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రత ఆ బిందువు వద్ద విద్యుత్ పొటెన్షియల్ యొక్క రుణ ప్రవణతకు సమానం
- అంతరాళం లోని ఒక ప్రాంతాన్ని, విద్యుత్ క్షేత్రాల నుంచి పరి రక్షించడమనే దృగ్విషయమే, స్థిర విద్యుత్ పరిరక్షణ ప్రక్రియ.
- వాహకం కెపాసిటెన్స్ వాహకం పరిమాణం, ఆకారం మరియు యానక స్వభావం పైన ఆధారపడి ఉంటుంది.
- ఒక కెపాసిటర్ పలకల మధ్య ప్రదేశంలో రోధకం నింపడం వల్ల దాని కెపాసిటిన్స్ పలకల మధ్య గాలి లేదా శూన్యం వున్నపుడు గల కెపాసిటెన్స్‌కు K రెట్లు ఉంటుంది.
- రోధకంతో కెపాసిటర్ యొక్క కెపాసిటెన్స్ కు, గాలి లేదా శూన్యంతో కెపాసిటర్ యొక్క కెపాసిటెన్స్ కు గల నిష్పత్తినే సాపేక్ష పెర్మిటివిటి అంటారు.
- కెపాసిటర్‌లను శ్రేణిలో కలిపినపుడు తుల్య కెపాటిసిటెన్స్ విలువ శ్రేణిలోని కనిష్ట కెపాసిటెన్స్ కంటే తక్కువ విలువ కలిగి ఉంటుంది.
- కెపాసిటర్‌లను సమాంతరంగా కలిపినపుడు తుల్య కెపాసిటెన్స్, సమాంతర సంధానంలోని కెపాసిటెన్స్ ల మొత్తానికి సమానం.
- కెపాసిటర్ పలకల మధ్య అధ్రువిత రోధకం ఉండడం వల్ల, పలకల మధ్య విద్యుత్ క్షేత్రం తగ్గుతుంది.

ముగింపు అభ్యాసం

1. బిందు ఆవేశం $q = 20\ \mu C$ నుంచి 30cm దూరంలో ఉన్న బిందువు P వద్ద పొటెన్షియల్ ను కనుక్కోండి.

2. ఒక్కొక్కటి 200 μC పరిమాణం గల మూడు బిందు ఆవేశాలు q_1, q_2, q_3 లను సమ త్రిభుజం యొక్క శీర్షాలు A, B, C ల వద్ద వరసగా వుంచారు. త్రిభుజ భుజం పొడవు 10cm అయిన వ్యవస్థ యొక్క స్థితి శక్తిని కనుక్కోండి.

3. 3mm దూరంలో వున్న కెపాసిటర్ పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా 12.0V. పలకల మధ్య గల క్షేత్ర పరిమాణం E ను లెక్కించండి.

4. +e, -e ఆవేశాలు గల రెండు అయానులు 4.0×10^{-10}m ఎడంగా వున్నాయి. వ్యవస్థ యొక్క స్థితి శక్తిని కనుక్కోండి.

5. సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ పలకలు A, B లు 15 V పొటెన్షియల్ తేడా కలిగి ఉన్నాయి. ఒక ప్రోటానును ($m = 1.67 \times 10^{-27}$kg) ధన పలక A నుంచి B కి జరిపిన, ప్రోటాను వేగం B పలక వద్ద ఎంత?

6. మితుల పరంగా Vq మరియు $1/2mv^2$ రాశులు సమానం అని చూపండి.

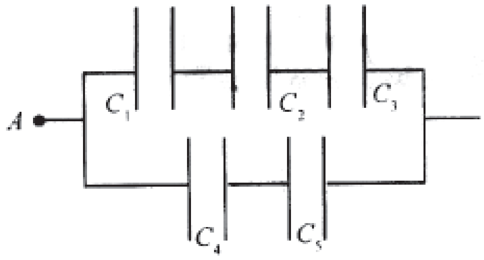
7. ఏ షరతు వద్ద, సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ లో పలకల మధ్య విద్యుత్ క్షేత్రం ఏకరీతిగా ఉంటుంది.

8. r వ్యాసార్ధం గల లోహపు గోళం +q ఆవేశాన్ని కలిగి వుంది. గోళం వ్యాసం ఒక చివర నుండి మరొక చివరకు శోధనావేశాన్ని జరపటానికి చేయవలసిన పనిని కనుక్కోండి.

9. సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ లో పలకల మధ్య గాలి వున్నపుడు, దాని కెపాసిటెన్స్ C_0. దీని పొటెన్షియల్ V_0 అయ్యే వరకు ఆవేశితం చేస్తే ఒక పలక పై గల ఆవేశం $+q_0$. పలకల మధ్య దూరం d. పలకల మధ్య ప్రదేశాన్ని రోధక స్థిరాంకం K=3 గల రోధకంతో నింపినపుడు ఈ కింది వాటిలో ఏ రాశులు మారుతాయి మరియు ఎందుకు మారతాయి.

   i) కెపాసిటెన్స్ ii) ఆవేశం iii) పొటెన్షియల్ తేడా iv) క్షేత్ర సాంద్రత

10. ఈ కింది పటం లోని కెపాసిటర్ల ను పరీక్షించండి. A, B ల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా 16V అయిన



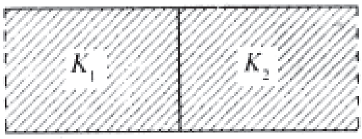
   a) A, B ల మధ్య ఫలిత కెపాసిటెన్స్‌ను,

   b) ప్రతి కెపాసిటర్ మీద గల ఆవేశం ను

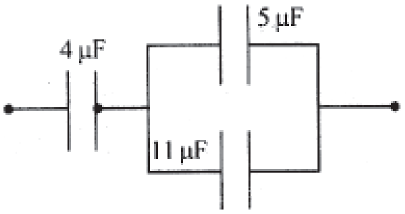
c) ప్రతి కెపాసిటర్ మధ్య గల పొటెన్షియల్ తేడాను కనుక్కోండి.

ఇక్కడ $C_1 = 2\ \mu F$, $C_2 = 4\ \mu F$, $C_3 = 8\ \mu F$, $C_4 = 3\ \mu F$, $C_5 = 3\ \mu F$

11. కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గాలి వున్నపుడు దాని విలువ $8\ \mu F$. సర్వసమాన పరిమాణం గల రెండు రోధకాలను పలకల మధ్య పటంలో చూపినట్లుగా ఉంచారు. రోధక స్థిరాంకాలు $K_1 = 3.0$, $K_2 = 6.0$. కొత్త కెపాసిటెన్స్ విలువను లెక్కించండి.



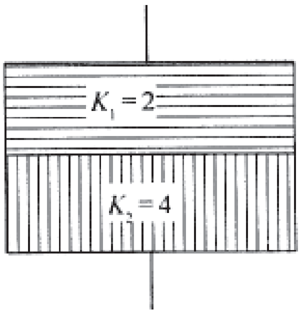
12. ఈ కింది వ్యవస్థ యొక్క తుల్య కెపాసిటెన్స్ ను కనుక్కోండి.



13. $3.0\,\mu F$ కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గాలి వుంది. దీన్ని 12.0V వరకు ఆవేశితం చేశారు. తరువాత రోధక స్థిరాంకం K=7 గల రోధకాన్ని పలకల మధ్య ఉంచారు. ఈ రెండు వ్యవస్థలలో నిల్వ వున్న శక్తుల నిష్పత్తిని కనుక్కోండి.

14. ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రం $E = 2.0 \times 10^4 NC^{-1}$ లో $p = 3.5 \times 10^{-15}$c-m డైపోల్ భ్రామకం గల ఒక డైపోల్ ను ఉంచారు. క్షేత్రం తో డైపోల్ 60^0 ల కోణం చేసినపుడు a) డైపోల్ యొక్క స్థితి శక్తిని, b) డైపోల్ మీద గల బల భ్రామకం(టార్క్)ను కనుగొనండి.

15. సమాంతర పలకల కెపాసిటర్ పలకల మధ్య గాలి వున్నపుడు కెపాసిటెన్స్ $12\,\mu F$. పలకల మధ్య దూరం 8mm. గాలి వున్న ప్రదేశాన్ని రెండు సమాన పరిమాణం గల రోధక పలకలతో నింపినపుడు, కొత్త కెపాసిటెన్స్ విలువను లెక్కించండి.



