அலகு

1

நிலை மின்னியல்

மின்சாரம் என்பது முறைப்படுத்தப்பட்ட மின்னலே
– ஜார்ஜ் கார்லின்

கற்றலின் நோக்கங்கள்:

இந்த அலகில் மாணவர்கள் அறிந்து கொள்வது

- மின்னியல் மற்றும் காந்தவியலின் வரலாற்றுப் பின்னணி
- நம் அன்றாட வாழ்வில் நிலைமின் விசையின் பங்கு
- கூலூம் விதி மற்றும் மேற்பொருந்துதல் தத்துவம்
- மின்புலம், அதன் கருத்துரு
- பல்வேறு மின்துகள் கட்டமைப்புகளுக்கு மின்புலத்தைக் கணக்கிடுதல்
- நிலை மின்னழுத்தம் மற்றும் நிலைமின்னழுத்த ஆற்றல்
- மின் இருமுனை மற்றும் இருமுனை திருப்புத்திறன்
- மின் இருமுனையின் மின்புலம் மற்றும் நிலை மின்னழுத்தம்
- மின்பாயம்
- காஸ் விதியும் அதன் பல்வேறு பயன்பாடுகளும்
- கடத்திகள் மற்றும் மின்காப்புப் பொருள்களின் நிலைமின்னியல் பண்புகள்
- மின்முனைவாக்கம்
- தொடரிணைப்பு மற்றும் பக்கஇணைப்பில் மின்தேக்கிகள்
- மின்காப்பினால் மின்தேக்கியில் ஏற்படும் விளைவு
- கடத்திகளில் மின்துகள்களின் பரவல் மற்றும் ஒளிவட்ட மின்னிறக்கம்
- வான் டி கிராப் மின்இயற்றி செயல்படும் விதம்

YWRC5M

1.1 அறிமுகம்

மின்காந்தவியல் என்பது இயற்பியலின் மிக முக்கியமான பிரிவுகளில் ஒன்றாகும். 21 ஆம் நூற்றாண்டின் தொழில்நுட்ப வளர்ச்சிகள் பலவும் மின்காந்தவியலைப் பற்றிய நமது புரிதலினால் ஏற்பட்டவையே.

அன்றாட வாழ்வில் நாம் காணும் விசைகளுள், ஈர்ப்பு விசையைத் தவிர பிற அனைத்து விசைகளும் மின்காந்த இயல்பு கொண்டவையே. +1 வகுப்பில், ஈர்ப்பு விசை, இழுவிசை, உராய்வு விசை, செங்குத்து விசை உள்ளிட்ட விசைகளைப் பற்றி நாம் கற்றோம். அவை ஒவ்வொன்றையும் தனித்த இயல்புடைய விசையாகவும் ஒன்றையொன்று சார்ந்தவை அல்ல என்றும் நியூட்டன் கருதினார். அப்படியெனில் இவ்விசைகளின் தோற்ற மூலம் தான் என்ன? தற்போதைய புரிதல்படி, நம் அன்றாட வாழ்வில் நாம் எதிர்கொள்ளும் விசைகளுள் ஈர்ப்பு விசையைத் தவிர பிற விசைகள் அனைத்தும் (கம்பியின் இழுவிசை, பரப்பின் செங்குத்து விசை, உராய்வு விசை உள்ளிட்டவை) அணுக்களுக்கு இடையே தோன்றும் மின்காந்த விசைகளே. சில எடுத்துக்காட்டுகள் கீழே தரப்பட்டுள்ளது:

(i) பொருளொன்று தள்ளப்படும்போது, நம் கைகளில் உள்ள அணுக்களுடன் அப்பொருளிலுள்ள அணுக்கள் இடைவினை (interact) புரிகின்றன. இந்த இடைவினை விசையானது மின்காந்த இயல்பையே பெற்றுள்ளது.

(ii) புவிப்பரப்பின் மீது நாம் நிற்கும்போது, நம் மீது புவியீர்ப்பு விசை கீழ்நோக்கிய திசையில் செயல்படுகிறது. தரையின் செங்குத்து விசை மேல்நோக்கிய திசையில் செயல்பட்டு அதை சமன் செய்கிறது. இந்த செங்குத்து விசையின் தோற்ற மூலம் என்ன?

புவிப்பரப்பின் மேலுள்ள அணுக்களுக்கும் நம் பாதங்களிலுள்ள அணுக்களுக்கும் இடையே நிகழும் இடைவினையின் காரணமாகவே இவ்விசை உருவாகிறது. உண்மையில், ஈர்ப்பு விசையினால் நாம் ஈர்க்கப்படும் நிலையில் அணுக்களுக்கு இடையே உருவாகும் மின்காந்த விசையினால் தான் புவியின் மேல் நம்மால் நிற்க முடிகிறது.

(iii) பரப்பு ஒன்றின் மீது ஒரு பொருளைத் தள்ளும்போது, அது நகர முற்படுவதை ஓய்வுநிலை உராய்வு தடுக்கும். இந்த ஓய்வுநிலை உராய்வானது பரப்பிலுள்ள அணுக்களுக்கும் பொருளிலுள்ள அணுக்களுக்கும் இடையே ஏற்படும் மின்காந்த இடைவினையால் உருவாகின்றது. இயக்கநிலை உராய்வும் இத்தகைய தோற்றமூலம் கொண்டதே.

எனவே பிரபஞ்சத்தைப் பற்றிய முழுமையான புரிதலுக்கு மின்காந்தவியலைப் பற்றிய புரிதல் இன்றியமையாதது என்று இந்த எடுத்துக்காட்டுகள் மூலம் தெளிவாகின்றது. மின்காந்தவியலின் அடிப்படைத் தத்துவங்களை +2 வகுப்பு இயற்பியலின் முதல் தொகுதியில் அறிந்து கொள்ளலாம். நிலையாக உள்ள மின்துகள்களின் தன்மை பற்றியும் அது தொடர்பான நிகழ்வுகள் பற்றியும் இந்த அலகில் கூறப்பட்டுள்ளது. **நிலையாக உள்ள மின்துகள்களைப் பற்றி அறிய உதவும் மின்னியலின் இந்தப் பிரிவு நிலை மின்னியல் எனப்படும்.**

1.1.1 வரலாற்று பின்புலம் – மின்னூட்டங்கள்

அரக்கு (amber) எனப்படும் ஒரு வகைப் பொருளை (இது ஒளிகசியும் தன்மையுடைய, புதைப்படிமமாக மாறிய ஒரு வகை மரப்பிசினே) விலங்கு உரோமம் அல்லது கம்பளி கொண்டு தேய்த்தால் அது சிறு இலைகளையும் தூசினையும் கவர்வதை சுமார் இரண்டாயிரம் ஆண்டுகளுக்கு முன்னரே பண்டைய கிரேக்கர்கள் கண்டுள்ளனர். இத்தகைய பண்பைப் பெற்றுள்ள அரக்கு 'மின்னூட்டம் பெற்றுள்ளது' *எனலாம். தொடக்கத்தில் அரக்கு மட்டுமே இந்த சிறப்பியல்பு உள்ளதாக கருதப்பட்டது. ஆனால், பின்னாளில் பட்டுத்துணியால் தேய்க்கப்பட்ட கண்ணாடித் தண்டும் காகிதத் துண்டுகளைக் கவர்வது கண்டறியப்பட்டது. எனவே, தகுந்த பொருளைக் கொண்டு தேய்க்கப்படும் கண்ணாடித் தண்டும் கூட 'மின்னூட்டம் பெறும்' தன்மை கொண்டுள்ளது.

படம் 1.1 இல் கொடுத்துள்ளபடி நூலில் தொங்கவிடப்பட்டுள்ள மின்னூட்டம் பெற்ற ஒரு இரப்பர் தண்டைக் கருதுவோம். இப்போது மின்னூட்டம் பெற்ற கண்ணாடித் தண்டு ஒன்றை இரப்பர் தண்டின் அருகில் கொண்டு செல்லும் போது, அவை ஒன்றையொன்று கவருகின்றன. அதே சமயம், மின்னூட்டம் பெற்ற கண்ணாடித் தண்டினை மின்னூட்டம் பெற்ற இன்னொரு கண்ணாடித் தண்டின் அருகில் கொண்டு சென்றால் அவை ஒன்றையொன்று விலக்குவதைக் காணலாம்.

இந்த காட்சியறிவுகளின் (observations) மூலம் பின்வரும் முடிவுகளைக் கூறலாம்.

(i) இரப்பர் தண்டு பெற்ற மின்னூட்டம் கண்ணாடித் தண்டு பெற்ற மின்னூட்டத்திலிருந்து வேறுபட்டது.

(ii) மின்னூட்டம் பெற்ற இரப்பர் தண்டு மின்னூட்டம் பெற்ற இன்னொரு இரப்பர் தண்டினை விலக்குகிறது. இதிலிருந்து, ஓரின மின்னூட்டங்கள் ஒன்றையொன்று விலக்குகின்றன எனலாம். மின்னூட்டம் பெற்ற கண்ணாடித் தண்டை மின்னூட்டம் பெற்ற இன்னொரு கண்ணாடித் தண்டு விலக்கும் செயல்பாட்டிலிருந்தும் இதே முடிவை எட்டலாம்.

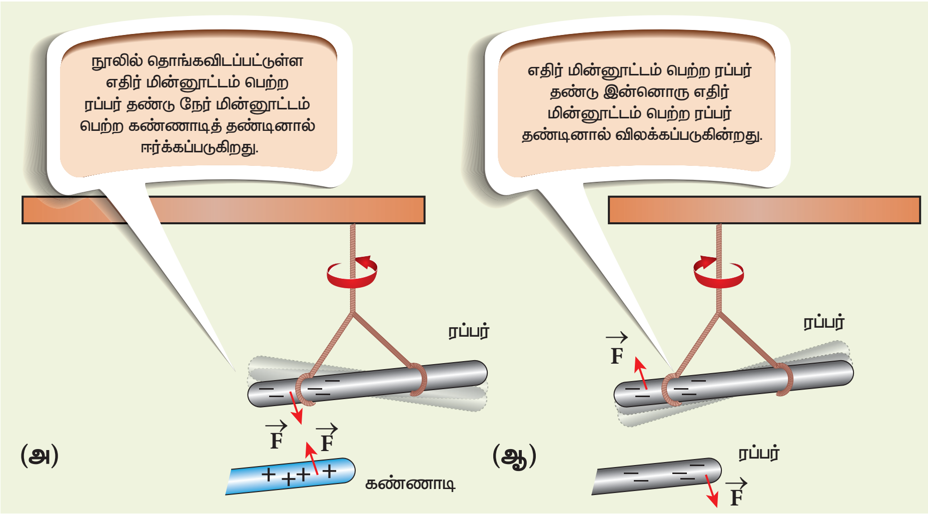
(iii) மின்னூட்டம் பெற்ற இரப்பர் தண்டை மின்னூட்டம் பெற்ற கண்ணாடித் தண்டு கவருகின்றது. இதிலிருந்து கண்ணாடித் தண்டிலுள்ள மின்னூட்டமும் இரப்பரிலுள்ள மின்னூட்டமும் ஒரே வகையல்ல என்பதும் வேறின மின்னூட்டங்கள் ஒன்றையொன்று கவருகின்றன என்பதும் தெரிய வருகின்றது.

பிரபஞ்சத்தில் இரு வகை மின்னூட்டங்களே உள்ளன. ஒரு வகையை நேர் மின்னூட்டம் (+) எனவும் இன்னொரு வகையை எதிர் மின்னூட்டம் (–) எனவும் பெஞ்சமின் பிராங்க்ளின் என்பார் 18 ம் நூற்றாண்டில் வகைப்படுத்தினார். இம்மரபுப்படி, மின்னூட்டம் பெற்ற இரப்பர் மற்றும்

---

*இந்த அலகில்,

(i) மின்துகள் என்பது மின் தன்மை பெற்றுள்ள துகள் (Particle) ஆகும். அதாவது, எலக்ட்ரான் ஆனது எதிர் மின்னூட்டம் கொண்ட ஒரு மின்துகள் ஆகும். புரோட்டான், ஒரு நேர் மின்துகள். (ii) பொருளொன்று பெற்றுள்ள மின்தன்மை பண்பு (Property) மற்றும் மின்தன்மையின் அளவு ஆகியவை மின்னூட்டம் என்ற சொல்லினால் குறிக்கப்படுகின்றன. (iii) ஒரு பொருளானது மின்தன்மை பெறும் நிகழ்வைக் (Process) குறிப்பதற்கு மின்னேற்றம் என்ற சொல் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது.



படம் 1.1 (அ) வேறின மின்துகள்கள் ஒன்றையொன்று கவர்கின்றன (ஆ) ஓரின மின்துகள்கள் ஒன்றையொன்று விலக்குகின்றன

அரக்குத் தண்டுகள் எதிர் மின்னூட்டம் பெற்றவை என்றும், மின்னூட்டம் பெற்ற கண்ணாடித் தண்டு நேர் மின்னூட்டம் பெற்றது என்றும் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகின்றன. ஒரு பொருளிலுள்ள **நிகர (net) மின்னூட்டம் சுழியெனில், அப்பொருள் மின் நடுநிலையில் உள்ளது எனலாம்.**

19 ம் நூற்றாண்டின் இறுதியிலும் 20 ம் நூற்றாண்டின் தொடக்கத்திலும் தம் ஆராய்ச்சிகளை மேற்கொண்ட ஜே.ஜே.தாம்சன், ஏ.ரூதர்போர்டு போன்ற அறிவியல் அறிஞர்களின் முன்னோடி ஆய்வுகளின் மூலம் அணுவானது மின் நடுநிலை கொண்டது என்று அறியப்பட்டது. மேலும், அணுவானது எதிர் மின்னூட்டம் கொண்ட எலக்ட்ரான்கள், நேர் மின்னூட்டம் கொண்ட புரோட்டான்கள் மற்றும் மின் நடுநிலைமை கொண்ட நியூட்ரான்கள் ஆகியவற்றால் ஆனது என்றும் நாம் அறிகிறோம். பொதுவாக, அனைத்துப் பொருள்களும் அணுக்களால் ஆனவை என்பதால் அவையும் மின் நடுநிலைமை கொண்டவையே. ஒரு பொருளை மற்றொரு பொருளுடன் தேய்க்கும்போது (எடுத்துக்காட்டாக, இரப்பரை பட்டுத்துணியால் தேய்க்கும்போது) எதிர் மின்துகள்கள் சிலவற்றை அப்பொருள் இழக்கின்றது அல்லது பெறுகின்றது, இதனால் தான் அப்பொருள் மின்னூட்டம் பெற்றதாகின்றது. இம்முறையில், அதாவது, உராய்வின் மூலம் பொருள்களை மின்னேற்றம் (charging) செய்யும் முறை 'உராய்வு மின்னேற்றம்' எனப்படும்.

1.1.2 மின்னூட்டத்தின் அடிப்படைப் பண்புகள்

(i) மின்னூட்டம்

பிரபஞ்சத்திலுள்ள பொருள்கள் அனைத்தும் அணுக்களால் ஆனவை; அணுக்கள் புரோட்டான்கள், நியூட்ரான்கள் மற்றும் எலக்ட்ரான்களால் ஆனவை. இவை அனைத்துமே நிறை எனும் உள்ளார்ந்த (inherent) பண்பை உடையவை. இதேபோல், மின்னூட்டம் என்பதும் மற்றொரு உள்ளார்ந்த அடிப்படைப் பண்பாகும். 19 ஆம் மற்றும் 20 ஆம் நூற்றாண்டுகளில் மேற்கொள்ளப்பட்ட பல்வேறு ஆய்வுகளின் மூலம் மின்துகளின் இயல்பைப் பற்றிய புரிதல் ஏற்பட்டது. மின்னூட்டத்தின் SI அலகு கூலூம் [C] ஆகும்.

(ii) மின்னூட்ட மாறாத்தன்மை

ஒரு பொருள் இன்னொன்றால் தேய்க்கப் படும்போது ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றிற்கு மின்துகள்கள் இடம்பெயர்கின்றன என பெஞ்சமின் பிராங்ளின் வாதிட்டார். தேய்க்கப்படும் முன் பொருள்கள் மின் நடுநிலையில் உள்ளன. தேய்க்கப்படும் போது ஒன்றிலிருந்து மற்றொரு பொருளுக்கு மின்துகள்கள் இடம்பெயர்கின்றன. (எடுத்துக்காட்டாக, கண்ணாடி தண்டினை பட்டுத் துணியால் தேய்க்கும்போது, எதிர்மின்னூட்டம் பெற்ற மின்துகள்கள் கண்ணாடித் தண்டிலிருந்து பட்டுத்துணிக்கு இடம்பெயர்கின்றன. இதனால் கண்ணாடித் தண்டு நிகர நேர் மின்னூட்டத்தையும் பட்டுத்துணி நிகர எதிர் மின்னூட்டத்தையும் பெறுகின்றன). இத்தகைய காட்சியறிவுகளிலிருந்து 'மின்னூட்டங்களை ஆக்கவோ அழிக்கவோ இயலாது' என்றும் 'அவற்றை ஒரு பொருளிலிருந்து மற்றொரு பொருளுக்கு இடமாற்றம் செய்ய மட்டுமே இயலும்' என்றும் அவர் கூறினார். இதையே மொத்த மின்னூட்ட மாறாத் தன்மை என்பர். இது, இயற்பியலில் அறியப்படும் மாறாத் தன்மை விதிகளுள் (Conservation laws) அடிப்படையான ஒன்றாகும். இவ்விதியை பொதுப்படையாகப் பின்வருமாறு கூறலாம். **பிரபஞ்சத்திலுள்ள மொத்த மின்னூட்டம் மாறாமல் இருக்கும். மின்னூட்டத்தை ஆக்கவோ அழிக்கவோ இயலாது. எந்தவொரு**

இயற்கை நிகழ்விலும் மொத்த மின்னூட்ட மாற்றம் சுழியாகவே இருக்கும்.

(iii) மின்னூட்டத்தின் குவாண்டமாக்கல் (Quantization)

இயற்கையில்கிடைக்கப்பெறும்சிறுமமின்னூட்ட மதிப்பு எவ்வளவு? எலக்ட்ரானின் மின்னூட்ட மதிப்பு $-e$ எனவும் புரோட்டானின் மின்னூட்ட மதிப்பு $+e$ எனவும் ஆய்வுகள் (experiments) தெளிவுபடுத்துகின்றன. இங்கு e என்பதுதான் மின்னூட்டத்தின் அடிப்படை மதிப்பு. எந்தவொரு பொருளில் உள்ள மின்னூட்டத்தின் மதிப்பும் இந்த அடிப்படை மதிப்பின் முழு மடங்காகவே இருக்கும் .

$$q = ne \qquad (1.1)$$

இங்கு n என்பது ஒரு முழுவெண் (0, ±1, ±2, ±3, ±4…….). இதுவே மின்னூட்டத்தின் குவாண்டமாக்கல் எனப்படும். e இன் மதிப்பு 1.6×10^{-19} C என்பதை புகழ்பெற்ற ஆய்வின் மூலம் இராபர்ட் மில்லிகன் கண்டறிந்தார். எலக்ட்ரானின் மின்னூட்ட மதிப்பு $= -1.6 \times 10^{-19}$ C மற்றும் புரோட்டானின் மின்னூட்ட மதிப்பு $= +1.6 \times 10^{-19}$ C.

கண்ணாடித் தண்டொன்று பட்டுத்துணியால் தேய்க்கப்படும்போது இடம்பெயரும் மின்துகள்களின் எண்ணிக்கை (n) மிகப்பெரியதாக இருக்கும் (பொதுவாக 10^{10}). எனவே, நடைமுறையில் நாம் காணும் பொருட்களுக்கு மின்னூட்டத்தின் குவாண்டமாக்கல் குறிப்பிடத்தக்க பங்கு வகிப்பதில்லை. ஆகவே, மின்னூட்டத்தைத் (பிரிவுநிலையற்ற = not discrete) தொடர் மதிப்புடையதாகக் கருதலாம். ஆனால் (கண்ணுக்குப் புலனாகாத) நுண்ணிய நிலையில் மின்னூட்டத்தின் குவாண்டமாக்கல் முக்கிய பங்கை வகிக்கிறது.

எடுத்துக்காட்டு 1.1

ஒரு கூலூம் மின்னூட்ட மதிப்புடைய எதிர் மின்துகளிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு

மின்னூட்டத்தின் குவாண்டமாக்கல் (பண்பின்) படி,

$$q = ne$$

இங்கு $q = 1$ C. எனவே, இதிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை,

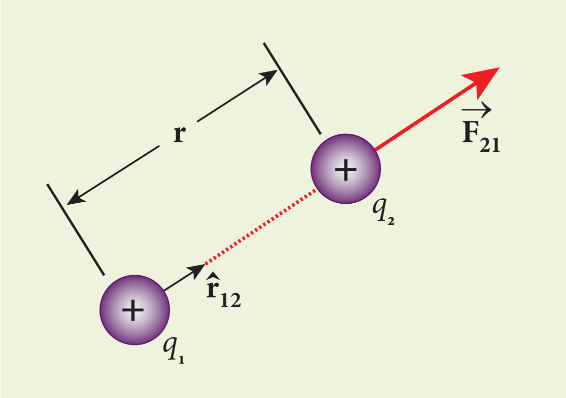
$$n = \frac{q}{e} = \frac{1\text{C}}{1.6\times10^{-19}} = 6.25\times10^{18} \text{ எலக்ட்ரான்கள்}$$

1.2 கூலூம் விதி

வெற்றிட வெளியில் (free space) நிலையாக உள்ள இரு புள்ளி மின்துகள்களுக்கு இடையே காணப்படும் விசைக்கான கோவையை 1786 ஆம் ஆண்டில் கூலூம் என்பவர் தருவித்தார். படம் 1.2 இல் உள்ளவாறு வெற்றிடத்தில் r தொலைவில் பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ள இரு நிலையாகவுள்ள புள்ளி மின்துகள்களைக் கருதுவோம். அவற்றின் மின்னூட்டங்கள் முறையே q_1 மற்றும் q_2 ஆகும். கூலூம் விதிப்படி, புள்ளி மின்துகள் q_2 வின் மீது புள்ளி மின்துகள் q_1 செயல்படுத்தும் விசையானது பின்வருமாறு எழுதப்படுகிறது.

$$\vec{F}_{21} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{r}_{12} \qquad (1.2)$$

இங்கு r_{12} என்பது q_1 இலிருந்து q_2 வை நோக்கி வரையப்படும் ஓரலகு வெக்டர் மற்றும் k என்பது தகவு மாறிலி.



படம் 1.2 இருபுள்ளி மின்துகள்களுக்கிடையே கூலூம் விசை

கூலூம் விதியின் முக்கிய இயல்புகள்

(i) நிலைமின் விசையானது புள்ளி மின்துகள்களின் மின்னூட்ட மதிப்பின் பெருக்கற்பலனுக்கு நேர்த்தகவிலும் அவற்றிற்கு இடையே உள்ள தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர்த்தகவிலும் இருக்கும்.

(ii) q_2 மின்துகளின்மீது q_1 மின்துகள் செலுத்தும் விசை அவற்றை இணைக்கும் கோட்டின் திசையிலேயே இருக்கும். இதில் $\hat{r}_{12}$ என்ற ஓரலகு

வெக்டரானது மின்துகள் q_1 லிருந்து q_2 வை நோக்கிய திசையிலிருக்கும் [படம் 1.2]. அதேபோல், q_1 இன் மீது q_2 செலுத்தும் விசை $-\hat{r}_{12}$ திசையிலிருக்கும் (அதாவது $\hat{r}_{12}$ ன் திசைக்கு எதிர்த்திசையில்)

(iii) SI அலகு முறையில், $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ மற்றும் k ன் மதிப்பு 9×10^9 Nm^2C^{-2} என்றும் கண்டறியப் பட்டுள்ளது. இங்கு ϵ_0 என்பது வெற்றிடத்தின் விடுதிறன் (Permittivity of free space) எனப்படும். அதன் மதிப்பு

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12} C^2N^{-1}m^{-2}.$$

(iv) ஒரு கூலூம் மின்னூட்ட மதிப்பு கொண்ட ஒரு மீட்டர் இடைவெளியில் வைக்கப்பட்டுள்ள இரு மின்துகள்களுக்கு இடையே செயல்படும் விசையின் மதிப்பைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்.

$$|F| = \frac{9 \times 10^9 \times 1 \times 1}{1^2} = 9 \times 10^9 N.$$

இது மிகப்பெரிய விசையாகும். கிட்டத்தட்ட ஒரு மில்லியன் டன் நிறை கொண்ட பொருளின் எடைக்குச் சமமாகும். நடைமுறையில் 1 கூலூம் அளவு மின்னூட்டம் கொண்ட மின்துகள்களை நாம் எதிர்கொள்வதே இல்லை. நம் அன்றாட வாழ்வில் நிகழும் பெரும்பாலான மின்நிகழ்வுகளில் μC (மைக்ரோ கூலூம்) மற்றும் nC (நேனோ கூலூம்) அளவிலான மின்னூட்டங்கள் கொண்ட மின்துகள்களே இடம்பெறுகின்றன.

(v) SI அலகு முறையில், வெற்றிடத்திற்கான கூலூம் விதியின் வடிவம் $\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}\hat{r}_{12}$.

விடுதிறன் ϵ மதிப்புடைய வேறொரு ஊடகத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள புள்ளி மின்துகள்களுக்கு இடையே செயல்படும் விசை $\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon}\frac{q_1q_2}{r^2}\hat{r}_{12}$.

ஆனால், $\epsilon > \epsilon_0$. எனவே, வெற்றிடத்தில் உள்ள புள்ளி மின்துகள்களுக்கு இடையிலான விசையை விட பிற ஊடகங்களில் செயல்படும் விசை குறைவாக இருக்கும். மேலும் ஒரு ஊடகத்தின் சார்பு விடுதிறனை (Relative permittivity) நாம் பின்வருமாறு வரையறுக்கலாம். $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$.

வெற்றிடம் மற்றும் காற்றில் $\epsilon_r = 1$ மற்ற ஊடகங்களுக்கு $\epsilon_r > 1$.

(vi) கூலூம் விதி நியூட்டனின் ஈர்ப்பு விதியின் அமைப்பையே கொண்டுள்ளது. இவ்விரண்டிலும் விசையானது, இடைத்தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர்த்தகவில் உள்ளவாறு அமைந்துள்ளன. நிலைமின் விசை, புள்ளி மின்துகள்களில் உள்ள மின்னூட்டங்களின் பெருக்கலுக்கு நேர்த்தகவிலும், ஈர்ப்பு விசை புள்ளி நிறைகளின் பெருக்கலுக்கு நேர்த்தகவிலும் அமைந்துள்ளன. ஆனால், இவற்றிற்கிடையே சில முக்கிய வேறுபாடுகளும் உள்ளன.

- இரு நிறைகளுக்கு இடையேயான ஈர்ப்பு விசை எப்போதும் கவரும் விசையாகவே உள்ளது. கூலூம் விசையோ, மின்துகள்களின் இயல்பை பொருத்து கவரும் விசையாகவோ விலக்கு விசையாகவோ இருக்கின்றது.

- ஈர்ப்பியல் மாறிலியின் மதிப்பு $G = 6.67 \times 10^{-11}$ $N m^2 kg^{-2}$. ஆனால், கூலூம் விதியில் உள்ள மாறிலியின் மதிப்பு $k = 9 \times 10^9$ $N m^2 C^{-2}$. k ன் மதிப்பு G ஐ விட மிகவும் அதிகமாதலால் நிறை குறைவான பொருள்களுக்கு ஈர்ப்பு விசையைக் காட்டிலும் நிலைமின் விசையின் மதிப்பு மிகவும் அதிகமாகவே இருக்கும்.

- இரு நிறைகளுக்கு இடையில் உள்ள ஈர்ப்பு விசை அது வைக்கப்பட்டிருக்கும் ஊடகத்தைச் சார்ந்ததல்ல. எடுத்துக்காட்டாக, காற்றிலோ அல்லது நீரிலோ, எதில் வைக்கப்பட்டிருந்தாலும் இரு 1 kg நிறைகளுக்கிடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு விசையின் மதிப்பு மாறாது. ஆனால், இரு மின்துகள்களுக்கு இடையே செயல்படும் நிலைமின் விசையோ அவை வைக்கப்பட்டுள்ள ஊடகத்தின் தன்மையை சார்ந்து இருக்கும்.

(vii) மின்துகள் q_1 இன் மீது மின்துகள் q_2 செலுத்தும் விசை

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}\hat{r}_{21}$$

இங்கு $\hat{r}_{21}$ என்பது q_2 விலிருந்து q_1 ஐ நோக்கிய திசையிலுள்ள ஓரலகு வெக்டராகும். ஆனால், $\hat{r}_{21} = -\hat{r}_{12}$ எனப் பிரதியிட்டால்,

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_\circ}\frac{q_1 q_2}{r^2}\left(-\hat{r}_{12}\right) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_\circ}\frac{q_1 q_2}{r^2}\left(\hat{r}_{12}\right)$$

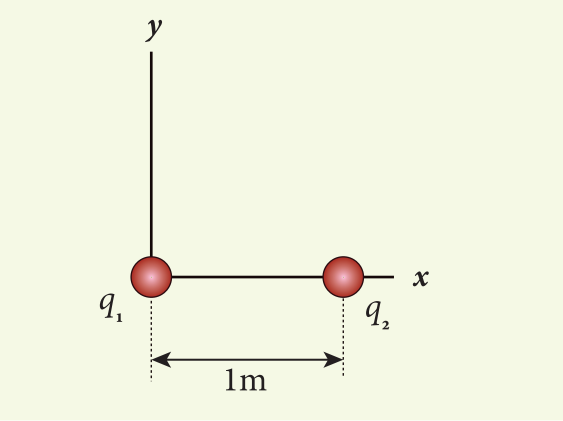
(அல்லது) $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

எனவே நிலை மின் விசை நியூட்டனின் மூன்றாம் விதிக்குட்பட்டது.

(viii) கூலூம் விதி புள்ளி மின்துகள்களுக்கு மட்டுமே பொருந்தும். ஆனால், புள்ளி மின்துகள் என்பது ஒரு கருத்தாக்கம் மட்டுமே. நடைமுறையில் சாத்தியமில்லை. மின்துகள்களுக்கு இடையே உள்ள தொலைவை ஒப்பிடும்போது அவற்றின் உருவ அளவு மிகவும் சிறியதாக இருந்தால், கூலூம் விதியை நாம் பயன்படுத்தலாம். இன்னும் சொல்லப்போனால் கூலூம் தன் சோதனையில், முறுக்குத்தராசு (torsion balance) ஒன்றில் வைக்கப்பட்ட மின்னூட்டம் பெற்ற இரு கோளங்களைப் புள்ளி மின்துகள்களாகக் கருதியே அவர் தம் விதியைக் கண்டறிந்தார். அந்த ஆய்வில், கோளங்களின் ஆரங்களை விட அவற்றிற்கிடையேயான தொலைவு மிக அதிகம்.

எடுத்துக்காட்டு 1.2

படத்தில் இரு புள்ளி மின்துகள்கள் q_1 மற்றும் q_2 நிலையாக உள்ளன.



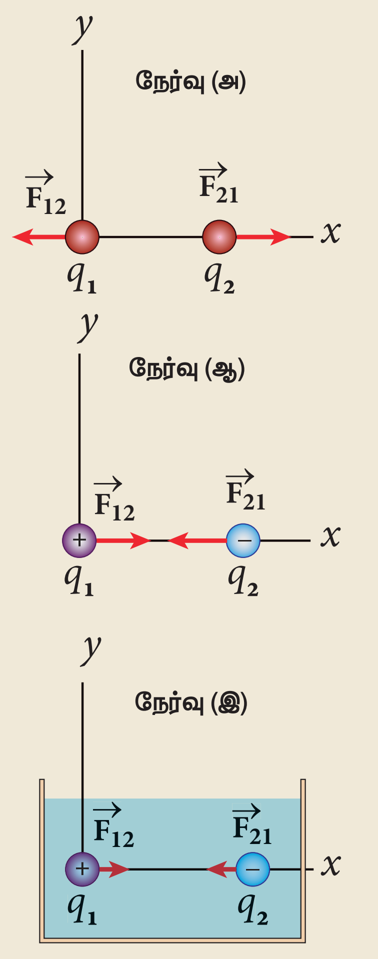
அவை 1 m இடைவெளியில் பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ளன. பின்வரும் நேர்வுகளுக்கு அவற்றுக்கு இடையே செயல்படும் விசையை கணக்கிடுக.

(அ) $q_1 = +2\ \mu C$ மற்றும் $q_2 = +3\ \mu C$

(ஆ) $q_1 = +2\ \mu C$ மற்றும் $q_2 = -3\ \mu C$

(இ) $q_1 = +2\ \mu C$ மற்றும் $q_2 = -3\ \mu C$ நீரில் ($\epsilon_r = 80$) வைக்கப்படும்போது

தீர்வு



(அ) $q_1 = +2\ \mu C$, $q_2 = +3\ \mu C$ மற்றும் $r = 1 m$. இங்கு இரண்டுமே நேர் மின்துகள்கள். ஆதலால், இவற்றிற்கு இடையே விலக்கு விசை செயல்படும்.

மின்துகள் q_1 ஆல் மின்துகள் q_2 உணரும் விசை

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{r}_{12}$$

இங்கு $\hat{r}_{12}$ என்பது q_1 லிருந்து q_2 ஐ நோக்கிய திசையிலுள்ள ஓரலகு வெக்டர். q_1 க்கு வலது பக்கத்தில் q_2 உள்ளதால்,

$$\hat{r}_{12} = \hat{i} \text{ மற்றும் } \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9\times10^9 \text{ எனவே}$$

$$\vec{F}_{21} = \frac{9\times10^9\times2\times10^{-6}\times3\times10^{-6}}{1^2}\hat{i}$$

$$= 54\times10^{-3}\,\hat{i}\ \text{N}$$

நியூட்டனின் மூன்றாம் விதிப்படி, மின்துகள் q_2 ஆல் q_1 உணரும் விசை $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$.

$$\vec{F}_{12} = -54 \times 10^{-3}\,\hat{i}\ \text{N}.$$

$\vec{F}_{21}$ மற்றும் $\vec{F}_{12}$ ஆகியவற்றின் திசைகள் படத்தில் (நேர்வு (அ)) காட்டப்பட்டுள்ளது.

(ஆ) $q_1 = +2\ \mu\text{C}$, $q_2 = -3\ \mu\text{C}$ மற்றும் $r = 1\text{m}$. இவை வேறின மின்துகள்களாதலால் இவற்றிற்கிடையே கவரும் விசை செயல்படும். மின்துகள் q_1 ஆல் q_2 உணரும் விசை

$$\vec{F}_{21} = \frac{9\times10^{9}\times\left(2\times10^{-6}\right)\times\left(-3\times10^{-6}\right)}{1^2}\hat{r}_{12}$$
$$= -54\times10^{-3}N\,\hat{i} \qquad (\because \text{இங்கு } \hat{r}_{12} = \hat{i}\,)$$

எனவே, மின்துகள் q_2 ஆனது q_1 ஐ நோக்கிய திசையில் (அதாவது எதிர்க்குறி x திசையில்) ஒரு கவரும் விசையை உணரும்.

நியூட்டனின் மூன்றாம் விதிப்படி, மின்துகள் q_2 ஆல் q_1 உணரும் விசை $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$. அதாவது

$$\vec{F}_{12} = 54\times10^{-3}\,\hat{i}\ \text{N}$$

$\vec{F}_{21}$ மற்றும் $\vec{F}_{12}$ ஆகிய விசைகளின் திசை படத்தில் (நேர்வு – ஆ) காட்டப்பட்டுள்ளது.

(இ) இரு மின்துகள்களும் நீருக்குள் வைக்கப்பட்டால் q_2 உணரும் விசை

$$\vec{F}_{21}^{W} = \frac{1}{4\pi\epsilon}\frac{q_1q_2}{r^2}\hat{r}_{12}$$

ஆனால் $\epsilon = \epsilon_r\,\epsilon_0$

$$\vec{F}_{21}^{W} = \frac{1}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}\hat{r}_{12} = \frac{\vec{F}_{21}}{\epsilon_r}$$

எனவே,

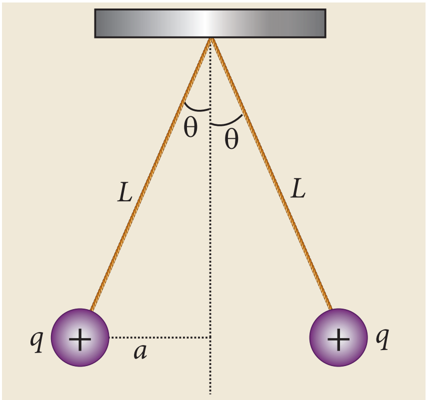
$$\vec{F}_{21}^{W} = -\frac{54\times10^{-3}\text{N}}{80}\hat{i} = -0.675\times10^{-3}\text{N}\hat{i}$$

குறிப்பு

இரு மின்துகள்களுக்கிடையே வெற்றிடத்தில் செயல்படும் விசையை விட அவை நீருக்குள் வைக்கப்படும் போது செயல்படும் விசை $\frac{1}{80}$ பங்காகக் குறைந்துள்ளதைக் கவனிக்கவும். சாதாரண உப்பை (NaCl) நீரில் இடும்போது, நீரின் அதிக மதிப்புடைய சார்பு விடுதிறனால் (ϵ_r = 80), Na மற்றும் Cl அயனிகளுக்கு இடையே நிலவும் நிலைமின் விசை குறைந்து விடுகிறது. இதனால் தான் நீர் ஒரு சிறந்த கரைப்பானாக உள்ளது.

எடுத்துக்காட்டு 1.3

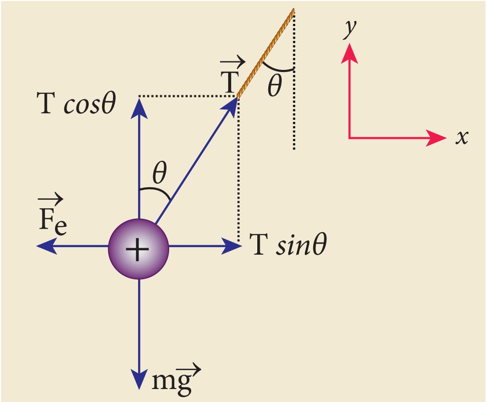
ஒவ்வொன்றும் 1 g நிறையுடைய, சிறிய உருவளவு கொண்ட, இரு ஒரே மாதிரியான கோளங்கள் சமநிலையில் உள்ளவாறு, படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன. நூலின் நீளம் 10 cm மற்றும் செங்குத்துத் திசையுடன் நூல் உருவாக்கும் கோணம் 30° எனில் கோளம் ஒவ்வொன்றிலும் உள்ள மின்னூட்டத்தைக் கணக்கிடுக. ($g = 10\ \text{m s}^{-2}$ என எடுத்துக்கொள்க)



தீர்வு

கோளங்கள் இரண்டும் மின்னூட்டம் அற்றவையாக இருந்தால், அவை தொங்கவிடப்படும்போது அவற்றுக்கு இடையே உருவாகும் கோணம் 0° ஆக இருக்கும். ஆனால் அவை நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற கோளங்கள் ஆதலால், அவற்றுக்கிடையே விலக்கு விசை செயல்பட்டு, செங்குத்து திசைக்கு 30° கோணத்தில் அவை சமநிலைக்கு வருகின்றன.

சமநிலையில் ஒவ்வொரு கோளமும் உணரும் நிகர விசை சுழியாகும். அவற்றுள் ஏதேனும் ஒரு கோளத்திற்கான தனித்த பொருள் விசைப்படத்தை நாம் வரைந்து, செங்குத்து மற்றும் கிடைமட்டத் திசைகளில் நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்துவோம்.



நேர்க்குறி x – திசையில் கோளத்தின் நிகர முடுக்கம் சுழி.

நியூட்டனின் இரண்டாம் விதிப்படி $\left(\vec{F}_{tot} = m\vec{a}\right)$,

$$T\sin\theta\hat{i} - F_e\hat{i} = 0$$

$$T\sin\theta = F_e \qquad (1)$$

இங்கு T என்பது நூலினால் கோளத்தின் மீது செலுத்தப்படும் இழுவிசை மற்றும் F_e என்பது இரு கோளங்களுக்கு இடையிலான நிலைமின் விசை

y – திசையிலும் கூட, கோளத்தின் நிகர முடுக்கம் சுழி. எனவே

$$T\cos\theta\hat{j} - mg\hat{j} = 0$$

எனவே, $T\cos\theta = mg$. (2)

சமன்பாடு (1) ஐ (2) ஆல் வகுக்க,

$$\tan\theta = \frac{F_e}{mg} \qquad (3)$$

இரு கோளங்களும் சம மின்னூட்டம் பெற்றுள்ளதால், நிலைமின் விசையின் எண்மதிப்பு

$$F_e = k\frac{q^2}{r^2} \quad \text{இங்கு } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

மேலும் $r = 2a = 2L\sin\theta$, சமன்பாடு (3) ல் பிரதியிட

$$\tan\theta = k\frac{q^2}{mg\left(2L\sin\theta\right)^2} \qquad (4)$$

சமன்பாடு (4) ஐ மாற்றியமைக்க

$$q = 2L\sin\theta\sqrt{\frac{mg\tan\theta}{k}}$$

$$= 2\times0.1\times\sin30^\circ\times\sqrt{\frac{10^{-3}\times10\times\tan30^\circ}{9\times10^9}}$$

$$q = 8.01\times10^{-8}\ \text{C} = 80.1\ \text{nC}$$

எடுத்துக்காட்டு 1.4

ஹைடிரஜன் அணுவில் உள்ள புரோட்டானுக்கும் எலக்ட்ரானுக்கும் இடையேயான நிலைமின் விசை மற்றும் ஈர்ப்பு விசையைக் கணக்கிடுக. அவற்றின் இடைத்தொலைவு 5.3×10^{-11} m. எலக்ட்ரான் மற்றும் புரோட்டான் இவையிரண்டிற்கும் மின்னூட்ட மதிப்பு 1.6×10^{-19}C. எலக்ட்ரானின் நிறை $m_e = 9.1\times10^{-31}$ kg மற்றும் புரோட்டானின் நிறை $m_p = 1.6\times10^{-27}$ kg.

தீர்வு

புரோட்டானும் எலக்ட்ரானும் ஒன்றையொன்று கவருகின்றன. இவ்விரு மின்துகள்களுக்கும் இடையேயான நிலைமின் விசையின் எண்மதிப்பு

$$F_e = \frac{ke^2}{r^2} = \frac{9\times10^9\times\left(1.6\times10^{-19}\right)^2}{\left(5.3\times10^{-11}\right)^2}$$

$$= \frac{9\times2.56}{28.09}\times10^{-7} = 8.2\times10^{-8}\ \text{N}$$

புரோட்டான் மற்றும் எலக்ட்ரானுக்கு இடையேயான புவியீர்ப்பு விசையும் கவர்விசையே. இவ்விரு துகள்களுக்கும் இடையே நிலவும் ஈர்ப்பு விசையின் எண்மதிப்பு

$$F_G = \frac{Gm_e m_p}{r^2}$$

$$= \frac{6.67\times10^{-11}\times9.1\times10^{-31}\times1.6\times10^{-27}}{\left(5.3\times10^{-11}\right)^2}$$

$$= \frac{97.11}{28.09}\times10^{-47} = 3.4 \times 10^{-47}\ \text{N}$$

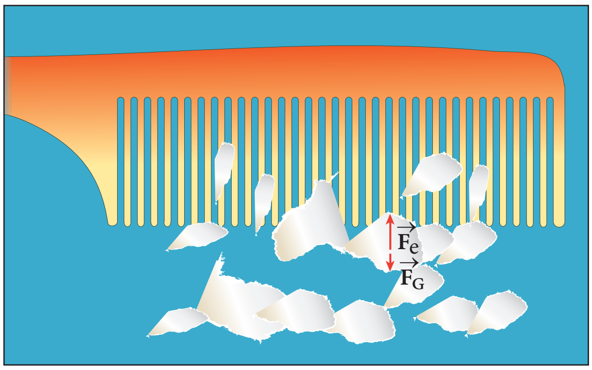
இவ்விரு விசைகளுக்குமான விகிதம்

$$\frac{F_e}{F_G} = \frac{8.2\times10^{-8}}{3.4\times10^{-47}} = 2.41 \times 10^{39}$$

$F_e \approx 10^{39} F_G$ என்பதைக் கவனிக்கவும்.

புரோட்டானுக்கும் எலக்ட்ரானுக்கும் இடையேயான நிலைமின் விசையானது அவற்றுக்கிடையே நிலவும் ஈர்ப்பு விசையைவிட பல மடங்கு மிகப்பெரியது. எனவே, சிறிய நிறை கொண்ட பொருள்கள் மற்றும் அணுநிலை அளவுகள் (atomic domain) உள்ளிட்ட பல சூழ்நிலைகளில் நிலைமின் விசையை ஒப்பிடுகையில் ஈர்ப்பு விசை புறக்கணிக்கத்தக்கதே. இதனால் தான், மின்னூட்டமற்ற சிறு காகிதத்துண்டு ஒன்று புவியின் ஈர்ப்பு விசையினால் கவரப்பட்டாலும் அதை விட அதிக வலிமையுடன் மின்னூட்டம் பெற்ற சீப்பு ஒன்றினால் (அக்காகிதத் துண்டை) கவர முடிகிறது.

BTD6UI



படம் 1.3 சீப்புக்கும் காகிதத் துண்டுகளுக்கும் இடையில் உள்ள நிலைமின் கவர்ச்சி விசை

1.2.1 மேற்பொருந்துதல் தத்துவம்

இரு புள்ளி மின்துகள்களுக்கு இடையே ஏற்படும் இடைவினையை கூலூம் விதி விளக்குகிறது. இரண்டிற்கு மேற்பட்ட மின்துகள்கள் இருந்தால், ஒவ்வொரு மின்துகளின் மீதும் மற்ற அனைத்து மின்துகள்களும் செலுத்தும் விசையைக் கணக்கிட வேண்டும். இத்தகைய சூழ்நிலைகளுக்கு கூலூம் விதியினால் மட்டுமே விசை காண இயலாது. பல மின்துகள் அமைப்புகளில் ஏற்படும் இடைவினைகளைப் பற்றி மேற்பொருந்துதல் தத்துவம் விளக்குகிறது.

மேற்பொருந்துதல் தத்துவத்தின் படி, **ஒரு குறிப்பிட்ட மின்துகள் மீது செயல்படும் மொத்த விசையானது மற்ற அனைத்து மின்துகள்கள் அதன்மீது செயல்படுத்தும் விசைகளின் வெக்டர் கூடுதலுக்குச் சமமாகும்.**

$q_1, q_2, q_3 \ldots q_n$ ஆகிய மின்னூட்ட மதிப்புகளை–யுடைய n மின்துகள்களை உள்ளடக்கிய அமைப்பு ஒன்றைக் கருதுக. q_1 ன் மீது q_2 செலுத்தும் விசை

$$\vec{F}_{12} = k\frac{q_1 q_2}{r_{21}^2}\hat{r}_{21}$$

இங்கு $\hat{r}_{21}$ என்பது q_2 விலிருந்து q_1 ஐ இணைக்கும் கோட்டின் திசையில் அமையும் ஓரலகு வெக்டர் மற்றும் r_{21} என்பது அவை இரண்டிற்குமான இடைத்தொலைவு ஆகும். இவ்விரு மின்துகள்களுக்கு இடையேயான விசை, சுற்றி அமைந்துள்ள மற்ற மின்துகள்களால் மாற்றப்படுவதில்லை.

q_1 ன் மீது q_3 செலுத்தும் விசை

$$\vec{F}_{13} = k\frac{q_1 q_3}{r_{31}^2}\hat{r}_{31}$$

இதேபோல், q_1 ன் மீது மற்ற அனைத்து மின்துகள்களாலும் செலுத்தப்படும் மொத்த நிலைமின் விசை

$$\vec{F}_1^{tot} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14} + \ldots\ldots\ldots\vec{F}_{1n}$$

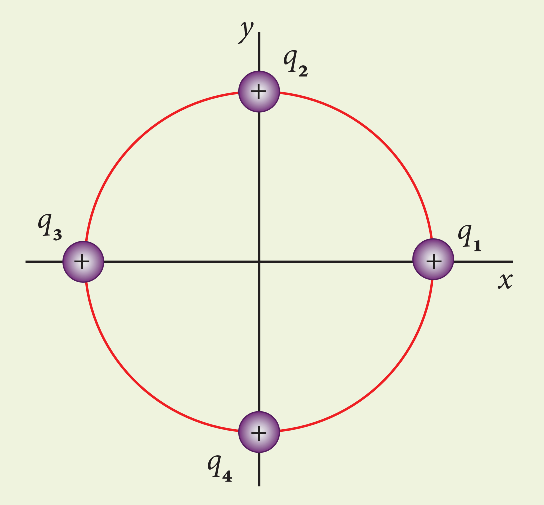
$$\vec{F}_1^{tot} = k\left\{\frac{q_1 q_2}{r_{21}^2}\hat{r}_{21} + \frac{q_1 q_3}{r_{31}^2}\hat{r}_{31} + \frac{q_1 q_4}{r_{41}^2}\hat{r}_{41} + \ldots \right.$$
$$\left. \ldots + \frac{q_1 q_n}{r_{n1}^2}\hat{r}_{n1}\right\} \quad (1.3)$$

குறிப்பு

இரு மின்துகள்களை விட அதிக எண்ணிக்கையில் உள்ள மின்துகள் அமைப்புகளில், மேற்பொருந்துதல் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்தாமல் கூலூம் விதி முழுமை பெறாது. மேற்பொருந்துதல் தத்துவம் மற்றும் கூலூம் விதி ஆகியவை நிலை மின்னியலின் அடிப்படைத் தத்துவங்களாகும். நிலை மின்னியலில் காணப்படும் அனைத்து நிகழ்வுகளையும் இவ்விரண்டு தத்துவங்கள் விளக்குகின்றன. ஆனாலும் இவ்விரண்டு தத்துவங்களையும் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றைத் தருவிக்க இயலாது.

எடுத்துக்காட்டு 1.5

ஆரம் 1 m கொண்ட வட்டத்திலுள்ள நான்கு புள்ளிகளில் நான்கு சமமான மின்னூட்டம் கொண்ட மின்துகள்கள் q_1, q_2, q_3 மற்றும் $q_4 = q = +1\,\mu C$ வைக்கப்பட்டுள்ளன [பார்க்க படம்]. மின்துகள் q_1 ன் மீது மற்ற அனைத்து மின்துகள்களாலும் செலுத்தப்படும் மொத்த விசையைக் கணக்கிடுக.

