# பொருட்பண்பியல்

(PROPERTIES OF MATTER)

கே. என். ராமசந்திரன்

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

த. பா. நி. (க.வெ.) வரிசை எண்—323

# பொருட் பண்பியல்

(பட்டப்படிப்பிற்குரியது)

(திருத்தப்பட்ட பாடத்திட்டத்தின்படி வெளியிடப்படுகிறது)

ஆசிரியர்
கே. என். இராமசந்திரன், எம்.ஏ., எம்.எஸ்ஸி.,
இயல்பியல் உதவிப் பேராசிரியர்,
மன்னர் சரபோஜி அரசினர் கல்லூரி,
தஞ்சாவூர்.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—May, 1972
T.N.T.B.S. (C.P.) No. 323

© Tamil Nadu Text Book Society

# PROPERTIES OF MATTERS

K. N. RAMACHANDRAN

Net Price Rs. 7-25
(No discount)

'Published by the Tamil Nadu Text Book Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare.'

*Printed by*
ELANGOVAN PRINTERS,
23, Muthu Mudali Street,
Royapettah, Madras-14.

# அணிந்துரை

திரு. இரா. நெடுஞ்செழியன்
(தமிழகக் கல்வி — உள்ளாட்சித்துறை அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பதினோ ராண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி. ஏ. வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்று வந்தனர். 1968ஆம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் புகுமுக வகுப் பிலும் (P.U.C.), 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து பட்டப்படிப்பு வகுப்பு களிலும் அறிவியல் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளிலும் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித் தர முன்வந்த நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மனநிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்று வருகிறது. இவ்வகையில், கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்க்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப் பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக்கழகம் ஆண்டுதோறும் எடுத்துவரும் பெரு முயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்லவேண்டும்.

பல துறைகளில் பணிபுரியும் பேராசிரியர்கள் எத்தனையோ நெருக்கடிகளுக்கிடையே குறுகிய காலத்தில் அரிய முறையில் நூல்கள் எழுதித் தந்துள்ளனர்.

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், தத்துவம், புவியியல், புவியமைப்பியல், மனையியல், கணிதம், பௌதிகம், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல், தாவரவியல், பொறியியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் தனி நூல்கள், மொழி பெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இரு வகையிலும் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம் வெளியிட்டுவருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான 'பொருட் பண்பியல்' என்ற இந் நூல் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 323 ஆவது வெளியீடாகும். இதுவரை 358 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு கல்வி, சமுகநல அமைச்சகத்தின் மாநில மொழியில் பல்கலைக் கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப்படுகிறது.

உழைப்பின் வாரா உறுதிகள் இல்லை ; ஆதலின், உழைத்து வெற்றி காண்போம். தமிழைப் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும். அதுவே தமிழன்னையின் குறிக்கோளுமாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக் கழகங்களின் பல்வகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம்கலந்த நன்றி உரியதாகுக.

இரா. நெடுஞ்செழியன்

# பொருளடக்கம்

| | | |
|---|---|---|
| | | பக்கம் |
| 1. | அலகுகளும் அளவு முறைகளும் | ... 1 |
| 2. | நிறையீர்ப்பு | ... 18 |
| 3. | மீள் தன்மை | ... 95 |
| 4. | பாகியல் | ... 209 |
| 5. | விரவலும் சவ்வூடு பரவலும் | ... 253 |
| 6. | பரப்பு இழுவிசை | ... 295 |

## பிற்சேர்க்கை

| | | |
|---|---|---|
| 1. | கிரேக்கமொழி எழுத்துகள் | ... 365 |
| 2. | சில முக்கியமான தகவல்கள் | ... 366 |
| 3. | பொருள்களின் நிலைமத் திருப்பு திறன் M-பொருளின் நிறை | ... 367 |
| 4. | நீளம்-மாற்றல் அட்டவணை | ... 369 |
| 5. | கோள்களைப்பற்றிய தகவல்கள் | ... 370 |
| 6. | பாகியல் எண்கள் | ... 371 |
| 7. | பரப்பு இழுவிசை | ... 372 |
| 8. | மீள்திறன் மாறிலிகள் | ... 373 |
| 9. | M.K.S. திட்டப் பரிமாற்ற அட்டவணை | ... 374 |
| | BIBLIOGRAPHY | ... 378 |
| | கலைச்சொற்கள் | ... 379 |

# 1. அலகுகளும் அளவு முறைகளும்

## (Units and Measurements)

1.1. அளவு: அட்லாண்டிக் மாக்கடலின் குறுக்கே முதன் முதலாகக் கடலடித் தந்தி போடத் திட்டமிட்டபோது அதை மேற்கொண்ட நிறுவனம் வில்லியம் தாம்சன் (1824-1907) எனும் ஓர் இளம் பொறியியல் நிபுணரை ஆலோசகராக நியமனஞ் செய்தது. இம் முயற்சியில் தோன்றிய சில சிக்கல்களைத் தீர்ப்பதற்காகத் தாம்சன் பலதரப்பட்ட, நுணுக்கமான, துல்லியமான மின்சார அளவு முறைகளை உருவாக்கினர். அவர் தாமே கண்டுபிடித்த பல துல்லியமான கருவிகளைப் பயன்படுத்தினர். அவரது ஆராய்ச்சிகளின் அடிப்படைத் தத்துவங்களைப் புரிந்துகொள்ளத் திறமையற்ற அதிகாரிகள் அவரது ஆலோசனைகளைப் புறக்கணித்து விட்டனர். இதன் விளைவாக நேரிட்ட தோல்விகளும், செலவு மிக்க தவறுகளும், தாம்சனின் கருத்துகளை மீண்டுமொருமுறை உன்னிப்பாக ஆராயும்படி அதிகாரிகளைத் தூண்டின. அவரது ஆலோசனைகள் ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்ட பின்னர் அட்லாண்டிக் கடலடித் தந்திக்கம்பி 1858-ல் வெற்றிகரமாக அமைத்து முடிக்கப் பட்டது. பின்னாளில் தாம்சன், கெல்வின் பிரபு என விருது அளிக்கப்பட்டு, பிரிட்டனின் தலை சிறந்த விஞ்ஞானிகளில் ஒருவராகத் திகழ்ந்தார். அவருடைய இளம் வயதிலேற்பட்ட மேற்கண்ட அனுபவம், அவரைப் பின்வருமாறு கூறத் தூண்டி யிருக்கலாம்.

"நீங்கள் விளக்கிப் பேசிக்கொண்டிருக்கின்ற பொருளை அளந்து, அதை எண்களால் குறிப்பிட முடியுமென்ருல், அதைப் பற்றி உங்களுக்கு ஏதோ கொஞ்சம் தெரியும் என அர்த்தம். அவ்வாறின்றி அதை எண்களின் அடிப்படையில் குறிப்பிட முடியா விட்டால், அதைப்பற்றிய உங்கள் அறிவு அற்பமானதும், நிறைவு

பெருததுமாகும். அது உங்கள் அறிவின் தொடக்கக் கட்டமாய் இருக்கலாம். ஆனல் அப் பொருள் எதுவாயிருந்தாலும் சரி, அதைப்பற்றிய உங்கள் சிந்தனைகள் அறிவியலின் அடித்தளத்தைக் கூட எட்டவில்லை.''

அறிவியல் வரலாற்றில் பல சமயங்களில் துல்லியமான அளவீடுகள் புழக்கத்திலிருந்த கருத்துகளைச் சீர்செய்தும் புதுக்கருத்துகளை உருவாக்கியுமுள்ளன. பௌதிகம் ஓர் அளவுச் சார்பான (Quantitative) துறை. இதில் துல்லியமான அளவுகள் இன்றியமையாத உறுப்பாகும். பௌதிக அளவுகளின் படித்தரங்களும் (Standards) அலகுகளும்: பௌதிக விதிகளை உருவாக்கத் தேவைப்படும் அளவுகள் பௌதிகவியலுக்கே அடிப்படையான கட்டுமானப் பொருள்களாகும். விசை, நேரம், திசைவேகம், அடர்த்தி, வெப்பநிலை, மின் (Charge) காந்த ஏற்புத்திறன் ஆகியவை அவற்றுள் சில. இச் சொற்களில் சில அடிக்கடி நமது பேச்சில் வரக்கூடியவை. அப்போதெல்லாம் அவை பொருள் தெளிவற்றதாயும், சில சமயங்களில் வேறு பொருளுடையதாகக்கூட இருக்கும். ஆனல் பௌதிக சம்பந்தமாக அவை குறிப்பிடப்படுகையில் அவற்றின் பொருள்கள் தெளிவாயும் துல்லியமாயும் வரையறுக்கப்பட வேண்டும்.

சில சமயங்களில் இந்த அளவுகள் அடிப்படை அளவுகள் (Fundamental Quantities), வழி அளவுகள் (Derived Quantities) என இருவகையாகப் பிரிக்கப்படுகின்றன. இப் பிரிவினை எந்த விதியின் அடிப்படையிலும் செய்யப்படுவதன்று. ஏனெனில் ஒரு குறிப்பிட்ட சமயத்தில் அடிப்படை அளவாகக் கருதப்படுகின்ற ஒன்று, பின்னெரு சமயத்தில் வழி அளவாகக் குறிப்பிடப்படுகிறது. (உ-ம்) விசை, உந்தம் ஆகியவை சில சமயங்களில் அடிப்படை அளவாகக் கருதப்படும்.

வழி அளவுகள் என்பவை, பிற அளவுகளின் அடிப்படையில், அவற்றின் இணைப்பில் உருவானவை எனலாம். நீளத்தை நேர அளவால் வகுத்தால் கிடைக்கின்ற திசைவேகம், திசை வேகத்தை நேர அளவால் வகுத்தால் கிடைக்கின்ற முடுக்கம், இரு நீளங்களின் பெருக்குத் தொகையான பருமம் ஆகியவை இவ்வகையிலான எடுத்துக் காட்டுகளாகும்.

அடிப்படை அளவுகள் பிற பௌதிக அளவுகளின் அடிப்படையில் உருவாகாதவை. வழக்கமாக நீளம், நிறை, நேரம் இம் மூன்றும் அடிப்படை அளவுகளாகக் கருதப்படுகின்றன.

அளவுகளை உருவாக்குவதற்கு ஒரு படித்தர அளவும், அலகும் தேவைப்படுகின்றன. தர அளவுகள் எளிதில் பெறக்கூடியதாயும், எச் சமயத்திலும், எந்தச் சூழ்நிலையிலும் மாறுதலையாயுமிருக்க வேண்டும். பல சமயங்களில் இவ்விரு இயல்புகளும் ஒன்றுச் சேர்ந்துள்ள படித்தரத்தைப் பெறமுடியாமல் போயிருக்கிறது. அப்போதெல்லாம் இரண்டிற்குமிடையில் நடுநிலையிலுள்ள ஓர் படித்தரத்தை உருவாக்கி மனநிறைவு கொள்ளப்பட்டது. தொடக்கக் காலங்களில் எளிதில் பெறக்கூடிய தன்மை முக்கியமாகக் கருதப் பட்டது. இவ்வாறு மனிதனின் கை நீளத்திலிருந்து கஜம் என்ற நீட்டலளவும், பாதத்தின் நீளத்திலிருந்து அடி, கட்டை விரலின் மேல் பாதியின் நீளத்திலிருந்து அங்குலம் போன்ற நடைமுறை அலகுகளும் உருவாக்கப்பட்டன. ஆனால் அளவு முறைகள் சீர்திருத்தப்பட்டபோது படித்தரங்கள் மாறிலியாயிருக்க வேண்டியதன் அவசியம் அதிகமாக உணரப்பட்டது. மேற் கண்டவை போன்ற துல்லியமற்ற நீள அளவு முறைகளைத் தற்காலத்தில் யாரும் பயன்படுத்துவதில்லை. எளிதில் பெறக்கூடிய இயல்பைவிட மாறிலியாயிருக்கும் இயல்பு இப்போது முக்கியத்துவம் பெற்றிருக்கிறது.

நீளம்:—பாரிஸ் நகருக்கருகில் செவ்ரே என்னுமிடத்திலுள்ள நிறை அளவிற்கான சர்வதேசக் கழக (International Bureau of Metric Weights and Measures) த்தில் பிளாட்டினா-இரிடிய உலோகக் கலவையினாலான படித்தர மீட்டர் (Standard Metre) எனப்படும் ஒரு கோல் வைக்கப்பட்டுள்ளது. அதன் முனைகளுக் கருகில் தங்கத்தினாலான இரு குமிழ்கள் உள்ளன. கோல் 0°C வெப்பநிலையிலிருக்கும்போது அக் குமிழ்களின் மேல் செதுக்கப் பட்டுள்ள இரு கோடுகளுக்கிடையிலுள்ள தூரம் ஒரு மீட்டர் (Metre) எனப்படுகிறது. அதில் நூற்றில் ஒரு பங்கு ஒரு சென்டி மீட்டர் (Centimetre) எனப்படும். பாரிஸ் நகர் வழியே செல்கின்ற தீர்க்கரேகையின் வழியே ஒரு துருவத்திலிருந்து பூமத்திய ரேகையின் தொலைவில் பத்து மில்லியனில் கோடியில் ஒரு பங்காக மீட்டர் உருவாக்கப்பட்டது. ஆனால் பிற்காலத்தில் செய்யப்பட்ட துல்லியமான அளவுகளிலிருந்து மேற்கண்ட நீளத்தின் உண்மையான மதிப்பு, படித்தர மதிப்பைவிடச் சற்று (சுமார் 0.023%) அதிகமாயிருப்பது காணப்பட்டது.

அண்மையில் படித்தர மீட்டரின் நீளம் கிரிப்டான் 86 எனும் ஐசோடோப் வாயுவினூடே மின்சாரம் பாயும்போது அவ்வாயு வெளி விடுகின்ற ஆரஞ்சு நிற ஒளியின் அலை நீளத்தோடு துல்லியமாக ஒப்பிட்டுப் பார்க்கப்பட்டது. அப்போது ஒரு மீட்டர் என்பது

ஆரஞ்சு நிற அலை நீளத்தைப்போல 1650763·73 மடங்கு என்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. கிரிப்டான் 86 எளிதில் எங்கும் கிடைக்கக் கூடிய வாயு. எந்தவொரு ஆய்வுக்கூடத்திலும் அதன் ஆரஞ்சு ஒளியினை வெளிப்படுத்தமுடியும். எல்லா கிரிப்டான் அணுக்களும் ஒரே மாதிரியான இயல்புள்ளவையாதலால், அதன் ஆரஞ்சு ஒளியின் அலைநீளம் எந்தச் சூழ்நிலையிலும், எந்த நேரத்திலும் மாறாது. இந்த அலை நீளமே, நீளத்தின் புதிய படித்தர அளவாகக்கூடச் சில விஞ்ஞானிகளால் பயன்படுத்தப்படுகிறது. சாதாரணமான சோதனைகளுக்குப் பாதரச ஐசோடோப்-198 அடங்கிய விளக்குகளிலிருந்து வெளியாகின்ற பச்சைநிற ஒளியின் அலைநீளத்தைப் படித்தர அளவாகப் பயன்படுத்துகிறார்கள். ஆங்கில மொழி பேசப்படும் நாடுகளில் புழங்கிவரும் நீள அலகான கஜம் (Yard) என்னும் அலகு 0·9144 மீட்டருக்குச் சமமாகும். எனவே இந்த அலகுகளுக்கும் மீட்டரே படித்தர அலகாகப் பயன்படுகிறது.

நிறை : செவ்ரேயிலுள்ள சர்வதேசக் கழகத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஓர் பிளாட்டின உருளையின் நிறை ஒரு கிலோ கிராம் எனப்படும் படித்தர அளவாகும். இது பிரெஞ்சுக் குடியரசு அரசாங்க உத்தரவுப்படி போர்டா (Borda) எனும் விஞ்ஞானியால் உருவாக்கி வைக்கப்பட்டது. அந்த நிறையின் ஆயிரத்தில் ஒரு பங்கு கிராம் (Gramme) எனப்படும் அடிப்படை அலகாகும். இந்த நிறை 4°c வெப்ப நிலையிலுள்ள, ஒரு கன சென்டி மீட்டர் பருமமுள்ள நீரின் நிறைக்குச் சமமாகும்.

நேரம் : நேரத்தை அளப்பதற்கான படித்தர அளவு சராசரி சூரிய விநாடி (Mean Solar Second) எனப்படும். இது சராசரி சூரிய நாளின் (Mean Solar Day) 86400-ல் ஒரு பங்காகும். ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தின் தீர்க்க ரேகையைச் சூரியன் அடுத்தடுத்துக் கடக்க எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் சூரிய நாள் எனப்படும். பூமி, சூரியனைச் சுற்றி வருகையில் அதன் திசை வேகம் சீராக இருப்பதில்லையாதலால் ஓராண்டுக் காலத்தில் சூரிய நாளின் அளவு மாறுகிறது. எனவே ஒரு ஆண்டிலுள்ள சூரிய நாட்களின் சராசரி அளவு கணக்கிடப்படுகிறது. நடை முறையில் ஒரு குறிப்பிட்ட விண்மீன், ஒரு குறிப்பிட்ட தீர்க்க ரேகையின் தளத்தை அடுத்தடுத்துக் கடப்பதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் கணிக்கப்பட்டு விண்மீன் நாள் (Sidereal day) எனும் படித்தர அளவாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இவ்விரு படித்தர அளவுகளுக்கு மிடையிலுள்ள தொடர்பினைத் துல்லியமாகக் கண்டுபிடிக்க முடியுமாதலால் விண்மீன் இயக்கத்தைக் கவனித்துச் சராசரி சூரிய விநாடியின் பரிமாணத்தை வரையறுத்துவிடலாம்.

அளவுத் திட்டங்கள் : அறிவியலில் மூன்று விதமான அளவுத் திட்டங்கள் புழக்கத்திலுள்ளன. அவையாவன: மீட்டர் - கிலோ கிராம் - விநடி எனும் MKS. அளவுத் திட்டம், சென்டி மீட்டர் கிராம் - விநடி எனும் CGS. அல்லது மெட்ரிக் அளவுத் திட்டம் அடி-பவுண்டு-விநடி எனும் FPS. அல்லது ஆங்கில அளவுத் திட்டம். பொறியியலில் கிலோகிராமும் கிராமும் நிறை அளவு களாகவும் பவுண்டு; விசை அளவாகவும் கருதப்படுகின்றன. MKS. திட்டத்தில் படித்தர அளவுகளே அடிப்படை அலகுகளாகும். இந்நூலில் MKS. திட்ட அலகுகள் பெரும் பாலும் பயன்படுத்தப்படும்.

1.2. சில பௌதிக அளவுகளும் வரையறைகளும் : அறிவியலில் பயன்படுத்தப்படும் அளவுகளைத் திசையுள்ள (Vector) அளவுக ளென்றும், திசையற்ற (Scalar) அளவுகளென்றும் இரு வகையாகப் பிரிக்கலாம். இடப்பெயர்ச்சி, நீளம், திசைவேகம், முடுக்கம் போன்றவை அளவுகளாகும். அவற்றை விகித நீளமுள்ள கோட்டினால் குறிப்பிட முடியும். அவற்றின் திசைகள் அம்புக் குறிகளினால் காட்டப்படும். எடுத்துக்காட்டாக முடுக்கம் 5 மீட்டர்/ விநடி$^2$ எனில் 5 சென்டி மீட்டர் நீளமுள்ள கோட்டால் அதைக் குறிப்பிடலாம். முடுக்கம் ஏற்படும் திசையினை அம்புக் குறியிட்டுக் காட்டலாம். பருமம், அடர்த்தி போன்றவை பரிமாணம் மட்டுமே உள்ள திசையற்ற அளவுகளாகும்.

இடப்பெயர்ச்சி (Displacement) : ஒரு பொருள் தானிருக்கும் இடத்தைவிட்டு இன்னோரிடத்திற்குச் செல்வது இடப்பெயர்ச்சி எனப்படும். இரு இடங்களுக்கும் இடையேயுள்ள நேர்கோட்டுத் தொலைவினால் இது அளக்கப்படும்.

திசைவேகம் (Velocity) : இது ஒரு துகள் இடப்பெயர்ச்சி அடையும் வீதம்-ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் ஒரு விநடியில் ஏற்பட்ட இடப்பெயர்ச்சி-ஆகும். இது மீட்டர்/விநடி, சென்டி மீட்டர்/ விநடி, அடி/விநடி போன்ற அலகுகளால் அளக்கப்படும்.

விசை (Force) : நியூட்டனின் முதல் விதியின்படி ஓய்வு நிலையிலிருக்கின்ற ஒரு பொருளை இடப்பெயர்ச்சி அடையவும், நேர்கோட்டில் சீரான திசைவேகத்துடன் சென்றுகொண்டிருக்கிற ஒரு பொருளின் திசையையும் திசைவேகத்தையும் மாற்றவும் செய்கின்ற பௌதிக அளவு விசை எனப்படும். இது MKS. திட்டத்தில் நியூட்டன் (Newton) எனும் அலகாலும் CGS. திட்டத்தில் டைன் எனும் அலகாலும் FPS. திட்டத்தில் பவுண்டல் எனும் அலகாலும் அளக்கப்படும்.

அலகு விசை என்பது அலகு நிறையுள்ள ஒரு பொருளில் அலகு முடுக்கத்தைத் தோற்றுவிப்பதாகும்.

$10^5$டைன்கள் = 1 நியூட்டன் = 7·232 பவுண்டல்கள்.

முடுக்கம் (Acceleration): இது விசையின் ஆளுகைக்குட்பட்டு ஒரு பொருளின் திசைவேகம் மாறுகின்ற வீதமாகும்–அதாவது ஒரு வினடியில் பொருளின் திசைவேகத்திலேற்படுகின்ற மாற்ற மாகும். அது மீட்டர்/வினடி$^2$, சென்டி மீட்டர்/வினடி$^2$, அடி/வினடி$^2$ எனும் அலகுகளால் அளக்கப்படும்.

ஆங்கில முறையில் பொறியியல் நோக்கங்களுக்கு விசை, நீளம், நேரம் ஆகியவை அடிப்படை அளவுகளாகவும் நிறை வழியலகாகவும் கருதப்படுகின்றன. நிறை $m = F/a$ எனும் தொடர் பினின்று கணிக்கப்படுகிறது. இத் திட்டத்தின்படி விசையின் படித்தர அளவும், அலகும் பவுண்டேயாகும். இது 0·45359237 கிலோகிராம் நிறையின்மேல் பூமி செலுத்தும் ஈர்ப்பு விசைக்குச் சமமாகக்கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது. படித்தர முடுக்கம் என்பது கடல் மட்டத்தில் 45°N அட்ச ரேகையில் உள்ள புவியீர்ப்பு முடுக்கமான 32·1740 அடி/வினடி$^2$ என எடுத்துக்கொள்ளப்படும். எனவே 0·45359237 கிலோகிராம் நிறையின்மேல் 32·1740 அடி/வினடி$^2$ முடுக்கத்தை ஏற்படுத்தக்கூடிய விசையாகப் பவுண்டு எனும் விசையலகு வரையறுக்கப்படுகிறது. இதே போல ஒரு பவுண்டு விசையினல் தாக்கப்படுகையில் ஒரு அடி/வினடி$^2$ எனும் முடுக்கத்துடன் இயங்கத் துவங்குகின்ற ஒரு பொருளின் நிறை ஓரும நிறை (Unit mass) க்குச் சமமாகும். இந்த ஒரும நிறை ஸ்லக் (Slug) என அழைக்கப்படுகிறது.

உந்தம் (Momentum): இது ஒரு பொருளில் அடங்கியுள்ள இயக்கத்தின் அளவாகும். அவ்வியக்கத்தைப் பெற்றிருப்பதனல் அப்பொருள், மற்ற பொருள்களை இயங்கச் செய்யும் ஆற்றலைப் பெறுகிறது. உந்தமானது நிறை, திசைவேகம் இவற்றின் பெருக்குத் தொகையால் அளக்கப்படும். சில தேவைகளுக்கு உந்தம் அடிப்படை அலகாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

செயல் (Work): ஒரு விசையின் தாக்குதலுக்குட்பட்ட துகள் இடப்பெயர்ச்சி அடைந்தால், விசை செயல் புரிந்ததாகச் சொல்லப்படும். செயலானது, விசை, விசையின் திசையில் தாக்குமையம் அடைந்த இடப்பெயர்ச்சி இவற்றின் பெருக்கற் பலனாகும்.

அலகு விசையால் தாக்குண்ட பொருள் விசையின் திசையிலேயே அலகு இடப்பெயர்ச்சி அடையும்போது புரியப்பட்ட செயலின் அளவு அதன் அலகாகக் கொள்ளப்படும். M K S. திட்டத்தில் செயலின் அலகு நியூட்டன் மீட்டர் (Newton Metre) அல்லது ஜுல் (Joule) எனப்படும். ஆங்கிலப் பொறியியல் திட்டத்தில் இது அடி பவுண்டு எனப்படும்.

1 ஜுல் = 0·7376 அடிபவுண்டு (அல்லது)

1 அடிபவுண்டு = 1·356 ஜுல்கள்.

திறன் (Power): இது செயல் செய்யப்படும் வீதம்—ஒரு வினாடியில் புரியப்பட்ட செயலின் அளவு—ஆகும். M K S. திட்டத்தில் வாட் (Watt) எனப்படும் 1 ஜுல்/வினாடி எனும் அலகும், ஆங்கில முறையில் 1 அடிபவுண்டு/வினாடி எனும் அலகும் புழக்கத்திலுள்ளன. நடைமுறையில் 550 அடிபவுண்டு/வினாடிக்குச் சமமான குதிரைத் திறன் (Horse Power) எனும் அலகு பயன் படுத்தப்படுகிறது.

ஒரு குதிரைத்திறன் = சுமார் 746 வாட்கள்

சில சமயங்களில் செயலின் அளவு திறன், நேரம் இவற்றின் பெருக்குத் தொகையாகவும் குறிப்பிடப்படுகிறது. எடுத்துக் காட்டாக கிலோவாட்மணி (Kilowatt hour அல்லது KWh) என்பது ஒரு வினாடிக்கு ஆயிரம் ஜுல் எனும் வீதத்தில் ஒரு எந்திரம் ஒரு மணி நேரத்தில் செய்கின்ற செயலாகும். இது வர்த்தகக் கழக அலகு (Board of Trade Unit) அல்லது யூனிட் எனப்படும்.

ஆற்றல் (Energy): இது ஒரு பொருளின் செயல் புரியும் திறமையாகும். இத்திறமை பல காரணங்களாலேற்படும். அக் காரணங்களையும் சூழ்நிலைகளையும் பொறுத்து ஆற்றல் வகைப் படுத்தப்படுகிறது. பொருளின் ஆற்றல் அது செய்யக்கூடிய வேலையின் அளவால் அளக்கப்படும். இதனால் ஆற்றலும் வேலையின் அலகுகளிலேயே அளக்கப்படுகிறது.

ஒரு பொருள் தனது சுற்றுச் சூழல்களைவிட உயர்ந்த நிலையிலிருக்கையில், அப் பொருளை அந்த நிலையில் கொண்டு சென்று வைப்பதற்காகச் செய்யப்பட்ட வேலை, அப் பொருளின் நிலை ஆற்றலா (Potential Energy)கச் சேமிக்கப்படுகின்றது. அதே போல ஒரு பொருளை முறுக்கவோ, வளைக்கவோ செய்தாலும் அப் பொருளில் நிலையாற்றல் தோன்றுகிறது. அப்பொருளை

மீண்டும் பழைய நிலைக்குக் கொண்டுவரத் தேவைப்படும் செயலுக்கு அவ்வாற்றல் சமமாயிருக்கும். எனவே ஒரு பொருள் தனது சுற்றுச் சூழல்களைவிட உயரமான இடத்திலோ அல்லது முறுக்கேற்றப் பட்ட, திரிபுறப்பட்ட நிலையிலோ இருப்பதால் அதற்கேற்படும் செயல்புரியும் திறமை நிலையாற்றல் எனப்படும்.

ஒரு பொருள் இயங்குவதால் அதற்கு ஏற்படும் செயல்புரியும் திறமை இயக்க ஆற்றல் (Kinetic Energy) எனப்படும். அதன் இயக்கம் அடங்கி அது ஓய்வு நிலைக்கு வருவதற்குமுன் அதனல் செய்யப்படக்கூடிய செயலின் அளவு அதன் இயக்க ஆற்றலின் அளவாகும். அப் பொருளை ஓய்வு நிலைக்குக் கொண்டுவரத் தேவை யான செயலின் அளவால் அதன் இயக்க ஆற்றல் அளக்கப்படும்.

சடத்துவத் திருப்புத்திறன் (Moment of Inertia) : நியூட்டனின் விதிப்படி, ஓய்வு நிலையிலோ அல்லது சீரான வேகத்துடன் நேர்க்கோட்டிலோ இயங்கிக் கொண்டிருக்கும் ஒரு பொருள் அதன் நிலையை மாற்றுவதற்காகச் செய்யப்படும் முயற்சிகளை எதிர்க்கிறது என்பதை நாமறிவோம். இந்த இயல்பு சடத்துவம் (Inertia) எனப்படும். அதேபோல பொருள் ஒரு அச்சைச் சுற்றிச் சீரான வேகத்துடன் சுழன்றுகொண்டிருக்கும்போதும், அதன் நிலையில் எந்த விதமான மாற்றத்தையும் ஏற்படுத்தச் செய்யும் முயற்சிகளை எதிர்க்கிறது. மாருத வேகத்துடன் சுழன்று கொண் டிருக்கும்போதும், அதன் நிலையில் எந்த விதமான மாற்றத்தையும் ஏற்படுத்தச் செய்யும் முயற்சிகளை எதிர்க்கிறது. மாருத வேகத் துடன் சுழன்று கொண்டிருக்கும் பொருளில் ஒரு குறிப்பிட்ட சுழற்சி முடுக்கத்தை (Angular Acceleration) ஏற்படுத்துவதற்கு நாம் செலுத்துகின்ற விசையிரட்டையின் மதிப்பு உயர உயர, சடத்துவ எதிர்ப்பும் அதிகரிக்கிறது. இதை நாம் சுழற்சி சடத்துவ விசை (Rotational Inertia) அதிகரிப்பதாகச் சொல்கிறோம். இந்தச் சுழற்சிச் சடத்துவ விசை, சுழல் அச்சைப் பொறுத்த சடத்துவத் திருப்புத்திறன் எனப்படும்.

