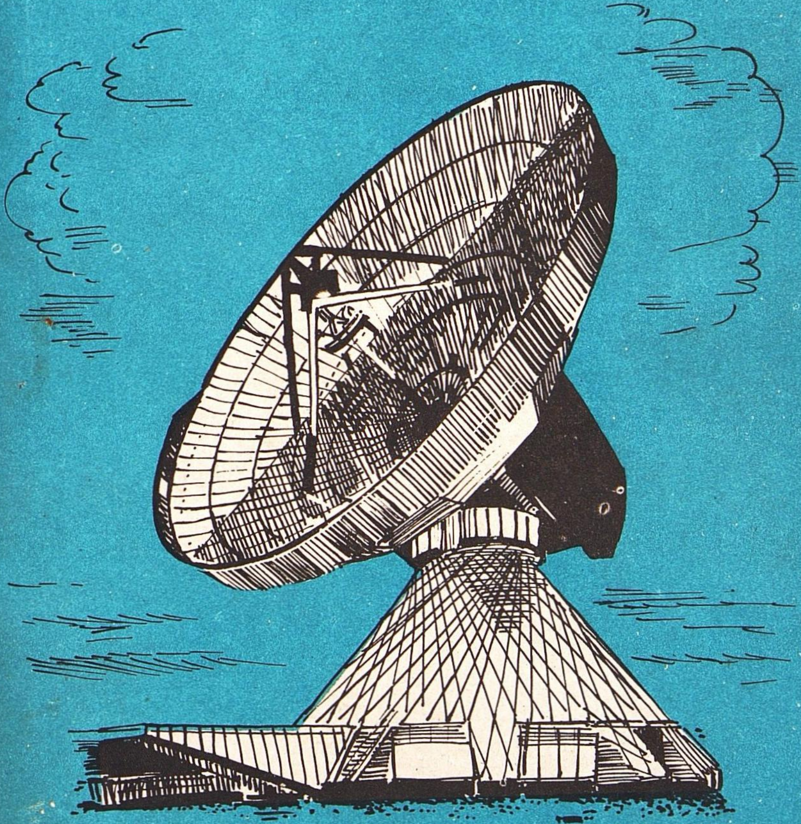
இயற்பியல்

மேல் நிலை — முதலாம் ஆண்டு

தொகுதி I



தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

இயற்பியல்

தொகுதி I

மேல் நிலை — முதலாம் ஆண்டு

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

சென்னை

© தமிழ்நாட்டு அரசு
முதல் பதிப்பு — 1978
மறு பதிப்பு — 1979

பதிப்பாசிரியர் குழுத் தலைவர் :

டாக்டர் பி. திருஞானசம்பந்தம்,
இயற்பியல் முதன்மைப் பேராசிரியர், மாநிலக் கல்லூரி, சென்னை-600 005.

ஆசிரியர்கள் :

டாக்டர் கே. இராமசுவாமி,
இயற்பியல் துறைத் தலைவர், அண்ணாமலைப் பல்கலைக்கழகம், அண்ணாமலைநகர்

டாக்டர் கே. எம். கருணாகரன்,
இயற்பியல் பேராசிரியர், சென்னை கிறிஸ்தவக் கல்லூரி, சென்னை-600 059.

திரு. ஏ. எம். ஷெரீப்,
முதல்வர், அரசு கலைக் கல்லூரி, திருவெறும்பூர்.

டாக்டர் ஏ. நடராஜன்,
இயற்பியல் துறைத் தலைவர், புஷ்பம் கல்லூரி, பூண்டி.

செல்வி அம்மு மாத்யூ,
இயற்பியல் பேராசிரியை, மகளிர் கிறிஸ்தவக் கல்லூரி, சென்னை-600 006.

திரு. பி. சீனிவாசன்,
இயற்பியல் பேராசிரியர், அரசு கலைக் கல்லூரி, உதகமண்டலம்.

மொழிபெயர்ப்பாளர்கள் :

திரு. ரா. நாகராஜன்,
இயற்பியல் உதவிப் பேராசிரியர், அரசு கலைக் கல்லூரி, உதகமண்டலம்.

திரு. கே. பி. இரத்தினம்,
இயற்பியல் பேராசிரியர், கோவை மருத்துவக் கல்லூரி, கோவை.

திரு. கே. தங்கராஜ்,
இயற்பியல் உதவிப் பேராசிரியர்,
டாக்டர் அம்பேத்கார் அரசு கலைக் கல்லூரி, சென்னை-600 039.

மதிப்புரையாளர்கள் :

டாக்டர் பி. திருஞானசம்பந்தம்,
இயற்பியல் முதன்மைப் பேராசிரியர், மாநிலக் கல்லூரி, சென்னை-600 005.

பேரா. பி. எம். மாத்யூஸ்,
கோட்பாட்டு இயற்பியல் பேராசிரியர், சென்னைப் பல்கலைக்கழகம்,
சென்னை-600 005.

பேரா. கே. எஸ். சந்திரசேகரன்,
இயற்பியல் பேராசிரியர், மதுரைக் காமராஜர் பல்கலைக்கழகம், மதுரை.

திரு. பி. எம். ஆர்தர்,
இயற்பியல் இணைப் பேராசிரியர், சென்னை கிறிஸ்தவக் கல்லூரி,
சென்னை-600 059.

திரு. டி. கே. பழனிசாமி,
இயற்பியல் கூடுதல் பேராசிரியர், மாநிலக் கல்லூரி, சென்னை-600 005.

விலை: ரூ. 2-70

[இந்நூல் 60 ஜி. எஸ். எம். தாளில் அச்சிடப்பட்டுள்ளது.]

அச்சிட்டோர் : கலா ஏஜென்சீஸ், சிவகாசி

பொருளடக்கம்

1. அடிப்படை இயற்பியல்

		பக்கம்
1.1	அலகுகளும் பரிமாணங்களும்	1
1.2	இயக்கவியல்	8
1.3	நிலையியல்	31
1.4	பாய் பொருள்கள்	42
1.5	அலைவுகளும் அலைகளும்	50

வெப்ப இயற்பியல்

2.1	வெப்பநிலை அளவீடு	63
2.2	வெப்ப விரிவு	73
2.3	வெப்ப அளவியல்	83
2.4	நிலை மாற்றம்	89

3. மின்னியலும் காந்தவியலும்

3.1	நிலை மின்னியல்	95
3.2	மின்னோட்டவியல்	109
3.3	காந்தவியல்	117
3.4	மின்காந்தவியல்	131
3.5	மின்காந்தத் தூண்டல்	145

4. மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகள்

4.1	மின்காந்த அலைகள்	164
4.2	ஒளி எதிரொளிப்பு	168
4.3	ஒளி விலகல்	182
4.4	ஒளியின் நிறப்பிரிகை	200
4.5	ஒளியியல் கருவிகள்	209
4.6	அகச்சிவப்பு மற்றும் புறஊதாக் கதிர்வீச்சுகள்	215

(5, 6, 7, 8 அத்தியாயங்கள் தொகுதி II-இல் தொடரும்)

1. அடிப்படை இயற்பியல்

1. 1. அலகுகளும், பரிமாணங்களும்

1. 1. 1 முன்னுரை

இயற்பியல் என்பது இயற்கையைப் பற்றிய அறிவியலே. மாறுபட்ட சூழ்நிலைகளில், இயற்கையில் உள்ள பருப் பொருட்களின் பண்புகளை அறிந்துகொள்ளுதல், இயற்பியலின் இன்றியமையாததொரு பகுதியாகும். அவ்வாறு பருப்பொருட்களின் பண்புகளைத் தெளிந்தறிவதற்கு நீளம், நிறை, காலம் போன்ற இயற்பியல் அளவுகளை அளந்தறிதல் தேவை யாகிறது. அத்தகைய இயற்பியல் அளவுகளைத் துல்லியமாக அளந்தறிதல், இயற்பியலுக்குத் தனிச் சிறப்பைத் தருவதும், அடிப்படையானதுமாகும்.

1. 1. 2 அலகுகள்

எந்த ஓர் இயற்பியல் அளவினையும் அதே வகைப்பட்ட ஒரு திட்ட அளவினைக் (standard unit) கொண்டுதான் அளவிட இயலும். காட்டாக, நீளத்தை **மீட்டர்** *(m)* எனப்படும் நீளத்தாலும், நிறையை **கிலோகிராம்** *(kg)* எனப்படும் நிறையாலும், காலத்தை **செகண்டு** *(s)* என்ற காலத்தாலும் அளவிடுகிறோம். இம்முறையில் வரையறுக்கப்பட்டு, அனைவராலும் ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்ட திட்ட அளவுகளை முறையே, நீளம், நிறை, காலம் ஆகியவற்றின் அலகுகள் (Units) என்கிறோம்.

1. 1. 3 அடிப்படை அலகுகளும், வழி அலகுகளும்

மேற்சொன்ன மூன்று அலகுகளும் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்பற்ற தனித்தனி அலகுகள். எனவே இவை **அடிப்படை அலகுகள்** (Fundamental Units) என அழைக்கப்படுகின்றன. மற்ற இயற்பியல் அளவுகள் அனைத்தும் இம்மூன்று அடிப்படை அலகுகளைப் பொருத்தே அமைவனவாகும். எனவே அத்தகைய அலகுகளை **வழியலகுகள்** (Derived Units) என்கிறோம். காட்டாக, பரப்பளவின் அலகு, ஓரலகு நீளப் பக்கமுள்ள ஒரு சதுரத்தின் பரப்பளவாகும். அதேபோல் பருமனின் அலகு, ஓரலகு நீளப் பக்கமுள்ள ஒரு கன சதுரத்தின் பருமனாகும். ஆகவே அடிப்படை அலகான நீளத்தின் அலகிலிருந்தே பரப்பு, பருமன் ஆகியவற்றின் அலகுகளைப் பெற இயலும்.

நாம் ஒரு பொருள், செகண்டுக்கு 20 மீட்டர் (அதாவது $20\ m/s = 20\ ms^{-1}$.) என்ற வேகத்தில் செல்கிறது எனக் கூறும் போது வேகத்தின் அலகாக மீட்டர்/செகண்டு (ms^{-1}) என்பதனை ஏற்றுக்கொண்டிருக்கிறோம் என்பது தெளிவு.

1. 1. 4 அலகுகள் முறைமை : S. I. அலகுகள்

அறிவியல் வல்லுநர்களின் அனுபவத்தைக் கொண்டு, அறிவியலை எளிமையாக்கும் முயற்சியின் விளைவாக, SI அலகுமுறை (*Systeme Internationale d' Unities*) என்ற அனைத்துலக முறையொன்று மேற்கொள்ளப்பட்டது. இந்த SI அலகுமுறை 1948-ஆம் ஆண்டு, எடை மற்றும் அளவுகள் குறித்த பொது மாநாட்டில் ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்டது.

SI அலகுமுறையில் ஆறு அடிப்படை அலகுகளும், இரண்டு துணை அலகுகளும் உள்ளன. நீளம், நிறை, காலம் ஆகியவற்றுக்கு ஒவ்வொன்றும் மற்றும் மின்னோட்டத்துக்கு ஒன்றும், வெப்பநிலைக்கு மற்றொன்றும், ஒளிவலிமைக்கு மேலும் ஒன்றும், ஆக ஆறு அடிப்படை அலகுகளும், மேலும் பல வழி அலகுகளும், உள்ளன. சமதளக் கோணம், திண்மக் கோணம் (solid angle) ஆகியவற்றுக்கு இரு துணை அலகுகளும் இதில் உள்ளன. இந்த SI அலகு முறை, மற்றெந்த அலகு முறைகளையும் விட, அடிப்படையில் உயர்வானதாகவும், நடைமுறையில் எளிதானதாகவும் இருத்தற்குரிய சில சிறப்பியல்புகளைக் கொண்டிருக்கிறது. இயக்கவியலில் MKS அலகு முறையையும், மின்னியல் காந்தவியலில் திருத்தி மேம்படுத்திய MKS அலகுமுறையையும் (Rationalised MKS system), மற்றும் வெப்ப இயற்பியலிலிருந்து **கெல்வின்** என்ற அலகினையும், ஒளியியலிலிருந்து **கேண்டெலா** (Candela) என்ற அலகினையும் சேர்த்து இந்த SI அலகுமுறை உருவாக்கப்பட்டுள்ளது.

1. 1. 5 S I அலகு முறையில் திட்ட அலகுகள்

நீளம் : ''மீட்டர்'' (Metre) என்பது கிரிப்டான் - 86 மின்னிறக்கவிளக்கின் ஆரஞ்சுக் கதிர் வீசலின் வெற்றிட அலை நீளத்தைப் போல், 1,650,763.73 மடங்கு நீளத்தைக் குறிக்கும்.

நிறை : ''கிலோகிராம்'' (Kilogramme) என்பது பாரீசுக் கருகில் உள்ள அனைத்துலக எடைகள் மற்றும் அளவுகள் நிறுவனத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள, ஒரு மாதிரி உலோகக் கட்டியின் நிறையாகும்.

காலம் : ''செகண்டு'' (Second) என்பது சீசியம் 133 அணுவின் இருகுறிப்பிட்ட ஆற்றல் மட்டங்களினிடையே (energy

levels) பரிமாற்றம் நிகழ்வதால் தோன்றும் கதிர்வீசலின் காலத்தைப் போல் 9192631770 மடங்கு கால அளவைக் குறிக்கும்.

1.1.6 MKS அலகுமுறை

MKS அலகு முறையிலும், நீளம், நிறை, காலம் ஆகியவற்றை அளக்க முறையே மீட்டர், கிலோகிராம், செகண்டு ஆகிய வற்றையே பயன்படுத்துகிறோம்.

இம்முறையில், 'மீட்டர்' என்பது, உருகுகின்ற பனிக்கட்டி யின் வெப்பநிலையில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு பளபளப்பான பிளாட்டினம்-இரிடியம் கலப்புக் கோலின் மீதுள்ள இரு குறுக்குக் கோடுகளின் இடைத் தூரமாகும். இது பாரீசுக்கருகில் அனைத்துலக எடைகள் மற்றும் அளவுகள் நிறுவனத்தில் பாதுகாப்பாக வைக்கப் பட்டுள்ளது.

'கிலோகிராம்', அதே அனைத்துலக எடைகள் மற்றும் அளவு கள் நிறுவனத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு பிளாட்டினம்-இரிடியம் உருளையின் நிறையாகும்.

'செகண்டு' என்ற கால அலகு MKS முறையில் பின் வருமாறு வரையறுக்கப்படும் : 1 சராசரிப் பரிதிநாளில் $\frac{1}{86,400}$ பங்குள்ள காலம் 1 'செகண்டு' எனப்படும். ஒரு பரிதிநாள் என்பது சூரியன் தலைக்குமேல் நேரே உச்சியிலிருந்து புறப்பட்டு, மறுநாள் அதேபோல் தலைக்குமேல் நேரே உச்சிக்கு வரும்வரை உள்ள கால அளவினைக் குறிக்கும். ஓர் ஆண்டில் இவ்வாறு எல்லாப் பரிதி நாட்களையும் கணக்கிட்டு, அவற்றின் சராசரியைக் காண்போமாயின், அது சராசரிப் பரிதிநாள் (mean solar day) எனப்படும்.

1.1.7 பரிமாணம்

அடிப்படை அலகுகளான நீளம், நிறை, காலம் ஆகியவற்றை முறையே L, M, T என்ற எழுத்துக்களால் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். வேறெந்த இயற்பியல் அளவினையும் (Q) நாம் அடிப்படை அலகுகளைக் கொண்டு பின்வருமாறு எழுத இயலும் :

$$Q = K L^a M^b T^c$$

இதில் K-என்பது அளவுப் பெருக்கத்தையும் a, b, c என்பன நிலை எண்களையும் குறிப்பன. நாம் எடுத்துக்கொண்டுள்ள இயற்பியல் அளவு Q, நீளத்தில் a-என்ற பரிமாணத்தையும் (dimension), நிறையில் b-என்ற பரிமாணத்தையும், காலத்தில் c-என்ற பரிமாணத்தையும் கொண்டுள்ளது என்கிறோம். எனவே ஒரு இயற்பியல் அளவின் பரிமாணம் என்பது, அதன் வழி அலகினைப் பெற, நாம், நீளம், நிறை, காலம் ஆகியனவற்றை முறையே எத்தனை

மடிகள் (power) உயர்த்துகிறோம் என்பதைக் குறிப்பதாகும். இயற்பியல் அளவுகளின் பரிமாண வாய்பாடுகளைப் பின்வருமாறு பெறுகிறோம் :

வரிசை எண்.	அளவு		பரிமாண வாய்பாடு
1.	பரப்பு	= நீளம் × நீளம்	$[L^2]$
2.	வேகம்	$= \frac{\text{தொலைவு}}{\text{காலம்}}$	$\left[\frac{L}{T}\right] = [LT^{-1}]$
3.	அடர்த்தி	$= \frac{\text{நிறை}}{\text{பருமன்}}$	$\left[\frac{M}{L^3}\right] = [ML^{-3}]$

காட்டாக, அடர்த்தி என்பது நிறையில் '1' என்ற பரிமாணத்தையும், நீளத்தில் '−3' என்ற பரிமாணத்தையும் கொண்டுள்ளது எனக் கூறுகிறோம். சில முக்கியமான இயற்பியல் அளவுகளும் அவற்றின் பரிமாண வாய்பாடுகளும் கீழே தரப்பட்டுள்ளன.

எண்	இயற்பியல் அளவு	பரிமாண வாய்பாடு
1.	திசைவேகம்	LT^{-1}
2.	முடுக்கம்	LT^{-2}
3.	உந்தம்	MLT^{-1}
4.	விசை	MLT^{-2}
5.	தாக்கு	MLT^{-1}
6.	வேலை	$ML^2 T^{-2}$
7.	ஆற்றல்	$ML^2 T^{-2}$
8.	திறன்	$ML^2 T^{-3}$
9.	அழுத்தம்	$ML^{-1} T^{-2}$
10.	கோணம்	L^0
11.	கோணத்திசை வேகம்	T^{-1}
12.	கோண முடுக்கம்	T^{-2}
13.	பரப்பு இழுவிசை	MT^{-2}

ஒரு சமன்பாட்டின் இருபுறங்களிலும் உள்ள அளவுகளின் பரிமாணங்கள் அனைத்தும் ஒரே தன்மையுடையனவாக இருத்தல் வேண்டும் என்பது தெளிவு. அதாவது, ஒரு சமன்பாட்டின் இரு புறங்களிலும் உள்ள இயற்பியல் அளவுகளைக் குறிக்கும் ஒவ்வொரு உறுப்பும் (term) ஒரே பரிமாணத்தைக் கொண்டதாக இருத்தல் வேண்டும்.

எடுத்துக்காட்டுகள் : (i) இடப்பெயர்ச்சி s, திசை வேகம் v, காலம் t ஆகியவை பின்வருமாறு தொடர்புடையவை :

$$\text{இடப்பெயர்ச்சி} = \text{திசைவேகம்} \times \text{காலம்}$$
$$s = v \times t$$

பரிமாண முறையில் இதனைப் பின்வருமாறு குறிக்கலாம் :

$$[L] = [LT^{-1}] \times [T]$$
$$= [LT\ ]$$
$$= [L]$$

எனவே, மேற்சொன்ன சமன்பாடு பரிமாணங்களைப் பொருத்த வரை சரியானதாகும்.

(ii) தொடக்கத் திசைவேகம் u, இறுதித் திசை வேகம் v, முடுக்கம் a, காலம் t ஆகியவற்றை இணைக்கும் இயக்கச் சமன்பாடு.

$v = u + at$ ஆகும்.

பரிமாண முறையில் எழுதும்போது இச்சமன்பாட்டினைப் பின்வருமாறு எழுதலாம் :

$$[LT^{-1}] = [LT^{-1}] + [LT^{-2}\ T]$$

அதாவது, $[LT^{-1}] = [LT^{-1}] + [LT^{-1}]$

இதில் ஒவ்வோர் உறுப்பும் ஒரே பரிமாணத்தைக் கொண்டிருக்கக் காண்கிறோம். எனவே, இச்சமன்பாடும் பரிமாண முறையில் சரியானதாகும்.

1. 1. 8 பரிமாணங்களின் பயன்கள்

1. பரிமாண முறையைப் பயன்படுத்தி ஒரு சமன்பாடு சரியானதா, இல்லையா எனக் காண இயலும்.

2. பரிமாண முறையைப் பயன்படுத்தி ஒரு அலகு முறையில் அளக்கப்படும் இயற்பியல் அளவினை, மற்றொரு அலகு முறையில் மாற்றுவதற்கு இயலும்.

எடுத்துக்காட்டு : ஒரு நியூட்டன் (Newton) விசை என்பது எத்தனை டைன்களுக்குச் (Dynes) சமம் எனக் காண்போம். விசையின் பரிமாண வாய்பாடு $[MLT^{-2}]$ ஆகும்.

x டைன்கள் $=$ 1 நியூட்டன் என்போம்.

இப்போது,

x [1 கிராம் × 1செ.மீ × (1 செகண்டு)$^{-2}$)

= 1 கிலோகிராம் × 1மீட்டர் × (1 செகண்டு)$^{-2}$

= 1000கிராம் × 100 செமீ × (1 செகண்டு)$^{-2}$

= 1000 × 100 × 1 [1கிராம் × 1செ.மீ × (1செகண்டு)$^{-2}$]

= 10^5 [1கிராம் × 1 செ.மீ × (1 செகண்டு)$^{-2}$]

அதாவது, $x\,[M^1]\,[L^1]\,[T^{-2}] = 10^5\,[M^1\,L^1\,T^{-2}]$

$$\therefore\ x = 10^5$$

எனவே 1 நியூட்டன் = 10^5 டைன்கள்.

3. கணக்கிடப்பட வேண்டிய இயற்பியல் அளவுகளுக்கிடையேயுள்ள தொடர்பினைத் தரும் சமன்பாட்டை வருவிக்க, பரிமாண முறையைப் பயன்படுத்தலாம்.

எடுத்துக்காட்டு : ஒரு தனி ஊசலின் அலைவு நேரத்துக்கான கோவையைப் பெறவேண்டும் என்போம். ஒரு தனி ஊசலின் அலைவு நேரம் t, (i) ஊசல் குண்டின் நிறை m (ii) ஊசலின் நீளம் l (iii) அந்த இடத்தில் புவியீர்ப்பு முடுக்கம் g ஆகியவைகளைப் பொருத்ததாக இருக்கலாம். இந்த அளவுகளின் பரிமாண வாய்பாடுகள் கீழே தரப்பட்டுள்ளன :

அளவு	பரிமாண வாய்பாடு
நிறை m	M
நீளம் l	L
முடுக்கம் g	LT^{-2}

இப்போது $t \propto m^x\ l^y\ g^z$ என்போம். பரிமாணங்களைச் சமப்படுத்தினல்

$$[T^1] = [M^x]\ [L^y]\ ([LT^{-2}])^z$$

அதாவது $[M^0 L^0\ T^1] = [M^x\ L^{y+z}\ T^{-2z}]$

எனவே $[M^x\ L^{y+z}\ T^{-2z}] = [M^0\ L^0\ T^1]$

M, L, T ஆகிய ஒவ்வொன்றின் பரிமாணங்களும் இரு புறங்களிலும் தனித்தனியே சமமாதல் வேண்டுமாதலால்,

$$x = 0$$
$$y + z = 0$$
$$-2z = +1$$

மூன்றும் சமன்பாட்டிலிருந்து $z = -\frac{1}{2}$. இம்மதிப்பை இரண்டாம் சமன்பாட்டில் பிரதியிட்டால் $y = -z = +\frac{1}{2}$. எனக் கிடைக்கிறது. எனவே $x = o$, $y = \frac{1}{2}$; $z = -\frac{1}{2}$.

$$\therefore \quad t \propto m^{\circ}\, l^{+\frac{1}{2}}\, g^{-\frac{1}{2}}$$

அதாவது, $t \propto l^{\frac{1}{2}}\, g^{-\frac{1}{2}}$

எனவே $t \propto \sqrt{\frac{l}{g}}$

ஆதலால் $t = K\sqrt{\frac{l}{g}}$ என எழுதலாம்.

இதில் K என்பது விகித மாறிலி (நிலை எண்) ஆகும். K-யின் மதிப்பைப் பரிமாண முறையில் கண்டுபிடிக்க இயலாது. ஆனால் சோதனைகள் மூலமாக அதன் மதிப்பு 2π எனக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. எனவே தனி ஊசலின் அலைவு நேரம்

$$\therefore \quad t = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \text{ ஆகும்.}$$

பயிற்சி 1. 1

1. அடிப்படை அலகுகள், வழி அலகுகள் என்பனவற்றை விளக்குக.
2. நீளம், நிறை, காலம் என்பனவற்றின் அடிப்படை அலகுகளை S.I. அளவுமுறையில் வரையறு.
3. ஒரு இயற்பியல் அளவின் பரிமாணம் என்பது என்ன ?
4. அதிர்வுறும் ஒரு கம்பியின் அதிர்வெண், அதன் நீளம் (l) அலகு நீள நிறை (m), இழுவிசை (t), ஆகியவற்றைப் பொருத்தது எனக்கொண்டு, அதன் அதிர்வெண்

$$n \propto \frac{1}{l}\sqrt{\frac{t}{m}}$$

எனக்காட்டு.

5. பின்வரும் இயற்பியல் அளவுகளின் பரிமாணங்கள் யாவை (a) பருமன் (b) அழுத்தம் (c) ஒப்படர்த்தி (d) அடர்த்தி
6. பின்வரும் சமன்பாடுகள் பரிமாண முறையில் சரியெனக் காட்டு :

(i) $s = ut + \frac{1}{2}at^2$
(ii) $F = ma$
(iii) $s = \frac{1}{2}gt^2$

(இவற்றுள் s - தொலைவு, u - திசைவேகம், a - முடுக்கம், t - காலம், F - விசை, m - நிறை, g - முடுக்கம் ஆகியவைகளைக் குறிக்கின்றன.)

1. 2. இயக்கவியல்

1. 2. 1 முன்னுரை

விசைகள் செயல்படுதலால் பொருட்களில் தோற்றுவிக்கப் படும் இயக்கங்களைப்பற்றி இயக்கவியலில் கற்கிறோம்.

பருப்பொருள் (Matter) எனப்படுவது, குறிப்பிட்ட இடத்தை அடைத்துக்கொண்டு, நமது உணர்வுகளுக்குத் தொடர்ச்சியாகத் தட்டுப்படுகின்ற ஒன்றைக் குறிக்கும். பருப்பொருளின், ஒரு வரம்புக்குட்பட்ட பகுதியைப் **பொருள்** எனக்கூறுகிறோம். ஒரு பொருளின் நிறை என்பது அதில் உள்ள பருப்பொருளின்அளவைக் (நிறையைக்) குறிக்கும்.

ஒரு சிறு பொருளில், அதன் அண்டைப் பகுதிகளின் இடைத் தூரம் புறக்கணிக்கத்தக்க அளவுக்குச் சிறியதாக இருந்தால், அப்பொருளைத் **துகள்** (particle) எனக் கூறுவோம். துகள் என்பது, மிகச் சிறியதாக இருந்தாலும், குறிப்பிட்ட நிறையை உடையது எனக் கொள்வோம். எந்த ஒரு தருணத்திலும் இத்தகைய துகளின் நிலையை (இருப்பிடத்தை) ஒரு புள்ளியால் குறிக்கலாம். பொருள் என்பது இவ்வகையில் வரையறுக்கப்பட்ட பல துகள் களைக் கொண்டதெனக் கருதுவோம். சுற்றுப்புறத்தைப் பொருத்துத் தனது நிலையைத் (இருப்பிடத்தைத்) தொடர்ந்து மாற்றிக்கொண்டேயிருக்கும் ஒரு துகள் இயக்கத்திலுள்ளது எனக் கூறுகிறோம்.

ஒரு பொருளின் **பாதை** என்பது, அப்பொருளின் அடுத்தடுத்த நிலைகளைத் தொடர்ச்சியாக இணைக்கும் கோட்டினைக் குறிக்கும்.

ஒரு பொருள், தனது பாதையில் தொலைவைக் கடக்கும் வீதம், அதாவது ஓரலகு காலத்தில் கடக்கும் தொலைவு, அப் பொருளின் **வேகம்** (speed) எனப்படும். ஒரு பொருளின் வேகத்தைக் கணக்கிடுகையில் அப்பொருளின் இயக்கத்தின் திசை யை நாம் கணக்கில் கொள்வதில்லை. வேகம் என்பது வெறும் எண்மதிப்பு (magnitude) மட்டும் கொண்ட அளவாகும்.

இவ்வாறு திசை குறிப்பிடத் தேவையற்ற, எண்மதிப்பினை மட்டுமே கொண்ட அளவுகளை **ஸ்கேலார்** அளவுகள் (*scalar* quantity) எனக் கூறுகிறோம். அவ்வாறின்றி, எண்மதிப்பு, திசை இரண்டையுமே குறிப்பிட்டுச் சொல்லவேண்டிய இயற்பியல் அளவுகளை **வெக்டார்** அளவுகள் (*vector* quantity) என்கிறோம்.

1. 2. 2 வேகமும், திசைவேகமும்

கால அளவு எவ்வளவு குறுகியதாக இருப்பினும், ஒரு குறிப்பிட்ட சமகால அளவுகளில் சமதொலைவுகளை ஒரு பொருள் கடந்தால், அப்பொருள் சீரான வேகத்துடன் (uniform speed) செல்கிறது என்று கூறுகிறோம். பொருள் சீரான திசைவேகத்தில் செல்லும்போது, ஓரலகு காலத்தில் அது கடக்கும் தொலைவு அதன் வேகம் ஆகும்.

ஒரு இயங்கும் பொருளின் தொடக்க நிலையிலிருந்து இறுதி நிலைக்கு வரையப்படும் கோட்டின் நீளம் அதன் **இடப்பெயர்ச்சி** (displacement) எனப்படும்.

படம் *1. 1*

இயக்கத்திலுள்ள ஒரு பொருளின் தொடக்க நிலையை *A* என்ற புள்ளியும், இறுதி நிலையை *B* என்ற புள்ளியும் குறிப்பன என்றால் *AB* என்ற தொலைவு பொருள் அடைந்த இடப்பெயர்ச்சியைக் கொடுக்கும்.

இடப்பெயர்ச்சி என்பது எண்மதிப்பும், திசையும் கொண்ட ஓர் அளவாகும். *AB* என்ற கோட்டின் நீளம் இடப்பெயர்ச்சியின் மதிப்பையும், அக்கோட்டின் திசை இடப்பெயர்ச்சியின் திசையையும் தருகின்றன.

திசைவேகம் : ஒரு இயங்கும் பொருளின் இடப்பெயர்ச்சி மாறும் வீதம் அதன் திசைவேகம் (velocity) எனப்படும். எனவே திசைவேகமும் ஒரு வெக்டார் அளவாகும்.

சீரான திசைவேகம் : எடுத்துக்கொள்ளும் கால அளவுகள் எவ்வளவு குறுகியனவாயினும், சமகால அளவுகளில், சம அளவு இடப்பெயர்ச்சிகளை ஒரு பொருள் அடைந்தால், அப்பொருள் சீரான திசைவேகத்துடன் (uniform velocity) இயங்குகிறது என்கிறோம்.

1. 2. 3 முடுக்கம்

ஒரு பொருளின் திசைவேகம் அதன் எண்மதிப்பிலோ அல்லது திசையிலோ அல்லது இரண்டிலுமோ மாற்றமடைந்தால், அப் பொருளின் மீது ஒரு **முடுக்கம்** (Acceleration) செயல்படுகிறது என்போம். ஒரு இயங்கும் பொருளின் முடுக்கம் என்பதை அதன் திசைவேக மாற்றவீதம் என வரையறுக்கிறோம். முடுக்கத்தை ஓரலகு காலத்தில் ஏற்படும் திசைவேக மாற்றத்தால் அளக்கிறோம். ஒரு பொருளின் திசைவேகம், t கால அளவில் u-விலிருந்து v-ஆக மாற்றமடைந்தால் அதன் முடுக்கம்

$$a = \frac{\text{திசைவேக மாற்றம்}}{\text{காலம்}}$$

அதாவது $$a = \frac{v-u}{t}$$

SI அலகுமுறை, *MKS* அலகு முறை ஆகிய இரு முறைகளிலும் முடுக்கம், மீட்டர்/(செகண்டு)^2 அதாவது, (ms^{-2}) என்ற அலகினுல் அளக்கப் பெறும்.

சீரான முடுக்கம் : கால அளவை எவ்வளவு குறுகியதாக எடுத்துக்கொண்டாலும், சமகால அளவுகளில், சம அளவு திசைவேக மாற்றங்களடைந்து, ஒரே நேர்கோட்டில் செல்லும் ஒரு பொருள் சீரான முடுக்கத்துக்கு (uniform acceleration) உட்பட்டது எனக் கூறுகிறோம்.

பொருளின் திசைவேகம் அதிகரித்தால் அதன் முடுக்கம் நேர்க்குறி (positive) யுடையது. பொருளின் திசைவேகம் குறைந்தால் அதன் முடுக்கம் எதிர்க்குறி (negative) யுடையது. இதனை எதிர் முடுக்கம் (retardation) எனவும் கூறுவோம்.

1. 2. 4 இயக்கச் சமன்பாடுகள்

தொடக்கத்தில் u-என்ற திசை வேகத்துடன் சென்றுகொண்டுள்ள ஒரு பொருளின் மீது சீரான முடுக்கம் a செயல்படுவதாகக் கொள்வோம். t- என்ற கால இடைவெளியில் அப்பொருளின் திசைவேகம் v ஆக மாறினுல், வரையறைப்படி

$$\text{முடுக்கம்} = \frac{\text{திசைவேக மாற்றம்}}{\text{காலம்}}$$

$$\therefore \quad a = \frac{v-u}{t} \quad \ldots \quad (1)$$

அல்லது $v-u = at$

$$\therefore \quad \mathbf{v = u + at} \quad \ldots \quad (2)$$

முடுக்கம் சீரானதாகையால் திசைவேகம் சீராக மாற்றமடைகிறது. எனவே பொருளின் சராசரித் திசைவேகம் (Average velocity) தொடக்கத் திசைவேகம், இறுதித் திசைவேகம் ஆகிய இரண்டின் சராசரியாகும்.

$$\text{சராசரித் திசைவேகம்} = \frac{u+v}{2} \qquad (3)$$

t என்ற கால இடைவெளியில் பொருள் கடந்த தொலைவு s-ஆனால்,

$$s = \text{சராசரித் திசைவேகம்} \times \text{காலம்}$$

$$\text{அதாவது} \quad s = \frac{(u+v)}{2}\, t \qquad (4)$$

சமன்பாடு (2)-லிருந்து $v = u + at$ என்பதனைச் சமன்பாடு (4)-ல் பிரதியிட்டால்

$$s = \frac{(u+u+at)}{2} \times t$$

$$s = \frac{(2u+at)}{2}\, t$$

$$= \left(u + \frac{at}{2}\right) t$$

$$\mathbf{s = ut + \tfrac{1}{2}\, at^2} \qquad \dots \quad (5)$$

மேலும், சமன்பாடு (4)-ல் இருந்து

$$s = \left(\frac{u+v}{2}\right) t$$

$$\text{அல்லது} \quad v + u = \frac{2\,s}{t} \qquad \dots \quad (6)$$

சமன்பாடு (1)-ல் இருந்து

$$v - u = at \qquad \dots \quad (7)$$

$$\therefore (v+u)(v-u) = \frac{2\,s}{t}\, at$$

$$\text{எனவே,} \quad v^2 - u^2 = 2\,a\,s \qquad \dots \quad (8)$$

$$\mathbf{v^2 = u^2 + 2\,as}$$

சமன்பாடுகள் (2), (5), (8) ஆகியவை

அதாவது $v = u + at$

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

$v^2 = u^2 + 2as$

என்ற சமன்பாடுகள் சீரான முடுக்கத்துக்கான **இயக்கச் சமன்பாடுகள்** (equations of motion) எனப்படுகின்றன.

1. 2. 5 புவியீர்ப்பு முடுக்கம்

சீரான முடுக்கத்துக்கு, மிகவும் அறிமுகமான ஓர் எடுத்துக் காட்டு, மேலிருந்து தரையை நோக்கி விழும் ஒரு பொருளின் இயக்கமாகும். காற்றின் தடை புறக்கணிக்கத்தக்கதாக இருந்தால், புவியின் மீது ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில், எல்லாப் பொருட்களும், அவைகளின் எடைகள் அல்லது பருமன்கள் எவ்வாறிருப்பினும், தரையை நோக்கி விழும்போது ஒரு சம அளவுள்ள, சீரான முடுக்கத்துக்கு உட்படுத்தப்படுகின்றன. இவ்வாறு புவி பொருளின் மீது செலுத்தும் முடுக்கத்தைப் புவியீர்ப்பு முடுக்கம் (acceleration due to gravity) என்கிறோம். இம் முடுக்கம் g-என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படும். g-யின் மதிப்பு இடத்துக்கு இடம் மாறுபடுகிறது. புவியின் துருவங்களில் (poles) இதன் மதிப்பு அதிகமானதாகவும், புவிமத்திக் கோட்டில் (equator) குறைவானதாகவும் உள்ளது. இதன் பெரும மதிப்பு $9.83\ ms^{-2}$ ஆகும். இதன் சிறும மதிப்பு $9.78\ ms^{-2}$. ஆகும். நடைமுறையில் கணக்குகளில் g-யின் மதிப்பை $9.8\ ms^{-2}$ என எடுத்துக் கொள்ளலாம்.

(i) செங்குத்தாக மேல்நோக்கி எறியப்படும் பொருள்

தரையில் ஒரு புள்ளியிலிருந்து தொடக்கத் திசைவேகம் u-வுடன் ஒரு பொருள் தரைக்குச் செங்குத்தாக நேரே மேல்நோக்கி எறியப்படுகிறதெனக் கொள்வோம். இப்போது தொடக்கத் திசை வேகம் மேல் நோக்கி உள்ளது. ஆனுல் புவியீர்ப்பு முடுக்கம் கீழ்நோக்கிச் செயல்படும். எனவே பொருள் ஓர் எதிர்முடுக்கத்துக்குட்படுகிறது.

அதாவது முடுக்கம் $a = -g$

எனவே, அத்தகைய பொருளுக்கு இயக்கச் சமன்பாடுகள் பின்வருமாறு மாற்றமுறுகின்றன :

$v = u - gt$

$s = ut - \frac{1}{2}gt^2$

$v^2 = u^2 - 2gs$

(ii) செங்குத்தாகக் கீழ் நோக்கி எறியப்படும் பொருள்

தொடக்கத் திசைவேகம் u-வுடன் செங்குத்தாகக் கீழ் நோக்கி எறியப்படும் ஒரு பொருளுக்கு, அதன் திசை வேகமும், புவியீர்ப்பு முடுக்கமும், ஒரே திசையில் உள்ளன. எனவே அப்பொருளின் மீது செயல்படும் முடுக்கம் நேர்க்குறியுடையது.

$$\therefore \text{ முடுக்கம் } a = +g$$

எனவே இந்தப் பொருளின் இயக்கச் சமன்பாடுகளைப் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$v = u + gt$$
$$s = ut + \frac{1}{2}gt^2$$
$$v^2 = u^2 + 2gs$$

(iii) ஓர் உயரப் புள்ளியிலிருந்து தானே விழும் பொருள்

உயரே உள்ள ஒரு புள்ளியிலிருந்து, தன்னிச்சையாகத் தானே தடையின்றிக் கீழ்நோக்கி விழும் பொருளை தடையின்றி விழும் பொருள் (freely falling body) என்கிறோம். இப்பொருளின் தொடக்கத் திசைவேகம் $u = 0$. எனவே இதன் இயக்கச் சமன்பாடுகள் பின்வருமாறு மாறுகின்றன.

$$v = gt$$
$$s = \frac{1}{2}gt^2$$
$$v^2 = 2gs$$

விளக்கக் கணக்கு 1 :

ஒரு நேர்க் கோட்டில் 4 ms^{-1} என்ற தொடக்கத் திசைவேகத்துடன் செல்லும் ஒரு பொருள் 140 மீட்டர் தொலைவை, 10 செகண்டுகளில் கடக்கிறது. (i) அதன் முடுக்கம் (ii) 5 செகண்டுகள் முடிந்தபோது அதன் திசைவேகம், (iii)) 32 மீட்டர்தொலைவு கடந்தபோது அதன் திசைவேகம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக.

(i) $u = 4\,m\,s^{-1}, \quad s = 140\,m, \quad t = 10\,s; \quad a = ?$

இயக்கச் சமன்பாடுகளிலிருந்து

$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$
$$\therefore \frac{1}{2}at^2 = s - ut$$
$$\therefore a = \frac{2}{t^2}(s - ut)$$

$$= \frac{2}{100}(140-4\times 10)$$

$$= \frac{2}{100} \times 100$$

$$= 2$$

எனவே முடுக்கம் $a = 2\,m\,s^{-2}$

(ii) $u = 4\ ms^{-1},\ \ a = 2\ m\,s^{-2},\ \ t = 5\,s,\ \ v = ?$

இயக்கச் சமன்பாடுகளிலிருந்து

$v = u + at$ என அறிவோம்.

எனவே $v = 4 + 2 \times 5$

$= 4 + 10$

$= 14\ m\,s^{-1}$

எனவே 5 செகண்டுகளில் பொருளின் திசைவேகம் $v = 14\ ms^{-1}$ ஆகும்.

(iii) $u = 4\ m\,s^{-1},\ \ s = 32\ m,\ \ a = 2\ m\,s^{-2},\ \ v = ?$

இயக்கச் சமன்பாடுகளிலிருந்து

$$v^2 = u^2 + 2\,as$$

எனவே $v^2 = (4\times 4) + (2 \times 2 \times 32)$

$= 16 + 128$

$= 144$

$\therefore\ v = 12\,m\,s^{-1}$

ஆதலால் $32m$ கடந்தபோது அப்பொருளின் திசைவேகம் $12\ m\ s^{-1}$ ஆகும்.

விளக்கக் கணக்கு 2 :

தொடக்கத் திசைவேகம் $20\ ms^{-1}$ ஆக உள்ள ஒரு பொருள் ஒரு நேர்க்கோட்டில் சென்றுகொண்டுள்ளது. அதன்மீது $6\ m\ s^{-2}$. அளவுள்ள சீரான முடுக்கம் செயல்படுகிறது. அது தனது இயக்கத்தின் 10-வது செகண்டில் கடக்கும் தொலைவைக் கணக்கிடு.

10-வது செகண்டில் கடந்த தொலைவு

= 10 செகண்டில் கடந்த தொலைவு — 9 செகண்டில் கடந்த தொலைவு

$$= (20\times 10+\tfrac{1}{2}\times 6\times 10^2) - (20\times 9)+(\tfrac{1}{2}\times 6\times 9^2)$$
$$= (200 + 300) - (180 + 243)$$
$$= 500\ m - 423\ m$$
$$= 77 \text{ மீட்டர்}$$

எனவே பொருள் தனது இயக்கத்தின் 10-வது செகண்டில் கடந்த தொலைவு 77 m ஆகும்.

விளக்கக் கணக்கு 3 :

122.5 மீட்டர் உயரமுள்ள ஒரு கோபுரத்தின் மீதிருந்து ஒரு கல் கீழே விடப்படுகிறது. அது தரையை எப்போது அடையும்? அது தரையில் விழும்போது அதன் திசைவேகம் எவ்வளவு? ($g=9{\cdot}8\ m\ s^{-2}$ எனக் கொள்க.)

கல் கீழே விடப்படுதலால் அதன் தொடக்கத் திசை வேகம்

$$u = 0$$
$$a = g = 9{\cdot}8\ m\ s^{-2}$$

இப்போது $s = ut + \frac{1}{2} at^2$

$$= 0 + \tfrac{1}{2} g t^2$$
$$\therefore t^2 = \frac{2s}{g}$$
$$t^2 = \frac{2\times 122{\cdot}5}{9{\cdot}8} = 25$$
$$\therefore t = 5\ s$$

எனவே அந்தக் கல் தரையை 5 செகண்டுகளில் அடையும்.. அடுத்து,

$v = u+at$, ஆதலால்

$$v = gt$$
$$= 9{\cdot}8 \times 5 = 49\ ms^{-1}$$

எனவே கல் தரையை 49 ms^{-1} என்ற திசை வேகத்துடன் அடைகிறது.

விளக்கக் கணக்கு 4 :

தரையிலிருந்து நேரே செங்குத்தாக மேல்நோக்கி ஒருபொருள் $39{\cdot}2\ m\ s^{-1}$. என்ற திசை வேகத்துடன் எறியப்படுகிறது.

(i) அப்பொருள் அடையும் பெரும உயரம் என்ன ?

(ii) மீண்டும் அது தரையை அடைய எடுத்துக்கொள்ளும் காலம் எவ்வளவு? ($g = 9{\cdot}8\ ms^{-2}$ எனக் கொள்க.)

(i) பொருள் பெரும உயரத்தை அடையும்போது அதன் இறுதித் திசை வேகம் $v = 0$

தொடக்கத் திசை வேகம் $u = 39{\cdot}2\ m\ s^{-1}$

முடுக்கம் $a = -g = -9{\cdot}8\ ms^{-2}$

$s = ?$

இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$v^2 = u^2 + 2\,as$$

எனவே $0^2 = u^2 - 2\,gs$

$$\therefore\ s = \frac{u^2}{2g}$$

$$= \frac{39.2 \times 39.2}{2 \times 9.8}$$

$$= 78.4\ m$$

எனவே கல் $78.4\ m$ உயரத்தை அடையும்.

(ii) பொருள் தரையை மீண்டும் வந்தடையும்போது அதன் மொத்த இடப்பெயர்ச்சி $(+s - s) = 0$. இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து

$$s = ut + \tfrac{1}{2}at^2$$

ஆதலால் இடப்பெயர்ச்சி சுழியாகும்போது

$$ut + \tfrac{1}{2}at^2 = 0 \qquad (\because t \neq 0)$$

$$\therefore\ ut - \tfrac{1}{2}gt = 0$$

$$t = \frac{2u}{g}$$

$$= \frac{2 \times 39.2}{9.8} = 8\ s$$

எனவே பொருள் 8 செகண்டுகளில் மீண்டும் தரையை அடைகிறது.

1. 2. 6 இயக்க விதிகள்

ஒரு பொருளை இயக்குவதற்கோ, அல்லது அதன் இயக்கத்தில் மாறுதலைத் தோற்றுவிக்கவோ, அதன்மீது ஒரு விசை செயல்படுத்தப்பட வேண்டும்.

ஒரு இரயில் வண்டி நகர்வதற்குக் காரணம் அதனை ஒரு எஞ்சின் இழுத்துச் செல்வதுதான். வண்டி செல்லும் திசைக்கு எதிர்த்திசையில் சக்கர இயக்கத்துக்குத் தடை தோற்றுவிக்கப்படும் போது, அவ்வண்டி நிறுத்தப்படுகிறது. அதேபோல், மேலிருந்து வரும் கிரிக்கெட் பந்தினைப் பிடிக்கும் ஆட்டக்காரர், பந்தின் இயக்கத் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் விசையைச் செலுத்த வேண்டியிருக்கிறது. இந்த எடுத்துக்காட்டுகளிலிருந்து, நிலையாய் உள்ள பொருளில் இயக்கத்தைத் தோற்றுவிப்பதற்கோ, அல்லது இயக்கத்தில் உள்ள பொருளுக்கு அதன் இயக்கத்தில் மாற்றத்தைத் தோற்றுவிப்பதற்கோ, ஒரு விசை செலுத்தப்பட வேண்டும் என்பது தெளிவாகிறது.

உந்தம் : ஒரு பொருளின் நிறையையும், அதன் திசைவேகத்தையும் பெருக்கினுல் கிடைக்கும் பெருக்கற்பலனை அப்பொருளின் '**உந்தம்**' (moment) என்கிறோம். பொருளின் நிறை *m*-ஆகவும், அதன் திசைவேகம் *v*-ஆகவும் இருந்தால், அதன் உந்தம் *mv* ஆகும். உந்தம் எண்மதிப்பு, திசை இரண்டும் கொண்ட ஒரு அளவாதலால், அது ஒரு வெக்டார் அளவாகும்.

நியூட்டன் இயக்க விதிகள்

(Newton's laws of motion)

முதல் விதி : வெளிப்புற விசையொன்று செயல்பட்டாலன்றி, எந்த ஒரு பொருளும், தனது அமைதி நிலையையோ, அல்லது ஒரே நேர்க்கோட்டில் சீரான இயக்கத்திலுள்ள தனது இயக்க நிலையையோ, மாற்றிக்கொள்ளாமல், தொடர்ந்து அதே நிலையில் இருக்கும்.

இவ்விதியில் இரண்டு பகுதிகள் உள்ளன. முதல் பகுதி, அமைதி நிலையிலுள்ள ஒரு பொருள், அதன்மீது விசை செயல்பட்டாலொழிய, தொடர்ந்து அதே நிலையில் இருக்குமெனக் கூறுகிறது. விதியின் இரண்டாவது பகுதி, சீரான இயக்கத்திலுள்ள ஒரு பொருள், அதன் மீது விசை செயல்பட்டாலொழிய, தனது சீரான இயக்கம் மாறுபடாமல், தொடர்ந்து சென்றுகொண்டிருக்குமெனக் கூறுகிறது. முதல் கண்ணோட்டத்தில், இது நமது அன்றாட அனுபவத்துக்குப் புறம்பானதாகத் தோன்றலாம். ஏனென்றால் தரையில் உருண்டு செல்லும் ஒரு பந்து, சற்றுத் தொலைவு சென்று, வேகம் குறைந்து நின்றுவிடுவதை நாம் காண்கிறோம். ஆனால் அதனையே மேலும் சற்றுக் கவனமாக ஆராய்ந்தோமானால், பந்து நின்றுவிடுவதற்குக் காரணம், உராய்வு, காற்றின் தடை ஆகியவைகளால் தோன்றும் வெளிப்புற விசைகள்தான்

என்பது புலனாகும். பந்தின் புறப்பரப்பு, தரை ஆகிய இரண்டையும் வழவழப்பானதாகச் செய்தோமானால், பந்து அமைதிநிலையை அடையும் முன்பு, முன்பைவிட நெடுந்தொலைவு செல்லக் காணலாம். உராய்வு, காற்றுத்தடை ஆகியவற்றால் பந்தின்மீது செயல்படும் விசைகளை முற்றிலுமாக இல்லாமல் செய்து, தரையையும் முழுவதும் உராய்வற்றதாகச் செய்துவிட முடிந்தால், பந்து தொடர்ந்து இயக்கத்தில் சென்று கொண்டே இருக்கும். இதிலிருந்து முதல்விதியின் மெய்ம்மை புலனாகிறது,

முதல் இயக்க விதியிலிருந்து பருப்பொருளின் நிலைமைத் தன்மையைப் பொருத்த விதியினை (principle of *Inertia)* நாம் பெறுகிறோம். ஒரு பொருளின் **நிலைமம்** *(Inertia)* என்பது, அப் பொருள் தன்னிச்சையாகத் தானே, தனது அமைதிநிலையையோ, அல்லது ஒரே நேர்க்கோட்டில் சீரான இயக்கத்தில் செல்லும் இயக்க நிலையையோ, மாற்றிக்கொள்ள இயலாத தன்மையைக் குறிக்கிறது. எந்தப் பருப்பொருளும், அதனுடைய நிறையைப் பொருத்து நிலைமம் கொண்டதாக இருக்கும்.

எடுத்துக்காட்டு : ஓடும் இரயில் வண்டியிலிருந்து, நடைமேடை (platform)மீது ஒருவன் குதிப்பதாகக் கொள்வோம். அப்போது அவனது கால்கள் சட்டெனத் தரையில் ஊன்றப்படுவதால் நிறுத்தப்படுகின்றன. ஆனால் அவனது தலை மற்றும் மற்ற மேல் உறுப்புக்களெல்லாம் வண்டி செல்லும் திசையிலேயே அதே வேகத்தில் சென்றுகொண்டிருக்க முயலுகின்றன. எனவே அவன் அநேகமாக முன்நோக்கிக் கீழே விழ ஏதுவாகிறது. அவ்வாறு கீழே விழுவதை அவன் தவிர்க்க வேண்டுமானால், அவன் தனது கால்களையும் வண்டி செல்லும் திசையில் நகர்த்த வேண்டும். அதாவது, அவன் விபத்திலிருந்து தப்ப வேண்டுமானால், வண்டி செல்லும் திசையிலேயே அவனும் சற்றுத் தொலைவு ஓடிப் பின்னர் நிற்க வேண்டும்.

முதல் விதி நமக்கு விசையின் வரையறையையும் தருகிறது. **ஒரு பொருளின் அமைதி நிலையையோ, அல்லது ஒரே நேர்கோட்டில் சீரான இயக்கத்தில் செல்லும் இயக்க நிலையையோ மாற்றுகின்ற அல்லது மாற்ற முயலுகின்ற வகையில், பொருளின் மீது செயல்படும் செயல், விசை எனப்படும்.**

இரண்டாம் விதி : ஒரு பொருளின் உந்த மாறுபாட்டு வீதம், செயல்படுகின்ற விசைக்கு நேர்விகிதத்திலிருப்பதோடு, அவ்விசையின் திசையிலேயும் இருக்கும். நமக்கு இவ்விதி, விசையை அளப்பதற்கு ஒரு வழிமுறையைத் தருகிறது.

முதல் விதிப்படி, பொருளின் மீது செயல்படும் விசை, அதன் திசைவேகத்தில் மாற்றத்தைத் தோற்றுவிக்கும். எனவே அப்

பொருளின் உந்தமும் மாற்றமடையும். u-என்ற தொடக்கத் திசை வேகத்துடன் சென்றுகொண்டிருக்கும் ஒரு பொருளின்மீது, ஒரே சீரான F-என்ற விசை செயல்பட்டு, அதன் திசைவேகத்தை t-கால அளவில், v-ஆக மாற்றுகிறது எனக் கொள்வோம்.

பொருளின் தொடக்க உந்தம் $= mu$

அதன் இறுதி உந்தம் $= mv$

உந்த மாற்றம் $= mv - mu$

∴ உந்தம் மாறும் வீதம் $= \frac{mv - mu}{t} = \frac{m(v-u)}{t}$

ஆனல், முடுக்கம் $a = \frac{v-u}{t}$

∴ உந்தம் மாறும் வீதம் $= ma.$

இரண்டாம் இயக்க விதிப்படி, உந்தம் மாறும் வீதம் விசைக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். எனவே,

$$ma \propto F$$

அல்லது $$F \propto ma$$

$$\therefore F = k\, ma.$$

இதில் k-என்பது விகித மாறிலியாகும். அதன் மதிப்பு நாம் விசைக்குத் தேர்ந்தெடுக்கப்படும் அலகைப் பொருத்ததாகும்.

நாம் விசையின் அலகினைப் பின்வருமாறு வரையறுக்கலாம் : எந்த விசை ஓரலகு நிறையுள்ள பொருளின் மீது செயல்பட்டு, அதன்மீது ஓரலகு முடுக்கத்தைத் தோற்றுவிக்கிறதோ அதனை **ஓரலகுவிசை** (unit force) என வரையறுக்கிறோம்.

இவ்வாறு விசையின் அலகினை வரையறுத்தால், $m = 1$, $a = 1$, ஆக உள்ளபோது $F = 1$ ஆகும். எனவே $F = k\text{ma}$ என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து

$$1 = k \times 1 \times 1$$

ஆகவே $k = 1$ எனக் கிடைக்கிறது. ஆதலால் இவ்வாறு நாம் விசையின் அலகை வரையறுத்தால் $F = ma$ எனக் கிடைக்கிறது. எனவே ஒரு பொருளின் மீது செயல்படும் விசையை, பொருளின் நிறையையும், அவ்விசை செயல்படுதலால் அதன்மீது தோற்று விக்கப்படும் முடுக்கத்தையும் பெருக்கினுல் கிடைக்கும் பெருக்கற் பலனுல் அளக்க இயலும்.

விசையின் அலகு : M.K.S. அலகு முறையில் விசையின் அலகு (unit of force), **நியூட்டன்** (Newton) எனப்படும். ஒரு நியூட்

டன் விசை என்பது ஓரலகு (1 கிலோகிராம்) நிறையுள்ள பொருளின்மீது ஓரலகு ($1\ ms^{-2}$) முடுக்கத்தைத் தோற்றுவிக்கும் விசையைக் குறிக்கும்.

S. I. அலகு முறையிலும், விசையின் அலகு நியூட்டன் என்பதே யாகும். இதனை N எனக் குறிக்கிறோம்.

$$\therefore \quad N = kg\ ms^{-2}$$

நியூட்டன் என்பது விசையின் சார்பிலா அலகாகும். புவியின் ஈர்ப்பு விசையை அடிப்படையாகக் கொண்ட விசையின் அலகை **ஈர்ப்பலகு** (gravitational unit) என்கிறோம்.

MKS அலகு முறையில் விசையின் ஈர்ப்பலகு கிலோகிராம் எடை (kilogram weight) ஆகும். ஒரு கிலோகிராம் எடை என்பது 1 கிலோ கிராம் நிறையின் மீது புவி செலுத்துகின்ற ஈர்ப்புவிசையைக் குறிக்கும்.

1 கிலோகிராம் எடை $= g$ நியூட்டன். இதில் g என்பது புவியீர்ப்பு முடுக்கத்தைக் குறிக்கும். ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் $g = 9.8\ ms^{-2}$ ஆக இருந்தால், அந்த இடத்தில்

1 கிலோகிராம் எடை $=$ 9.8 நியூட்டன்.

விசையின் ஈர்ப்பலகு, புவியீர்ப்பு முடுக்கத்தைப் பொருத்துள்ளதால், இடத்துக்கு இடம் அதன் மதிப்பு மாறுபடும். ஆனால் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் அதன் மதிப்பு நிலையானதாக இருக்கும்.

நிறையும், எடையும் : ஒரு பொருளின் **நிறை** என்பது அதிலுள்ள பருப்பொருளின் அளவைக் குறிக்கும். ஆனால் அதன் **எடை** (weight) என்பது அப்பொருளைப் புவி தன்னை நோக்கி ஈர்க்கும் விசையைக் குறிக்கும். m என்பது ஒரு பொருளின் நிறையாகவும், ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் g என்பது புவியீர்ப்பு முடுக்கமாகவும் இருந்தால், அந்த இடத்தில் அப்பொருளின் எடை $= mg$ நியூட்டன்கள் ஆகும். பொருளின் நிறை ஒரு ஸ்கேலார் அளவு. ஆனால் எடை ஒரு வெக்டார் அளவு.

> **மூன்றாம் விதி :** ஒவ்வொரு வினைக்கும் (action), அதற்குச் சமமானதும், எதிர்த்திசையில் உள்ளதுமான ஒரு எதிர்வினை (Reaction) உண்டு.

இந்த விதி இரண்டு வெவ்வேறு பொருட்கள் தொடர்புடையது. ஒரு பொருள் மற்றொன்றின் மீது செலுத்தும் விசை **வினை** எனப்படும். அதே தருணத்தில் இரண்டாவது பொருள் முதல் பொருளின் மீது செலுத்தும் விசை **எதிர்வினை** எனப்படும்.

மூன்றும் இயக்க விதிப்படி இவ்விரண்டு விசைகளும் ஒன்றுக் கொன்று சமமாயிருப்பதுடன் எதிரெதிர்த் திசைகளிலும் உள்ளன.

பின்வரும் எடுத்துக்காட்டு மூன்றும் விதியினை விளக்க உதவும். நிலையாக உள்ள ஒரு சுவரின் மீது நாம் கையால் தட்டுகிறோம் எனக் கொள்வோம். இப்போது நம் கை ஒரு விசையைச் சுவரின் மீது செலுத்துகிறது. இது வினை. அதேதருணத்தில் சுவர், நம் கைமீது ஒரு விசையைச் செலுத்தும். இது எதிர்வினை. இவ்விரு விசைகளும் சமமானவை. ஆனால் ஒன்றுக்கொன்று எதிர்த் திசையில் உள்ளவை.

உந்த அழிவின்மை

மூன்றும் இயக்க விதியிலிருந்து **உந்த அழிவின்மை விதி**யை *(law of conservation of momentum)* நாம் பெறுகிறோம். உந்த அழிவின்மை விதிப்படி, பல பொருட்களைக் கொண்ட ஒரு உள்ளடங்கிய தொகுதியில் *(closed system)*, அப்பொருட்களிடையே தோன்றும் மோதல்களின் விளைவாக, ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் அளக்கப்படும் அவைகளின் உந்தங்களின் கூட்டுத் தொகை மாற்றமடைவதில்லை.

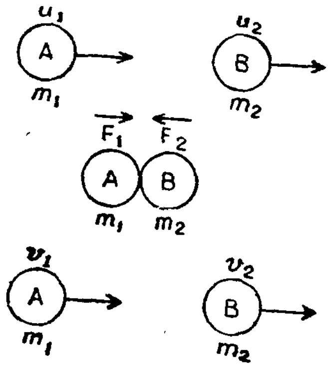
இரு பொருட்களிடையே நிகழும் நேர்மோதலின்போது (direct impact) இவ்விதியை நாம் மெய்யெனக் காட்டலாம்.

m_1 என்ற நிறைகொண்ட u_1 என்ற திசை வேகத்தில் செல்கின்ற A-என்ற ஒரு பொருள், m_2 என்ற நிறைகொண்ட u_2 என்ற திசைவேகத்தில் செல்லும் B-என்ற மற்றொரு பொருளின் மீது நேரடியாக மோதுகிறது எனக் கொள்வோம். மோதலுக்குப் பின்னர் அவைகளின் திசைவேகங்கள் முறையே v_1, v_2 என மாறுபடுகின்றன என்போம். எளிமையைக் கருதி u_1, u_2, v_1, v_2 ஆகிய நான்கு திசைவேகங்களும் ஒரே திசையில் உள்ளன எனக்கொள்வோம். மோதலின்போது A, B-யின்மீது F_1 என்ற விசையைச் செலுத்துகிறதென்போம். அப்போது B, A-யின் மீது F_2 என்ற விசையை எதிர்த்திசையில் செலுத்துகிறதென்போம். மோதலின் போது A-யும் B-யும் தொட்டுக்கொண்டிருந்த கால அளவு t-என்போம்.

இப்போது மூன்றும் இயக்க விதிப்படி

$$F_1 = -F_2$$

மேலும், F_1 என்ற விசை, m_2 நிறையுள்ள B-யின் மீது செயல்பட்டு அதன் திசைவேகத்தை t கால அளவில் u_2 விலிருந்து v_2 ஆக மாற்றுகிறது.



படம் 1.2

நேரடி மோதல்

$$F_1 = \text{இரண்டாவது பொருளின் நிறை} \times \text{முடுக்கம்}$$

$$= m_2 \left(\frac{v_2 - u_2}{t}\right)$$

அதேபோல், அதே t கால அளவில் F_2 என்ற விசை, m_1 நிறை கொண்ட A-யின் மீது செயல்பட்டு அதன் திசைவேகத்தை u_1-லிருந்து v_1ஆக மாற்றுகிறது.

$$F_2 = \text{முதல் பொருளின் நிறை} \times \text{முடுக்கம்}$$

$$= m_1 \left(\frac{v_1 - u_1}{t}\right)$$

$F_1 = -F_2$ ஆதலால்

$$m_2 \left(\frac{v_2 - u_2}{t}\right) = - m_1 \left(\frac{v_1 - u_1}{t}\right)$$

$$m_2 v_2 - m_2 u_2 = - m_1 v_1 + m_1 u_1$$

அல்லது $m_2 v_2 + m_1 v_1 = m_2 u_2 + m_1 u_1$

மோதலுக்குப் பின் பொருட்களின் உந்தங்களின் கூட்டுத் தொகை = மோதலுக்கு முன் பொருட்களின் உந்தங்களின் கூட்டுத்தொகை.

இந்த இரு பொருட்களைக் கொண்ட ஒரு உள்ளடங்கிய தொகுதியில், உந்தங்களின் கூட்டுத்தொகையில் மாற்றமுண்டா

வது இல்லை. இந்த விதி பல பொருட்களைக் கொண்ட உள்ளடங்கிய தொகுதியில் உண்டாகும் கணக்கற்ற மோதல்களுக்கும் பொருந்தும்.

விளக்கக் கணக்கு 1 : *240 டன் நிறையுள்ள ஒரு இரயில் வண்டி, அமைதி நிலையிலிருந்து புறப்பட்டு 1 நிமிடத்தில், மணிக்கு 45 கிலோமீட்டர் என்ற வேகத்தை எட்டுகிறது. எஞ்சின் அவ் வண்டியின்மீது சீரான விசையைச் செலுத்துவதாகக் கொண்டால், அவ்விசையின் மதிப்பினைக் கணக்கிடுக.*

வேகம் = மணிக்கு 45 கிலோமீட்டர்

$$= \frac{45 \times 1000}{60 \times 60} ms^{-}$$

$$= 12.5\ ms^{-1}$$

தொடக்கத் திசைவேகம் $u = o.$

முடுக்கம் $a = \frac{v-u}{t} = \frac{12\cdot5}{60} ms^{-1}$

நிறை $m = 240$ டன்

$$= 240 \times 1000\ kg$$

எஞ்சின் செலுத்துகின்ற சீரான விசை

$$F = ma$$

$$= \frac{240 \times 1000 \times 12.5}{60}$$

$$= 50,000 \text{ N}$$

எனவே எஞ்சின் 50,000 நியூட்டன் விசையைச் செலுத்துகிறது.

விளக்கக் கணக்கு 2 : *10 கிலோகிராம் நிறைகொண்ட A-என்ற ஒரு பொருள் 5 ms^{-1} என்ற திசை வேகத்துடன் சென்று அமைதிநிலையிலுள்ள 20 கிலோகிராம் நிறைகொண்ட B-என்ற மற்றொரு பொருளின் மீது நேரடியாக மோதுகிறது. மோதலுக்குப் பின்னர் A அமைதிநிலையை அடைந்தால், B-யின் திசை வேகத்தைக் கணக்கிடுக.*

$m_1 = 10\,kg \qquad u_1 = 5\,ms^{-1} \qquad v_1 = o$

$m_2 = 20\,kg \qquad u_2 = o \qquad v_2 = ?$

உந்த அழிவின்மை விதிப்படி,

மோதலுக்கு முன் மொத்த உந்தம்

= மோதலுக்குப் பின் மொத்த உந்தம்

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

$$\therefore \quad m_1 u_1 = m_2 v_2$$

$$v_2 = \frac{m_1}{m_2} u_1 = \frac{10}{20} \times 5 = 2.5 \ ms^{-1}$$

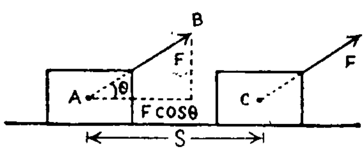
எனவே மோதலுக்குப் பின்னர் *B*, செகண்டுக்கு 2.5 மீட்டர் வேகத்தில் செல்லும்.

1. 2. 7 வேலை, திறன், ஆற்றல்

ஒரு பொருளின்மீது விசை செயல்பட்டு, அதனுல் விசை செயல்படும் புள்ளி நகர்ந்தால், விசை பணிபுரிகிறது அல்லது வேலை செய்கிறது எனக் கூறுகிறோம்.

F-என்பது விசையைக் குறிக்கட்டும். இதனுல் விசையின் திசையில் பொருள் *s* என்ற தொலைவு நகர்வதாகக் கொள் வோம். இப்போது விசை செய்த பணி அல்லது **வேலை** (work)

$$w = F \times s$$



படம் 1.3

விசை செய்யும் வேலை

AB என்ற திசையில் ஒரு விசை F செயல்படுகிறதென்போம். அப்போது பொருள் *AC* என்ற திசையில் நகர்வதாகக் கொள் வோம். இம்மாதிரியான இயக்கம் நிகழும்போது, செய்யப்படு கின்ற வேலையின் அளவு, பொருள் நகரும் திசையில் விசையின் கூறு, பொருள் நகர்ந்த தொலைவு *s* ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலனுக்குச் சமம். விசையின் திசைக்கும் பொருள் நகரும் திசைக் கும் இடையில் உள்ள கோணம் θ எனில்,

$$W = F \cos\theta \times s.$$

விசையின் திசையும் பொருள் நகரும் திசையும் ஒன்றாக இருந்தால் $\theta = 0^\circ$;

எனவே, $\cos \theta = 1$

எனவே $\therefore W = Fs$ ஆகும்.

விசையின் திசையும் பொருள் நகரும் திசையும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்க்குத்தாக இருந்தால்

$$\theta = 90^\circ \text{ ஆகும்}$$

எனவே $\cos 90 = 0$ ஆகும்

ஆதலால் $W = 0$ ஆகும்.

வேலையின் அலகு : *MKS* அலகு முறையில் வேலையின் அலகு 1 **ஜூல்** (1 Joule) ஆகும். 1 ஜூல் என்பது, 1 நியூட்டன் அளவுள்ள விசை செயல்பட்டு, அது செயல்படும் புள்ளியை அதன் திசையில் 1 மீட்டர் தொலைவு நகரச் செய்யும்போது புரியப்படும் வேலைக்குச் சமம்.

S. I. அலகு முறையிலும் வேலையின் அலகு ஜூல் ஆகும். இது *J* எனக் குறிக்கப்படும்.

$$J = Nm$$

திறன் : வேலை செய்யப்படும் வீதம் **திறன்** (power) எனப்படும். திறன் என்பதை ஓரலகு காலத்தில் செய்யப்படும் வேலை எனவும் கூறலாம்.

$$\text{திறன்} = \frac{W}{t} = \frac{F \times s}{t}$$

திறனின் அலகு : *MKS* அலகு முறையில், திறனின் அலகு 1 **வாட்** (1 watt) எனப்படும். 1 செகண்டுக்கு 1 ஜூல் என்ற வீதத்தில் வேலை செய்யப்படும்போது திறன் 1 வாட் ஆகும்.

S.I. அலகு முறையிலும் திறனின் அலகு வாட் ஆகும். இதனை *W* எனக் குறிப்போம்.

$$W = Js^{-1}$$

திறனைச் சிலசமயம் பெரிய அலகான **கிலோவாட்** (Kilowatt) என்ற அலகால் அளப்பதுண்டு. 1 கிலோவாட் என்பது 1000 வாட் திறனுக்குச் சமம். 1 கிலோவாட் வீதம் 1 மணி நேரத்துக்குத் திறன் செலவழிக்கப்பட்டால், பயன்படுத்தப்பட்ட ஆற்றல் (energy), 1 **கிலோவாட்மணி** (1 Kilowatt-hour) எனப்படும். இதனை மின்சார அலகாக 1 யூனிட் (1 Unit) என அழைக்கிறோம்.

ஆற்றல் : ஒரு பொருளின் **ஆற்றல்** (energy) என்பது அது செய்ய இயலும் வேலையின் அளவைக் குறிக்கும். ஆதலால் இது வேலையின் அலகாலேயே அளக்கப்படும்.

ஆற்றல் பலவகைப்பட்டது. எந்திர ஆற்றல் (mechanical energy), வெப்ப ஆற்றல், ஒளி ஆற்றல், வேதியியல் ஆற்றல் (chemical energy) அணு அல்லது அணுக்கரு ஆற்றல் முதலிய பலவகைகளில் ஆற்றலைப் பாகுபடுத்திக் கூறலாம்.

எந்திர ஆற்றலை நிலை ஆற்றல், இயக்க ஆற்றல் என்ற இரு வகையாகப் பகுத்துக் கூறலாம். ஒரு பொருளின் **நிலையாற்றல்** (potential energy) என்பது அப்பொருளின் நிலையைப் பொருத்து, அல்லது திரிபு நிலையைப் (state of strain) பொருத்து, அதனுள் தேங்கியுள்ள ஆற்றலைக் குறிக்கும். எடுத்துக்காட்டுகளாக, உயரத்தில் நீர்த் தொட்டியில் உள்ள நீர், முறுக்கிவிடப் பட்ட கடிகார வில், நீட்டப்பட்ட ரப்பர் துண்டு, அழுத்தப் பட்ட காற்று முதலிய பொருட்கள் நிலை ஆற்றலுடையவை களாகும்.

தரைக்கு மேலே h-உயரத்தில் அமைதி நிலையில் உள்ள m-நிறைகொண்ட ஒரு பொருளின் நிலையாற்றல், mgh-க்குச் சமம் எனக் காட்டலாம்.

m-நிறையுள்ள பொருள் h-உயரத்தில் அமைதி நிலையில் உள்ளது. தரையிலிருந்து அந்தப் பொருளை h-உயரத்துக்கு எடுத்துச் செல்வதற்காகச் செய்யப்பட்ட வேலை, அப்பொருளில் நிலையாற்றலாக உறைந்திருக்கிறது. அப்பொருள் கீழே தரையில் வீழ்ந்தால், அதே அளவு ஆற்றலை நாம் அதிலிருந்து பெற இயலும். அப்பொருளைத் தரையிலிருந்து மேல்நோக்கித் தூக்குவதற்கு mg என்ற அதனுடைய எடையை எதிர்த்து வேலை செய்யப்படுகிறது.

பொருளின் மீது செய்யப்பட்ட வேலை

= விசை × பொருள் நகர்ந்த தொலைவு

= mgh ஆகும்.

எனவே, நிலையாற்றல் = mgh

m-கிலோகிராமிலிருந்தால், g, மீட்டர் / (செகண்டு)$^{-2}$ என்ற அலகிலும், h-மீட்டரிலுமிருந்தால்

நிலையாற்றல் = mgh ஜூல்கள்

இயக்க ஆற்றல் : ஒரு பொருளின் **இயக்க ஆற்றல்** (kinetic energy) என்பது அதன் இயக்கத்தினால் அது பெற்றுள்ள ஆற்றலைக் குறிக்கும்.

m-நிறையுள்ளதும், v-என்ற திசைவேகத்துடன் சென்று கொண்டிருப்பதுமான ஒரு பொருளை எடுத்துக் கொள்வோம். ஒரு சீரான F-என்ற விசை செயல்பட்டு (பொருள் செல்லும்திசைக்கு எதிர்த்திசையில்) அப்பொருளை s-என்ற தொலைவில் நிறுத்தி விடுவதாகக் கொள்வோம். இந்த விசையை எதிர்த்துப் பொருள் செய்யும் வேலை, முதலில் அப்பொருள் பெற்றிருந்த இயக்க ஆற்றலுக்குச் சமமாகும்.

$$\therefore \text{ இயக்க ஆற்றல் } = F \times s$$
$$= ma \times s$$

இறுதித் திசைவேகம் சுழியாதலால்,

$$v^2 = u^2 + 2as$$

என்ற இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து

$$0 = v^2 + 2\ as$$
$$\therefore \quad a = -\ \frac{v^2}{2s}$$

எனக் கிடைக்கிறது.

எனவே, எதிர்த்திசையில் செயல்படும் விசை

$$ma = m\frac{v^2}{2s}$$

ஆதலால், இயக்க ஆற்றல்

$$= \left(m\ \frac{v^2}{2s}\right) \times\ s = \tfrac{1}{2}\ mv^2$$

m-கிலோகிராமிலும், v-மீட்டர் / செகண்டிலும் இருந்தால் பொருளின் இயக்க ஆற்றல் ஜூல் என்ற அலகில் இருக்கும்.

ஆற்றல் அழிவின்மை விதி : ஆற்றலை ஆக்கவோ, அழிக்கவோ இயலாது. ஆனால் ஒருவகை ஆற்றலை மற்றொரு வகை ஆற்றலாக மாற்றலாம். இவ்விதியை **ஆற்றல் அழிவின்மை விதி** (law of Conservation of energy) என்கிறோம்.