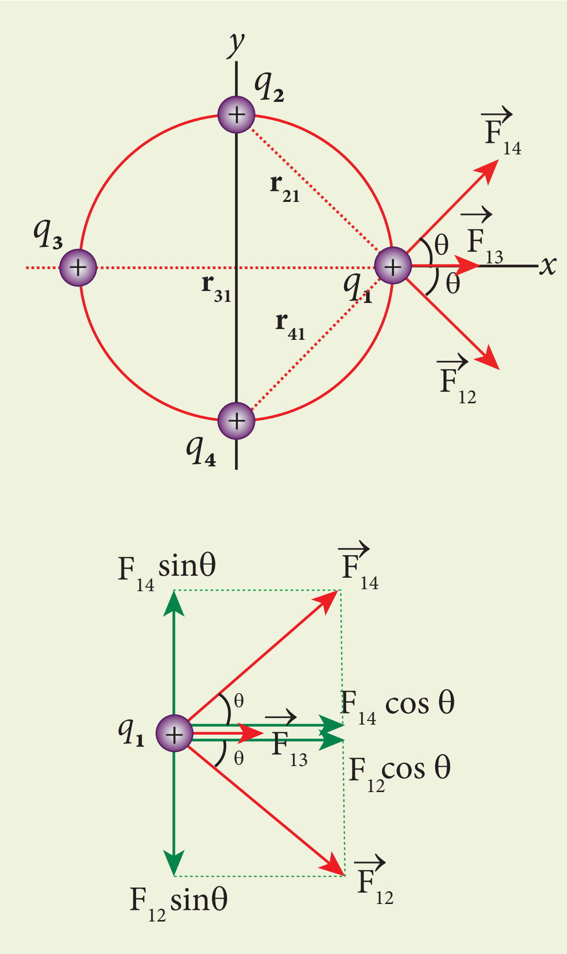


தீர்வு

மேற்பொருந்துதல் தத்துவத்தின்படி, q_1 ன் மீது செலுத்தப்படும் மொத்த நிலைமின் விசையானது மற்ற மின்துகள்களால் அதன்மீது செலுத்தப்படும் தனித்தனி விசைகளின் வெக்டர் கூடுதலுக்குச் சமம்.

$$\vec{F}_1^{tot} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14}$$

q_1 ன் மீது செயல்படும் விசை ஒவ்வொன்றின் திசையும் பின்வரும் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது.



q_2 மற்றும் q_4 ஆகிய மின்துகள்கள் q_1 லிருந்து சம தொலைவில் உள்ளன. எனவே, திசையினால் வேறுபட்டாலும் $\vec{F}_{12}$ மற்றும் $\vec{F}_{14}$ விசைகளின் எண்மதிப்பு சமமாகும். இதனால் தான் அவற்றைக் குறிப்பிடப் பயன்படுத்திய வெக்டர்கள் சமநீளமுடன் வரையப்பட்டுள்ளன. ஆனால் q_2 மற்றும் q_4 ஆகியவற்றைக் காட்டிலும் அதிக தொலைவில் மின்துகள் q_3 உள்ளது. தொலைவு கூடினால் நிலைமின் விசையின் வலிமை குறையும். ஆதலால், விசைகள் $\vec{F}_{12}$ மற்றும் $\vec{F}_{14}$ ஆகியவற்றை விட $\vec{F}_{13}$ ன் எண்மதிப்பு குறைவு. இதனால் தான் விசைகள் $\vec{F}_{12}$ மற்றும் $\vec{F}_{14}$ ஆகியவற்றின் நீளத்தை விட விசை $\vec{F}_{13}$ ன் நீளம் குறைவாக வரையப்பட்டுள்ளது.

படத்திலிருந்து, $r_{21} = \sqrt{2}\,\text{m} = r_{41}$ மற்றும் $r_{31} = 2\,\text{m}$

விசைகளின் எண்மதிப்பு

$$F_{13} = \frac{kq^2}{r_{31}^2} = \frac{9\times10^9\times10^{-12}}{4}$$

$F_{13} = 2.25 \times 10^{-3}$ N

$$F_{12} = \frac{kq^2}{r_{21}^2} = F_{14} = \frac{9\times10^9\times10^{-12}}{2}$$

$$= 4.5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

படத்திலிருந்து, $\theta = 45^\circ$. இந்த விசைகள் அவற்றின் வெக்டர் கூறுகளைக் கொண்டு பின்வருமாறு எழுதப்படுகிறது.

$$\vec{F}_{12} = F_{12}\cos\theta\hat{i} - F_{12}\sin\theta\hat{j}$$

$$= 4.5\times10^{-3}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\hat{i} - 4.5\times10^{-3}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\hat{j}$$

$$\vec{F}_{13} = F_{13}\hat{i} = 2.25\times10^{-3}\text{N}\hat{i}$$

$$\vec{F}_{14} = F_{14}\cos\theta\hat{i} + F_{14}\sin\theta\hat{j}$$

$$= 4.5\times10^{-3}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\hat{i} + 4.5\times10^{-3}\times\frac{1}{\sqrt{2}}\hat{j}$$

எனவே q_1 ன் மீது செயல்படும் மொத்த விசை

$$\vec{F}_1^{tot} = \left(F_{12}\cos\theta\hat{i} - F_{12}\sin\theta\hat{j}\right) + F_{13}\hat{i} + \left(F_{14}\cos\theta\hat{i} + F_{14}\sin\theta\hat{j}\right)$$

$$\vec{F}_1^{tot} = \left(F_{12}\cos\theta + F_{13} + F_{14}\cos\theta\right)\hat{i} + \left(-F_{12}\sin\theta + F_{14}\sin\theta\right)\hat{j}$$

$F_{12} = F_{14}$, ஆதலால், $\hat{j}$ திசைக்கூறு சுழியாகும். எனவே,

$$\vec{F}_1^{tot} = \left(F_{12}\cos\theta + F_{13} + F_{14}\cos\theta\right)\hat{i}$$

இச்சமன்பாட்டில் மதிப்புகளைப் பிரதியிட,

$$= \left(\frac{4.5}{\sqrt{2}} + 2.25 + \frac{4.5}{\sqrt{2}}\right)\times10^{-3}\hat{i}$$

$$= \left(4.5\sqrt{2} + 2.25\right)\times10^{-3}\hat{i}$$

$$\vec{F}_1^{tot} = 8.61\times10^{-3}\hat{i} \text{ N}$$

தொகுபயன் விசையானது நேர்க்குறி x – அச்சு திசையில் அமைகிறது.

1.3 மின்புலம் மற்றும் மின்புலக் கோடுகள்

1.3.1 மின்புலம்

இரு மின்துகள்களுக்கு இடையே நிகழும் இடைவினை கூலூம் விதியினால் பெறப்படுகிறது. இந்த இடைவினை எவ்வாறு உருவாகிறது? வெளிப்பரப்பில்(space)ஒருபுள்ளியில்வைக்கப்பட்டுள்ள புள்ளி மின்துகள் ஒன்றைக் கருதுவோம். அதிலிருந்து சிறிது தொலைவில் இன்னொரு புள்ளி மின்துகளை வைத்தால் அது கவரும் விசை அல்லது விலக்கு விசையை உணரும். இதை தொலைவில் நிகழும் விசைச்செயல் (action – at – a distance) என்பர். ஆனால் சிறிது தொலைவில் வைக்கப்படுகின்ற இரண்டாவது மின்துகள், முதல் மின்துகளின் இருப்பை எவ்வாறு அறிந்து கொள்கிறது? இந்தக் கேள்விக்கான விடையை அளிக்கவே மைக்கேல் பாரடே **மின்புலம் என்ற கருத்தியலை** அறிமுகம் செய்தார்.

பாரடேவின் கருத்துப்படி, பிரபஞ்சத்திலுள்ள ஒவ்வொரு மின்துகளும் அதனைச் சுற்றி ஒரு மின்புலத்தை உருவாக்குகின்றது. இந்த மின்புலத்தில் இன்னொரு மின்துகளைக் கொண்டு வரும்போது, முதல் மின்புலத்துடன் அது இடைவினை புரிவதால் ஒரு விசையை உணர்கிறது. இதேபோல், ஈர்ப்புப்புலம் என்ற கருத்தியலை அறிமுகப்படுத்திய போதும், அது இரு நிறைகளுக்கிடையே செயல்படும் இடைவினையே என்று விவரித்ததை நினைவில் கொள்ளவும் (+1 வகுப்பு இயற்பியல், அலகு 6). மின்விசை மற்றும் ஈர்ப்புவிசை ஆகிய இரண்டுமே தொடா விசைகள். ஆதலால் தொலைவில் நிகழும் விசைச்செயல்களை விளக்க புலம் என்ற கருத்தியல் தேவைப்படுகிறது.

புறவெளியில் ஒரு புள்ளியில் வைக்கப்பட்டுள்ள q என்ற புள்ளி மின்துகள் ஒன்றைக் கருதுக. அதிலிருந்து r தொலைவில் உள்ள P என்ற புள்ளியில் q_0 என்ற இன்னொரு மின்துகள் (சோதனை மின்துகள்) வைக்கப்படுகிறது. q ஆல் சோதனை மின்துகள் q_0 உணரும் நிலைமின் விசை கூலூம் விதியினால் பெறப்படுகிறது.

$$\vec{F} = \frac{kqq_0}{r^2}\hat{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{qq_0}{r^2}\hat{r} \text{ இங்கு } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

தன்னைச் சுற்றி அமைந்துள்ள வெளிப்பரப்பில் மின்துகள் q ஆனது ஒரு மின்புலத்தை

உருவாக்குகிறது. இவ்வெளியில் உருவாக்கப்படும் மின்புலமானது மற்றொரு மின்துகளால் உணரப்படும். இதை மின்புலச் செறிவு அல்லது மின்புலம் $\vec{E}$ என்ற அளவீட்டினால் அறிந்திடலாம்.

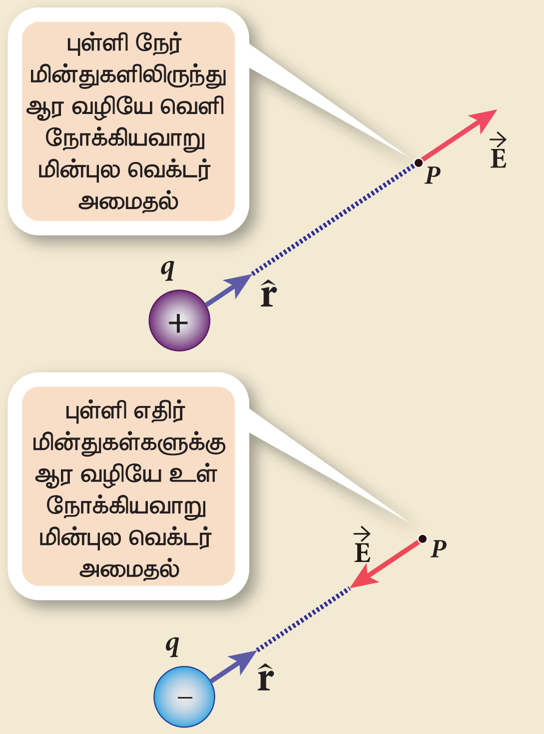
q என்ற புள்ளி மின்துகளிலிருந்து r **தொலைவிலுள்ள புள்ளி P இல் வைக்கப்படும் ஓரலகு மின்னூட்டம் கொண்ட மின்துகளால் உணரப்படும் விசையே அப்புள்ளி P இல் உள்ள மின்புலத்தின் மதிப்பாகும்.** இதையே நாம் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{kq}{r^2}\hat{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{r} \qquad (1.4)$$

இங்கு $\hat{r}$ என்பது q விலிருந்து நாம் எடுத்துக்கொண்ட புள்ளி P க்கு வரையப்படும் ஓரலகு வெக்டராகும். மின்புலம் ஒரு வெக்டர் அளவு, மேலும் அதன் SI அலகு நியூட்டன் / கூலூம் (NC^{-1}) ஆகும்.

மின்புலத்தின் முக்கிய பண்புகள்:

(i) மின்துகள் q நேர் மின்னூட்டம் (+) கொண்டதாக இருந்தால், மின்துகளிலிருந்து வெளிநோக்கிய திசையில் மின்புலம் இருக்கும். q எதிர்மின்னூட்டம் (–) கொண்டதாக இருந்தால் உள்நோக்கிய திசையில் மின்புலம் இருக்கும் (படம் 1.4).

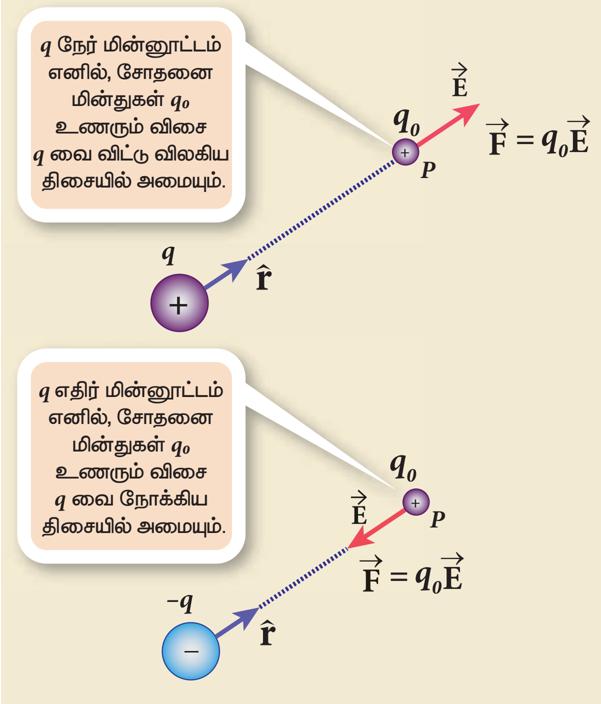


படம் 1.4 நேர் மற்றும் எதிர் மின்துகள்களின் மின்புலம்

(ii) P என்ற ஒரு புள்ளியில் மின்புலம் $\vec{E}$ எனில், அப்புள்ளியில் வைக்கப்படும் சோதனை மின்துகள் q_0 ஆல் உணரப்படும் விசை

$$\vec{F} = q_0\vec{E} \qquad (1.5)$$

இதுவே, மின்புலக் கருத்தியலின் மூலமாக கூலூம் விசையைப் பெறும் முறை. இது படம் 1.5 ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

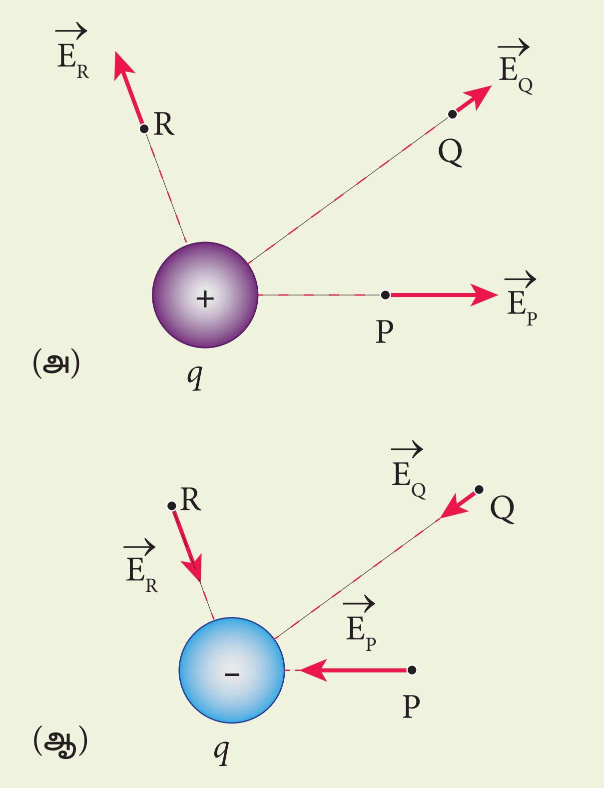


படம் 1.5 மின்புல அடிப்படையில் கூலூம் விதி

(iii) மின்புலமானது சோதனை மின்துகளின் மின்னூட்டம் q_0 ஐச் சார்ந்ததல்ல என்பதையும் மூல மின்துகளின் (Source charge) மின்னூட்ட மதிப்பு q ஐ மட்டுமே சார்ந்தது என்பதையும் சமன்பாடு (1.4) ன் மூலமாக அறியலாம்.

(iv) மின்புலம் ஒரு வெக்டர் அளவு என்பதால் அதற்கு தனித்தவொரு திசையும் எண்மதிப்பும் வெளியிலுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் இருக்கும். இதை படங்கள் 1.6 (அ) மற்றும் 1.6 (ஆ) வாயிலாக அறிய முடிகிறது. மின்துகளுக்கும் புள்ளிக்கும் இடையே உள்ள தொலைவு (r) அதிகரித்தால் மின்புலத்தின் எண்மதிப்பு குறையும் என்பதை சமன்பாடு (1.4) – வாயிலாக அறியலாம்.

படங்கள் 1.6 (அ) மற்றும் (ஆ) ஆகிய படங்களில் மூன்று வெவ்வேறு புள்ளிகளில் வரையப்பட்டுள்ள மின்புல வெக்டர்களின் நீளங்கள் வெவ்வேறாக உள்ளதைக் கவனிக்கவும். மின்புல மூலத்திற்கு அருகில் புள்ளி P அமைந்துள்ளதால் அங்கு மின்புலத்தின் வலிமை அல்லது எண்மதிப்பு மற்ற புள்ளிகள் Q மற்றும் R ஐ விட அதிகமாக உள்ளது.

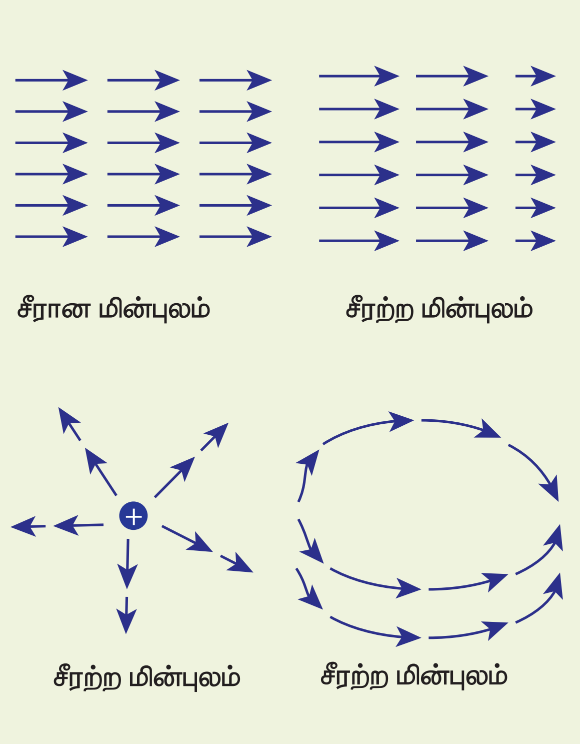


படம் 1.6 (அ) நேர் மின்துகள்களால் உருவாகும் மின்புலம் (ஆ) எதிர் மின்துகள்களால் உருவாகும் மின்புலம்

(v) சோதனை மின்துகள் (q_0) வைக்கப்படும்போது மூல மின்துகள் நகராமல் இருப்பதற்காக அதன் மின்னூட்ட மதிப்பு q_0 மிகவும் சிறியதாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது அல்லது மூல மின்துகளின் மின்புலத்தைப் பாதிக்காதவாறு இருப்பதற்காக சோதனை மின்துகள் மிகச்சிறிய மின்னூட்ட மதிப்புடையதாக எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது.

(vi) சமன்பாடு (1.4) புள்ளி மின்துகள்களுக்கு மட்டுமே பொருந்தும். மின்துகள்களின் தொடர் பரவல்களுக்கும், வரம்பிற்குட்பட்ட மின்னூட்ட அளவு கொண்ட மின்துகள் பரவல்களுக்கும் தொகையிடல் முறைகளைப் பயன்படுத்த வேண்டும். இவற்றைப் பின்னர் பார்ப்போம். இருப்பினும், வரம்பிற்குட்பட்ட மின்னூட்ட அளவு கொண்ட மின்துகளிடமிருந்து சோதனைப் புள்ளி வெகு தொலைவில் உள்ளபோது, அத்துகளால் உருவாக்கப்படும் மின்புலத் திற்கான தோராயமான அளவீடாக இச்சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தலாம். புவியின் மீது சூரியன் ஏற்படுத்தும் ஈர்ப்புப் புலத்தைக் கணக்கிடும்போதும், புவியை ஒரு புள்ளி நிறையாகக் கருதியதை நினைவு கொள்ளவும் (+1 வகுப்பு இயற்பியல், அலகு 6).

(vii) மின்புலங்களில் இரு வகைகள் உள்ளன : சீரான (மாறாத) மின்புலம் மற்றும் சீரற்ற மின்புலம். புறவெளியில் (space) உள்ள அனைத்து புள்ளிகளிலும் ஒரே திசையுடன் மாறாத எண்மதிப்பும் கொண்டிருந்தால் அது சீரான மின்புலம் (uniform electric field) எனப்படும். புறவெளியில் வெவ்வேறு புள்ளிகளில் வெவ்வேறு திசைகள் அல்லது வெவ்வேறு எண்மதிப்புகள் அல்லது இவ்விரண்டுமே கொண்டிருந்தால் அது சீரற்ற மின்புலமாகும். புள்ளி மின்துகள் ஒன்றினால் ஏற்படும் மின்புலம் சீரற்ற மின்புலமே. அதன் சீரற்ற தன்மை திசையிலும் உள்ளது, எண் மதிப்பிலும் உள்ளது – அதன் திசை ஆரப்போக்கில் வெளிநோக்கியவாறு (அல்லது உள்நோக்கியவாறு) அமைகிறது. மேலும் தொலைவு அதிகரிக்கும்போது, அதன் எண் மதிப்பும் மாறுபடுகிறது. இவை படம் (1.7) ல் காட்டப்பட்டுள்ளன



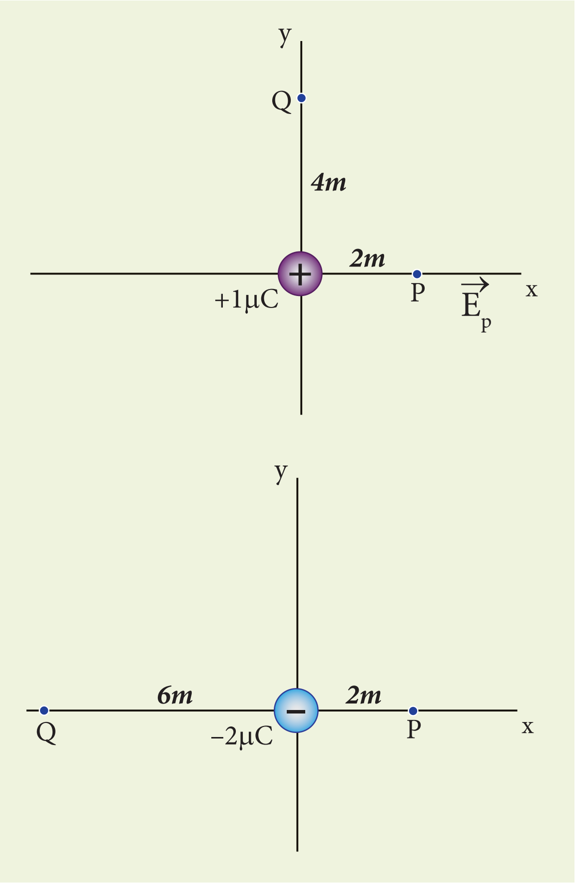
படம் 1.7 சீரான மின்புலம் மற்றும் சீரற்ற மின்புலம்

எடுத்துக்காட்டு 1.6

பின்வரும் இரு நேர்வுகளுக்கு P மற்றும் Q புள்ளிகளில் மின்புலத்தைக் கணக்கிடுக.

(அ) ஆதிப்புள்ளியில் வைக்கப்பட்டுள்ள $+1\ \mu C$ மின்னூட்டம் கொண்ட புள்ளி நேர் மின்துகளால் உருவாகும் மின்புலம்

(ஆ) ஆதிப்புள்ளியில் வைக்கப்பட்டுள்ள $-2\ \mu C$ மின்னூட்டம் கொண்ட புள்ளி எதிர் மின்துகளால் உருவாகும் மின்புலம்



தீர்வு

நேர்வு (அ)

புள்ளி P யில் மின்புலத்தின் எண்மதிப்பு

$$E_P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2} = \frac{9\times10^9\times1\times10^{-6}}{4}$$

$$= 2.25\times10^3\,NC^{-1}$$

இங்கு மூல மின்துகள் நேர் மின்னூட்டம் கொண்டதாக இருப்பதால், அதிலிருந்து வெளிநோக்கிய திசையில் மின்புலம் குறிக்கப்படுகின்றது. எனவே, புள்ளி P இல் மின்புலம்

$$\vec{E}_P = 2.25\times10^3\,\hat{i}\,NC^{-1}$$

புள்ளி Q ல்

$$\left|\vec{E}_Q\right| = \frac{9\times10^9\times1\times10^{-6}}{16} = 0.56\times10^3\,NC^{-1}$$

எனவே $\vec{E}_Q = 0.56\times10^3\,\hat{j}\ NC^{-1}$

நேர்வு (ஆ)

புள்ளி P ல் மின்புலத்தின் எண்மதிப்பு

$$\left|\vec{E}_P\right| = \frac{kq}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2} = \frac{9\times10^9\times2\times10^{-6}}{4}$$

$$= 4.5\times10^3\ NC^{-1}$$

இங்கு மூல மின்துகள் எதிர் மின்னூட்டம் கொண்டதாக இருப்பதால், அதை நோக்கிய திசையில் மின்புலம் குறிக்கப்படுகின்றது. எனவே, புள்ளி P ல் மின்புலம்

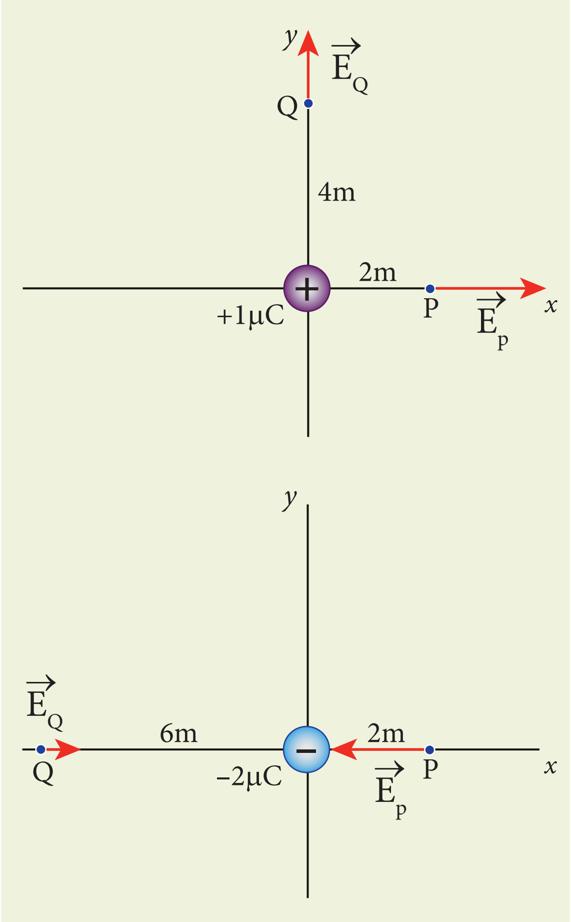
$$\vec{E}_P = -4.5\times10^3\ \hat{i}\ NC^{-1}$$

புள்ளி Q ல் $\left|\vec{E}_Q\right| = \dfrac{9\times10^9\times2\times10^{-6}}{36}$

$$= 0.5\times10^3\ N\,C^{-1}$$

மேலும் $\vec{E}_Q = 0.5\times10^3\ \hat{i}\ NC^{-1}$

புள்ளி Q ல் மின்புலம் நேர் x – அச்சின் திசையில் உள்ளது.



1.3.2 புள்ளி மின்துகள்களாலான அமைப்பின் மின்புலம்

புறவெளியில் (space) பல புள்ளி மின்துகள்கள் பரவியுள்ள அமைப்பு ஒன்றைக் கருதுவோம். இந்தப் புள்ளி மின்துகள்களின் அமைப்பினால் ஒரு புள்ளியில் உருவாகும் மொத்த மின்புலத்தைக் கணக்கிடுவதற்கு மேற்பொருந்துதல் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்துகிறோம். **இவ்வமைப்பில் ஏதேனும் ஒரு புள்ளியில் காணப்படும் தொகுபயன் மின்புலமானது ஒவ்வொரு மின்துகளும் அப்புள்ளியில் உருவாக்கும் மின்புலங்களின் வெக்டர் கூடுதலுக்குச் சமம். இதுவே மின்புலங்களின் மேற்பொருந்துதல் எனப்படும்.**

வெளிப்பரப்பில் பல்வேறு புள்ளிகளில் அமைந்துள்ள $q_1, q_2, q_3 \ldots\ldots\ldots q_n$ ஆகிய புள்ளி மின்துகள்களின் அமைப்பைக் கருதுவோம். இவ்வனைத்து மின்துகள்களாலும் ஏதோவொரு புள்ளி (P) யில் உருவாகும் மொத்த மின்புலம்

$$\vec{E}_{tot} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \ldots\ldots + \vec{E}_n \qquad (1.6)$$

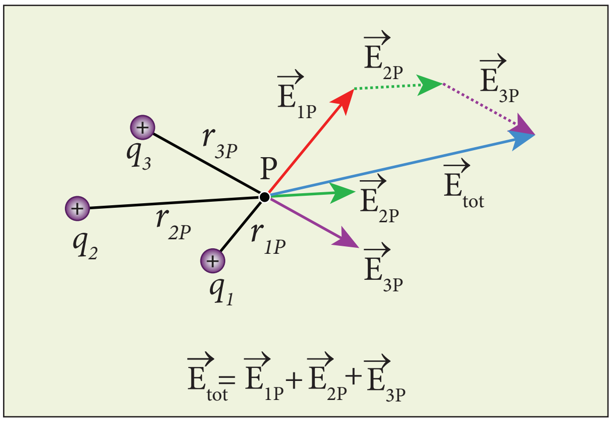
$$\vec{E}_{tot} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left\{\frac{q_1}{r_{1P}^2}\hat{r}_{1P} + \frac{q_2}{r_{2P}^2}\hat{r}_{2P} + \frac{q_3}{r_{3P}^2}\hat{r}_{3P} + \ldots \right.$$
$$\left. \ldots + \frac{q_n}{r_{nP}^2}\hat{r}_{nP}\right\} \qquad (1.7)$$

இங்கு $q_1, q_2, q_3 \ldots\ldots\ldots q_n$ ஆகிய மின்துகள் களுக்கும் புள்ளி P க்கும் இடையேயுள்ள தொலைவுகளை முறையே $r_{1P}, r_{2P}, r_{3P} \ldots\ldots\ldots r_{nP}$ என்க. மேலும் $\hat{r}_{1P}, \hat{r}_{2P}, \hat{r}_{3P} \ldots\ldots\ldots \hat{r}_{nP}$ ஆகியன முறையே $q_1, q_2, q_3 \ldots\ldots\ldots q_n$ மின்துகள்களில் இருந்து அப்புள்ளிக்கு வரையப்பட்ட ஓரலகு வெக்டர்களாகும். சமன்பாடு (1.7) ஐப் பின்வருமாறு எழுதலாம்

$$\vec{E}_{tot} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{q_i}{r_{iP}^2}\hat{r}_{iP}\right) \qquad (1.8)$$

எடுத்துக்காட்டாக $q_1, q_2, q_3,$ ஆகிய மூன்று புள்ளி மின்துகள்களால் ஒரு புள்ளி P யில் உருவாகும் தொகுபயன் மின்புலம் படம் (1.8) இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

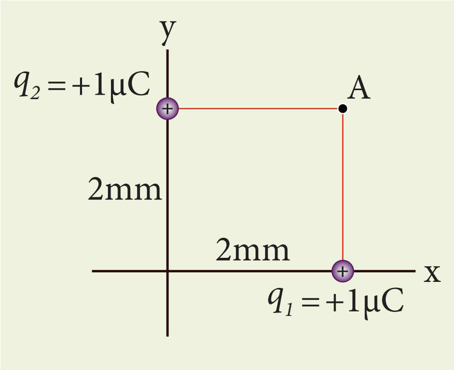
குறிப்பிட்ட புள்ளி (P) யிலிருந்து மின்துகளின் சார்புத் தொலைவுகளைப் (relative distances) பொறுத்தே மின்புல வெக்டர்களின் சார்பு நீளங்களும் (relative length) உள்ளதைக் கவனிக்கவும்.



படம் 1.8 மின்புலங்களின் மேற்பொருந்துதல்

எடுத்துக்காட்டு 1.7

படத்தில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள புள்ளி மின்துகள் அமைப்பைக் கருதவும். புள்ளி A ல் உருவாகும் மின்புலத்தைக் கணக்கிடுக. அப்புள்ளியில் எலக்ட்ரான் ஒன்று வைக்கப்பட்டால், அது அடையும் முடுக்கம் எவ்வளவு? (எலக்ட்ரானின் நிறை = 9.1×10^{-31} kg, எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் = -1.6×10^{-19} C)



தீர்வு

மேற்பொருந்துதல் தத்துவத்தின் படி, புள்ளி A ல் நிகர மின்புலம்

$$\vec{E}_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1}{r_{1A}^2}\hat{r}_{1A} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_2}{r_{2A}^2}\hat{r}_{2A}$$

இங்கு r_{1A} மற்றும் r_{2A} ஆகியன புள்ளி A க்கும் துகள்களுக்கும் இடையேயுள்ள தொலைவுகள்

$$\vec{E}_A = \frac{9\times10^9\times1\times10^{-6}}{\left(2\times10^{-3}\right)^2}(\hat{j}) + \frac{9\times10^9\times1\times10^{-6}}{\left(2\times10^{-3}\right)^2}(\hat{i})$$

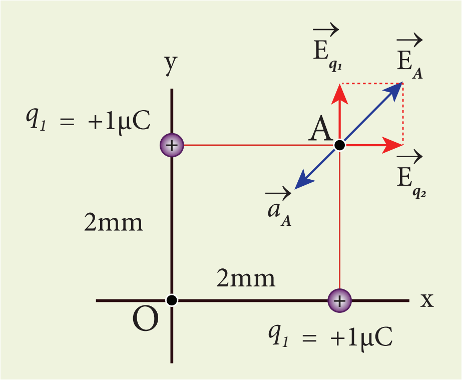
$$= 2.25\times10^9\ \hat{j} + 2.25\times10^9\hat{i} = 2.25\times10^9\left(\hat{i}+\hat{j}\right)$$

மின்புலத்தின் எண்மதிப்பு

$$\left|\vec{E}_A\right| = \sqrt{\left(2.25\times10^9\right)^2+\left(2.25\times10^9\right)^2}$$
$$= 2.25\times\sqrt{2}\times10^9\ \mathrm{NC^{-1}}$$

$\vec{E}_A$ –ன் திசை $\dfrac{\vec{E}_A}{\left|\vec{E}_A\right|} = \dfrac{2.25\times10^9\left(\hat{i}+\hat{j}\right)}{2.25\times\sqrt{2}\times10^9} = \dfrac{\left(\hat{i}+\hat{j}\right)}{\sqrt{2}}$,

இதுவே OA ன் திசையில் அமைந்த ஓரலகு வெக்டராகும் (பார்க்க:படம்)



புள்ளி A ல் வைக்கப்படும் எலக்ட்ரான் அடையும் முடுக்கம்

$$\vec{a}_A = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{q\vec{E}_A}{m}$$
$$= \frac{\left(-1.6\times10^{-19}\right)\times\left(2.25\times10^9\right)\left(\hat{i}+\hat{j}\right)}{9.1\times10^{-31}}$$
$$= -3.95\times10^{20}\left(\hat{i}+\hat{j}\right)\mathrm{N\,kg^{-1}}$$

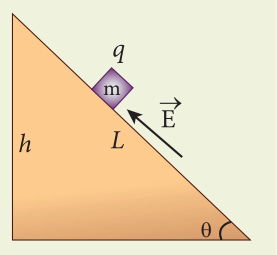
மின்புலம் $\vec{E}_A$ ன் திசைக்கு நேரெதிர் திசையில் எலக்ட்ரான் முடுக்கமடைகிறது.

1.3.3 மின்துகள்களின் தொடர் பரவலால் உருவாகும் மின்புலம்

நுண்ணிய நிலைகளில் மின்னூட்டம் குவாண்டத் தன்மை கொண்டது. சமன்பாடுகள் (1.2), (1.3), (1.4) ஆகியவை புள்ளி மின்துகள்களுக்கு மட்டுமே பொருந்துபவை. மின்னூட்டம் பெற்ற கோளம் அல்லது மின்னூட்டம் பெற்ற கம்பி உள்ளிட்ட பொருள்களின் மின்புலத்தைக் கணக்கிடும்போது அங்கு தனித்தனி புள்ளி மின்துகள்களைக் கருத்தில் கொள்வது இயலாது. எனவே, இத்தகைய பொருள்களில் மின்துகள்கள் தொடர் பரவலில் உள்ளதாகக் கருத வேண்டும். மேலும், அப்பொருள்களுக்கு மின்னூட்டங்களின் பிரிநிலைத் தன்மையை (discrete nature) கருத்தில் கொள்ளத் தேவையில்லை. அத்தகைய மின்துகள்களின் தொடர் பரவல்களால் உருவாகும் மின்புலத்தை நுண்கணித (calculus method) முறையைப் பயன்படுத்தி கணக்கிடலாம் (மேலும் தெரிந்துகொள்ள பின் இணைப்பை பார்க்க).

எடுத்துக்காட்டு 1.8

உராய்வற்ற, மின்காப்பிடப்பட்ட சாய்தளம் ஒன்றின் மீது m நிறையும் q நேர் மின்னூட்ட மதிப்பும் கொண்ட பொருள் ஒன்று வைக்கப்பட்டுள்ளது. அதை நிலையாக வைப்பதற்கு, சாய்தளத்திற்கு இணையான திசையில் மின்புலம் E அளிக்கப்படுகிறது. மின்புலத்தின் (E) எண்மதிப்பைக் காண்க.



தீர்வு

[குறிப்பு: +1 வகுப்பு இயற்பியல் தொகுதி 1 – அலகு 3 – பிரிவு 3.3.2 ல் இதேபோன்ற கணக்கு தீர்க்கப்பட்டுள்ளது.]

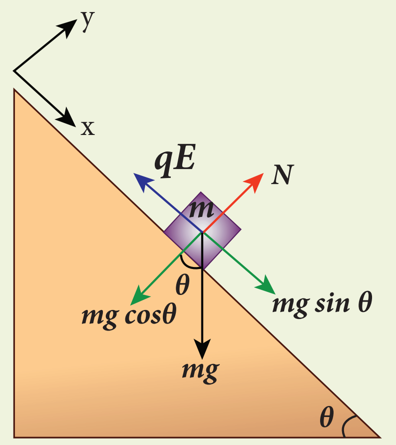
நிறை m ன் மீது செயல்படும் மூன்று விசைகள்:

(i) கீழ்நோக்கிய திசையில் புவியினால் செலுத்தப்படும் ஈர்ப்பு விசை (mg)

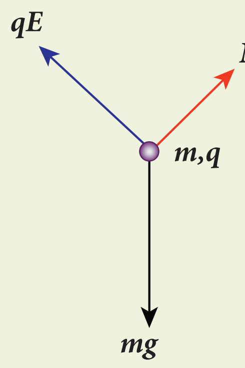
(ii) சாய்தளத்தின் பரப்பினால் அளிக்கப்படும் செங்குத்து விசை (N)

(iii) சீரான மின்புலத்தினால் அளிக்கப்படும் கூலூம் விசை (qE)

நிறை m ன் தனித்த பொருள் விசைப்படம் இங்கே தரப்பட்டுள்ளது



நிறை m ன் மீது செயல்படும் விசைகள்



தனித்த பொருள் விசைப்படம்

இதற்கான தகுந்த நிலைம ஆய அமைப்பானது (inertial coordinate system) சாய்தளத்தில் இடம் பெற்றுள்ளதைப் படத்தில் காணலாம். x மற்றும் y – அச்சு ஆகிய இரண்டு திசைகளிலும் நிறை m ன் முடுக்கம் சுழி.

x – திசையில் நியூட்டனின் இரண்டாம் விதியைப் பயன்படுத்த,

$$mg\sin\theta\hat{i} - qE\hat{i} = 0$$

$$mg\sin\theta - qE = 0$$

அல்லது $E = \dfrac{mg\sin\theta}{q}$

மின்புலத்தின் எண்மதிப்பானது, நிறைக்கு (m) நேர்த்தகவிலும் மின்னூட்ட மதிப்பு q விற்கு எதிர்த்தகவிலும் உள்ளதைக் கவனிக்கவும். அதாவது, மின்னூட்டத்தை மாற்றாமல் நிறையை மட்டும் கூட்டினால் அப்பொருள் நகராமல் இருக்க மேலும் வலிமையான மின்புலம் தேவைப்படும். மாறாக, நிறையை மாற்றாமல் மின்னூட்டத்தை மட்டும் கூட்டினால், பொருள் நகர்வதைத் தடுக்க வலிமை குறைந்த மின்புலமே போதுமானது.

சாய்தளத்தின் உயரம் (h), நீளம் (L) ஆகியவற்றின் அடிப்படையிலும் மின்புலத்தை எழுதலாம்.

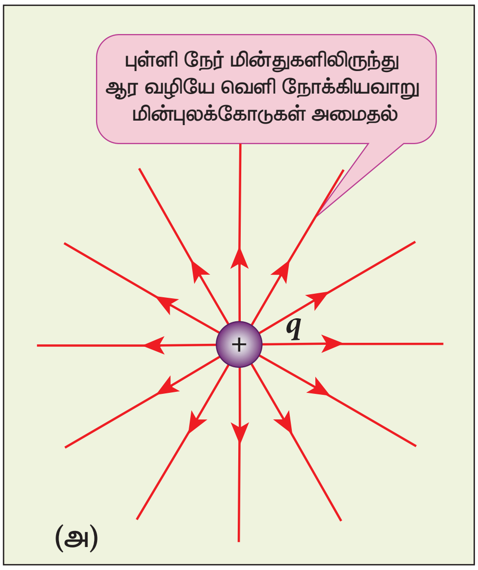
$$E = \frac{mg\,h}{qL}$$

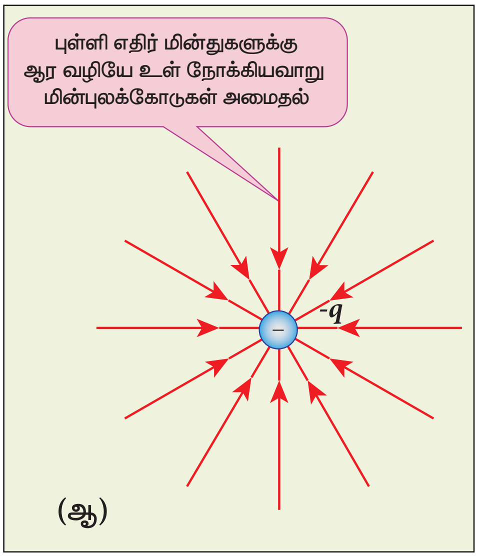
1.3.4 மின்புலக் கோடுகள்

மின்புலக் கோடுகள் என்ற கருத்தாக்கத்தைப் பயன்படுத்தி மின்புல வெக்டர்களை பார்க்கக்கூடிய வகையில் காண்பிக்கலாம். புறவெளியில் ஒரு பகுதியில் அமைந்துள்ள மின்புலத்தைக் காண்பிக்கும் வண்ணம் வரையப்படும் தொடர் கோடுகளே மின்புலக் கோடுகள் ஆகும். மின்புலக் கோடுகளை வரையும் போது பின்வரும் விதிகளைப் பின்பற்ற வேண்டும்:

- மின்புலக் கோடுகள் நேர் மின்துகளில் தொடங்கி எதிர் மின்துகளிலோ அல்லது முடிவிலாத் தொலைவிலோ முடிவடைகின்றன.

ஒரு புள்ளி நேர் மின்துகளுக்கு வரையப்படும் மின்புலக் கோடுகள் ஆரப்போக்கில் வெளிநோக்கிய திசையிலும், ஒரு புள்ளி எதிர் மின்துகளுக்கு அவை ஆரப்போக்கில் உள்நோக்கிய திசையிலும் அமைகின்றன. [படம் 1.9 (அ) மற்றும் (ஆ)].

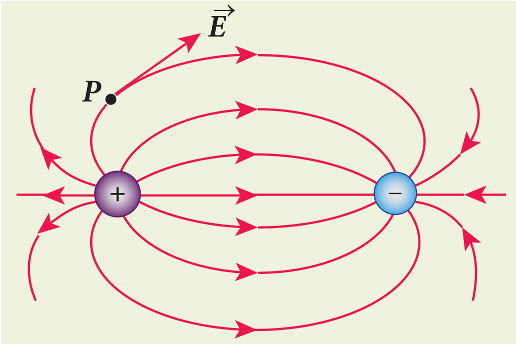




படம் 1.9 தனித்த, புள்ளி நேர் மற்றும் எதிர் மின்துகள்களுக்கு மின்புலக் கோடுகள்

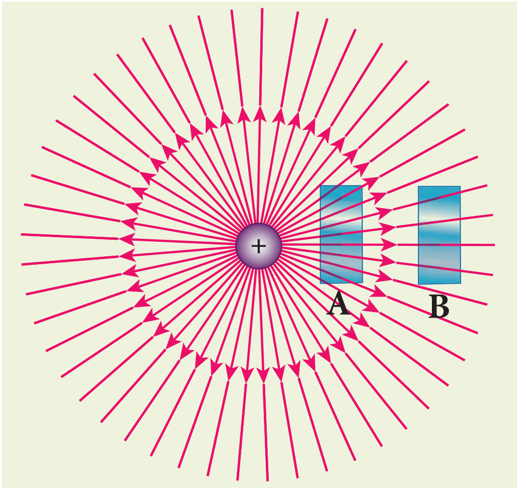
ஒரு தனித்த, புள்ளி நேர் மின்துகளைப் பொருத்தவரை மின்புலக் கோடுகள் அம்மின்துகளிலிருந்து தொடங்கி முடிவிலாத் தொலைவில் முடிவடைகின்றன. ஒரு தனித்த, புள்ளி எதிர் மின்துகளைப் பொருத்தவரை அவை முடிவிலாத் தொலைவில் தொடங்கி அம்மின்துகளில் முடிவடைகின்றன.

- மின்புலக் கோட்டிற்கு ஒரு புள்ளியில் வரையப்படும் தொடுகோட்டின் திசையில் அப்புள்ளியின் மின்புல வெக்டர் அமையும் [படம் 1.10]



படம் 1.10 புள்ளி P இல் மின்புலம்

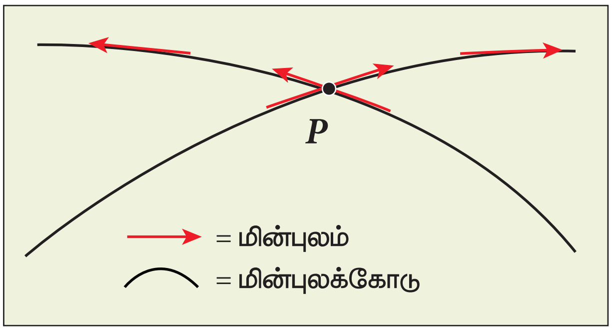
- எந்தவொரு பகுதியில் மின்புலத்தின் செறிவு அதிகமாக உள்ளதோ அங்கு மின்புலக் கோடுகள் நெருக்கமாகவும், எங்கு மின்புலத்தின் செறிவு குறைவாக உள்ளதோ அங்கு அவை இடைவெளி விட்டும் காணப்படுகின்றன. அதாவது, குறிப்பிட்டவொரு பரப்பிற்கு செங்குத்தான திசையில், அப்பரப்பைக் கடக்கும் மின்புலக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை அவ்விடத்திலுள்ள மின்புலத்தின் எண்மதிப்புக்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும் [படம் 1.11]



படம் 1.11 பரப்பு B ஐ விட பரப்பு A ல் மின்புலம் அதிகம்

ஒரு புள்ளி நேர் மின்துகளிலிருந்து வெளியேறிச் செல்லும் மின்புலக்கோடுகள் படம் 1.11 இல் காட்டப்பட்டுள்ளன. மின்துகளிலிருந்து தொலைவு அதிகரிக்கும்போது மின்புலத்தின் வலிமை குறையும் $\left(\because \left|\vec{E}\right| \propto \frac{1}{r^2}\right)$. எனவே, பரப்பு B உள்ள இடத்தைவிட பரப்பு A உள்ள இடத்தில் மின்புலம் அதிகம். ஆகவே, பரப்பு B ஐக் கடக்கும் கோடுகளின் எண்ணிக்கையை விட பரப்பு A ஐக் கடக்கும் கோடுகளின் எண்ணிக்கை அதிகமாக உள்ளது. பரப்பு B ல் கோடுகள் இடைவெளி விட்டும் பரப்பு A ல் அவை நெருக்கமாகவும் உள்ளதைக் கவனிக்கவும்.

- இரு மின்புலக் கோடுகள் ஒன்றையொன்று வெட்டிக் கொள்வதில்லை. அவ்வாறு வெட்டிக் கொண்டால், ஒரே புள்ளியில் இருவேறு மின்புல வெக்டர்கள் உள்ள நிலை ஏற்படும் (படம் 1.12).

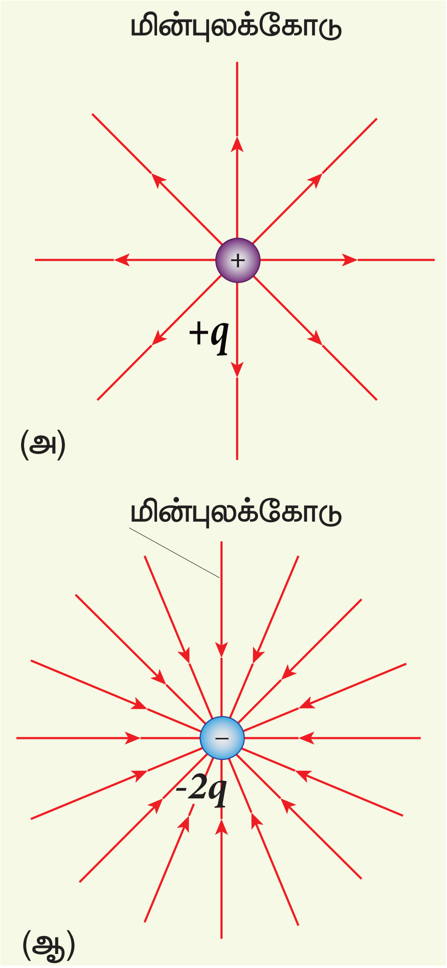


படம் 1.12 இருமின்புலக்கோடுகள் ஒன்றையொன்று வெட்டிக் கொள்வதேயில்லை

அவ்வாறு ஏற்பட்டால், அந்த வெட்டுப் புள்ளியில் வைக்கப்படும் ஒரு மின்துகளானது ஒரே நேரத்தில் இருவேறு திசைகளில் நகர வேண்டும். இது இயற்கையில் நடக்காத ஒன்று. எனவே, மின்புலக் கோடுகள் ஒன்றையொன்று வெட்டிக் கொள்வதில்லை.

- ஒரு நேர் மின்துகளிலிருந்து வெளிநோக்கிச் செல்லும் மின்புலக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை அல்லது எதிர் மின்துகளில் முடிவடையும் கோடுகளின் எண்ணிக்கையானது அந்த மின்துகளின் மின்னூட்ட மதிப்பிற்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும்.

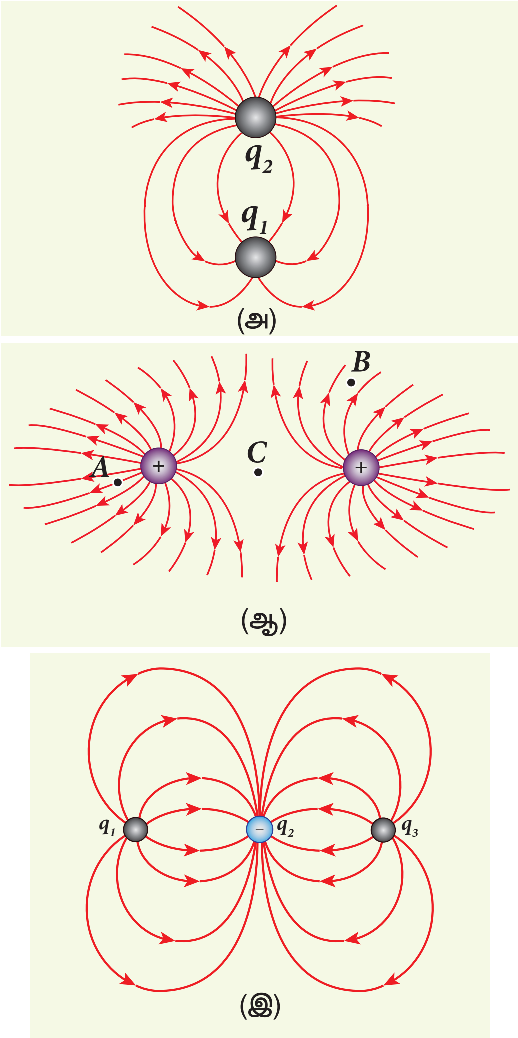
எடுத்துக்காட்டாக, $+q$ மற்றும் $-2q$ ஆகிய மின்னூட்ட மதிப்பு கொண்ட இரு மின்துகள்களுக்கு வரையப்பட்டுள்ள மின்புலக் கோடுகள் படம் 1.13 இல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. $+q$ மின்துகளிலிருந்து வெளிவரும் புலக்கோடுகளின் எண்ணிக்கை 8 என்பதையும் $-2q$ மின்துகளை அடையும் புலக்கோடுகளின் எண்ணிக்கை 16 என்பதையும் கவனிக்கவும். இரண்டாவது மின்துகளின் மின்னூட்ட மதிப்பு முதலாவதைவிட இரு மடங்காக உள்ளதால் மின்புலக் கோடுகளின் எண்ணிக்கையும் இருமடங்காக உள்ளது.