$\omega$ எனும் கோணத் திசைவேகத்துடன் ஒரு நிலையான அச்சைச் சுற்றிச் சுழலும் ஒரு திண்மப் பொருளில், சுழற்சி அச்சிலிருந்து $r$ தொலைவில் அமைந்துள்ள ஒரு துகளின் திசைவேகம் $v = r\omega$ என நாமறிவோம். அதன் நிறை $m$ எனில் அதன் இயக்க ஆற்றல் $\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m r^2 \omega^2$. திண்மப்பொருளின் மொத்த இயக்க ஆற்றல், இத்தகைய துகள்களின் இயக்க ஆற்றல்களின் கூட்டுத்தொகைக் குச் சமம். அதாவது $K = \Sigma \frac{1}{2} m r^2 \omega^2$

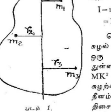
$$= \frac{1}{2} \Sigma (mr^2) \omega^2$$

பிறைக்கோட்டிற்குள் உள்ள பகுதி சுழல் அச்சைப் பொறுத்துப் பொருளின் சடத்துவத் திருப்புத்திறனாகும். அதை I எனும் எழுத்தால் குறிப்போம். எனவே $I = \sum mr^2$

சுழற்சி இயக்கத்தில் சடத்துவத் திருப்புத்திறனின் இடம் நேர்க்கோட்டியக்கத்தில் நிறையின் இடத்தை ஒத்திருக்கிறது. ஆனால் நிறை ஒரு மாறிலி. சடத்துவத்திருப்புத்திறன் பொருள் எந்த அச்சினைச் சுற்றிச் சுழன்றிடுகிறது என்பதைப் பொறுத்துள்ளது; அதாவது துகள்கள் சுழல் அச்சிலிருந்து அமைந்துள்ள பயனுறு தொலைவை (Effective distance)ப் பொறுத்துள்ளது. இந்தப் பயனுறு தொலைவு, சுழற்சி அச்சைப் பொறுத்த சுழற்சி ஆரம் (Radius of Gyration) எனப்படும். இது துகள்களின் தொலைவுகளின் இருமடிகளின் சராசரியின் வர்க்க மூலத்திற்கு (Square Root of Meau Square Distance)ச் சமம் ஆகும்.

பலதுகள் கொண்டதொரு தொகுதி ஒன்றில் $m_1, m_2, m_3 \ldots$ எனும் நிறைகளுள்ள பல்வேறு துகள்கள் சுழல் அச்சிலிருந்து முறையே $r_1\ r_2\ r_3 \ldots$ ஆகிய தொலைவுகளிலிருப்பின், அந்த அச்சைப்பற்றிய அத் தொகுதியின் திருப்புத்திறன்,

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \ldots\ldots\ldots$$
$$= \sum mr^2 = \int mr^2$$



படம் 1.

பொருளின் நிறை M முழுவதும் சுழல் அச்சிலிருந்து K தொலைவிலுள்ள ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் செறிந்துள்ளதாகக் கொள்வோம். அப்போது $MK^2 = \sum mr^2$ எனில், K என்பது சுழற்சி ஆரம் எனப்படும். இதன் நீளம் சுழற்சி அச்சின் நிலையும், திசையையும் பொறுத்தும், அந்த அச்சைப் பொறுத்துப் பொருளின் நிறை பரவியிருக்கும் தன்மையைப் பொறுத்தும் மாறும்.

சடத்துவத் திருப்புத்திறனின் அலகுகள் M K S. திட்டத்தில் கிலோ கிராம்—மீட்டர்$^2$, மெட்ரிக் முறையில் கிராம்—செ. மீ$^2$, ஆங்கில முறையில் ஸ்லக்—அடி$^2$ ஆகும்.

சுழல் இரட்டைத் திருப்புத்திறன் (Torquc): ஒரு பொருளின் சுழற்சி நிலையை மாற்ற அல்லது அதில் ஒரு சுழல் முடுக்கத்தை ஏற்படுத்த வேண்டுமானால் அதன் மேல் ஒரு விசையிரட்டையைச்

செலுத்தவேண்டும். இந்த விசையிரட்டையின் திருப்புத்திறன் சுழலிரட்டைத் திருப்புத்திறன் அல்லது சுழலிரட்டை எனப்படும். சுழலிரட்டை = சடத்துவத்திருப்புத்திறன் × சுழல் முடுக்கம்.

### 1.3 பரிமாணங்கள் (Dimensions), பரிமாணச் சமன்பாடுகள் (Dimensional Equation)

முறையே நிறை, நீளம், நேரம் இவற்றின் அலகுகளே அவற்றின் இயல்புகளை மட்டுமே காட்டுகின்ற, அவற்றின் அளவறுதியைக் குறிப்பிடாத M, L, T எனும் எழுத்துகளால் குறிப்பிடலாம். இவற்றின் அடிப்படையில் மற்ற வழி அலகுகளை யும் குறிப்பிட முடியும். எடுத்துக்காட்டாக, பரப்பளவை இரு நீளங் களின் பெருக்குத் தொகையாக $L^2$ எனவும் பருமத்தை மூன்று நீளங்களின் பெருக்குத்தொகையாக $L^3$ எனவும் குறிக்கலாம். இவற்றில் நிறை, நேரம் இவற்றின் பரிமாணங்கள் இடம் பெறுததால் அவற்றின் மடியைச் சுழியாகக்கொண்டு பரப்பளவை $M^0L^2T^0$ எனவும், பருமத்தை $M^0L^3T^0$ எனவும் குறிப்பது வழக்கம். இவை பரிமாணச் சமன்பாடுகள் எனப்படும். பரிமாணச் சமன்பாடு என்பது ஒரு பௌதிக அளவில் எந்தெந்த அடிப்படை அலகுகள் எப்படி இடம் பெறுகின்றன என்பதைக் காட்டுகின்ற ஓர் கோவை யாகும். நிறை, நீளம், நேரம் ஆகிய அடிப்படை அலகுகள் ஒரு வழி அலகில் இடம் பெறுவதற்காக எவ்வளவு மடிகள் (Power) உயர்த்தப்படுகின்றனவோ அந்த அளவு வழி அலகின் பரிமாணம் எனப்படும். எடுத்துக்காட்டாகத் திசைவேகம் = நீளம்/நேரம் = $L/T = LT^{-1}$

இதில் திசை வேகத்தின் பரிமாணம் என்பது நீளத்தில் $+1$, நேரத்தில் $-1$ ஆகும். திசைவேகம் $M^0LT^{-1}$ எனக் குறிப்பிடப்படு கிறது.

வெறும் எண்கள், தகவுகள், மின்சாரம், வெப்பம், வெப்பநிலை, மின்கடவாமாறிலி (Dielectric Constant) போன்றவற்றிற்குப் பரிமாணங்கள் கிடையாது. பின்வரும் அட்டவணையில் சில முக்கியமான பௌதிக அளவுகளுக்கான பரிமாணக்கோவைகள் தரப்பட்டுள்ளன.

| எண் | அளவு | பரிமாணக்கோவை |
|---|---|---|
| 1. | பரப்பளவு × நீளம் × நீளம் | $M^0L^2T^0$ அல்லது $L^2$ |
| 2. | பருமம் = நீளம் × நீளம் × நீளம் | $M^0L^3T^0$ அல்லது $L^3$ |

| எண் | அளவு | பரிமாணக்கோவை |
|---|---|---|
| 3. | திசைவேகம் = நீளம்/நேரம் | $\frac{M^0L}{T} = M^0LT^{-1}$ |
| 4. | முடுக்கம் = $\frac{\text{திசைவேகம்}}{\text{நேரம்}}$ | $\frac{M^0L}{T\times T} = M^0LT^{-2}$ |
| 5. | உந்தம் = நிறை × திசைவேகம் | $MLT^{-1}$ |
| 6. | விசை = நிறை × முடுக்கம் | $MLT^{-2}$ |
| 7. | செயல் = விசை × நீளம் | $ML^2T^{-2}$ |
| 8. | விசையிரட்டையின் திருப்புத்திறன் = விசை × நீளம் | $ML^2T^{-2}$ |
| 9. | இயக்க ஆற்றல் = $\frac{1}{2}$ × நிறை × (திசைவேகம்) | $\times ML^2T^{-2}$ |
| 10. | நிலையாற்றல் = நிறை × ஈர்ப்பு முடுக்கம் × உயரம் | $ML^2T^{-2}$ |
| 11. | சடத்துவத் திருப்புத்திறன் | $ML^2$ |
| 12. | திறன் = செயல்/நேரம் | $ML^2T^{-3}$ |
| 13. | அடர்த்தி = நிறை/பருமம் | $ML^{-3}$ |
| 14. | ஒப்பு அடர்த்தி | தகவானதால் பரிமாணம் கிடையாது |
| 15. | அழுத்தம் = விசை/பரப்பு | $ML^{-1}T^{-2}$ |
| 16. | தகைவு (Stress) = விசை/பரப்பு | $ML^{-1}T^{-2}$ |
| 17. | திரிபு = $\frac{\text{பரிமாணத்தில் ஏற்படும் மாற்றம்}}{\text{துவக்கப் பரிமாணம்}}$ | பரிமாணம் கிடையாது |
| 18. | மீட்சிக்குணகம் = $\frac{\text{தகைவு}}{\text{திரிபு}}$ | $ML^1T^{-2}$ |
| 19. | பரப்பு இழுவிசை = $\frac{\text{விசை}}{\text{நீளம்}}$ | $ML^0T^{-2}$ |
| 20. | பாகியல் எண் | $ML^{-1}T^{-1}$ |
| 21. | அதிர்வெண் = $\frac{1}{\text{நேரம்}}$ | $T^{-1}$ |
| 22. | கோணம் = நீளம்/நீளம் | பரிமாணம் கிடையாது |
| 23. | சுழல்திசை வேகம் = கோணம்/நேரம் | $T^{-1}$ |
| 24. | சுழல் உந்தம் (Regular Momentum) | $ML^2T^{-1}$ |

**1.4 பரிமாணச் சமன்பாடுகளின் பயன்கள் :** மேற்கண்ட சமன்பாடுகளைக் கவனமாக ஆராய்வது பல வழிகளில் பயனுடையது. அவற்றின் முக்கியப் பயன்கள் பின்வருமாறு :

(1) ஒரு திட்டத்தின் அலகுகளுக்கு மற்றொரு திட்டத்தின் சம அலகுகளைக் கண்டுபிடித்தல்.

(2) சோதனைகளின் முடிவுகளைச் சரிபார்த்தல்.

(3) வெவ்வேறு பௌதிக அளவுகளிடையேயுள்ள தொடர்புகளைக் கண்டுபிடிப்பது.

இவற்றைச் சற்று விரிவாகப் பார்ப்போம்.

(1) ஒரு பௌதிக அளவு அதே இயல்புள்ள தக்கதோர் அலகினுல் குறிப்பிடப்படுகிறது என்பதையும் அதன் மதிப்பு ஏதோ ஒரு எண், அந்த அலகு இவற்றின் பெருக்கற்பலனுக்குச் சமம் என்பதையும் முன்னர் கண்டோம். மேலும் ஒரு அளவின் எண் மதிப்பு தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட அலகின் பரிமாணத்திற்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலிருக்கும். அதாவது அளவின் எண்மதிப்பு. அலகின் பரிமாணம் இவற்றின் பெருக்குத்தொகை ஒரு மாறிலி. இது எல்லா அளவுத் திட்டங்களுக்கும் பொருந்தும். இதனுல் ஒரு திட்டத்தின் அலகுகளை இன்னொரு திட்டத்தின் அலகுகளாக மாற்றுவது எளிதாகிவிடுகிறது.

எடுத்துக்காட்டாக நிறை, நீளம், நேரம் ஆகியவற்றில் முறையே a, b, c எனும் பரிமாணங்கள் உடைய ஒரு அளவை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் பரிமாணச் சமன்பாடு $M^aL^bT^c$ ஆகும். ஒரு அளவுத்திட்டத்தில் அதன் எண்மதிப்பு $n_1$ எனவும் அடிப்படை அலகுகள் $M_1, L_1, T_1$ எனவும் கொள்வோம். அப்போது அந்த அளவு $= n_1 [M_1^a L_1^b T_1^c]$

மற்றொரு திட்டத்தில் அதன் எண் மதிப்பு $n_2$ எனவும் அடிப்படை அளவை $n_2 [M_2^a L_2^b T_2^c]$ எனக் குறிப்பிடலாம். இப்போது $n_1 [M_1^a L_1^b T_1^c] = n_2 [M_2^a L_2^b T_2^c]$

$$\text{எனவே } n_2 = n_1 \left[\frac{M_1}{M_2}\right]^a \left[\frac{L_1}{L_2}\right]^b \left[\frac{T_1}{T_2}\right]^c$$

இவ்வாறு இரு திட்டங்களிலும் அடிப்படை அலகுகளையும், ஏதாவது ஒரு திட்டத்தில் எண் மதிப்பையும் அறிவோமாயின், மற்ற எண் மதிப்பைக் கணக்கிட்டு விடலாம்,

எடுத்துக்காட்டு : (a) ஒரு பவுண்டலை டைன்களாக மாற்றுக

விசையின் பரிமாணக் கோவை $= MLT^{-2}$

1 பவுண்டு = 453.6 கி., 1 அடி = 30.48 செ. மீ.,

எனவே F.P.S திட்டத்தில் M அலகுகள் = C.G.S. திட்டத்தில் 453.6 M அலகுகள்

F.P.S. திட்டத்தில் L அலகுகள் = C.G.S திட்டத்தில் 30.48 L அலகுகள்

F.P.S. திட்டத்தில் T அலகுகள் = C.G.S. திட்டத்தில் T அலகுகள்.

∴ $MLT^{-2}$ பவுண்டல்கள் $= (453.6M)\ (30.48L)T^{-2}$ டைன்கள்

அல்லது 1 பவுண்டல் $= 453.6 \times 30.48$
$= 1.382 \times 10^4$ டைன்கள்.

(b) ஒரு குதிரைத்திறனை வாட்களாக மாற்றுக.

ஒரு குதிரைத்திறன் = 550 அடி பவுண்டு/வினாடி
$= 550 \times 32.2$ அடி பவுண்டல்/வினாடி

ஒரு அடி = 30.48 செ. மீ., 1 பவுண்டு = 456.6 கிராம்.

∴F.P.S. திட்டத்தில் M அலகுகள் = C.G.S. திட்டத்தில் 456.6 M அலகுகள்

F.P.S. திட்டத்தில் L அலகுகள் = C.G.S. திட்டத்தில் 30.48 L அலகுகள்

F.P.S. திட்டத்தில் T அலகுகள் = C.G.S. திட்டத்தில் T அலகுகள் திறனின் பரிமாணக்கோவை $ML^2T^{-3}$.
ஆகையால்,

$ML^2T^{-3}$ குதிரைத்திறன் $= 550 \times 32.2 (453.6M)\ (30.48L)^2 \times T^{-3}$

∴ 1 குதிரைத் திறன் $= 550 \times 32.2 \times 453.6 \times (30.48)^2$ எர்குகள் /வி.
$= 746.4 \times 10^7$ எர்குகள்/வினாடி
$= 746.4$ ஜூல்கள்/வினாடி
$= 746.4$ வாட்கள்.

2. சோதனைகளின் முடிவுகளைச் சரி பார்த்தல் என்பது எல்லா அளவுகளின் பரிமாணங்களும் ஒரு சமன்பாட்டின் இரு

புறங்களிலும் சமமாயிருக்கும் என்ற உண்மையின் அடிப்படையில் சாத்தியமாகிறது. மேலும் வெவ்வேறு இயல்புள்ள இரு பௌதிக அளவுகளை ஒப்பிடவோ கூட்டவோ முடியாது. ஒரே இயல்பான இரு பௌதிக அளவுகளின் கூட்டுத்தொகையும் அதே இயல்புள்ள தாயிருக்கும். எனவே ஒரு சமன்பாட்டில் இரு புறங்களிலுமுள்ள அளவுகளின் பரிமாணங்கள் சமமாயிருப்பின் அச் சமன்பாடு சரியானதாகும். அவ்வாறில்லாவிட்டால் ஏதோ ஒரு இடத்தில் பிழையிருக்கிறது என உணர்ந்து கவனமாகத் தேடிச் செப்பம் செய்ய வேண்டும். எடுத்துக்காட்டு: (a) தனி ஊசலின் அலைவு நேரத்திற்கான $t = 2\pi\sqrt{l/g}$ எனும் சமன்பாட்டைச் சரி பார்க்கவும்.

இச் சமன்பாட்டின் இடது புறத்தில் நேரத்தின் பரிமாணம் T ஆகவும் நிறை, நீளம் இவற்றின் பரிமாணம் சுழியாகவும் உள்ளது. வலது பக்கத்தில் $2\pi$ க்குப் பரிமாணமில்லை. நீளத்தின் பரிமாணம் ஒன்றாகவும் நிறை, நேரம் இவற்றின் பரிமாணம் சுழியாகவும் உள்ளது. g யின் பரிமாணக் கோவை $LT^{-2}$ ஆகும்.

எனவே இச் சமன்பாட்டின் வலது புறத்தின் பரிமாணம் $=\sqrt{L/LT^{-2}}$ அல்லது T

இவ்வாறு இருபுறங்களிலும் பரிமாணம் Tக்குச் சமமாயிருப்பதால், மேற்கண்ட தொடர்பு சரியானதே எனத் தெரிகிறது.

b. $S = ut + \frac{1}{2}at^2$ எனும் சமன்பாட்டைச் சரிபார்த்தல்.

இடது புறத்திலுள்ள S-ன் பரிமாணம் $= L$

வலதுபுறத்திலுள்ள u-ன்பரிமாணம் $= LT^{-1}$

நேரம் t-ன் பரிமாணம் $= T$

$\frac{1}{2}$க்குப் பரிமாணம் கிடையாது.

முடுக்கம் a-ன் பரிமாணம் $= LT^{-2}$

நேரம் $t^2$-ன் பரிமாணம் $= T^2$

$\therefore$ வலது புறத்திலுள்ள கோவையின் பரிமாணம்

$$= LT^{-1} \times T \quad + LT^{-2} \times T^2 \quad = L + L$$

அதாவது இருபுறங்களிலும் உள்ள அளவுகளின் பரிமாணங்கள் ட்க்கும் சமம். எனவே மேற்காணும் தொடர்பு சரியானதே.

இவ்வாறு ஒரு சமன்பாட்டின் இருபுறங்களின் பரிமாணங்கள் சமமாயிருப்பது, பரிமாணங்களின் ஓரியல்பு (Homogeneity of Dimensions) எனப்படும்.

3. பரிமாணங்களின் ஓரியல்புத் தன்மை வெவ்வேறு பௌதிக அளவுகளுக்கிடையில் ஓர் தொடர்பு நிறுவுவதிலும் உதவுகிறது. ஒரு பௌதிக அளவு எந்தெந்தக் காரணி (Factor) களைப் பொறுத்து அமைகிறது என்பதை அறிவோமானால் அவற்றை இணைத்து இருபுறங்களிலும் சமமான பரிமாணங்களுள்ளதாக, அந்த பௌதிக அளவிற்கான ஒரு கோவையை உருவாக்கிவிடலாம்.

எடுத்துக் காட்டு : (a) தனி ஊசலின் அலைவு நேரம் சார்ந்திருக்கக்கூடிய காரணிக ளாவன: குண்டின் நிறை (m), ஊசலின் நீளம் (l), புவியீர்ப்புமுடுக்கம் (g), ஊசல் வீச்சின் கோணம் (θ).

அலைவு நேரம் t, $m^a\, l^b\, g^c\, \theta^d$ ஆகியவற்றிற்கு நேர்விகிதத்தி லிருப்பதாய்க் கொண்டால்

$$t = k\, m^a\, l^b\, g^c\, \theta^d$$

இங்கு k ஒரு விகிதமாறிலி. கோவையின் இருபுறங்களிலு முள்ள பரிமாணங்களைக் கவனித்தால்,

$$T = M^a \times L^b \times (LT^{-2})^c$$

θ, K ஆகியவற்றிற்குப் பரிமாணங்களில்லை. எனவே

$$T = M^a\, L^b\, T^{-2c}\, L^c = M^a\, L^{b+c}\, T^{-2c}$$

இருபுறங்களிலும் மடிகளை ஒப்பிட்டால் $a = o,\ b + c = o,\ -2c = 1$ எனத் தெரிகிறது. அதாவது $c = \frac{1}{2}$. $\therefore\ b - \frac{1}{2} = o$ அல்லது $b = \frac{1}{2}$

$\therefore\ \ t = K l^{\frac{1}{2}} \cdot g^{\frac{1}{2}}$ அல்லது

$$t = K \sqrt{\frac{l}{g}}$$

சோதனைகளிலிருந்து K யின் மதிப்பு 2π எனக் கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ளது. எனவே தேவையான தொடர்பு

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

(b) வெப்பநிலை மாறுமலிருக்கும்போது ஒரு வாயுவில் ஒலியின் வேகத்தைக் குறிக்கின்ற கோவையைத் தருவி.

ஒலியின் திசை வேகம் V, வாயுவின் அழுத்தம் P, அடர்த்தி d இவற்றைப் பொறுத்திருக்கக்கூடும்.

எனவே $V = K\, P^a\, d^b$ என்போம்.

இருபுறங்களிலும் பரிமாணங்களை எடுத்தால்

$$M^0 L T^{-1} = \left[\frac{M L T^{-2}}{L^2}\right]^a \left[\frac{M}{L^3}\right]^b$$

$$= M^{a-b} L^{a-3b} T^{-2a}$$

இருபுறங்களிலும் பரிமாணங்கள் சமமாயிருக்க வேண்டுமாதலால் $a+b=0$, $-a-3b=1$, $-2a=-1$ என்பது தெளிவாகிறது.

அதாவது $a=\frac{1}{2}$, $b=-a=-\frac{1}{2}$

$\therefore V = KP^{\frac{1}{2}} d^{-\frac{1}{2}}$ அல்லது $K\sqrt{P/d}$

சோதனைகளிலிருந்து Kயின் மதிப்பு ஒன்று எனத் தெரிகிறது. எனவே $V=\sqrt{P/d}$

பரிமாண ஆய்வின் குறைபாடுகள் : பரிமாண ஆய்வு எல்லாச் சமயங்களிலும் எளிதாயும், நேரடியாகப் பயன்படுத்தக் கூடியதாகவும் இருப்பதில்லை. அதன் பயனுறு திறத்திற்கும் வரம்பு உண்டு. எடுத்துக் காட்டாக,

1. தனி எண்களைப் பற்றியோ, பரிமாணமற்ற மாறிலிகளைப் பற்றியோ எதுவும் கண்டுபிடிக்க முடியாது. அவற்றின் மதிப்புகளைத் தனியாகச் சோதனைகள் மூலமோ, கணக்கீடு மூலமோ கண்டுபிடிக்க வேண்டியிருக்கிறது.

2. M, L, T ஆகிய அளவுகளைக் கொண்ட மூன்று சமன்பாடுகளைத்தான் உருவாக்க முடியும். மூன்றுக்கு மேற்பட்ட அளவுகளைச் சார்ந்துள்ள ஒரு பௌதிகத் தொடர்பின் சரியான உருவைப் பெறுவதற்குப் பரிமாண ஆய்வு முறையில் வழியில்லை. பல வேளைகளில் இந்த ஆய்வின் வெற்றி வாய்ப்புப் பரிமாண மாறிலிகளைத் (G போன்றவை), தக்கபடி தேர்ந்தெடுத்துப் பயன்படுத்துவதைப் பொறுத்தேயுள்ளது. பயிற்சியும் திறமையும் இல்லாதவர்களால் அவ்வாறு செய்வது இயலாது.

## பயிற்சி

1. பாகியல் எண், ஈர்ப்புமாறிலி (G) ஆகியவற்றின் பரிமாணக் கோவைகளைத் தருவி.

2. பரிமாண ஆய்வின்படி $C = n\pi r^4/2l$ எனும் தொடர்பு சரியானது எனக் காட்டு. ($l$ – ஒரு கம்பியின் நீளம்,

r = அதன் ஆரம், ( n – அதன் விறைப்புக்குணகம், c = அலகு முறுக்கத்திற்கான இன்சயிரட்டை)

3. தக்க எடுத்துக் காட்டுகளுடன் பரிமாண ஆய்வின் அனுகூலங்களையும், குறைகளையும் விவரி. பரிமாண ஆய்வு முறையில் ஒரு திரவத்துளியின் அலைவு நேரத்தைக் கண்டுபிடி. அதன் அலைவு நேரம், துளியின் ஆரம், திரவத்தின் அடர்த்தி, அதன் பரப்பு இழுவிசை ஆகியவற்றைப் பொறுத்தது எனக் கொள்—சென்னை 1945.

4. ஒரு கூட்டு ஊசலின் அலைவு நேரத்திற்கான கோவை $t = 2\pi\sqrt{\frac{K^2 + l^2}{l\,g}}$. இது சரியானதா எனப் பார்.

5. திசை வேகம், முடுக்கம் ஆகியவற்றின் பரிமாணங்களைத் தருவி. விசையீர்ப்பின் ஆளுகைக்குட்பட்டு ஒரு பொருள் ஓய்வுநிலையிலிருந்து விழுகையில் அதன் வேகம் $= K\, g^a h^b$. (h விழுந்த உயரம், g புவியீர்ப்பு முடுக்கம் k, a, b ஆகியவை மாறிலிகள்) a, b இவற்றின் மதிப்பைக் கண்டுபிடி.

6. இழுத்துக் கட்டப்பட்ட ஒரு கம்பியின் அதிர்வெண் n, இழுவிசை T, நீளம் $l$, ஒரும நீளத்தின் நிறை d ஆகியவற்றின் சார்பு எண் ஆனால் $n \propto \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{d}}$ எனக் காட்டு.

7. ஒரு சிறிய திரவத்துளியின் பரப்பு இழுவிசையினாலான அதிர்வு நேரம் (t), திரவத்தின் அடர்த்தி d, துளியின் ஆரம் a, பரப்பு இழுவிசை T ஆகியவற்றை மட்டுமே பொறுத்துள்ளது. அதிர்வு நேரம் $= K\, d^{1/2}\, a^{3/2}\, T^{-1/2}$ எனக் காட்டு.

8. ஒரு பொருள் ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியை நோக்கி நேர் கோட்டில் சென்று கொண்டிருக்கிறது. அது அப் புள்ளியிலிருந்து d தொலைவிலிருக்கும்போது அதன் முடுக்கம் $= \mu/d^2$. அது a தொலைவிலுள்ள ஓரிடத்திலிருந்து ஓய்வு நிலையிலிருந்து புறப்பட்டிருந்தால், மேற்கூறிய புள்ளியை அடைய ஆகும் நேரம் $\sqrt{a^3/\mu}$-க்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும் எனக்காட்டு. (சென்னை 1950)

# 2. நிறையீர்ப்பு

## ( Gravitation )

2.1. வானில் ஒளி வீசிக்கொண்டிருக்கின்ற கோள்களும் விண்மீன்களும் நெடுங்காலமாகவே மனிதனின் கவனத்தை ஈர்த்து ஆவலைத் தூண்டியுள்ளன. கிறிஸ்து பிறப்பதற்குச் சுமார் 2,000 ஆண்டுகள் முன்னரே இந்தியர்களும், சீனர்களும் வானியல் ஆராய்ச்சிகளில் ஈடுபட்டிருக்கின்றனர். கி. பி. 100-ஆம் ஆண்டுவாக்கில் அலக்ஸான்டிரியாவில் வாழ்ந்த டாலமி என்பார் வானியலில் முறையான ஆராய்ச்சி நூல் ஒன்றை எழுதினர். ஏறத்தாழ 1400 ஆண்டுகளுக்கு அவரது கருத்துகள் எதிர்ப்பாரின்றிப் பரவி நின்றன. அவர் பூமி நிலையாயிருப்பதையும் வானமண்டலம் முழுவதும் ஒரு வட்டமான பாதையில் பூமியைச் சுற்றி வருவதாயும் கூறினர். விண்மீன்களுக்கு நடுவில் புலப்படும் கோள்கள் முன்னும் பின்னுமாக இயங்குவதை விளக்குவதற்காக அவர் கோள்கள் எல்லாம் எபிசைகிள (Epicyle) எனும் சுருள் வட்டப் (ஒரு பெரிய வட்டத்தின் பரிதிமேல் உருண்டு செல்கின்ற ஓர் சிறிய வட்டம்) பாதையில் இயங்குவதாகக் கூறினர். மேலும் அந்தச் சுருள் வட்டங்களின் மையங்கள் பூமியைச் சுற்றி அண்ட வட்டங்கள் (Deferents) எனும் பெரிய வட்டங்களில் சுற்றுவதாயும் அவர் கருத்து வெளியிட்டார். அவற்றின் ஆரங்களையும் வேகங்களையும் தக்கபடி தேர்ந்தெடுத்துக்கொண்டு, கண்ணுக்குப் புலனாகும் நிகழ்ச்சிகளை அவரால் துல்லியமாக விளக்க முடிந்தது. இதனல் அவரது கருத்துகள் உலகெங்கும் தடையின்றி ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டன.