இவ்விதி எல்லாவித ஆற்றல்களுக்கும் பொருந்துவதாகும். உயரத்திலிருந்து தடையின்றித் தானே விழும் ஒரு பொருளை எடுத்துக் கொள்வோம். அது விழும்போது அதன் நிலை ஆற்றல் குறைந்துகொண்டே வந்தாலும், அதன் இயக்க ஆற்றல் அதிகரிக்கிறது. எந்த நிலையிலும், அது இழக்கின்ற நிலையாற்றலின் மதிப்பு, அது பெறுகின்ற இயக்க ஆற்றலின் மதிப்புக்குச் சமமாக இருக்கும்.

அதேபோல், ஒரு கம்பிச் சுருளின் வழியே மின்னோட்டத்தைச் செலுத்தும்போது தோன்றுகின்ற வெப்ப ஆற்றல், செலவிடப் பட்ட மின்னாற்றலுக்குச் சமமாக இருக்கும். இவ்வாறு எவ்வகை யில் ஆற்றல் பரிமாற்றம் நிகழ்ந்தாலும், ஒருவகை ஆற்றல், மற் றொரு வகை ஆற்றலாக மாறுகிறதேயொழிய, மொத்த ஆற்றல் கூடுவதோ, குறைவதோ இல்லை.

தடையின்றித் தானே விழும் பொருளுக்கு ஆற்றல் அழிவின்மை விதியை நிறுவுதல் :

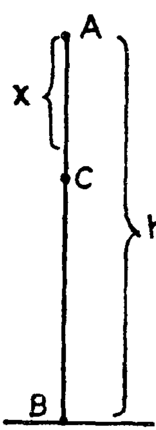
(i) m-நிறையுள்ள ஒரு பொருள் A-என்ற புள்ளியில் அமைதி நிலையில் உள்ளதென்போம். இப்போது,

A-யில் அதன் நிலையாற்றல் $= mgh$

A-யில் அதன் இயக்க ஆற்றல் $= 0$

எனவே A-யில் மொத்த ஆற்றல் $= mgh$

(ii) பொருள் A-யிலிருந்து தானே தடையின்றி வீழ்ந்து தரையை (B), v என்ற திசை வேகத்துடன் அடைவதாகக்கொள் வோம்.



படம் 1.4
தானே விழும் பொருள்

அப்போது $v^2 = 2gh$ ஆகும்.

B-யில் இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2} mv^2$

$= \frac{1}{2} m\, 2gh$

$= mgh$

B-யில் நிலையாற்றல் $[mgh]$

$mg \times 0 = 0$

எனவே B-யில் மொத்த ஆற்றல்

$= mgh$ ஆகும்.

(iii) A, B இரண்டிற்குமிடையேயுள்ள ஏதேனு மொரு C-என்ற புள்ளியில் பொருளின் மொத்த ஆற்றலைக் கணக்கிடுவோம்.

A-யிலிருந்து C, x-தொலைவிலிருந்தால் தரையிலிருந்து C-யின் உயரம் $(h-x)$ ஆகும். எனவே C-யில் பொருளின் நிலையாற்றல்

$= mg\,(h-x)$

x-என்ற தொலைவு கடக்கும்போது C-யில் அதன் வேகம் v_1 எனில்,

$v_1^2 = 2gx$ ஆகும்.

எனவே C-யில் அப்பொருளின் இயக்க ஆற்றல்

$$= \frac{1}{2} mv^2$$

$$= \frac{1}{2} m.\ 2\ gx = mgx$$ ஆகும்.

எனவே C-யில் பொருளின் மொத்த ஆற்றல்

= நிலையாற்றல் + இயக்க ஆற்றல்

$= mg\ (h-x) + mgx$

$= mgh$ ஆகும்.

எனவே, இத்தகைய இயக்கத்தின்போது எந்த ஒரு புள்ளியிலும், பொருளின் மொத்த ஆற்றல் மாற்றமின்றி நிலையாக உள்ளது.

விளக்கக் கணக்கு 1 : 5 கிலோகிராம் நிறையுள்ள ஒருவாளி நீரை 10 மீட்டர் ஆழமுள்ள கிணற்றிலிருந்து மேலெடுக்கும் போது செய்யப்படும் வேலையின் அளவைக் கணக்கிடுக.

5 kg நிறையை 10 m தொலைவு நகர்த்தும்போது செய்யப் பட்ட வேலை

= விசை × தொலைவு

$= mg \times h$

$= 5 \times 9.8 \times 10$

$= 490$ J

எனவே செய்த வேலை 490 J ஆகும்.

விளக்கக் கணக்கு 2 : 60 கிலோகிராம் நிறையுள்ள ஒரு மனிதன் 3 மீட்டர் உயரம் செல்கின்ற ஒரு மாடிப்படியை 4 செகண்டுகளில், கடந்தான் என்றால், அவன் வெளிக்கொணர்ந்த திறன் எவ்வளவு ?

செய்யப்பட்ட வேலை = விசை × தொலைவு

$= mg \times h$

$= 60 \times 9.8 \times 3$J

தோன்றிய திறன் $= \frac{\text{வேலை}}{\text{காலம்}}$

$$= \frac{60 \times 9.8 \times 3}{4}$$

$= 436\ W$

எனவே திறன் 436 W ஆகும்.

பயிற்சி 1. 2

1. துகள், பொருள் என்பனவற்றை விளக்கு.
2. இடப்பெயர்ச்சி, திசைவேகம் ஆகியவைகளை விளக்கு.
3. சீரான திசைவேகம் என்பதை வரையறு. சராசரித் திசைவேகம் என்பது என்ன ?
4. சீரான முடுக்கத்தை வரையறு.
5. சீரான முடுக்கத்தில் உள்ள ஒரு பொருளுக்கான இயக்கச் சமன்பாடுகளைப் பெறுக.
6. புவியீர்ப்பு முடுக்கம் என்றால் என்ன ? புவியீர்ப்பு முடுக்கத்துக்குட்பட்ட ஒரு பொருளுக்கான இயக்கச் சமன்பாடுகளைப் பெறுக.
7. நியூட்டன் இயக்கவிதிகளைக் கூறு.
8. விசையின் வரையறையைக் கூறு. இரண்டாம் இயக்கவிதி எவ்வாறு விசையை அளக்க உதவுகிறது ?
9. நிலைமம் என்பதை எடுத்துக் காட்டுகளுடன் விளக்கு.
10. உந்த அழிவின்மை விதியை விளக்கு.
11. நேர்மோதலுக்குட்பட்ட இரு பொருட்களுக்கு, உந்த அழிவின்மை விதியை நிறுவு.
12. விசையின் அலகு என்ன ?
13. வேலை, ஆற்றல், திறன் என்பனவற்றை வரையறுத்து, அவற்றின் அலகுகளைக் கூறு.
14. ஆற்றல் அழிவின்மை விதியைக் கூறி விளக்குக.
15. நிலையாற்றல், இயக்க ஆற்றல் ஆகியவற்றை வரையறுத்து அவற்றுக்கான கோவையைப் பெறுக.
16. தடையின்றித் தானே விழும் பொருளுக்கு, ஆற்றல் அழிவின்மை விதியை நிறுவுக.

1.3. நிலையியல்

1.3.1 முன்னுரை

ஒரு தொகுதியில் உள்ள பல விசைகள் ஒரு பொருளின் மீது செயல்பட்டு அப்பொருளைச் சமநிலையில் இருக்கச் செய்யும்போது, அச் சமநிலைபற்றிய எந்திரவியலின் ஒரு பகுதியே நிலையியல் (Statics) எனப்படும்.

1.3.2 எளிய எந்திரங்கள்

ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில், ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் செயல் படும் ஒரு விசையை, அதன் மதிப்பையோ அல்லது திசையையோ, அல்லது இரண்டையுமோ மாற்றி, வேறொரு புள்ளியில் கிடைக்கு மாறு செய்கின்ற அமைப்பினை எளிய எந்திரம் (simple machine) என்கிறோம். நெம்புகோல், கப்பி, சக்கரமும் அச்சும், சாய்தளம், திருகு முதலியவைகள் எளிய எந்திரங்களுக்கான எடுத்துக்காட்டு களாகும்.

எந்திரத்தின் மீது நாம் செலுத்தும் விசையைத் **திறன் விசை** (power) அல்லது **முயற்சி** (effort) எனக் குறிப்பிடுகிறோம். எந்திரத்தால் வெற்றிகொள்ளப்படும் விசையை **எடை** (weight) அல்லது **பளு** (load) என்கிறோம்.

எந்திர லாபம் : ஓர் எளிய எந்திரத்தில் P-என்ற திறன் விசை, W-என்ற எடையைச் சரியாகச் சற்றே மேற்கொள்ளும் போது, அந்த எடைக்கும், திறனுக்கும் உள்ள விகிதம் **எந்திர லாபம்** (mechanical advantage) எனப்படும். எனவே ஓர் எளிய எந்திரத்தின்

$$\text{எந்திர லாபம்} = \frac{\text{எடை}}{\text{திறன் விசை}}$$

$$= W/P$$

திசை வேக விகிதம் : ஓர் எளிய எந்திரத்தில் அதன்மீது செயல்படும் திறன் விசை, செயல்படும் புள்ளியை x-தொலைவு அதன் திசையில் நகர்த்துவதாகக் கொள்வோம். இதன் விளைவாக எடை செயல்படும் புள்ளி y-தொலைவு எடையின் திசையில் நகர்ந்தால், x/y என்ற விகிதத்தைத் **திசைவேக விகிதம்** (Velocity ratio) எனக் கூறுகிறோம்.

எனவே, ஓர் எளிய எந்திரத்தின் திசைவேக விகிதம் என்பது, ஒரே காலத்தில் திறன்விசை நகர்கின்ற தொலைவுக்கும், எடை நகர்கின்ற தொலைவுக்கும் இடையேயுள்ள விகிதத்தைக் குறிக்கும்.

எளிய எந்திரத்தின் பயனுறு திறன் : ஓர் எளிய எந்திரத்தில் P-என்ற திறன்விசை செயல்பட்டு, அது செயல்படும் புள்ளியை x-தொலைவு அதன் திசையில் நகரச் செய்வதாகக் கொள்வோம். அதன் விளைவாக எடை செயல்படும் புள்ளி அதே காலத்தில், y-தொலைவு எடையின் திசையில் நகர்வதாகக் கொள்வோம்.

திறன் விசை செய்யும் வேலை $= P \times x$

இது எந்திரத்துக்கு நாம் தரும் ஆற்றலைக் குறிக்கும்.

எடை செய்யும் வேலை $= W \times y$

இதுவே எந்திரத்திலிருந்து நாம் பெறுகின்ற ஆற்றல் அல்லது வேலை ஆகும்.

ஓர் எந்திரத்தின் **பயனுறு திறன்** (Efficiency) என்பது எந்திரத்திஞல் செய்யப்படும் பயனுள்ள வேலைக்கும் எந்திரத்தின் மீது செய்யப்படும் வேலைக்கும் உள்ள விகிதத்தைக் குறிக்கும்.

$$\therefore \text{பயனுறு திறன்} = \frac{\text{எந்திரம் செய்யும் பயனுள்ள வேலை}}{\text{எந்திரத்தின்மீது செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை}}$$

$$= \frac{W \times y}{P \times x}$$

$$= \frac{W}{P} \div \frac{x}{y}$$

எனவே, $$\text{பயனுறு திறன்} = \frac{\text{எந்திர லாபம்}}{\text{திசைவேக விகிதம்}}$$

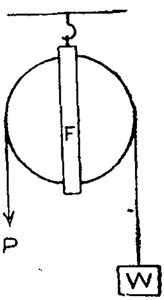
பொதுவாகப் பயனுறு திறனைச் சதவீதமாகக் (percentage) கூறுவது வழக்கம்.

ஓர் இலட்சிய (ideal) எந்திரத்தில், உராய்வு என்பதே இல்லாதிருக்கும். ஆதலால் அதன்மீது செய்யப்படும் வேலை முழுவதும், எந்திரத்தால் பயனுள்ள வேலையாக மாற்றப்பட்டுத் திரும்பக் கிடைக்கும். எனவே அத்தகைய எந்திரத்தின் பயனுறு திறன் 1 ஆகும். நடைமுறையில் எந்திரத்தில் எப்போதும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு உராய்வு இருந்துகொண்டே இருக்கும். ஆதலால் எந்த நிலையிலும் எந்திரத்திலிருந்து கிடைக்கும் பயனுள்ள வேலை, எந்திரத்தின் மீது செய்யப்பட்ட வேலையைவிடக் குறைவானதாகவே இருக்கும். ஆதலால் ஓர் எந்திரத்தின் பயனுறு திறன் எப்போதும் 1-ஐவிடக் குறைவானதாகவே இருக்கும்.

பயனுறு திறன் எப்போதும் 1-ஐவிடக் குறைவானதால், எந்திரலாபம், திசைவேக விகிதத்தைவிட எப்போதும் குறைவானதாகவே இருக்கும்.

1. 3. 3 கப்பி

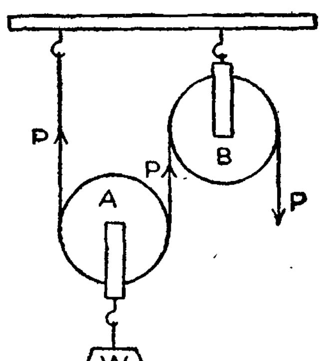
ஒரு கப்பி (pulley) என்பது, உலோகத்தால் அல்லது மரத்தால் செய்யப்பட்ட ஒரு சிறிய சக்கரம் அல்லது தட்டு ஆகும். இது அதன் தளத்துக்கு நேர்க்குத்தாக அதன் மையத்தின் வழியே செல்கின்ற ஓர் அச்சுக்கோட்டைப் பொருத்துத் தடையின்றிச் சுழலும். இதன் விளிம்பில் ஒரு நூல் செல்லத்தக்கவாறு சிறு பள்ளம் இருக்கும். இது ஒரு **சட்டம்** (block) எனப்படும் அமைப்பில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். இந்தச் சட்டம் ஒரு நிலையான புள்ளியுடன் இணைக்கப்பட்டிருந்தால், அதாவது சட்டம் நிலையானதாக இருந்தால், அக்கப்பி **நிலைக்கப்பி** (fixed pulley) எனப்படும். சட்டம் நிலையாக இல்லாமல் நகருமாறு இருந்தால் அக்கப்பி **இயங்கு கப்பி** (movable pulley) எனப்படும்.



படம் 1.5
ஒற்றை நிலைக்கப்பி

ஒற்றை நிலைக்கப்பி : இதிலுள்ள கப்பியின் சட்டம் ஒரு நிலையான கூரையிலோ அல்லது மரச் சட்டத்திலோ இணைக்கப்பட்டிருக்கும். இது எடைகளை உயரத் தூக்குவதற்குப் பயன்படும். கப்பியின் விளிம்பில் உள்ள பள்ளத்தின் வழியே செல்லும் நூலின் ஒரு முனையில் எடை இணைக்கப்படும். மற்றொரு முனை வழியே திறன்விசை செயல்படும். உராய்வு புறக்கணிக்கத் தக்கதாக இருந்தால், ஒரு சிறிய நிலைக் கப்பியின் எந்திர லாபம் 1 ஆகும். இது திறன்விசையை வசதியான திசையில் செலுத்துவதற்குப் பயன்படுத்தப்படும்.

ஒற்றை இயங்கு கப்பி : இவ்வமைப்பில் இயங்கு கப்பி A-யினைச் சுற்றிச் செல்லும் நூலின் ஒரு முனை ஒரு நிலையான புள்ளியில் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். நிலைக் கப்பி B-யைச் சுற்றிச் செல்லும் நூலின் மறுமுனையில் திறன் விசை P செயல்படும். எடை W இயங்கு கப்பியின் சட்டத்தில் தொங்க விடப்பட்டிருக்கும். உராய்வு இல்லையெனக் கொண்டோமானால் நூலின் எல்லாப் பகுதிகளிலும் இழுவிசை (tension) ஒரே



படம் 1.6
ஒற்றை இயங்கு கப்பி

அளவுடையதாக இருக்கும். நூலின் பகுதிகள் செங்குத்தாக உள்ளபோது இயங்கு கப்பியின் மீது செயல்படும் மொத்த மேல் நோக்கிய விசை $= P + P = 2P$. இயங்கு கப்பியின் எடையைப் புறக்கணித்து விட்டால் கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் மொத்த விசை $= W$ ஆகும்.

இயங்கு கப்பி சமநிலையில் உள்ளபோது,

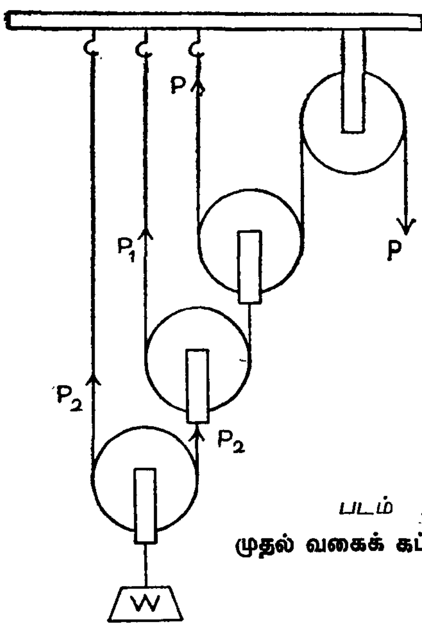
$$W = 2P \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore \text{ எந்திர லாபம் } \frac{W}{P} = 2 \text{ ஆகும்.}$$

கப்பித் தொகுதிகள்

ஒற்றை இயங்கு கப்பியைப் பயன்படுத்தும்போது அதன் எந்திர லாபம் 2 தான். இதைவிட அதிகமான எந்திரலாபத்தைப் பெறுவதற்கு ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட இயங்குகப்பிகளைப் பயன்படுத்தலாம். இவ்வாறு கப்பிகளை மூன்று வகைகளில் கப்பித் தொகுதிகளாக (systems of pulleys) அமைக்கலாம்.

முதல் வகைக் கப்பித் தொகுதி



படம் 1.7
முதல் வகைக் கப்பித் தொகுதி

இத்தொகுதியில் ஒவ்வொரு இயங்கு கப்பியின் விளிம்பின் வழியேயும் ஒவ்வொரு தனித்தனி நூல் செல்கிறது. ஒவ்வொரு நூலும் அதன் ஒருமுனை ஒரு நிலையான ஆதாரப் புள்ளியுடனும், மற்றொரு முனை அடுத்த இயங்கு கப்பியின் சட்டத்துடனும் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. எல்லாவற்றுக்கும் கீழே உள்ள இயங்கு கப்பியின் சட்டத்தில் எடை தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும். எல்லாவற்றிற்கும் உயரே உள்ள இயங்கு கப்பியின் வழியே செல்லும் நூலின் இணைக்கப்படாத முனை வழியாகத் திறன் விசை செயல்படும். இத்திறன் விசையை வசதியாகச் செலுத்துவதற்கேற்றவாறு, அதன் திசையை மாற்றுவதற்கு, இந்நூலின் முனையை ஒரு நிலைக் கப்பியினைச் சுற்றிச் செலுத்திப் பின்னர் திறன்விசை P-யைச் செலுத்துகிறோம்.

முதல் நூலின் இழுவிசை P-ஆக இருக்கும். மற்ற இரு நூல்களின் இழுவிசைகள் முறையே P_1, P_2 என இருக்கட்டும். எல்லாவற்றுக்கும் கீழே உள்ள கப்பியின் சமநிலையைக் கருதும்போது, அதன் எடையைப் புறக்கணித்தால்

$$W = 2P_2 \quad \text{ஆகும்.}$$

அடுத்த இயங்கு கப்பியின் சமநிலையைக் கருதும்போது

$$P_2 = 2P_1 \quad \text{ஆகும்.}$$

அதேபோல் $P_1 = 2P$ ஆகும்.

$$\therefore \; W = 2P_2 = 2 \times 2 \; P_1 = 2 \times 2 \times 2P = 8P$$

எனவே எந்திரலாபம் $\dfrac{W}{P} = 8 = 2^3$

ஆதலால் 3 இயங்கு கப்பிகள் உள்ளபோது எந்திரலாபம் 2^3 ஆகும். n-இயங்குகப்பிகள் இருந்தால் எந்திரலாபம் $W/P = 2^n$ ஆகும். இதில் கப்பிகளின் எடைகள் புறக்கணிக்கத் தக்கவை எனக் கொள்கிறோம்.

இரண்டாம் வகைக் கப்பித் தொகுதி

இவ்வகையில் இரு தனித்தனி நீண்ட சட்டங்கள் உள்ளன. ஒவ்வொரு சட்டத்திலும் சாதாரணமாக ஒரே எண்ணிக்கையுள்ள கப்பிகள் இருக்கலாம். மேலே உள்ள சட்டம் நிலையானதாகவும், கீழ் சட்டம் இயங்குவதாகவும் இருக்கும். ஒரே நூல், படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல், எல்லாக் கப்பிகளையும் வரிசையாகச்

சுற்றிச் செல்லும். எடை கீழ்ச்சட்டத்திலிருந்து தொங்கவிடப்படும். திறன் விசை நூலின் இணைக்கப்படாத முனையின் வழியே செயல் படும்.

W-என்ற எடையை P-என்ற திறன்விசை சரியாகச் சற்றே சமன்படுத்தும்போது, தொகுதி சமநிலையில் உள்ளது. எல்லாக் கப்பி களைச் சுற்றியும் ஒரே நூல் செல்வதால், நூலின் எல்லாப் பகுதிகளிலும் இழுவிசை P-க்குச் சமமாக இருக்கும். (கீழ்ச் சட்டத்தி லுள்ள கப்பிகளின் எடையைப் புறக்கணிக் கிறோம்.) எடையின் சமநிலையைக் கருதும் போது,

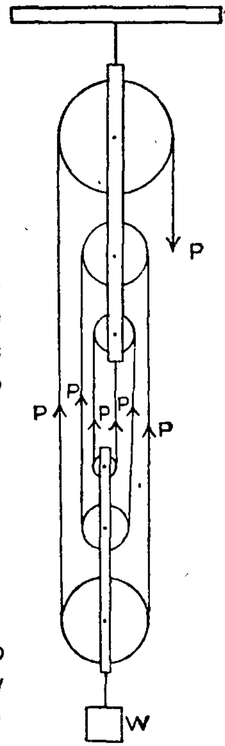
$$W = 6P \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore W/P = 6$$

எனவே எந்திர லாபம்

$$W/P = 6.$$

இது எடையைத் தாங்குகின்ற மொத்த நூற் பகுதிகளின் எண்ணிக்கைக்கு, அதாவது தொகுதியில் உள்ள கப்பிகளின் மொத்த எண்ணிக்கைக்குச் சமம். எனவே இரு சட்டங் களிலும் உள்ள கப்பிகளின் மொத்த எண் ணிக்கை n ஆனுல் இவ்வகைத் தொகுதியின் எந்திர லாபம் $W/P = n$ ஆகும்.



படம் 1.8
இரண்டாம் வகைக் கப்பித் தொகுதி

மூன்றும் வகைக் கப்பித் தொகுதி

இதில் ஒவ்வொரு கப்பியைச் சுற்றியும் ஒவ்வொரு நூல் செல்லும். ஒவ்வொரு நூலின் இருமுனைகளில் ஒன்று எடையைத் தாங்கும். திறன்விசை கடைசி நூலின் இணைக்கப்படாத முனையில் செலுத்தப்படும்.

W என்ற எடையை P என்ற திறன் விசை சற்றே வெற்றி கொள்வதாகக் கொள்வோம். கடைசி நூலின் இழுவிசை P ஆகும். மற்ற நூல்களின் இழுவிசைகள் முறையே P_1, P_2, P_3 எனக் கொள்வோம். எல்லாவற்றிற்கும் கீழே உள்ள கப்பியின் சமநிலை யைக் காண்போமானுல் $P_1 = 2P$ ஆகும்.

அதேபோல் $P_2 = 2P_1 = 2 \times 2P = 4P$

மேலும் $P_3 = 2P_2 = 2 \times 4P = 8P$

W-என்ற எடையின் சமநிலையைக் கருது கையில்

$$W = P + P_1 + P_2 + P_3 \text{ ஆகும்.}$$

ஆதலால் $= P + 2P + 4P + 8P$

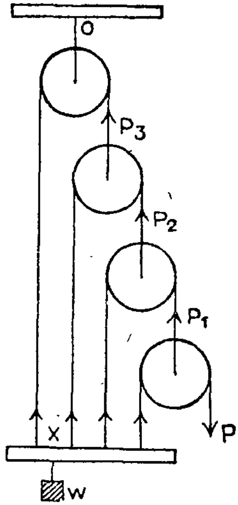
$= 15\ P$

$= (2^4 - 1)P$

எனவே $W/P = (2^4 - 1)$

அதாவது, எந்திரலாபம் $= (2^4 - 1)$

கப்பிகளின் மொத்த எண்ணிக்கை *n* ஆனால் இவ்வகை அமைப்பில் எந்திர லாபம் $= (2^n - 1)$ ஆகும். இதிலும் கப்பி களின் எடையைப் புறக்கணிக்கிறோம்.



படம் 1.9

மூன்றும் வகைக் கப்பித் தொகுதி

1. 3. 4 ஒரு நற்தராசின் இன்றியமையாப் பண்புகள்

ஒரு நிறையைச் சரியாகவும், துல்லியமாகவும், விரைவாகவும் அளக்கக்கூடிய தராசை **நற்தராசு** (good balance) என்கிறோம். இவ்வாறு அளப்பதற்கு ஒரு தராசு பின்வரும் மூன்று இன்றி யமையாப் பண்புகளைப் (requisites) பெற்றிருக்க வேண்டும் : (*a*) உண்மை (truth) (*b*) உணர்வு நுட்பம் (sensibility) (*c*) நிலைத்தன்மை (stability)

(*a*) **உண்மை :** தராசின் எடைத் தட்டுகளில் ஏதுமில்லாத போது, அல்லது சம எடைகள் உள்ளபோது, தராசின் கோல் (beam) கிடைத்தளத்துக் கிணையாக நின்றால், அத்தராசு உண்மை யுள்ளதெனக் கருதப்படும். ஒரு தராசு உண்மையுள்ளதாக இருத் தல் வேண்டுமாயின்

(i) தராசின் புயங்கள் (arms) சமநீளமுள்ளவைகளாக இருத்தல் வேண்டும்.

(ii) தராசின் எடைத் தட்டுகள் சம எடையுள்ளனவாக இருத்தல் வேண்டும் என்று நிரூபிக்க இயலும்.

(*b*) **உணர்வு நுட்பம் :** தராசின் இரு எடைத் தட்டு களிலும் வைக்கப்பட்டுள்ள எடைகளின் வேறுபாடு மிகக் குறை வானதாக இருந்தாலும், தராசுக் கோல் பெருமளவு விலக்க

மடைந்தால், அத்தராசு உணர்வு நுட்பம் மிக்கது எனக் கூறு கிறேம். ஒரு தராசின் உணர்வு நுட்பம் பின்வரும் காரணங் களால் அதிகமாக இருக்குமெனக் காட்டலாம் :

(i) தராசின் புயங்கள் நீளமானவைகளாக இருத்தல் வேண் டும்.

(ii) தராசுக் கோலின் எடை மிகக் குறைவாக இருத்தல் வேண்டும்.

(iii) தராசுக் கோலின் புவியீர்ப்பு மையம் (centre of gravity) மத்தியிலுள்ள திரும்புமுனைக்கு மிக அருகாமையில் இருக்க வேண்டும்.

(c) **நிலைத்தன்மை :** ஒரு தராசின் தராசுக் கோல் விலக்க முற்ற பின்னர் சமநிலைக்கு விரைவில் திரும்பினால் அதனை நிலைத் தன்மை மிக்கது என்கிறேம்.

தராசுக் கோலின் நிலைத்தன்மை அதிகமாக இருக்க வேண்டு மானால்,

(i) தராசுக்கோலின் எடை அதிகமாக இருக்க வேண்டும்.

(ii) தராசுக் கோலின் புவியீர்ப்பு மையம், மத்தியிலுள்ள திரும்புமுனையிலிருந்து அதிகத் தொலைவில் இருக்க வேண்டும்.

எனவே, தராசின் உணர்வு நுட்பத்துக்கான நிபந்தனைகளும், அதன்நிலைத்தன்மைக்கான நிபந்தனைகளும் ஒன்றுக்கொன்று முரண் பட்டவை. எனினும் நடைமுறையில் இதனால் பெருந்தொல்லை யேதுமில்லை. ஏனெனில் விரைவில் அளவிட வேண்டிய நிறை களைப் பொதுவாகத் துல்லியமாக அளவிடவேண்டிய தேவை இருக்காது. துல்லியமாக எடையிட வேண்டுமாயின், காலதாமத மானாலும் பரவாயில்லை. ஆதலால் தேவைக்கேற்ப வெவ்வேறு தராசுகளைப் பயன்படுத்திக் கொள்ளலாம்.

1. 3. 5 ஒரு பொய்த் தராசைக் கொண்டு காஸ் (GAUSS) முறையில் சரியான எடை காணல்

ஒரு தராசின் புயங்கள் a, b என்ற வெவ்வேறு நீளங்கள் கொண்டன என்போம். ஒரு தட்டில் வைத்து எடையிடும்போது பொருளின் நிறை W_1 எனவும், அடுத்த தட்டில் வைத்து எடை யிடும்போது பொருளின் நிறை W_2 எனவும் கிடைப்பதாகக் கொள் வோம். W-என்பது பொருளின் சரியான நிறை என்போம்.

மத்தியில் உள்ள திரும்பு முனையைப் பொருத்துத் திருப்பு திறன்களைக் கணக்கிட்டால்

$$W \times a = W_1 \times b \ldots (1)$$

$$W \times b = W_2 \times a \ldots (2)$$

என்ற சமன்பாடுகள் கிடைக்கின்றன. இரு சமன்பாடுகளையும் பெருக்கினால்

$$(1) \times (2) \quad W^2 a b = W_1 W_2 a b$$

அல்லது $W^2 = W_1 W_2$

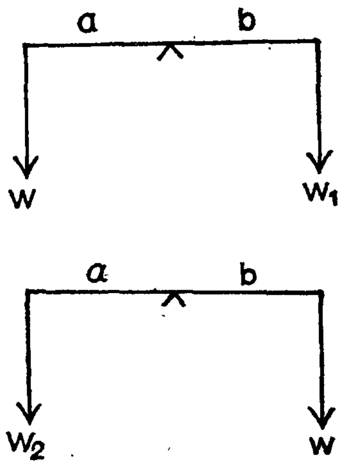
$$\therefore \quad W = \sqrt{W_1 W_2}$$

மேலும் $\frac{(1)}{(2)}$ என்பதைக் கணக்கிட்டால்

$$\frac{a}{b} = \frac{W_1}{W_2} \times \frac{b}{a}$$

$$\therefore \quad \frac{a^2}{b^2} = \frac{W_1}{W_2}$$

$$\therefore \quad \frac{a}{b} = \sqrt{\frac{W_1}{W_2}}$$



படம் 1.10

காஸ் முறையில் எடை காணல்

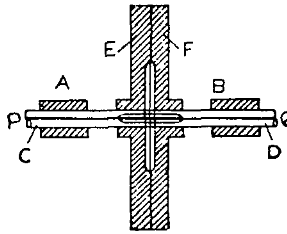
எனவே பொருளின் சரியான நிறையையும், புயங்களின் நீளங்களின் விகிதத்தையும் அறிந்துகொள்ளலாம். இதுவே காஸ் (Gauss) முறைப்படி பொய்த்தராசின் மூலம் பொருளின் சரியான எடையைக் காணும் வழியாகும்.

1. 3. 6 உராய்வுக் கிளட்சு

கிளட்சு (clutch) என்பது, சுழற்சியில் உள்ள ஒரு தண்டின் இயக்கத்தை அதே அச்சுக்கோட்டிலுள்ள மற்றொரு தண்டுக்கு மாற்றித்தரும் அமைப்பாகும். சிறிது சிறிதாக உடன்பாடு (engagement) ஏற்படுத்தும் ஒருவகை கிளட்சு அமைப்பில், ஒரு தண்டு அதிகமான வேகத்துடனும், மற்றொன்று வேகமின்றியோ அல்லது குறைவான வேகத்துடனோ சுற்றிக் கொண்டும் இருக்கின்றன. கொஞ்சம் கொஞ்சமாக உடன்பாடு ஏற்படுகையில் மிகுந்த வேகத்துடன் சுற்றிக்கொண்டுள்ள தண்டின் வேகம் குறைந்துகொண்டே வர, மற்றொன்றின் சுழற்சி வேகம் அதிகமாகிக்கொண்டே வரும். இரண்டு தண்டுகளும் ஒரே வேகத்தை எட்டும் வரை இவ்வாறு தொடர்ந்து நிகழும். இப்பொழுது

கிளட்சு முழு உடன்பாடு எய்திவிட்டது (fully engaged) எனக் கூறுகிறோம். ஒரு தானியங்கும் ஊர்தியில் (automobile) அதன் எஞ்சினுக்கும், இணைந்து சுழலும் பற்சக்கர அமைப்புக்கும் (gear box) இடையே பயன்படுத்தப்படும் கிளட்சு உராய்வு விசையைப் பயன்படுத்தும் ஓர் அமைப்பாகும்.

இதில் இரு சுழன்றுகொண்டுள்ள அமைப்புகள் ஒன்றோடொன்று அழுத்திப் பிடிக்கப்படும்போது அவற்றினிடையே உள்ள உராய்வின் காரணமாக இரண்டும் சற்று நேரத்தில் ஒரே வேகத்துடன் சுழலத் தொடங்குகின்றன. இதனை உராய்வுக் கிளட்சு (friction clutch) என்கிறோம்.



படம் 1.11
உராய்வுக் கிளட்சு

இந்த உராய்வுக் கிளட்சு வேலை செய்யும் விதத்தை அறிந்து கொள்ள, *PQ* என்ற பொது அச்சுக்கோட்டினைப் பொருத்து *A, B* என்ற தாங்கிகளின் மீதுள்ள, முறையே *C, D* என்ற இரு சுழலும் தண்டுகளை ஆராய்வோம். *E, F* என்பன ஒன்றையொன்று நோக்கியுள்ள இரு வட்டத்தட்டுகள். இவை தண்டுகளின் முனைகளில் அவற்றுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. *E* என்ற வட்டத் தட்டுடன் இணைக்கப்பட்ட *C* என்ற தண்டு மிக வேகமாகச் சுழன்றுகொண்டுள்ளதெனவும், *F* என்ற வட்டத்தட்டு நிலையாக இருப்பதாகவும் கொள்வோம். இரண்டு தண்டுகளும் ஒன்றோடொன்று அழுத்தப்படும்போது இரு வட்டத் தட்டுகளும் ஒன்றையொன்று பக்கவாட்டில் சந்திக்கின்றன. அப்போது அவற்றினிடையே உள்ள உராய்வு விசை செயல்படத் தொடங்குகிறது. இதனால் *E*-யின் வேகம் குறையத் தொடங்கும். படிப்படியாக, இரு தட்டுகளும் ஒன்றோடொன்று மேன்மேலும் அழுந்திக்கொண்டே வரும்போது, உராய்வு விசையும் அதிகரித்துக்கொண்டே வரும். ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையை அடைந்தவுடன் இவ்விசை இரு தட்டுகளுக்கிடையே உள்ள தடையை வெற்றிகொள்ளுமளவுக்கு உயர்ந்துவிடும். இந்நிலையில் *F* சுழலத் தொடங்கிப் படிப்படியாக அதன் வேகம் அதிகரித்து வரும். இது இரு தட்டுகளும் ஒரே வேகத்துடன் சுழலத் தொடங்கும்வரை தொடர்ந்து நடக்கும். இப்போது இருதட்டுகளும் ஒன்றையொன்று விட்டுவிடாமல் ஒன்றாகவே சுழன்றுகொண்டிருக்கின்றன. இப்போது கிளட்சு முழு உடன்பாடடைந்ததாகக் கூறுகிறோம்.

மோட்டார் வாகனங்களில் ஒரு வில்லின் துணைகொண்டு இரு தட்டுகளும் ஒன்றையொன்று அழுத்திப் பிடித்துள்ளவாறு அமைக்

கப்பட்டிருக்கும். வில்லின் மீள்தன்மையால் கிளட்சு எப்போதும் உடன்பட்டு இருந்துகொண்டிருக்கும். இந்த உடன்பாட்டை நீக்க வேண்டுமானல், ஒரு தட்டினை வில்லின் விசையை எதிர்த்துப் பின்நோக்கி இழுக்க வேண்டும்.

பயிற்சி 1.3

1. எளிய எந்திரங்கள் என்றல் என்ன ? திறன்விசை, எடை என்பன யாவை ?
2. எந்திர லாபம், திசைவேக விகிதம், பயனுறு திறன் ஆகியவற்றை வரையறுத்து அவற்றுக்கிடையேயுள்ள தொடர்பினைப் பெறுக.
3. கப்பி என்பது என்ன ? நிலைக்கப்பி, இயங்குகப்பி ஆகியவைகளின் எந்திர லாபம் எவ்வளவு ?
4. கப்பித் தொகுதிகள் மூன்றினுள், ஏதேனும் இரண்டின் படம் வரைந்து, அவற்றின் எந்திரலாபத்தைக் கணக்கிடு
5. ஒரு நற்தராசின் பண்புகள் யாவை ? அப்பண்புகளைப் பெற்ற ஒரு தராசு எவ்வாறிருக்கும் ?
6. காஸ் முறையில் ஒரு பொய்த்தராசைக் கொண்டு, எவ்வாறு சரியான எடையைக் கணக்கிட இயலும் ?
7. கிளட்சு என்றல் என்ன ? உராய்வுக் கிளட்சு செயல்படும் விதத்தை விவரி.

1.4 பாய் பொருள்கள்

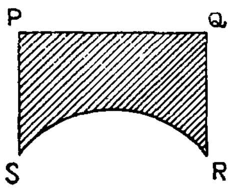
1. 4. 1 முன்னுரை

திரவங்களும் வாயுக்களும் ஓர் இடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்துக்குப் பாய்ந்து செல்லும் தன்மை கொண்டவையாதலால் அவைகளைப் பொதுவாகப் **பாய்பொருள்கள்** (fluids) என்கிறோம். திரவங்களுக்கு ஒரு மேற்பரப்பு உண்டு. வாயுக்களுக்குக் குறித்த பருமன் இல்லாததால் கிடைத்த இடத்தை நிரப்பி நிரவி நிற்கின்றன.

1. 4. 2 பரப்பு இழுவிசை

திரவத்தின் மேற்பரப்பு எல்லாப் பக்கமும் இழுத்துக் கட்டப் பட்ட மீள்தன்மை கொண்ட ஒரு படலத்தை (elastic membrane) விரித்தது போன்ற அமைப்பாகும். இவ்வாறு இழுத்துக் கட்டப் பட்ட படலம் எப்போதும் தன்னைச் சுருக்கித் தனது பரப்பைக் குறைத்துக்கொள்ள முயன்றுகொண்டேயிருக்கும். ஒரு திரவத்தின் மேற்பரப்பின் இந்தப் பண்பைப் பல சோதனைகள் மூலம் காட்டலாம்.

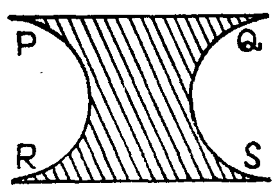
(i) படத்தில் காட்டியுள்ளது போல் *SPQR* என்ற இருமுறை செங்குத்தாக வளைக்கப்பட்ட ஒரு தாமிரக் கம்பியை எடுத்துக் கொள்வோம். அதன்முனைகள் *S*-ஐயும், *R*-ஐயும் ஒரு தளர்ச்சி யாக உள்ள நூலினால் இணைப்போம். இவ்வமைப்பைச் சோப்புக் கரைசலினுள் அமிழ்த்தி மேலெடுத்தோமானால், கம்பிக் கும் நூலுக்குமிடையே ஒரு சோப்புப் படலம் தோன்றியிருக்கும். நூல் உட்புற மாக வட்டவில் வடிவில் இழுக்கப் பட்டுள்ளதைக் காணலாம். எனவே படலத்தின் பரப்பு முடிந்த அளவு குறைக் கப்பட்டுள்ளது என அறியலாம்.



படம் 1.12

SR என்ற நூற்பகுதி வட்டப் பகுதியாக ஆதல்

(ii) *PQ, RS* என்ற இரு சிறு கண்ணாடிக் குச்சிகள், ஒன்றுக் கொன்று இணையாக உள்ளவாறு இரு நூல்களால் இணைக்கப்பட்டுத் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. இந்த அமைப்பை அப்படியே சோப்புக் கரைசலில் அமிழ்த்தி வெளியில் எடுத்தோமானால் கண்ணாடிக் குச்சி களுக்கும், நூல்களுக்குமிடையில் ஒரு சோப்புப் படலம் தோன்றி யிருக்கும். மேலும் நூல்களிரண்டும் உட்புறமாக, வட்டவில் வடிவில், படலத்தினால், அதன் பரப்பு முடிந்த அளவு குறையுமாறு இழுத்து வைக் கப்பட்டுள்ளதையும் அறியலாம்.



படம் 1.13

PR, QS என்ற நூற் பகுதிகள் வட்டப் பகுகளாக ஆதல்

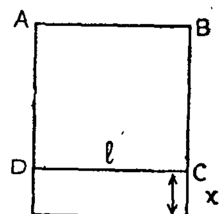
(iii) வட்டவடிவில் உள்ள ஒரு தாமிரக் கம்பியைச் சோப்புக் கரைசலினுள் அமிழ்த்தி வெளியே எடுத்தால், அதனுள் சோப்புப் படலம் தோன்றியிருக்கும். இப்போது அப்படலத்தின் மீது சோப்புக் கரைசலில் நனைக்கப்பட்ட பட்டு நூல் கண்ணியொன்றை வைக்கிறோம். இப்போது கண்ணியினிடையேயுள்ள சோப்புப் படலத்தைத் துளைத்தால், பட்டு நூல் கண்ணி உடனடியாக வட்ட வடிவ அமைப்பைப் பெறக் காணலாம்.

ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு சுற்றளவுக்கு, மிக அதிகமான அளவு பரப்பையுடைய வடிவம், வட்டமாதலால், வட்டப்பரப்பு போக மீதியுள்ள சோப்புப் படலம் முடிந்த அளவு குறைந்த பரப்பினைக் கொண்டிருக்கும்.

மேற்கூறிய சோதனைகளிலிருந்து ஒரு திரவத்தின் மேற்பரப்பு, தன்னுடைய பரப்பளவை முடிந்த அளவு குறைவானதாக வைத்திருக்க முயலுகிறதென்பதையும், அதனால் அப்பரப்பு, தனது பரப்பளவைக் குறைக்கும் இழுவிசையொன்றுக்குட்பட்ட நிலையில் இருப்பதுபோல் தோன்றுகிறதென்பதையும் புரிந்து கொள்ளலாம். இந்தப் பண்பு திரவத்தின் **பரப்பு இழுவிசை**யால் (surface tension) தோன்றக்கூடியதாகும். ஒரு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை என்பது, திரவத்தின் மேற்பரப்பில் வரையப்பட்ட ஓரலகு நீளமுள்ள கோட்டின்மீது, அதற்குச் செங்குத்தாகவும், பரப்பிற்கிணையாகவும் செயல்படுகின்ற விசையாகும்.

இயல்பு மேற்பரப்பாற்றல்

ABCD என்ற சட்டத்தில் (படம் 1-14) *CD* என்ற பக்கம் நழுவிச் செல்லத்தக்க வகையில் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. *ABCD*-யில் ஒரு திரவப்படலம் உள்ளதென்போம். *CD* என்ற நழுவும் பக்கம் x என்ற சிறு தொலைவு நகர்வதாகக் கொள்வோம். திரவத்தின் படலத்தின் இருபுறப் பரப்புகளையும் கருத்தில் கொண்டால் படலத்தின் பரப்பளவில் தோன்றும் உயர்வு $= 2l \times x$. இதில் l என்பது படலத்தின் நீளம் *CD* ஆகும். பரப்பளவு $2lx$ அதிகரிக்கும்போது பரப்பு இழுவிசை T-யை எதிர்த்துச் செய்யப்பட்ட வேலை $= T \times 2\, l \times x$ ஆகும்.



படம் 1.14
மேற்பரப் பாற்றல் கணக்கிடல்

மேலும், படலத்தின் பரப்பு அதிகரிக்கும்போது அதன் வெப்ப நிலை குறையுமாதலால், அதனை ஈடு செய்ய அப்படலம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு வெப்பத்தை உட்கொள்ளும். ஓரலகுப் பரப்பு அதிகரிப்புக்கு உட்கவரப்படும் வெப்ப ஆற்றல் H ஜூல்.

ஆனால், $2lx$ அளவு பரப்பு அதிகரிக்கையில் உட்கவரப்பட்ட வெப்பம் $=2lx \times H$ ஆகும். ஓரலகுப் பரப்பின் ஆற்றல் E என்றால் புதிய பரப்பின் மொத்த ஆற்றல் $= 2lx \times E$ ஆகும்.

∴ ஆற்றல் அழிவின்மை விதிப்படி,

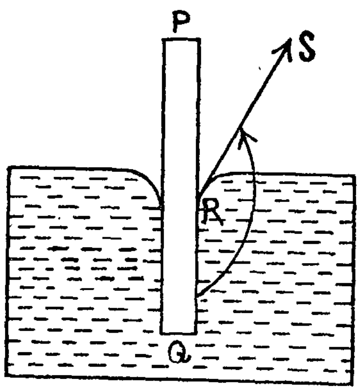
$$E \times 2lx = (T \times 2\,lx) + (H \times 2lx)$$

எனவே $E = T + H$ ஆகும்.

T என்பது திரவ மேற்பரப்பாற்றலின் (surface energy) இயக்க வியல் ஆற்றல் பகுதியைக் குறிக்கும். எனவே ஒரு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை என்பது எண்ணளவில், ஓரலகுப் பரப்பின் இயல்புப் பரப்பாற்றலைக் (*free surface energy*) குறிக்கும்.

1.4.3 சேர்கோணம்

ஒரு திரவம், ஒரு திடப்பொருளைத் தொட்டுக்கொண்டுள்ள போது, அதன் மேற்பரப்பு, திடப் பொருளைத் தொட்டுக்கொண்டுள்ள கோட்டினருகே பொதுவாக வளைந்து காணப்படும். தொடு புள்ளியில் திரவத்தின் மேற்பரப்புக்கு வரையப்படும் தொடு கோட்டுக்கும், திரவத்தினுள் உள்ள திடப்பொருளின் பரப்புக்கும் இடைப்பட்ட கோணம், அந்தத் திடப்பொருளின்மீது திரவத்தின் **சேர்கோணம்** (*angle of contact*) எனப்படும்.



படம் *1.15*

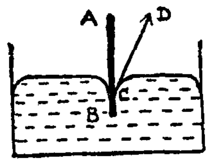
பாதரசத்துள் கண்ணாடி சேர்கோணம்

பாதரசம் உள்ள தொட்டியொன்றினுள் PQ என்ற கண்ணாடித் தகட்டை நுழைத்துப் பாதரசத்துள் அமிழ்த்துவோம். கண்ணாடிப் பரப்பினருகில் பாதரச மேற்பரப்பு கீழே சென்று R என்ற புள்ளி

யில் அதனைச் சந்திக்கிறது. RS என்பது திரவப் பரப்புக்கு R-என்ற புள்ளியில் வரையப்பட்ட தொடுகோடு. R-ல் திரவப் பரப்பின் தொடுகோட்டுக்கும், QR என்ற தகட்டின் நிலைக்கும், இடைப்பட்ட QRS என்ற கோணம், கண்ணாடியின்மீது பாதரசத்தின் சேர் கோணம் எனப்படும். இப்போது கண்ணாடித் தகடு செங்குத்தாக வைக்கப்பட்டிருக்க வேண்டும். பாதரசம் கண்ணாடியுடன் சேர் கோணம் 90° யைவிட அதிகமாக இருக்கும். ஆனால் கண்ணாடியின் மீது மற்றெல்லாத் திரவங்களின் சேர்கோணங்களும் 90° யை விடக் குறைவானவைகளே.

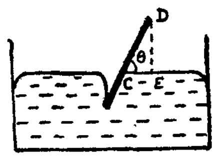
கண்ணாடியின் மீது பாதரசத்தின் சேர்கோணத்தைக் காணல்

பாதரசம் உள்ள ஒரு கலத்துள் நறுநட்டமாக AB என்ற கண்ணாடித் தகடு அமிழ்த்தப்பட்டுள்ளது (படம் 1.16). பாதரசம் வளைந்து கண்ணாடித் தகட்டை C-என்ற புள்ளியில் சந்திக்கிறது. CD என்பது C யில் திரவப் பரப்பின் தொடுகோடாகும். கோணம் $\angle DCB$ கண்ணாடியுடன் பாதரசத்தின் சேர்கோணமாகும்.



படம் 1. 16

கண்ணாடித் தகடு நறுநட்டமாக



படம் 1. 17

கண்ணாடித் தகடு சாய்வாக, பிறைத்தலம் மறையுமாறு

நறுநட்ட நிலையிலிருந்து கண்ணாடித் தகட்டைச் சிறிது சிறிதாகச் சாய்த்துக்கொண்டே வந்து, அது முடிவில் CD என்ற கோட்டுடன் (தொடுகோடு) ஒன்றியுள்ளவாறு வைத்தோமானால், கண்ணாடித் தகட்டின் ஒருபுறம் பிறைத்தலம் மறைந்து மறுபுறம் மிகைப்பட்டுக் காண்கிறது (படம் 1.17)

தகடு CD என்ற கோட்டுடன் இணைந்து நிற்கும்போது பிறைத்தலம் மறைகின்ற தன்மை, கண்ணாடியுடன் பாதரசம் சேர் கோணத்தைக் கண்டறிய உதவுகிறது. அந்த நிலையில் திரவப் பரப்பை E என்ற புள்ளியில் சந்திக்குமாறு D யிலிருந்து ஒரு நறுநட்டக்கோடு (vertical line) வரையப்படுகிறது.

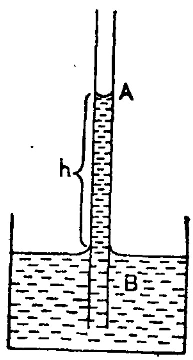
இப்போது $\tan\theta = DE/CE$ ஆகும்.

அல்லது $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{DE}{CE}\right)$ என

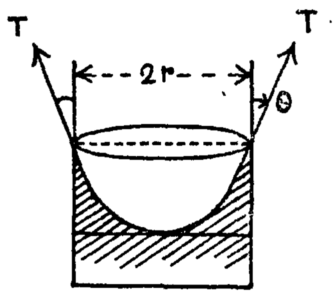
எழுதலாம். இந்த θ என்ற கோணத்தின் நிரப்புகோணம் (supplement), அதாவது $(180-\theta)$ என்ற கோணம், கண்ணாடியுடன் பாதரசத்தின் சேர்கோணத்தைக் கொடுக்கிறது.

1. 4. 4 திரவத்தின் நுண்புழை யேற்றம்

நீர் போன்ற ஒரு திரவத்தினுள். ஒரு நுண்புழைக்குழாயின் (capillary tube) ஒரு முனையை அமிழ்த்தி நிறுத்தினோமானால், நுண்புழைக் குழாயினுள் திரவம் ஒரு குறிப்பிட்ட உயரத்துக்கு ஏறி நிற்கக் காணலாம். நீருக்குப் பதிலாகப் பாதரசத்தைப் பயன்படுத்தினால், நுண்புழைக் குழாயினுள் திரவமட்டம், வெளியில் உள்ளதைவிடத் தாழ்ந்து நிற்பதைக் காணலாம். நுண்புழையினுள் திரவம் மேலேறுவதோ அல்லது கீழிறங்குவதோ, திரவங்களின் ஒரு முக்கியமான பண்பாகும்.



படம் 1.18
நுண்புழை யேற்றம்



படம் 1.19
பிறைத் தலம்

நுண்புழைக் குழாயினுள், திரவ மட்டத்தின் ஏற்றத்தை அளந்து, அதிலிருந்து ஒரு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசையைக் கணக்கிடலாம்.

θ என்பது நுண்புழைக் குழாயுடன் திரவத்தின் சேர்கோணம் என்போம். இப்போது பிறைத்தலத்தின் சுற்றளவு $2\pi r$ ஆகும். இதில் r என்பது நுண்புழையின் ஆரத்தைக் குறிக்கும். இந்த $2\pi r$ என்ற நீளத்தில், $T\cos\theta$ என்ற நேரே மேல்நோக்கிய விசை ஓரலகு நீளத்தின் மீது செயல்படுகிறது. எனவே மொத்த மேல் நோக்கிய விசை $= 2\pi r \times T\cos\theta$ ஆகும். பிறைத்தலத்தின் வளைந்த மேற்பகுதியில் உள்ள திரவத்தின் எடையைப் புறக்கணித்தோமானால், இந்த மேல் நோக்கு விசை h உயரமுள்ள திரவக் கம்பத்தின் எடைக்குச் சமமாக இருத்தல் வேண்டும்.

$$\therefore \; 2\pi r T \cos\theta = \pi r^2 hg\rho$$

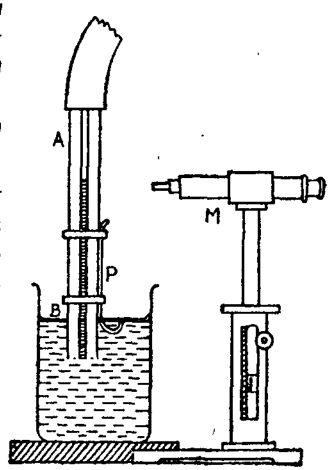
இதில் g என்பது புவியீர்ப்பு முடுக்கத்தையும் ρ-என்பது திரவத்தின் அடர்த்தியையும் குறிக்கின்றன.

∴ திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை

$$T = \frac{\pi r^2 hg\rho}{2\pi r\cos\theta} = \frac{hr\,g\rho}{2\cos\theta}$$

நுண்புழை ஏற்ற முறையில் நீரின் பரப்பு இழுவிசை காணும் முறை : *AB* என்ற சீரான குறுக்குவெட்டுப் பரப்புள்ள ஒரு நுண்புழைக் குழாயை, முதலில் நீர்த்த அமிலத்தால் நன்கு கழுவித் தூய்மையாக்கிப் பின் நீரில் அலசி எடுத்துக் கொள்கிறோம். ஒரு முகவையில் நீரை எடுத்துக்கொண்டு, அதினுள் அக்குழாயை, நறு நட்டமாக ஒருமுனை நீரில் அமிழ்ந்துள்ளவாறு, ஒரு தாங்கியின் துணை கொண்டு வைக்கிறோம் (படம் 1.20). நீரின் பரப்பு இழுவிசையின் காரணமாக, நுண்புழையினுள் நீர் ஒரு குறிப்பிட்ட உயரத்துக்கு ஏறுகிறது. அதன் பிறைத்தலம் *A* என்ற இடத்தருகில் உள்ளது. *P* என்ற ஒரு குறிமுள்ளை, அதன் கூர்முனை முகவையி லுள்ள நீரின் மேற்பரப்பைச் சற்றே தொட்டுக்கொண்டுள்ளவாறு நட்டமாக நிறுத்துகிறோம்.

ஓர் இயங்கு நுண்நோக்கியை (travelling microscope) அதனுள் உள்ள கிடைத்தளக் குறுக்குக் கம்பி திரவத்தின் பிறைத்தலத்திற்குத் தொடு கோடாக உள்ளவாறு சரியமைக்கிறோம். இந்நிலையில் கிடைத் தளத்துக்குச் செங்குத்தாக உள்ள அளவு கோலின் அளவினைக் குறித்துக் கொள்கிறோம். நீருள்ள முகவையை அகற்றிவிட்டு, குறிமுள்ளின் கூர் முனைக்குச் சரியாகக் கிடைத்தளக் குறுக்குக் கம்பி இருக்குமாறு, நுண் நோக்கியைக் கீழிறக்கிச் சரி செய்கிறோம். மீண்டும் அதே செங்குத்து அளவுகோலில் அளவீட்டினைக் குறித்துக் கொள்கிறோம். இந்த இரு அளவீடுகளுக்குமிடையேயுள்ள வேறுபாடு நுண்புழைக் குழாயினுள் நீரின் ஏற்றம் h-ஐக் கொடுக்கும்.



படம் 1.20

நுண்புழை யேற்ற முறை : பரப்பு இழுவிசை காணல்

நுண்புழைக் குழாயின் விட்டம் $2r$-ஐயும் இயங்கு நுண்நோக்கி யால் அளவிட்டு, அதன் ஆரம் r-ஐயும் கணக்கிடுகிறோம்.

திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை

$$T = \frac{hr\rho g}{2\cos\theta}$$

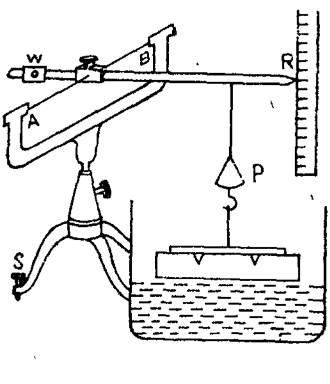
நீர், கண்ணாடியுடன் சேர்கோணம் சுழியாதலால் $\theta = 0$ ஆகும். எனவே $\cos 0 = 1$ ஆதலால்,

$$T = \frac{hr\rho g}{2}$$ எனக் கிடைக்கும்.

h, r ஆகியவை மீட்டரிலும், ρ என்பது கிலோகிராம்/(மீட்டர்)$^{-3}$ என்ற அலகிலும் இருந்தால் T-யின் மதிப்பு நியூட்டன்/மீட்டர் ($N\,m^{-1}$) என்ற அலகில் இருக்கும்.

1. 4. 5 செர்ல் முறுக்குத் தராசினைக் கொண்டு பரப்பு இழுவிசை காணல்

மூன்று கால்களையுடைய ஓர் உலோகச் சட்டத்தின் ஒரு காலில், அதனை ஏற்றி, இறக்கத்தக்க வகையில் ஒரு திருகு உள்ளது (படம் 1.21). இம் மூன்றுகால் சட்டத்தின் நடுவில் ஓர் உலோகத் தண்டு செல்கிறது. இதனை மேலேற்றி நிறுத்தவோ, அல்லது கீழிறக்கி நிறுத்தவோ இயலும். இத் தண்டின் மேற்புறம், ஒரு 'ப' வடிவச் சட்டம் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. AB என்ற எஃகுக் கம்பி இச்சட்டத்தின் மேல்முனைகளுக் கிடையில் இழுத்துக் கட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த எஃகுக் கம்பியின் மையத்தில் ஒரு நீளமான குறிமுள் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. குறி முள்ளின் நீண்ட புயம் ஒரு செங்குத்தாக உள்ள அளவுகோலின் முன்பு நகருமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. அக்குறிமுள்ளின் சிறிய புயத்தில் ஒரு சிறு எடை w எந்த இடத்திலும் நிறுத்திவைக்க இயலும் விதத்தில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. P என்பது குறி முள்ளிலிருந்து தொங்கவிடப்பட்டுள்ள ஒரு சிறு தராசுத் தட்டு. இத் தட்டின் அடிப்புறம் ஒரு கொக்கி உள்ளது. இந்தக் கொக்கியிலிருந்து ஒரு செவ்வகக் கண்ணாடித் தகடு தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது.



படம் 1. 21
செர்ல் முறுக்குத் தராசு

முதலில் கண்ணாடித் தகட்டினை நீர்த்த அமிலத்தையும், நீரையும் கொண்டு கழுவித் தூய்மைப்படுத்துகிறோம். பின்னர் இதனைத்

தராசுத்தட்டின் அடியிலுள்ள கொக்கியிலிருந்து தொங்கவிடுகிறோம். இடம் மாற்றியமைக்குமாறு உள்ள நழுவும் எடை (sliding weight) w-வைச் சரிசெய்து குறிமுள் கிடைத்தளத்தில் உள்ளவாறு செய்து கொள்கிறோம். ஒரு நீருள்ள கண்ணுடித் தொட்டியொன்றினைக் கண்ணுடித் தகட்டின் அடியில் கொண்டு வருகிறோம். தேவைப்பட்டால் உலோகச் சட்டத்தைத் தாங்கும் தண்டினை மேலேற்றிக் கொள்ளலாம்; அல்லது கீழே இறக்கிக் கொள்ளலாம். கண்ணுடித் தகட்டின் அடிப்புறப்பக்கம் கிடைத்தளத்துக் கிணையாக உள்ளவாறு அதனைச் சரி செய்கிறோம். இப்போது இந்தப் பக்கம், தொட்டியிலிருக்கும் நீரின் மேற்பரப்புக்கு இணையாக இருக்கும். நீர்த் தொட்டியைச் சற்றுமேலே உயர்த்தி, கண்ணுடித் தகட்டின் அடிப்புறம் நீரின் பரப்பைச் சற்றே தொட்டுக் கொண்டுள்ளவாறு செய்கிறோம். இப்போது S என்ற திருகினைச் சரிசெய்து நீர்ப் பரப்பிலிருந்து கண்ணுடித் தகடு சற்றே விடுபடுமாறு செய்கிறோம். இவ்வாறு கண்ணுடித்தகடு சற்றே விடுபடும் போது, செங்குத்து அளவுகோலில் குறிமுள்ளின் முனைகாட்டும் அளவீடு R-ஐக் குறித்துக் கொள்கிறோம்.

இப்போது நீர்த்தொட்டியை மட்டும் அகற்றிவிட்டுக் கண்ணுடித் தகட்டில் ஒட்டியிருக்கும் நீரைத் துடைத்துவிடுகிறோம். தராசுத் தட்டில் எடைகளை வைத்துச் சரி செய்து, குறிமுள்ளின் முனை மீண்டும் R என்ற அளவைக் காட்டுமாறு செய்கிறோம். இப்போது தராசுத் தட்டில் வைக்கப்பட்ட நிறை 'm' என்போம். கண்ணுடித் தகட்டின் நீளம் l ஆகவும், தடிப்பு t ஆகவும் இருந்தால், அதன் அடிப்புற விளிம்பில் செயல்படும் பரப்பு இழுவிசை $= 2T\,(l+t)\cos\theta$ ஆகும்.

இதில் T திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசையையும், θ கண்ணுடியுடன் திரவத்தின் சேர்கோணத்தையும் குறிக்கின்றன. நாம் நீரை எடுத்துக் கொண்டுள்ளதால் சேர்கோணம் $\theta = 0$ ஆகும்.

இந்த விசை தராசுத்தட்டில் வைக்கப்பட்ட எடைக்குச் சமமாதல் வேண்டும் ($\because R$ ஒரே அளவைக் காட்டுவதால்).

$$\therefore mg = 2T\,(l+t)$$

$$T = \frac{mg}{2\,(l+t)} \quad N\,\mathrm{m}^{-1}$$

இவ்வாறு சேர்ல் முறுக்குத் தராசைக் (Searles torsion balance) கொண்டு நீரின் பரப்பு இழுவிசையைக் கணக்கிடுகிறோம்.

பயிற்சி 1. 4

1. பரப்பு இழுவிசை என்பதை எடுத்துக்காட்டுகளுடன் விளக்குக.
2. பரப்பாற்றல் என்பது என்ன ? அதற்கும் பரப்பு இழுவிசைக்கும் உள்ள தொடர்பு என்ன ?
3. நுண்புழை யேற்றம் என்பது என்ன ?
4. சேர்கோணம் என்றால் என்ன ? எடுத்துக்காட்டுகளுடன் விளக்குக.
5. நுண்புழை ஏற்ற முறையில் ஒரு திரவத்தின் பரப்ப இழுவிசையை எவ்வாறு கணக்கிடலாம் ?
6. பரப்பு இழுவிசை காண்பதற்குச் செய்யப்படும் ஏதேனுமொரு சோதனையை விவரிக்க.

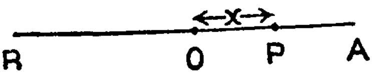
1. 5. அலைவுகளும், அலைகளும்

1. 5. 1 சீரிய இயக்கம்

ஒரு குறிப்பிட்ட நிலைப் புள்ளியைப் பொருத்து, அதிலிருந்து துகளின் தொலைவுக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ள ஒரு விசைக்குட்பட்டு, அதிர்வடைந்து கொண்டுள்ள ஒரு துகளின் இயக்கம், நாம் அன்றாட வாழ்வில் அடிக்கடி சந்திக்கும் ஓர் எளிய வகை இயக்கமாகும். இந்த விசை எப்போதும் துகளை அதன் சமநிலையை நோக்கிச் செலுத்தும் வகையிலேயே செயல்படும். இத்தகைய இயக்கத்தைச் **சீரிய இயக்கம்** (simple harmonic motion) என்கிறோம். ஒரு தனி ஊசலின் அலைவுகள் (oscillations), ஒரு சுருள் வில்லின் அடியில் தொங்கவிடப்பட்டுள்ள எடையின் செங்குத்து அலைவுகள், ஒரு காந்தப் புலத்தில் தடையின்றித் தொங்கவிடப்பட்டுள்ள ஒரு காந்தமுள்ளின் அலைவுகள், ஒலி ஊடுருவும்போது காற்றில், அதன் துகள்களில் தோன்றும் அதிர்வுகள் முதலியவற்றைச் சீரிய இயக்கத்துக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகக் கூறலாம்.

சீரிய இயக்கத்தின் வரையறை : ஒரு துகளின் இயக்கம், அதன் முடுக்கம், ஒரு நிலையான புள்ளியிலிருந்து அதன் தொலைவுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்குமாறும், எப்போதும் அப்புள்ளியையே நோக்கியதாக இருக்குமாறும் அமைந்தால், அத்துகள் சீரிய இயக்கத்தில் உள்ளது என்கிறோம்.

P என்பது *AOB* என்ற நேர்க்கோட்டில் இயங்கும் துகள். அதன் முடுக்கம் அல்லது மீட்புவிசை எப்போதும் *O*-வை நோக்கிய



படம் 1. 22

சீரிய இயக்கம்

தாகவே உள்ளது. மேலும் முடுக்கத்தின் மதிப்பு *O*-விலிருந்து அதன் தொலைவுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கட்டும். இயக்கத்தின் போது ஏதாவதொரு கணத்தில் $OP = x$ என்போம்.

x என்பது எந்த ஒரு கணத்திலும் அதன் மதிப்பு

$$x = A \sin \theta = A \sin (\omega t + \delta)$$

என எழுதத்தக்க வகையில் இருந்தால் அத்துகள் சீரிய இயக்கத்திலுள்ளது எனக் காட்டலாம். இதில் A என்பது x-ன் பெரும மதிப்பு ஆகும். இதனை வீச்சு (amplitude) என்கிறோம். θ என்பதை இயக்கத்தின் கட்டநிலை (phase) என்கிறோம். θ என்பது காலம் t-யைப் பொருத்து மாறுபடும். $\theta = \omega t + \delta$ என எழுதலாம். இதில் ω என்பது கோணத் திசைவேகம் (angular velocity) அல்லது கோண அதிர்வெண் (angular frequency) எனப்படும். δ என்பது துகளின் தொடக்கக் கட்டநிலை (initial phase) எனப்படும். ஏனெனில் $t = 0$ ஆனால் $\theta = \delta$ ஆகும். மேலும் துகளின் அலைவு நேரம் T எனில் கோணத் திசைவேகம் $\omega = 2\pi/T$. அதிர்வெண் $n = 1/T$ ஆதலால் $\omega = 2\pi n$ எனக் கிடைக்கிறது. தொடக்கக் கட்டநிலை $\delta = 0$ ஆனால் $\theta = \omega t$ ஆகும்.

$$\therefore \quad x = A \sin \omega t \quad \text{என எழுதலாம்.}$$

இப்பொழுது, தொடக்கத்தில் $t = 0$ ஆக உள்ளபோது

$\omega t = 0$ ஆதலால்

$x = 0$ ஆகும். ($\because \sin 0 = 0$)

அதேபோல் $\omega t = \pi/2$ ஆனால், அதாவது $t = \pi/2\omega$ எனில் $x = A$ ஆகும். ($\because \sin \pi/2 = 1$). எனவே A என்பது x-ன் உச்ச மதிப்பைக் கொடுக்கும்.

1. 5. 2 அலையியக்கம்

ஆற்றல் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்துக்குச் செல்லும் வகைகளுள் பின்வரும் இரு வகைகள் முக்கியமானவை :

(i) துகள்களின் இடப்பெயர்ச்சியால் ஆற்றல் கடத்தப்படுதல்

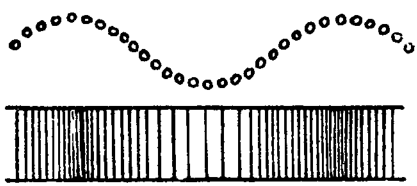
(ii) அலையியக்கத்தால் ஆற்றல் கடத்தப்படுதல்.

ஓர் அமைதியான நீர் நிலையில் கல்லொன்று வீழ்ந்தால், நீர்ப்பரப்பில் வட்ட அலைகள் தோன்றி, சீரான திசைவேகத்துடன் வெளிநோக்கிச் செல்லக் காண்கிறோம். இப்போது நீர்ப்பரப்பின் மீது ஒரு தக்கைத் துண்டை மிதிக்கவிட்டால், அது அலைகளுடன் அவற்றின் திசையில் செல்லாமல், மேலும் கீழுமே நகர்ந்து கொண்டிருக்கக் காணலாம். நீரின் மேற்பரப்பில் உலைவு (disturbance) மட்டுமேதான் வெளிப்புறம் நோக்கிச் செல்கின்றதே யொழிய, நீர்த்திவலைகள் மேலும் கீழும்தான் சென்றுகொண்டிருக்கின்றன. அதாவது அலை செல்கின்ற திசையும், துகள்கள் நகர்கின்ற திசையும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக உள்ளன.

1.5.3 குறுக்கலைகள்

ஓர் ஊடகத்தின் தனித்தனிப் புள்ளிகளின் இயக்கம், அலை முன்னேறிச் செல்லும் திசைக்குச் செங்குத்தான திசையில் இருந்தால் அந்தஅலைகளைக் குறுக்கலைகள் (transverse waves) என்கிறோம். எனவே நீரின் மேற்பரப்பில் தோன்றும் அலைகள் குறுக்கலைகளே.

குறுக்கலைகளில், துகள்கள் அலை செல்கின்ற திசைக்குச் செங்குத்தாக அதிர்வுறுதலால், முகடுகளும் அகடுகளும் (crests and troughs) தோன்றுகின்றன. அலையின் **முகடு** என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் மேல்நோக்கிய உச்ச இடப்பெயர்ச்சியுள்ள புள்ளியைக் குறிக்கும். **அகடு** என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் கீழ்நோக்கிய உச்ச இடப்பெயர்ச்சி அடைந்துள்ள புள்ளியைக் குறிக்கும். இந்த முகடுகளும் அகடுகளும் அலையின் திசையில் அலைவேகம் என்ற திசைவேகத்துடன் செல்கின்றன.



படம் 1. 23

குறுக்கலையும் (மேலே)
நெட்டலையும் (கீழே)

1.5.4 நெட்டலைகள்

ஊடகத்தில் உள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியின் அதிர்வியக்கமும் அலை செல்கின்ற திசைக்கு இணையான திசையில் இருந்தால், அந்த அலை

'நெட்டலை' (longitudinal wave) எனப்படும். வயல்வெளிகளில், லேசான காற்று வீசும்போது கதிர்களின் மேல் மட்டத்தில் தோன்றும் அலைவுகளால் ஓர் அலை செல்வதைக் காணலாம். இது நெட்டலை வகையைச் சேர்ந்ததாகும். இவ்வாறு நெட்டலை களில் துகள்களின் இயக்கம் அலைசெல்லும் திசைக்கு இணையாக இருத்தலால் இறுக்கங்களும் (compressions), அடர்வு குறைப்பு களும் (rarefactions) தோன்றுகின்றன.

இறுக்கம் என்பது அதிர்வு நிலையில் உள்ள துகள்களில் அடர்வு மிக அதிகமாக உள்ள புள்ளியைக் குறிக்கும். **அடர்வு குறைப்பு** என்பது அடர்த்தி மிகக் குறைவாக உள்ள புள்ளியைக் குறிக்கும். இந்த இறுக்கங்களும், அடர்வு குறைப்புகளும் அலை செல்லும் திசையில் அலையின் திசைவேகத்துடன் செல்கின்றன.

1. 5. 5 வரையறை

ஓர் அலையின் **அலைநீளம்** (wavelength) என்பது, அவ்வலையின் மீது ஒரே அதிர்வு நிலையிலுள்ள இரு அடுத்தடுத்த புள்ளிகளின் இடைத்தூரமாகும்.

குறுக்கலைகளில், சாதாரணமாக, இரு அடுத்தடுத்த முகடு களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவையோ, அல்லது இரு அடுத்தடுத்த அகடுகளுக்கிடையேயுள்ள தொலைவையோ அளந்து அலைநீளத்தைப் பெறுதல் வழக்கம். அதேபோல, நெட்டலைகளில், இரு அடுத் தடுத்த இறுக்கங்களுக்கிடையேயுள்ள தொலைவையோ, அல்லது இரு அடுத்தடுத்த அடர்வு குறைப்புகளுக்கிடையேயுள்ள தொலை வையோ அளந்து அலைநீளத்தைக் காண்கிறோம்.

ஓர் அலைசெல்லும் பாதையில் உள்ள ஒரு புள்ளியை அலையின் எத்தனை அலைநீளங்கள் 1 செகண்டில் கடக்கின்றனவோ, அந்த எண்ணிக்கையை **அதிர்வெண்** (frequency) என்கிறோம். இது ஊடகத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட துகள், 1 செகண்டில் அதன் அமைதி நிலையைப் பொருத்து உண்டாக்கும் அதிர்வுகளின் எண்ணிக்கைக் கும் சமமாக இருக்கும். இந்த அதிர்வெண் 'ஹெர்ட்ஸ்' (Hertz) என்ற அலகால் அளக்கப்படும்.

குறுக்கலையின் **அலைவேகம்** (velocity) என்பது அதன் முக டொன்று அல்லது அகடொன்று 1 செகண்டில் கடக்கும் தொலை வைக் குறிக்கும். நெட்டலையின் அலைவேகம் என்பது அதன் ஒரு இறுக்கமோ அல்லது அடர்வுக் குறைப்போ 1 செகண்டில் கடக்கும் தொலைவினைக் கொடுக்கும்.