படம் 1.13 மின்னூட்டத்தின் எண்மதிப்பும் மின்புலக் கோடுகளும்

எடுத்துக்காட்டு 1.9

பல்வேறு மின்துகள் அமைப்புகளுக்கான மின்புலக் கோடுகள் பின்வரும் படங்களில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.



(i) படம் (அ) வில் உள்ள q_1 மற்றும் q_2 ஆகிய இரு மின்துகள்களின் குறியீடுகளை அடையாளம் கண்டு, $\left|\frac{q_1}{q_2}\right|$ ன் விகிதத்தைக் காண்க.

(ii) படம் (ஆ) வில் உள்ள இரு நேர் மின்துகள்களின் மின்னூட்ட விகிதத்தைக் கணக்கிடுக. மேலும் A, B, C ஆகிய புள்ளிகளில் மின்புலத்தின் வலிமையைக் கணக்கிடுக.

(iii) படம் (இ) ல் மூன்று மின்துகள்களின் மின்புலக் கோடுகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. $q_2 = -20$ nC எனில், q_1 மற்றும் q_3 ன் மின்னூட்ட மதிப்புகளைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு

(i) மின்புலக் கோடுகள் q_2 ல் தொடங்கி q_1 ல் முடிவடைகின்றன. எனவே, படம் (அ) வில் q_2 நேர்க்குறி (+) கொண்டது, q_1 எதிர்குறி (–) கொண்டது. q_2 விலிருந்து வெளியேறும் கோடுகளின் எண்ணிக்கை 18, மற்றும் q_1 ல் முடிவடையும் கோடுகளின் எண்ணிக்கை 6. எனவே, q_2 ன் எண்மதிப்பு அதிகம். விகிதம் $\left|\frac{q_1}{q_2}\right| = \frac{N_1}{N_2} = \frac{6}{18} = \frac{1}{3}$. ஆகவே, $|q_2| = 3|q_1|$

(ii) படம் (ஆ) வில் இரு நேர் மின்துகள்களில் இருந்து வெளியேறும் கோடுகளின் எண்ணிக்கையும் சமம். (N = 18). எனவே, அவற்றின் மின்னூட்ட மதிப்புகளும் சமமாக இருக்க வேண்டும். புள்ளி B ல் உள்ளதை விட புள்ளி A – வில் மின்புலக் கோடுகள் நெருக்கமாக உள்ளன. எனவே, புள்ளி B ல் காணப்படும் மின்புலத்தின் எண்மதிப்பை விட புள்ளி A ல் அதிகம். மேலும் C ன் வழியே எந்த மின்புலக் கோடும் செல்லவில்லை. ஆகவே இவ்விரு மின்துகள்களால் C ல் ஏற்படும் தொகுபயன் மின்புலம் சுழியாகும்.

(iii) படம் (இ) ல் q_1 மற்றும் q_3 யிலிருந்து மின்புலக் கோடுகள் தொடங்கி q_2 ல் முடிவடைகின்றன. q_1 மற்றும் q_3 ஆகியவை நேர் மின்துகள் என இதிலிருந்து தெரிகிறது. மேலும் கோடுகளின் எண்ணிக்கையின் விகிதம் $\left|\frac{q_1}{q_2}\right| = \frac{8}{16} = \left|\frac{q_3}{q_2}\right| = \frac{1}{2}$,

ஆகவே, q_2 ன் மதிப்பில் பாதியளவு உடையவை q_1 மற்றும் q_3

$q_1 = q_3 = +10$ nC.

1.4 மின் இருமுனையும் அதன் பண்புகளும்

1.4.1 மின் இருமுனை (Dipole)

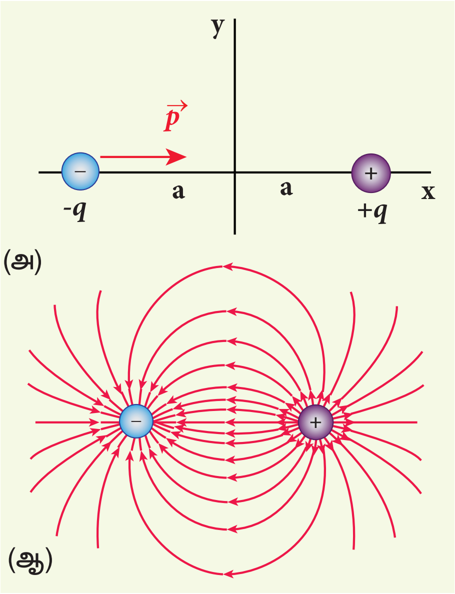
சிறிய இடைவெளியில் பிரித்து வைக்கப்பட்ட இரு சமமான, வேறின மின்துகள்கள் மின் இருமுனையை உருவாக்குகின்றன. பல மூலக்கூறுகளில் நேர் மின்துகள்களின் மையமும் எதிர் மின்துகள்களின் மையமும் ஒரே புள்ளியில் பொருந்துவது இல்லை. அத்தகைய மூலக்கூறுகள் நிலையான மின் இரு முனைகளைப்போல் செயல்படுகின்றன. எடுத்துக்காட்டுகள்: CO, நீர், அம்மோனியா, HCl உள்ளிட்டவை.

2a தொலைவில் பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ள இரு சமமான, மின்னூட்டம் கொண்ட வேறின மின்துகள்களைக் $(+q, -q)$ கருதுவோம் [படம்1.14(அ)].

மின் இருமுனையின் திருப்புத்திறன் (electric dipole moment) பின்வருமாறு வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$\vec{p} = q\vec{r}_+ + (-q)\vec{r}_- \qquad (1.9)$$

இங்கு $\vec{r}_+$ என்பது ஆதிப்புள்ளியிலிருநது $+q$ க்கு வரையப்படும் நிலை வெக்டர் மற்றும் $\vec{r}_-$ என்பது ஆதிப்புள்ளியிலிருந்து $-q$ க்கு வரையப்படும் நிலை வெக்டர். படம் 1.14 (அ) விலிருந்து,



படம் 1.14 (அ) மின்இருமுனை
(ஆ) மின்இருமுனையின் மின்புலக்கோடுகள்

$$\vec{p} = qa\hat{i} - qa(-\hat{i}) = 2qa\hat{i} \qquad (1.10)$$

இதிலிருந்து நாம் அறிவது, மின்இருமுனை திருப்புத்திறனின் திசையானது இரு மின்துகள்களை இணைக்கும் கோட்டின் வழியே $-q$ விலிருந்து $+q$ ஐ நோக்கி அமைகிறது. இத்திருப்புத்திறனின் SI அலகு கூலூம் மீட்டர் (Cm). மின் இருமுனை ஒன்றின் மின்புலக் கோடுகள் படம் 1.14 (ஆ) வில் காட்டப்பட்டுள்ளன.

- எளிமை கருதி இரு மின்துகள்களும் x – அச்சிலேயே வைக்கப்பட்டுள்ளன. y – அச்சுத் திசையிலோ z – அச்சுத் திசையிலோ அவை வைக்கப்பட்டிருந்தாலும் $-q$ விலிருந்து $+q$ உள்ள திசையிலேயே $\vec{p}$ அமைந்திருக்கும்.

- மின் இருமுனை திருப்புத்திறனின் எண்மதிப்பானது அம்மின்துகள்களுள் ஏதேனும் ஒன்றின் மின்னூட்ட மதிப்பினை அவற்றிற்கிடையே உள்ள தொலைவினால் பெருக்கக் கிடைப்பதாகும்.

$$|\vec{p}| = 2qa \qquad (1.11)$$

- இரு சமமான, வேறின மின்துகள்களின் மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் இங்கு வரையறுக்கப்பட்டு இருந்தாலும் பல புள்ளி மின் துகள்களின் தொகுப்பிற்கும் மின் இருமுனை திருப்புத் திறனை வரையறுக்க முடியும்.

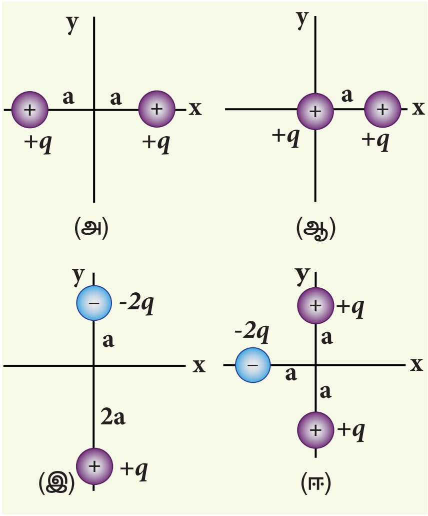
n புள்ளி மின்துகள்கள் அடங்கிய தொகுப்பிற்கு, மின் இருமுனை திருப்புத்திறன்,

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^{n} q_i \vec{r}_i \qquad (1.12)$$

இங்கு $\vec{r}_i$ என்பது ஆதிப்புள்ளியிலிருந்து மின்துகள் q_i க்கு வரையப்படும் நிலை வெக்டர்.

எடுத்துக்காட்டு 1.10

பின்வரும் மின்துகள் அமைப்புகளுக்கு மின் இருமுனை திருப்புத்திறனைக் கணக்கிடுக.



தீர்வு

நேர்வு (அ) $+q$ மின்துகளின் நிலை வெக்டர் நேர் x – அச்சு திசையில் அமைந்துள்ள $a\hat{i}$. மற்றொரு $+q$ மின்துகளின் நிலை வெக்டர், எதிர் x அச்சு திசையில் அமைந்துள்ள $-a\hat{i}$. எனவே இருமுனையின் திருப்புத்திறன்,

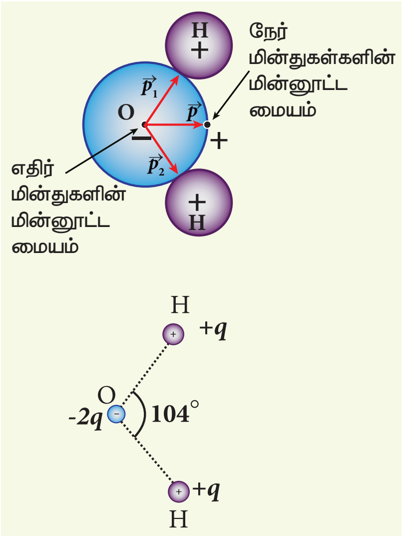
$$\vec{p} = (+q)(a\hat{i}) + (+q)(-a\hat{i}) = 0$$

நேர்வு (ஆ) இங்கு ஒரு மின்துகள் ஆதிப்புள்ளியில் வைக்கப்பட்டுள்ளது; எனவே அதன் நிலை வெக்டர் சுழி. ஆகவே, இன்னொரு மின்துகளின் நிலை வெக்டரான $a\hat{i}$ மட்டுமே இருமுனையின் திருப்புத்திறனை உருவாக்குகிறது. அதாவது, $\vec{p} = qa\hat{i}$.

பொதுவாக, ஆதிப்புள்ளியின் தேர்வு மற்றும் மின்துகள்களின் நிலையமைப்பு ஆகியவற்றைச் சார்ந்தே மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் அமைகின்றது. ஆனால் ஒரு சிறப்பு நேர்வுக்கு மட்டும் அது ஆதிப் புள்ளியின் தேர்வைச் சார்ந்திராது – அதாவது, மொத்த (நிகர) மின்னூட்டம் சுழியாக இருக்கும்போது மட்டும். இதனால்தான், ஆதிப்புள்ளியின் தேர்வு எவ்வாறாக இருப்பினும், (மொத்த மின்னூட்டம் சுழியாவதால்) ஒரு மின்இருமுனையின் திருப்புத்திறனானது $-q$ விலிருந்து $+q$ வை நோக்கிய திசையில் அமைகிறது.

நேர்வு (இ) $\vec{p} = -2qa\hat{j} + q(2a)(-\hat{j}) = -4qa\hat{j}$. இந்த நேர்வில் $\vec{p}$ ன் திசை $-2q$ விலிருந்து $+q$ வை நோக்கி இருக்கும்.

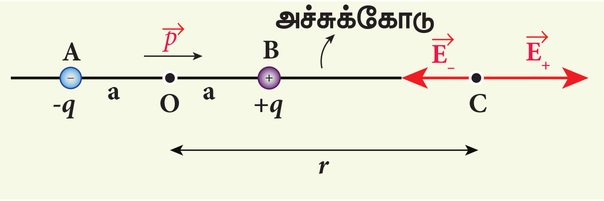
நேர்வு (ஈ) $\vec{p} = -2qa(-\hat{i}) + qa\hat{j} + qa(-\hat{j}) = 2qa\hat{i}$. நீர் மூலக்கூறு ($H_2O$) ஒன்றின் மின்துகள்கள் நிலையமைப்பு இதைப் போலவே உள்ளது. நீர் மூலக்கூறு மூன்று அணுக்கள் (இரண்டு H அணுக்கள் மற்றும் ஒரு O அணு) கொண்டது. நீர் மூலக்கூறு ஒன்றில் நேர் மின்துகளின் (H) மையமும் எதிர் மின்துகளின் (O) மையமும் வெவ்வேறு புள்ளிகளில் அமைவதால், அது நிலைத்த இருமுனை திருப்புத்திறனைப் (Permanent dipole moment) பெற்றுள்ளது. இங்கு மின்இருமுனை திருப்புத்திறனானது எதிர் மின்துகளின் மையத்திலிருந்து நேர் மின்துகளின் மையத்தை நோக்கிய திசையில் இருக்கும். இது கீழே உள்ள படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது.



1.4.2 மின்இருமுனையின் மின்புலம்

நேர்வு (i) மின் இருமுனையின் அச்சுக்கோட்டில் மின் இருமுனையால் உருவாகும் மின்புலம்

படம் 1.15 இல் காட்டியுள்ளவாறு x – அச்சில் வைக்கப்பட்டுள்ள மின் இருமுனை ஒன்றைக் கருதுவோம். அதன் மையப்புள்ளி O விலிருந்து அச்சுக்கோட்டில் r தொலைவில் புள்ளி C உள்ளது.



படம் 1.15 மின் இருமுனையின் அச்சுக்கோட்டில் மின்புலம்

$+q$ மின்னூட்ட மதிப்பு கொண்ட மின்துகளால் புள்ளி C ல் உருவாகும் மின்புலம்

$$\vec{E}_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{(r-a)^2} \text{ (BC திசையில்)}$$

மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் வெக்டர் $\vec{p}$ ஆனது $-q$ விலிருந்து $+q$ வை நோக்கிய திசையில், அதாவது BC திசையில் இருப்பதால்,

$$\vec{E}_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{(r-a)^2}\hat{p} \qquad (1.13)$$

இங்கு $\hat{p}$ என்பது $-q$ விலிருந்து $+q$ வை நோக்கிய திசையில் வரையப்படும் இருமுனை திருப்புத்திறனின் ஓரலகு வெக்டராகும்.

$-q$ மின்னூட்ட மதிப்பு கொண்ட மின்துகளால் புள்ளி C ல் உருவாகும் மின்புலம்

$$\vec{E}_- = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{(r+a)^2}\hat{p} \qquad (1.14)$$

$-q$ மின்துகளைவிட $+q$ மின்துகளானது புள்ளி C க்கு அருகில் உள்ளதால், $\vec{E}_-$ ஐவிட $\vec{E}_+$ வலிமையானது. எனவே, $\vec{E}_-$ வெக்டரின் நீளத்தைவிட $\vec{E}_+$ வெக்டரின் நீளம் அதிகமானதாக வரையப்பட்டுள்ளது.

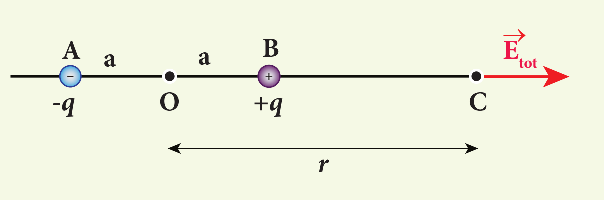
புள்ளி C ல் உருவாகும் மொத்த மின்புலத்தைக் கணக்கிட மின்புலங்களின் மேற்பொருந்துதல் தத்துவம் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

$$\vec{E}_{tot} = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$$
$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{(r-a)^2}\hat{p} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{(r+a)^2}\hat{p}$$

$$\vec{E}_{tot} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{1}{(r-a)^2} - \frac{1}{(r+a)^2}\right)\hat{p} \qquad (1.15)$$

$$\vec{E}_{tot} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}q\left(\frac{4ra}{(r^2-a^2)^2}\right)\hat{p} \qquad (1.16)$$

$-q$ வைக் காட்டிலும் $+q$ மின்துகள் புள்ளி C க்கு அருகில் இருப்பதால் மொத்த மின்புலத்தின் திசையும் $\vec{E}_+$ ன் திசையிலேயே அமைந்துள்ளது. படம் 1.16 ல் $\vec{E}_{tot}$ வெக்டரின் திசை குறிப்பிடப்பட்டுள்ளது.



படம் 1.16 மின் இருமுனையின் அச்சுக்கோட்டில் மொத்த மின்புலம்

மின் இருமுனையிலிருந்து புள்ளி C வெகு தொலைவில் இருந்தால் (r >> a), மேலும் $(r^2-a^2)^2 \approx r^4$ எனலாம். இதை சமன்பாடு (1.16) ல் பிரதியிட,

$$\vec{E}_{tot} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{4aq}{r^3}\right)\hat{p} \quad (r >> a)$$

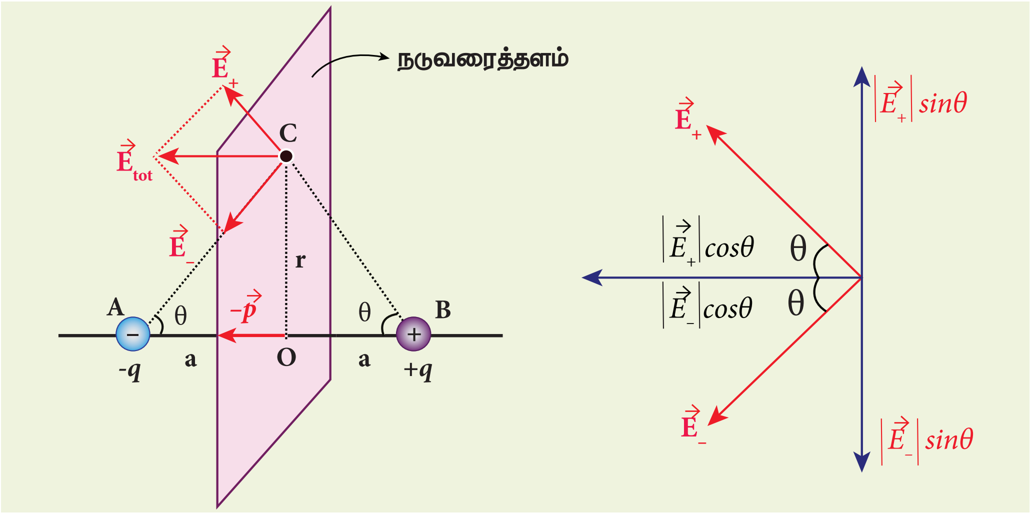
$2aq\,\hat{p} = \vec{p}$ என்பதால்

$$\vec{E}_{tot} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2\vec{p}}{r^3} \quad (r >> a) \qquad (1.17)$$

நாம் தேர்வு செய்யும் புள்ளி (C) மின் இருமுனைக்கு இடதுபுறம் இருந்தாலும், மொத்த மின்புலத்தின் திசை $\vec{p}$ ன் திசையில் தான் அமையும். படம் 1.14 (ஆ) ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ள மின் இருமுனையின் மின்புலக் கோடுகளை ஆராய்வதன் மூலம் இதை நாம் அறியலாம்.

நேர்வு (ii) மின் இருமுனையின் நடுவரைத் தளத்திலுள்ள புள்ளியில் மின்புலம்

மின் இருமுனையின் நடுப்புள்ளி O விலிருந்து r தொலைவில் நடுவரைத் தளத்தில் அமைந்த புள்ளி C ஐக் கருதுவோம். (படம் 1.17) $+q$ மற்றும் $-q$ இரண்டிலிருந்தும் புள்ளி C சம தொலைவில் உள்ளதால் அவற்றினால் உருவாகும்



படம் 1.17 நடுவரைத் தளத்திலுள்ள ஒரு புள்ளியில் மின் இருமுனையால் ஏற்படும் மின்புலம்

மின்புலங்களின் எண்மதிப்பு சமமாகும். $\vec{E}_+$ இன் திசை BC இன் திசையிலும் $\vec{E}_-$ இன் திசை CA வழியாகவும் செயல்படும். $\vec{E}_+$ மற்றும் $\vec{E}_-$ இவற்றை இரு கூறுகளாகப் பகுப்போம். ஒரு கூறு இருமுனை அச்சுக்கு இணையாகவும் மற்றொன்று அதற்குச் செங்குத்தாகவும் இருக்கும். செங்குத்துக் கூறுகளான $|\vec{E}_+|\sin\theta$ மற்றும் $|\vec{E}_-|\sin\theta$ ஆகியவை ஒன்றுக்கொன்று எதிர்த்திசைகளில் உள்ளதால், அவை ஒன்றையொன்று சமன் செய்து கொள்கின்றன. எனவே புள்ளி C ல் ஏற்படும் மொத்த மின்புலத்தின் எண்மதிப்பானது $\vec{E}_+$ மற்றும் $\vec{E}_-$ ஆகியவற்றின் இணைக்கூறுகளின் கூடுதலுக்குச் சமமாகவும் $-\hat{p}$ ன் திசையிலும் இருக்கும் (படம் 1.17)

$$\vec{E}_{tot} = -|\vec{E}_+|\cos\theta\,\hat{p} - |\vec{E}_-|\cos\theta\,\hat{p} \qquad (1.18)$$

$\vec{E}_+$ மற்றும் $\vec{E}_-$ன் எண்மதிப்பு சமம். அதாவது,

$$|\vec{E}_+| = |\vec{E}_-| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{(r^2+a^2)} \qquad (1.19)$$

சமன்பாடு (1.18) ல் பிரதியிட

$$\vec{E}_{tot} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2q\cos\theta}{(r^2+a^2)}\hat{p}$$

$$= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2qa}{(r^2+a^2)^{\frac{3}{2}}}\hat{p}$$

ஏனெனில் $\cos\theta = \frac{a}{\sqrt{r^2+a^2}}$

$$\vec{E}_{tot} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\vec{p}}{(r^2+a^2)^{\frac{3}{2}}}$$

ஏனெனில் $\vec{p} = 2qa\hat{p}$ (1.20)

மிக அதிக தொலைவுகளுக்கு $(r >> a)$, சமன்பாடு (1.20) ஐப் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\vec{E}_{tot} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\vec{p}}{r^3} \qquad (r >> a) \qquad (1.21)$$

முக்கியதெரிவுகள்

(i) மின் இருமுனையிலிருந்து மிக அதிக தொலைவுகளிலுள்ள புள்ளிகளைப் பொருத்தவரை அச்சுக்கோட்டில் உருவாகும் மின்புலத்தின் வலிமையானது நடுவரைத் தளத்தில் உருவாகும் மின்புலத்தின் வலிமையைப் போல் இருமடங்காக இருக்கும் என்பதை சமன்பாடுகள் (1.17) மற்றும் (1.21) மூலம் அறிகிறோம். மின் இருமுனையின் அச்சுக் கோட்டிலுள்ள புள்ளிகளில் மின்இருமுனையால் உருவாகும் மின்புலத்தின் திசை இருமுனை திருப்புத்திறன் $\vec{p}$ வெக்டரின் திசையிலும் நடுவரைத் தளத்திலுள்ள புள்ளிகளில் அதற்கு எதிர்த்திசையில், அதாவது $-\vec{p}$ வெக்டரின் திசையிலும் அமைகிறது.

(ii) மிக அதிகமான தொலைவுகளைப் பொருத்தவரை, இருமுனையின் மின்புலம் $\frac{1}{r^3}$ என்ற அளவில் மாறுகிறது. அதே சமயம் ஒரு

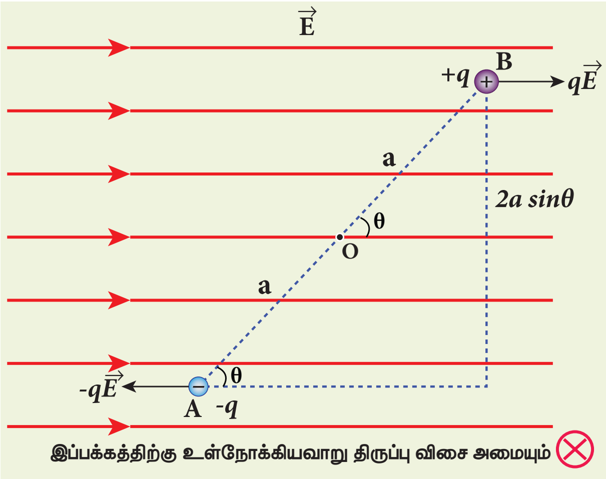
புள்ளி மின்துகளின் மின்புலம் $\frac{1}{r^2}$ என்றவாறு மாறுவதை நினைவில் கொள்ளவும். புள்ளி மின்துகளின் மின்புலத்தை விட இருமுனையின் மின்புலம் வேகமாக சுழி மதிப்பை நோக்கிச் செல்கிறது என்பதை இது காட்டுகிறது. ஏனெனில், மிக அதிக தொலைவுகளில் இருந்து பார்க்கும்போது, இருமுனையின் இரு மின்துகள்களும் ஒன்றுக்கொன்று நெருக்கமாக உள்ளதைப் போல் தோன்றுவதால், இரண்டின் மின்புலமும் ஒன்றையொன்று சமன்செய்து கொள்கின்றன.

(iii) சமன்பாடு (1.17) மற்றும் (1.21) ஆகியவை மிக அதிக தொலைவுகளுக்கு (r>>a) மட்டுமே பொருந்தும். மின்துகள்களுக்கு இடையேயான தொலைவு 2a சுழியெல்லை மதிப்பையும் $(2a \to 0)$ மின்துகள் q முடிவிலா மதிப்பையும் அடைந்தால், $(q \to \infty)$ அவற்றின் பெருக்கற்பலன் $2aq$ ஆனது வரம்பிற்குட்பட்ட மதிப்பைப் பெறும். அத்தகைய இருமுனையானது புள்ளி இருமுனை (point dipole) எனப்படும். புள்ளி இருமுனைகளைப் பொருத்தவரை அனைத்து தொலைவுகளுக்குமே சமன்பாடுகள் (1.17) மற்றும் (1.21) ஆகியவை பொருந்தும்.

1.4.3 சீரான மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள மின் இருமுனை மீது செயல்படும் திருப்பு விசை

சம இடைவெளியில் ஒரே திசையிலமைந்த மின்புலக் கோடுகளினால் குறிக்கப்படும் சீரான மின்புலம் $\vec{E}$ ஒன்றில் வைக்கப்பட்டுள்ள இருமுனை திருப்புத்திறன் $\vec{p}$ கொண்ட மின் இருமுனை ஒன்றைக் கருதுவோம். $+q$ மின்துகளானது மின்புலத்தின் திசையில் $q\vec{E}$ என்ற விசையையும், $-q$ மின்துகளானது புலத்திற்கு எதிர்த்திசையில் $-q\vec{E}$ என்ற விசையையும் உணர்கின்றன. புற மின்புலம் $\vec{E}$ சீராக உள்ளமையால் இருமுனையின் மீதான மொத்த விசை சுழியாகும். இவ்விரண்டு விசைகளும் வெவ்வேறு புள்ளிகளில் செயல்படுவதால் இரட்டை உருவாகிறது (படம் 1.18). அதனால் ஏற்படும் திருப்பு விசை மின் இருமுனையின் மீது செயல்பட்டு அதை சுழலச் செய்கிறது. (சீரான மின்புலத்தின் மின்புலக் கோடுகள் சம இடைவெளி விட்டும் ஒரே திசையிலும் உள்ளதைக் கவனிக்கவும்).

புள்ளி O வைப் பொருத்து மின் இருமுனையின் மீது செயல்படும் திருப்புவிசை



படம் 1.18 மின் இருமுனையின் மீது திருப்பு விசை

$$\vec{\tau} = \overrightarrow{OA} \times (-q\vec{E}) + \overrightarrow{OB} \times q\vec{E} \qquad (1.22)$$

மொத்தத் திருப்பு விசையானது இத்தாளின் தளத்திற்குக் செங்குத்தாகவும் உள்நோக்கிய திசையிலும் உள்ளதை வலக்கைத் திருகுவிதியின் அடிப்படையில் (காண்க +1 இயற்பியல், தொகுதி 1, அலகு 5) அறிய முடியும்.

மொத்த திருப்புவிசையின் எண்மதிப்பு $\vec{\tau} = |\overrightarrow{OA}||(-q\vec{E})|\sin\theta + |\overrightarrow{OB}||q\vec{E}|\sin\theta$

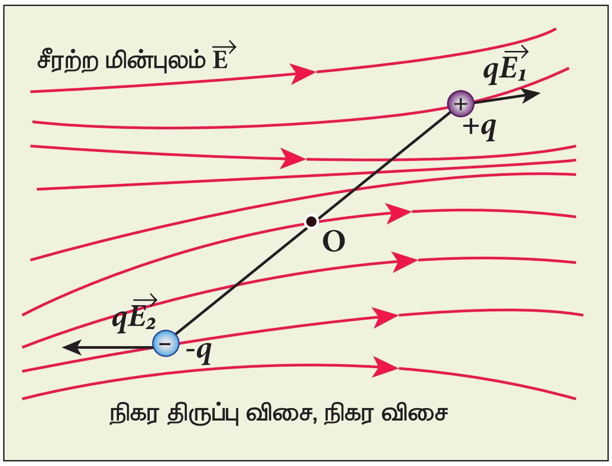
$$\tau = qE \cdot 2a\sin\theta \qquad (1.23)$$

இங்கு θ என்பது $\vec{p}$ மற்றும் $\vec{E}$ க்கு இடைப்பட்ட கோணம். மேலும் $p = 2aq$. எனவே, வெக்டர் பெருக்கல் அடிப்படையில் திருப்பு விசையானது பின்வருமாறு எழுதப்படுகிறது.

$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E} \qquad (1.24)$$

இத்திருப்புவிசையின் எண்மதிப்பு $\tau = pE\sin\theta$; $\theta = 90^\circ$ ஆகும்போது, அது பெரும மதிப்பை அடையும்.

இந்தத் திருப்பு விசையானது மின் இருமுனையைச் சுழலச் செய்து மின்புலத்தின் $(\vec{E})$ திசையில் அதை ஒருங்கமையச் செய்கிறது. மின்புலத்துடன் $(\vec{E})$ திருப்புத்திறன் $(\vec{p})$ ஒருங்கமைந்த பின், இருமுனையின் மீது செயல்படும் மொத்த திருப்புவிசை சுழியாகும். மின்புலம் சீரற்றதாக இருந்தால் $+q$ ன் மீதான விசையும் $-q$ ன் மீதான விசையும் வெவ்வேறாக இருக்கும். இந்நிலையில் திருப்பு விசையுடன் நிகர விசை ஒன்றும் இருமுனையின் மீது செயல்படும் (படம் 1.19)



படம் 1.19 சீரற்ற மின்புலத்தில் மின் இருமுனை

எடுத்துக்காட்டு 1.11

$3\times10^4\,N\,C^{-1}$ வலிமை கொண்ட சீரான மின்புலத்தில் HCl வாயு மூலக்கூறுகள் வைக்கப்படுகிறது. HCl மூலக்கூறின் மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் 3.4×10^{-30} Cm எனில் ஒரு HCl மூலக்கூறின் மீது செயல்படும் பெரும திருப்பு விசையைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு

புற மின்புலத்திற்குக் செங்குத்தாக உள்ள நிலையில் இருமுனையின் மீது பெரும திருப்பு விசை செயல்படும்

$$\tau_{max} = pE\sin 90^\circ = 3.4\times10^{-30}\times3\times10^4$$

$$\tau_{max} = 10.2\times10^{-26}\,N\,m$$

1.5 நிலை மின்னழுத்தமும் மின்னழுத்த ஆற்றலும்

அறிமுகம்

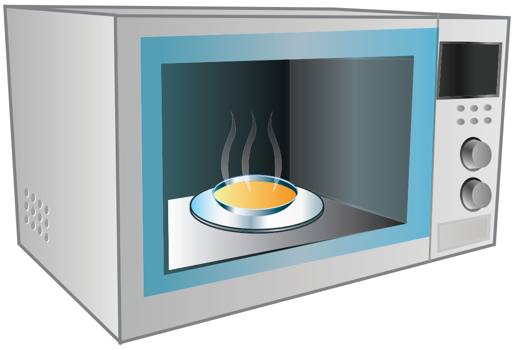
இயக்கவியலில் ஆற்றல் மாற்றா விசைகளினால் உருவாகும் நிலை ஆற்றல் வரையறுக்கப்படுகிறது. ஈர்ப்பு விசை ஒரு ஆற்றல் மாற்றா விசை என்பதால் ஈர்ப்பு நிலை ஆற்றல் வரையறுக்கப்பட்டது (+1 இயற்பியல், அலகு 6) நினைவிருக்கலாம். கூலூம் விசை ஓர் 'எதிர்த்தகவு – இருமடி – விதி' யின் படி செயல்படும் விசையாதலால் ஈர்ப்பு விசையைப் போல அதுவும் ஒரு ஆற்றல் மாற்றா விசையே. எனவே மின்துகள்களால் ஆன கட்டமைப்புகளுக்கு நாம் நிலை ஆற்றலை (மின்னழுத்த ஆற்றலை) வரையறை செய்ய முடியும்.

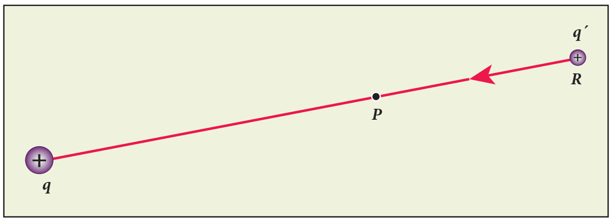
1.5.1 நிலை மின்னழுத்த ஆற்றலும் நிலை மின்னழுத்தமும்

தன்னைச்சுற்றி மின்புலம் $\vec{E}$ ஐ உருவாக்கும், ஆதிப்புள்ளியில் வைக்கப்பட்டுள்ள நேர் மின்துகள் q ஐக் கருதுவோம். அதற்கும் சோதனை மின்துகள் q' க்கும் இடையே நிலவும் விலக்கு விசைக்கு எதிராக புள்ளி R லிருந்து புள்ளி P க்கு q' எடுத்து வரப்படுகிறது. (படம் 1.20). இப்படி எடுத்து வருவதற்கு இவ்விலக்கு விசைக்கு எதிராக வேலை செய்யப்பட வேண்டும். இந்த வேலையே நிலை ஆற்றலாக (மின்னழுத்த ஆற்றலாக) சேமிக்கப்படுகிறது.

உங்களுக்குத் தெரியுமா?

மின் இருமுனையின் மீது செயல்படும் திருப்பு விசை என்ற தத்துவத்தின் அடிப்படையில் நுண்ணலை அடுப்பு (microwave oven) செயல்படுகிறது. நாம் உண்ணும் உணவில் உள்ள நீர் மூலக்கூறுகள் நிலைத்த மின் இருமுனைகள் என்பதை அறிவோம். இவ்வடுப்பு உருவாக்கும் நுண்ணலைகள், அலைவுறும் மின்காந்தப் புலங்களே ஆகும். ஆதலால் அவை நீர்மூலக்கூறுகளின் மீது திருப்பு விசையை செயல்படுத்துகின்றன. நீர் மூலக்கூறு ஒவ்வொன்றின் மீதும் திருப்பு விசை செயல்படுவதால் அவை மிக வேகமாக சுழற்றப்படுகின்றன. அதிலிருந்து வெப்ப ஆற்றல் உருவாக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு உருவாகும் வெப்பத்தினால் உணவு சூடாக்கப்படுகிறது.





படம் 1.20 செய்யப்படும் வேலை மின்னழுத்த ஆற்றலுக்குச் சமம்

சோதனை மின்துகள் q' ஆனது புள்ளி R லிருந்து புள்ளி P க்கு சீரான திசைவேகத்தில் நகர்த்தப்பட வேண்டும் என்றால் அதன்மீது செயல்படும் புற விசையானது கூலூம் விசைக்கு சமமாகவும் அதற்கு எதிர்த்திசையிலும் செலுத்தப்பட வேண்டும். $\left(\vec{F}_{ext} = -\vec{F}_{coulomb}\right)$. எனவே செய்யப்பட்ட வேலை

$$W = \int_R^P \vec{F}_{ext} \cdot d\vec{r} \qquad (1.25)$$

கூலூம் விசை ஒரு ஆற்றல் மாற்றா விசை என்பதால், செய்யப்படும் வேலையானது நகர்த்தப்பட்ட பாதையைச் சார்ந்திராமல் சோதனை மின்துகளின் தொடக்க மற்றும் இறுதி நிலைகளையே சார்ந்து இருக்கும். புள்ளி P இல் மின்துகள் q' ன் நிலைமின்னழுத்த ஆற்றல் U_P எனவும், புள்ளி R ல் அதை U_R எனவும் வைக்கவும். எனில் மின்னழுத்த ஆற்றலின் வேறுபாடானது புள்ளி R லிருந்து புள்ளி P க்கு சோதனை மின்துகளை நகர்த்தச் செய்யப்படும் வேலைக்குச் சமம். அதாவது

$$U_P - U_R = W = \Delta U$$

$$\Delta U = \int_R^P \vec{F}_{ext} \cdot d\vec{r} \qquad (1.26)$$

இங்கு $\vec{F}_{ext} = -\vec{F}_{coulomb} = -q'\vec{E}$ (1.27)

$$\Delta U = \int_R^P -\left(q'\vec{E}\right) \cdot d\vec{r} = q' \int_R^P \left(-\vec{E}\right) \cdot d\vec{r} \qquad (1.28)$$

ஓரலகு மின்னூட்டத்திற்கான நிலைமின்னழுத்த ஆற்றல் வேறுபாடு

$$\frac{\Delta U}{q'} = \frac{q' \int_R^P \left(-\vec{E}\right) \cdot d\vec{r}}{q'} = -\int_R^P \vec{E} \cdot d\vec{r} \qquad (1.29)$$

இச்சமன்பாடு (1.29) q' ஐச் சார்ந்ததல்ல. இந்த இயற்பியல் அளவு $\frac{\Delta U}{q'} = -\int_R^P \vec{E} \cdot d\vec{r}$ என்பது P மற்றும் R க்கு இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாடு என்று அழைக்கப்படுகிறது; மேலும் இதை $V_P - V_R = \Delta V$ என்று குறிப்போம். இதைப் பின்வருமாறும் நாம் வரையறுக்கலாம். புள்ளி R லிருந்து புள்ளி P க்கு ஓரலகு நேர் மின்னூட்டம் கொண்ட மின்துகள் ஒன்றை எடுத்து வர, புறவிசையினால் செய்யப்படும் வேலை என்றும் மின்னழுத்த வேறுபாடு வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$V_P - V_R = \Delta V = \int_R^P -\vec{E} \cdot d\vec{r} \qquad (1.30)$$

நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல் வேறுபாட்டைப் பின்வருமாறு எழுதலாம். $\Delta U = q'\Delta V$. இரு புள்ளிகளுக்கு இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாடு என்பதே பயன்படக்கூடிய ஓர் அளவீடாகும். மாறாக, ஒரு புள்ளிக்கான மின்னழுத்த மதிப்பு என்பது அர்த்தம் இல்லாதது. எனவே புள்ளி R ஐ முடிவிலாத் தொலைவில் உள்ளதாகவும் அதன் மின்னழுத்த மதிப்பை சுழி எனவும் கொள்வோம் $\left(V_\infty = 0\right)$ எனில்,

ஒரு புள்ளியில் (P) மின்னழுத்தம் என்பது புற மின்புலம் $(\vec{E})$ செயல்படும் பகுதியில் முடிவிலாத் தொலைவிலிருந்து அப்புள்ளிக்கு(P) ஓரலகு நேர் மின்னூட்டம் கொண்ட மின்துகளை சீரான திசைவேகத்துடன் கொண்டு வர புற விசை ஒன்றினால் செய்யப்படும் வேலைக்கு சமமாகும். கணித வடிவில் இதையே,

$$V_P = -\int_\infty^P \vec{E} \cdot d\vec{r} \qquad (1.31)$$

என்று எழுதலாம்.

முக்கிய கருத்துக்கள்

1. ஒரு புள்ளியில் உள்ள மின்னழுத்தமானது மூல மின்துகள் q வினால் உருவாகும் மின்புலத்தை மட்டுமே சார்ந்தது. அம்மின்புலம் சோதனை மின்துகளால் (q') உருவாவது அன்று. முடிவிலாத் தொலைவிலிருந்து புள்ளி P க்கு ஓரலகு மின்னூட்டம் கொண்ட நேர் மின்துகளை சீரான திசைவேகத்துடன் கொண்டு வர வேண்டும். ஏனெனில், அதைச் செய்யும் புற விசையினால் அந்த சோதனை மின்துகளுக்கு எவ்வித இயக்க ஆற்றலும் அளிக்கப்படக் கூடாது.

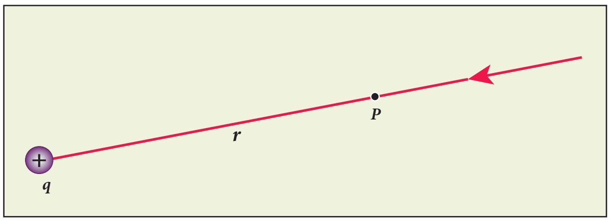
2. மின்னழுத்தத்தின் அலகு, சமன்பாடு (1.29) படி, ஜூல் / கூலூம் ($J\ C^{-1}$). எனினும் அதன் நடைமுறை அலகு வோல்ட் (V); இது மின்கலனை முதன்முதலில் உருவாக்கிய அலசாண்ட்ரோ வோல்டா (1745-1827) என்பாரின் நினைவால் சூட்டப்பட்ட அலகாகும். இரு புள்ளிகளுக்கு இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாடானது மின்னழுத்த அளவினால் (Voltage) குறிப்பிடப்படுகிறது.

குறிப்பு

(மின்னூட்டம் பெற்ற) பொருள்களின் இயக்கத்தை விளக்குவதற்கு புலம் என்கிற கருத்தாக்கத்தைப் பயன்படுத்துவதை விட மின்னழுத்தம் அல்லது மின்னழுத்த ஆற்றல் என்கிற கருத்தாக்கத்தைப் பயன்படுத்துவது எளிமையானது.

1.5.2 புள்ளி மின்துகளால் உருவாகும் மின்னழுத்தம்

ஆதிப்புள்ளியில் நிலையாக வைக்கப்பட்டுள்ள q மின்னூட்ட மதிப்பு கொண்ட நேர் மின்துகள் ஒன்றைக் கருதவும். புள்ளி P அதிலிருந்து r தொலைவில் உள்ளது (படம் 1.21).



படம் 1.21 புள்ளி P ல் மின்னழுத்தம்

புள்ளி P ல் மின்னழுத்தம்

$$V = \int_{\infty}^{r} \left(-\vec{E}\right)\cdot d\vec{r} = -\int_{\infty}^{r} \vec{E}\cdot d\vec{r} \qquad (1.32)$$

புள்ளி நேர் மின்துகள் q வினால் உருவாகும் மின்புலம்

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{r}$$

$$V = \frac{-1}{4\pi\epsilon_0}\int_{\infty}^{r}\frac{q}{r^2}\hat{r}.d\vec{r}$$

மீச்சிறு இடப்பெயர்ச்சி வெக்டர் $d\vec{r} = dr\hat{r}$, மற்றும் $\hat{r}.\,\hat{r} = 1$. எனவே

$$V = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int_{\infty}^{r}\frac{q}{r^2}\hat{r}\cdot dr\hat{r} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\int_{\infty}^{r}\frac{q}{r^2}dr$$

தொகையிடலுக்குப் பின்,

$$V = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}q\left\{-\frac{1}{r}\right\}_{\infty}^{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r}$$

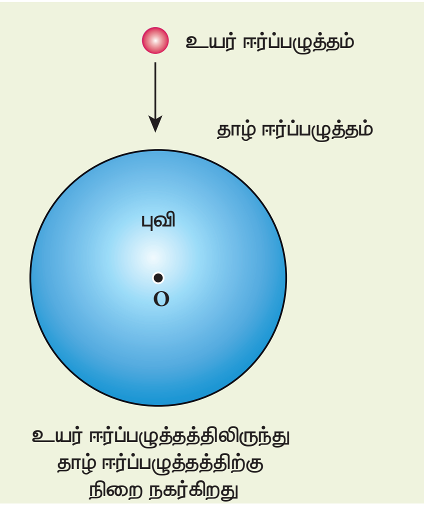
ஆகவே, புள்ளி மின்துகளினால் r தொலைவில் ஏற்படும் மின்னழுத்தம்

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r} \qquad (1.33)$$

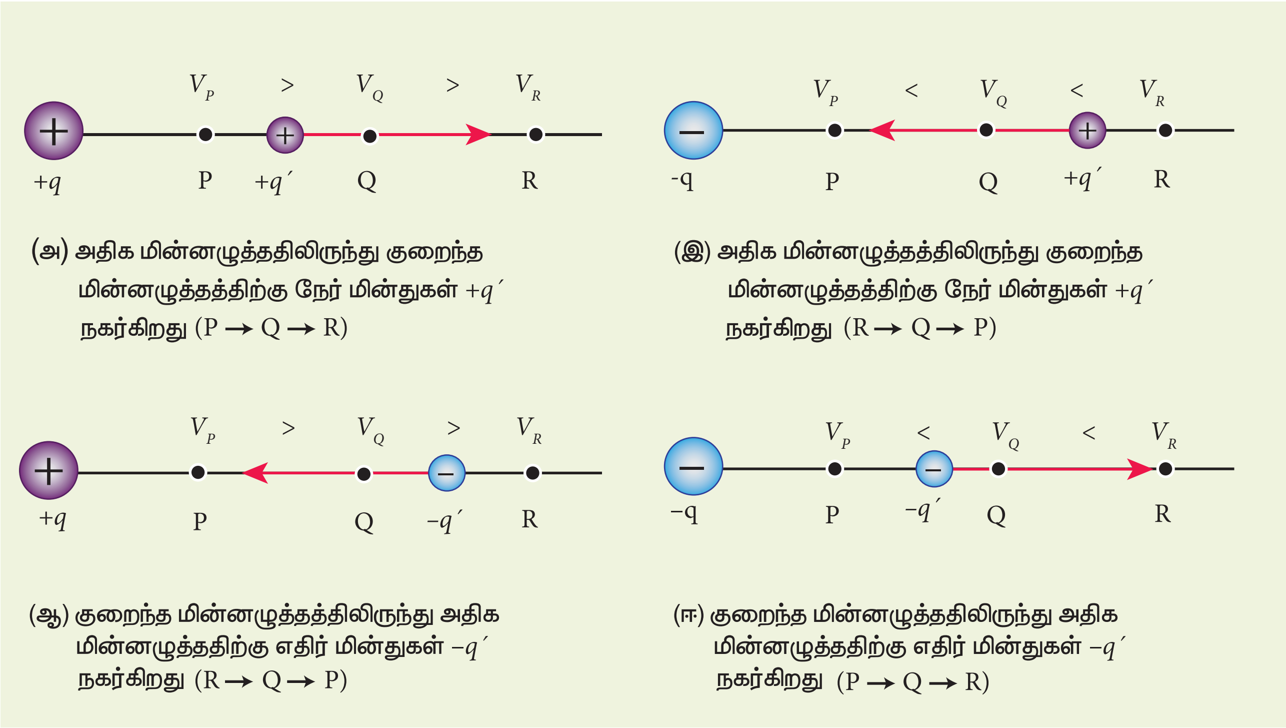
முக்கிய குறிப்புகள்

(i) மூல மின்துகள் q நேர்க்குறி உடையது எனில், $V > 0$. மூல மின்துகள் q எதிர்க்குறி கொண்டது எனில் V–யும் எதிர்க்குறி கொண்டிருக்கும். மேலும் $V = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r}$

(ii) தொலைவு அதிகரிக்கும்போது நேர் மின்துகளினால் உருவாகும் மின்னழுத்தம் குறைகிறது என்பதை சமன்பாடு (1.33) மூலம் அறியலாம். அதே சமயம், எதிர் மின்துகளை பொருத்தவரை, தொலைவு அதிகரிக்கும்போது மின்னழுத்தமும் அதிகரிக்கிறது. முடிவிலாத் தொலைவில் ($r = \infty$) நிலை மின்னழுத்தம் சுழி ($V = 0$) ஆகும்.



படம் 1.22 ஈர்ப்பழுத்தத்தைப் பொறுத்து நிறைகளின் நகர்வு



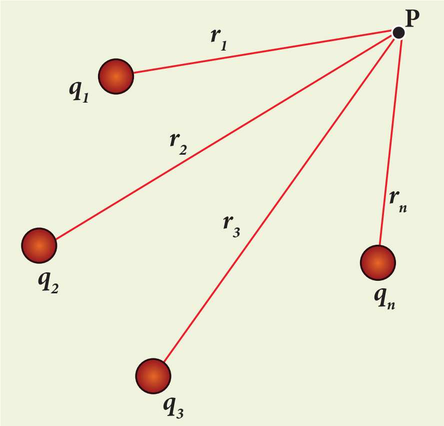
படம் 1.23 மின்னழுத்தத்தைப் பொருத்து மின்துகள்களின் நகர்வு

ஈர்ப்புப் புலத்தைப் பொருத்தவரை உயர் ஈர்ப்பு அழுத்தப் புள்ளியிலிருந்து தாழ்வு ஈர்ப்பு அழுத்தம் கொண்ட புள்ளிக்கு நிறையானது நகர்கிறது. அதேபோல், அதிக நிலை மின்னழுத்தம் கொண்ட புள்ளியிலிருந்து குறைந்த நிலை மின்னழுத்தம் கொண்ட புள்ளிக்கு ஒரு நேர் மின்துகள் நகர்கிறது. ஆனால், எதிர் மின்துகளோ குறைந்த நிலை மின்னழுத்தத்தில் இருந்து அதிக நிலை மின்னழுத்தத்திற்கு நகர்கின்றது. இந்த ஒப்பீடுகள் படம் 1.23 ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

(iii) $q_1, q_2, q_3 \ldots. q_n$ ஆகிய பல மின்துகள்கள் அடங்கிய அமைப்பினால் ஒரு புள்ளியில் (P) உருவாகும் மின்னழுத்தமானது தனித்தனி மின்துகள்களால் ஏற்படும் மின்னழுத்தங்களின் கூடுதலுக்குச் சமமாகும்.

$$V_{tot} = \frac{kq_1}{r_1} + \frac{kq_2}{r_2} + \frac{kq_3}{r_3} + \ldots \ldots + \frac{kq_n}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i}{r_i} \qquad (1.34)$$

இங்கு $r_1, r_2, r_3 \ldots\ldots. r_n$ ஆகியவை புள்ளி P யிலிருந்து மின்துகள்கள் $q_1, q_2, q_3 \ldots. q_n$ ஆகியவற்றின் தொலைவுகள் [படம் 1.24].