கி. பி. 1543-ல் போலந்தைச் சேர்ந்த நிகலஸ் கோப்பர்நிக்கஸ் எனும் பாதிரியார் டாலமியின் கருத்துகளுக்கு எதிரான கொள்கைகளை உருவாக்கினர். பூமியும் மற்ற கோள்களும் நிலையாக உள்ள சூரியனைச் சுற்றி வட்டப் பாதைகளில் ஓடுகின்றன

என அவர் கண்டு பிடித்தார். ஆனால் அவரது கூற்றுகள் பைபிளில் கூறப்பட்டுள்ளவைகளுக்கும், மத நம்பிக்கைகளுக்கும் விரோதமாயிருந்ததால், தனது ஆராய்ச்சி முடிவுகளை வெளியிட அஞ்சி கோபர்நிக்கஸ் வெகுநாள் சும்மாயிருந்தார். தமது இறுதிக் காலத்தில் மனம் துணிந்து தனது ஆராய்ச்சி நூலை வெளியிட்டு அதைப் போப்பாண்டவருக்குக் காணிக்கையாக்கி விட்டார். போப் அதிலுள்ள விஷயங்களைப் புரிந்து கொள்ளாமல் அதைப் பாராட்டி தனது மகிழ்ச்சியையும் தெரிவித்துக்கொண்டார். நூறு ஆண்டுகள் கழித்து அதே கொள்கைகளைப் பரப்பிய கலீலியோ மத குருக்களால் மிகவும் துன்புறுத்தப்பட்டார். இதே காரணத்திற்காக கியார்டானோ புருனோ என்பாரை உயிருடன் எரித்தார்கள். இருபத்தைந்து ஆண்டுகள் கழித்து கி. பி. 1569-ல் டென்மார்க் தேசத்தில் நுண்ணறிவும் துணிச்சலும் படைத்த டைக்கோ பிராஹே எனும் செல்வப் பிரபு வானியலில் ஈடுபாடு கொண்டு அத் துறையில் பல ஆராய்ச்சிகள் செய்தார். புகழ் பெற்ற அவரது மரத்தாலான குவாட்ரன்ட் (Quadrant) கருவியின் உதவியுடன் முப்பது ஆண்டுகளுக்கு விண்ணிலுள்ள பொருள்களின், முக்கியமாக செவ்வாய்க் கோளின் இயக்கங்களைக் கவனித்து அளவிட்டார். கோப்பர்நிக்கஸின் கொள்கைகளை அவர் ஏற்றுக்கொள்ளவில்லை. இதனால் நெடுங்காலமாகக் கவனத்துடன் சேகரித்து வைத்த துல்லியமான தகவல்களைக் கொண்டும் அவரால் முழுமையான, சரியான கோட்பாடு எதனையும் உருவாக்க இயலவில்லை. அவரது உதவியாளராயிருந்த கெப்ளர் என்பார் கணக்கில் மேதாவி. அவர் கோபர்நிக்கஸின் கொள்கைகளை ஒப்புக்கொண்டார். டைக்கோபிராஹே சேகரித்த தகவல்களை அவர் சிறந்த முறையில் பயன்படுத்திக் கொண்டு, அந்த ஆராய்ச்சிகளைத் தொடர்ந்து செய்தார். இறுதியில் கெப்ளரின் விதிகள் எனப்படும் பிரபலமான மூன்று விதிகளை உருவாக்கினார். முதல் இரு விதிகள் கி. பி. 1609-லும் மூன்றாவது விதி கி. பி. 1619-லும் வெளியிடப்பட்டன.

## 2.2. கெப்ளரின் விதிகள்:

1. ஒரு கோளின் ஓடு பாதை நீள் வட்டமானது. அதன் ஒரு குவியத்தில் சூரியன் அமைந்திருக்கும்.
2. சூரியனையும் கோளையும் இணைத்து வரையப்படுகின்ற ஆரக்கோடு (Radius vector) சமநேர இடைவெளிகளில் சமமான பரப்புகளைக் கடக்கிறது. அதாவது அதன் பரப்புத்திசை வேகம் (Areal Velocity) ஒரு மாறிலி.

3. கோளின் ஆண்டின் (கோள் சூரியனைச் சுற்றி ஒரு முறை வர ஆகும் காலம்) இருமடி, சூரியனுக்கும் கோளுக்கும் இடையிலுள்ள சராசரித் தொலைவின் மும்மடிக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும்.

துரதிருஷ்டவசமாகக் கெப்ளருக்கு சடத்துவப் பண்பைப்பற்றி ஏதும் தெரியாததால் கோள்கள் தொடர்ந்து இயங்கிக் கொண்டிருப்பதற்கான காரணத்தை அவரால் விளக்க முடியவில்லை. ஏதோ ஒரு விசை கோள்களின்மேல் தொடர்ந்து செயல்பட்டுக் கொண்டிருப்பதாக அவர் எண்ணினார். இதனால் அவரது ஆராய்ச்சிகளின் முன்னேற்றம் தடைபட்டது. பின்னர் ஐசக் நியூட்டன் ஓய்வு நிலையும் நேர் கோட்டுப் பாதையில் சீரான இயக்கமும் பொருள்களின் இயல்பான பண்புகளே என ஊகம் செய்துகொண்டு கெப்ளரின் விதிகளை ஆராய்ந்தார். இவற்றிலிருந்து அவர் பெற்ற முடிவுகள் பின்வருமாறு :

கோளின் மேல் ஒரு கவர்ச்சி விசை தாக்கி அதனைச் சூரியனை நோக்கி இழுத்துக்கொண்டிருக்கிறது. இந்த விசையினால்தான் கோள் தனது ஒடு பாதையிலிருந்து பிறழாமல் இயங்குகிறது. இக் கவர்ச்சி விசை சூரியனுக்கும் கோளுக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவின் இருமடிக்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலிருக்கும்; இக் கவர்ச்சி விசை அவற்றின் நிறைகளின் பெருக்குத் தொகைக்கு நேர் விகிதத்திலிருப்பதாகக் காட்ட முடியும்.

தாம் பெற்ற முடிவுகளைச் சரிபார்க்க நியூட்டன் சந்திரனின் இயக்கத்தைப் பயன்படுத்தினார். சந்திரன் பூமியைச் சுற்றி வருகையில், பூமியின் திசையில் சந்திரனின் முடுக்கத்தையும், தனது முடிவுகளின் அடிப் படையில் கணக்கிடப்பட்ட முடுக்கத்தையும் ஒப்பிட்டு நோக்கி அவை ஒத்திருப்பதைக் காட்டினார். அதைப் பின்வருமாறு விளக்கலாம்.

பூமியை நோக்கிச் சந்திரனின் முடுக்கம் $g_m$ என்க.

ஓடு பாதையில் சந்திரனின் திசைவேகம் v, பூமி, சந்திரன் இவற்றின் மையங்களுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு R எனில்,

$$g_m = v^2/R$$

$$= (\omega R)^2/R = \omega^2 R$$

($\omega$ – சந்திரனின் சுழல் திசைவேகம்)

ஒருமுறை சந்திரன் பூமியைச் சுற்றிவர ஆகும் காலம் T எனில்

$$\omega = 2\pi/T$$

எனவே $g_m = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R$

இங்கு $T = 27.3$ நாட்கள் $= 27.3 \times 24 \times 3600$ விநாடிகள்

$R = (240000 \times 1760 \times 3)$ அடிகள்

$$\text{எனவே } gm = \frac{4\pi^2 \times 240000 \times 1760 \times 3}{(27.3 \times 24 \times 3600)^2}$$

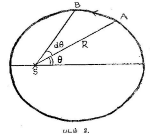
$$= \cdot 00899 \text{ அடி / விநாடி}^2.$$

இப்போது பூமியின் மேற் பரப்பிலுள்ள ஈர்ப்பு முடுக்கம் $g$ எனில், சந்திரனின் மையத்திலுள்ள முடுக்கம் $= g/60^2$. ஏனெனில் சந்திரனின் மையத்திற்கும் பூமியின் மையத்திற்கும் இடையிலுள்ள தொலைவு பூமியின் ஆரத்தைப் போல 60 மடங்கு. எனவே பூமியின் மேற்பரப்பில் $g = 32 \cdot 2$ செ.மீ/விநாடி$^2$ எனக் கொண்டால்,

$$gm = \frac{32.2}{60 \times 60} = \cdot 00894 \text{ அடி / விநாடி}^2$$

இவ்வாறு இரு முறைகளிலும் கிடைக்கின்ற மதிப்புகள் ஒத்திருப்பது கெப்ளரின் விதிகளிலிருந்து நியூட்டன் பெற்ற கோட்பாடுகள் சரியானவையே என நிரூபித்தது. இவ்வாறு எந்த இரு பொருள்களுக்குமிடையிலும் பரஸ்பரக் கவர்ச்சி விசை செயல்படும் என்பதும் உறுதியாயிற்று. மேலும் நியூட்டன் ஊகித்தபடி பூமி பிற பொருள்களின் மீது கவர்ச்சி விசையைச் செலுத்தும்போது அதன் நிறை முழுவதும் அதன் மையத்திலிலேயே குவிந்திருப்பது போலத் தோன்றுகிறது. எந்த ஒரு கோளமும் அதற்கு வெளியிலுள்ள ஒரு பொருளின்மீது கவர்ச்சி விசையைச் செலுத்தும் போது அதன் மையம் ஒரு நிறைப் புள்ளி (Point Mass) யைப் போலச் செயல்படுகின்றது என நியூட்டன் மெய்ப்பித்தார். இயற்கையிலேயே கூச்சமுள்ள மனப் பாங்குடைய நியூட்டன் வெகு காலம் உழைத்துத் தனது ஊகங்களும் முடிவுகளும் சரியானவையே என்று நிச்சயமாகத் தெரிந்து கொண்ட பின்னரே தனது ஆராய்ச்சி முடிவுகளை பிரின்சிபியா மேதமேடிகா (Principia Mathematica) என்ற நூலாக 1687-ல் வெளியிட்டார். அப்போதும் அவர் பெருந்தன்மையோடு, தான் சாதித்தது எல்லாம் தமக்கு முன் வாழ்ந்த அறிஞர்களின் உழைப்பின் விளைவே எனக் கூறி வந்தார். ராபர்ட்ஹூக் என்ற விஞ்ஞானிக்கு எழுதிய கடிதமொன்றில் "என்னால் அதிகத் தொலைவு பார்க்க முடிகிறது என்றால் அதற்குக் காரணம் நான் மாமேதைகளின் தோள்களில் ஏறி நிற்பதுதே" என நியூட்டன் பணிவுடன் கூறினர்.

2.3. கெப்ளரின் விதிகளிலிருந்து நியூட்டன் பெற்ற முடிவுகள் :



படம் 2.

1. ஒரு குறிப்பிட்ட கணத் (t) தில் கோளின் நீள்வட்ட ஓடுபாதையின் ஒரு குவியத்தில் சூரியன் (s) இருக்கையில், கோள் A யிலிருக்கட்டும். அப்போது dt எனும் நேர இடைவெளியில் கோள் B யைச் சென்றடைந்தால் S.A. எனும் ஆரவெக்டாரினுல் கடக்கப்பட்ட பரப்பளவு S.A.B. எனும் முக்கோணத்தின் பரப்பளவிற்குச் சமம்.

அதாவது $\frac{1}{2}$ SA×AB $= \frac{1}{2} R \times R\ d\theta = \frac{1}{2} R\ d\theta$

∴ கோளின் பரப்புத் திசை வேகம் $= \frac{1}{2} R^2 . \frac{d\theta}{dt}$

இது கெப்ளரின் விதிப்படி ஒரு மாறிலி.

$R^2 \frac{d\theta}{dt} = h$ என்போம்.

கோள் வளைந்த பாதையில், தொடர்ந்து தனது திசையை மாற்றிக்கொண்டே செல்வதால் நியூட்டனின் முதல் விதியிலிருந்து, அதை ஒரு விசை தொடர்ந்து தாக்கிக்கொண்டேயிருப்பதாகப் புலப்படுகிறது. அதனுல் கோளின்மேல் ஒரு முடுக்கம், விசையின் திசையில் செயல்பட வேண்டும். இந்த முடுக்கத்தை ஆரக்கோட்டின் திசையில் ஒன்றும், அதற்கு நேர்க்குத்தான திசையில் ஒன்றுமாக இரு ஆக்கக் கூறுகளாய்ப் பிரிக்கலாம். அவை ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தாயிருக்கும்.

ஆரக்கோட்டின் திசையிலுள்ள ஆக்கக்கூறு a, கோளின் ஆரத்திசை முடுக்கம் (Radial acceleration) எனப்படும்.

ஆரத்திசை முடுக்கம் $a_1 = \frac{d^2R}{dt^2} - R\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2$

ஆரக்கோட்டிற்கு செங்குத்தான ஆக்கக்கூறு $a_2$, கோளின் குறுக்குத் திசை முடுக்கம் (Transverse acceleration) எனப்படும்

$$\text{குறுக்குத்திசை முடுக்கம் } a_2 = \frac{1}{R} \frac{d}{dt}\left(R_2 \frac{d\theta}{dt}\right)$$

$R\frac{d\theta}{dt} = h$ எனும் மாறிலியானபடியால் அதன் வகைக் குணகம் (Differential Coefficient) சுழிக்குச் சமம். எனவே $a_2 = 0$. அதாவது கோளுக்குக் குறுக்குத்திசை முடுக்கம் கிடையாது. எனவே அதன் முடுக்கம் ஆரத்திசையில் மட்டுமே செயல்படும். அதாவது கோளின்மேல் செயல்படும் விசை சூரியனை நோக்கியுள்ளது.

2. $R^2\frac{d\theta}{dt} = h$ அல்லது $\frac{d\theta}{dt} = \frac{h}{R^2}$

$\frac{1}{R} = u$ என வைத்துக் கொள்வோம். அப்போது $\frac{d\theta}{dt} = hu^2$

R-ஐ t யைப் பொறுத்து வகைப்படுத்தினல்,

$$\frac{dR}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{u}\right) = -\frac{1}{u^2} \cdot \frac{du}{dt}$$

$$= -\frac{1}{u^2} \cdot \frac{du}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = -h \cdot \frac{du}{d\theta}$$

$$\left(\because \frac{1}{u^2} \cdot \frac{d\theta}{dt} = R^2\frac{d\theta}{dt} = h\right)$$

மீண்டும் R-ஐ வகைப்படுத்தினல்,

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -h \cdot \frac{d^2u}{d\theta^2} \times \frac{d\theta}{dt} = -h^2u^2\frac{d^2u}{d\theta^2}$$

$$\left[\because \frac{d\theta}{dt} = \frac{h}{R^2} = hu^2\right]$$

மேற்கண்ட $a_1$-ன் கோவையில் $\frac{d\theta}{dt}$, $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ ஆகியவற்றின் மதிப்புக்களைப் பதிலீடு செய்தால்,

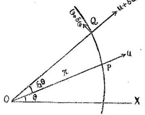
$$a_1 = -h^2u^2\frac{d^2u}{d\theta^2} - R\,(hu^2)^2$$

$$= -h^2u^2\left[\left(\frac{d^2u}{d\theta^2}\right) + Ru^2\right]$$

அல்லது $a_1 = -h^2u^2\left(\frac{d^2u}{d\theta^2} + \frac{u^2}{u}\right)$

$$= -h^2u^2\left(\frac{d^2u}{d\theta^2} + u\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(i)$$

**அடிக்குறிப்பு :**




படம் 2A.

O என்பதை ஒரு ஆயத்தொகுப்பின் துவக்கப் புள்ளியாகவும் OX என்பதை ஏதாவது ஒரு தளமாகவும் எடுத்துக்கொள். ஒரு துகள் PQ என்ற வளைகோட்டுப்பாதையில் இயங்கட்டும்.

P யின் முனை ஆயப்புள்ளிகள் (Polar co-ordinates) (r. o.) ஆகும்.

OP திசையில் Pயின் திசைவேகம் $u = \frac{dr}{dt}$

OPக்குச் செங்குத்துத் திசையில் Pயின் திசைவேகம் $v = r\frac{d\theta}{dt}$

OQ திசையின் Q வின் திசைவேகம் $= u + \delta u$

OQ க்குச் செங்குத்துத் திசையில் Q வின் திசைவேகம் $= v + \delta v$

∴ OP திசையில் துகளின் திசைவேக மாற்றம்

$$= (u + \delta u)\cos\delta\theta - (v + \delta v)\sin\delta\theta - u$$

OP திசையில் துகளின் முடுக்கம்

$$= \text{எல்லை}_{\delta t \to 0} \frac{(u + \delta u)\cos\delta\theta - (v + \delta v)\sin\delta\theta - v}{\delta t}$$

ஆனல் $\delta t \rightarrow 0$ ஆனல் $\delta \theta$, $\delta u$, $\delta v$ ஆகியவை சுழியை அணுகு கின்றன.

$\therefore$ OP திசையில் துகளின் முடுக்கம் $= \dfrac{du}{dt} - v \cdot \dfrac{d\theta}{dt}$

$$= \frac{d}{dt}\left(\frac{dr}{dt}\right) - r \cdot \frac{d\theta}{dt} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2} - r\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2$$

$$\left[\frac{\sin \delta\theta}{\delta t} = \frac{\sin \delta\theta}{\delta\theta} \times \frac{\delta\theta}{\delta t};\ \text{எல்லை}_{\delta\theta \to 0}\ \frac{\sin \delta\theta}{\delta\theta} = 1.\right]$$

கோளின் நீள் வட்ட ஒடு பாதையின் சமன்பாடு $\dfrac{l}{R} = (1 + e \cos \theta)$ என்க. இங்கு $l$ என்பது அதன் நேர் அகலம் (Latus Rectum) e என்பது அதன் மையத் தொலைவுத்தகவு (Eccentricity).

அதாவது $lu = (1 + e \cos \theta)$..............(ii)

இந்தக் கோவையை இரு முறை $\theta$ வைப் பொறுத்து வகைப்படுத்தினல், $l\dfrac{d^2u}{d\theta^2} = -e \cos \theta$ ................. (iii)

(ii) (iii) ஆகிய கோவைகளைக் கூட்டினல்,

$$lu + l\frac{d^2u}{d\theta^2} = 1 + e \cos \theta - e \cos \theta = 1$$

அல்லது $l\left(u + \dfrac{d^2u}{d\theta^2}\right) = 1$ ; எனவே $u + \dfrac{d^2u}{d\theta^2} = \dfrac{1}{l}$

இந்த மதிப்பை (i) கோவையில் பதிலீடு செய்தால்,

$$a_r = \frac{-h^2u^2}{l} = -\frac{h^2}{l} \cdot \frac{1}{R^2}$$

$h^2/l$ எனும் மாறிலியை K எனும் எழுத்தால் குறிப்போம்.

$a_r = -K/R^2$ அல்லது $K \propto -\dfrac{1}{R^2}$.............. (iv)

அதாவது கோளின் முடுக்கம் அல்லது கோளின்மீது செயல் படும் விசை கோளுக்கும் சூரியனுக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது. இதிலுள்ள எதிரினக்குறி

விசை ஈர்ப்பு விசை என்பதைக் குறிக்கிறது. கோள் சூரியனைச் சுற்றி வர ஆகும் காலம் T =

$$\frac{\text{நீள் வட்டத்தின் பரப்பு}}{\text{ஆரக்கோட்டின் பரப்புத் திசை வேகம்}} = \frac{\pi ab}{\frac{1}{2} R^2 . \frac{d\theta}{dt}}$$

இதில் a என்பது கோளின் நீள் வட்டப் பாதையின் பெரிய அச்சு ; b - சிறிய அச்சு.

அல்லது $T = \frac{\pi ab}{h/2}$ ; $\therefore T^2 = \frac{4\pi^2 a^2 b^2}{h^2}$

நீள் வட்டப் பாதையின் நேர் அகலம் $l = b^2/a$ ; $\therefore b^2 = al$

எனவே $T^2 = \frac{4\pi^2 l}{h^2} \times a^2 = \frac{4\pi^2}{K} \times a^3 \left( \because \frac{h^2}{l} = K \right)$

கெப்ளரின் விதிப்படி கோள்களுக்கு $T^2$, $a^3$க்கு நேர் விகிதத்தி லுள்ளபடியால், $\frac{4\pi^2}{K}$ என்பது ஒரு மாறிலி. ஒவ்வொரு கோளுக்கும் K சமம். அதாவது K யின் மதிப்பு கோளைப் பொறுத்தல்ல.

3. கோளின் நிறை m எனவும் சூரியனின் நிறை M எனவும் கொள்வோம். சூரியன் கோளின் மேல் F எனும் விசையையும், கோள் எதிர் வினையாகச் சூரியன் மேல் F எனும் விசையையும் செலுத்தட்டும். மேலே கண்ட (iv) கோவையிருந்து $F = \frac{Rm}{R^2}$, $F^1 = \frac{KM}{R^2}$ என அறிகிறோம். (இங்கு R, K ஆகியவை மாறிலிகள்)

நியூட்டனின் மூன்றாவது விதிப்படி வினையும் எதிர் வினையும் சமம். எனவே $F = F^1$. ஆதலால் $Rm = KM$, அல்லது $\frac{R}{M} = \frac{K}{M}$ = ஒரு மாறிலி (G என்க). எனவே $R = MG$. Rயின் மதிப்பை மேற்கண்ட F-க்கான கோவையில் பதிலீடு செய்தால் $F = \frac{mM}{R^2} G$.

ஆகவே சூரியனுக்கும் கோளுக்கும் இடையிலுள்ள ஈர்ப்பு விசை அவற்றின் நிறைகளின் பெருக்குத் தொகைக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது.

**2.4. நியூட்டனின் நிறையீர்ப்பு விதி** (Law of Gravitation) இவ்விதி கூறுவதாவது. பிரபஞ்சத்(Universe)திலுள்ள பருப் பொருளின் ஒவ்வொரு துகளும் மற்ற ஒவ்வொரு துகளையும் ஈர்க்கிறது. அவ்வாறு பரஸ்பரம் தமக்குள் ஈர்த்துக்கொண்டிருக்கிற இரு துகள்களுக்கிடையிலுள்ள ஈர்ப்பு விசை அவ்விரு துகள்களின் நிறைகளின் பெருக்குத் தொகைக்கு நேர் விகிதத்திலும், அவ்விரு துகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவின் இருமடிக்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலும் இருக்கும்.

இவ்வாறு $m_1$, $m_2$, நிறைகளுள்ள இரு துகள்கள் r இடைவெளியிருப்பின் அவற்றுக்கிடையிலுள்ள ஈர்ப்பு விசை $F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$ அல்லது $F = \frac{G.\, m_1 m_2}{r^2}$

இங்கு G என்பது ஓர் சர்வ மாறிலி (Universal constant). அது நிறையீர்ப்பு மாறிலி (Gravitational Constant) எனப்படும்.

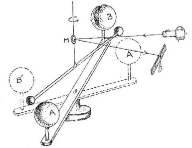
$m_1 = m_2 = 1$ கிராம், $r = 1$ செ. மீ., எனில் $F = G$.

இவ்வாறு ஈர்ப்புமாறிலி என்பது ஒரு கிராம் நிறையுள்ள இருபொருள்கள் ஒரு சென்டிமீட்டர் இடைவெளியில் அமைந் திருக்கையில் அவற்றிற்கிடையிலுள்ள நிறையீர்ப்பு விசைக்குச் சமமானது எனலாம். அதன் பரிமாணக்கோவை $M^{-1}\ L^3\ T^{-1}$ ஆகும். அதன் மதிப்பு $6{\cdot}673 \times 10^{-11}$ நியூட்டன் மீட்டர்$^2$/கிலோ கிராம்$^2$. அது சில சமயங்களில் விசையின் வானவியல் அலகு (Astronomical unit of Force) எனவும் குறிப்பிடப்படும்.

இதை ஏன் சர்வமாறிலி எனக் கூறுகிறோமெனில் மிகச் சிறிய துகள்களிலிருந்து மாபெரும் விண்மீன்கள்வரை இந்த மாறிலியின் மதிப்பு சமமாகவுள்ளது. மூலக்கூறு நிலையில் தொலைவுகள் ஏறத்தாழ $10^{-7}$ செ.மீ. அளவிற்குக் குறையும்போது தான் இந்த நியூட்டனின் விதி மீறப்படுகிறது எனக் கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ளது.

**2.5. ஈர்ப்பு மாறிலியைக் கண்டு பிடித்தல்:** சோதனைச் சாலைகளில் சிறிய நிறைகளுக்கிடையில் தோன்றும் ஈர்ப்பு விசையைத் துல்லியமாக அளந்து G-ன் மதிப்புக் கணக்கிடப் படுகிறது. இங்கு நாம் சில முக்கியமான முறைகளைச் சற்று விரிவாகப் பார்ப்போம்.

**காவன்டிஷின் முறை :** 1798-ல் காவண்டிஷ் முதன் முறையாக G-ன் துல்லியமான மதிப்பைக் கண்டுபிடித்தார். அவர் பயன் படுத்திய காவன்டிஷ் தராசுக்கருவியின் ஓர் சீர்திருத்தப்பட்ட மாதிரியமைப்புப் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஒவ்வொன்றும்




படம் 3.

m நிறையுள்ள இரு சிறு கோளங்கள் ஒரு லேசான கோலின் முனைகளில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த வன்பிடி (Dumb bell) அமைப்பு கிடைத்தளத்திலிருக்குமாறு ஒரு மெல்லிய இழையினால் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும். ஒவ்வொன்றும் M நிறையுள்ள இரு பெரிய கோளங்கள் வன்பிடியின் முனைக்கருகில் எதிர் எதிர்ப் பக்கங்களில் ஒரு சுழல்மேடை (Turn Table) யில் அமைந்துள்ளன. பெரிய கோளங்கள் A, B எனும் நிலைகளிலிருக்கையில், சிறிய கோளங்கள் அவற்றால் ஈர்க்கப்படுகின்றன. வன்பிடியின்மேல் ஒரு சுழல் இரட்டை செயல்பட்டு அதை இடப்புறமாகச் சுழற்றுகிறது, பெரியகோளங்களை A', B' எனும் நிலைகளில் வைத்தால் வன்பிடி வலப்புறமாகச் சுழற்றப்படும். இழை முறுக்கப்பட்டு அதில் இந்தச் சுழலிரட்டைகளை எதிர்த்து ஒரு மீட்டு வரும் விசையிரட்டை தோன்றுகிறது. இந்த இரட்டை விசைகள் சமமாகும் நிலையில் நிற்கும். இழை முறுக்கப்படும் கோணம் $\theta$ வை அளக்க உதவியாக இழையில் ஒரு சிறு ஆடித் துண்டு ஒட்டப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு விளக்கிலிருந்து வரும் ஒளிக் கற்றையை ஆடித்துண்டின் மீது படுமாறுசெய்து, எதிரொளிக்கப் பட்ட கற்றையைக் கிடையாக அமைக்கப்பட்ட ஒரு ஒளிக்கசியும்

அளவுகோலில் பிடித்து. ஆடித்துண்டு திரும்புகின்ற கோணத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

பெரியகோளங்கள் ஒவ்வொன்றும் M நிறையுள்ளதாயும், சிறிய கோளங்கள் ஒவ்வொன்றும் m நிறையுள்ளதாயும் இருக்கட்டும். A B நிலையிலோ A'B' நிலையிலோ பெரிய கோளங்கள் இருக்கும் போது, ஒருபெரிய கோளத்திற்கும் அண்மையிலுள்ள சிறிய கோளத்திற்கும் இடையிலுள்ள சராசரி தூரம் d என்போம். அப்போது அவற்றிற்கிடையில் தோன்றும் ஈர்ப்பு விசை $= \frac{GMm}{d^2}$.

இதே அளவு மற்றொருவிசை மற்ற இரு கோளங்களுக் கிடையிலும் செயல்படுகிறது. வன்பிடித்தண்டின் நீளம் $l$ எனில் இந்த ஈர்ப்புவிசை $= \frac{GMm}{d^2} l$

குவார்ட்ஸ் இழையில் தோன்றும் முறுக்கம் $= \theta$ ரேடியன்கள் ஒரு முறுக்கத்(unit twist)திற்கான மீட்டுவரும் விசையிரட்டை (Restoring couple)யின் சுழற்சிவிளைவு c எனில், இழையில் தோன்றும் மொத்த மீட்டுவரும் விசையிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு $= c\,\theta$.

முறுக்கத்தண்டு (Torsion Rod) சமநிலையிலிருப்பதால் இவ்விரு சுழற்சி விளைவுகளும் சமம்.

$$\text{அதாவது} \quad \frac{GMm}{d^2} l = c\,\theta \quad \text{அல்லது} \quad G = \frac{c\,\theta\,d^2}{Mml} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

c யின் மதிப்பைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு முறுக்கத்தண்டை மட்டும் முறுக்கலைவுகள் (Torsional Oscillations) செய்யவிட வேண்டும்: அதனுடைய அலைவுநேரம் T என்போம். சிறிய கோளங்களுடன் தண்டின் சடத்துவத் திருப்புத்திறன். (Moment of Inertia I எனில், $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{c}}$. இதிலிருந்து $c = \frac{4\pi^2 I}{T^2}$

c யின் மதிப்பை 1-ம் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால்

$$G = \frac{4\pi^2 I\,\theta\,d^2}{Mm\,l\,T^2}$$

காவெண்டிஷின் முறை மிகவும் சிக்கலானது. கருவியமைப்பு மிகப் பெரியதாயிருப்பதால் அதை ஒரு பெரிய அறையில் நிறுவ

வேண்டியிருந்தது. அருகிலுள்ள தெருக்களில் பெரிய ஊர்திகள் செல்லும்போது ஏற்படும் அதிர்வுகள் கூடக் கருவியின் சமநிலையைப் பாதித்தன. இதற்காகக் காவண்டிஷ் இரவு நேரங்களில் ஊரடங்கிய வேளைகளில் தம் சோதனைகளைச் செய்யவேண்டியிருந்தது. இம் முறையில் பல சிக்கல்களுக்கான திருத்தங்களைக் கணக்கில் சேர்க்கவேண்டும். அவற்றுள் சில பின்வருமாறு.

1. ஒவ்வொரு பெரியகோளமும் எதிர்முனையிலுள்ள சிறிய கோளத்தின் மீதும் ஈர்ப்பு விசையைச் செலுத்தும்.

2. பெரிய கோளங்களுக்கும் முறுக்கத்தண்டிற்கும் இடையிலும் ஈர்ப்புவிசை தோன்றுகிறது.

3. பெரிய கோளங்களைத் தாங்குகின்ற சட்டங்களாலும் ஈர்ப்புவிசை செலுத்தப்படுகிறது.

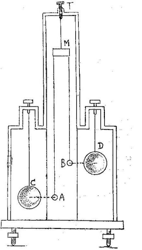
இச் சோதனையில் மழை தோற்றுவிக்கின்ற அம்சங்கள் பின்வருமாறு.

