మాడ్యూల్ - 5

15 విద్యుత్ ఆవేశం మరియు విద్యుత్‌క్షేత్రం

ఇప్పటి వరకు మీరు యాంత్రిక, ఉష్ణ మరియు దృశా వ్యవస్థల గురించి, అవి చూపించే వివిధ దృగ్విషయములను చదువుకున్నారు. మన నిత్యజీవితంలో విద్యుత్తు యొక్క ప్రాముఖ్యత గురించి కూడా మనకు తెలుసు. ప్రతినిత్యం మనం వాడే వివిధ పరికరాలన్నీ విద్యుత్తు శక్తి లభ్యత పైన ఆధారపడి యున్నవి. విద్యుత్తు మరియు అయస్కాంత దృగ్విషయాలపై మనం ఎంతగా ఆధారపడి యున్నామో విద్యుత్తు శక్తి సరఫరా లేనప్పుడు తెలుస్తుంది. విద్యుత్తు శక్తి సరఫరా ఆగిపోయినపుడు, విద్యుత్తు దీపాలు వెలగవు, ఎండాకాలంలో కూలర్లు, ఎయిర్ కండీషనర్లు మరియు శీతాకాలంలో హీటర్లు, గీజర్లు పనిచేయక ఆగిపోతాయి. అలాగే రేడియో టీ.వి, కంపూటర్లు, మైక్రోవేవ్ ఓవెన్‌లు కూడా పనిచేయవు. మోటారు పంపులు పనిచేయక పోవడం వల్ల పొలంలో పంటలు పండించలేము. విద్యుత్తు శక్తి సరఫరా నిలిచిపోతే రైళ్ళ రాకపోకలకు కూడా అంతరాయం కలుగుతుంది. పరిశ్రమలలో యంత్రాలు పనిచేయవు. క్లుప్తంగా చెప్పాలంటే మన జీవనం నిశ్చలమైనట్లు అనిపిస్తుంది. ఒక్కోసారి ప్రజలు అసహనానికి గురవుతారు. కాబట్టి విద్యుత్తు మరియు అయస్కాంత దృగ్విషయాల గురించి తెలుసుకోవలసిన ప్రాముఖ్యత ఎంతైనా ఉంది.

ఈ పాఠ్యభాగములో మీరు రెండు రకాల విద్యుదావేశాల గురించి, వివిధ పరిస్థితులలో వాటి ప్రవర్తన, వాటి మధ్య పనిచేయు బలాల గురించి, వాటి చుట్టూ ఉన్న స్థల ప్రవర్తన గురించి తెలుసుకుంటారు. స్థూలంగా చెప్పాలంటే స్థిర విద్యుదావేశాల గురించి తెలియచెప్పే భౌతికశాస్త్ర శాఖను చదువబోతున్నాము. ఈ శాఖనే స్థిర విద్యుత్ అని అంటారు.

15.0 లక్ష్యాలు

ఈ పాఠం చదివిన తరువాత ఈ కింది విషయాలు తెలుసుకుంటారు.

- విద్యుదావేశాల ప్రాథమిక ధర్మాలను చెప్పడం
- విద్యుదావేశాల నిత్యత్వం మరియు క్వాంటీకరణ భావనలు వివరించడం
- విద్యుదావేశాల మధ్యగల బలాన్ని కూలూంబ్ నియమం ద్వారా వివరించడం
- స్థిర ఆవేశం వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రంను నిర్వచించడం, విద్యుత్ బలరేఖలు గీయడం
- విద్యుత్ ద్విధ్రువము (డైపోల్), ద్విధ్రువ భ్రామకము మరియు ద్విధ్రువము వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రాలను నిర్వచించడం
- గాస్ సిద్ధాంతమును నిర్వచించి, బిందు ఆవేశం వల్ల మరియు పొడవైన ఆవేశిత తీగ వల్ల కలిగే విద్యుత్ క్షేత్రంకు సమాసములు రాబట్టడం.

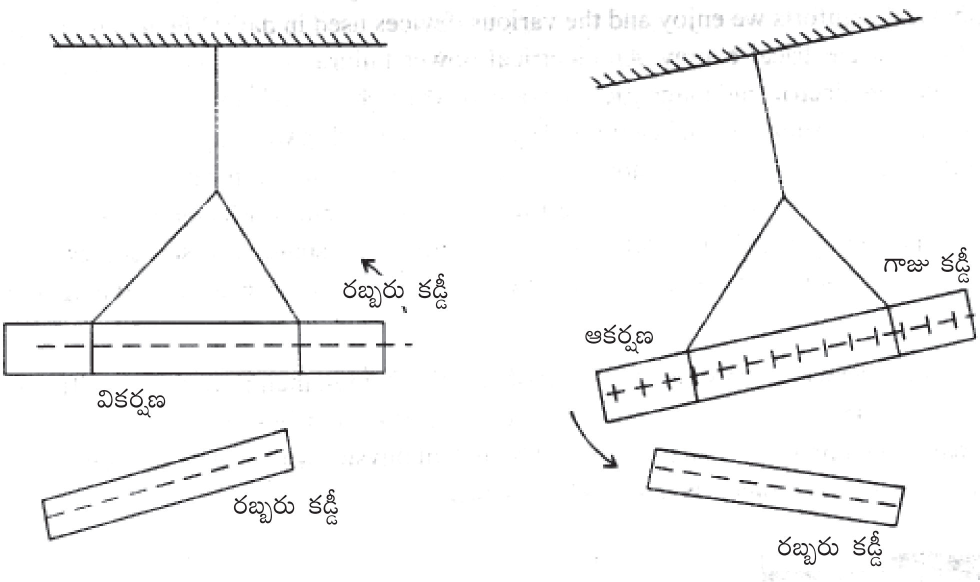
15.1 ఘర్షణ విద్యుత్తు (Frictional Electricity)

క్రీస్తు పూర్వం 600 సంవత్సరంలోనే ప్రాచీన గ్రీకు పండితులు విద్యుత్ మరియు అయస్కాంత దృగ్విషయాలను గమనించారు. అంబర్‌ను ఉన్నితో రుద్దినచో అది విద్యుదీకరణ చెంది చిన్న చిన్న గడ్డి పోచలను, బెండు ముక్కలను కాగితం ముక్కలను ఆకర్షిస్తుంది అనే విషయాన్ని గ్రీకు పండితులు కనుక్కున్నారు. గ్రీక్‌లో అంబర్‌ను “ఎలక్ట్రాన్” అంటారు కాబట్టి ఈ ప్రభావానికి ఎలక్ట్రిక్ అనే పేరు పెట్టారు. తెలుగులో దీనినే మనం విద్యుత్ అంటున్నాం.

ఆవేశాలు, వాటి మధ్య గల బలాల అస్తిత్వమును సరళమైన క్రియల చేత మీరు నిరూపణ చేయవచ్చు. పొడిజుట్టును దువ్వెనతో దువ్వుకున్న తరువాత దువ్వెన చిన్న చిన్న కాగితపు ముక్కలను ఆకర్షించడం మీరు గమనించే ఉంటారు. దీనికి కారణం మీకు తెలుసా? ఈ కింది ప్రయోగాల నుంచి ఆ కారణాన్ని అర్థం చేసుకుందాం.

కృత్యము 15.1

ఒక గట్టి రబ్బరు కడ్డీని తీసుకొని దానిని బొచ్చుతో లేదా ఉన్నితో రుద్దినపుడు అది ఆవేశిత మవుతుంది. తరువాత ఒక గాజుకడ్డీని తీసుకొని దానిని సిల్కుతో రుద్దాలి. ఈ రెండు కడ్డీలను వేరువేరుగా అలోహదారములతో పటం 15.1లో చూపిన విధంగా వేలాడదీయాలి.



(ఎ) (బి)

పటం 15.1: ఆవేశాల మధ్య గల ఆకర్షణ / వికర్షణ బలం : (ఎ) ఆవేశిత రబ్బరు కడ్డీ మరొక ఆవేశిత రబ్బరు కడ్డీని వికర్షించుట; సజాతి ఆవేశాలు ఒకదానినొకటి వికర్షించుకుంటాయి; మరియు (బి) ఆవేశిత గాజు కడ్డీ ఆవేశిత రబ్బరు కడ్డీని ఆకర్షించుట; విజాతి ఆవేశాలు ఆకర్షించుకుంటాయి.

ఇపుడు ఉన్నితో రుద్దబడిన రబ్బరు కడ్డీని వేలాడదీసిన కడ్డీల వద్దకు ఒకదాని తరువాత ఒకదాని దగ్గరకు తీసుకురావాలి. అపుడు మీరు ఏమి గమనిస్తారంటే

- ఆవేశితం చెందిన రబ్బరు కడ్డీని వేలాడదీసిన ఆవేశిత రబ్బరు కడ్డీ దగ్గరకు తెచ్చినపుడు అవి వికర్షించుకుంటాయి. (పటం 15.1(ఎ)).
- ఆవేశితం చెందిన రబ్బరు కడ్డీని వేలాడదీసిన ఆవేశిత గాజుకడ్డీ దగ్గరకు తెచ్చినపుడు అవి ఆకర్షించుకొంటాయి. (పటం 15.1(బి))

పై ప్రయోగంలో ఆవేశిత గాజు కడ్డీని తీసుకురావడం ద్వారా ఇటువంటి ఫలితాలనే పొందవచ్చు.

పై ఫలితాల ద్వారా,

- సిల్కుతో రుద్దినపుడు ఆవేశితమైన రెండు గాజుకడ్డీలను దగ్గరగా చేర్చిన అవి వికర్షించుకుంటాయని, కాని ఆవేశితమైన గాజు కడ్డీ ఉన్నితో రుద్దిన రబ్బరు కడ్డీ ఆకర్షించుకుంటాయని
- అలాగే ఉన్నితో రుద్దినపుడు ఆవేశితమైన రెండు రబ్బరు కడ్డీలను దగ్గరగా చేర్చిన అవి వికర్షించుకుంటాయని, కాని ఆవేశితమైన రబ్బరు కడ్డీని సిల్కుతో రుద్దిన గాజుకడ్డీ ఆకర్షిస్తుందని చెప్పవచ్చు.

కావున గాజు కడ్డీపై గల ఆవేశానికి, రబ్బరు కడ్డీపై గల ఆవేశానికి తేడా ఉంది. రెండు రకాల విద్యుదావేశాలు ఉంటాయనే భావనను బెంజిమన్ ఫ్రాంక్లిన్ (1706–1790) సూచించాడు. గాజు కడ్డీపై గల ఆవేశాన్ని ధనావేశమని

రబ్బరు కడ్డీపై గల ఆవేశాన్ని రుణావేశమని అంటారు. అలాగే **"సజాతి ఆవేశాలు వికర్షించుకుంటాయని, విజాతి ఆవేశాలు ఆకర్షించుకుంటాయని"** సూత్రీకరించవచ్చు.

'ఘర్షణ' ద్వారా గాని, 'వహనం' ద్వారా గాని, ప్రేరణ ద్వారా గాని వస్తువులను ఆవేశితం చేయవచ్చు.

వహనం పద్ధతిలో ఆవేశపూరితమైన వస్తువును ఇంకొక వస్తువుతో తాకించిన రెండవ వస్తువు ఆవేశపూరితమవుతుంది.

ఆవేశపూరిత వస్తువు సమక్షంలో గల ఇంకొక వస్తువుపై ఆవేశాలేర్పడటాన్ని విద్యుత్ ప్రేరణ అంటారు. ఈ పద్ధతిలో వస్తువులను తాకకుండా విద్యుదీకరణం చేయవచ్చు.

15.1.1 ఆవేశ నిత్యత్వం

15.1 కృత్యములో గాజుకడ్డీని సిల్కుతో రుద్దినపుడు, గాజుకు ధనావేశం, సిల్కుకు రుణావేశం వస్తుంది. సాధారణ స్థితిలో ఈ రెండు పదార్థాలు తటస్థంగా ఉంటాయి. కాబట్టి గాజుపై ఉన్న ధనావేశ పరిమాణం సిల్కుపై ఉన్న రుణావేశ పరిమాణంకు సమానంగా ఉంటుంది. అంటే వ్యవస్థ (గాజు + సిల్కు) మొత్తము ఆవేశం స్థిరంగా ఉంటుంది. ఇది ఆవేశ నిత్యత్వ నియమానికి దారి తీసింది. ఆవేశాన్ని సృష్టించలేము, నశింప చేయలేము. ఇది వ్యవస్థలోని ఒక వస్తువు నుంచి మరొక వస్తువుకు బదిలీ మాత్రమే అయ్యింది. రెండు వస్తువులను రుద్దినపుడు, ఎలక్ట్రానులను కోల్పోయిన వస్తువుకు ధనావేశం, ఎలక్ట్రానులను గ్రహించిన వస్తువుకు రుణావేశం లభిస్తుంది. పదార్థము నుండి ఎలక్ట్రాను వెలువడేందుకు కొంత శక్తి కావాలి. ఘర్షణ వలన లభించే ఉష్ణ శక్తిని శోషణం చేసుకొని ఎలక్ట్రానులు బదిలీ అవుతాయి. గాజుకడ్డీని సిల్కుతో రుద్దినపుడు గాజు కడ్డీ నుంచి కొన్ని ఎలక్ట్రాన్లు సిల్కు మీదికి చేరతాయి. ఇలా ఎలక్ట్రాన్లు బదిలీ కావడం వల్ల, గాజుకడ్డీ ధనావేశితం కావడమూ, సిల్కు రుణావేశితం కావడమూ జరుగుతుంది. రబ్బరు కడ్డీని బొచ్చుతో రుద్దినప్పుడు బొచ్చు నుంచి ఎలక్ట్రాన్లు రబ్బరు కడ్డీకి బదిలీ అవుతాయి. ఫలితంగా రబ్బరు కడ్డీ రుణావేశాన్ని మరియు బొచ్చు అంతే పరిమాణం గల ధనావేశాన్ని పొందుతాయి. ధన, రుణ ఆవేశాలు కాక మరొక ఆవేశాన్ని ఈ రోజు వరకు కనుక్కోలేదు.