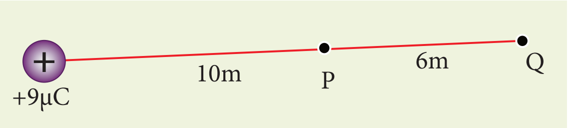


படம் 1.24 மின்துகள்களின் தொகுப்பினால் ஏற்படும் நிலை மின்னழுத்தம்

எடுத்துக்காட்டு 1.12

(அ) பின்வரும் படத்தில், P மற்று Q புள்ளிகளில் காணப்படும் மின்னழுத்தத்தைக் கணக்கிடுக.

(ஆ) அதிலுள்ள +9 μC மின்துகளுக்கு பதிலாக −9 μC வைக்கப்பட்டால், P மற்றும் Q புள்ளிகளில் நிலை மின்னழுத்தத்தைக் காண்க?



(இ) முடிவிலாத் தொலைவிலிருந்து புள்ளி Q க்கு, +2 μC மதிப்பு கொண்ட சோதனை மின்துகள் ஒன்றைக் கொண்டு வர செய்யப்பட வேண்டிய வேலையைக் கணக்கிடுக. (+9 μC ஆதிப்புள்ளியில் நிலையாக வைக்கப்பட்டுள்ளது என்றும் +2 μC மின்துகள் முடிவிலாத் தொலைவிலிருந்து புள்ளிக்கு நகர்த்தப்படுகிறது என எடுத்துக் கொள்ளவும்.)

தீர்வு

(அ) புள்ளி P ல் உருவாகும் மின்னழுத்தம்

$$V_P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r_P} = \frac{9\times10^9\times9\times10^{-6}}{10} = 8.1\times10^3\ \text{V}$$

புள்ளி Q ல் ஏற்படும் மின்னழுத்தம்

$$V_Q = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r_Q} = \frac{9\times10^9\times9\times10^{-6}}{16} = 5.06\times10^3\ \text{V}$$

இங்கு, புள்ளி P ன் மின்னழுத்தத்தை விட புள்ளி Q ன் மின்னழுத்தம் குறைவாக உள்ளதைக் கவனிக்கவும். ஆகவே, ஒரு நேர் மின்துகளை புள்ளி P ல் வைத்தால் அது புள்ளி Q வை நோக்கி நகரும். மாறாக ஒரு எதிர் மின்துகளை புள்ளி P இல் வைத்தால் அது +9 μC மின்துகளை நோக்கி நகரும்.

புள்ளி P மற்றும் Q க்கு இடையிலான மின்னழுத்த வேறுபாடு

$$\Delta V = V_P - V_Q = +3.04\times10^3\ \text{V}$$

(ஆ) +9 μC மின்துகளுக்கு பதிலாக −9 μC மின்துகளை வைத்தால், அப்புள்ளிகளில் உருவாகும் மின்னழுத்தங்கள் முறையே,

$$V_P = -8.1\times10^3\ \text{V},\ V_Q = -5.06\times10^3\ \text{V}$$

இங்கு புள்ளி P ன் மின்னழுத்தத்தை விட புள்ளி Q ன் மின்னழுத்தம் அதிகமாக உள்ளதைக் கவனிக்கவும்.

புள்ளி P மற்றும் புள்ளி Q க்கு இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாடு

$$\Delta V = V_P - V_Q = -3.04\times10^3\ \text{V}$$

(இ) மின்துகள் ஒன்றினால் ஒரு புள்ளியில் உருவாகும் மின்னழுத்தமானது ஓரலகு மின்னூட்டம் கொண்ட நேர்மின்துகளை முடிவிலாத் தொலைவிலிருந்து அப்புள்ளிக்கு எடுத்துவர, புற விசையினால் செய்யப்பட்ட வேலைக்குச் சமமாகும். எனவே q மின்னூட்டம் கொண்ட துகளை முடிவிலாத் தொலைவிலிருந்து அப்புள்ளிக்கு எடுத்து வரச் செய்யப்படும் வேலை,

$$W = qV$$

$$W_Q = 2\times10^{-6}\times5.06\times10^3 = 10.12\times10^{-3}\ \text{J.}$$

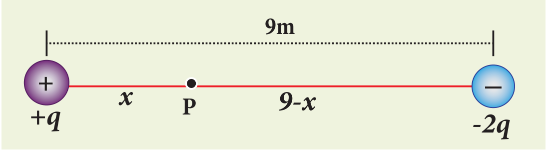
எடுத்துக்காட்டு 1.13

$+q$ மின்னூட்டம் கொண்ட நேர்மின்துகள் ஆதிப்புள்ளியில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. அதிலிருந்து 9 m தொலைவில் இன்னொரு புள்ளி மின்துகள் $-2q$ வைக்கப்பட்டுள்ளது. இம்மின்துகள்களுக்கு இடையில் மின்னழுத்தம் சுழியாக உள்ள புள்ளியைக் கண்டுபிடிக்கவும்.

தீர்வு

மேற்பொருந்துதல் தத்துவத்தின்படி, ஒரு புள்ளியில் உருவாகும் மொத்த மின்னழுத்தமானது தனித்தனி மின்துகள்களால் அப்புள்ளியில் ஏற்படும் மின்னழுத்தங்களின் கூடுதலுக்குச் சமம்.

மொத்த மின்னழுத்த மதிப்பு சுழியாகும் புள்ளி, $+q$ மின்துகளிலிருந்து x தொலைவில் உள்ளதாகக் கருதவும் (படம்)



புள்ளி P ல் மொத்த மின்னழுத்தம் சுழி. இதைப் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$V_{tot} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{q}{x} - \frac{2q}{(9-x)}\right) = 0\ \text{(அல்லது)}$$

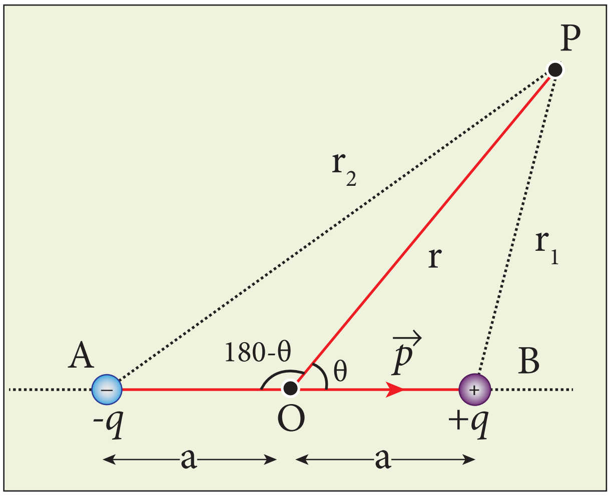
$$\frac{q}{x} = \frac{2q}{(9-x)}\ \text{(அல்லது)}$$

$$\frac{1}{x} = \frac{2}{(9-x)}$$

எனவே, $x = 3$ m

1.5.3 மின் இருமுனையால் ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் நிலை மின்னழுத்தம்

படம் 1.25 இல் காட்டியுள்ளவாறு $2a$ என்ற சிறிய இடைவெளியில் பிரிக்கப்பட்டுள்ள இரு சமமான, வேறின மின்துகள்களைக் கருதுவோம். மின் இருமுனையின் நடுப்புள்ளியிலிருந்து r தொலைவில் P என்ற புள்ளி உள்ளது. AB என்ற இருமுனை அச்சுக்கும் OP என்ற கோட்டிற்கும் இடையேவுள்ள கோணம் θ என்க.



படம் 1.25 மின் இருமுனையால் ஏற்படும் மின்னழுத்தம்

$+q$ விலிருந்து புள்ளி P ன் தொலைவு r_1 எனவும் $-q$ விலிருந்து புள்ளி P ன் தொலைவு r_2 எனவும் கொள்க.

$+q$ மின்துகளினால் புள்ளி P ல் உருவாகும் மின்னழுத்தம் $= \frac{1}{4\pi\epsilon_\circ}\frac{q}{r_1}$

$-q$ மின்துகளினால் புள்ளி P ல் உருவாகும் மின்னழுத்தம் $= -\frac{1}{4\pi\epsilon_\circ}\frac{q}{r_2}$

புள்ளி P ல் உருவாகும் மொத்த மின்னழுத்தம்,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}q\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right) \qquad (1.35)$$

மின் இருமுனையிலிருந்து வெகு தொலைவில் புள்ளி P இருப்பின், $r>>a$. எனவே சமன்பாடு (1.35) ஐ r ன் சார்பில் எழுதலாம்.

BOP முக்கோணத்தில் கொசைன் விதியைப் பயன்படுத்த,

$$r_1^2 = r^2 + a^2 - 2ra\cos\theta$$

$$r_1^2 = r^2\left(1+\frac{a^2}{r^2}-\frac{2a}{r}\cos\theta\right)$$

புள்ளி P மின் இருமுனையிலிருந்து வெகு தொலைவில் உள்ளதால் $(r>>a)$. இதனால் $\frac{a^2}{r^2}$ இன் மதிப்பு மிகவும் சிறியது. எனவே அதைப் புறக்கணிக்கலாம். ஆகவே,

$$r_1^2 = r^2\left(1-2a\frac{\cos\theta}{r}\right)$$

(அல்லது) $$r_1 = r\left(1-\frac{2a}{r}\cos\theta\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{1}{r_1} = \frac{1}{r}\left(1-\frac{2a}{r}\cos\theta\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$\frac{a}{r}<<1$ ஆதலால், ஈருறுப்புத் தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தி உயர் அடுக்குகளைப் புறக்கணித்து எழுதினால்,

$$\frac{1}{r_1} = \frac{1}{r}\left(1+\frac{a}{r}\cos\theta\right) \qquad (1.36)$$

இதேபோல் AOP முக்கோணத்திற்கு கொசைன் விதியைப் பயன்படுத்த,

$$r_2^2 = r^2 + a^2 - 2ra\cos(180-\theta)$$

$\cos(180-\theta) = -\cos\theta$ ஆதலால்

$$r_2^2 = r^2 + a^2 + 2ra\cos\theta$$

$\frac{a^2}{r^2}$ ஐப் புறக்கணிக்க

$$r_2^2 = r^2\left(1+\frac{2a\cos\theta}{r}\right)$$

$$r_2 = r\left(1+\frac{2a\cos\theta}{r}\right)^{\frac{1}{2}}$$

ஈருறுப்புத் தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தினால்,

$$\frac{1}{r_2} = \frac{1}{r}\left(1-a\frac{\cos\theta}{r}\right) \quad (1.37)$$

சமன்பாடு (1.37) மற்றும் (1.36) ஆகியவற்றை சமன்பாடு (1.35) ல் பிரதியிட

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}q\left(\frac{1}{r}\left(1+a\frac{\cos\theta}{r}\right)-\frac{1}{r}\left(1-a\frac{\cos\theta}{r}\right)\right)$$

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{1}{r}\left(1+a\frac{\cos\theta}{r}-1+a\frac{\cos\theta}{r}\right)\right)$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2aq}{r^2}\cos\theta$$

மின் இருமுனையின் திருப்புத்திறன் $p = 2qa$. எனவே,

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{p\cos\theta}{r^2}\right)$$

$p\cos\theta = \vec{p}\cdot\hat{r}$ என எழுதலாம். இங்கு $\hat{r}$ என்பது புள்ளி O விலிருந்து புள்ளி P ஐ நோக்கி உள்ள ஓரலகு வெக்டராகும். எனவே, மின் இருமுனையால் ஒரு புள்ளியில் உருவாகும் மின்னழுத்தம்

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\vec{p}\cdot\hat{r}}{r^2} \quad (r>>a) \quad (1.38)$$

மின் இருமுனையின் அளவை ஒப்பிடும்போது மிக அதிகமாகவுள்ள தொலைவுகளுக்கு சமன்பாடு (1.38) பொருந்தும். புள்ளி இருமுனைக்கு எந்தத் தொலைவிற்கும் சமன்பாடு (1.38) பொருந்தும்.

சிறப்பு நேர்வுகள்

நேர்வு (i) இருமுனையின் அச்சுக்கோட்டில் $+q$ மின்துகள் உள்ள பக்கத்தில் புள்ளி P இருந்தால் $\theta = 0^0$. அப்போது மின்னழுத்தம்

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{p}{r^2} \quad (1.39)$$

நேர்வு (ii) இருமுனையின் அச்சுக்கோட்டில் $-q$ மின்துகள் உள்ள பக்கத்தில் புள்ளி P இருந்தால் $\theta = 180^\circ$. எனவே

$$V = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{p}{r^2} \quad (1.40)$$

நேர்வு (iii) இருமுனையின் நடுவரைக்கோட்டில் புள்ளி P இருந்தால், $\theta = 90^\circ$. எனவே

$$V = 0 \quad (1.41)$$

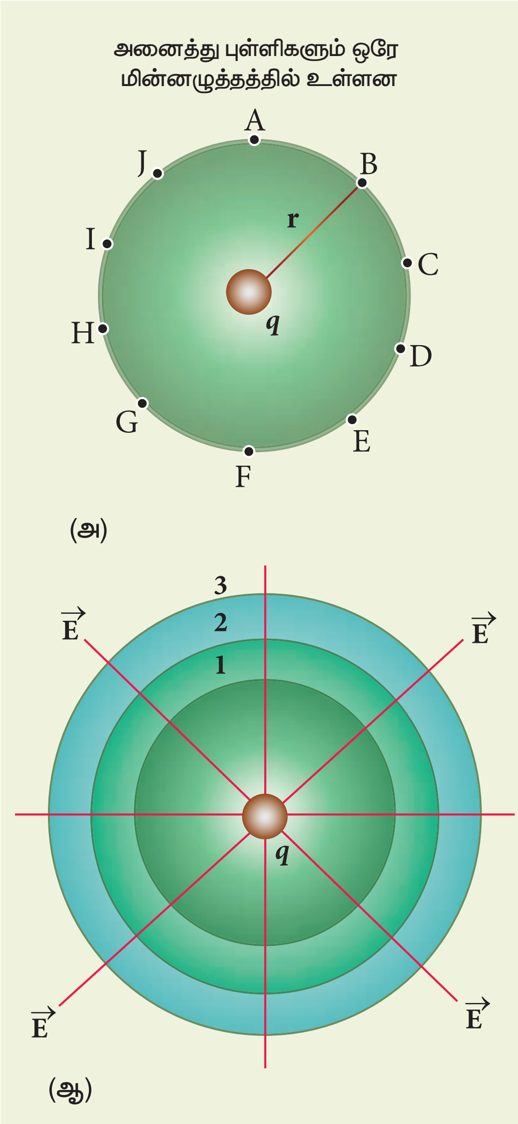
குறிப்பு

மின் இருமுனையின் மின்னழுத்தம் $\frac{1}{r^2}$ என்றவாறு குறைகின்றது; அதே சமயம் புள்ளி மின்துகளின் மின்னழுத்தம் $\frac{1}{r}$ என்றவாறு குறைகின்றது. எனவே ஒரு புள்ளி மின்துகளைவிட மின் இருமுனையின் மின்னழுத்தம் வேகமாகக் குறைகின்றது. ஏனென்றால் மின் இருமுனையிலிருந்து தொலைவு அதிகரிக்கும் போது நேர் மற்றும் எதிர் மின்துகள்களின் விளைவுகள் ஒன்றையொன்று சமன்செய்து கொள்கின்றன.

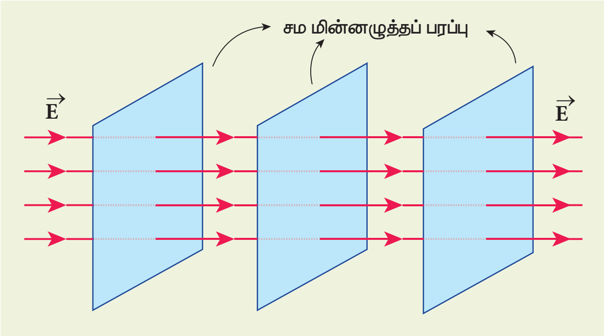
1.5.4 சம மின்னழுத்தப் பரப்பு

புறவெளியில் ஒரு புள்ளியில் வைக்கப்பட்டுள்ள புள்ளி மின்துகள் q வை மையமாகக் கொண்ட r ஆரமுடைய கற்பனைக் கோளத்தைக் கருதுவோம். [படம் 1.26 (அ)]. இக் கோளத்தின் பரப்பிலுள்ள அனைத்து புள்ளிகளும் ஒரே மின்னழுத்தம் பெற்றிருக்கும். இத்தகைய பரப்பினையே சம மின்னழுத்தப் பரப்பு என்கிறோம்.

ஒரு பரப்பில் உள்ள எல்லா புள்ளிகளும் ஒரே மின்னழுத்தத்தைக் கொண்டிருந்தால் அப்பரப்பு சமமின்னழுத்தப்பரப்பு எனப்படுகிறது. ஒரு புள்ளி மின்துகளிற்கு, சம மின்னழுத்தப் பரப்புகளாக ஓர் மைய கோளப் பரப்புகள் உள்ளதைப் படத்தில் (1.26 (ஆ)) காணலாம். ஒவ்வொரு கோளப் பரப்பும் ஒரு சம மின்னழுத்தப் பரப்பே என்றாலும் ஒவ்வொன்றின் மின்னழுத்த மதிப்பும் வெவ்வேறு ஆகும்.



படம் 1.26 புள்ளி மின்துகளின் சம மின்னழுத்தப்பரப்பு



படம் 1.27 சீரான மின்புலத்தின் சம மின்னழுத்தப் பரப்புகள்

சீரான மின்புலத்தைப் பொருத்தவரை, அதற்கு செங்குத்தாகவுள்ள தளங்களின் தொகுப்பே சம மின்னழுத்தப் பரப்புகளாகும். [படம் 1.27]

சம மின்னழுத்தப் பரப்புகளின் பண்புகள்

(i) A மற்றும் B புள்ளிகளுக்கு இடையே q மின்னூட்டம் கொண்ட மின்துகளை நகர்த்த செய்யப்படும் வேலை $W = q(V_B - V_A)$. A, B இரு புள்ளிகளும் ஒரே சம மின்னழுத்தப் பரப்பில் இருந்தால், செய்யப்படும் வேலை சுழியாகும்; ஏனெனில், $V_B = V_A$.

(ii) சம மின்னழுத்தப் பரப்புக்கு செங்குத்தாக மின்புலம் இருக்கும். அவ்வாறு செங்குத்தாக இல்லையெனில், புலத்தின் ஒரு கூறு பரப்புக்கு இணையாக இருக்கும். எனவே, அப்பரப்பிலேயே உள்ள இரு புள்ளிகளுக்கு இடையே ஒரு மின்துகளை நகர்த்த வேலை செய்யப்பட்ட வேண்டும். இது ஓர் முரண். எனவே, சம மின்னழுத்தப் பரப்புக்கு செங்குத்தாகவே மின்புலம் எப்போதும் அமைகின்றது.

1.5.5 மின்புலத்திற்கும் மின்னழுத்தத்திற்கும் இடையேயான தொடர்பு

ஆதிப்புள்ளியில் வைக்கப்பட்டுள்ள நேர் மின்துகள் q வைக் கருதுவோம். E மின்புலத்தில் ஓரலகு மின்னூட்டம் கொண்ட நேர் மின்துகள் ஒன்றை dx தொலைவு நகர்த்த செய்யப்படும் வேலை $dW = -E\,dx$. இங்கு எதிர்க்குறியானது மின்புலத்திற்கு எதிராக வேலை செய்யப்படுகிறது என்பதை உணர்த்துகிறது. இந்த வேலை மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்குச் சமமாகும். எனவே,

$$dW = dV \text{ (அல்லது) } dV = -E\,dx \quad (1.42)$$

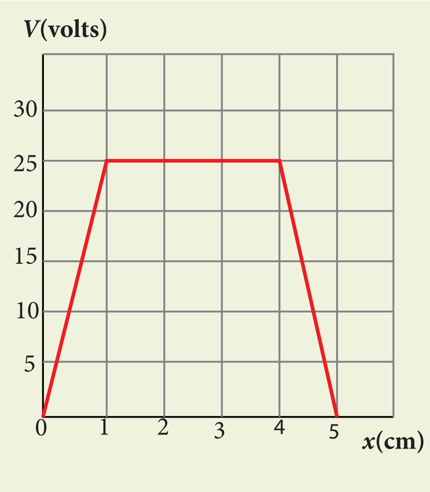
$$\text{எனவே, } E = -\frac{dV}{dx} \quad (1.43)$$

இதிலிருந்து,மின்புலமானதுஎதிர்க்குறியிடப்பட்ட மின்னழுத்தச் சரிவுக்கு சமம் என்றாகிறது. மேலே உள்ள சமன்பாடு (1.43) x – கூறுக்கு மட்டும் பொருந்தும். மின்புலமானது மூன்று கூறுகளுக்கும் பொதுவாக பின்வருமாறு எழுதப்படுகிறது.

$$\vec{E} = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial V}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial V}{\partial z}\hat{k}\right) \quad (1.44)$$

எடுத்துக்காட்டு 1.14

x–ஆயத்தொலைவின்சார்பாகமட்டும்குறிக்கப்படும் மின்னழுத்தம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. x ன் சார்பாக மின்புலத்தை வரைந்து காட்டுக.



தீர்வு

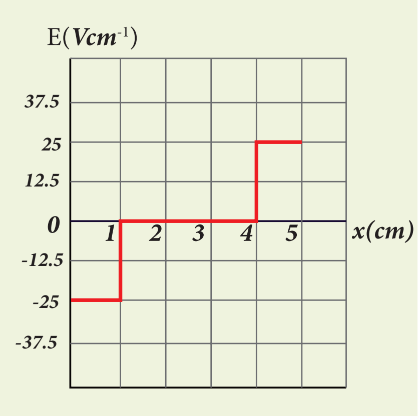
இக்கணக்கில் x ஐ சார்ந்து மட்டுமே மின்னழுத்தம் உள்ளதால் $\vec{E} = -\frac{dV}{dx}\hat{i}$ என்ற சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தலாம். (மற்ற இரு உறுப்புகளான $\frac{\partial V}{\partial y}$ மற்றும் $\frac{\partial V}{\partial z}$ சுழியாகும்).

0 முதல் 1 cm வரை, சாய்வு மாறிலியாக உள்ளது. மேலும் $\frac{dV}{dx} = 25\,\text{V cm}^{-1}$. எனவே, $\vec{E} = -25\hat{i}\ \text{V cm}^{-1}$

1 முதல் 4 cm வரை, மின்னழுத்தம் மாறாமல் உள்ளது $V = 25\,\text{V}$. அதாவது $\frac{dV}{dx} = 0$. எனவே, $\vec{E} = 0$ ஆகும்.

4 முதல் 5 cm வரை, சாய்வு $\frac{dV}{dx} = -25\,\text{V cm}^{-1}$. எனவே, $\vec{E} = +25\hat{i}\ \text{V cm}^{-1}$.

x – அச்சின் பல்வேறு புள்ளிகளில் மின்புலத்தின் வரைபடம் இங்கே தரப்பட்டுள்ளது.



1.5.6 புள்ளி மின்துகள் திரளால் உருவாகும் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல்

q_1 புள்ளி மின்துகளிலிருந்து r தொலைவிலுள்ள ஒரு புள்ளியில் மின்னழுத்தம்

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1}{r}$$

ஓரலகு மின்னூட்டம் கொண்ட நேர் மின்துகளை முடிவிலாத் தொலைவிலிருந்து அப்புள்ளிக்கு எடுத்துவரச் செய்யப்படும் வேலையே மின்னழுத்தம் ஆகும். இப்போது q_2 மின்துகளை முடிவிலாத் தொலைவிலிருந்து q_1 க்கு r தொலைவில் உள்ள புள்ளிக்கு எடுத்துவரச் செய்யப்படும் வேலையானது அப்புள்ளியில் மின்னழுத்தம் மற்றும் q_2 இன் பெருக்கற்பலனுக்குச் சமமாகும். எனவே,

$$W = q_2 V$$

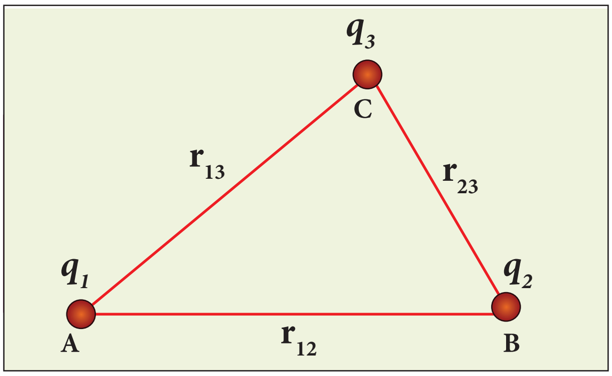
இந்த செய்யப்பட்ட வேலையானது r இடைவெளியில் அமைந்துள்ள q_1 மற்றும் q_2 மின்துகள் அமைப்பின் நிலைமின்னழுத்த ஆற்றல் U ஆக சேமிக்கப்படுகிறது. ஆகவே

$$U = q_2 V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r} \qquad (1.45)$$

இரு மின்துகள்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவை இந்த நிலை மின்னழுத்த ஆற்றலானது சார்ந்துள்ளது. q_1 நிலையாகவும் q_2 வை முடிவிலாத் தொலைவிலிருந்து நகர்த்தி வருவதாகவும் வைத்து சமன்பாடு (1.45) பெறப்பட்டுள்ளது. q_2 வை நிலையாக வைத்து q_1 ஐ முடிவிலாத் தொலைவிலிருந்து நகர்த்தி வருவதாக இருந்தாலும், அல்லது q_1 மற்றும் q_2 இரண்டையுமே முடிவிலாத் தொலைவிலிருந்து r இடைவெளியில் வைப்பதாக இருந்தாலும் சமன்பாடு (1.45) பொருந்தும்.

மூன்று மின்துகள்கள் பின்வருமாறுள்ள நிலையமைப்பில் வைக்கப்பட்டுள்ளன [படம் 1.28].

மொத்த நிலை மின்னழுத்த ஆற்றலைக் கணக்கிட பின்வரும் முறையை நாம் பின்பற்றுகிறோம். ஒன்றன் பின் ஒன்றாக மின்துகள்கள் அனைத்தையும் கொண்டு வரச் செய்து அவற்றை படம் 1.28ல் காட்டியுள்ளவாறு கட்டமைக்க வேண்டும்.



படம் 1.28 புள்ளி மின்துகள்களின் தொகுப்புக்கு நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல்

(i) q_1 மின்துகளுக்கு அருகில் வேறு எந்த மின்துகள்களும் தொடக்கத்தில் இல்லாததால் முடிவிலாத் தொலைவிலிருந்து அதை புள்ளி A வரை கொண்டு வர எந்த வேலையும் செய்யத் தேவையில்லை.

(ii) q_2 மதிப்புடைய இரண்டாவது மின்துகளை புள்ளி B க்கு கொண்டு வர q_1 உருவாக்கிய மின்புலத்திற்கு எதிராக வேலை செய்யப்பட வேண்டும். q_2 ன் மீது செய்யப்படும் வேலை $W = q_2 V_{1B}$. இங்கு V_{1B} என்பது முதல் மின்துகள் q_1 ஆல் புள்ளி B ல் ஏற்படும் நிலை மின்னழுத்தம்

$$U_I = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1q_2}{r_{12}} \qquad (1.46)$$

q_2 வை முதலில் கொண்டு வந்து பின்னர் q_1 ஐக் கொண்டு வந்தாலும் இதே சமன்பாடே கிடைக்கும் என்பதைக் கவனிக்கவும்.

(iii) இதேபோல், மூன்றாவது மின்துகள் q_3 ஐ புள்ளி C க்கு கொண்டு வர q_2 மற்றும் q_3 மின்துகள்கள் சேர்ந்து உருவாக்கும் மொத்த மின்புலத்திற்கு எதிராக வேலை செய்யப்பட வேண்டும். எனவே, q_3 மின்துகளை நகர்த்திவரச் செய்யப்படும் வேலை $= q_3\left(V_{1C} + V_{2C}\right)$. இங்கு V_{1C} என்பது முதல் மின்துகள் q_1 ஆல் புள்ளி C ல் ஏற்படும் நிலை மின்னழுத்தம் மற்றும் V_{2C} என்பது இரண்டாவது மின்துகள் q_2 ஆல் புள்ளி C ல் ஏற்படும் நிலை மின்னழுத்தம் ஆகும்.

நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல்

$$U_{II} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{q_1q_3}{r_{13}} + \frac{q_2q_3}{r_{23}}\right) \qquad (1.47)$$

(iv) சமன்பாடுகள் (1.46) மற்றும் (1.47) ஐக் கூட்ட, q_1, q_2 மற்றும் q_3 இவற்றாலான மின்துகள் அமைப்பினால் உருவாக்கப்படும் மொத்த நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல், $U = U_I + U_{II}$

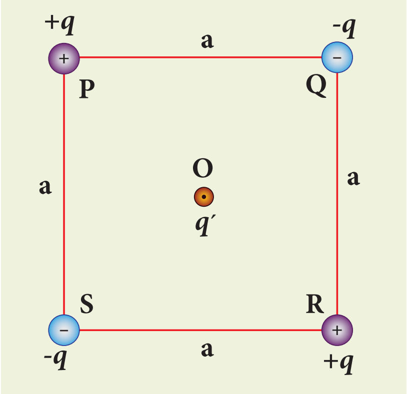
$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{q_1q_2}{r_{12}} + \frac{q_1q_3}{r_{13}} + \frac{q_2q_3}{r_{23}}\right) \qquad (1.48)$$

சேமிக்கப்படும் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல் U ஆனது அம்மூன்று மின்துகள்களையும் குறிப்பிடப்பட்ட புள்ளிகளில் நிலைநிறுத்தச் செய்யப்படும் வேலைக்குச் சமமாகும் என்பதைக் கவனிக்கவும். அம்மின்துகள்களை எந்த வரிசையில் எடுத்து வந்தாலும் இதே சமன்பாடே (1.48) கிடைத்திருக்கும்.

கூலும் விசை ஓர் ஆற்றல் மாற்றா விசையாதலால், மின்துகள்களின் நிலையமைப்பை கட்டமைக்கும்போது உருவாகும் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றலானது அவ்வமைப்பைக் கட்டமைக்கும் வழிமுறையைச் சார்ந்து இராது.

எடுத்துக்காட்டு 1.15

படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு பக்கம் a கொண்ட சதுரம் PQRS ன் மூலைகளில் நான்கு மின்துகள்கள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. (அ) இந்த நிலையமைப்பில் அம்மின்துகள்களை வைப்பதற்கு தேவைப்படும் வேலையைக் கணக்கிடு. (ஆ) இந்நான்கு மின்துகள்களும் அதே மூலைகளில் இருக்கும்போது, இன்னொரு மின்துகளை (q') சதுரத்தின் மையத்திற்குக் கொண்டு செல்ல எவ்வளவு அதிகப்படியான வேலை செய்யப்பட வேண்டும்?



தீர்வு

(அ) சதுரத்தின் மூலைகளில் மின் துகள்களை வைக்கத் தேவைப்படும் வேலையானது அவை

எந்த வரிசையில் வைக்கப்படுகின்றன என்பதைச் சார்ந்ததல்ல. எனவே, நாம் எந்த வரிசையையும் பயன்படுத்தலாம்.

(i) முதலில் $+q$ மின்னூட்டம் கொண்ட மின்துகளை ஒரு மூலைக்கு (P) கொண்டு வருவோம். பிற மின்துகள்கள் ஏதும் அங்கு இல்லாததால், இதற்கு தேவைப்படும் வேலை சுழி, $W_P = 0$

(ii) $-q$ மதிப்புடைய மின்துகளை மூலை Q க்கு கொண்டு வர செய்யப்படும் வேலை = $(-q) \times$ (புள்ளி P ல் வைக்கப்பட்டுள்ள $+q$ மதிப்புடைய மின்துகளினால் புள்ளி Q ல் ஏற்படும் மின்னழுத்தம்).

$$W_Q = -q \times \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{a} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q^2}{a}$$

(iii) $+q$ மதிப்புடைய மின்துகளை மூலை R க்கு கொண்டு வர செய்யப்படும் வேலை = $q \times$ (புள்ளி P மற்றும் Q வில் வைக்கப்பட்டுள்ள மின்துகள்களால் புள்ளி R ல் ஏற்படும் மின்னழுத்தம்).

$$W_R = q \times \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(-\frac{q}{a} + \frac{q}{\sqrt{2}a}\right)$$
$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q^2}{a}\left(-1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$$

(iv) நான்காவது மின்துகள் $-q$ ஐ மூலை S க்கு கொண்டு வர செய்யப்படும் வேலை = $-q \times$ (புள்ளிகள் P, Q மற்றும் R ல் வைக்கப்பட்டுள்ள மூன்று மின்துகள்களாலும் புள்ளி S ல் ஏற்படும் மின்னழுத்தம்)

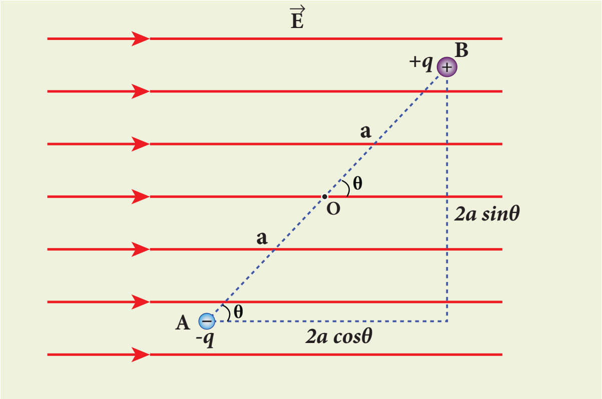
$$W_S = -q \times \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{q}{a} + \frac{q}{a} - \frac{q}{\sqrt{2}a}\right)$$
$$W_S = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q^2}{a}\left(2 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$$

(ஆ) சதுரத்தின் மையத்திற்கு q' மின்துகளைக் கொண்டு வர செய்யப்படும் வேலை = $q' \times$ (நான்கு மூலைகளில் உள்ள மின்துகள்களாலும் மையப்புள்ளி O வில் உருவாகும் மின்னழுத்தம்)

$+q$ மின்னூட்டம் பெற்ற இரு மின்துகள்களால் ஏற்படும் மின்னழுத்தமானது $-q$ மின்னூட்டம் பெற்ற மற்ற இரு மின்துகள்களால் ஏற்படும் மின்னழுத்தத்தால் சமன் செய்யப்படும். எனவே, அனைத்து மூலைகளிலும் உள்ள மின்துகள்களால் மையப்புள்ளி O யில் ஏற்படும் மொத்த மின்னழுத்தம் சுழியாகும். எனவே, எந்த மின்துகளையும் புள்ளி O விற்குக் கொண்டு வர செய்யப்படும் வேலை சுழி. அதாவது, ஏதேனும் ஒரு மின்துகளை (q') புள்ளி O க்கு அருகில் கொண்டு வந்த பின்னர், புற விசை ஏதுமின்றி, தானாகவே அது புள்ளி O க்கு நகரும் என்பதையே இது உணர்த்துகிறது.

1.5.7 சீரான மின்புலத்தில் உள்ள இருமுனையின் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல்

படம் 1.29 ல் கொடுத்துள்ளவாறு சீரான மின்புலம் $(\vec{E})$ ஒன்றில் வைக்கப்பட்டுள்ள மின் இருமுனையைக் கருதுவோம். சீரான மின்புலத்தில் வைக்கப்படும் இருமுனையின் மீது ஒரு திருப்புவிசை செயல்படும். இத்திருப்பு விசையானது மின்புலத்தின் திசையில் இருமுனையை ஒருங்கமைக்கின்றது.



படம் 1.29 சீரான மின்புலத்தில் உள்ள மின் இருமுனை

மின்புலத்தால் செலுத்தப்படும் இத்திருப்பு விசைக்கு எதிராக தொடக்கக் கோணம் θ' இலிருந்து இறுதி கோணம் θ வரை (மாறாத கோணத் திசைவேகத்துடன்) இருமுனையை சுழலச் செய்ய, மின்புலத்தால் கொடுக்கப்படும் திருப்புவிசைக்கு சமமானதும் எதிர்த்திசையில் உள்ளதுமான புறத்திருப்புவிசை ஒன்றை இருமுனையின் மீது செயல்படுத்த வேண்டும்.

θ' கோணத்திலிருந்து θ கோணம் வரை (மாறாத கோணத் திசைவேகத்துடன்) இருமுனையை சுழலச் செய்ய புறத்திருப்பு விசையால் செய்யப்படும் வேலை

$$W = \int_{\theta'}^{\theta} \tau_{ext}\, d\theta \qquad (1.49)$$

$\vec{\tau}_E = \vec{p} \times \vec{E}$ க்கு சமமாகவும் எதிர்த்திசையிலும் $\vec{\tau}_{ext}$ உள்ளதால்,

$$|\vec{\tau}_{ext}| = |\vec{\tau}_E| = |\vec{p} \times \vec{E}| \qquad (1.50)$$

சமன்பாடு (1.49) ஐ சமன்பாடு (1.50) ல் பிரதியிட

$$W = \int_{\theta'}^{\theta} pE \sin\theta \, d\theta$$

$$W = pE(\cos\theta' - \cos\theta)$$

இந்த வேலையானது கோண நிலைகள் θ மற்றும் θ' க்கு இடையேயுள்ள மின்னழுத்த ஆற்றல் வேறுபாட்டுக்குச் சமமாகும்.

$$U(\theta) - U(\theta') = \Delta U = -pE\cos\theta + pE\cos\theta'$$

தொடக்கக் கோணம் $\theta' = 90^\circ$ என்றும் இதையே சுட்டுப்புள்ளியாகவும் (reference point) எடுத்துக்கொண்டால் $U(\theta') = pE\cos 90^\circ = 0$.

எனவே சீரான மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள இருமுனை அமைப்பு ஒன்றில் சேமிக்கப்படும் மின்னழுத்த ஆற்றல்

$$U = -pE\cos\theta = -\vec{p}\cdot\vec{E} \qquad (1.51)$$

p மற்றும் E ஐத் தவிர மின்னழுத்த ஆற்றலானது புற மின்புலத்தைப் பொறுத்த மின் இருமுனையின் திசையமைப்பையும் சார்ந்திருக்கும். புற மின்புலத்துக்கு எதிரிணையாக $(\theta = \pi)$ இருமுனைத் திருப்புத்திறன் அமையும்போது மின்னழுத்த ஆற்றல் பெருமமாகவும் புறமின்புலத்துக்கு இணையாக $(\theta = 0^\circ)$ இருமுனைத் திருப்புத்திறன் அமையும்போது மின்னழுத்த ஆற்றல் சிறுமமாகவும் இருக்கும்.

எடுத்துக்காட்டு 1.16

நீர் மூலக்கூறு ஒன்றின் மின் இருமுனைத் திருப்புத்திறன் 6.3×10^{-30} Cm. 10^{22} நீர் மூலக்கூறுகளைக் கொண்ட மாதிரி (sample) ஒன்றிலுள்ள அனைத்து இருமுனைத் திருப்புத்திறன்களும் எண்மதிப்பு 3×10^5 NC^{-1} கொண்ட புறமின்புலத்துடன் ஒருங்கமைந்துள்ளன. அனைத்து நீர் மூலக்கூறுகளையும் $\theta = 0^\circ$ விருந்து 90° க்கு சுழலச் செய்ய தேவைப்படும் வேலை எவ்வளவு?

தீர்வு

அனைத்து நீர் மூலக்கூறுகளும் மின்புலத்தின் திசையில் அமைந்துள்ளதால், அவை சிறும மின்னழுத்த ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும். $\theta = 0^\circ$ விருந்து 90° வரை இருமுனையை சுழற்ற செய்யப்படும் வேலையானது இவ்விரு நிலையமைப்புகளுக்கு இடையேயான மின்னழுத்த ஆற்றல் வேறுபாட்டுக்குச் சமமாகும்.

$$W = \Delta U = U(90^\circ) - U(0^\circ)$$

சமன்பாடு (1.51) இலிருந்து, $U = -pE\cos\theta$ என எழுதலாம். பிறகு ஒரு நீர் மூலக்கூறை $\theta = 0^\circ$ முதல் 90° வரை சுழற்ற செய்யப்படும் வேலையைக் கணக்கிடலாம்.

$$W = -pE\cos 90^\circ + pE\cos 0^\circ = pE$$

ஒரு நீர் மூலக்கூறுக்கு

$$W = 6.3\times10^{-30}\times3\times10^{5} = 18.9\times10^{-25}\,\mathrm{J}$$

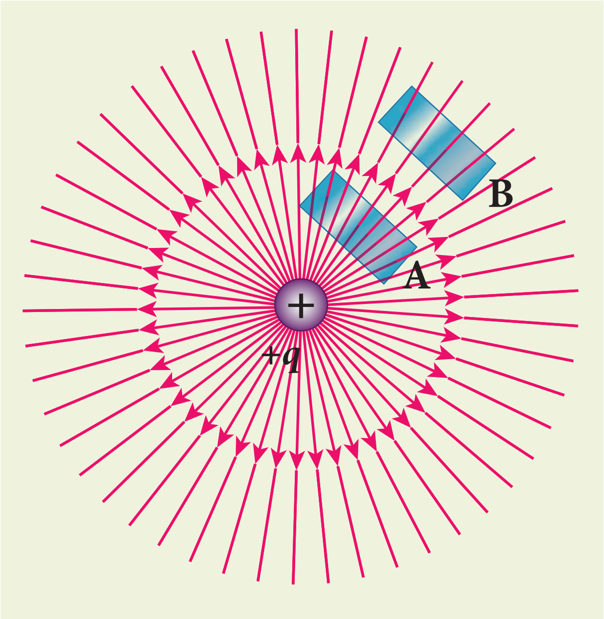
10^{22} நீர் மூலக்கூறுகளுக்கு, செய்யப்படும் மொத்த வேலை

$$W_{tot} = 18.9\times10^{-25}\times10^{22} = 18.9\times10^{-3}\,\mathrm{J}$$

1.6 காஸ் விதியும் அதன் பயன்பாடுகளும்

1.6.1 மின்பாயம் (Electric Flux)

மின்புலக் கோடுகளுக்குக் குறுக்கே அமைந்த குறிப்பிட்ட பரப்பு ஒன்றின் வழியே பாயும் மின்புலக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை மின்பாயம் எனப்படும். இதை Φ_E என்ற கிரேக்க எழுத்தினால் குறிப்போம். மேலும் இதன் அலகு N m^2 C^{-1}. மின்பாயம் ஒரு ஸ்கேலர் அளவு ஆகும். மேலும் இது நேர்க்குறி அல்லது எதிர்க்குறி மதிப்பைப் பெற்று இருக்கும். மின்பாயம் என்றால் என்ன என்பதை எளிதில் புரிந்து கொள்ள படம் (1.30) பயன்படும்.



படம் 1.30 மின்பாயம்

இப்படத்தில் புள்ளி மின்துகள் ஒன்றின் மின்புலம் காட்டப்பட்டுள்ளது. A மற்றும் B ஆகிய பகுதிகளில் புலத்திற்கு செங்குத்தாக அமைந்துள்ள இரு சிறிய செவ்வக – வடிவப் பரப்புகளைக் கருதுவோம். இவ்விரு பரப்புகளும் ஒரே பரப்பளவைக் கொண்டிருந்தாலும் பகுதி A வில் உள்ள செவ்வகத்தைக் கடக்கும் மின்புலக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை பகுதி B இல் உள்ள செவ்வகத்தைக் கடக்கும் மின்புலக் கோடுகளை விட அதிகமாக உள்ளது. தொலைவு அதிகரிக்கும் போது புள்ளி மின்துகள் ஒன்றின் மின்புல வலிமை குறைவதைப்போல் தொலைவு அதிகரிக்கும்போது அதன் மின்பாயமும் குறைகின்றது. இதுவரை நாம் பார்த்த கருத்துகள் மின்பாயத்தைப் பற்றிய ஒரு பண்புசார் கருத்தை (qualitative idea) உருவாக்க உதவும். எனினும், மின்பாயத்தின் துல்லியமான வரையறை தேவைப்படுகிறது.

சீரான மின்புலத்தின் மின்பாயம்

புறவெளியில் ஒரு பகுதியில் நிலவும் சீரான மின்புலத்தைக் கருதுவோம். படம் 1.31 (அ) வில் கொடுத்துள்ளபடி மின்புலக் கோடுகளுக்குக் செங்குத்தாக உள்ள பரப்பு A வை எடுத்துக் கொள்வோம். இந்த நேர்வுக்கு மின்பாயம்

$$\Phi_E = EA \qquad (1.52)$$

சீரான இம்மின்புலத்திற்கு இணையாக பரப்பு A வை வைத்தால், அப்பரப்பின் உள்ளே பாயும் மின்புலக் கோடுகள் சுழியாகும் [படம் 1.31 (ஆ)]. இந்த நேர்வில் மின்பாயம்

$$\Phi_E = 0 \qquad (1.53)$$

பரப்புடன் θ கோணத்தை மின்புலம் உருவாக்கும்போது பரப்பிற்கு செங்குத்தான திசையில் உள்ள மின்புலக்கூறு மட்டுமே மின்பாயத்தை அளிக்கிறது. பரப்பிற்கு இணையாகவுள்ள மின்புலக்கூறு மின்பாயத்தை அளிப்பதில்லை. [படம் 1.31 (இ)]. இந்த நேர்வில் மின்பாயம்

$$\Phi_E = (E\cos\theta)\, A \qquad (1.54)$$

இங்கு மின்புலத்தின் திசைக்கும் பரப்பிற்கு வரையப்படும் செங்குத்துக் கோட்டின் திசைக்கும் இடையேயுள்ள கோணமே θ. எனவே, பொதுவான வரையறையாக, சீரான மின்புலத்தின் மின்பாயம் பின்வருமாறு வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$\Phi_E = \vec{E}\cdot\vec{A} = EA\cos\theta \qquad (1.55)$$

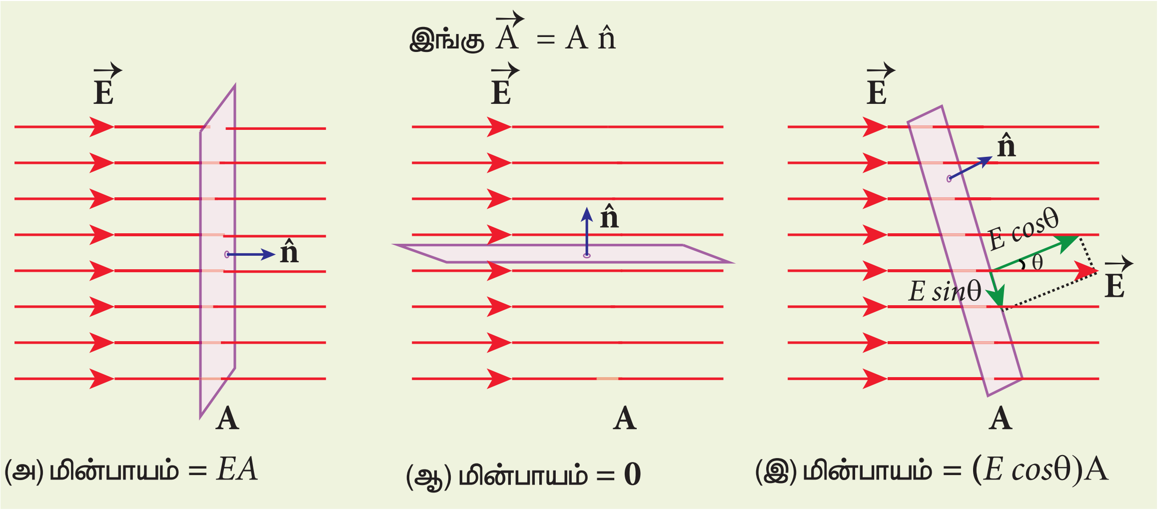
இங்கு $\vec{A} = A\hat{n}$ என்பதைக் கவனிக்கவும். இதன் எண்மதிப்பு A மற்றும் இதன் பரப்பிற்கு செங்குத்து திசையிலுள்ள ஓரலகு வெக்டர் $\hat{n}$ [படம் 1.31]. இந்த வரையறையின் படி, $\Phi_E = \vec{E}\cdot\vec{A}$. மேலும் (1.53) மற்றும் (1.54) ஆகிய சமன்பாடுகளை இதன் சிறப்பு நேர்வுகளாக பெற முடியும்.

படம் 1.31 (அ) வில், θ = 0°. எனவே,

$$\Phi_E = \vec{E}\cdot\vec{A} = EA$$

படம் 1.31 (ஆ) வில், θ = 90°. எனவே,

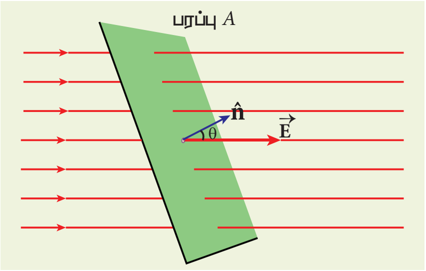
$$\Phi_E = \vec{E}\cdot\vec{A} = 0$$



படம் 1.31 சீரான மின்புலத்திற்கு மின்பாயம்

எடுத்துக்காட்டு 1.17

100 N C^{-1} மதிப்புடைய சீரான மின்புலம் நிலவும் பகுதியில் வைக்கப்பட்டுள்ள 5 cm மற்றும் 10 cm பக்கங்கள் கொண்ட செவ்வகத்தைக் கடக்கும் மின்பாயத்தைக் கணக்கிடுக. கொடுக்கப்பட்ட கோணம் θ = 60°. ஒருவேளை θ சுழி எனில், மின்பாயம் என்ன?



தீர்வு

மின்பாயம்

$$\Phi_E = \vec{E}\cdot\vec{A} = EA\cos\theta$$
$$= 100\times5\times10\times10^{-4}\times\cos60^\circ$$
$$\Phi_E = 0.25\,\text{Nm}^2\text{C}^{-1}$$

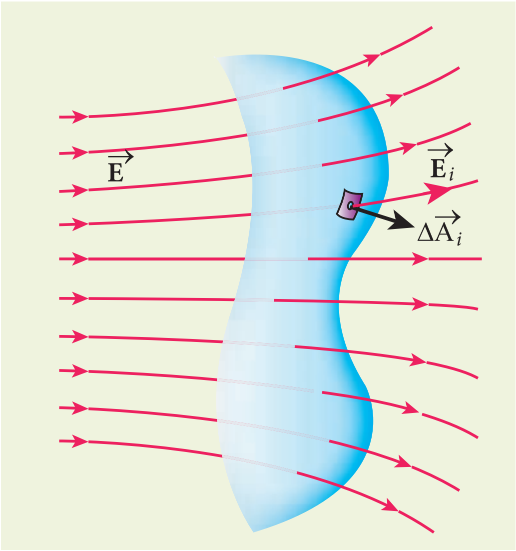
$\theta = 0^\circ$ எனில்

$$\Phi_E = \vec{E}\cdot\vec{A} = EA$$
$$= 100\times5\times10\times10^{-4}$$
$$= 0.5\,\text{Nm}^2\text{C}^{-1}$$

சீரற்ற மின்புலம் மற்றும் ஏதேனும் ஒரு வடிவமுள்ள பரப்பிற்கு மின்பாயம்

சீரற்ற மின்புலம் மற்றும் தட்டையாக இல்லாத வளை பரப்பு A ஆகியவற்றைக் கருதுவோம். [படம் 1.32]. இதன் மொத்த பரப்பளவையும் $\Delta\vec{A}_1, \Delta\vec{A}_2, \Delta\vec{A}_3 ....\Delta\vec{A}_n$ ஆகிய n மிகச்சிறிய பரப்புக் கூறுகளாகப் பிரித்தோம் என்றால் ஒவ்வொரு பரப்புக் கூறையும் கிட்டத்தட்ட தட்டையாக உள்ளதாகவும் ஒவ்வொரு பரப்புக் கூறின் வழியாகக் கடக்கும் மின்புலமும் சீராக உள்ளதாகவும் கருதலாம்.