1. பெரிய கோளத்திற்கும் அண்மையிலுள்ள சிறியகோளத்திற்கும் இடையிலுள்ள ஈர்ப்புவிசை மிகமிகச் சிறிய அளவிலேயே ஏற்படுகின்றது. விலக்கவிசையிரட்டையின் மதிப்பை அதிகப்படுத்துவதற்காக முறுக்கத்தண்டின் நீளத்தை அதிகரிக்கலாம். இதனால் ஒரு பெரியகோளத்திற்கும் மறுமுனையிலுள்ள சிறிய கோளத்திற்குமிடையிலுள்ள ஈர்ப்பு விசையும் குறையும். ஆனால் கருவியமைப்பின் பரிமாணம் அதிகரிப்பதால் அதை நிறுவப் பெரிய அறை தேவைப்படும். அறையிலுள்ள காற்றில் ஏற்படும் வெப்பச் சலனங்களினால் கருவி பாதிக்கப்படும் வாய்ப்பு இதனால் அதிகரிக்கும். இக் கருவி மிகவும் நுட்பமானதாகையால் அக்கம் பக்கத்தில் ஏற்படும் அதிர்ச்சிகள்கூட அளவீடுகளைக் கெடுத்துவிடுகின்றன.

2. தொங்கல் இழையை முருக்குவதற்கு மிகவும் அதிகமான சுழற்றுவிசை தேவைப்படுகிறது. இதனால் தண்டில் ஏற்படும் முறுக்கம் மிகக் குறைவாயுள்ளது.

3. முறுக்கக்கம்பி முற்றிலும் மீள்தன்மை உடையதாக இல்லாதலால் விலக்கவிசைகள் நீக்கப்பட்டவுடன் தனது துவக்க நிலைக்குச் சரியாகத் திரும்பிவருவதில்லை. இதனால் சுழற்சிவிசையிரட்டை, ஒதுக்கத்திற்குச் சரியான நேர்விகிதத்திலிருக்காது.

பாய்ஸின் கருவியமைப்பு :—1895-ல் ஸர் சார்லஸ் வெர்னன் பாய்ஸ் என்பார் காவண்டிஷின் முறையிலுள்ள குறைபாடுகளை நீக்கிச் சீர்திருத்தப்பட்ட ஒரு கருவியை அமைத்தார். அவரது கருவியமைப்பின் பரிமாணமும், கூட்டின் அளவும் சிறியதாயிருந்ததால் வெப்பச்சலனத்தால் ஏற்படும் இடையூறுகள் பெரிதும் குறைந்தன. சிறு கோளங்கள் வெவ்வேறு உயரங்களில் அமைக்கப்பட்டு, பெரியகோளங்களுக்கும் மறுபுறத்திலுள்ள சிறு கோளங்களுக்கும் இடையிலுள்ள ஈர்ப்புவிசையும் குறைக்கப்பட்டது. ஒரு முறுக்கத்திற்கான விசையிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு மிகக் குறைவாய்த் தேவைப்படும் குவார்ட்ஸ் இழைகளில் கோளங்கள் தொங்கவிடப்பட்டன. குவார்ட்ஸ் இழைகள் சிறந்த மீள்திறனுள்ளவையாயும், உறுதிமிக்கவையாயும், மெல்லியவையாயும் இருப்பதால், இழையிலேற்படும் கோணவிலக்கம் (Angular Deflection) அதிகமாயும், சுழல்விசையிரட்டைக்கு நேர்விகிதத்திலும் இருக்கும். மேலும் அளவுகோல் தொலைநோக்கி (Scale and Telescope) அமைப்புப் பயன்படுத்தப்பட்டு அளவீடுகள் மிகவும் துல்லியமாக எடுக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு பாய்ஸின் கருவியின் பரிமாணம் குறைக்கப்பட்டாலும் அதன் உணர்வு நுட்பம் அதிகரிக்கப்பட்டது.

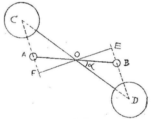


படம் 4.

சுமார் 2.5 செ.மீ., நீளமுள்ள ஆடிப்பட்டை (M) யொன்று முறுக்கத்தண்டாகச் செயல்படுத்தப்படுகிறது. அது ஒருமெல்லிய குவார்ட்ஸ் இழையில் T எனும் சுழற்குமிழி(Torsion Head) லிருந்து சுமார் 4 செ.மீ., வட்டமுள்ள ஒருகண்ணாடிக் குழாய்க்குள்

தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. ஆடிப்பட்டையின் இரு முனைகளிலிருந்து குவார்ட்ஸ் இழைகளில் ஒவ்வொன்றும் 2·6 5 கிராம் நிறையும், 0.5 செ.மீ., விட்டமும் உள்ள A,B எனும் இரு தங்கக் கோளங்கள் படத்தில் காட்டியபடி தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. B கோளம், A கோளத்தைவிட சுமார் 15 செ.மீ., உயரத்திலிருக்கு மாறு தொங்கும். ஓர் ஓரச்சான (Coaxial) வெளிக்குழாயில் ஒவ்வொன்றும் 11 செ.மீ., விட்டமும், சுமார் 74 கிராம் நிறையுமுள்ள C,D எனும் இரு ஈயக்குண்டுகள் குவார்ட்ஸ் இழைகளில் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கின்றன. C யின் மையம், A யின் மையத்தோடும், D யின் மையம் B யின் மையத்தோடும் ஒரே கிடைத்தளத்தில் அமைந்திருக்கும். A யின் மையத்திற்கும் C யின் மையத்திற்கும் இடையிலுள்ள தொலைவு B யின் மையத்திற்கும் D யின் மையத்திற்கும் இடையிலுள்ள தொலைவிற்குச் சமமாயிருக்கும். குவார்ட்ஸ் இழையிலேற்படும் முறுக்கம், ஆடிப்பட்டையில் ஏற்படும் விலக்கத்தினுல் அளக்கப்படுகிறது. அரை மில்லி மீட்டர்களில் அளவு குறிக்கப்பட்ட ஒரு அளவுகோல், ஆடிப்பட்டையிலிருந்து 7 மீட்டர் தொலைவில் வைக்கப்பட்டு தொலைநோக்கியின் உதவியுடன் ஆடிப்பட்டையின் விலக்கத்தால், அதில் ஏதிரொளிக்கப்பட்ட அளவீடுகளில் ஏற்படும் மாற்றம் பதிவு செய்யப்படும்.

வெளி உருளையைச் சுற்றிப் பெரிய ஈயக் குண்டுகள் தங்கக் கோளங்களுக்கு மாறுபட்ட எதிர்ப்பக்கங்களில், ஆடிப்பட்டை




படம் 5.

பெரும் அளவு விலகுமாறு வைக்கப்படும். இரு விலக்கங்களின் சராசரி θ என்க. θ எனும் பெருமவிலக்கநிலையில் A. B, C, D ஆகிய கோளங்கள் படத்தில் காட்டியவாறு அமைந்திருக்கட்டும்.

ஆடிப்பட்டையின் மையம் O, அதன் நீளம் 2l என்போம். அதாவது $OA = OB = l$. $OD = b$, $\angle BOD = \alpha$ என்க.

O விலிருந்து BD யின் நீட்சிக்கு OE எனும் லம்பத்தை வரை. இப்போது OBD எனும் முக்கோணத்தில்,

$$BD = \sqrt{OD^2 + OB^2 - 2\ OD.\ OB.\ \cos\alpha}$$

$$= \sqrt{b^2 + l^2 - 2\ b.\ l.\ \cos\alpha}$$

மேலும் $\dfrac{\sin\alpha}{\sin BDO} = \dfrac{BD}{OB} = \dfrac{BD}{l}$

$\therefore\ \sin BDO = \dfrac{l\ \sin\alpha}{BD}$

இப்போது OED எனும் முக்கோணத்தில்,

$OE = OD\ \sin EDO = OD \sin BDO.$

அல்லது $OE = \dfrac{b.\ l.\ \sin\alpha}{BD}$

A, C மற்றும் B, D ஆகிய கோளங்களுக் கிடையிலுள்ள ஈர்ப்புவிசை $= \dfrac{Mm\ G}{BD^2}$. இதில் M, m ஆகியவை முறையே பெரிய, சிறிய கோளங்களின் நிறைகளாகும்.

இவ்விரு விசைகளும் சமமாயும், எதிர்த்திசைகளில் ஒன்றுக் கொன்று இணையாகச் செயல்படுகின்றவையாயும் இருப்பதால், இவை ஒரு விசையிரட்டையாக அமைந்து ஆடிப்பட்டையைச் சுழற்ற முயலும். இவ் விசையிரட்டையின் திருப்புத்திறன்,

$$= \frac{M\ m}{BD^2}\ G \times EF = \frac{M\ m}{BD^2} G \times 2\ OE\ .$$

இங்கு $EF = 2\ OE$ என்பது விசைகளின் செயல்திசைகளுக் கிடையிலுள்ள நேர்க்குத்துத் தூரமாகும்.

அதாவது விலக்கும் விசையிரட்டையின் திருப்புத்திறன்

$$= \frac{M\,m}{BD^2} G \times 2 \cdot \frac{b\,l \sin\alpha}{BD} = 2 \frac{Mm\,G\,b\,l \sin\alpha}{BD^3}$$

$$= \frac{2\,G\,Mm\,b\,l \sin\alpha}{(b^2 + l^2 - b.\,l.\,\cos\alpha)^{3/2}}$$

இந்த விலக்கத்தைத் தொங்கல் இழையில் தோன்றும் மீட்டு வரும் விசையிரட்டை எதிர்க்கிறது. இது கோளங்களின் ஈர்ப்பினாலேற்படும் விலக்க விசையிரட்டைக்குச் சமமாகும் நிலையில் ஆடிப்பட்டை திரும்பி நிற்கும். அது θ கோணத்தில் திரும்பியிருப்பதாகக் கொள்வோம். தொங்கல் இழையில் ஒரும விலக்கத்திற்கு ஆன முறுக்க விசையிரட்டையின் திருப்புத்திறன் C எனில் இழையில் θ விலக்கத்திற்குத் தோன்றும் விசையிரட்டையின் திருப்புத்திறன் = Cθ.

$$\text{எனவே}\quad C\,\theta = \frac{2\,G\,M\,m\,b\,l \sin\alpha}{(b^2 + l^2 - b\,l.\,\cos\alpha)^{3/2}}$$

$$\text{அல்லது}\quad G = \frac{C\,\theta\,(b^2 + l^2 - 2\,b\,l \cos\alpha)^{3/2}}{2\,M\,m\,b.\,l.\,\sin\alpha}$$

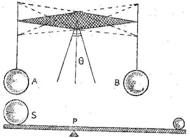
துலாக்கோல் முறைகள் (Balance methods): 1878ம் ஆண்டில் வான் ஜாலி (Von Jolly) என்பார் ஒரு தராசுக்கோலைப் பயன்படுத்தி ஈர்ப்புமாறிலியின் மதிப்பைக் கண்டுபிடிக்கலாம் என யோசனை கூறினர். அவர் 21 மீட்டர் உயரத்தில் ஒரு தராசை அமைத்து அதன் தட்டுகளிலிருந்து சுமார் 20 மீட்டர் நீளமுள்ள இரு கம்பிகளைத் தொங்க விட்டார். கம்பிகளின் கீழ்முனைகளில் ஒரே நிறையுள்ள இருதட்டுகள் தொங்கவிடப்பட்டன.

மேல்தட்டுகளில் இருசம எடைகள் வைக்கப்பட்டுத் தராசு சமநிலையாக்கப்பட்டது. பின்னர் அவற்றுள் ஒரு எடை அதே பக்கத்திலுள்ள கீழ்த்தட்டில் வைக்கப்பட்டது. அது இப்போது பூமியின் மையத்திற்கு நெருங்கி இருப்பதால் அதன் எடை சற்றே அதிகமாகத்தோன்றும். தராசை மீட்டும் சமநிலைப்படுத்த மற்ற தட்டில் சேர்க்கவேண்டிய எடையைக் கொண்டு இவ்வாறு அதிகமாகத்தோன்றும் எடையின் மதிப்புக் கண்டுபிடிக்கப் பட்டது.

இப்போது தெரிந்த எடையுள்ள ஒரு பெரிய காரீயக் கோளத்தை எடையுள்ள கீழ்த்தட்டின் கீழே வைத்தால், இரண்டிற்கும் மேலேயுள்ள மற்ற தட்டில் இன்னும் சிறிது எடையைச்

சேர்த்துத் தராசு மீண்டும் சமநிலைக்குச் கொண்டுவரப்பட்டு இந்த அதிகரிப்பின் அளவுகண்டு பிடிக்கப்பட்டது. இப்போது எடையின்மேல் பூமியினுல் செலுத்தப்படும் ஈர்ப்பு விசையையும் ஈயக்குண்டினுல் செலுத்தப்படும் ஈர்ப்பு விசையையும் கண்டுபிடித்து ஒப்பிடலாம். ஈயக்குண்டு, பூமி இவற்றின் மையங்களுக்கிடையே யுள்ள தொலைவைக் கண்டறிந்து, அவற்றின் நிறைகளையும் ஒப்பிடலாம். ஈயக்குண்டின் நிறையைக் கண்டுபிடித்துக்கொண்டு, பூமியின் நிறையைக் கணக்கிடமுடியும். இதிலிருந்து G யின் மதிப்பையும் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

1891-ல் P. H. பாயின்டிங் [Poynting] என்பவர் தராசு முறையைச் சீர்திருத்தி அமைத்தார். அவருடைய கருவியமைப்பு மிகவும் விரிவாயும், துல்லியமானதாயும் இருந்தது. அது படத்தில் காட்டப்




படம் 6.

பட்டுள்ளது. அதில் ஒரு உறுதியான, உணர்வு மிக்க, எஃகாலான கூர்விளிம்புகளுள்ள துலாக்கோல் உள்ள ஒருதராசு பயன்படுத்தப் பட்டது. கருவி முழுவதும் ஒரு மூடப்பட்ட அறையினுள் அமைக்கப் பட்டு அளவீடுகள் வெளியிலிருந்து எடுக்கப்பட்டன.

காரீய ஆண்டிமனி உலோகக் கலவையாலானவையும், ஒவ்வொன்றும் சுமார் 50 பவுண்டு நிறையுள்ளவையுமான A, B எனும் ஒரே மாதிரியான கோளங்கள் துலாக்கோலின் முனைகளிலிருந்து தொங்கவிடப்பட்டன. அதே மூலப்பொருளாலானதும் சுமார் 350 பவுண்டு நிறையுள்ளதுமான S எனும் பெரியகோளம்

கீழே ஒரு சுழல் மேடையின்மேல் வைக்கப்பட்டது. சுழல்மேடையைச் சுழற்றி S-ஐ விருப்பம்போல் A-க்கு நேர்கீழே அல்லது B-க்கு நேர்கீழே கொண்டுவரலாம்.

முதலில் S கோளம் A கோளத்திற்கு நேர்கீழே கொண்டு வரப்பட்டது. S கோளத்தின் நிறை M, A கோளத்தின் நிறை m, அவற்றின் மையங்களுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு r, எனில், S கோளம் A கோளத்தை $\frac{G\ Mm}{r^2}$ எனும் விசையுடன் கீழ் நோக்கி இழுக்கும். துலாக்கோல் ஒருபுறமாகச் சாயும். சுழல் மேடையைச்சுற்றி S கோளம் B க்குக் கீழேகொண்டு வரப்பட்டது. இப்போது அது B-யை $\frac{G\ Mm}{r^2}$ எனும் விசையுடன் கீழே இழுக்கும். துலாக்கோல் அதனுல் எதிர்திசையில் சாயும். இவ்வாறு ஏற்படும் மொத்தச்சாய்வு θ என்போம். அது துலாக்கோலில் ஏற்படும் விலக்கமாகும்.

துலாக் கோலின் ஒரு புயத்தின் நீளம் a எனில் S கோளத்தை A க்குக் கீழேயிருந்து B க்குக் கீழேகொண்டுவந்தால் விசையிரட்டையிலேற்படும் மாற்றம் $= \frac{G\ Mm}{r^2} \times 2\ a$

துலாக்கோலில் ஒருமவிலக்கம் ஏற்படுத்துவதற்கான விசையிரட்டையின் சுழற்சிவிளைவு C எனில், θ விலக்கத்தை ஏற்படுத்திய விசையிரட்டை $= C\ \theta$

எனவே $\frac{G\ Mm}{r^2} 2\ a = C\ \theta$ அல்லது $G = \frac{r^2\ C\ \theta}{Mm\ 2\ a}$

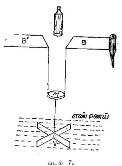
C யின் மதிப்பைக்கண்டு பிடிக்க ஒரு சென்டிகிராம் கொக்கி (Rider)யைத் துலாக்கோலின் ஒரு புயத்தின்மேல் வைத்து நகர்த்தி, $l$ செ, மீ., நகர்த்தும்போது துலாக்கோலில் ஏற்படும் சாய்வு ∝ அளக்கப்பட்டது. இப்போது $0.01\,g\,l = C \propto$

எனவே $C = \frac{0.01gl}{\propto}$

G-க்கான கோவையில் C யின் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்து G கணக்கிடப்பட்டது. S-க்கும் துலாக்கோலுக்கும் இடையிலேற்படும் ஈர்ப்பு விசையின் விளைவை கணக்கீட்டிலிருந்து விலக்க A,B ஆகிய கோளங்களை ஒருஅடிதூரம் உயர்த்திக்கட்டித் தொங்கவிட்டுச் சோதனையை மீண்டும் செய்து அளவீடுகளை எடுக்க வேண்டும். S கோளத்தினுல் தொலைவிலுள்ள A அல்லது B

கோளத்தின்மேல் குறுக்கே செலுத்தப்படும் ஈர்ப்பு விசைக்கும் தக்கதோர் திருத்தம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

θ, α ஆகிய கோணங்கள் மிகவும் சிறியனவாயிருந்ததால் அவற்றைத் துல்லியமாக அளக்கக் கெல்வின் பிரபு ஒருமுறையை வகுத்தார். அவரது அமைப்பு முறை படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. M எனும் ஒரு சிறிய ஆடி இரு இணையான நூல்களில், ஒரே கிடைமட்டத்திலுள்ள இருசட்டங்களி (B,B') லிருந்து தொங்கவிடப் பட்டது. B இயங்கக்கூடியதாய்த் துலாக் கோலுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். துலாக்கோல் மேலும், கீழுமாக இயங்குகையில் B-யையும் அசைத்து ஆடி சுழற்றப்படும். இரு சட்டங்களுக்கும் நடுவிலுள்ள இடைவெளியைத் தக்கபடி அமைத்துத் துலாக் கோலின் விலக்கத்தை ஏறக்குறைய 150 மடங்கு பெருக்கலாம்.



படம் 7.

ஆடியிலிருந்து 5 மீட்டர் தொலைவில், அரை மில்லிமீட்டர்களில் அளவு குறிக்கப்பெற்ற ஒரு அளவுகோல் வைக்கப்பட்டிருக்கும். மேலே செங்குத்தாய்ப் பொருத்தப்பட்ட ஒரு தொலைநோக்கியின் உதவியுடன் ஆடியில் எதிரொளிக்கப்பட்ட அளவீடுகள் பதிவு செய்யப்பட்டன. காற்றோட்டத்தினுல் கருவி பாதிக்கப்படாமலிருக்க ஆடியிலிருந்து காற்றுடித் தகடுகள் கீழேயுள்ள ஒரு எண்ணெய்த் தொட்டியில் மூழ்கியிருக்குமாறு தொங்கவிடப்பட்டன.

2.6 பூமியின் அடர்த்தி :- m கிராம் நிறையுள்ள ஒருபொருள் பூமிப்பரப்பின் மேலிருக்கையில் அதன்மேல் செய்யப்படும் விசை mg கிராம் எடை ஆகும். இதில் g என்பது புவியூர்ப்பு முடுக்கம்.

இப்போது பூமியின் நிறை M, அதன் ஆரம் R எனில், நியூட்டனின் விதிப்படி பூமிக்கும் அப்பொருளுக்கும் இடையிலுள்ள ஈர்ப்பு விசை $= \frac{G\ Mm}{R^2}$. எனவே $mg = \frac{G\ Mm}{R^2}$

அல்லது $g = \frac{M}{R^2} G$

பூமியை d எனும் சீரான அடர்த்தியுள்ள கோளமாகக்கருதி அதன் நிறை $= \frac{4}{3}\pi R^3 d$ எனலாம்.

$$\text{எனவே } g = \frac{4}{3}\pi R^3 d \frac{G}{R^2} = \frac{4}{3}\pi R d G .$$

$$\text{அல்லது } d = \frac{3\, g}{4\pi R G}$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து பூமியின் சராசரி அடர்த்தியைக் கண்டு பிடிக்கலாம். $G = 6{\cdot}6576 \times 10^{-8}$ C.G.S. அலகுகள் எனக் கொண்டு, பூமியின் சராசரி அடர்த்தி = 5·4934 கிராம்/க.செ.மீ., எனக் கணக்கிட்டுள்ளார்கள்.

2.7. **ஈர்ப்பின் இயல்புகள் :** இரு பொருள்களுக்கிடையிலுள்ள ஈர்ப்பு விசை அவற்றிற்கிடையிலுள்ள ஊடகங்களினால் எந்த விதத்திலும் கெடுக்கப்படுவதில்லை என ஆஸ்டின் (Austin) த்விங் (Thwing) ஆகியோரின் சோதனைகளிலிருந்து தெரிகிறது. ஒன்றை யொன்று ஈர்க்கின்ற இரு பொருள்களுக்கிடையில் வெவ்வேறு ஊடகங்களாலான பாளங்களை வைத்து அவர்கள் சோதனை செய்தபோது G யின் மதிப்பில் எந்த விதமான மாற்றத்தையும் காணவில்லை. மேலும் பூமியில் இரு பொருள்களுக்கிடையில் காற்றுள்ளபோது செய்யப்பட்ட சோதனைகளின் முடிவுகள் முற்றிலும் வெற்றிடத்திலுள்ள கோள்களுக்கும் விண்வெளிப் பொருள்களுக்கும் பொருந்துவது இவ்வுண்மைக்கு மற்றுமோர் சான்றாகும்.

நியூட்டனின் விதி பொருள்களின் நிறைகளை மட்டுமே பற்றிக் குறிப்பிடுகிறதேயன்றி, அப்பொருள்களின் தன்மைப்பற்றி ஏதும் கூறவில்லை. எனவே ஈர்ப்பு விசை பொருள்களின் பண்பு, அவற்றின் ரசாயனக் கூட்டமைப்புகள் போன்றவற்றால் பாதிக்கப் படுவதில்லை. ஈவட்டோ (Eotvo) என்பார் பலவகைப்பட்ட பொருள்களைப் பயன்படுத்திச் சோதனைகள் செய்து இக் கூற்றை நிரூபித்துள்ளார். கதிரியக்கமுள்ள பொருள்களுக்குக்கூட G யின் மதிப்பு மாறுவதில்லை எனச் சமீபத்தில் காணப்பட்டுள்ளது,

**திசையொவ்வாப் பண்பு (Anisotropic) :** படிகங்களில் ஒளியின் விலகு எண், வெப்பக் கடத்துதிறன், மின் கடத்துதிறன் ஆகிய இயல்புகள் படிக அச்சுக (Gystallographic Anes) ளின் திசைகளைப் பொறுத்து மாறுகின்றன. மெக்கின்சீ போன்றவர்கள் இதே போல ஈர்ப்பு விசையும் அச்சுகளின் திசையைப் பொறுத்து மாறுகிறதா என ஆராய்ந்தனர். அவர்களின் சோதனை

களிலிருந்து ஈர்ப்பு விசை எல்லாத் திசைகளிலும் சமமே எனவும், படிக அச்சுகளின் திசையைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை எனவும் தெரிகிறது. மேலும் ஒரு படிகத்தை எந்த முனையிலிருந்து தொங்கவிட்டாலும் அதன் எடை ஒன்றாயிருப்பது இம் முடிவினை வலுப்படுத்துகின்றது. டாயின்டிங், கிரே ஆகியோர் இரு குவார்ட்ஸ் படிகங்களை ஒன்றுக்கொன்று அண்மையிலிருக்குமாறு தொங்க விட்டு, அவற்றில் ஒன்றை ஒரு கண்ணாடிப் பெட்டியால் மூடினார்கள். படிக அச்சின் திசையைப் பொறுத்து இரு படிகங்களுக்கிடையிலுள்ள ஈர்ப்பு விசை மாறக்கூடுமானால், ஒன்றைச் சுழற்றிவிட்டால் மற்ற படிகமும் அதிர்வடைய வேண்டும் என அவர்கள் ஊகித்தனர். ஆனால் அத்தகைய அதிர்வுகள் ஏதும் அவர்களுக்குப் புலப்படவில்லை. எனவே இரு படிகங்களுக்கிடையில் உள்ள ஈர்ப்பு விசை அவற்றின் அச்சுகள் அமைந்துள்ள திசைகளைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை என்பது உறுதியாயிற்று.

பாயின்டிங் பிலிப்ஸ் ஆகியோர் செய்த சோதனைகளிலிருந்து வெப்ப நிலை மாற்றத்தினால் ஈர்ப்பு விசை மாறுவதில்லை எனக் காணப்பட்டது. ஆயினும் ஷா (Shaw) என்பார், பாய்ஸ், காவண்டிஷ் வகை முறுக்குத் தராசைப் பயன்படுத்திப் பொருள்களின் வெப்ப நிலை உயருங்கால் அவற்றினிடையேயுள்ள ஈர்ப்பு விசை மிகமிகக் குறைவான அளவில் அதிகரித்திடுகிறது எனக் கண்டார். $1^\circ$c யில் ஈர்ப்பு மாறிலி G எனவும், $0^\circ$c யில் $G_0$ எனவும் கொண்டு $G = G_0 \ (1+\alpha t)$ எனும் சமன்பாட்டையும் ஷா உருவாக்கினார். இதில் $\alpha$ என்பது ஈர்ப்புப் பெருக்கக் குணகம் (Coefficient of increase in gravitation) எனப்படும். அது மிகவும் சிறிய மதிப்புள்ளது—$0^\circ$cக்கும் $250^\circ$cக்கும் இடையில் $\alpha = 1.6 \times 10^{-6}$ எனக் கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது.

மேற்கண்டவற்றிலிருந்து இரு பொருள்களுக்கிடையிலுள்ள ஈர்ப்பு விசையானது பொருள்களின் நிறைகளையும் அவற்றிற் கிடையேயுள்ள தொலைவையும் மட்டுமே பொறுத்தது என்பதும், அது வேறெந்த அம்சத்தையும் பொறுத்ததல்ல என்பதும் தெளிவாகிறது.

சூரிய மண்டலத்தில் கோள்களின் இயக்கம், கொதித்துக் கொண்டிருக்கின்ற விண்மீன் கூட்டங்கள், விண்மீன் மண்டலங்களின் சுழற்சி இவற்றையெல்லாம் ஈர்ப்பு விசை ஆண்டு கொண்டிருக்கிறது. இவ் விசை எல்லாப் பொருள்களையும் பேதமின்றிப் பாதிக்கிறது. ஒரே அளவான ஆற்றல் பொருள்கள்-இவை தங்கமானாலும் சரி, தண்ணீரானாலும் சரி—ஒரே அளவான

விசையினுல் பாதிக்கப்படுகின்றன. இவ் விசை பொருள்களிலும் வானவெளியிலும் இயல்பாகவே அமைந்துள்ளது. நமக்குத் தெரிந்த விசைகளுள் இது மிகவும் வலுக்குறைந்த விசை பூமியைச் சூரியனைச் சுற்றிவரச் செய்திட $2 \times 10^{14}$ கிலோ கிராம் எடை விசை தேவைப்படுகிறது. பூமியின் பருமனுடன் ஒப்பிடுகையில் இது மிகச் சிறிய விசையே. ஏனெனில் ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுவிலுள்ள புரோட்டான், எலக்ட்ரான் ஆகியவற்றிற்கிடையிலுள்ள நிலைமின்விசை அவற்றிற்கிடையிலுள்ள நிறையீர்ப்பு விசையைப்போல $10^{40}$ மடங்கு பெரியது. ஈர்ப்புவிசை ஏன் இவ்வளவு வலுக்குறைந்ததாக இருக்கிறது என்ற கேள்விக்கு விடை இதுகாறும் கிட்டவில்லை. அதற்கு விடை கிடையாது எனச் சிலர் கருதுகிருர்கள். சிலர் பிரபஞ்சத்தின் இயல்பான அமைப்பினுல் அவ்விசை வலுக்குறைந்துள்ளது என்கிருர்கள். டிராக் (Dirac) புவியீர்ப்புவிசை, பிரபஞ்சத்தில் நமது கண்ணுக்குப் புலப்படும் தொலைவு, அதிலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை, இவையாவும் ஏதோ ஒருவிதத்தில் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்புள்ளவை எனக் கருதுகின்ருர். பிரபஞ்சத்தின் வயது ஏற ஏற மற்ற அளவுகளும் அதிகரிப்பதால் ஈர்ப்பு விசை குறைந்துகொண்டே போகிறது என அவர் கூறுகின்ருர். சடத்துவ விசை (Inertial force) யை நிறையீர்ப்புவிசையுடன் ஒப்பிட்டு ஆராய்கையில் அவரது கருத்தைக் கிட்டத்தட்ட மெய்ப்பிக்கும் வகையில் முடிவுகள் கிடைக்கின்றன. ஷிமா (Sciama) என்பார் சடத்துவவிசை, ஈர்ப்பு விசையின் மற்றொரு அவதாரமே எனவும் ஈர்ப்பு விசை பிரபஞ்சத்தில் பொருள் பரவிக்கிடக்கும் வீதத்தைப் பொறுத்துள்ளது எனவும் கூறுகின்ருர். பிரபஞ்சத்தில் ஏராளமாகப் பொருள் இருப்பதால் பரஸ்பர ஈர்ப்புவிசை, ஹைட்ரஜன் அணுவில் புரோட்டானுக்கும் எலக்ட்ரானுக்கும் இடையிலுள்ள நிலை மின்ஈர்ப்பு விசையைவிடப் பன்மடங்கு குறைவானது. பிரபஞ்சத்தில் பொருள்களின் எண்ணிக்கை அதிகரித்திட்டாலும் அல்லது அவை ஒன்றையொன்று நெருங்கி வந்தாலும் இவ்விசை மேலும் குறைந்துபோகும். ஏறக்குறைய இதே முடிவுகள் சார்பு நிலைக்கொள்கை (Theory of Relativity)யின் அடிப்படையிலும் பெறப்பட்டுள்ளன. அதன்படி பூமியில் அளக்கப்படக்கூடிய பரஸ்பர நிறையீர்ப்புவிசை, பூமி, சூரியனைச் சுற்றிவருகிறதால் அவ்வளவாக மாறுவதில்லை எனவும் காணப்பட்டுள்ளது.