15.1.2 ఆవేశ క్వాంటీకరణం

1909వ సంవత్సరంలో మిల్లికన్ [రాబర్టు మిల్లికన్ 1886–1953] ఏ ఆవేశిత వస్తువయినా సరే ఎలక్ట్రాను ఆవేశం (e)కి పూర్ణాంక గుణిజాలుగా ఉండే ఆవేశాన్ని మాత్రమే కలిగి ఉంటుంది అని ప్రయోగపూర్వకంగా రుజువు చేశారు. అనగా వస్తువు మీద ఆవేశం 'Q' అయితే, $Q = Ne$ అని రాయవచ్చు. ఇక్కడ N ఒక పూర్ణాంకం మరియు e, ఎలక్ట్రాను మీద ఆవేశ పరిమాణాన్ని సూచిస్తుంది. ఈ విధంగా e యొక్క ప్రమాణాలలో ఆవేశం క్వాంటీకరణం అయింది. అంటే ఆవేశిత వస్తువు 2.5e లేదా 6.4e ఆవేశాన్ని కలిగి ఉండదు. యూనిట్స్ 24–26 నుండి ఎలక్ట్రానుపై గల ఆవేశం $-e$ అని, ప్రోటాను పై గల ఆవేశం $+e$ అని మీరు తెలుసుకుంటారు. న్యూట్రానుపై ఆవేశం ఉండదు. ప్రతి పరమాణువులో ప్రోటానుల సంఖ్య ఎలక్ట్రానుల సంఖ్యకు సమానంగా ఉంటుంది. అందుచేత పరమాణువు విద్యుత్ పరంగా తటస్థమైంది.

పై వివరణ ద్వారా ఈ కింది విషయాలను మీరు గమనించవచ్చు

- ప్రకృతిలో రెండు రకాల ఆవేశాలు మాత్రమే ఉన్నాయి. అవి ధనావేశం, రుణావేశం.
- ఆవేశం నిత్యత్వ నియమాన్ని పాటిస్తుంది.
- ఆవేశం క్వాంటీకరణం చెందుతుంది.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 15.1

1. గాజు కడ్డీని సిల్కుగుడ్డతో రుద్దినపుడు ఏర్పడిన ఆవేశం

   $q = +3.2 \times 10^{-17}$C.

   (i) సిల్కు గుడ్డ కూడా ఆవేశితమవుతుందా ?

   ....

   (ii) సిల్కు గుడ్డపై ఉన్న ఆవేశ స్వభావం ఏమిటి, దాని పరిమాణం ఎంత?

   ....

2. A, B లు రెండు సర్వసమానమైన లోహపు గోళాలు. A కు +Q ఆవేశాన్ని ఇచ్చి, రెండు గోళాలను కొంత సేపు తాకునట్లుగా ఉంచి తరువాత వేరు చేశారు.

   (i) B మీద ఆవేశం ఉంటుందా?

   ....

   (ii) A, B లు తాకునట్లుగా ఉన్నప్పుడు B ఆవేశితం చెందితే, B మీద ఉన్న ఆవేశ పరిమాణం ఎంత ?

   ....

3. ఒక వస్తువు మీద ఆవేశం $q = 4.8 \times 10^{-16}$ C వస్తువు మీద ఎన్ని ప్రమాణాల ప్రాథమిక ఆవేశాలు ఉన్నాయి. ($e = 1.6 \times 10^{-19}$C).

   ....

15.2 కులూంబ్ నియమం

రెండు స్థిర విద్యుదావేశాలు ఆకర్షణ లేదా వికర్షణ చెందుతాయని మీరు తెలుసుకున్నారు. విద్యుదావేశాల స్వభావాన్ని బట్టి వాటి మధ్య ఆకర్షణ బలం లేదా వికర్షణ బలం పని చేస్తుంది. 1785వ సంవత్సరంలో కూలూంబ్ అనే ఫ్రెంచి శాస్త్రవేత్త రెండు స్థిర విద్యుదావేశాల మధ్య పనిచేసే ఆకర్షణ లేదా వికర్షణ బలాలపై పరిశీలనలు చేసి వాటి ఆధారంగా ఒక సూత్రాన్ని ప్రతిపాదించారు. దానినే అతని పేరు మీద కూలూంబ్ నియమం అంటారు.

q_1 మరియు q_2 లు రెండు స్థిర బిందు ఆవేశాలు. వాటి మధ్య దూరం r అయిన, రెండు ఆవేశాల మధ్య గల బలం

- వాటి పరిమాణాల లబ్ధానికి అనులోమానుపాతంలోను
- వాటి మధ్యగల దూర వర్గానికి విలోమానుపాతంలోను,
- రెండు ఆవేశాలను కలిపే సరళరేఖ దిశలో ఉండి,
- సజాతి ఆవేశాల మధ్య వికర్షణ బలంగాను, విజాతి ఆవేశాల మధ్య ఆకర్షణ బలంగాను పనిచేస్తుంది.

బలపరిమాణం F ను కింది విధంగా రాయవచ్చును.

$$F = k\frac{q_1 \times q_2}{r^2} \qquad \ldots(15.1)$$

k అనుపాత స్థిరాంకం. k విలువ రెండు ఆవేశాల మధ్య ఉండే యానకం మీద; q_1, q_2, r లు ఏ ప్రమాణాలలో చెబుతున్నామో ఆ ప్రమాణాల వ్యవస్థ మీద ఆధారపడి వుంటుంది. గాలి లేదా శూన్య యానకంలో

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{q_1 \times q_2}{r^2} \qquad \ldots(15.2)$$

ఇక్కడ అనుపాత స్థిరాంకం $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$. ε_0 ని స్వేచ్ఛా అంతరాళం (గాలి లేక శూన్యం) యొక్క పెర్మిటివిటి అంటారు. గాలి కాక మరొక యానకంలో $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon}$. ε ని యానకం యొక్క పెర్మిటివిటి అంటారు. అపుడు బలం

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{q_1 \times q_2}{r^2}$$ గా రాయవచ్చు.

అంటే యానకంలో ఉన్న ఆవేశాల వ్యవస్థలో ఆవేశాలపై పని చేసే బలపరిమాణం, అదే వ్యవస్థ గాలి లేక శూన్యంలో ఉన్నప్పుడు పనిచేసే బలపరిమాణం రెండూ వేరువేరుగా వుంటాయి.

SI వ్యవస్థలో ఆవేశం ప్రమాణం కూలూంబ్ (C). కూలూంబ్‌ను విద్యుత్ ప్రవాహం ప్రమాణం ఆంపియర్‌తో నిర్వచించవచ్చు.

(దీని గురించి మీరు తరువాత తెలుసుకుంటారు)

SI వ్యవస్థలో గాలి లేదా శూన్యంలో k విలువ

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \qquad \ldots(15.3)$$

ఇక్కడ $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} C^2 N^{-1} m^{-2}$

ఒక కూలూంబ్ ఆవేశాన్ని ఈ విధంగా నిర్వచించవచ్చు. **ఒక ఆవేశం శూన్య యానకంలో తన నుంచి ఒక మీటరు దూరంలో ఉన్న సర్వసమానమైన ఆవేశాన్ని 9×10^9 N బలంతో వికర్షిస్తే ఆ ఆవేశ పరిమాణాన్ని ఒక కూలూంబ్ అని అంటారు.**

ఎలక్ట్రాను ఆవేశ విలువ $e = 1.60 \times 10^{-19}$C.

- కూలూంబ్ నియమం విలోమ వర్గ నియమంగా కూడా పిలువబడుతుంది.
- కూలూంబ్ నియమంలో తీసుకున్న ఆవేశాలు బిందు ఆవేశాలు మాత్రమే.
- యాంత్రిక బలంలా గాక, కూలూంబ్ బలం కొంత దూరము వరకు పని చేస్తుంది.

ఒక కూలూంబ్ ఎంత పెద్దది ?

విద్యుత్ ఆవేశం ప్రమాణం కూలూంబ్. కూలూంబ్ ఎంత పెద్దదో మీరెప్పుడైనా ఆలోచించారా? దీనిని తెలుసుకోవడానికి, ఒక కూలూంబ్ పరిమాణం గల రెండు ఆవేశాలు, ఒక దాని నుంచి మరొకటి ఒక మీటరు దూరంలో ఉంచిన, వాటి మధ్య గల బల పరిమాణం లెక్కించాలి.

$$|\mathbf{F}| = k \times \frac{q_1 \times q_2}{r^2}$$

$$|\mathbf{F}| = 9.0 \times 10^9 \times \frac{1 \times 1}{1^2} = 9.0 \times 10^9$$

$$\simeq 10^{10}\,\text{N}.$$

ప్రయాణికులతో నిండిన బస్సు ద్రవ్యరాశి 5000 kg అయితే ఆ బస్సు భారం, $mg = (5000 \times 10)$N

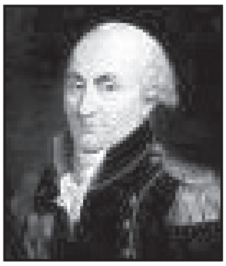
$= 5 \times 10^4$ N

($g \simeq 10\ m\,s^{-2}$ అనుకుందాం).

ఢిల్లీలో అటువంటివి 10,000 బస్సులు వుంటే, అపుడు అన్ని బస్సుల మొత్తం భారం $5 \times 10^4 \times 10{,}000 = 5 \times 10^8$ N అవుతుంది. ఢిల్లీ మాదిరిగానే 10 పట్టణాలు, అదే బస్సుల సంఖ్యను కలిగిన ఆ బస్సుల మొత్తం భారం $5 \times 10^8 \times 10 = 5 \times 10^9$N అవుతుంది. అంటే 1C పరిమాణం గల రెండు ఆవేశాలను ఒకదాని నుంచి మరొకటి 1 మీటరు దూరంలో ఉంచిన, వాటి మధ్య గల బలం, ప్రతి బస్సు 5000 kg భారం కలిగిన రెండు వందల వేల బస్సుల భారానికి సుమారుగా సమానంగా ఉంటుంది.

చార్లెస్ ఆగస్టిన్ డి కూలూంబ్

(1736-1806)



కూలూంబ్ ఫ్రెంచ్ శాస్త్రవేత్త. మిలటరీ ఇంజనీరుగా వెస్ట్ ఇండీస్‌లో పనిచేశారు. ఇతను విమోటన లోలకము కనుగొన్నాడు. ఆవేశాల మరియు అయస్కాంతాల మధ్య గల అన్యోన్య బలాల స్వభావమును నిర్ధారించుటకు దీనిని ఉపయోగించి ప్రయోగాలు చేశారు. ఈ ప్రయోగాల ఫలితాలను స్థిర విద్యుత్ మరియు స్థిర అయస్కాంతములో కూలూంబ్ నియమం రూపంలో ప్రతిపాదించాడు. ఈయన పేరు మీదుగా విద్యుత్ ఆవేశానికి SI ప్రమాణాన్ని కూలూంబ్ అన్నారు.

q_1, q_2 అనే రెండు బిందు ఆవేశాలను ఒకదాని నుంచి మరొకటి r దూరంలో గాలి (లేక శూన్యం)లో మరియు మరొక యానకంలో ఉంచినపుడు వాటి బలాల నిష్పత్తి $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ కు సమానం.

$$\frac{F_0 \text{ (గాలి లేక శూన్యంలో)}}{F \text{ (యానకంలో)}} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \varepsilon_r$$

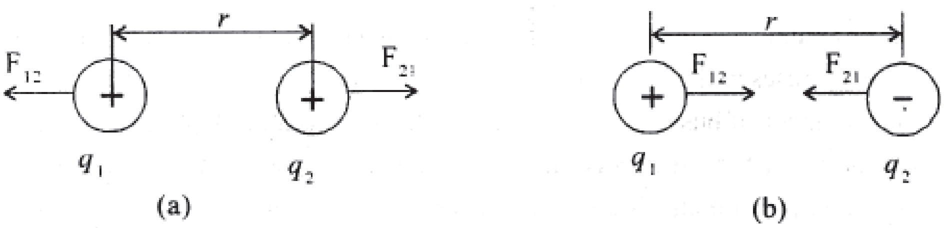
ఇక్కడ ε_r ని యానకం యొక్క సాపేక్ష పెర్మిటివిటి లేదా రోధక స్థిరాంకం అంటారు. రోధక స్థిరాంకం విలువ ఎప్పుడూ ఒకటి కంటే ఎక్కువగా ఉంటుంది. రోధక స్థిరాంకం ను ఇంకొక విధంగా తరువాత మనం నిర్వచించుకుందాము.