மொத்த பரப்பளவு A க்குமான மின்பாயத்தைத் தோராயமாக எழுதினால்



படம் 1.32 சீரற்ற மின்புலத்திற்கு மின்பாயம்

$$\Phi_E = \vec{E}_1 \cdot \Delta\vec{A}_1 + \vec{E}_2 \cdot \Delta\vec{A}_2 + \vec{E}_3 \cdot \Delta\vec{A}_3 ....\vec{E}_n \cdot \Delta\vec{A}_n$$
$$= \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i \cdot \Delta\vec{A}_i \qquad (1.56)$$

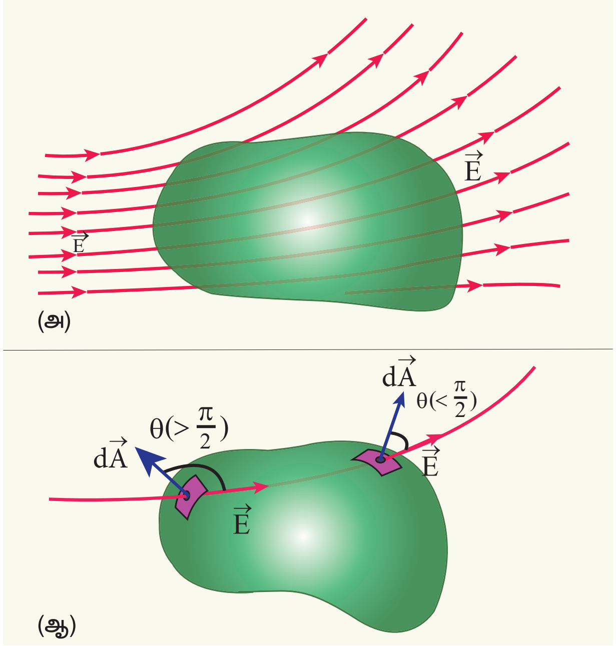
(அனைத்து i மதிப்புகளுக்கும்) $\Delta\vec{A}_i \to 0$ என்ற எல்லையை வைத்தோம் என்றால் சமன்பாடு (1.56) இல் உள்ள கூட்டுத்தொகையானது தொகையிடலாக மாறும். இப்போது, முழு பரப்பிற்குமான மொத்த மின்பாயம்

$$\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A} \qquad (1.57)$$

சமன்பாடு (1.57) லிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட பரப்பிற்கான மின்பாயமானது அதன் புறப்பரப்பின் வழியே செல்லும் மின்புலத்தையும் மின்புலத்தைப் பொருத்து பரப்பின் திசையமைப்பையும் சார்ந்திருக்கும் என்பது தெளிவாகிறது.

1.6.2 மூடிய பரப்புகளுக்கு மின்பாயம்

சென்ற பிரிவில், ஏதேனும் ஒரு வடிவமுள்ள வளைபரப்பிற்குரிய மின்பாயத்தைப் பற்றி அறிந்தோம். படம் 1.33 (அ) ல் கொடுத்துள்ளவாறு சீரற்ற மின்புலம் உள்ள பகுதியில் ஒரு மூடிய பரப்பு உள்ளதாகக் கருதுவோம். இம்மூடிய பரப்பிற்கான மின்பாயம்



படம் 1.33 மூடப்பட்ட பரப்பிற்கு மின்பாயம்

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} \qquad (1.58)$$

சமன்பாடு (1.57) மற்றும் சமன்பாடு (1.58) இடையிலான வேறுபாட்டைக் கவனிக்கவும். சமன்பாடு (1.58) ல் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள தொகையிடலானது ஒரு மூடப்பட்ட அல்லது மூடிய பரப்புத் தொகையிடலாகும்; மேலும் அதிலுள்ள ஒவ்வொரு பரப்புக் கூறுக்கும் வரையப்படும் வெளிநோக்கிய செங்குத்துக் கோடே $d\vec{A}$ ன் திசையாகும் [படம் 1.33 (ஆ)].

ஒரு மூடிய பரப்பின் மொத்த மின்பாயமானது நேர்க்குறி, எதிர்க்குறி அல்லது சுழி மதிப்பைப் பெற்றிருக்கும்.

படம் 1.33 (ஆ) –ல் ஒரு பரப்புக்கூறு $d\vec{A}$ மின்புலம் $\vec{E}$ யுடன் உருவாக்கும் கோணம் 90° ஐ விடக் குறைவாக உள்ளதால் அதன் மின்பாயம் நேர்க்குறி மதிப்பு உடையதாகவும் இன்னொரு பரப்புக்கூறு $d\vec{A}$ மின்புலத்துடன் உருவாக்கும் கோணம் 90° ஐ விட அதிகமாக உள்ளதால் அதன் மின்பாயம் எதிர்க்குறி மதிப்புடையதாகவும் உள்ளன.

பொதுவாக, மூடிய பரப்பினுள் மின்புலக்கோடுகள் நுழைந்தால் மின்பாயம் எதிர்க்குறி எனவும் மூடிய பரப்பை விட்டு அவை வெளியேறினால் மின்பாயம் நேர்க்குறி எனவும் கொள்ளலாம்.

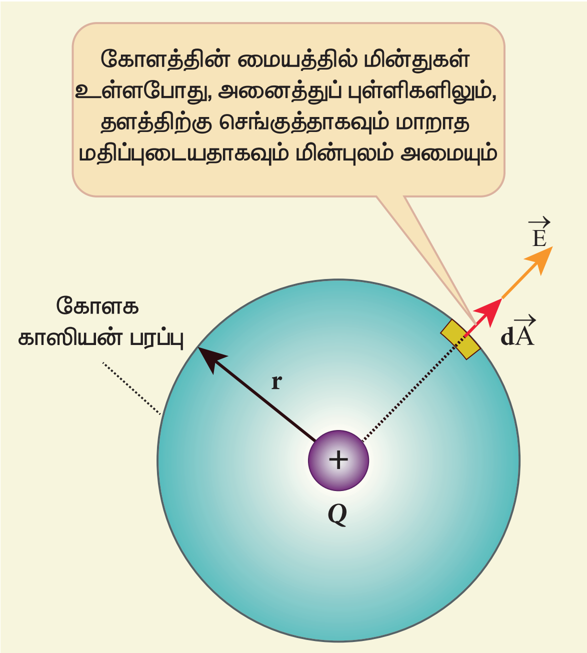
1.6.3 காஸ் விதி (Gauss law)

படம் (1.34) இல், Q மின்னூட்ட மதிப்புடையவொரு புள்ளி மின்துகளைச் சுற்றி r ஆரம் கொண்ட கற்பனைக் கோளம் (imaginary sphere) ஒன்று காட்டப்பட்டுள்ளது. அதன் மூடிய பரப்பின் வழியே வெளிநோக்கிய திசையில் கடக்கும் மொத்த மின்பாயத்தினை சமன்பாடு (1.58) மூலம் நாம் கணக்கிடலாம்.

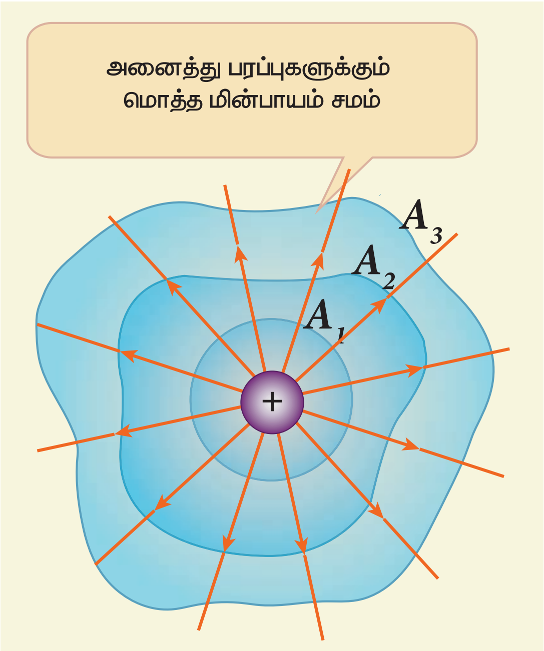
$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \oint E\, dA \cos\theta$$

இப்புள்ளி நேர் மின்துகளின் மின்புலமானது கோளப் பரப்பின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் ஆர வழியே வெளிநோக்கிய திசையில் அமைகின்றது. எனவே, பரப்புக்கூறு $d\vec{A}$ ஆனது மின்புலத்தின் திசையிலேயே உள்ளதால் $\theta = 0^\circ$.

$$\Phi_E = \oint E\, dA \text{ ஏனெனில் } \cos 0^0 = 1 \qquad (1.59)$$



படம் 1.34 புள்ளி மின்துகளால் ஏற்படும் மொத்த மின்பாயம்



படம் 1.35 முறையான வடிவமற்ற பரப்புக்கு காஸ்விதி

கோளத்தின் பரப்பில் E சீராக உள்ளதால்

$$\Phi_E = E\oint dA \qquad (1.60)$$

$\oint dA = 4\pi r^2$ மற்றும் $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^2}$. சமன்பாடு (1.60) ல் பிரதியிட,

$$\Phi_E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^2}\times 4\pi r^2 = 4\pi\frac{1}{4\pi\epsilon_0}Q$$

$$\Phi_E = \frac{Q}{\epsilon_0} \qquad (1.61)$$

சமன்பாடு (1.61) காஸ் விதி எனப்படும்.

இந்த முடிவின் குறிப்பிடத்தக்க பண்பு என்னவென்றால் மின்துகளை மூடியுள்ள பரப்பு எத்தகைய வடிவம் கொண்டிருந்தாலும் அதற்கு சமன்பாடு (1.61) பொருந்தும். [படம் 1.35]. இப்படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள A_1, A_2 மற்றும் A_3 ஆகிய மூன்று மூடிய பரப்புகளுக்கும் மொத்த மின்பாயம் ஒன்றே என்பதை கவனிக்கவும்.

ஏதேனும் ஒரு வடிவமுள்ள (arbitrary) மூடிய பரப்பினால் Q மின்னூட்டம் கொண்ட ஒரு மின்துகள் சூழப்பட்டிருப்பின் அம்மூடியப்பரப்பிற்கான மொத்த மின்பாயமானது

$$\Phi_E = \oint \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{உள்}}}{\epsilon_0} \qquad (1.62)$$

இதுவே காஸ் விதியின் கூற்று. இங்கு $Q_{\text{உள்}}$ என்பது மூடிய பரப்பிற்கு உள்ளே அமைந்துள்ள மின்துகள்களின் மொத்த மின்னூட்டமாகும்.

காஸ் விதி – ஒரு கலந்தாய்வு

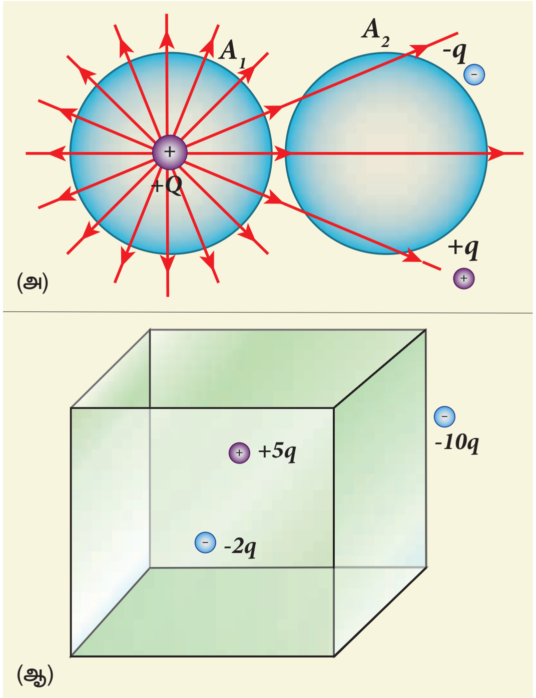
(i) சூழ்ந்துள்ள பரப்பினைக் கடக்கும் மொத்த மின்பாயமானது அப்பரப்பினால் சூழப்பட்டுள்ள மின்துகள்களை மட்டுமே சார்ந்திருக்கும். மாறாக, அப்பரப்புக்கு வெளியே அமைந்துள்ள மின்துகள்கள் மின்பாயத்தைக் கொடுக்காது. மேலும், மின்துகள்களை சூழும் பரப்பை எந்தவொரு வடிவத்திலும் (arbitrary) நாம் தெரிவு செய்து கொள்ளலாம்.

(ii) மொத்த மின்பாய மதிப்பானது சூழும் பரப்பிற்குள்ளே அமைந்துள்ள மின்துகள்களின் அமைவிடத்தை (location) சார்ந்திருக்காது.

(iii) சமன்பாடு (1.62) ஐப் பெறுவதற்கு நாம் கோளகப் பரப்பைப் பயன்படுத்தி உள்ளோம். இந்த கற்பனைப் பரப்பினையே காஸியன் பரப்பு (Gaussian surface) என்பர். மின்துகள் நிலையமைப்பின் வகை (type of charge configuration) மற்றும் மின்துகள் நிலையமைப்பின் சமச்சீர் தன்மை (symmetry in configuration) ஆகியவை சார்ந்தே நாம் தெரிவு செய்யும் காஸியன் பரப்பின் வடிவம் இருக்க வேண்டும். ஒரு புள்ளி மின்துகளின் மின்புலமானது கோளகச் சமச்சீர் தன்மை கொண்டுள்ளதால் கோளக வடிவக் காஸியன் பரப்பைத் தெரிவு செய்தோம். பிற வகைப்பட்ட மின்துகள் நிலையமைப்புகளுக்கு உருளை வடிவ மற்றும் சமதள வடிவ காஸியன் பரப்புகளைத் தேர்ந்தெடுக்கலாம்.

(iv) சமன்பாடு (1.62) இன் இடதுகை பக்கத்தில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள மின்புலம் $\vec{E}$ ஆனது காஸியன் பரப்பிற்கு உள்ளேயும் வெளியேயும் அமைந்துள்ள மின்துகள்களால் உருவாகும் மின்புலத்தைக் குறிப்பதாக இருந்தாலும் காஸியன் பரப்பிற்கு உள்ளே அமைந்துள்ள மின்துகள்களின் மொத்த மின்னூட்ட மதிப்பை மட்டுமே $Q_{உள்}$ குறிக்கின்றது.

எடுத்துக்காட்டு 1.18



(i) படம் (அ) வில் மூடிய பரப்புகள் A_1 மற்றும் A_2 ஐக் கடக்கும் மின்பாயத்தினைக் கணக்கிடுக.

(ii) படம் (ஆ) வில் கன சதுரத்தைக் கடக்கும் மின்பாயத்தைக் கணக்கிடுக

தீர்வு

(i) படம் (அ) வில் பரப்பு A_1, Q மதிப்புடைய மின்துகளைச் சூழ்ந்துள்ளது. இம் மூடிய பரப்பின் வழியே செல்லும் மின்பாயம் $\phi_E = \frac{Q}{\epsilon_0}$. ஆனால் பரப்பு A_2 வைக் கடக்கும் மின்பாயம் சுழியாகும்.

(ii) படம் (ஆ) வில் கனசதுரத்தினுள் இருக்கும் மின்துகள்களின் நிகர மின்னூட்டம் $3q$. எனவே அதைக் கடக்கும் மொத்த மின்பாயம் $\phi_E = \frac{3q}{\epsilon_0}$.

$-10q$ மதிப்புடைய மின்துகளானது கன சதுரத்திற்கு வெளியே உள்ளதால் மொத்த மின் பாய மதிப்பில் அதன் பங்களிப்பு ஏதுமில்லை.

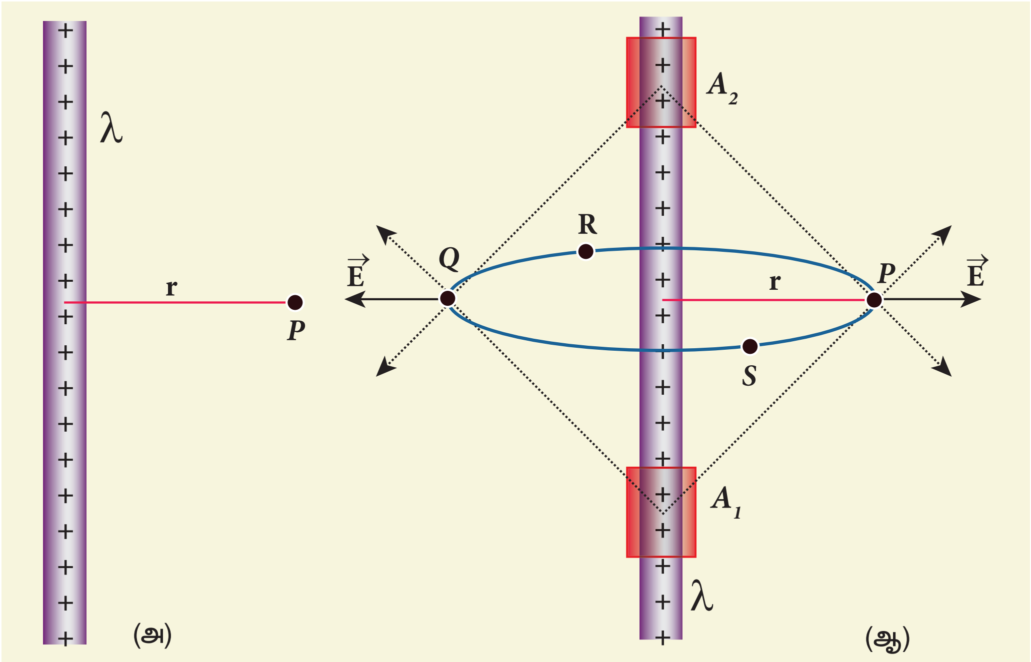
1.6.4 காஸ் விதியின் பயன்பாடுகள்

ஏதேனும் ஒரு வடிவமுள்ள மின்துகள் தொகுதிகளுக்கு மின்புலத்தைக் கணக்கிட கூலூம் விதி அல்லது காஸ் விதியைப் பயன்படுத்தலாம். மின்துகள் அமைப்பு ஏதேனுமொரு சமச்சீர் தன்மையைப் பெற்றிருந்தால் மின்புலத்தைக் கணக்கிட காஸ் விதியே மிகச்சிறந்த வழியாகும். பின்வரும் நேர்வுகளில் இதைக் காணலாம்.

(i) மின்னூட்டம் பெற்ற முடிவிலா நீளம் உடைய கம்பியினால் ஏற்படும் மின்புலம்

λ எனும் சீரான மின்னூட்ட நீள் அடர்த்தி (ஓரலகு நீளத்திற்கான மின்னூட்ட மதிப்பு) கொண்ட முடிவிலா நீளமுடைய கம்பியைக் கருதுவோம். கம்பியிலிருந்து r செங்குத்துத் தொலைவில் புள்ளி P உள்ளது. [படம் 1.36 (அ)]. காஸ் விதியைப் பயன்படுத்தி P இல் உருவாகும் மின்புலத்தைக் கணக்கிடலாம்.

புள்ளி P இலிருந்து சம தொலைவில், கம்பியில் அமைந்துள்ள இரு சிறிய மின்துகள் கூறுகளை எடுத்துக்கொள்வோம் (படம் 1.36 (ஆ)). இவ்விரு மின்துகள் கூறுகளினால் உருவாகும் தொகுபயன் மின்புலமானது மின்னூட்டம் பெற்ற கம்பியிலிருந்து ஆர வழியே வெளிநோக்கிய திசையில் அமைகின்றது. மேலும், r ஆரமுடைய வட்டத்தின் அனைத்துப் புள்ளிகளிலும் அதன் எண்மதிப்பு சமமாக இருக்கும். இது படம் 1.36 (ஆ) வில் காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்தப் பண்பின்



படம் 1.36 மின்னூட்டம் பெற்ற முடிவிலா நீளம் உடைய கம்பியினால் ஏற்படும் மின்புலம்

அடிப்படையில் மின்னூட்டம் பெற்ற கம்பி உருளை வடிவ சமச்சீர் தன்மை உடையது எனலாம். எனவே r ஆரமும் L நீளமும் கொண்ட உருளை வடிவ காஸியன் பரப்பைக் கருதுவோம். [படம் 1.37]

இப்பரப்பிற்கான மொத்த மின்பாயத்தை பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்.

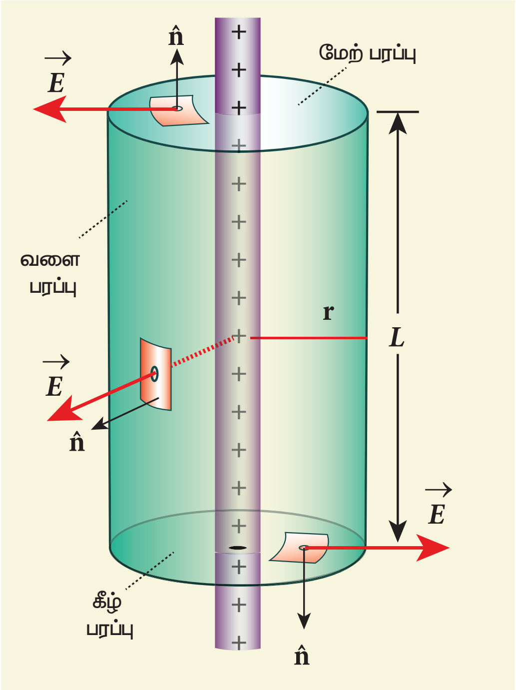
$$\Phi_E = \oint \vec{E}\cdot d\vec{A}$$
$$= \int_{\text{வளை பரப்பு}} \vec{E}\cdot d\vec{A} + \int_{\text{மேற் பரப்பு}} \vec{E}\cdot d\vec{A} + \int_{\text{அடிப் பரப்பு}} \vec{E}\cdot d\vec{A} \quad (1.63)$$

வளைப்பரப்பில் $\vec{E}$ ஆனது $\vec{A}$ க்கு இணையாக உள்ளதால் (பார்க்க படம் 1.37), $\vec{E}\cdot d\vec{A} = E\,dA$.

மேல் மற்றும் அடிப்பரப்புகளுக்கு $\vec{E}$ ஆனது $\vec{A}$ விற்கு செங்குத்தாக உள்ளதால், $\vec{E}\cdot d\vec{A} = 0$

இம்மதிப்புகளை சமன்பாடு (1.63) ல் பிரதியிட்டு காஸ் விதியை உருளை வடிவ பரப்பிற்குப் பயன்படுத்தினால்

$$\Phi_E = \int_{\text{வளை பரப்பு}} E\,dA = \frac{Q_{\text{உள்}}}{\epsilon_0} \quad (1.64)$$



படம் 1.37 உருளை வடிவ காஸியன் பரப்பு

மொத்த வளை பரப்பைப் பொருத்தவரை மின்புலத்தின் எண் மதிப்பு மாறிலியாக உள்ளதால், E ஆனது தொகையிடல் குறியீட்டுக்கு வெளியே எடுக்கப்படுகிறது. மேலும் $Q_{\text{உள்}} = \lambda L$ எனப் பிரதியிட,

$$E \int_{\text{வளை பரப்பு}} dA = \frac{\lambda L}{\epsilon_0} \quad (1.65)$$

இங்கு $\int\limits_{\substack{\text{வளை}\\\text{பரப்பு}}} dA =$ வளைபரப்பின் மொத்த பரப்பு $= 2\pi rL$.

இதை சமன்பாடு (1.65) ல் பிரதியிட,

$$E \cdot 2\pi rL = \frac{\lambda L}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0}\frac{\lambda}{r} \qquad (1.66)$$

வெக்டர் வடிவில்,

$$\vec{E} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0}\frac{\lambda}{r}\hat{r} \qquad (1.67)$$

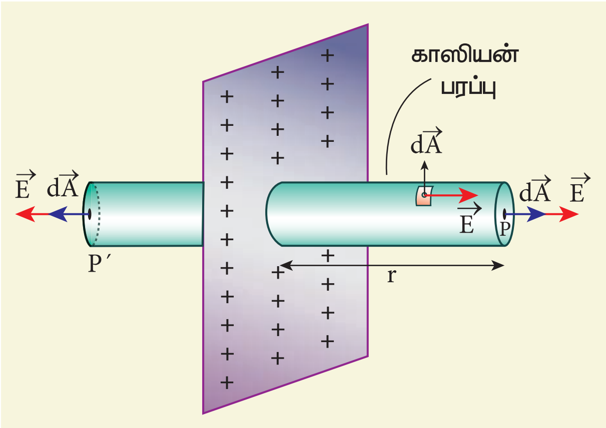
புள்ளி மின்துகள் ஒன்றின் மின்புலம் $\frac{1}{r^2}$ என்றவாறு இருப்பதை அறிவோம். மாறாக மின்னூட்டம் பெற்ற முடிவிலா நீளமுடைய கம்பியின் மின்புலம் $\frac{1}{r}$ என்றவாறு அமைந்துள்ளது.

கம்பிக்கு செங்குத்தான திசையிலேயே ($\hat{r}$) மின்புலம் எப்போதும் அமைந்துள்ளது என்பதை சமன்பாடு (1.67) மூலம் அறிய முடிகிறது. மேலும் $\lambda > 0$ எனில், கம்பிக்கு செங்குத்தாக வெளிநோக்கிய திசையில் $\vec{E}$ இருக்கும்; $\lambda < 0$ எனில், உள்நோக்கிய திசையில் $(-\hat{r})$ செங்குத்தாக $\vec{E}$ இருக்கும்.

முடிவிலா நீளமுள்ள மின்னூட்டம் பெற்ற கம்பிக்கு மட்டுமே சமன்பாடு (1.67) பொருந்தும். வரம்பிற்குட்பட்ட நீளமுள்ள மின்னூட்டம் பெற்ற கம்பியைப் பொருத்தவரை மின்புலமானது அனைத்து புள்ளிகளிலும் ஆரத்திசையில் அமைவதில்லை. இருப்பினும், அத்தகைய கம்பியின் மையப்புள்ளிக்கு அருகிலும் கம்பியின் முனைகளிலிருந்து வெகு தொலைவிலுமுள்ள புள்ளிகளுக்கும் சமன்பாடு (1.67) ஐப் பயன்படுத்தலாம்.

(ii) மின்னூட்டம் பெற்ற முடிவிலா சமதளத் தட்டினால் உருவாகும் மின்புலம்

σ எனும் சீரான மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி (ஓரலகு பரப்பிற்கான மின்னூட்ட மதிப்பு) கொண்ட முடிவிலா சமதளத்தட்டு ஒன்றைக் கருதுவோம். அத்தட்டிலிருந்து r தொலைவில் P என்ற புள்ளி உள்ளது [படம் 1.38].



படம் 1.38 மின்னூட்டம் பெற்ற முடிவிலா சமதளத் தட்டினால் உருவாகும் மின்புலம்

சமதளத்தின் அளவு முடிவிலாதது என்பதால், அதிலிருந்து சம தொலைவில் உள்ள அனைத்து புள்ளிகளிலும் மின்புலத்தின் மதிப்பு சமமாக இருக்கும். அனைத்து புள்ளிகளிலும் மின்புலத்தின் திசை ஆர வழியே அமைந்திருக்கும். 2r நீளமும் A குறுக்குவெட்டுப் பரப்பு கொண்ட உருளை வடிவ காஸியன் பரப்பைக் கருதுவோம்; அதன் நடுப்பகுதி வழியாக முடிவிலா சமதளத்தட்டு கடப்பதாகக் கொள்வோம். இவ்வுருளை வடிவ பரப்புக்கு காஸ் விதியைப் பயன்படுத்தினால்

$$\Phi_E = \oint \vec{E}\cdot d\vec{A}$$

$$= \int\limits_{\substack{\text{வளை}\\\text{பரப்பு}}} \vec{E}\cdot d\vec{A} + \int\limits_{P} \vec{E}\cdot d\vec{A} + \int\limits_{P'} \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{உள்}}}{\epsilon_0} \qquad (1.68)$$

வளைபரப்பின் மேலுள்ள அனைத்து புள்ளிகளிலும் மின்புலமானது பரப்பளவுக் கூறுகளுக்கு செங்குத்தாகவும் P மற்றும் P' பரப்புகளில் அது இணையாகவும் இருக்கிறது [படம் 1.38]. எனவே

$$\Phi_E = \int\limits_{P} E\,dA + \int\limits_{P'} E\,dA = \frac{Q_{\text{உள்}}}{\epsilon_0} \qquad (1.69)$$

இவ்விரு பரப்புகளுக்கும் மின்புலத்தின் எண் மதிப்பு சீராக உள்ளதால் தொகையிடல் குறியீட்டுக்கு வெளியே E எடுக்கப்படுகிறது. மேலும் $Q_{\text{உள்}} = \sigma A$. எனவே

$$2E\int_P dA = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$

P அல்லது P' பரப்பின் மொத்த பரப்பளவு

$$\int_P dA = A$$

$$2EA = \frac{\sigma A}{\epsilon_0} \quad \text{அல்லது} \quad E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \qquad (1.70)$$

வெக்டர் வடிவில், $$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}\hat{n} \qquad (1.71)$$

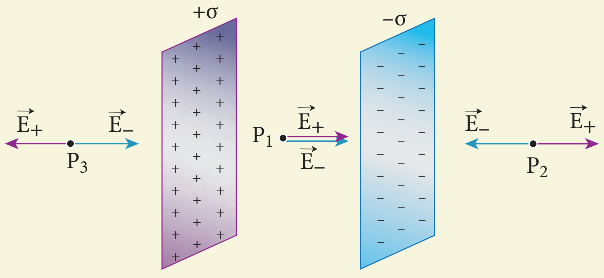
இங்கு $\hat{n}$ என்பது சமதளத்திற்கு செங்குத்தாக, வெளிநோக்கிய திசையிலுள்ள ஓரலகு வெக்டராகும். மின்னூட்டம் பெற்ற முடிவிலா சமதளத்தட்டினால் உருவாகும் மின்புலமானது மின்னூட்ட பரப்படர்த்தியைச் சார்ந்தும் அதேசமயம் தொலைவைச் சாராமலும் இருக்கின்றது.

மின்னூட்டம் பெற்றத் தட்டிலிருந்து கணிசமான தொலைவிலுள்ள எந்தவொரு புள்ளியிலும் மின்புலம் சமமாக இருக்கும். $\sigma > 0$ எனில் எந்தவொரு புள்ளியிலும் (P) மின்புலமானது (தட்டின்) தளத்திற்கு செங்குத்தாக, வெளிநோக்கிய திசையிலும் ($\hat{n}$), $\sigma < 0$ எனில் மின்புலமானது தளத்திற்கு செங்குத்தாக உள்நோக்கிய திசையிலும் $(-\hat{n})$ இருக்கும் என்பதை சமன்பாடு (1.71) மூலம் அறியலாம்.

வரம்பிற்குட்பட்ட பரப்பளவைக் கொண்ட மின்னூட்டம் பெற்ற சமதளத் தட்டைப் பொருத்தவரை தட்டின் நடுப்பகுதியில் சமன்பாடு (1.71) ஓரளவு பொருந்தும். மேலும் அதன் முனைகளிலிருந்து வெகு தொலைவிலுள்ள புள்ளிகளுக்கும் இச்சமன்பாடு பொருந்தும்.

(iii) மின்னூட்டம் பெற்ற இரு இணையான முடிவிலா தட்டுகளினால் உருவாகும் மின்புலம்

$+\sigma$ மற்றும் $-\sigma$ என்கிற மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி கொண்ட இரு முடிவிலா மின்னூட்டம் பெற்ற



படம் 1.39 மின்னூட்டம் பெற்ற இரு இணையான முடிவிலாத் தட்டுகளினால் உருவாகும் மின்புலம்

சமதள தட்டுகளைக் கருதுவோம். படம் (1.39) இல் காட்டியபடி அவை ஒன்றுக்கொன்று இணையாக உள்ளன.

தட்டுகளுக்கு இடையேயும், தட்டுகளுக்கு வெளியிலும் உருவாகும் மின்புலத்தை காஸ் விதியைப் பயன்படுத்தி கண்டுபிடிக்கலாம். மின்னூட்டம் பெற்ற முடிவிலா சமதளத் தட்டின் மின்புல மதிப்பு $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$. மேலும் $\sigma > 0$ எனில் அது செங்குத்தாக, வெளிநோக்கிய திசையிலும் $\sigma < 0$ எனில் அது (செங்குத்தாக) உள்நோக்கிய திசையிலும் இருக்கும்.

P_2 மற்றும் P_3 ஆகிய புள்ளிகளில் இரு தட்டுகளினால் ஏற்படும் மின்புலங்களின் எண் மதிப்பு சமமாகவும் எதிரெதிர் திசை உடையதாகவும் உள்ளன. [படம் 1.39]. எனவே, தட்டுகளுக்கு வெளியே உள்ள புள்ளிகளில் மின்புலம் சுழியாகும். ஆனால் தட்டுகளுக்கு இடையே உள்ள புள்ளிகளில் (P_1) அவற்றின் மின்புலங்கள் ஒரே திசையில், அதாவது வலது திசை நோக்கி அமைவதால்,

$$E_{\text{உள்}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \qquad (1.72)$$

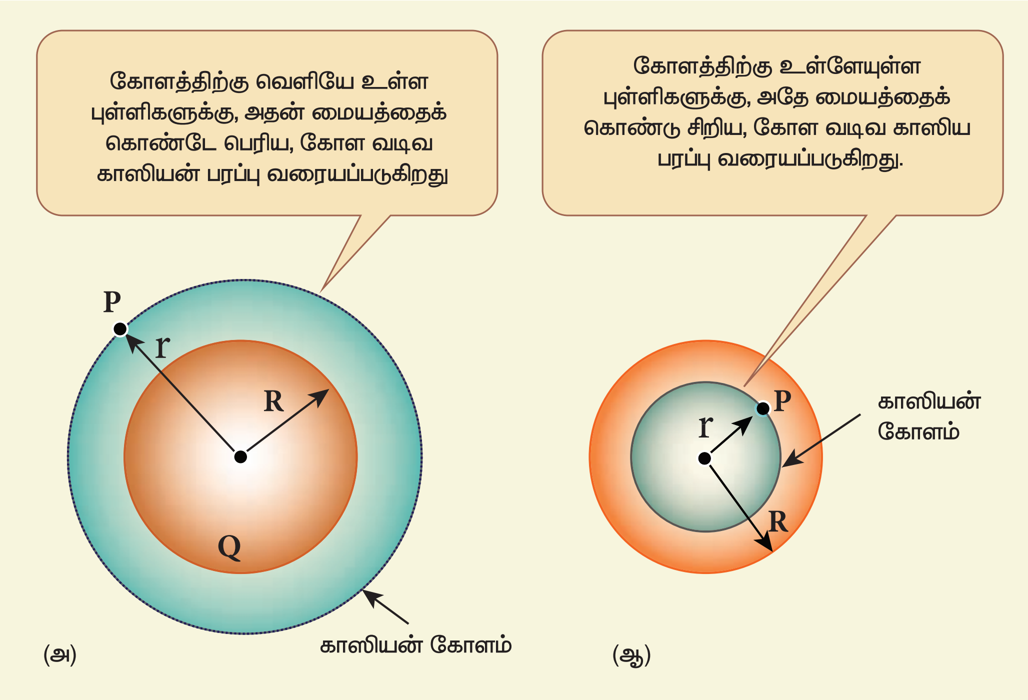
தட்டுகளுக்கு இடையே மின்புலமானது நேர் மின்னூட்டம் பெற்றத் தட்டிலிருந்து எதிர் மின்னூட்டம் பெற்றத் தட்டை நோக்கிய திசையிலிருக்கும். மேலும் தட்டுகளுக்கு இடையில் உள்ள அனைத்துப் புள்ளிகளிலும் மின்புலம் சீராக இருக்கும்.

(iv) மின்னூட்டம் பெற்ற உள்ளீடற்ற கோளத்தினால் உருவாகும் மின்புலம்

R ஆரமும் Q மின்னூட்டமும் கொண்ட, சீரான மின்துகள் பரவல் பெற்ற உள்ளீடற்ற கோளம் ஒன்றைக் கருதுவோம் (படம் 1.40). காஸ் விதியைப் பயன்படுத்தி கோளத்திற்கு வெளியேயும் உள்ளேயும் உள்ள புள்ளிகளில் மின்புலத்தைக் கணக்கிடலாம்.

நேர்வு (அ) கோளத்திற்கு வெளியில் உள்ள புள்ளியில் ($r > R$)

படம் 1.40 (அ) வில் காட்டியுள்ளவாறு, கோளத்தின் மையத்திலிருந்து r தொலைவில், கோளத்தின் வெளியே உள்ள புள்ளி P ஐக் கருதுவோம். மின்துகள்கள் கோளத்தின் புறப்பரப்பில் சீராகப் பரவியுள்ளன (கோளகச் சமச்சீர் தன்மை). ஆகவே $Q > 0$ எனில் மின்புலம் ஆர வழியே வெளிநோக்கிய திசையிலும் $Q < 0$ எனில் ஆர வழியே உள்நோக்கிய திசையிலும் இருக்கிறது. r ஆரம் கொண்ட கோள வடிவ காஸியன் பரப்பினைக் கருதுவோம்.



படம் 1.40 மின்னூட்டம் பெற்ற கோளகக் கூட்டினால் ஏற்படும் மின்புலம்

இப்பரப்பினால் சூழப்படும் மின்துகள்களின் மொத்த மின்னூட்டம் Q என்க. காஸ் விதியைப் பயன்படுத்தி

$$\oint_{\text{காஸியன் பரப்பு}} \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} \qquad (1.73)$$

காஸியன் பரப்பின் அனைத்து புள்ளிகளிலும் மின்புலமும் $(\vec{E})$ பரப்பளவுக்கூறும் $(d\vec{A})$ ஒரே திசையில் (வெளிநோக்கிய திசையில், செங்குத்தாக) அமைகின்றன. மின்துகள் நிலையமைப்பின் கோளகச் சமச்சீர் தன்மையால் காஸியன்பரப்பில் உள்ள அனைத்து புள்ளிகளிலும் $\vec{E}$ ன் எண்மதிப்பும் சமமாகவே இருக்கும்.

$$\text{எனவே, } E\oint_{\text{காஸியன் பரப்பு}} dA = \frac{Q}{\epsilon_0} \qquad (1.74)$$

ஆனால் $\int dA =$ காஸியன் பரப்பின் மொத்த பரப்பளவு = $4\pi r^2$. இதை சமன்பாடு (1.74) இல் பிரதியிட,

$$E\cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$E\cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad \text{அல்லது} \quad E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^2}$$

வெக்டர் வடிவில் ,

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^2}\hat{r} \qquad (1.75)$$

$Q > 0$ எனில் மின்புலமானது ஆர வழியே வெளிநோக்கிய திசையிலும், $Q < 0$ எனில் ஆரவழியே உள்நோக்கிய திசையிலும் அமையும். கோளத்திற்கு வெளியே உள்ள புள்ளிகளைப் பொருத்த வரை, உள்ளீடற்ற கோளத்தின் மையத்தில் Q மின்னூட்டம் கொண்ட ஒரு புள்ளி மின்துகளை வைத்தால் எவ்வாறு மின்புலம் அமையுமோ அவ்வாறு கோளத்தின் மின்புலமானது அமைகிறது. (ஈர்ப்பியலில் இதே போன்றதொரு முடிவை, M நிறை கொண்ட உள்ளீடற்ற கோளத்தினால் ஏற்படும் ஈர்ப்பு விசையைத் தருவிக்கும் போது பெற்றதை நினைவில் கொள்ளவும்)

நேர்வு (ஆ): கோளத்தின் புறப்பரப்பில் உள்ள புள்ளியில் ($r = R$)

கோளகக் கூட்டின் புறப்பரப்பில் உள்ள புள்ளிகளுக்கு ($r = R$) மின்புலமானது

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R^2}\hat{r} \qquad (1.76)$$

நேர்வு (இ): கோளத்திற்கு உள்ளேயுள்ள புள்ளியில் ($r < R$)

கோளகத்தின் மையத்திலிருந்து r தொலைவில், கோளத்திற்கு உள்ளேயுள்ள புள்ளி P ஐக் கருதுவோம்.

r ஆரம் கொண்ட கோள வடிவ காஸியன் பரப்பு ஒன்றை வரைவோம் [படம் 1.40 (ஆ)].

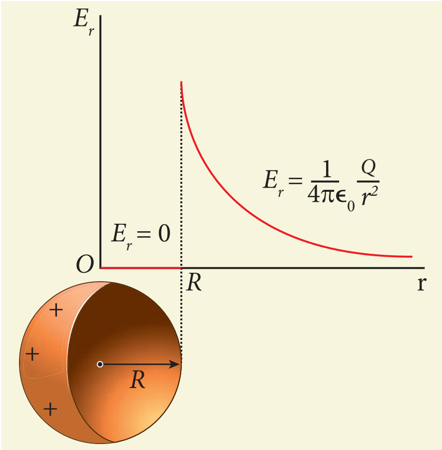
$$\oint_{\text{காஸியன் பரப்பு}} \vec{E}\cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$E\cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\epsilon_0} \qquad (1.77)$$

இந்த காஸியன் பரப்புக்குள்ளே எந்த ஒரு மின்துகளும் இல்லாததால் Q = 0. எனவே, சமன்பாடு (1.77)–ன் படி

$$E = 0 \qquad (r < R) \qquad (1.78)$$

மேற்பரப்பின் மீது மின்துகள்கள் சீராக பரவப் பெற்ற உள்ளீடற்ற கோளத்தின் உள்ளே அமைந்துள்ள அனைத்து புள்ளிகளுக்கும் மின்புலம் சுழியே. ஆரத்தொலைவுக்கும் (radial distance) மின்துகள்கள் சீரான பரவல் பெற்ற உள்ளீடற்ற கோளத்தின் மின்புலத்திற்கும் இடையேயான வரைபடம் படம் 1.41 –ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 1.41 ஆரம் R கொண்ட உள்ளீடற்ற மின்கோளத்திற்கு மின்புலம் – தொலைவு வரைபடம்

குறிப்பு

குறிப்பிட்டவொரு மின்துகள் நிலையமைப்பானது கோளக, உருளை அல்லது சமதள சமச்சீர் தன்மை கொண்டிருக்கும் போது அத்தகைய மின்துகள் அமைப்புகளின் மின்புலத்தை எளிதில் கண்டறிய காஸ் விதி ஒரு சிறந்த வழிமுறையாகும். அத்தகைய சமச்சீர் தன்மை அமையாத நிலையில் நேரடியான வழிமுறையையே (கூலூம் விதியும் நுண்கணிதமும்) பின்பற்ற வேண்டும். எடுத்துக்காட்டாக, மின் இருமுனையின் மின்புலத்தைக் கண்டறிய காஸ் விதியைப் பயன்படுத்துவது கடினம். ஏனெனில், அதற்கு மேலே குறிப்பிட்ட எந்தவொரு சமச்சீர் தன்மையும் கிடையாது.

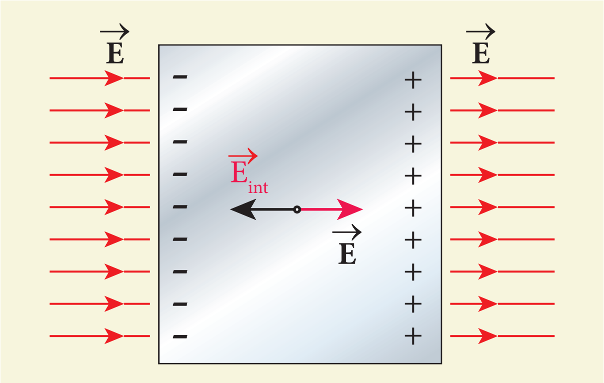
1.7 கடத்திகள் மற்றும் மின்காப்புகளின் நிலை மின்னியல் பண்புகள்

1.7.1 நிலைமின் சமநிலையில் கடத்திகள்

ஒரு மின்கடத்திப் பொருளில் கட்டற்று சுதந்திரமாக இயங்கும் மின்துகள்கள் ஏராளமான எண்ணிக்கையில் உள்ளன. ஒரு உலோகக் கடத்தியில் உள்ள இயங்கும் மின்துகள்கள் கட்டுறா எலக்ட்ரான்களே ஆகும். எந்த அணுவோடும் அவை கட்டப்படவில்லை. எனவே கடத்தியின் பரப்பில் அவற்றால் எளிதாக அங்கும் இங்கும் செல்ல முடிகின்றது. புற மின்புலம் அளிக்கப்படாத போது, ஒழுங்கில்லாமல் அனைத்து திசைகளிலும் தொடர்ந்து அவை இயக்கத்தில் இருக்கின்றன. இதன் விளைவாக, எந்தவொரு குறிப்பிட்ட திசையை நோக்கியும் எலக்ட்ரான்களின் நிகர இயக்கம் இல்லாததால் அக்கடத்தி நிலைமின் சமநிலையில் இருக்கின்றது. எனவே, நிலைமின் சமநிலையிலுள்ள கடத்தியில் எவ்வித நிகர மின்னோட்டமும் (net current) இருப்பதில்லை. இச்சமநிலையிலுள்ள ஒரு கடத்திக்கு பின்வரும் பண்புகள் உள்ளன.

(i) கடத்தியின் உட்புறத்திலிருக்கும் அனைத்து புள்ளிகளிலும் மின்புலம் சுழியாகும். இக்கூற்று திண்மக் கடத்தி மற்றும் உள்ளீடற்ற கூடு வகைக் கடத்தி இரண்டிற்கு பொருந்தும்.

இது ஆய்வின் அடிப்படையில் நாம் கண்டறிந்த உண்மை. ஒரு வேளை கடத்தியின் உட்புறத்தில் மின்புலம் சுழியல்ல என்றால் அங்கேயுள்ள கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் மீது விசை செயல்பட வேண்டும் அல்லவா?. இதன் விளைவாக, அவை (கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் அல்லது இயங்கு மின்துகள்கள்) ஒரு குறிப்பிட்ட திசையை நோக்கி நிகர இயக்கத்தைப் பெறும். இது நிலைமின் சமநிலையிலுள்ள கடத்திகளின் தன்மைக்கு மாறானதொரு நிலையாகும். எனவே, கடத்தியின் உட்புறத்தில் அனைத்து புள்ளிகளிலும் மின்புலம் சுழியாகவே இருக்க வேண்டும். சீரான புற மின்புலத்தை கடத்தியின்மீதுசெயல்படுத்தியும்இவ்வுண்மையைப் புரிந்து கொள்ளலாம் (படம் 1.42)



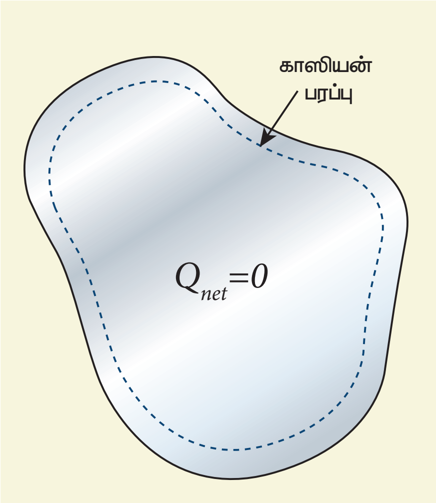
படம் 1.42 மின்கடத்திகளின் மின்புலம்

புற மின்புலத்தை செயல்படுத்தும் முன் கடத்தியிலுள்ள கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் கடத்தி முழுவதிலும் சீராகப் பரவியிருக்கும். மின்புலத்தை செயல்படுத்தும் போது, இடக்கைப் பக்கம் அவை முடுக்கப்படுவதால் இடதுபக்கத் தகடு எதிர் மின்னூட்டமும் வலதுபக்கத் தகடு நேர் மின்னூட்டமும் பெறுகின்றன (படம் 1.44).

கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் இவ்வாறு மீளமைவதால் (realign) கடத்தியின் உட்புறம் அக மின்புலம் உருவாகின்றது; புற மின்புலத்தை சமன்செய்யும் வரை இது அதிகரிக்கின்றது. புற மின்புலம் சமன்செய்யப்பட்ட பின்பு கடத்தி நிலைமின் சமநிலையிலுள்ளதாகக் கருதப்படுகிறது. இச்சமநிலையை அடைய ஒரு கடத்தி எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் ஏறக்குறைய 10^{-16} s. எனவே இதை ஓர் உடனடி நிகழ்வாகவே கருதலாம்.

(ii) கடத்தியின் உட்புறத்தில் உள்ள மின்துகள்களின் நிகர மின்னூட்டம் சுழி. கடத்திகளின் புறப்பரப்பில் மட்டுமே மின்துகள்கள் இருக்க முடியும்.

காஸ் விதியைப் பயன்படுத்தி இப்பண்பை நிறுவலாம். ஏதேனும் ஒரு வடிவமுள்ள கடத்தி ஒன்றைக் கருதுவோம். [படம் 1.43]. கடத்தியின் புறப்பரப்பிற்கு வெகு அருகில், உட்புறமாக ஒரு காஸியன் பரப்பை வரைவோம்.
கடத்தியின் உட்புறத்தில் அனைத்து புள்ளிகளிலும் மின்புலம் சுழியாதலால் காஸியன் பரப்பினைக் கடக்கும் நிகர மின்பாயமும் சுழியாகவே இருக்கும். எனவே காஸ் விதியின் படி, கடத்தியின் உட்புறம் இருக்கும் நிகர மின்னூட்ட மதிப்பும் சுழி என்பதையே இது உணர்த்துகிறது. ஒரு வேளை சில மின்துகள்களை கடத்தியின் உட்புறம்

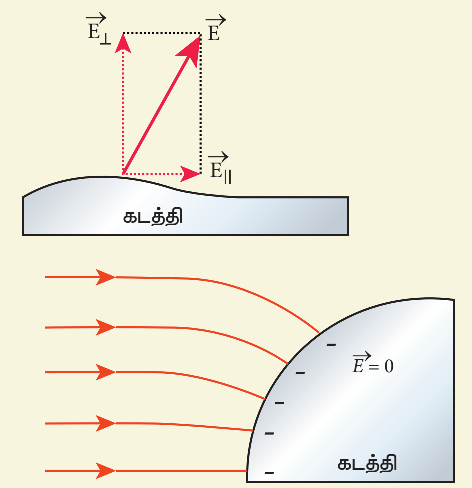


படம் 1.43 மின்கடத்தியின் உள்ளே நிகர மின்னூட்டம் சுழி

இருத்தினாலும் உடனேயே அவை கடத்தியின் பரப்பை அடைந்து விடும்.

(iii) கடத்திக்கு வெளியே மின்புலமானது அதன் பரப்புக்கு செங்குத்தாகவும் $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$ எண் மதிப்பு கொண்டதாகவும் இருக்கும். இங்கு σ என்பது கடத்தியின் குறிப்பிட்ட பகுதியில் உள்ள மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி ஆகும்.

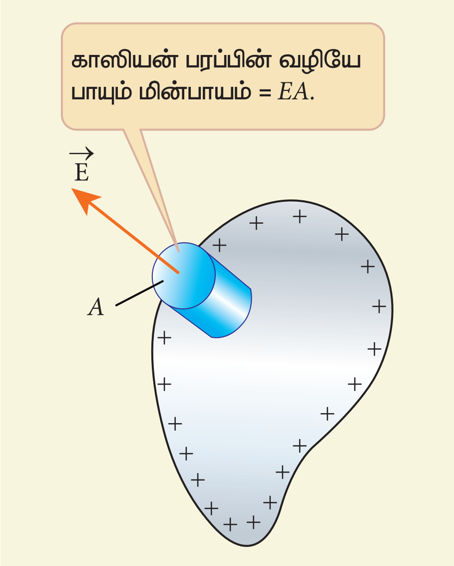
கடத்தியின் பரப்பிற்கு இணையான திசைகளில் மின்புலத்தின் கூறுகள் இருந்தால் பரப்பிலுள்ள கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் முடுக்கப்படும் [படம் 1.44(அ)]. அதாவது, கடத்தி சமநிலையில்



படம் 1.44 (அ) பரப்பின் திசையில் மின்புலம் (ஆ)மின்கடத்தியின் பரப்புக்கு செங்குத்தாக மின்புலம்

இல்லை என்றாகும். எனவே, நிலைமின் சமநிலையில், கடத்தியின் பரப்புக்கு செங்குத்தான திசையில் மட்டுமே மின்புலம் அமையும் [படம் 1.44 (ஆ)].

கடத்தியின் பரப்புக்கு சற்று வெளியே மின்புலத்தின்எண்மதிப்பு $\frac{\sigma}{\epsilon_0}$ என்பதைநிறுவுவோம். படம் 1.45 ல் காட்டியுள்ளபடி சிறிய உருளை வடிவ காஸியன் பரப்பைக் கருதுவோம். இவ்வுருளையின் ஒரு பாதி கடத்தியின் உட்புறமாகப் பதிந்துள்ளது.