பிரபஞ்சம் விரிந்து கொண்டேயிருக்கிறது. தொலைவிலுள்ள விண்மீன் கூட்டங்கள் (Galaxies) நம்மைவிட்டு அதிவேகமாக ஓடிக்கொண்டிருக்கின்றன. ஆகவே பரஸ்பர ஈர்ப்புவிசை படிப்

படியாகக் குறைந்துகொண்டேபோகும் என எதிர்பார்க்கப்படுறது. இது விண்மீன்களுக்கிடையிலான தொலைவு அதிகரிப்பதால் ஏற்படுவதில்லை. அதற்கு மாருக மேலும் மேலும் அதிக எண்ணிக்கையில் பொருள்கள் ஈர்ப்பு விசையைத் தோற்றுவிப்பதால் ஏற்படும். ஏனெனில் பிரபஞ்சத்திற்கு வயதாகஆக ஈர்ப்பு விசை பரவலாகிக்கொண்டே போகும். மேற்கண்ட கருத்துகள் உண்மையானுல் நமது விண்மீன் கூட்டமான பால்வழிப்பாதை (Milky Way) இளமையாயிருந்தபோது ஈர்ப்புவிசை மிக அதிகமாயிருந்திருக்கும் என நம்பலாம்.

ஆனுல் மேற்கூறிய கருத்துகள் ஐன்ஸ்டீனின் கருத்துக்களோடு ஒத்துவரவில்லை. ஆகவே ஈர்ப்புவிசை வரவரக் குறைந்து வருகிறதா என்பதனை அறிய ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்பட்டு வருகின்றன. அது உண்மையானுல் ஈர்ப்புவிசையைப் பயன்படுத்தி இயங்குகின்ற ஊசல் கடிகாரங்கள் வரவர மெதுவாகப் போகும். ஈர்ப்புவிசையால் பாதிக்கப்படாத, அணுவினுள் எலக்ட்ரான்கள் சுழலுவதைப் பயன்படுத்தி இயங்குகின்றன. அணுக் கடிகாரங்களோடு பழைய கடிகாரங்களை ஒப்பிட்டு ஈர்ப்புவிசையிலேற்படும் மாறுதல்களை ஆராயலாம். இப்போது வாயுமண்டல உராய்விஞலும், கதிர்வீச்சினழுத்தத்தாலும் பாதிக்கப்படாத உருண்டையான செயற்கைக்கோள்களை ஈர்ப்பு விசைக் கடிகாரங்களாகப் பயன்படுத்துகிருர்கள்.

அதிருஷ்டவசமாக சந்திர, சூரிய கிரகணங்கள் கடந்த 2000 ஆண்டுகளாகத் துல்லியமாகப் பதிவுசெய்யப்பட்டு உள்ளன. அந்த விவரங்களிலிருந்து சந்திரன் பூமியைச் சுற்றிவர எடுத்துக் கொள்ளும் நேரத்தைத் துல்லியமாகக் கணக்கிடலாம். தக்க திருத்தங்களைச் சேர்த்து அளவிட்டபின்னர் சந்திரனின் வேகம் குறைந்துகொண்டே வருகிறது எனக் காணப்பட்டுள்ளது. ஆகவே ஈர்ப்புவிசை வரவரக் குறைகிறது என்பதற்கு ஒரு சான்று அகப்பட்டுள்ளது. மேலும் துருவங்களிலுள்ளபனி உருகிச்சென்ற 2000 ஆண்டுகளில் கடல்மட்டம் சுமார் 2 மீட்டர் ஏறியுள்ளது. இதுவும் மேற்சொன்ன கருத்துக்கு வலுவூட்டுகின்றது. ஆயினும் இதுபற்றிய நிச்சயமான முடிவெதையும் எடுப்பதற்கு நீண்டகால விளைவுகள் ஆராயப்பட வேண்டியதாயிருக்கும்,

2.8 சார்புநிலைக்கொள்கையும் ஈர்ப்பு விதிகளும் : 1845-ல் ஆடம்ஸ் என்பார் நியூட்டனின் கொள்கைகளின் அடிப்படையில் கணக்கிட்டு யுரானஸ் கோளின் ஓடுபாதையில் ஏற்படும் பாதிப்புகள் அதுவரை கண்டுபிடிக்கப்படாத ஒரு கோளிஞல் ஏற்படுவதாக

ஊகித்துக் கூறினர். ஓராண்டு கழிந்து லெவரியர் எனும் பிரஞ்சு விஞ்ஞானி தமது கணக்கீடுகளிலும் அதேபோன்ற முடிவுகளுக்கு வந்து, அந்தப் புதியகோள் இருக்கவேண்டிய இடத்தையும் கணக்கிட்டுப் பெர்லினிலுள்ள வானாராய்ச்சி நிலையத்தாருக்குத் தெரிவித்தார். அவர் குறிப்பிட்ட இடத்தில் ஒரு கோள் இருப்பதை அவர்கள் கண்டு, அதற்கு நெப்டியூன் எனப்பெயரிட்டார்கள். இதேபோல நெப்டியூனின் ஓடுபாதையில் பாதிப்புகள் ஏற்படுவதைக்கண்டு அமெரிக்கர்கள், ஆராய்ந்து 1930-ல் புளூட்டோ கோளைக் கண்டுபிடித்தனர். இவ்வாறு வியக்கத்தக்க வகையில் பயன்தந்த நியூட்டனின் கோட்பாடுகள் விஞ்ஞான உலகில் "அசைக்க முடியாத" ஒரு இடத்தைப்பெற்றன. அவற்றில் தவறே இருக்கமுடியாதென உறுதியாக நம்பிய விஞ்ஞானிகள் தமது சோதனைகளில் ஏதேனும் சற்றே மாறுபாடான முடிவுகள் தெரியவந்தாலும்கூட, அவை சோதனைப் பிழைகளாலேற்பட்டதாக எண்ணி மேலும் ஆராயாமல் விடுத்தனர். ஐன்ஸ்டீனின் சார்புநிலைக்கொள்கை வெளியானபிறகே நியூட்டனின் ஈர்ப்பு விதிகள் ஏறக்குறையத்தான் சரியானவை என்பது தெரியவந்தது. சார்பு நிலைக்கொள்கையின் மூலமாகத்தான் உண்மையானதும் அடிப்படையானதுமான ஈர்ப்புவிதி உருவாக்கப்பட்டது.

ஒரு பொருளின் ஆற்றலில் மாற்றமேற்பட்டால் அதன் நிறையிலும் மாற்றமேற்படும் என ஐன்ஸ்டீன் கண்டுபிடித்தார். சோதனைகளினாலும் இக் கண்டுபிடிப்பு மெய்ப்பிக்கப்பட்டது. ஆற்றலும் பருப்பொருளும் ஒன்றுமற்றதாக பரஸ்பரம் மாறிக் கொள்ளக் கூடியவை.

$$\text{நிறையில் ஏற்படும் மாற்றம் (கிராம்கள்)} = \frac{\text{ஆற்றலில் ஏற்படும் மாற்றம் (எர்குகள்)}}{\text{ஒளியின் திசை வேகம் C.}}$$

மேலும் சார்புநிலைக் கொள்கையின்படி m நிறையுள்ள பொருள் u திசை வேகத்துடன் இயங்கினால் $m = \frac{mo}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$

m என்பது இயக்க நிறை (Moving Mass) எனப்படும். mo என்பது பொருள் ஓய்வுநிலையிலிருக்கையில் அதன் நிறையாகும். அது ஓய்வு நிறை (Rest Mass) எனப்படும்.

ஆகவே ஒரு பொருளின் திசைவேகம் மாறுகையில் அதன் நிறையும் மாறுகிறது. நியூட்டனின் கோட்பாடுகளில் இவற்றில்

எந்த நிறையைப் பயன்படுத்துவது என்பது குறிப்பிடப்பட வில்லை,

அடுத்தபடியாக இரு புள்ளிகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவின் எண்மதிப்பு இட—நேர ஆயங்கள் (Space — Time Coordinates) தேர்ந்தெடுக்கப்படுவதைப் பொருத்துள்ளது எனச் சார்பு நிலைக்கொள்கை கூறுகின்றது. ஆகவே அளவீடெடுக்கும் மனிதரின் நிலையைப் பொறுத்து இந்தத் தொலைவு மாறும்.

மேற்கண்ட கூற்றுகளைக் கவனத்தில் கொண்டு ஈர்ப்பு விதிகளை மாற்றியமைத்ததனால் நியூட்டனின் கோட்பாடுகளுக்கும் சோதனை முடிவுகளுக்கும் இடையில் காணப்பட்ட பல சிறிய முரண்பாடுகள் நீக்கப்பட்டன. பின்வரும் எடுத்துக் காட்டுகள் இதனை விளக்கும்.

1. புதனின் (Mercury) ஓடுபாதையின் சூரிய அண்மை நிலைப்புள்ளி(Perihelion)யின் அச்சுச் சுழற்சி (Precessional) இயக்கம் நியூட்டனின் கோட்பாட்டின் அடிப் படையில் அண்மையிலுள்ள இன்னொரு கோளால் ஏற்படுவதாகக் கருதப்பட்டது. அக்கோளுக்கு வல்கன் (Vulcan) எனப் பெயர் சூடச் சூட்டப்பட்டது. ஆனால் இதுவரை அத்தகைய கோளெதுவும் கண்டுபிடிக்கப்படவில்லை. மேலும் புதனின் நீள்வட்ட ஓடு பாதையின் பெரிய அச்சு(Major Aris) நியூட்டனின் கொள்கைப்படி கணக்கிடப்பட்டதைவிடச் சற்று அதிகமாகச் சுழல்கிறது. சார்பு நிலைக் கொள்கையால், அந்த இயக்கத்திற்கான காரணத்தை விளக்கவும், அதன் சுழற்சி நேரம் $3 \times 10^6$ ஆண்டுகள் எனக் கணக்கிடவும் முடிந்தது.

ஒளிக்கதிர் அதனுடைய மகத்தான வேகத்தின் காரணமாக நிறை, உந்தம் முதலிய இயல்புகளுள்ள ஒரு பருப்பொருளைப் போலச் செயல்படுகிறது. ஆகவே அது ஒரு ஈர்ப்புப் புலத்தைக் கடக்கும்போது திசைமாற்றமடைய வேண்டும் எனச் சார்பு நிலைக்கொள்கை கூறுகின்றது. இவ்வாறு ஒரு விண்மீனிலிருந்து வருகின்ற ஒளி சூரியனின் ஈர்ப்புப் புலத்தின் ஊடே வந்தால் திசைமாற்றம் அடைந்து, விண்மீன் தனது இடத்திலிருந்து சற்று இடம் மாறித் தெரியும். நியூட்டனின் கோட்பாடுகளின் அடிப்படையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட இந்த இடமாற்றத் (Shift)தின் அளவு சார்புநிலைக் கொள்கையின்படி கண்டுபிடிக் கப்பட்ட அளவில் பாதிதான் இருக்கிறது. 1919-ல் ஒரு முழு சூரிய கிரகணத்தின்போது நடத்தப்பட்ட சோதனைகளின்

முடிவுகள் ஐன்ஸ்டீன் கணக்கிட்டுக் கூறிய முடிவுகளோ ஒத்திருக்கின்றன. ஆடம்ஸ் என்பார் சிரியஸ் (Sirius) விண்மீனின் நிறமாலையிலேற்படும் இடமாற்றத்தைக் கணக்கிட்டு ஐன்ஸ்டீன் கொள்கைகளின் உண்மைக்கு மேலும் சான்று காட்டியுள்ளார்.

2.9 **ஈர்ப்பு அழுத்தம்** (Gravitational Potential) ஒரு பொருளின் அருகில் வேறெந்தப்பொருளும் இல்லாதபோது அதைச் சுற்றி அதனுடைய ஈர்ப்புவிசை உணரப்படுகின்ற இடப்பகுதி ஈர்ப்புப்புலம் (Gravitationol Field) எனப்படும்.

ஈர்ப்புப் புலத்தில் ஒரு புள்ளியில் அலகு நிறையுள்ள ஒரு பொருளை வைத்தால் அதன்மேல் செயல்படுகின்ற விசையின் அளவு அப் புள்ளியிலுள்ள புலச்செறிவு (Intensity of Field) எனப்படும். இது அப்புள்ளியில் உள்ள ஈர்ப்பு **அழுத்தச்சரிவு** (Gravitational Potential Gradient) அல்லது ஈர்ப்பு அழுத்தம் மாறுகின்ற வீதத்திற்குச் சமமாகும்.

ஒருபுள்ளியில் ஈர்ப்புப் புலச் செறிவு $I = \frac{dv}{dr}$

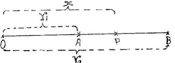
இங்கு dv என்பது dr எனும் சிறு தொலைவிலுள்ள இரு புள்ளிகளுக்கிடையிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்த வேறுபாடாகும்.

A எனும் ஒரு பொருளைச் சுற்றியுள்ள ஈர்ப்புப்புலத்தின் செறிவு, அதிலிருந்து விலகிச் செல்லச் செல்லக் குறைந்து கொண்டேபோய் வரம்பிலி (Infinity) யில் சுழியாகிவிடும். அந்த ஈர்ப்புப் புலத்தில் B எனும் பொருளைப் புள்ளியில் வைத்தால் A அதை ஈர்க்கும். இந்த ஈர்ப்புவிசை A க்கும் B க்கும் இடையிலுள்ள தொலைவு அதிகரிக்கும்போது குறைந்துகொண்டேபோய் வரம்பிலியான தொலைவில் சுழியாகிவிடும். B-யை A-யிலிருந்து விலக்கி எடுத்துச் செல்கையில் ஈர்ப்பு விசையை எதிர்த்துச்செயல் புரிய வேண்டியிருக்கிறது. அதனால் B-யினுடைய நிலையாற்றல் அதிகரிக்கும். இது A, B இவற்றின் நிறைகளையும் அவற்றிற் கிடைப்பட்ட தொலைவையும் பொருத்துள்ளது.

அலகு நிறையுள்ள பொருளை வரம்பிலிருந்து A-யின் ஈர்ப்புப் புலத்திலுள்ள ஒரு புள்ளியில் கொண்டுவந்து வைக்கத் தேவையான செயலின் அளவு, A-யினுல் அப்புள்ளியிலேற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்த (Gravilational Potential)மாகும். அது அப்புள்ளியின் ஓர் முக்கியமான ஈர்ப்புப் பண்பு. அதை V எனும் எழுத்தால் குறிக்கலாம். அதன் குறி மாற்றப்பட்டால், அது அங்கு வைக்கப் பட்ட ஒருமநிறையின் நிலையாற்றலின் எண் மதிப்பிற்குச் சமமா

யிருக்கும். எனவே ஒருமநிறைக்குப் பதிலாக B யை அப்புள்ளியில் வைத்தோமானால், B யினுடைய நிலையாற்றல் அதன்நிறை, அப்புள்ளியில் (குறிமாற்றப்பட்ட) ஈர்ப்பு அழுத்தம் இவற்றின் பெருக்கற்பலனுக்குச் சமமாயிருக்கும்.

m நிறையுள்ள ஒரு பொருளிலிருந்து r தொலைவிலுள்ள ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் : o எனும் புள்ளியில் m




படம் ௪.

நிறையுள்ள பொருளிருக்கட்டும். அதிலிருந்து x தொலைவிலுள்ள p எனும் புள்ளியில் ஒரும நிறையை வைத்தோமானால் அதன்மேல் m எனும் நிறை செலுத்தும்

$$\text{ஈர்ப்பு விசை} = \frac{m \times 1}{x^2} G = \frac{m G}{x^2}$$

இது o நோக்கிச் செயல்படும். ஒருமநிறையை o வை நோக்கி dx எனும் சிறிய தொலைவு நகர்த்தினால் செய்யும்செயல் = $\frac{m G}{X^2} dx$.

O விலிருந்து முறையே $r_1$, $r_2$ தொலைவுகளிலுள்ள A,B எனும் புள்ளிகளை எடுத்துக்கொள்வோம். ஒருமநிறை Bயிலிருந்து A நோக்கி நகரும்போது செய்யப்பட்ட செயல்

$$= \int_B^A m G \frac{dx}{x^2} = Gm \int_B^A \frac{1}{x^2} dx = -Gm \left[ \frac{1}{x} \right]_B^A$$

$$= - G m \left[ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right] = G m \left[ \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right]$$

இது A,B இவற்றிற்கிடையேயுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்த வேறுபாட்டிற்கு( Gravitational Potential Difference )ச் சமமாகும். B வரம்பிலியிலிருந்தால், $r_2 = \infty$

ஆகவே A க்கும் ∞ க்கும் இடையிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்த வேறுபாடு $= Gm\left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{r_1}\right) = -\frac{m}{r_1}G$.

m-ஆல் வரம்பிலியில் ஏற்படும் ஈர்ப்புவிசை சுழியானதால், வரம்பிலியில் ஒருபொருளை நகர்த்துவதற்குத் தேவையான செயலின் அளவும் சுழியாகும். எனவே A க்கும் வரம்பிலிக்குகும் இடையிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்த வேறுபாடு A யிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்தத்திற்குச்சமம்; அதாவது A யிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்தம் $= -\frac{m}{r_1}G$.

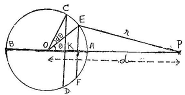
எனவே m நிறையுள்ள ஒருபொருளிலிருந்து r தொலைவிலி ருக்கும் ஒருபுள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தம் $V = -\frac{Gm}{r}$.

வரம்பிலியில் ஈர்ப்பு அழுத்தம் சுழியாயிருந்தாலும் பொருளை நெருங்க நெருங்க அது குறைவதைக் காணலாம். எனவே ஓரிடத்திலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்தம் ஒரு எதிரின அளவு. அதன் பெரும மதிப்பான சுழி, வரம்பிலியிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்தத்தின் எண் மதிப்பு ஆகும். வரம்பிலியில் எல்லா இடங்களிலும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் (சுழிக்குச்) சமமாக இருக்கும்.

**சமஈர்ப்பு அழுத்தப்பரப்பு** (Equipotential Surface) : எல்லா விடத்தும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் சமமாயிருக்கும் ஒருபரப்பு சம ஈர்ப்பு அழுத்தப்பரப்பு எனப்படும். உதாரணமாக m எனும் நிறையை மையமாகக்கொண்டு r ஆரமுள்ள ஒரு கோளப்பரப்பினை உருவாக்கினோமானல், அப் பரப்பில் எல்லாப்புள்ளிகளிலும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் $-Gm/r$ க்குச் சமமாயிருக்கும். ஆகவே இந்தக் கோளப் பரப்பு ஒரு சம அழுத்தப்பரப்பாகும். அதில் இருபுள்ளிகளுக் கிடையில் ஈர்ப்பு அழுத்த வேறுபாடு ஏதும் இல்லாததால் ஒரு நிறையை அப் பரப்பின்மேல் நகர்த்தும்போது செயல் ஏதும் நிகழ்வதில்லை. ஒருசம ஈர்ப்பு அழுத்தப்பரப்பு எல்லாவிடத்திலும் ஈர்ப்புப்புலத்திற்கு லம்பமாயிருக்கும்.

**உள்ளீடற்ற கோளத்தினுல் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம்**

a. **கோளத்திற்கு வெளியிலுள்ள ஒரு புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தம் :-** கோளத்தின் மையத்திலிருந்து d செ. மீ., தொலைவிலுள்ள P எனும் புள்ளியை எடுத்துக் கொள்வோம். கோளத்தின் ஆரம் a அதன் பரப்பு அடர்த்தி (அலகுப் பரப்பின் நிறை) $= \rho$ என்க.




படம் 9.

OPயை இணை. AO எனும் ஆரத்திற்கு நேர்குத்தாக அருகருகே இருதளங்களில் கோளத்தை வெட்டினுல் CEFD எனும் வளையமான துண்டு கிடைக்கிறது.

$\angle EOP = \theta$, $\angle COE = d\theta$ என்போம்.

வளையத்தின் ஆரம் $EK = OE \sin\theta = a \sin\theta$

அதன் பரிதி $= 2\pi a \sin\theta$; அதன் அகலம் $CE = a\, d\theta$

$\therefore$ வளையத்தின் புறப்பரப்பு அளவு = பரிதி $\times$ அகலம்
$= 2\pi a \sin\theta \times a\, d\theta$

வளையத்தின் நிறை = பரப்பளவு $\times$ பரப்பு அடர்த்தி
$= 2\pi a^2 \sin\theta\, \rho\, d\theta$

EP = r என்க. வளையத்தின் மேலுள்ள எல்லாப்புள்ளிகளும் P யிலிருந்து ஒரே தொலைவிலிருப்பதாகக் கொள்ளலாம். இவ் வளையத்தினுல் Pயில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் d V

$$= -\frac{\text{வளையத்தின் நிறை} \times G}{r}$$

$$= -\frac{2\pi a^2 \sin\theta \,.\, d\theta \,.\, \rho G}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

OEP எனும் முக்கோணத்தில் $EP^2 = OE^2 + OP^2 - 2OE.OP.\cos\theta$ அல்லது $r^2 = a^2 + d^2 - 2\,ad\cos\theta$ ($\because OE = a$, கோளத்தின் ஆரம்) இக் கோவையை வகைப்படுத்தினுல்,

$$2\, r\, dr = 0 + 0 + 2\,ad \sin\theta\, d\theta = 2\,ad \sin\theta\, d\theta$$

$$\therefore r = \frac{2.a.d.\sin\theta . d\theta}{2.dr} = a.d.\sin\theta . \frac{d\theta}{dr}$$

(1) கோவையில் இந்த r ன் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்தால்,

$$dV = -\frac{2\pi a^2 \sin\theta \, d\theta \, \rho G}{a.d. \sin\theta . d\theta} dr$$

$$= -\frac{2\pi a \rho G}{d} dr$$

இதை r = AP = (d − a), r = BP (d + a) எனும் வரம்புகளுக் கிடையில் தொகைப்படுத்தினல் முழுக்கோளத்தினல் Pயில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் V கிடைக்கும்.

$$V = \int_{(d-a)}^{(d+a)} -\frac{2\pi a G\rho}{d} dr = -\frac{2\pi a \rho G}{d} \int_{(d-a)}^{(d+a)} dr$$

$$= -\frac{2\pi a \rho G}{d} [r]_{d-a}^{d+a} = -2\pi a \rho G [(d+a)-(d-a)]$$

$$= -\frac{2\pi a \rho G}{d} \times 2a = -\frac{4\pi a^2 \rho G}{d}$$

$4\pi a^2$ என்பது கோளத்தின் புறப்பரப்பு எனவே $4\pi a^2 \rho$ அதன் நிறை M க்குச் சமம். எனவே $V = -\frac{M}{d}G$.

M எனும் நிறை O-வில் வைக்கப்பட்டாலும் P.யில் வைக்கப் பட்டாலும் இதே அளவு ஈர்ப்பு அழுத்தம்தான் இருக்கும். அதாவது கோளத்தின் நிறை முழுவதும் அதன் மையத்தில் செறிந்திருப்பதைப்போல விளைவை ஏற்படுத்துகின்றது.

P எனும் புள்ளி Aயில், அதாவது கோளத்தின் மேற்பரப்பில் அமைந்திருந்தால், அதிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்தத்தின் மதிப்பைப் பெற, d V-க்கான கோவையை r=0, r=2a எனும் வரம்புகளுக் குள் தொகைப்படுத்த வேண்டும்.

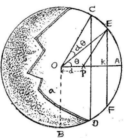
அதாவது $V = \int_{0}^{2a} -\frac{2\pi a \rho G}{d} dr = -\frac{2\pi a \rho G}{d} [r]_{0}^{2a}$

$$= -\frac{4\pi a^2 \rho G}{d} = -\frac{MG}{d} = -\frac{MG}{a} \quad [\therefore \text{ இங்கு } d=a]$$

இதிலிருந்து கோளத்தின் மேற்பரப்பில் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் $-\frac{MG}{a}$ க்குச் சமமாக இருக்கும் என்பது புலப்படும்.

(b) உள்ளீடற்ற கோளத்திற்கு உள்ளே அமைந்திருக்கும் புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தம்: P எனும் புள்ளி கோளத்திற்குள் அதன் மையத் (0) திலிருந்து d தொலைவில் அமைந்திருக்கட்டும். முன் போலவே CDEF எனும் வளையத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். வளையத்தினால் Pயில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம்

$$dV = -\frac{2\pi a \rho G}{d} dr$$



படம் 10.

இக் கோவையை $r=(a-d)$, $r=(a+d)$ எனும் வரம்புகளுக்குள் தொகைப்படுத்தினால் முழுக் கோளத்தினாலும் Pயில் ஏற்படும் அழுத்தம் V கிடைக்கும்.

$$\text{அதாவது } V = \int_{a-d}^{a+d} -\frac{2\pi a \rho G}{d} dr$$

$$= -\frac{2\pi a \rho G}{d}\Big[\, r \,\Big]_{a-d}^{a+d}$$

$$= -\frac{2\pi a \rho G}{d}\Big[\,(a+d)-(a-d)\,\Big]$$

$$= -4\pi a \rho G$$

இதை a யினால் பெருக்கி, வகுத்தால் $V = \frac{4\pi a^2 \rho G}{a}$

$4\pi a^2 \rho = M$, கோளத்தின் நிறையானபடியால்

$$V = -\frac{MG}{a}.$$

4

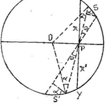
இது கோளத்தின் மேற்பரப்பிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்தத்திற்குச் சமமாயிருப்பதைக் கவனிக்கவும். P எனும் புள்ளி கோளத்திற்குள் எங்கிருந்தாலும், அதிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்தம் $-\frac{MG}{a}$ க்குச் சமமாகவேயிருக்கும். அதாவது கோளத்தினுள் எல்லாவிடங்களிலும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் சீராகவும், கோளத்தின் மேற்பரப்பிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்தத்திற்குச் சமமாகவும் இருக்கும் என்பது புலனுகிறது.

உள்ளீடற்ற கோளத்தினுல் ஏற்படும் ஈர்ப்புப் புலச்செறிவு (Intensity) a. கோளத்திற்கு உள்ளேயிருக்கும் ஒரு புள்ளியில் ஈர்ப்புப் புலத்தின் செறிவு: ஒரு உள்ளீடற்ற கோளத்திற்குள் ஈர்ப்பு அழுத்தம் எல்லாவிடங்களிலும் சீராக உள்ளது என மேலே கண்டோம். ஒரு புள்ளியிலுள்ள ஈர்ப்புப் புலத்தின் செறிவு அந்தப் புள்ளியிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்தச் சரிவு (தொலேவோடு ஈர்ப்பு அழுத்தம் மாறுகின்ற வீதம்)க்குச் சமமாகும். அதாவது $I = -dV/dx$.

உள்ளீடற்ற கோளத்தினுள் எல்லாவிடத்தும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் சமமாகையால் $dV/dx = 0$ அதாவது ஒரு உள்ளீடற்ற கோளத்தினுள் ஈர்ப்புப் புலச்செறிவு $= 0$ அல்லது உள்ளீடற்ற கோளத்திற்கும் ஈர்ப்புப்புலம் செயல்படுவதில்லே.

இதை இன்னெரு விதமாகவும் மெய்ப்பிக்கலாம்.

உள்ளீடற்றகோளத்தினுள் P எனும் புள்ளியைக் கவனிப்போம். கோளத்தின் பரப்பு அடர்த்தி அலகுப் பரப்பளவின் நிறை $\rho$ என்க. Pயில் முனேகள் கூடும் வகையில் இரு கூம்புகளே உருவாக்கும் கோடுகளேவரை. அவற்றின் அடிப்பகுதிகள் கோளத்தின் மேற்பரப்பில் XY தளத்தின் இருபுறங்களிலும் $S, S^1$ எனும் சிறிய பகுதிகளே அடைத்துக் கொள்ளட்டும். $S, S^1$ ஆகியவை P யிலிருந்து முறையே $r$, $-r^1$ தொலேவுகளிலிருக்கட்டும். Pயிலுள்ள திண்மக்கோணங்கள் (Solid Angles) ஒவ்வொன்றும் மக்குச்சமம்.



படம் 11.

மேற்புறமுள்ள கூம்பின் நேர்குத்துக் குறுக்குப் பரப்பு (Right Section) = $r^2 \omega$ கீழ்ப்புறமுள்ள கூம்பின் நேர்குத்துக் குறுக்குப்பரப்பு = $r'^2 \omega$.

நேர்குத்துப்பரப்புகளுக்கு, $s, s^1$ ஆகியபரப்புகளுக்கும் அண்டையிலுள்ள கோணம் $\propto$ எனில்,

$$S \cos \propto = r^2 \omega; \quad S^1 \cos \propto = r'^2 \omega$$

$$\therefore S = r^2 \omega / \cos \propto; \quad s^1 = r'^2 \omega / \cos \propto$$

$S$ பரப்பின் நிறை $= r^2 \omega \rho / \cos \propto$

$S$ பரப்பின் நிறை $= r'^2 \omega \rho / \cos \propto$

$\therefore$ S பரப்பினால் P யில் ஏற்படும் புலச்செறிவு $= \dfrac{r^2 \omega \rho G}{r^2 \cos \propto}$

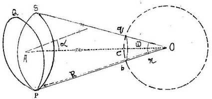
$= \dfrac{\omega \rho G}{\cos \propto}$ (P S திசையில்)

$S^1$ பரப்பினால் Pயில் ஏற்படும் புலச்செறிவு $= \dfrac{r'^2 \omega \rho G}{r'^2 \cos \propto}$

$= \dfrac{\omega \rho G}{\cos \propto}$ ($PS^1$ திசையில்)

Pயிலுள்ள இவ்விரு செறிவுகளும் சமமாகவும் எதிர்த்திசைகளிலும் இருப்பதால் அவற்றின் தொகுபயன் சுழியாகும். இதுபோல உள்ளீடற்ற கோளத்தை X Y தளத்திற்கு இருபுறங்களில் கூம்புகளாகப் பிரித்து, முழுக்கோளத்தினாலும் Pயில் ஏற்படும் புலச்செறிவு சுழி எனக்காட்டலாம். இதேபோலக் கோளத்திற்குள் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் அதன் புலச்செறிவு சுழி எனக் காட்ட முடியும். அதாவது ஒரு உள்ளீடற்ற கோளத்திற்குள் அதன் ஈர்ப்புப்புலம் செயல்படுவதில்லை.