1. 5. 6 வாய்பாடு

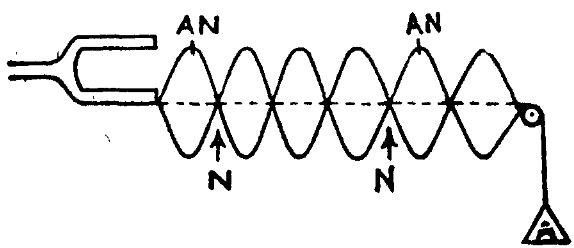
n என்பது ஓர் அலையின் அதிர்வெண்ணாகவும் λ என்பது அதன் அலை நீளமாகவும் இருந்தால், 1 செகண்டில் ஒரு முகடு அல்லது

அகடு செல்கின்ற தொலைவு $n\lambda$ ஆகும். அதேபோல, ஓர் இறுக்கம் அல்லது அடர்வுக் குறைப்பு 1 செகண்டில் கடக்கும் தொலைவு $n\lambda$ ஆகும். $n\lambda$ என்பது 1 செகண்டில் கடக்கப்படும் தொலைவு ஆதலால் இது அலையின் திசைவேகம் v க்குச் சமம்.

$$\therefore v = n\lambda$$

1. 5. 7 முன்னேறு அலைகளும் நிலை அலைகளும்

ஒரு பரந்து விரிந்த ஊடகமொன்றில் அலைகள் தோற்றுவிக்கப்பட்டால் அவை தடையின்றி முன்னேறிச் செல்கின்றன. இவ்வாறு செல்லும் அலைகள் **முன்னேறு அலைகள்** (progressive waves) எனப்படுகின்றன. ஆனால் ஒரு முன்னேறும் அலையின் பாதையில் ஏதேனும் தடங்கல் இருந்தால், அந்த அலை பிரதிபலிக்கப்படும். இவ்வாறு பிரதிபலிக்கப்படும் அலையும் முன்னேறும் அலையும் ஒன்றின்மீது ஒன்று மேற்செலுத்தப்படுகின்றன. ஊடகத்தின் ஒவ்வொரு துகளும், ஒரே சமயத்தில் முன்னேறு அலையாலும், எதிரொலி அலையாலும் தோன்றும் அதிர்வுகளுக்கு உட்படுத்தப்படுகிறது. ஊடகத்தின் சில புள்ளிகளில் ஓர் அலையின் விளைவை மற்றோர் அலை சமன் செய்து, அப்புள்ளிகளில் துகள்கள் எந்தவிதமான அதிர்வுக்கும் உட்படாமல் இருக்கின்றன. இப்புள்ளிகள் **கணுக்கள்** (nodes) எனப்படுகின்றன. இரு அடுத்தடுத்த கணுக்களுக்கு நடுவே உள்ள புள்ளிகளில் துகள்கள் பேரதிர்வுக்கு உட்படுத்தப்படுகின்றன. இப்பேரதிர்வுப் புள்ளிகள் **எதிர்கணுக்கள்** (antinodes) எனப்படுகின்றன. எனவே எதிரெதிர்த்



படம் 1. 24
நிலை அலைகள்

திசைகளில் இரு ஒரேமாதிரியான அலைகள் ஒன்றின்மீது மற்றொன்று மேற்செலுத்தப்படும்போது **நிலை அலைகள்** (stationary waves) தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. கணுக்களும், எதிர்க்கணுக்களும், நிலை அலைகளின் பண்புகளாகும். குறுக்கதிர்வு நிலை அலைகளை ஒரு நூலில் பின்வருமாறு தோற்றுவிக்கலாம் :

ஓர் இசைக்கவையின் புயத்தில் அதற்கிணையாக ஒரு **நூல்** இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்நூல் ஓர் உராய்வற்ற கப்பியின் வழியே சென்று மறுமுனையில் ஓர் எடைத்தட்டைத் தாங்குகிறது. எடைத்தட்டின் மீது வைக்கப்பட்டுள்ள எடைகளால் நூல் விறைப் பாக இழுத்து வைக்கப்பட்டுள்ளது. இசைக்கவையை மின்சாரத் தால் இயக்கி அதிர்வுறச் செய்கிறோம். இசைக்கவைக்கும், கப்பிக்குமிடையே உள்ள நூலின் நீளத்தையும், எடைத் தட்டில் உள்ள எடையையும். தக்கவாறு சரிசெய்து மாற்றியமைத்தால், ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையில், நூலில் **கண்ணிகள்** (loops) தோன்றக் காணலாம். N, N எனக் குறிக்கப்பட்டுள்ள புள்ளிகள் அமைதி நிலையில் உள்ளன. அவை கணுக்களாகும். AN, AN என்று குறிக்கப்பட்டுள்ள புள்ளிகள் எதிர்க்கணுக்கள் ஆகும். இரு அடுத் தடுத்த கணுக்களின் இடைத்தூரம் அலைநீளத்தில் பாதியாகும். ஒரு கணுவுக்கும் அதனையடுத்த எதிர்க்கணுவுக்கும் இடைத்தூரம் அலைநீளத்தில் கால் பங்காகும்.

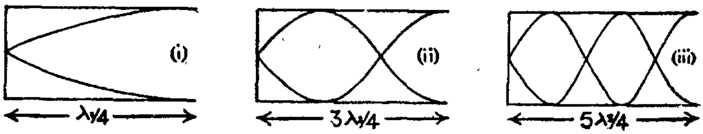
ஒரு குழாயில் உள்ள காற்றுத் தம்பத்தில் நெட்டலைகளின் நிலை அலையைத் தோற்றுவிக்க இயலும். ஒருபுறம் மூடப்பட்டுள்ள ஒரு குழாயை எடுத்துக் கொள்வோம். ஒரு முன்னேறும் நெட்டலை யொன்று குழாயினுள் உள்ள காற்றுத் தம்பத்தின் வழியே முன் னேறுவதாகக் கொள்வோம். இவ்வலை குழாயின் மூடிய முனையை அடையும்போது, எதிரொலிக்கப்பட்டுத் திருப்பி அனுப்பப்படு கிறது. இவ்வாறு எதிரொலிக்கப்படும் அலை, முன்னேறும் அலை ஆகிய இரண்டும் ஒன்றின்மீதொன்று மேற்செலுத்தப்படுகின்றன. இப்போது குழாயின் நீளம் தகுந்ததாக இருந்தால், நெட்டலை களில் நிலை அலைகள் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன.

1. 5. 8 காற்றுத் தம்பங்கள், காற்றுக் குழாய்கள் ஆகியவற்றின் அதிர்வுகள்

ஒலியைத் தோற்றுவிக்கும் பொருட்கள் பல்வேறு வழிகளில் அதிர்வுகளைத் தோற்றுவிக்கக்கூடும். இதனால் தோன்றும் ஓசை, பல்வேறு அதிர்வெண்களைக் கொண்ட, ஒரு சிக்கலான (complex) ஒலியாக இருக்கும். இந்தக் கலப்பு ஒலியின் மிகச் சிறிய அதிர் வெண் கொண்ட ஒலி, வலிமை மிக்கதாக (intense) இருக்கும். இதனை **அடிப்படை ஒலி** அல்லது **அடிப்படைச் சுரம்** (fundamental) என்கிறோம். $1 : 2 : 3 : \ldots$ என்ற விகிதத்திலுள்ள மேற்சுரங்கள் (overtones), **சீரியத் தொடர்** (Harmonic series) என்ற தொடரை அமைக்கின்றன. **ஆர்க்கன் குழாய்கள்** (organ pipes) எனப்படும் இசைக்கருவிகள் இவ்வாறு பல சீரிசைகளைத் தோற்றுவிக்கவல்லன.

ஆர்கன் குழாய்களில் மேற்சுரங்கள் : (1) ஒருபுறம் மூடிய ஆர்கன் குழாய் : புல்லாங்குழல் போன்று ஒருபுறம் மூடப்பட்டு,

மறுபுறம் திறந்துள்ள குழாய் **மூடிய ஆர்கன் குழாய்** (closed organ pipe) எனப்படும். இதிலிருந்து ஒலி தோன்றும்போது மூடிய முனையில் எப்போதும் கணுவும், திறந்த முனையில் எப்போதும் எதிர்க்கணுவும் தோன்றுகின்றன. அதிர்வெண் மற்றவைகளை விடக் குறைவானதாகவும், அலைநீளம் மற்றவைகளின் அலைநீளங்களைவிட அதிகமானதாகவும் உள்ள அடிப்படைச் சுரம் **உரப்பு** (loudness) மிக்கதாக இருக்கும்.



படம் 1. 25

மூடிய ஆர்கன் குழாய்

அடிப்படை ஒலியெழுப்புகையில் குழாயில் ஒரு கணுவும், ஒரு எதிர்க்கணுவும் மட்டுமே தோன்றுகின்றன. குழாயின் மொத்த நீளம் ஒரு கண்ணியின் நீளத்தில் சரிபாதி நீளமுள்ளதாக, அதாவது அலைநீளத்தில் நாலில் ஒரு பகுதி நீளமுள்ளதாக இருக்கிறது.

$$l = \frac{\lambda_1}{4} \quad \text{அல்லது} \quad \lambda_1 = 4\,l$$

ஒலியின் திசைவேகம் v எனில்,

$$v = n_1\,\lambda_1 \quad \text{ஆதலால்,}$$

$$v = n_1 \times 4l$$

$$\text{அல்லது} \quad n_1 = \frac{v}{4l}$$

முதல் **மேற்சுரம்** (first overtone) என்பது காற்றுத் தம்பத்தின் அடுத்த உயர்வு அதிர்வு நிலையைக் குறிப்பதாகும். இந்நிலையில் இரு கணுக்களும், இரு எதிர்க்கணுக்களும் குழாயில் தோன்றுகின்றன. இப்போது குழாயின் மொத்த நீளத்தில், மூன்று கால்பகுதி அலை நீளங்கள் அடங்கியுள்ளன (படம் 1. 25 ii).

$$\therefore \; l = \tfrac{3}{4}\,\lambda_2 \quad \text{(என்போம்)}$$

$$\text{அல்லது} \quad \lambda_2 = \tfrac{4}{3}\,l$$

$$v = n_2\,\lambda_2 \text{ எனில் } v = n_2 \times \tfrac{4}{3}\,l$$

$$n_2 = \frac{3v}{4l} = 3\,n_1.$$

எனவே முதல் மேற்சுரம் அடிப்படைச் சுரத்தைப்போல் மும் மடங்கு அதிர்வெண் கொண்டதாக உள்ளது. எனவே இது மூன்றாவது **சீரிசை** (harmonic) ஆகும். அடுத்த மேற்சுரம் காற்றுத் தம்பத்தின் அடுத்த உயர் அதிர்வு நிலை (படம் 1. 25 iii)-யைக் குறிக்கும். இந்நிலையில் குழாயின் மொத்த நீளத்தில் ஐந்து காற் பகுதி சீரிசை நீளங்கள் அடங்குகின்றன.

எனவே $l = \frac{5}{4} \lambda_3$ (என்போம்)

$$\therefore \quad \lambda_3 = \frac{4}{5} l$$

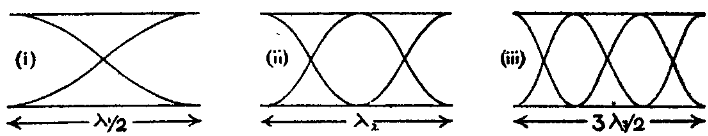
$v = n_3 \lambda_3$ ஆதலால்,

$$n_3 = \frac{v}{\lambda_3} = \frac{5v}{4l} = 5\, n_1$$

எனவே இரண்டாவது மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண் அடிப்படை அதிர்வெண்ணைப் போல் ஐந்து மடங்காகும். எனவே இது ஐந்தாவது சீரிசையாகும்.

எனவே மூடிய ஆர்கன் குழாய்களில் தோன்றும் சுரங்கள் 1 : 3 : 5 : ... என்ற விகிதத்தில் உள்ளன.

(2) திறந்த ஆர்கன் குழாய் : நாதஸ்வரம் போன்று இரு புறமும் திறந்த முனைகளுள்ள குழாய்கள் **திறந்த ஆர்கன் குழாய்கள்** (open organ pipes) எனப்படுகின்றன. இவ்வகைக்



படம் 1. 26
திறந்த ஆர்கன் குழாய்கள்

குழாய், அடிப்படை ஒலி எழுப்பும்போது, குழாயின் இரு முனைகளிலும் எதிர்க் கணுக்கள் தோன்றுகின்றன. எனவே குழாயின் உட்பகுதியில் மையத்தில் ஒரு கணு இருத்தல் வேண்டும். குழாயின் நீளம் இப்போது ஒரு கண்ணியின் நீளத்துக்குச் சமமாக, அதாவது அரை அலைநீளத்துக்குச் சமமாக இருக்கும்.

$$l = \frac{\lambda_1}{2}$$

அல்லது $\lambda_1 = 2l$

எனவே, அடிப்படைச் சுரத்தின் அதிர்வெண்

$$n_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2l}$$

முதல் மேற்சுரத்தில், திறந்த ஆர்கன் குழாயினுள் இரு கணுக்கள் தோன்றுகின்றன. எனவே குழாயின் நீளம், இப்போது ஒரு அலை நீளத்துக்குச் சமமாக இருக்கும். எனவே முதல் மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண்

$$n_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{l} = 2 \times \frac{v}{2l} = 2\, n_1$$

எனவே முதல் மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண் அடிப்படைச் சுரத்தின் அதிர்வெண்ணைப் போன்று இரு மடங்கானது. இதற்கு அடுத்த மேற்சுர ஒலிஎழுப்புகையில் குழாயினுள் மூன்று கணுக்கள் தோன்றுகின்றனவாதலால் குழாயின் நீளம், அலைநீளத்தின் ஒன்றரை மடங்குக்குச் சமமாக இருக்கும். எனவே இந்த மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண்,

$$n_3 = \frac{v}{\lambda_3}$$

ஆனால் $l = \frac{3}{2}\lambda_3$ ஆதலால்,

$$\lambda_3 = \frac{2}{3} \times 2\, l$$

$$\therefore\ n_3 = \frac{3\, v}{4\, l} = 3\, n_1$$

எனவே இரண்டாவது மேற்சுரத்தின் அதிர்வெண் அடிப்படை அதிர்வெண்ணைப் போல் மூன்று மடங்கானது.

எனவே சீரிசைத் தொடரின் அதிர்வெண்கள் 1 : 2 : 3 : ... என்ற விகிதத்திலுள்ளன.

திறந்த ஆர்கன் குழாய்களில், ஒற்றைப்படைச் சீரிசைச் சுரங்களும், இரட்டைப்படைச் சீரிசைச் சுரங்களும் உள்ளன. ஆனால் மூடிய ஆர்கன் குழாய்களில் ஒற்றைப்படைச் சீரிசைச் சுரங்கள் மட்டுமே உள்ளன.

1. 5. 9 திணிப் பதிர்வு

அதிர்வுறும் எந்தப் பொருளும் அதனுடைய மீட்சி மாறிலிகள் (elastic constants), பரிமாணங்கள், அதிர்வு வகை முதலியவைகளைப் பொருத்த ஓர் **இயல்பதிர்வெண் (natural frequency)** கொண்டதாக இருக்கும். இத்தகைய இயல்பதிர்வுகளைத் **தற்சார்பு அதிர்வுகள்** (free vibrations) எனவும் கூறலாம். அதிர் ஊட்டப்பட்ட ஓர் இசைக்கவை, ஈர்ப்பு விசையினால் அலைவுறும் ஊசல் முதலியவை தற்சார்பு அதிர்வுகளுக்கான எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

இப்போது, நாம், ஒரு குறிப்பிட்ட இயல்பதிர்வெண்ணும், அலைவு நேரமும் கொண்ட ஒரு பொருளின் மீது, மற்றொரு குறிப்பிட்ட அலைவு நேரத்துக்குட்பட்ட ஒரு விசை செயல்படுவதால் தோன்றும் அதிர்வுகளைக் காண்போம். இந்த விசையின் அலைவு நேரம், பொருளின் தற்சார்பதிர்வின் அலைவு நேரத்துக்குச் சமமாகவோ அல்லது மாறுபட்டோ இருக்கலாம். ஆனால் இறுதியில் அந்தப் பொருள் செலுத்து விசையின் (impressed force) அலைவு நேரத்தையே, தனது அலைவு நேரமாகக் கொண்டு அதிர்வுறத் தொடங்கும். இத்தகைய பொருளின் அலைவுகளைத் **திணிப் பதிர்வுகள்** (forced vibrations) என்கிறோம். ஏனெனில் இவ்வதிர்வுகளின் அதிர்வெண், பொருளின் பண்புகளைப் பொருத்து அமையாமல், மேற்செலுத்துகின்ற விசையின் அதிர்வெண்ணுக்குச் சமமாகவே எப்போதும் இருக்கும். ஓர் இசைக்கவையை அதிர்வூட்டிக் கையில் பிடித்துக்கொண்டிருந்தோமானால், கேட்கும் ஒலியின் உரப்பு, மிகவும் குறைவாக இருக்கும். இசைக்கவையை அதிர்வூட்டி அதன் தண்டினை ஒரு பலகையின் மீது வைத்தோமானால், இசைக்கவையின் அதிர்வெண் எதுவாக இருப்பினும், உரப்பு அதிகமாகக் காணலாம். இப்போது பலகை, மேற்செலுத்தப்படும் அதிர்வு விசையைப் பொருத்து அதே அதிர்வெண்ணுடன் அதிருமாறு செய்யப்படுகிறது. அதாவது இசைக்கவையின் அதிர்வுகள் பலகையின் மீது திணிக்கப்படுகின்றன எனக் கூறுகிறோம். இத்தகைய திணிப் பதிர்வுகளின் வீச்சோ அல்லது வலிமையோ, மேற்செலுத்தும் அலைவு விசையின் அதிர்வெண்ணுக்கும், பொருளின் இயல் பதிர்வெண்ணுக்குமிடையே உள்ள வேறுபாட்டைப் பொருத்ததாகும்.

1. 5. 10 ஒத்திசைவு

பலகையின் இயல்பதிர்வெண்ணும், இசைக்கவையின் இயல்பதிர்வெண்ணும் ஒன்றாக இருந்தால், கேட்கும் ஒலியின் உரப்பு மிக அதிகமானதாக இருக்கும். இவ்வாறு பலகை, இசைக்கவை ஆகியவற்றின் இயல்பதிர்வெண்கள் ஒத்திருந்தால், திணிப்பதிர்வுகளின் வீச்சும், அதனால் வலிமையும் மிகமிக அதிகமாகின்றன. இப்போது பொருள், செலுத்தப்படும் அதிர்வு விசை ஆகியவை **ஒத்திசைவு** (resonance) கொண்டுள்ளன எனக் கூறுகிறோம்.

தன்னுடைய இயல்பதிர்வெண்ணோடு, ஊசலாடிக்கொண்டிருக்கும் ஓர் ஊஞ்சலின் இயக்கத்தைக் காண்போம். ஊஞ்சல் ஒவ்வொருமுறை நம்மிடமிருந்து முன் நோக்கிச் செல்லத் தொடங்கும்போதெல்லாம், அதே திசையில் சிறு அளவு விசையைத் தொடர்ந்து ஒவ்வொரு முறையும் செலுத்தித் தள்ளிக்கொண்டிருந்தால், சற்று நேரத்தில் ஊஞ்சலின் அலைவு அதிகமாகி, அதிக

அளவுள்ள வீச்சுடன் அதிர்வுறத் தொடங்கும். இந்த நிலையில் நாம் விசைகளைச் செலுத்துகின்ற கால இடைவெளியும், ஊஞ்ச லின் அலைவு நேரமும் ஒன்ருக உள்ளன. அதாவது இரு அதிர் வெண்களும் சமமாகின்றன. எனவே இதனை 'ஒத்திசைவு' என் கிறேம்.

இவ்வாறு சரியான கால இடைவெளிகளில் விசைகளைச் செலுத்தித் தள்ளாவிடில் ஊஞ்சலின் வீச்சு நிச்சயமாகக் குறைந்து விடும். அதாவது ஊஞ்சலின் அதிர்வெண்ணும், மேற்செலுத்து விசையின் அதிர்வெண்ணும் ஒன்ருக இல்லாவிட்டால், வீச்சு குறைந்துவிடும்.

ஒரு குழாயில் உள்ள காற்றுத் தம்பத்தின் நீளத்தைச் சரி செய்து, அதன் இயல்பதிர்வெண்ணும், இசைக்கவையொன்றின் அதிர்வெண்ணும் சமமானவைகளாகச் செய்தோமாளுல், அந்த இசைக்கவையை அதிர்வூட்டிக் குழாயின் வாயருகில் வைக்கும் போது, 'பூம்' என்ற பேரொலி கேட்கக் காணலாம். காற்றுத் தம்பம் ஒத்ததிர்வுகளுடன் (resonant vibrations) இயங்கு வதே இதற்குக் காரணமாகும்.

1. 5. 11 தடையுறு அதிர்வுகள்

ஒரு பொருள், அதன் இயக்கத்துக்கு எந்தவிதமான தடையு மில்லாமல், தங்கு தடையின்றி அதிர்ந்து கொண்டுள்ளபோது, அதன் வீச்சு நிலையான மதிப்புடன் இருக்கும். பொதுவாக, எப்போதும் ஏதாவதொரு வகையில் தடை இருந்துகொண்டே யிருக்கும். இதனைத் தடையுறல் **(damping)** என்கிறேம். இவ்வாறு தடையுறல் காரணமாக வீச்சு குறைவதோடு, அதிர்வெண்ணும் சற்றே மாறுபடக் கூடும். இத்தகைய அதிர்வுகள் **தடையுறு அதிர்வு கள்** (damped vibrations) எனப்படுகின்றன. பொதுவாக, இவ்வகை அதிர்வுகளில் அலைவு நேரம் சற்றே அதிகரிக்கலாம். சோதனைசளி லிருந்து ஓர் இசைக்கவை அதிர்ந்து கொண்டுள்ளபோது 'தடை யுறல்' மிகமிகக் குறைவானதாக உள்ளதென அறிகிறேம். ஆனுல் ஒரு காற்றுத்தம்பம் அதிர்வுறும்போது, தடையுறல் விளைவு மிகமிக அதிகமாக உள்ளதால், அலைவுகள் சில அதிர்வுசளுக்குப் பின்னர் வீச்சு குறைந்து மங்கிவிடக் காண்கிறேம்.

1. 5. 12 மீ ஒலியியல்

ஓர் ஆரோக்கியமான மனிதனின் காதுகள் 20 முதல் 20,000 ஹெர்ட்ஸ்வரை அதிர்வெண்கள் கொண்ட ஒலிகளைச் சாதாரண மாக உணர்ந்து கொள்கின்றன. 20,000 ஹெர்ட்ஸைவிட அதிக மான அதிர்வெண்கள் கொண்ட ஒலிகளை **மீ ஒலிகள்** (ultrasonics) எனக் கூறுவோம். வெளவால் போன்ற சில மிருகங்களும் சுவர்க்

கோழி போன்ற சில பறவைகளும், இவ்வகை ஒலிகளைத் தோற்று விக்கும் தன்மையையும் அவற்றை உணர்ந்தறியும் தன்மையையும் பெற்றுள்ளன. சோதனைச் சாலையில் தனிச்சிறப்புள்ள சில அலை யியற்றிகளைக் (oscillators) கொண்டு 10 மெகாஹெர்ட்ஸ் வரை (upto 10 mega Hertz) அதிர்வெண்களுள்ள மீ ஒலி அலைகளைத் தோற்றுவிக்க இயலும். இந்த மீ ஒலி அலைகளும், சாதாரண ஒலி அலைகளின் விதிகளுக்குக் கட்டுப்பட்டவையாகும். இத்துடன் சாதாரண ஒலி அலைகளைப் பயன்படுத்த இயலாத சில பயனுள்ள முறைகளிலும் மீ ஒலிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

மீ ஒலிகளின் பயன்கள்

(1) பொருள்களின் ஆய்வு : மீ ஒலிகள், உலோகங்களையும், மின்காந்தக் கதிர்கள் (electromagnetic radiations) ஊடுருவ இயலாத மற்ற சில பொருட்களையும் ஊடுருவிச் செல்லும் வன்மை படைத்தவை. இரு ஊடகங்கள் சந்திக்கும் பொதுப் பரப்பில் அவை எதிரொலிக்கப்படுகின்றன. இந்த உண்மைகளைப் பயன் படுத்தி, உலோகத்தினுள் உள்ள குறைபாடுகளையும், உலோக இணைப்புகளில் உள்ள வெடிப்புகளையும் கண்டறிவதற்கு இயலும்.

(2) எதிரொலித்தறிதல் : எதிரொலித்தறிதல் (echo sounding) முறைகளைப் பயன்படுத்திப் பெருங்கடல்களின் ஆழங்களையும், கடலில் மிதக்கும் பெரிய பனிக்கட்டி மலைகளின் தொலைவுகளையும் கணக்கிட்டறிய இயலும். ஒரு மீ ஒலி அலைத் துடிப்பை (pulse) அனுப்பி, அதன் எதிரொலியைத் தகுந்த ஏற்பியைக் (receiver) கொண்டு மீண்டும் பெறுகிறோம். மீ ஒலித் துடிப்பு வெளியே செலுத்தப்பட்ட தருணத்திலிருந்து, அது மீண்டும் ஏற்பியை வந்தடையும் தருணம் வரையுள்ள கால இடை வெளி, துடிப்பின் காலம் (pulse width), அவ்வூடகத்தில் ஒலி அலைகளின் வேகம் முதலியவற்றை அறிந்திருந்தால், கடலின் ஆழத்தைக் கணக்கிட்டறிய இயலும். மீ ஒலி பொதுவாக ஒரு குறுகிய கற்றை (beam) வடிவில் பயன்படுத்தப்படும். இவ்வகைச் சோதனைகளில் 14,000 முதல், 18,000 ஹெர்ட்ஸ் அதிர்வெண் கள் வரையுள்ள மீ ஒலிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

(3) சோனர் : மீ ஒலியின் மிக முக்கியமான பயன்களுள் ஒன்று 'சோனர்' (SONAR) எனப்படும். இது (Sound Navigation And Ranging) என்ற சொற்றொடரின் சுருக்கக் குறியீடாகும். இதன் பொருள், 'ஒலி அலைகளைச் செலுத்திக் கடலில் தொலைவு காணல்' என்பதாகும். இதுவும் எதிரொலித்தறிதல் முறையைச் சார்ந்ததே.

மீ ஒலிகள் ஆற்றல் குறையாமல், நீரில் பெருந்தொலைவு செல் லும் தன்மை கொண்டவை. கறைபடியாத எஃகு முகப்புக்களை

யுடைய கவிகை மோடு (dome) ஒன்றினுள், ஒரு மீ ஒலி அலையியற்றியும், ஏற்பியும் வைக்கப்பட்டுள்ளன. இக்கவிகை மோட்டினை நீருக்குள் இறக்கி, ஒரு நிலையான குறிப்பிட்ட வேகத்துடன் சுழற்றுகிறோம். செலுத்துகின்ற துடிப்புக்கும், ஏற்பியில் வந்து சேருகின்ற துடிப்புக்கும் இடைப்பட்ட கால அளவிலிருந்து நீர் மூழ்கிக் கப்பல் (submarine) உள்ள தொலைவினையும், ஏற்பி எத்திசையில் உள்ளபோது துடிப்பு உணரப்பட்டது என்பதிலிருந்து அது இருக்கும் திசையையும் அறிந்து கொள்ளலாம்.

(4) மருத்துவத் துறை : X-கதிர்களுக்குப் பதிலாக, மனித உடலில் உள்ள சில கட்டிகளைக் கண்டறிய மீ ஒலி அலைவுகளைப் பயன்படுத்தலாம். அறுவைச் சிகிச்சையில் மீ ஒலி அலைகளை உட்கவர்வதால் தோன்றும் வெப்பத்தைப் பயன்படுத்திச் சில நுண்ணுயிர் அமைப்புகளை அழிக்கவும் இயலும். கீல்வாதம் (rheumatism), மூக்கு சம்பந்தமான சில நோய்கள் (arthritis), சிறு கட்டி (abscess) போன்றவைகளின் சிகிச்சையில் மீ ஒலி பயன்படுத்தப்படும்

பயிற்சி 1. 5

1. சீரிய இயக்கம் என்றால் என்ன ? எடுத்துக்காட்டுகளுடன் விளக்குக.
2. இருவகை முன்னேறும் அலைகள் யாவை ? அவை எவ்வாறு பரவுகின்றன ?
3. அலைநீளம், அதிர்வெண் ஆகியவற்றை வரையறுத்து, அவைகளைத் திசைவேகத்தோடு தொடர்புபடுத்தும் சமன்பாட்டைப் பெறுக.
4. நிலை அலைகள் என்றால் என்ன ? அவை எவ்வாறு தோன்றுகின்றன ?
5. சீரிசைத் தொடர் என்றால் என்ன ? மேற்சுரங்கள் என்றால் என்ன ?
6. மூடிய ஆர்கன் குழாய், திறந்த ஆர்கன் குழாய் என்பன யாவை ? அவற்றில் தோன்றும் மேற்சுரங்கள் எவ்வாறு உள்ளன ?
7. ‘ திணிப்பதிர்வுகள் ’ என்றால் என்ன ? ‘ஒத்திசைவு’ என்றால் என்ன ?
8. மீ ஒலி என்பது என்ன ? விளக்குக.
9. மீ ஒலிகளின் பயன்கள் யாவை ?

2. வெப்ப இயற்பியல்

2. 1. வெப்பநிலை அளவீடு

2. 1. 1 முன்னுரை

தடை (brakes) செலுத்தப்படுவதன் மூலம் ஒரு தானியங்கி வாகனம் (automobile) அமைதி நிலைக்குக் கொண்டுவரப்படு வதாகக் கொள்வோம். வாகனத்தின் இயக்க ஆற்றல் மறைந்து விடுகிறது. ஆனால் அதன் சக்கரத்தின் தடைசெலுத்தும் உட்புற உறை (brake linings) **வெப்ப நிலை** (temperature) உயரக் காண் கிறோம். புவியின் காற்று மண்டலத்துக்குள் நுழைகின்ற ஒரு விண்வீழ்கல் (meteorite), காற்று மண்டலத்தின் உராய்வு விசையை எதிர்த்துப் பணி புரிதலால் தனது ஆற்றலை இழக்கிறது. இந்த ஆற்றல் இழப்பு வெப்ப நிலை உயர்வதற்கு உதவுகிறது. இதன் காரணமாகப் பெரும்பாலும் அந்த விண்வீழ்கல் தரையை அடையும் முன்னரே உருகிவிடுகிறது. இந்த எடுத்துக்காட்டுகளில் தோன்றுகின்ற வெப்பநிலை உயர்வு, பொருட்களில் தோன்றிய ஒருவித மாற்றத்தைக் குறிக்கிறது. இந்த மாற்றம் பொருட் களின் **வெப்ப ஆற்றல்** உயர்வேயாகும். மேற்கூறியவை இயக்க ஆற்றல், வெப்ப ஆற்றலாக மாறுவதற்கு இரு எடுத்துக்காட்டு களாகும். இதேபோல, மின்னாற்றலை வெப்பமாக மாற்ற இயலும். இத்தகைய மாற்றங்களிலிருந்து வெப்பமும் ஒரு வகை ஆற்றலே என்பது புலனாகிறது. எனவே, வெப்பமும், ஆற்றலின் அலகான ஜூல் (Joule) என்ற அலகினாலேயே அளக்கப்பெறும்.

வெப்பமும் (heat), வெப்ப நிலையும் (temperature) ஒன்றுக் கொன்று தொடர்புடைய, ஆனால் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று வேறு பட்ட இரு அளவுகளாகும். வேறொரு முறையில் சொல்ல வேண்டு மானால், வெப்பம் என்பது காரணத்தையும் (cause), வெப்பநிலை என்பது விளைவையும் (effect) குறிக்கின்றன. ஒரு பொருளுக்கு வெப்பம் தரப்பட்டால் அதன் வெப்பநிலை உயர்கிறது. ஆனால் ஒரு பொருளிலிருந்து வெப்பத்தை வெளியேற்றினால், அப்பொரு ளின் வெப்பநிலை குறைகிறது. வெப்பம், முன்னர் கூறியதுபோல், ஆற்றலைக் குறிக்குமாதலால் ஜூல் அல்லது கேலரி (calorie) என்ற அலகுகளால் அளக்கப் பெறும். ஆனால் வெப்ப நிலை 'டிகிரி' (degree) என்ற அளவால் அளக்கப்பெறும்.

வெப்பநிலைகளை, வெப்பநிலைமானிகளைக் (thermometers) கொண்டு அளவிடுகிறோம். சென்டிகிரேடு அல்லது **செல்சியஸ்**

(Celsius) வெப்பநிலைமானியில், பனிக்கட்டியின் உருகுநிலைக்கும் (ice point), நீரின் கொதிநிலைக்கும் (steam point) இடையே 100 டிகிரிகள் உள்ளன. இம்முறையில் இயல்பு அழுத்தத்தில் (normal pressure) பனிக்கட்டியின் உருகு நிலையை, வழக்குப்படி 0°C எனவும், இயல்பு அழுத்தத்தில் நீரின் கொதிநிலையை அதே வழக்குப்படி 100°C எனவும் கொண்டிருக்கிறோம். இம்முறையில் நம் அறை வெப்பநிலை ஏறத்தாழ 30°C ஆக இருக்கும்.

மற்றொரு வெப்பநிலை அளவீட்டுமுறை **தனி வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை** அல்லது **சார்பிலா வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை** (absolute scale of temperature) எனப்படும். இந்த அளவீட்டு முறையில் 1 டிகிரி வெப்பநிலை இடைவெளியும், செல்சியஸ் அளவீட்டு முறையில் 1 டிகிரி வெப்பநிலை இடைவெளியும் ஒரே அளவுடையனவாகும். ஆனல் சார்பிலா வெப்பநிலை அளவீட்டில், சுழிவெப்பநிலை அதாவது 0° A என்பது —273°C வெப்பநிலையைக் குறிக்கும். எனவே பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை இம்முறையில் 273° A ஆக இருக்கும். அதேபோல் இம்முறையில் நீரின் கொதி நிலை 373° A ஆகும்.

அன்றாட வாழ்வில் வெப்பநிலை அளவீடு மிகவும் முக்கியமான தொன்றாகும். உணவுப் பொருட்களை நீண்டகாலம் பாதுகாத்து நல்ல நிலையில் வைத்திருப்பதற்குக் குளிர்சாதனப் பெட்டகங்கள், ஒரு குறிப்பிட்ட தாழ்ந்த வெப்பநிலையில் நிலையாக வைக்கப்பட்டிருக்க வேண்டும். கண்ணாடி முதலியன செய்கின்ற உலைகள் (furnaces) ஒரு குறிப்பிட்ட உயர் வெப்பநிலையில் செயல்பட வேண்டும். கையால் தொட்டுணர்வதன் மூலம் வெப்பநிலைகளைக் கணிப்பது, எல்லா வெப்பநிலைகளிலும் முடியாததொன்று என்பதோடு, அது ஒரு நம்பிக்கைக்குரிய முறையும் அல்ல. ஏனெனில் ஒரே அறையில் ஒரே வெப்பநிலையில் உள்ள உலோகத்தாலான ஒரு பொருள், கையால் தொட்டுணரும்போது மற்ற பொருட்களைவிட வெப்பநிலை குறைந்திருப்பது போலத் தோன்றுவதை நாம் காண்கிறோம். ஆதலால் நாம் வெப்பநிலைகளை நம்பிக்கைக் குரிய விதத்தில் அளந்தறிய வெப்பநிலைமானிகளைப் பயன்படுத்துகிறோம்.

வெப்பநிலையுடன் தொடர்ச்சியாக மாறுபடும் ஏதேனுமொரு இயற்பியல் பண்பினை வெப்பநிலையை அளவிடுவதற்குப் பயன் படுத்தலாம். மனித உடலின் வெப்பநிலையை அளக்கப் பயன் படுத்தப்படும் மருத்துவர் வெப்பநிலைமானியில் (clinical thermometer) வெப்பநிலை மாறுபடும்போது அதனுள் உள்ள பாதரசத்தின் பருமன் மாறுகிறது.

2.1.2 வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை

திட்ட வெப்பநிலை இடைவெளியை வரையறை செய்ய இரு நிலையான வெப்பநிலைகளை எடுத்துக்கொள்ள வேண்டியது மிகவும் இன்றியமையாதது. திட்டவரைகள் (fixed points) என அழைக்கப்படும் இவ்வெப்ப நிலைகள், மாற்றமின்றி இருப்பதுடன், எப்போதும் எளிதில் தோற்றுவிக்கக்கூடியனவாக இருத்தல் வேண்டும். திட்ட இயல்பு அழுத்தத்தில் பனிக்கட்டி உருகுகின்ற வெப்பநிலை **கீழ்த்திட்ட வரை** (lower fixed point) எனப்படும். அதே போன்று, தூய்மையான நீர், அதே திட்ட இயல்பு அழுத்தத்தில் கொதிக்கும் வெப்பநிலையை **மேல்திட்ட வரை** (upper fixed point) என்கிறோம். செல்சியஸ் என்பவர் பின் வருமாறு கருதினார் : (1) பனிக்கட்டி உருகுகின்ற வெப்பநிலையைச் சுழியாகக் கொள்ள வேண்டும். மேலும் 760 மில்லி மீட்டர் பாதரச உயர அழுத்தத்தில், நீர் கொதிக்கும் வெப்பநிலையை 100 எனக் கொள்ளுதல் வசதியாக இருக்கும். (2) இந்த இரு திட்டவரைகளுக்கிடையேயுள்ள இடைவெளியை 100 சம பாகங்களாகப் பிரிக்க வேண்டும். எனவே இந்த அளவு முறை செண்டிகிரேடு அளவு முறை எனப்பட்டது. இப்போது இதனை **செல்சியஸ்** அளவு முறை என்றே கூறுகிறோம்.

படம் 2.1
செல்சியஸ் வெப்பநிலைமானி

வெப்பம் ஒருவகை ஆற்றல் என்பதை முன்னர் கண்டோம். ஒரு வாயுவை வெப்பப்படுத்தினால் அதன் மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றல் அதிகரிக்கிறது. முன்பிருந்ததைவிட வாயு மூலக்கூறுகளின் சராசரி வேகம் அதிகரித்திருக்கிறது. வாயுவைக் குளிர்வித்தால், இந்தச் சராசரி வேகம் குறைகிறது. வெப்பநிலை குறைந்துகொண்டே சென்றால் மூலக்கூறுகளின் சராசரி வேகமும் குறைந்துகொண்டே செல்லும். ஒரு குறிப்பிட்ட மிகத் தாழ்ந்த வெப்பநிலையில் இம் மூலக்கூறுகளின் வேகம் சுழியாகும். இந்த வெப்பநிலையைத் **தனிச்சுழி** (Absolute zero) என்கிறோம். அறிமுறை வாயிலாக (theoretically) இந்நிலையில் வாயுவின் அழுத்தம் பருமன் மாறாதபோது சுழியாகக் குறையவேண்டும். இந்தத் தனிச் சுழியை 0 டிகிரி வெப்பநிலையாகக் கொண்டு அமைக்கப்பட்ட வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை

யைச் **சார்பிலா வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை** என்கிறோம். இதனை வரையறுத்த பெருந்தகை **கெல்வின்** (Lord Kelvin) என்பாரின் புகழை நிலைநிறுத்த இதனைக் கெல்வின் அளவீட்டு முறை எனவும் கூறுவதுண்டு. தனிச்சுழி என்பதை 0° K என்றோ அல்லது எளிதாக 0 K என்றோ எழுதலாம். இந்த அளவீட்டு முறையிலும், பனிக் கட்டியின் உருகுநிலைக்கும், நீரின் கொதிநிலைக்கும் (இயல்பு அழுத் தத்தில்) உள்ள வெப்பநிலை வேறுபாடு 100 ஆகவும், 1 டிகிரி இடைவெளி செல்சியஸ் அளவு முறையில் 1 டிகிரி இடைவெளிக் குச் சமமானதாகவும் உள்ளது. S.I. அளவீட்டு முறையில் கெல் வின் சார்பிலா வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையையே பயன்படுத்து கிறோம். சோதனைகளிலிருந்து 0 K என்பது —273 °C எனக் கணக் கிடப்பட்டுள்ளது. எனவே 273 K = 0° C ஆகும். அதேபோல் 373 K = 100° C ஆகும்.

2. 1. 3 திரவ வெப்பநிலைமானிகள்

நமக்கு மிகவும் அறிமுகமான, கண்ணாடிக் குழாயில் திரவத் தைப் பயன்படுத்தி அமைக்கப்பட்டுள்ள வெப்பநிலைமானிகளில், திரவங்களின் விரிவடையும் பண்பு பயன்படுத்தப்படுகிறது. திரவத்தின் பருமனில் தோன்றும் மாற்றம், வெப்பநிலையை அளவிடப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. பாதரசம், ஆல்கஹால், டாலுயீன் (toluene) முதலிய திரவங்கள் வெப்பநிலைமானிகளில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. எந்தத் திரவத்தைப் பயன்படுத்தலாம் என்பது, நாம் எந்த வெப்பநிலைகளை அளவிட விரும்புகிறோம் என்பதைப் பொருத்தும், தேவையான உணர்வு நுட்பத்தைப் பொருத்தும் அமைவதாகும். பாதரச வெப்பநிலைமானி, பாத ரசத்தின் உருகுநிலையான 234 K வெப்பநிலையிலிருந்து அதன் கொதிநிலையான 630 K வெப்பநிலைவரை அளக்கப் பயன்படும். குறைந்த வெப்பநிலைகளை அளவிட ஆல்கஹால் வெப்பநிலைமானி கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஆல்கஹாலின் உறைநிலை 161 K ஆகும். அதன் கொதிநிலை 351 K ஆகும். இன்றைய வெப்ப நிலைமானிகளில் ஆல்கஹாலுக்குப் பதிலாக டாலுயீன் (toluene) என்ற திரவம் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதன் உறைநிலை 183 K ஆகவும், கொதிநிலை 384 K ஆகவும் உள்ளதால் ஆல்கஹாலைவிட இத்திரவம் வெப்பநிலைமானிகளுக்கு ஏற்றதாகக் கருதப்படுகிறது.

2. 1. 4 வாயு வெப்பநிலைமானிகள்

மிக உயர்ந்த அல்லது மிகத் தாழ்ந்த வெப்பநிலைகளை அளப் பதற்குத் திரவ வெப்பநிலை மானிகள் பயனற்றவையாகும். மேலும் கண்ணாடிக் குழாய்களில் திரவத்தைப் பயன்படுத்தும் வெப்பநிலை மானிகளில் அளவீடு வெளியேற்றப்படும் திரவக்கம்பத்தின்

நீளத்தைப் பொருத்ததாகும். இத்தகைய வெப்பநிலைமானிகளில் மேலும் ஒரு குறை என்னவென்றால், இவற்றின் அளவீடுகள் காலப் போக்கில் சரியான அளவைக் காட்டுவதில்லை. ஏனென்றால், நாட்கள் செல்லச் செல்லக் கண்ணாடிக் குமிழ் சிறிதளவு சுருங்கும். ஒரு வாயுவை வெப்பப் படுத்தும்போது, அதன் அழுத்தம், பருமன் ஆகியவற்றில் தோன்றும் மாறுதல்களை அடிப்படையாகக்கொண்டு அமைக்கப்பட்ட வெப்பநிலைமானிகள் வாயு வெப்பநிலைமானிகள் ஆகும்.

ஒரு வாயுவை வெப்பநிலையை அளக்கப் பயன்படுத்துவதற்கு அடிப்படையாக அமைவன இரு வாயு விதிகளாகும். பாயில் விதிப்படி (Boyle's laws), **வெப்பநிலை மாறாதபோது, ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வாயுவின் பருமன், அதன் அழுத்தத்துக்கு எதிர்விகிதத் திலிருக்கும்.** சார்லஸ் விதிப்படி (Charles's law) **பருமன் மாறாத பொழுது, ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வாயுவின் அழுத்தம், அதன் சார்பிலா வெப்பநிலைக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும்.** இந்த விதிகளைப் பயன்படுத்தி, வாயு வெப்ப நிலைமானிகள் அமைக்கப்படுகின்றன.

ஒரு வாயுவெப்ப நிலைமானி பின்வரும் நல்லியல்புகளைக் கொண்டது : (1) வெப்பப்படுத்தும்போது வாயுக்கள், திரவங்களை விட மிகமிக அதிகமான அளவில் விரிவடைகின்றன. எனவே வெப்பநிலைகளை மேலும் துல்லியமாக அளவிட இயலும். (2) வாயு விரிவடையும்போது பருமனில் பெரும் மாற்றம் தோன்றுவதால், வாயுவின் கொள்கலத்தின் பெருக்கம் அல்லது விரிவு புறக்கணிக்கத் தக்கதாக இருக்கும். (3) பாதரசத்தைவிட, வாயுக்கள், வெப்ப நிலை உயர்வின்போது சீராக விரிவடைகின்றன. (4) வெப்ப நிலைமானிப் பொருளாகப் பயன்படுத்தப்படும் ஒரு நிலைவாயு (permanent gas), தன்னுடைய இயல்பினை மாற்றிக்கொள் ளாது, மிக உயர்ந்த வெப்பநிலைகளிலும், மிகத் தாழ்ந்த வெப்ப நிலைகளிலும் ஒரேமாதிரியாக நடந்துகொள்கிறது.

அழுத்தம் மாறா வாயு வெப்பநிலைமானியில் (constant pressure gas thermometer), அழுத்தம் நிலையான மதிப்புடன் வைக்கப்பட்டு, வெப்பநிலையைப் பொருத்துப் பருமனில் தோன் றும் மாற்றத்தை அளக்கிறோம். பருமன் மாறா வாயு வெப்பநிலை மானியில் (constant volume gas thermometer) பருமன் நிலை யான மதிப்புடன் உள்ளவாறு வைக்கப்பட்டு, வெப்பநிலையைப் பொருத்து அழுத்தத்தில் தோன்றும் மாற்றத்தை அளக்கிறோம்.

2. 1. 5 ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானி

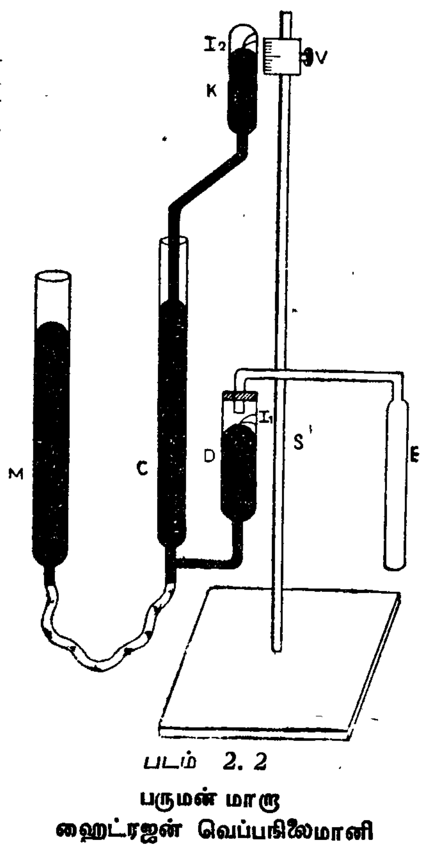
ஹைட்ரஜன், நைட்ரஜன், ஹீலியம் ஆகிய நிலை வாயுக்கள், பருமன் மாறா வாயு வெப்பநிலைமானிகளில், வெப்பநிலை அளக்கும்

வாயுக்களாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. பருமன் மாருதபோது, ஹைட்ரஜன் வாயுவின் அழுத்தத்தில் தோன்றும் மாற்றம், சாதாரண வெப்ப நிலைகளில், மற்ற வாயுக்களைவிடச் சீரானதாக இருப்பதால், ஹைட்ரஜனை வெப்பநிலையை அளக்கும் வாயுவாகப் பயன்படுத்துகிறோம்.

பருமன் மாரு ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானி : இந்த வெப்ப நிலைமானியில், சுமார் 18 மில்லிமீட்டர் ஆரமும், 1 லிட்டர் கொள்ளளவும் கொண்ட பிளாட்டினம்-இரிடியம் உலோகத்தாலான B என்ற ஓர் உருளைவடிவக் கலம் உள்ளது. இதனுள் ஹைட்ரஜன் வாயு அடைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒரு நுண்புழைக் குழாயின் மூலம் இது ஒரு பாதரச அழுத்தமானியுடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளது. அழுத்தமானியில் C, D என்ற இரு புயங்கள் உள்ளன. இவை பாதரசத் தொட்டியுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன.

D என்ற குழாயில் பாதரசத்தின் மட்டத்துக்கு மேலே I_1 என்ற ஒரு குறிமுள் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. M என்ற பாதரசத் தொட்டியை, மேலேற்றியோ அல்லது கீழிறக்கியோ, D யில் உள்ள பாதரச மட்டத்தை மாற்றி, குறிமுள் I_1 ன் முனையைப் பாதரசத்தைச் சற்றே தொட்டுக் கொண்டுள்ளவாறு செய்கிறோம்.

C-யில் உள்ள பாதரசத்துள் அமிழ்ந்துள்ள K என்ற பாரமானி வளைந்து, அதன் விரிந்த பகுதியில் உள்ள பாதரச மட்டம் D என்ற குழாய்க்கு நேரே மேலே இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. பாரமானியின் மூடிய முனையினருகே I_2 என்ற மற்றொரு குறிமுள் உள்ளது.



படம் 2. 2

பருமன் மாரு ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானி

B என்ற குமிழ், பனிக்கட்டியின் உருகுநிலையில் வைக்கப்பட்டு, M என்ற பாதரசத் தொட்டியைச் சரிசெய்து, D யில் உள்ள பாதரசமட்டம், I_1 என்ற குறிமுள்ளைச் சற்றே தொட்டுக்கொண் டிருக்குமாறு செய்கிறோம்.

பாரமானிக் குழாயை மேலேற்றியோ, அல்லது கீழிறக்கியோ, அதன் பாதரச மட்டம் I_2 என்ற குறிமுள்ளின் முனையைச் சற்றே தொட்டுக்கொண்டுள்ளவாறு செய்கிறோம். $I_1 I_2$ என்ற தொலைவு வாயுவின் அழுத்தத்தைப் பாதரச உயரத்தில் கொடுக்கும். இத் தொலைவை S என்ற அளவுகோலின்மீது, V என்ற வெர்னியரைப் பயன்படுத்தித் துல்லியமாக அளக்க இயலும். இந்த வெப்பநிலை யில் கலத்தினுள் உள்ள ஹைட்ரஜன் வாயுவின் அழுத்தம் P_0 என்போம். குமிழ் B-யைக் கொதிநிலையில், நீராவியுள் வைத்துப் பின்னர் மீண்டும் வாயுவின் அழுத்தத்தை முன்போலவே காண் கிறோம். இந்த வெப்பநிலையில் அழுத்தம் P_{100} என்போம்.

இப்போது B-யை, அளந்து தெரிய வேண்டிய வெப்பநிலை t-யில் உள்ள தொட்டியில் வைத்து முன்புபோலவே பாதரச மட்டங்களைச் சரிசெய்து, ஹைட்ரஜனின் அழுத்தத்தைக் காண் கிறோம். இதனை P_t என்போம். பருமன் மாறுதிருத்தலால், அழுத்தம் வெப்பநிலையைப் பொருத்துச் சீராக மாறுபடுவதால,

$$\frac{P_{100} - P_0}{100} = \frac{P_t - P_0}{t} \text{ ஆகும்.}$$

$$\therefore t = \frac{P_t - P_0}{P_{100} - P_0} \times 100 \text{ ஆகும்.}$$

இவ்வாறு தெரியவேண்டிய வெப்பநிலை t-யின் மதிப்பைக் காண லாம். இந்த வெப்பநிலைமானியை — 200°C (73 K) முதல் 500°C (773 K) வரை வெப்பநிலைகளை அளக்கப் பயன்படுத்த இயலும்.

2. 1. 6 மின்தடை வெப்பநிலைமானிகள்

ஓர் உலோகக் கம்பியின் மின்தடை பொதுவாக வெப்பநிலை உயர்வைப் பொருத்து அதிகரிக்கும். இந்த மின்தடை, பெரும் வெப்பநிலை இடைவெளியில் சீரானதாக இருக்கக் காண்கிறோம். தூய பிளாட்டினத்தைப் பயன்படுத்தினால், அதன் மின்தடையை $R_t = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2)$ என்ற சமன்பாட்டின் மூலம் குறிக்க இயலுமெனக் காலண்டர் (Callendar) என்பவர் காட்டியுள்ளார். இச்சமன்பாட்டில் R_t, R_0 என்பன முறையே t°C $\{= (273 + t)$ K$\}$, 0°C $\{= 273$ K$\}$ ஆகிய வெப்ப நிலைகளில் கம்பியின் மின்தடைகள் ஆகும். α, β என்பன கம்பியின் தன்மையைப் பொருத்த மாறிலி களாகும். இந்த இரு மாறிலிகளின் மதிப்பையும் சோதனைமூலம்

கண்டறிந்தால், மேலே உள்ள சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி, அளந்தறிய வேண்டிய வெப்பநிலையின் மதிப்பைக் கணக்கிட இயலும்.

பிளாட்டினக் கம்பியின் மின்தடை 273 K, (273+100) K, (273+t) K ஆகிய வெப்ப நிலைகளில் அதாவது 0°C, 100° C, t °C ஆகிய வெப்பநிலைகளில் முறையே R_0, R_{00}, R_t எனக் கொள்வோமானால், மின்தடைமாற்றம் வெப்பநிலையைப் பொருத்துச் சீராக உள்ளபோது,

$$\frac{R_{100} - R_0}{UU} = \frac{R_t - R_\bullet}{t}$$

$$\therefore \quad t = \frac{R_t - R_0}{R_{10} - R_\bullet} \times 100 \text{ ஆகும்.}$$

இவ்வாறு R_{100}, P_t, R_0 ஆகியவற்றின் மதிப்பை அறிந்தால் t இன் மதிப்பைக் கணக்கிட இயலும்.

2. 1. 7 பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானி

இந்தவெப்பநிலைமானியில் கண்ணாடி அல்லது மெருகேற்றப் பட்ட பீங்கானால் செய்யப்பட்ட T என்ற ஒரு குழாய் உள்ளது. சிலிகானோ அல்லது வேறெந்தக் கலப்போ இல்லாத தூய பிளாட்டினக் கம்பியொன்றைத் தெரிந்தெடுக்கிறோம். மின்தூண்டல் விளைவுகளை (induction effects) நீக்குவதற்காக அக்கம்பி அதன்மீதே இரட்டையாக மடிக்கப்பட்டு, M என்ற மெல்லிய மைக்கா (mica) எனப்படும் அப்பிரகத் தகட்டின் மீது அதன் விளிம்பிலுள்ள பள்ளங்களின் வழியே சுற்றப்பட்டிருக்கும். இவ்வாறு சுற்றுவதால், கம்பி ஒவ்வொரு சுற்றிலும், ஒன்றையொன்று தொட்டுக்கொள்ளாமலும், குறுக்கிணைப்பு (short circuit) இல்லாமலும் இருக்கும். இக்கம்பி குழாயினடியில் உள்ள எபோனைட் கோப்பை (ebonite cup) E-யினுள் வைக்கப்பட்டுள்ளது.

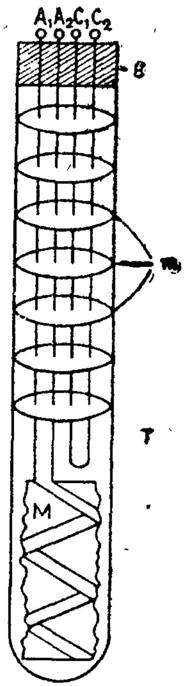
பிளாட்டினக் கம்பியின் இரு முனைகளும், m, m என்ற மைக்காத் தகடுகளினிடையே செல்கின்ற இணைப்புக் கம்பிகளுடன் (connecting leads) இணைக்கப்பட்டு, A_1 A_2 என்ற எபோனைட் மூடியில் உள்ள இணைப்புத் திருகுகளுடன் சேர்க்கப்பட்டுள்ளன. பிளாட்டினக் கம்பியின் இந்த இணைப்புக் கம்பிகளைப் போலவே, அதே உலோகத்தாலான, அதே நீளமும் விட்டமும் கொண்ட இரு கம்பிகள், கீழ்முனைகள் இணைக்கப்பட்டு, முன்போலவே m, m என்ற தகடுகளினூடே செலுத்தப்பட்டு, எபொனைட் மூடியின் மீதுள்ள C_1, C_2 என்ற இணைப்புத் திருகுகளுடன் சேர்க்கப்பட்டுள்ளன. இவ்வாறு மைக்காத் தகடுகள் m, m வழியே செல்வ

தால் கம்பிகள் ஒன்றையொன்று தொட்டுக் கொள்ளாமல் இருக்கின்றன. இந்தக் கம்பிகள், பிளாட்டினக் கம்பியின் இணைப்புக் கம்பிகளின் மின்தடையைச் சரிக்கட்டுவதற்குப் பயன் படுகின்றன. இவை ஈடுசெய்யும் இணைப்புக் கம்பிகள் (compensating leads) என்று அழைக் கப்படுகின்றன. குழாயினுள் உள்ள காற்றை வெளியேற்றிவிட்டு, ஒரு எபொனைட் மூடியால் குழாயை மூடி, அக்குழாயின் வாயைக் காற்றுப் புகாதவண்ணம் அடைத்து விடுகிறோம். இவ் வாறு செய்வதால் உயர் வெப்பநிலைகளில் பிளாட்டினம் ஆக்ஸிகரணம் (oxidation) ஆவது தடுக்கப்படுகிறது.

பிளாட்டினக் கம்பியின் மின்தடையை, வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் துல்லியமாக அள விட இயலும். முன்பே கூறியுள்ளதுபோல

$$t = \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} \times 100$$

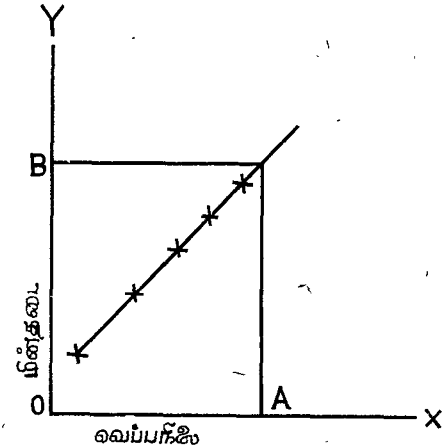
என்ற சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி t யைக் கணக்கிடலாம். R_t, R_0, R_{100} என்பன பிளாட் டினம் மின்தடை வெப்பநிலைமானி, முறையே $t\,°C$, $0°\,C$, $100°\,C$ அதாவது $(273 + t)$ K 273, K 373 K ஆகிய வெப்பநிலைகளில் உள்ள தொட்டிகளில் வைக்கப்பட்டுள்ளபோது, பிளாட்டினக் கம்பியின் மின்தடைகளாகும்.



படம் 2.3
பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானி

மின்தடை வெப்பநிலைமானியை, ஒரு பருமன்மாறு ஹைட் ரஜன் வெப்பநிலைமானியின் குமிழுடன் ஒரே தொட்டியில் வைத்து தொட்டியின் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளை, ஹைட்ரஜன் வெப்ப நிலைமானியைக் கொண்டு கணக்கிட்டு, அந்தந்த வெப்பநிலைகளில் பிளாட்டினக் கம்பியின் மின்தடைகளையும் அளக்கிறோம். பின்னர் வெப்பநிலையை X அச்சிலும் மின்தடையை Y அச்சிலும் எடுத்துக்கொண்டு ஒரு வரைபடம் வரைகிறோம். இவ்வரைபடம் ஒரு நேர்கோடாக இருக்கும். இந்த வரைபடத்தைக் கொண்டு, பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானியின் மூலம், தெரியாத வெப்பநிலைகளை அளந்தறிய இயலும்.

சிறப்பண்புகள் : (1) பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானியைப் பயன்படுத்திச், சுமார் 70 K வெப்பநிலை முதல் 1470 K வெப்பநிலை வரை வெப்பநிலைகளை அளக்கலாம்.



படம் 2. 4
வெப்பநிலை, மின்தடை வரைபடம்

(2) இவ்வெப்பநிலைமானியைக் கொண்டு, பொதுவாக வெப்பநிலையை 0.01 K அளவுக்குத் திருத்தமாக அளவிடலாம். வெப்பநிலை 800 K-க்கு மேல் இருந்தால், அதனை 0.1 K-க்குத் திருத்தமாக அளவிடலாம்.

(3) தூய, பண்படுத்தப்பட்ட பிளாட்டினக் கம்பியின் மின் தடை ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் நிலையான மதிப்புடையதாகும். எனவே இதனால் பெறப்படும் வெப்பநிலை நிலையான மதிப்பைக் கொடுக்கும்.

(4) ஒரு பருமன்மாறு ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானியுடன் வைத்து, இதனைத் திட்டப்படி அமைத்தால் (standardised) இதனைக் கொண்டு மிகச்சிறிய வெப்பநிலை வேறுபாடுகளையும் துல்லியமாக அளந்தறிதல் கூடும்.

குறைபாடுகள் : (1) பிளாட்டின மின்தடை வெப்ப நிலைமானி யின் வெப்ப ஏற்புத்திறன் (heat capacity) மிக அதிகமாகவும், கம்பியைச் சுற்றியுள்ள உறையின் வெப்பங்கடத்து திறன் (conductivity) மிகக் குறைவாகவும் உள்ளதால், இது தொட்டியின்

வெப்பநிலையை எளிதில் அடையாது. எனவே இதனைக்கொண்டு, விரைந்து மாற்றமடையும் வெப்பநிலைகளை அளக்க இயலாது.

(2) பிளாட்டினக் கம்பி தூய்மையானதாக இல்லாவிட்டால், அளவீடுகள் சரியானவைகளாக இருக்காது.

(3) இந்த வெப்பநிலைமானியை 1300 K வெப்பநிலைக்கு மேல் பயன்படுத்தும்போது, அரிதில் கடத்திகளினால் அதன் தூய்மை கெடுக்கப்பட்டுவிடும். எனவே அளவிடும் வெப்பநிலைகள் சரியாக இரா.

பயிற்சி 2.1

1. வெப்பம், வெப்பநிலை ஆகியவற்றை விளக்குக.
2. வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை என்றால் என்ன? தனிவெப்ப நிலை அளவீட்டு முறையை விளக்குக.
3. திரவ வெப்பநிலைமானிகளைவிட, வாயு வெப்பநிலைமானிகள் எவ்வகையில் உயர்ந்தவை ?
4. பருமன் மாறு ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானியின் படம் வரைந்து, அது செயல்படும் முறையை விவரிக்க.
5. மின்தடை வெப்ப நிலைமானியின் தத்துவம் என்ன?
6. பிளாட்டின மின்தடை வெப்ப நிலைமானியின் படம் வரைந்து அதன் செயல்முறையை விளக்குக. இதன் நற்பண்புகளையும், குறைபாடுகளையும் கூறுக.

2.2. வெப்ப விரிவு

2.2.1 முன்னுரை

வெப்பம் தரப்பட்டால் அநேகமாக எல்லாப் பொருள்களும் விரிவடைகின்றன என்ற உண்மையை நாம் அன்றாட வாழ்வில் அறிந்துள்ளோம். மருத்துவர் பயன்படுத்தும் வெப்பநிலைமானியில், காய்ச்சல் உள்ளவரின் வெப்பநிலையைப் பரிசோதிக்கையில், அதிலுள்ள பாதரசம் விரிவடைவதால், அதன் மூலம் வெப்பநிலை உயர்வை அளந்தறிகிறோம். இரு கம்பங்களுக்கிடையில் தொலைபேசிக் கம்பிகள் குளிர்காலத்தில் உள்ளதைவிடக் கோடை காலத்தில் தாழ்ந்து தொங்கக் காணலாம். சமவெப்பநிலை உயர்

வின்போது, வாயுக்கள் திரவங்களைவிடப் பெருமளவு விரிவடை கின்றன. அதேபோன்று திரவங்கள், திடப்பொருள்களைவிட அதிக அளவு விரிவடைகின்றன.

2. 2. 2 திடப் பொருள்களின் விரிவு

வெப்பத்தால் ஒரு திடப்பொருள் விரிவடையும்போது அப் பொருளின் நீளம், பரப்பு, பருமன் ஆகிய மூன்றின் விரிவையும் கவனத்தில் கொள்ளவேண்டும். வெப்பநிலை உயரும்போது பெரும் பாலான திடப்பொருள்கள் எல்லாத் திசைகளிலும் ஒரே விதத் தில் விரிவடைகின்றன. இத்தகைய பொருள்கள் **திசையொப்புப் பண்பியலானவை** (isotropic) எனப்படுகின்றன. சில திடப் பொருள்களில் வெவ்வேறு திசைகளில் விரிவு வெவ்வேறு விகிதங் களில் இருக்கக்கூடும். இவை **திசையொவ்வாப் பண்பியலான** (aniso-tropic) பொருள்கள் எனப்படுகின்றன. இங்கு நாம் திசை யொப்புப் பண்பியலான பொருள்களின் விரிவைப்பற்றி மட்டுமே கற்போம்.

2. 2. 3 நீள் விரிவெண்

ஒரு தண்டின் வெப்பநிலையை அதிகரித்தால் அதன் நீளம் அதிகரிக்கிறது. **திடப்பொருளின் வெப்பநிலை 1 டிகிரி உயரும்போது அதன் ஓரலகு நீளத்தில் உண்டாகும் விரிவு, அந்தத் தண்டின் திடப் பொருளின் நீள் விரிவெண்** (coefficient of linear expansion) **எனப்படும்.**

273 K வெப்பநிலையில் தண்டின் நீளம் l_0 எனவும், மற் றொரு $(273 + \theta)$ K என்ற உயர்வெப்பநிலையில் தண்டின் நீளம் l எனவும் கொண்டால் மேற்சொன்ன வரையறையிலிருந்து நீள் விரிவெண் α என்பதைப் பின்வருமாறு பெறலாம்.

$$\alpha = \frac{\text{தண்டின் விரிவு}}{\text{தொடக்கத்தில் தண்டின் நீளம்} \times \text{வெப்பநிலைஉயர்வு}}$$

$$= \frac{l - l_0}{l_0 \times \theta}$$

$$\therefore (l - l_0) = l_0 \alpha \theta$$

$$\therefore l = l_0 + l_0 \alpha \theta = l_0 [1 + \alpha \theta]$$

எனவே $(273+\theta_1)$ K $(273+\theta_2)$ K என்ற வெப்பநிலைகளில் தண்டின் நீளங்கள் முறையே l_1, l_2 எனில்,

$$l_1 = l_0 (1 + \alpha \theta_1)$$

$$l_2 = l_0 (1 + \alpha \theta_2)$$

$$\therefore \quad \frac{l_2}{l_1} = \frac{(1 + \alpha \theta_2)}{(1 + \alpha \theta_1)}$$

$$(l_2 + l_2 \alpha \theta_1) = (l_1 + l_1 \alpha \theta_2)$$

$$\therefore \quad (l_2 - l_1) = \alpha (l_1 \theta_2 - l_2 \theta_1)$$

ஆகவே $\alpha = \dfrac{(l_2 - l_1)}{(l_1 \theta_2 - l_2 \theta_1)}$

இப்போது $l_2 \approx l_1$ என்றால்

$\alpha \approx \dfrac{(l_2 - l_1)}{l_1 (\theta_2 - \theta_1)}$ ஆகும்.

இவ்வாறு ஒரு தண்டின் நீள் விரிவெண்ணை l_1, l_2, θ_1, θ_2 ஆகிய வற்றிலிருந்தே அறிய இயலும். சில உலோகங்களுக்கு நீள் விரிவெண்ணின் மதிப்புகள் கீழே தரப்பட்டுள்ளன :

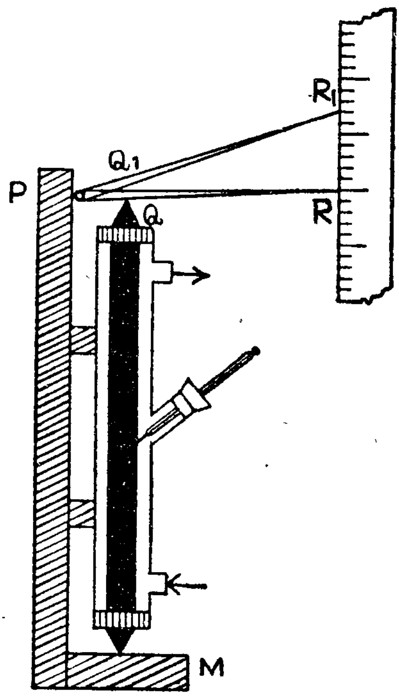
வரிசை எண்	உலோகம்	நீள் விரிவெண் K^{-1}
1.	ஈயம்	28×10^{-6}
2.	அலுமினியம்	25×10^{-6}
3.	செம்பு	19×10^{-6}
4.	தாமிரம்	17×10^{-6}
5.	இரும்பு	12×10^{-6}

எடுத்துக்காட்டாக, ஓர் எஃகுக் கம்பியினை 1 K வெப்பநிலை உயர்த்தும்போது அதன் ஓரலகு (1 மீட்டர்) நீளத்தில் தோன்றும் விரிவு 0.000012 மீட்டர் ஆகும். அதாவது 1 மீட்டர் நீளமுள்ள கம்பியின் வெப்பநிலை 1 K உயரும்போது, அதன் நீளம் 1.000012 மீட்டராக விரிவடைகிறது.

2. 2- 4 ஓர் உலோகத் தண்டின் நீள்விரிவெண் காணல்
(நெம்புகோல் முறை)

ஏறத்தாழ 1மீட்டர் நீளமுள்ள ஓர் உலோகத் தண்டினைச் சோதனைக்காக எடுத்துக்கொள்கிறோம். அக்கம்பியின் மேல்முனை

கத்தி விளிம்புபோல் கூராக அமைக்கப்பட்டுள்ளது. கீழ் முனை கூராக்கப்பட்டு ஓர் உலோக மேடைமீது நிறுத்தப்பட்டுள்ளது. இந்தச் சோதனைக்கம்பி ஒரு நீராவி செல்லும் குழாய் போன்ற உறையினுள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்வுறையினுள் நீராவி உட்செல்வதற்கும், வெளிச் செல்வதற்கும், இரு சிறு குழாய்களும், வெப்பநிலைமானியைச் செருகுவதற்கேற்ற ஒரு துளையும் உள்ளன. உலோகத் தண்டின் மேல்முனை உறையிலிருந்து சற்றே வெளியே நீட்டிக்கொண்டிருக்கும். இம்முனை தடையின்றி இருப்பதால் உலோகத்தண்டு விரிவடையும்போது, இது மேலே செல்கிறது.



படம் 2.5
தண்டின் நீள்விரிவெண் காணல்

P Q R என்பது கிடைநிலையில் உள்ளதும், *P* என்ற திருப்பு முனையைப் (fulcrum) பொருத்தும் இயங்கும் ஒரு நெம்புகோல் (lever) ஆகும். இதன் நீளம் ஏறத்தாழ 1 மீட்டர் இருக்கும். அது சோதனைத் தண்டின் கத்தி விளிம்பின் மீது நின்று கொண்டுள்ள

வாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. R என்ற நெம்புகோலின் முனை செங்குத்தாக அமைக்கப்பட்ட ஓர் அளவுகோலின் முன்பு தடையின்றி நகர இயலும்.

சோதனைத் தண்டை உறையைவிட்டு வெளியே எடுத்து, அதன் நீளம் l_1-ஐ அளக்கிறோம். பின்னர் அதனை மீண்டும் உறையினுள் அதன் இடத்தில் வைத்து, நெம்புகோலைக் கத்தி விளிம்பின் மீது பொருத்துகிறோம். வெப்பநிலைமானியை உறையிலுள்ள துளையுள் வைத்துத் தண்டின் தொடக்க வெப்பநிலை θ_1 ஐக் குறித்துக் கொள்கிறோம். செங்குத்து அளவுகோலின் மீது நெம்புகோலின் முனைகாட்டும் R என்ற தொடக்க அளவினையும் குறித்துக் கொள்கிறோம். பின்னர் உறையினுள் தொடர்ந்து சுமார் அரை மணி நேரத்துக்கு நீராவி செலுத்தப்படுகிறது.

தண்டு விரிவடைந்து நெம்புகோலை Q விலிருந்து, Q_1 என்ற இடத்துக்கு உந்தி மேல்நோக்கித் தள்ளுகிறது. இதனால் நெம்புகோலின் முனை செங்குத்து அளவுகோலின் மீது R இலிருந்து நகர்ந்து R_1 என்ற அளவினைக் காட்டுகிறது. தண்டின் வெப்பநிலை நீராவியின் வெப்பநிலையை அடைந்திருந்தால், வெப்பநிலைமானி காட்டும் அளவு நிலையானதாக இருக்கும். இப்போது கம்பியின் விரிவும் முற்றுப் பெற்றிருந்தால் R_1 என்ற நெம்புகோல் முனை காட்டும் இந்த அளவீடும் நிலையானதாக மாற்றமின்றி இருக்கும். கம்பியின் இறுதி வெப்பநிலை θ_2 ஐயும், நெம்புகோல் காட்டும் இறுதி அளவீடு R_1 ஐயும் குறித்துக் கொள்கிறோம்.

கணக்கிடுதல் :

தண்டின் தொடக்க நீளம்	=	l_1 m
தண்டின் தொடக்க வெப்பநிலை	=	θ_1 K
நெம்புகோல் காட்டும் தொடக்க அளவீடு	=	R m
தண்டின் இறுதி வெப்பநிலை	=	θ_2 K
நெம்புகோல் காட்டும் இறுதி அளவீடு	=	R_1 m
தண்டின் நீள விரிவு	=	QQ_1

$\Delta\, PQQ_1$ and $\Delta\, PRR_1$ ஆகியவை வடிவொத்த முக்கோணங்கள்.

$$\therefore \quad \frac{QQ_1}{RR_1} = \frac{PQ}{PR}$$

$$\therefore \quad QQ_1 = RR_1 \cdot \frac{PQ}{PR}$$

இதில் RR_1 என்பது அளவுகோலின்மீது நெம்புகோலின் முனை நகர்ந்த தொலைவாகும்.

தண்டின் நீள் விரிவெண் α எனில்,

$$\alpha = \frac{\text{நீள்விரிவு}}{\text{தொடக்கநீளம்} \times \text{வெப்பநிலை உயர்வு}}$$

$$= \frac{QQ_1}{l_1(\theta_2 - \theta_1)}$$

$$= \frac{RR_1 \cdot PQ}{PR} \cdot \frac{1}{l_1(\theta_2 - \theta_1)}$$

இவ்வாறு சோதனைமூலம் ஒரு தண்டின் நீள் விரிவெண் காணப் படுகிறது.

2. 2. 5 கடிகாரங்களில் வெப்பநிலை தோற்றுவிக்கும் விளைவு

ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட கால இடைவெளி யில் ஓர் ஊசல் குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையுள்ள அலைவுகளைத் தோற்றுவிக்கும். இந்த எண்ணிக்கை அந்த ஊசலின் நீளத்தைப் பொருத்ததாகும். இவ்வாறு அலைவுறும் ஊசலின் அலைவு நேரம், கடிகாரங்கள் செயல்படுவதைக் கட்டுப்படுத்துகிறது. கோடைக் காலத்தின் வெப்பமான நாட்களில் ஊசலின் நீளம் அதிகரிக்கும் போது, கடிகாரம் மெதுவாகச் செல்கிறது. அதேபோல் குளிர் காலத்தில் வெப்பநிலை குறைவாக உள்ள நாட்களில் ஊசலின் நீளம் குறைவதால் கடிகாரம் வேகமாகச் செல்லும்.

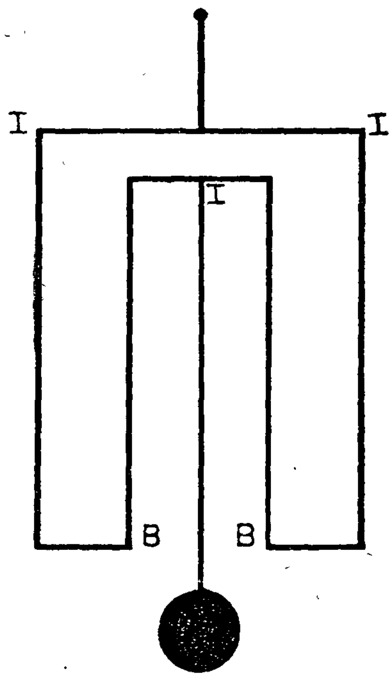
2. 2. 6 ஈடு செய்யப்பட்ட ஊசல்

சரியான கால அளவைக் காட்டுவதற்குக் கடிகாரங்களில் **ஈடு செய்யப்பட்ட ஊசல்** (compensated pendulum) பயன்படுத்தப் படுகின்றது. இவ்வாறு ஈடு செய்யும் முறையானது, ஊசல்களின் செயலுறு (effective) நீளத்தை மாறாதிருக்கச் செய்வதேயாகும். இவ்வாறு செய்வதற்கு வெவ்வேறு உலோகங்களாலான இரு கம்பித் தொகுதிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. கம்பிகளின் ஒரு தொகுதி கீழ்நோக்கி விரிவடையும்போது, மற்றொரு தொகுதி மேல்நோக்கி விரிவடையுமாறு அமைக்கப்பட்டு செயலுறு நீளம் மாறாதவாறு பார்த்துக்கொள்ளப்படுகிறது.