படம் 1.45 மின்கடத்தியின் பரப்பில் மின்புலம்

கடத்தியின் பரப்புக்கு செங்குத்தாக மின்புலத்தின் திசை இருக்கும் என்பதால், உருளையின் வளைபரப்பினைக் கடக்கும் மின்பாயம் சுழி. மேலும் கடத்தியின் உட்புறம் மின்புலம் சுழியாவதால் காஸியன் பரப்பின் அடிப்பாதிக்கு மின்பாயம் சுழி.

எனவே, மேல்பக்க தட்டைப் பரப்பு மட்டுமே மின்பாயத்தைக் கொடுக்கும். இதில் மின்புலத்தின் திசையானது பரப்பு $\left(\vec{A}\right)$ வெக்டரின் திசையிலேயே இருக்கும். மேலும் (மேற்பாதி உருளை) பரப்பிற்கு உட்புறம் உள்ள மின்துகள்களின் மொத்த மின்னூட்ட மதிப்பு σA. காஸ் விதியைப் பயன்படுத்த,

$$EA = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$

வெக்டர் வடிவில்,

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}\hat{n} \qquad (1.79)$$

இங்கு $\hat{n}$ என்பது கடத்தியின் பரப்புக்கு செங்குத்தான, வெளி நோக்கிய திசையிலுள்ள ஓரலகு வெக்டர். $\sigma < 0$ எனில், மின்புலமானது பரப்புக்கு செங்குத்தாக, உள் நோக்கிய திசையில் இருக்கும்.

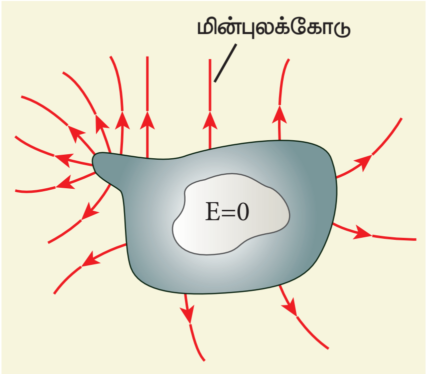
(iv) கடத்தியின் புறப்பரப்பிலும் உட்புறத்திலும் நிலை மின்னழுத்தம் ஒரே மதிப்பு கொண்டிருக்கும்.

கடத்தியின் புறப்பரப்பில் பரப்பிற்கு இணையான திசையில் மின்புலத்தின் கூறு இருக்காது என்பதால் பரப்பில் மின்துகள்களை நகர்த்துவதற்கு வேலை செய்யத் தேவையில்லை. இதற்கு பரப்பிலுள்ள அனைத்து புள்ளிகளிலும் மின்னழுத்தம் சமமாக இருக்க வேண்டும் அல்லது பரப்பிலுள்ள, ஏதேனும் இரு புள்ளிகளுக்கு இடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு சுழியாக இருக்க வேண்டும். கடத்தியின் உட்புறம் மின்புலம் சுழியாதலால், கடத்தியின் புறப்பரப்பில் உள்ள மின்னழுத்தமும் உட்புறம் உள்ள மின்னழுத்தமும் சமமாக இருக்க வேண்டும். எனவே, நிலைமின் சமநிலையில் ஒரு கடத்தி எப்போதும் சமமின்னழுத்தத்தில் உள்ளது.

1.7.2 நிலைமின் தடுப்புறை (Electrostatic Shielding)

காஸ் விதியைப் பயன்படுத்தி மின்னூட்டம் பெற்ற கோளகக் கூட்டின் உட்புறத்தில் மின்புலம் சுழியென்பதை நிறுவினோம். உள்ளீடற்ற மற்றும் திண்ம கோளக் கடத்திகள் இவையிரண்டின் உட்புறங்களிலும் மின்புலம் சுழியென்பதையும் கண்டோம். இது ஒரு வியப்பூட்டும் பண்பாகவும் முக்கியமானவொரு விளைவைத் தருவதாகவும் உள்ளது.

படம் 1.46 (அ) வில் காட்டியுள்ளவாறு, கடத்தி ஒன்றின் உட்புறமுள்ள குழிவுப் பகுதி (cavity) ஒன்றைக் கருதுவோம். கடத்தியின் புறப்பரப்பிலுள்ள மின்துகள்கள் எதுவாக இருந்தாலும் கடத்திக்கு வெளியே ஏற்படும் மின்னியல் மாறுபாடுகள் எதுவாயினும் அக்குழிவுப் பகுதியின் உட்புறம் மின்புலம் சுழியாகவே இருக்கும். புறத்தே ஏற்படும் மின்னியல் மாறுபாடுகளிலிருந்து நுட்பமான மின் கருவி ஒன்றைப் பாதுகாக்க வேண்டுமெனில் இத்தகைய குழிவுப் பகுதிக்குள் வைக்க வேண்டும். இதையே நிலைமின் தடுப்புறை என்பர்.



படம் 1.46 (அ) குழிவுப் பகுதியின் உட்புறம் மின்புலம் (ஆ) பாரடே கூண்டு

இவ்விளைவை செய்து காட்ட பாரடே கூண்டு (Faraday cage) என்றொரு அமைப்பு உள்ளது. உலோகத் தண்டுகளால் செய்யப்பட்ட இக்கூண்டு படம் 1.46 (ஆ) வில் காட்டப்பட்டுள்ளது. வெளியே உருவாக்கப்படும் செயற்கை மின்னலால் தாக்கப்படும் போதும் கூண்டிற்குள் உள்ள மனிதர் எந்த பாதிப்புக்கும் உள்ளாவதில்லை.

மின்னல், இடியுடன் கூடிய மழையின் போது திறந்த வெளியிலோ அல்லது மரத்தினடியிலோ நிற்பதை விட பேருந்திற்குள் இருப்பது பாதுகாப்பானது. பேருந்தின் உலோகப் பரப்பு நிலைமின் தடுப்புறையாகச் செயல்படுகிறது. ஏனெனில் அதன் உட்புறத்தில் மின்புல மதிப்பு சுழி. மின்னலின் போது கடத்தியின் புறப்பரப்பு வழியே மின்துகள்கள் தரைக்குப் பாய்வதால் பேருந்தினுள் இருப்பவருக்கு எவ்வித பாதிப்பும் இருக்காது.

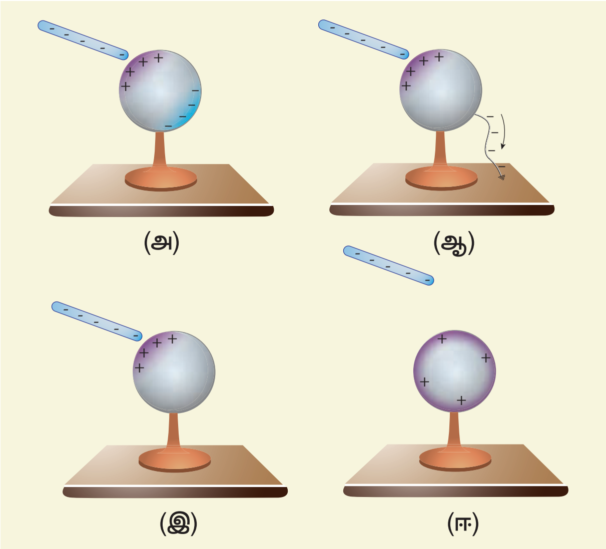
1.7.3 நிலைமின் தூண்டல்

தகுந்த பொருள் ஒன்றினால் இன்னொன்றை உரசுவதால் மின்னேற்றம் செய்ய முடியும் என்பதை பகுதி 1.1 ல் பார்த்தோம். இவ்வாறாக மின்னூட்டம் பெற்ற பொருளை இன்னொரு கடத்தியால் தொடும்போது, மின்துகள்கள் கடத்தியை அடைகின்றன. ஆனால் தொடுதல் இன்றியே கடத்தியொன்றை மின்னேற்றம் பெறச் செய்ய முடியுமா? முடியும். **தொடுதல் இன்றியே ஒரு பொருளை மின்னேற்றம் பெறச் செய்யும் நிகழ்வு நிலைமின் தூண்டல் எனப்படும்.**

(i) மின்கடத்தாத் தாங்கி ஒன்றின் மீது வைக்கப்பட்டுள்ள மின்னூட்டமற்ற (மின் நடுநிலையான) கோள வடிவக் கடத்திப் பொருள் ஒன்றைக் கருதுவோம். எதிர் மின்னூட்டம் பெற்ற தண்டு ஒன்று கோளத்தின் அருகில், அதைத் தொடாதவாறு, கொண்டு வரப்படுகிறது [படம் 1.47 (அ)].

தண்டிலுள்ள எதிர்மின்துகள் கடத்தியிலுள்ள எலக்ட்ரான்களை எதிர்ப்பக்கத்தை நோக்கி விரட்டுகிறது. இதன் விளைவாக, மின்னூட்டம் பெற்ற தண்டு இருக்கும் பக்கத்தில் நேர் மின்துகள்களும் அதற்கு எதிர்ப்பக்கத்தில் எதிர் மின்துகள்களும் தூண்டப்படுகின்றன.

மின்னூட்டம் பெற்ற தண்டினைக் கொண்டு வருமுன், கடத்தியின் (கோளத்தின்) பரப்பு முழுவதும் கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் சீராகப் பரவியிருந்தன; மேலும் அதன் நிகர மின்னூட்டம் சுழியாக இருந்தது. ஆனால், தண்டினை கடத்தியினருகில் கொண்டு சென்றவுடன் எலக்ட்ரான்கள் தண்டிற்கு சேய்மைப் பக்கத்திலும் நேர் மின் துகள்கள் அண்மைப் பக்கத்திலுமாக அமைந்து, மின்துகள்களின் பரவல் சீரற்றதாகிறது. இருப்பினும், நிகர மின்னூட்டம் சுழியே.



படம் 1.47 நிலைமின் தூண்டலின் பல்வேறு படிகள்

(ii) இப்போது கோளக் கடத்தியை ஒரு மின்கடத்துக் கம்பியின் மூலம் தரைக்கு இணைப்பு கொடுக்கப்படுகிறது. இதற்கு தரையிணைப்பு (Grounding) என்று பெயர். எவ்வளவு எலக்ட்ரான்களை வேண்டுமானாலும் தரையால் (புவியால்) ஏற்றுக்கொள்ள முடியுமாதலால் கோளகக் கடத்தியிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் தரையிணைப்பினால் தரைக்குள் சென்றுவிடுகின்றன. ஆனால் கோளத்தில் உள்ள நேர்மின்துகள்கள் தண்டிலுள்ள எதிர் மின்துகள்களின் கவர்ச்சி விசைக்கு உட்பட்டுள்ளதால், இந்த நேர்மின்துகள்கள் தரைக்கு பாய இயலாது [படம் 1.47 (ஆ)].

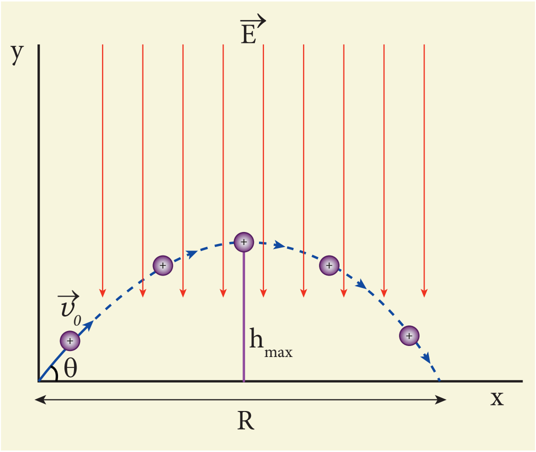
(iii) இப்போது தரையிணைப்புக் கம்பியினை எடுத்து விட, கோளத்திலுள்ள நேர் மின்துகள்கள் மின்னூட்டம் பெற்ற தண்டிற்கு அருகிலேயே உள்ளன. [படம் 1.47 (இ)].

(iv) மின்னூட்டம் பெற்ற தண்டினை இப்போது கடத்தியிடமிருந்து அப்புறப்படுத்தி விடவும். அவ்வாறு அதனை நீக்கியவுடன் நேர் மின்துகள்கள் கடத்தியின் பரப்பில் சீராகப் பரவுகின்றன. [படம் 1.47 (ஈ)] இத்தகைய செயல்முறையின் மூலமாக மின்நடுநிலைத் தன்மை கொண்ட ஒரு கோள வடிவக் கடத்தி நேர் மின்னூட்டம் பெற்றதாக மாறுகிறது.

ஒரு குறிப்பிட்ட வடிவம் என்றிலாமல் சீரற்ற வடிவம் கொண்ட கடத்திக்கு, இச்செயல்முறையில் இடையிலமைந்த படிகளும் முடிவும் ஒன்றாக இருப்பினும் கடைசி படி வேறுபட்டு இருக்கும். அதாவது, நேர் மின்துகளின் பரவல் சீராக இராது. இது ஏன்? இதற்கான காரணம் பகுதி 1.9 –ல் விவாதிக்கப்பட்டுள்ளது.

எடுத்துக்காட்டு 1.19

படத்தில் கொடுத்துள்ளவாறு $+q$ மின்னூட்ட மதிப்பும் m நிறையும் கொண்ட மின்கடத்து பொருளாலான சிறிய பந்து ஒன்று கிடைமட்டத்திற்கு θ கோணத்தில் v_0 என்ற தொடக்க திசைவேகத்துடன் மேல்நோக்கி எறியப்படுகிறது. g மதிப்புடைய ஈர்ப்புப் புலத்தின் திசையிலேயே, சீரான மதிப்புடைய E என்ற மின்புலம் அங்கு செயல்படுகிறது எனில் மின்னூட்டம் பெற்ற அப்பந்தின் கிடைத்தள நெடுக்கம், பெரும உயரம் மற்றும் பறக்கும் நேரம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக. காற்றினால் ஏற்படும் விளைவைப் புறக்கணிக்க; மேலும் பந்தை ஒரு புள்ளி நிறையாகக் கருதுக.



தீர்வு

கடத்தியின் நிகர மின்னூட்டம் சுழியெனில் அதன் இயக்கம், நாம் இயக்கவியலில் (+1 இயற்பியல், தொகுதி – I, அலகு – 2) அறிந்த m நிறை கொண்ட ஒரு எறிபொருளின் இயக்கத்தை ஒத்ததே. ஆனால் இந்தக் கணக்கில் கீழ்நோக்கிய திசையில் செயல்படும் ஈர்ப்பு விசையுடன் சேர்ந்து சீரான நிலைமின் விசையையும் அப்பந்து உணர்கிறது.

ஈர்ப்புவிசையினால் அப்பந்திற்கு அளிக்கப்படும்

முடுக்கம் $= -g\,\hat{j}$

சீரான மின்புலத்தினால் அப்பந்திற்கு அளிக்கப்படும்

முடுக்கம் $= -\dfrac{qE}{m}\,\hat{j}$

மின்னூட்டம் பெற்ற பந்து கீழ்நோக்கிய திசையில் அடையும் மொத்த முடுக்கம் $\vec{a} = -\left(g + \dfrac{qE}{m}\right)\hat{j}$

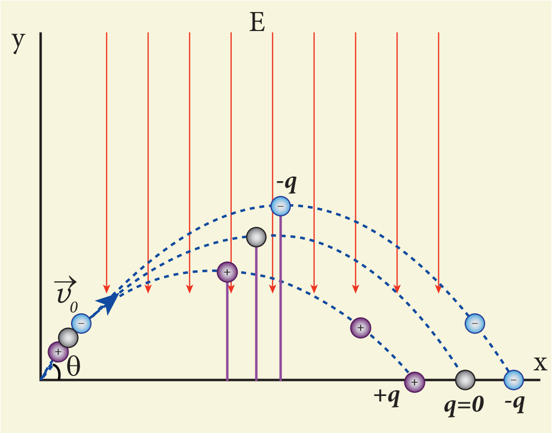
இங்கே பந்தின் முடுக்கம் அதன் நிறையைச் சார்ந்துள்ளதைக் கவனிக்கவும். அனைத்து பொருள்களும் புவியை நோக்கி ஒரே முடுக்கத்துடன் வீழ்கின்றன என்ற கலிலியோவின் கூற்று சீரான ஈர்ப்புப் புலத்திற்கு மட்டுமே பொருந்தும். சீரான மின்புலத்தை சேர்க்கும்போது மின்னூட்டம் பெற்ற பொருளின் முடுக்கம் அதன் நிறையையும் மின்னூட்டத்தையும் சார்ந்து இருக்கின்றது.

இருப்பினும் அதன் முடுக்கமானது, $a = \left(g + \dfrac{qE}{m}\right)$, இயக்கம் முழுவதிலும் சீராகவே இருக்கும். எனவே இயக்கவியல் சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்தி

கிடைத்தள நெடுக்கம், பெரும உயரம் மற்றும் பறக்கும் நேரம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடலாம். எறிபொருளுக்கான அளவுகளின் சமன்பாடுகளில் g க்கு பதிலாக $\left(g+\frac{qE}{m}\right)$ என்று பிரதியிட்டு மேற்கூறிய மூன்று அளவுகளையும் தருவிக்கலாம்.

	மின்னூட்டம் அற்ற எறிபொருள்	$+q$ மின்னூட்டம் பெற்றது
பறக்கும் நேரம் T	$\frac{2v_0 \sin\theta}{g}$	$\frac{2v_0 \sin\theta}{\left(g+\frac{qE}{m}\right)}$
பெரும உயரம் h_{max}	$\frac{v_0^2 \sin^2\theta}{2g}$	$\frac{v_0^2 \sin^2\theta}{2\left(g+\frac{qE}{m}\right)}$
(கிடைத்தள) நெடுக்கம் R	$\frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$	$\frac{v_0^2 \sin 2\theta}{\left(g+\frac{qE}{m}\right)}$

பறக்கும் நேரம், பெரும உயரம், நெடுக்கம் ஆகிய இம்மூன்றுமே பொருளின் முடுக்கத்திற்கு எதிர்த்தகவில் உள்ளதை கவனிக்கவும். மேலும், $\left(g+\frac{qE}{m}\right) > g$. ஆகையால், T, h_{max}, R இம்மூன்று அளவுகளுமே மின்னூட்டமற்ற நிலையில் உள்ள அளவுகளை விடக் குறைந்த மதிப்பைப் பெற்றிருக்கும். மின்னூட்டமானது $-q$ எனில், $\left(g-\frac{qE}{m}\right) < g$. ஆகையால் இம்மூன்றுமே அதிக மதிப்பு பெற்றிருக்கும். இருப்பினும் பொருளின் பாதை இன்னமும் பரவளையமாகவே உள்ளது. [காண்க படம்]



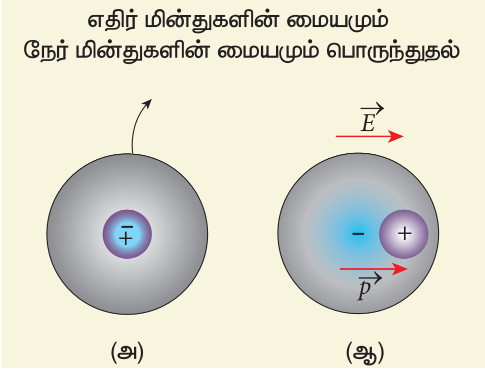
1.7.4 மின்காப்புப் பொருள்கள் அல்லது மின்கடத்தாப் பொருள்கள்

மின்காப்பு பொருள் என்பது மின்னோட்டத்தைக் கடத்தாதஒருபொருள்.அதில்கட்டுறாஎலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை குறைவு. மின்காப்புப் பொருளிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் அதன் அணுக்களால் கட்டுண்டு உள்ளன. மின்காப்புகளுக்கு சில எடுத்துக்காட்டுகள்: எபோனைட், கண்ணாடி, மைக்கா போன்றவை. புற மின்புலத்தில் வைக்கப்படும்போது (மின்காப்புகளில் உள்ள) எலக்ட்ரான்களால் கட்டுறா இயல்புடன் இயங்க முடியாது. ஆனால் குறிப்பிட்ட திசையில் அவை ஒருங்கமைக்கப் படுகின்றன. மின்காப்புகள் மின்முனைவுள்ள (polar) மூலக்கூறுகள் அல்லது மின் முனைவற்ற மூலக்கூறுகளால் ஆனவை.

மின்முனைவற்ற மூலக்கூறுகள் (Non polar molecules)

நேர் மின்துகள்களின் மின்னூட்ட மையமும் எதிர் மின்துகள்களின் மின்னூட்ட மையமும் ஒரே புள்ளியில் பொருந்தி அமைகின்ற மூலக்கூறு மின் முனைவற்ற மூலக்கூறு எனப்படும். இது நிலைத்த இருமுனை திருப்புத்திறனைப் பெற்றிருப்பதில்லை. எடுத்துக்காட்டுகள்: ஹைடிரஜன் (H_2), ஆக்சிஜன் (O_2), கார்பன் டையாக்சைடு (CO_2) உள்ளிட்டவை.

இப்பொருள்களை புற மின்புலத்தில் வைத்தால், நேர் மின்துகள்களின் மின்னூட்ட மையமும் எதிர் மின்துகள்களின் மின்னூட்ட மையமும் சிறிய இடைவெளி கொண்டு பிரிக்கப்படுகின்றன; இதனால் புற மின்புலத்தின் திசையில் இருமுனை திருப்புத்திறன் தூண்டப்படுகிறது. இப்போது, புற மின்புலத்தால் மின்காப்பு பொருள் மின்முனைவாக்கம் செய்யப்பட்டுள்ளது (Electrically polarised) என்று கூறலாம். (படம் 1.48)

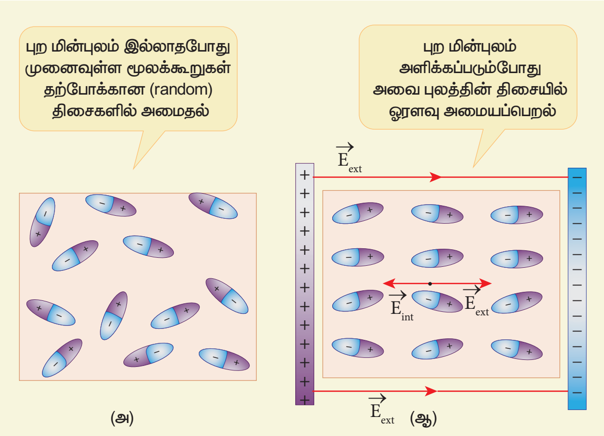


படம்1.48 முனைவற்ற மூலக்கூறுகள்
(அ) புற மின்புலம் இல்லாத நிலையில்
(ஆ) புற மின்புலத்தில்

மின்முனைவுள்ள மூலக்கூறுகள் (Polar molecules)

புற மின்புலம் செயல்படாத நிலையிலும் நேர் மற்றும் எதிர் மின்துகள்களின் மின்னூட்ட மையங்கள் பிரிக்கப்பட்டுள்ள மூலக்கூறுகள் மின்முனைவுள்ள மூலக்கூறுகள் எனப்படும். இவை நிலைத்த இருமுனை திருப்புத்திறனைப் பெற்றுள்ளன. வெப்ப இயக்கத்தின் விளைவால் பொருளில் உள்ள ஒவ்வொரு இருமுனை திருப்புத்திறனும், ஒழுங்கற்று வெவ்வேறு திசையை நோக்கி அமைகின்றன. [படம் 1.49 (அ)]. எனவே புற மின்புலம் இல்லாத நிலையில் நிகர இருமுனை திருப்புத்திறன் சுழியாகும். முனைவுள்ள மூலக்கூறுகளுக்கு எடுத்துக்காட்டுகள்: H_2O, N_2O, HCl, NH_3.

ஆனால் புற மின்புலம் செயல்படும்போது, முனைவுள்ள மூலக்கூறிலுள்ள இருமுனைகள் மின்புலத்தின் திசையில் ஒருங்கமைகின்றன. எனவே, ஒரு நிகர இருமுனை திருப்புத்திறன் அதனுள் தூண்டப்படுகிறது. இப்போது, புற மின்புலத்தால் மின்காப்பு பொருள் மின்முனைவாக்கம் செய்யப்பட்டுள்ளது எனலாம். [படம் 1.49 (ஆ)].



படம் 1.49 (அ) குறிப்பிட்ட திசையில் அல்லாமல் துருவ மூலக்கூறுகள் அமைதல் (ஆ) புற மின்புலத் திசையில் ஒருங்கமைதல்

மின்முனைவாக்கம் (Electric Polarization)

புற மின்புலம் செயல்படும்போது ஒரு மின்காப்புப் பொருளில் இருமுனை திருப்புத்திறன் தூண்டப்படுகிறது. **மின்காப்புப் பொருளில் ஓரலகு பருமனில் (தூண்டப்படும்) மொத்த இருமுனை திருப்புத்திறனை முனைவாக்கம் ($\vec{P}$) என்பர்.** பெரும்பாலான (நேரியல் திசைச்சீர் தன்மை கொண்ட – linear isotropic) மின்காப்புகளில், முனைவாக்கமானது புற மின்புலத்தின் வலிமைக்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும். இதையே,

$$\vec{P} = \chi_e \vec{E}_{ext} \quad (1.80)$$

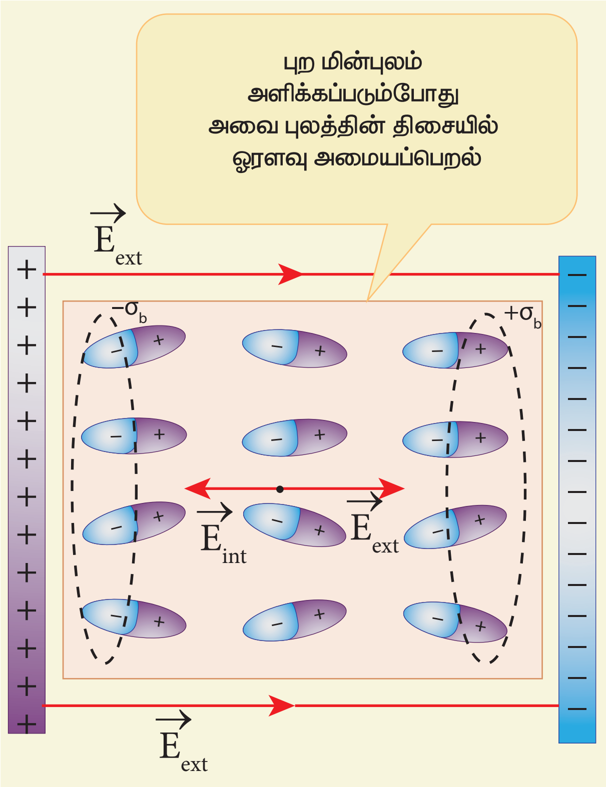
இங்கு χ_e என்ற மாறிலி மின் ஏற்புத்திறன் (susceptibility) எனப்படும். இது ஒவ்வொரு மின்காப்புப் பொருளிற்கும் வெவ்வேறு மதிப்பையுடையதாக இருக்கும்.

1.7.5 மின்காப்பின் உள்ளே மின்புலம் தூண்டப்படுதல்

கடத்தியொன்றைப் புற மின்புலத்தில் வைக்கும்போது, அதிலுள்ள மின்துகள்கள் ஒருங்கமைக்கப்பட்டு, அதனால் உருவாகும் அக மின்புலமானது புற மின்புலத்தை சமன் செய்யும். ஆனால் மின்காப்பைப் பொருத்தவரை, அதில் கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் இல்லாததால், புற மின்புலமானது அதிலுள்ள மின்துகள்களை ஒருங்கமைக்கச் செய்தாலும் அதனால் உருவாகும் அக மின்புலம் புற மின்புலத்தை விடக் குறைவாக இருக்கும். எனவே, மின்காப்பின் உட்புறம் நிகர மின்புலம் சுழியாவதில்லை; மேலும் புற மின்புலத்தின் திசையிலேயே நிகர மின்புலம் இருக்கிறது. ஆனால் அதன் எண்மதிப்பு புற மின்புலத்தைவிடக் குறைவாகவே இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, (படம் 1.50) வில் கொடுத்துள்ளபடி (மின்தேக்கி ஒன்றின்) எதிரெதிர் மின்னூட்டம் பெற்ற இரு தட்டுகளுக்கு இடையே ஒரு செவ்வக வடிவ மின்காப்புப் பாளம் வைக்கப்படுகிறது.

தட்டுகளுக்கு இடையே நிலவும் சீரான மின்புலம் மின்காப்பிற்கு ஒரு புற மின்புலமாக $\left(\vec{E}_{ext}\right)$ செயல்பட்டு அதனை முனைவாக்கம் செய்கிறது. அதன் ஒரு பக்கத்தில் நேர் மின்துகள்களும் மற்றொரு பக்கம் எதிர் மின்துகள்களும் தூண்டப்படுகின்றன.

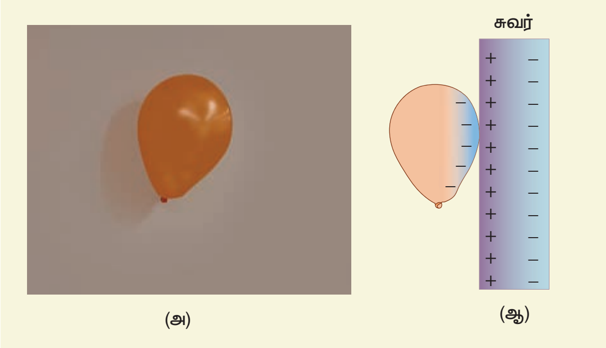
ஆனால் மின்காப்பின் உட்புறத்திலோ ஒரு சிறு பருமனில் கூட நிகர மின்னூட்டம் சுழியாக இருக்கின்றது. ஆகவே புற மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு மின்காப்பானது மின்னூட்ட பரப்படர்த்தி $+\sigma_b$ மற்றும் $-\sigma_b$ கொண்ட, எதிரெதிர் மின்னூட்டம் பெற்ற இரு தட்டுகளுக்கு ஒப்பாகும். இம்மின்துகள்கள் கட்டுண்ட மின்துகள்கள் (Bound charges) எனப்படும். இவை கடத்தியிலுள்ள கட்டுறா எலக்ட்ரான்களைப் போல்



படம் 1.50 மின் காப்பின் உட்புறம் தூண்டப்பட்ட மின்புலம்

இவை தடையற்ற இயக்கத்தைப் பெற முடியாது. (படம் 1.52).

எடுத்துக்காட்டாக, உராய்வினால் மின்னூட்டம் பெற்ற பலூன் ஒன்று சுவற்றில் ஒட்டிக் கொள்கிறது. எதிர் மின்னூட்டம் பெற்ற பலூனை சுவற்றினருகில் கொண்டு வரும்போது, அது சுவற்றில் வேறின மின்துகள்களைத் தூண்டுவதால் முனைவாக்கம் ஏற்படுகிறது. இதனாலேயே சுவற்றுடன் பலூன் ஒட்டிக் கொள்கிறது. (படம் 1.51)



படம்1.51 (அ) சுவற்றுடன் பலூன் ஒட்டிக் கொள்தல் (ஆ) பலூன் உருவாக்கிய மின்புலத்தால் சுவற்றில் முனைவாக்கம் ஏற்படுதல்

1.7.6 மின்காப்பு வலிமை (Dielectric strength)

மின்காப்பிற்கு அளிக்கப்படும் புற மின்புலம் அதிக வலிமை வாய்ந்ததாக இருந்தால் அது அணுக்களில் உள்ள எலக்ட்ரான் கட்டமைப்பை உடைத்து கட்டுண்ட மின்துகள்களை கட்டுறா மின்துகள்களாக்குகின்றது. இந்நிலையில் மின்காப்புப் பொருள் மின்னோட்டத்தைக் கடத்த ஆரம்பிக்கின்றது. இதையே மின்காப்பு முறிவு (dielectric break down) என்பர். இம்முறிவு ஏற்படும் முன் மின்காப்பு ஒன்று தாங்கக்கூடிய பெரும மின்புலம் மின்காப்பு வலிமை எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாக, காற்றின் மின்காப்பு வலிமை $3 \times 10^6\,V\,m^{-1}$. இதற்கு அதிகமான மின்புலத்தை செயல்படுத்தினால், அதில் பொறி உருவாகும். சில மின்காப்புகளின் மின்காப்பு வலிமைகள் பட்டியலிடப்பட்டுள்ளன

அட்டவணை 1.1 மின்காப்புவலிமை

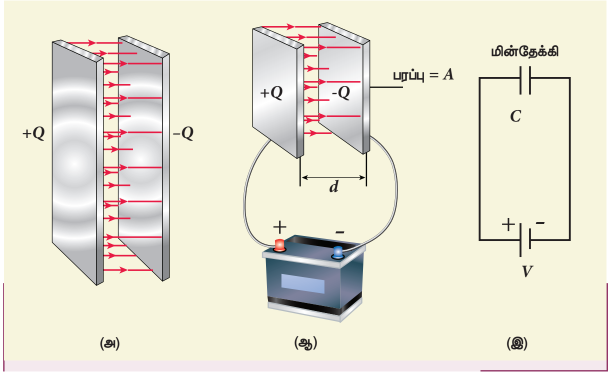
பொருள்	மின்காப்பு வலிமை $(V\,m^{-1})$
மைக்கா	100×10^6
டெப்லான்	60×10^6
காகிதம்	16×10^6
பைரக்ஸ் கண்ணாடி	14×10^6
காற்று	3×10^6

1.8 மின்தேக்கிகள் மற்றும் மின்தேக்குத்திறன்

1.8.1 மின்தேக்கிகள் (Capacitors)

மின்துகள்கள் மற்றும் மின்னாற்றலை சேமிக்க உதவும் கருவியே மின்தேக்கி. அது, சிறிய இடைவெளியில் பிரித்து வைக்கப்பட்ட இரு மின்கடத்துப் பொருள்களால் (பொதுவாக, தட்டுகள் அல்லது தகடுகள்) ஆனது. பல எலக்ட்ரானிய சுற்றுகளிலும், அறிவியல் தொழிநுட்பத் துறைகள் பலவற்றிலும் மின்தேக்கி பரவலாக பயன்படுத்தப்படுகிறது.

ஓர் எளிய மின்தேக்கியில், இரு இணையான உலோகத் தட்டுகள் சிறிய இடைவெளியில் பிரிக்கப்பட்டு உள்ளதை படம் 1.52 (அ)–ல் காணலாம்.



படம் 1.52 (அ) இணைத்தட்டு மின்தேக்கி (ஆ) மின்கலனுடன் இணைக்கப்பட்ட நிலையில் மின்தேக்கி (இ) மின்தேக்கியின் குறியீடு

மின்தேக்கியை V மின்னழுத்த வேறுபாடு கொண்ட மின்கலனுடன் இணைத்த பின்பு மின்கலனிலிருந்து (மின்தேக்கியின்) ஒரு தட்டிற்கும் இன்னொரு தட்டிலிருந்து மின்கலனுக்குமாக எலக்ட்ரான்கள் இடம்பெயர்வதால், ஒரு தட்டு –Q எதிர் மின்னூட்டமும், இன்னொன்று +Q நேர் மின்னூட்டமும் பெறுகின்றன. தட்டுகளுக்கிடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாடு மின்கலனின் முனை மின்னழுத்த வேறுபாட்டுக்குச் சமமாகும். இது படம் 1.52 (ஆ) வில் காட்டப்பட்டுள்ளது. மின்கலனின் மின்னழுத்த வேறுபாடு அதிகரிக்கப்பட்டால் தட்டுகளில் சேமிக்கப்படும் மின்துகள்களின் அளவும் அதிகரிக்கும். பொதுவாக, மின்தேக்கியில் சேமிக்கப்பட்ட மின்துகள்களின் மின்னூட்ட மதிப்பு அதன் தட்டுகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டுக்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும்.

$Q \propto V$, அல்லது $Q = CV$,

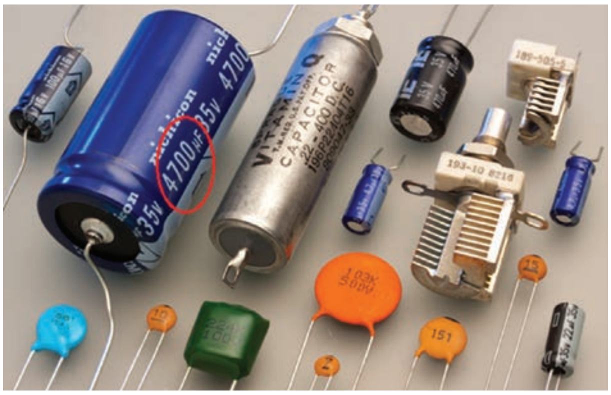
இங்கு C என்ற தகவு மாறிலி. இது மின்தேக்குத்திறன் (Capacitance) எனப்படும். **மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத்திறன் C என்பது அதன் ஏதேனும் ஒரு மின் கடத்து தட்டில் உள்ள மின்துகள்களின் மின்னூட்ட மதிப்பிற்கும் கடத்திகளுக்கு (தட்டுகளுக்கு) இடையே நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கும் இடையேவுள்ள விகிதம் என வரையறுக்கப்படுகிறது.**

$$C = \frac{Q}{V} \qquad (1.81)$$

மின்தேக்குதிறனின் SI அலகு கூலூம் / வோல்ட் (C V^{-1}) அல்லது மைக்கேல் பாரடேயின் நினைவாக பாரட் (F) என்றும் குறிக்கப்படுகிறது. பாரட் என்பது மின்தேக்குத் திறனின் மிகப்பெரிய ஓர் அலகு. நடைமுறையில் மைக்ரோபாரட் (1µF = 10^{-6} F) முதல் பைக்கோபாரட் (1pF = 10^{-12} F) வரையிலான மதிப்புகளுடன் மின்தேக்கிகள் கிடைக்கின்றன.

மின்தேக்கி ⊣⊢ அல்லது ⊣(ஆகிய குறியீடுகளால் குறிப்பிடப்படுகிறது. மின்தேக்கியின் இரு தகடுகளில் சேமிக்கப்படும் மின்துகள்களின் மொத்த மின்னூட்டம் சுழி (Q–Q=0) என்பதைக் கவனிக்கவும். மின்தேக்கி ஒன்றில் மின்துகள்கள் சேமித்து வைக்கப்படுகின்றன என நாம் சொல்லும்போது அதன் ஒரு தட்டில் சேமிக்கப்படும் மின்துகள்களின் மின்னூட்ட அளவையே குறிப்பிடுகிறோம்.

இன்றைய காலகட்டத்தில் மின்தேக்கிகள் பலவித வடிவங்களிலும் (உருளை, வட்டு) வகைகளிலும் (டாண்டலம், பீங்கான், மின்பகு மின்தேக்கிகள்) கிடைக்கின்றன [படம் 1.53].

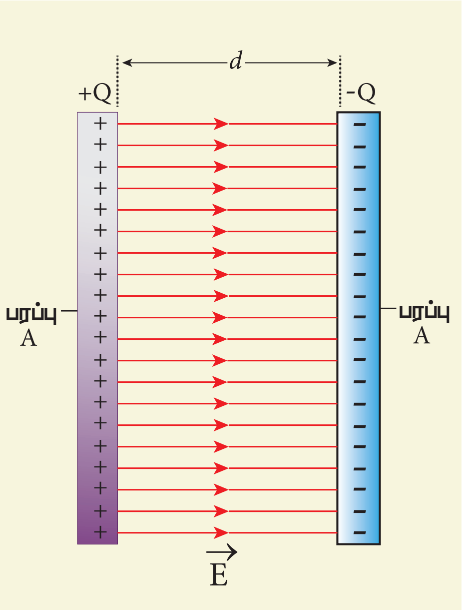


படம் 1.53 மின்தேக்கியின் பல்வேறு வகைகள்

இணைத்தட்டு மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத்திறன்

குறுக்குவெட்டுப் பரப்பளவு A மற்றும் d இடைத்தொலைவினால் பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ள இரு இணைத்தட்டுகளைக் கொண்ட மின்தேக்கியைக் கருதுவோம் [படம் 1.54].

இரு முடிவிலா இணைத் தட்டுகளுக்கிடையில் மின்புலம் சீராகவும் $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ மதிப்பு கொண்டும் இருக்கும். இங்கு σ என்பது தட்டுகளின் மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி $\left(\sigma = \frac{Q}{A}\right)$. தட்டுகளின் பரப்பளவைக் காட்டிலும் இடைத்தொலைவு d மிகவும் சிறியதாக இருப்பின் ($d^2 << A$), வரம்பிற்குட்பட்ட அளவுகொண்ட (finite sized) இணைத்தட்டு மின்தேக்கிக்கும் கூட மேலே கூறப்பட்ட சமன்பாடு பொருந்தும்.



படம் 1.54 இணைத்தட்டு மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத் திறன்

எனவே தட்டுகளுக்கிடையேயான மின்புலம்

$$E = \frac{Q}{A\epsilon_0} \qquad (1.82)$$

மின்புலம் சீராக இருப்பதால், தட்டுகளுக்கு இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாடு

$$V = Ed = \frac{Qd}{A\epsilon_0} \qquad (1.83)$$

எனவே மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத்திறன்

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\left(\frac{Qd}{A\epsilon_0}\right)} = \frac{\epsilon_0 A}{d} \qquad (1.84)$$

சமன்பாடு (1.84) ன் படி மின்தேக்குத்திறன் தட்டின் குறுக்குவெட்டுப் பரப்பளவிற்கு நேர்த்தகவிலும் இரு தட்டுகளுக்கிடையேயுள்ள தொலைவிற்கு எதிர்த்தகவிலும் உள்ளது என்பதை அறியலாம். பின்வரும் பகுப்பாய்வின் மூலமும் இதை அறியலாம்.

(i) மின்தேக்கித் தட்டுகளின் பரப்பளவை அதிகரித்தால் அதே மின்னழுத்த வேறுபாட்டில் இன்னும் அதிகளவு மின்துகள்களைப் பரவச் செய்ய இயலும். எனவே, மின்தேக்குத்திறனும் அதிகமாகும்.

(ii) தட்டுகளுக்கு இடையே உள்ள தொலைவு d ஐக் குறைக்கும்போது, E மாறிலி ஆதலால், அவற்றுக்கு இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாடும் (V) குறையும் ($V = Ed$). இப்போது மின்கலனின் இருமுனைகளுக்கு இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாடு அதிகமாக இருப்பதால், முனைகளின் மின்னழுத்த வேறுபாடும் தட்டுகளுக்கு இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாடும் சமமாகும் வரை மின்கலத்திலிருந்து தட்டுகளுக்கு மின்துகள்கள் பாயும். மாறாக, தட்டிடைத் தொலைவைக் கூட்டும்போது, மின்தேக்கியின் மின்னழுத்த வேறுபாடும் கூடுவதால் இப்போது அது மின்கலனின் மின்னழுத்தத்தை விட அதிகமாக இருக்கும். இரு மின்னழுத்தங்களும் சமமாகும் வரை மின்தேக்கித் தட்டுகளிலிருந்து மின்கலனுக்கு மின்துகள்கள் பாயும்.

எடுத்துக்காட்டு 1.20

இணைத்தட்டு மின்தேக்கி ஒன்று 5 cm பக்கம் கொண்ட இரு சதுரத் தட்டுகளை 1 mm இடைவெளியில் கொண்டுள்ளது. (அ) மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத்திறனைக் கணக்கிடு (ஆ) 10 V மின்கலம் ஒன்றை அதனுடன் இணைத்தால், ஒரு தட்டில் சேமிக்கப்படும் மின்துகள்களின் மின்னூட்ட மதிப்பைக் கணக்கிடுக. ($\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ N^{-1}m^{-2}\ C^2$)

தீர்வு

(அ) மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத்திறன்

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{8.85\times10^{-12}\times25\times10^{-4}}{1\times10^{-3}}$$
$$= 221.2\times10^{-13}\,F$$
$$C = 22.12\times10^{-12}\,F = 22.12\,pF$$

(ஆ) ஏதேனும் ஒரு தட்டில் சேமிக்கப்படும் மின்துகள் Q = CV

$$Q = 22.12\times10^{-12}\times10 = 221.2\times10^{-12}\,C = 221.2\,pC$$

சில சமயங்களில் மின் இணைப்பைக் கொடுத்தாலும் கூரை விசிறி (ceiling fan) இயங்க மறுப்பதைப் பார்த்திருப்போம். ஆனால் அதன் இறக்கைகளை சற்று சுழற்றிய பின் விசிறி இயல்பாக சுற்றுவதை அறிவோம். ஏன்? ஒரு பொருளை சுழலச் செய்ய அதன் மீது திருப்புவிசை செலுத்தப்பட வேண்டும். கூரை விசிறியில் இந்த தொடக்கத் திருப்புவிசையை அளிப்பதற்கு மின்தேக்கி பொருத்தப்பட்டுள்ளது. கண்டென்சர் (Condenser) என்ற பெயரில் அறியப்படும் மின்தேக்கி பழுதடைந்து விட்டால், தேவைப்படும் தொடக்கத் திருப்பு விசையை அதனால் அளிக்க இயலாது.

1.8.2 மின்தேக்கியில் சேமிக்கப்படும் ஆற்றல்

மின்தேக்கியானது மின்துகள்களை மட்டுமல்ல, மின்னாற்றலையும் சேமிக்கும் ஒரு கருவியாகும். மின்தேக்கி ஒன்று மின்கலனுடன் இணைக்கப்படும்போது –Q மின்னூட்ட அளவுடைய எலக்ட்ரான்கள் அதன் ஒரு தட்டிலிருந்து இன்னொன்றுக்கு இடம்பெயர்கின்றன. இந்த மின்துகள் இடப்பெயர்வுக்கு தேவைப்படும் வேலையை மின்கலன் செய்கிறது. செய்யப்பட்ட இவ்வேலையே மின்தேக்கியில் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றலாகச் சேமித்து வைக்கப்படுகிறது.

V மின்னழுத்த வேறுபாட்டில் dQ அளவு (infinitesimal) மின்னூட்டம் கொண்ட மின்துகள்களை நகர்த்த செய்யப்படும் வேலை

$$dW = V\,dQ \qquad (1.85)$$

இங்கு $V = \frac{Q}{C}$. எனவே

மின்தேக்கியை மின்னேற்றம் (charge) செய்யத் தேவைப்படும் மொத்த வேலை

$$W = \int_0^Q \frac{Q}{C}dQ = \frac{Q^2}{2C} \qquad (1.86)$$

இந்த வேலை நிலை மின்னழுத்த ஆற்றலாக (U_E) மின்தேக்கியில் சேமிக்கப்படுகிறது

$$U_E = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}CV^2 \quad (\because Q = CV) \qquad (1.87)$$

இவ்வாறு சேமிக்கப்பட்ட ஆற்றலானது மின்தேக்குத்திறனுக்கும் தட்டுகளுக்கு இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் இருமடிக்கும் நேர்த்தகவில் இருக்கின்றது. சேமிக்கப்படும் இவ்வாற்றல் எங்கே உள்ளது ? இதை அறிய சமன்பாடு (1.87) பின்வருமாறு மாற்றி எழுதலாம்.

இங்கு $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$; $V = Ed$

$$U_E = \frac{1}{2}\left(\frac{\epsilon_0 A}{d}\right)(Ed)^2 = \frac{1}{2}\epsilon_0 (Ad)E^2 \qquad (1.88)$$

இங்கு Ad = மின்தேக்கியின் தட்டுகளுக்கிடையே உள்ள பகுதியின் பருமன். இந்த இடைவெளிப்பகுதியின் **ஓரலகு பருமனில் சேமிக்கப்பட்டுள்ள ஆற்றலை, நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல் அடர்த்தி (u_E) என வரையறுக்கலாம்.**

எனவே $u_E = \frac{U_E}{Ad}$

சமன்பாடு (1.88) ஐப் பிரதியிட

$$u_E = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2 \qquad (1.89)$$

இதிலிருந்து, மின்தேக்கியின் தட்டுகளுக்கிடையே உள்ள இடைவெளியில் நிலவும் மின்புலத்தில்தான் ஆற்றல் சேமிக்கப்படுகிறது என்பதை அறிந்து கொள்ளலாம். மின்தேக்கியை மின்னிறக்கம் (discharge) செய்யும்போது ஆற்றல் திரும்பப் பெறப்படுகிறது.

ஆற்றல் அடர்த்தியானது மின்புலத்தைச் சார்ந்து மட்டுமே உள்ளது என்பதையும் தட்டுகளின் அளவைப் பொறுத்து அது அமைவது இல்லை என்பதையும் கவனிக்கவும். மேலும், சமன்பாடு (1.89) எவ்வகை மின்துகள் நிலையமைப்புக்கும் பொருந்தக்கூடிய ஒன்றாகும்.

1.8.3 மின்தேக்கிகளின் பயன்பாடுகள்

பல்வேறு எலக்ட்ரானிய சுற்றுகளிலும் மின்தேக்கிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. அவற்றுள் சிலவற்றை இங்கு காண்போம்:

(அ) நாம் அனைவரும் அறிந்த ஒன்றுதான் ஒளிப்படக் கருவி (digital camera). நாம் புகைப்படம் எடுக்கும்போது அதிலிருந்து தெறிப்பொளி (flash) வெளிப்படுவதற்கு தெறிப்பு மின்தேக்கி எனப்படும் ஒருவகை மின்தேக்கியிலிருந்து வெளிவிடப்படும் ஆற்றலே காரணமாகும். [படம் 1.55 (அ)]

(ஆ) இதய நிறுத்தம் (cardiac arrest) ஏற்படும்போது, இதய உதறல் நீக்கி (heart difibrillator) என்ற ஒரு கருவியைப் பயன்படுத்தி திடீரென அதிகளவிலான மின்னாற்றலை நோயாளியின் நெஞ்சுப் பகுதியில் செலுத்துவதன் மூலம் இதயத்துடிப்பை இயல்புக்குக் கொண்டு வருவார்கள் [படம் 1.55 (ஆ)].

(இ) தானியங்கி எந்திரங்களின், எரிபொருள் எரியூட்டும் அமைப்புகளில், தீப்பொறி உருவாவதை தவிர்க்க மின்தேக்கிகள் பயன்படுகின்றன.

(ஈ) மின் வழங்கிகளில் (Power supplies) மின்திறன் ஏற்ற இறக்கத்தைக் குறைப்பதற்கும் மின்திறன் அனுப்பீட்டில் அதன் பயனுறு திறனை அதிகரிக்கச் செய்யவும் மின்தேக்கிகள் பயன்டுகின்றன.

இருப்பினும், சில குறைபாடுகளும் மின்தேக்கிகளுக்கு உள்ளன. மின்கலனையோ மின்வழங்கியையோ அணைத்த பின்பும் மின்தேக்கியில் தேக்கி வைக்கப்பட்ட மின்துகள்களும் மின்னாற்றலும் சிறிது நேரம் இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, தொலைக்காட்சிப் பெட்டியை அணைத்த உடன் சற்று நேரம் வரை அதன் பின்பக்கத்தைத் தொடாமல் இருத்தல் அவசியம்.

1.8.4 மின்தேக்கிகளில் மின்காப்புகளின் விளைவு

இதுவரை நாம் பார்த்த விளக்கங்களில், ஒரு மின்தேக்கியின் இணைத்தட்டுகளுக்கு இடையேயுள்ள வெளிப்பகுதி வெற்றிடமாக உள்ளதாகவோ அல்லது காற்றால் நிரப்பட்டதாகவோ எடுத்துக் கொண்டோம். மின்காப்புப் பொருள்களான மைக்கா, கண்ணாடி அல்லது காகிதம் போன்றவற்றை தட்டுகளுக்கு இடையே புகுத்தினால் மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத்திறன் மாற்றம் அடையும்.