15.2.1 కూలూంబ్ నియమం సదిశా రూపం

బలం సదిశ అని మనకు తెలుసు. కాబట్టి ఆవేశాల మధ్యగల బలాన్ని కూడా సదిశగా మనం వ్యక్తం చేయాలి. అంటే సమీకరణం (15.1)ను సదిశా రూపంలో రాయాలి. అది ఎలా రాయాలో ఇపుడు తెలుసుకుందాం.

q_1, q_2 అనే రెండు బిందు ఆవేశాల మధ్య దూరం r అనుకుందాం. (పటం 15.3). q_1 పై q_2 వల్ల పనిచేసే బలంను $\mathbf{F}_{12}$తో q_2పై q_1 వల్ల పనిచేసే బలంను $\mathbf{F}_{21}$తో సూచిస్తామనుకుందాం. q_1 నుండి q_2 దిశలో ఉండే యూనిట్ సదిశను $\hat{\boldsymbol{r}}_{12}$ అనుకుందాం. అపుడు పటం 15.3 (ఎ) నుండి

$$\mathbf{F}_{12} = k\,\frac{q_1 q_2}{|r_{12}^2|}\,\hat{\boldsymbol{r}}_{12} \qquad \dots(15.4)$$



పటం 15.3 : r దూరంలో ఉన్న రెండు బిందు ఆవేశాలు q_1 మరియు q_2 (a) రెండు ధనావేశాల మధ్య గల వికర్షణ బలం దిశ మరియు (b) ఒక ధనావేశం మరియు ఒక రుణావేశం మధ్య గల ఆకర్షణ బలం దిశ

ఇదేవిధంగా పటం 15.3(బి) నుంచి

$$\mathbf{F}_{21} = -\mathrm{k}\,\frac{q_1q_2}{|r_{12}^2|}\,\hat{\boldsymbol{r}}_{12} \qquad ...(15.5)$$

అని రాయవచ్చు.

సమీకరణం (15.4) లోని ధన గుర్తు వికర్షణ బలాన్ని మరియు సమీకరణం (15.5) లోని రుణ గుర్తు ఆకర్షణ బలాన్ని సూచిస్తాయి. సమీకరణాలు (15.4) మరియు (15.5) నుంచి

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21} \qquad ...(15.6)$$

అనగా స్థిర విద్యుదావేశాల మధ్య గల బలాలు న్యూటన్ మూడవ నియమాన్ని పాటిస్తాయన్నమాట.

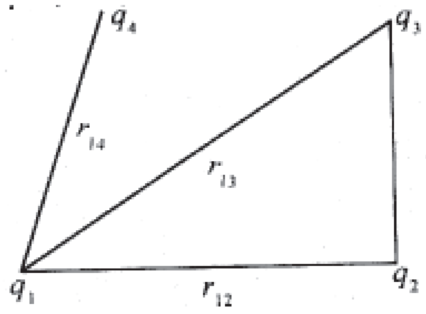
సామాన్యంగా విద్యుదావేశాల మధ్య గల బలాన్ని

$$\mathbf{F}_{12} = \mathrm{k}\times\frac{q_1q_2}{r^2}\,\hat{\boldsymbol{r}}_{12} \qquad ...(15.7)$$

గా రాయవచ్చు.

15.2.2 అధ్యారోపణ నియమం

రెండు కంటే ఎక్కువ బిందు విద్యుదావేశాలు ఉన్నప్పుడు, ఏ రెండు ఆవేశాల మధ్యగల బలాన్నైనా మనం సమీకరణం (15.7)ను ఉపయోగించి కనుక్కోవచ్చు. ఇప్పుడు $q_1, q_2, q_3, q_4, ...$ మొదలైన విద్యుదావేశాల సమూహం ఉందనుకుందాం. (పటం 15.4).



పటం 15.4 : అధ్యారోపణ నియమం

సమీకరణం (15.7) నుండి, q_1 పై ఇతర ఆవేశాల వల్ల పనిచేసే బలంను రాయవచ్చు.

$$\mathbf{F}_{12} = \mathrm{k}\,\frac{q_1\times q_2}{|r_{12}^2|}\,\hat{\boldsymbol{r}}_{12}$$

$$\mathbf{F}_{13} = \mathrm{k}\,\frac{q_1q_3}{|r_{13}|^2}\,\hat{\boldsymbol{r}}_{13}$$

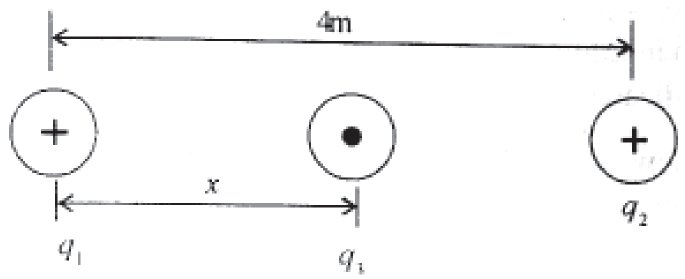
మరియు $\mathbf{F}_{14} = k\dfrac{q_1q_4}{|r_{14}^2|}\hat{\boldsymbol{r}}_{14}$ ...(15.8)

q_1 మీద పని చేసే ఫలిత బలం **F** విలువ మిగిలిన ఆవేశాలు కలిగించే బలాల సదిశా మొత్తానికి సమానం.

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} + \mathbf{F}_{14} + ...$$ .... (15.9)

దీనినే అధ్యారోపణ సూత్రం లేదా నియమం అని అంటారు.

ఉదాహరణ 15.1 : రెండు ఆవేశాలు $+q_1 = 12C$, $+q_2 = 6C$ లు పటం (15.5)లో చూపినట్లు $4m$ దూరంలో ఉన్నాయి. q_1, q_2 లను కలిపే సరళరేఖపై q_3 అనే రుణావేశాన్ని ఎక్కడ ఉంచితే ఆ q_3 ఆవేశం ఏ బలానికీ గురికాదు?



పటం 15.5 : సరళరేఖ వెంబడి మూడు బిందు ఆదేశాలు q_1, q_2 మరియు q_3

సాధన : q_3 రుణావేశాన్ని q_1, q_2 ల మధ్యలో q_1 నుంచి x దూరంలో ఉంచామనుకొందాం. (q_3 రుణావేశాన్ని q_1 కు ఎడమవైపున గాని, q_2 కు కుడివైపున గాని లేదా q_1, q_2 లకు మధ్యలో గాక మరే ఇతర స్థానంలో ఉంచినా ఫలిత బలం శూన్యం కాదు)

q_3 పై q_1 వల్ల పనిచేసే బలం

$$\mathbf{F}_{31} = k\frac{q_1q_3}{r_{31}^2}\hat{\boldsymbol{r}}_{31}$$ q_1 దిశలో

$$\therefore |\mathbf{F}_{31}| = k\frac{q_3q_1}{x^2}$$

q_3 పై q_2 వల్ల పనిచేసే బలపరిమాణం

$$|\mathbf{F}_{32}| = k\frac{q_3q_2}{(4-x)^2}$$ q_2 దిశలో

q_3 మీద ఫలిత బలం శూన్యం కావాలి అంటే, $\mathbf{F}_{31} = \mathbf{F}_{32}$. ఆవేశాల విలువలు ప్రతిక్షేపించిన,

$$k \times \frac{12q_3}{x^2} = k \times \frac{6q_3}{(4-x)^2}$$

$6q_3$k రెండు వైపుల ఉన్నందున కొట్టివేయవచ్చు.

సూక్ష్మీకరించిన,

$$\frac{2}{x^2} = \frac{1}{(4-x)^2}$$

లేదా $2\,(4-k)^2 = x^2$

$$\Rightarrow x^2 - 16x + 32 = 0$$

$$ax^2 - bx + c = 0$$

వర్గసమీకరణం యొక్క మూలాలు

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

ఈ సందర్భంలో $a = 1, b = -16, c = 32$

$$x = \frac{-16 \pm \sqrt{256-4\times 32}}{2} = 2.35, 13.65.$$

దీన్ని సాధించిన $x = 2.35m$ మరియు $x = 13.65$m విలువలు వస్తాయి. $x = 13.65$m అయితే q_3 రుణావేశం, q_2 ను దాటిపోతుంది. కాని q_3 రుణావేశం q_1, q_2 ల మధ్య ఉండాలి. కాబట్టి q_3 రుణావేశాన్ని q_1 నుంచి 2.35m దూరంలో ఉంచాలి.

గుణాత్మకంగా ఈ పరిష్కారం సరి అయినది కూడా. q_1 ఆవేశం q_2 కంటే బలమైనది. కాబట్టి $q_{1,} q_3$ ల మధ్య దూరం, q_2, q_3 ల మధ్య దూరం కంటే ఎక్కువగా ఉండాలి.

ఉదాహరణ 15.2 : ఒక్కొక్కటి 6.0×10^{-10}C విలువ గల రెండు ఆవేశాలు $2.0m$ దూరంలో ఉన్నాయి. వాటి మధ్య గల కూలూంబ్ బలం పరిమాణం లెక్కించండి ?

సాధన : రెండు ఆవేశాల మధ్య గల కూలూంబ్ బల పరిమాణం సమీకరణం (15.2) నుండి రాయవచ్చు.

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

దత్తాంశం ప్రకారం, $q_1 = q_2 = 6.0 \times 10^{-10}$C మరియు $r = 2.0$m ఈ విలువలను ప్రతిక్షేపించిన,

$$F = \frac{(9\times 10^9\,\text{N}m^2\text{C}^{-2})\times(6.0\times 10^{-10}\text{C})^2}{2^2 m^2}$$

$$F = \frac{9\times 10^9 \times 36 \times 10^{-20}}{4}\text{N}$$

$$= 81 \times 10^{-11}\text{N}.$$

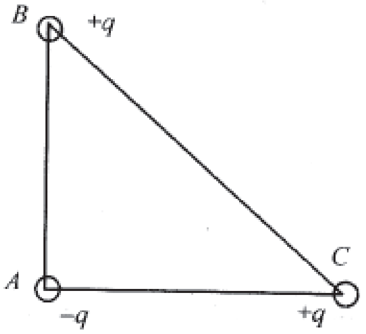
పాఠంలోని ప్రశ్నలు 15.2

1. రెండు ఆవేశాలు $q_1 = 16\mu$C మరియు $q_2 = 9\mu$C, 12m దూరంలో ఉన్నాయి. q_1 పై q_2 వల్ల పనిచేసే బలపరిమాణం మరియు దిశను నిర్ధారించండి. q_2 పై q_1 వల్ల పనిచేసే బలం ఏ దిశలో ఉంటుంది.

....

2. మూడు బిందు ఆవేశాలు $-q, +q, +q$ లు వరసగా ఒక లంబకోణ త్రిభుజం మూడు శీర్షాల వద్ద పటం 15.2లో చూపినట్లు ఉన్నాయి. AB = AC అయిన $-q$ పై పనిచేసే బల పరిమాణం మరియు దిశ కనుక్కోండి.

....



పటం 15.2 : లంబకోణ త్రిభుజం మూడు శీర్షాల వద్ద ఉంచిన మూడు ఆవేశాలు.

15.3 విద్యుత్ క్షేత్రం

కొంతదూరంలో ఉంచిన రెండు ఆవేశాల మధ్య జరిగే అన్యోన్య చర్యలను వివరించడానికి ఫారడే విద్యుత్‌క్షేత్రం అనే భావనను ప్రవేశ పెట్టారు. ఒక బిందువు వద్ద ఉంచిన శోధన ధనావేశం q_0 మీద పని చేసే బలానికి, శోధన ధనావేశ పరిమాణానికి గల నిష్పత్తిని, ఆ బిందువు వద్ద గల విద్యుత్ క్షేత్రం అంటారు. గణిత శాస్త్ర ప్రకారం దీనిని మనం

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} \qquad \ldots(15.10)$$

గ రాయవచ్చు.

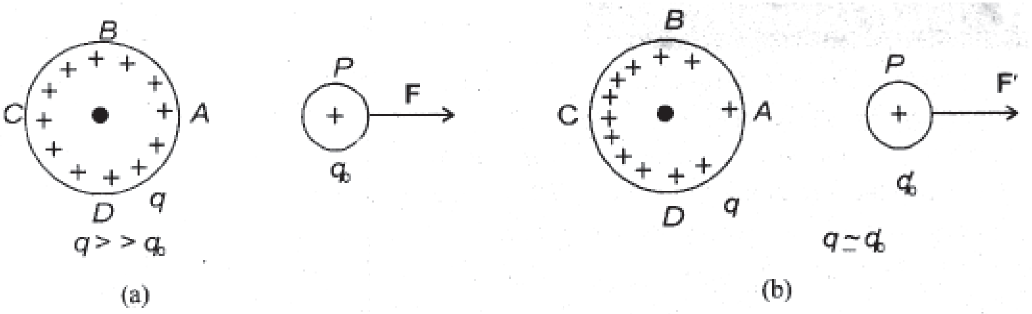
పై నిర్వచనము, గురుత్వతరణ నిర్వచనము $\boldsymbol{g} = \frac{\mathbf{F}}{m_0}$ కు సాదృశ్యంను కలిగి ఉంది.