சிறு குறிப்பு - திண்மக்கோணம் (Solid Angle) PS எனும் பரப்பை அடிப்பக்கமாகவும், O வை உச்சியாகவும் கொண்ட ஒரு கூம்பை எடுத்துக்கொள். O வை மையமாகக்கொண்டு r ஆரமுள்ள ஒரு கோளத்தை வரைந்தால் கூம்பில் pq என்ற பரப்பு அக் கோளத்தால் வெட்டப்படுகிறது. pq பரப்பு $r^2$க்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். அதாவது pq பரப்பளவு $\propto r^2$ அல்லது ஒரு கூம்புக்கு pq பரப்பு $/r^2$ என்பது ஒரு மாறிலி. இது கூம்பின் திண்மக்கோணம் அல்லது O வில் pq பரப்பின் திண்மக்கோணம்




படம் 13.

எனப்படும். அது ω எனும் எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. இப்போது PS பரப்பு / $OP^2 = \omega$ என்பது புலப்படும். $r = 1$ எனில் ω வின் மதிப்பு, pq வின் பரப்பளவிற்குச்சமம்.

இப்போது PQ எனும் பரப்பை எடுத்துக்கொள்வோம். AN என்பது PQ விற்கு லம்பம். PQ விற்கும் PS க்கும் இடையிலுள்ள கோணம் = OA விற்கும் AN க்கும் இடையிலுள்ள கோணம் = α, எனில் PS பரப்பு = PQ பரப்பு × cos α

$$\text{ஆகவே } \omega = \frac{\text{பரப்பு PQ} \cdot \cos\alpha}{OP^2} \quad ]$$

2. **உள்ளீடற்ற கோளகக்கூட்டிற்கு வெளியிலுள்ள ஒருபுள்ளியில் புலச்செறிவு :** ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியிலுள்ள புலச்செறிவு $I = -\frac{dv}{dx}$.

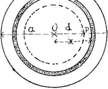
கோளத்தின் மையத்திலிருந்து d தொலைவிலுள்ள ஒரு புள்ளியிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்தம் $V = -\frac{M}{d}G$.

∴ அப் புள்ளியிலுள்ள புலச்செறிவு, $I = \frac{M}{d^2}G$.

**ஒரு திண்மக்கோளத் (Solid Sphere) தினால் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம்.**

(a) கோளத்திற்குள் உள்ள ஒரு புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தம் a ஆரமும், σ பரும அடர்த்தி (அலகுப் பருமத்தின் நிறை)யுமுள்ள

ஒரு திண்மக்கோளத்தின் மைய(o)த்திலிருந்து $x$ தொலைவிலுள்ள P எனும் புள்ளியைக் கவனி. திண்மக்கோளத்தில் d ஆரமுள்ள ஒரு திண்மக்கோளமும், அதைச் சுற்றி o வை மையமாகக்கொண்ட பல உள்ளீடற்ற கோளங்களும் உள்ளதாகக் கற்பனை செய்து கொள்வோம். உள்ளீடற்ற கோளங்களின் ஆரங்களின் நீளங்கள் d யிலிருந்து a வரை இருக்கும். எனவே திண்மக்கோளத்தினுல் P யில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் = d ஆரமுள்ள திண்மக் கோளத்தினுல் ஏற்படும் அழுத்தம் + உள்ளீடற்ற கோளங்களினுல் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம்.



படம் 13.

P, d ஆரமுள்ள திண்மக்கோளத்தின் மேற்பரப்பில் அமைந்திருப்பதால் திண்மக்கோளத்தினுல் P யில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு

$$\text{அழுத்தம்} = -\frac{\text{கோளத்தின் நிறை} \times G}{d}.$$

$$= -\tfrac{4}{3}\pi d^3 \sigma G/d = -\tfrac{4}{3}\pi d^2 \sigma G. \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

P க்கு வெளியிலுள்ள உள்ளீடற்ற கோளங்களினுல் P யில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தத்தைக் கண்டுபிடிக்க அவற்றில் n ஆரமும் dn தடிமனுமுள்ள ஒரு உள்ளீடற்ற கோளத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். அதன் பருமம் = பரப்பு × தடிமன் = $4\pi n^2$ dn; அதன் நிறை $4\pi n^2 \, dn \, \sigma$.

ஒரு உள்ளீடற்ற கோளத்திற்குள் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் உள்ள ஈர்ப்பு அழுத்தம், கோளத்தின் மேற்பரப்பிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்தத்திற்குச் சமம் என முன்னர் கண்டோம்.

∴ P யில் n ஆரமுள்ள கூட்டினுல் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம்

$$= -\frac{4\pi n^2 \, dn \, \sigma G}{n} = -4\pi n \, dn \, \sigma G.$$

இந்தக் கோவையை n = d, n = a எனும் வரம்புகளுக்குள் தொகைப்படுத்தினுல் எல்லா உள்ளீடற்ற கோளங்களாலும் P யில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் கிடைக்கும்.

$\therefore$ Pயிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்தம் $= \int_{d}^{a} -4\pi n\, dn\, \sigma G$.

$$= -4\pi\sigma G \int_{d}^{a} n\, dn$$

$$= -4\pi\sigma G \left[\frac{n^2}{2}\right]_{d}^{a} = -4\pi\sigma G \left[\frac{a^2}{2} - \frac{d^2}{2}\right]$$

$$= -4\pi\sigma G \frac{(a^2 - d^2)}{2} = -\tfrac{4}{3}\pi\sigma G \frac{3(a^2 - d^2)}{2}$$

$$= -\tfrac{4}{3}\pi\sigma G \frac{(3a^2 - 3d^2)}{2} \qquad \text{——————————} (2)$$

இப்போது முழுத் திண்மக் கோளத்தாலும் P-யில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் $= -\tfrac{4}{3}\pi d^2 \sigma G - \tfrac{4}{3}\pi\sigma G \frac{(3a^2 - 3d^2)}{2}$

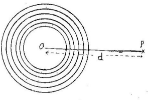
$$= -\tfrac{4}{3}\pi\sigma G \left(d^2 + \frac{3a^2}{2} - \frac{3d^2}{2}\right)$$

$$= -\tfrac{4}{3}\pi\sigma G \left(\frac{2d^2 + 3a^2 - 3d^2}{2}\right)$$

$$= -\tfrac{4}{3}\pi\sigma G \left(\frac{3a^2 - d^2}{2}\right) = -\tfrac{4}{3}\pi a^3 \sigma G \left(\frac{3a^2 - d^2}{2a^3}\right)$$

$\tfrac{4}{3}\pi a^3 \sigma$ என்பது கோளத்தின் நிறை M ஆதலால் திண்மக் கோளத்தினுல் Pயில் ஏற்படும் அழுத்தம் $= -MG\frac{(3a^2 - d^2)}{2a^3}$

**2. திண்மக்கோளத்திற்கு வெளியிலுள்ள ஒரு புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தம் :** திண்மக்கோளத்தை O வை மையமாகக் கொண்ட பல




படம் 14.

உள்ளீடற்ற கோளங்களாகப் பிரித்துக்கொள். அவற்றின் நிறைகள் $m_1$, $m_2$ ..........என இருக்கட்டும். முன்னர் கண்டபடி ஒவ்வொரு உள்ளீடற்ற கோளத்தினுலும், O விலிருந்து d தொலைவிலுள்ள P எனும் புள்ளியில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் $= \frac{\text{அதன் நிறை} \times G}{d}$.

எனவே எல்லா உள்ளீடற்ற கோளங்களாலும் P யில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் $= -\left[\frac{m_1 G}{d} + \frac{m_2 G}{d} + \ldots\ldots\right]$

$$= -(m_1 + m_2 + \ldots\ldots)\frac{G}{d} = -\frac{MG}{d}$$

$$[\because (m_1 + m_2 + \ldots\ldots) = M, \text{ கோளத்தின் நிறை}]$$

∵ திண்மக் கோளத்தினுல் Pயில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் $= -\frac{MG}{d}$

திண்மக் கோளத்தினுல் அதனுள்ளிருக்கும் ஒரு புள்ளியிலுள்ள ஈர்ப்புப் புலம்: கோளத்தினுள் அதன் மையத்திலிருந்து x தொலைவிலுள்ள ஒரு புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தம், V $= -\frac{MG(3a^2 - x^2)}{2a^3}$

அப் புள்ளியில் ஈர்ப்புப் புலச்செறிவு, அழுத்தச் சரிவுக்குச் சமம். எனவே அப்புள்ளியில் புலச்செறிவு $= -\frac{dv}{dx}$

$$= \frac{d}{x}\left[-MG\frac{(3a^2 - x^2)}{2a^3}\right]$$

$$= MG\frac{2x}{2a^3} = \frac{MGx}{a^3}$$

இதிலிருந்து x குறையும்போது ஈர்ப்புப் புலச்செறிவும் குறைந்துகொண்டேபோய், கோளத்தின் மையத்தில் சுழியாகி விடும் என்பது புலப்படுகிறது.

2.10. **புவியீர்ப்பு முடுக்கத்தைப் பாதிக்கின்ற காரணிகள்:** புவியீர்ப்பு முடுக்கம் என்பது தானகை பூமியின் ஈர்ப்பு விசையின் ஆளுகைக்குட்பட்டு விழுகின்ற ஒரு பொருளின் திசைவேகத்தில் ஒரு வினாடியில் ஏற்படுகின்ற மாற்றமாகும். இதன் மதிப்பு 32 அடி/ வினாடி$^2$ அல்லது 981 செ.மீ.,/வினாடி$^2$ என நாம் பொதுவாக எடுத்துக்கொள்கிரோம். ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் அது மாறிலியாயிருந்தாலும் வெவ்வேறு இடங்களில் வெவ்வேருக உள்ளது.

இவ்வாறு புவியீர்ப்பு முடுக்கத்தில் மாறுதலேற்படுத்துகின்ற காரணிகளைப்பற்றி ஆராய்வோம்.

1. உயரம் (Altitude): பூமியை M நிறையும் R ஆரமும் உள்ள ஒரு சீரான கோளமாகக் கற்பனை செய்துகொண்டு அதன் பரப்பின்மேல் உள்ள ஒரு பொருளின்மேல் செயல்படும் ஈர்ப்பு விசையைக் கண்டுபிடிக்கப் பூமியின் நிறை முழுவதும் அதன் மையத்தில் செயல்படுவதாகக் சுருதிக் கணக்கீடுகள் செய்யலாம். பூமிப் பரப்பில் புவியீர்ப்பு முடுக்கம் g எனில் அங்கு m நிறையுள்ள ஒரு பொருளின்மீது பூமி செலுத்தும் ஈர்ப்பு விசை F = mg. நியூட்டனின் விதிப்படி இது $\frac{GMm}{R^2}$-க்குச் சமமாகும்.

$$\text{அதாவது } mg = \frac{GMm}{R^2} \text{ அல்லது } g = \frac{GM}{R^2} \quad \ldots\ldots(1)$$

g யின் மதிப்பில் உயரத்தினுல் ஏற்படும் மாற்றவீதத்தைக் கண்டுபிடிக்க $F = \frac{GMm}{R^2}$ எனும் சமன்பாட்டை R-ஐப் பொறுத்து வகைப்படுத்த வேண்டும்.

$$\text{அப்போது } dF = -\frac{2GMm}{R^3}\,dR$$

$$\text{எனவே } \frac{dF}{F} = -\frac{2dR}{R}$$

இதிலுள்ள எதிரினக்குறி உயரம் அதிகரிக்கையில் ஈர்ப்பு விசை குறைவதைக் காட்டுகிறது. பூமிப் பரப்பிலுள்ள m நிறையுள்ள ஒரு பொருளின்மீது பூமி செலுத்தும் ஈர்ப்பு விசை F = mg எனக் கண்டோம். இது பூமியின் மையத்தை நோக்கிச் செயல்படுகிறது. இதை வகைப்படுத்தினுல் dF = mdg.

$$\text{ஆகவே } \frac{dF}{F} = \frac{dg}{g} = -\frac{2dR}{R}$$

பூமிப் பரப்பிலிருந்து h உயரத்திலுள்ள ஒரு புள்ளியில் புவியீர்ப்பு முடுக்கம் $g^1$ எனில்,

$$m\,g^1 = \frac{GMm}{(R+h)^2} \text{ அல்லது } g^1 = \frac{GM}{(R+h)^2} \quad \ldots\ldots(2)$$

$$\text{(2) ஐ (1) ஆல் வகுக்க, } \frac{g^1}{g} = \frac{R^2}{(R+h)^2} = \frac{1}{1+\frac{2h}{R}+\frac{h^2}{R^2}}$$

R உடன் ஒப்பிடுகையில் h மிகச் சிறியதாயிருப்பின் $h^2/R^2$-ஐப் புறக்கணித்துவிடலாம்.

$$\because \frac{g^1}{g} = \frac{1}{1 + \frac{2h}{R}} = \left(1 + \frac{2h}{R}\right)^{-1} = 1 - \frac{2h}{R}$$

$$\because g^1 = g\left(1 - \frac{2h}{R}\right)$$

h அதிகரித்தால் g குறைகிறது. இந்தக் குறைவு சுமாராக உயரத்திற்கு (h) நேர் விகிதத்திலிருக்கும். பூமிப் பரப்பிலிருந்து 10 மைல் மேலே சென்றால் R ன் மதிப்பு 4000-த்திலிருந்து 4010 ஆக உயரும். எனவே உயரத்திலேற்படும் ஒப்பு மாற்றம் $= \frac{1}{400}$. எனவே g சுமார் $-\frac{1}{200}$ மடங்கு மாறும். அதாவது 9·80 மீட்டர்கள்/விநாடி$^2$லிருந்து 9·75 மீ/விநாடி$^2$ ஆக மாறுகிறது. இதனால் பூமி பரப்பிற்கருகில் g யின் மதிப்பை ஏறத்தாழ மாறிலியாகவே கொள்ளலாம். பின்வரும் அட்டவணை 45° அட்ச ரேகையில் உயரத்தோடு g மாறுகின்ற விதத்தைக் காட்டுகிறது.

| உயரம் | g. மீட்டர்/விநாடி$^2$ |
|---|---|
| 0 | 9·806 |
| 1000 | 9·803 |
| 4000 | 9.794 |
| 8000 | 9.782 |
| 16000 | 9.757 |
| 32000 | 9.708 |
| 100000 | 9.598 |

ஆழம் (Depths): பூமியை ஒரு சீரான அடர்த்தியுள்ள, ஒரு மையமுள்ள உள்ளீடற்ற கோளக் கூறுகளைப் பிரிப்பதாகக் கற்பனை செய்துகொள்வோம். அதன் மேற்பரப்பிலிருந்து h ஆழத்திலுள்ள ஒரு பொருளின் மேல் செயல்படும் ஈர்ப்புவிசை, பொருளுக்குக் கீழேயுள்ள (R – h) ஆரமுள்ள கோளத்தினால் மட்டுமே ஏற்படுவதாகும். பூமியின் சராசரி அடர்த்தி D எனில் பூமிப் பரப்பின்மேல் இருக்கும் m நிறையுள்ள பொருளின்மேல் செயல்படும் விசை mg

$$= G.\frac{4}{3}\pi R^3 Dm/R^2 = \frac{4}{3}\pi GRDm$$

$$\because g = \frac{4}{3}\pi GRD \text{ ............(1)}$$

பூமியின் மேற்பரப்பிலிருந்து h ஆழத்திலுள்ள ஒரு பொருளின் மீது செயல்படும் விசை = $mg^1$. இதில் $g^1$ என்பது h ஆழத்தில் உள்ள புவியீர்ப்பு முடுக்கத்தின் மதிப்பு

$$mg^1 = G.\tfrac{4}{3}\pi(R-h)^3 D \times m/(R-h)^2$$

$$= \tfrac{4}{3}\pi GD(R-h)m$$

அல்லது $g^1 = \frac{4}{3}\pi GD(R-h)$ .........(2)

(2) ஐ (1) ஆல் வகுத்தால் $g^1/g = \frac{R-h}{R} = 1 - \frac{h}{R}$

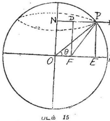
அல்லது $g^1 = g\left(1 - \frac{h}{R}\right)$

இதிலிருந்து பூமிக்குள் செல்லச் செல்ல முடுக்கம் குறைவாகத் தோன்றுகிறது. ஆனல் பூமியின் மையத்திலுள்ள பகுதிகள் அடர்த்தி மிக்கவையாயிருப்பதால், இந்த முடிவு சரியானது அல்ல. பின்வரும் அட்டவணை வெவ்வேறு ஆழங்களில் g யின் மதிப்பைக் காட்டும்.

| ஆழம் கிலோ மீட்டர் | g மீட்டர்/விஞடி$^2$ | ஆழம் கிலோ மீட்டர் | g மீட்டர்/விஞடி$^2$ |
|---|---|---|---|
| 0 | 9.82 | 1400 | 9.88 |
| 33 | 9.85 | 1600 | 9.86 |
| 100 | 9.89 | 1800 | 9.85 |
| 200 | 9.92 | 2000 | 9.86 |
| 300 | 9.95 | 2200 | 9.9 |
| 413 | 9.98 | 2400 | 9.98 |
| 600 | 10.01 | 2600 | 10.09 |
| 800 | 9.99 | 2800 | 10.26 |
| 1000 | 9.95 | 2900 | 10.37 |
| 1200 | 9.91 | 4000 | 8.00 |

அட்சரேகை (Latitude) : பூமி உருண்டையாயில்லாமல் சற்றே தட்டைக்கோள (Ellipsoid) மாயிருப்பதால் பூமத்தியரேகையிலிருந்து, துருவம் நோக்கிச் செல்லுகையில், பூமியின் மேற்பரப்பிற்கும் அதன் மையத்திற்கும் இடையிலுள்ள தொலைவு குறைகிறது. ஆகவே புவியீர்ப்பு முடுக்கம் அதிகரிக்கிறது. இவ் விளைவை இரு பகுதிகளாக— பூமியின் சுழற்சியினால் ஏற்படும் விளைவாகவும், பூமத்தியரேகையிலுள்ள புடைப்பினால் ஏற்படும் விளைவாகவும்—பிரித்து ஆராய்வோம்.

(a) பூமியின் சுழற்சியினால் ஏற்படும் விளைவு : பூமி ஒரு சீரான அடர்த்தியுள்ள கோளமாயிருந்து, சுழலாமலும் இருக்குமானால் அதன் மேற்பரப்பில் எல்லா இடங்களிலும் g யின் மதிப்பும், m நிறையுள்ள ஒரு பொருளைத் தாக்குகின்ற ஈர்ப்பு விசை mg யின் மதிப்பும் சமமாயிருக்கும். பூமி சுழல்வதன் காரணமாக ஈர்ப்பு விசையின் ஒரு பகுதி, பொருளை வட்டப் பாதையில் இயக்குவதற்கான மைய நோக்கு விசையை ஈடு செய்வதில் செலவாகிறது. எனவே பொருளின் மேல் செயல்படும் முடுக்கம் மீதமுள்ள விசையினாலேற்படுவதேயாகும். இந்த மீதமுள்ள விசை வெவ்வேறு அட்ச ரேகைகளில் அளவிலும் திசையிலும் மாறுபடும்.



படம் 15

பூமியை R ஆரமுள்ள சீரான கோளமாகக் கொண்டு ABCD எனும் அதன் குறுக்குத் தோற்றத்தைக் கவனிப்போம். அதன் மையம் O. பூமி AC எனும் துருவ அச்சைச் சுற்றி ω எனும் சுழல் திசை வேக (Angular Velocity)த்துடன் சுழலட்டும். m நிறையுள்ள ஒரு பொருள் θ அட்சரேகையிலுள்ள P எனும் புள்ளியிலிருக்கட்டும். அது PN எனும் ஆரமுள்ள ஒரு வட்டப் பாதையில் இயங்கும். $PN = R \cos \theta$.

பொருளின் மேல் செயல்படும் மைய நோக்கு விசை $= mR \cos \theta . \omega^2$. PN திசையில் செயல்படும். பொருளின்மேல் செயல்படும் ஈர்ப்பு விசை mg, PO வினால் அளவிலும் திசையிலும் குறிக்கப்படும். இங்கு g என்பது பூமி ஓய்வு நிலையிலிருந்தால்

இருக்கக்கூடிய முடுக்கமாகும். இந்த விசையை PN திசையில் mg cos θ என்ற கூறாகவும், அதற்கு நேர்குத்தாக PE திசையில் mg Sin θ என்ற கூறாகவும் பகுக்கலாம். mg cos θ எனும் விசை ஆக்கக் கூறின் ஒரு பகுதி P யின் மைய நோக்கு விசையை ஈடு செய்வதில் செலவாகிறது. மீதமுள்ள பகுதி $mg \cos\theta - mR \cos\theta\ \omega^2$, PD எனும் கோட்டினுல் அளவிலும் திசையிலும் குறிக்கப்படும்.

எனவே பொருள் ஆட்படுகின்ற புவியீர்ப்பு முடுக்கம் PD, PE இவற்றால் குறிக்கப்படும் விசைகளின் தொகுபயன் விசையால் ஏற்படுவதாகும். அந்தத் தொகு பயன் PF எனும் மூலே விட்டத்தால் அளவிலும் திசையிலும் குறிக்கப்படும்.

தொகுதியின் விசை, $F = \sqrt{(mg\cos\theta - mR\,\omega^2\cos\theta)^2 + (mg\sin\theta)^2}$

$$= mg\sqrt{\cos^2\theta + \frac{R^2\omega^4}{g^2}\cos^2\theta - \frac{2R\,\omega^2}{g}\cos^2\theta + \sin^2\theta}$$

$$= mg\sqrt{1 - \frac{2\,R\,\omega^2}{g}\cos^2\theta}$$

$\left(\frac{R^2\omega^4}{g^2}\right.$ மிகச் சிறியதாகையால் $\left.\frac{R^2\omega^4}{g^2}\cos^2\theta\right.$ விடப்பட்டது$\left.\right)$

$$F = mg\left(1 - \frac{2R\omega^2}{g}\cos^2\theta\right)^{\frac{1}{2}} = mg\left(1 - \frac{R\omega^2}{g}\cos^2\theta\right)$$

இந்த விசை P யிலுள்ள பொருளில் $g^1$ எனும் முடுக்கத்தைத் தோற்றுவிக்குமானுல், $F = mg^1$

$$\therefore\ mg^1 = mg\left(1 - \frac{R\omega^2}{g}\cos^2\theta\right)$$

அல்லது $g^1 = g\left(1 - \frac{R\omega^2}{g}\cos^2\theta\right)$

ஆகவே பூமி நிலேயாயிருக்கையில் உண்மையாக இருக்க வேண்டிய ஈர்ப்பு முடுக்கத்தைவிடத் தோற்ற ஈர்ப்பு முடுக்கம் குறைவாயிருக்கிறது. துருவங்களில் θ = 90° எனவே

$$g^1 = g\left(1 - \frac{R\omega^2}{g}\cos^2 90\right) = g.$$

துருவங்களில் முடுக்கம் பெருமதிப்புள்ளதாயிருக்கிறது. அது பூமி ஓய்வு நிலையிலிருந்தால் இருக்கவேண்டிய முடுக்கத்தின் அளவிற்குச் சமம். பூமத்தியரேகையில் $\theta = 0$ ; $g' = g\left(1 - \frac{R\omega^2}{g}\right)$

$\frac{R\omega^2}{g}$ சுமாராக $\frac{1}{288}$க்குச் சமம். ஈர்ப்பு முடுக்கத்தின் தோற்ற மதிப்பு பூமத்திய ரேகையில் துருவத்திலிருப்பதைவிட $\frac{1}{288}$ பங்கு குறைவாயுள்ளது.

$\frac{R\omega^2}{g}$ யின் மதிப்பு ஒன்றுக்குச் சமமாகும்போது அதாவது சுழல் திசைவேகம் $\omega$ இப்போதிருப்பதைப்போல் $\sqrt{289} = 17$ மடங்கு அதிகரித்தால் பூமத்திய ரேகையிலுள்ள ஒரு பொருளின் எடை சுழியாகி விடுகிறது. அதாவது பூமி இப்போதிருப்பதைப் போல 17 மடங்கு அதிகமான வேகத்துடன் சுழலக்கூடுமாயின் பூமியிலுள்ள பொருள்களெல்லாம் எடையற்றதாகிவிடும். சுழல் வேகம் இன்னும் கொஞ்சம் அதிகரித்தாலும்கூடப் பொருள்கள் பறக்க ஆரம்பித்துவிடும். பின் வரும் அட்டவணையில் வெவ்வேறு அட்ச ரேகைகளில் கடல் மட்டத்தில் gயின் மதிப்புத் தரப்பட்டுள்ளது.

| அட்சரேகை | g மீட்டர்/விநாடி$^2$ |
|---|---|
| 0 | 9.78039 |
| 10 | 9.78195 |
| 20 | 9.78641 |
| 30 | 9.79329 |
| 40 | 9.80171 |
| 50 | 9,81071 |
| 60 | 9.81918 |
| 70 | 9.82608 |
| 80 | 9.83059 |
| 90 | 9.83217 |

(b) பூமத்தியரேகையிலுள்ள புடைப்பினால் ஏற்படும் விளைவு :

1672-ல் ரிச்சர் தனது சோதனைகளின் மூலம் பூமியின் வெவ்வேறு இடங்களில் g யின் மதிப்பு மாறியிருப்பதை முதன் முதலாகக் கண்டு பிடித்தார். பிரஞ்சு குயானாவிலும் பாரிசிலும் அவர் வினாடி ஊசலின் நீளங்களை அளந்து, பாரிசில் வினாடி ஊசலின் நீளம், பிரஞ்சு குயானாவிலிருப்பதைவிட 0.1 அங்குலத்திற்குச் சற்று மேலாக அதிகமாயிருப்பதைக் கண்டார். அதாவது பிரஞ்சு குயானாவைவிடப் பாரிசில் g யின் மதிப்பு அதிகமாயிருந்தது. நியூட்டன் பூமி ஒரு தட்டைக் கோளமாயிருப்பதால் இந்த வேறுபாடு தோன்றுவதாகக் கூறினர். பூமியில் துருவங்களை இணைக்கும் விட்டத்தைவிட பூமத்திய ரேகையிலுள்ள விட்டம் சுமார் 26 மைல் அதிகமாயிருக்கிறது. எனவே பூமத்திய ரேகையிலுள்ள பொருள்கள், துருவத்திலுள்ள பொருள்களைவிடப் பூமியின் மையத்திலிருந்து அதிகத் தொலைவிலிருக்கின்றன. எனவே பூமத்திய ரேகைப்பகுதியில் ஈர்ப்பு விசையும், முடுக்கமும் குறைவாயிருக்கும்.

g யின் மதிப்பைப் பாதிக்கின்ற மற்ற காரணிகள்: ஓரிடத்திலுள்ள g யின் மதிப்பு அருகிலுள்ள மலைகள், பெரும்பாறைகள், பெரிய கட்டிடங்கள் ஆகியவற்றாலும் பூமியின் பரப்புக்குக் கீழேயுள்ள பாறை அமைப்பு, தாதுப் பொருள் படிவங்கள் ஆகியவற்றாலும் பாதிக்கப்படும். ஓரிடத்தில் பூமியின் மேற்பரப்பில் ஏற்படும் மெதுவான வடிவ மாற்றங்களாலும் நாட்கள் செல்லச் செல்ல சம ஈர்ப்பு அழுத்தப் பரப்பு மாறுதலடைந்து, அதனால் அப் பரப்பிற்கு எப்போதும் நேர்க்குத்தாயுள்ள ஈர்ப்பு விசையும் மாறுதலடையும். அதனால் g யின் மதிப்பும் மாறும். g யில் ஏற்படும் மாற்றங்கள் கால் (Gal) மில்லி கால் (Milligal) ஆகிய அலகுகளால் அளக்கப்படுகிறது. 1 செ.மீ./வினாடி$^2$ = 1 கால் = 1000 மில்லிகால்கள். இம் மாற்றங்கள் மிகமிக நுண்ணியவை. அவற்றைச் சாதாரண ஊசல் முறைகளால் கண்டுபிடித்துவிட முடியாது. அதற்குப் பயன்படும் சில கருவிகளைப்பற்றிச் சுருக்கமாகப் பார்க்கலாம்.

2.11. மாறு ஊசல்கள் (Invariable Pendulums): g-யைத்தவிர வேறெந்தக் காரணியாலும் பாதிக்கப்படாதவாறு அமைக்கப்பட்ட ஊசல்கள் மாறிலி ஊசல்கள் எனப்படும். இவ்வார் எஃகினால் செய்யப்பட்ட விறைப்பான ஒரு ஊசல், ஒரு கனமான முக்காலியிலிருந்து தொங்கவிடப்பட்டு, ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு காற்று நீக்கம் செய்யப்பட்ட ஒரு அறையினுள் அமைக்கப்பட்டுள்ளது.

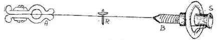
இதனால் காற்று உராய்விலும் மற்ற காரணங்களாலும் தோன்றுகின்ற பிழைகளும் திருத்தங்களும் மாறிலியாய் வைக்கப்படும். இன்வார் எஃகின் நீளம் வெப்பநிலை மாற்றத்தால் பாதிக்கப்படாது. ஆனாலும் முன்கூட்டியே ஊசலின் அலைவு நேரம் வெப்ப நிலையோடு மாறுகின்ற வீதம் கண்டுபிடித்துக் கொள்ளப்படும்.

g-யின் மதிப்புத் தெரிந்த ஒரு இடத்தில் இந்த ஊசலின் அலைவு நேரம் ($t_1$) கண்டுபிடிக்கப்படும். பின்னர் g யின் மதிப்புக் கண்டுபிடிக்கப்படவேண்டிய இடத்திலும் அதன் அலைவு நேரம் $t^2$ கண்டுபிடிக்கப்படும். இரு இடங்களிலுமுள்ள ஈர்ப்பு முடுக்கங்களின் தகவு (Gravity Ratio), $\frac{g_1}{g_2} = \frac{t_2^2}{t_1^2}$.