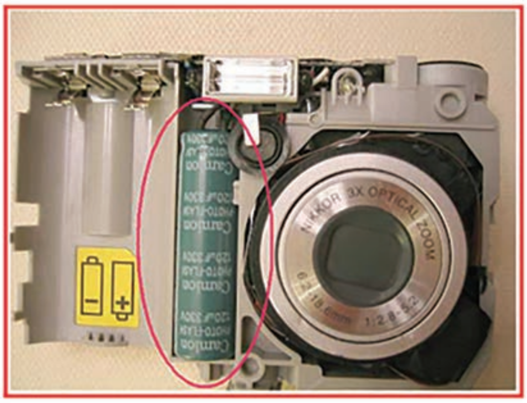
தட்டுகளுக்கிடையே மின்காப்பினை, இரு வேறு நிலைகளில் புகுத்தலாம். (i) மின்கலனுடன் இணைப்பு துண்டிக்கப்பட்ட நிலையில் மின்தேக்கி உள்ளபோது (ii) மின்கலனுடன் இணைக்கப்பட்ட நிலையில் மின்தேக்கி உள்ளபோது

(i) மின்கலனுடன் இணைப்பு துண்டிக்கப்பட்ட நிலையில் மின்தேக்கி

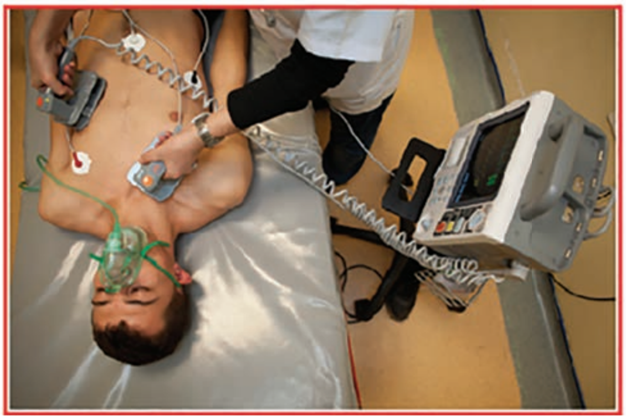
A குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பளவுடைய இரு இணைத்தட்டுகள் d இடைவெளியில் பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ள மின்தேக்கி ஒன்றைக் கருதுவோம். V_0 மின்னழுத்தமுடைய மின்கலனால் மின்தேக்கியானது Q_0 மின்னூட்டம் கொண்ட மின்துகள்களை சேமிக்கும் அளவிற்கு மின்னேற்றம் செய்யப்படுகிறது. இந்நிலையில் மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத்திறன்

$$C_0 = \frac{Q_0}{V_0} \qquad (1.90)$$

மின்கலனுடனான இணைப்பைத் துண்டித்த பின்பு, தட்டுகளுக்கு இடையே மின்காப்பு நுழைக்கப்படுகிறது. [படம் 1.56].

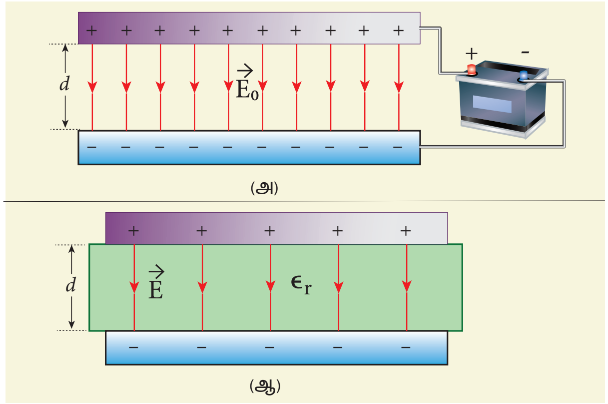


(அ)



(ஆ)

படம் 1.55 (அ) ஒளிப்படக் கருவியில் தெறிப்பு மின்தேக்கி (ஆ) இதய உதறல் நீக்கி (Heart defibrillator)



படம் 1.56 (அ) மின்கலனால் ஒரு மின்தேக்கி மின்னேற்றம் செய்யப்படுதல் (ஆ) மின்கலனின் இணைப்பு துண்டிக்கப்பட்ட பின்பு மின்காப்பு செருகப்படுதல்

மின்காப்பை நுழைத்த உடன் தட்டுகளுக்கிடையேயான மின்புலம் குறையும். ஆய்வின் அடிப்படையில், மாற்றமடைந்த மின்புலத்தை (E) பின்வரும் சமன்பாட்டினால் அறியலாம்.

$$E = \frac{E_0}{\epsilon_r} \qquad (1.91)$$

இங்கு E_0 என்பது மின்காப்பு இல்லாத நிலையில் மின்தேக்கிக்கு இடையில் உள்ள மின்புலம் மற்றும் ϵ_r என்பது மின்காப்பின் சார்பு விடுதிறன் (relative permittivity) அல்லது மின்காப்பு மாறிலி எனப்படும். இங்கு $\epsilon_r > 1$ என்பதால் $E < E_0$ ஆகும்.

இதன் விளைவாக, தட்டுகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடும் $(V = Ed)$ குறையும். அதே சமயம், மின்கலனுடன் இணைப்பு இல்லாததால் தேக்கப்பட்ட மின்துகள்கள் எங்கும் செல்லாது. அதனால் மின்னூட்ட மதிப்பு Q_0 ம் மாறாது இருக்கும்.

எனவே புதிய மின்னழுத்த வேறுபாடு,

$$V = Ed = \frac{E_0}{\epsilon_r} d = \frac{V_0}{\epsilon_r} \qquad (1.92)$$

மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு எதிர்த்தகவில் மின்தேக்குத்திறன் உள்ளதால், V குறைய C அதிகரிக்கும்.

மின்காப்பு உள்ள நிலையில் மின்தேக்குத்திறன்

$$C = \frac{Q_0}{V} = \epsilon_r \frac{Q_0}{V_0} = \epsilon_r C_0 \qquad (1.93)$$

$\epsilon_r > 1$ ஆதலால் $C > C_0$. எனவே ϵ_r மாறிலியுடைய மின்காப்பைப் புகுத்திய பின்பு மின்தேக்குத்திறன் அதிகரிக்கின்றது.

சமன்பாடு (1.84) –ன் படி

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d} = \frac{\epsilon A}{d} \qquad (1.94)$$

$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$. இங்கு ϵ என்பது மின்காப்பு ஊடகத்தின் விடுதிறன் எனப்படும்.

மின்காப்பை நுழைக்கும் முன் மின்தேக்கியில் சேமிக்கப்பட்ட ஆற்றல்

$$U_0 = \frac{1}{2}\frac{Q_0^2}{C_0} \qquad (1.95)$$

மின்காப்பு நுழைக்கப்பட்ட பின்பு, மின்னூட்டம் Q_0 மாறாமலும் மின்தேக்குத்திறன் C அதிகரித்தும் காணப்படுவதால் சேமிக்கப்பட்ட ஆற்றலின் அளவு குறையும்.

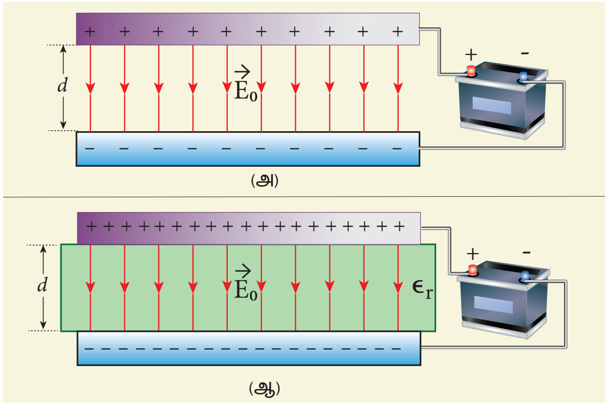
$$U = \frac{1}{2}\frac{Q_0^2}{C} = \frac{1}{2}\frac{Q_0^2}{\epsilon_r C_0} = \frac{U_0}{\epsilon_r} \qquad (1.96)$$

$\epsilon_r > 1$ ஆதலால் $U < U_0$. மின்காப்பைப் புகுத்தும்போது, அதை மின்தேக்கி உள்ளே இழுக்கிறது. இதற்காக சிறிது ஆற்றல் செலவிடப்படுவதாலேயே மின்தேக்கியின் ஆற்றல் அளவு குறைகின்றது.

(ii) மின்கலனுடன் இணைக்கப்பட்ட நிலையில் மின்தேக்கி

மின்னழுத்தம் V_0 உடைய மின்கலனுடன் மின்தேக்கியானது இணைக்கப்பட்ட நிலையிலேயே மின்காப்பை நுழைத்தால் என்ன நேர்கிறது என்பதை இப்போது பார்ப்போம் [படம் 1.57].

தட்டுகளுக்கு இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாடு V_0 மாறாமல் இருக்கும். ஆனால் இந்நிலையில் மின்காப்பைப் புகுத்தினால் மின்தேக்கியில் சேமிக்கப்படும் மின்துகள்களின் அளவு ϵ_r மடங்காக உயரும் என்பதை ஆய்வுகளின் மூலம் (இதை முதலில் செய்து காட்டியவர் பாரடே) அறிகிறோம்.



படம் 1.57 (அ) மின்கலனால் ஒரு மின்தேக்கி மின்னேற்றம் செய்யப்படுதல் (ஆ) மின்கலனுடன் இணைக்கப்பட்ட நிலையில் மின்காப்பு செருகப்படுதல்

$$Q = \epsilon_r Q_0 \qquad (1.97)$$

மின்துகள்களின் அளவு அதிகரிப்பதால், மின்தேக்குத்திறனும் அதிகரிக்கும். புதிய மின்தேக்குத்திறன்

$$C = \frac{Q}{V_0} = \epsilon_r \frac{Q_0}{V_0} = \epsilon_r C_0 \qquad (1.98)$$

எனினும், மின்கலனுடன் இணைக்கப்பட்ட நிலையிலுள்ள மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத்திறன் அதிகரிப்பதற்கான காரணமும் மின்கலனுடன் இணைப்பு துண்டிக்கப்பட்ட நிலையிலுள்ள மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத்திறன் அதிகரிப் பதற்கான காரணமும் வெவ்வேறு.

$$C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

$$\text{மற்றும் } C = \frac{\epsilon A}{d} \qquad (1.99)$$

மின்காப்பைப் புகுத்துவதற்கு முன் சேமிக்கப்பட்ட ஆற்றல்

$$U_0 = \frac{1}{2} C_0 V_0^2 \qquad (1.100)$$

இங்கு $U_0 = \frac{1}{2}\frac{Q_0^2}{C_0}$ என்ற சமன்பாட்டை நாம் பயன்படுத்தாததைக் கவனிக்கவும். ஏனெனில், மின்துகள்களின் அளவும் மின்தேக்குத்திறனும் மாறுகின்ற இந்நேர்வில் V_o மட்டுமே மாறாமல் உள்ளது.

மின்காப்பை நுழைத்தபின்பு, மின்தேக்குத்திறன் அதிகரிக்கிறது. இதனால் சேமிக்கப்பட்ட ஆற்றலும் அதிகரிக்கிறது.

$$U = \frac{1}{2} C V_0^2 = \frac{1}{2} \epsilon_r C_0 V_0^2 = \epsilon_r U_0 \qquad (1.101)$$

$\epsilon_r > 1$ ஆதலால் $U > U_0$.

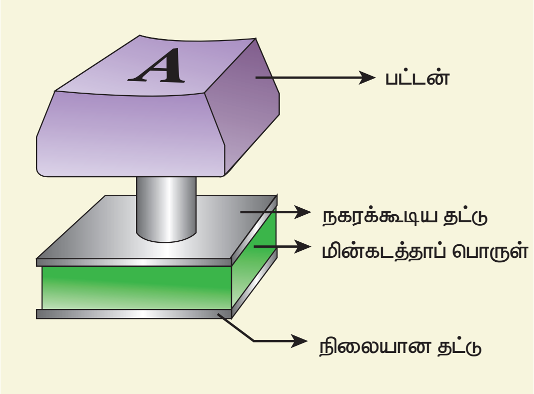
மின்தேக்கியின் மின்னழுத்த வேறுபாடு V_0 மாறாமல் உள்ளதால் தட்டுகளுக்கிடையே நிலவும் மின்புலமும் மாறாமல் இருக்கும் என்பதைக் கவனிக்கவும்.

ஆற்றல் அடர்த்தி

$$u = \frac{1}{2} \epsilon E_0^2 \qquad (1.102)$$

இங்கு ϵ என்பது மின்காப்பு ஊடகத்தின் விடுதிறன் ஆகும். இம்முடிவுகள் அட்டவணை 1.2 ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

கணினி விசைப்பலகையிலுள்ள பட்டன்கள் (keys) மின்காப்புடன் கூடிய மின்தேக்கிகளால் ஆனவை [படம்]



பட்டனை அழுத்தும்போது தட்டுகளுக்கு இடையேயுள்ள தொலைவு குறைவதால் மின்தேக்குத்திறன் அதிகரிக்கிறது. இதனால் தூண்டப்படும் எலக்ட்ரானிய சுற்றுகளால் எந்த பட்டன் அழுத்தப்பட்டது என்ற தகவல் கணினியை அடைகிறது.

அட்டவணை 1.2 மின்தேக்கிகளில் மின்காப்புகளின் விளைவு

வ.எண்	மின்காப்பு புகுத்தப்படும் போது	மின்னூட்டம் Q	மின்னழுத்த வேறுபாடு V	மின்புலம் E	மின்தேக்குத்திறன் C	ஆற்றல் U
1	மின்கலனின் இணைப்பு துண்டிக்கப்பட்டு இருந்தால்	மாறிலி	குறையும்	குறையும்	உயரும்	குறையும்
2	மின்கலன் இணைக்கப்பட்டு இருந்தால்	உயரும்	மாறிலி	மாறிலி	உயரும்	உயரும்

எடுத்துக்காட்டு 1.21

ϵ_r = 5 கொண்ட மைக்காவினால் நிரப்பப்பட்ட இணைத்தட்டு மின்தேக்கி ஒன்று 10 V மின்கலனுடன் இணைக்கப்படுகிறது. இணைத் தட்டுகளின் பரப்பளவு 6 cm^2 மற்றும் இடைத்தொலைவு 6 mm எனில்

(அ) மின்தேக்குத்திறன், சேமிக்கப்படும் மின்துகள்களின் மின்னூட்டம் மற்றும் ஆற்றலைக் காண்க.

(ஆ) முழுமையாக மின்னேற்றம் செய்யப்பட்ட பின், மின்கலனின் இணைப்பு துண்டிக்கப்பட்டு அதன்பின் மின்காப்பு கவனமாக நீக்கப்படுகிறது. புதிய மின்தேக்குத்திறன், சேமிக்கப்படும் ஆற்றல் மற்றும் மின்னூட்டத்தைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு

(அ) மின்காப்புடன் கூடிய மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத்திறன்

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d} = \frac{5\times 8.85\times 10^{-12}\times 6\times 10^{-4}}{6\times 10^{-3}}$$
$$= 44.25\times 10^{-13}\,\text{F} = 4.425\text{ pF}$$

சேமிக்கப்படும் மின்துகள்

$$Q = CV = 44.25\times 10^{-13}\times 10$$
$$= 442.5\times 10^{-13}\,\text{C} = 44.25\text{pC}$$

சேமிக்கப்படும் ஆற்றல்

$$U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\times 44.25\times 10^{-13}\times 100$$
$$= 2.21\times 10^{-10}\,\text{J}$$

(ஆ) மின்கலனின் இணைப்பு இல்லாததால் மின்காப்பை நீக்கும்போது மின்துகள்கள் மாறாமல் இருக்கும். அதனால் மொத்த மின்னூட்டமும் மாறாமல் இருக்கும். ஆனால் தட்டுகளுக்கு இடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு அதிகரிக்கும். இதனால், மின்தேக்குத்திறன் குறையும்.

புதிய மின்தேக்குத்திறன்

$$C_0 = \frac{C}{\epsilon_r} = \frac{4.425\times 10^{-12}}{5}$$
$$= 0.885\times 10^{-12}\,\text{F} = 0.885\text{pF}$$

சேமிக்கப்படும் மின்துகள்கள் மாறாததால் அதன் மின்னூட்டமும் மாறாது, அதாவது 44.25 nC. ஆகவே, புதிய நிலையில் ஆற்றல்

$$U_0 = \frac{Q^2}{2C_0} = \frac{Q^2\epsilon_r}{2C} = \epsilon_r U$$
$$= 5\times 2.21\times 10^{-10}\,\text{J} = 11.05\times 10^{-10}\,\text{J}$$

அதிகரிக்கப்பட்ட ஆற்றல்

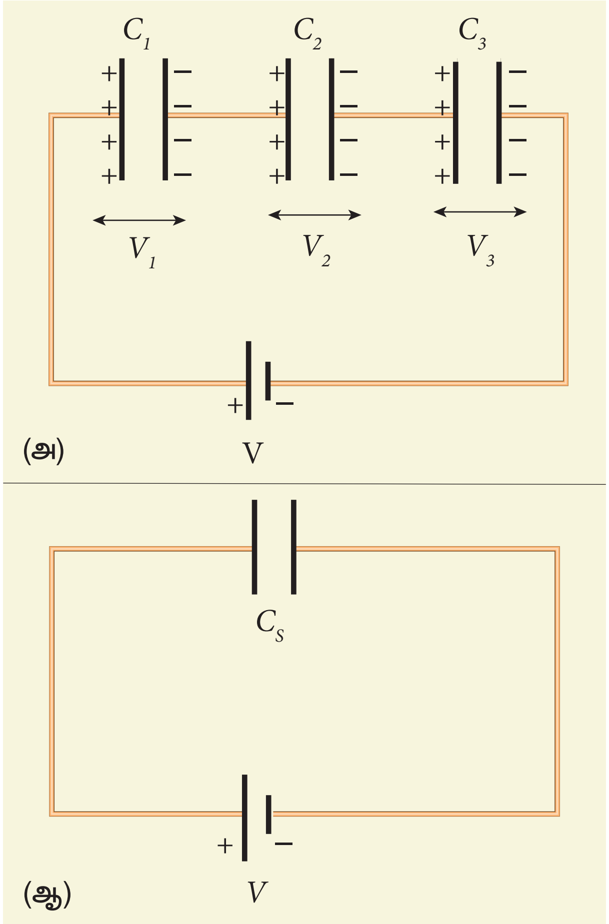
$$\Delta U = (11.05 - 2.21)\times 10^{-10}\,\text{J} = 8.84\times 10^{-10}\,\text{J}$$

மின்காப்பினை நீக்கும்போது, தட்டுகளில் உள்ள மின்துகள்களால் உள்நோக்கிய இழுவிசை அதன் மீது செயல்படும். இதற்கு எதிராக புற அமைப்பினால் செய்யப்படும் வேலையே கூடுதல் ஆற்றலாக சேமிக்கப்படுகிறது. இந்த 8.84 × 10^{-10} J அளவுள்ள ஆற்றலுக்கான மூலம் இதுவே.

1.8.5 மின்தேக்கிகள் தொடரிணைப்பிலும் பக்க இணைப்பிலும்

(i) தொடரிணைப்பில் மின்தேக்கிகள்

மின்னழுத்தவேறுபாடு V கொண்ட மின்கலனுடன் மூன்று மின்தேக்கிகள் தொடரிணைப்பில் உள்ளன; அவற்றின் மின்தேக்குத்திறன்கள் C_1, C_2 மற்றும் C_3 [படம் 1.58 (அ)] மின்கலனின் மின்இணைப்பு கொடுக்கப்பட்டவுடன் C_3 மின்தேக்கியின் வலதுபக்கத் தட்டை நோக்கி $-Q$ மின்னூட்ட



படம் 1.58 (அ) தொடரிணைப்பில் மின்தேக்கிகள் (ஆ) தொகுபயன் மின்தேக்குத் திறன் C_S

அளவுடைய எலக்ட்ரான்கள் எதிர்மின்வாயிலிருந்து இடம்பெயர்கின்றன. இம்மின்னூட்டம் அதேயளவு எலக்ட்ரான்களை ($-Q$ மின்னூட்டம்) C_3 மின்தேக்கியின் இடதுபக்கத் தட்டிலிருந்து C_2 ன் வலதுபக்கத் தட்டை நோக்கி விரட்டுகின்றது; இது நிலைமின் தூண்டலினால் நிகழ்கிறது. இதே போல் C_2 இன் இடது பக்கத் தட்டு, $-Q$ மின்னூட்ட அளவுள்ள எலக்ட்ரான்களை C_1 ன் வலதுபக்கத் தட்டை நோக்கி விரட்டுகின்றது. நிலைமின் தூண்டலின் விளைவால் C_1 ன் இடதுபக்கத் தட்டில் $+Q$ மின்னூட்டம் உருவாகிறது. அதே சமயம் C_1 ன் இடதுபக்கத் தட்டிலிருந்து $-Q$ அளவுள்ள எலக்ட்ரான்கள் மின்கலனின் நேர்மின்வாயை நோக்கி இடம்பெயர்கின்றன.

இந்நிகழ்வுகளால் ஒவ்வொரு மின்தேக்கியிலும் சம அளவு மின்னூட்டம் Q கொண்ட மின்துகள்கள் சேமிக்கப்படுகிறது. மின்தேக்கிகளின் மின்தேக்குத்திறன் வெவ்வேறாக இருப்பதால் அவை ஒவ்வொன்றின் குறுக்கே நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாடும் வெவ்வேறாக இருக்கும்; அவை முறையே V_1, V_2 மற்றும் V_3 ஆகும்.

மின்தேக்கிகளின் குறுக்கே காணப்படும் மொத்த மின்னழுத்த வேறுபாடு மின்கலனின் மின்னழுத்த வேறுபாட்டுக்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும்

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (1.103)$$

$$Q = CV \text{ ஆதலால் } V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$= Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right) \quad (1.104)$$

தொடரிணைப்பிலுள்ள மூன்று மின்தேக்கிகளும் ஒரு தனித்த மின்தேக்கியை உருவாக்குவதாகக் கொண்டால் (படம் 1.58 (ஆ))

$V = \frac{Q}{C_S}$. சமன்பாடு (1.104) இல் பிரதியிட,

$$\frac{Q}{C_S} = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right)$$

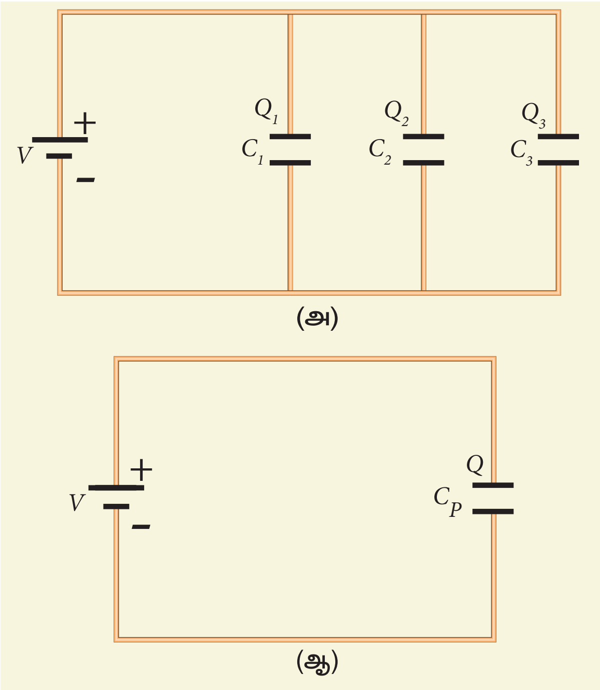
$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (1.105)$$

எனவே, மின்தேக்கிகள் தொடரிணைப்பில் உள்ளபோது தொகுபயன் மின்தேக்குத்திறன் C_S ன் தலைகீழ் மதிப்பானது ஒவ்வொரு மின்தேக்குத்திறனின் தலைகீழ் மதிப்புகளின் கூடுதலுக்குச் சமமாகும். தொகுபயன் மின்தேக்குத் திறனின் மதிப்பு C_S ஆனது தொடரிணைப்பிலுள்ள மிகக்குறைந்த மின்தேக்குத்திறனை விட எப்போதும் குறைவாகவே இருக்கும்.

(ii) பக்க இணைப்பில் மின்தேக்கிகள்

மின்னழுத்த வேறுபாடு V கொண்ட மின்கலனுடன் மூன்று மின்தேக்கிகள் பக்க இணைப்பில் உள்ளன; அவற்றின் மின்தேக்குத்திறன்கள் C_1, C_2 மற்றும் C_3 [படம் 1.59 (அ).

மின்தேக்கிகளின் ஒத்த பக்கங்கள் மின்கலனின் ஒரே நேர்முனை மற்றும் எதிர்மின்முனையுடன் இணைக்கப்பட்டு இருப்பதால், ஒவ்வொரு மின்தேக்கிக்குக் குறுக்கே தோன்றும் மின்னழுத்த வேறுபாடு சமமாகவும் அது மின்கலனின் மின்னழுத்த வேறுபாட்டுக்குச் சமமாகவும் இருக்கும்.



படம் 1.59 (அ) பக்கஇணைப்பில் மின்தேக்கிகள் (ஆ) தொகுபயன் மின்தேக்குத்திறன் (C_P)

ஒவ்வொரு மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத்திறனும் வெவ்வேறாக இருப்பதால் அவற்றில் தேக்கப்படும் மின்துகள்களின் அளவுகளும் வெவ்வேறாகவே இருக்கும். மின்தேக்கிகளில் சேமிக்கப்படும் மின்துகள் அளவுகள் முறையே Q_1, Q_2, மற்றும் Q_3 என்க. மொத்த மின்னூட்ட மாறா விதியின் படி இம்மூன்று மின்துகள்களின் மின்னூட்டங்களின் கூடுதலானது மின்கலனிலிருந்து பெறப்பட்ட மின்துகள்களின் மின்னூட்டம் Q க்கு சமம் எனலாம்.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \tag{1.106}$$

$Q = CV$ என்பதால்

$$Q = C_1V + C_2V + C_3V \tag{1.107}$$

இம்மூன்று மின்தேக்கிகளும் ஒரு தனித்த மின்தேக்கியை உருவாக்குவதாகக் கொண்டால் [படம் 1.59 (ஆ)], அதில் தேக்கப்படும் மின்னூட்டம் $Q = C_PV$ எனலாம்.

சமன்பாடு (1.107)ல் பிரதியிட,

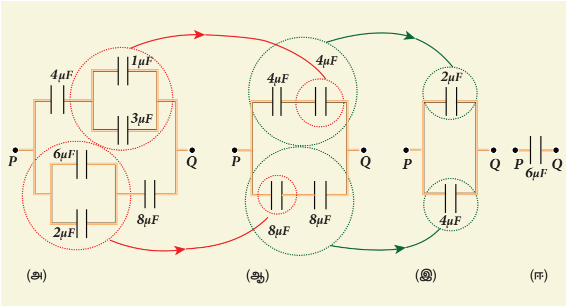
$$C_PV = C_1V + C_2V + C_3V$$

$$C_P = C_1 + C_2 + C_3 \tag{1.108}$$

மின்தேக்கிகள் பக்க இணைப்பில் உள்ளபோது அவற்றின் தொகுபயன் மின்தேக்குத்திறன் C_P யானது தனித்தனி மின்தேக்கிகளின் மின்தேக்குத்திறன்களின் கூடுதலுக்குச் சமம். தொகுபயன் மின்தேக்குத் திறனின் மதிப்பு பக்க இணைப்பிலுள்ள அதிகபட்ச தனித்த மின்தேக்குத்திறனை விட எப்போதும் அதிகமாகவே இருக்கும். பக்க இணைப்பிலுள்ள மின்தேக்கி ஒவ்வொன்றின் பரப்பளவையும் கூட்டும்போது கிடைக்கும் தொகுபயன் பரப்பளவு அதிகமாக உள்ளதால் அதன் தொகுபயன் மின்தேக்குத்திறனும் அதிகமாக உள்ளது.

எடுத்துக்காட்டு 1.22

படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள நிலையமைப்பில் P மற்றும் Q புள்ளிகளுக்கு இடையேயான தொகுபயன் மின்தேக்குத்திறனைக் காண்க.



தீர்வு

1μF மற்றும் 3μF மின்தேக்கிகள் பக்க இணைப்பிலும் அதே போல் 6μF மற்றும் 2 μF வேறொரு இடத்தில் பக்க இணைப்பிலும் உள்ளன. அவற்றின் தனித்த தொகுபயன் மின்தேக்குத்திறன்கள் அதே இடங்களில் குறிக்கப்பட்டு படம் (ஆ) –ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

$$C_{\text{தொகுபயன்}} = 1 + 3 = 4\ \mu F$$

$$C_{\text{தொகுபயன்}} = 6 + 2 = 8\ \mu F$$

படம் (ஆ) வில் இரு 4 μF மின்தேக்கிகள் தொடரிணைப்பிலும் மேலும் இரு 8 μF மின்தேக்கிகள் தொடரிணைப்பிலும் உள்ளன. அவற்றின் மின்தேக்குத்திறன்களைக் கண்டுபிடித்து படம் (இ)ல் அவற்றுக்கு இணையான சுற்று வரையப்பட்டுள்ளது.

$$\frac{1}{C_{\text{தொகுபயன்}}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \qquad \Rightarrow C_{\text{தொகுபயன்}} = 2\ \mu F$$

மேலும்,

$$\frac{1}{C_{\text{தொகுபயன்}}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{1}{4} \qquad \Rightarrow C_{\text{தொகுபயன்}} = 4\ \mu F$$

படம் (இ) –ல் 2μF மற்றும் 4μF பக்க இணைப்பில் உள்ளன.

எனவே,

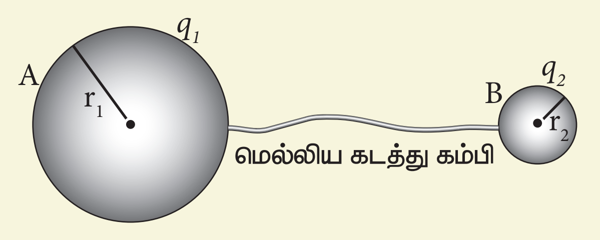
$$C_{\text{தொகுபயன்}} = 2 + 4 = 6\ \mu F$$

படம் (அ) –ல் கொடுக்கப்பட்ட, மின்தேக்கிகளின் தொகுப்பில் உள்ள மின்தேக்கிகளின் தொகுபயன் மின்தேக்குத்திறன் 6μF ஆகும்.

1.9 மின்கடத்தியில் மின்துகள்களின் பரவலும் கூர்முனைச் செயல்பாடும்

1.9.1 மின்கடத்தியில் மின்துகள்களின் பரவல்

ஆரங்கள் முறையே r_1, r_2 கொண்ட A, B என்ற இரு மின்கடத்து கோளங்கள் ஒரு மெல்லிய கடத்து கம்பியினால் ஒன்றோடொன்று இணைக்கப்பட்டுள்ளன. [படம் 1.60]. கோளங்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு அவற்றின் ஆரங்களை விட மிகவும் அதிகம் என வைக்கவும்.



படம் 1.60 மின்கடத்து கம்பியினால் இரு கடத்திகள் இணைக்கப்படுதல்

ஏதேனும் ஒரு கோளத்திற்கு Q அளவு மின்னூட்டம் கொண்ட மின்துகள்கள் அளிக்கப்படும்போது, இரு கோளங்களின் மின்னழுத்தமும் சமமாகும் வரை இம்மின்துகள்கள் இரு கோளங்களிலும் பரவுகின்றது. இப்போது கோளங்கள் சீரான மின்துகள் பரவலைப் பெறுவதால் நிலைமின் சமநிலையை அடைகின்றன. கோளம் A ன் பரப்பில் அமையும் மின்னூட்டம் q_1 எனவும், கோளம் B ன் பரப்பில் அமையும் மின்னூட்டம் q_2 எனவும் கொண்டால், $Q = q_1 + q_2$. கடத்திகளின் புறப்பரப்பிலேயே மின்துகள்கள் பரவியுள்ளன, மேலும் கடத்திகளின் உட்புறம் எவ்வித நிகர மின்னூட்டமும் இருக்காது.

கோளம் A ன் பரப்பில் நிலைமின்னழுத்தம்

$$V_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1}{r_1} \qquad (1.109)$$

கோளம் B ன் பரப்பில் நிலைமின்னழுத்தம்

$$V_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_2}{r_2} \qquad (1.110)$$

கடத்தியின் பரப்பு சம மின்னழுத்தத்தில் இருக்கும். மேலும் கோளங்கள் கடத்து கம்பியில் இணைக்கப்பட்டுள்ளதால் அவற்றின் பரப்புகள் இணைந்து ஒரே சம மின்னழுத்தப் பரப்பை உருவாக்குகின்றன.

$$V_A = V_B$$

$$\text{அல்லது} \quad \frac{q_1}{r_1} = \frac{q_2}{r_2} \qquad (1.111)$$

கோளம் A ன் மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி σ_1 எனவும் கோளம் B ன் மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி σ_2 எனவும் வைப்போம். இதிலிருந்து,

$q_1 = 4\pi r_1^2 \sigma_1$ மற்றும்

$q_2 = 4\pi r_2^2 \sigma_2$ சமன்பாடு (1.112) ல் பிரதியிட,

$$\sigma_1 r_1 = \sigma_2 r_2 \qquad (1.112)$$

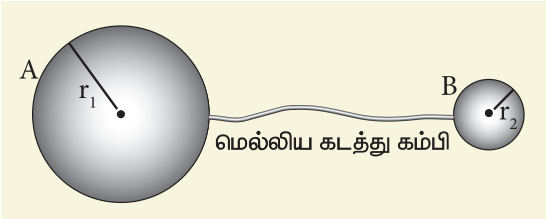
இதன் மூலம் நாம் அறிந்து கொள்வது

$$\sigma r = \text{மாறிலி} \qquad (1.113)$$

அதாவது, கோளத்தின் மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி σ அதன் ஆரத்திற்கு எதிர்த்தகவில் உள்ளது. ஆரம் குறைவாக இருந்தால் மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி அதிகமாக இருக்கும் அல்லது ஆரம் அதிகமாக இருந்தால் மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி குறைவாக இருக்கும்.

எடுத்துக்காட்டு 1.23

r_1 = 8 cm மற்றும் r_2 = 2 cm ஆரங்கள் கொண்ட இரு மின்கடத்து கோளங்கள் 8 cm நீளத்தைக் காட்டிலும் மிக அதிகமான நீளமுள்ள மெல்லிய கடத்து கம்பியினால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன [படம்]. அவற்றில் ஒரு கோளத்தில் $Q = +100$ nC அளவுள்ள மின்னூட்டம் வைக்கப்படுகிறது. ஒரு விநாடியின் பின்ன நேரத்திலேயே இம்மின்னூட்டம் பரவி அதனால் இரு கோளங்களும் நிலைமின் சமநிலையை எட்டுகின்றன.



(a) ஒவ்வொரு கோளத்திலும் அமையும் மின்துகள்களின் மின்னூட்டத்தையும் அதன் மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தியையும் கணக்கிடுக.
(b) ஒவ்வொரு கோளத்தின் பரப்பிலும் காணப்படும் மின்னழுத்தத்தை கணக்கிடுக.

தீர்வு

(a) கோளம் A இன் பரப்பில் காணப்படும் நிலைமின்னழுத்தம் $V_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1}{r_1}$

கோளம் B இன் பரப்பில் காணப்படும் நிலைமின்னழுத்தம் $V_B = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_2}{r_2}$

$V_A = V_B$ ஆதலால்

$$\frac{q_1}{r_1} = \frac{q_2}{r_2} \Rightarrow q_1 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)q_2$$

மொத்த மின்னூட்ட மாறா விதியின்படி, $Q = q_1 + q_2$

$q_1 = Q - q_2$ என மேலுள்ள சமன்பாட்டில் பிரதியிட,

$$Q - q_2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)q_2$$

எனவே, $q_2 = Q\left(\frac{r_2}{r_1 + r_2}\right)$

மேலும்,

$$q_2 = 100 \times 10^{-9} \times \left(\frac{2}{10}\right) = 20 \text{ nC}$$

மற்றும் $q_1 = Q - q_2 = 80$ nC

கோளம் A ன் மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி $\sigma_1 = \frac{q_1}{4\pi r_1^2}$

கோளம் B ன் மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி $\sigma_2 = \frac{q_2}{4\pi r_2^2}$

எனவே,

$$\sigma_1 = \frac{80 \times 10^{-9}}{4\pi \times 64 \times 10^{-4}} = 0.99 \times 10^{-6} \text{C m}^{-2}$$

மற்றும்

$$\sigma_2 = \frac{20 \times 10^{-9}}{4\pi \times 4 \times 10^{-4}} = 3.9 \times 10^{-6} \text{C m}^{-2}$$

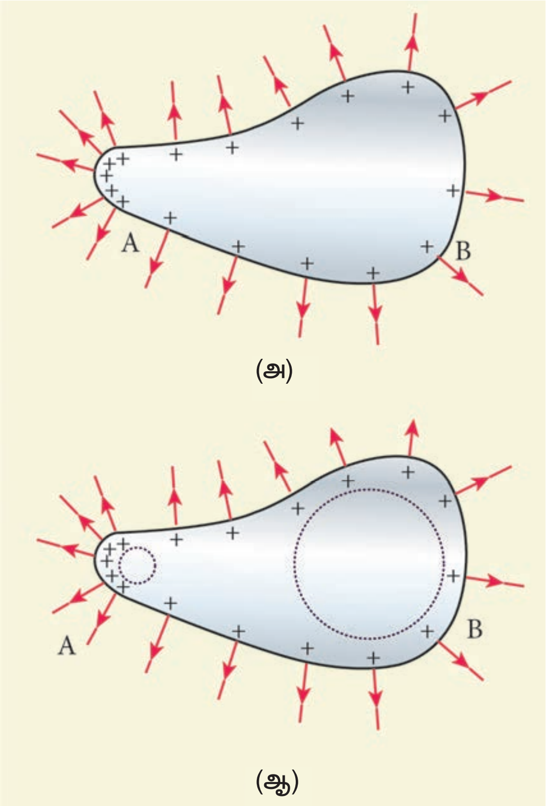
பெரிய கோளத்தைவிட சிறிய கோளத்தின் மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி அதிகமாக உள்ளதைக் கவனிக்கவும் ($\sigma_2 \approx 4\sigma_1$). இதிலிருந்து $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{r_2}{r_1}$ என்பது உறுதியாகிறது.

இரு கோளங்களின் மின்னழுத்தமும் சமம். ஆகவே, ஏதேனும் ஒரு கோளத்தின் மின்னழுத்தத்தைக் கணக்கிடலாம்

$$V_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1}{r_1} = \frac{9 \times 10^9 \times 80 \times 10^{-9}}{8 \times 10^{-2}} = 9\text{kV}$$

1.9.2 கூர்முனைச் செயல்பாடு (Action at points) அல்லது ஒளிவட்ட மின்னிறக்கம் (Corona discharge)

ஏதேனும் ஒரு வடிவமுள்ள மின்னூட்டம் பெற்ற கடத்தி ஒன்றைக் கருதுவோம் [படம் 1.61 (அ)].



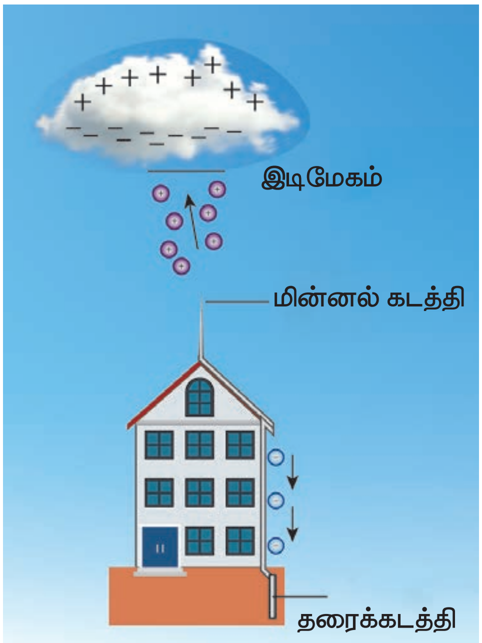
படம் 1.61 கூர்முனை செயல்பாடு (அல்லது) ஒளிவட்ட மின்னிறக்கம்

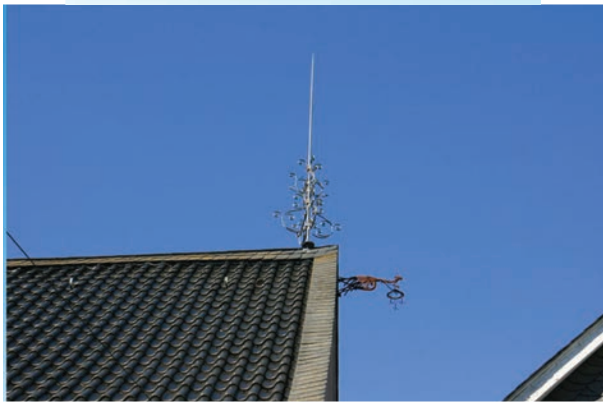
வளைவு ஆரம் குறைவாக பகுதிகளில் மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி அதிகமாக இருக்கும் என்பதை நாம் அறிவோம். கடத்தியில் வளைவுத்தன்மை அதிகமுள்ள (குறைந்த ஆரம்) முனைகளில் மின்துகள்கள் அதிகமாகக் குவிகின்றன [படம் 1.61 (ஆ)]

இதனால் அம்முனைக்கு அருகில் மின்புலம் மிகுந்தவலிமையுடன்உள்ளது.இதுஅப்பகுதியிலுள்ள காற்றை அயனியாக்கம் செய்கிறது. இப்போது, கூர்முனைக்கு அருகிலுள்ள நேர் மின்துகள்கள் விரட்டப்படுகின்றன, எதிர் மின்துகள்கள் கூர்முனையை நோக்கி கவரப்படுகின்றன. இதனால் கடத்தியின் கூர்முனைப் பகுதியிலுள்ள மின்துகள்களின் மொத்த மின்னூட்ட மதிப்பு குறைகிறது. இதையே கூர்முனைச் செயல்பாடு அல்லது ஒளிவட்ட மின்னிறக்கம் என்பர்.

1.9.3 மின்னல் தாங்கி அல்லது மின்னல் கடத்தி

உயரமான கட்டடங்களை மின்னல் வெட்டுகளிலிருந்து பாதுகாக்க உதவும் ஒரு கருவி மின்னல் கடத்தி. இது கட்டத்தின் வழியே தரைக்குச் செல்லும் ஒரு நீண்ட, தடித்த தாமிரத் தண்டினைக் கொண்டுள்ளது. அதன் மேல்முனையில் கூர்முனையுடைய ஊசிகள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன [படம் 1.62 (அ)].





படம் 1.62 (அ) மின்னல் கடத்தியின் திட்ட வரைபடம் (ஆ) மின்னல் கடத்தி பொருத்தப்பட்ட ஒரு வீடு

தண்டின் கீழ் முனையானது அதிக ஆழத்தில் புதைக்கப்பட்டுள்ள தாமிரத் தட்டுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. எதிர் மின்னூட்டம் பெற்ற மேகம் கட்டடத்தின் மேல் செல்லும் போது, கடத்தியின் கூர்முனைகளில் நேர் மின்னூட்டம் தூண்டப்படுகிறது.

கூர் முனைகளில் தூண்டப்படும் மின்துகள்களின் அடர்த்தி அதிகமாதலால் கூர்முனைச் செயல்பாடு நிகழ்கிறது. நேர் மின்னூட்டம் பெற்றுள்ள இந்த மின்துகள்கள் கூர்முனைகளுக்கு அருகிலுள்ள காற்றுமூலக்கூறுகளைஅயனியாக்கம்செய்கின்றன. இதன்மூலம் உருவாகும் நேர் மின்னூட்டங்கள்

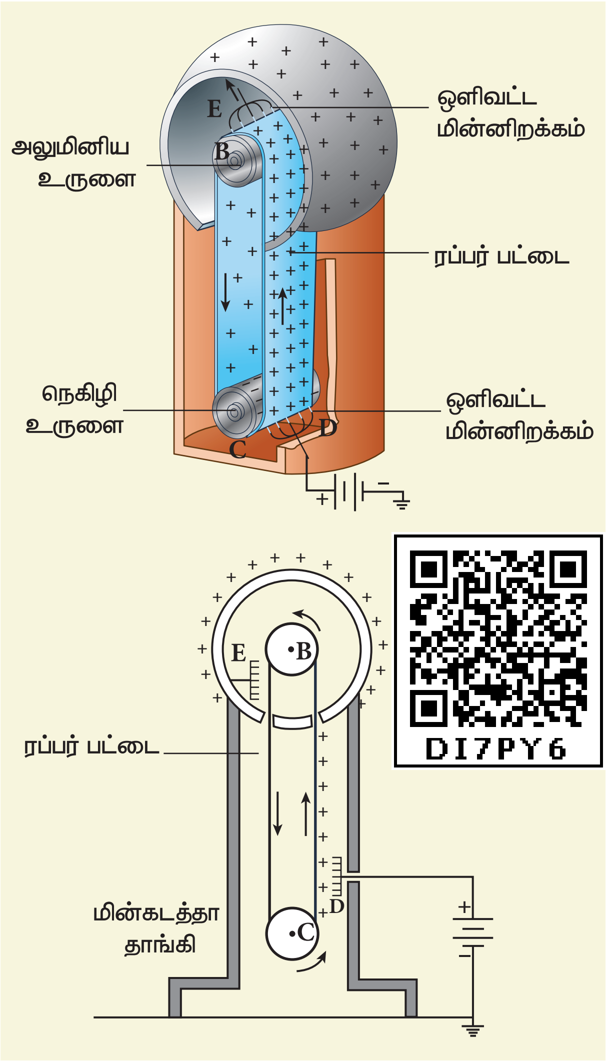
மேகத்திலுள்ள எதிர் மின்னூட்டத்தின் ஒரு பகுதியை சமன்செய்கிறது. கூர்முனைகளை நோக்கி விரட்டப்பட்ட எதிர் மின்துகள்கள், தாமிரத் தண்டின் வழியே புவியை நோக்கி செல்கின்றன. மின்னல் கடத்தி மின்னலைத் தடுப்பதில்லை. மாறாக தரையை நோக்கி மின்னலைத் திருப்புவதன் மூலம் கட்டடங்களைப் பாதுகாக்கிறது [படம் 1.62 (ஆ)].

1.9.4 வான் – டி – கிராப் மின்னியற்றி

1929 ஆம் ஆண்டில் ராபர்ட் வான் டி கிராப் என்பவர் பல மில்லியன் வோல்ட் (10^7 V) அளவிலான மிக அதிக நிலைமின்னழுத்த வேறுபாட்டை உருவாக்கும் எந்திரம் ஒன்றை வடிவமைத்தார். வான் டி கிராப் இயற்றியின் செயல்பாடு நிலைமின் தூண்டல் மற்றும் கூர்முனைச் செயல்பாடு ஆகிய தத்துவங்களின் அடிப்படையில் அமைகிறது. மின்காப்பு பெற்ற தாங்கியின் மீது ஒரு பெரிய உள்ளீடற்ற மின்கடத்து கோளம் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. கோளத்தின் நடுவில் B என்ற கப்பியும் தாங்கியின் அடிப்பகுதிக்கு அருகில் C என்ற கப்பியும் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. மின்கடத்தாப் பொருள்களான பட்டு அல்லது இரப்பரால் செய்யப்பட்ட பட்டை ஒன்று கப்பிகளின் வழியே செல்கிறது. கப்பி C மின்மோட்டார் ஒன்றினால் தொடர்ந்து இயக்கப்படுகிறது. கப்பிகளுக்கு அருகே கூர்முனைகள் கொண்ட D மற்றும் E ஆகிய இரு சீப்பு வடிவக் கடத்திகள் இணைக்கப்பட்டுள்ளன [படம் 1.63].

மின் வழங்கியின் மூலம் 10^4 V அளவிலான நேர் மின்னழுத்தவேறுபாட்டில் சீப்பு D வைக்கப்படுகிறது. சீப்பு E ஆனது கோளகக் கூட்டின் உட்புறம் இணைக்கப்பட்டுள்ளது.

கூர்முனை செயல்பாட்டின் படி சீப்பு Dக்கு அருகிலுள்ள உயர் மின்புலத்தினால், சீப்பு D க்கும் பட்டைக்கும் இடையிலான பகுதியிலுள்ள காற்று அயனியாக்கப்படுகிறது. நேர் மின்துகள்கள் பட்டையை நோக்கியும் எதிர் மின்துகள்கள் சீப்பு D ஐ நோக்கியும் நகர்கின்றன. இந்த நேர் மின்துகள்கள் பட்டையில் ஒட்டிக்கொண்டு மேல்நோக்கிச் செல்கின்றன. அவை சீப்பு E ஐ நெருங்கும்போது நிலைமின் தூண்டலால் அதிகளவிலான எதிர் மற்றும் நேர் மின்துகள்கள் சீப்பின் இருமுனைகளிலும் உருவாகின்றன. மேலும்



படம் 1.63 வான் – டி – கிராப் மின்னியற்றி

நேர் மின்துகள்கள் சீப்பு E லிருந்து விரட்டப்பட்டு கோளத்தின் புறப்பகுதியை அடைகின்றன. கோளம் கடத்திப்பொருளால் ஆனபடியால் நேர் மின்துகள்கள் கோளத்தின் புறப்பரப்பில் சீராகப் பரவுகின்றன. அதே சமயம், ஒளிவட்ட மின்னிறக்கத்தால் பட்டையிலுள்ள நேர் மின்துகள்களை காற்றிலுள்ள எதிர் மின்துகள்கள் சமன் செய்கின்றன; பின்னர் பட்டை கப்பியின் வழியே கீழே செல்கிறது.

பட்டை கீழிறங்கும்போது, மின்னூட்டமற்ற நிலையை அடைகிறது. கீழேயுள்ள சீப்பை நெருங்கியவுடன் மீண்டும் அதிக நேர் மின்துகள்களை பட்டை ஏற்கிறது. மேலே சென்ற பின் அது மீண்டும் நேர் மின்துகள்களை கோளத்தின் புறப்பரப்பிற்கு அளிக்கின்றது. இந்நிகழ்வு தொடர்ந்து ஏற்படுகிறது. கோளத்தின் புறப்பரப்பில் பெரும அளவில் கிட்டத்தட்ட

10^7 V மின்னழுத்த வேறுபாடு உருவாகும் வரை இது தொடர்கிறது. மேற்கொண்டு கோளத்தில் மின்துகள்கள் ஏற்கப்பட முடியாத நிலையை எட்டியவுடன், காற்றின் அயனியாக்கம் காரணமாக மின்துகள்கள் கசியத் தொடங்குகின்றன. உயர் அழுத்தத்தில் வாயு நிரப்பப்பட்ட எஃகுக் கலத்தினால் கோளத்தை மூடுவதன் மூலம், கோளத்திலிருந்து மின்துகள்களின் கசிவினைக் குறைக்கலாம்.

வான் டி கிராப் இயற்றியின் மூலம் பெறப்படும் உயர் மின்னழுத்த வேறுபாடு அணுக்கருப் பிளவையில் பயன்படும் நேர் அயனிகளை (புரோட்டான்கள் மற்றும் டியூட்டிரான்கள்) முடுக்குவிக்கப் பயன்படுகிறது.