విద్యుత్‌క్షేత్రం **E** ఒక సదిశ రాశి. శోధన విద్యుత్ ఆవేశంపై బలం (**F**) ఏ దిశలో ఉంటుందో **E** కూడ అదే దిశలో ఉంటుంది. విద్యుత్‌క్షేత్రం బాహ్య ఆవేశం వల్లనే కాని శోధన ఆవేశం వల్ల కాదని గమనించాలి. కాబట్టి శోధన విద్యుదావేశం యొక్క పరిమాణం స్వల్పంగా ఉండాలి. లేకపోతే ఇది బాహ్య ఆవేశం వల్ల కలిగే విద్యుత్‌క్షేత్రాన్ని కలత పెడుతుంది. (కాని సాధారణంగా అతి స్వల్ప పరిమాణం కలిగిన శోధన ఆవేశం కూడా క్షేత్రాన్ని కలత పెడుతుంది). విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ఖచ్చితంగా నిర్వచించవలసి వచ్చినపుడు ఇలా చెపుతాం.

$$\mathbf{E} = \lim_{q_0 \to 0} \frac{\mathbf{F}}{q_0} \qquad \ldots(15.11)$$

SI వ్యవస్థలో బలప్రమాణం న్యూటన్ మరియు ఆవేశ ప్రమాణం కూలూంబ్. కాబట్టి సమీకరణం (15.10) ప్రకారం, SI వ్యవస్థలో విద్యుత్ క్షేత్ర ప్రమాణం న్యూటన్ / కూలూంబ్ ($N\,C^{-1}$). విద్యుత్ బలం **F** ఏదిశలో ఉంటుందో **E** కూడా అదే దిశలో ఉంటుంది.

శోధన ఆవేశం q_0 అనంతసూక్ష్మంగా (infinitesimally) ఎందుకుండాలో ఇపుడు పరిశీలిద్దాం. ఆవేశం q తో సమంగా ఆవేశితమైన లోహపు గోళాన్ని, శోధన ఆవేశం $q_0(<<q)$ ను పటం 15.6(ఎ) చూపిస్తుంది.



పటం 15.6 : (ఎ) సమంగా ఆవేశితమైన లోహపు గోళం మరియు శోధన ఆవేశం. (బి) గోళానికి దగ్గరగా మరొక ఆవేశాన్ని తెచ్చినపుడు, దానిపై ఆవేశం పునర్విభజనమవ్వడం.

అనగా A, B, C, D బిందువుల వద్ద ప్రమాణ వైశాల్యానికి గల ఆవేశ సాంద్రత సమంగా ఉంటుందని అర్థం. గోళంపై ఉన్న ఆవేశ సమూహాన్ని కలత చెందనీయకుండా, శోధనావేశం q_0 పై కొలిచిన బలం **F** ఉంటుంది. $q \simeq q_0$ అయిన స్థితిని పటం 15.6(బి) చూపిస్తుంది. ఈ సందర్భములో శోధనావేశం ఉపరితల ఆవేశసాంద్రతలో మార్పును కలిగిస్తుంది. ఫలితంగా శోధనావేశం q_0 పై గల బలం కూడా **F** నుంచి **F′** కు మారుతుంది. అనగా శోధనావేశం ఉన్నపుడు బలం ఒక రకంగా, లేనపుడు మరొక రకంగా ఉంటుంది. కాని q_0 లేనప్పుడు బలాన్ని కొలువలేము. q తో పోల్చినపుడు, q_0 అత్యల్పంగా ఉన్నట్లయితే గోళంపై ఉన్న ఆవేశ సమూహము తక్కువగా కలత చెందుతుంది. ఫలితంగా కొలిచిన విలువ, నిజవిలువకు అతి దగ్గరగా ఉంటుంది. అంటే **F′** విలువ **F** కు అతి దగ్గరగా ఉంటుంది. ఇపుడు మీకు శోధనావేశం ఎందుకు అనంతసూక్ష్మంగా ఉండాలో అర్థమయి ఉంటుంది.

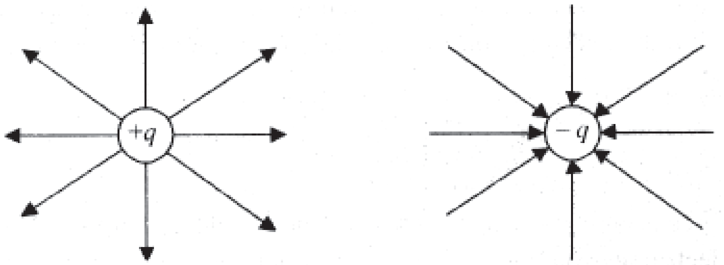
బిందు విద్యుదావేశం q నుండి r దూరంలో q_0 అనే శోధన ఆవేశం ఉందనుకుందాం. శోధనావేశం q_0 మీద పనిచేసే బలం

$$\mathbf{F} = \mathrm{k}\frac{qq_0}{r^2}\,\hat{\boldsymbol{r}} \qquad \ldots(15.12)$$

ఏ బిందువు వద్దనయినా, ఒక ఏకాంక ఆవేశం మీద పనిచేసే బలమే ఆ బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం అనే నిర్వచనం నుంచి

$$\mathbf{E} = \mathrm{k}\times\frac{q}{r^2}\,\hat{\boldsymbol{r}} \qquad \ldots(15.13)$$

పటం 15.7లో చూపినట్లు q ధనావేశం అయినపుడు **E** దిశ q నుండి వెలుపలికి ఉంటుంది. q ఋణావేశం అయితే **E** దిశ q వైపు ఉంటుంది.



పటం 15.7 : ధన మరియు రుణావేశాల వల్ల కలిగే విద్యుత్ క్షేత్ర దిశ.

అద్యారోపణ నియమం విద్యుత్ క్షేత్రానికి కూడా అనువర్తిస్తుంది. $q_1, q_2, q_3, ...$ ఆవేశాలు ఉన్నట్లయితే, P బిందువు వద్ద ఈ విద్యుదావేశాల వల్ల వరసగా కలిగే విద్యుత్‌క్షేత్రాలు సమీకరణం (15.13) నుంచి రాయవచ్చు.

$$\mathbf{E}_1 = k \times \frac{q_1}{r_1^2}\hat{\boldsymbol{r}}_1,\ \mathbf{E}_2 = k \times \frac{q_2}{r_2^2}\hat{\boldsymbol{r}}_2 \text{ మరియు } \mathbf{E}_3 = k \times \frac{q_3}{r_3^2}\hat{\boldsymbol{r}}_3 \qquad ...(15.14)$$

ఈ విద్యుత్ క్షేత్రాలన్నింటిని సదిశ సంకలనం చేస్తే, P బిందువు వద్ద ఫలిత విద్యుత్ క్షేత్రం వస్తుంది. కాబట్టి

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \mathbf{E}_3 + ...$$

లేదా $$\mathbf{E} = k\sum_{i=1}^{N} \frac{q_i}{r_i^2}\,\hat{\boldsymbol{r}}_i \qquad ...(15.15)$$

ఇక్కడ P మరియు ఆవేశము q_i ల మధ్య దూరం r_i, $\hat{\boldsymbol{r}}_i$ అనేది ఆవేశం q_i నుండి P బిందువు వైపు గల యూనిట్ సదిశ. ఒక విద్యుత్‌క్షేత్రం **E** లో ఉన్న ఆవేశం q మీద పనిచేసే బలం

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} \qquad ...(15.16)$$

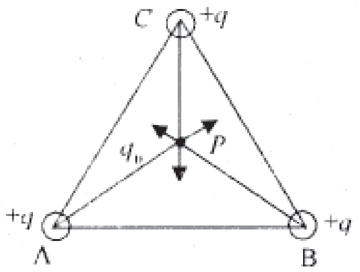
ఉదాహరణ 15.3 : విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఒక బిందువు వద్ద బిందు ఆవేశాన్ని 8.5×10^{-4}N ఉంచినపుడు దాని మీద $q = 3.5\mu C$ బలం పనిచేసినది, విద్యుత్ క్షేత్ర తీవ్రతను లెక్కించండి.

సాధన : సమీకరణం (15.16) నుంచి

$$E = \frac{F}{q} = \frac{8.5\times10^{-4}\,N}{3.5\times10^{-6}\,C} = 2.43\times10^{2}\,NC^{-1}$$

ఉదాహరణ 15.4 : పటం 15.8 లో చూపినట్లు మూడు సమాన బిందు ధనావేశాలు సమ త్రిభుజం యొక్క శీర్షాల వద్ద ఉన్నాయి. త్రిభుజం కేంద్రాభం P వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని కనుక్కోండి.

సాధన : త్రిభుజం కేంద్రం P వద్ద ఒక శోధనావేశం q_0 ను ఉంచామనుకుందాం. ఈ ఆవేశంపై మూడు దిశలలో బలం పని చేస్తుంది. ఏ రెండు దిశలలోనైనా ఈ బలాల మధ్య కోణం సమానంగా ఉంటుంది. P వద్ద ఈ బలాల ఫలిత బలం శూన్యం. కాబట్టి P వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం శూన్యం అవుతుంది.



పటం 15.8 : సమత్రిభుజం మూడు శీర్షాల వద్ద గల సమాన ఆవేశాల వల్ల త్రిభుజం కేంద్రాభం వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం శూన్యం

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 15.3

1. + Q ఆవేశాన్ని మూలబిందువు వద్ద ఉంచారు. P అనే బిందువు

ఎ) $+x$ - అక్షం

....

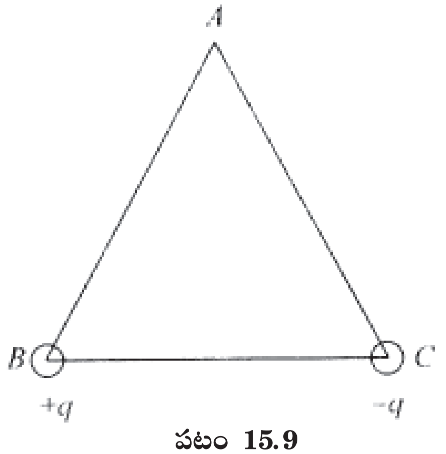
బి) y - అక్షం

....

సి) x = 4 ప్రమాణాలు మరియు y = 4 ప్రమాణాలు పై ఉన్నపుడు విద్యుత్ క్షేత్ర దిశను కనుక్కోండి.

....

2. ΔABC లో AB = BC = 40 cm మరియు A వద్ద కోణం 30^0. పటం 15.9 లో చూపినట్లు ఒక్కొక్కటి 2×10^{-6} C పరిమాణం కలిగి సంజ్ఞలు వ్యతిరేకంగా ఉన్న ఆవేశాలను B, C ల వద్ద వరసగా ఉంచారు. A వద్ద గల విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం, దిశను లెక్కించండి.



పటం 15.9

....

3. అంతరాళంలో ఒక రుణావేశాన్ని ఉంచారు. విద్యుత్ క్షేత్ర దిశ భూమి వైపు ఉంది. ఈ ఆవేశం మీద పనిచేసే బలం ఏ దిశలో ఉంటుంది.

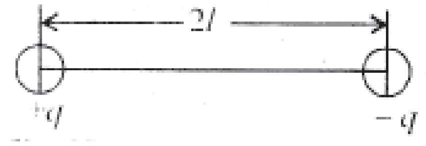
....

4. రెండు సర్వసమానమైన ఆవేశాలను సమతలంపై d దూరంలో ఉంచిన ఫలిత క్షేత్రం ఎక్కడ శూన్యం అవుతుంది.

....

15.3.1. విద్యుల్ డైపోల్ (ద్విధ్రువం) వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రం

సమాన పరిమాణాలు గల రెండు విజాతి విద్యుదావేశాలను స్వల్ప దూరంలో ఉంచిన అమరికను విద్యుత్ డైపోల్ అంటారు. ఉదాహరణ H_2O. పటం 15.10లో చూపినట్లుగా + q మరియు - q ఆవేశాల మధ్య దూరం 2l అనుకుందాం.



పటం 15.10 : సమాన పరిమాణాలు గల రెండు విజాతి ఆవేశాలను స్వల్ప దూరంలో ఉంచిన డైపోల్ (ద్విధ్రువం) ఏర్పడుతుంది.

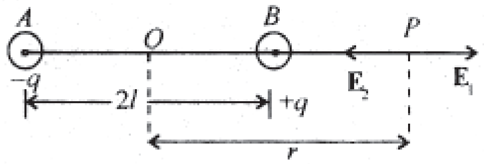
డైపోల్‌లోని ఆవేశాల ఒకదాని పరిమాణం మరియు ఆవేశాల మధ్య దూరంల లబ్దాన్ని **డైపోల్ భ్రామకం** p అంటారు.

$$p = q \times 2l \qquad ...(15.17)$$

SI పద్ధతిలో దీని ప్రమాణం కూలూంబ్–మీటరు డైపోల్ భ్రామకం ఒక సదిశరాశి. దీని పరిమాణాన్ని సమీకరణం (15.17) ఇస్తుంది. దిశను రుణావేశం నుంచి ధనావేశం దిశగా డైపోల్ అక్షం మీద తీసుకుంటాం. డైపోల్‌లోని ఆవేశాలను కలిపే రేఖను డైపోల్ అక్షం అంటారు. డైపోల్, డైపోల్ భ్రామకంలను నిర్వచించిన మనం ఇపుడు డైపోల్ వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రంను కనుక్కొందాం. ఈ కింది సందర్భాలలో విద్యుత్ క్షేత్రంను సులభంగా కనుక్కోవచ్చు.