2. 2. 7 ஹேரிசன் இரும்புச் சட்ட ஊசல்

ஊசலின் செயலுறு நீளத்தை நிலையாக வைத்திருப்பதற்கு, பித்தளை, இரும்பு ஆகிய இரு உலோகங்களினாலான, இரு கம்பித்

தொகுதிகளைக்கொண்டு ஹேரிசன் இரும்புச் சட்ட ஊசல் (Harrison grid pendulum) அமைக்கப்பட்டுள்ளது. பித்தளையின் நீள்விரிவு இரும்பின் நீள்விரிவைப்போல் ஏறக்குறைய ஒன்றரை மடங்காக இருக்கும். எனவே ஒரே நீளமுள்ள இரு பித்தளைக் கம்பிகளின் விரிவும் மூன்று இரும்புக் கம்பிகளின் விரிவும் சமமானவையாக உள்ளன. இந்த இரும்புச் சட்ட ஊசலில் மொத்தம்



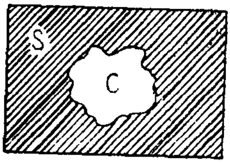
படம் 2. 6

ஈடு செய்யப்பட்ட ஊசல்

ஐந்து கம்பிகள் உள்ளன. I என்ற மூன்று இரும்புக்கம்பிகள் அவற்றின் விரிவு கீழ்நோக்கியுள்ளவாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளன. B என்ற பித்தளைக் கம்பிகள் மேல்நோக்கி விரிவடைகின்றன. இவ்வாறு ஊசலின் செயலுறுநீளம் மாறாதிருக்குமாறு செய்யப் படுகிறது. எனவே இத்தகைய ஊசலைக் கொண்ட கடிகாரம் காலத்தைச் சரியாகக் காட்டும்.

2. 2. 8 திடப்பொருளினுள் உட்குழிவின் விரிவு

S என்ற திடப்பொருளினுள் உள்ள உட்குழிவின் (cavity) விரிவைப்பற்றி அறிவதற்குப் பின்வருமாறு கருதுவோம். திடப் பொருள் எதனாலானதோ அதே பொருளைக்கொண்டு அந்த உட் குழிவினை முற்றிலும் நிரப்பினோமானால், இப்போது ஒரு முழுமை யான, உட்குழிவேதுமில்லாத திடப்பொருள் கிடைக்கும். இப் போது அதனை நாம் சூடேற்றினால், முழுப்பொருளும் ஒரே மாதிரியாக, ஒட்டு மொத்தமாக விரிவடையும். *C* என்ற உட்குழிவுப் பகுதியில் உள்ள பொருள், எல்லா வெப்பநிலைகளிலும், அந்த உட் குழிவைச் சுவர்களில் அழுந்தாமலும் இடைவெளி விடாமலும் முற்றிலும் நிரப்பியிருக்கிறது.



படம் 2.7
திடப்பொருளினுள் உட்குழிவு

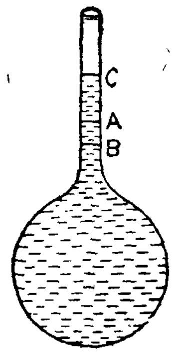
எனவே, உட்குழிவு அதனை நிரப்பி யுள்ள பொருள் எவ்வாறு விரிவடை கிறதோ, அதே அளவு விரிவடையும் என்பது புலனாகிறது. எனவே ஒரு பொருளினுள் உள்ள உட்குழிவின் விரிவு, முற்றிலும் அதே பொருளாலான, உட்குழிவைப் போலவே அமைப்புக்கொண்ட ஒரு பொருளின் விரிவுக்குச் சமமாகும். இந்தத் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்தி உட்குழிவுள்ள குழாய்கள், உட்குழி வுள்ள பாத்திரங்கள், உட்குழிவுள்ள கோளங்கள் முதலியவற்றின் விரிவைப்பற்றி அறியலாம்.

2. 2. 9 திரவங்களின் விரிவு

திரவங்களுக்கு அவைகளுக் கென்று குறித்த வடிவம் இல்லை. அவை எந்தக் கலத்துள் வைக்கப்பட்டுள்ளனவோ, அந்தக் கலத்தின் வடிவத்தையே பெறுகின்றன. எனவே திரவத்தின் பரும விரிவைப் பற்றி மட்டுமே நாம் பயில்வது போதுமானது. மேலும் திரவம் எப்போதும் ஒரு கலத்தினுள் இருப்பதால், அதனைச் சூடு படுத்தும்போது அது வைக்கப்பட்டுள்ள கலமும் விரிவடையும்.

கலத்தின் விரிவைக் கருத்தில் கொள்ளாது திரவத்தின் விரிவைக் கணக்கிட்டால், அதனை திரவத்தின் **தோற்ற விரிவு** (apparent expansion) என்போம். கலத்தின் விரிவையும் கணக்கில் சேர்த்துத் திரவத்தின் விரிவைக் கணக்கிடுவோமானால் அதனைத் திரவத்தின் **சார்பிலா விரிவு** (absolute expansion) அல்லது **உண்மை விரிவு** (real expansion) எனக் கூறுவோம். பின்வரும் எடுத்துக் காட்டு இந்த இருவகை விரிவுகளைப் புரிந்துகொள்ள உதவும்.

ஒரு குறுகிய குழாய் வடிவ மேற்பகுதியை உடைய ஒரு குடுவை யில் *A* வரை திரவம் நிரப்பப்பட்டுள்ளது, *A* வரை மூழ்கியுள்ள வாறு இக்குடுவையை மற்றொரு பெரிய கலத்தில் உள்ள சூடான நீரில் வைப்பதாகக் கொள்வோம். முதலில் குடுவை மட்டும் விரிவடைவதாகக் கருதுவோ மானால் திரவ மட்டம் A-யிலிருந்து B-க்குக் கீழே வரும். இப்போது திரவம் விரிவடைந் தால், திரவமட்டம் B-யிலிருந்து C-க்கு உயரும். திரவத்தின் விரிவு திடப்பொருளின் விரிவைவிட அதிகமானதாகையால் *C*, *A*-யைவிட மேலே இருக்கும்.



படம் 2. 8

திரவத்தின் விவுரி

திரவத்தின் சார்பிலாப் பெருக்கம்

$$= AB + AC.$$

ஆனால் திரவமட்டம் கீழே *B* வரை சென்று மேலேறுவதைப் பொதுவாகக் காண்பதற்கு இயலாது. ஏனெனில் திரவம், குடுவை இரண்டுமே, வெப்பநிலை உயரும்போது சேர்ந் தாற்போல் விரிவடைகின்றன. ஆகவே பார்ப் பவர்களின் கண்களுக்கு, திரவம் *A*-யிலிருந்து *C*-க்குச் செல்வது மட்டுமே புலப்படும். எனவே *AC* என்பது தோற்ற விரிவாகும். திரவத்தின் சார்பிலா விரிவு என்பது திரவத்தின் தோற்ற விரிவு, குடுவையின் பரும விரிவு ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும்.

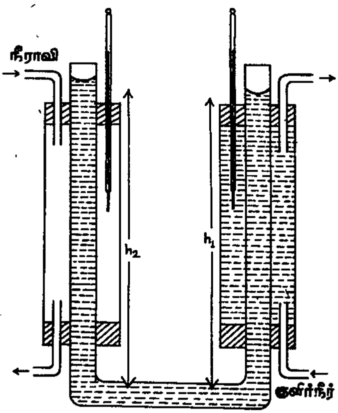
திரவத்தின் தோற்ற விரிவெண் : ஒரு திரவத்தின் தோற்ற விரி வெண் என்பது, திரவத்தின் ஓரலகுப் பருமனில் 1 டிகிரி வெப்பநிலை உயரும்போது ஏற்படுவதாகத் தோன்றும் பரும விரிவைக் குறிக்கும்.

திரவத்தின் சார்பிலா விரிவெண் : ஒரு திரவத்தின் உண்மை அல்லது சார்பிலா விரிவெண் என்பது திரவத்தின் ஓரலகுப் பரு மனில் 1 டிகிரி வெப்பநிலை உயரும்போது தோன்றும் உண்மைப் பரும விரிவைக் குறிக்கும்.

சார்பிலா விரிவெண் காணல் : டியூலாங், பெடிட் முறை : (Dulong and Petit method)

ஒரே திரவத்தில், ஒரு கிடைக்கோட்டில் எல்லாப் புள்ளி களிலும் அழுத்தங்கள் சமமதிப்புடையன என்ற உண்மையின் அடிப்படையில் அமைந்ததே டியூலாங், பெடிட் முறை. ஒரு திரவத் தம்பத்தினால் தோன்றும் அழுத்தம், அத்திரவத் தம்பத்

தின் உயரத்தையும் திரவத்தின் அடர்த்தியையும் பொருத்த தாகும். ஆனால் அது இருக்கின்ற கலத்தின் பருமனையோ அல்லது வடிவத்தையோ திரவத்தின் அழுத்தம் பொருத்ததல்ல. எனவே இருவேறு வெப்பநிலைகளில் வைக்கப்பட்ட சரியீட்டுத் தம்பங்கள் (balancing column) இரண்டின் உயரங்களை அளந்தறிவதன் மூலம், திரவத்தின் சார்பிலா விரிவெண்ணை நேரடியாக அறிய இயலும்.



படம் 2. 9

டியூலாங், பெடிட் முறை

இக்கருவியில், ஒரு *U* வடிவக் குழாயினுள் சோதனைக்கான திரவம் (பாதரசம்) உள்ளது. இந்த *U* வடிவக் குழாயின் இரு புயங்களும் சற்று அகன்ற கண்ணாடி உறைகளுள் உள்ளன. இந்தக் கண்ணாடிக் குழாய்களில் வெப்பநிலைகளை அளப்பதற்கும், நீராவி அல்லது நீரை உட்செலுத்துவதற்கும் வெளியேற்றுவதற்கும் வசதியாகத் துளைகள் உள்ளன. ஒரு புயத்தைச் சுற்றியுள்ள கண்ணாடிக் குழாயில், நீராவியைச் செலுத்துகிறோம். மற்றொரு புயத்தைச் சுற்றியுள்ள கண்ணாடிக் குழாயில் குளிர்நீரைச் செலுத்துகிறோம். இவ்வாறு தொடர்ந்து இரு புயங்களிலும் திரவமட்டங்கள் தனித் தனியே நிலையாக ஆகும்வரை நீராவியையும், நீரையும் செலுத்திக் கொண்டே இருக்க வேண்டும். பின்னர் குளிர்ந்த திரவத்தம்பம், சூடான திரவத்தம்பம் ஆகியவற்றின் உயரங்களை முறையே h_1, h_2 என அளந்தறிகிறோம். θ_1, θ_2 என்பன முறையே அவைகளின் வெப்பநிலைகளைக் குறிக்கட்டும். இப்போது திரவத்தின் சார்பிலா விரிவெண்

$$\gamma = \frac{h_2 - h_1}{h_1\theta_2 - h_2\theta_1}$$

எனக் காட்டலாம். எனவே h_1, h_2, θ_1, θ_2 ஆகியவற்றை அளந்து திரவத்தின் சார்பிலா விரிவெண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

பயிற்சி 2. 2

1. திடப்பொருள்களின் விரிவை, எடுத்துக்காட்டுகளுடன் கூறி விளக்குக.
2. ஒரு திடப்பொருளின் நீள் விரிவெண் என்பதை வரையறுக்க. .அதற்கான கோவையைப் பெறுக.
3. சோதனைச்சாலையில் ஒரு திடப்பொருளின் நீள் விரிவெண்ணை எவ்வாறு காணலாம் ?
4. கடிகாரங்களின் ஊசல்கள் எதற்காக, எவ்வாறு ஈடு செய்யப்பட்டுள்ளன ? ஹேரிசன் ஊசல் என்றால் என்ன ?
5. திடப்பொருளின் உள்ளே உள்ள உட்குழிவு எவ்வாறு விரிவடைகிறதென்பதை விளக்குக.
6. திரவத்தின் தோற்ற விரிவெண், சார்பிலா விரிவெண் ஆகியவற்றின் வரையறைகளைக் கூறுக. அவற்றுக்கிடையே உள்ள தொடர்பினை விவரிக்க.
7. ஒரு திரவத்தின் சார்பிலா விரிவெண் காணும் முறையை விளக்குக.

2. 3 வெப்ப அளவியல்

2. 3. 1 முன்னுரை

சோதனைகள் மூலம், ஜூல் (Joule) என்பவர், வேலையின் விளைவாக வெப்பம் தோன்றுகின்றபோது, தோற்றுவிக்கப்படுகின்ற வெப்பம், செய்யப்படுகின்ற வேலைக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்க வேண்டும் என நிரூபித்தார். செய்யப்பட்ட எந்திர வேலைக்கும் (mechanical work) தோன்றுகின்ற வெப்ப ஆற்றலுக்குமிடையேயுள்ள விகிதம் ஜூல் மாறிலி (Joule's constant) அல்லது வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று (mechanical equivalent of heat) எனப்படும். இந்த வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று

$$J = \frac{W}{H} \text{ ஆகும்.}$$

இதில் W ஜூல் என்ற அலகிலும், H கேலரி என்ற அலகிலும் இருந்தால் J ஜூல்/கேலரி என்ற அலகில் இருக்கும். ஆனால் நாம் பயன்படுத்தும் *R. M. K. S.* முறை அல்லது *S. I.* முறையில்,

வெப்ப ஆற்றலும் எந்திர ஆற்றலும் ஜூல் என்ற அலகினாலேயே அளக்கப்பெறும். ஆதலால் எந்திர ஆற்றல் மறைந்து, வெப்ப ஆற்றல் தோன்றுவதை ஆற்றல் அழிவின்மை விதிக்குட்பட்ட ஆற்றல் மாற்றமாகவே கருதுகிறோம். ஆகவே வெப்ப எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று என்பதே தேவையில்லாததொன்றாகி விடுகிறது.

2. 3. 2 தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன்

1 கிலோகிராம் எடையுள்ள பொருளை 1 K வெப்பநிலை உயர்த்துவதற்குச் செய்யப்படவேண்டிய வேலை, அப்பொருளின் தன் வெப்ப ஏற்புத்திறன் (specific heat capacity) எனப்படும். இதனை ஜூல்/கிலோகிராம்/K ($J\ Kg^{-1}K^{-1}$) என்ற அலகினால் குறிப்போம்.

நீரின் தன்வெப்ப ஏற்றத்திறன் 4180 $JKg^{-1}K^{-1}$ ஆகும். சில முக்கியமான பொருள்களின் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன்கள் கீழே அட்டவணைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன :

எண் வரிசை	பொருள்	தன் வெப்ப ஏற்புத் திறன் ($J\ Kg^{-1}K^{-1}$)
1.	நீர்	4180.00
2.	மண்ணெண்ணெய்	2090.00
3.	தேங்காயெண்ணெய்	1964.00
4.	பாதரசம்	137.94
5.	தாமிரம்	384.60
6.	பித்தளை	372.00
7.	அலுமினியம்	903.10
8.	ஈயம்	125.40
9.	இரும்பு	480.70
10.	கண்ணாடி	668.80

வெப்ப ஏற்புத்திறன் : ஒரு பொருளின் வெப்ப ஏற்புத்திறன் என்பது 1 K வெப்பநிலை உயர்த்துவதற்குச் செய்யப்பட வேண்டிய வேலையைக் குறிக்கும்.

∴ வெப்ப ஏற்புத்திறன் = நிறை × தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன். இதனை ஜூல்/கெல்வின் (JK^{-1}) என்ற அலகால் அளக்கிறோம்.

சமநீரெடை : ஒரு பொருளின் சமநீரெடை (water equivalent) **என்பது அப்பொருளின் வெப்ப ஏற்புத்திறனுக்குச் சமமான வெப்ப ஏற்புத் திறன்** (thermal capacity) **கொண்ட நீரின் நிறைக்குச் சமம்.** m நிறையுள்ள பொருளின் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் s ஆனால்

அதன் சமநீரெடை ms/S ஆகும். இதில் S என்பது நீரின் தன் வெப்ப ஏற்புத்திறன் ஆகும். சமநீரெடை கிலோகிராம் *(Kg)* என்ற அலகால் அளக்கப்படும்.

2. 3. 3 நியூட்டன் குளிர்வு விதி

கதிர்வீசல் மூலம் ஓர் உயர் வெப்ப நிலையிலுள்ள பொருள் வெப்பத்தை இழக்கும் வீதம், அதன் சுற்றுப்புறத்தைவிட அதனுடைய வெப்பநிலை வேறுபாட்டுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். இது நியூட்டன் குளிர்வு விதி (Newton's law of cooling) எனப்படும்.

t என்ற சிறுகால இடைவெளியில் கதிர்வீசல் மூலம் வெப்ப இழப்பு H ஆனால் அதன் வெப்ப இழப்பு வீதம் $R = H/t$ என எழுதலாம். t மிகமிகச் சிறியதாக உள்ளபோது $R = dH/dt$ என எழுதலாம். θ என்பது பொருளின் சராசரி வெப்ப நிலையாகவும், சுற்றுப்புற வெப்பநிலை θ_0 ஆகவும் இருந்தால் இவ்விதிப்படி,

$$R = \frac{dH}{dt} \propto (\theta - \theta_0)$$ என எழுதலாம்.

குளிர்வு முறையில் திரவத்தின் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் காணல்

ஒரு வெற்றுத் தாமிரக் கேலரி மீட்டரை அதன் கலக்கியுடன் நிறை காண்கிறோம். பின்னர் அதனுள் ஏறத்தாழ முழுவதும் நீர் எடுத்துக் கொள்கிறோம். பின்னர் அதனை ஒரு நீர்த் தொட்டியினுள் வைத்து ஏறத்தாழ 353 *K* (80°C) வெப்ப நிலைக்கு உயர்த்துகிறோம். இப்போது கேலரி மீட்டரின் வெளிப் புறப் பரப்பின் தன்மை மாறாமல் இருக்குமாறு பார்த்துக்கொள்ள வேண்டும். கேலரி மீட்டரை வெளியிலெடுத்து வெளிப்புறம் நீரில்லாதவாறு உலரவைத்து, ஒரு நிலையான வெப்பநிலையிலுள்ள உறையினுள் வைக்கப்படுகிறது. சோதனையின்போது கலக்கியில் நீரைக் கலக்கிக்கொண்டே இருக்க வேண்டும். நீர் ஏறத்தாழ 323 *K* (50°C) வெப்பநிலைக்கு வரும்வரை குறிப்பிட்ட கால இடைவெளிக்கொருதரம் அதன் வெப்பநிலையைக் குறித்துக்கொள் கிறோம். பின்னர் நீருடன் கேலரிமீட்டரின் நிறையைக் காண் கிறோம்.

நீரைக் கொட்டிவிட்டு, கேலரி மீட்டரை உலர்த்தி, சமபருமன் உள்ளவாறு நீருக்குப் பதிலாக, தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் காண வேண்டிய திரவத்தை எடுத்துக் கொள்கிறோம். பின்னர் அதனை முன்பு போலவே ஏறத்தாழ 353 *K* (80° *K*) வெப்ப நிலைக்கு உயர்த்திச் சோதனையைத் திரும்பச் செய்கிறோம். முடிவில் கேலரி மீட்டரைத் திரவத்துடன் நிறை காண்கிறோம். ஒரே வரைபடத் தாளில் திரவம், நீர் ஆகிய இரண்டின் குளிர்வு வரைபடங்களை

யும் (காலம்—வெப்பநிலை வரைபடங்கள்) வரைகிறோம். வரை படத்திலிருந்து ஒரே வெப்பநிலை இடைவெளியில் நீர் குளிர எடுத்துக்கொள்ளும் காலத்தையும், திரவம் குளிர எடுத்துக்கொள் ளும் காலத்தையும் கண்டறியலாம். பின்வருமாறு அளவீடுகள் குறிக்கப்படுகின்றன :

வெற்றுக் கேலரி மீட்டர், கலக்கி ஆகியவற்றின் நிறை = m_1 kg

கேலரிமீட்டர், கலக்கி, நீர் ஆகியவற்றின் நிறை = m_2 kg

கேலரி மீட்டர், கலக்கி, திரவம் ஆகியவற்றின் நிறை = m_3 kg

எடுத்துக்கொண்ட நீரின் நிறை = $(m_2 - m_1)$ kg

எடுத்துக்கொண்ட திரவத்தின் நிறை = $(m_3 - m_1)$ kg

அடுத்தடுத்து ஒரே பருமனுள்ள நீரையும், திரவத்தையும் எடுத்துக் கொண்டுள்ளோமாதலால், இரு சோதனைகளிலும், குளிரும் மேற் பரப்பு (கதிர்வீசு பரப்பு) ஒரே மாதிரியானதாகும். இரு திரவங் களுக்கும் ஒரே வெப்பநிலை இடைவெளியையும் எடுத்துக்கொள் கிறோம். எனவே சுற்றுப்புற வெப்பநிலைக்கும், கேலரி மீட்டரின் வெப்பநிலைக்குமுள்ள வேறுபாடு இரு சோதனைகளிலும் ஒரே அள வுடையதாக இருக்கும்.

θ_1 K வெப்பநிலையிலிருந்து θ_2 K வெப்பநிலைக்குக் குளிர, நீர் எடுத்துக்கொண்ட காலம் t_1 செகண்டு என்போம். அதே, θ_1 K வெப்ப நிலையிலிருந்து θ_2 K வெப்பநிலைக்குக் குளிர, திரவம் எடுத்துக்கொண்ட காலம் t_2 என்போம். $\left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right)$ K என்ற சராசரி வெப்பநிலையில் கேலரி மீட்டரும் நீரும் வெப்பம் இழக்கும் வீதம்

$$= \frac{(m_1 s + M S)(\theta_1 - \theta_2)}{t_1}$$

இதில் s என்பது கேலரி மீட்டரின் உலோகத்தின் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறனையும், S என்பது நீரின் தன் வெப்ப ஏற்புத் திறனை யும், $M = (m_2 - m_1)$ என்பது எடுத்துக்கொண்ட நீரின் நிறை யையும் குறிப்பன.

அதே θ_1, θ_2 என்ற வெப்பநிலை இடைவெளியில், கேலரி மானியும் திரவமும் வெப்பம் இழக்கும் வீதம்

$$= \frac{(m_1 s + mX)(\theta_1 - \theta_2)}{t_2} \text{ ஆகும்.}$$

இதில் $m = m_2 - m_1$, என்பது திரவத்தின் நிறையையும், X அதன் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறனையும் குறிப்பன.

இரு சோதனைகளிலும், நியூட்டன் குளிர்வு விதிப்படி குளிர்வு வீதம், அதாவது வெப்ப இழப்பு வீதம் சமமாக இருத்தல் வேண்டு மாதலால்,

$$\frac{(m_1 s + MS)(\theta_1 - \theta_2)}{t_1} = \frac{(m_1 s + mX)(\theta_1 - \theta_2)}{t_2}$$

$$\text{i.e.} \frac{(m_1 s + MS)}{t_1} = \frac{m_1 s + mX}{t_2}$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து X-ன் மதிப்பைக் காணலாம்.

இவ்வாறு நியூட்டன் குளிர்வு விதியைப் பயன்படுத்தி ஒரு திரவத்தின் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிட இயலும்.

2. 3. 4 வாயுக்களின் இரு தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன்கள்

அழுத்தம், பருமன் ஆகியவை ஒரு வாயுவின் பண்புகளாகும். பாயில் விதிப்படி (Boyle's Law) வெப்பநிலை மாறாதபோது ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வாயுவின் அழுத்தம், அதன் பருமனுக்கு எதிர்விகிதத்தில் மாற்றமடையும். சார்லஸ் விதிப்படி (Charles's Law) அழுத்தம் மாறாதபொழுது, ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வாயுவின் பருமன், அதன் சார்பிலா வெப்பநிலைக்கு நேர்விகிதத்தி லுள்ளது எனவும், பருமன் மாறாதபோது, ஒரு குறிப்பிட்ட நிறை யுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் அதன் சார்பிலா வெப்பநிலைக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது எனவும் அறிகிறோம். இதிலிருந்து வாயுக்கள் அழுத்தத்தினால் மிகவும் சுருங்கும் தன்மை கொண்டவை என்பதை யும், வெப்பநிலையால் அதன் அழுத்தத்திலும், பருமனிலும் பெரும் வேறுபாடுகள் தோன்றுகின்றன என்பதையும் அறிகிறோம். வெப்ப நிலை உயரும்போது ஒருவாயு பருமன் மாறாமல் விரிவடையவோ அல்லது அழுத்தம் மாறாமல் விரிவடையவோ இயலுமாதலால் ஒரு வாயுவுக்கு இரு தன்வெப்ப ஏற்புத் திறன்கள் உள்ளன.

வாயுவின் பருமன் மாறாத் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் (C_V) :

பருமன் மாறாத வகையில் 1 கிலோகிராம் நிறையுள்ள ஒரு வாயுவை 1 டிகிரி கெல்வின் வெப்பநிலை உயர்த்துவதற்குச் செய்யப்பட வேண்டிய வேலை அவ்வாயுவின் பருமன் மாறாத் தன்வெப்ப ஏற்புத் திறன் (specific heat capacity at constant volume) எனப்படும். இத்தகைய பருமன் மாறா நிகழ்வின்போது, செய்யப்படும் வேலை முழுவதும் வாயுவின் உள்ளாற்றலை அதிகரிப்பதற்கே பயன்படும்.

உள்ளாற்றல் உயர்வு, மூலக்கூறுகளுக்கிடையில் எவ்வகையிலேனும் பகிர்ந்தளிக்கப்படலாம்.

வாயுவின் அழுத்தம் மாறாத் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் (C_p) :

அழுத்தம் மாறாத வகையில் 1 கிலோகிராம் நிறையுள்ள ஒரு வாயுவை 1 டிகிரி கெல்வின் வெப்பநிலை உயர்த்துவதற்குச் செய்ய வேண்டிய வேலை அவ்வாயுவின் அழுத்தம் மாறாத் தன்வெப்ப ஏற்புத் திறன் (specific heat capacity at constant pressure) **எனப்படும்.** இவ்வகை நிகழ்வில் அழுத்தம் நிலையானதாகையால், வெப்ப நிலை உயரும்போது பருமன் அதிகரிக்கும். எனவே வாயு தனது ஆற்றலைச் செலவிட்டு வெளிவேலை செய்ய வேண்டியுள்ளது. ஆகவே தரப்படும் வெப்பம், வாயுவின் உள்ளாற்றலை அதிகரிக்கச் செய்வதோடு, வெளிப்புற வேலையும் செய்யப் பயன்படுத்தப் படுகிறது. எனவே எப்போதும் C_p-யின் மதிப்பு C_v-யின் மதிப்பை விட அதிகமானதாக இருக்கும்.

2. 3. 5 மேயர் சமன்பாடு

வாயுவின் மாறா அழுத்தத் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறனும், மாறாப் பருமன் தன்வெப்ப ஏற்புத் திறனும் பின்வரும் தொடர்பினைக் கொண்டுள்ளவை :

$$C_p - C_v = R$$

இதில் R என்பது அனைத்து வாயு மாறிலி (universal gas constant) ஆகும். இந்தச் சமன்பாடு வாயுவின் இருவகைப்பட்ட தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன்களையும் இணைக்கும் மேயர்தொடர்பு (Meyer's relation) அல்லது மேயர் சமன்பாடு எனப்படும்.

பயிற்சி 2. 3

1. ஒரு பொருளின் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் என்பதை வரையறுக்க. அதன் அலகு என்ன ?
2. வெப்ப ஏற்புத்திறன், சமநீரெடை என்பனவற்றை விளக்குக.
3. நியூட்டன் குளிர்வு விதியைக் கூறி விளக்குக.
4. நியூட்டன் குளிர்வு முறையில் ஒரு திரவத்தின் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறனை எவ்வாறு காண்கிறோம் ?
5. வாயுக்களுக்கு ஏன் இரண்டு தன் வெப்ப ஏற்புத் திறன்கள் உள்ளன ?
6. வாயுவின் இரு தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன்களை வரையறுத்து அவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொடர்பினைக் கூறுக.

2. 4. நிலை மாற்றம்

2. 4. 1 ஆவியாதல்

வளிமண்டலத்தோடு தொடர்பு கொண்டுள்ள திரவம் ஆவியாதல் (evaporation) மூலம் கொஞ்சம் கொஞ்சமாகக் குறைந்து வருவது ஒரு சாதாரண நிகழ்வாகும். ஆல்கஹால், ஈதர் போன்ற சில திரவங்கள் விரைவாக ஆவியாகின்றன. ஆனால் நீர், எண்ணெய் போன்ற திரவங்கள் அவ்வளவு விரைவாக ஆவியாவதில்லை. எனவே, திரவத்தின் கொதிநிலையை விடக் குறைந்த சாதாரண வெப்பநிலைகளில், ஒரு திரவம் விரைவாகவோ, அல்லது மெதுவாகவோ, கொஞ்சம் கொஞ்சமாக மறைந்து ஆவியாக மாறும் நிகழ்ச்சியை **ஆவியாதல்** என்கிறோம். ஆவியாதல் திரவத்தின் திறந்த மேற்பரப்பிலிருந்து நிகழ்கிறது.

பொருள்களின் இயக்கக் கொள்கையின்படி, ஒரு திரவத்தில் உள்ள மூலக்கூறுகள் எப்போதும் இயக்கத்திலேயே உள்ளன. இந்த மூலக்கூறுகளின் வேகம் மிக அதிகமாக இருக்கும். திரவத்தின் மேற்பரப்பினருகே உள்ள சில மூலக்கூறுகள், திரவத்திலிருந்து வெளியேறுமளவுக்கு உயர்ந்த திசைவேகங்களுடன் இருக்கக்கூடுமானால், அவை திரவத்தை விட்டு மேற்சென்று ஆவியாக மாறுகின்றன. அதேபோன்று மேலே ஆவிவடிவில் உள்ள சில மூலக்கூறுகள் திரவத்தினுள்ளும் நுழைய இயலும். ஆனால் திரவத்தினுள் வந்துசேரும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையைவிட, அதனை விட்டு வெளியேறும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை அதிகமாக இருந்தால், திரவத்தின் பருமன் தொடர்ந்து குறைந்துகொண்டே வரும். மேலுள்ள ஆவி **தெவிட்டுநிலையில்** (saturated) இருந்தால் இந்த இரு எண்ணிக்கைகளும் சமமாக உள்ளன என்று பொருள்.

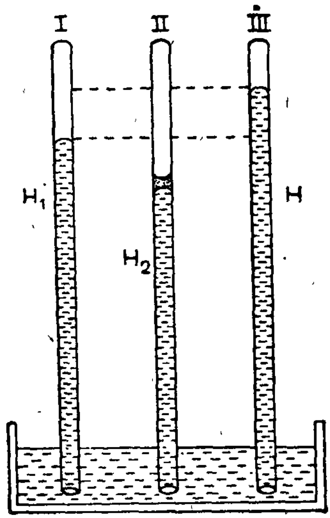
2. 4. 2 ஆவி அழுத்தம்

மேற்கூறியபடி, மூடப்பட்ட ஒரு கலத்துள் உள்ள திரவத்தினுள் வந்து சேரும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையும், அதனை விட்டு ஆவியாக மேற்செல்லும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையும் சமமாக உள்ளபோது, மேலிருக்கும் ஆவி, **தெவிட்டு ஆவி** (saturated vapour) எனப்படும். இந்தத் தெவிட்டு ஆவி திரவத்தின் மேற்பரப்பில் செலுத்துகின்ற அழுத்தம் **தெவிட்டு ஆவி அழுத்தம்** (saturated vapour pressure–*SVP*) எனப்படும். மூடிய கலத்துள் போதுமான அளவு திரவம் இல்லாதிருந்தால் எல்லா மூலக்கூறுகளும் ஆவியாக மாறி, திரவம் மறைந்துவிடும். மேலுள்ள ஆவி **தெவிட்டா ஆவி** (unsaturated vapour) எனவும், அதன்

அழுத்தம் **தெவிட்டா ஆவி அழுத்தம்** (unsaturated vapour pressure) எனவும் கூறப்படுகின்றன.

ஓர் அகன்ற கலத்துள் உள்ள பாதரசத்தில் மூன்று பாரமானிகள் நிறுத்திவைக்கப்பட்டுள்ளன என்போம். பாரமானியில் பாதரசத்துக்கு மேல் உள்ள இடம் வெற்றிடமாக இருக்கும். ஒவ்வொரு பாரமானியுள்ளும் பாதரசம் நிற்கும் உயரம் H, வளி அழுத்தத்தைப் பாதரச உயரத்தில் கொடுக்கும். எனவே எல்லாப் பாரமானிகளுள்ளும் தொடக்கத்தில் பாதரசம் ஒரே அளவு உயரத்துக்கு நிற்கக் காணலாம்.

முதல் பாரமானியுள் சுமார் 0.5 கன சென்டிமீட்டர் பரும அளவுள்ள ஆல்கஹாலை ஒரு வளைந்த பிப்பெட்டின் உதவியால் செலுத்துகிறோம். இரண்டாவது பாரமானியுள் அதேபோல்



படம் 2.10

தெவிட்டு ஆவி அழுத்தமும்
தெவிட்டா ஆவி அழுத்தமும்

வளைந்த பிப்பெட் உதவியால் சுமார் 10 கன சென்டிமீட்டர் பரும அளவுள்ள ஆல்கஹாலைச் செலுத்துகிறோம். மூன்றாவது பாரமானியை அப்படியே விட்டுவிடுகிறோம்.

மூன்றாவது பாரமானியுள் பாதரச உயரம் H ஆகத் தொடர்ந்து இருக்கும். சற்று நேரத்தில் முதல் பாரமானியுள்

செலுத்தப்பட்ட ஆல்கஹால் முழுவதும் ஆவியாக மாறி மறைந்து விடும். இரண்டாவது பாரமானியில் முழுவதும் ஆவியாகாமல், சிறிதளவு ஆல்கஹால் பாதரசத்துக்குமேல் நின்றுகொண்டிருக்கும். இதில் பாதரசத்துக்கு மேலே உள்ள இடத்தில் ஆவி தெவிட்டு நிலையில் இருக்காது.

முதல் பாரமானியில் பாதரச உயரம் H_1 எனவும், இரண்டாவது பாரமானியில் பாதரச உயரம் H_2 எனவும் இருந்தால், முதல் பாரமானியில் உள்ள ஆவியின் அழுத்தம் $(H-H_1)$ ஆகும். ஆல்கஹாலின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தம் $(H-H_2)$ ஆகும். $(H-H_2)$ என்பது $(H-H_1)$ஐவிட எப்போதும் அதிகமானதாகவே இருக்கும். எனவே தெவிட்டு ஆவி அழுத்தம் எப்போதும் தெவிட்டா ஆவி அழுத்தத்தைவிட அதிகமாகவே இருக்குமென்பதை அறியலாம்.

ஒரு வாயுவின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தம் வெப்பநிலை உயரும் போது உயரும். வெப்பநிலை உயரும்போது மூலக்கூறுகளின் திசை வேகங்கள் உயர்வதால், உயர்ந்த வெப்பநிலைகளில் அதிக எண்ணிக்கையுள்ள மூலக்கூறுகள், திரவப் பரப்பைவிட்டு வெளிச் சென்று ஆவியாக மாறுகின்றன. இயக்கச் சமநிலையில் (dynamic equilibrium) திரவத்தின் மேலுள்ள இடத்தில் அதிக எண்ணிக்கையுள்ள மூலக்கூறுகள் இருப்பதால் ஆவி அழுத்தம் அதிகமாக இருக்கும்.

2.4.3 ஆவி அழுத்தமும், கொதிநிலையும்

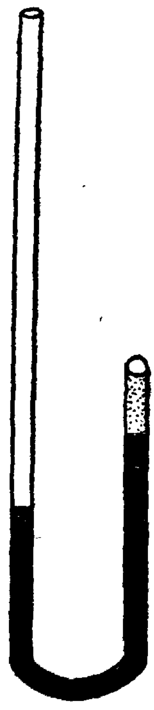
முன்பே கூறியவாறு, மூடப்பட்ட கலத்துள் உள்ள திரவத்தின் வெப்பநிலையை உயர்த்திக்கொண்டே சென்றால், அதிக அளவில் மூலக்கூறுகள் திரவப்பரப்பை விட்டு வெளியே வந்து ஆவியாக மாறிக்கொண்டுள்ளன. இதனால் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தமும் அதிகரிக்கிறது. சற்று நேரத்தில், திரவப்பரப்பினடியிலேயே, திரவத்துக்குள்ளேயே ஆவி தோன்றத் தொடங்கிக் குமிழியிட்டுக்கொண்டு மேலே வரக் காணலாம். விரைவில் திரவம், ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையை அடைந்தவுடன் கொதிக்கத் தொடங்கி, ஆவியாக மாறத் தொடங்குகிறது. மேலும் தரப்படும் வெப்பம் திரவத்தின் வெப்பநிலையை உயர்த்த இயலாது. ஆனால் அந்த வெப்பநிலையில் தரப்படும் வெப்பம் முழுவதும் திரவத்தை ஆவியாக மாற்றுவதற்கே பயன்படுத்தப்படும். இந்த வெப்பநிலையைக் **கொதிநிலை** (boiling point) என்போம். இவ்வாறு **கொதிநிலையில் 1 கிலோகிராம் திரவத்தை முழுவதும் ஆவியாக மாற்றத் தரப்படும் வெப்பம், அவ்வாயுவில்தான் இருக்கவேண்டுமாதலால், அவ்வெப்பத்தை ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் (latent heat of vaporization)** என்கிறோம். இப்போது, அதே கொதிநிலையில், 1 கிலோகிராம் வாயுவை, திரவமாக மாறச்

செய்தால் அதே அளவு வெப்பத்தை வாயு வெளிப்படுத்தும். இதனைத் **திரவமாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் (latent heat of condensation)** என்கிறோம். எனவே 'கொதிநிலை' என்பதை எந்த நிலையான வெப்பநிலையில் திரவம், திரவநிலையிலிருந்து வாயு நிலைக்கு உள்ளுறை வெப்பத்தை ஏற்றுக்கொண்டு நிலைமாற்ற மடைகிறதோ, அந்த வெப்பநிலை எனவும் கூறலாம். திரவம் கொதிக்கத் தொடங்குகையில் அதன் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தமும், அதன்மீது செயல்படும் வெளிப்புற அழுத்தமும் சமமாக இருக்கும். எனவே திரவத்தின் **கொதிநிலை என்பதை, எந்த வெப்பநிலையில் திரவத்தின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தமும் வெளிப்புற அழுத்தமும் சம மாக ஆகிறதோ, அந்த வெப்பநிலை எனவும் கூறலாம்.**

2. 4. 4 J-குழாயைப் பயன்படுத்தி கொதிநிலை காணல்

ஏறத்தாழ 0.3 மீட்டர் உயரமுள்ள நீண்ட புயத்தையும், 0.15 மீட்டர் உயரமுள்ள குட்டையான புயத்தையும் கொண்ட ஒரு J-வடிவக் குழாயை எடுத்துக்கொள்கிறோம். அதனுள் அதன் குறுகிய புயம் முழுவதும், நீள மான புயத்தில் சிறிதளவும் (7 அல்லது 8 செ.மீ.) உள்ளவாறு பாதரசத்தை நிரப்பு கிறோம். குறுகிய புயத்தினுள் ஒரு வளைந்த பிப்பெட்டைப் பயன்படுத்தி 1 அல்லது 2 கன சென்டிமீட்டர் பருமன அளவுள்ள ஆல்கஹாலை உட்செலுத்துகிறோம். ஆல்கஹால் பாதரசத் துக்கு மேலே சென்று ஒரு பகுதி ஆவியாக மாறு கிறது. மீதியுள்ள திரவம் பாதரசத்தின் மீது நிற்கும். J குழாயுடன் ஓர் அளவுகோலை இணைத்து, அதனை ஒரு நீர்த் தொட்டியினுள் வைத்துத் தொட்டியைச் சூடாக்குகிறோம். வெப்பநிலை உயர உயர, ஆல்கஹால் ஆவி பாதரச மட்டத்தைக் கீழே தள்ளும். t_1 என்ற வெப்பநிலையில் இரு புயங்களிலும் பாதரச மட்டங்கள் ஒரே கிடைமட்டத்தில் இருக்கக் காண்கிறோம். இப்போது சூடேற்றுவதை நிறுத்திவிட்டால் நீர்த் தொட்டி குளிரும்.

வெப்பநிலை குறையும்போது, மீண்டும் t_2 என்ற வெப்ப நிலையில் பாதரச மட்டங்கள் ஒரே கிடைமட்டத்தில் இருக்கக்காணலாம். இப்போது, இவ்விரண்டு வெப்பநிலைகளின் சராசரி,



படம் 2. 11
திரவத்தின் கொதிநிலை காணல்

அதாவது $\left(\frac{t_1 + t_2}{2}\right)$ என்ற வெப்பநிலையில் திரவத்தின் தெவிட்டு ஆவி அழுத்தமும் வெளிப்புற அழுத்தமும் சமமாக உள்ளன. எனவே திரவத்தின் கொதிநிலை $\left(\frac{t_1 + t_2}{2}\right)$ ஆகும்.

இம்முறையில் சிறு அளவே கிடைக்கும் திரவங்களின் கொதிநிலையையும் காண இயலும்.

2. 4. 5 அழுத்த உயர்வால் கொதிநிலை உயர்தல்

இயல்பு அழுத்தத்தில், நீரின் கொதிநிலை 273 K ஆகும். நீரை ஒரு மூடிய கலத்துள் வைத்து, வெளிப்படும் ஆவியைக் கலத்துள்ளேயே இருக்குமாறு செய்தால், அழுத்தம் அதிகமாகும். இதன் காரணமாகக் கொதிநிலை உயரும்.

மலைமுகடு போன்ற உயரமான இடங்களில் நீர் 373 K வெப்பநிலையை அடையும் முன்பே கொதிக்கத் தொடங்கிவிடும். ஏனெனில், உயரே செல்லச் செல்ல வளி அழுத்தம் குறைந்துகொண்டே வருவதால், நீரின் கொதிநிலை குறைகிறது. இதனால் பொருள்களை வேக வைப்பதும், சமைப்பதும் கடினமாக உள்ளதோடு, காலமும் அதிகமாகிறது. அதேபோல, அழுத்தம் அதிகமாகும்போது கொதிநிலையும் அதிகமாதலால் உணவுப் பொருள்களை எளிதாக விரைவில் வேகவைக்க இயலும். இதுவே அழுத்த சமையற் கலத்தின் (pressure cooker) அடிப்படையாகும். சாதாரண சமையற் கலத்தில் நீரின் வெப்பநிலை 373 K என்ற வெப்பநிலையை விட அதிகமாகாது. எனவே உணவுப் பொருள்களை இதே வெப்பநிலையில் வைத்து வெப்பத்தைத் தருகிறோம். இதனால் கால தாமதம் ஏற்படுகிறது. அழுத்த சமையற் கலத்தில், அழுத்த உயர்வு கொதிநிலையை உயர்த்துவதால், உணவுப் பொருள்களும் காய்கறிகளும் உயர்ந்த வெப்பநிலைக்குக் கொண்டு செல்லப்பட்டு விரைவில் வேகவைக்கப்படுகின்றன.

பயிற்சி 2 . 4

1. ஆவியாதல் என்பதை விளக்குக.
2. தெவிட்டு ஆவி, தெவிட்டு ஆவி அழுத்தம் என்பனவற்றை விளக்குக.
3. தெவிட்டு ஆவி அழுத்தமே அது செலுத்தக்கூடிய உச்ச அழுத்தம் என்பதைக் காட்ட ஒரு சோதனையை விவரிக்க.

4. கொதிநிலை என்பது என்ன? ஆவி அழுத்தத்துக்கும் கொதிநிலைக்கும் உள்ள தொடர்பினை விளக்குக.

5. ஆவி அழுத்தத்தின் பண்பைக் கொண்டு, ஒரு திரவத்தின் கொதிநிலையைக் காண ஒரு சோதனையை விளக்குக.

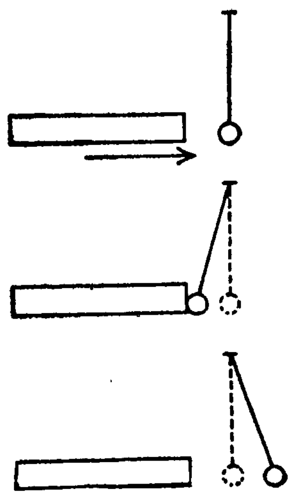
6. அழுத்த சமையற்கலன் எவ்வாறு வேலை செய்கிறது?

3. மின்னியலும் காந்தவியலும்

3. 1. நிலைமின்னியல்

3. 1. 1 மின்னூட்டம்

ஆம்பர் (ஒரு வகை இறுகிய கோந்து) என்ற பொருள் கம்பளி யால் தேய்க்கப்பட்டால் அது வைக்கோல், நெட்டி போன்ற மிக இலேசான பொருள்களை ஈர்ப்பதை கிரேக்கர்கள் ஏறத்தாழ கி.மு. 600-லேயே கண்டறிந்தனர். எந்தத் திண்மத்தையும் தக்க தொரு பொருளால் தகுந்த சூழ்நிலையில் தேய்த்தால் அத்திண்மம்

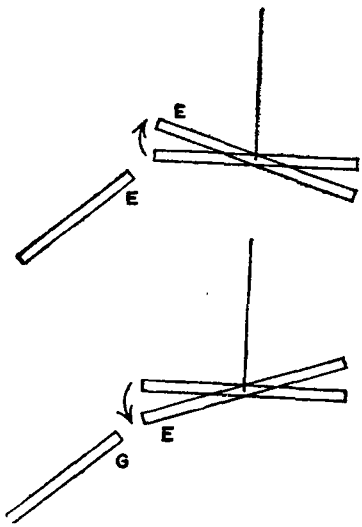


படம் 3. 1

மின்னூட்டத்தால் கெட்டிப்பந்து ஈர்க்கப்பட்டு விலகுதல்

இலேசான பொருளை ஓரளவிற்கு ஈர்க்கும் என்று தற்பொழுது நாமறிவோம். இதற்கு நல்லதொரு எடுத்துக்காட்டு பின்வருமாறு கூறலாம். உலர்ந்த சிகையைச் சீவி முடித்த இரப்பர் அல்லது எபொனைட் சீப்பு, சிறு துண்டுத்தாள்களை ஈர்க்கிறது. இச்சோதனை யில், திண்மம் மின்னூட்டம் பெற்றுள்ளது என்று கூறுகிறோம்.

எபொனைட் தண்டினைக் கம்பளியாலும் கண்ணாடியைப் பட்டினாலும் தேய்த்தால் அவை மின்னூட்டம் பெறுகின்றன. இரண்டுமே துண்டுத்தாள்களை அல்லது தொங்கும் நெட்டிப்பந்துகளை ஈர்க்க வல்லன (படம் 3.1). ஈர்க்கப்படும் துண்டுத்தாள் அல்லது நெட்டிப் பந்து மின்னூட்டம் பெற்ற எபொனைட் அல்லது கண்ணாடித் தண்டினைத் தொட்டால், அது ஒரு கணத்திற்குத் தண்டுடன் ஒட்டிக் கொண்டு, உடனேயே தள்ளிவிடப்படுவதையும் காணலாம். இதற்கான விளக்கம் பின்னர் பெறப்படும்.



படம் 3. 2

மின்னூட்டம் பெற்ற தண்டுகள் ஈர்த்தலும் விலக்கலும்

மின்னூட்டம் பெற்ற ஒரு எபொனைட் தண்டு ஒரு பட்டு இழையில் தொங்குகிறது. இதனருகில் வேறொரு எபொனைட் தண்டு இதுவும் மின்னூட்டம் பெற்றதே - கொண்டுவரப்படுகிறது. இத் தண்டுகள் ஒன்றையொன்று எதிர்த்துத் தள்ளுகின்றன. மின்னூட்டம் பெற்ற இரண்டு கண்ணாடித் தண்டுகளும் இவ்வாறே ஒன்றையொன்று எதிர்க்கும். ஆனால் மின்னூட்டிய கண்ணாடியும் மின்னூட்டிய எபொனைட்டும் ஒன்றையொன்று ஈர்க்கும் (படம் 3.2). இதிலிருந்து, இரண்டு வகையான மின்னூட்டங்கள் உண்டு என்பதும், ஒரேவகையான மின்னூட்டங்கள் தங்களுக்குள்ளே எதிர்க்கும், மாறுபட்ட வகையான மின்னூட்டங்கள் தங்களுக்குள்ளே ஈர்க்கும், என்பதும் தெரியவருகிறது.

எபொனைட் தண்டு பெற்றுள்ள மின்னூட்டம் **எதிர்மின்னூட்டம்** (negative charge) என்றும், கண்ணாடித்தண்டு பெற்றுள்ள மின்னூட்டம் **நேர்மின்னூட்டம்** (positive charge) என்றும் வழங்கப்படுகின்றன.

எபொனைட் தண்டினைத் தேய்ப்பதற்குப் பயன்படுத்திய கம்பளியைச் சோதனை செய்வோம். அது நேர்மின்னூட்டம் பெற்றிருப்பதையும், அதன் அளவு எபொனைட்தண்டு மீதுள்ள எதிர்மின்னூட்டத்தின் அளவுக்குச் சமமாக இருப்பதையும் அறியலாம். இது போன்றே கண்ணாடித்தண்டின் மீதுள்ள நேர்மின்னூட்டத்திற்குச் சமமான அளவு பட்டுத்துண்டின் மீது எதிர்மின்னூட்டம் ஏறியிருப்பதை அறியலாம். இந்த நிகழ்வுக்கான விளக்கத்தை அணுக்களின் அகஅமைப்பிலிருந்து பெறலாம். ஒவ்வோர் அணுவிலும் நேர்மின்னூட்டம் உடைய கரு உள்ளது. இக்கரு நேர்மின்னூட்டம் உடைய ஒரேயொரு புரோட்டானாக இருக்கலாம் - (எ.கா.) ஹைட்ரஜன் கருவில் பல புரோட்டான்களும் மின்னூட்டமேயில்லாத நியூட்ரான்களும் இருக்கலாம். இக்கருவை மையமாகக் கொண்ட வட்டப்பாதைகளில் எதிர்மின்னூட்டம் உடைய எலக்ட்ரான்கள் சுற்றி வருகின்றன. ஓர் புரோட்டான் மீதுள்ள நேர்மின்னூட்டமும் ஒரு எலக்ட்ரான் மீதுள்ள எதிர்மின்னூட்டமும் அளவில் சமம். எந்த அணுவிலும் கருவிலுள்ள புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கை அதனைச் சுற்றிவரும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமம். எனவே ஓர் அணு மின்நடுநிலை வகிக்கிறது. கண்ணாடித் தண்டு பட்டினால் தேய்க்கப்பட்டால் ஒரு சில எலக்ட்ரான்கள் கண்ணாடியிலிருந்து பட்டிற்கு இடம் மாறிவிடுகின்றன. எனவே கண்ணாடித்தண்டில் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை குறைந்து - அதாவது எதிர்மின்னூட்டம் குறைந்து- அதனில் உபரியாக நேர்மின்னூட்டம் உள்ளது; அதாவது கண்ணாடித்தண்டு நேர்மின்னூட்டம் பெறுகிறது. அதேபொழுது, பட்டுத் துண்டில் உபரியாக எலக்ட்ரான்கள் உள்ளதால் அது எதிர்மின்னூட்டம் பெறுகிறது. இதுபோலவே எபொனைட் தண்டு கம்பளியால் தேய்க்கப்பட்டால், எலக்ட்ரான்கள் கம்பளியிலிருந்து எபொனைட் தண்டிற்கு இடம் பெயர்ந்து அத்தண்டு எதிர்மின்னூட்டம் பெறுகிறது. சில எலெக்ட்ரான்கள் குறைந்துவிட்டதால் கம்பளி நேர்மின்னூட்டம் பெறுகிறது. பொருள்கள் ஒன்றையொன்று தொடுவதால் மின்னூட்டம் பெறுகின்றன (தேய்க்கப்பட்டால் ஒன்றையொன்று மிக நன்றாகத் தொடும்); இதனில் மின்னூட்டம் ஆக்கப்படவில்லை; ஆனால் எதிர்மின்னூட்டமுடைய எலக்ட்ரான்கள் இடம் மாற்றப்படுகின்றன.

இலேசான எலெக்ட்ரான்களே இவ்வாறு மாற்றப்படுகின்றன; எடை அதிகமான புரோட்டான்கள் மாற்றப்படுவதில்லை. ஒரு

எலக்ட்ரான் மீதுள்ள (அல்லது ஒரு புரோட்டான் மீதுள்ள) மின்னூட்டமே எந்தத் துகளும் பெறக்கூடிய சிறும மின்னூட்டமாகும். இந்த அளவை '*e*' என்று குறிப்பர் ; இது 1.6029 × 10^{-19} கூலூம்கள் ஆகும். *SI* முறையில் மின்னூட்டத்திற்கான அலகு ஒரு கூலூம் ஆகும்.

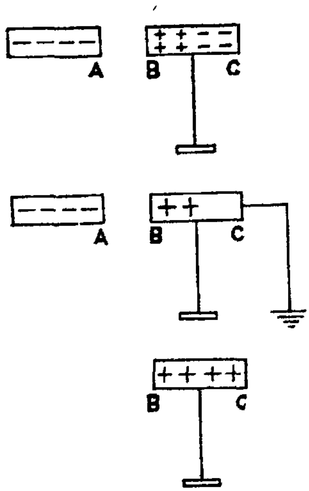
எலக்ட்ரான்கள் இடம் மாறுவதாலேயே மின்னூட்டம் ஏற்றப்படுகிறது ; எனவே ஒரு பொருள் ஏற்கும் மின்னூட்டத்தின் அளவு எப்பொழுதுமே '*e*' யின் முழு மடங்குகளாகவே இருக்கும். எனவே ஒரு பொருள் ஏற்கும் மின்னூட்டத்தைத் தொடர்ச்சியாக உயர்த்த இயலாது ; ஒவ்வொரு '*e*' யாகத்தான் உயர்த்த முடியும். இந்த நிகழ்வே அணு இயற்பியலில் **குவான்டமாதல்** எனப்படுகிறது. இங்கு **குவான்டம்** (அதாவது சிறு அலகு) என்பது எலக்ட்ரான் மீதுள்ள மின்னூட்டமாகும்.

3. 1. 2 மின்கடத்திகளும் மின்காப்புப் பொருள்களும்

நமது கையில் பிடிக்கப்பட்டு கம்பளியால் தேய்க்கப்பட்ட எபொனைட் தண்டு துண்டுத் தாள்களை சுர்ப்பதைக் கண்டோம். இதற்கு மாறாக, கையில் பிடிக்கப்பட்டு, கம்பளியால் தேய்க்கப்பட்ட பித்தளைத் தண்டு துண்டுத் தாள்களை ஈர்ப்பதில்லை. கண்ணாடியாலான கைப்பிடி ஒன்றை பித்தளைத் தண்டுக்கு அமைப்போம். கைப்பிடியைப் பிடித்துக்கொண்டு பித்தளைத் தண்டு கம்பளியால் தேய்க்கப்பட்டால் அதுவும் துண்டுத் தாள்களை ஈர்க்கும். தற்பொழுது, பித்தளையைக் கையால் தொட்டாலோ அல்லது வேறு வகையில் பூமியுடன் மின்னிணைப்பு கொடுத்தாலோ, அது உடனே அந்த ஈர்க்கும் பண்பினை இழந்துவிடும். ஏனெனில், பித்தளைத் தண்டில் ஏறிய மின்னூட்டமானது நமது கைவழியே பூமிக்குக் கடத்தப்படுகிறது. எபொனைட் தண்டினைப் பொருத்தவரையில் அது ஏற்றுக்கொண்ட மின்னூட்டம் அதன் மீதே நிலையாக இருக்கிறது. பித்தளையைப் போன்று தன்வழியே மின்னூட்டம் ஓடுவதற்கு அனுமதிக்கும் பொருள்கள் **மின்கடத்திகள்** எனப்படும். எபொனைட், கண்ணாடி போன்ற தங்கள் வழியே மின்னூட்டம் ஓடுவதை அனுமதிக்காத பொருள்கள் **மின்காப்புப் பொருள்கள்** எனப்படும். உலோகங்களும் கலப்பு உலோகங்களும் நற்கடத்திகள் ஆகும். ஓர் உலோகத்தின் அணுக்கருவுக்கும் புறவட்டப் பாதையிலுள்ள இணைதிறன் எலக்ட்ரான்களுக்கும் உள்ள இணைப்பு வலிமையானதல்ல. ஆகவே, அந்த எலக்ட்ரான்கள் திரிந்துகொண்டிருக்கின்றன. எனவே உலோகங்கள் நற்கடத்திகளாகின்றன. மின்காப்புப் பொருள்களில் திரியக்கூடிய எலக்ட்ரான்கள் இல்லை.

3. 1. 3 மின் தூண்டல்

மின்காப்பு உடைய தாங்கியின்மீது மின்கடத்தி BC உள்ளது. இதன் முனை B-யை எதிர்மின்னூட்டம் பெற்ற பொருள் A நெருங்குகிறது. அப்பொழுது முனை B-யில் நேர்மின்னூட்டமும் முனை C-யில் எதிர் மின்னூட்டமும் தோன்றுகின்றன. முனை B-யில் நேர் மின்னூட்டத்தின் அளவும் முனை C-யில் எதிர் மின்னூட்டத்தின் அளவும் சமமானவை; அத்துடன் அவை

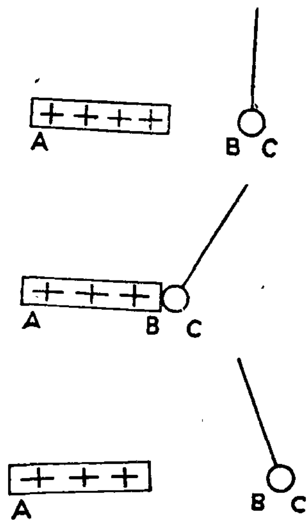


படம் 3. 3

மின் தூண்டலால் மின்னூட்டுதல்

தனித்தனியே A-யின் மீதுள்ள மின்னூட்டத்திற்கும் சமம் என்று தெரிந்து கொள்ளலாம். தற்பொழுது A விலகிவிட்டால், BC மீதுள்ள நேர் மற்றும் எதிர் மின்னூட்டங்கள் கலந்து BC மீண்டும் மின் நடுநிலை பெறுகிறது. ஆனால் A அருகிலிருக்கும் பொழுதே, முனை C-யைத் தொட்டுவிட்டால் (அல்லது புவி யோடு இணைத்தால்) எதிர்மின்னூட்டம் புவிக்குக் கடத்தப்படும். தற்பொழுது A விலகினால், B-யில் உள்ள நேர்மின்னூட்டம் BC முழுவதிலும் பரவிவிடும். இதனால், A-யின் மீதுள்ள எதிர் மின்னூட்டத்திற்குச் சம அளவில் நேர்மின்னூட்டத்தை BC பெறுகிறது. இவ்வாறு ஒரு பொருளுக்கு மின்னூட்டுதல், நிலைமின் தூண்டலால் மின்னூட்டுதல் **(charging by eletrostatic induction)** எனப்படும்.

முதலில் மின்தூண்டல் ஏற்படுவதாலேயே, மின்னூட்டமில்லாத பொருளை மின்னூட்டமுடைய பொருள் ஈர்க்கிறது. தொங்கும் நெட்டிப் பந்து *BC*-யை நேர்மின்னூட்டமுடைய பொருள் *A* நெருங்கட்டும். பந்தினுடைய பக்கம் *B* மின்தூண்டலால் எதிர் மின்னூட்டம் பெறுகிறது ; மற்றும் பக்கம் *C* மீது மின்தூண்டலால் நேர்மின்னூட்டம் தோன்றுகிறது. *A* ஆனது *C*-யைவிட *B*-க்கு அருகிலுள்ளதால், *A*-க்கும் *B*-க்குமான ஈர்ப்புவிசை *A*-க்கும்



படம் 3. 4

மின்தூண்டலால் ஈர்த்து பின் விலக்கல்

C-க்குமான எதிர்ப்பு விசையைவிட அதிகமே. எனவே நெட்டிப் பந்து *A*-யினருகில் ஈர்க்கப்படும் ; ஆனால் அப்பந்து *A*-யைத் தொட்டவுடன், *B*-யிலிருந்து சில எலக்ட்ரான்கள் *A*-க்குச் சென்று விடுகின்றன. இதனால் *A*-யின் மீதுள்ள நேர் மின்னூட்டத்தின் அளவு சிறிது குறைகிறது. அத்துடன் பந்து மீது நிகரமான நேர் மின்னூட்டம் தங்கிவிடுகிறது. தற்பொழுது *A* மற்றும் பந்து இரண்டுமே நேர் மின்னூட்டமுடையனவாதலின் *A*-யால் பந்து எதிர்த்துத் தள்ளப்படுகிறது.

3. 1. 4 மின்னூட்டங்களிடையே விசை

புள்ளி மின்னூட்டங்களிடையே உள்ள விசைகள் பற்றி சார்லஸ் **கூலூம்** என்ற பிரெஞ்சு விஞ்ஞானியால் கூறப்பட்டது.

அவரின் நினைவாகவே மின்னூட்டத்தை அளக்கும் அலகு 'கூலூம்' (Coulomb) என்று வழங்கப்படுகிறது. அவர் தந்த விதியும் **கூலூம் விதி** எனப் பெயர்பெற்றது. கூலூம் விதியாவது : இரண்டு மின்னூட்டங்களின் இடையே செயல்படும் ஈர்ப்பு அல்லது எதிர்ப்பு விசை அவ்விரு மின்னூட்டங்களின் அளவுகளின் பெருக்குத் தொகைக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது ; மற்றும் அவற்றின் இடைத் தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்திலுள்ளது. இந்த விசை மின்னூட்டங்களை இணைக்கும் நேர்கோட்டில் செயல்படும்.

q_1 மற்றும் q_2 என்ற இரு மின்னூட்டங்கள் r என்ற இடைத் தொலைவில் உள்ளன. இவற்றிடையே செயல்படும் விசை F எனில்,

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

அல்லது $F = K. \dfrac{q_1 \, q_2}{r^2}$ ஆகும்.

இங்கு K என்பது விகித மாறிலி. இதன் மதிப்பு F, r மற்றும் q-வை அளக்கும் அலகுகளைப் பொருத்து அமையும். முன்னரே SI முறையில் F-ன் அலகு நியூட்டன் என்றும், r-ன் அலகு மீட்டர் என்றும் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டுள்ளன. எனவே, தற்பொழுது K-ன் மதிப்பு q-ன் அலகை மட்டுமே சாரும். இரண்டு மின்னூட்டங்களிடையே உள்ள காந்த விசையைப் பொருத்து படித்தரமாகிய MKS முறையில் (rationalised MKS system) மின்னூட்ட அலகு 'கூலூம்' என்று தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டுள்ளது. இதுவே SI முறையிலும் மின்னூட்ட அலகாகும். எனவே K-ன் மதிப்பு சோதனை வழி நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. வெற்றிடத்திட்கு (empty space) $K = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ எனப் பெறப்படுகிறது. ஆகையால் கூலூம் விதியை

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

என எழுதலாம். வெற்றிடத்திற்கான விடுதிறன் (permittivity of free space) ε_0 எனக் குறிக்கப்பட்டது. வேறு எந்த ஊடகத்திலும்

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \quad \frac{q_1 \, q_2}{r^2}$$

ஆகும். அக்குறிப்பிட்ட ஊடகத்திற்கான சார்பிலா விடுதிறன் (absolute permittivity of the medium) ε என எழுதப்பட்டது. மற்றும்

$$\varepsilon = \varepsilon_r \; \varepsilon_0$$

ε_r என்பது ஒப்புமை விடுதிறன் (relative permittivity) அல்லது மின்கடவாப் பொருள் மாறிலி (specific inductive capacity) எனப்படும். காற்றுக்கான சார்பிலா விடுதிறன் ஏறத்தாழ ε_0க்குச் சமம். எனவே $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ ன் மதிப்பு

$$9 \times 10^9 \ \frac{\text{நியூட்டன்-மீட்டர்}^2}{\text{கூலூம்}^2}$$

எனப் பெறப்படுகிறது. ஆதலால் வெற்றிடத்தில் ஒரு மீட்டர் இடைத் தொலைவிலுள்ள ஒவ்வொரு கூலூம் மதிப்புடைய மின்னூட்டங்கள் இரண்டினிடையே உள்ள விசை 9×10^9 நியூட்டன் ஆகும். இந்த மின்னூட்டங்களின் பருமனோடு ஒப்பிடத்தக்க பருமனுடைய பருப்பொருள்களினிடையே ஈர்ப்பு விசையோடு ஒப்பிட்டால் இந்த மின்னியல் விசையானது மிகமிக வலிமையானது ; 10^{36} மடங்கு பெரியது. ஆதலால், மின்னூட்டங்களிடையே உள்ள மின்னியல் விசையைக் கணக்கிடும் பொழுது எல்லாப் பருப்பொருள்களுக்குமிடையேயுள்ள ஈர்ப்பு விசையை முற்றிலுமாகப் புறக்கணிக்கலாம். அத்துடன் பருப்பொருள்களினிடையே உள்ள விசை எப்பொழுதுமே ஈர்ப்பு தான் என்பதும், பருப்பொருள் நிறை (mass) ஒரே ஒரு வகைதான் என்பதும் நினைவுகொள்ளத்தக்கது. ஆனால் மின்னூட்டங்களில் இரண்டு வகையுண்டல்லவா ?

3. 1. 5 மின்புலம்

இரண்டு மின்னூட்டங்கள் அருகருகே உள்ளபொழுது அவை ஒவ்வொன்றின் மீதும் மற்றொன்று ஒரு விசையைச் செலுத்தும். அந்த மின்னூட்டங்கள் ஒன்றையொன்று தொடாமலே இருக்கும் பொழுதுகூட இந்த விசை செயல்படும். இதனின்றும் நாம் ஊகிக்கக் கூடியதென்னவென்னில், ஒரு மின்னூட்டத்தைச் சுற்றியுள்ள இடத்தில் அந்த மின்னூட்டம் ஏதோ மாற்றங்களை ஏற்படுத்தியுள்ளது என்பதாம். இப்படி மாற்றம் பெற்ற இடத்தையே **மின்புலம்** என்கிறோம். (ஈர்ப்புப் புலம் என்பதுடன் ஒப்பிடுக). மின்புலத்தில் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் உள்ள செறிவு ஒரு வெக்டார் ஆகும். இதனை அளவிலும் திசையிலும் அப்புள்ளியில் வைக்கப்பட்ட ஓரலகு நேர் மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசை தருகிறது. வெற்றிடத்தில், q கூலூம் மின்னூட்டத்திலிருந்து r மீட்டர் தொலைவில் உள்ள புள்ளியில் வைக்கப்படும் ஓரலகு மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசை $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q \times 1}{r^2}$ நியூட்டன் ஆகும். எனவே

மின்னூட்டம் q விலிருந்து தொலைவு r-ல் உள்ள புள்ளியில் மின்புலச் செறிவு E-யை

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \text{ நியூட்டன் / கூலூம்}$$

என்றெழுதலாம்.

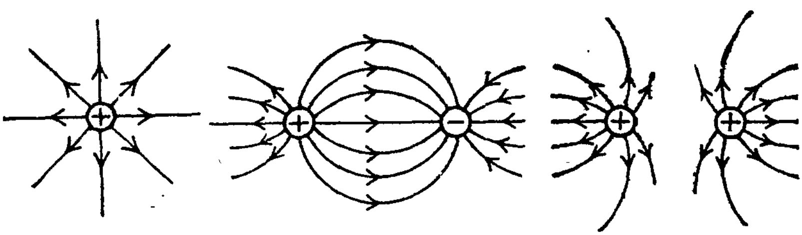
செறிவு E நியூட்டன் / கூலூம் உடைய மின்புலத்தில் வைக்கப் படும் Q கூலூம் மீது

$$F = E\,Q$$

நியூட்டன் விசை செயல்படும்.

3.1.6 மின்னியல் விசைக்கோடுகள்

விசைக் கோடுகள் பற்றிய கருத்தை ஏற்படுத்திய்வர் மைக்கேல் ஃபாரடே. மின்புலத்தில் விசைக்கோடு என்பது ஒரு கற்பனைக் கோடுதான். இது எப்படி வரையப்படுகிறது ? இக்கோட்டின் எந்தப் புள்ளியில் இதற்குத் தொடுகோடு வரைந்தாலும், அத் தொடுகோடு அப்புள்ளியிலுள்ள மின்புலச் செறிவின் திசையைத் தரவேண்டும். விசைக்கோடுகள் சாதாரணமாக வளைந்த கோடு களே.



படம் 3.5
மின்னியல் விசைக் கோடுகள்

மின்புலத்தில் ஒவ்வொரு புள்ளி வழியாகவும் ஒரு விசைக் கோடு வரைய இயலும். எனினும், இவைகளின் எண்ணிக்கையை மட்டுப்படுத்த வேண்டும். எனவே, அக்கோடுகளுக்குக் குத்தாக வுள்ள ஓரலகுப் பரப்பளவின் வழியே செல்லும் கோடுகளின் எண்ணிக்கை அவ்விடத்தில் உள்ள மின்புலச் செறிவின் அளவுக்கு எண்ணளவில் சமமாக இருக்க வேண்டும் என்று விதிக்கப்பட் டுள்ளது. புலச்செறிவு அதிகமாக உள்ள இடத்தில் கோடுகள் நெருக்கமாகவும், புலச்செறிவு குறைவாக உள்ள இடத்தில் கோடு கள் விலகலாகவும் இருக்கும். A என்ற பரப்பளவிற்குக் குத்தான

திசையில் சீரான மின்புலச் செறிவு E எனில் A வழியாகச் செல்லும் விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை EA ஆகும்.

மின்னூட்டம் 'q' விலிருந்து புறப்படும் விசைக்கோடுகளின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடலாம். 'q' வை மையத்தில் கொண்ட r ஆரமுள்ள கோளத்தைக் கருதுக. இக்கோளத்தின் பரப்பு A முழுவதின் வழியாகவும் செல்லும் விசைக்கோடுகளின் எண்ணிக்கை

$$\phi = E.A.$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot 4\pi r^2$$

$$= q/\varepsilon_0$$

அல்லது $\phi = q/\varepsilon_0$

எனவே வெற்றிடத்தில் உள்ள மின்னூட்டம் $+q$ விலிருந்து வெளியேறும் விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை q/ε_0 ஆகும். விசைக் கோடுகள் எப்பொழுதும் தொடர்ச்சியானவை. அவை நேர்மின்னூட்டத்திலிருந்து புறப்படுகின்றன ; எதிர்மின்னூட்டத்தினைச் சென்றடைகின்றன.

3. 1. 7 மின்னழுத்தம்

நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற பொருளினருகில் ஓரலகு நேர் மின்னூட்டம் வைக்கப்பட அதன்மீது எதிர்ப்புவிசை செயல்படுகிறது ; இந்த எதிர்ப்பு விசை அப்புள்ளியில் உள்ள மின்புலச் செறிவு ஆகும். இந்த எதிர்ப்பு விசையை எதிர்த்து ஓரலகு நேர் மின்னூட்டத்தை நகர்த்த வேண்டுமானால் வேலை செய்யப்பட வேண்டும். இப்படிச் செய்யப்படும் வேலை நிலை ஆற்றலாக அந்த அமைப்பில் சேமிக்கப்பட்டிருக்கும். [புவி ஈர்ப்பை எதிர்த்து ஒரு பொருள் புவிமட்டத்திலிருந்து உயர்த்தப்படும்பொழுது அப் பொருள் பெறும் நிலையாற்றலுடன் ஒப்பிடுக]. ஓரலகு மின்னூட்டம் கட்டின்றி இயங்க இயலுமாயின் மின்னழுத்த வாட்டத்தில் அது இயங்கும் ; அதாவது மின்னழுத்தத்தை உண்டாக்கும் மின்னூட்டத்திலிருந்து விலகிச் செல்லும். நேர் மின்னூட்டம் எப்பொழுதுமே உயர் மின்னழுத்தப் புள்ளியிலிருந்து குறைந்த மின் அழுத்தப் புள்ளிக்குச் செல்லும். இதற்கு ஒப்பாக உயர்ந்த வெப்ப நிலையிலிருந்து குறைந்த வெப்பநிலைக்கு வெப்பம் பாய்வதையும், உயர்மட்டத்திலிருந்து கீழ்மட்டத்திற்கு நீர் ஓடுவதையும் கூறலாம்.

A மற்றும் B என்ற புள்ளிகளிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டை, B-யிலிருந்து A-க்கு ஓரலகு மின்னூட்டத்தை எடுத்துச் செல்லத் தேவையான வேலையைக் கொண்டு அளக்கலாம். ஒரு மின்னூட்டத்திலிருந்து ஈறிலாத் தொலைவில் உள்ள புள்ளியில் மின்புலமும் மின்னழுத்தமும் சுழி என்று கொள்வது மரபு. எனவே A-யில் உள்ள மின்னழுத்தமாவது ஓரலகு நேர்மின்னூட்டத்தை ஈறிலாத் தொலைவிலிருந்து அப்புள்ளிக்குக் கொண்டு வருவதற்குச் செய்யவேண்டிய வேலையின் அளவாகும்.

மிக நெருக்கமான இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையே உள்ள சிறிய தொலைவு $x_1 - x_2$ என்போம். மற்றும் இப்புள்ளிகளிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு $V_1 - V_2$ என்போம்; அத்துடன் இச்சிறு தொலைவில் மின்புலச் செறிவு E மாறுமலுள்ளது என்றும் கொள் வோம். சிறிய தொலைவு $(x_1 - x_2)$ ல் ஓரலகு நேர்மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசை E ஆகும்; அத்துடன், அந்த மின்னூட் டத்தைத் தொலைவு $(x_1 - x_2)$ நகர்த்தத் தேவையான வேலை $= -E\,(x_1 - x_2)$ ஆகும். இங்கு உள்ள எதிர்க்குறியானது E-ன் திசைக்கு எதிராக மின்னூட்டம் இடம் பெயர்வதைக் குறிக்கிறது. எனவே

$$V_1 - V_2 = -E\,(x_1 - x_2)$$

$$\text{அல்லது} \quad E = -\frac{V_1 - V_2}{x_1 - x_2}$$

எனவே எந்தப் புள்ளியிலும் மின்புலச் செறிவானது அப்புள்ளி யருகே சிறிய தொலைவில் ஏற்படும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கும் அச்சிறு தொலைவுக்குமுள்ள எதிர்க்குறி விகிதம் ஆகும். [அல்லது, எந்தப் புள்ளியிலும் மின்புலச் செறிவானது அப்புள்ளியிலுள்ள மின்னழுத்தத்தினுடைய எதிர்க்குறி வாட்டம் என்றும் கூறலாம்.]