இரு இடங்களிலும் அலைவு நேரத்தை ஒரே மாதிரியாகத் துல்லியமாக அளப்பதற்கு ரேடியோ சங்கேதங்கள் (Radio Time Signals) பயன்படுத்தப்படும்.

2.12. ஈர்ப்பு மானிகள் (Gravity Meters)

1. திரல்பால் (Threlfall) போலக் (Pollock) ஈர்ப்புமானி: 1899-ல் உருவாக்கப்பட்ட இக் கருவியில் AB எனும் மெல்லிய குவார்ட்ஸ் இழை கிடையாக இழுத்துக் கட்டப்பட்டுள்ளது, B முனை, சுழற்றப்படக்கூடிய ஒரு தண்டில் இணைக்கப்பட்டிருக்கும்.




படம் 16.

தண்டின் சுழற்சியை ஒரு வட்டமான அளவு கோலின்மீது நகரும் குறிமுள் அல்லது வெர்நியரால் அளக்கலாம். குவார்ட்ஸ் இழையின் மையத்தில் ஒரு உலோகக் கம்பி பற்ற வைக்கப்பட்டுள்ளது. அதன் புவியீர்ப்பு மையம் கம்பிக்கு ஒரு பக்கத்தில் விழுமாறு அதில் ஒரு எடை (w) இணைக்கப்பட்டிருக்கும்.

தண்டைச் சுழற்றுவதன் மூலம், B முனையை முறுக்கி உலோகக் கம்பி கிடையாக இருக்கும்படி செய்யப்படும். அப்போது உலோகக் கம்பியின்மேல் செயல்படும் ஈர்ப்பு விசை, இழையில் தோன்றும் முறுக்க மீள்திறன் விசையால் சரியாக ஈடு

செய்யப்பட்டு உலோகக் கம்பி சம நிலையிலிருக்கும். அளவு கோலில் குறிமுள் காட்டும் அளவீடு பதிவு செய்யப்படும். பின்னர் g யின் மதிப்பில் ஏதேனும் மாறுதல் ஏற்பட்டால் கம்பி சம நிலையிலிருந்து பிறழ்ந்துவிடும். அதை மீண்டும் சமநிலைக்குக் கொண்டுவரக் குறிமுள்ளைத் திருப்பவேண்டும். அவ்வாறு திருப்ப வேண்டிய அளவு, g யின் மதிப்பில் ஏற்படும் மாறுதலின் அளவாக எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது.

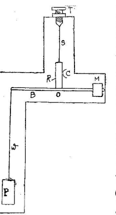
வெப்ப நிலையிலேற்படும் மாற்றங்களால் இழையிலுள்ள இழுவிசை நீளம், விறைப்பு ஆகியவற்றில் தோன்றும் மாறுதல் களுக்குத் தக்க திருத்தங்கள் சேர்க்கப்படும். g யின் மதிப்புத் தெரிந்த இடங்களில் கருவியைச் சரிப்படுத்தி அளவு கோலில் குறியிட்டுவிட்டால், பின்னர் அக்கருவியைக் கொண்டு எந்தவொரு இடத்திலும் g யின் மதிப்பை நேரடியாகக் கண்டுபிடித்து விடலாம்.

படம் 17.

கல்ப் (Gulf) ஈர்ப்புமானி: இது 1941-ல் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது. ஒரு சுருள் வில்லின் அடியில் தொங்க விடப்பட்ட ஒரு நிறையின் எடை, அவ்விடத்திலுள்ள ஈர்ப்பு விசைக்குநேர் விகிதத்திலிருக்கும் எனும் வில் தராசின் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்தி இது அமைக்கப் பட்டுள்ளது. g-யில் ஏற்படும் மாற்றங்களால் கணக் கிடலாம். ஒரு உலோக நாடாவினாலான சுருள் வில்லின் அடியில் ஒரு நிறை தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. அந்த நிறையில் ஒரு அடித்துண்டு பதிக்கப்பட் டிருக்கும்.

g யில் ஏதேனும் மாற்றமேற்பட்டால், நிறையின் எடையில் மாற்றமேற்பட்டு, வில்சுருள் கீழே இழுக்கப் படும். அதனால் நிறையும் ஆடியும் சுழற்றப்படும். ஒரு குறு பிளவிலிருந்துவரும் ஒளிக் கற்றையை ஆடியின் மேல் விழச்செய்து, எதிரொளிக்கப்பட்ட பிம்பத்தை கண்ணருகு கருவியில் அளவுகோல் பொருத்தப்பட்ட ஒரு நுண்ணோக்கியின் மூலம் பார்த்து ஆடியின் சுழற்சியைத்துல்லியமாக அளக்கலாம். இக் கருவியின் உணர்வு நுட்பம் $5\times10^{-5}$ செ.மீ./வினாடி$^2$ அல்லது $5\times10^{-2}$ மில்லி கால்கள் அளவில் இருக்கிறது.

இவட்வோ (Eotvo's) தராசு : ஓரிடத்தில் அண்மையிலுள்ள மலைகள் கட்டிடங்கள் அல்லது பூமிக்கடியிலுள்ள தாது படிவங்கள் ஆகியவற்றால் g யில் ஏற்படும் மிக நுண்ணிய மாற்றங்களை மேலே கண்ட கருவிகளைவிடத் துல்லியமாக இவட்வோவின் கருவி அளக்கின்றது. இதன் உணர்வு நுட்பம் $10^{-5}$ செ.மீ/ விநாடி² அல்லது $10^{-6}$ மில்லி கால் அளவிருப்பதால் ஓரிடத்தில் g-யின் மதிப்பைக் கண்டு பிடிப்பதற்கும் ஈர்ப்பு ஆய்வுகளுக்கும் பூ பௌதிக ஆய்வுகளுக்கும் இது சிறப்பாகப் பயன்படுகிறது. இதில் அலுமினியத்தாலானதும் 40 செ.மீ., நீளமுள்ளதுமான ஒரு செவ்வகச் சட்டம் B, T எனும் சுழல் குமிழிலிருந்து 60 செ.மீ., நீளமுள்ள, பிளாடின இரிடியக் கலவையாலான மெல்லிய இழை (S)யால் அதன் புவியீர்ப்பு மையத்தில் இணைக்கப்பட்ட R எனும் அலுமினியத் தண்டில் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. அலுமினியத் தண்டில் ஒரு சிறிய




படம் 18.

குழியாடி c பதிக்கப்பட்டுள்ளது. இந்தக் குழியாடி தண்டிலேற்படும் விலக்கத்தை விளக்கு—அளவுகோல் (Lamp and Scale) முறையில் அளக்க உதவும். பிளாட்டினம், தங்கம் அல்லது வெள்ளியாலானதும் 30 கிராம் எடையுள்ளதுமான ஒரு சிறு உருளை P சட்டத்தின் ஒரு முனையிலிருந்து ஒரு மெல்லிய பிளாடின இழையில் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. சட்டத்தின் மறுமுனையில் ஒரு சமன் செய்யும் (Counterpoising) எடை M படத்தில் காட்டியபடி சொருகப்பட்டுள்ளது.

பகுதிக்குப் பகுதி g யின் மதிப்பு மாறுகின்ற ஒரு இடத்திற்குக் கருவியை எடுத்துச் சென்றால், சட்டம் ஒரு இரட்டை விசையால் தாக்கப்படுகிறது. அதனால் தொங்கல் இழையில் ஒரு முறுக்கம் ஏற்பட்டு, சட்டத்தில் விலக்கம் ஏற்படுகிறது.

சட்டம் தெற்கு வடக்காய் அமைந்துள்ள x அச்சிலிருந்து θ கோணத்தில் விலகிச் சம நிலையிலிருப்பதாகக் கொள்வோம். அந்த நிலையில் அளவுகோல் அளவீடு $S_1$ என்போம். g மாறிலியிலிருந்து சட்டத்தில் ஈர்ப்பு விசையிரட்டை செயல்படாதபோது அளவுகோல் அளவீடு $S_0$ எனில்,

$$S_1 - S_0 = A\left[\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right]\sin\theta + 2A\left[\frac{\partial^2 U}{\partial x\,\partial y}\right]\cos 2\theta$$

$$- C\left[\frac{\partial^2 U}{\partial z\,\partial x}\right]\sin\theta + c\left[\frac{\partial^2 U}{\partial y\,\partial z}\right]\cos\theta \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

இதில் Aயும் Cயும் கருவியின் மாறிலிகள், U ஈர்ப்பு அழுத்தம்; $\frac{U}{\partial x}$, $\frac{U}{\partial y}$, $\frac{U}{\partial z}$ ஆகியவை x (வடக்கு), y (கிழக்கு), z (செங்குத்துத் திசைகளில் ஈர்ப்பு விசை. இம் மூன்று திசைகளின் துவக்கம் (Origin) சட்டத்தின் மையப்புள்ளி O வில் அமைந்துள்ளதாகக் கொள்ளப்படும்.

$$A\left[\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right] = A^1,\ 2A\left[\frac{\partial^2 U}{\partial x\,\partial y}\right] = B^1$$

$$- C\left[\frac{\partial^2 U}{\partial z\,\partial x}\right] = C^1,\ C\left[\frac{\partial^2 U}{\partial y\,\partial z}\right] = D^1$$ எனக் கொள்வோம்.

$$S_1 - S_0 = A^1\sin 2\theta + B^1\cos 2\theta + C^1\sin\theta + D^1\cos\theta \ldots\ldots(2)$$

θ = 0° 60°, 120°, 180°, 240°, 300° என (2)ஆம் கோவையில் பதிலீடு செய்து, அவற்றிற்கான $S_1$ மதிப்புகளை, $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ எனக் கொண்டால்,

$$S_1 + S_3 + S_5 = S_2 + S_4 + S_6 = 3S_0$$

$$2\sqrt{3}\,A^1 = (2S_2 - S_3) - (S_1 - S_4)$$

$$2B^1 = (S_1 + S_4 - 2S_0)$$

$$2\sqrt{3}\,C^1 = 2(S_2 - S_5) - (S_1 - S_4)$$

$$2D^1 = S_1 - S_4$$

இவ்வாறு (1) ஆம் சமன்பாட்டிலுள்ள எல்லா மாறிலிகளையும் கண்டுபிடித்துக் கொண்டால் வடக்குத் திசையில் g மாறும் வீதம்

—$C^1/c$, கிழக்குத் திசையில் மாறும் வீதம் $D^1/c$ ஆகியவற்றைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

2.13. விண்வெளியில் பொருள்களின் இயக்கம் : கெப்ளர், நியூட்டன் ஆகியோரது விதிகளை வைத்துக்கொண்டு விண் வெளியில் கோள்களும் துணைக் கோள்களும் இயங்கும் விதத்தை வரையறுத்துவிடலாம். விண் வெளியில் இயங்குகின்ற பூமி நிறையீர்ப்பு விசையைச் செலுத்தக்கூடியது. அதன் ஈர்ப்புப் புலத்திற்குள் வருகிற எல்லாப் பொருள்களையும் தனது மையத்தை நோக்கிப் பூமி இழுக்கிறது. அவ்வாறு இழுக்கப்படும் பொருளின் திசைவேகம் படிப்படியாக அதிகரிக்கிறது. இந்தத் திசைவேக மாற்றத்தைப் புவியீர்ப்பு முடுக்கம் என்கிறோம். பூமிப் பரப்பில் ஏற்படும் புவியீர்ப்பு முடுக்கம் ஒரு அடிப்படை அலகாகப் பயன் படுகிறது. அது அலகு ஈர்ப்பு (1 gravity) அல்லது 1 "g" எனப்படும்.

பூமியின் ஈர்ப்புப் புலப் பிரபஞ்சம் முழுவதும் பரவியிருப்பதாக நம்பப்படுகிறது. இருந்தாலும் தொலைவு அதிகமாயிருக்கும்போது அளக்க முடியாத அளவிற்கு அதன் செறிவு குறைந்துவிடுகிறது. விண்வெளியிலுள்ள எல்லாப் பொருள்களும் ஈர்ப்பினுல் பாதிக்கப் படுகின்றன. விண்வெளியில் செல்லும் கலமும் (Space vehicle) இவ்வாறு ஈர்க்கப்படும். அது மற்றப் பொருள்களின் மேலும் ஈர்ப்பு விசையைச் செலுத்தும். பூமிக்கும் சந்திரனுக்கும் இடையில் செல்லும் விண்வெளிக்கலம் இரண்டினுலும் மற்றும் சூரியனுலும் ஈர்க்கப்படும். விண்வெளியைப்பற்றித் தெரிந்துகொள்வதற்காக ஆய்வுக் கலங்களும் (Space Probes) செயற்கைக் கோள்களும் விண்வெளியில் செலுத்தப்பட்டுள்ளன. ஆய்வுக் கலங்கள் நிலவில் போயிறங்கவோ அல்லது கோள்களைச் சுற்றி வரவோ இல்லாமல், விண்வெளியினைப்பற்றி புதுப்புது விஷயங்களைத் தெரிந்துகொள்வதற்காகவே தக்க கருவிகளுடன் விண்வெளியில் அனுப்பப்படும். பல சமயங்களில் அவை மற்ற கோள்களுடன் சூரியனைச்சுற்றி வரும் வகையில் அனுப்பப்படுகின்றன. இவ்வாறு ஆய்வுக் கலங்களை அனுப்புவதன் நோக்கம் மேல் விண்வெளியில் உள்ளவற்றைப்பற்றித் தகவல் சேகரிப்பதே. நிலவைப்பற்றியோ மற்ற கோள்களைப்பற்றியோ ஆராய்வது அல்ல. இது போன்ற சமயங்களில் ஆய்வுக் கலத்தைச் செல்லவேண்டிய தொலைவுக்கு ஏற்ற துவக்கத் திசைவேகத்துடன் விண்வெளியில் வீசிவிட்டால் போதுமானது. மற்ற சமயங்களில் நிலவு அல்லது மற்ற கோள்களைப்பற்றி ஆராய்வதற்காக அவற்றை நெருங்கிச் செல்லுமாறு அல்லது கோள்களில் இறங்குமாறு ஆய்வுக் கலங்களை

அனுப்பவேண்டுமானல் சரியான வழிகாட்டுதலும் (Guidance) நேர நிர்ணயங்களும் செயல்படவேண்டும். வெவ்வேறு பயணங்களுக்கு வெவ்வேறு திசைவேகங்கள் தேவைப்படும்.

சூரிய மண்டலத்தில் ஒரு பொருளைச் சுற்றிவரும் இன்னொரு பொருள் துணைக்கோள் (Satellite) எனப்படும். உதாரணமாக நிலவு பூமியின் துணைக்கோள். 1957 வரை இயற்கையான துணைக் கோள்களே இருந்தன. பின்னர் பூமியைச் சுற்றியும், மற்றக் கோள்களைச் சுற்றியும் மனிதனல் செய்யப்பட்ட துணைக்கோள்கள் வலம் வந்துகொண்டிருக்கின்றன. அவற்றைச் செயற்கைத் துணைக் கோள்கள் அல்லது செயற்கைக் கோள்கள் (Artificial Satellites) என அழைப்போம். 'இந்த செயற்கைக் கோள்களும் இயற்கையான கோள் இயக்க விதிகளுக்குக் கீழ்ப் பணிந்தே இயங்குகின்றன. இவற்றுள் கெப்ளரின் கோள் இயக்க விதிகளும், நியூட்டனின் ஈர்ப்பு விதியும், இயக்க விதியும் அடங்கும். நியூட்டனின் முதல் விதிப்படி ஓய்வு நிலையிலோ, ஒரு நேர்கோட்டில் சீரான வேகத்துடன் இயங்கிக்கொண்டோ இருக்கும் ஒரு பொருள், ஒரு விசையால் தாக்கப்படாதவரை தனது நிலையிலேயே தொடர்ந்து நீடிக்கும். இவ்வாறு ஒரு கோளை வட்டமான பாதையில் சுற்றிவரச் செய்ய பூமியின் ஈர்ப்பு விசை காரணமாகிறது. நியூட்டனின் இரண்டாவது விதிப்படி ஒரு பொருளின்மேல் செயல்படும் ஒரு விசை, தனது திசையினிலேயே ஒரு முடுக்கத்தை அப் பொருளில் ஏற்படுத்துகிறது. எனவே பூமியின் விசை, கோளைத் தன் மையத்தை நோக்கி விழச் செய்கிறது. கோளின் இயக்க விசை கோளை நேர்க்கோட்டில் செலுத்த முயல்கிறது. இவ்விரு விசைகளின் ஆளுகைக்குட்பட்ட கோள் பூமியை வட்டப் பாதையிலோ, நீள்வட்டப் பாதையிலோ சுற்றுகிறது.

ஒரு செயற்கைக் கோளை விண்வெளி ஓடுபாதையில் (Space Orbit) செலுத்த வேண்டுமாயின், அது ஈர்ப்பு விசையை மீறி வட்டப் பாதையில் வலம் வருமளவிற்கு இயக்க ஆற்றலைத் தோற்றுவிக்கும் வகையில், அதற்குத் துவக்க வேகத்தைத் தர வேண்டும். இந்த மாதிரி ஒரு கோளை ஓடுபாதையில் செலுத்தத் தேவையான திசைவேகம் ஓடுபாதை வேகம் (Orbital Velocity) எனப்படும். முதன்மைக் கோளின் மையத்திலிருந்து அதிகமான தொலைவு செல்லச் செல்ல நிறையீர்ப்பு விசை குறைவதால், ஓடுபாதை வேகத்தின் அளவும் மாறும். பூமிக்கு அண்மையில் சுமார் (200 மைல் உயரத்தில்) சுற்றிவரும் துணைக்கோளுக்குத் தேவைப்படும் ஓடுபாதை வேகம் மணிக்கு சுமார் 18000 மைல்களாகும். நிலவுக்கு அண்மையில் (பூமியிலிருந்து சுமார்

240000 மைல் தொலைவில்) உள்ள ஓடுபாதையில். ஒரு கோளைச் சுற்றச் செய்ய மணிக்கு 2000 மைல்கள் ஓடுபாதை வேகம் போதும். இதனால் தொலைவிலுள்ள ஓடுபாதையில் கோளைச் செலுத்துவது எளிது என்று எண்ணவேண்டாம். அவ்வளவு உயரத்திற்குச் செயற்கைக் கோளைக்கொண்டு செல்வதற்குக் கூடுதலான விசை தேவைப்படும்.

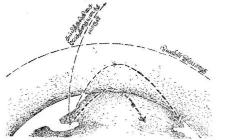
பூமி முழு உருண்டையாயில்லாதபடியால் ஒரு செயற்கைக் கோளை முற்றிலும் வட்டமான பாதையில் செலுத்துவது முடியாது. வழக்கமாக நீள்வட்டமான ஓடுபாதைகளே ஏற்படுத்தப்படுகின்றன. அவற்றின் அண்மைப்புள்ளி (Perigee) சுமார் நூறு மைல் உயரத்தி லிருந்தாலும் சேய்மைப்புள்ளி (Apogee) பல்லாயிரக்கணக்கான மைல் உயரத்திலிருக்கக்கூடும். பூமத்தியரேகைக்கு இணையாக, 22,300 மைல் உயரத்தில் உள்ள ஓடுபாதையில் செலுத்தப்படும் ஒரு செயற்கைக் கோள் நிலைக்கோள் (Fined or Synchonous or Stationary) எனப்படும். அது பூமியைச் சுற்றிவர 24 மணி நேரமாகும். பூமியின் சுழற்சி நேரமும் 24 மணியானதால், தரையில் நின்று பார்ப்பவருக்கு அது அசையாமல் நிற்பதுபோலத் தோன்றும்.

ஒரு ஆய்வுக் காலமோ செயற்கைக் கோளோ விண்வெளியில் செலுத்தப்படுவதற்குத் தப்பித்தல் வேகம் (Escape Velocity) எட்டப்பட்டால்தான் பூமியின் ஈர்ப்பை மீறிச் செல்ல முடியும். கலத்தை அந்தக் குறிப்பிட்ட வேகம் வரை உந்தித் தள்ளிவிட வேண்டும். தொலைவு செல்லச் செல்ல ஈர்ப்பு விசை குறைவதால் ஈர்ப்பு விசையைச் சமாளிக்கத் தேவைப்படும் சிறும அளவு வேகத்தின் மதிப்பு மாறக்கூடியதாகும்.

பூமிப் பரப்பிலோ, அண்மையிலோ இருக்கும் ஒரு கலம் ஈர்ப்பு விசையைச் சமாளித்துச் செல்லத் தேவைப்படும் திசைவேகம் விநாடிக்கு 7 மைல் அல்லது மணிக்கு சுமார் 25000 மைல்களாகும். 500 மைல் உயரம் சென்றுவிட்டால் ஈர்ப்பிலிருந்து தப்பிச் செல்லத் தேவைப்படும் திசைவேகம் மணிக்கு 23,000 மைல்களாகக் குறைகிறது. 5000 மைல் உயரத்தில் மணிக்கு 16,630 மைல் வேகம் போதுமானது. தப்பித்தல் வேகத்தை அடைந்துவிட்ட கலம் திரும்பப் பூமியில் விழாது. ஆனால் அது பூமியின் ஆளுகையி லிருந்து தப்பித்துவிட்டதாக அர்த்தமில்லை. ஏனெனில் பூமியின் ஈர்ப்புப் புலம் வரம்பிலிவரை நீண்டுள்ளது.

ஆய்வுக் கலத்தைத் தூக்கிச் செல்லும் ராக்கெட் ஒரு நீள்வட்டப் பாதையில் செல்கிறது. அதன் திசைவேகம் மணிக்கு

25000 மைல்கள் எட்டிவிட்டால் இந்த நீள்வட்டம் பூர்த்தி பெருமல், ராக்கெட் பூமியிலிருந்து தப்பிவிடுகிறது. அது விண்வெளியில்




படம் 19.

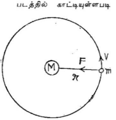
பாய்ந்து செல்லுகையில் பூமியின் ஈர்ப்பு காரணமாக அதன் திசை வேகம் குறைந்தாலும், பூமிக்குத் திரும்பி வராமல் நேரே சென்று சூரியனின் ஈர்ப்புப் புலத்தில் சிக்கிக்கொள்ளும் வரை வான் வெளியில் போய்க்கொண்டேயிருக்கும்.

ஒரு கலத்தை தப்பியோடும்படி விண்வெளியில் செலுத்தத் துவக்கத்திலேயே மணிக்கு 25000 மைல்கள் திசைவேகத்தில் உந்தி விடலாம். இதற்கு ஆற்றல் மிக்க, ஒரு கட்ட உந்தல் ராக்கெட் தேவைப்படும். அல்லது பல கட்ட ராக்கெட்டுகளைப் பயன்படுத்தி ஒரு கட்டம் கலத்தை விண்வெளிக்குத் தூக்கிச் செல்லுமாறும், அடர்வும் புலச்செறிவும் குறைந்த மேல் விண்வெளிகளுக்குச் செல்லவும் விண்வெளியில் நுழையவும் மற்ற சிறிய ராக்கெட்டுகள் உதவுமாறும் செய்யலாம். அல்லது தொடர்ந்து உந்தல் திறனை அளிக்கக்கூடிய மாபெரும் ராக்கெட்டைப் பயன்படுத்தலாம். இத்தகைய ஒரு ராக்கெட் இன்னும் உருவாகவில்லை.

தற்காலங்களில் விண்வெளிக் கலங்கள் பெரும்பாலும் மேலே கூறப்பட்ட இரண்டாவது முறையில் ஏவப்படுகின்றன. ஒன்றின் மேல் ஒன்ருக மூன்று அல்லது நான்கு ராக்கெட்டுகள் வைக்கப் பட்ட, பல கட்ட ஏவுகணைகளில் ஒவ்வொரு கட்டமாக வரிசையாகச் சுடப்பட்டு விண்வெளிக் கலம் பெரும் முடுக்கத்திற்காட்படுகிறது

ஒவ்வொரு கட்டமும் எரியத் துவங்குமுன் அதற்கு முந்தைய கட்டம் தோற்றுவித்த திசைவேகத்தோடு சென்றுகொண்டிருக்குமாதலால் திசைவேகம் படிப்படியாக அதிகரிக்கிறது. மேலே போகப் போக ஈர்ப்பு குறைவதும், காற்றின் உராய்வு மறைந்து போவதும் இதற்கு மேலும் உதவுகின்றன.

சூரிய மண்டலத்திலுள்ள பொருள்களின் இயக்கங்களை இயக்க விதிகளிலிருந்தும், ஈர்ப்பு விதியிலிருந்தும் கணக்கிட முடியும், நாம் ஒரு எளிய அமைப்பைக் கற்பனை செய்துகொண்டு, இந்தப் பிரச்சினைகளை ஆராய்ந்தோமானால் ஏறத்தாழ சரியான முடிவுகளைப் பெறமுடியும். சூரியன், கோள்கள் ஆகியவற்றின் ஒடுபாதைகள் வட்டமானவையென்றும் கோள்களுக்கிடையில் ஈர்ப்பு விசை ஏதும் இல்லை எனவும் வைத்துக்கொண்டு சூரியனுக்கும் கோளுக்கும் இடையில் செயல்படும் விசைகளைமட்டும் கவனிப்போம். இது ஒரு கோளைச் சுற்றி வருகின்ற துணைக்கோளுக்கும் பொருந்தும்.




படம் 20.

படத்தில் காட்டியுள்ளபடி சூரியனைச் சுற்றி ஒரு கோள் ஓடுவதாகக் கொள்வோம். M சூரியனின் நிறையும், m கோளின் நிறையையும், r அவற்றின் மையங்களுக்கிடையிலுள்ள தொலைவையும் குறிக்கின்றன.

கோளின் மையநோக்கு விசை $= F = \frac{mv^2}{r}$ = மைய விலக்கு விசை சூரியனுக்கும் கோளுக்கும் இடையிலுள்ள ஈர்ப்பு விசை $= \frac{GMm}{r^2}$ கோளும் சூரியனும் சமநிலையிலிருக்கும்போது ஈர்ப்பு விசை, கோளின் மைய விலக்கு விசையைச் சரியாக ஈடு செய்கிறது.

எனவே $\frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2}$ அல்லது $\frac{GM}{r} = v^2$

கோள் ஓடுபாதையை ஒரு முறை சுற்றிவர ஆகும் சுழல்நேரம் T எனில், அதன் திசை வேகம் $v = \frac{2\pi r}{T}$

$$ஆகவே \frac{GM}{r} = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2} \text{ அல்லது } T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM}\right) r^3$$

$4\pi^2/GM$ ஒரு மாறிலியாகையால் $T^2 \propto r^3$.

கோளின் நிறை கணக்கில் வராததைக் கவனிக்கவும். ஆகவே $4\pi^2/GM$ என்பது எல்லாக் கோள்களுக்கும் பொருந்துகின்ற பொதுவான மாறிலி. T, r இவற்றின் மதிப்பு தெரிந்தால், சூரியனின் நிறையைக் கணக்கிட்டுவிடலாம். எடுத்துக் காட்டாக பூமிக்கு T = 365 நாட்கள் = $3.15 \times 10^7$ விநாடிகள். r = 93 மில்லியன் மைல்கள் = $1{\cdot}5 \times 10^{11}$ மீட்டர்கள். எனவே

$$சூரியனின் நிறை M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2} = \frac{4\pi^2 \times (1.5\times10^{11})^3}{6.67\times10^{-11}\times(3.15\times10^7)^2}$$

$= ஏறக்குறைய\ 2\times10^{30}$ கிலோ கிராம்கள்.

சூரியனின் நிறையையும் அதைச் சுற்றிவர ஒரு கோளுக்காகும் நேரத்தையும் அறிவோமானல், கோளின் ஓடுபாதையின் ஆரத்தைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

**சூரியன் கோள் தொகுப்பின் மொத்த ஆற்றல்:** ஓய்வு நிலையிலிருக்கும் சூரியனைக் கோளானது r ஆரமுள்ள வட்டப் பாதையில் சுற்றிவந்தால் அத் தொகுப்பின் நிலையாற்றல் $= -\frac{GMm}{r}$. சூரியன் ஓய்வு நிலையிலிருப்பதால், தொகுப்பின் இயக்க ஆற்றல்

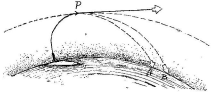
$$= \tfrac{1}{2}\, mv^2 = \tfrac{1}{2}\,\frac{GMm}{r} \quad (\because v^2 = GM/r)$$

$$எனவே மொத்த ஆற்றல் = \tfrac{1}{2}\,\frac{GMm}{r} - \frac{GMm}{r} = -\frac{GMm}{2r}$$

இந்த மொத்த ஆற்றல் மாறிலியையும் எதிரினமாயும் உள்ளது. இயக்க ஆற்றல் எதிரினமாயிருக்க முடியாது. r வரம்பிலியாகும்போது இயக்க ஆற்றல் சுழியாகிவிடும். நிலையாற்றல் r வரம்பிலியாகும் போது சுழியாகவும் குறைந்த தொலைவுகளில் எப்போதும் எதிரின மாயும் இருக்கும். நீள்வட்டப் பாதையை வைத்துக் கணக்கிட்டால் கூட மொத்த ஆற்றல் எதிரினமாகவே உள்ளது. எனவே தொகுப்பு கட்டுப்பட்டது என்றும், கோள் சூரியனின் ஈர்ப்பிலிருந்து விடுபடவே முடியாது என்றும் புலனாகிறது. பின்வரும் அட்டவணை சூரிய மண்டலத்திலுள்ள கோள்களைப்பற்றிய சுருக்கமான தகவல்களை அளிக்கிறது.

| கோள் | சுற்றுநேரம் ஆண்டுகள் | சராசரித் தொலைவு கி. மீ × $10^9$ | சராசரி ஆரம் கி. மீ. | நிறை கி. கி × $10^{24}$ | $\frac{T^2}{r^3}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| மெர்க்குரி (வெள்ளி, | 0.241 | 57.9 | 2421.1 | 0.3244 | 1.245 |
| வீனஸ் (புதன்) | 0.615 | 108.1 | 6161 | 4.861 | 1.252 |
| பூமி | 1.000 | 149.5 | 6371.0 | 5.975 | 1.247 |
| மார்ஸ் (செவ்வாய்) | 1.881 | 227.8 | 3332.1 | 0.6387 | 1 249 |
| ஜுபிடர் (வியாழன்) | 11 862 | 777.8 | 69892.0 | 1902 1 | 1.246 |
| சனி | 29.458 | 1426.0 | 57532.0 | 569.4 | 1 247 |
| யுரானஸ் | 84.015 | 2869.0 | 23701.0 | 87.1 | 1.245 |
| நெப்டியூன் | 164.79 | 4496.0 | 21535.0 | 103.1 | 1 246 |
| புளூட்டோ | 247.7 | 5899.0 | 2867.0 | 0.5 | 1.246 |

**2.14. செயற்கைக் கோள்கள் (Artificial):** செயற்கைக் கோள்களை ஒரு குறிப்பிட்ட உயரத்திற்கு ராக்கெட்டுகளின்




படம் 21.