మొదటి సందర్భము : *డైపోల్ (ద్విధ్రువం) అక్షంపై గల బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం :*

డైపోల్ అక్షీయ రేఖపై P బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రానికి సమాసము రాబట్టడానికి పటం 15.11ను చూడండి.



పటం 15.11 : డైపోల్ అక్షంపై గల బిందువు P వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం

దీనిని end - on స్థానం అంటారు. A, B బిందువుల వద్ద $-q, +q$ అనే ఆవేశాలు 2l దూరంలో ఉన్నాయనుకుందాం. డైపోల్ AB మధ్య బిందువు O. దాని నుండి r దూరంలో P అనే బిందువు ఉందనుకుందాం. ఇపుడు P బిందువు వద్ద B వద్ద గల $+q$ ఆవేశం వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రం.

$$\mathbf{E}_1 = \mathrm{k} \times \frac{q}{(r-l)^2}$$ ఇది AP దిశలో ఉంటుంది.

అలాగే P బిందువు వద్ద $-q$ వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రం

$$\mathbf{E}_2 = \mathrm{k} \times \frac{q}{(r+l)^2}$$ ఇది PA దిశలో ఉంటుంది.

[$\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2$ కంటే ఎక్కువగా ఉన్నందున P వద్ద ఫలిత క్షేత్రం $\mathbf{E}, \mathbf{E}_1$ దిశలో ఉంటుంది.] [$(r-\mathrm{l}), (r+\mathrm{l})$ కన్నా తక్కువ కాబట్టి]

$$\mathbf{E} = \frac{kq}{(r-l)^2} - \frac{kq}{(r+l)^2} = kq\left[\frac{1}{(r-l)^2} - \frac{1}{(r+l)^2}\right]$$

$$= kq\left[\frac{(r+l)^2-(r-l)^2}{(r^2-l^2)^2}\right] = kq \times \frac{4lr}{(r^2-l^2)^2}$$

$$= k\left[\frac{(2lq)2r}{(r^2-l^2)^2}\right] = k\frac{2\boldsymbol{p}r}{(r^2-l^2)^2}$$

ఇక్కడ డైపోల్ భ్రామకం $\boldsymbol{p} = 2\mathrm{lq}$. $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ కావున

$$\mathbf{E} = \frac{2\boldsymbol{p}}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{r}{r^4\left(1-\frac{l^2}{r^2}\right)^2}$$

$r >> l$ అయితే, $\frac{\mathrm{l}^2}{\mathrm{r}^2}$ విలువ 1 కంటే చాలా తక్కువగా ఉంటుంది. కాబట్టి పై సమీకరణంలో $\frac{\mathrm{l}^2}{\mathrm{r}^2}$ ను వదిలివేయవచ్చు. అపుడు విద్యుత్ క్షేత్రంను

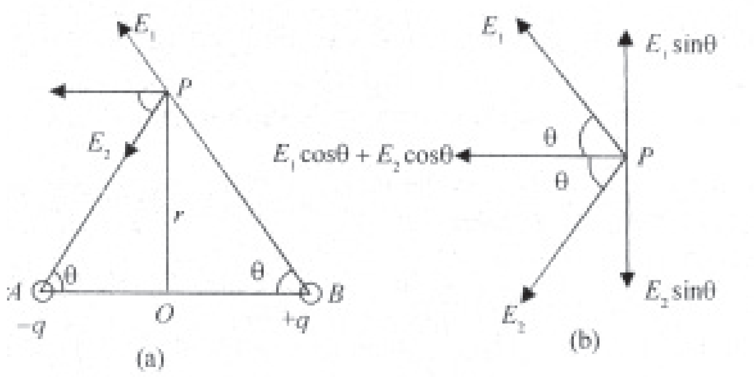
$$\mathbf{E} = \frac{2\boldsymbol{p}}{4\pi\epsilon_0 r^3} \quad (15.18)$$ గ రాయవచ్చు.

దీన్నిబట్టి విద్యుత్ క్షేత్రం $\boldsymbol{p}$ దిశలో ఉందని చెప్పవచ్చు. క్షేత్ర పరిమాణం డైపోల్ కేంద్రం మరియు బిందువుకు మధ్యగల దూర మూడవ ఘాతానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది.

రెండవ సందర్భము : *డైపోల్ మధ్యలంబ రేఖపై గల బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం (Broad - on స్థానం) :*

డైపోల్ మధ్య బిందువు O నుండి దాని మధ్యలంబ రేఖపైన r దూరంలో P బిందువు పటం 15.12లో చూపినట్లు ఉందనుకుందాం.

AB = 2l, OP = r మరియు AO = OB = l అని గమనించండి. పటం 15.12(ఎ)లో θ కోణం చూపబడింది.



పటం 15.12 : (ఎ) డైపోల్ మధ్యలంబ రేఖపై ఉన్న బిందువు P వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం, (బి) క్షేత్రాన్ని అంశాలుగా విభజించడం

లంబకోణ త్రిభుజాలు ΔPAO మరియు ΔPBO నుండి

$$AP = BP = \sqrt{l^2 + r^2}$$

P బిందువు వద్ద + q ఆవేశం వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రం

$\mathbf{E}_1 = k\dfrac{q}{l^2 + r^2}$ ఇది BP దిశలో ఉంటుంది.

అలాగే P బిందువు వద్ద, - q ఆవేశం వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రం

$\mathbf{E}_2 = k\dfrac{q}{l^2 + r^2}$ ఇది PA దిశలో ఉంటుంది.

పై సమీకరణాల నుండి $\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2$ ల పరిమాణాలు సమానం అనే విషయాన్ని గమనించవచ్చు.

AB కి సమాంతరంగా మరియు లంబంగా $\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2$ క్షేత్రాలను విభజనం చేశామనుకుందాం. AB కి సమాంతరంగా ఉన్న అంశాలు $\mathbf{E}_1 \cos\theta$ మరియు $\mathbf{E}_2 \cos\theta$. ఈ రెండూ ఒకే దిశలో ఉన్నాయి. AB కి లంబంగా ఉన్న అంశాలు $\mathbf{E}_1 \sin\theta$ మరియు $\mathbf{E}_2 \sin\theta$. ఇవి పరిమాణంలో సమానంగా ఉండి, దిశలలో వ్యతిరేకంగా ఉండడం వల్ల కొట్టుకొనిపోతాయి. కాబట్టి P బిందువు వద్ద ఫలిత విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం

$$E = E_1 \cos\theta + E_2 \cos\theta$$

$$= k\frac{q}{l^2 + r^2}\cos\theta + k\frac{q}{l^2 + r^2}\cos\theta$$

కాని $\cos\theta \frac{l}{\sqrt{(l^2+r^2)}}$. పై ఫలితంలో ఈ సమీకరణంను ఉపయోగించిన P వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం

$$E = \frac{kq}{(l^2+r^2)} \times \frac{2l}{\sqrt{(l^2+r^2)}}$$

$$E = k\frac{2lq}{\left(l^2+r^2\right)^{\frac{3}{2}}}$$

$$= k\frac{2lq}{r^3\left(1+\frac{l^2}{r^2}\right)^{\frac{3}{2}}}$$

కాని $p = 2lq$ మరియు $k = \frac{1}{4\pi\in_0}$. $r^2 >> 1^2$ అయితే $\frac{l^2}{r^2}$ విలువను 1 తో పోల్చినపుడు వదిలి వేయవచ్చును. అపుడు

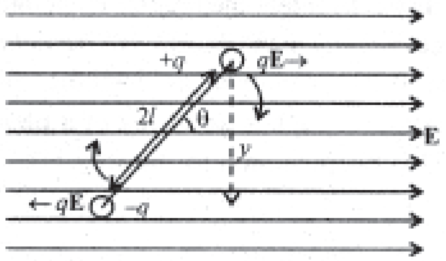
$$E = \frac{p}{4\pi\in_0 r^3} \qquad \ldots(15.19)$$

డైపోల్ మధ్య లంబ రేఖపై P బిందువు వద్ద గల విద్యుత్ క్షేత్రం ఆ బిందువుకు మరియు ఆవేశాలను కలిపే రేఖకు మధ్యగల లంబ దూర మూడవ ఘాతానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుంది. సమీకరణాలు (15.18) మరియు (15.19) లను పోల్చినపుడు విద్యుత్ క్షేత్రం రెండు సందర్భాలలోను $\frac{1}{r^3}$ కు అనులోమానుపాతంలో ఉందని గమనించవచ్చు. కాని కొన్ని తేడాలు ఉన్నాయి.

- End - on స్థానంలో విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం, broad - on స్థానంలోని దాని కంటే రెండు రెట్లు ఉంటుంది.
- End - on స్థానంలో విద్యుత్ క్షేత్రదిశ డైపోల్ భ్రామకం దిశలో ఉంటుంది. కాని broad - on స్థానంలో అవి రెండూ వ్యతిరేక దిశలలో ఉంటాయి.

15.3.2. ఏక (సమ) రీతి విద్యుత్ క్షేత్రంలో డైపోల్

విద్యుత్ క్షేత్రం పరిమాణం, దిశలలో మారకుండా ఉంటే దానిని ఏకరీతి లేదా సమరీతి విద్యుత్‌క్షేత్రం అంటారు. ఆవేశిత సమాంతర ఫలక కండెన్సర్‌లో ఫలకల మధ్య ఇటువంటి క్షేత్రం ఏర్పడుతుంది. సమదూరంలో ఉన్న సమాంతర రేఖల ద్వారా దీన్ని పటంలో చూపించాం.



పటం 15.13 : సమ విద్యుత్ క్షేత్రంలో డైపోల్. డైపోల్‌పై పనిచేసే బలాలు కలిసి ఒక బలయుగ్మమవుతుంది. ఈ బలయుగ్మం డైపోల్‌ను తిప్పడానికి ప్రయత్నిస్తుంది.

ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రంలో డైపోల్‌ను ఉంచినపుడు ఏ విధంగా ప్రవర్తిస్తుందో ఇపుడు తెలుసుకుందాం.

విద్యుత్‌క్షేత్రం x- అక్షం దిశలో ఉందనుకుందాం. క్షేత్రదిశతో డైపోల్ అక్షం θ కోణం చేస్తుందనుకుందాం. +q ఆవేశంపై q**E** అనే బలాన్ని + x దిశలోను, దానికి సమానమైన బలాన్ని - q ఆవేశంపై - x దిశలోను విద్యుత్ క్షేత్రం కలిగిస్తుంది. ఈ బలాలు రెండూ కలిసి ఒక బలయుగ్మమవుతుంది. ఈ బలయుగ్మం డైపోల్‌ని తిప్పి క్షేత్రదిశకు సమాంతరంగా నిశ్చలస్థితికి తీసుకురావడానికి ప్రయత్నిస్తుంది. బలయుగ్మ భ్రామకం లేదా టార్క్ పరిమాణం

τ = టార్క్ బలం$\times$ బల యుగ్మంలోని బలాల మధ్యగల లంబదూరం

$$\tau = \text{qE} \times \text{y}$$

$$= \text{qE} \times 2\text{l} \sin\theta$$

$$= p\text{E}\sin\theta$$

సదిశారూపంలో $\tau = \boldsymbol{p} \times \mathbf{E}$ ...(15.20)

ఈ కింది విషయాలు గమనించండి.

$\theta = 0$ అయినపుడు, బలయుగ్మ భ్రామకం τ సున్నా అవుతుంది.

$\theta = 90^0$ అయితే, డైపోల్‌పై బలయుగ్మ భ్రామకం τ గరిష్ఠంగా ఉండి pE కి సమానం అవుతుంది.

దీన్ని బట్టి విద్యుత్ క్షేత్రం డైపోల్‌ను తిప్పి క్షేత్రదిశకు సమాంతరంగా తీసుకురావడానికి ప్రయత్నిస్తుంది అని చెప్పవచ్చు.

ఉదాహరణ 15.5 : విద్యుత్ డైపోల్‌లోని విద్యుదావేశాలు $+6.0\times10^{-6}$ C, -6.0×10^{-6} C. ఈ ఆవేశాల మధ్యదూరం 4×10^{-10} m అయితే డైపోల్ భ్రామకంను కనుక్కోండి. ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రం $\text{E} = 3.0\times10^2\,\text{NC}^{-1}$ లో ఈ డైపోల్‌ను క్షేత్రదిశకు 30^0 ల కోణంలో ఉంచినపుడు దానిపై కలిగే బలయుగ్మ భ్రామకాన్ని కనుక్కోండి.