SI முறையில் மின்னழுத்தத்தின் அலகு **வோல்ட்** (volt) ஆகும். ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்றொரு புள்ளிக்கு ஒரு கூலூம் நேர்மின்னூட்டத்தை எடுத்துச் செல்ல செய்யப்படும் வேலை ஒரு ஜூல் என்றால் அப்புள்ளிகளிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறு பாடு ஒரு வோல்ட் ஆகும்.

$$\text{வோல்ட்} = \frac{\text{ஜூல்}}{\text{கூலூம்}}$$

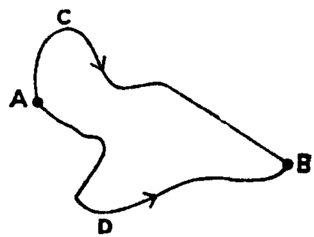
எனவே மின்புலச் செறிவு $E = \frac{\text{வோல்ட்}}{\text{மீட்டர்}}$ என்றெழுதலாம்.

$$E = \frac{\text{வோல்ட்}}{\text{மீட்டர்}} = \frac{\text{ஜூல்}}{\text{கூலூம்} \times \text{மீட்டர்}}$$

$$= \frac{\text{நியூட்டன்} \times \text{மீட்டர்}}{\text{கூலூம்} \times \text{மீட்டர்}} = \frac{\text{நியூட்டன்}}{\text{கூலூம்}}$$

ஆகவே மின்புலச் செறிவு E-யை (வோல்ட் / மீட்டர்) அல்லது (நியூட்டன் / கூலூம்) என்ற அலகால் அளக்கலாம்.

மின்னழுத்தம் ஒரு ஸ்கேலார் ஆகும்; அதாவது, அதற்கு அளவுதான் உண்டு, திசை இல்லை. ஆனால் மின்புலச் செறிவு ஒரு வெக்டார் ஆகும்; இதற்கு அளவும் திசையும் உண்டு. இரண்டு



படம் 3. 6

மின்னழுத்த வேறுபாடும் பாதையும்

புள்ளிகளுக்கிடையே மின்னழுத்த வேறுபாடானது அப்புள்ளிகளின் இருப்பிடத்தை மட்டுமே பொருத்தது; அவற்றிடையே உள்ள பாதையைப் பொருத்தது அல்ல. A-யிலிருந்து B-க்கு ஓரலகு மின்னூட்டம் ACB வழியாக அல்லது ADB வழியாக அல்லது எந்தப் பாதைவழியாகக் கொண்டு செல்லப்பட்டாலும் செய்யப்படுகின்ற வேலை சமஅளவுதான்.

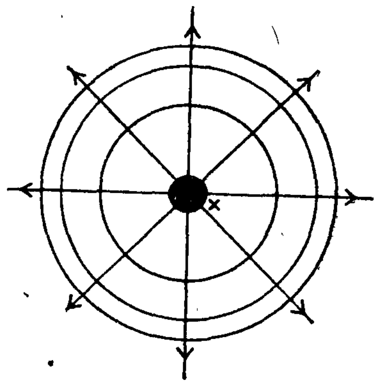
வெற்றிடத்தில் q கூலூம் நேர்மின்னூட்டத்திலிருந்து r மீட்டர் தொலைவிலுள்ள புள்ளியில் மின்னழுத்தம்

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r} \text{ வோல்ட் ஆகும்.}$$

3. 1. 8 சம மின்னழுத்தக் கோடுகளும் சம மின்னழுத்தத் தளங்களும்

சம மின்னழுத்தங்களை உடைய புள்ளிகளை இணைக்கும் கோடு சமமின்னழுத்தக் கோடு ஆகும். தன்மீது எல்லாப் புள்ளிகளிலும் சமமின்னழுத்தங்களுடைய தளம் சமமின்னழுத்தத் தளம் ஆகும்.

சம மின்னழுத்தத் தளத்தில் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் சம மின்னழுத்தம் உள்ளதால், அதன்மீது ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்றொரு புள்ளிக்கு மின்னூட்டத்தைக் கொண்டு செல்லும்பொழுது வேலை எதுவும் செய்யப்படமாட்டாது. எனவே, மின்புலத்தின் திசையானது அத்தளத்தில் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் அத்தளத்திற்குக் குத்தாக இருக்கும். அதாவது, சமமின்னழுத்தத் தளத்



படம் 3. 7

சம மின்னழுத்தக் கோடுகள்

திற்குக் குத்தாக ஒவ்வொரு சமமின்னழுத்தக் கோடும் அமையும். மின்னூட்டம் பெற்ற எல்லா மின்கடத்திகளின் தளங்களும் சம மின்னழுத்தத் தளங்கள் ஆகும். மின்னூட்டம் பெற்ற உள்ளீடற்ற கோளத்தின் உட்பருமன் சமமின்னழுத்தமுடையது. இக்கோளத்துடன் பொதுமையம் உடைய எல்லா கோளத்தளங்களும் சமமின்னழுத்தமுடையன.

பயிற்சி 3. 1

1. மின்னூட்டங்களில் எத்தனை வகைகள் உண்டு ?
2. மின்னூட்டங்களிடையேயான விசையின் தன்மை என்ன?
3. சாதாரணமாக உள்ள ஓர் அணு மின் நடுநிலையிலிருக்கக் காரணம் அதனில் மின்னூட்டங்கள் இல்லாமையா ? அன்றெனில், காரணம் யாது ?
4. மின்நடுநிலையிலுள்ள பொருளிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் நீக்கப்பட்டால் அப்பொருளின் தன்மை என்னவாக இருக்கும் ?

5. கண்ணாடித்தண்டு பட்டினால் தேய்க்கப்படும்பொழுது நிகழ்வதென்ன ?

6. எபொனைட் தண்டு கம்பளியால் தேய்க்கப்படும்பொழுது நிகழ்வதென்ன ?

7. ஒரு பொருள் மற்றொன்றுடன் தேய்க்கப்படும்பொழுது ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றிற்கு நேர் மின்னூட்டங்கள் இடம் மாறுகின்றனவா ?

8. மின்கடத்திக்கும் மின்காப்புப் பொருளுக்கும் உள்ள வேறுபாடு என்ன ?

9. மின்காப்பிட்ட மின்னூட்டமில்லாத உலோகக் கோளத் திற்கு அருகில் எதிர்மின்னூட்டமுடைய தண்டு ஒன்றைக் கொண்டு சென்றால் நிகழ்வதென்ன ?

10. முன்கேள்வியில், எதிர்மின்னூட்டமுடைய தண்டு அருகி லிருக்கும்பொழுதே உலோகக் கோளத்திற்குப் புவியிணைப் புத் தந்தால் என்ன நிகழும் ?

11. மின்காப்பிட்ட மின்னூட்டமற்ற உலோகக் கோளத்தை எதிர்மின்னூட்டமுடைய தண்டு தொட்டால் என்ன நிகழ்கிறது. ?

12. வெற்றிடத்தில் ஒன்றுக்கொன்று 3 மீட்டர் இடைத் தொலைவில் முறையே 5 கூலூம் மற்றும் 3 கூலூம் நேர் மின்னூட்டங்கள் உள்ளன. அவற்றிடையே செயல்படும் விசை யாது ?

13. 5 கூலூம் அளவுடைய புள்ளி மின்னூட்டத்திலிருந்து காற்றில் 2 மீட்டர் தொலைவில் உள்ள புள்ளியில் மின்புலச் செறிவு என்ன ? (காற்றின் ε ஆனது ε_0 க்குச் சமம் என்று கொள்க.)

14. செறிவு 4 நியூட்டன்/கூலூம் உடைய மின்புலத்தில் உள்ள மின்னூட்டம் 2 கூலூம் மீது விசை என்ன ?

15. 'இரண்டு புள்ளிகளிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறு பாடு' — இதனை வரையறுக்க.

16. 'ஒரு புள்ளியில் மின்னழுத்தம்' — இதனை வரையறுக்க.

17. இரண்டு புள்ளிகளிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு 2 வோல்ட். இவற்றில் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றுக்கு 2 கூலூம் மின்னூட்டம் கொண்டு செல்லப்படுகிறது. செய்யப்பட்ட வேலை எவ்வளவு ?

18. புள்ளி நேர்மின்னூட்டம் 5 கூலூமிலிருந்து காற்றில் 3 மீட்டர் தொலைவிலுள்ள புள்ளியில் மின்னழுத்தம் என்ன ?

19. 6 கூலூம் அளவுள்ள புள்ளி மின்னூட்டத்திலிருந்து முறையே 2 மீட்டர், 3 மீட்டர்களில் உள்ள இரண்டு புள்ளிகளிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு என்ன ?

20. வெற்றிடத்தில் 5 கூலூம் புள்ளி மின்னூட்டம் உள்ளது. இதிலிருந்து 4 மீட்டர் தொலைவில் ஒரு புள்ளியும் 2 மீட்டர் தொலைவில் வேறொரு புள்ளியும் உள்ளன. முதலில் சொல்லப்பட்ட புள்ளியிலிருந்து இரண்டாவது புள்ளிக்கு 3 கூலூம் மின்னூட்டத்தைக் கொண்டு செல்லத் தேவையான வேலை என்ன ?

3. 2. மின்னோட்டவியல்

3. 2. 1 மின்னோட்டம்

சில பொருள்களில், மின்னூட்டம் பெற்ற அணுத்துகள்கள் கட்டின்றித் திரிய இயலும் என முன்னர்ப் படித்தோம். அத்தகைய பொருள்களில் ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்றொரு புள்ளிக்கு மின்னூட்டம் பெற்ற அணுத்துகள்கள் இடம் பெயர்வதால் மின்னூட்டமும் இடம் மாறுகிறது. மின்னூட்டமானது இடம் பெயர்வதையே **மின்னோட்டம்** என்கிறோம். ஓரலகு நேரத்தில் ஒரு புள்ளியைக் கடந்து செல்லும் மின்னூட்டத்தின் அளவே மின்னோட்டத்தின் வலிமை ஆகும்.

மின்னூட்டங்கள் கட்டின்றித் திரியக்கூடிய - அதாவது மின்னோட்டம் பாயக்கூடிய - பொருள்கள் மின்கடத்திகள் என்றழைக்கப்படுவதாக முன்னரே படித்தோம். உலோகங்களில் இணைதிறன் எலக்ட்ரான்கள் கட்டின்றித் திரிய இயல்வதால் அந்த உலோகங்கள் நல்ல மின்கடத்திகளாக உள்ளன. மின் கடத்திகளில் மற்றொரு வகையும் உண்டு ; இவை மின்பகுக் கரைசல்களாகும். சில வேதியியல் கூட்டுப் பொருள்கள் கரையும்பொழுது அவற்றின் மூலக்கூறுகள் இரண்டு பகுதிகளாகப் பிரிகின்றன. ஒரு பகுதி மீது நேர் மின்னூட்டமும் மற்ற பகுதி மீது எதிர்மின்னூட்டமும் உள்ளன. இப்பகுதிகளை **அயனிகள்** என்பர். அயனிகள் கரைசலினுள்ளே கட்டின்றி, தனித்தனியாக அலைகின்றன. எனவே இக்கரைசல்கள் மின்கடத்த இயல்கின்றன.

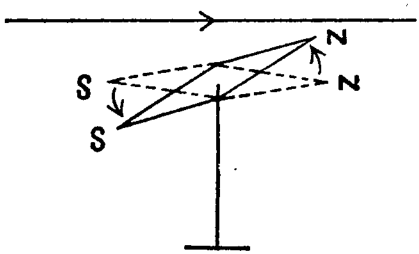
ஒரு கடத்தியில் இரண்டு புள்ளிகளிடையே மின்னழுத்த வேறு பாடு உள்ளபொழுது ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்ற புள்ளிக்கு மின்னூட்டம் பாய்ந்து உடனேயே மின்னழுத்தங்களைச் சமனம் செய்து விடும். இதனை நிலையற்ற மின்னோட்டம் (transient current) என்பர். ஒரு மின்கடத்தியில் இரண்டு புள்ளிகளிடையே மாறாத மின்னோட்டம் தொடர்ந்து நிகழ வேண்டுமாயின் அப்புள்ளி களிடையே மின்னழுத்த வேறுபாட்டை மாறாமல் நிலைப்படுத்த வேண்டும். மின்பேட்டரி அல்லது டைனமோ போன்ற கருவி களின் உதவியால் மேற்சொன்னவாறு செய்யலாம்.

நேர் மின்னூட்டம் ஓடுகின்ற திசையே மின்னோட்டத்தின் திசை என்று கொள்ளப்படுகிறது. ஆனால் உலோகத்தாலான மின்கடத்தியில் எலக்ட்ரான்கள்தான் இடம் பெயர்கின்றன. எனவே மரபு மின்னோட்டத்தின் திசையானது எலக்ட்ரான்கள் இயங்கும் திசைக்கு எதிரானது ; ஒரு மின்பகு கரைசலில் நேர் அயனிகள், எதிர் அயனிகள் இருவகையுமே எதிரெதிரான திசை களில் இயங்குகின்றன. எனவே இரண்டுவகை அயனிகளும் ஒரே திசையில் பாயும் மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்துகின்றன.

மின்னோட்டம் உள்ளபொழுது, மின்னூட்டங்கள் நகர்வதை நாம் காண இயலாது. எனினும் மின்னோட்டம் உள்ளது என்பதை அது உண்டாக்கும் மூன்று விளைவுகளில் ஏதாவதொன்றினால் அறிய லாம். இந்த விளைவுகளாவன (1) வெப்ப விளைவு (2) வேதியியல் விளைவு மற்றும் (3) காந்த விளைவு.

3. 2. 2 மின்னோட்டத்தில் காந்த விளைவு

ஒரு நீண்ட கம்பியின் கீழே காந்த ஊசியைப் படத்தில் காண் பது போல் வைத்து, கம்பியின் வழியே மின்னோட்டம் பாய



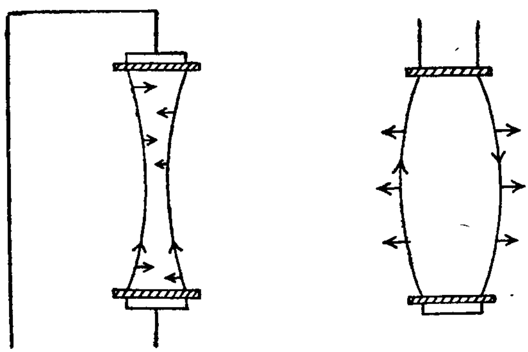
படம் 3. 8

மின்னோட்டத்தால் காந்த ஊசி விலகுதல்

விட்டால் அந்த காந்த ஊசி விலகுகிறது. இதனால் மின்னோட்டம் பாயும் மின்கடத்தியைச் சுற்றிலும் காந்தப்புலம் ஏற்படுகிறது என்பதை அறியலாம். காந்தப் புலத்தின் திசை **ஆம்பியர் நீச்சல்**

விதியிலிருந்து பெறப்படுகிறது. மின்கடத்தியின் மீது மின்னோட்டத்தின் திசையில் காந்த ஊசியைப் பார்த்துக்கொண்டே ஒருவர் நீந்துவதாகக் கற்பனை செய்வோம். காந்த ஊசியின் வடக்குமுனை அவருடைய இடப்பக்கமாக விலகும்.

காந்தப் புலத்திலுள்ள மின்கடத்தியில் மின்னோட்டம் பாயும் பொழுது அக்கடத்தியின் மீது ஒரு விசை—மின்னோட்டமும் புலத்தின் திசையும் ஒன்றியபொழுது தவிர—செயல்படும். எனவே மின்னோட்டம் பாயும் மின்கடத்திக்கு இணையாக உள்ள மற்றொரு



படம் 3.9

மின்னோட்டம் பாயும் கம்பிகளினிடையே உள்ள விசை

மின்கடத்தியின் வழியாக மின்னோட்டம் பாயும்பொழுதும் அக் கடத்தியின் மீது ஒரு விசை செயல்படும். நெளியக்கூடிய இரண்டு மின்கடத்திகள் வழியாக வலிமையான மின்னோட்டம் பாயட்டும். அவற்றில் மின்னோட்டத் திசைகள் ஒன்றாக இருந்தால் அவற்றிடையே ஈர்ப்பு விசையும், மின்னோட்டங்கள் எதிரெதிர்த் திசையிலிருந்தால் அவற்றிடையே எதிர்ப்பு விசையும் செயல்படுவது தெரியும்.

மின்னோட்டங்களுக்கிடையேயுள்ள காந்த விசைகளுக்கான விதிகளை முதன்முதலாகக் கண்டறிந்தவர் பிரெஞ்சு விஞ்ஞானியான ஆம்பியர். அவர் நினைவாக, SI முறையில் மின்னோட்டத்தின் அலகு ஆம்பியர் எனப் பெயரிடப்பட்டுள்ளது. மின்னோட்டம் பாயும் மின்கடத்திகளுக்கிடையே செயல்படும் விசைகளைச் சார்ந்து **ஆம்பியர்** வரையறுக்கப்படுகிறது.

ஒரு மீட்டர் இடைத்தொலைவில் வெற்றிடத்தில் இரண்டு மிக மெல்லிய மின்கடத்திகள் உள்ளன. இவை ஈறிலா நீளமுடையன ; மேலும் இவை நேராகவும் இணையாகவும் உள்ளன. இவை வழியே

அளவுமாறு மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது அக்கடத்திகளின் ஒவ்வொரு மீட்டர் நீளத்திற்கும் 2×10^{-7} நியூட்டன் விசை தோன்றி அவற்றிடையே செயல்பட்டால் பாய்கின்ற மின்னோட்டத்தின் அளவு ஒரு 'ஆம்பியர்' ஆகும்.

மின்னூட்டத்தின் அலகான **கூலூம்** என்பது 'ஆம்பியர்' அலகினுதவியால் வரையறுக்கப்படுகிறது. ஒரு புள்ளிவழியே ஒரு செகண்டு நேரத்திற்கு ஒரு ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாய்ந்தால் அப்புள்ளியைக் கடக்கும் மின்னூட்டத்தின் அளவு ஒரு கூலூம் ஆகும்.

ஒரு மின்சுற்றில் t செகண்டுகளுக்கு I ஆம்பியர் பாய்ந்தால், பாயும் மின்னூட்டம் Q என்பது

$$Q = I\,t$$ கூலூம் ஆகும்.

ஒரு எலக்ட்ரான் மீதுள்ள மின்னூட்டம்

$$-1.6029 \times 10^{-19}$$ கூலூம் ஆகும்.

ஆதலால் ஒரு கூலூம் என்பது எண்ணளவில் 6.24×10^{18} எலக்ட்ரான்கள் மீதுள்ள மின்னூட்டத்திற்குச் சமம்.

மின்னழுத்த வேறுபாட்டைப் பற்றி முன்னரே படித்தோம். உயர்ந்த மின்னழுத்தமுடைய புள்ளியிலிருந்து அதைவிடக் குறைந்த மின்னழுத்தமுடைய புள்ளிக்குத்தான் மின்னோட்டம் பாயும்; அவ்வாறுதான் மின்னழுத்த வேறுபாடு செயல்படுகிறது. ஓரலகு மின்னூட்டம் அப்புள்ளிகளில் ஒன்றிலிருந்து மற்றதற்குச் செல்வதால் செய்யப்படும் வேலையே அப்புள்ளிகளிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டை அளக்கப் பயன்படுகிறது.

இத்தாலிய விஞ்ஞானியான வோல்டாவின் நினைவாக **வோல்ட்** அலகு பெயரிடப்பட்டது. ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்றொரு புள்ளிக்கு 1 கூலூம் நேர்மின்னூட்டத்தைக் கொண்டு செல்லத் தேவையான வேலை 1 ஜூல் எனில் அப்புள்ளிகளிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு 1 வோல்ட் ஆகும்.

V வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாடு உடைய இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையே Q கூலூம்கள் பாய்ந்தால் செலவாகும் மின்னாற்றல்

$$W = Q$$ ஜூல்;

அல்லது $W = It.\ V$ ஜூல் $(\because\ Q = It)$

அதாவது $W = I\ V.\ t.$ ஜூல்

அணு ஆற்றல் அல்லது அணுக்கரு ஆற்றல் பற்றிய கணக்கீடுகளில் **எலக்ட்ரான் - வோல்ட்** என்ற அலகு பயன்படுகிறது. ஒரு

வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாட்டில் இயங்கிய ஒரு எலக்ட்ரான் பெறுகின்ற ஆற்றல் எலக்ட்ரான்வோல்ட் எனப்படும். ஒரு எலக்ட்ரான் மீதுள்ள மின்னூட்டம் 1.6029×10^{-19} கூலூம் ஆதலால்

1 எலக்ட்ரான்வோல்ட் $= 1\ ev = 1.6029 \times 10^{-19}$ ஜூல்.

3. 2. 3 ஓம் விதி

ஒரு மின்கடத்தியில் மின்னழுத்த வேறுபாடு உள்ள இரண்டு புள்ளிகளிடையே மின்னோட்டம் பாய்கிறது. மின்னோட்டத்திற்கும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்குமான தொடர்பை **ஓம் விதி** சொல்கிறது.

மாருத வெப்பநிலையில் உள்ள மின்கடத்தி வழியாகப் பாயும் அளவுமாரு மின்னோட்டமானது அதன் முனைகளிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது. இதுவே ஓம் விதி.

அதாவது $I \propto V$

இதனையே, மாரு வெப்பநிலையில் உள்ள குறிப்பிட்ட மின் கடத்திக்கு,

$V/I =$ மாறிலி

என்றும் சொல்லலாம். மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கும் மின் னோட்டத்திற்குமுள்ள விகிதம் 'மின்கடத்தியின் மின்தடை' எனப் படும். அதாவது

$V/I = R$ (மாருத வெப்பநிலையில்)

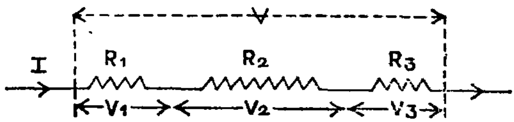
SI முறையில் மின்தடையின் அலகு 'ஓம்' ஆகும். 'ஓம்' என்பதைப் பின்வருமாறு வரையறுக்கலாம். மின்கடத்தியின் முனை களிடையே ஒரு வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாடு இருக்கும் பொழுது அதன் வழியாக ஒரு ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாயு மாஞல் அந்த மின்கடத்தியின் மின்தடை ஒரு 'ஓம்' ஆகும்.

$$\frac{1 \text{ வோல்ட்}}{1 \text{ ஆம்பியர்}} = 1 \text{ ஓம்}$$

3. 2. 4 தொடரிணைப்பில் மின்தடைகள்

படத்தில் காண்பது போல் R_1, R_2, R_3 என்ற மூன்று மின்தடைகள் தொடரிணைப்பில் உள்ளதாகக்கொள்க. அவற்றில் ஒவ்வொன்றின் வழியாகவும் பாயும் சம மின்னோட்டம் I ஆகட்டும். இந்த மூன்றினுடைய தொகு மின்தடை $R = V/I$

ஆகும். இங்கு V என்பது தொகுப்பின் முனைகளிடையே உள்ள மொத்த மின்னழுத்த வேறுபாடு ஆகும். ஒவ்வொரு மின்தடையின் குறுக்கேயும் உள்ள தனித்தனியான மின்னழுத்தங்களின் கூட்டுத்தொகை V ஆகும்.



படம் 3. 10

தொடரிணைப்பில் மின்தடைகள்

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

மேலும் $V_1 = IR_1$; $V_2 = IR_2$; மற்றும் $V_3 = IR_3$

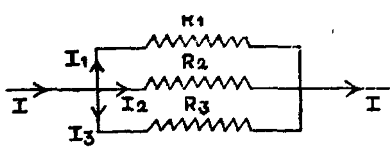
ஆகையால் $V = IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$

அல்லது $R = R_1 + R_2 + R_3$

தொடரிணைப்பில் எத்தனை மின்தடைகளிலிருந்தாலும் இம்மாதிரி வாய்பாடு பொருந்தும்.

3. 2. 5 பக்க இணைப்பில் மின்தடைகள்

இந்த வகை இணைப்பு படத்தில் காணப்படுகிறது. இதனில் V என்ற மின்னழுத்த வேறுபாடு மின்தடைகள் R_1, R_2, R_3 மூன்றுக்குமே பொதுவாக உள்ளது. மூலச் சுற்றில் உள்ள



படம் 3. 11

பக்க இணைப்பில் மின்தடைகள்

மின்னோட்டம் I ஆனது I_1, I_2, I_3 என மூன்று பகுதிகளாகப் பிரிகிறது. I_1, I_2, I_3 மூன்றினுடைய கூட்டுத்தொகை I-க்குச் சமம்.

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

R_1 வழியாக I_1-ம், R_2 வழியாக I_2-ம், R_3 வழியாக I_3-ம் பாய்கின்றன.

இப்பொழுது $I_1 = V/R_1$; $I_2 = V/R_2$; மற்றும் $I_3 = V/R_3$ ஆகும்.

எனவே, தொகு மின்தடை $R = V/I$ ஆகும்; அல்லது $I = V/R$. ஆதலால்

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

அல்லது $$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

எத்தனை மின்தடைகள் பக்க இணைப்பில் இருந்தாலும், அவற்றின் தொகு மின்தடைக்கு மேற்சொன்ன வாய்பாடு பொருந்தும்.

ஒவ்வொன்றும் R மதிப்பு உடைய n மின்தடைகள் பக்க இணைப்பில் இருந்தால் அவற்றின் தொகுமின்தடை R/n ஆகும்.

இரண்டு மின்தடைகள் R_1, R_2 பக்க இணைப்பில் இருக்கும் பொழுது,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

அல்லது $$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

R_1, R_2 வழியாக மின்னோட்டம் முறையே I_1, I_2 எனில்

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = V = IR = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

எனவே $$I_1 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) I$$

மற்றும் $$I_2 = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) I$$

எனக்கிடைக்கும். ஆகவே இரண்டு கிளைகளில் பாயும் மின்னோட்டங்கள் அக்கிளைகளின் மின்தடைகளுக்கு எதிர்விகிதத்தில் இருக்கும்.

3. 2. 6 மின்தடை எண்

குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் உள்ள மின்கடத்தியின் மின் தடையானது அதனுடைய நீளம், குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு மற்றும் அந்த மின்கடத்தியின் பருப்பொருள்தன்மை மூன்றையும் சார்ந்து அமையும். சீரான குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு உடைய மின்கடத்தியின் மின்தடையானது அதனுடைய நீளத்திற்கு நேர்விகிதத்திலும், மற்றும் அதனுடைய குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பிற்கு எதிர் விகிதத்திலும் அமைகிறது. மின்கடத்தியின் நீளம் அதிகரித்தால் அதன் மின்தடையும் அதிகரிக்கிறது ; ஆனால் அதன் தடிப்பு அதிகரித்தால் அதன் மின்தடை குறைகிறது. இதனையே பின்வருமாறு எழுதுகிறோம்.

$$R \propto \frac{l}{A} \quad \text{அல்லது} \quad R = \rho \frac{l}{A}$$

இங்கு மின்கடத்தும் பருப்பொருளுக்கு ρ என்பது மாறிலி. இதனை (ρ-ஐ) அப்பொருளின் **மின்தடை எண்** என்பர்.

$$\rho = \frac{R \times A}{l}$$

என்ற வாய்பாட்டிலிருந்து ρ-ன் மதிப்பைப் பெற இயலும். இந்த வாய்பாட்டிலிருந்து ρ-யினுடைய பரிமாணங்களாக 'மின்தடை × நீளம்' பெறப்படுகிறது. எனவே *SI* முறையில் மின்தடை எண்ணின் அலகு 'ஓம்-மீட்டர்' ஆகும்.

பயிற்சி 3. 2

1. மின்னோட்டம் என்பது என்ன ?
2. இணையான இரு மின்கடத்திகள் வழியே ஒரே திசையில் மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது அவற்றிடையே செயல்படும் விசை எத்தகையது ?
3. மின்னோட்டத்தின் அலகினை *SI* முறைப்படி வரையறுக்க.
4. ஒரு மின்கடத்தியில் பாயும் மின்னோட்டத்தின் திசை பற்றிய மரபு யாது ?
5. மரபு மின்னோட்டத்தின் திசையில் மின்கடத்தியில் எலக்ட்ரான்கள் இயங்குகின்றனவா ?

6. SI முறையில் மின்னூட்டத்தின் அலகான 'கூலூம்' என்பதை வரையறுக்க.

7. SI முறையில் மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கான அலகு 'வோல்ட்' ; இதனை வரையறுக்க.

8. இரண்டு புள்ளிகளிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு 4 வோல்ட். இப்புள்ளிகளிடையே 3 கூலூம் மின்னூட்டம் பாய்ந்தால் செய்யப்படும் வேலையைக் கணக்கிடுக.

9. மின்கடத்தியொன்றின் முனைகளிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு 20 வோல்ட். இதன் வழியே 2 மணி நேரத்திற்கு 4 ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாய்கிறது. அப்பொழுது செலவாகும் மின்னாற்றல் எவ்வளவு ?

10. எலக்ட்ரான் வோல்ட் என்பது என்ன ? ஒரு எலக்ட்ரான் வோல்ட் எத்தனை ஜூல்களுக்குச் சமம் ?

11. ஓம் விதியை எழுதுக.

12. பக்க இணைப்பில் உள்ள இரண்டு மின்தடைகளின் தொகு மின்தடையானது அவையே தொடரிணைப்பில் உள்ள பொழுது கிடைக்கும் தொகு மின்தடையைவிட அதிகமா? குறைவா ?

13. R_1, R_2 என்ற இரண்டு மின்தடைகள் தொடரிணைப்பில் உள்ளபொழுது அவற்றின் தொகு மின்தடை 10 ஓம்கள். அவையே பக்க இணைப்பில் உள்ளபொழுது அவற்றின் தொகு மின்தடை 2.4 ஓம்கள். R_1, R_2-ன் தனித்தனியான மதிப்புகள் என்ன ?

14. ஒரு மின்தடை மீது 2 ஓம் என்று குறிக்கப்பட்டுள்ளது. ஆனால் அதன் மெய்யான மதிப்பு 2.05 ஓம்கள். அதனுடன் எத்தனை ஓம்கள் பக்க இணைப்பில் இணைத்தால் குறிக்கப்பட்டுள்ள மதிப்பே மெய் மதிப்பும் ஆகும் ?

15. 2 மீட்டர் நீளம், 0.2 மிமீ ஆரம் உடைய ஒரு மின்கடத்தியின் மின்தடை 6.0 ஓம்கள். மின்கடத்தும் பருப்பொருளின் மின்தடை எண்ணைக் கணக்கிடுக.

3. 3. காந்தவியல்

3. 3. 1 முன்னுரை

மக்னீசியாவில் காணப்பட்ட இரும்பு உலோகத் தாதுப் பொருள் இரும்பினைத் தன்பால் இழுக்கும் பண்பு பெற்றிருந்ததை நெடுநாட்களுக்கு முன்பே பலர் அறிந்திருந்தனர். அந்தத் தாதுப்

பொருள் துண்டு ஒன்றை ஒரு மெல்லிய நூலினால் கட்டித் தொங்க விட்டால் அது ஏறத்தாழ வடக்கு-தெற்கு திசையிலேயே நிற்கும். இதனையே மக்கள் அக்காலத்தில் காந்தம் என்றழைத்தனர். பின்னரே இரும்பு அல்லது எஃகினைக் காந்தமாக்கும் முறைகளைக் கண்டறிந்தனர்.

19-ம் நூற்றாண்டின் தொடக்கத்தில்தான் மின்னியலுக்கும் காந்தவியலுக்கும் உள்ள தொடர்புகள் கண்டறியப்பட்டன. மின்னோட்டம் பாயும் கம்பியினருகே உள்ள காந்த ஊசி விலகலடைவதை 1819-ல் ஹான்ஸ் கிரிஸ்டியன் **ஒயர்ஸ்டட்** என்ற டேனிஷ் விஞ்ஞானி கண்டார். 'இயங்கும் மின்னூட்டம்' அதாவது மின்னோட்டத்தைக் கொண்டு காந்த விளைவுகளைத் தோற்றுவிக்க இயலும் என்பதே ஒயர்ஸ்டட் சோதனையின் முடிவு ஆகும்.

காந்த விசைகள் யாவுமே மின்னூட்டமுடைய துகள்களின் இயக்கத்தால்தான் தோன்றுகின்றன என்ற கருத்து தற்காலத்தில் அனைவராலும் ஒப்புக்கொள்ளப்பட்ட உண்மையாகும். எல்லா அணுக்களிலும் வட்டப் பாதையில் செல்லும் எலக்ட்ரான்கள் உள்ளதால் அணுக்கள் உள்ளார்ந்த வகையில் காந்தமுடையன. எலக்ட்ரான்களின் வட்டப்பாதைகள் சமமாகவும் எதிரெதிர் திசைகளிலும் அமைவதால் காந்த விளைவுகள் பெரும்பாலும் சமனம் செய்யப்பட்டுவிடுகின்றன. ஆயினும் பெரும்பான்மையான அணுக்களில் எலக்ட்ரான்களின் தற்சுழற்சி காரணமாக சிறிது காந்தம் காணப்படுகிறது. (ஓர் அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவைச் சுற்றி வருவதோடு, தன்னைத் தானே சுற்றி வருகிற தற்சுழற்சியும் பெற்றுள்ளன). பெரும்பான்மையான பருப்பொருள்களில் இதனால் தோன்றும் விளைவு மிக மிகக் குறைவு. ஆயினும் இரும்பு, நிக்கல், கோபால்ட் போன்ற சில பொருள்களில் மேற்சொன்ன விளைவு - தற்சுழற்சியால் தோன்றுவது - மிகவும் வலிமையாக உள்ளது. இந்தப் பொருள்கள் **ஃபெர்ரோ - காந்தப்பொருள்கள்** (ferro-magnetic materials) அல்லது அயக்காந்தப் பொருள்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. அயக்காந்தப் பொருள்களிலிருந்தே செயற்கைக் காந்தங்கள் தயாரிக்கப்படுகின்றன.

3. 3. 2 காந்தப்புலமும் காந்தத் தூண்டலும்

மின்னூட்டம் ஒன்றைச் சுற்றியுள்ள இடத்தை மின்புலம் என்று சொல்கிறோமல்லவா ? அது போன்றே, ஒரு காந்தத்தைச் சுற்றியுள்ள இடத்தை (அல்லது மின்னோட்டமுள்ள மின்கடத்தியைச் சுற்றியுள்ள இடத்தை) காந்தப்புலம் என்றழைக்கிறோம். மேலும், மின்புலத்திலுள்ள ஒரு மின்னூட்டத்தின் மீது மின்விசை செயல்படுகிறதல்லவா ? அதுபோன்றே, காந்தப் புலத்திலுள்ள

காந்தம் மீதும் (அல்லது மின்னோட்டமுள்ள மின்கடத்தியின் மீதும்) காந்த விசை செயல்படும்.

வெற்றிடத்தில் மின்புலத்திலுள்ள புள்ளியில் மின்புலச்செறிவு E என்பதை அப்புள்ளியில் வைக்கப்படும் நேர்மின்னூட்டம் Q-வின் மீது செயல்படும் விசையைக் கொண்டு அளக்கிறோம் ; அதாவது $E = F/Q$. 'மின்புலச் செறி'வுக்கு இணையாக காந்தவியலில் சொல்லப்படுவது **காந்தத் தூண்டல்** ஆகும். 'காந்தத் தூண்டல்' B என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படும்.

காந்தப் புலத்தில் ஒரு புள்ளியிலுள்ள 'காந்தத் தூண்டல்' பின்கண்டவாறு வரையறுக்கப்படும். அப்புள்ளியில் வைக்கப்பட்ட மின்னோட்டமுள்ள சிறிய கம்பி மீது செயல்படும் விசை F அளக்கப் படுகிறது. கம்பியின் நீளம் l, மின்னோட்டம் I மற்றும் I-ன் திசைக்கும் B-ன் திசைக்கும் இடையே உள்ள கோணம் θ எனில்,

$$B = \frac{F}{I\,l \text{ சைன் } \theta} \quad \text{ஆகும்.}$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து பின்வரும் முடிவுகளைப் பெறலாம்.

(அ) செயல்படும் விசை F சுழியானால் θ-வும் சுழியே. அதாவது I-ம் B-ம் இணையாக ஒரே திசையில் உள்ளன.

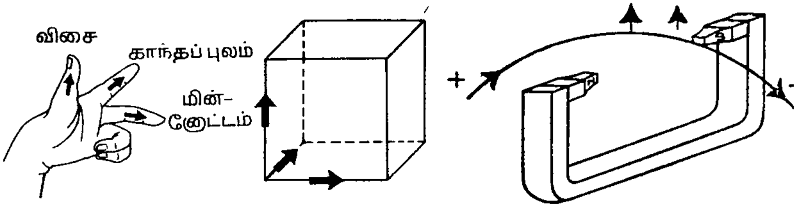
(ஆ) செயல்படும் விசை F பெரும மதிப்பு பெற்றால் $\theta = 90°$ என ஆகும். அதாவது I-ம் B-ம் ஒன்றுக்கொன்று குத்தாக உள்ளன.

(இ) I-ன் திசை, B-ன் திசை இரண்டிற்கும் குத்தாக F-ன் திசை உள்ளது.

பிளெமிங் (Fleming) '**இடது கை விதி**யைக் கொண்டு F-ன் திசையை அறியலாம். இடதுகையின் கட்டை விரல், சுட்டு விரல், நடுவிரல் மூன்றையும் ஒன்றுக்கொன்று நேர்க்குத்தான திசைகளைச் சுட்டுமாறு வைத்துக்கொள்க. சுட்டுவிரல் காந்தப் புலத் திசையையும் நடுவிரல் மின்னோட்டத் திசையையும் சுட்டினால் கட்டைவிரல் விசை F-ன் திசையைக் காட்டும்.

$$B = \frac{F}{Il \text{ சைன் } \theta}$$ என்ற வாய்பாட்டிலிருந்து காந்தப் புலத்தில் ஒரு புள்ளியில் உள்ள காந்தத் தூண்டல் B பின்வருமாறு வரையறுக்கப்படுகிறது. காந்தப்புலத்தில் ஒரு புள்ளியில் அப் புலத்திற்குக் குத்தாக வைக்கப்பட்ட மின்கடத்தியில் ஓரலகு

மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது அந்த மின்கடத்தியின் ஓரலகு நீளத்தின் மீது செயல்படும் விசையே அப்புள்ளியில் **காந்தத் தூண்டல்** ஆகும்.



(a) (b) (c)

படம் 3. 12

b காந்தப் புலத்திலுள்ள மின்னோட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசையின் திசையைப் பெறுவதற்கான இடது கைவிதி.

c மோட்டார் விளைவு.

SI முறையில், விசை, மின்னோட்டம் மற்றும் நீளம் ஆகியவற்றின் அலகுகள் முறையே நியூட்டன், ஆம்பியர் மற்றும் மீட்டர் ஆகும். எனவே காந்தத் தூண்டலின் அலகு

$$\frac{\text{நியூட்டன்}}{\text{ஆம்பியர் – மீட்டர்}} \text{ ஆகும்.}$$

இதனையே டெஸ்லா என்றும் வழங்குவதுண்டு.

$$1 \text{ டெஸ்லா} = \frac{1 \text{ நியூட்டன்}}{\text{ஆம்பியர் – மீட்டர்}}$$

மின்புலச் செறிவினை ஓரலகுப் பரப்பு வழியாக நேர்குத்தாகச் செல்லும் மின்விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை என்று சொல்கிறோமல்லவா ? அதுபோலவே, காந்தத் தூண்டலையும் ஓரலகுப் பரப்பு வழியாக அதற்கு நேர்குத்தாகச் செல்லும் காந்தத் தூண்டல் கோடுகளின் (lines of magnetic induction) எண்ணிக்கை என்று சொல்கிறோம். எந்த ஒரு பரப்பு வழியாகவும் அதற்கு நேர்குத்தாகச் செல்லும் காந்தத் தூண்டல் கோடுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை அப்பரப்புடன் சம்பந்தமுடைய மொத்த **காந்தப்**

பாயம் எனப்படும். எனவே 'காந்தத் தூண்டல்' என்பதை 'ஓரலகு பரப்பிற்கான காந்தப் பாயம்' அல்லது **காந்தப் பாய அடர்த்தி** என்றும் வழங்குவதுண்டு.

பாயத்திற்கான அலகு 'வெபர்' ஆகும். 'காந்தத் தூண்டல்' அல்லது 'காந்தப் பாய அடர்த்தி'யை $\frac{\text{வெபர்}}{\text{மீட்டர்}^2}$ என்ற அலகால் அளக்கிறோம். $\frac{\text{வெபர்}}{(\text{மீட்டர்})^2}$ என்பதும் $\frac{\text{நியூட்டன்}}{\text{ஆம்பியர் . மீட்டர்}}$ என்பதும் ஒத்த பரிமாணங்களை உடையனவே.

மின்புலச் செறிவு E-யைப் போலவே காந்தத் தூண்டல் B-யும் ஒரு வெக்டார் ஆகும். காந்தப்புலத்தில் ஒரு புள்ளியில் B-யின் திசையானது அப்புள்ளி வழியாகச் செல்லும் காந்தத் தூண்டல் கோட்டுக்கு அப்புள்ளியிலேயே வரையப்படும் தொடு கோட்டின் திசையாகும்.

ஒரு காந்தப்புலத்துடன் இன்னுமொரு வெக்டாரும் சம்பந்தப்பட்டுள்ளது. இது **காந்தப்புலச் செறிவு** H ஆகும். வெற்றிடத்தில் ஒரு புள்ளியில் காந்தப் புலச் செறிவான H-ம் அப்புள்ளியில் காந்தத் தூண்டலான B-ம்

$$H = B/\mu_0$$

என்ற தொடர்புடையன. இங்கு μ_0 என்பது **வெற்றிடத்தின் காந்த உட்புகு திறன்** (magnetic permeability of empty space) ஆகும். வேறு எந்த ஊடகத்திலும் ஒரு புள்ளியில் $H = B/\mu$ ஆகும். இங்கு μ என்பது அந்த 'ஊடகத்தின் சார்பிலா காந்த உட்புகுதிறன்' (absolute magnetic permeability of the medium) ஆகும். μ_r என்பதை அந்த ஊடகத்தின் 'ஒப்புமை காந்த உட்புகு திறன்' (relative magnetic permeability) என்று சொன்னால் $\mu = \mu_r . \mu_0$ எனப் பெறப்படும். காற்றுக்கு μ_r-ன் மதிப்பு ஏறத்தாழ ஒன்று (1) ஆகும். எனவே

$$\mu_{(\text{காற்று})} \simeq \mu_0$$

என்று கொள்ளலாம். காந்தப்புலச் செறிவு H-ன் அலகு

$$\frac{\text{ஆம்பியர்-சுற்று}}{\text{மீட்டர்}}$$

எனப் பெறப்படும்; இதற்கான விளக்கம் பின்னர் தரப்படும்.

'காந்தப் புலச் செறிவு' H-ஐயும் அப்புலத்தில் வரையப்படும் கோடுகளால் குறிக்கலாம். இக்கோடுகள் 'காந்த விசைக்கோடுகள்' என்றழைக்கப்படும். ஓரலகு பரப்புக்கான விசைக்கோடுகளின்

எண்ணிக்கை காந்தப்புலச் செறிவைத் தரும். குறிப்பிட்ட பரப்பு வழியே செல்லும் காந்த.விசைக் கோடுகளின் எண்ணிக்கையானது அதே பரப்பினை ஊடுருவும் காந்தத் தூண்டல் கோடுகளின் எண்ணிக்கையில் $1/\mu$ பங்கு ஆகும். (μ = ஊடகத்தின் சார் பிலா உட்புகுதிறன்). எந்த ஒரு புள்ளியிலும் காந்தப் புலத்தின் திசையானது அப்புள்ளியில் விசைக் கோட்டிற்கு வரையப்பட்ட தொடுகோட்டின் திசையாகும். ஒரு புள்ளியில் காந்தப் புலத்தின் திசையும் காந்தத் தூண்டல் திசையும் ஒன்றே.

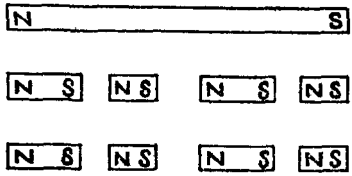
3. 3. 3 காந்த துருவங்கள்

ஒரு காந்தத்தில் காந்தப் பண்புகள் குறிப்பிட்ட சில பகுதி களில் அடர்ந்திருப்பதாகத் தெரிகிறது. இந்தப் பகுதிகள் காந்த துருவங்கள் **(magnetic poles)** என்றழைக்கப்படுகின்றன. காந்த துருவங்கள் இரு வகைப்படும். ஒருவகைத் துருவத்தை காந்தப் புலத்தில் ஒரு புள்ளியில் வைத்தால் அதன்மீது செயல்படும் விசையும், அதே புள்ளியில் மற்றவகைத் துருவத்தை வைத்தால் அதன்மீது செயல்படும் விசையும் எதிரெதிர்த் திசைகளில் உள்ளன. ஓரினத் துருவங்கள் ஒன்றையொன்று எதிர்த்துத் தள்ளுகின்றன ; எதிரினத்துருவங்கள் ஒன்றையொன்று ஈர்க்கின்றன. எந்தக் காந்தத்திலும் எதிரினத்துருவங்கள் இரண்டும் சமவலிமையுடன் உள்ளன. இதுவரையில் ஒரேயொரு காந்த துருவம் மட்டும் தனித்து இருப்பதை எவரும் கண்டதில்லை. அப்படித் தனித்திருக்க இயலுமா என்பதைக் கண்டறிய தற்காலத்தில் சோதனைகள் நிகழ்த்தப்படுகின்றன.

சீரான காந்தப் புலத்தில், ஒரு காந்தத்தின் இரண்டு துருவங் களும் சம அளவான விசைகளுக்குட்படுகின்றன ; இவ்விசைகள் இணையான எதிர்த்திசைகளில் செயல்படுவதால் அவை ஓர்இரட்டை யாகச் செயல்பட்டு காந்தத்தைச் சுழற்றுகின்றன. காந்தத்தில் அச்சுப் புலத்தின் அச்சுக்கு இணையாக வந்தவுடன் இந்தச் சுழற்சி நின்றுவிடும். பூமியின் காந்தப்புலம் அதனில் சிறிய பரப்பின் மீது சீராக இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். எனவே இப்புலத்தில் கூர் முனையில் தாங்கப்பட்ட காந்த ஊசியானது வடக்கு - தெற்காக அமையும். வடதிசையைக் காட்டும் துருவம் வடக்கு துருவம் என்றும் தென்திசையைக் காட்டும் துருவம் தெற்கு துருவம் என்றும் அழைக்கப்படும்.

ஒரு காந்தத்தை இரண்டாக வெட்டினால், வெட்டுத்தளத்தின் இரு பக்கங்களிலும் புதிய துருவங்கள் தோன்றுகின்றன. அக் காந்தத்தை எத்தனைத் துண்டுகளாக வெட்டினாலும் மேற்சொன்ன வாறே நிகழும். காந்தத்தை அதன் அணுக்களாகப் பிரித்தாலும்

கூட ஒவ்வோர் அணுவும் ஒரு சிறிய காந்தமாகக் - வடக்கு துருவம், தெற்கு துருவங்களுடன் - காணப்படும். இதற்குக் காரணம் அணுவினுள் இயங்கிக்கொண்டிருக்கும் எலக்ட்ரான்களே. மின்னேட்டமுள்ள கம்பிச் சுருள்கூட ஒரு சிறிய காந்தமாகச் செயல்



படம் 3. 13

காந்தத்தின் வெட்டுத் தளத்தில் மீண்டும் காந்தத் துருவம் தோன்றுதல்

படுகிறது. மின்னேட்டத்தின் திசையைப் பொருத்து அச்சுருளின் ஒரு முகம் வடக்கு துருவமாகவும் மற்றமுகம் தெற்கு துருவமாக வும் இருக்கும். இதனின்றும், காந்த விளைவுகள் யாவற்றிற்கும் மின்னேட்டமே அடிப்படையாகிறது என்ற கருத்து உறுதிப்படு கிறது.

3. 3. 4 துருவங்கள் விசை

காந்த துருவங்களிடையே செயல்படும் விசைக்கு கூலூம் எதிர்விகித இருமடி விதி பொருந்தும். இரண்டு துருவங்களிடையே உள்ள விசையானது அத்துருவங்களின் வலிமைகளின் பெருக்குத் தொகைக்கு நேர் விகிதத்திலும் அத்துருவங்களின் இடைத் தொலை வின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்திலும் உள்ளது. m_1, m_2 என்ற வலிமையுடைய துருவங்களின் இடைத் தொலைவு r ஆயின், அவற்றிற்கிடையே செயல்படும் விசை

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ ஆகும்.}$$

$$\text{அல்லது } F = C \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

இங்கு C ஒரு மாறிலி. SI முறையில் C-ன் மதிப்பு வெற்றிடத்துக்கு $\frac{\mu_0}{4\pi}$ ஆகும்.

$$\text{எனவே } F = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

வெற்றிடத்தின் 'காந்த உட்புகு திறன்' μ_0 ஆகும். μ_0-ன் மதிப்பு $4\pi \times 10^{-7}$ ஹென்றி / மீட்டர் ஆகும். [மின் தூண்டல் எண் என்பதினுடைய அலகு ஹென்றி; இது பின்னர் வரையறுக்கப் படும்].

μ_0-ன் அலகினை 'வெபர் / ஆம்பியர்-மீட்டர்' என்றும் சொல்ல லாம். 'வெபர் / ஆம்பியர்-மீட்டர்' என்பதும் 'ஹென்றி/மீட்டர்' என்பதும் சம பரிமாணங்களுடையன என்று தெரிந்து கொள்வது எளிது.

வெற்றிடம் தவிர வேறு எந்த ஊடகத்திலும், இரண்டு காந்த துருவங்களிடையே உள்ள விசையானது

$$F = \frac{\mu}{4\pi} \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

ஆகிறது. இங்கு μ என்பது அந்த ஊடகத்தின் 'சார்பிலா காந்த உட்புகு திறன்' ஆகும். காற்றுக்கான μ-ம் வெற்றிடத்திற்கான μ_0-ம் ஏறத்தாழ சமம் என்று முன்னரே கூறப்பட்டது.

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து ஓரலகு துருவ வலிமை (unit pole) யை வரையறுக்க இயலும். வெற்றிடத்தில் ஒரு மீட்டர் இடைத் தொலைவில் வைக்கப்பட்ட இரண்டு சம ஓரின துருவங்களிடையே செயல்படும் தள்ளுவிசை 10^{-7} நியூட்டன்கள் என்றால் அவை ஒவ்வொன்றும் ஓரலகு துருவ வலிமையுடையன.

துருவ வலிமையின் அலகு 'வெபர்' ஆகும். காந்தப் பாயத்திற் கான அலகு கூட 'வெபர்'தானே ! இந்த ஒற்றுமை தற்பொழுது விளங்கும்.

காந்தப் புலத்தில் ஒரு புள்ளியில் உள்ள காந்தப் பாய அடர்த்தி B என்பதை அளவிலும், திசையிலும், அப்புள்ளியில் வைக்கப் படும் ஓரலகு வடக்கு துருவத்தின் மீது செயல்படும் விசையால் அளக்கிறோம். SI முறையில், ஒரு புள்ளியில் வைக்கப்படும் ஒரு வெபர் வலிமையுடைய வடக்கு துருவத்தின் மீது செயல்படும் விசை ஒரு நியூட்டன் என்றால் அப்புள்ளியில் காந்தப் பாய அடர்த்தி ஓரலகு என்று சொல்லப்படும். m வெபர் வலிமையுடைய துருவம் B பாய அடர்த்தியுடைய புலத்தில் வைக்கப்பட்டால் அதன்மீது mB நியூட்டன் விசை செயல்படும். வெற்றிடத்தில் m வெபர் வலிமையுடைய துருவத்திலிருந்து r மீட்டர் தொலைவில் ஓரலகு துருவம் வைக்கப்பட்டால் அதன்மீது செயல்படும் விசை

$$\frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m \times 1}{r^2}$$ நியூட்டன் ஆகும்.

எனவே m வெபர் வலிமையுடைய துருவத்திலிருந்து r மீட்டர் தொலைவில் உள்ள புள்ளியில் காந்தப் பாய அடர்த்தியானது.

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m}{r^2}.$$

என்று பெறப்படுகிறது. ஆரம் r உடைய கோளத்தின் மையத்தில் m வலிமையுடைய துருவமொன்று வைக்கப்பட்டால் அக்கோளப் பரப்பின்மீது ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் காந்தப் பாய அடர்த்தி

$$\frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{r^2}$$ ஆகும்.

எனவே அக்கோளத்தின் மீது ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் காந்தப் புலச் செறிவு

$$H = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{m}{r^2}$$ ஆகும்.

எனவே கோளப்பரப்பு முழுவதின் வழியாக மொத்த காந்த பாயம்

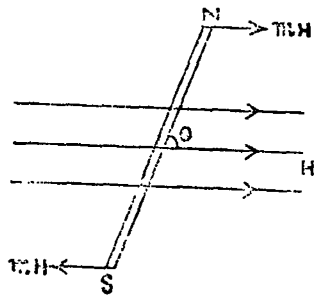
$$= \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{m}{r^2} \times 4\pi r^2 = m;$$

அதாவது m வலிமையுடைய துருவத்திலிருந்து புறப்படும் மொத்த காந்தப் பாயமும் m தான். ஆதலால்தான் துருவ வலிமையும் காந்தப் பாயமும் 'வெபர்' என்ற அலகினாலேயே அளக்கப்படு கின்றன.

3. 3. 5 காந்தத்தின் சுழற்று விளைவு

ஒரு சட்ட காந்தம் சீரான காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்படுவ தாகக் கொள்வோம். சட்டகாந்தத்தின் துருவ வலிமை m; மற்றும் அதன் நீளம் $2l$ என்க. மேலும் காந்தப்புலச் செறிவு H என்று கொள்வோம். காந்தத்தின் அச்சு காந்தப்புலம் H உடன் கோணம் θ சாய்ந்திருப்பதாகவும் கொள்வோம். தற்பொழுது வடக்கு துருவம், தெற்கு துருவம் ஒவ்வொன்றின் மீதும் விசை mH செயல்படும். வடக்கு துருவத்தின் மீதான விசை காந்தப் புலத்தின் திசையிலும், தெற்கு துருவத்தின் மீதான விசை காந்தப் புலத்திற்கு எதிரான திசையிலும் செயல்படுவதால் அந்த விசைகள் ஓர் இரட்டையாகின்றன. இந்த இரட்டையின் சுழற்று விளைவு $mH \times 2l$ சைன் $\theta = 2\,ml \times H \times$ சைன் θ ஆகும்.

ஓரலகுச் செறிவுடைய காந்தப் புலத்திற்கு செங்கோணத்தில் காந்தம் சாய்ந்திருந்தால் சுழற்று விளைவு $2ml \times 1 \times 1 = 2\ ml$. ஆகும். இதுவே $M = 2\ m = ml \times 2l =$ துருவ வலிமை $\times$ காந்தத்தின் நீளம் ஆகும். இதுவே காந்தத்தின் **சுழற்று விளைவு**



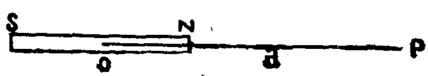
படம் 3. 14

காந்தப் புலத்தில்
காந்தத்தின் மீது சுழற்று விளைவு

எனப்படுகிறது. ஒரு காந்தத்தின் சுழற்று விளைவு என்பது அதனை ஓரலகு செறிவு உடைய !காந்தப்புலத்திற்குச் செங்கோணத்தில் இறுத்திவைக்கத் தேவையான இரட்டையின் சுழற்றுவிளைவு ஆகும்.

3. 3. 6 சட்ட காந்தத்தின் அச்சுக்கோட்டின் மீதுள்ள ஒரு புள்ளியில் காந்தப் புலச் செறிவு

$N\ S$ என்பது ஒரு சட்டகாந்தம் ; இதன் துருவ வலிமை m வெபர் ; இதன் நீளம் $2l$ மீட்டர் ; மற்றும் அதன் சுழற்று விளைவு M வெபர். மீட்டர் என்போம். இந்தச் சட்ட காந்தத்தின் அச்சுக்கோட்டின் மீது P என்ற புள்ளி உள்ளது. காந்தத்தின் மையம் O-விலிருந்து P-யின் தொலைவு $OP = d$ மீட்டர் ஆகட்டும்.



படம் 3. 15

காந்தத்தின் அச்சுக்கோட்டில் உள்ள
புள்ளியில் காந்தப் புலம்

N-ல் உள்ள வடக்கு துருவம் காரணமாக P-யில் காந்தப் பாய அடர்த்தி

$$=\frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{m}{(d-l)^2}$$

(இது திசை OP-ல் செயல்படும்)

S-ல் உள்ள தெற்குத் துருவம் காரணமாக P-யில் காந்தப் பாய அடர்த்தி

$$=\frac{\mu}{4\pi}\cdot\frac{m}{(d+l)^2}$$

(இது திசை OP-ல் செயல்படும்)

எனவே காந்தம் $N\,S$ காரணமாக P-யில் காந்தப்பாயத் தொகு பயன் அடர்த்தி

$$=\frac{\mu_0}{4\pi}\,\frac{m}{(d-l)^2}-\frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{m}{(d+l)^2}$$

(இது திசை OP-ல் செயல்படும்)

$$=\frac{\mu_0\,m}{4\pi}\left[\frac{4\,dl}{(d^2-l^2)^2}\right] \text{ திசை } OP\text{-யில்}$$

$$=\frac{\mu_0\times 2ml\times 2d}{4\pi\,(d^2-l^2)^2} \text{ திசை } OP\text{-யில்}$$

$$=\frac{\mu_0\,2\,M\,d}{4\pi\,(d^2-l^2)^2}$$

இது திசை OP-யில் செயல்படும். இங்கு $2l\,m = M$ என்பது காந்தத்தின் சுழற்று விளைவு ஆகும்.

தொலைவு d-யுடன் ஒப்பிட நீளம் $2l$ மிகச் சிறியதாயின் d^2 - உடன் ஒப்பிட்டு l^2 - ஐப் புறக்கணிக்கலாம். எனவே P-யில் காந்தப்பாய அடர்த்தி

$$\frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{2Md}{d^4}=\frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{2M}{d^3}$$

3. 3. 7 சட்டக் காந்தத்தின் நடுவரைக் கோட்டின் மீதுள்ள ஒரு புள்ளியில் காந்தப் புலம்

நீளம் $2\,l$ மீட்டர், துருவ வலிமை m வெபர் மற்றும் சுழற்று விளைவு M வெபர். மீட்டர் உடைய சட்டகாந்தம் NS ஆகும். இதனுடைய நடுவரைக் கோட்டின் மீது அதன் மையம் O-விருந்து d-மீட்டர் தொலைவில் உள்ள புள்ளி P-யைக் கருதுக.

வடக்குத் துருவம் N காரணமாக P-யில் பாய அடர்த்தி

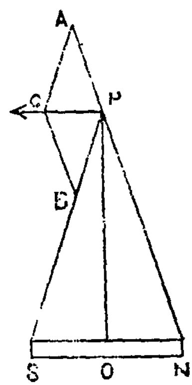
$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{NP^2}$$

(இது திசை NP-யில் செயல்படும்)

தெற்குத் துருவம் S காரணமாக P-யில் காந்தப் பாய அடர்த்தி

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{m}{PS^2}$$

(இது திசை PS-ல் செயல்படும்)



படம் 3. 16

நடுவரைக் கோட்டின்மீதுள்ள புள்ளியில் காந்தப் புலம்

இந்த இரண்டு செறிவுகளை அளவிலும், திசையிலும் இணைகரமொன்றின் அடுத்தடுத்த இரண்டு பக்கங்கள் PA மற்றும் PB-யில் குறிக்கலாம். இணைகரம் $PACB$-ஐ முழுமையாக வரைந்து அதன் மூலைவிட்டம் PC-ஐ வரைக. காந்தம் NS ஆனது புள்ளி P-ல் விளைவிக்கும் தொகுபயன் காந்தப்புலத்தை அளவிலும் திசையிலும் PC குறிக்கும்.

$\Delta\ PAC$-ம், $\Delta\ NPS$-ம் வடிவொத்த முக்கோணங்கள்.

$$\frac{PC}{NS} = \frac{PA}{NP}$$

அல்லது $PC = NS. \dfrac{PA}{NP}$

அதாவது P-யில் காந்தப் பாய தொகுபயன் அடர்த்தி

$$PC = NS. \frac{PA}{NP}$$

$$= \frac{2l}{NP} \cdot \frac{\mu_0 m}{4\pi NP^2}$$

$$= \frac{2l m\mu_0}{4\pi NP^3}$$

$$= \frac{M\mu_0}{4\pi (d^2+l^2)^{\frac{3}{2}}}$$

இது NS-க்கு இணையாக PC வழியாகச் செயல்படும். d-யுடன் ஒப்பிட $2l$ மிகச் சிறியதாயின், P-யில் காந்தப் பாய அடர்த்தி $= \frac{M\mu_0}{4\pi d^3}$

இது $N S$-க்கு இணையாகச் செயல்படுகிறது.

பயிற்சி 3. 3

1. 'காந்தத் தூண்டல்' என்பதை வரையறுக்க.
2. $S I$ முறையில், காந்தத் தூண்டலுக்கான அலகுஎன்ன ?
3. காந்தத் தூண்டல் கோடுகளைக் கொண்டு 'காந்தத் தூண்டல்' என்பதை வரையறுக்க.
4. காந்தப் புலத்திலுள்ள மின்கடத்தி வழியாக மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது அக்கடத்தி மீது செயல்படும் விசைக்கான கோவையை எழுதுக.
5. பிளெமிங் இடது கை விதியை எழுதுக.
6. சீரான காந்தப்புலம் ஒன்றின் அடர்த்தி 1வெபர்/மீட்டர்^{2}. இதன் திசைக்கு செங்கோணத்தில் உள்ள மின்கடத்தியின் நீளம் 1 மீட்டர் இதன் வழியாக 100 ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாய்கிறது. மின்கடத்தியின் மீது செயல்படும் விசையைக் கணக்கிடுக. இந்த விசையின் திசை என்ன ?
7. இரண்டு காந்த துருவங்களிடையே செயல்படும் விசையைப் பற்றிய விதியைக் கூறுக.
8. வெற்றிடம் அல்லது கட்டற்ற வெளியின் காந்த உட்புகு திறனின் மதிப்பு யாது ?

9. 'ஓரலகு காந்த துருவம்' என்பதை வரையறுக்க.

10. 'm' வெபர் வலிமையுடைய காந்த துருவத்திலிருந்து 'r' மீட்டர் தொலைவில் உள்ள புள்ளியில் காந்தத் தூண்டலின் மதிப்பு என்ன ?

11. 'm' வெபர் வலிமையுடைய காந்தத் துருவத்திலிருந்து வெளியேறும் மொத்தக் காந்தப் பாயம் எவ்வளவு ?

12. காந்தத் தூண்டலுக்கும், காந்தப் புலச் செறிவுக்கும் உள்ள தொடர்பு யாது ?

13. 'காந்தத்தின் சுழற்று விளைவு' — இதனை வரையறுக்க.

14. 'm' வெபர் துருவ வலிமையும், '$2l$' மீட்டர் நீளமும் உடைய சட்டக்காந்தத்தின் அச்சுக்கோட்டின் மீது அதன் மையத்திலிருந்து 'd' மீட்டர் தொலைவிலுள்ள புள்ளியில் காந்தப் பாய அடர்த்தி என்ன ?

15. 'm' வெபர் துருவ வலிமையும், '$2l$' மீட்டர் நீளமும் உடைய சட்ட காந்தத்தின் நடுவரைக் கோட்டின் மீது அதன் மையத்திலிருந்து 'd' மீட்டர் தொலைவிலுள்ள புள்ளியில் காந்தப் பாய அடர்த்தி என்ன ?

16. ஒரு காந்தத்தின் சுழற்றுவிளைவு 0.2 வெபர் மீட்டர் ஆகும். இது ஒரு காந்தப் புலத்தில் எளிதில் சுழலுமாறு தொங்கவிடப்பட்டிருக்கிறது. காந்தப் புலச் செறிவு 50 ஆம்பியர் சுற்று / மீட்டர். காந்தப் புலத்தின் திசைக்கும் காந்தத்தின் அச்சுக்கும் இடையே 30° கோணம் உள்ள பொழுது, காந்தத்தின் மீது செயல்படும் இரட்டையின் சுழற்றுவிளைவு என்ன ?

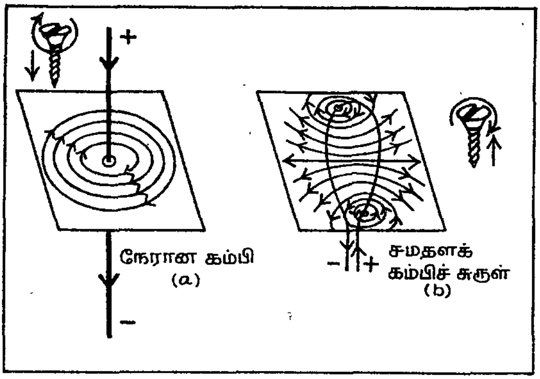
17. சட்டகாந்தமொன்றின் துருவ வலிமை 9.872×10^{-6} வெபர் ; அதனுடைய நீளம் 10 செ.மீ. அதன் மையத்திலிருந்து 20 செ.மீ. தொலைவில் அச்சுக்கோட்டின் மீதுள்ள புள்ளியில் காந்தப்புலச் செறிவினைக் கணக்கிடுக.

18. சட்டகாந்தமொன்றின் துருவ வலிமை 10^{-5} வெபர் ; ஆனால் நீளம் 10 செ.மீ. அதன் மையத்திலிருந்து 20 செ.மீ. தொலைவில் நடுவரைக் கோட்டின் மீதுள்ள புள்ளியில் காந்தப்புலச் செறிவைக் கணக்கிடுக.

3. 4. மின்காந்தவியல்

3. 4. 1 மின்னோட்டத்தால் விளையும் காந்தப்புலம்

மின்கடத்தியில் மின்னோட்டமுள்ளபொழுது அதனைச் சுற்றிலும் காந்தப் புலம் உள்ளது என்ற உண்மை 1819-ல் செய்யப்பட்ட **ஒயர்ஸ்டட்** சோதனைகளிலிருந்து தெரியவந்தது. பலவேறு வடிவமுடைய மின்கடத்தும் சுற்றுகள் வழியே மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது தோன்றும் காந்தப் புலங்களின் படங்களை ஒரு காந்த ஊசியினுதவியால் விசைக்கோடுகளை வரைந்து கண்டு கொள்ளலாம். ஒரு நேரான மின்கடத்தி மற்றும் ஒரு கம்பிச்சுருள் இவை வழியே மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது உண்டாகும் காந்தப் புலங்களின் படங்களை படம் 3.17-ல் காணலாம். நேரான கம்பியைச் சுற்றிலும் உள்ள காந்தப் புலத்தில் விசைக்கோடுகள்



படம் 3. 17

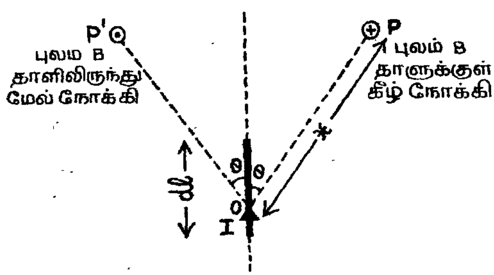
மின்னோட்டத்தால் விளையும் காந்தப் புலம்

பொதுமையம் கொண்ட வட்டங்களாக உள்ளன ; பொதுமையமானது கம்பியின் மீது உள்ளது. காந்த விசைக் கோடுகளின் திசை **ஆம்பியர் நீச்சல் விதி**யால் அல்லது **மாக்ஸ்வெல் திருகு விதி**யால் பெறப்படும். மாக்ஸ்வெல் திருகு விதியாவது : **கடத்தியின் வழியே மின்னோட்டத்தின் திசையில் வலஞ்சுழித் திருகு ஒன்று முன்னேறுவதற்கு அதனைச் சுழற்றும் திசை, காந்தப் புலத்தில் எந்தப் புள்ளியிலும் புலத்தின் திசையைக் குறிக்கும்.**

மின்னோட்டம் பாயும் கம்பிச்சுருளைச் சுற்றிலுமுள்ள காந்தப் புலத்தைக் கவனியுங்கள். கம்பிச் சுருளின் பல்வேறு பகுதிகளைக் கவனித்தால், கம்பியினருகில் விசைக் கோடுகள் வட்டங்களாக இருப்பதைப் பார்க்கிறோம். கம்பிச் சுருளின் உள்ளடங்கிய இடத்தில் விசைக்கோடுகள் ஒரே திசை நோக்கி உள்ளன. கம்பிச் சுருளின் மையத்தில் அக்கோடுகள் இணைகோடுகளாக உள்ளன. எனவே மையத்தில் காந்தப்புலம் சீராகவும், கம்பிச் சுருளின் தளத்திற்குக் குத்தாகவும் இருப்பது தெரிகிறது. இந்த விசைக் கோடுகள், மெல்லிய, வட்டமான தட்டுவடிவ காந்தம் தோற்றுவிக்கும் புலத்திலுள்ளன போலவே அமைகின்றன. வட்டத்தட்டு காந்தத்தின் ஒரு முகம் வடக்கு துருவமாகவும், மற்றொரு முகம் தெற்கு துருவமாகவும் அமைவது போலவே மின்னூட்டமுள்ள கம்பிச் சுருளுக்கும் அமைகிறது.

3. 4. 2 பயட் - சாவர்ட் விதி

பயட் (**Biot**) மற்றும் சாவர்ட் (**Savart**) செய்த சோதனைகளிலிருந்து மின்னோட்டமுள்ள மின்கடத்தியைச் சுற்றிய இடத்தில் எந்தப் புள்ளியிலும் உள்ள காந்தத் தூண்டலை அல்லது காந்தப் பாய அடர்த்தியை அறிந்து கொள்ளலாம். மின்னோட்டம் பாயும்



படம் 3. 18

மின்னோட்டம் தோற்றுவிக்கும் காந்தப் புலத்தின் செறிவை பயட்-சாவர்ட் விதியால் கணக்கிடல்

சுற்றை சிறுசிறு பகுதிகளாகப் பிரிப்பதாகக் கற்பனை செய்ய வேண்டும். ஒவ்வொரு சிறுபகுதியின் நீளம் dl என்போம். ஒவ்வொரு சிறு பகுதியும் சுற்றியுள்ள இடத்தில் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் காந்தப் புலத்தைத் தோற்றுவிக்கும். ஒவ்வொரு பகுதியும் குறிப்பிட்ட புள்ளியில் தோற்றுவிக்கும் புலச்செறிவுகளைத் தொகுத்தால் அக்குறிப்பிட்ட புள்ளியில் சுற்றினுடைய எல்லா பகுதிகளும் ஒருங்கே தோற்றுவிக்கும் மொத்தப் புலத்தின் செறிவு கிடைக்கும்.

புள்ளி O-ல் உள்ள சிறு பகுதியின் நீளம் dl என்க ; அதனில் பாயும் மின்னோட்டம் I என்க. O-விலிருந்து x தொலைவில் உள்ள புள்ளி P அல்லது P'-ல் காந்தத் தூண்டல் dl-ஐ பயட்-சாவர்ட் விதிப்படி பெறுகிறோம். அதாவது

$$dB = \frac{I\, dl \text{ சைன் } \theta}{x^2}$$

இங்கு dl-ன் அச்சுக்கும் திசை OP-க்கும் இடையே உள்ள கோணம் θ எனப்பட்டது. dB-ன் திசையாவது OP மற்றும் dl இரண்டும் சேர்ந்து அடங்கும் தளத்திற்குக் குத்தாக உள்ளது ; இத்திசையை **வலது கை திருகுவிதி** தருகிறது. மேற்சொன்ன நேர்விகிதத்தொடர்பில், விகித மாறிலி (S I முறையில் வெற்றிடத்திற்கானது) $\frac{\mu_0}{4\pi}$ ஆகும். எனவே பயட்-சாவர்ட் விதியாவது

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I\, dl \text{ சைன் } \theta}{x^2}$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து, வெற்றிடத்தின் (அல்லது திறந்த வெளியின்) காந்த உட்புகுதிறன் μ_0-வினுடைய பரிமாணங்கள் $\frac{B \times x^2}{I.l}$ எனப் பெறப்படுகிறது. B-யின் அலகு 'வெபர் / மீட்டர்^{2}' என்பதால்

$$\mu_0 = \frac{\text{வெபர்}}{\text{மீட்டர்}^2} \times \frac{\text{மீட்டர்}^2}{\text{ஆம்பியர்-மீட்டர்}}$$

$$= \frac{\text{வெபர்}}{\text{ஆம்பியர்-மீட்டர்}} \text{ ஆகும்.}$$

μ_0-ஐ 'ஹென்றி / மீட்டர்' என்ற அலகால் அளப்பதாக முன்னர்ப் படித்தோம். (மின் நிலைமத்தின் அலகு 'ஹென்றி' ஆகும்.) μ_0-ன் எண்ணளவு $= 4\pi \times 10^{-7}$. இந்த மதிப்பு 'ஆம்பியர்' என்பதன் வரையறையிலிருந்து பெறப்பட்டது.

3. 4. 3 மின்னோட்டமுள்ள, நீண்ட, நேரான மின்கடத்தியால் ஏற்படும் காந்தப் புலம்

மிக நீண்ட நேரான கம்பியின் வழியே மின்னோட்டம் I ஆம்பியர் பாய்கிறது. இக்கம்பியிலிருந்து r மீட்டர் தொலைவிலுள்ள புள்ளி P-யில் காந்தத் தூண்டல்

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

என்று பயட்-சாவர்ட் விதியின் துணையால் நிறுவலாம்.

நீண்ட நேர்க் கம்பிகள் இரண்டு இணையாக உள்ளன. இவற்றில் ஒவ்வொன்றிலும் மின்னோட்டம் உள்ளது. ஆகவே ஒரு கம்பி மற்ற கம்பியினுடைய காந்தப் புலத்தில் உள்ளதாகக் கொள்ளலாம். ஆதலால் ஒவ்வொரு கம்பியின் மீதும் ஒரு விசை செயல்படும்.