పాఠంలోని ప్రశ్నలకు జవాబులు

16.1

1. $r(r > R)$ వద్ద పొటెన్షియల్, $V = \frac{1}{4\pi \in_0} \frac{q}{r}$

2. బిందు ఆవేశం చుట్టూ వున్న క్షేత్రం, గోళాకార సౌష్ఠవాన్ని కల్గి ఉంటుంది. కాబట్టి గోళ తలం పై ఉన్న ప్రతి బిందువు మీద సమపొటెన్షియల్ ఉంటుంది. సమపొటెన్షియల్ తలం పై ఆవేశాన్ని జరపటానికి చేయవలసిన పని సున్నా అవుతుంది.

3. $E = -\frac{dV}{dr}$

   ఇక్కడ V స్థిరం కాబట్టి, $E = 0$

   ఇదే ఫలితాన్ని సమీకరణం 16.22 నుంచి మనం పొందవచ్చు.

   $$E = \frac{V_A - V_B}{d}$$

   ఇక్కడ $V_A=V_B$, కాబట్టి $E=0$

4. ఖచ్చితంగా కాదు, E=0 అయినపుడు, పొటెన్షియల్ స్థిరంగా అయినా లేదా శూన్యం అయినా అవుతుంది.

5. రెండు సమపొటెన్షియల్ గల తలాలు ఖండించుకోవు. ఒక వేళ ఖండించుకుంటే, ఖండన బిందువు వద్ద క్షేత్ర దిశలను సూచించే రెండు లంబాలను మనం గీయవచ్చు.

16.2

1. $C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{\text{జరిగిన పని}}{\text{ఆవేశం}}} = \frac{Q \times Q}{\text{జరిగిన పని}} = \frac{Q^2}{N - m}$

   మూల ప్రమాణం $A = \frac{Q}{s}$

   $Q^2 = A^2 s^2$ మరియు న్యూటన్ = ద్రవ్యరాశి × త్వరణం $= kg\ \frac{m}{s^2}$

కెపాసిటెన్స్ $= \frac{Q^2}{N.m} = \frac{A^2s^2}{kg\frac{m^2}{s^2}}$

$$= \frac{A^2s^4}{kg\,m^2} = A^2s^4(kg\ m^2)^{-1}$$

2. కెపాసిటర్ లో పలకల మధ్య E ఏకరీతిగా ఉంటుంది. పలకల మధ్య పొటెన్షియల్ తేడా

$$V_A - V_B = E \times d$$

3. గాలి లేదా శూన్యం గల కెపాసిటర్ కు C_0, E_0, V_0 మరియు పలకల మధ్య రోధకం కల కెపాసిటర్ కు C, E, V. అపుడు

$$K = \frac{C}{C_0}, K = \frac{V_0}{V}, K = \frac{E_0}{E}$$

4. $C = 1.0\mu F = 1.0 \times 10^{-6}F$

$d = 50\ cm = 0.5m$

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

$\therefore A = \frac{Cd}{\epsilon_0}$ $\quad \epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ కాబట్టి

$$A = \frac{1.0 \times 10^{-6} \times 0.5}{8.85 \times 10^{-12}}$$

$$= \frac{5 \times 10^{-7}}{8.85 \times 10^{-12}} = 0.56 \text{ x } 10^5 m^2$$

16.3

1. a) 3mF b) 16mF 2. 12.2μF

3. a) 96 mC b) 0.480 C c) 12V d) 40mF

4. a) $\frac{1}{2}C_0V_0^2$ b) $\frac{1}{2}\frac{(C_0V_0)^2}{C_0R} = \frac{1}{2k}C_0V_0^2$

c) రోధక పలకలు ఆవేశాలను గ్రహించడానికి నిల్వ ఉన్న శక్తినే ఉపయోగిస్తాయి కాబట్టి మొదటి సందర్భంలో ఎక్కువ శక్తి ఉంటుంది.

ముగింపు అభ్యాసమునకు జవాబులు

1. $6 \times 10^5 V$
2. 1.08×10^4 J
3. 4×103 Vm^{-1}
4. $-5.76 \times 10^{-19} J$
5. 1.4×109 ms^{-2}

10. a) $\frac{37}{14}\mu F$,

    b) $\frac{128}{7}\mu C, \frac{128}{7}\mu C, \frac{128}{7}\mu C, 24\mu C$

    c) $\frac{64}{7}V, \frac{32}{7}V, \frac{16}{7}V, 8V, 8V$

11. 36 μF
12. $\frac{16}{5}\mu F$
13. 1 : 7
14. a) $3.5 \times 10^{-11} J$

    b) $6 \times 10^{-11} Nm$
15. 32 μF