సాధన: డైపోల్ భ్రామకం $p = qd$

$$= (6.0\times10^{-6}\text{C})(4.0\times10^{-10}\text{m})$$

$$= 24\times10^{-16}\text{C} - m.$$

బలయుగ్మ భ్రామకం $\tau = pE\sin\theta$ కాబట్టి

$$\tau = (24\times10^{-16}C-m)\times(3.0\times10^{2}NC^{-1})\sin 30^{0}$$

$$=\frac{72}{2}\times10^{-14}N-m$$

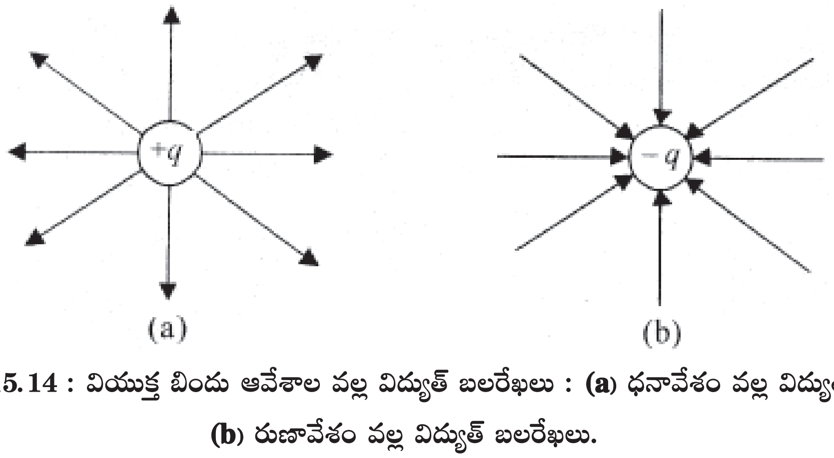
$$=36\times10^{-14}N-m$$

ఏకరీతి కాని విద్యుత్ క్షేత్రంలో డైపోల్‌ను ఉంచినప్పుడు ఆవేశాలు $-q, +q$ లపై గల బలాలు సమానంగా ఉంటాయి. అటువంటి క్షేత్రం డైపోల్‌ను తిప్పి క్షేత్రదిశకు సమాంతరంగా తీసుకురావడానికి ప్రయత్నించడమే కాకుండా, క్షేత్రదిశలో డైపోల్‌కు స్థానభ్రష్టం కలిగిస్తుంది.

15.3.3. విద్యుత్ బల రేఖలు

విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని దృశాత్మకంగా తెలపటం కోసం మైకల్ ఫారడే విద్యుత్ బల రేఖలనే భావనను ప్రవేశ పెట్టాడు. విద్యుత్ క్షేత్రంలో బలరేఖల వ్యూహం విద్యుత్ క్షేత్ర దిశ మరియు పరిమాణానికి సంబంధించిన అవగాహన కోసం ఉపయోగపడుతుంది. బలరేఖలకు లంబంగా ఏకాంక వైశాల్యం గుండా పోయే రేఖల సంఖ్య, అక్కడ విద్యుక్షేత్ర తీవ్రత పరిమాణానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది. **విద్యుత్ బలరేఖ మీద ఏ బిందువు వద్దనైనా గీచిన స్పర్శరేఖ ఆ బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర దిశను సూచిస్తుంది.**

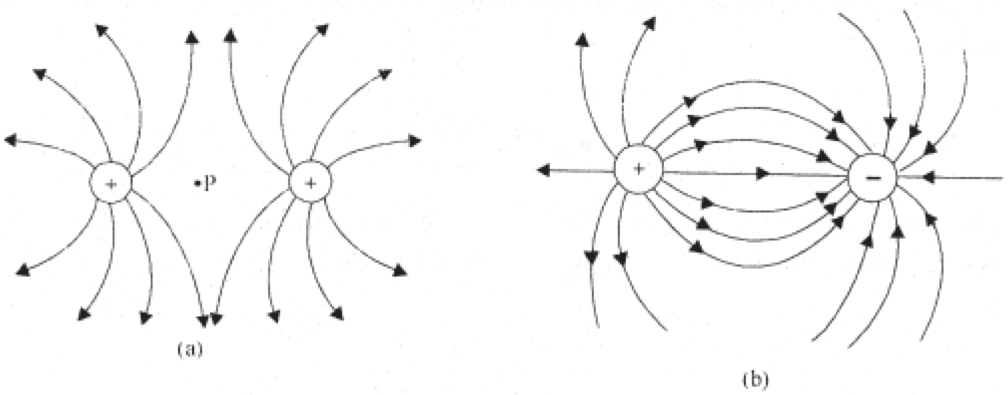
ఈ బలరేఖలకు భౌతికమైన ఉనికి ఏదీలేదు. ఇవి కేవలం ఊహారేఖలు మాత్రమే అని గమనించాలి. కాని ఈ బలరేఖల నుంచి క్షేత్రంలో ఆవేశాల ప్రవర్తన, ఆవేశాల మధ్యగల అన్యోన్య చర్యలను వివరించవచ్చు. కొన్ని ఆవేశాల వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ బలరేఖలను పటం 15.14 లో చూపించాం. బలరేఖలు స్థిర ధనావేశం నుంచి బయటికి అపగమనం చెందుతాయి. కాని స్థిర రుణావేశం నుంచి లోపలకు కేంద్రీకరణం చెంది అంతమవుతాయి. ఈ రెండు సందర్భాలలో విద్యుత్ బలరేఖలు అంతరాళంలో అన్ని దిశలలో ఉంటాయని మీరు గమనించాలి. పటంలో ఆవేశ తలంలో ఉన్న బలరేఖలను మాత్రమే చూపించాం.



పటం 15.14 : వియుక్త బిందు ఆవేశాల వల్ల విద్యుత్ బలరేఖలు : (a) ధనావేశం వల్ల విద్యుత్ బలరేఖలు, (b) రుణావేశం వల్ల విద్యుత్ బలరేఖలు.

పటం 15.15(a) లో ఒకే విధంగా ఉండి, అతి దగ్గరగా ఉన్న రెండు సమాన ధనావేశాల వల్ల ఉత్పన్నమయ్యే బలరేఖల వ్యూహాన్ని చూపించాం. ధనావేశాలకు అతి దగ్గరగా ఉన్న బిందువుల వద్ద ఈ రేఖలు కొంత వ్యాసార్ధాన్ని కలిగి ప్రక్కకు వికర్షించుకుంటాయి. ఆవేశాల మధ్య P బిందువు వద్ద ఈ రేఖలు ఉండవు. ఈ బిందువు వద్ద రెండు ఆవేశాల వల్ల విద్యుత్ క్షేత్రాలు ఒకదానికొకటి కొట్టుకొని పోయి, ఫలిత క్షేత్రం శూన్యం అవుతుంది.

పటం 15.15(b) విద్యుత్ డైపోల్ (ద్విధ్రువం) వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ బలరేఖలను చూపిస్తుంది. ధనావేశం నుండి ఉత్పన్నమయ్యే బలరేఖల సంఖ్య ఋణావేశం వద్ద అంతమయ్యే బలరేఖల సంఖ్యకు సమానం.



పటం 15.15 : రెండు బిందు ఆవేశాల వ్యవస్థ వల్ల విద్యుత్ బలరేఖలు : a) రెండు స్థిర ధనావేశాల వల్ల విద్యుత్ బలరేఖలు, b) డైపోల్ వల్ల విద్యుత్ బలరేఖలు

మీరు గుర్తుంచుకోవలసిన విద్యుత్ బలరేఖల ధర్మాలు :

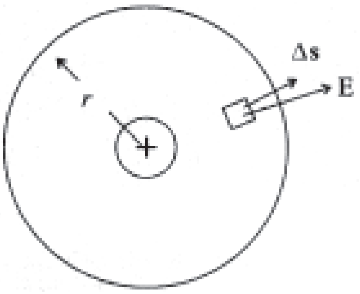
- బలరేఖలు ధనావేశం నుండి ఉత్పన్నమయ్యి, అనంతంలో అంతమవుతాయి.
- అనంతంలో ఉత్పన్నమయిన బలరేఖలు రుణావేశం మీద అంతమవుతాయి.
- విద్యుత్ డైపోల్‌కు బలరేఖలు ధనావేశం నుంచి మొదలయ్యి రుణావేశం వద్ద అంతమవుతాయి.
- బలరేఖపైన ఏ బిందువు వద్దనైన గీచిన స్పర్శరేఖ ఆ బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర దిశను తెలుపుతుంది.
- ఏ బిందువు వద్ద అయినా, ఏకాంక అడ్డుకోత వైశాల్యానికి గల విద్యుత్ బలరేఖల సంఖ్య, ఆ బిందువు వద్ద గల విద్యుత్ క్షేత్రానికి అనులోమానుపాతంలో ఉంటుంది.
- ఏ రెండు విద్యుత్ బల రేఖలూ ఒకదానికొకటి పరస్పరం ఖండించుకోవు.

15.4 విద్యుత్ అభివాహము మరియు గాస్ సూత్రం

r వ్యాసార్థం గల ఒక గోళాన్ని తీసుకుందాం. దాని కేంద్రం వద్ద $+q$ ఆవేశంను ఉంచామనుకుందాం. గోళం ఉపరితలంపై ప్రతి బిందువు వద్ద గల విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం.

$$E = k \times \frac{q}{r^2}$$

విద్యుత్ క్షేత్ర దిశ ఉపరితలానికి లంబంగా బయట వైపుకు ఉంటుంది. గోళాకార తలంపై Δs వైశాల్యం కలిగిన అల్పాంశంను తీసుకుందాము. ఇక్కడ $\mathbf{\Delta s}$ అనేది ఒక సదిశ. దీని పరిమాణం అల్పాంశం వైశాల్యం Δs కు సమానం, దిశ అల్పాంశంకు లంబంగా ఉంటుంది. (పటం 15.16)



పటం 15.16

విద్యుత్ అభివాహం $\Delta\phi$ ను $\mathbf{\Delta s}$ మరియు $\mathbf{E}$ ల అదిశా లబ్దంగా నిర్వచించవచ్చు.

$$\Delta\phi = \mathbf{E} \,.\, \mathbf{\Delta s}$$

మొత్తం గోళాకార తలం గుండా పోయే విద్యుత్ అభివాహం ϕ కావలెనంటే అటువంటి అన్ని అంశదానములను కలపాలి.

$$\phi_E = \sum_{\Delta s_i \to 0} \mathbf{E}_i \,.\, \Delta s_i \qquad \ldots (15.21)$$

$\mathbf{E}$ మరియు $\mathbf{\Delta s}$ ల మధ్యకోణం శూన్యం. కాబట్టి గోళాకార తలం గుండా పోయే మొత్తం అభివాహం

$$\phi_E = k \times \frac{q}{r^2} \sum \Delta s$$

గోళాకార తలంపై అన్ని అల్పాంశాల మొత్తం వైశాల్యం విలువ $4\pi r^2$. కాబట్టి గోళాకార తలం గుండా పోయే నికర విద్యుత్ అభివాహం

$$\phi_E = k \times \frac{q}{r^2} \times 4\pi r^2$$

$$= 4\pi k \times q$$

$k = \dfrac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ను ప్రతిక్షేపిస్తే

$$\phi_E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times 4\pi q$$

$$= \frac{q}{\epsilon_0} \qquad \ldots (15.22)$$

గోళంలోని గోళాకార తలాన్ని *గాసియన్ తలం* అంటారు. సమీకరణం (15.22) ను గాస్ నియమం అని అంటారు. గాస్ నియమం ఈ విధంగా ప్రవచిస్తుంది. *ఏదైనా ఒక మూసిన గాసియన్ తలం గుండా వెలువడే నికర విద్యుత్ అభివాహం* ϕ *ఆ తలం లోపల ఉన్న మొత్తం విద్యుదావేశం* q కి $\frac{1}{\in_0}$ రెట్లు ఉంటుంది.

గాస్ నియమాన్ని వర్తింపచేసి విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని సులువుగా ఉత్పాదించవచ్చు. గాసియన్ తలం ఒక ఊహించిన సంవృత తలం అని మీరు గమనించాలి. ఈ తలం సౌష్టవంగా ఉండనవసరం లేదు. ఏ ఆకారంలోనైనా ఉండవచ్చు కాని మూసిన తలమై ఉండాలి అంతే

కార్ల్ ఫెడరిక్ గాస్

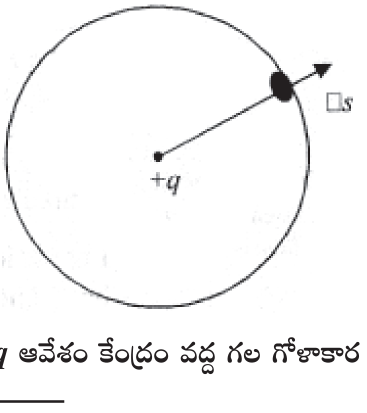
(1777–1855)

గణిత, భౌతిక శాస్త్రాలలోని ప్రముఖ మేధావులలో గాస్ ఒకరు. ఇతను జర్మను దేశస్థుడు. ఈయన 3 సంవత్సరాల వయస్సులోనే వాళ్ళ నాన్న గారి వ్యాపార లెక్కలలోని తప్పులు సరిచేసిన బాల మేధావి. ప్రాథమిక విద్యాభ్యాసంలోనే 1 నుంచి 100 అంకెలను ఒక సెకండులో కూడి వాళ్ళ గురువు గారిని ఆశ్చర్యపరిచారు.

ఇతని విద్యార్థులు చాలామంది గొప్ప గణిత శాస్త్రజ్ఞులుగా ఎదిగారు. వారిలో కొందరు రిచర్డ్ డెడికైండ్, బెర్‌హర్డ్ రీమన్, ఫెడరిక్ బెసల్ మరియు సోఫీ జర్మేన్. ఇతని గౌరవార్థం జర్మను దేశం మూడు పోస్టల్ స్టాంపులను మరియు (పది) 10 గుర్తు బ్యాంక్ నోటును విడుదల చేసింది. చంద్రుని పై గల క్రేటరును గాస్ క్రేటరు అని మరియు ఆస్టరాయిడ్ 100 గాసియా అని ఇతని పేరు మీద పిలుస్తున్నారు.