ஒவ்வொரு கம்பியிலும் சமமான மின்னோட்டம் I ஆம்பியர் உள்ளதென்போம். இக்கம்பிகளின் இடைத் தொலைவு r மீட்டர் ஆகட்டும். முதல் கம்பியால் இரண்டாவது கம்பி உள்ள இடத்தில் தோன்றும் காந்தத் தூண்டல்

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \text{ வெபர் / மீட்டர}^2$$

இது கம்பியினுடைய நீளத்திற்குக் குத்தான திசையில் செயல்படும். இரண்டாவது கம்பியில் நீளம் l மீது செயல்படும் விசை

$$F = BIl \text{ சைன் } \theta$$

(B-க்கும் I-க்கும் இடையே உள்ள கோணம் θ ஆகும்.) ஆனால் இங்கு B-யும் I-யும் ஒன்றுக்கொன்று குத்தாக உள்ளதால் $\theta = 90°$; எனவே

$$F = BIl = \frac{\mu_0 I \times Il}{2\pi r} \text{ நியூட்டன்}$$

$$\text{அல்லது } F = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi r} \text{ நியூட்டன்}$$

'ஆம்பியர்' என்பதை வரையறுத்தபொழுது $F = 2 \times 10^{-7}$ நியூட்டன், $r = 1$ மீட்டர், $l = 1$ மீட்டர், எனில் $I = 1$ ஆம்பியர் என்று சொன்னோம். ஆதலால்

$$2 \times 10^{-7} = \frac{\mu_0 \times 1^2 \times 1}{2\pi \times 1} = \frac{\mu_0}{2\pi}$$

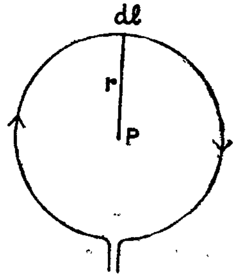
$$\text{அல்லது } \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}.$$

3. 4. 4 மின்னோட்டமுள்ள வட்ட வடிவக் கடத்தியின் மையத்தில் ஏற்படும் காந்தப்புலம்

சமதளத்தில் அமையும் வட்டவடிவக் கடத்தியின் ஆரம் r மீட்டர் என்க ; இதன் வழியே I ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாய்கிறது. வட்டவடிவத்தின் மையம் P ஆகும். இக்கடத்தியின் ஒரு சிறிய பகுதியைக் கவனிக்க. மிகச் சிறிய நீளம் dl-ஆல் மையம் P-ல் தோன்றும் காந்தத் தூண்டல்

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{Idl \text{ சைன் } \theta}{r^2} \text{ ஆகும்.}$$

இங்கு dl-க்கும் மையத்துடன் dl-ஐ இணைக்கும் நேர்கோட்டுக்கும் இடையே உள்ள கோணம் θ ஆகும். கருதப்படுகின்ற வட்டவடிவக் கடத்தியில், ஒவ்வொரு சிறிய பகுதிக்கும் $\theta = 90°$ என்பது எளிதாக விளங்கும். எனவே சுருளின் சிறுசிறு பகுதி ஒவ்வொன்றுக்கும்



படம் 3. 19

வட்டக் கடத்தியின் மையத்தில் காந்தப் புலம்

சைன் $\theta = 1$ ஆகிவிடுகிறது. இச்சுருளில் n சுற்றுகள் இருந்தால், சுருளாக உள்ள கம்பியின் மொத்த நீளம் $2\pi r n$ ஆகும். எனவே சுருளின் எல்லாச் சிறு பகுதிகளினாலும் மையம் P யில் தோன்றும் மொத்த காந்தத் தூண்டல்

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} . \ 2\pi r n$$

அதாவது $B = \frac{\mu_0 n I}{2r}$ வெபர்/(மீட்டர்)^2

இந்த B-யின் திசை சுருளினுடைய தளத்திற்குக் குத்தாக உள்ளது.

சுருளின் மையத்தில் காந்தப் புலச் செறிவான H-ம் அச் சுருளின் தளத்திற்குக் குத்தாகவே உள்ளது ; இச்செறிவின் அளவு

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{nI}{2r} \text{ ஆம்பியர் சுற்று/மீட்டர்}$$

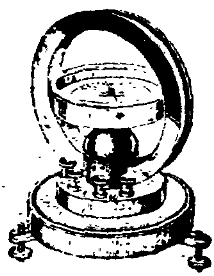
காந்தப் புலச் செறிவுக்கான அலகு 'ஆம்பியர் சுற்று / மீட்டர்' எனப் பெறப்படுவது ஏன் என்று இச்சமன்பாட்டிலிருந்து விளங்குகிறதல்லவா ?

3. 4. 5 விலகு காந்த மின்னோட்டமானி அல்லது டேஞ்சண்ட் கால்வனாமீட்டர்

மின்னோட்டத்தை அளக்க உதவும் கருவி டேஞ்சண்ட் கால்வனா மீட்டர் (tangent galvanometer). இதனை அளவீடு (graduations)

செய்வதற்கு வேறு எந்தக் கருவியும் தேவையில்லையாதலால் இது ஒரு சார்பிலாக் கருவி (absolute instrument) ஆகும்.

பித்தளை அல்லது மரம் அல்லது காந்தம் ஏற்காத பொருளால் செய்யப்பட்ட வட்டவடிவச் சட்டத்தில் கம்பிச் சுருள் சுற்றப்பட்டுள்ளது. இந்த வட்டவடிவச் சட்டம் ஒரு பீடத்தின்மீது நேர் குத்தாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. பீடம் கிடைத்தளத்தில் சுழலக்



படம் 3. 20

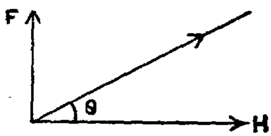
டேஞ்சன்ட் கால்வனுமீட்டர்

கூடியது. பீடத்தைச் சரியாகக் கிடைமட்டத்தில் இருத்த வசதியாக மூன்று சரிமட்டத் திருகாணிகள் உண்டு. சரிமட்டத் திருகாணிகளைச் சீரமைத்துப் பீடத்தைக் கிடைமட்டமாக வைத்தால் வட்டவடிவச் சட்டம் செங்குத்தாக அமையும் ; அதாவது, கம்பிச் சுருளின் தளம் செங்குத்தாக இருக்கும். பீடத்தின் மையத்தில் ஒரு தாங்கி உள்ளது. இதன்மீது சுழல்காந்த ஊசிப்பெட்டி (compass box) பொருத்தப்படுகிறது. இந்தப் பெட்டியில் செங்குத்தான கூர்முனை மீது ஒரு காந்த ஊசி தாங்கப்படுகிறது ; காந்த ஊசிக்கு செங்கோணத்தில் நீண்ட குறிமுள் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. குறிமுள்ளின் முனைகள் ஒரு வட்ட அளவுகோல் மீது சுழலும். வட்ட அளவுகோல் நான்கு சமவில்களாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது. ஒவ்வொரு வில்லிலும் 0° முதல் 90° வரை குறிக்கப்பட்டிருக்கும். கூர்முனையில் தாங்கப்பட்ட காந்த ஊசியின் மையமும், கம்பிச் சுருளின் மையமும் ஒன்றன்மீதொன்று பொருந்துமாறு அமைப்பு உள்ளது. காந்த ஊசி குட்டையானது ; எனவே அதன் நீளம் முழுவதிற்கும் காந்தப்புலம் சீராக உள்ளதென்று கொள்ளலாம்.

ஒரே வட்டவடிவச் சட்டத்தில் வெவ்வேறு சுற்றெண்ணிக்கைகள் (2, 5 மற்றும் 50 சுற்றுகள்) உடைய மூன்று கம்பிச் சுருள்கள் உள்ளன. இவைகளின் முனைகள் தனித்தனியாக இணைப்புத்

திருகுகளுடன் இணைகின்றன. 2 சுற்றுகள் உடைய சுருள் தடிமனை கம்பியாலானது ; இதனை ஒரு சில ஆம்பியர்கள் வலிமையுடைய மின்னோட்டத்தை அளக்கப் பயன்படுத்தலாம். 5 சுற்றுகள் உடைய சுருள் மேற்சொன்னதைவிட மெல்லிய கம்பியாலானது ; இதனை 1/10 ஆம்பியர் மற்றும் அதன் மடங்குகளை அளக்கப் பயன்படுத்தலாம். இன்னும் மெல்லிய கம்பியாலானது 50 சுற்றுகள் உடைய சுருள் ; இதனை மில்லி ஆம்பியர்களை அளக்கப் பயன்படுத்தலாம்.

இக்கருவி டேஞ்சண்ட் விதி (tangent law) யைப் பயன்படுத்தி அமைக்கப்பட்டது ; எனவேதான் இப்பெயர் பெற்றது. ஒன்றுக்கொன்று குத்தான இரு புலங்கள் செயல்படும் புள்ளியில் தொங்குகின்ற காந்த ஊசியானது அவ்விரு புலங்களின் தொகுபயன் புலத்தின் திசைக்கு வந்து நிற்கும். காந்த துருவ தளத்தில் (magnetic meridian) மிகச்சரியாக அமையுமாறு டேன்ஞ்சன்ட் கால்வனுமீட்டரின் கம்பிச் சுருளின் தளம் சீரமைக்கப் படுகிறது. அப்பொழுது கம்பிச் சுருளில் மின்னோட்டம் செலுத்தப் பட, அதனுல் சுருளின் மையத்தில் தோன்றும் காந்தப்புலத்தின் திசை காந்த துருவ தளத்திற்குச் செங்கோணத்தில் இருக்கும்.



படம் 3. 21
டேஞ்சண்ட் விதி

(அதாவது கிழக்கு-மேற்குக் கோட்டில் அமையும்). தற்பொழுது காந்த ஊசியானது இரண்டு காந்தப் புலங்களின் ஆளுகைக்குட் படுகிறது. இந்த இரண்டு புலங்களாவன : (1) புவிகாந்தப் புலத்தின் கிடைமட்டக் கூறு H (இது காந்த துருவ தளத்தில் உள்ளது). (2) சுருளில் உள்ள மின்னோட்டத்தால் ஏற்படும் புலம் F. F-ன் திசை H-க்கு நேர்குத்தாக உள்ளது. வேறு எந்தப் புலமும் இல்லாவிடில் காந்த ஊசியானது H-ன் திசையிலிருக்கும். மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது, காந்த ஊசியானது H-ன் திசையிலிருந்து கோணம் θ விலகி விடும். அதாவது

டேன் $\theta = \frac{F}{H}$ என்ருகும்.

n சுற்றுகளும் r மீட்டர் ஆரமும் உடைய சுருள்வழியே I ஆம்பியர் பாய்ந்தால்,

$$F = \frac{nI}{2r} \text{ ஆம்பியர் சுற்று / மீட்டர் ஆகும்.}$$

$$\therefore F = \frac{nI}{2r} = H \text{ டேன் } \theta$$

இங்கு H-ம் 'ஆம்பியர் சுற்று' / மீட்டர் அலகுகளிலேயே உள்ளது.

$$\therefore I = \frac{2rH}{n} \text{ டேன் } \theta \text{ ஆம்பியர்}$$

அல்லது $I = K$ டேன் θ ஆம்பியர்.

இங்கு $K = 2rH/n$ என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட சுருளுக்கு குறிப்பிட்ட இடத்தில் ஒரு மாறிலியாகும். இதனை (K-ஐ) டேஞ்சண்ட் கால்வனு மீட்டரின் சுருக்கக் கூற்றெண் (**reduction factor**) என்பர்.

டேஞ்சண்ட் கால்வனு மீட்டரைப் பயன்படுத்த வேண்டுமாயின் அதனில் மின்னோட்டத்தைச் செலுத்துமுன்பாக மூன்று சீரமைப்புகளைக் கவனமாகச் செய்யவேண்டும்.

(1) சரிமட்டத் திருகாணிகளைச் சீரமைத்து பீடம் கிடைமட்டமாக இருக்குமாறு செய்யவேண்டும்; அப்பொழுது சுருளின் தளம் செங்குத்தாக இருக்கும்.

(2) சுருளின் தளம் காந்த துருவ தளத்துடன் ஒன்றுமாறு அமைக்கவேண்டும். இதற்குப் பீடம் சுழற்றப்படும்.

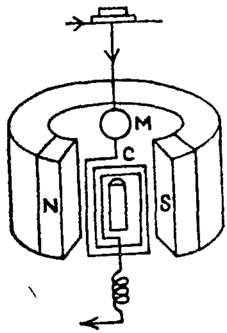
(3) காந்த ஊசிப் பெட்டியில் உள்ள குறிமுள் முனைகள் சுழி-சுழி (0-0) காட்டுமாறு அப்பெட்டியைச் சுழற்றி வைக்க வேண்டும்.

காந்த ஊசிப்பெட்டியில், காந்த ஊசியின் விலகல் 45° இருக்குமானல் டேஞ்சண்ட் கால்வனு மீட்டர் மிக நுண்ணுணர்வு உடையதாகச் செய்யப்படும். சாதாரணமாக விலகல் 30° முதல் 45° வரை இருக்கும்பொழுது மட்டுமே டேஞ்சண்ட் கால்வனு மீட்டர் பயன்படுத்தப்படுவது நலம்.

3. 4. 6 இயங்கு சுருள் கால்வனுமீட்டர்

இயங்கு சுருள் கால்வனுமீட்டரை (**moving coil galavanometer**) முதன்முதலாக அமைத்தவர் கெல்வின் பிரபு. அவருக்குப் பின் **டி'ஆர்சன்வால்** என்பார் அதனமைப்பில் சில மாற்றங்களைச் செய்து செம்மைப்படுத்தினர்.

மெல்லிய செம்புக் கம்பி செவ்வக அல்லது வட்ட வடிவத்தில் சுருளாகச் சுற்றப்பட்டுள்ளது. இந்தக் கம்பிச் சுருள் மிக வலிமை யான இலாட காந்தத்தின் துருவங்களுக்கிடையே மெல்லிய பாஸ் ஃபார்-ப்ரான்ஸ் இழையில் தொங்குகிறது. செம்புக் கம்பிச் சுருளுக்கு மின்னோட்டத்தைச் செலுத்தும் வழியாகவும் அந்த மெல்லிய இழை பயன்படுகிறது ; அத்துடன் அது சுருளின் சுழற்சி யைக் கட்டுப்படுத்தவும் உதவுகிறது. கம்பிச் சுருளின் கீழே, ஒரு பாஸ்ஃபார்-ப்ரான்ஸ் சுருள்வில் இணைகிறது ; கம்பிச் சுருளிலிருந்து மின்னோட்டம் வெளியேற இச்சுருள்வில் பயன்படுகிறது. இலாட காந்தத்தின் இரண்டு துருவங்களும் குழிந்திருக்கின்றன.

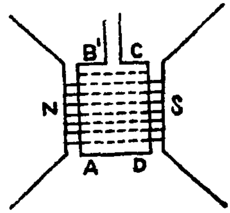


படம் 3. 22
டி'ஆர்சன்வால் கால்வனுமீட்டர்

தேனிரும்புத் துண்டு ஒன்று காந்தப் புலத்தின் மையத்தில் நிலையாக உள்ளது. [செம்புக்கம்பிச் சுருள் இரும்புத் துண்டினைச் சுற்றியிருப் பது போலத் தோன்றும் ; ஆனால் சுருளுக்கும் இரும்புத் துண்டுக் கும் எந்தவித தொடர்போ இணைப்போ கிடையாது.] எனவே துருவங்களிடையே உள்ள இடத்தில் காந்தப் புல விசைக்கோடு களின் அடர்த்தி மிகுவதுடன் ஆரவகைப் புலமும் (radial field) ஏற்படுகிறது. கம்பிச் சுருளின் விலகல் (deflection), 60° க்கு மேற் படாத வரையில் கம்பிச் சுருளின் தளம் காந்தப் புலத்திற்கு இணை யாகவே இருக்கும். கம்பிச் சுருளுக்குச் சிறிது மேலே, தொங்கு மெல்லிழையின்மீது ஒரு சிறிய சமதள ஆடி ஒட்டப்பட்டிருக்கிறது. இதனுடன் சேர்த்து ஒரு விளக்கினையும் அளவுகோலையும் பயன் படுத்திச் செம்புக் கம்பிச் சுருளின் விலகலை அளக்கலாம்

A B' C D என்ற செவ்வகச் சுருளின் ஒரேயொரு சுற்றைக் கருது வோம். படத்தில் காண்பது போல், துருவங்கள் **N, S** இடையே

காந்தப் புலத்தில் உள்ள காந்தத் தூண்டல் B என்க. கம்பிச் சுற்றின் வழியாக 1 ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாய்வதாகக் கொள்வோம். கம்பிச் சுற்றின் புயங்கள் $B'C$ மற்றும் AD-க்கு இணையாக காந்தப்புலம் உள்ளது ; எனவே இப்புயங்களின் மீது விசை எதுவும் செயல்படாது. ஆனால் AB' மற்றும் DC என்ற புயங்கள் மீது சமவிசைகள் செயல்படும். $AB' = DC = l$ எனில் இந்த விசையின் அளவு BIl ஆகும். இவ்விசைகள் எதிரெதிரான திசைகளில் இணையாகச் செயல்படுவதால் அவை ஓர் இரட்டையாகின்றன. இந்த இரட்டையின் சுழற்றுதிறன் $BIlb$ ஆகும். ஏனெனில் கம்பிச் சுற்றின் அகலம் $BC = b$. கம்பிச் சுற்றின் பரப்பளவு $A = lb$ என்றெழுதினால், இரட்டையின் சுழற்றுதிறன் $= BIA$ ஆகிறது. சுருளில் n சுற்றுகள் உள்ளன ; ஒவ்வொரு சுற்றின் மீதும் BIA என்ற சுழற்றுதிறன் செயல்படும். ஆகையால் கம்பிச் சுருள் மீது செயல்படும் சுழற்றுதிறன் $= nBIA$ ஆகும். இது கம்பிச் சுருளைச் சுழற்ற முயற்சிக்கிறது. ஆனால் தொங்கு மெல்லிழையின் முறுக்குதிறன் (torsion) அந்தச் சுழற்றுதிறனை எதிர்க்கும்.



படம் 3. 23

காந்தப் புலத்தில் செவ்வகச் சுருள்

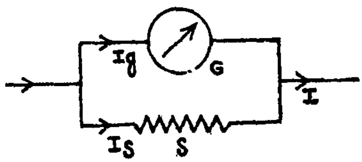
முறுக்கு திறனும், சுழற்று திறனும் சமமாகின்ற நிலைக்குச் சுருள் திரும்பி நிற்கும். கம்பிச் சுருளின் தளம் திரும்புகின்ற கோணம் θ (விலகல் θ) எனில், $nBIA = C\theta$ என்றெழுதலாம். இங்கு கம்பிச் சுருள் ஓரலகு கோணம் திரும்புவதற்குத் தேவையான சுழற்று திறன் (couple per unit twist) என்று குறிக்கப்பட்டுள்ளது. அதாவது,

$$I = \frac{C}{nBA}\,\theta$$

எனவே மின்னோட்டமானது விலகலுக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ளது. இவ்வாறிருக்கக் காரணம் காந்தப்புலம் ஆரவகையானதால் கம்பிச் சுருள் சுழன்ற நிலையிலும் அதன் தளம் காந்தப் புலத்திற்கு இணையாக இருப்பதுவேயாகும்.

3.4.7 அம்மீட்டர்

மின்னோட்டத்தை அளப்பதற்குப் பயன்படும் கருவி அம்மீட்டர் ஆகும். ஒரு மின்சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டத்தை அளப்பதற்கு அச்சுற்றில் தொடராக அம்மீட்டர் இணைக்கப்பட வேண்டும். இப்படி இணைப்பதால் சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டத்தின் அளவு மாறிவிடக்கூடாதாகையால் அம்மீட்டரின் மின்தடை மிகக் குறைவாக இருக்கவேண்டும். இயங்கு சுருள் கால்வனோ மீட்டரை



படம் 3.24
அம்மீட்டர்

மிக எளிமையான முறையில் அம்மீட்டராக மாற்றலாம்; இதற்கு ஒரு மீக்குறைவான மின்தடையை கால்வனோமீட்டருடன் பக்க இணைப்பாக இணைக்கவேண்டும். மீக்குறைவான மின்தடை **இணைத் தடம்** (shunt) என்றழைக்கப்படும். கால்வனோ மீட்டரின் மின்தடை G என்க. இணைத்தடத்தின் மின்தடை S என்க. இவை பக்க இணைப்பில் இருப்பதால் இவற்றின் தொகுபயன் மின்தடை

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{G} + \frac{1}{S}$$

என்பதிலிருந்து பெறப்படும். அதாவது

$$R = \frac{SG}{S+G} \text{ ஆகும்.}$$

அதாவது, R-ன் மதிப்பு இணைத்தடத்தின் மீக்குறைவான மின்தடையை விடவும் குறைந்தது. எனவே, தகுந்த இணைத்தடங்களைப் பயன்படுத்தி தொகுபயன் மின்தடையை வேண்டிய அளவுக்குக் குறைத்துக் கொள்ளலாம்.

அம்மீட்டருக்குள் புகும் முதன்மை மின்னோட்டத்தில் ஒரு சிறிய பங்கினையே கால்வனோ மீட்டரின் கம்பிச் சுருள் வழியே செல்ல, இணைத்தடம் அனுமதிக்கிறது; இதனால் கால்வனோ மீட்டர் சேதமடையாமல் காக்கப்படுகிறது. முதன்மைச் சுற்றில் மின்னோட்டம் I எனில், கால்வனோ மீட்டர் வழியாகப் பாயும் மின்னோட்டம்

$$I_g = I \times \frac{S}{S+G} \text{ ஆகும்.}$$

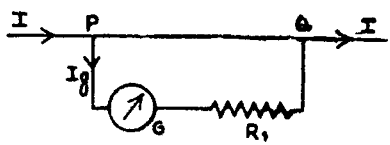
எனவே $\frac{S}{S+G}$ என்பது $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{40}$, ...

போன்ற பின்ன மதிப்பு பெறுமாறு S-ஐத் தேர்ந்தெடுக்கலாம். எனவே. கால்வனு மீட்டர் வழியாகச் செல்லும் மின்னோட்டத்தின் அளவு முதன்மை மின்னோட்டத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட, தெரிந்த பங்குதான் ; அத்துடன் அப்பங்கு மிகச் சிறியது ஆகும். ஆனாலும் கால்வனு மீட்டரின் முகத்தில் எழுதப்பட்டிருக்கும் அளவீடுகள் முதன்மை மின்னோட்டத்தின் அளவுகளே. இணைத்தடத்தின் மின் தடையைத் தகுந்தவாறு மாற்றியமைப்பதால் அம்மீட்டர் அளவுகளின் நெடுக்கத்தை மாற்றிக்கொள்ளலாம்.

3. 4. 8 வோல்ட் மீட்டர்

இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டை அளக்கும் கருவி வோல்ட் மீட்டர் ஆகும். இதனை எப்பொழுதும் அப்புள்ளிகளுக்கிடையே முதன்மைச் சுற்றுக்குப் பக்க இணைப்பாக இணைக்க வேண்டும். முதன்மைச் சுற்றிலுள்ள மின்னோட்டத்தின் கணிசமான பங்கு வோல்ட்மீட்டர் வழியாகப் பாயாமல் தடுப்பதற்கு வோல்ட் மீட்டரின் மின்தடை உயர்வாக அமைய வேண்டும். மிகச் சிறுமமான மின்னோட்டத்தையே ஏற்று வோல்ட் மீட்டர் செயல்படும்.

மிக உயர்ந்த மின்தடையை இயங்கு சுருள் கால்வனு மீட்டருடன் தொடரிணைப்பில் இணைத்து கால்வனு மீட்டரை வோல்ட் மீட்டராக மாற்றலாம். கால்வனு மீட்டரின் மின்தடை G என்க. இதனுடன் தொடரிணைப்பில் உள்ள உயர் மின்தடை R_1 என்க.



படம் 3. 25

வோல்ட் மீட்டர்

P மற்றும் Q என்ற புள்ளிகளில் மின்னழுத்தங்கள் முறையே V_p, V_q எனில், அப்புள்ளிகளிடையே மின்னழுத்த வேறுபாடு $(V_p - V_q)$ ஆகும்.

மேலும் $V_p - V_q = I_g (R_1 + G)$ ஆகிறது.

$$\therefore \; I_g = \frac{V_p - V_q}{R_1 + G} \text{ ஆகும்.}$$

கால்வனு மீட்டரின் மின்தடை, உயர் மின்தடை ஆகியவற்றின் தொகுபயன் மின்தடையே வோல்ட் மீட்டரின் மொத்த மின்தடையாகும். அதாவது வோல்ட் மீட்டரின் மொத்த மின்தடை $(R_1 + G)$யை மாறிலியாக வைத்தால் I_g ஆனது$(V_p - V_q)$-க்கு நேர்விகிதத்தில் அமையும். ஆகையால் கால்வனு மீட்டரின் குறிமுள் விலகல், அளக்கப்படுகின்ற மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு நேர் விகிதத்தில் அமையும். ஆகையால் கால்வனு மீட்டரின் முகத்தில் எழுதப்பட்டிருக்கும் அளவீடுகள் மின்னழுத்த வேறுபாடுகளேயாகும். R_1-ன் மின்தடையை மாற்றியமைத்து வோல்ட் மீட்டர் அளவுகளின் நெடுக்கத்தை மாற்றிக் கொள்ளலாம்.

பயிற்சி 3. 4

1. பயட்-சாவர்ட் விதியைக் கூறுக.
2. நீளமான, நேரான மின்கடத்தியில் I ஆம்பியர் மின்னோட்டம் பாய்கிறது. இக்கம்பியிலிருந்து r மீட்டர் தொலைவிலுள்ள புள்ளியில் காந்தத் தூண்டல் எவ்வளவு ?
3. n சுற்றுகளும் ஆரம் r மீட்டரும் உடைய கம்பிச்சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் I ஆம்பியர். இச்சுருளின் மையத்தில் தோன்றும் காந்தப்புலச் செறிவு என்ன ? இப்புலத்தின் திசை என்ன ?
4. 10 சுற்றுகளும் 16 செ.மீ ஆரமும் உடைய வட்டக்கம்பிச் சுருளின் வழியாக 0.8 ஆம்பியர் பாய்கிறது. இச்சுருளின் மையத்தில் உள்ள புலத்தைக் கணக்கிடுக.
5. டேஞ்சண்ட் கால்வனு மீட்டரின் தத்துவம் யாது ?
6. டேஞ்சண்ட் கால்வனு மீட்டர் கம்பிச் சுருளின் மையத்தில் தாங்கப்பட்டுள்ள காந்த ஊசி மிகக் குட்டையாக இருக்கவேண்டிய காரணம் என்ன ?
7. ஒரு டேஞ்சண்ட் கால்வனு மீட்டரின் 'சுருக்கக் கூற்றெண்ணுக்கான கோவையை எழுதுக.
8. ஒரு டேஞ்சண்ட் கால்வனு மீட்டரைப் பயன்படுத்தும் பொழுது அதனில் மின்னோட்டம் பாய்வதற்கு அனுமதிக்கும் முன்பு செய்ய வேண்டிய முன்னேற்பாட்டுச் சீரமைப்புகள் யாவை ?

9. ஒரு டேஞ்சண்ட் கால்வனு மீட்டரின் 5 சுற்றுக் கம்பிச் சுருளின் விட்டம் 0.3 மீட்டர். இதில் 1.5 ஆம்பியர் பாயும்பொழுது மையத்திலுள்ள குறிமுள் 45° விலகுகிறது. அந்த இடத்தில் புவிகாந்தப் புலத்தின் கிடைமட்டக் கூறினைக் கணக்கிடுக.

10. இயங்கு சுருள் கால்வனு மீட்டரின் தத்துவம் யாது ?

11. ஒரு சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டத்தை அளப்பதற்கு அச் சுற்றில் அம்மீட்டரை இணைக்கும் முறை யாது ?

12. ஒரு அம்மீட்டரின் மின்தடை மிகக் குறைவாக இருக்க வேண்டிய அவசியம் என்ன ?

13. ஒரு கால்வனு மீட்டரை அம்மீட்டராக மாற்றியமைப்பது எவ்வாறு ?

14. இயங்குசுருள் கால்வனுமீட்டரின் மின்தடை 100 ஓம்கள். அதன் வழியாக 1/1000 ஆம்பியர் பாயும்பொழுது அதன் குறிமுள் அளவுகோலின் எல்லைவரையில் விலகுகிறது *(full scale deflection)*. இந்த கால்வனு மீட்டரை 5 ஆம்பியர் வரை மின்னோட்டத்தை அளக்கக்கூடிய அம் மீட்டராக மாற்றுவதற்கு அதனுடன் பக்க இணைப்பில் இணைக்க வேண்டிய மின்தடை என்ன ?

15. இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டை அளப்பதற்கு மின்சுற்றுடன் ஒரு வோல்ட் மீட்டரை இணைக்கும் முறை யாது ?

16. ஒரு வோல்ட் மீட்டரின் மின்தடை மிக உயர்வாக இருக்க வேண்டிய அவசியம் என்ன ?

17. ஒரு இயங்கு சுருள் கால்வனு மீட்டரை வோல்ட் மீட்டராக மாற்றியமைப்பது எவ்வாறு ?

18. 14-வது கேள்வியில் சொல்லப்பட்ட கால்வனு மீட்டரை 5 வோல்ட் வரை மின்னழுத்த வேறுபாட்டை அளக்கக் கூடிய வோல்ட் மீட்டராக மாற்றுவது எப்படி ?

19. 3 வோல்ட் வரை அளக்கக்கூடிய ஒரு வோல்ட் மீட்டரின் மின்தடை 500 ஓம்கள். இதனை 30 வோல்ட் வரை அளக்கும் வகையில் மாற்றியமைப்பது எப்படி ?

20. ஒரு கால்வனு மீட்டரின் மின்தடை 10 ஓம்கள். இதன் வழியாக 1/100 ஆம்பியர் பாயும்பொழுது இதன் குறிமுள் அளவுகோலின் எல்லைவரை விலகுகிறது. இதனை (1) 2 ஆம்பியர் வரை அளக்கக்கூடிய அம்மீட்டராக (2) 5 வோல்ட் வரை அளக்கக்கூடிய வோல்ட் மீட்டராக மாற்றுவது எப்படி ?

3.5. மின்காந்தத் தூண்டல்

3. 5. 1 முன்னுரை

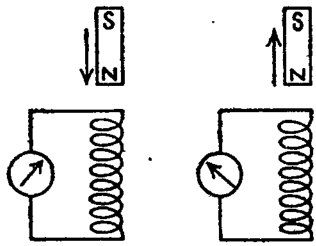
மின்னோட்டமுள்ள மின்கடத்தியைச் சுற்றிலும் காந்தப் புலம் உள்ளது என்று **ஒயர்ஸ்டேட்** கண்டறிந்தார். இந்த விளைவிற்கு மறுதலை உண்டா என மைக்கேல் **ஃபாரடே** ஆராய்ந்தார். 1831-ல் அவர் தனது முடிவுகளை வெளியிட்டார்.

ஒரு மூடிய மின்கடத்திச் சுற்றை ஊடுருவும் காந்தப் பாயம் மாறுகின்ற பொழுதில் அந்த மின்கடத்தியில் மின்னோட்டம் ஏற்படு கிறது என்றும், காந்தப் பாயம் மாறிக்கொண்டிருக்கும் வரைதான் மின்னோட்டம் நிகழும் ; அதற்கு முன்னரோ, பின்னரோ மின் னோட்டம் இராது என்றும் அவர் கண்டறிந்தார். இவ்வாறு மின்கடத்தியில் தோன்றிய மின்னோட்டம் **தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டம்** (induced current) என்றும், இந்த மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தும் மின் இயக்கு விசை 'தூண்டப்பட்ட மின்இயக்கு விசை' (induced electro motive force) என்றும் பெயரிடப் பட்டுள்ளன. இந்த நிகழ்வே **மின்காந்தத் தூண்டல்** என்று பெயர் பெற்றது.

3. 5. 2 ஃபாரடே சோதனைகள்

நிறைய சுற்றுகளுடைய, மின்காப்பிட்ட செம்புக் கம்பிச் சுருளின் முனைகள் கால்வனுமீட்டருடன் இணைக்கப்படுகின்றன; எனவே மூடிய சுற்று கிடைக்கிறது. வலிமையான சட்ட காந்தத் தின் வடக்கு துருவம் இக்கம்பிச் சுருளை நோக்கி நகர்த்தப்படுகிறது. கம்பிச் சுருளுக்கும் காந்தத்திற்கும் ஒப்புமை இயக்கம் (relative motion) உள்ள வரையில் கால்வனுமீட்டரில் விலகல் உள்ளது; காந்தம் நகராமல் நின்றுவிட்டால் விலகல் இல்லை. தற்பொழுது காந்தத்தைப் பின்னேக்கி இழுத்தால் விலகல் எதிர்த்திசையில் ஏற்படுகிறது. காந்தத்தை வேகமாக நகர்த்தினுல் விலகல் கூடுத லாகவும், அதையே மெதுவாக நகர்த்தினுல் விலகல் குறைவாகவும் ஏற்படுகிறது. இதே விளைவுகள் காந்தத்தின் தெற்கு துருவம் கம்பிச் சுருளை நெருங்கினுலோ, அதனின்று நீங்கினுலோகூட ஏற் படும் ; ஆனுல் விலகலின் திசை, முன்பு வடக்கு துருவம் கம்பிச் சுருளை நோக்கியிருந்தபொழுது ஏற்பட்ட விலகலின் திசைக்கு எதிராக இருக்கும். மின்னோட்டத்தின் திசையானது அதனையே ஏற் படுத்துகின்ற மாற்றத்தையே எதிர்க்கும் வகையில் அமைகிறது. வடக்கு துருவம் கம்பிச் சுருளை நெருங்கும்பொழுது அதனை நோக்கி யுள்ள (சுருளின்) முகமும் வடக்கு துருவமாகுமாறு தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசை அமைகிறது. இதனுல் வடக்கு துருவம்

தன்னை நெருங்குவதை கம்பிச் சுருளில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டம் எதிர்க்க இயலும். வடக்கு துருவம் சுருளின் முகத்திலிருந்து விலகினால் அந்த விலகலை எதிர்க்கும் வகையில் அந்த முகம் தெற்கு துருவமாகுமாறு தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசை அமைகிறது. (தெற்கு துருவம் விலகிச் செல்லும் வடக்கு துருவத்தை இழுக்குமல்லவா ? ஆகவே விலகிச் செல்வது எதிர்க்கப்படுகிறது.) ஆகவே தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசையானது தன்னைத் தூண்டுகின்ற மாற்றத்தையே எதிர்க்கும் வகையில் அமைகிறது.



படம் 3.26

ஃபாரடே சோதனைகள்

ஒரு தெற்கு துருவம் கம்பிச் சுருளை நெருங்கும்பொழுது தூண்டப்படும் மின்னோட்டத்தின் திசையானது ஒரு வடக்கு துருவம் கம்பிச் சுருளை நெருங்கும்பொழுது தூண்டப்படும் மின்னோட்டத்தின் திசைக்கு எதிராக இருப்பதேன் என்று தற்பொழுது விளங்குகிறதல்லவா ? சுருக்கமாகச் சொன்னால், ஒரு கம்பிச் சுருளை ஊடுருவும் காந்தப் பாயத்தில் மாற்றம் ஏற்படும்பொழுது அதனில் ஒரு மின்னியக்கு விசை தூண்டப்படுகிறது ; மேலும் தன்னைத் தூண்டுகிற மாற்றத்தையே எதிர்க்கின்ற வகையில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசை அமைகிறது.

மேலும், காந்தமானது கம்பிச் சுருளை நெருங்குகின்ற வேகம் அதிகமானால், தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையும் கூடுவதைக் கண்டோம். எனவே மின்கடத்தியை ஊடுருவும் காந்தப் பாய மாற்றத்தின் நேர விகிதமே தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையின் அளவை நிர்ணயிக்கிறது.

அருகருகேயுள்ள இரண்டு மின் சுற்றுகளில் ஒன்றில் மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தினாலோ அல்லது நிறுத்தினாலோ கூட மற்றொரு சுற்றினை ஊடுருவும் காந்தப் பாயத்தில் மாற்றமும் அதன் காரணமாக இச்சுற்றில் மின்னோட்டம் தூண்டப்படுவதையும் காணலாம். ஒரு சுற்றில் மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தும்

பொழுது இரண்டாவது சுற்றில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசையானது முதற்சுற்றில் மின்னோட்டத்தை நிறுத்தும்பொழுது இரண்டாவது சுற்றில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசைக்கு எதிராக இருக்கும் ; மேலும் முதற் சுற்றில் மின்னோட்டம் தொடங்கியதிலிருந்து அதன் மதிப்பு நிலைப்படும் வரையில்தான் இரண்டாவது சுற்றில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டம் பாயும். அதுபோன்றே முதற்சுற்றில் பாய்கின்ற மின்னோட்டத்தை நிறுத்திவிட்டால் அதன் மதிப்பு சுழியாகும் வரையில்தான் இரண்டாவது சுற்றில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டம் பாயும்.

ஒரு சுற்றில் நிலையான மதிப்புடன் மின்னோட்டம் பாய்கிறது இதனருகில் இரண்டாவது சுற்று உள்ளது. இந்த இரண்டு சுற்றுகள் ஒன்றையொன்று நெருங்கினாலும் அல்லது விலகினாலும் கூட இரண்டாவது சுற்றில் மின்னோட்டம் தூண்டப்படும். ஏனெனில் முதற் சுற்றில் பாயும் மின்னோட்டம் இரண்டாவது சுற்று உள்ள இடத்தில் காந்தப் புலத்தைத் தோற்றுவித்துள்ளது. இதனால் இரண்டாவது சுற்றுடன் காந்தப்பாயம் சம்பந்தப்பட்டுள்ளது. சுற்றுகள் நெருங்கும்பொழுது அல்லது விலகும்பொழுது இரண்டாவது சுற்றுடன் சம்பந்தப்பட்ட காந்தப் பாயத்தில் மாற்றம் நிகழ்கிறது.

3. 5. 3 மின்காந்தத் தூண்டலின் விதிகள்

(1) ஒரு சுற்றுடன் சம்பந்தமுடைய காந்தப் பாயம் மாறிக் கொண்டிருக்கும்பொழுது அச்சுற்றில் ஒரு மின்இயக்கு விசை தூண்டப்படுகிறது ; தூண்டப்பட்ட மின்இயக்கு விசையின் அளவு காந்தப்பாய மாற்றத்தின் நேர விகிதத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது. (இது **ஃபாரடே விதி**).

(2) காந்தப் பாயத்தில் மாற்றம் ஏற்படுவதைத் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டம் எதிர்க்கும் வகையில் தூண்டப்பட்ட மின் இயக்கு விசையின் திசையும், தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசையும் அமையும். (இது **லென்ஸ் விதி**).

இந்த இரண்டு விதிகளையும் தொகுத்துப் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

தூண்டப்பட்ட மின் இயக்குவிசை

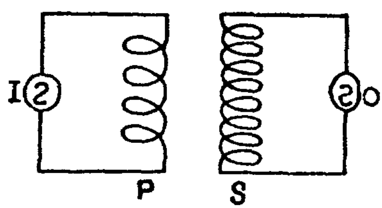
$$= \frac{\text{காந்தப் பாய மாற்றம்}}{\text{இந்த மாற்றம் நிகழ்ந்த நேரம்}}$$

அதாவது $e = -\left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{t}\right)$

இங்கு $\frac{\phi_1-\phi_2}{t}$ என்பதில் ϕ_1 = தொடக்கத்தில் உள்ள காந்தப் பாயம் ; ϕ_2 = t நொடிகளுக்குப் பிறகு உள்ள காந்தப் பாயம் ; மற்றும் $\frac{\phi_1-\phi_2}{t}$-ஐ காந்தப் பாய மாற்றத்தின் நேர விகிதம் (time-rate of change magnetic flux) என்கிறோம். சுருளின் ஒரு சுற்றுடன் சம்பந்தப்பட்ட பாயம் ϕ என்றால், சுருளில் n சுற்றுகள் இருப்பின் மொத்த காந்தப் பாயம் = $n\phi$ ஆகும்.

3. 5. 4 பரிமாற்று மின்தூண்டல்

தங்களிடையே மின்தொடர்பு இல்லாத இரண்டு கம்பிச் சுருள்கள் காந்தப் பாயத்தால் தொடர்பு கொண்டிருக்கலாம் என்றும், அவற்றில் ஒரு கம்பிச் சுருளில் மின்னோட்டமாற்றம் நிகழ்வதால் மற்ற கம்பிச் சுருளில் மின் இயக்குவிசை தூண்டப்படுகிறது என்றும் முன்னர் படித்தோம். இந்த வகையான தூண்டல் 'பரிமாற்று மின்தூண்டல்' என்று பெயர் பெறும். நேர் மின்னோட்டச் சுற்றுகளில் (D. C. circuits) மின்னோட்டத்தின் அளவு மாறாமலிருக்குமாதலால் அச்சுற்றுகளில் ஒன்றில் மின்னோட்டம் நிறுத்தப் பட்டாலோ அல்லது தொடங்கினாலோதான் பரிமாற்று மின் தூண்டலின் விளைவாக மற்ற சுற்றில் மின்னோட்டத் துடிப்புகள் (pulses of current) ஏற்படும்.



படம் 3. 27

மின்மாற்றி

மாறுதிசை மின்னோட்ட சுற்றுகளில் (A.C. circuits) மின்னோட்டத்தின் அளவு இடைவிடாமல் தொடர்ச்சியாக மாறிக் கொண்டேயிருக்கிறது. ஒரு சுருளில் மாறுதிசை மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது மற்ற சுற்றினை ஊடுருவும் காந்தப் பாயமும் இடைவிடாது மாறி இச்சுற்றிலும் மாறுதிசை மின்னோட்டம் தூண்டப்படுகிறது. தூண்டப்பட்ட மாறுதிசை மின்னோட்டத்தின் அதிர்வெண்ணும் தூண்டுகிற மாறுதிசை மின்னோட்டத்தின் அதிர் வெண்ணும் சமமாயிருக்கும். இதுவே **மின்மாற்றி** (transformer) யின் தத்துவம் ஆகும்.

P மற்றும் S என்பன அருகருகே உள்ள இரண்டு கம்பிச் சுருள்கள். P-யின் வழியாகப் பாயும் மின்னோட்டம் காந்தப் பாயத்தைத் தோற்றுவிக்கும் ; இப்பாயத்தின் ஒரு பகுதி அடுத்துள்ள சுருள் S-ஐ ஊடுருவும். P-யும் S-ம் நிலையாக இருக்கும். பொழுது S-ஐ ஊடுருவும் காந்தப் பாயமானது P-யில் பாயும் மின்னோட்டம் I-க்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

அதாவது $\phi \propto I$

அல்லது $\phi = MI$

இங்கு M ஒரு மாறிலி. இதனைப் **பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண்** என்பர். சுருள்களில் உள்ள சுற்றுகளின் எண்ணிக்கை, அவற்றிடையே உள்ள தொலைவு முதலியவற்றைச் சார்ந்து M-ன் மதிப்பு அமையும்.

$I = 1$ எனில் $\phi = M$ ஆகும்.

அதாவது ஒரு சுருளில் ஓரலகு மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது மற்ற சுருளினை ஊடுருவும் காந்தப் பாயமானது எண்ணளவில் அவ்விரு சுருள்களின் பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண்ணுக்குச் சமமாகும்.

குறிப்பிட்ட கணத்தில் முதல் சுருளில் உள்ள மின்னோட்டம் I_1 ஆனது, t நொடிகளில் I_2 என மாறியுள்ளது எனக் கொண்டால் இரண்டாவது சுருளை ஊடுருவும் காந்தப் பாயமும், ϕ_1-லிருந்து ϕ_2 ஆக மாறிவிடுகிறது. ஆகவே இரண்டாவது சுருளில் தூண்டப்படும் மின் இயக்குவிசை

$$e = -\frac{\phi_1 - \phi_2}{t} = -\frac{M(I_1 - I_2)}{t}$$

ஆகவே, $\frac{I_1 - I_2}{t} = 1$ (அதாவது நொடிக்கு ஓரலகு மின்னோட்ட மாற்றம்) எனில் e ஆனது எண்ணளவில் M-க்குச் சமமாகும். எனவே ஒரு சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் நொடிக்கு ஓரலகு மாறுவதால் இரண்டாவது சுருளில் தூண்டப்படும் மின்இயக்கு விசையானது எண்ணளவில் இச்சுருள்களின் பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண்ணுக்குச் சமமாகும்.

SI முறையில், பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண்ணுக்கான அலகு **ஹென்றி** ஆகும். இதனைப் பின்வருமாறு வரையறுக்கலாம். ஒரு கம்பிச் சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் செகண்டுக்கு ஓர் ஆம்பியர் என்ற வீதத்தில் மாறும்பொழுது இரண்டாவது

சுருளில் தூண்டப்படும் மின் இயக்கு விசை ஒரு வோல்ட் என்றால் அந்த இரண்டு சுருள்களிடையே பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண் ஒரு ஹென்றி ஆகும்.

$$1 \text{ ஹென்றி} = \frac{1 \text{ வோல்ட்}}{1 \text{ ஆம்பியர்/செகண்டு}}$$

3. 5. 5 தன்மின் தூண்டல் மற்றும் தன்மின் நிலைம எண்

ஒரு சுற்றில் ஏற்படும் மின்னோட்ட மாற்றம் பரிமாற்று மின் தூண்டல் காரணமாக, மற்றொரு சுற்றில் மின் இயக்கு விசையைத் தூண்டுகிறது. இதைத்தவிர, ஒரு சுற்றில் ஏற்படும் மின்னோட்ட மாற்றம் அச்சுற்றிலேயே மின் இயக்கு விசையைத் தூண்டுவதுண்டு. ஏனெனில் அந்த மின்னோட்ட மாற்றமானது அச்சுற்றினை ஊடுருவும் காந்தப் பாயத்தை மாற்றுகிறது. இந்த நிகழ்வு **தன்மின் தூண்டல்** அல்லது **தன் மின் நிலைமம்** எனப்படும்.

ஒரு சுற்றில் மின்னோட்டம் மாறாத மதிப்புடையதாக இருக்கும் பொழுது அதனில் தன் மின்நிலைமம் காரணமாக மின் இயக்கு விசை தூண்டப்பட இயலாது. எனவே நேர் மின்னோட்டச் சுற்றுகளில் மின்னோட்டம் தொடங்கும்பொழுது அல்லது நிற்கும் பொழுதுதான் தன்மின் தூண்டல் ஏற்படும்.

நேர்மின்னோட்டச் சுற்றில் மின்னோட்டம் தொடங்கும் பொழுது தூண்டப்பட்ட மின் இயக்கு விசையானது அச்சுற்றில் செயல்படும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு எதிராகச் செயல்படும் ; எனவே மின்னோட்டம் மெல்ல மெல்ல வளர்ந்து சிறிது நேரத்திற்குப் பிறகே பெருமமான நிலைமதிப்பு (maximum steady value) பெறும். நேர்மின்னோட்டச் சுற்று திறக்கப்பட்டால் அதில் மின்னோட்டம் திடீரென்று சுழிமதிப்பு பெறும் ; ஆகையால் மின்னோட்ட மாற்றத்தின் நேர விகிதம் மிக அதிகமாயிருக்கும். தூண்டப்பட்ட எதிர்மின் இயக்கு விசை (back e. m. f) யானது மின்னோட்டம் குறைவதை எதிர்க்கும் ; எதிர்மின் இயக்கு விசையின் அளவு மிக அதிகமாகும். தூண்டப்பட்ட எதிர் மின் இயக்கு விசையின் உச்ச மதிப்பு செலுத்தப்பட்ட மின் இயக்கு விசையின் மதிப்பைப் போல பல நூறு மடங்குகள் இருக்கக்கூடும்.

ஒரு சுருளில் மின்னோட்டம் I பாயும்பொழுது அதனை ஊடுருவும் காந்தப் பாயம் ϕ எனில்

$$\phi \propto I \quad \text{அல்லது} \quad \phi = LI$$

இங்கு L ஒரு மாறிலி; இதன் பெயர் தன்மின்நிலைம எண். $I = 1$ எனில், L-ஆனது எண்ணளவில் ϕ-க்குச் சமமாகும். ஆகவே, ஒரு

சுருளில் ஓரலகு மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது அதனை ஊடுருவும் காந்தப் பாயம் எண்ணளவில் அச்சுருளின் தன்மின்நிலைம எண்ணுக்குச் சமமாகும்.

குறிப்பிட்ட கணத்தில் சுருளில் மின்னோட்டம் I_1 பாயும் பொழுது உள்ள காந்தப் பாயம், ϕ_1 அதுவே t நொடிகளுக்குப் பிறகு மின்னோட்டம் I_2 பாயும்பொழுது உள்ள காந்தப்பாயம் ϕ_2 எனில் அச்சுருளில் தூண்டப்பட்ட எதிர் மின்னியக்கு விசை e-யை

$$e = -\frac{(\phi_1 - \phi_2)}{t} = -L\frac{(I_1 - I_2)}{t}$$

என்பதாக எழுதலாம். ஆகவே

$$\frac{I_1 - I_2}{t} = 1 \text{ எனில்}$$

'e' ஆனது எண்ணளவில் L-க்குச் சமம். எனவே தன்மின் நிலைம எண்ணைப் பின்வருமாறும் வரையறுக்கலாம்.

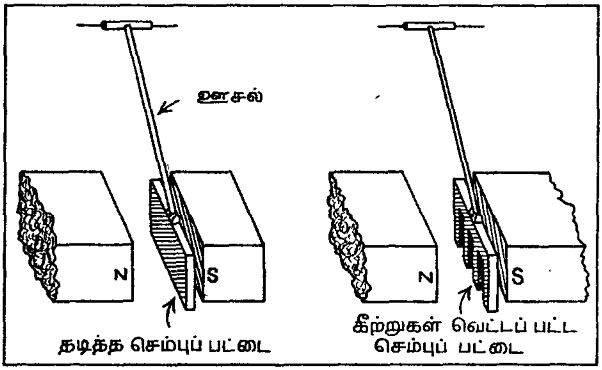
ஒரு சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் நொடிக்கு ஓரலகு வீதம் மாறும்பொழுது அதனில் தூண்டப்படும் எதிர் மின்இயக்கு விசையானது எண்ணளவில் அச்சுருளினுடைய தன்மின்நிலைம எண்ணுக்குச் சமமாகும்.

தன் மின்நிலைம எண்ணின் அலகு **ஹென்றி** ஆகும். ஒரு சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் நொடிக்கு ஓர் ஆம்பியர் வீதம் மாறும்பொழுது தூண்டப்படும் எதிர் மின்இயக்கு விசை ஒரு வோல்ட் என்றால் அச்சுருளின் தன்மின் நிலைம எண் ஒரு ஹென்றி ஆகும்.

3. 5. 6 சுழி ஓட்டங்கள்

ஒரு மின்கடத்தியை ஊடுருவும் காந்தப் பாயம் மாறும் பொழுது அக்கடத்தியில் மின் இயக்கு விசை தூண்டப்படுகிறது என்று படித்தோம். ஆனால் கடத்தியானது கம்பி வடிவத்திலோ, கம்பிச் சுருளாகவோ இருக்கவேண்டிய அவசியமில்லை. மின்கடத்தியானது ஒரு பெரிய உலோகக் கட்டியாக இருந்தாலும் அக்கட்டியினுள் மூடிய பாதைகளில் குறிப்பிடத்தக்க மின் இயக்கு விசை செயல்படும். தூண்டப்படும் மின்இயக்கு விசையின் அளவு அதிகமாக இல்லாவிட்டாலும், மின்னோட்டப் பாதையின் மின்தடை புறக்கணிக்கத்தக்கதாயிருப்பதால் மிக வலிமையான மின்னோட்டம் பாயும். இப்படி உலோகக் கட்டியினுள் தூண்டப்படும் மின்னோட்டங்கள் **சுழி ஓட்டங்கள்** (eddy currents) அல்லது 'ஃபூக்கோ (Foucault's) ஓட்டங்கள்' எனப்படுகின்றன.

1895-ல் ஃபூகோ செய்த சோதனைகளில், ஒரு காந்தப் புலத்தி லுள்ள ஓர் உலோகக் கட்டி அசைக்கப்பட்டால் அதனில் மின் னோட்டங்கள் தூண்டப்படுவதும், அதனால் அக்கட்டி சூடேறி ஆற்றல் வீணாவதும் காணப்பட்டன. லென்ஸ் விதியின்படி, தூண் டப்படும் மின்னோட்டத்தின் திசையானது உலோகக் கட்டியின் இயக்கத்தை எதிர்ப்பதாக இருக்கும். எனவே தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டங்கள் அப்பொருளின் இயக்கத்திற்குத் தடை ஏற்படுத் தும். பொருள் இயங்குவதால் எந்திரவியல் ஆற்றலானது சுழி ஓட்டங்களிலுள்ள மின்னாற்றலாக மாறுகிறது. இது வெப்ப ஆற்ற லாக மாறுகிறது.



படம் 3. 28

காந்தப் புலத்தில் ஊசலாடும் உலோகப் பட்டையில் சுழி ஓட்டங்களின் விளைவு

ஒரு மின்காந்தத்தின் துருவங்களுக்கிடையே ஒரு தடித்த செம்புப் பட்டையை ஊசலாடவிட்டால் அதனில் சுழி ஓட்டங் களின் விளைவை அறியலாம். மின்காந்தம் செயல்படத் தொடங் கியவுடன் ஊசலின் வேகம் குறைந்து அது சீக்கிரமே ஓய்ந்து விடு வதைக் காணலாம். ஏனெனில், சுழி ஓட்டங்கள் ஊசலின் அலைவு களுக்குத் தடை ஏற்படுத்துகின்றன. பட்டையில் வரிசையாக நீண்ட கீற்றுகளை வெட்டியெடுத்துவிட்டால் ஊசலுக்கு ஏற்படும் தடை குறைவதைக் காணலாம். ஏனெனில், தற்பொழுது கீற்று களுக்கு இடையேயுள்ள சிறிய பற்களில்தான் சுழி ஓட்டங்கள் ஏற்பட முடிகிறது.

3. 5. 7 அரகோ சோதனை

செங்குத்தான கூர்முனையில் காந்த ஊசியொன்று தாங்கப்படு கிறது. இதற்கு மேலே ஒரு செம்பு வட்டு கிடைமட்டமாக வைக்கப்

படுகிறது. கூர்முனை வழியான அச்சைப் பொருத்து செம்புவட்டினை வேகமாகச் சுழற்றினால் காந்த ஊசியும் வட்டின் சுழற்சியைப் பின் பற்ற முயல்வதைக் காணலாம். இதன் காரணம் யாது ? காந்த ஊசிக்கும் செம்பு வட்டுக்கும் இடையே சார்பு இயக்கம் (relative motion) உள்ளது. ஆகையால் வட்டில் மின்னோட்டங்கள் தூண்டப்படுகின்றன. இந்த மின்னோட்டங்கள் சார்பு இயக்கத்தை எதிர்க்கின்றன. எனவே, சார்பு இயக்கத்தைக் குறைக்கும் வகையில் காந்த ஊசியும் வட்டின் பின்னால் இழுத்துச் செல்லப்படுகிறது.

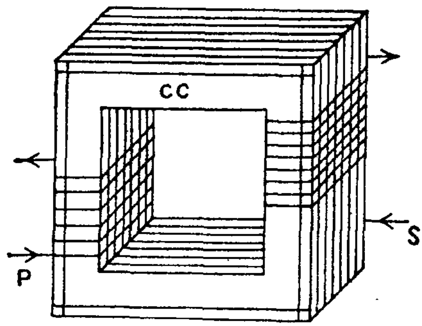
அலைவு காட்டாத கால்வனாமீட்டரில் (a periodic galvanometer) அலைவுகளை மட்டுப்படுத்த சுழி ஓட்டங்கள் பயன் படுகின்றன. மின்சார இயந்திரங்களில் சுழி ஓட்டங்கள் விரும்பத் தக்கதல்ல ; அவை தவிர்க்கப்பட வேண்டும். ஏனெனில், கணிசமான ஆற்றல் வெப்பமாக மாறி வீணாகும். டைனமோக்கள், மின்மாற்றிகள் முதலியவற்றில் பயன்படுத்தப்படும் இரும்பு மெல்லிய தகடுகளாக்கப்படுகிறது. இத்தகடுகள் ஒன்றுக்கொன்று மின் தொடர்பு இல்லாமல் வார்னிஷ் அல்லது எனமலினால் மின்காப்பிடப்படுகின்றன. பின்னர் இவை ஒன்றன்மீதொன்று அடுக்கப் படுகின்றன. ஆகையால் சுழி ஓட்டங்களின் வலிமை குறைந்து விடுகின்றது.

3. 5. 8 மின்மாற்றிகள்

இரண்டு கம்பிச் சுருள்களுக்கிடையேயுள்ள பரிமாற்று மின் தூண்டல் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்தி மின்மாற்றிகள் அமைக்கப் படுகின்றன. ஒரு சுருளிலிருந்து மின்னாற்றலை மற்ற சுருளுக்கு மாற்றுவதற்கு மின்மாற்றி பயன்படுகிறது. ஒரு சுருளில் உயர்ந்த வோல்டேஜ் மற்றும் குறைவான மின்னோட்டத்தில் கிடைக்கும் மின்னாற்றல் மற்றொரு சுருளுக்குக் குறைவான வோல்டேஜ் உயர்வான மின்னோட்டத்தில் மாற்றப்படுகிறது. இந்த எடுத்துக்காட்டில் மின்மாற்றி **இறக்கு மின்மாற்றி** (step down transformer) யாகச் செயல்படுகிறது. அல்லது, ஒரு சுருளில் குறைவான வோல்டேஜ் மற்றும் உயர்வான மின்னோட்டத்தில் உள்ள மின்னாற்றலை மற்றொரு சுருளுக்கு உயர்வான வோல்டேஜ், குறைவான மின்னோட்டத்தில் மாற்றப்படுகிறது. இங்கு இக்கருவி **ஏற்று மின்மாற்றி** (step up transformer) யாகச் செயல்படுகிறது.

மின்மாற்றியில் இரும்புத் தகடுகளின் அடுக்கு உள்ளகமாகப் பயன்படுகிறது. உள்ளகம் C-C மீது தனித்தனியான இரண்டு செம்புக் கம்பிச் சுருள்கள் (P, S) சுற்றப்பட்டுள்ளன. P என்பது முதன்மைச் சுருள். மாற்றப்பட வேண்டிய வோல்டேஜ் P-ல்

செலுத்தப்படுகிறது. S என்பது துணைச் சுருள். இது மாற்றப் பட்ட வோல்டேஜைத் தருகிறது.



படம் 3. 29
மின்மாற்றி

நல்லியலான மின்மாற்றியில்,

$$\frac{\text{துணைச்சுற்று வோல்டேஜ்}}{\text{முதன்மைச் சுற்று வோல்டேஜ்}} = \frac{\text{துணைச்சுருளில் சுற்றுகளின் எண்ணிக்கை}}{\text{முதன்மைச் சுருளில் சுற்றுகளின் எண்ணிக்கை}}$$

அதாவது, $\frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2}{n_1}$

$n_2 > n_1$ எனில் துணைச்சுற்று வோல்டேஜ் முதன்மைச் சுற்று வோல்டேஜைவிட அதிகமாகும்; மின்மாற்றி ஏற்று மின்மாற்றி யாகும். இதனில் முதன்மைச் சுருளில் தடிமனுன கம்பி சில சுற்று களிருக்கும். துணைச்சுருளில் மெல்லிய கம்பி அதிக சுற்று களிருக்கும்.

$n_2 < n_1$ எனில் துணைச்சுற்று வோல்டேஜ் முதன்மை சுற்று வோல்டேஜைவிடக் குறைவானது. இந்த மின்மாற்றி இறக்கு மின்மாற்றியாகும்.

எந்தவகை மின்மாற்றியானுலும் நல்லியலான மின்மாற்றியில் முதன்மைச் சுற்றில் உள்ளிடப்படும் ஆற்றல் துணைச்சுற்றிலிருந்து பெறப்படும் ஆற்றலுக்குச் சமமாகும். I_1 மற்றும் I_2 என்பன முறையே முதன்மை மற்றும் துணைச் சுற்றுகளில் உள்ள மின்னோட் டங்கள் என்க. அத்துடன் முதன்மை மற்றும் துணைச்சுற்று வோல் டேஜ் முறையே E_1, E_2 என்க. எனவே

உள்ளிடு ஆற்றல் $= E_1 I_1$

மற்றும் வெளிவிடு ஆற்றல் $= E_2 I_2$

நல்லியல் மின்மாற்றியில் ஆற்றல் வீணுவதில்லை. ஆகையால்,

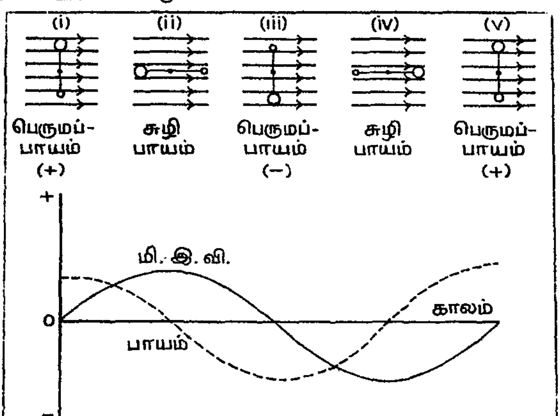
$$E_1 I_1 = E_2 I_2$$

அல்லது $$\frac{I_2}{I_1} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

ஒரு குறிப்பிட்ட விகிதத்தில் வோல்டேஜ் உயர்த்தப்பட்டால் அதே விகிதத்தில் மின்னோட்டம் குறைக்கப்படுகிறது. அதேபோன்று குறிப்பிட்ட விகிதத்தில் வோல்டேஜ் குறைக்கப்பட்டால் அதே விகிதத்தில் மின்னோட்டம் உயர்த்தப்படுகிறது.

3.5.9 மாறுதிசை மின்னோட்ட இயற்றி

தட்டையான கம்பிச் சுருள் ஒன்று தன்னுடைய தளத்திலேயே அமைந்த அச்சில் சுழல்கிறது. இதன் அச்சு ஒரு சீரான காந்தப் புலத்திற்குச் செங்கோணத்தில் உள்ளது. சுருள் சுழலும்போது அதனை ஊடுருவும் காந்தப்பாயம் மாறுகிறது ; இந்த மாற்றங்கள் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன.



படம் 3.30

சுழலும் சுருளை ஊடுருவும் பாயத்தின் மாற்றமும், சுருளில் தூண்டப்படும் மி.இ. விசையும்.

படம் (i) மற்றும் (iii)-ல் காண்பது போல காந்தப் புலத்திற்கு நேர்குத்தாகச் சுருளின் தளம் இருக்கும்பொழுது, சுருளினை ஊடுருவும் காந்தப்பாயம் பெருமமாகும் ; ஆனால் அது அக்கணத்

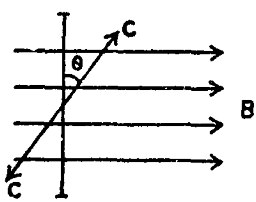
தில் மட்டுமே மாறுதிருக்கிறது. படம் (ii) மற்றும் (iv)-ல் காண்பது போல காந்தப் புலத்திற்கு இணையாகச் சுருளின் தளம் இருக்கும்பொழுது சுருளினை ஊடுருவும் காந்தப்பாயம் கணநேரத்திற்குக் சுழியாக இருக்கும் ; ஆனால் பெரும வேகத்தில் அது மாறுகிறது.

நிலை (ii)-ல் காந்தப் பாயம் நேர்மதிப்பிலிருந்து சுழிவழியாக எதிர்மதிப்பிற்கு மாறுகிறது ; நிலை (iv)-ல் அது எதிர்மதிப்பிலிருந்து சுழிவழியாக நேர்மதிப்பிற்கு மாறுகிறது. எனவே சுருளில் தூண்டப்படும் மின்இயக்கு விசையானது - அதாவது காந்தப்பாய மாற்றத்தின் நேர் விகிதமானது — படத்தில் காண்பது போல மாறும்.

நிலை (i) மற்றும் (iii)-ல் பாயம் பெருமமாக உள்ளபொழுது மின்இயக்குவிசை சுழியாகும். நிலை (ii) மற்றும் (iv)-ல் பாயம் சுழியாக உள்ளபொழுது மின் இயக்குவிசை அளவில் பெருமமாகும். தூண்டப்படும் மின்னோட்டம் தன்னைத் தூண்டிய காந்தப் பாய மாற்றத்தை எதிர்க்கும் என்பது லென்ஸ் விதி. இதற்கேற்ப நிலை (ii)-ல் தூண்டப்பட்ட மின் இயக்குவிசை நேர்க்குறி உடையது ; அதுவே நிலை (iv)-ல் எதிர்க்குறி உடையது. தூண்டப்பட்ட மின் இயக்கு விசையின் அளவைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்.

3. 5. 10 மின்இயற்றியல் தூண்டப்படும் மின்இயக்கு விசையின் அளவு

சுருளின் பரப்பு *A*, மற்றும் காந்தத் தூண்டல் *B* என்க. ஏதோ ஒரு கணத்தில், காந்தப் புலத்திற்குக் குத்தாக உள்ள திசையுடன், கோணம் θ-ல் சுருளின் தளமானது சாய்ந்திருப்பதாகக் கொள்க. இந்த நிலைமையில் சுருளினை ஊடுருவும் காந்தப் பாயம் *AB* காஸ் θ ஆகும். சுருளில் *n* சுற்றுகளிருப்பதால் சுருளின் வழியான மொத்த காந்தப் பாயம் $= \phi = n\,AB$ காஸ் θ ஆகும்.



படம் 3. 31

மின்னியக்கு விசையைக் காணல்

ϕ ஆனது காஸ் θ-வின் சார்பலன் என்பதைக் கவனிக்க. $\theta = 0$ (சுழி) ஆயின் ϕ பெருமமாகவும், $\theta = 90°$ ஆயின் ϕ சுழி

யாகவும் உள்ளது. ஆனல் ϕ பெருமமாக உள்ளபொழுது தூண்டப்படும் மின் இயக்குவிசை E சுழியாகவும், ϕ சுழியாகும் பொழுது E பெருமமாகவும் உள்ளதை மேலே கண்டோம். எனவே E ஆனது சைன் θ-வின் சார்பலனுக இருக்கும்.

மேலும் $n\,AB$ இவற்றில் எது அதிகரித்தாலும் ϕ-ம் நேர் விகிதத்தில் அதிகரிக்கும். அதுபோன்றே nAB ஆகியவற்றில் எது அதிகரித்தாலும் E-ம் நேர்விகிதத்தில் அதிகரிக்கும். அத்துடன் சுருள் சுழலும் வேகம் அதிகரித்தால் E-ம் அதிகரிக்கும். சுருளின் கோணத்திசை வேகம் (angular velocity) 'ω' என்று கொள்வோம். ஆகையால் $E \propto n\,AB\omega$ சைன் θ என்றெழுதலாம்.

$\phi = nAB$ காஸ் θ என்பதில் உள்ள விகித மாறிலி ஒன்று (1) ஆகும். ஆதலால் E-க்கான கோவையைப் பெறும்பொழுதும் விகித மாறிலி ஒன்று (1) தான்.

$$\left[\because E = -\frac{\phi_1 - \phi_2}{t} \right]$$

ஆகையால் $E = nAB\,\omega$ சைன் θ என்றெழுதலாம். மேலும் சுருளானது கோணம் θ சுழல்வதற்குத் தேவையான நேரம் t செகண்டுகள் என்ருல், $\theta = wt$ என்றெழுதலாம். ஆக,

$$E = nAB\,\omega \text{ சைன் } wt$$

இச்சமன்பாட்டிலிருந்து நாமறிவதென்ன ? சுருளில் தூண்டப்படும் மின் இயக்குவிசையின் திசை மாறி மாறி வருகிறது என்றும் அதன் அளவு சைன் இயலாக மாறுகிறது என்றும் அறிகிறேம். தூண்டப்படும் மின் இயக்கு விசையின் பெருமமதிப்பு $nAB\,\omega$.

$nAB\,\omega = E_0$ என்று குறித்தால், எக்கணத்திலும்

மி. இ. வி. $E = E_0$ சைன் wt

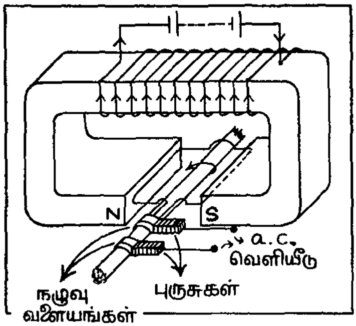
அல்லது $E = E_0$ சைன் $2\pi\, n$

இங்கு $n =$ ஒரு செகண்டில் சுருளானது சுழலும் சுழற்சிகளின் எண்ணிக்கை ஆகும். n ஆனது பெரும்பாலும் 50-க்குச் சமமாக உள்ளது.

3. 5. 11 மாறுதிசை மின்னேட்ட இயற்றியின் அமைப்பு

எளிமையான அமைப்புடைய ஒரு A. C. இயற்றியின் முக்கிய உறுப்புகள் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன. வலிமையான மின் காந்தத்தின் துருவங்களிடையே உள்ள காந்தப்புலத்தில் A B C D

என்ற சுருள் சுழல்கிறது. மின்காந்தத்திற்குத் தேவையான மின்னோட்டம் ஒரு D.C. மூலத்திலிருந்து (பேட்டரியிலிருந்து) பெறப்படுகிறது. சுருளின் முனைகள் செம்பினாலான இரண்டு நழுவு வளையங்களுடன் இணைகின்றன. நழுவு வளையங்களுக்கிடையே



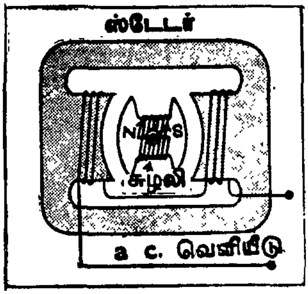
படம் 3. 32

காந்தப் புலத்தில் கம்பிச் சுருளைச் சுற்றி மின்னோட்டத்தை இயற்றுதல்

மின்காப்பு உண்டு. இந்த வளையங்களின் மையங்கள் சுருளுடைய சுழல் அச்சு மீது உள்ளன. சுருள் சுழலும்போது வளையங்களும் சுழல்கின்றன. நழுவு வளையங்களின் மீது இரண்டு கார்பன் புருசுகள் (brushes) அழுத்திக்கொண்டு உள்ளன. சுழலும் சுருளிலிருந்து மின்னோட்டம் கார்பன் புருசுகள் வழியாக வெளிச் சுற்றுக்குப் பாய்கிறது. மின்காப்பிட்ட இரும்புத் தகடுகள் ஒன்றன் மீதொன்று அடுக்கப்பட்டு உள்ளகமாகப் பயன்படுகின்றன. உள்ளகத்தின் மீது மின்காப்புடைய செம்புக்கம்பி பல சுற்றுகள் சுற்றப்பட்டுள்ளது. காந்தப் புல விசைக்கோடுகள் கம்பிச் சுருளின் அகத்தே நெருக்கமாக ஏற்பட இரும்பு உள்ளகம் உதவுகிறது. இவ்வாறு இரும்பு உள்ளகத்தின் மீது சுற்றப்பட்ட சுருள் **ஆர்மெச்சர்** (armature) என்று வழங்கப்படுகிறது. சுருளினைச் சுழற்றுவதற்குத் தேவையான எந்திரவியல் ஆற்றல் டர்பைன் (turbine) களிலிருந்து பெறப்படுகிறது.

நடைமுறையில் ஆர்மெச்சரை நிலையாக வைத்து காந்தப் புலத்தைச் சுழற்றுவது எளிதாக உள்ளது. ஆர்மெச்சர் சுருள் இரண்டு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு இப்பகுதிகள் தொடரிணைப்பில் உள்ளன. இந்த இரண்டு பகுதிகளுக்கிடையே மின்காந்தம் சுழல்கிறது. மின்காந்தத்திற்குத் தேவையான நேர்மின்னோட்டம்

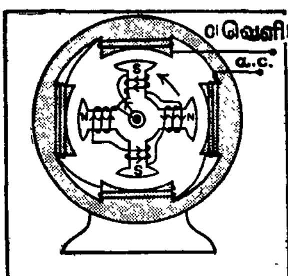
நழுவு வளையங்கள் வழியாகப் பாய்கிறது. இந்த நேர்மின்னோட்டத்தின் மதிப்பு குறைவே. நழுவு வளையங்கள் வழியாகக் குறைவான மின்னோட்டம் - அதுவும் நேர் மின்னோட்டம் - பாய்வது நன்மையாகும். இதுவே இந்த அமைப்பிலுள்ள ஆதாயம்.



படம் 3. 33

எளிமையான அமைப்புடைய மாறுதிசை மின்னோட்ட இயற்றி (2-துருவம்; ஒரே மின்னோட்டம்)

(ஆர்மெச்சர் சுழல்கின்ற அமைப்பில் நழுவு வளையங்கள் வழியாகப் பாயும் மின்னோட்டம் மிக அதிகம்; அத்துடன் அது மாறுதிசை மின்னோட்டமும் ஆகும்.) மீயளவான மின்னோட்டங்களை நிலையான இணைப்புகள் வழியாகப் பாய்ச்சுவது எப்பொழுதும் எளிது. எனவே மின்காந்தமானது **சுழலி** (rotor) யாகவும், ஆர்மெச்சர் சுருள்கள் **ஸ்டேட்டர்** (stator) ஆகவும் உள்ளன.



படம் 3. 34

மாறுதிசை மின்னோட்ட இயற்றி (4-துருவம்; ஒரே மின்னோட்டம்)

பல மின் இயற்றிகளில் ஆர்மெச்சர் சுருள் 4, 6 அல்லது 8 பகுதிகளாகப் பிரிந்து, சம இடைவெளிகளில் ஸ்டேட்டரில் அமை

யும். சுழலியிலும் இதே எண்ணிக்கையுள்ள துருவங்கள் வடக்கு - தெற்கு - வடக்கு என மாறி மாறி அமையும். படத்தில் 4-துருவ, ஒரே மின்னோட்ட இயற்றி காணப்படுகிறது. இருதுருவ மின் இயற்றியிலும், 4 -துருவ மின் இயற்றியிலும் சம அதிர்வெண்ணில் மாறுதிசை மின்னோட்டம் கிடைக்கும்பொழுது, இருதுருவ மின் இயற்றியின் சுழற்சி வேகத்தில் பாதியளவுதான் 4-துருவ மின் இயற்றியின் சுழற்சி வேகம் இருக்கும்.

பயிற்சி 3. 5

1. மூடிய கம்பிச்சுருளை காந்த வடக்கு துருவம் நெருங்கினால் அச்சுருளில் மின்னோட்டம் தூண்டப்படுகிறது. அதே போல காந்த தெற்கு துருவம் அதனை நெருங்கினால் என்ன நிகழும் ?
2. காந்தத்தின் இயக்கம் நின்றுவிட்டால் என்ன நிகழும் ?
3. மூடிய மின்சுற்றில் மின்இயக்குவிசை தூண்டப்படுவதற்கு முக்கிய நிபந்தனை என்ன ?
4. ஒரு சுருளை ஊடுருவும் காந்தப் பாயத்தை எவ்வெவ்வகை களில் மாற்றலாம் ?
5. ஃபாரடேயின் மின்காந்தத் தூண்டல் விதியைக் கூறுக.
6. மின்காந்தத் தூண்டலுக்கான லென்ஸ் விதியைக் கூறுக.
7. மின்காந்தத் தூண்டலுக்கான விதிகளைக் கணிதக் கோவையாக எழுது.
8. ஒரு விமானத்தின் இறக்கைகளின் முனைகளிடையே தொலைவு 30 மீட்டர். அது கிடை மட்டத்தில் 250 மீட்டர் / செகண்டு வேகத்தில் பறக்கிறது. புவிக்காந்தப் புலத்தின் செங்குத்துக் கூறினுடைய பாய அடர்த்தி 4×10^{-5} டெஸ்லா எனக்கொண்டு, இறக்கைகளின் முனை களிடையே தூண்டப்படும் மின் இயக்கு விசையைக் கணக் கிடுக.

   விமானம் கிடைமட்டமாகப் பறக்கும்பொழுது அதன் இறக்கைகள் புவிக்காந்தப் புலத்தின் செங்குத்துத் தூண் டல் கோடுகளை வெட்டுகின்றன. அது ஒரு நொடியில் 250 மீட்டர் பறப்பதால் ஒரு நொடியில் கடக்கும் பரப் பளவு

   = வேகம் $\times$ அகலம்

   = 250 $\times$ 30 சதுரமீட்டர் / செகண்டு

இறக்கைகள் ஒரு நொடியில் வெட்டும் தூண்டல் கோடுகளின் எண்ணிக்கை $= 250 \times 30 \times 4 \times 10^{-5}$ வெபர் / செகண்டு

அதாவது காந்தப் பாயமாற்றத்தின் நேர விகிதம்

$= 250 \times 30 \times 4 \times 10^{-5}$ வெபர் / செகண்டு

$= 0.3$ வெபர் / செகண்டு.

தூண்டப்பட்ட மி.இ.வி. = — (காந்தப்பாய மாற்றத்தின் நேர விகிதம்)

= — 0.3 வோல்ட்.

தூண்டப்பட்ட மி.இ.வி. தன்னைத் தூண்டிய மாற்றத்தை எதிர்க்கிறது என்ற உண்மையைக் காட்டுகிறது எதிர்க் குறி.]