எடுத்துக்காட்டு 1.24

காற்றின் மின்காப்பு வலிமை 3×10^6 V m^{-1}. வான் டி கிராப் இயற்றியின் கோளகக் கூட்டின் ஆரம் R = 0.5 m எனில் வான் டி கிராப் இயற்றியால் உருவாக்கப்படும் பெரும (maximum) மின்னழுத்த வேறுபாட்டைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு

காஸ் விதிப்படி, கோளத்தின் பரப்பில் மின்புலம்

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{R^2}$$

கோளகக் கூட்டின் பரப்பில் மின்னழுத்தம் $V = ER$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{R} = ER$$

இங்கு $V_{max} = E_{max}R$

$E_{max} = 3 \times 10^6 \text{ Vm}^{-1}$. எனவே உருவாக்கப்படும் பெரும மின்னழுத்த வேறுபாடு

$$V_{max} = 3 \times 10^6 \times 0.5$$
$$= 1.5 \times 10^6 \text{ V}$$

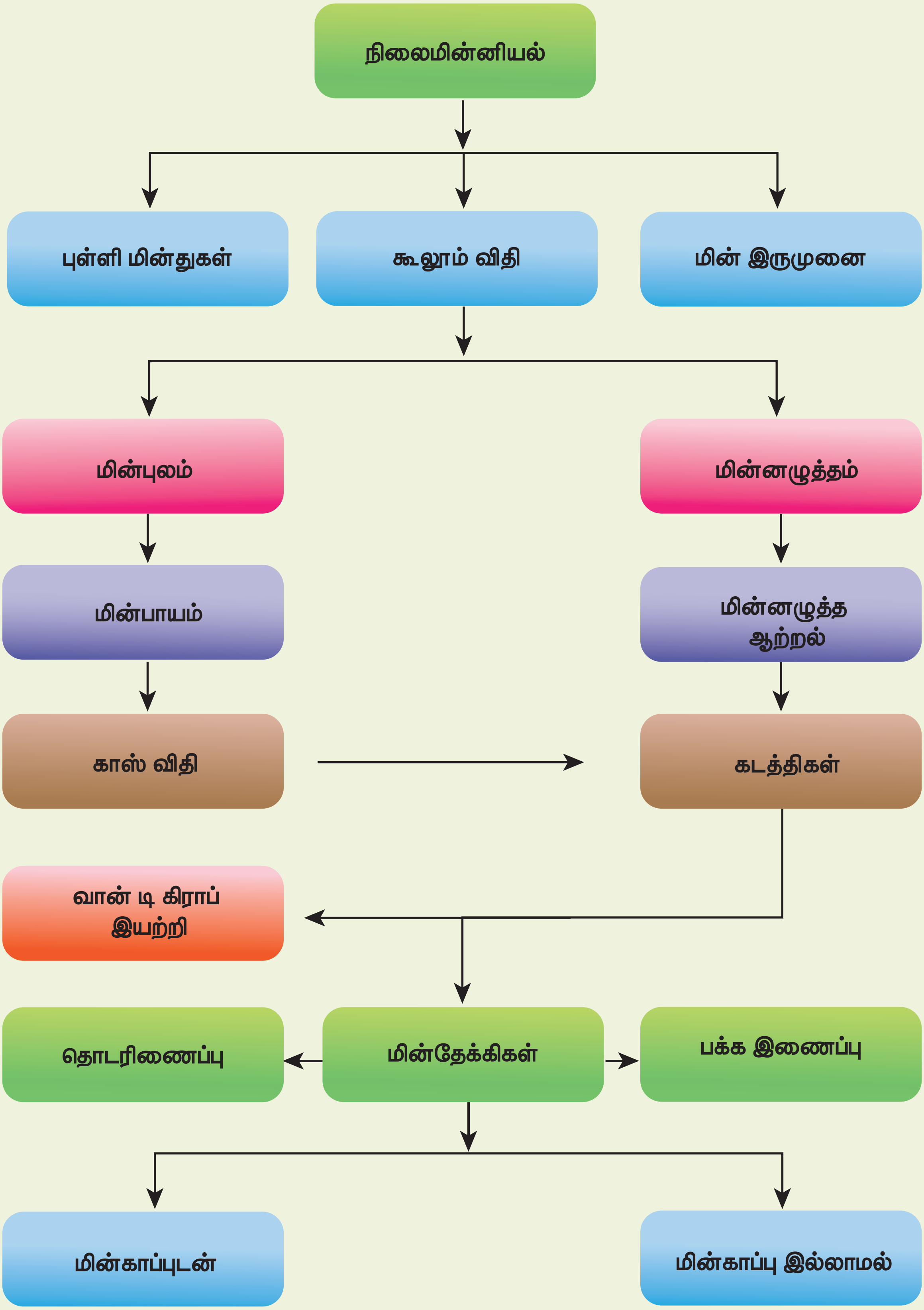
(அல்லது) 1.5 மில்லியன் வோல்ட்

பாடச்சுருக்கம்

- ஓரின மின்துகள்கள் ஒன்றையொன்று விலக்கும், வேறின மின்துகள்கள் ஒன்றையொன்று கவரும்
- பிரபஞ்சத்தின் மொத்த மின்னூட்ட மதிப்பு மாறாதது.
- மின்னூட்டம் குவாண்டமாக்கல் தன்மை உடையது.
- அதாவது, ஒரு பொருளின் மொத்த மின்னூட்டம் $q = ne$. இங்கு $n = 0,1,2,3\ldots$ மற்றும் e என்பது எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம்.
- கூலூம் விதியின் வெக்டர் வடிவம் $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{r}$ ($\hat{r}$ என்பது q_1 மற்றும் q_2 ஐ இணைக்கும் கோட்டின் திசையில் செயல்படும் ஓரலகு வெக்டர்).
- மின்துகள்களின் தொடர் பரவல்களுக்கு தொகையிடல் முறைகளைப் பயன்படுத்தலாம்.
- நிலைமின் விசைகள் மேற்பொருந்துதல் தத்துவத்திற்கு உட்படும்.
- ஒரு புள்ளி மின்துகளிலிருந்து r தொலைவில் உள்ள புள்ளியில் மின்புலமானது $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{r}$.
- மின்புலக் கோடுகள் நேர் மின்துகளிலிருந்து தொடங்கி எதிர் மின்துகளிலோ அல்லது முடிவிலாத் தொலைவிலோ முடிவடையும்.
- மின் இருமுனையால் அதன் அச்சுக்கோட்டில் உள்ள புள்ளிகளில் ஏற்படும் மின்புலம் $\vec{E}_{tot} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{2\vec{p}}{r^3}\right)$.
- மின் இருமுனையால் நடுவரைக் கோட்டில் உள்ள புள்ளிகளில் ஏற்படும் மின்புலம் $\vec{E}_{tot} = \frac{-1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{\vec{p}}{r^3}\right)$.
- சீரான மின்புலத்தில் வைக்கப்படும் இருமுனை மீது செயல்படும் திருப்பு விசை $\vec{\tau} = \vec{p}\times\vec{E}$.
- புள்ளி மின்துகளிலிருந்து r தொலைவில் நிலை மின்னழுத்தம் $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r}$.
- மின் இருமுனையால் ஏற்படும் நிலை மின்னழுத்தம் $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{\vec{p}\cdot\hat{r}}{r^2}$.
- சம மின்னழுத்தப் பரப்பிலுள்ள அனைத்துப் புள்ளிகளிலும் நிலை மின்னழுத்தம் சமமாகும்.
- மின்புலத்திற்கும் நிலை மின்னழுத்தத்திற்கும் இடையேயான தொடர்பு $\vec{E} = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial V}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial V}{\partial z}\hat{k}\right)$.
- மின்துகள்களினால் ஆன அமைப்பின் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றலானது மின்துகள்களை அவ்வடிவமைப்பில் நிலை நிறுத்துவதற்குச் செய்யப்படும் வேலைக்குச் சமமாகும்.
- சீரான மின்புலத்திலுள்ள மின் இருமுனை அமைப்பில் தேக்கி வைக்கப்படும் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல் $U = -\vec{p}\cdot\vec{E}$.
- ஒரு மூடிய பரப்பின் வழியே செல்லும் மொத்த மின்பாயம் $\phi_E = \frac{Q}{\epsilon_0}$. இங்கு Q என்பது மூடிய பரப்பினுள் உள்ள மின்துகள்களின் நிகர மின்னூட்டமாகும்.
- மின்னூட்டம் பெற்ற முடிவிலா கம்பியினால் ஏற்படும் மின்புலம் $\vec{E} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0}\frac{\lambda}{r}\hat{r}$.
- மின்னூட்டம் பெற்ற முடிவிலா சமதளப் பரப்பினால் ஏற்படும் மின்புலம் $\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}\hat{n}$ (சமதளத்திற்கு செங்குத்தாக அமையும்).

- மின்னூட்டம் பெற்ற கோளகக் கூட்டின் உட்புறம் மின்புலம் சுழி; வெளிப்புள்ளிகளுக்கு: $\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}\hat{r}$.
- ஒரு மின்கடத்தியின் உட்புறம் மின்புலம் சுழியாகும். அதன் புறப்பகுதியில் மின்புலமானது கடத்தியின் பரப்பிற்கு செங்குத்தாகவும் எண்மதிப்பு $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ கொண்டதாகவும் இருக்கும்.
- கடத்தியின் பரப்பின் மீதுள்ள அனைத்து புள்ளிகளிலும் மின்னழுத்தம் சமமாகும்.
- மின் தூண்டல் முறையைப் பயன்படுத்தி கடத்தியை மின்னேற்றம் செய்யலாம்.
- மின்காப்பு அல்லது மின்கடத்தாப் பொருள்களில் கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் கிடையாது. ஆனால் மின்புலத்தில் அவை வைக்கப்படும் போது மின்முனைவாக்கம் அடைகின்றன.
- மின்தேக்குத்திறன் $C = \frac{Q}{V}$.
- இணைத்தட்டு மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத்திறன் $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$.
- மின்தேக்கி ஒன்றில் சேமித்து வைக்கப்படும் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல் $U = \frac{1}{2}CV^2$.
- மின்தேக்கிகள் பக்க இணைப்பில் உள்ளபோது தொகுபயன் மின்தேக்குத்திறனானது தனித்தனி மின்தேக்குத் திறன்களின் கூடுதலுக்குச் சமமாகும்.
- மின்தேக்கிகள் தொடரிணைப்பில் உள்ளபோது தொகுபயன் மின்தேக்குத் திறனின் தலைகீழ் மதிப்பு தனித்தனி மின்தேக்குத் திறன்களின் தலைகீழ் மதிப்புகளின் கூடுதலுக்குச் சமமாகும்.
- ஒரு கடத்தியில் மின்துகள்களின் பரவலானது கடத்தியின் வடிவத்தைப் பொறுத்தது. கடத்தியின் கூர்முனைகளில், மின்னூட்டப் பரப்படர்த்தி அதிகமாகும். இத்தத்துவம் மின்னல் கடத்திகளில் பயன்படுகிறது.
- பெரிய அளவிலான மின்னழுத்த வேறுபாடுகளை உருவாக்க $(\sim 10^7 \mathrm{V})$, வான் டி கிராப் இயற்றி பயன்படுத்தப்படுகிறது.

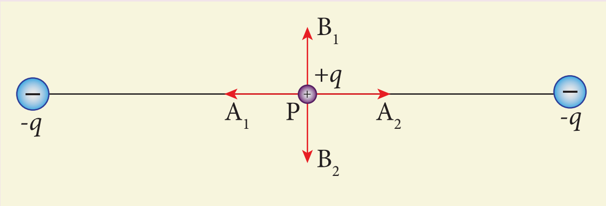
கருத்து வரைபடம்



நிலைமின்னியல்
புள்ளி மின்துகள்
கூலூம் விதி
மின் இருமுனை
மின்புலம்
மின்னழுத்தம்
மின்பாயம்
மின்னழுத்த ஆற்றல்
காஸ் விதி
கடத்திகள்
வான் டி கிராப் இயற்றி
தொடரிணைப்பு
மின்தேக்கிகள்
பக்க இணைப்பு
மின்காப்புடன்
மின்காப்பு இல்லாமல்

I சரியான விடையைத் தேர்ந்தெடுத்து எழுதுக.

1. $-q$ மின்னூட்ட மதிப்புள்ள இரு புள்ளி மின்துகள்கள் படத்தில் உள்ளவாறு வைக்கப்பட்டுள்ளன. இவற்றுக்கு நடுவில் P என்ற புள்ளியில் $+q$ மதிப்புள்ள மூன்றாவது மின்துகள் வைக்கப்படுகிறது. P லிருந்து அம்புக்குறியிட்டு காட்டப்பட்டுள்ள திசைகளில் சிறிய தொலைவுகளுக்கு $+q$ மின்துகள் நகர்த்தப்பட்டால் எந்தத் திசை அல்லது திசைகளில், இடப்பெயர்ச்சியைப் பொருத்து, $+q$ ஆனது சமநிலையில் இருக்கும் ?



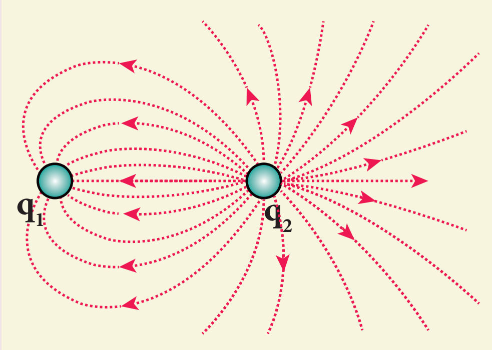
(a) A_1 மற்றும் A_2 (b) B_1 மற்றும் B_2

(c) இரு திசைகளிலும்

(d) சமநிலையில் இருக்காது

2. பின்வரும் மின்துகள் நிலையமைப்புகளில் எது சீரான மின்புலத்தை உருவாக்கும்?
   (a) புள்ளி மின்துகள்
   (b) சீரான மின்னூட்டம் பெற்ற முடிவிலா கம்பி
   (c) சீரான மின்னூட்டம் பெற்ற முடிவிலா சமதளம்
   (d) சீரான மின்னூட்டம் பெற்ற கோளகக் கூடு

3. பின்வரும் மின்புலக் கோடுகளின் வடிவமைப்பிலிருந்து இம்மின்துகள்களின் மின்னூட்ட விகிதம் $\left|\frac{q_1}{q_2}\right|$ என்ன ?



(a) $\frac{1}{5}$ (b) $\frac{25}{11}$

(c) 5 (d) $\frac{11}{25}$

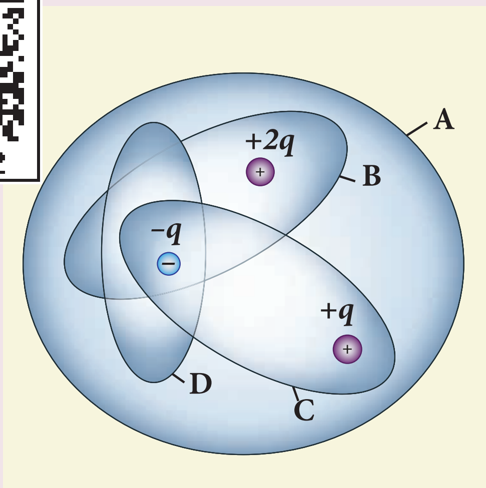
4. 2×10^5 N C^{-1} மதிப்புள்ள மின்புலத்தில் 30° ஒருங்கமைப்பு கோணத்தில் மின் இருமுனை ஒன்று வைக்கப்பட்டுள்ளது. அதன்மீது செயல்படும் திருப்புவிசையின் மதிப்பு 8 Nm. மின் இருமுனையின் நீளம் 1 cm எனில் அதிலுள்ள ஒரு மின்துகளின் மின்னூட்ட எண்மதிப்பு

(a) 4 mC (b) 8 mC

(c) 5 mC (d) 7 mC

5. மின்துகள்களை உள்ளடக்கிய நான்கு காஸியன் பரப்புகள் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன. ஒவ்வொரு காஸியன் பரப்பையும் கடக்கும் மின்பாய மதிப்புகளை தரவரிசையில் எழுதுக.

QETJN2



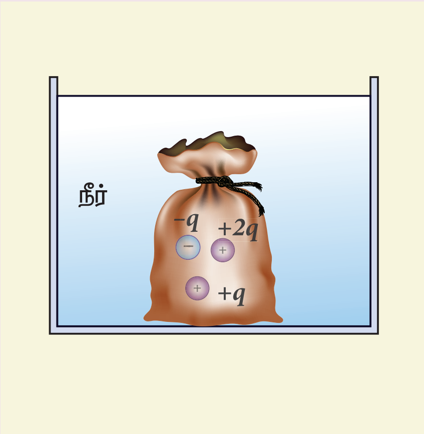
(a) D < C < B < A

(b)A < B = C < D

(c) C < A = B < D

(d) D > C > B > A

6. நீருக்குள் வைக்கப்பட்டுள்ள மூடிய பரப்பின் மொத்த மின்பாய மதிப்பு ___________



(a) $\dfrac{80q}{\epsilon_0}$ (b) $\dfrac{q}{40\epsilon_0}$

(c) $\dfrac{q}{80\epsilon_0}$ (d) $\dfrac{q}{160\epsilon_0}$

7. q_1 மற்றும் q_2 ஆகிய நேர் மின்னூட்ட அளவு கொண்ட இரு ஒரே மாதிரியான மின்கடத்துப் பந்துகளின் மையங்கள் r இடைவெளியில் பிரிக்கப்பட்டு உள்ளன. அவற்றை ஒன்றோடொன்று தொடச் செய்துவிட்டு பின்னர் அதே இடைவெளியில் பிரித்து வைக்கப்படுகின்றன, எனில் அவற்றிற்கு இடையேயான விசை (NSEP 04–05)

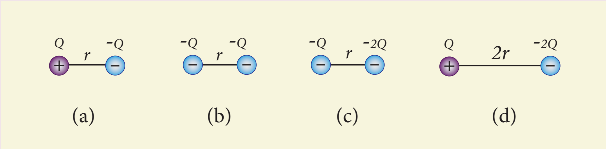
(a) முன்பை விடக் குறைவாக இருக்கும்

(b) அதேயளவு இருக்கும்

(c) முன்பை விட அதிகமாக இருக்கும்

(d) சுழி

8. பின்வரும் மின்துகள் அமைப்புகளின் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல்களை இறங்கு வரிசையில் எழுதுக.



(a) 1 = 4 < 2 < 3 (b) 2 = 4 < 3 < 1

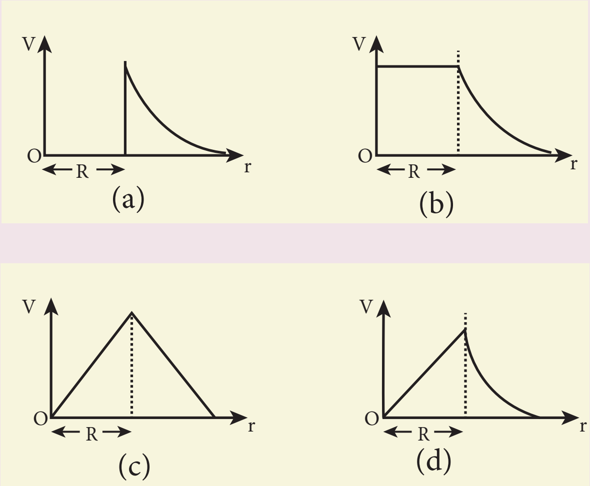
(c) 2 = 3 < 1 < 4 (d) 3 < 1 < 2 < 4

9. வெளிப்பரப்பின் ஒரு பகுதியில் மின்புலம், $\vec{E} = 10x\hat{i}$ நிலவுகிறது. மின்னழுத்த வேறுபாடு $V = V_o - V_A$ எனில் (இங்கு V_0 என்பது ஆதிப்புள்ளியில் மின்னழுத்தம்) $x = 2$ m தொலைவில் மின்னழுத்தம் V_A = ________

(a) 10 V (b) – 20 V

(c) +20 V (d) -10 V

10. R ஆரமுடைய மின்கடத்துப் பொருளாலான, மெல்லிய கோளகக் கூட்டின் பரப்பில் Q மின்னூட்ட அளவுள்ள மின்துகள்கள் சீராகப் பரவியுள்ளன. எனில், அதனால் ஏற்படும் நிலை மின்னழுத்தத்திற்கான சரியான வரைபடம் எது?



11. A மற்றும் B ஆகியஇரு புள்ளிகள் முறையே 7 V மற்றும் –4 V மின்னழுத்தத்தில் வைக்கப் பட்டுள்ளன எனில் A லிருந்து B க்கு 50 எலக்ட்ரான்களை நகர்த்தச் செய்யப்படும் வேலை

(a) 8.80×10^{-17} J

(b) -8.80×10^{-17} J

(c) 4.40×10^{-17} J

(d) 5.80×10^{-17} J

12. ஒரு மின்தேக்கிக்கு அளிக்கப்படும் மின்னழுத்த வேறுபாடு V லிருந்து 2 V ஆக அதிகரிக்கப்படுகிறது எனில், பின்வருவனவற்றுள் சரியான முடிவினைத் தேர்ந்தெடுக்க.

(a) Q மாறாமலிருக்கும், C இரு மடங்காகும்

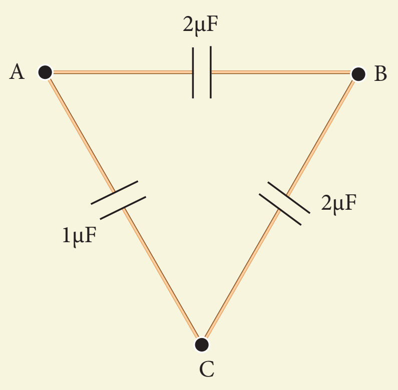
(b) Q இரு மடங்காகும், C இரு மடங்காகும்

(c) C மாறாமலிருக்கும், Q இரு மடங்காகும்

(d) Q மற்றும் C இரண்டுமே மாறாமலிருக்கும்

13. இணைத்தட்டு மின்தேக்கி ஒன்று V மின்னழுத்த வேறுபாட்டில் Q அளவு மின்னூட்டம் கொண்ட மின்துகள்களை சேமிக்கிறது. தட்டுகளின் பரப்பளவும் தட்டுகளுக்கு இடையேயான தொலைவும் இருமடங்கானால் பின்வருவனவற்றுள் எந்த அளவு மாறுபடும்.
   (a) மின் தேக்குத்திறன்
   (b) மின்துகள்
   (c) மின்னழுத்த வேறுபாடு
   (d) ஆற்றல் அடர்த்தி

14. மூன்று மின்தேக்கிகள் படத்தில் உள்ளவாறு முக்கோண வடிவ அமைப்பில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. A மற்றும் C ஆகிய புள்ளிகளுக்கிடையே உள்ள இணைமாற்று மின்தேக்குத்திறன்



   (a) 1μF (b) 2 μF
   (c) 3 μF (d) $\frac{1}{4}\mu F$

15. 1 cm மற்றும் 3 cm ஆரமுள்ள இரு உலோகக் கோளங்களுக்கு முறையே -1×10^{-2} C மற்றும் 5×10^{-2} C அளவு மின்னூட்டங்கள் கொண்ட மின்துகள்கள் அளிக்கப்படுகின்றன. இவ்விரு கோளங்களும் ஒரு மின்கடத்து கம்பியினால் இணைக்கப்பட்டால் பெரிய கோளத்தில், இறுதியாக இருக்கும் மின்னூட்ட மதிப்பு (AIIPMT –2012)
   (a) 3×10^{-2} C
   (b) 4×10^{-2} C
   (c) 1×10^{-2} C
   (d) 2×10^{-2} C

விடைகள்:

1) b	2) c	3) d	4) b	5) a
6) b	7) c	8) a	9) c	10) b
11) a	12) c	13) d	14) b	15) a

II சிறு வினாக்கள்

1. மின்னூட்டத்தின் குவாண்டமாக்கல் என்றால் என்ன?
2. கூலூம் விதியின் வெக்டர் வடிவத்தை எழுதி அதிலுள்ள ஒவ்வொரு குறியீடும் எதைச் சுட்டுகின்றது என்பதைக் கூறுக.
3. கூலூம் விசைக்கும் புவிஈர்ப்பு விசைக்கும் இடையேயான வேறுபாடுகளைக் கூறுக.
4. மேற்பொருந்துதல் தத்துவத்தைப் பற்றி சிறு குறிப்பு வரைக.
5. மின்புலம் – வரையறு.
6. மின்புலக் கோடுகள் என்றால் என்ன?
7. மின்புலக் கோடுகள் ஒன்றையொன்று வெட்டிக் கொள்ளாது நிறுவுக.
8. மின் இருமுனை – வரையறு. அதன் மின் இருமுனை திருப்புத்திறனின் எண் மதிப்பிற்கான சமன்பாடு மற்றும் திசை ஆகியவற்றை குறிப்பிடவும்.
9. புள்ளி மின் துகளின் தொகுப்பிற்கான மின் இருமுனை திருப்புத்திறனின் பொதுவான வரையறை தருக.
10. நிலை மின்னழுத்தம் – வரையறு.
11. சம மின்னழுத்தப்பரப்பு என்றால் என்ன?
12. சம மின்னழுத்தப்பரப்பின் பண்புகள் யாவை?
13. மின்புலம், நிலை மின்னழுத்தம் – இடையிலான தொடர்பைத் தருக.
14. நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல் – வரையறு.
15. மின்பாயம் – வரையறு.
16. நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல் அடர்த்தி என்றால் என்ன?

17. நிலைமின் தடுப்புறை பற்றி சிறு குறிப்பு வரைக.

18. மின்முனைவாக்கம் என்றால் என்ன?

19. மின்காப்பு வலிமை என்றால் என்ன?

20. மின்தேக்குத்திறன் – வரையறு. அதன் அலகைத் தருக.

21. ஒளிவட்ட மின்னிறக்கம் என்றால் என்ன?

III பெரு வினாக்கள்

1. மின்துகள்களின் அடிப்படைப் பண்புகள் குறித்து விவாதிக்க.

2. கூலூம் விதி மற்றும் அதன் பல்வேறு தன்மைகள் குறித்து விரிவாகக் கூறுக.

3. மின்புலத்தை வரையறுத்து அதன் பல்வேறு தன்மைகளை விவாதிக்க.

4. மின் இருமுனை ஒன்றினால் அதன் அச்சுக்கோடு மற்றும் நடுவரைக் கோட்டில் ஏற்படும் மின்புலத்தைக் கணக்கிடுக.

5. சீரான மின்புலத்தில் வைக்கப்படும் மின் இருமுனை மீது செயல்படும் திருப்பு விசையின் கோவையைப் பெறுக.

6. புள்ளி மின்துகள் ஒன்றினால் ஏற்படும் நிலை மின்னழுத்தத்திற்கான கோவையைத் தருவிக்க.

7. மின் இருமுனை ஒன்றினால் ஏற்படும் நிலை மின்னழுத்தத்திற்கான கோவையைப் பெறுக.

8. வரம்பிற்குட்பட்ட தொலைவுகளில் பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ள மூன்று புள்ளி மின்துகள்களின் தொகுப்பினால் ஏற்படும் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றலுக்கான கோவையைப் பெறுக.

9. சீரான மின்புலத்தில் வைக்கப்படும் மின் இருமுனையின் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றலுக்கான சமன்பாட்டை வருவிக்க.

10. கூலூம் விதியிலிருந்து காஸ் விதியைப் பெறுக.

11. மின்னூட்டம் பெற்ற முடிவிலா நீளமுள்ள கம்பியினால் ஏற்படும் மின்புலத்திற்கான சமன்பாட்டைப் பெறுக.

12. மின்னூட்டம் பெற்ற முடிவிலா சமதளப் பரப்பினால் ஏற்படும் மின்புலத்திற்கான சமன்பாட்டை வருவிக்க.

13. மின்னூட்டம் சீராகப் பெற்ற ஒரு கோளகக் கூட்டினால் ஏற்படும் மின்புலத்திற்கான சமன்பாட்டைத் தருவிக்க.

14. நிலை மின் சமநிலையில் உள்ள கடத்திகளின் பல்வேறு பண்புகளை விவாதிக்கவும்.

15. நிலை மின் தூண்டல் செயல்முறையை விவரிக்கவும்.

16. மின்காப்பை விளக்கி எவ்வாறு மின்காப்பினுள் மின்புலம் தூண்டப்படுகிறது என்பதையும் விளக்கவும்.

17. இணைத்தட்டு மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத் திறனுக்கான கோவையைப் பெறுக

18. இணைத்தட்டு மின்தேக்கியினுள் சேமித்து வைக்கப்படும் ஆற்றலுக்கான சமன்பாட்டைப் பெறுக.

19. இணைத்தட்டு மின்தேக்கியினுள் மின்காப்பு வைக்கப்படுவதால் ஏற்படும் விளைவுகளை விரிவாக எழுதுக.

20. தொடரிணைப்பு மற்றும் பக்க இணைப்பில் மின்தேக்கிகள் இணைக்கப்படும்போது விளையும் தொகுபயன் மின்தேக்குத் திறனுக்கான சமன்பாடுகளைப் பெறுக.

21. ஒரு கடத்தியில் மின்துகள்களின் பரவலைப் பற்றி விரிவாக எழுதுக. மின்னல் கடத்தியின் தத்துவத்தை விளக்குக.

22. வான்டி கிராப் இயற்றியின் அமைப்பு மற்றும் வேலை செய்யும் விதத்தை விரிவாக விளக்கவும்.

IV கணக்குகள்

1. இரு பொருள்கள் ஒன்றோடொன்று தேய்க்கப்படும்போது அவை ஒவ்வொன்றிலும் கிட்டத்தட்ட 50 nC மின்னூட்டம் உருவாகின்றது. இம் மின்னூட்டத்தை உருவாக்க இடம்பெயரச் செய்ய வேண்டிய எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடுக

   விடை: 31.25×10^{10} எலக்ட்ரான்கள்

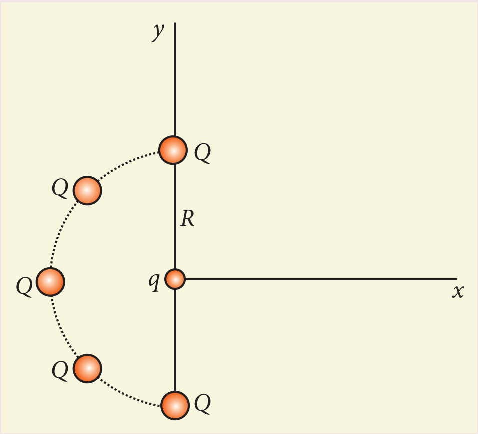
2. மனித உடலில் உள்ள மொத்த எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை கிட்டத்தட்ட 10^{28}. ஏதோ சிலகாரணங்களால், நீயும் உன்

நண்பரும் இவற்றில் 1% எலக்ட்ரான்களை இழந்து விடுகிறீர்கள். 1 m இடைவெளியில் நீங்கள் நின்றால் உங்கள் இருவருக்கும் இடையே உருவாகும் நிலைமின் விசையைக் கணக்கிடுக. இதை உன் எடையுடன் ஒப்பிடுக. (உங்கள் ஒவ்வொருவரின் நிறையும் 60 kg என வைத்துக் கொள்ளவும், மேலும் புள்ளி மின்துகள் தோராயமாக்கலைப் பயன்படுத்தவும்)

விடை: $F_e = 23 \times 10^{23}$ N, W = 588 N,

$$\frac{F_e}{W} = 3.9 \times 10^{21}$$

3. ஐந்து ஒரே மாதிரியான மின்துகள்கள் (ஒவ்வொன்றின் மின்னூட்டமும் Q) சமதொலைவில், R ஆரம் கொண்ட அரை வட்ட வடிவில் வைக்கப்பட்டுள்ளன [படம்]. இதன் மையத்தில் இன்னொரு புள்ளி மின்துகள் q வைக்கப்படுகிறது. மின்துகள் q உணரும் நிலைமின் விசையைக் கணக்கிடுக.



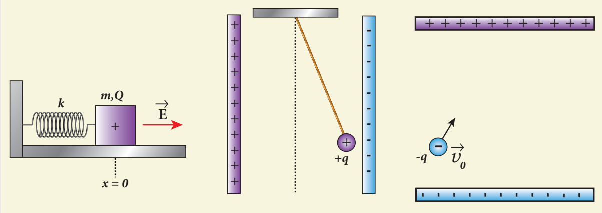
விடை: $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_\circ}\frac{qQ}{R^2}\left(1+\sqrt{2}\right)N\hat{i}$

4. $+q$ அளவுள்ள மின்னூட்டம் கொண்ட மின்துகள்கள் புவியின் பரப்பிலும் இன்னொரு $+q$ மின்னூட்டம் கொண்ட மின்துகள் நிலவின் பரப்பிலும் வைக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். (அ) புவிக்கும் நிலவிற்கும் இடையே உள்ள ஈர்ப்பு விசையை ஈடு செய்ய வேண்டுமெனில் q இன் மதிப்பைக் கணக்கிடுக. (ஆ) புவிக்கும் நிலவிற்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு பாதியானால், q ன் மதிப்பு மாறுமா?

(m_E = 5.9 × 10^{24} kg, m_M = 7.9 × 10^{22} kg என வைக்கவும்)

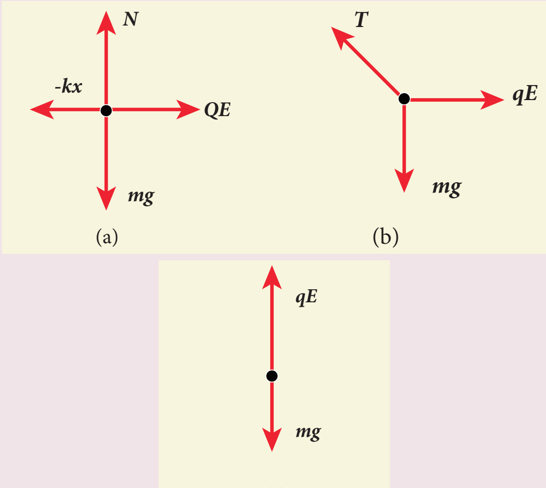
விடை: (அ) $q \approx +5.87 \times 10^{13}$ C, (ஆ) மாறாது

5. படம் (அ) (ஆ) மற்றும் (இ) ல் காட்டப்பட்டுள்ள மின்துகள்களின் தனித்த பொருள் விசைப்படங்களை வரைக.



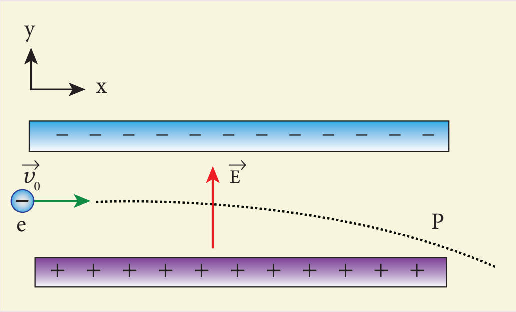
(a) (b) (c)

விடை:



(a) (b) (c)

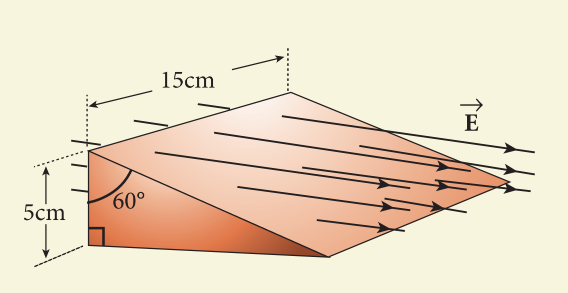
6. v_0 திசைவேகத்தில் இயங்கும் எலக்ட்ரான் ஒன்று $\vec{v}_0$ ன் திசைக்கு செங்குத்தான திசையில் செயல்படும் சீரான மின்புலம் $\vec{E}$ உள்ள பகுதியை அடைகிறது. [படம்]. ஈர்ப்பு விசையைப் புறக்கணித்து, நேரத்தைப் பொறுத்த எலக்ட்ரானின் முடுக்கம், திசைவேகம் மற்றும் இருப்பிட நிலை (Position) ஆகியவற்றைப் பெறுக.



விடை :

$$\vec{a} = -\frac{eE}{m}\hat{j}\ ,\vec{v} = v_0\hat{i} - \frac{eE}{m}t\hat{j}\ ,\vec{r} = v_0 t\hat{i} - \frac{1}{2}\frac{eE}{m}t^2\hat{j}$$

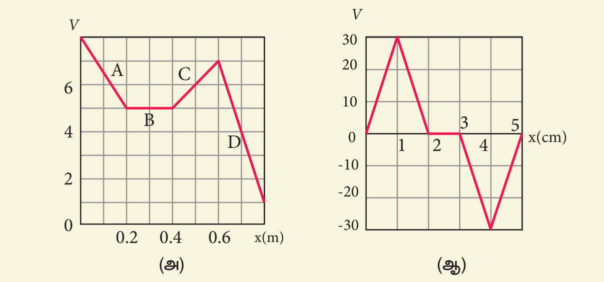
7. $E = 2 \times 10^3$ N C^{-1} வலிமையுடைய மின்புலம் ஒன்றில் மூடப்பட்ட பரப்பையுடைய முக்கோணப் பெட்டி வைக்கப்பட்டுள்ளது



(அ) அதில் நெடுக்கைத் (vertical) திசையில் அமைந்த செவ்வகப் பரப்பு (ஆ) சாய்வான பரப்பு மற்றும் (இ) மொத்த பரப்பு ஆகியவற்றைக் கடக்கும் மின்பாயத்தைக் கணக்கிடுக.

விடை: (அ) 15 $Nm^2 C^{-1}$ (ஆ) 15 $Nm^2 C^{-1}$ (இ) சுழி

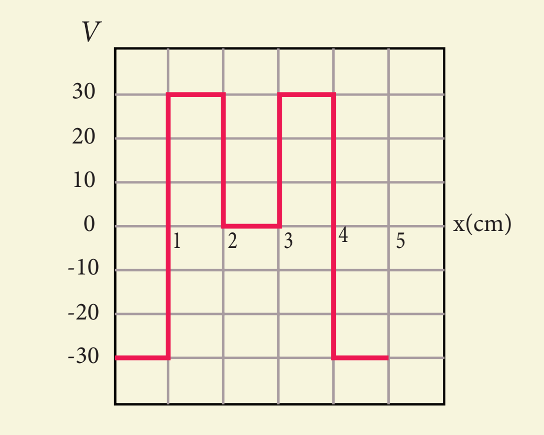
8. தொலைவு x –ன் சார்பாக நிலை மின்னழுத்தம் வரையப்பட்டுள்ளது [படம் (அ)] . A, B, C மற்றும் D ஆகிய பகுதிகளில் மின்புலம் E ன் மதிப்பினைக் கணக்கிடுக. படம் (ஆ) விற்கு தொலைவு x – சார்பாக மின்புலத்தின் மாறுபாட்டை வரைக.



விடை: (அ) E_X = 15 Vm^{-1} (பகுதி A), E_X = –10 Vm^{-1} (பகுதி C)

E_X = 0 (பகுதி B), E_X = 30 Vm^{-1} (பகுதி D)

(ஆ)

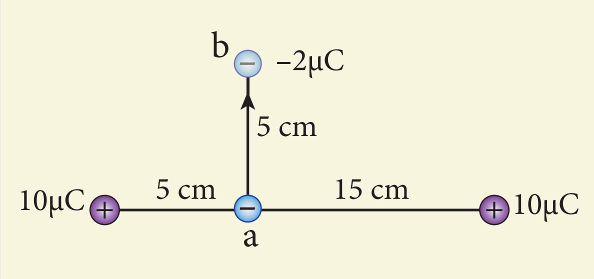


9. மோட்டார் வண்டி அல்லது மகிழுந்து உள்ளிட்ட வாகனங்களின் எந்திரத்தினுள் காற்று – எரிபொருள் கலவையைப் பற்ற வைக்கப் பயன்படும் அமைப்பே பொறிச் செருகி (spark plug). அதில் 0.6 mm இடைவெளியில் பிரித்து வைக்கப்பட்ட இரு மின்முனைகள் இருக்கின்றன.

தீப்பொறியை ஏற்படுத்த 3×10^6 Vm^{-1} வலிமை கொண்ட மின்புலம் தேவைப்படுகிறது. எனில் (அ) தேவைப்படும் மின்னழுத்த வேறுபாடு எவ்வளவு? (ஆ) இடைவெளியை அதிகரித்தால், மின்னழுத்த வேறுபாடு அதிகரிக்குமா, குறையுமா அல்லது மாறாமல் இருக்குமா? (இ) இடைவெளி 1 mm எனில் மின்னழுத்த வேறுபாட்டைக் காண்.

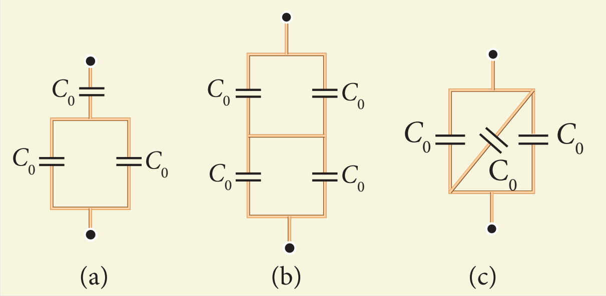
விடை: (அ) 1800V, (ஆ) அதிகரிக்கும் (இ) 3000 V

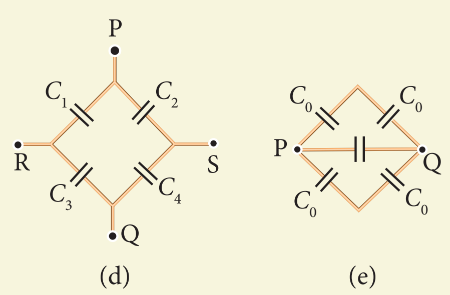
10. +10 μC மின்னூட்டமுடைய புள்ளி மின்துகள் ஒன்று இன்னொரு +10 μC மதிப்புடைய புள்ளி மின்துகளிலிருந்து 20 cm இடைவெளியில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. –2 μC மதிப்புடைய புள்ளி மின்துகள் ஒன்று புள்ளி a விலிருந்து b க்கு நகர்த்தப்படுகிறது. எனில் அமைப்பின் மின்னழுத்த ஆற்றலில் ஏற்படும் மாறுபாட்டைக் கணக்கிடுக. விடையின் உட்பொருளை விளக்குக.



விடை: $\Delta U = +1.12$ J, -2 μC மின்னூட்ட மதிப்புடைய மின்துகளை நகர்த்த வெளிப்புறத்திலிருந்து வேலை செய்யப்பட வேண்டும் என்பதையே நேர்க்குறி காட்டுகிறது.

11. படத்தில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள ஒவ்வொரு மின்தேக்கித் தொகுப்பின் தொகுபயன் மின்தேக்குத் திறனையும் கணக்கிடுக.





விடை (a) $\frac{2}{3}C_0$ (b) C_0 (c) $3C_0$

(d) RS ன் குறுக்கே:

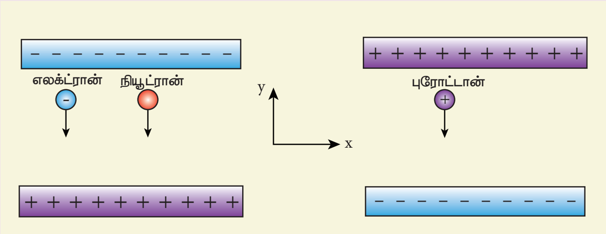
$$\frac{C_1C_2C_3 + C_2C_3C_4 + C_1C_2C_4 + C_1C_3C_4}{(C_1 + C_2)(C_3 + C_4)}$$

PQ ன் குறுக்கே:

$$\frac{C_1C_2C_3 + C_2C_3C_4 + C_1C_2C_4 + C_1C_3C_4}{(C_1 + C_3)(C_2 + C_4)}$$

(e) PQ இன் குறுக்கே: $2\ C_0$

12. h = 1 mm இடைவெளி கொண்ட 5 V மின்னழுத்த வேறுபாடு அளிக்கப்பட்ட இணைத்தட்டு மின்தேக்கி ஒன்றின் தட்டுகளுக்கு இடைப்பட்ட பகுதியில் ஒரு எலக்ட்ரானும், ஒரு புரோட்டானும் விழுகின்றன



(அ) எலக்ட்ரான் மற்றும் புரோட்டானின் பறக்கும் நேரத்தைக் கணக்கிடுக. (ஆ) நியூட்ரான் ஒன்று விழுந்தால் அதன் பறக்கும் நேரம் எவ்வளவு? (இ) இம்மூன்றில் எது முதலில் அடித்தட்டை அடையும்? ($m_p = 1.6 \times 10^{-27}$ kg, $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg மற்றும் $g = 10$ m s^{-2})

விடை:

(அ) $t_e = \sqrt{\frac{2hm_e}{eE}} \approx 1.5\text{ns}$ (ஈர்ப்பு விசையைப் புறக்கணித்து),

$t_p = \sqrt{\frac{2hm_p}{eE}} \approx 63\text{ns}$ (ஈர்ப்பு விசையைப் புறக்கணித்து)

(ஆ) $t_n = \sqrt{\frac{2h}{g}} \approx 14.1\text{ms}$

(இ) முதலில் எலக்ட்ரான் வந்தடையும்

13. இடியுடன் கூடிய மழையின் போது, மேகங்களுக்குள் இருக்கும் நீர் மூலக்கூறுகளின் இயக்கம் ஏற்படுத்தும் உராய்வினால் மேகங்களின் அடிப்பகுதி எதிர்மின்னூட்டம் கொண்ட மின்துகள்களை பெறுகின்றது. இப்போது மேகத்தின் அடிப்பகுதியும் தரையும் ஓர் இணைத்தட்டு மின்தேக்கியைப் போலச் செயல்படுகின்றன. மேகத்திற்கும் தரைக்கும் இடையேயான மின்புலமானது காற்றின் மின்காப்பு வலிமையை விட (அதாவது 3×10^6 Vm^{-1}), அதிகமாக இருந்தால் மின்னல் உருவாகும்.

(அ) தரையிலிருந்து மேகத்தின் அடிப்பகுதி 1000 m உயரத்தில் இருப்பின், மேகத்திற்கும் தரைக்கும் இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாட்டைக் கண்டுபிடிக்கவும்.

(ஆ) பொதுவில், ஒரு மின்னல் வெட்டு ஏற்படும்போது ஏறத்தாழ 25C மின்னூட்ட அளவுள்ள எலக்ட்ரான்கள் மேகத்திலிருந்து தரைக்குப் பெயர்கின்றன. இதில் தரைக்குப் பெயர்க்கப்படும் நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல் எவ்வளவு?

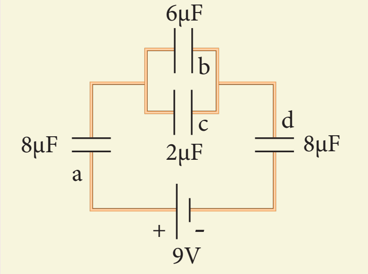
விடை: (அ) $V = 3 \times 10^9$ V, (ஆ) $U = 75 \times 10^9$ J

14. படத்தில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள மின்தேக்கி நிலையமைப்பில்

(அ) ஒவ்வொரு மின்தேக்கியிலும் சேமிக்கப்படும் மின்துகள்களின் மின்னூட்ட மதிப்பைக் காண்க.

(ஆ) ஒவ்வொன்றின் குறுக்கேயும் உருவாகும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டைக் காண்க.

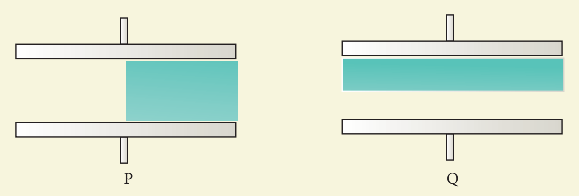
(இ) மின்தேக்கி ஒவ்வொன்றிலும் சேமிக்கப்படும் ஆற்றலைக் காண்க.



விடை:

$Q_a = 24\ \mu C$, $Q_b = 18\ \mu C$,
$Q_c = 6\ \mu C$, $Q_d = 24\ \mu C$
$V_a = 3V$, $V_b = 3V$,
$V_c = 3V$, $V_d = 3V$,
$U_a = 36\ \mu J$, $U_b = 27\ \mu J$,
$U_c = 9\ \mu J$, $U_d = 36\ \mu J$

15. P மற்றும் Q ஆகிய இரு மின்தேக்கிகள் ஒரே மாதிரியான குறுக்குவெட்டுப்பரப்பு A மற்றும் இடைவெளி d கொண்டுள்ளன. மின்தேக்கிகளின் இடைவெளியில் படத்தில் கொடுத்துள்ளபடி, ϵ_r மின்காப்பு மாறிலி உடைய மின்காப்புகள் செருகப்படுகின்றன எனில், P மற்றும் Q மின்தேக்கிகளின் மின்தேக்குத் திறன்களைக் கணக்கிடுக.



விடை: $C_P = \dfrac{\epsilon_0 A}{2d}(1+\epsilon_r), C_Q = \dfrac{2\epsilon_0 A}{d}\left(\dfrac{\epsilon_r}{1+\epsilon_r}\right)$

மேற்கோள் நூல்கள் (BOOKS FOR REFERENCE)

1. Douglas C.Giancoli, , “*Physics for Scientist & Engineers with Modern Physics*”, Pearson Prentice Hall, Fourth edition.
2. James Walker, “*Physics*”, Pearson- Addison Wesley Publishers, Fourth Edition.
3. Purcell, Morin, “*Electricity and Magnetism*”, “Cambridge University Press, Third Edition.
4. Serway and Jewett, “*Physics for Scientist and Engineers with Modern Physics*”, Brook/Coole Publishers, Eighth Edition.
5. Tipler, Mosca, “*Physics for scientist and Engineers with Modern Physics*”, Freeman and Company, Sixth Edition.
6. Tarasov and Tarasova, “*Questions and problems in School Physics*”, Mir Publishers.
7. H.C.Verma, “*Concepts of Physics: Vol 2*, Bharthi Bhawan Publishers.
8. Eric Roger, *Physics for the Inquiring Mind,* Princeton University Press.

இணையச் செயல்பாடு

நிலை மின்னியல்

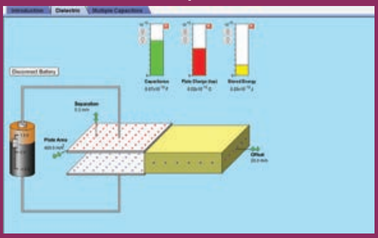
நோக்கம்: மின்தேக்கி மற்றும் மின்தேக்குத்திறனை பாதிக்கும் காரணிகளைப் பற்றி மாணவர்கள் இந்த செயல்பாடு மூலம் புரிந்து கொள்வார்கள்.

தலைப்பு: மின்தேக்கி ஆய்வகம்

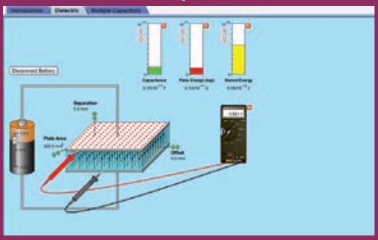
படிகள்

- "phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/capacitor–lab" என்ற வலைப் பக்கத்திற்கு சென்று 'Dielectric' என்ற தாவலை சொடுக்கவும்.
- தட்டுகளின் பரப்பு, தட்டுகளுக்கு இடையே உள்ள தொலைவு மற்றும் மின்காப்புப் பொருள் ஆகியவற்றை மாற்றம் செய்து மின் தேக்குத் திறன் எவ்வாறு மாற்றமடைகிறது என கவனிக்கவும்.
- மின்னூட்டம், மின்னழுத்த வேறுபாடு மற்றும் மின்தேக்கியின் ஆற்றல் ஆகியவைகளுக்கு இடையேயான தொடர்பை ஆய்வு செய்யுங்கள்.
- மின்காப்புப் பொருளை தட்டுகளிடையே வைப்பதனால் ஏற்படும் விளைவு என்ன?(வெவ்வேறு மின் காப்புப் பொருளை பயன்படுத்துக)

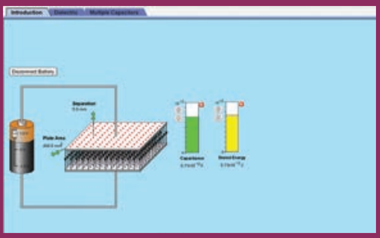
படி 1



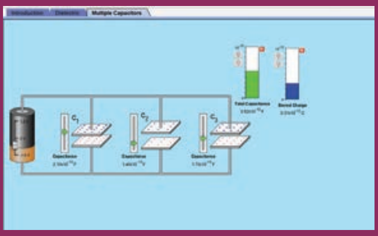
படி 2



படி 3



படி 4



மின்தேக்கியை இணையாக மற்றும் தொடராக இணைத்து தொகுபயன் மின் தேக்குத் திறனை காண்க.

குறிப்பு:

உங்கள் உலாவியில் flash player இல்லையென்றால் அதனை நிறுவவும். நீங்கள் 'phet' பாவிப்பியை அகல்நிலையில் பயன்படுத்த இந்த உரலியை சொடுக்குங்கள். https://phet.colorado.edu/en/offline–access

உரலி:

https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/capacitor-lab

*படங்கள் அடையாளத்திற்கு மட்டும்.

* தேவையெனில் Flash Player or Java Script அனுமதிக்க.

B226_12_PHYSICS_TM