15.4.1. బిందు విద్యుదావేశం వల్ల ఒక బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం (Electric field due to a point charge)

గాస్ సూత్రాన్ని ఉపయోగించి బిందు విద్యుదావేశం వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని కనుక్కుందాం. r వ్యాసార్థం కలిగి, కేంద్రం వద్ద ఒక బిందు విద్యుదావేశం గల గోళాకార గాసియన్ తలాన్ని పటం 15.17లో చూపినట్లు ఊహిద్దాం. గోళాకార సౌష్టవరీత్యా ఈ తలంపై ఏ బిందువు వద్దనైనా తలానికి లంబదిశలో బయటకు విద్యుత్ క్షేత్రం $\mathbf{E}$ ఉంటుంది. వైశాల్య అల్పాంశం Δs కు గీసిన లంబం, $\mathbf{E}$ కు సమాంతరంగా ఉంది. గాస్ సూత్రం ప్రకారం



పటం 15.17 : +*q* ఆవేశం కేంద్రం వద్ద గల గోళాకార తలంపై విద్యుత్ క్షేత్రం

$$\phi_E = \sum_i \mathbf{E}_i \,.\, \Delta \boldsymbol{s}_i = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$\cos\theta = 1$ మరియు తలంపై అన్ని బిందువుల వద్ద $\mathbf{E}$ సమానం కాబట్టి

$$\phi_E = E \times 4\pi r^2$$

లేదా $\frac{q}{\epsilon_0} = E \times 4\pi r^2$

$$\Rightarrow E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \text{... (15.23)}$$

గోళాకార తలంపై E ని గణించిన బిందువు వద్ద రెండవ ఆవేశం q_0 ఉంటే విద్యుత్ క్షేత్రం వల్ల q_0 ఆవేశంపై కలిగే బల పరిమాణం

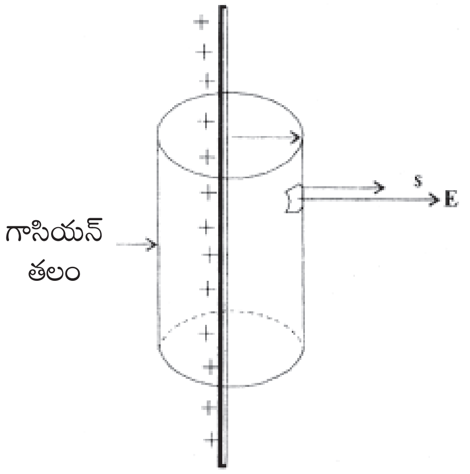
$$F = q_0 \times E$$

అపుడు $$F = \frac{q_0 q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \text{.... (15.24)}$$

ఈ ఫలితాన్ని మీరు గుర్తించారా? ఇది రెండు స్థిర బిందు ఆవేశాల మధ్యగల కూలూంబ్ బలానికి సమాసం.

15.4.2 ఆవేశితమైన తిన్నని తీగ వల్ల కలిగే విద్యుత్ క్షేత్రం (Electric field due to a long line charge)

సమదైర్ఘ్య ఆవేశ సాంద్రత σ_l (ప్రమాణ పొడవుకు గల ఆవేశం) ఉన్న ఒక అనంతమైన పొడవు కలిగిన తిన్నని ఆవేశితమైన తీగను తీసుకుందాం. $+q$ ఆవేశం ఈ తీగపై ఉందనుకుందాం. r దూరంలో ఉన్న P అనే బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని మనం లెక్కించాలి. ఇప్పుడు మనం ఆవేశిత తీగ చుట్టూ తీగను ఆవరిస్తూ తీగతో సహాక్షంగా ఉండే ఒక స్తూపంను గీయాలి. ఈ స్తూపం రెండు చివరలు మూసి ఉండాలి. ఈ స్తూపాకార గాసియన్ తలాన్ని పటం 15.18లో చూపించాం.



పటం 15.18: సమ దైర్ఘ్య ఆవేశ సాంద్రత గల ఆవేశితమైన తిన్నని తీగ వల్ల కలిగే విద్యుత్ క్షేత్రం. గాసియన్ తలం ఒక సమకోణ వృత్తాకార స్తూపం.

ఆవేశిత తీగ నుంచి అన్ని బిందువులు సమాన దూరంలో ఉన్నాయి కాబట్టి స్థూప వక్రతలంపై ఏ బిందువు వద్దనైనా విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం E స్థిరంగా ఉంటుంది. విద్యుత్ క్షేత్ర దిశ, అల్పాంశ వైశాల్యానికి (Δs) గీసిన లంబం సమాంతరంగా ఉన్నాయి. గాసియన్ స్థూపం పొడవు l అనుకుందాం. గాసియన్ స్థూపం చేత ఆవరింపబడిన మొత్తం ఆవేశం $q = \sigma_l l$. స్థూపం వక్రతల వైశాల్యం $2\pi rl$

స్థూపంకు పైన, కింద గల చదునైన తలాల సదిశా వైశాల్యాలు విద్యుత్ క్షేత్రానికి లంబంగా ఉంటాయి $(\cos 90^0 = 0)$ కాబట్టి ఈ తలాల గుండా విద్యుత్ అభివాహం సున్నా అవుతుంది. అపుడు

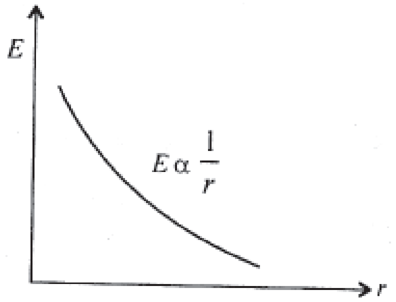
$$\phi_E = \sum \mathbf{E} \cdot \Delta \mathbf{s}$$

$$= E \times 2\pi \, rl$$

గాస్ సూత్రం ప్రకారం $\phi_E = \dfrac{q}{\epsilon_0}$ కాబట్టి

$$E \times 2\pi rl = \frac{q}{\epsilon_0} = \frac{\sigma_l l}{\epsilon_0}$$

లేదా $$E = \frac{\sigma_l}{2\pi \epsilon_0 r} \quad \ldots (15.25)$$



పటం 15.19 : ఆవేశిత తిన్నని తీగలో *r* తో E లో కలిగే మార్పు

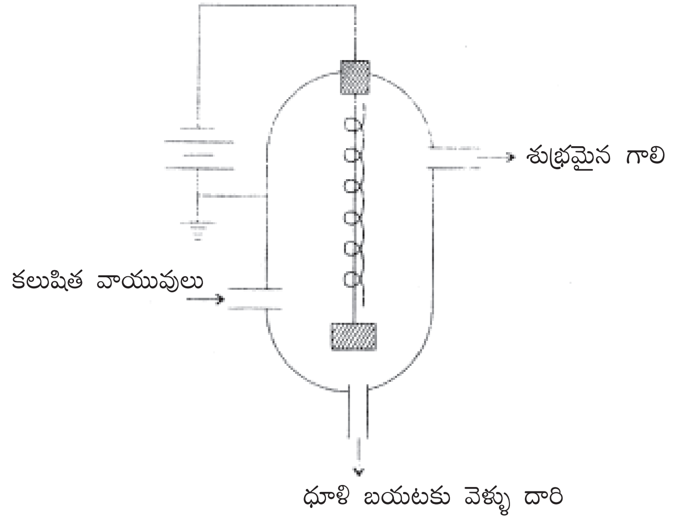
పై సమీకరణం, విద్యుత్ క్షేత్రం విలువ తీగ నుంచి బిందువు వరకు గల దూరానికి విలోమానుపాతంలో ఉంటుందని తెలుపుతుంది. దీనినే పటం 15.19లో చూపించాం.

స్థిర విద్యుత్ ఫిల్టర్ (నిర్గలని)

ఇటుక బట్టీ మరియు థర్మల్ విద్యుచ్ఛక్తి కేంద్రాలలోని పొగ గొట్టాల నుంచి వెలువడే నల్లటి పొగను మరియు ధూళి కణాలను మీరు చూసి ఉంటారు. ఈ పొగలో వాయువులే కాకుండా చిన్న ధూళి (బొగ్గు) కణాలు కూడా అధిక మోతాదులో ఉంటాయి. ఇటువంటి పొగను వాతావరణంలోకి విడుదల చేసినపుడు ధూళి కణాలు భూమిపై పేరుకుని నేలను కలుషితం చేస్తాయి. వాయువులు భూతాపాన్ని కలిగిస్తాయి. ఇవి జీవ వ్యవస్థకు హానికరం. కాబట్టి పొగను వాతావరణంలోకి విడుదల చేసే ముందు ధూళి కణాలను వేరు చేయడం ఎంతైనా అవసరం.

అధిక విద్యుత్ క్షేత్రం ఉపయోగించడం వల్ల వాయువులలో కలిగే విద్యుదుత్సర్గం యొక్క ముఖ్య అనువర్తనమే *స్థిర విద్యుత్ ఫిల్టర్ పరికరం లేదా ప్రెసిపిటేటర్.*

ఈ పరికరాన్ని పటంలో చూపించాం. లోహపాత్ర మధ్యలో గల తీగ వద్ద అధికమైన రుణపొటెన్షియల్ ఉందనుకుందాం (సుమారుగా 100 kV). పాత్ర యొక్క గోడను బ్యాటరీ ధనాత్మక కొనకు మరియు భూమికి కలపాలి. పాత్ర మధ్య భాగంలో ఉన్న తీగను బరువు W తిన్నగా ఉంచుతుంది. గోడ నుంచి తీగ వైపుకు విద్యుత్ క్షేత్రం ఏర్పడుతుంది. ధూళి, వాయువులను పాత్ర గుండా పంపాలి.



తీగ వద్ద గల అధిక క్షేత్రం వల్ల విద్యుదుత్సర్గం జరుగుతుంది. ధన, రుణ అయానులు మరియు ఎలక్ట్రానులు ఉత్పన్నమవుతాయి. ఈ రుణావేశ కణాలు గోడ వైపుకు కదలుతాయి. ధూళి కణాలతో ఇవి అభిఘాతం చెంది వాటిని ఆవేశితం చేస్తాయి. అధిక ధూళి కణాలు రుణావేశితం అయి పాత్ర గోడ వైపుకు ఆకర్షింపబడతాయి. పాత్రను కుదిపినపుడు కణాలు గోడను విడిచి పాత్ర అడుగు భాగానికి చేరుకుంటాయి. నిర్గమ పైపు ద్వారా వీటిని బయటికి తీయవచ్చు. ఈ విధంగా ధూళికణాలను వాయువుల నుండి వేరుచేసిన శుద్ధమైన గాలి వాతావరణంలోకి వస్తుంది. అధిక దక్షతగల ఈ రకం ఫిల్టర్‌లు పొగ నుండి సుమారుగా 98% వరకు ధూళిని తీసివేస్తాయి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలు 15.4

1. గాసియన్ తలం గుండా పోయే విద్యుత్ అభివాహం శూన్యం. అయితే ఇది ఖచ్చితంగా ఈ అర్థాన్ని ఇస్తుందా?

   ఎ) తలం లోపల గల మొత్తం ఆవేశం శూన్యం.

   ....

   బి) తలంపై ప్రతిబిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం శూన్యం.

   ....

   సి) తలం లోపలికి ప్రవేశించే విద్యుత్ బల రేఖల సంఖ్య తలం బయటికి వెళ్ళే బలరేఖల సంఖ్యకు సమానం.

   ....

2. విద్యుత్ క్షేత్రం విలువ 3.0×10^{6} NC^{-1} కంటే ఎక్కువయినపుడు గాలిలో స్పార్క్‌లు (మినుగులు) ఏర్పడతాయి. చుట్టూ ఉన్న గాలిలో స్పార్క్‌లు రాకుండా, 5.0 cm. వ్యాసార్థం గల గోళం ఎంత గరిష్ట ఆవేశంను కలిగి ఉండవచ్చు.

   ....

3. ద్విధ్రువం (డైపోల్) ను (ఎ) ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రంలో మరియు (బి) ఏకరీతి కాని విద్యుత్ క్షేత్రంలో ఉంచినపుడు దాని మీద పనిచేసే నికర బలం, నికర బలభ్రామకం పరిమాణం, దిశలను తెలపండి?

....

మీరు ఏమి నేర్చుకున్నారు

- గాజు కడ్డీని సిల్కుతో రుద్దినపుడు, రబ్బరును బొచ్చుతో రుద్దినపుడు విద్యుదావేశం ఏర్పడుతుంది.
- సాంప్రదాయం ప్రకారం గాజు కడ్డీ మీద చేరిన ఆవేశాన్ని ధనాత్మకంగా రబ్బరు మీద చేరిన ఆవేశాన్ని ఋణాత్మకంగా తీసుకంటారు.
- సజాతి ఆవేశాలు పరస్పరం వికర్షించుకుంటాయి విజాతి ఆవేశాలు పరస్పరం ఆకర్షించుకుంటాయి.
- రెండు బిందు ఆవేశాల మధ్యగల బల పరిమాణం, దిశ కూలూంబ్ నియమం నుంచి మనకు తెలుస్తుంది.

$$\mathbf{F} = k\frac{q_1 \times q_2}{r^2}\hat{\boldsymbol{r}}$$

ఇక్కడ $k = \frac{1}{4\pi \in_0} = 9.0 \times 10^9 \, \mathrm{Nm^2C^{-2}}$

- ప్రకృతిలో ఆవేశానికి గల అతి చిన్న ప్రమాణం, ఎలక్ట్రాను మీద గల ఆవేశం

$$e = 1.60 \times 10^{-19} \, \mathrm{C}$$

- విద్యుదావేశం నిత్యత్వం మరియు e యొక్క ప్రమాణాలలో క్వాంటీకరణం చెందింది.
- q ఆవేశం వల్ల ఒక బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని ఏకాంక శోధనావేశం q_0 మీద పనిచేసే బలంగా నిర్వచిస్తారు.