9. கிராமபோனின் சுழல்மேடை பித்தளையாலானது. இது கிடைமட்டத்தில் சுழலும். இதனுடைய விட்டம் 30 செ.மீ. இது செங்குத்துக் காந்தப் புலத்தில் சுழல்கிறது. சுழல்வேகம் $= 33\frac{1}{3}$ சுழற்சிகள் / நிமிடம். செங்குத்து காந்தப் புலத்தில் பாயஅடர்த்தி $= 0.01$ டெஸ்லா. சுழல் மேடையின் மையத்திற்கும் விளிம்பிற்கும் இடையே தூண்டப்படும் மி. இ. வி. கணக்கிடுக.

[ஒரு செகண்டில் ஓர் ஆரக்கால் வீசும் பரப்பு

$= \pi r^2 \times$ ஒரு நொடியில் ஏற்படும் சுழற்சிகள்

$$= \pi \times \frac{30}{2 \times 100} \times \frac{30}{2 \times 100} \times \frac{100}{3 \times 60}$$

$= \frac{\pi}{80}$ சதுரமீட்டர் / செகண்டு.

ஒரு செகண்டில் வெட்டப்படும் தூண்டல் கோடுகளின் எண்ணிக்கை

$= \frac{\pi}{80} \times 0{\cdot}01$ வெப்பர் / செகண்டு

$= {\cdot}00039$ வெபர் / செகண்டு

தூண்டப்பட்ட மி.இ.வி. $= -0{\cdot}00039$ வோல்ட்

$= -0{\cdot}39$ மில்லிவோல்ட்.]

10. 'பரிமாற்று மின்தூண்டல்' — இதனை விளக்குக.

11. 'பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண்' — இதனை வரையறுக்க.

12. 'தன்மின்தூண்டல்' ; 'தன்மின் நிலைம எண்' என்பன வற்றை விளக்குக.

13. மின்நிலைம எண்ணுக்கான அலகு என்ன ?

14. ஒரு சுருளின் 'தன்மின் நிலைம எண்' 5 மில்லி ஹென்றி. இதனில் மின்னோட்டம் சுழிமதிப்பிலிருந்து 1/100 நொடியில் ஒரு ஆம்பியராக உயர்கிறது. இச்சுருளில் தூண்டப் படும் எதிர்மின் இயக்கு விசையைக் கணக்கிடுக.

$$[e = -L\frac{dI}{dt}$$

$$= -L\ \frac{\text{மின்னோட்ட மாற்றம்}}{\text{நேரம்}}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{1-0}{1/100} = 100 \text{ ஆம்பியர் / செகண்டு}$$

$$e = -5 \times 10^{-3} \times 100 = -0.5 \text{ வோல்ட்}]$$

15. சுழி ஓட்டங்கள் என்பதென்ன ?

16. மின்சார எந்திரங்களின் இரும்புப் பகுதிகள் தகடுகளாக அமைக்கப்படுவதேன் ?

17. மின்மாற்றியின் பயன் யாது ?

18. மின்மாற்றியில் D. C. வோல்டேஜ் பயன்படுத்தலாமா ?

19. நல்லியல் மின்மாற்றியில் முதற்சுற்று துணைச் சுற்று வோல்டேஜ்களுக்கும் சுருள்களின் சுற்றெண்ணிக்கைக்கும் உள்ள தொடர்பு யாது ?

20. ஒரு நல்லியல் மின்மாற்றியில்
துணைச்சுற்று வோல்டேஜ் / முதற்சுற்று வோல்டேஜ்
என்ற விகிதம் 100 ஆகும்.
துணைச்சுற்று மின்னோட்டம் / முதற்சுற்று மின்னோட்டம்
என்ற விகிதத்தின் மதிப்பு யாது ?

21. நல்லியல் மின்மாற்றியில் முதற்சுற்றில் உள்ளிடு ஆற்றல் 1000 வாட். துணைச்சுற்றிலிருந்து பெறப்படும் ஆற்றல் எவ்வளவு ?

22. மாறுதிசை மின் இயக்குவிசையைத் தோற்றுவிப்பது எப்படி ?

23. செவ்வகச் சுருளின் நீளம் 12 செ.மீ ; அகலம் 7 செ.மீ. இதில் 1000 சுற்றுகள் உள்ளன. இது ஒரு காந்தப் புலத்

தில் சுழற்றப்படுகிறது. இதன் சுழற்சி அச்சு காந்தப்புலத்திற்குக் குத்தாகவும், சுருளின் தளத்திலும் அமைகிறது. காந்தப் புலத்தில் பாய அடர்த்தி = 0.02 டெஸ்லா. சுருளின் சுழற்சி வேகம் = 3000 சுழற்சிகள்/நிமிடம். இச்சுருளில் தூண்டப்படும் மி.இ.வி. பெரும மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

4. மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகள்

4. 1. மின்காந்த அலைகள்

4. 1. 1 அறிமுகம்

ஜேம்ஸ் கிளார்க் மாக்ஸ் வெல் என்பார் மின்புலம் மற்றும் காந்தப்புலம் இவற்றின் பண்புகளை ஆராய்ந்தபொழுது ஒரு மின் காந்த அமைதியின்மை (electro magnetic disturbance) யானது வெளி (space) வழியே ஓர் அலையாகப் பரவுவதற்கு வாய்ப்புகள் உள்ளன என்று கண்டார். இந்த அலையின் வேகமானது ஒளியின் வேகத்திற்குச் சமமாகும் என்று அவரது கணக்கீடுகள் காட்டின. எனவே ஒளியானது ஒரு மின்காந்த அலையாக இருக்கலாம் என்று முன்னுரைத்தார்.

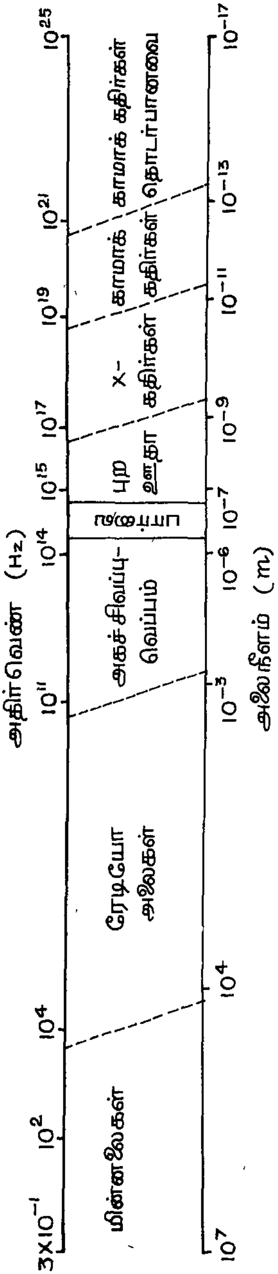
ஆற்றலானது ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்கு அலையாகப் பரவுகிறது என்று நாமறிவோம். ஒலியானது காற்றில் அலைகளாகப் பரவுகிறது என்று கற்றிருக்கிறோம். ஒலியே நீர்மம் அல்லது திண்மத்திலும் கூட அலைகளாகத்தான் பரவுகிறது. நீர்ப்பரப்பின் மேல் மட்டத்தில் பரவும் அலைகள் நமக்குத் தெரிந்தவையே. எந்த ஓர் அலை இயக்கத்தினுடையவும் முக்கியப் பண்புகள் அதன் வேகம் v, அதிர்வெண் f, மற்றும் அலைநீளம் λ என்பனவாம். இம்மூன்று பண்புகளும் $v = f\lambda$ என்றவாறு உறவு கொண்டுள்ளன.

ஒலியலைகள் பரவவும் நீர் அலைகள் பரவவும் ஒரு பருப்பொருள் ஊடகம் தேவை ; ஆனால் மாக்ஸ்வெல் முன்னுரைத்த மின்காந்த அலையானது வெற்றிடத்தின் (empty space) வழியாகக் கூடப் பரவும். இதற்கு எடுத்துக்காட்டாக, சூரிய ஒளியானது சூரியனுக்கும் பூமிக்கும் இடையே உள்ள வெற்றிடம் வழியே பரவி பூமியை அடைவதைக் கூறலாம். மாக்ஸ்வெல்லின் கூற்று பின்னாளில் **ஹெர்ட்ஸ்** என்பார் செய்த சோதனைகளில் மெய்பிக்கப்பட்டது. 1888-ல் நடந்த அச்சோதனைகளில் ஒருவகை அலைகள் தோன்றுவதையும் அவை மின்காந்த அலைகள்தான் என்பதையும் ஹெர்ட்ஸ் கண்டறிந்தார்.

மின்காந்த அலைகளுக்கு அப்பெயர் வரக் காரணம் என்ன ? ஒலியலைகள் காற்றில் பரவும்போது, காற்றில் வெவ்வேறு புள்ளிகளில் காற்றழுத்தம் கணத்திற்குக் கணம் மாறுபடுவது போலவே வெளி (space)யில் வெவ்வேறு புள்ளிகளில் கணத்திற்குக் கணம் மின்புலமும் காந்தப் புலமும் மாறுபடுவதால் மின்காந்த அலைகள் தோன்றுகின்றன ; எனவேதான் அவை அப்பெயர் பெற்றன.

மின்காந்த அலைகளின் அலைநீளங்கள் மிகுந்த நெடுக்கத்தில் வேறுபடக் கூடியவை. 10^{-14} மீ என்ற அளவுக்குக் குறைந்த நீளத் திலிருந்து ஒரு நூறு மீட்டர் (ஏன், 1000மீ) வரையிலும் அலை நீளங்கள் உடைய மின்காந்த அலைகள் உண்டு. இந்த மாபெரும் நெடுக்கத்தின் மிகச்சிறிய பகுதியே நமது கண்களுக்குப் புலப்படும். அதாவது, 4×10^{-7} மீட்டரிலிருந்து 7×10^{-7} மீட்டர் வரையுமான நெடுக்கத்தில் அலைநீளம் அமையும் மின்காந்த அலைகள் மட்டுமே கட்புலனாகின்றன. கட்புலனாகும் நெடுக்கத்தில் உள்ள அலை நீளங்களை அளக்க **ஆங்ஸ்ட்ராம்** (Å) என்னும் அலகு சாதாரணமாகப் பயன்படுகிறது. ஒரு ஆங்ஸ்ட்ராம் என்பது 10^{-10} மீ ஆகும். எனவே கட்புலனாகும் மின்காந்த அலைகள் 4000 Å (ஊதா) முதல் 7000 Å (சிவப்பு) வரை உள்ளன. ஏறத்தாழ 1827-ஆம் ஆண்டில் முதன்முதலாக யங் (Young), ஃப்ரெனல் (Fresnel) மற்றும் ஃப்ரான்ஹோபர் (Fraunhofer) ஆகியோரால் அளந்தறியப்பட்டன.

தகுந்த கருவிகளைப் பயன்படுத்தித் தேவையான அதிர்வெண் உடைய மின்காந்த அலைகளைத் தோற்றுவிக்கலாம். எனினும், வெவ்வேறு அலைநீள நெடுக்கங்களிலுள்ள அலைகளைத் தோற்றுவிக்கும் செய்முறைகள் வெவ்வேறானவை. அதுபோன்றே பல்வேறு அலைகளின் பண்புகளும் வெவ்வேறானவை. அவ்வலைகளைக் கண்டறியவும் ஆராயவும் பலவேறு முறைகளைக் கையாள வேண்டும்.



படம் 4. 1

மின்காந்த நிறமாலை

பலவகைப்பட்ட அலைகளும் நெடுங்காலத்திற்கு முன்னரே தனித்தனியாகக் கண்டறியப்பட்டு அவற்றின் பண்புகளும் ஆராயப் பட்டுவிட்டன. எனினும் அவற்றின் பல்வேறுபட்ட பண்புகளின் காரணமாகவே அவ்வலைகள் அனைத்துமே அடிப்படையில் பொது வான நிகழ்வு காரணமாகத் தோன்றுகின்றன என்ற உண்மையை உணர நெடுங்காலமாயிற்று.

4. 1. 2 மின்காந்த நிறமாலை ; ஒரு கண்ணோட்டம்

இதுவரையில் கண்டறியப்பட்டுள்ள மின்காந்த அலைகளை வரிசைப்படுத்திப் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. அதனில் அலை களின் பெயர்களும் அவற்றின் அதிர்வெண்களும் அலை நீளங்களும் காட்டப்பட்டுள்ளன.

4. 1. 3 மின்காந்த அலைகளைத் தோற்றுவிக்கும் மூலங்களும் அவ் வலைகளின் சில பண்புகளும்

ரேடியோ அலைகள் மிக நீண்ட அலைநீளங்களுடையன. தகுந்த எலக்ட்ரானியல் சுற்றுகளைப் பயன்படுத்தி ரேடியோ அலைகளைத் தோற்றுவிக்கலாம். ரேடியோ மற்றும் டெலிவிஷனில் பயன்படும் அலைகளின் நீளம் 10^5 மீட்டர் முதல் 0.1 மீட்டர் வரை உள்ளன. 10^{-2} மீட்டர் நீளமுடைய மின்காந்த அலைகள் மைக்ரோ அலைகள் எனப்படும் ; இவையே ராடாரிலும் பிற விஞ்ஞான, தொழிலியல் துறைகளிலும் பயன்படுகின்றன. அகச்சிவப்பும் கட்புலனுகும் ஒளியும் மேற்சொன்ன நீளங்களை விடக் குறைவான அலைநீள முடையவை. கட்புலனுகும் ஒளியினதைவிடக் குறைவான அலை நீளமுடைய கதிர்வீச்சுகளை - இவை 4000Å முதல் 1000 Å வரையானவை. - புற ஊதாக் கதிர்கள் என்பர்.

10^{-10} மீ முதல் 10^{-12} மீ வரையிலான அலைநீள்முடைய மின்காந்த அலைகள் எக்ஸ்கதிர்களாம். அதிவேகமாக இயங்கும் எலக்ட்ரான்கள் திடீரென்று திண்மத் தடையால் தடுத்து நிறுத்தப் படும்பொழுது எக்ஸ் கதிர்கள் தோன்றுகின்றன. 1895-ல் **ரான்ட் ஜன்** எக்ஸ் கதிர்களைத் தற்செயலாகக் கண்டுபிடித்த நிகழ்ச்சி யானது விஞ்ஞானத்தில் ஒரு முக்கிய இடத்தை வகிக்கிறது. இதற்குக் காரணம் எக்ஸ் கதிர்களின் நடைமுறைப் பயன்கள் மட்டுமல்ல ; அது இயற்பியலும் மற்றும் உயிரியலும் வளர்வதற்கு உறுதுணையாக இருந்ததேயாம். வெவ்வேறு நோய்களின் மூல காரணத்தை அறியவும் சில நோய்களைக் குணப்படுத்தவும் அவை பயன்படுகின்றன. நல்ல நிலைமையில் உள்ள செல்களை (cells) எக்ஸ் கதிர்கள் அவ்வளவாக பாதிப்பதில்லை. ஆனால் உடல்நலத் திற்கு ஊறுவிளைவிக்கும் செல்களை அவை எளிதில் அழிக்கின்றன.

எனவே அவை புற்றுநோய்க்குச் சிகிச்சையளிக்கப் பயன்படுகின்றன. பொருள்களில் மறைந்திருக்கும் குறைகள் மற்றும் உலோக வார்ப்பு களில் மறைந்திருக்கும் விரிசல்கள் இவற்றைக் கண்டுபிடிக்கவும், தொழில் துறையில் வேறு பயன்களுக்கும் எக்ஸ்கதிர்கள் உதவு கின்றன. வேதியியல் தனிமங்களை இனங்கண்டறியவும் படிகங் களின் உள்வடிவமைப்பைக் கண்டறியவும் எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை யியல் (X-rays spectroscopy) ஒரு நல்ல ஆராய்ச்சி முறையாகும்.

எக்ஸ் கதிர்களையும் விடக் குறைவான அலைநீளமுடைய மின் காந்த அலைகளும் உண்டு. இவற்றை காமாக் கதிர்கள் என்பர். யுரேனியம், தோரியம் போன்ற பொருள்கள் கதிர்வீசிச் சிதை வடையும் பொழுது காமாக் கதிர்களை உமிழ்கின்றன.

வெவ்வேறு அலைநீளமுடைய மின்காந்த அலைகள் பல்வேறு முறைகளில் தோற்றுவிக்கப்பட்டாலும் அவற்றின் விளைவுகள் வெவ் வேருயினும் அந்த அலைகள் அனைத்திற்கும் பொதுவான அடிப் படைப் பண்பு ஒன்று உண்டு என்பதையும், வெற்றிடத்தில் அவ் வலைகள் அனைத்துமே சம வேகத்துடன் - அதாவது ஒளியின் வேகத் தில் - பரவுகின்றன என்ற முக்கியமான உண்மையையும் நினைவு கொள்ள வேண்டும்.

பயிற்சி 4. 1

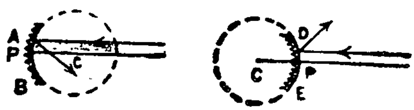
1. மின்காந்த அலைகளின் திசை வேகம் யாது ?
2. மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகளில் எத்தனை வகையுண்டு ? அவற் றின் பெயர்களை எழுதுக.
3. ஒலி அலைகளுக்கும் மின்காந்த அலைகளுக்கும் உள்ள முக்கிய வேறுபாடு என்ன ?
4. அலைநீளங்களை அளக்கப் பயன்படுத்தும் அலகு என்ன ?
5. மின்காந்த நிறமாலையில் கட்புலனாகும் பகுதியின் சிறும அலைநீளம் என்ன ? பெரும அலைநீளம் என்ன ?
6. பின்கண்ட கதிர் வீச்சுகளினுடைய அலை நீளங்களைத் தோராயமாக எழுதுக.
   (i) மைக்ரோ அலைகள் (ii) அகச்சிவப்பு
   (iii) புற ஊதா (iv) எக்ஸ் கதிர்கள்
7. எக்ஸ் கதிர்களைத் தோற்றுவிக்கும் செய்முறையின் அடிப் படைத் தத்துவம் யாது ?
8. எக்ஸ் கதிர்களின் பயன்களில் சிலவற்றை எழுதுக.

4. 2. ஒளி எதிரொளிப்பு

4. 2. 1 கோளப்பரப்புகளிலிருந்து எதிரொளி

பளபளப்பும் வழவழப்புமான ஒரு தளம் ஆடியாகச் செயல் படும். பிரதிபலிக்கும் தளம் சமதளமாயின் அது சமதளஆடி எனப்படும். அதுவே கோளத்தின் பகுதியாயின் கோளவியல் ஆடி எனப்படும். அந்த ஆடியைத் தன் பகுதியாக அடக்கும் கோளத்தின் மையம் (C) ஆடியின் வளைவு மையம் எனப்படும் ; இக்கோளத்தின் ஆரம் (r) கோளவியல் ஆடியின் வளைவு ஆரம் எனப்படும்.

கோளவியல் ஆடிகள் இருவகைப்படும் ; அவை **குழிஆடி** மற்றும் **குவிஆடி** என்பன. குழி ஆடியைப் பொருத்தவரையில் ஒளியானது அந்த ஆடியின் வளைவு மையமுள்ள புறத்திலிருந்து புறப்பட்டுக் குழிவான முகத்தின்மீது படுகிறது. குவி ஆடியிலோ வளைவு மையத்திற்கு மறுபுறமுள்ள மேடான முகத்தின்மீது ஒளி படுகிறது.

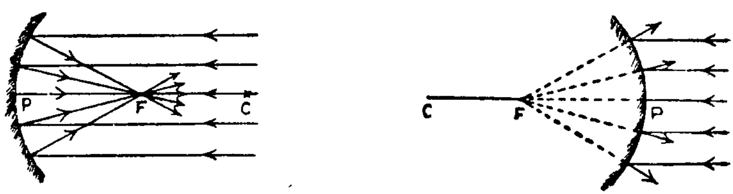


படம் 4. 2

கோளவியல் ஆடிகள்

ஒளியைப் பிரதிபலிக்கும் தளத்தின் வடிவவியல் மையமானது கோளவியல் ஆடியின் **ஆடி மையம்** என்றழைக்கப்படும். ஆடியின் வளைவு மையம் மற்றுமதன் ஆடிமையம் இரண்டின் வழியாகவும் செல்லும் நேர்கோடு ஆடியின் **முதன்மை அச்சு** என்று கூறப்படும்.

முதன்மைக் குவியம்



(a) **குழி ஆடியின் முதன்மைக் குவியம்**

படம் 4. 3

(b) **குவி ஆடியின் முதன்மைக் குவியம்**

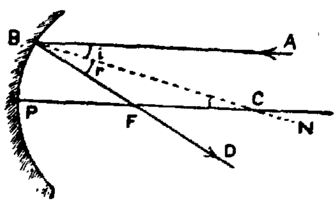
ஆடியின் முதன்மை அச்சுக்கு இணையாகவும் அதற்கு மிக நெருக்கமாகவும் செல்லும் மெல்லிய இணையான கதிர்க் கற்றையானது, குழி ஆடியால் பிரதிபலிக்கப்பட்டபின், அவ்வாடியின் முதன்மை அச்சில் உள்ள ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையான புள்ளியில் குவியும். அதே கற்றையானது குவியாடியால் பிரதிபலிக்கப்பட்டால் அதன் முதன்மை அச்சில் உள்ள ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையான புள்ளியிலிருந்து விரிவாகத் தோன்றும். இந்த நிலையான புள்ளி ஆடியின் **முதன்மைக் குவியம்** என்றழைக்கப்படும்.

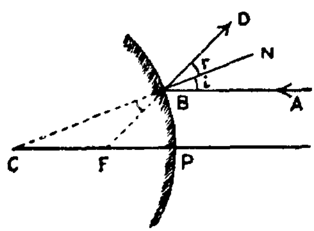
ஆடி மையத்திலிருந்து அதன் குவியம் வரையுள்ள தொலைவு ஆடியின் **குவியத் தொலைவு** ஆகும்.

4. 2. 2 கோளவியல் ஆடியின் வளைவு ஆரத்திற்கும் அதன் குவியத் தொலைவிற்குமான தொடர்பு

கோளவியல் ஆடியின் ஆடிமையம் *P*, அதன் வளைவு மையம் **C**, மற்றும் அதனுடைய குவியம் *F* என்க. (படம் 4.4 காண்க) மேலும் வளைவு ஆரம் $PC = r$ எனவும் குவியத் தொலைவு $PF = f$ எனவும் கொள்க.

முதன்மை அச்சு CP-க்கு இணையாகவும் நெருக்கமாகவும் பாயும் ஒளிக்கதிர் *AB* ஆடியின் மீது படட்டும். *B C N* (அல்லது *C B N*) ஆனது ஆடிக்குக் குத்துக்கோடு ஆகும் (ஏன் ?) *BD* என்பது மீள்கதிர் ஆகிறது.





(a) படம் 4. 4 (b)

குழி ஆடி **குவி ஆடி**

வளைவு ஆரத்துக்கும், குவியத் தொலைவுக்குமிடையேயுள்ள தொடர்பு

$$\therefore \quad \angle ABN = \angle NBD$$

ஆனால் $\angle ABN = \angle BCF$

(∵ *AB* யும் *CP* யும் இணையானவை)

$$\therefore \quad \angle NBD = \angle BCF$$

(படம் 4.4 (*a*) யில்)

மேலும் $\angle NBD = \angle CBF$

(படம் 4.4 (b) யில்)

ΔBCF-ல், $\angle CBF = \angle BCF$

$\therefore \quad FC = FB$

$= FP$ ($\because$ B ஆனது P-க்கு அருகாமையில் உள்ளது.)

எனவே $CP = CF + FP = 2\,FP = 2f$

அதாவது $r = 2f$ அல்லது $r/2 = f$

எனவே ஒரு கோள ஆடியின் குவியத் தொலைவு அதனுடைய வளைவு ஆரத்தில் பாதி ஆகும்.

4.2.3 குழிஆடி பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கும் வகைமுறை — வரைபட முறை

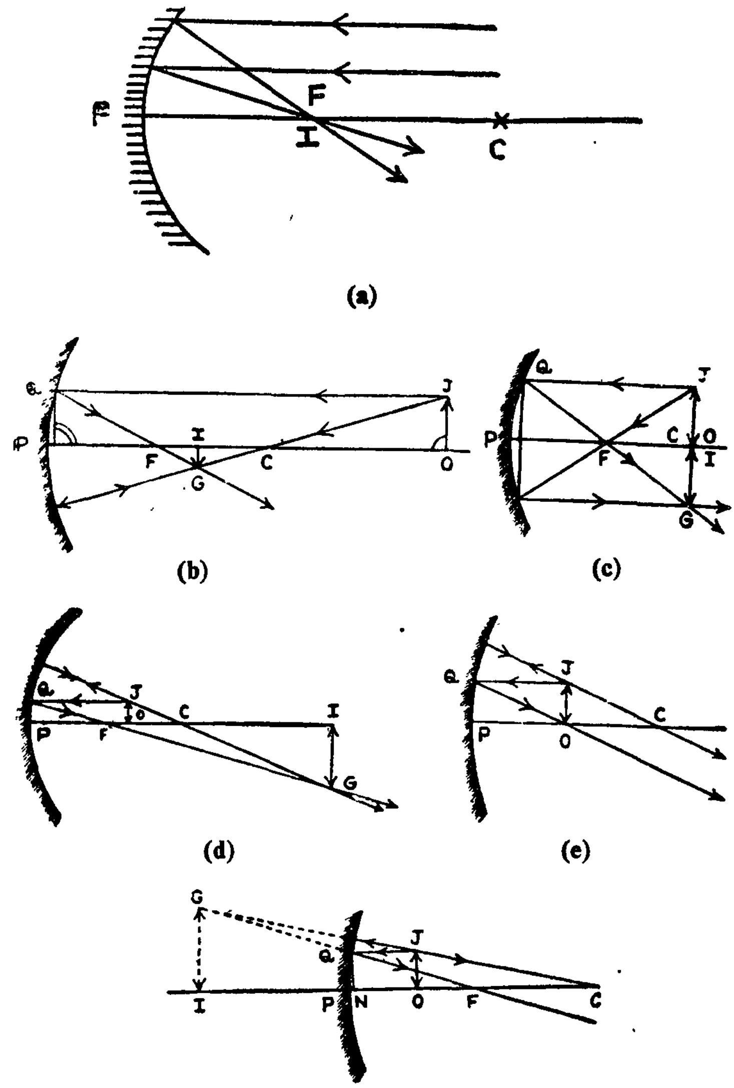
வரைபட முறையில் ஒரு பிம்பத்தை இடஞ்சுட்டுவதற்கு ஒளிக் கதிர்களின் சில பண்புகளைப் பயன்படுத்தலாம். இப்பண்புகளாவன

(1) முதன்மை அச்சுக்கு இணையாகச் செல்லும் படுகதிர் ஆடியால் எதிரொளிக்கப்பட்டபின் முதன்மைக் குவியம் F வழி யாகச் செல்லும் அல்லது செல்வதாகத் தோன்றும்.

(2) ஆடியின் வளைவு மையம் C வழியாகச் செல்லும் படுகதிரானது அதன் பாதையிலேயே திரும்பிச் செல்லுமாறு எதிரொளிக்கப்படும்.

(3) முதன்மைக் குவியம் F வழியாகச் செல்லும் கதிரானது எதிரொளிக்கப்பட்டபின் முதன்மை அச்சுக்கு இணையாகச் செல்லும்.

படம் வரைவதற்கு முதலிரண்டு கதிர்களே போதுமானவை. குழி ஆடியின் அச்சில் அதனிலிருந்து வெவ்வேறு தொலைவுகளில் பொருள் இருக்கும்பொழுது அதன் பிம்பங்களின் இடங்களும் தன்மைகளும் படம் 4-5ல் காணப்படுகின்றன.



படம் 4.5

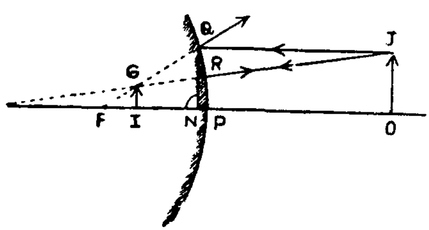
குழிஆடி தோற்றுவிக்கும் பிம்பங்கள்
P-ஆடி மையம், C-வளைவு மையம், F-குவியம்,
OJ-பொருள், IG-பிம்பம்.

குழி ஆடி தோற்றுவிக்கும் பிம்பங்களைப் பொருத்த முடிவுகளைப் பின்கண்டவாறு அட்டவணைப்படுத்தலாம்.

பொருளின் இடம்	பிம்பம்			படம்
	இடம்	தன்மை	அளவு	
ஈறிலாத் தொலைவு	F-ல்	மெய்	ஒரு புள்ளி	4·5 *a*
C-க்கு அப்பால் குறிப்பிட்ட தொலைவில்	C-க்கும் F-க்கும் இடையில்	மெய் ; தலை கீழானது	சுருங்கியது	4·5 *b*
C-ல்	C-ல்	மெய் ; தலை கீழானது	பொருளின் அளவே	4·5 *c*
C-க்கும் F-க்கும் இடையே	C-க்கு அப்பால்	மெய் ; தலை கீழானது	பெருக்க மடைந்தது	4·5 *d*
F-ல்	ஈறிலாத் தொலைவில்	—	—	4·5 *e*
F-க்கும் P-க்கும் இடையில்	ஆடிக்குப் பின்னால்	மாயபிம்பம் நேரானது	பெருக்க மடைந்தது	4·5 *f*

4. 2. 4 குவியாடி தோற்றுவிக்கும் பிம்பம்

இந்த வகையில் பிம்பமானது எப்பொழுதுமே ஆடிக்குப்பின்னால் ஆடிமையத்திற்கும் அதன் குவியத்திற்கும் இடையே கிடைக்கிறது; பிம்பமானது எப்பொழுதுமே மாயப் பிம்பமாகும் ; மற்றும் நேரானது, உருவத்தில் சுருங்கியது (படம் 4.6).



படம் 4. 6

குவியாடி தோற்றுவிக்கும் பிம்பம்

பொருளானது ஈறிலாத் தொலைவில் இருப்பின் பிம்பம் ஆனது குவியம் F-ல் பெறப்படும். பொருளானது ஆடி மையத்தை

நெருங்கி வருமாயின் பிம்பம் குவியத்திலிருந்து ஆடிமையத்தை நெருங்கும். பிம்பத்தின் இயக்கம் மிகமிகக் குறைவாகும். எனவே அது அசையாதிருப்பதாகத் தோன்றும். ஆகையால்தான் காரோட்டிகள் தமக்குப் பின்னால் வரும் வாகனங்களைக் காண்பதற்கு ஒரு குவி ஆடியைப் பயன்படுத்துகிறார்கள். பின்னால் பெருந்தொலைவிலுள்ள வாகனங்கள் ஆடியில் மிகச்சிறிய புள்ளி பிம்பங்களாகத் தோன்றும். அவை நெருங்கி வரவர பிம்பம் பெரிதாகத் தெரியும்.

4. 2. 5 u, v மற்றும் f இடையேயான தொடர்பு

ஆடிகளைப்பற்றிய விவாதங்களில் பின்கண்டவாறு **குறியீட்டு மரபுகள்** பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

1. தொலைவுகளனைத்தும் ஆடிமையத்திலிருந்துதான் அளக்கப்படுகின்றன.

2. மெய்யான பொருள்கள், மெய்யான பிம்பங்கள், இவற்றின் தொலைவுகள் நேர்க்குறி உடையன ; மாயப் பொருள்கள், மாயப் பிம்பங்கள் இவற்றின் தொலைவுகள் எதிர்க்குறி உடையன.

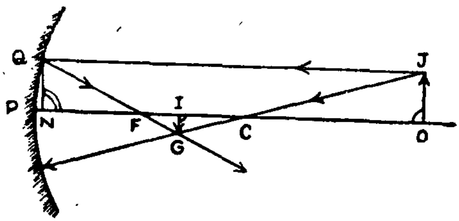
3. இரண்டாவதாகச் சொல்லப்பட்ட கருத்தின்படி ஒரு குழியாடியின் குவியம் மெய்ப்புள்ளி ஆகும். எனவே குழி ஆடியின் குவியத் தொலைவு நேர்க்குறி உடையது. அது போன்றே குவிஆடியின் குவியம் மாயப்புள்ளி ஆகும். ஆதலால் குவிஆடியின் குவியத் தொலைவு எதிர்க்குறி உடையது.

ஆடிமையத்திலிருந்து பொருளுக்கான தொலைவு 'u' எனவும் ஆடிமையத்திலிருந்து பிம்பத்திற்கான தொலைவு 'v' எனவும் சொல்லப்படும்.

ஆடியின் அச்சு (*PC*) க்குக் குத்தாக நிற்கும் பொருள் *OJ* என்க. ஆடிமையத்திலிருந்து *OJ*-யின் தொலைவு u என்க. பிம்பம் தோன்றும் இடம் முற்பகுதியில் சொன்னது போல வரைபட முறையில் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. இந்தப் பிம்பம் *IG* ஆகட்டும். ஆடிமையம் *P*-யிலிருந்து *IG*-ன் தொலைவு v என்க.

கதிர் *JQ* ஆனது *J*-யிலிருந்து புறப்பட்டு ஆடியின் அச்சுக்கு இணையாகவும் நெருக்கமாகவும் சென்று ஆடியின்மீது புள்ளி *Q*-ல் படுகிறது. *Q*-யிலிருந்து அச்சுக்குக் குத்தாக *AN*-ஐ வரைக. ஆடிமையம் *P*-க்கு மிக அருகில் *Q* இருப்பதால் *N*-ம் *P*-க்கு மிக அருகில் இருக்கும். ஆகையால் *N*-ல் இருந்து அளக்கப்படும்

தொலைவுகள் எல்லாமே P யிலிருந்து அளக்கப்படும் தொலைவுகளுக்கு ஏறத்தாழச் சமமாகும் ; படம் (4-7)-ல் மூன்று நிகழ்வுகள் காணப்படுகின்றன. மூன்று நிகழ்வுகளிலும் $\Delta\, OJC$-யும் $\Delta\, IGC$-யும் வடிவொத்த முக்கோணங்களாகும்.



படம் 4. 7 (a)

குழிஆடியில் மெய்ப் பிம்பம்

$$\therefore \quad \frac{OJ}{IG} = \frac{CO}{CI}$$

அதுபோன்றே $\Delta s\ QNF$ மற்றும் GIF-ல்

$$\frac{NQ}{IG} = \frac{NF}{FI}$$

ஆனல், இணைகரம் $NOJQ$-ல் $NQ = OJ$.

$$\therefore \quad \frac{CO}{CI} = \frac{NF}{FI} = \frac{PF}{FI}$$ (∵ P-க்கு மிக அருகில் N உள்ளது)

$$\therefore \quad \frac{CO}{CI} = \frac{PF}{FI} \qquad \ldots (A)$$

நிகழ்வு 1 : படம் 4. 7 (a) குழியாடி தோற்றுவிக்கும் மெய்ப் பிம்பம்

இதனில் u, v மற்றும் f மூன்றுமே நேர்க்குறியுடையன.

$$CO = PO - PC = u - 2f$$
$$CI = CP - IP = 2f - v$$
$$NF = PF = f$$

மற்றும் $FI = PI - PF = v - f$

எனவே சமன்பாடு (A)-ஐப் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\frac{u-2f}{2f-v} = \frac{f}{v-f}$$

அதாவது $2f^2 - vf = uv - uf - 2vf + 2f^2$

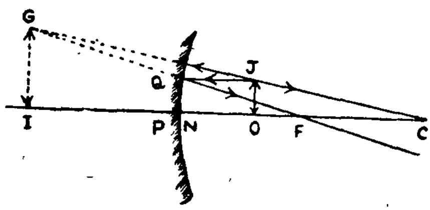
அல்லது $vf + uf = uv$

uvf-ஆல் இரண்டு பக்கமும் வகுக்க,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

நிகழ்வு 2 : படம் 4. 7 (b) குழியாடி தோற்றுவிக்கும் மாயப் பிம்பம்

இதனில்- u-ம் f-ம் நேர்க்குறியுடையன ; ஆனால் v எதிர்க்குறியுடையது.



படம் 4. 7 (b)
குழியாடியில் மாயப் பிம்பம்

படம் 4-7 (b)-ல்

$$CO = CP - PO = 2f - u$$

$$CI = CP + PI = 2f + (-v)$$
$$= 2f - v$$

(ஏனெனில் v எதிர்க்குறியுடையது).

$$PF = f$$

$$FI = FP + PI = f + (-v)$$
$$= f - v$$

எனவே சமன்பாடு (A) பின்வருமாறு மாறும்.

$$\frac{2f-u}{2f-v} = \frac{f}{f-v}$$

அதாவது $2f^2 - vf = 2f^2 - 2vf - uf + uv$

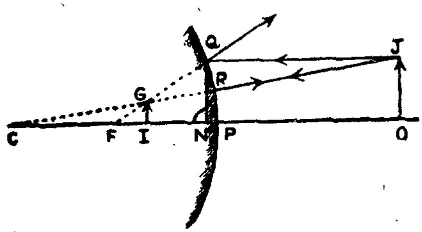
$$uf + vf = uv$$

uvf-ஆல் இருபக்கமும் வகுக்க,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

நிகழ்வு 3 : படம் 4. 7 (c) குவியாடி தோற்றுவிக்கும் மாயப் பிம்பம்

இதனில் u நேர்க்குறியும், v-ம் f-ம் எதிர்க்குறியும் பெறுகின்றன.



படம் 4. 7 (c)

குவியாடியில் மாயப் பிம்பம்

படம் 4-7 (c)-ல் $CO = CP + PO$

$$= (-2f) + u = u - 2f$$

$$IC = PC - IP = -2f - (-v)$$

$$= v - 2f$$

$$PF = -f$$

மற்றும் $IF = PF - IP = -f - (-v) = v - f$

எனவே சமன்பாடு (A)—லிருந்து

$$\frac{u - 2f}{v - 2f} = \frac{-f}{v - f}$$

அல்லது $-vf + 2f^2 = uv - uf - 2vf + 2f^2$

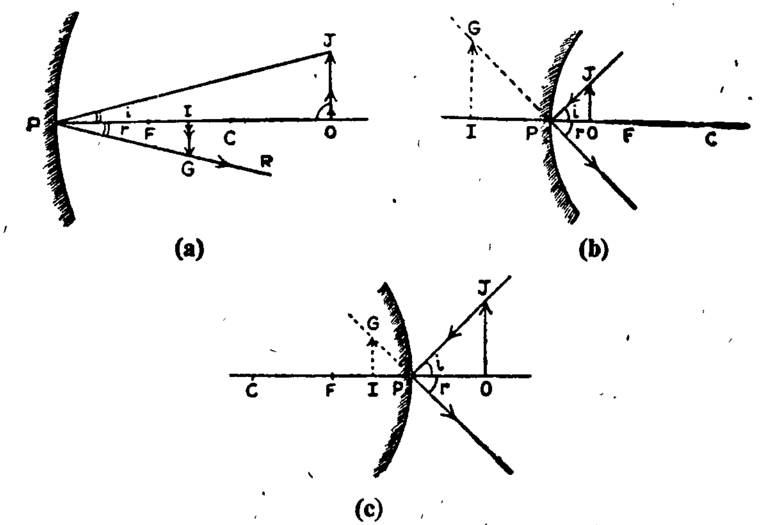
அல்லது $uf + vf = uv$

இரண்டு பக்கத்திலும் uvf-ஆல் வகுக்க,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

4. 2. 6 உருப்பெருக்கம்

பிம்பத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுக்கும் (உயரம் அல்லது அகலம்) பொருளின் ஒத்த அளவுக்கும் உள்ள விகிதம் பிம்பத்தின் **உருப்பெருக்கம்** ஆகும்.



படம் *4.8*

உருப்பெருக்கம் காணல்

பொருள் OJ என்க ; அதன் பிம்பம் IG என்க. பொருளின் உச்சி J-லிருந்து புறப்பட்ட கதிர் P-ல் பிரதிபலிக்கப்பட்டு, பிம்பத்தில் ஒரு புள்ளி G வழியாகச் செல்கிறது ; அல்லது G வழி யாகச் செல்வதாகத் தோன்றுகிறது. நேர்கோடு OP, ஆடி மையம் P-ல் ஆடிக்குக் குத்தாக உள்ளதால்

$$\angle IPG = \angle OPJ \quad (\because \text{படுகோணம்} = \text{பிரதிபலிப்பு கோணம்})$$

ஆனால்

$$\angle PIG = \angle POJ = 90^\circ$$

எனவே

$\therefore$ Δ IPG-யும் Δ OPJ-யும் வடிவொத்த முக்கோணங்கள்.

$$\therefore \frac{IG}{OJ} = \frac{PI}{PO} = \frac{v}{u}$$

உருப்பெருக்கத்தை 'm' எனக்கொண்டால்,

$$m = \frac{\text{பிம்பத்தின் உயரம்}}{\text{பொருளின் உயரம்}} = \frac{IG}{OJ} = \frac{v}{u}$$

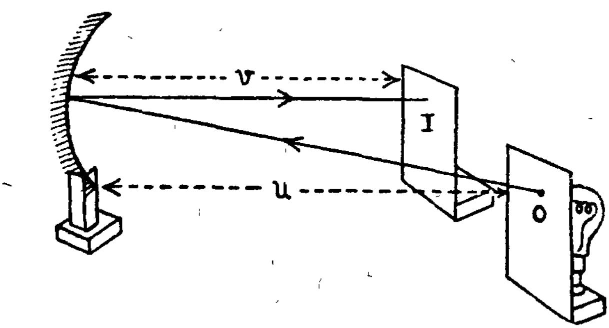
$$\therefore \text{ உருப்பெருக்கம் } = \frac{\text{ஆடியிலிருந்து பிம்பத்தின் தொலைவு}}{\text{ஆடியிலிருந்து பொருளின் தொலைவு}}$$

4. 2. 7 குழியாடியின் குவியத் தொலைவை நிர்ணயித்தல்

(a) தொலைவுப் பொருள் முறை :

செங்குத்தான ஒரு தாங்கியில் குழியாடியைப் பொருத்தி, அது தொலைவிலுள்ள பொருளை நோக்கும்படி அமைக்க. பிரதி பலிக்கப்படும் ஒளி திரையின் மீது விழுமாறு ஒரு திரையையும் நிறுத்துக. திரைமீது விழும் பிம்பம் தெளிவாகவும் கூர்மையாகவும் தெரியும்வரை அதனின்று ஆடிக்கு உள்ள தொலைவைச் சீரமைக்க இந்த நிலைமையில் ஆடிக்கும் திரைக்கும் உள்ள தொலைவு ஆடியின் குவியத் தொலைவு ஆகும்.

(b) u - v முறை :



படம் 4. 9

u - v முறை

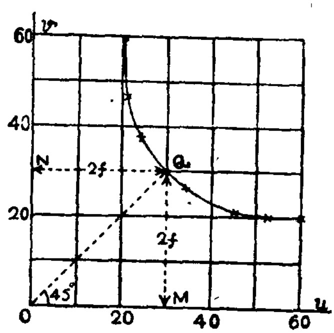
மின்விளக்கால் ஒளியூட்டப்படும் வட்டமான கம்பிவலை ஒன்று பொருளாகப் பயன்படுகிறது. படம் 4-9-ல் காண்பது போல குழியாடியின் முன்புறத்தில் கம்பிவலையும், ஒரு திரையும் அமைக்கப் படுகின்றன. கம்பிவலையின் மையமும் ஆடிமையமும் மேசை யிலிருந்து சம உயரத்திலிருக்குமாறு அமைய வேண்டும். ஒளி மூலத் தின் (கம்பி வலையின்) பிம்பம் தெளிவாகவும் கூர்மையாகவும் புலப்படுமாறு ஆடியிலிருந்து திரையின் தொலைவு சீரமைக்கப்பட

வேண்டும். ஆடிக்கும் கம்பி வலைக்கும் உள்ள தொலைவு u-ம் ஆடிக்கும் திரைக்கும் உள்ள தொலைவு v-ம் அளக்கப்பட்டு அட்டவணைப் படுத்தப்படுகின்றன. தற்பொழுது $f = \frac{uv}{u+v}$. என்ற வாய்பாட்டைப் பயன்படுத்தி ஆடியின் குவியத் தொலைவைக் கணக்கிடலாம்.

அட்டவணை :

வரிசை எண்.	u	v	$f = \frac{uv}{u+v}$

u-v அளவுகளை வரைதாளில் குறித்து வரைபடம் வரையலாம். இதற்கு X-ஆயத்தில் u-ம், Y-ஆயத்தில் v-ம் பதியப் படுகின்றன. இரண்டு ஆயங்களிலும் சமமான அளவுத் திட்டம்



படம் 4. 10

u-v வரைபடம்

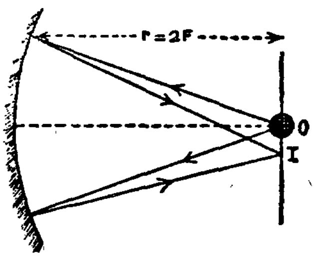
கொள்ள வேண்டும்; மற்றும் இரண்டு ஆயங்களுக்கும் பொதுவான ஒரு மதிப்பு ஆயத் தொடக்கப் புள்ளியில் குறிக்கப்பட வேண்டும். $\angle XOY$-ன் இரு சமவெட்டியை வரைக ; இது வரைபடத்தை Q

என்ற புள்ளியில் வெட்டும். வரைபடத்தில் புள்ளி Q-க்கான u-v மதிப்புகளைக் காணில் இவை சமமாயிருப்பது தெரியும். குழியாடியில் $u = v = r = 2f$ என்றிருந்தால்தான் மேற்கண்டவாறு புள்ளி Q-ன் மதிப்புகள் பெறப்படும். எனவே வரைபடத்தில் OM அல்லது ON என்ற தொலைவு வளைவு ஆரத்திற்குச் சமமாகும். ஆகையால்

$$f = \frac{r}{2} = \frac{OM}{2} = \frac{ON}{2}$$

(c) நேர்குத்து எதிரொளிப்பு முறை

ஒளியூட்டப்பட்ட கம்பி வலையின் முன்னால் ஒரு தாங்கியில் குழியாடி பொருத்தப்படுகிறது. பொருளுக்கு மிக அருகே அதன் பிம்பம் தெளிவாகவும் கூர்மையாகவும் பெறப்படும் வகையில் கம்பி வலையிலிருந்து ஆடிக்கு உள்ள தொலைவு சீரமைக்கப்படுகிறது. பொருளும் பிம்பமும் ஏறத்தாழச் சம அளவுகளுடையன



படம் 4. 11

நேர்குத்து எதிரொளிப்பு முறை

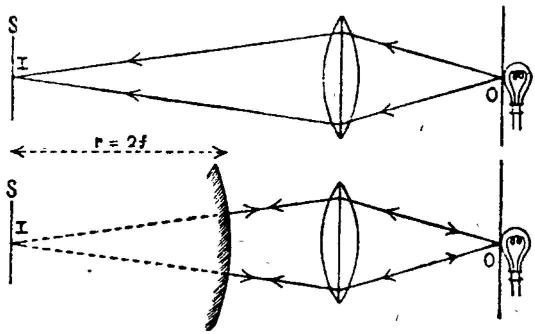
வாகத் தெரியும். ஆடிமையத்திற்கும் கம்பி வலைக்கும் உள்ள தொலைவு ஆடியின் வளைவு ஆரம் 'r'க்குச் சமமாகும். எனவே குழியாடியின் குவியத் தொலைவு அதன் வளைவு ஆரத்தில் பாதியாகும்.

$$\therefore f = \frac{r}{2}$$

4. 2. 8 குவியாடியின் குவியத் தொலைவை நிர்ணயித்தல்

ஒளியூட்டப்பெற்ற வட்டமான கம்பிவலை பொருளாகப் பயன்படுகிறது. இதனுடைய பிம்பத்தை (*I*) ஒரு குவிலென்சு (*L*) திரை (*S*) மீது வீழ்த்துகிறது. பிம்பம் தெளிவாக இருக்குமாறு திரையின் இடம் சீரமைக்கப்படுகிறது.

குவியத் தொலைவு நிர்ணயிக்கப்பட வேண்டிய குவி ஆடியை லென்சு L-க்கும் திரை S-க்கும் இடையே புகுத்துக. குவியாடியின் முகம் லென்சு L-ஐ நோக்க வேண்டும். கம்பிவலைக்கு அருகில் அதன் பிம்பம் தெளிவாகத் தெரியும்வரை ஆடியை முன்னும் பின்னுமாக நகர்த்திச் சீரமைக்க. ஒளிக்கதிர்களின் பாதைகள் படம் 4-12-ல் காண்பது போல் அமைகின்றன.



படம் 4. 12

குவியாடியின் குவியத்தொலைவு காணல்

ஆடியின்மீது கதிர்கள் நேர்குத்தாக விழுந்தால்தான் இவ்வாறு பெறப்படும் என்று விளங்குகிறதல்லவா ? எனவே I-ஆனது ஆடியின் வளைவுமையம் ஆகும். எனவே ஆடிமையத்திலிருந்து திரைக்கு உள்ள தொலைவு ஆடியின் வளைவு ஆரம் எனப் பெறப்படுகிறது. இந்த மதிப்பில் பாதி ஆடியின் குவியத் தொலைவு ஆகும்.

பயிற்சி 4. 2

1. கோளவியல் ஆடி என்பது என்ன ?
2. வரையறுக்க : கோளவியல் ஆடியின் (1) ஆடி மையம் (2) வளைவு மையம் (3) வளைவு ஆரம் (4) முதன்மை அச்சு (5) முதன்மைக் குவியம் (6) குவியத் தொலைவு.
3. குழியாடி மெய்ப்பிம்பங்களைத் தோற்றுவிப்பதைப் படம் வரைந்து விளக்குக.
4. (1) குழியாடி மாயப் பிம்பம் தோற்றுவிப்பதைப் படம் வரைந்து விளக்குக.

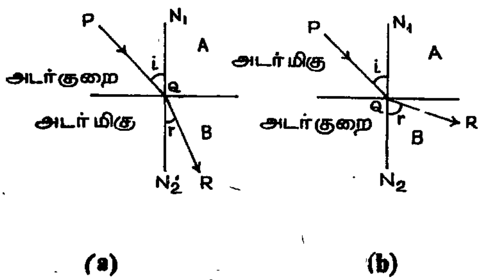
   (2) குவியாடி மாயப் பிம்பம் தோற்றுவிப்பதைப் படம் வரைந்து விளக்குக.

5. குழியாடியின் குவியத் தொலைவைத் தோராயமாக நிர்ணயிக்க ஒரு செய்முறை எழுதுக.
6. குழியாடியின் குவியத் தொலைவைத் துல்லியமாக நிர்ணயிக்க ஒரு செய்முறை எழுதுக.
7. கோளவியல் ஆடி தோற்றுவிக்கும் பிம்பத்தை இடஞ்சுட்டுவதற்குத் தேவையான இரண்டு கதிர்கள் எவை ?
8. மெய்ப்பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கும் குழியாடியின் ***u, v, f*** இவற்றிடையே உள்ள தொடர்பைத் தருவிக்க.
9. மாயப் பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கும் குழியாடியின் ***u, v, f*** இடையே உள்ள தொடர்பைத் தருவிக்க.
10. சமதள ஆடியையும் குழியாடியையும் இனம் பிரித்துக் காண்பது எப்படி ?
11. குழியாடியையும் குவியாடியையும் இனம்பிரித்துக் காண்பது எப்படி ?
12. முகச்சவரம் செய்துகொள்ளப் பயன்படும் ஆடியை முகத்திலிருந்து என்ன தொலைவில் வைத்தால் முகம் பெரியதாகத் தெரியும் ?

4. 3. ஒளி விலகல்

4. 3. 1 சமதள ஒளி விலகல்

ஒளிபுகு ஊடகம் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றிற்கு ஒளி செல்கையில் அதன் பாதை திசைமாறுகிறது. இதனை ஒளி விலகல் என்பர்.



படம் 4. 13
சமதளத்தில் ஒளி விலகல்

முதல் ஊடகத்தில் செல்லும் கதிர் **படுகதிர்** என்றும் இரண்டாவது ஊடகத்தில் செல்லும் கதிர் **விலகு கதிர்** என்றும் அழைக்கப்படும்.

படு புள்ளியில் பிரிதளத்தின் குத்துக்கோட்டிற்கும் படுகதிருக்கும் இடையே உள்ள கோணம் **படுகோணம்** எனப்படும். அதே குத்துக்கோட்டிற்கும் விலகு கதிருக்கும் இடையே உள்ள கோணம் **விலகு கோணம்** எனப்படும்.

ஊடகம் *A*-யிலிருந்து ஊடகம் *B*-க்குச் செல்லும் கதிர்கள் விலகலுக்குப் பின் குத்துக்கோட்டின் புறமாகத் திசைமாறினால்— அதாவது விலகுகோணம் படுகோணத்தைவிடச் சிறியதானால்— *B* ஆனது *A*-யைவிட ஒளியியலான அடர்மிகு ஊடகம் எனப்படும் (படம் 4.13 *a*). ஆனால் விலகு கோணம் படுகோணத்தைவிடப் பெரியதானால் (படம் 4-13 *b*) *B* ஆனது *A*-யைவிட அடர்குறை ஊடகம் எனப்படும்.

4. 3. 2 ஒளிவிலகின் விதிகள்

1. படுகதிர், விலகு கதிர் மற்றும் படுபுள்ளியில் பிரிதளத்திற்குக் குத்துக்கோடு ஆகிய மூன்றும் ஒரு சமதளத்தில் அமைகின்றன.

2. குறிப்பிட்ட இரண்டு ஊடகங்களையும் ஒளியின் குறிப்பிட்ட வண்ணத்தையும் பொருத்தவரை படுகோணத்தின் சைனுக்கும் விலகு கோணத்தின் சைனுக்கும் உள்ள விகிதம் ஒரு மாறிலியாகும். [இதனையே **ஸ்னெல் விதி** என்பர்.]

இந்த இரண்டாவது விதியைச் சுருக்கமாக

$$\frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r} = \mu$$

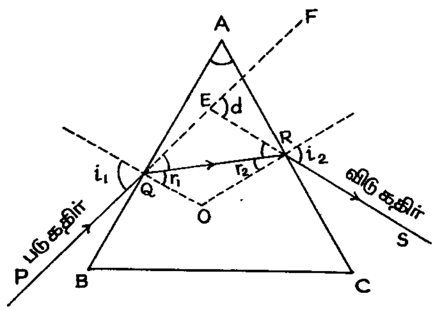
என்று எழுதலாம். இங்கு μ ஒரு மாறிலி. குறிப்பிட்ட வண்ணத்தைப் பொருத்தவரை குறிப்பிட்ட இரு ஊடகங்களுக்கு μ என்பது மாறிலியாகும். முதல் ஊடகத்தைச் சார்ந்து இரண்டாவது ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் என்று இந்த மாறிலி அழைக்கப்படுகிறது.

ஒரு ஒளிக்கதிர் காற்றிலிருந்து (அல்லது வெற்றிடத்திலிருந்து) இரண்டாவது ஊடகத்தினுள் புகுமாயின் $\frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன் } r}$ என்பது இரண்டாவது ஊடகத்தின் ஒளி விலகல் எண் ஆகும்.

படுகதிரானது பிரிதளத்திற்குக் குத்தாக இருந்தால் படுகோணம் (i) சுழியாகும். எனவே சைன் $i = \mu$ சைன் r என்பதிலிருந்து விலகு கோணம் r-ம் சுழியெனப் பெறப்படும். இந்த நிகழ்வில் ஒளிக்கதிர் பாதை விலகாமல் செல்லும்.

4. 3. 3 முப்பட்டகத்தினூடே ஒளிவிலகல்

ஒன்றுக்கொன்று சாய்ந்துள்ள இரண்டு சமதளங்களுக்கு இடையேயுள்ள ஊடகப் பகுதி முப்பட்டகம் எனப்படும். இரண்டு சமதளங்களும் தங்களுக்கிடையே ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்தை (A) உள்ளடக்கியவை. மேற்சொன்ன இரண்டு சமதளங்களும் விலக்கு முகங்கள் என்றும் அவை சந்திக்கும் நேர்கோடு முப்பட்டக விளிம்பு என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. விலக்கு முகங்களுக்கிடையே உள்ள கோணம் விலக்கு கோணம் எனப்படும். முப்பட்டகத்தின் விளிம்பிற்கு எதிராக உள்ள தளம் (BC) முப்பட்டகத்தின் அடிப் பக்கம் எனப் பெயர் பெறும். முப்பட்டகத்தின் முகங்களுக்குக் குத்தாக உள்ள ஒரு குறுக்குவெட்டுப் பரப்பு முக்கோண வடிவத்தில் உள்ளதைக் கவனிக்க. இது முப்பட்டகத்தின் முதன்மை வெட்டுப் பரப்பு எனப்படும்.



படம் 4. 14
முப்பட்டகத்தில் ஒளி விலகல்

படம் 4.14-ல் ABC என்பது முப்பட்டகத்தின் முதன்மை வெட்டுப் பரப்பு ஆகும். கோணம் A முப்பட்டகத்தின் விலக்கு கோணம் ஆகும். ஒளிக்கதிர் PQ முப்பட்டகத்தின் முகம் AB-ன் மீதுள்ள புள்ளி Q-ல் படட்டும் ; படுகோணம் i_1 ஆகிறது. படு கதிர் PQ ஆகும். முப்பட்டகத்தினுள் புகும் ஒளிக்கதிர் அடர்குறை ஊடகமான காற்றிலிருந்து அடர்மிகு ஊடகமான கண்ணாடிக்குள் செல்கிறது. எனவே அது Q-ல் உள்ள குத்துக்கோட்டினை நெருங்கு கிறது. முப்பட்டகத்தினுள் கதிரின் பாதை QR ஆகும். ஒளிக்கதிர் R-ல் மீண்டும் விலகல் அடைந்து காற்றில் செல்கிறது. இங்கு அது மீண்டும் முப்பட்டகத்தின் அடிப்பக்கத்தை நோக்கித் திசை மாறு கிறது. (ஏன் ?) RS என்பது விடுகதிர் ஆகும்.

Q-ல் படுகோணமும் விலகு கோணமும் முறையே i_1, r_1 என்க ; *R*-ல் படுகோணமும் விலகு கோணமும் முறையே r_2, i_2 என்க. முப்பட்டகத்தின் கோணம் *A* ஆகட்டும்.

படுகதிர் *PQ*-க்கும் விடுகதிர் *RS*-க்கும் இடையேயுள்ள கோணம், படம் 4-14-ல் $\angle FES$ **திசைமாற்றக் கோணம்** என்று வழங்கப்படும்.

Δ *QER*-ல் வெளிக்கோணம்

$$\angle FES = d = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2)$$
$$= (i_1 + i_2) - (r_1 + r_2)$$

நாற்கரம் *AQOR*-ல் *Q* மற்றும் *R*-ல் உள்ளவை செங்கோணங்கள் ஆகும். எனவே

$$A + \angle QOR = 180°$$

ஆனால் Δ *QOR*-ல், $r_1 + r_2 + \angle QOR = 180°$

$$\therefore \quad r_1 + r_2 = A$$
$$\therefore \quad d = i_1 + i_2 - A$$
அல்லது $A + d = i_1 + i_2$

அல்லது, (முப்பட்டகத்தின் கோணம் + திசைமாற்றக் கோணம்)
= (படுகோணம் + விடுகோணம்)

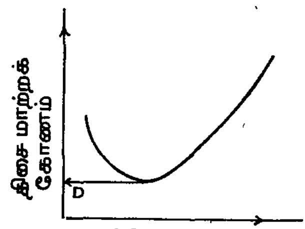
4. 3. 4 ஒளிவிலகல் எண்ணுக்கான கோவை

திசைமாற்றக் கோணம் *d*-ன் மதிப்பு ஆனது (1) படுகோணம் (2) முப்பட்டகத்தின் கோணம் (3) முப்பட்டகத்தைச் சூழ்ந்த ஊடகத்தைப் பொருத்து முப்பட்டகப் பொருளின் ஒளி விலகல் எண் மற்றும் (4) படுகின்ற ஒளியின் அலைநீளம் ஆகியவற்றைச் சார்ந்து அமைகிறது.

குறிப்பிட்ட முப்பட்டகத்தின் வழியே, குறிப்பிட்ட அலை நீளமுடைய ஒளி பாயும்பொழுது, திசைமாற்றக் கோணமானது படுகோணம் *i*-ஐ மட்டுமே சார்ந்திருக்கும்.

படுகோணம் *i* சீராக அதிகரிக்கும்பொழுது திசை மாற்றக் கோணம் சீராகக் குறைந்து ஒரு சிறும மதிப்பைப் பெறுகிறது ; பின்னர் அதுவும் அதிகரிக்கிறது. *D* என்பது சிறுமத் திசைமாற்றக் கோணம் எனப்படும். சிறுமத்திசை மாற்றக் கோணத்தைத் தருவது ஒரேயொரு குறிப்பிட்ட படுகோணந்தான். இதனை ப்படம் 4-15-ல் உள்ள வரைபடத்திலிருந்து அறியலாம்.

சிறுமத் திசைமாற்றம் நிகழ்கின்றபொழுது முப்பட்டகத்தினுள் ஒளியின் பாதை அதன் இரு முகங்களுக்கும் சம அளவில் சாய்ந்திருக்கும் என்று கண்டுகொள்வது எளிது. இந்தச் சிறுமத் திசை மாற்ற நிலையில் $i_1 = i_2$; மற்றும் $r_1 = r_2$. எனவே *QR* ஆனது முப்பட்டகத்தின் அடிப்பக்கம் *BC*-க்கு இணையாக உள்ளது. [ஒளிக் கதிர் *SR*-க்குக் குத்தாக ஒரு சமதள ஆடியை வைத்தால் அக்கதிர்



படம் 4. 15

i-d வரைபடம்

SR என்ற திசையில் பிரதிபலிக்கப்படும். பின்னர் அது *SRQP* என்ற பாதையில் சென்றுவிடும் என்பது தெளிவு. எனவே படு கோணம் i_2 ஆகும்பொழுதும் சிறுமத்திசை மாற்றம் நிகழ்கிறது.]

சிறுமத் திசைமாற்ற நிலைமையில் $i_1 = i_2 = i$

மற்றும் $r_1 = r_2 = r$

மேலும் $2r = A$ அல்லது $r = A/2$

மற்றும் $2i = A + D$ அல்லது $i = (A + D)/2$. ஆகையால்

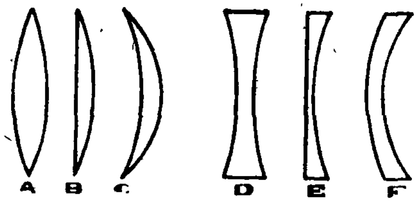
$$\mu = \frac{\text{சைன் } i}{\text{சைன } r}$$

$$= \frac{\text{சைன் } \frac{(A+D)}{2}}{\text{சைன் } \frac{A}{2}}$$

4. 3. 5 லென்சுகள்

இரண்டு வளைதளங்களினுள்ளே அடங்கிய ஒளிபுகு ஊடகம் லென்சு எனப்படும். இந்த வளைதளங்கள் கோளங்களின் பகுதிகளாயின் கோளவியல் லென்சுகள் கிடைக்கின்றன. கோளவியல் லென்சுகளில் பலவகைகளுண்டு ; அவை படம் 4-16-ல் காணப் படுகின்றன. இவற்றை இரண்டு முக்கிய வகைகளாகப் பிரிக்கலாம்; (1) நடுப்பகுதியில் தடித்தும் விளிம்பருகில் மெல்லியதாகவும் உள்ள

லென்சுகள். இவை கான்வெக்சு லென்சுகள் அல்லது **குவிலென்சுகள்** எனப்படும். (2) நடுப்பகுதியில் மெல்லியதாகவும் விளிம்பருகில் தடித்தும் உள்ள லென்சுகள். இவை கான்கேவ் லென்சுகள் அல்லது **குழிலென்சுகள்** எனப்படும்.

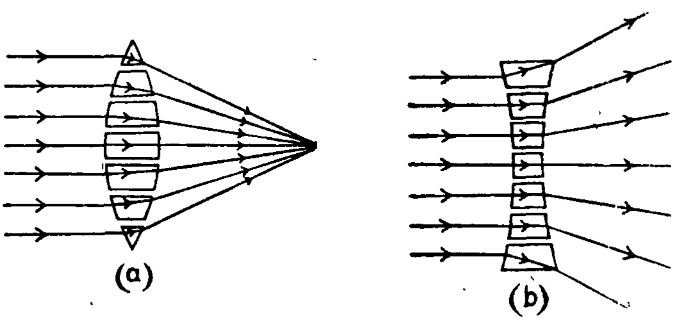


படம் 4. 16

லென்சு வகைகள்

லென்சை உருவாக்கும் இரண்டு கோளப் பரப்புகளின் வளைவு மையங்களை இணைக்கும் நேர்கோடு லென்சினுடைய **முதன்மை அச்சு** ஆகும்.

முனை முறிந்த பல முப்பட்டகங்கள் வரிசையாக ஒன்றோடொன்று நெருங்கி அமைந்த வடிவமாக ஒரு லென்சைக்கருதினால் அந்த லென்சு வேலை செய்யும் முறை எளிதில் விளங்கும். படம்



படம் 4. 17

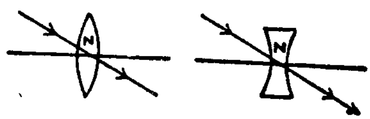
குவிலென்சில் விலகல் **குழிலென்சில் விலகல்**

4-17 காண்க. அடர்குறை ஊடகத்திலிருந்து ஒரு முப்பட்டகத்தினுள் பாயும் ஒளி விலகலடைந்த பின் எப்பொழுதும் முப்பட்டகத்தின் அடிப்பக்கத்தை நோக்கித் (அதாவது அதன் தடித்த பக்கத்தை நோக்கித்) திசை திரும்புவதை அறிந்திருக்கிறோம்.

ஆகையால் ஒரு பொருளிலிருந்து புறப்படும் ஒளிக்கதிர்கள் ஒரு குவிலென்சால் விலகலடையும்பொழுது அதனுடைய அச்சினை நோக்கித் திசைமாறி ஒரு புள்ளியில் குவிகின்றன ; அவைகளே குழிலென்சால் விலகலடையும்பொழுது அதனுடைய அச்சிலிருந்து விலகிச் சென்று விரிகின்றன. எனவேதான் குவிலென்சு ஒளிக் கற்றைகளைக் குவிக்கின்றது ; குழிலென்சு ஒளிக்கற்றைகளை விரிக்கின்றது.

4. 3. 6 ஒளியியல் மையம்

லென்சின் ஒரு பக்கத்தில் அதன் மீது விழும் கதிர் படு திசைக்கு இணையான திசையில் லென்சை விட்டு வெளியேறுமானல், லென்சுக்குள் அதன் பாதை முதன்மை அச்சை ஒரு குறிப் பிட்ட புள்ளியில் வெட்டும் ; இப்புள்ளி லென்சின் **ஒளியியல் மையம்** எனப்படும் (படம் 4-18).



படம் 4. 18

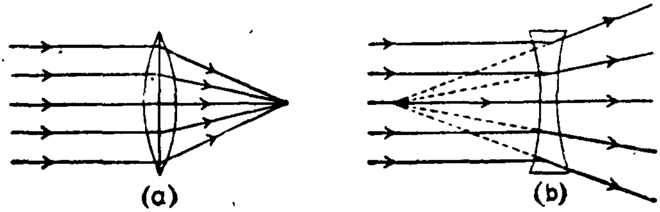
ஒளியியல் மையம்

லென்சு மெல்லியதாயின் இணையாகவுள்ள படுகதிருக்கும் விடு கதிருக்குமான இடைவெளி மிகவும் குறைவாக, புறக்கணிக்கத்தக்கதாயிருக்கும். அதனுல் ஒளியியல் மையம் வழியாகச் செல்லும் கதிர் விலகலடையாமல் செல்வதாகக் கொள்ளலாம். இந்தப் பாடத்தில் மெல்லிய லென்சுகளைப் பற்றி மட்டுமே விளக்கப்படும். ஆக, மெல்லிய லென்சின் சமச்சீர் மையத்தையே அதனுடைய ஒளியியல் மையமாகக் கொள்ளலாம்.

முதன்மைக் குவியம்

மெல்லிய கற்றையான இணைகதிர்கள் லென்சின் அச்சுக்கு இணையாகவும் நெருக்கமாகவும் சென்று, குவிலென்சை ஊடுருவிய பின் அச்சின்மீது ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் சந்திக்கின்றன. அவையே குழிலென்சை ஊடுருவிஞல், அச்சின்மீதுள்ள ஒரு குறிப் பிட்ட புள்ளியிலிருந்து விரிந்து வருவதாகத் தெரிகின்றன ; இந்தப் புள்ளியே லென்சின் **முதன்மைக் குவியம்** ஆகும் (படம் 4-19). லென்சின் ஒளியியல் மையத்திலிருந்து அதன் முதன்மைக் குவியத்திற்கு உள்ள தொலைவு லென்சின் **குவியத் தொலைவு** ஆகும்.

ஒவ்வொரு லென்சுக்கும் அதன் பக்கத்திற்கொன்றாக இரண்டு முதன்மைக் குவியங்கள் உண்டு ; ஏனெனில் லென்சின் எந்த ஒரு பக்கத்திலிருந்தும் ஒளி அதன் மீது விழுந்து அதன் வழியாகச் செல்லலாம்.



குவிலென்சின் முதன்மைக் குவியம் *படம் 4.19* **குழிலென்சின் முதன்மைக் குவியம்**

4. 3. 7 லென்சு பிம்பங்களைத் தோற்றுவிக்கும் வகைமுறை—வரைபட முறை

வரைபட முறையில் ஒரு பிம்பத்தை இடஞ்சுட்டுவதற்கு லென்சு வழியாக ஊடுருவும் ஒளிக்கதிர்களின் பண்புகள் சில வற்றைப் பயன்படுத்தலாம். அவையாவன :

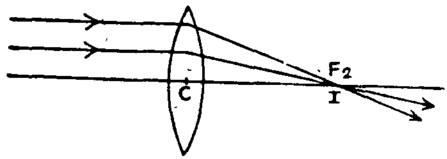
(1) பொருளிலிருந்து புறப்படும் ஒளிக்கதிர், லென்சின் முதன்மை அச்சுக்கு இணையாகச் சென்றால், லென்சைக் கடந்தபின் அது குவிலென்சின் முதன்மைக் குவியம் வழியே செல்லும் ; அல்லது குழிலென்சின் முதன்மைக் குவியத்திலிருந்து விரிவதாகத் தோன்றும்.

(2) மெல்லிய லென்சின் ஒளியியல் மையம் வழியாகச் செல்லும் ஒளிக்கதிர் திசைமாறாமல் லென்சிலிருந்து வெளியேறும்.

(3) லென்சின் முதன்மைக் குவியம் வழியாகச் செல்லும் (அல்லது செல்வதாகத் தோன்றும்) ஒளிக்கதிர், லென்சைக் கடந்தபின் லென்சின் முதன்மை அச்சுக்கு இணையாகச் செல்லும்.

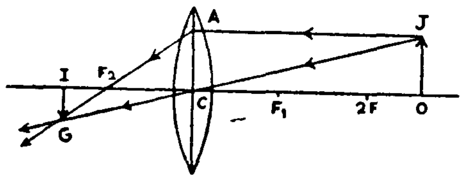
பொதுவில், முதலிரண்டு கதிர்களை மட்டும் பயன்படுத்தி, பிம்பத்தை இடஞ்சுட்ட இயலும்.

லென்சின் முதன்மை அச்சின் மீது வெவ்வேறு புள்ளிகளில் பொருள் இருக்கும்பொழுது அதன் பிம்பங்கள் தோன்றும் முறைகளைப் பின்வரும் படங்கள் (4-20) விளக்குகின்றன. வரைபடங்களிலிருந்து பெறப்படும் முடிவுகள் அடுத்துள்ள அட்டவணையில் குறிக்கப்பட்டுள்ளன.



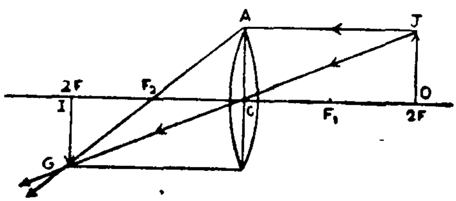
படம் 4. 20 (a)

பொருள் ஈறிலாத் தொலைவில்



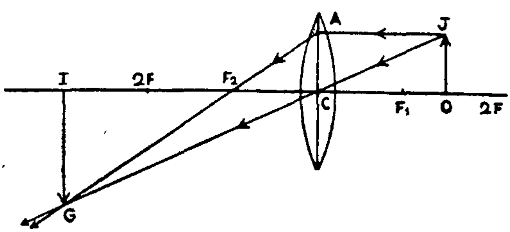
படம் 4. 20 (b)

பொருள் 2F-க்கு அப்பால்



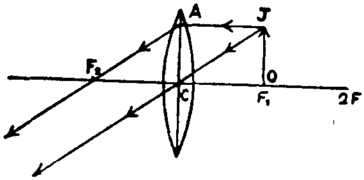
படம் 4. 20 (c)

பொருள் 2F-ல்



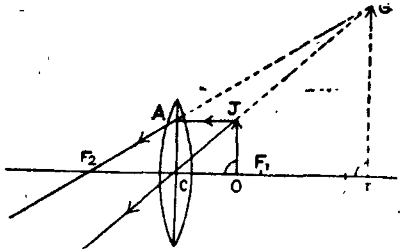
படம் 4. 20 (d)

பொருள் F-க்கும் 2F-க்கும் இடையே



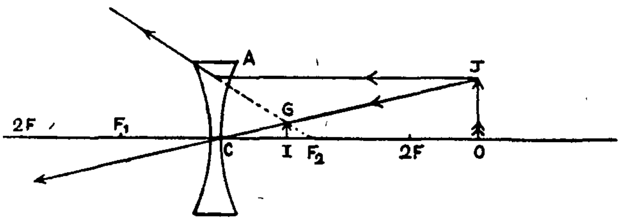
படம் 4.20 (e)

பொருள் F-ல்



படம் 4.20 (f)

பொருள் F-க்கும் C-க்கும் இடையே



படம் 4. 20 (g)

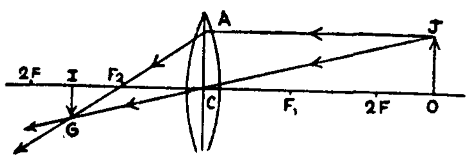
குழிலென்சு தோற்றுவிக்கும் பிம்பம்

4. 3. 8 u, v மற்றும் f-க்கு இடையே உள்ள தொடர்பு

பின்கண்ட **மரபு விதி**கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

(1) பொருளினுடையவும், பிம்பத்தினுடையவுமான தொலைவுகள் லென்சின் ஒளியியல் மையத்திலிருந்து அளக்கப்படுகின்றன.

(2) மெய்யான பொருள், மெய்ப் பிம்பம் இவற்றின் தொலைவுகள் நேர்க்குறி உடையன. மாயப்பொருள், மாயப் பிம்பம் இவற்றின் தொலைவுகள் எதிர்க்குறி உடையன.



படம் 4. 21 (a)

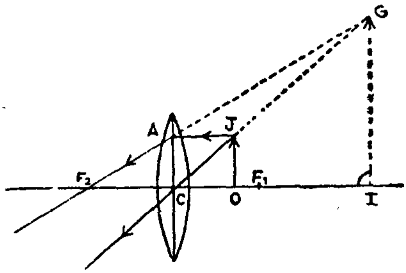
குவிலென்சு தோற்றுவிக்கும் மாயப் பிம்பம்

(3) குவிலென்சின் குவியத் தொலைவு நேர்க்குறி உடையது ; குழிலென்சின் குவியத் தொலைவு எதிர்க்குறி உடையது.