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q_0} = k \times \frac{q}{r^2}\hat{\boldsymbol{r}}$$

- ఆవేశ సమూహం వల్ల ఒక ఆవేశంపై పని చేసే బలాన్ని అధ్యారోపణ నియమంను ఉపయోగించి కనుక్కోవచ్చు. ఈ నియమాన్ని ఒక బిందువు వద్ద ఆవేశ సమూహం వల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రానికి కూడా అనువర్తింపవచ్చు.
- సమాన పరిణామాలు గల రెండు విజాతి బిందు విద్యుదావేశాలను నిర్దిష్టమైన స్వల్ప దూరంలో ఉంచిన అమరికను విద్యుత్ డైపోల్ (ద్విధ్రువం) అంటారు. డైపోల్ విద్యుత్ భ్రామకం $|\boldsymbol{p}| = qr$, $\boldsymbol{p}$ దిశను డైపోల్‌లోని ఋణ విద్యుదావేశం నుండి ధన విద్యుదావేశం వైపు తీసుకుంటాం.
- డైపోల్ అక్షంపై దూరంగా గల బిందువు విషయంలో (End-on స్థానంలో) మరియు డైపోల్ మధ్య లంబ రేఖపై దూరంగా గల బిందువు విషయంలో (Broad-on స్థానంలో) విద్యుత్ క్షేత్రాలు వరసగా

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\in_0}\frac{2\boldsymbol{p}}{r^3}$$

మరియు $\mathbf{E} = -\frac{1}{4\pi\in_0}\frac{\boldsymbol{p}}{r^3}$

- విద్యుత్ బలరేఖలు, విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని మనం స్వయంగా కళ్ళతో చూస్తున్న భావాన్ని కలిగిస్తాయి.
- ఒక వైశాల్యానికి లంబదిశగా ఆ వైశాల్యం గుండా పోయే విద్యుత్ బలరేఖల సంఖ్యను విద్యుత్ అభివాహం (ϕ_E) అంటారు. ϕ_E ని ఈ విధంగా నిర్వచిస్తారు.

$$\phi_E = \mathbf{E}.\mathbf{A}$$

- ఏదయినా ఒక మూసిన తలం నుంచి వెలువడే మొత్తం విద్యుత్ అభివాహం, ఆ తలం చేత ఆవరింపబడిన మొత్తం ఆవేశానికి $\frac{1}{\epsilon_0}$ రెట్లు ఉంటుంది అని గాస్ సిద్ధాంతం (నియమం) ప్రవచిస్తుంది.
- సమదైర్ఘ్య ఆవేశ సాంద్రత σ_l కలిగి ఉన్న అనంత పొడవు కలిగిన సన్నని తిన్నని తీగవల్ల ఏర్పడే విద్యుత్ క్షేత్రం,

$$E = \frac{\sigma_l}{2\pi\epsilon_0 r}$$

ముగింపు అభ్యాసం

1. x అక్షంపై x = 20 cm వద్ద + 12 μC ఆవేశం మరియు x = 29 cm వద్ద - 18 μC (−q) ఆవేశం ఉన్న 18 μC ఆవేశంపై పనిచేసే బల పరిమాణం, దిశలను కనుక్కోండి. 12 μC ఆవేశంపై పనిచేసే బలదిశను తెలపండి.
2. 3.0 m దూరంతో వేరుచేయబడిన రెండు బిందు ఆవేశాలు q_1, q_2 లపై 16×10^{-15} N అన్యోన్య బలం పనిచేస్తుంది. $q_1 = q_2 = q$ అయినపుడు బల పరిమాణంను లెక్కించండి. ఆవేశాల మధ్య దూరాన్ని 6.0 m కు పొడిగించినపుడు బల పరిమాణం ఎంత?
3. A, B అనే రెండు బిందువులు x దూరంలో ఉన్నాయి. రెండు బిందువులపై +q ఆవేశం ఉన్నపుడు వాటి మధ్యగల బలం F. ఇపుడు బిందు ఆవేశాలకు బదులుగా +q ఆవేశం గల రెండు సర్వసమానమైన లోహపు గోళాలను బిందువులపై ఉంచారు. గోళ కేంద్రాల మధ్య దూరం కూడ x అయిన వాటి మధ్య బలం మారుతుందా ? మీ సమాధానాన్ని సమర్థించడానికి కారణాలు తెలపండి.
4. రెండు బిందు ఆవేశాలు 16 cm దూరంలో ఎడంగా శూన్యంలో ఉన్నప్పుడు వాటి మధ్య వికర్షణ బలం 7.5×10^{-10} N నిరోధ స్థిరాంకం $k = 2.5$ గల యానకంలో వీటిని ఉంచినపుడు వాటి మధ్యగల బలంను కనుక్కోండి.
5. x దూరం ఎడంగా ఉన్న రెండు ప్రోటాన్ల మధ్య ఉండే విద్యుత్ బలాన్ని గురుత్వ బలంతో పోల్చండి. ఒక్కొక్క ప్రోటాను ఆవేశం 1.6×10^{-19} C, ద్రవ్యరాశి $1.67\times10^{-27}\,kg$ మరియు గురుత్వ స్థిరాంకం $G = 6.67\times10^{-11}\,Nm^2kg^{-2}$.
6. ఒక్కొక్కటి +q ఉన్న సర్వసమానమైన నాలుగు బిందు ఆవేశాలను ప్రమాణ భుజం కలిగిన ఒక చతురస్రం నాలుగు శీర్షాల వద్ద ఉంచారు. చతురస్రం కేంద్రం వద్ద q_0 శోధనావేశంను ఉంచితే దాని పై పని చేసే బలాన్ని కనుక్కోండి.
7. విద్యుత్ బలరేఖలు పరస్పరం సమాంతరంగా ఎపుడు ఉంటాయి.
8. ఒక లోహ గోళానికి 6.4×10^{-7} C ధనావేశం కలిగించడానికి ఎన్ని ఎలక్ట్రానులు దాని నుంచి తీసివేయాలి.

9. $q = 3.0\times10^{-6}$ C మరియు $2l = 4\times10^{-10}$ m గల ఒక విద్యుత్ డైపోల్‌ను తీసుకుందాం. డైపోల్ విద్యుత్ భ్రామకం పరిమాణంను కనుక్కోండి. మధ్యలంబ తలంపై $r = 6\times10^{-6}$ m దూరంలో గల బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రాన్ని కనుక్కోండి.

10. $R = 3.0$ mm వ్యాసార్థం గల లోహపు గోళంపై $-q = 15\times10^{-6}$ C ఆవేశాన్ని ఉంచారు. గోళ కేంద్రం నుంచి $r = 15$ cm దూరంలో గల బిందువు వద్ద ఏర్పడ్డ విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం, దిశను కనుక్కోండి. పై గోళాన్ని అంతే ఆవేశం కలిగి, 9.0 mm వ్యాసార్థం గల గోళంతో మార్చినపుడు అదే బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్ర పరిమాణం దిశలను కనుక్కోండి.

11. 20 cm వ్యాసార్థం గల గోళ కేంద్రం వద్ద + 15 μC ఆవేశాన్ని ఉంచారు. గోళ తలం గుండా విద్యుత్ అభివాహంను కనుక్కోండి.

12. ఏకరీతి విద్యుత్ క్షేత్రం $E = 8.0\times10^{4}\,NC^{-1}$ లో ఒక ప్రోటానును ఉంచినపుడు దాని త్వరణంను లెక్కించండి.

13. రెండు బిందు ఆవేశాలు q_1, q_2 లు 30 cm దూరం ఎడంగా ఉన్నాయి మరియు $(q_1 + q_2) = 20\,\mu C$ వాటి మధ్య గల వికర్షణ బలం 750 N అయితే q_1, q_2 లను లెక్కించండి.

పాఠంలోని ప్రశ్నలకు జవాబులు

15.1

1. (i) అవును (ii) ఆవేశం = 3.2×10^{-17} C

2. $+Q$ ఆవేశాన్ని A కల్గి ఉంటుంది. A, B లు రెండు స్పర్శించుకొనేట్లుగా వాటిని దగ్గరకు తెస్తే, ఆవేశం సమంగా వితరణ చెందుతుంది. (i) ఉంటుంది (ii) $\frac{+Q}{2}$

3. $q = 4.8\times10^{-16}$

   $Ne = q$ కాబట్టి

   $N = \frac{4.8\times10^{-16}}{1.6\times10^{-19}} = 3.0\times10^{3}$ ఆవేశాలు.

15.2

1. $Q_1 = 16\mu C, Q_2 = 9\mu C$ మరియు $r = 12$ m

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$= \frac{(9\times10^9\,Nm^2C^{-2})(16\times10^{-6}C)\times(9\times10^{-6}C)}{144m^2}$$

$$= 9\times10^{-3}\,N$$

(i) q_2 నుండి q_1 దిశలో

(ii) q_1 నుండి q_2 దిశలో

2. B వద్ద ఉన్న ఆవేశం వల్ల A వద్ద గల బలం, $F_1 = k\frac{q^2}{a^2}$

ఇక్కడ AB = a. AB = AC కావున

B వద్ద ఉన్న ఆవేశం వల్ల A వద్ద గల బలం

$$F_2 = k\frac{q^2}{a^2}$$

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 = 2F^2$$

45^0 ల వద్ద $R = F\sqrt{2}$

15.3

1. a) E + x అక్షంవైపు

   b) + y అక్షం వైపు

   c) x అక్షంతో 45^0 ల వద్ద

2. AB = AC = 40 cm

$$|\mathbf{E}_1| = \frac{kq}{r^2} = |\mathbf{E}_2| = \frac{9\times10^9\,Nm^2C^{-2}\times(2\times10^{-6}C)}{(0.40m)^2} = 1.125\times10^5\,NC^{-1}$$

$\mathbf{E}_1, \mathbf{E}_2$ ల ఫలితం BC కి సమాంతరం కాబట్టి

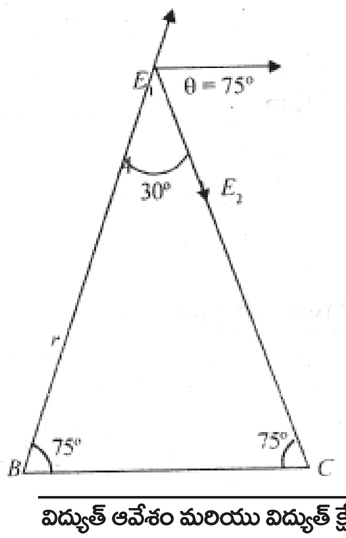
$$R^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos150$$

$$= 2E^2 + 2E^2\cos(180-30)$$

$$= 2E^2 - 2E^2\times\cos30 = 2E^2\left(1+\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$= 4.723\times10^{10}\,N^2C^{-2}$$

ఈ ఫలితం దిశ BC కి సమాంతరంగా $B \rightarrow C$ కి ఉంటుంది.



3. భూమి దిశలో **E** ఉంటుంది. రుణావేశం పై గల బలం నిలువుగా పైకి ఉంటుంది.

4. ఆవేశాల మధ్య బిందువు వద్ద విద్యుత్ క్షేత్రం సున్నా.

15.4.

1. (i) అవును (ii) ఖచ్చితంగా కాదు (iii) అవును

2. $E = \frac{Q}{4\pi \in_0 r^2}$

$\therefore Q = 4\pi \in_0 r^2 E$

$= (3\times10^6 NC^{-1})\times\frac{1}{(9\times10^9 Nm^2C^{-2})}\times(25\times10^{-4} m^2)$

$= 8.3\times10^{-7} C$

3. $(a)\ \mathbf{F} = 0,\ \tau = 0$

$(b)\ \mathbf{F} \neq 0,\ \tau = 0$

ముగింపు అభ్యాసములోని లెక్కలకు జవాబులు

1. రుణ x- అక్షం వైపు 240 N, + 12 μC ఆవేశంపైన బలం ధన x- అక్షంవైపు ఉంటుంది.

2. $q = 4\times10^{-3} C$

4. $3\times10^{-10} N$

5. విద్యుత్ బలం, గురుత్వ బలానికి సుమారుగా 10^{36} రెట్లు ఉంటుంది.

6. సున్నా

8. 4×10^{12} ఎలక్ట్రాన్లు

9. 12×10^{-16} Cm. 0.5×10^{15} NC^{-1}.

10. 6×10^{-6} NC^{-1}. కేంద్రం వైపు ఉంటుంది, విద్యుత్ క్షేత్రం సమానంగా ఉంటుంది.

11. 1.7×10^{6} μm

12. 7.6×10^{12} ms^{-2}

13. 15 μC మరియు 5 μC.