அட்டவணை

லென்சின் வகை	பொருளின் இடம்	பிம்பத்தின் இடம்	பிம்பத்தின் இயல்பு	பிம்பத்தின் அளவு	படம் எண்
குவி லென்சு	ஈறிலாத் தொலைவு	F_2-ல் (லென்சின் மறு புறத்தில்)	மெய் ; தலைகீழானது	புள்ளியில்	4.20 a
,,	2F-க்கு அப்பால் குறிப்பிட்ட தொலைவில்	F_2-க்கும் 2F-க்கும் இடையே (லென்சின் மறு புறத்தில்)	,,	சுருங்கியது	4.20 b
,,	2F-ல்	2F-ல் (லென்சின் மறு புறத்தில்)	,,	பொருளின் அளவே	4.20 c
,,	F_1-க்கும் 2F_1-க்கும் இடையே	2F-க்கு அப்பால் (லென்சின் மறு புறத்தில்)	,,	உருப் பெருக்க முடையது	4.20 d
,,	F_1-ல்	இணையான கதிர்கள்-பிம்பம்-இல்லை. ஈறிலாத் தொலைவில்	—	—	4.20 e
,,	F_1-க்கும் C-க்கும் இடையே	பொருளிருக்கும் புறத்திலேயே	மாயப் பிம்பம் ; நேரானது	உருப் பெருக்க முடையது ;	4.20 f
குழி லென்சு	எந்தப் புள்ளியிலும் சரி	,,	,,	சுருங்கியது	4.20 g

பொருள் OJ என்றும் பிம்பம் IG என்றும் பெயரிடப்பட்டுள்ளன ; பிம்பத்தின் இடம் வரைபட முறையில் கண்டுபிடிக்கப் படுகிறது (படம் 4-21). லென்சின் ஒளியியல் மையத்திலிருந்து பொருளின் தொலைவு மற்றும் பிம்பத்தின் தொலைவு முறையே



படம் 4. 21 (b)

குவிலென்சு தோற்றுவிக்கும் மாயப் பிம்பம்

u மற்றும் v என்று கொள்க. லென்சின் குவியத் தொலைவு f என்றும், அதனுடைய இரண்டு முதன்மைக் குவியங்கள் F_1, F_2 என்றும் சொல்வோம். பிம்பம் உண்டாகும் மூன்று வகைகளிலும் (படங்கள் 4.21 a, 4.21 b, 4.20 g) ΔJCO-ம் ΔGCI-ம் வடிவொத்த முக்கோணங்கள். எனவே,

$$\frac{OJ}{IG} = \frac{CO}{CI}$$

மேலும் ΔAF_2C-ம் ΔGF_2I-ம் வடிவொத்த முக்கோணங்கள். ஆகையால்

$$\frac{CA}{IG} = \frac{F_2C}{F_2I}$$

ஆனல் நாற்கரம் $CAJO$-ல் $CA = OJ$.

$$\therefore \frac{CO}{CI} = \frac{F_2C}{F_2I} \quad \text{....(A)}$$

நிகழ்வு 1: குவிலென்சு தோற்றுவிக்கும் மெய்ப் பிம்பம் (படம் 4-21 a)

இதனில் u, v மற்றும் f ஆகியன மூன்றுமே நேர்க்குறி உடையன ; எனவே

$$OC = u$$
$$IC = v$$
$$F_2C = f$$
$$F_2I = CI - CF_2 = v - f$$

∴ சமன்பாடு A-ஐப் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\frac{u}{v} = \frac{f}{v-f}$$

அதாவது $uv - fu = vf$

அல்லது $uf + vf = uv$

இரண்டு பக்கத்திலும் uvf-ஆல் வகுக்க,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

நிகழ்வு 2 : குவிலென்சு தோற்றுவிக்கும் மாயப் பிம்பம் *(படம் 4.21 b)*

பொருள் மெய்யானது ; ஆனால் அது மாயப் பிம்பம் தருகிறது. எனவே இதனில் u-ம் f-ம் நேர்க்குறி உடையன ; v மட்டும் எதிர்க்குறி உடையது. ஆதலால்

$$OC = u$$
$$IC = -v$$
$$F_2C = f$$
$$F_2I = CI + CF_2 = -v + f = f - v$$

இவற்றைச் சமன்பாடு A-ல் இட

$$\frac{u}{-v} = \frac{f}{f-v}$$

அதாவது $uf - uv = -vf$

அல்லது $uf + vf = uv$

இரண்டு பக்கத்திலும் uvf-ஆல் வகுக்க,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

நிகழ்வு 3 : குழிலென்சு தோற்றுவிக்கும் மாயப் பிம்பம் *(படம் 4.20 g)*

பொருள் மெய்யானது ; எனவே u நேர்க்குறி பெறும். அது மாயப் பிம்பம் தருவதால், v எதிர்க்குறியுடையது. மேலும் குழி லென்சின் குவியத் தொலைவு f எதிர்க்குறியுடையது.

ஆகையால்,
$$OC = u$$
$$IC = -v$$
$$F_2C = -f$$
$$F_2I = CF_2 - CI = -f - (-v) = v - f$$

இவற்றைச் சமன்பாடு A-ல் இட

$$\frac{u}{-v} = \frac{-f}{v-f}$$

அதாவது $uv - uf = vf$

அல்லது $uf + vf = uv$

இரண்டு பக்கத்திலும் uvf -ஆல் வகுக்க,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

4. 3. 9 உருப்பெருக்கம்

பிம்பத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுக்கும் (உயரம் அல்லது அகலம்) பொருளின் ஒத்த அளவுக்கும் உள்ள விகிதம் பிம்பத்தின் உருப்பெருக்கம் ஆகும். படம் (4-21)-ல் $\frac{IG}{OJ}$ என்ற விகிதம் உருப்பெருக்கத்தைத் தருகிறது.

$$\text{ஆனல்} \quad \frac{IG}{OJ} = \frac{CI}{CO} = \frac{v}{u}$$

எனவே லென்சிலிருந்து பிம்பத்திற்குள்ள தொலைவை லென்சி லிருந்து பொருளுக்கு உள்ள தொலைவால் வகுக்கக் கிடைக்கும் ஈவு அந்த லென்சு தோற்றுவிக்கும் உருப்பெருக்கம் ஆகும்.

4. 3. 10 குவிலென்சின் குவியத் தொலைவை நிர்ணயித்தல்

(a) தொலைவிலுள்ள பொருளின் பிம்பத்தைத் திரைமீது வீழ்த்துதல் முறை

மிகத் தொலைவிலுள்ள உருவில் பெரிய பொருள் (உயரமான கட்டிடம் அல்லது மரம்) ஒன்றின் பிம்பத்தைக் குவிலென்சைப் பயன்படுத்தி ஒரு திரைமீது பெறலாம். லென்சை அசையாமல் வைத்து, திரைமீது பிம்பம் தெளிவாகவும் கூர்மையாகவும் பெறப் படும்வரை அதனை முன்னும் பின்னுமாக நகர்த்த வேண்டும். அப் பொழுது லென்சிலிருந்து திரைக்கு உள்ள தொலைவு லென்சின் குவியத் தொலைவு ஆகும்.

குவிலென்சின் குவியத்தொலைவைக் கண்டுபிடிக்க மேற் சொன்ன செய்முறை மிக எளிதானது ; அத்துடன் குவியத் தொலைவுக்கான விடையும் ஏறத்தாழச் சரியானதாகும்.

(b) u-v முறை

லென்சுகளுக்கான சோதனைகளில் ஒளியியல் அளவுச் சட்டத்தைப் பயன்படுத்துவது நன்மைதரும். சட்டத்தின் நீளவாக்கில் அளவுகோல் ஒன்று பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இதனால் சட்டத்தின் மீது நகரும் தாங்கிகளின் இடங்களை அளந்தறியலாம்.

மின்விளக்கினால் ஒளியூட்டப்பட்ட கம்பிவலை, சோதனையில் பயன்படுத்தப்படும் பொருள் ஆகும். குவிலென்சின் முதன்மை அச்சின் மீது பொருள் இடம்பெற வேண்டும். லென்சின் மறுபுறத்தில் திரை வைக்கப்பட்டு அதன்மீது பிம்பம் பெறப்படுகிறது. பிம்பம் தெளிவாகவும் கூர்மையாகவும் பெறப்படும் வரை திரைக்கும் லென்சுக்குமான தொலைவு சீரமைக்கப்படும்.

லென்சிலிருந்து பொருளின் தொலைவு *u*-ம் லென்சிலிருந்து திரையின் (பிம்பத்தின்) தொலைவு *v*-ம் அளக்கப்படுகின்றன. பல முறை சோதனை செய்யப்பட்டு *u*-ம் *v*-ம் பின்வருமாறுஅட்டவணைப் படுத்தப்படும். லென்சின் குவியத்தொலைவு

$$f = \frac{uv}{u+v}$$

எனக் கணக்கிடப்பட்டு அதன் சராசரி நிர்ணயிக்கப்படுகிறது.

எண்	u	v	$f = \frac{uv}{u+v}$

(c) u-v வரைபடம்

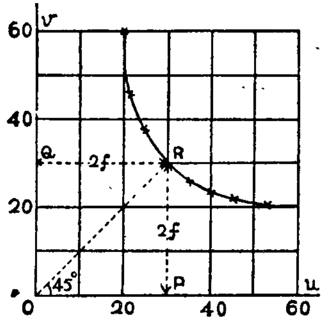
மேலே சொன்ன சோதனையில் கிடைத்த அளவீடுகளைக்கொண்டு வரைபடம் வரையலாம். *X*-ஆயத்தில் *u*-ம் *Y*- ஆயத்தில் *v*-ம் பதியப்படுகின்றன. இரண்டு ஆயங்களிலும் சமமான அளவுத் திட்டம் கொள்ள வேண்டும்; மற்றும் இரண்டு ஆயங்களுக்கும் பொதுவான ஒரு மதிப்பு ஆயத்தொடக்கப் புள்ளியில் குறிக்கப்பட

வேண்டும். கோணம் XOY-ன் இரு சமவெட்டி வரைபடத்தை R-என்ற புள்ளியில் வெட்டட்டும். இப்புள்ளியில் $u = v$; ஆகையால்

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \text{ என்பது}$$

$$\frac{2}{u} = \frac{1}{f} \text{ என ஆகும்.}$$

$$\text{எனவே } f = \frac{u}{2}$$



படம் 4. 22

u - v வரைபடம்

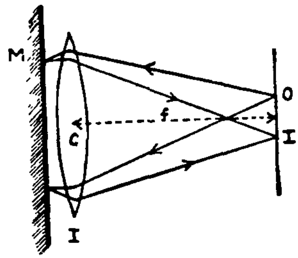
ஆதலால் R-க்குச் சரியான x, y ஆயத் தொலைவுகளான OP மற்றும் OQ அளக்கப்பட்டு அவற்றின் சராசரி கணக்கிடப்படு கிறது. இதனில் பாதி, லென்சின் குவியத்தொலைவு ஆகும்.

(*d*) சமதள ஆடி உதவியால் குவிலென்சின் குவியத்தொலைவை நிர்ணயித்தல்

இந்த முறையைப் படத்திலிருந்து விளங்கிக் கொள்ளலாம். O-விலிருந்து புறப்படும் ஒளிக்கதிர்கள் லென்சு L-வழியாகச் சென்று, சமதள ஆடி M மீது விழுகின்றன. M-ஆனது லென் சின் முதன்மை அச்சுக்குக் குத்தாக வைக்கப்பட்டுள்ளதைக் கவ னிக்க.

லென்சின் அச்சுமீது பொருள் வைக்கப்படுகிறது. பொருளுக்கு அருகிலேயே அதன் பிம்பம் தெளிவாகத் தெரியும்வரை லென்சு முன்னும் பின்னுமாக நகர்த்தப்பட்டு லென்சுக்கும் பொருளுக்கும்

உள்ள தொலைவு சீரமைக்கப்படும். அப்பொழுது சமதள ஆடியைச் சற்றே அசைத்தாலும் போதும், நமக்குத் தேவையான இடத்தில் பிம்பத்தைப் பெறலாம். பிம்பமும் பொருளும் உருவத்தில் சம அளவு உடையன என்பதைக் கவனிக்க.



படம் 4. 23

சமதள ஆடியின் உதவியால்
குவிலென்சின் குவியத் தொலைவு காணல்

லென்சின் வழியாகச் சென்ற ஒளிக்கதிர்கள் முதன்மை அச்சுக்கு இணையாகவுள்ள இணைக்கற்றையைத் தோற்றுவித்தால்தான், அக்கற்றை சமதள ஆடியால் பிரதிபலிக்கப்பட்டு தாங்கள் வந்த வழியே திரும்பும். இப்படி நிகழ, பொருளானது லென்சின் முதன்மைக் குவியத்தில் இடம் பெற்றிருக்க வேண்டும். எனவே லென்சின் மையத்திலிருந்து பொருளுக்கு உள்ள தொலைவு லென்சின் குவியத் தொலைவு ஆகும்.

பயிற்சி 4. 3

1. (அ) அடர்குறை ஊடகத்திலிருந்து அடர்மிகு ஊடகத்திற்குச் செல்லும் ஒளிக் கதிரில் ஏற்படும் மாற்றம் என்ன ?
   (ஆ) அடர்மிகு ஊடகத்திலிருந்து அடர்குறை ஊடகத்திற்குச் செல்லும் ஒளிக்கதிரில் ஏற்படும் மாற்றம் என்ன ?
2. ஒளிவிலகல் விதிகளை எழுதுக.
3. வரையறுக்க : படுகோணம், விலகுகோணம், திசை மாற்றக்கோணம்.
4. வரையறுக்க : 'ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண்'
5. ஒரு முப்பட்டகம் வழியாகச் செல்லும் ஒளிக்கதிரின் பாதையைப் படம் வரைந்து காட்டுக.

6. 'சிறுமத் திசை மாற்றக் கோணம்' - இதனை வரையறுக்க

7. முப்பட்டகத்திற்கு $\mu = \dfrac{\text{சைன்} \frac{A+D}{2}}{\text{சைன்} \frac{A}{2}}$ என்ற தொடர்பைத் தருவிக்க.

8. லென்சு என்பது என்ன ?

9. ஒரு லென்சின் (1) முதன்மை அச்சு (2) ஒளியியல் மையம் (3) முதன்மைக் குவியம் (4) குவியத் தொலைவு இவற்றை வரையறுக்க.

10. ஒரு லென்சு தோற்றுவிக்கும் பிம்பத்தை இடஞ்சுட்டு வதற்குத் தேவையான இரண்டு கதிர்கள் எவை ?

11. குவிலென்சு மெய்ப்பிம்பம் தோற்றுவிப்பதைப் படம் வரைந்து விளக்குக.

12. ஒரு குவிலென்சு அல்லது ஒரு குழிலென்சு மாயப் பிம்பம் தோற்றுவிப்பதைப் படம் வரைந்து விளக்குக.

13. ஒரு லென்சுக்கான தொலைவுகள் பற்றிய விதியைக் கூறுக.

14. குவிலென்சினுடைய குவியத் தொலைவைத் தோராயமாக நிர்ணயிக்க ஒரு செய்முறை எழுதுக.

15. குவிலென்சினுடைய குவியத் தொலைவைத் துல்லியமாக நிர்ணயிக்க ஒரு செய்முறை எழுதுக.

16. மெய்ப்பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கும் குவிலென்சின் u, v, f இவற்றிடையே உள்ள தொடர்பைத் தருவிக்க.

17. மாயப்பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கும் குவிலென்சின் u, v, f இவற்றிடையே உள்ள தொடர்பைத் தருவிக்க.

18. குழிலென்சின் u, v, f இவற்றிடையே உள்ள தொடர்பைத் தருவிக்க.

19. குழிலென்சு மற்றும் குவிலென்சின் பயன்களை எழுதுக.

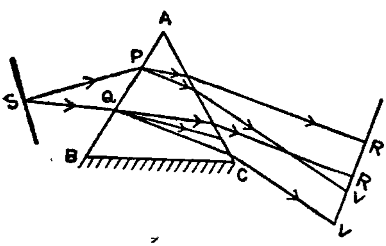
20. குழிலென்சையும் குவிலென்சையும் இனம்பிரித்துக் காண்பது எப்படி ?

21. சமதளக் கண்ணுடிப் பலகையையும் குவிலென்சையும் இனம் பிரித்துக் காண்பதெப்படி ?

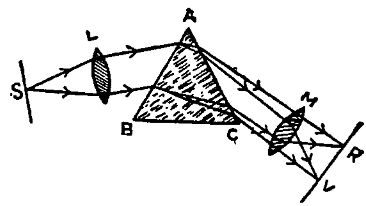
4. 4. ஒளியின் நிறப்பிரிகை

4. 4. 1 முன்னுரை

வெள்ளொளிக் கற்றை ஒரு முப்பட்டகத்தின் மீது விழுவதால், அக்கற்றை தன்னுள் அடங்கிய பல நிறங்களிலும் தனித்தனியே பிரிகிறது. கூட்டு ஒளியினுள் அடங்கிய வண்ணங்கள் தனித் தனியே பிரியும் நிகழ்வு ஒளியின் **நிறப்பிரிகை** என்று வழங்கப்படு கிறது. கூட்டு ஒளியில் அடங்கும் வண்ணங்கள் தனித்தனியே வரிசையாக அமைந்த தொகுதிக்கு **நிறமாலை** என்று பெயர். சூரிய ஒளியின் நிறமாலையை முதன் முதலில் கண்டவர் நியூட்டன். அவர் அந்த நிறமாலையில் ஊதா, கருநீலம், நீலம், பச்சை, மஞ்சள் ஆரஞ்சு மற்றும் சிவப்பு ஆகிய ஏழு வண்ணங்களை இனம்பிரித்துக் கண்டு விளக்கினார். சாதாரணமாக ஒரு முப்பட்டகம் தோற்றுவிக் கும் நிறமாலையில் வண்ணங்கள், ஓரளவுக்கு ஒன்றின்மேலொன்று இணைந்திருக்கும். அத்தகைய நிறமாலை **கலப்பு நிறமாலை** எனப் படும். வண்ணங்கள் தனித்துத் தெளிவாகத் தெரியும் நிறமாலை **தூய நிறமாலை** என்று வழங்கப்படும். தூய நிறமாலையில் வண்ணங் கள் ஒன்றன்மேலொன்று இணையாமல் காணப்படும். முப்பட்டகம் தோற்றுவிக்கும் நிறமாலையில் சிவப்பு நிறக் கதிர்கள் ஊதாநிறக் கதிர்களைவிடக் குறைவாகவே திசைமாறியிருக்கும்.



படம் 4. 24
முப்பட்டகத்தால் தோன்றும் நிறமாலை



படம் 4.25
தூய நிறமாலை தோற்றுவித்தல்

4. 4. 2 தூய நிறமாலையைத் தோற்றுவித்தல்

தூய நிறமாலையைத் தோற்றுவிப்பதற்கான மிகச்சிறந்த அமைப்பு படம் (4-25)-ல் காணப்படுகிறது. ஒரு விளக்கிலிருந்து புறப்படும் ஒளி ஒரு நீண்ட பிளவை வழியாகச் சென்று லென்சு L மீது விழுகிறது. லென்சின் குவியத்தளத்தில் பிளவை அமைவதால், ஒளிக்கற்றையானது லென்சால் விலகல் அடைந்தபின் இணை

கற்றையாக வெளிவருகிறது. இந்த இணைகற்றைக் கதிர்கள் முப்பட்டகத்தின் மீது விழுகின்றன. இக்கதிர்களில் ஏதாவதொன்றைக் கருதுவோம். அதனிலடங்கிய வண்ணங்கள் ஒவ்வொன்றிலும், தனித்தனியே வெவ்வேறு திசை மாற்றங்களை முப்பட்டகம் உண்டாக்குகிறது. படுகதிர்கள் அனைத்தும் இணையாக உள்ளதால், ஏதாவதொரு வண்ணத்திற்கு ஏற்படும் திசைமாற்றம் அதேவண்ண முடைய எல்லாக் கதிர்களுக்கும் சமமானது ; பொதுவானது. ஆனால் வெவ்வேறு வண்ணங்களுக்கு வெவ்வேறு திசை மாற்றம் ஏற்படும். எனவே முப்பட்டகத்தை விட்டு நீங்கிவரும் கதிர்களில் ஒரே வண்ணமுடையவை யாவும் இணையாக இருக்கும். அதாவது, சிவப்புக் கதிர்கள் அனைத்தும் இணையானவை ; ஊதாக் கதிர்கள் அனைத்தும் இணையானவை ; இதுபோலவே பிறவும்.

விடுகதிர்களின் பாதையில் ஒரு குவிலென்சை வைத்தால், எல்லா சிவப்புக் கதிர்களும் ஒரு புள்ளியில் குவியமடையும் ; எல்லா மஞ்சள் கதிர்களும் வேறொரு புள்ளியில் குவியமடையும் ; இது போல் மற்றவண்ணக் கதிர்களும் வெவ்வேறு புள்ளிகளில் குவியமடைகின்றன.

மேலும், முப்பட்டகத்தை அதனுடைய சிறுமத்திசை மாற்ற நிலைமையில் பொருத்துவது மிக்க பயன்தரும். ஏழு வண்ணங்களிலும் மஞ்சள் ஏறத்தாழ நடுவில் இருப்பதால், மஞ்சள் கதிருக்கு சிறுமத் திசைமாற்றம் ஏற்படுத்தும் நிலைமையில் முப்பட்டகம் சாதாரணமாகப் பொருத்தப்படுகிறது. அப்பொழுது மற்ற வண்ணங்களுக்கும் ஏறத்தாழச் சிறுமத் திசை மாற்றத்தை முப்பட்டகம் ஏற்படுத்தும்.

எனவே பின்கண்ட நியதிகள் நிறைவு பெற்றால் தூய நிறமாலை கிடைக்கும்.

(1) ஒளியானது ஒரு மெல்லிய பிளவை வழியாகப் பாய்ந்து முப்பட்டகத்தின் மீது விழவேண்டும்.

(2) முப்பட்டகத்தின்மீது படும் கதிர்கள் இணையானவையாக இருத்தல் வேண்டும்.

(3) முப்பட்டகத்தை விட்டு நீங்கும் ஒளிக்கதிர்களைக் குவிலென்சினால் குவியப்படுத்த வேண்டும்.

4. 4. 3 தொடர் நிறமாலை

நிறமாலையில் உள்ள பல வண்ணங்களும் தனித்தனியே, ஆனால் தங்களிடையே இடைவெளியில்லாமல் தோன்றுமாயின் அந்த நிறமாலை **தொடர் நிறமாலை** என்று சொல்லப்படும். ஒரு திண்மம்,

நீர்மம் அல்லது உயர் அழுத்தமுடைய வாயு ஒளியுமிழ் வெப்ப நிலைக்குச் சூடேற்றப்பட்டால் அது தொடர் நிறமாலையைத் தரும். வெண்சுடர் வெப்பநிலையில் உள்ள பிளாட்டினம், சுண்ணாம்பு, கரி முதலியன தொடர் நிறமாலையைத் தரும். மெழுகுவர்த்திச் சுடரில் உள்ள கரித்துகள்கள் அதிகவெப்பநிலை அடைவதால் அச்சுடரும் தொடர் நிறமாலையைத் தரும்.

தொடர் நிறமாலையில் முதலில் கண்ணுக்குத் தெரிவது ஏழு நிறங்கள் மட்டுமே ; ஆயினும் ஒவ்வொரு வண்ணப்பட்டையையும் கூர்ந்து கவனித்தால் அதனில் வண்ணத்திட்பம் மாறுவதைக் காணலாம். ஒரு வண்ணம் முடியுமிடத்தில் அடுத்தவண்ணம் திடீ ரென்று தோன்றிவிடவில்லை. எடுத்துக்காட்டாக, மஞ்சள்பட்டையின் மையத்திலிருந்து தொடங்கி வண்ணமானது சிறிதுசிறிதாக மாறி, ஆரஞ்சுப் பட்டையின் மையத்தில் ஆரஞ்சு வண்ணமாக உள்ளது. மஞ்சள் பட்டையின் மறுபுறத்தில் அதுபோன்றே பச்சை வண்ணத்திற்கு மாறுகிறது. ஆதலால் ஒரு நிறமாலையில் உள்ள ஒவ்வொரு வரியும் ஒரு தனிப்பட்ட நிறமெனவும், தொடர் நிறமாலையில் எண்ணிலா வண்ணங்கள் உள்ளன என்றும் அறியலாம்.

4. 4. 4 வரி நிறமாலை

குறைவான அழுத்தத்திலுள்ள வாயுவின் நிறமாலையை ஆராய்ந்தால் அதன் தோற்றம் தொடர் நிறமாலையினுடையதினின்று வேறுபட்டிருப்பதைக் காணலாம். இதனில் வண்ணங்களுக்கு இடையே இடைவெளி உள்ளது ; ஒரு பட்டையிலேயே கூட பல இடைவெளிகள் காணப்படும். அதாவது கருமையான பின்னணியில் தனித்தனியான, முற்றிலும் வேறுபட்ட பல வண்ண வரிகள் காணப்படுகின்றன. இதனை **வரி நிறமாலை** என்கிறோம்.

வரி நிறமாலை கிடைக்கிறதெனில், குறிப்பிட்ட சில அலைநீளங்களுடைய ஒளியை மட்டுமே ஒளிமூலம் உமிழ்கிறது என்பதே பொருளாகும்.

குறைவான அழுத்தத்திலுள்ள வாயுவினுள் இரண்டு உலோக மின்வாய்களைப் பொருத்தி அவற்றிடையே மின்பொறியை உண்டாக்கலாம் ; அல்லது அவ்வாயுவின் வழியே உயர் மின்னழுத்தத்தில் மின்னோட்டத்தைப் பாய்ச்சலாம். இப்படிச் செய்தால் வாயுவின் வெப்பநிலை மிகவும் உயர்ந்து அது ஒளிவீசும்.

ஒவ்வொரு தனிமத்திற்கும் அதற்கென தனிப்பட்ட வரி நிறமாலை உண்டு ; இந்த வரி நிறமாலையில் உள்ள அலை நீளங்களைக் கொண்டு தனிமத்தை அடையாளம் காணலாம். சாதாரண உப்பை

ஒரு வெண்சுடரில் வைக்கக்கிடைக்கும் நிறமாலையை ஆராய்ந்தால் ஒரு பிரகாசமான மஞ்சள் வரி கிடைக்கும். நுண்ணுணர்வுடைய நிறமாலை ஆய்வியைப் பயன்படுத்தினால், இரண்டு வரிகள் தெரியும். இந்த மஞ்சள் வரிகள் உப்பிலுள்ள சோடியத்தால் உண்டாவதாகும். சில தனிமங்களின் முக்கிய வரிகளின் அலைநீளங்களாவன :

சோடியம் (Na)	மெர்க்குரி (Hg)	காப்பர் (Cu)
5890.0 Å	4046.6 Å	5782.1 Å
5895.9 Å	4077.8 Å	5218.2 Å
3303.0 Å	4347.5 Å	4530.8 Å
5153.6 Å	4358.4 Å	4378.2 Å
	5461.0 Å	

4. 4. 5 நிறமாலைமானி

பல ஒளிமூலங்களின் நிறமாலைகளை ஆராயவும், பருப்பொருள்களின் ஒளிவிலகல் எண்களை நிர்ணயிக்கவும் மிகுதியாகப் பயன்படும் கருவிகளில் ஒன்று நிறமாலைமானி ஆகும்.

நிறமாலைமானியின் முக்கிய பாகங்களாவன : (1) இணையாக்கி, (2) தொலைநோக்கி, (3) முப்பட்டக மேடை, (4) வட்ட அளவுகோலும் அதற்கான வெர்னியரும்.

(1) **இணையாக்கி :** ஒளிக்கதிர்களை இணைக் கற்றையாக்குவதற்குப் பயன்படுவது இணையாக்கி. இதனில் உருளைக் குழாயின் ஒரு முனையில் ஒரு பிளவை உண்டு. இக்குழாய் மற்றொரு குழாயினுள் நழுவி நகர இயலும். பிளவையின் அகலத்தை ஒரு திருகினுதவியால் கூட்டிக் குறைக்கலாம். இரண்டாவது குழாயின் மறுமுனையில் ஒரு குவிலென்சு அமைகிறது. இணையாக்கியில் லென்சு உள்ள முனை முப்பட்டக மேடைக்கு அருகே உள்ளது. முதல் குழாயை இரண்டாவது குழாயினுள் ஒரு கைப்பிடியினால் நகர்த்தி, லென்சுக்கும் பிளவைக்கும் உள்ள தொலைவை மாற்றி அமைக்கலாம். லென்சின் குவியத்தளத்திலிருக்குமாறு பிளவையைச் சீரமைத்தால், பிளவையின் எப்புள்ளியிலிருந்தும் விரியும் கதிர்கள் லென்சு வழியே சென்று இணைக்கற்றையாக வெளியேறும். முப்பட்டக மேடையின் சுழற்சி அச்சுக்குக் குத்தாக இணையாக்கியின் அச்சு உள்ளது ; இணையாக்கி நிலையாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ளது.

(2) **தொலை நோக்கி :** வானவியலில் பயன்படும் தொலைநோக்கிகளின் வகையைச் சேர்ந்தது இக்கருவியிலுள்ள தொலைநோக்கி. இதனுடைய அச்சும், இணையாக்கியின் அச்சும் ஒரே கிடைமட்டத் தளத்தில் அமைகின்றன. இத்தொலைநோக்கியில் பொருளருகு லென்சும், கண்ணருகு லென்சும் குவிலென்சு பண்புகளுடையன. கண்ணருகு லென்சுக்கு முன்னால் ஒன்றுக்கொன்று குத்தான இரண்டு குறுக்குக் கம்பிகள் பொருந்தியுள்ளன. கண்ணருகு லென்சுக்கும் குறுக்குக் கம்பிகளுக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவை மாற்றிச் சீரமைக்க இயலும். பொருளருகு லென்சுக்கும் கண்ணருகு லென்சுக்கும் இடையே உள்ள தொலைவை மாற்றிச் சீரமைத்து ஒளிக்கதிர்களைக் குவியப்படுத்த இயலும். முப்பட்டக மேடையின் சுழற்சி அச்சு செங்குத்தாக உள்ளது ; இந்த அச்சையே தன்னுடைய சுழற்சி அச்சாகவும் கொண்டு தொலைநோக்கி சுழல இயலும். இவ்வாறு தொலைநோக்கியைக் கிடைமட்டத் தளத்தில் சுழற்றித் தேவையான இடத்தில் நிலைப்படுத்தவும் இயலும். இப்படி நிலைப்படுத்தியபின் தொடுகைத் திருகினுதவியால் தொலைநோக்கியை நுண்ணியமாக நகர்த்தலாம்.

(3) **முப்பட்டக மேடை :** இது உலோகத்தாலானது ; இதன்மீது முப்பட்டகம் பொருத்தப்படும். இதற்குச் சரிமட்டத் திருகாணிகள் உண்டு. இந்த மேடையை உயர்த்தவோ, தாழ்த்தவோ, தேவையான மட்டத்தில் நிலைப்படுத்தவோ இயலும். இதன் மையம் வழியாகச் செல்லும் செங்குத்து அச்சைப் பற்றி இதனைச் சுழற்றலாம் ; இதனை நிலைப்படுத்தவும், நுண்ணியமாக நகர்த்தவும் தேவையான திருகாணிகள் உண்டு.

(4) **வட்ட அளவுகோல் :** வட்ட அளவுகோல் தொலைநோக்கியுடன் இணைந்துள்ளது ; தொலைநோக்கியுடன் சேர்ந்து அளவுகோலும் சுழலும். சாதாரணமாக இந்த அளவுகோல் அரைப் பாகைகளில் குறியிடப்பட்டிருக்கும். முப்பட்டகமேடையுடன் இணைந்த வெர்னியர் உண்டு. எனவே முப்பட்டக மேடைக்கும் தொலைநோக்கிக்குமான சார்புச் சுழற்சியைத் துல்லியமாக அளக்க இயலும்.

நிறமாலைமானியில் முன்னேற்பாட்டுச் சீரமைப்புகள்

இக்கருவியைக் கொண்டு சோதனை செய்வதற்கு முன்னேற்பாடாகப் பின்கண்ட சீரமைப்புகள் தேவை :

1. கண்ணருகு லென்சைச் சீரமைத்தல்

குறுக்குக் கம்பிகள் தெளிவாகவும் கூர்மையாகவும் தெரியுமாறு கண்ணருகு லென்சு சீரமைக்கப்படுகிறது. இப்படிச் சீரமைக்கப்

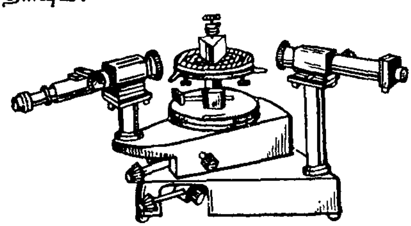
பிரகாசமான தளத்தை நோக்கி தொலைநோக்கியைத் திருப்பி, குறுக்குக்கம்பிகள் தெளிவாகத் தெரியும்வரை கண்ணருகு லென்சை முன்னும் பின்னும் நகர்த்த வேண்டும். குறுக்குக் கம்பிகளில் ஒன்று செங்குத்தாகவும் மற்றது கிடை மட்டமாகவும் அமைய வேண்டும்.

2. தொலைநோக்கியைச் சீரமைத்தல்

மிகத் தொலைவிலுள்ள ஒரு பொருளை நோக்கித் தொலைநோக்கியைத் திருப்புக. அப்பொருளின் பிம்பம் குறுக்குக் கம்பிகள் மீது இடமாறுதோற்றப் பிழையின்றி விழுமாறு தொலைநோக்கியின் சீரமைக்கும் குமிழைத் திருகுக. தற்பொழுது தொலைநோக்கி இணைக்கற்றைகளை மட்டுமே ஏற்று தெளிவான பிம்பம் தரும்.

3. இணையாக்கியைச் சீரமைத்தல்

இணையாக்கியின் நீளவாக்கில் ஒரே நேர்கோட்டில் அமையுமாறு தொலைநோக்கி நிலைப்படுத்தப்படுகிறது. இணையாக்கியின் பிளவை மீது ஒளி நன்கு விழுமாறு ஒளிமூலம் வைக்கப்படுகிறது. தொலைநோக்கியின் வழியாகப் பார்த்தால் பிளவையின் பிம்பம் தெரியும் ; இப்பிம்பம் தெளிவாகவும், கூர்மையாகவும் குறுக்குக் கம்பிகளின் மீது விழுமாறு இணையாக்கியில் லென்சுக்கும் பிளவைக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவு சீரமைக்கப்படுகிறது. தற்பொழுது இணையாக்கியிலிருந்து வெளியேறும் கதிர்கள் இணையாக இருக்கும். ஏனெனில், தொலைநோக்கி இணைக்கற்றைகளை மட்டுமே ஏற்றுத் தெளிவான பிம்பம் தரும் வகையில் முன்னரே சீரமைக்கப்பட்டுள்ளதால், இணையாக்கியிலிருந்து வெளியேறித் தொலைநோக்கி வழியாகச் செல்லும் கதிர்கள் இணையாக இருந்தால்தானே பிம்பம் தெளிவாகத் தெரியும்.



படம் 4. 26

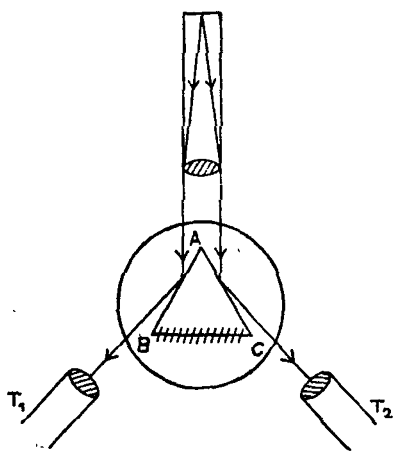
நிறமாலைமானி

4. முப்பட்டக மேடையைச் சீரமைத்தல்

ஒரு இரசமட்டத்தைப் பயன்படுத்தி, முப்பட்டக மேடையின் தளம் கிடைமட்டமாக இருக்குமாறு சீரமைக்கப்படுகிறது. இதற்கு அதனுடன் சேர்ந்த சரிமட்டத் திருகாணிகளைத் திருகுகிறோம்.

4. 4. 6 முப்பட்டகத்தின் கோணத்தை நிர்ணயித்தல்

ஒரு முப்பட்டகத்தின் பருப்பொருளின் ஒளி விலகல் எண்ணை நிர்ணயிக்க வேண்டுமாயின், முதற்கண் நிறமாலை மானியின் முன்னேற்பாட்டுச் சீரமைப்புகளைச் செய்யவேண்டும். பின்னர், முப்பட்டகத்தைக் கருவியின் மேடைமீது பொருத்த வேண்டும்; அப்பொழுது முப்பட்டகத்தின் அடிப்பக்கம் இணையாக்கியின் அச்சுக்குக் குத்தாகவும் அதன் விளிம்பு இணைக்கற்றையை இரண்டாகப்பிரிக்குமாறும் அமையவேண்டும். இதனால் இணைக்கற்றையான கதிர்கள் முப்பட்டகத்தின் இரண்டு முகங்கள் மீதும் விழும். முப்பட்டகத்தின் ஒவ்வொரு முகமும் கதிர்களைப் பிரதிபலிப்பதால் பக்கத்திற்கு ஒன்றாக இரண்டு பிம்பங்கள் கிடைக்கும்; இவை தெரியும் திசைகளை முதலில் வெறும் கண்ணால் கண்டுகொள்ளலாம். பின்னர் தொலைநோக்கியின் வழியே வலப்பக்க பிம்பம் தெரியுமாறு அதனைச் சுழற்றிக்கொண்டு வருக; குறுக்குக் கம்பிகள் மீது பிம்பம் விழுந்தவுடன் அந்த நிலையில் தொலைநோக்கியை நிலைப்படுத்துக; தொடுகைத் திருகினைத் திருகி பிம்பமும் குறுக்குக் கம்பிகளின் மையமும் ஒன்றுமாறு செய்க. தொலைநோக்கி தற்பொழுது உள்ள இடத்தின் அளவீடுகளை வட்ட அளவுகோலையும் வெர்னியரையும் கொண்டு அளக்க.



படம் 4. 27 (a)

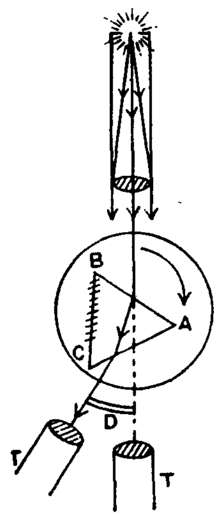
முப்பட்டகத்தின் கோணம் காணல்

பின்னர் இடப்பக்க பிம்பம் தெரியுமாறு தொலைநோக்கியை சுழற்றிக்கொண்டு வந்து முன்போலவே சீரமைத்து அந்த நிலையில் மீண்டும் அளவீடு செய்க.

இந்த இரண்டு அளவீடுகளின் வேறுபாடானது பிரதிபலிக்கப்பட்ட இரண்டு கதிர்களுக்கு இடையே உள்ள கோணம் ஆகும். எனவே இந்த வேறுபாட்டில் பாதி முப்பட்டகத்தின் கோணம் (A) ஆகும்.

சிறுமத் திசைமாற்றக் கோணத்தை நிர்ணயித்தல்

முப்பட்டக மேடைமீது முப்பட்டகத்தை வைக்க. அது ஒளி விலகலால் தோற்றுவிக்கும் விலகு பிம்பம் (**refracted image**) தொலைநோக்கி வழியே தெரியுமாறு தொலைநோக்கியை வைக்க. தற்பொழுது முப்பட்டக மேடையை (முப்பட்டகத்துடனேயே) சுழற்றுக. விலகு பிம்பம், நேர்த்திசை பிம்பத்தை நெருங்கும்வகையில் சுழற்றும்திசை அமையவேண்டும். இதனால் திசைமாற்றக் கோணத்தின் அளவு குறைகிறது. இப்படி முப்பட்டக மேடையைச் சுழற்றும்பொழுது தேவையானால் தொலைநோக்கியையும் அதே திசையில் சுழற்ற வேண்டும்.



படம் 4. 27 (b)

சிறுமத் திசைமாற்றக் கோணம் காணல்

முப்பட்டகம் தொடர்ந்து ஒரே திசையில் சுழலும்பொழுது, விலகு பிம்பம் நேர்த்திசை பிம்பத்தை நெருங்கிச் சென்று, குறிப்பிட்ட ஒரு புள்ளியில் மீண்டும் திரும்புவதைக் காணலாம். அந்த பிம்பம் மீண்டும் திரும்பும் புள்ளியே அதனுடைய சிறுமத் திசை

மாற்ற இடமாகும். இந்த நிலையில் முப்பட்டகமேடையைச் சுழற்றுவதை நிறுத்தி அதனை நிலைப்படுத்த வேண்டும். அதே நிலையில் பிம்பம்மானது செங்குத்துக் குறுக்குக் கம்பியின் மீது பொருந்துமாறு தொலைநோக்கியைச் சீரமைக்கவேண்டும். தற்பொழுது வட்ட அளவுகோலில் வெர்னியர் உதவியால் அளவீடுகள் எடுத்துக் கொள்க.

பின்னர் முப்பட்டகத்தை நீக்கிவிட்டு, நேர்த்திசையில் கிடைக்கும் பிம்பத்தைக் காணுமாறு தொலைநோக்கியைத் திருப்புக ; அதனை முன்போலவே பிம்பம் குறுக்குக் கம்பி மீது விழுமாறு சீரமைக்க. மீண்டும் வட்ட அளவுகோலில் அளவெடுக்க வேண்டும்.

மேற்சொன்ன இரண்டு அளவீடுகளுக்கிடையே உள்ள வேறுபாடு சிறுமத் திசைமாற்றக் கோணம் டி-ன் அளவு ஆகும். பின்னர்

$$\mu = \frac{\text{சைன் } \frac{(A+D)}{2}}{\text{சைன் } \frac{A}{2}}$$

என்ற சூத்திரத்திலிருந்து முப்பட்டக வடிவிலுள்ள பருப்பொருளின் ஒளிவிலகல் எண் கணக்கிடலாம்.

மெல்லிய கண்ணாடிப் பலகைகளை ஒட்டி ஓர் உள்ளீடற்ற முப்பட்டகத்தை உருவாக்கலாம். இந்த உள்ளீடற்ற முப்பட்டகத்தைப் பயன்படுத்தி ஒரு நீர்மத்தின் ஒளிவிலகல் எண்ணை நிர்ணயிக்கலாம். இந்த முப்பட்டகத்தினுள் காற்றுக் குமிழிகளில்லாமல் நீர்மத்தை நிரப்பி, முன்போலவே சோதனை செய்து ஒளிவிலகல் எண் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது.

பயிற்சி 4.4

1. நிறப்பிரிகை என்பது என்ன ?
2. நிறமாலை என்பது என்ன ?
3. வெண்ணொளியானது நிறப்பிரிகை செய்யப்படுவதன் காரணம் யாது ?
4. நிறமாலையில் காணப்படும் வண்ணங்களை வரிசைப்படுத்திக் கூறுக.
5. நிறமாலை வண்ணங்களைச் சேர்த்து வெண்ணொளியை உண்டாக்கும் வகைமுறை யாது ?
6. தூய நிறமாலை, மாசு நிறமாலை இவற்றை வேறுபடுத்திக் காட்டுக.

7. வரி நிறமாலையை ஆய்வுக்கூடத்தில் எவ்வாறு தோற்றுவிக்கலாம் ?

8. சிறு குறிப்பு வரைக : (1) தொடர் நிறமாலை.
(2) வரி நிறமாலை.

9. நிறமாலைமானியின் அமைப்பை விவரி.

10. நிறமாலைமானியைப் பயன்படுத்துவதற்குச் செய்ய வேண்டிய முன்னேற்பாட்டுச் சீரமைப்புகள் யாவை.

11. நிறமாலைமானியைப் பயன்படுத்தி முப்பட்டகத்தின் கோணத்தை நிர்ணயிக்கும் செய்முறையைச் சுருக்கமாக எழுதுக.

12. நிறமாலைமானியைப் பயன்படுத்தி முப்பட்டகத்தின் சிறுமத் திசை மாற்றக் கோணத்தை நிர்ணயிக்கும் செய்முறையைச் சுருக்கமாக எழுதுக.

13. உள்ளீடற்றக் கண்ணாடி முப்பட்டகத்தையும் நிறமாலைமானியையும் பயன்படுத்தி ஒரு நீர்மத்தின் ஒளிவிலகல் எண்ணை நிர்ணயிப்பது எப்படி ?

4.5. ஒளியியல் கருவிகள்

4. 5. 1 பிரதிபலிப்புத் தொலைநோக்கிகள்

ஒரு பொருள் நம்மை விட்டு விலகிச் செல்லும்பொழுது அதன் உருவம் மெல்ல மெல்லச் சிறிதாகிறது. எனவே தொலைவில் உள்ள பொருள்களைத் தெளிவாகக் காண இயலாது. தொலைவில் உள்ள பொருள்களைத் தெளிவாகக் காண்பதற்கு உதவுவது தொலைநோக்கி யாகும். ஒரு தொலைநோக்கியை முதன் முதலாக 1608-ல் அமைத்தவர் ஹாலந்து நாட்டில் வசித்த **ஹான்ஸ் லிப்பர்ஷே** என்பவராக இருக்கலாம் என்று கருதப்படுகிறது. தொலைவில் உள்ள பொருள்களை அருகில் காண, இரண்டு லென்ஸ்களைப் பயன்படுத்தலாம் என்று தெரிந்துகொண்ட **கலிலியோ** ஒரு தொலைநோக்கியை உருவகித்து அதனைத் தானே அமைத்தார்.

வானில் காணும் பொருள்களை நேர்முகமாக ஆராய உதவும் முக்கியமான கருவிகளில் தொலைநோக்கியும் ஒன்று. தொலைநோக்கியின் முக்கிய உறுப்பு பொருளருகுப் பகுதியாகும். இது பொருளி

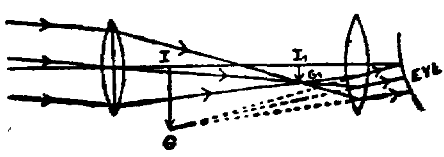
லிருந்து வருகின்ற ஒளிக்கதிர்களைக் கொண்டு அதனுடைய பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கிறது. இந்தப் பிம்பத்தை வேறோர் உறுப்பு உருப்பெருக்கிக் காட்டுகிறது. இந்த இரண்டாவது உறுப்பு கண்ணருகுப் பகுதியாகும்.

தற்காலத்தில் பயன்படும் தொலைநோக்கிகளில் இரண்டு வகைகளுண்டு. அவை (1) ஒளிவிலகல் வகை (2) எதிரொளிப்பு வகை என்பன.

ஒளிவிலகல் வகையில் லென்சுகள் பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கின்றன. எதிரொளிப்பு வகையில் ஆடிகள் பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்கின்றன.

ஒளி விலகல் வகைத் தொலைநோக்கியில் பொருளருகு உறுப்பு குவிலென்சு (அல்லது குவிலென்சுகள்) ஆகும். இது முதலில் தலைகீழான பிம்பத்தைத் (ஒளிவிலகலால்) தோற்றுவிக்கும். இந்த பிம்பத்தைப் பார்ப்பதற்குச் சிறிய குவிலென்சு (அல்லது லென்சுகள்) கண்ணருகு உறுப்பாகச் செயல்படுகின்றன.

வானவியல் ஆராய்ச்சியில் பொருளருகு உறுப்பின் விட்டம், இயன்றவரையில் அதிகமாக இருப்பது தேவை. ஏனெனில் தொலைநோக்கி மிகுதியாக ஒளியைச் சேகரிக்கும்; ஆகவே பிம்பமும் பிரகாசமாக இருக்கும். உலகிலேயே மிக அதிக விட்டமுடைய பொருளருகு லென்சு (அ. ஐ. நா-வில் உள்ள) யேர்க்ஸ் ஆய்வுக் கூடத்தில் உள்ளது; இதன் விட்டம் 1 மீ; குவியத்தொலைவு 19.8 மீ.



படம் 4. 28

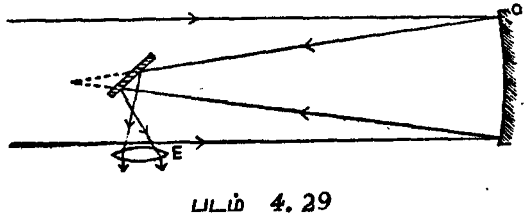
விலகல்வகைத் தொலைநோக்கி

மிகப்பெரிய லென்சை அமைக்கச் செலவு அதிகமாகும். மிகப் பெரிய லென்சுகளை அமைப்பதில் சில இடர்களும் உள்ளன. அவற்றைத் தேய்த்துத் தேவையான வடிவம் அமைப்பது கடினம். மற்றும் அவை தொய்வு உறுமல் பிடிக்கப்படுவதும் எளிதல்ல. தொய்வுறுவதால் அதன் வடிவம் மாறிவிடும். பெரிய லென்சு அமைக்கத்

தேவையான கண்ணாடியைக் காற்றுக் குமிழிகளும் மற்ற குறைகளு மின்றி வார்த்தல் இயலாது. இக்குறைகள் பிம்பத்தின் தரத்தைப் பாதிக்கும்.

மேற்சொன்ன இடர்களைத் தவிர்க்கப் பெரிய தொலைநோக்கிகள் எதிரொளிப்பு வகையாகவே அமைக்கப்படுகின்றன. எதிரொளிப்பு வகையில் குழியாடியொன்று பொருளருகு உறுப்பாகச் செயல் படுகிறது. குழியாடியை அமைக்க ஒரு தளம் மட்டுமே செம்மை யாகத் தேய்க்கப்பட்டால் போதும். ஆடியின் பின்புறத்தில் தாங்கிகளைக் கொண்டு தாங்கலாம்; எனவே தொய்வு ஏற்படாது. கண்ணாடியின் அகத்தே உள்ள குறைகள் ஆடியின் செயல்பாட்டைப் பாதிக்கா. அத்துடன் எடை அதிகமாக உடைய குழியாடியைத் தொலைநோக்கியின் கீழ்ப்பகுதியில் வைப்பதால் தொலைநோக்கிக்கு நிலைப்பாடு அதிகமாகும். (பொருளருகு லென்சைத் தொலைநோக்கி யின் உச்சியில் அல்லவா வைக்கவேண்டியுள்ளது!).

பிரதிபலிப்புத் தொலைநோக்கியை முதன்முதலாக 1668-ல் நியூட்டன் அமைத்தார். இதனில் ஒரு குழியாடி பொருளருகு உறுப்பாகப் பயன்படுகிறது. இந்த ஆடிமீது விழும் ஒளிக்கதிர்கள் அதனுடைய குவியத்தை நோக்கிப் பிரதிபலிக்கப்படுகின்றன. பிம்பம் குழியாடியின் முன்னே விழும் ; அதாவது படுகதிர்களின் பாதையின் குறுக்கே விழும். ஆகவே பிம்பத்தைப் பார்ப்பவர், படுகதிர்களில் ஒரு பகுதியைத் தடுத்துவிடுவார். இதனைத் தவிர்ப்ப தற்காக, பிரதிபலிக்கப்பட்ட கதிர்கள், குவியமடைவதற்கு முன் னரே, பாதை திருப்பப்பட்டு வேறொரு வசதியான இடத்தில் குவியமாகிப் பிம்பத்தைத் தோற்றுவிக்குமாறு ஏற்பாடு செய்யப் படுகிறது.

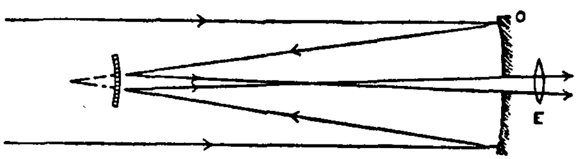


படம் 4. 29

எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கி : நியூட்டன் வகை

பிரதிபலிப்புத் தொலைநோக்கிகளில் பலவகைகளுண்டு. **நியூட் டன்** வகையில், பிரதிபலிக்கப்பட்ட கதிர்கள் குவியமாகு முன்னர் ஒரு சிறிய ஆடியால் பக்கவாட்டில் மீண்டும் பிரதிபலிக்கப்படு கிறது. இக்கதிர்கள் கண்ணருகு லென்சை அடைகின்றன.

மற்ருெரு வகை **காசிகிரெய்ன்** வகையாகும். இதனில் குழி யாடியால் பிரதிபலிக்கப்பட்ட கதிர்கள் பிம்பத்தைத் தோற்று விக்கும் முன்னரே வேருெரு குவி ஆடிமீது விழுகின்றன. மீண்டும் பிரதிபலிக்கப்பட்டபின் இக்கதிர்கள் குழியாடியின் ஆடிமையம் மீது குவியமடைகின்றன. இந்த ஆடிமையத்தில் ஒரு சிறுதுளை உண்டு. பிம்பம் துளைமீது அல்லது துளைக்குச் சிறிது அப்பால் (குழியாடிக்குப் பின்னுல்) விழுகிறது. குழியாடிக்குப் பின்னுல் உள்ள கண்ணருகு லென்சு வழியாகப் பிம்பத்தைப் பார்க்கலாம்.



படம் 4. 30

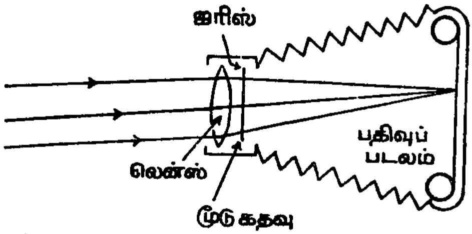
எதிரொளிப்புத் தொலைநோக்கி : காசிகிரெய்ன் வகை

உலகிலேயே மிகப்பெரிய தொலைநோக்கிகள் இரண்டு உள்ளன. வில்சன் சிகரம் (அ. ஐ. நா.) மீது உள்ள பிரதிபலிப்புத் தொலை நோக்கியின் விட்டம் 254 செமீ(100 அங்). மற்றும் பாலமர் சிகரம் (அ. ஐ. நா.) மீது உள்ள தொலைநோக்கியின் விட்டம் 508 செமீ (200 அங்) ஆகும்.

4. 5. 2 ஒளிப்படப் பெட்டி. (போட்டோ காமிரா)

இதன் அமைப்பு படம் (4-31)-ல் காணப்படுகிறது. உட்புறம் கருமையாக்கப்பட்ட ஓர் ஒளிபுகாப் பெட்டியின் ஒரு பக்கத்தில் ஒரு குவிலென்சும் அதற்கு எதிர்ப்பக்கத்தில் ஒரு திரையும் உள்ளன. திரைமீது ஒளியுணர் பொருள் பூசப்பட்டுள்ளது. திரைக்கும் லென்சுக்கும் இடையே உள்ள தொலைவு லென்சின் குவியத் தொலைவைவிடச் சற்றே அதிகம். இந்தத் தொலைவைக் கூட்டவோ குறைக்கவோ இயலும் ; இதனுல் வெவ்வேறு தொலைவிலுள்ள பொருள்களின் பிம்பங்கள் திரைமீது கூர்மையாக விழுமாறு செய்ய இயலும். லென்சின் தாங்கி மீது இத்தொலைவுகளுக்கான அளவீடுகள் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. லென்சை அடுத்து ஒரு சிறிய கதவு உண்டு. இக்கதவைத் தேவையான நேரத்திற்கு - $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{100}$ போன்ற நொடிகளுக்கு - திறந்து மூட வழியுண்டு. இதற்கும் பின்னுல், சீரமைக்கக்கூடிய புழையையுடைய இடைத்திரை ஒன்று அமை கிறது. இதனை 'ஐரிஸ்' என்பர். ஐரிஸின் விட்டத்தைக் கூட்டியோ

குறைத்தோ பெட்டிக்குள் புகும் ஒளியின் அளவைச் சீரமைக்க இயலும். ஐரிஸின் விட்டம் அதிகரித்தால் ஒளியின் அளவு கூடும் ; எனவே குறைந்த நேரத்திற்குக் கதவைத் திறந்தாலும் போதும்.



படம் 4.31
ஒளிப்படப் பெட்டி

ஐரிஸின் விட்டம் அதிகமாக உள்ளபொழுது சாதாரணமாக ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவில் உள்ள பொருள் மட்டுமே திரைமீது கூர்மையாக விழும். இதற்குச் சிறிது முன்னும் பின்னுமாக உள்ள பொருள்களும் கூர்மையாகத் தெரிய வேண்டுமானால் குவிய ஆழம் அதிகரிக்கவேண்டும். ஐரிஸின் விட்டத்தைக் குறைத்தால் குவிய ஆழத்தை அதிகரிக்கலாம். அப்பொழுது கதவு திறக்கும்நேரத்தை (அதாவது காட்சி நேரத்தை) அதிகரிக்கவேண்டும்.

ஐரிஸின் விட்டத்தை லென்சின் குவியத் தொலைவின் பின்ன மாகக் குறிப்பது பழக்கம். அதாவது விட்டம் $f/8$ என்பது குவியத் தொலைவில் $1/8$ பங்குக்குச் சமமாக விட்டம் உள்ளது எனப் பொருள்படும். இதுபோலவே $f/5.6$, $f/11$, $f/16$, $f/22$.... முதலியவற்றிற்கும் பொருள் கொள்ளவேண்டும். இந்தப் பின்னங் களின் பகுதிகளை (5.6, 8, 11, 16, 22....) f-எண் என்பர்.

எனவே f-எண் அதிகரித்தால் ஐரிஸின் விட்டம் குறையும். f-எண் வரிசையில் ஓர் எண்ணிலிருந்து அடுத்த உயர்ந்த எண் ணுக்குச் சென்றால் முன்னதில் புகுந்த ஒளியின் அளவில் பாதிதான் பின்னதின் வழியாகப் புகமுடியும். புகும் ஒளியின் அளவு விட்டத் தின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்திலும் (அதாவது ஐரிஸின் பரப்பள வுக்கு நேர்விகிதத்திலும்) f-எண் ஆனது விட்டத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலும் உள்ளன. எனவே, புகும் ஒளியின் அளவு f எண்ணின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்தில் இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக $f:8$ உள்ளபொழுது புகும் ஒளியின் அளவும் $f:11$ உள்ளபொழுது புகும் ஒளியின் அளவும் ஏறத்தாழ $11^2 : 8^2$ (அதாவது 2:1 ஏறத்தாழ) என்ற விகிதத்தில் உள்ளன. ஆதலால் $f:8$-ல் காட்சிநேரம் 1/50

நொடிகள் தேவையென்ருல் அதுவே f/11-ல் 1/25 நொடிகளாகும். இவ்விரண்டில் எந்தவொரு காட்சி நேரமும் பிம்பத்தைப் போதிய பிரகாசத்துடன் தரும் எனில் எதைத் தேர்ந்தெடுப்பது ? நகரும் பொருளைப் படம் பிடிக்கவேண்டுமாஞல் குறைவான f-எண்ணையும் குறைவான காட்சி நேரத்தையும் பயன்படுத்த வேண்டும். ஆனுல் குவிய ஆழம் அதிகமாகத் தேவையெனில் அதிகமான f-எண்ணையும் அதிகமான காட்சி நேரத்தையும் பயன்படுத்த வேண்டும்.

தற்காலத்தில் படம்பிடிக்கவேண்டிய பொருள் குவியமாக்கப் பட்டவுடன் அதற்குத் தேவையான f-எண்ணையும், காட்சி நேரத்தையும் தாஞகவே தேர்ந்தெடுக்கும் அமைப்புகள் ஒளிப்படப் பெட்டிகளில் உள்ளன.

பயிற்சி 4. 5

1. பிரதிபலிப்புத் தொலைநோக்கிக்கும், ஒளிவிலகல் தொலைநோக்கிக்கும் உள்ள முக்கிய வேறுபாடு யாது ?

2. நியூட்டன் பிரதிபலிப்புத் தொலைநோக்கியின் படம் வரைந்து பாகங்களைக் குறிக்க.

3. பிரதிபலிப்புத் தொலைநோக்கிகளில் நியூட்டன் வகைக்கும் காசிகிரெயின் வகைக்குமுள்ள முக்கிய வேறுபாடு என்ன ?

4. ஒளிப்பெட்டியின் திரைமீது பிம்பம் விழுவதைப் படம் வரைந்து காட்டுக.

5. ஒளிப்படப் பெட்டியின் அமைப்பை விவரிக்க.

6. விளக்குக :

   (1) f-எண்.

   (2) காட்சி நேரம்.

4.6. அகச்சிவப்பு மற்றும் புறஊதாக் கதிர்வீச்சுகள்

4.6.1 அகச்சிவப்புக் கதிர்வீச்சுகள்

1800 ஆம் ஆண்டில் சர் வில்லியம் **ஹெர்ஷல்** செய்த சோதனைகளில் ஒளிநிறமாலையின் வெவ்வேறு வண்ணங்கள் எந்த அளவிற்கு வெப்பமூட்ட இயலும் என்று அளக்கப்பட்டது. கட்புலனாகும் சிவப்பின் எல்லைக்கு அப்பால் வெப்பம் பெரும அளவில் கிடைக்கிறது என்று அவர் கண்டார். இவ்வாறாக, கட்புலனாகாத ஒரு வகைக் கதிர்வீச்சுகள் இருப்பதைக் கண்டறிந்தார் ; கட்புலனாகும் ஒளியைவிட அதிக அலைநீளமுடைய இக்கதிர்வீச்சுகள் **அகச்சிவப்புக் கதிர் வீச்சுகள்** என்று பெயர் பெற்றன.

அகச்சிவப்புப் பகுதியில் கதிர்களின் அலைநீளங்கள் 10^{-6} மீ. முதல் 10^{-3} மீ. வரை உள்ளன. இப்பகுதியையே இரண்டு உட்பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். அவையாவன : (1) அண்மை அகச்சிவப்பு மற்றும் (2) சேய்மை அகச்சிவப்பு. 3×10^{-6} மீ. முதல் 25×10^{-6} மீ. வரை பரவியுள்ள 'அண்மை அகச் சிவப்புப் 'பகுதியை 'முப்பட்டக அகச் சிவப்பு' என்றும் வழங்குவதுண்டு. 'சேய்மை அகச் சிவப்பு'ப்பகுதி 25×10^{-6} மீ. முதல் 10^{-3} மீ. வரை பரவியுள்ளது. அண்மை அகச்சிவப்பை உமிழும் இயற்கை மூலம் சூரியன் ஆகும். சோதனைகளுக்குத் தேவையான செயற்கை மூலங்களாக நெர்ன்ஸ்ட் விளக்கும் **(Nernst glower)** குளோபார் விளக்கும் **(Globar)** சாதாரணமாகப் பயன்படுகின்றன. நெர்ன்ஸ்ட் விளக்கில் சிர்க்கோனியம், தோரியம், சீரியம் ஆக்சைடுகளின் கலவையால் செய்யப்பட்ட மெல்லிழை உள்ளது. மின்னோட்டம் பாயும்பொழுது மெல்லிழை $1500°C$ வெப்பநிலைக்கு மேல் சூடேறியபின் அகச்சிவப்புக் கதிர்களை வீசும். மெல்லிய சிலிகான் கார்பைடு தண்டு குளோபாரில் உள்ளது. இதன் வழியாக மின்னோட்டம் பாய்ந்து இத்தண்டினைச் சூடேற்றுகிறது. சூடேற்றியபின் அகச்சிவப்புக் கதிர்களை உமிழும். இதன் வெப்ப நிலையைச் சீரமைத்து மாறாது இருத்த இயலும். 10^{-5} மீட்டருக்கும் அதிகமான நீண்ட அலைநீளங்களில் குளோபாரும் அதற்குக் குறைந்த அலைநீளங்களில் நெர்ன்ஸ்ட் விளக்கும் பயன்படுகின்றன. கார்பன் மின்வில்லும் அகச் சிவப்பு மூலமாகப் பயன்படும். இதனில் மின் முனையின் வெப்பநிலை $3000\ K$ இருக்கவேண்டும். $1000\ K$ முதல் $1500\ K$ வரையான வெப்பநிலைகளுக்குச் சூடேறிய திண்மங்களும் அகச்சிவப்பை உமிழும்.

அகச்சிவப்புக் கதிர்களின் சூடேற்றும் பண்பினை அடிப்படையாகக் கொண்டு அக்கதிர் வீச்சைக் கண்டறியும் உணர்விகள் அமைக்கப்படுகின்றன. இந்த உணர்விகளில் முக்கியமானவை (1) வெற்றிடத்தில் செயல்படும் வெப்ப மின்இரட்டை மற்றும் (2) போலோ மீட்டர் என்பன. வெப்பமின் இரட்டையானது வெவ்வேறான மூலப்பொருள்களாலான இரண்டு கம்பிகள்கொண்டு அமைக்கப்பட்டது. இக்கம்பிகளின் முனைகள் இரண்டு சந்திகளாக இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த சந்திகளுக்கிடையே வெப்ப நிலை வேறுபாடு உள்ளபொழுது அக்கம்பிகளில் மின்இயக்கு விசை தோன்றுகிறது.

வெப்பநிலைக்கு ஏற்ப மின்தடை மாறுகின்ற பண்பு போலோ மீட்டரில் அடிப்படைத் தத்துவம் ஆகும்.

அகச்சிவப்புக் கதிர்களை ஆராய உதவும் கருவி 'அகச் சிவப்பு நிறமாலை வரைவி' (**Infrared spectro-meter**) ஆகும். இக்கருவியில் நிறப் பிரிகை செய்வதற்கு முப்பட்டகம் அல்லது கீற்றணி அல்லது இரண்டுமே பயன்படுகின்றன. அண்மை அகச்சிவப்புப் பகுதியில் முப்பட்டகம் பயன்படுகிறது. எனவேதான் இப்பகுதி 'முப்பட்டக அகச்சிவப்பு' என்ற பெயரும் பெற்றது. அகச்சிவப்பின் எல்லாப் பகுதிகளும் தன் வழியே ஊடுருவ அனுமதிக்கும் ஓரே ஊடகம் எதுவுமில்லை. ஒரொரு பகுதியை ஒரொரு ஊடகம் உட்கவர்ந்து கொள்கிறது. எனவே குறிப்பிட்ட பகுதியை அனுமதிக்கும் ஊடகத்தையே அப்பகுதியை ஆராயும்பொழுது பயன்படுத்த வேண்டும். கண்ணாடியானது $2.5\ \mu$ ($\mu = 10^{-6}$ மீ.) வரையிலும், குவார்ட்சு $4\ \mu$ வரையிலும் அனுமதிக்கின்றன. இதைவிட நீளமான அலைநீளங்களுக்கு இந்துப்பு (**Rock salt**) பயன்படும்; இந்துப்பு $20\ \mu$ வரையில் அனுமதிக்கும்.

வளி மண்டலத்தை ஊடுருவுவதில் அகச்சிவப்புக் கதிர்கள் கட்புலனாகும் ஒளியைவிட வல்லவை. ஆகவே நெடுந்தொலைவிலுள்ள பொருள்களைப் போட்டோ எடுக்க அகச்சிவப்புக் கதிர்கள் பயன்படுகின்றன. இவ்வகையில் வானத்திலிருந்து பூமியைப் படமெடுக்க இம்முறை பயன்படுகிறது. அகச்சிவப்பை நீர் அதிகமாக உட்கவர்வதால், மேற்சொன்ன படத்தில் நீர்நிலைகள் கருமையாகத் தெரியும். வேதியியல் கூட்டுப் பொருள்களை ஆராயவும், மூலக்கூறுகளின் கட்டமைப்பை நிர்ணயிக்கவும், கரிம மூலக்கூறுகளைக் கண்டறிந்து இனம் பிரிக்கவும் 'அகச்சிவப்பு உட்கவர் நிறமாலை' (**Infrared absorption specturm**) ஆராய்வு பயன்படுகிறது. மருத்துவச் சிகிச்சையிலும் அகச்சிவப்பின் சூடேற்றும் பண்பு பயன்படுகிறது.

4. 6. 2 புறஊதாக் கதிர் வீச்சுகள்

ஹெர்ஷல் சோதனை செய்த காலத்திலேயே **ரிட்டர்** என்பவரும் அவர் நண்பர்களும் நிறமாலையில் சில சோதனைகளைச் செய்தனர். இச்சோதனைகளில், நிறமாலையில் ஊதாவுக்கு அப்பால் வைக்கப் பட்ட போட்டோப் பொருள்கள் பாதிக்கப்படுவதைக் கண்டனர். எனவே இப்பகுதியில் கதிர்வீச்சுகள் உள்ளன என்று ஊகிக்கப் பட்டது. இக்கதிர்வீச்சுகள், கட்புலனாகும் ஒளியைவிடக் குறைவான அலைநீளங்களை உடையன. இதன் அலைநீளங்கள் 4000 Å முதல் 100 Å வரையானவை. இவைகள் **புறஊதாக் கதிர்வீச்சுகள்** எனப் பெயரிடப்பட்டன.

மீச்சூடேறிய எந்தப் பொருளும் புற ஊதாக் கதிர்களை உமிழ் கிறது. புறஊதாக் கதிர்களைத் தாராளமாக உமிழும் இயற்கை மூலம் சூரியன் ஆகும்.

புறஊதாக் கதிர்களில் 3000 Å கீழ்வரையுள்ள அலைநீளங்கள் கண்ணாடியை ஊடுருவ வல்லவை. 1800 Å வரையிலான அலை நீளங்களுக்கு குவார்ட்சு வழிவிடும். ஃப்ளோரர்ஸ்பார் (கால்சியம் ஃப்ளூரைடு) 1000 Å வரைக்கும்கூட அனுமதிக்கும். மீச்சிறு அலைநீளமுடைய புறஊதாக் கதிர்களைக் காற்றுகூடக் கவர்ந்து கொள்ளும். ஆகையால்சோதனைகளை வெற்றிடத்தில்தான் நிகழ்த்த வேண்டும். சாதாரண மின்விளக்கின் சூடேறிய இழை புறஊதா வை உமிழ்கிறது. ஆனால் அந்த இழை கண்ணாடி பல்புக்குள் இருப் பதால் புறஊதா வெளியேறுவதில்லை. பாதரச ஆவி விளக்குகளுக் கும் (mercury vapour lamps) ஹைட்ரஜன் மின்னிறக்கக் குழாய் களுக்கும் (hydrogen discharge tubes) குவார்ட்சு உறைகளுள்ளன. எனவே இவை புறஊதாக் கதிர் மூலங்களாகப் பயன்படுகின்றன.

போட்டோ தகடுகளைப் புறஊதா அதிகமாகப் பாதிக்கும். இதனைக் கொண்டு புற ஊதாக் கதிர்வீச்சு நிகழ்வதை உணரலாம். 'ஒளிர்தல்' (flourescence) என்னும் நிகழ்வைக் கொண்டும் புற ஊதாக் கதிர்வீச்சு நிகழ்வதைக் கண்டறியலாம். சாதாரண மாக ஒளியுமிழாத ஒரு பொருள் மீது குறிப்பிட்ட அலை நீளத்தில் கதிர்வீச்சு விழ அதைவிட அதிக அலைநீளத்தில் வேறு கதிர்வீச்சை அப்பொருள் உமிழுமானால் 'ஒளிர்தல்' நிகழ்வதாகச் சொல்லப் படும். புற ஊதாக் கதிர்கள் சில பொருள்கள் மீது விழும்பொழுது அப்பொருள்கள் தங்களுக்கே உரித்தான வண்ணத்தில் கட்புலனா கும் ஒளியை உமிழ்கின்றன. நீர்த்த கந்தக அமிலத்தில் கரைந்த குவினைன் சல்பேட் நீல ஒளியைத் தரும். ஃப்ளோரர்ஸ்பார் ஊதா ஒளியை உமிழும். யுரேனியம் ஆக்சைடு பச்சையாக ஒளிரும்.

ஒளிரும் கதிர்வீச்சின் தன்மையையும், பொலிவையும் பொருத்துப் பல பயன்கள் பெறப்படுகின்றன. புதிய முட்டையின் ஓடு ரோஜா நிறத்திலும், அழுகிய முட்டையின் ஓடு நீலமாக அல்லது ஊதா வாகவும் ஒளிரும். புறஊதா விழுந்தால் பற்கள் வெண்மைப் பொலிவாகவும், பொய்ப்பற்கள் கருமையாகவும் தோன்றுகின்றன. மூலப் பொருள்களின் மாதிரி **(samples of materials)**களை இனம் பிரித்து அடையாளம் காணப் புறஊதாவால் இயலும். பத்திரங்கள், கடிதங்களில் பயன்படுத்தப்பட்ட மையின் ஒளிர்தலைக் கொண்டு அவை போலியா அல்லவா என்றறியலாம்.

புறஊதாக் கதிர்வீச்சு நின்றுவிட்ட பின்னரும் சில பொருள்கள் தொடர்ந்து சிறிது நேரத்திற்கு ஒளிர்கின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, புறஊதாக் கதிர்வீச்சு நின்றபிறகு ஒரு மணி நேரத்திற்குக் கூட கால்சியம் கார்பைடு ஒளிர்வதைக் கூறலாம். இந்த நிகழ்வு 'நின்றொளிர்தல்' **(phosphorescence)** எனப்படும்.

புறஊதாக் கதிர்களால் வேறொரு விளைவும் ஏற்படுகிறது. இவை சில உலோகங்கள் மீது விழுவதால் அந்த உலோகங்கள் எலக்ட்ரான்களை உமிழ்கின்றன. இந்த விளைவைக் கொண்டும் புற ஊதாக் கதிர்களைக் கண்டறியலாம்.

உயிரியலில் நல்லதும் கெட்டதுமான பயன்கள் புறஊதாவினால் ஏற்படுகின்றன. குறைந்த அலைநீள புறஊதா பாக்டீரியாக்களைக் கொல்லும். குறைந்த செறிவுடைய புற ஊதாவைக் கொண்டு காயங்கள் சீக்கிரமாகக் குணமடைய சிகிச்சையளிக்கலாம். உடலின் சருமம் புறஊதாவைக் கவர்வதால் உடலில் டி-வைட்டமின் தயாரிக்க இயலுகிறது.

உயர்ந்த செறிவில் அல்லது அதிக அளவில் பெறப்படும் புற ஊதாக் கதிர்வீச்சு தீங்கு செய்யும். நற்பயனாக, சூரியனிலிருந்து வருகின்ற புறஊதாவில் பெரும் அளவைக் காற்று மண்டலமே கவர்ந்து கொள்கிறது. இதனால் புவிமட்டத்தில் கிடைக்கும் புற ஊதாவின் செறிவு தீங்கு விளைவிப்பதில்லை. வானில் உயரே செல்லச் செல்ல புறஊதாவினால் தீங்கு ஏற்படக்கூடும்.

பயிற்சி 4. 6

1. அகச்சிவப்புப் பகுதியின் அலை நீளங்களின் நெடுக்கம் யாது?
2. அகச்சிவப்பு மூலங்களில் பெரும்பான்மையாகப் பயன்படுவன எவை ?

3. அகச்சிவப்பு உணர்விகள் எவை ?

4. 'அகச்சிவப்பு நிறமாலை வரைவி' - சிறு குறிப்பு எழுதுக.

5. அகச்சிவப்பின் பயன்கள் மூன்று கூறுக.

6. புறஊதாப் பகுதியின் அலைநீள நெடுக்கம் யாது ?

7. புறஊதா ஆராய்ச்சியில் பயன்படும் முப்பட்டகப் பொருள்கள் எவை ?

8. புறஊதா கதிர்வீச்சின் எப்பண்புகள் அவற்றை உணர்வதற்குப் பயன்படுகின்றன ?

9. புறஊதாவின் பயன்கள் சிலவற்றை எழுதுக.