உதவியுடன் எடுத்துச் சென்று, அவற்றைக் கிடைத் திசையில் உந்திவிட்டால் அவை வெளி விண்வெளியில் சுற்றிவரத் துவங்கும்.

செயற்கைக் கோள் நிலையாகப் பூமியைச் சுற்றிவரச் செய்யத் தேவைப்படும் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடுவோம். P எனும் புள்ளியிலிருந்து கோள்கள் கிடைத் திசையில் உந்தப்படுவதாய்க் கொள்வோம். துவக்க வேகம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவைவிடக் குறைவாயிருந்தால் கோள் பரவளையமான பாதையில் சென்று A அல்லது B யில் விழுந்துவிடும். இன்னும் அதிகமான, ஒரு குறிப்பிட்ட துவக்க வேகத்துடன் உந்தப்படும் கோள் r ஆரமுள்ள வட்டப் பாதையில் பூமியைச் சுற்றி வரும். இந்தக் குறிப்பிட்ட துவக்க வேகம் ஓடுபாதைத் திசைவேகம் (Orbital Velocity) எனப்படும். துவக்க வேகம் இன்னும் அதிகமாயிருந்தால் D எனும் திசையில் கோள் சென்று ஒரு நீள்வட்டமான பாதையில் இயங்கும் அல்லது பூமியிலிருந்து தப்பி வெளியேறிவிடும்.

நியூட்டனின் ஈர்ப்பு விதிப்படி பூமி, m நிறையுள்ள செயற்கைக் கோளின்மீது செலுத்தும் விசை F, $r^2$ க்கு எதிர் முடுக்கத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். எனவே m எனும் நிறையின் பூமி நோக்கிய முடுக்கம் $r^2$ க்குத் தலைக்கீழ் விகிதத்திலிருக்கும். எனவே பூமியின் மையத்திலிருந்து r தொலைவில் m எனும் நிறையின் மையத்தை நோக்கிய முடுக்கம் a எனவும், R தொலைவில் (பூமியின் மேற் பரப்பில்) மையத்தை நோக்கிய முடுக்கம் g எனவும் கொண்டால்,

$$\frac{a}{g} = \frac{R^2}{r^2} \text{ அல்லது } a = g.\frac{R^2}{r^2}$$

இந்த முடுக்கம் செயற்கைக் கோளின் மைய நோக்கு விசையினால் ஏற்படும் முடுக்கத்திற்குச் சமமாயிருக்கும். ஆகவே $a = v^2/r$.

$$\text{இப்போது } \frac{v^2}{r} = g\frac{R^2}{r^2} \text{ அல்லது } v = \sqrt{g\frac{R^2}{r}}$$

v கோளின் ஓடுபாதைத் திசை வேகமாகும். செயற்கைக் கோள் பூமியை நெருங்கிச் சுற்றிவந்தால் r = R எனக் கொண்டு $v = \sqrt{gR}$ எனலாம்.

தப்பித்தல் திசைவேகம் (Escape Velocity): ஒரு செயற்கைக் கோள் பூமியின் ஈர்ப்புப் புலத்தை விட்டு வெளியேறித் திரும்பி வராமல் போய்விட வேண்டுமானால் அது மேலே செலுத்தப்படும் துவக்கத் திசைவேகம் ஓடுபாதைத் திசைவேகத்தைவிட அதிகமா யிருக்க வேண்டும். இந்தத் திசைவேகம் தப்பித்தல் திசைவேகம்

எனப்படும். ஈர்ப்பு அழுத்தத்தைப் பயன்படுத்தித் தப்பித்தல் திசைவேகத்தின் சிறு மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

M நிறையுள்ள பூமியின் மையத்திலிருந்து r தொலைவிலுள்ள m நிறையுள்ள கோளின் மேல் செயல்படும் விசை $= \frac{GMm}{r^2}$. கோள், ஈர்ப்புப் புலத்தை எதிர்த்து dr தொலைவு நகரும்போது செய்யப்படும் செயல் $= \frac{GMm}{r^2}\, dr$.

பொருள் ஈர்ப்புப் புலத்தைவிட்டு வெளியேறத் தேவையான

$$\text{ஆற்றல்} = \int_R^\infty \frac{GMm}{r^2}\, dr = \frac{GMm}{R}$$

இதில் R பூமியின் ஆரம் ஆகும். இந்த ஆற்றல் பூமிப் பரப்பிலுள்ள ஈர்ப்பு அழுத்தத்தைப் போல m மடங்குள்ளது.

பொருளின் துவக்கத் திசைவேகம் (தப்பித்தல் திசைவேகம்) V எனில், அதன் துவக்க இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2} mV^2$.

இது $\frac{GMm}{R}$ க்குச் சமம்.

$$\frac{1}{2} m V^2 = \frac{GMm}{R} \quad \text{அல்லது} \quad V = \sqrt{\frac{2\ MG}{R}}$$

V சுமாராக $11.19 \times 10^{12}$ மீட்டர்/விநாடி எனக் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது.

புவிஈர்ப்பு முடுக்கம் $g = \frac{GM}{R^2}$. எனவே

$$\text{தப்பித்தல் திசைவேகம்}\ V = \sqrt{\frac{2\ MG}{R^2}}\ R = \sqrt{2\ gR}$$

$$\text{ஓடுபாதைத் திசைவேகம்}\ v = \sqrt{\frac{GM}{R^2} \times R} = \sqrt{g\ R}$$

$$\therefore\ v/V = \sqrt{\tfrac{1}{2}} \quad \text{அல்லது} \quad v = 0{\cdot}7073\ V$$

$\sqrt{MGR}$, $\sqrt{2\ MG/R}$ எனும் வரம்புகளுக்கு இடையிலுள்ள எல்லாத் துவக்கத் திசைவேகங்களுக்கும் பொருள் நீள் வட்டமான

பாதைகளில் பூமியைச் சுற்றிவரும். ஒரு குறிப்பிட்ட ஓடுபாதையில் செயற்கைக் கோளின்மேல் பூமி செலுத்தும் விசை ஒரு மாறிலி யாதலால், கோள் பூமியைச் சுற்றி ஒரு குறிப்பிட்ட திசை வேகத்துடன்தான் ஓடும். பூமிக்கு அண்மையில் சுற்றிவரும் ஒரு செயற்கைக் கோளின் திசைவேகம் சுமார் 8 கிலோ மீட்டர் அல்லது 5 மைல்/விநாடி ஆகும். அவ்வாறு சுற்றி வருகையில் அதன்மேல் தோன்றும் மைய விலக்கு விசையும், பூமியின் ஈர்ப்பு விசையும் சமமாயிருக்கும். பூமியின் மையத்தைவிட்டு விலகிப் போகப் போக ஈர்ப்பு விசை குறையுமாதலால் தொலைவிலிருக்கின்ற செயற்கைக் கோள் சற்றுக் குறைந்த வேகத்துடனே சுற்றி வரும். 1000 கிலோ மீட்டர் உயரம் வரவர இந்தக் குறைவு மிகச் சிறிய அளவிலேயே யிருக்கும். சுமார் 38000 கி.மீ., தொலைவிலுள்ள நிலவு 1 கி.மீ.,/விநாடி திசைவேகத்துடன்தான் இயங்குகிறது. அது ஒரு மாதத்திற் கொருமுறைதான் பூமியைச் சுற்றி வருகிறது. ஆனால் அண்மையிலுள்ள செயற்கைக் கோள்கள் ஒரு நாளில் பல முறை பூமியைச் சுற்றி விடுகின்றன.

2.15. பூபௌதிக ஆராய்ச்சிகள் (Geophysical Prospecting): பூமிப் பரப்பிற்கடியில் தாதுப் பொருள் படிவங்களிருப்பதால் அவ்விடங்களிலுள்ள g-யின் மதிப்பில் மாற்றங்கள் தோன்று கின்றன. இதே போல அவை பூமியின் காந்தத்துவ (Magnetic), மின்சார, பூகர்ப்ப இயல்புகளிலும் மாற்றங்களைத் தோற்று விக்கின்றன. இம் மாற்றங்களைத் தக்கபடி உருவாக்கப்பட்ட கருவிகளின் உதவியுடன் அளப்பதன் மூலம், பூமிப் பரப்பிற்கடியில் தாதுப் படிவங்கள் இருப்பதைப் பற்றியும், அவற்றின் தன்மைகள், அளவு, பரவீடு ஆகியவற்றைப் பற்றியும் தெரிந்து கொள்ளலாம். இத் துறை பூபௌதிக ஆராய்ச்சி எனப்படும்.

ஈர்ப்பியல் ஆய்வுகள் (Gravity Survey) மூலமாக பூமிக்கடியில் உள்ள பகுதியின் தன்மையையும், அமைப்பையும் பற்றி அறிந்து கொள்ளலாம். ஈர்ப்பியல் ஆய்வுகளின்போது இரு முக்கியமான அளவுகள் கண்டுபிடிக்கப்படுகின்றன. அவையாவன: (1) ஈர்ப்பு முடுக்கச் சரிவு (Gravity Gradient) (2) கிடைத்திசை ஈடுபாடு (Horizontal Directive tendency) ஈர்ப்பு முடுக்கச் சரிவு (G): இது ஒரு புள்ளிக்கருகில் கிடைத் திசையில் புவியீர்ப்பு முடுக்கம் g மாறுகின்ற வீதத்தின் பெருமளவைக் குறிக்கின்றது. இதைப் பெரும மாற்றமேற்படும் திசையில், அலகு இடைவெளியில் g-யின் மதிப்பில் ஏற்படுகின்ற மாற்றமாக $\frac{\partial g}{\partial S}$ எனக் குறிப்பிடலாம். இது

ஒரு திசையுள்ள (Vector) அளவு. அதை G எனும் எழுத்தால் குறிப்பார்கள்.

இந்தச் சரிவு X அச்சின் (வடக்கு - தெற்கு) திசைக்கு $\phi$ கோணத்திலிருந்தால், $\frac{\partial g}{\partial x} = G \cos \phi$

Y திசையில் ஈர்ப்பு முடுக்கச் சரிவின் ஆக்கக்கூறு,

$\frac{\partial g}{\partial y} = G \sin \phi$.

ஈர்ப்பு அழுத்தம் U எனில் $g = \frac{\partial U}{\partial z}$, செங்குத்துத் திசையில் ஈர்ப்பு அழுத்தம் மாறும் வீதம்

$$\text{எனவே } \frac{\partial g}{\partial x} = \frac{\partial^2 U}{\partial x \, \partial z} = U_{xz}$$

$$\frac{\partial g}{\partial y} = \frac{\partial^2 U}{\partial y \, \partial z} = U_{yz}$$

எனவே $Uxz = G \cos \phi$ ; $U_{yz} = G \operatorname{Sin} \phi$

இரண்டையும் இருமடியாக்கிக் கூட்டினால்

$$G^2 \cos^2 \phi + G^2 \operatorname{Sin}^2 \phi = G^2 = U^2_{xz} + U^2_{yz}$$

$$\text{அல்லது } G = (U^2_{xz} + U^2_{yz})^{\frac{1}{2}}$$

$U_{xz}$, Uyz ஆகியவற்றின் மதிப்புகளை எவட்வோ துலாக் கோலினல் கண்டுபிடித்துக்கொண்டு G யின் மதிப்பைக் கணக்கிட்டு விடலாம்.

(2) கிடைத் திசை ஈடுபாடு (R): ஒரு புள்ளியில் $R = g\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$ எனும் சமன்பாட்டிலிருந்து அளக்கப்படும். இதில் $r_1$, $r_2$ என்பவை முறையே அப் புள்ளியிலுள்ள சம ஈர்ப்பு அழுத்தப் பரப்பின் (Gravitational Equipotential Surface) பெரும, சிறும வளைவு ஆரங்களாகும். ஒரு மரபுப்படி அப் பரப்பின் வளைவு ஆரம் பெருமமாக உள்ள திசையாக R-ன் திசை ஒப்புக்கொள்ளப் பட்டுள்ளது.

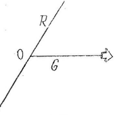
R, X அச்சின் (வடக்கு-தெற்கு) திசைக்கு $\theta$ கோணத்தில் சாய்ந்திருந்தால் $R \operatorname{Sin} 2\theta = 2\, Uxy$

$$R \cos 2\theta = U^2xx - U^2yy$$

இதில் $U_{xy} = \partial^2U/\partial x\partial y$, $U_{xx} = \partial^2U/\partial x^2$, $U_{yy} = \partial^2U/\partial y^2$

G யும், R-ம் எவட்வோ அலகு ($10^{-9}$விஞடி.$^2$)களில் அளக்கப் படுகின்றன.

ஈர்ப்பியல் வரை படங்களில் ஒரு புள்ளி (O) யிலுள்ள G, அளவிலும் திசையிலும் அம்புக்குறியிடப்பட்ட கோட்டினுல் குறிக்கப் படும். R அளவிலும் திசையிலும் அம்புக் குறியிடப் படாத கோட்டினுல் குறிக்கப் படும். g யின் மதிப்பு சமமாக உள்ள புள்ளிகள், வளைகோடுகளால் இணைக்கப்படும். இக் கோடுகள் ஐசோகம்கள் (Isogams) எனப்படும். G எப்போதும் இக்கோடுகளுக்கு நேர்க்குத்தாக இருக்கும். ஒரு பிரதேசத்தில் பல்வேறு புள்ளிகளில் எவட்வோ கருவிகளைப் போன்ற நுட்பமான கிரேடியோ மீட்டர் (Gradio meter)களைப் பயன்படுத்த ஈர்ப்பியல் வரைபடங்களை வரைந்து கொள்வார்கள். வியக்கத் தக்கவாறு, அவற்றிலுள்ள ஐசோகம் கோடுகளின் வடிவமைப்பு பூமிக்கடியிலுள்ள படிவங்களின் உருவமைப்பை ஒத்திருக்கிறதைக் காணலாம். உதாரணமாக சீரான ஒற்றைப்படிக அடுக்கு (Mono clinical) வகைப் படிவங்களுக்கான ஐசோகம்கள் இணையாகவும் சமமான இடைவெளிகளிலும் அமைந்திருக்கும். சிறு கோடுகள் வடிவில் படிவங்களிருந்தால், மேட்டுயரங்களைக் காட்டும் உருவரை வளைகோடு(Contour)களாக ஐசோகம்கள் இருக்கும்.



படம் 22.

மாதிரிக் கணக்குகள் :

1. காவன்டிஷ் சோதனையில் சிறிய கோளங்கள் ஒவ்வொன்றும் 10 கிராம் நிறையுள்ளவை. அவற்றை இணைக்கும் தண்டு 50 செ. மீ. நீளமுள்ளது. அதன் முறுக்க அலைவு நேரம் 769 விஞடிகள். ஒவ்வொன்றும் 10 கிலோ கிராம் நிறையுள்ள பெரிய கோளங்கள் சிறிய கோளங்களுக்கருகில் பெரும விலக்கம் ஏற்படுமாறு வைக்கப்பட்டன. தொங்கவிடப்பட்ட தண்டு $4 \times 10^{-3}$

ரேடியன் விலகியது. அப்போது ஒரு பெரிய கோளத்தின் மையத்திற்கும் அண்மையிலுள்ள சிறிய கோளத்தின் மையத்திற்கும் இடையில் 10 செ. மீ., இடைவெளி இருந்தது. Gயின் மதிப்பைக் கணக்கிடு.

தொங்கும் தண்டின் அலைவு நேரம் $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{C}}$.

தண்டுடைய நிறையைப் புறக்கணித்துவிட்டு, தொங்கும் வன்பிடி அமைப்பின் சடத்துவத் திருப்பு திறன் $I = \Sigma mr^2$

$= (10\times25)^2 + (10\times25)^2 = 1.25\times10^{-3}$ கிலோகிராம் மீட்டர்$^2$

அலகு முறுக்கத்திற்கான விசையிரட்டை $C = \frac{4\pi^2 I}{T^2}$

$= \frac{4\pi^2(1.25\times10^{-3})}{769} = 8.34\times10^{-8}$ கி.கி.-மீ$^2$/வினாடி$^2$

தண்டின்மேல் செயல்படும் விசையிரட்டையின் மொத்தத் திருப்புத் திறன் $= C\,\theta$

ஒரு பெரிய கோளத்திற்கும், ஒரு சிறிய கோளத்திற்குமிடையிலுள்ள ஈர்ப்பு விசை $F = \frac{GMm}{r^2}$

இவ் விசை யிரட்டையின் திருப்புத்திறன் $= F\times l = \frac{GMm}{r^2}\,l$

சமநிலையில் $C\,\theta = \frac{GMm}{r^2}\,l$

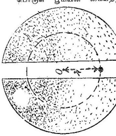
$$\therefore\ G = \frac{C\,\theta\,r^2}{Mml} = \frac{8.34\times10^{-8}\times4\times10^{-3}\times(0.1)^2}{10\times(.01)\times(0.5)}$$

$= 6.61\times10^{-11}$ நியூட்டன்-மீட்டர்$^2$/கி.கி.$^2$

2. பூமியின் ஒரு விட்டத்தின் வழியாக ஒரு நேரான துளையிடப்படுவதாகக் கற்பனை செய்துகொள்வோம் (a) அந்தத் துளைக்குள் ஒரு பொருளைப் போட்டால் அது சீரிசை இயக்கத்திற்கு (SHM) ஆட்படும் எனக்காட்டு. பூமியின் அடர்த்தி சீராயிருப்பதாகக் கொண்டு, உராய்வு விசைகளைப் புறக்கணித்து விடு.

(b) பொருளை ஒரு முனையில் போட்டால் அது மறு முனையை அடைய எவ்வளவு நேரமாகும்? சென்னை (1961).

பொருள் பூமியின் மையத்திலிருந்து r தொலைவிலிருக்கும் போது பூமி அதன் மேல் செலுத்தும் ஈர்ப்பு விசை பொருளுக்கும் கீழே யிருக்கும் பகுதியால் மட்டுமே தோற்றுவிக்கப்படும். பூமியின் சீரான அடர்த்தி d என்க. r ஆரமுள்ள கோளத்தின் நிறை $M = \frac{4\pi r^3 d}{3}$.



படம் 23.

இந்த நிறை பூமியின் மையத்தில் செயல்படுவதாகத் தோன்றும். பொருளின் நிறை m எனில் அதன்மேல் செயல்படும் விசை, $F = \frac{-GMm}{r^2}$.

(எதிரினக்குறி, பொருள் மையத்தை நோக்கி ஈர்க்கப்படுவதைக் குறிக்கிறது) அதாவது $F = -\frac{GMm}{r^3} = -\frac{G(\frac{4}{3}\pi r^3 d)m}{r^2}$

$$= -\left(Gd\frac{4\pi m}{3}\right)r = -kr$$

K ஒரு மாறிலியாதலால் $F \propto r$. அதாவது விசை அல்லது அதனுல் தோன்றும் முடுக்கம் இடப்பெயர்ச்சிக்கு நேர் விகிதத்திலும் மாறுபட்ட குறியுள்ளதாயுமிருக்கிறது. ஆகவே பொருள் சீரிசை இயக்கத்திற்காட்படும்.

b. பொருளின் அலைவு நேரம் $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{3m}{Gd\,4\pi m}} = \sqrt{\frac{3\pi}{Gd}}$$

$G = 6.67 \times 10^{-11}$ கி-மீ$^2$/கி.கி.$^2$ எனவும்

$d = 5.51 \times 10^3 \times$ கி. கி/மீட்டர்$^3$ எனவும் கொண்டால்,

$$T = \sqrt{\frac{3\pi}{5.51 \times 10^3 \times 6.67 \times 10^{-11}}} = 5050 \text{ விநாடிகள்}$$

$= 84.2$ நிமிடங்கள்

ஆகவே ஒரு பொருளை ஒரு முனையில் போட்டால் அது மறு முனையை 42.1 நிமிடம் கழித்து அடையும். இந்த நேரம் பொருளின் நிறையைப் பொறுத்திருக்கவில்லை என்பதைக் கவனி.

3. $G = 6.7 \times 10^{-11}$ நி. மீ.$^2$/கி.கி.$^2$, பூமியின் ஆரம் $= 6.4 \times 10^6$ மீட்டர்கள், அதன் சராசரி அடர்த்தி $= 5.5 \times 10^3$ கி. கி./மீ $^3$ எனக் கொண்டு, பூமிப் பரப்பின்மேல் புவியீர்ப்பு முடுக்கத்தைக் கணக்கிடு.

பூமியை ஒரு கோளமாகக் கருதிக் கொண்டால் பூமியின் நிறை $M = \frac{4}{3}\pi\ (6.4 \times 10^{6})^3 \times 5.5 \times 10^3$ கி.கி.

பூமிப்பரப்பின் m நிறையுள்ள ஒரு பொருளின் மீது செயல்படும் விசை $= mg$.

ஈர்ப்பு விதிப்படி $mg = \frac{GMm}{r^2}$

அல்லது $g = \frac{Gm}{r^2} = \frac{6.7 \times 10^{-11} \times \frac{4}{3}\pi\ (6.4\ 10^6)^3 \times 5.5 \times 10^3}{6.4 \times 10^6}$

$= 9.883$ மீட்டர்/விநாடி$^2$

4. 20 செ. மீ., 2 செ. மீ., விட்டமுள்ள இரு ஈயக் கோளங்களின் மையங்களுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு 100 செ. மீ. பூமியின் ஆரம் $= 6.67 \times 10^6$ மீட்டர், அதன் அடர்த்தி $= 5.33 \times 10^3$ கி.கி./மீ.$^3$, ஈயத்தின் ஒப்பு அடர்த்தி $= 11.5$ எனில் கோளங்களுக்கிடையிலுள்ள ஈர்ப்பு விசையைக் கணக்கிடு. ஈயக் கோளங்களுக்குப் பதிலாக அதே ஆரமுள்ள பித்தளைக் கோளங்களை வைத்தால் ஈர்ப்பு விசை மாறுமா ?

கோளங்களுக்கிடையிலான ஈர்ப்பு விசை

$$F = \frac{\text{நிறைகளின் பெருக்குத்தொகை} \times G}{(\text{மையங்களுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு})^2}$$

$$= \frac{\frac{4}{3}\pi\ (0.1)^3 \times \frac{4}{3}\pi\ (.01)^3 \times (11.5)^2\ G}{1^2}$$

$$= \frac{16\ \pi^2 \times (0.1)^3 \times (0.1)^3 \times (11\ 5)^2\ G}{9}$$

$$= 2.32\ G$$

பூமியின் மேலுள்ள 1 கிராம் நிறையின் மேல் செயல்படும் ஈர்ப்பு விசை $= g = \frac{GM}{R^2} = 9.8$ மீட்டர்கள்/விநாடி$^2$

அல்லது $G.\frac{4}{3}\pi\frac{R^3}{R^2} \times 5.33 \times 10^3 = 9.8$ மீட்டர்கள்/விநாடி$^2$

அல்லது $G.\frac{4}{3}\pi R \times 5.33 \times 10^3 = 9.8$ மீட்டர்கள்/விநாடி$^2$

அல்லது $G = \frac{3 \times 9.8}{4\pi R \times 5.33 \times 10^3}$

$$\therefore F = \frac{2.32 \times 3 \times 9{\cdot}8}{4\pi R \times 5.33 \times 10^3} = \frac{2{\cdot}32 \times 3 \times 9.8}{4\pi \times 6{\cdot}67 \times 10^6 \times 5{\cdot}33 \times 10^3}$$

$= 1{\cdot}527 \times 10^{-10}$ நியூட்டன்கள்.

4. பின்வரும் தகவல்களிலுருந்து பூமியின் நிறையைக் கணக்கிடு. பூமியின் ஆரம் $= 6{\cdot}6 \times 10^6$ மீட்டர்கள், புவியீர்ப்பு முடுக்கம் $= 9{\cdot}8$ மீ/விநாடி$^2$, $G = 6{\cdot}6 \times 10^{-11}$ நி-மீ$^2$/கி.கி.$^2$

பூமி தனது பரப்பில் வைக்கப்பட்ட அலகு நிறையை g விசையுடன் ஈர்க்கிறது. ∴ 1 கி.கி. நிறையின் மேல் செலுத்தப் படும் விசை 9·8 மீ/வி$^2$.

மேலும் பூமிக்கும் நிறைக்கும் இடையிலுள்ள ஈர்ப்பு விசை $= \frac{MG}{R^2}$.

$$\therefore \frac{MG}{R^2} = 9.8$$

அல்லது $M = \frac{9.8\ (6 \times 10^6)^2}{6.6 \times 10^{11}} = 53.47 \times 10^{24}$ கிலோ கி.,

5. பூமி சூரியனை ஒரு வட்டமான பாதையில் சுற்றிவருவதாக வைத்துக்கொண்டு சூரியனின் நிறையைக் கணக்கிடு. சூரியனுக்கும் பூமிக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவு $= 1.49 \times 10^{13}$ செ. மீ., $G = 6.96 \times 10^{-8}$ C.G.S அலகுகள்.

சூரியனின் நிறை M, பூமியின் நிறை m, அவற்றிற்கிடையிலுள்ள தொலைவு R எனில் அவற்றிற்கிடையிலுள்ள ஈர்ப்புவிசை $= \frac{GMm}{R^2}$. இது பூமி சூரியனை வட்டப்பாதையில் சுற்றி வருவதற்கான மையநோக்கு விசையை அளிக்கிறது.

பூமியின் திசைவேகம் v எனில் அதன் மையநோக்கு விசை $= mv^2/R$

$$\therefore\ mv^2/R = GMm/R^2$$

எனவே $M = v^2R/G$.

பூமி சூரியனை ஒரு முறை சுற்றிவர ஆகும் சுற்றுநேரம் T எனில் $v = 2\pi R/T$. எனவே $M = \dfrac{4\pi^2R^3}{T^2G}$

இங்கு $R = 1.49\times10^{13}$ செ.மீ., $G = 6.66\times10^{-8}$ G.G.S. அலகுகள், $T = 365$ நாட்கள் $= 365\times24\times3600$ விநாடிகள்

$$\therefore\ M = \frac{4\pi^2\times(1.49\times10^{13})^3}{(365\times24\times3600)^2\times66\times10^{-8}}$$

$= 19.72\times10^{31}$ கிராம்கள் $= 19.72\times10^{31}$ கிலோ.

6. நிலவின் ஒரு பாதையின் ஆரம் = 240000 மைல்கள். அதன் சுற்றுநேரம் 27 நாட்கள். பூமியின் விட்டம் 8000 மைல்கள். அதன் பரப்பில் புவியீர்ப்பு முடுக்கம் 32 அடி/விநாடி$^2$. நிறையீர்ப்பு விசை தொலைவின் இருமடிக்குத் தலைகீழ் விகிதத்தில் மாறுகிறது என்ற கூற்றைச் சரிபார் (சென்னை, 1961)

நிலவின் திசை வேகம் $v = \dfrac{2\pi\times240000\times1760\times3}{27\times24\times60\times60}$ அடி/விநாடி

வட்டப் பாதையில் ஓடும் ஒரு பொருளின் மைய நோக்கு முடுக்கம் $= \dfrac{v^2}{r}$. எனவே நிலவின் பூமி நோக்கிய மைய நோக்கு முடுக்கம் $gm = \left[\dfrac{27\times24\times176\times3\times10^5}{27\times24\times60\times60}\right]^2 \times \dfrac{1}{240000\times1760\times3}$

$$= \left[\frac{4\pi^2\times24\times176\times3\times10^5}{(27\times24\times36)^2\times10^1}\right] = .009189 \text{ அடி/வி}^2$$

பூமிப் பரப்பின் மேல் செயல்படும் புவியீர்ப்பு முடுக்கம் ge (32 அடி/விநாடி$^2$) எனவும் அது n மடிக்கு (nth power) த்தலைகீழ் விகிதத்திலிருப்பதாயும் கொண்டால்,

$$\frac{g_m}{g_e} = \left(\frac{R_e}{R_m}\right)^n$$

இங்கு Re, பூமியின் மையத்திலிருந்து மேல் பரப்புள்ள தொலைவு (பூமியின் ஆரம்), Rm பூமியின் மையத்திலிருந்து நிலவின் மையம் உள்ள தொலைவு.

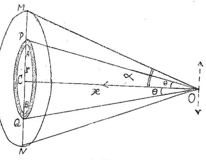
$$\text{எனவே } \frac{0.009189}{32} = \left(\frac{4000 \times 1760 \times 3}{240000 \times 1760 \times 3}\right)^n = \left(\frac{1}{60}\right)^n$$

அதாவது n = சுமாராக 2.

அதாவது g தொலைவின் இருமடிக்குத் தலைகீழ் விகிதத்தில் மாறுகிறது. அதனால் நிறையீர்ப்பு விசையும் தொலைவின் இரு மடிக்குத் தலைகீழ் விகிதத்தில் மாறுகிறது.

7. ஒரு வட்டமான தகட்டின் மையத்திலிருந்து வரையப்படும் லம்பத்தில் ஒரு புள்ளியிலுள்ள ஈர்ப்புப் புலச்செறிவையும், ஈர்ப்பு அழுத்தத்தையும் கணக்கிடு.

K ஆரமுள்ள ஒரு வட்டத் தகட்டின் மையத்தி (c) லிருந்து வரையப்பட்ட லம்பத்தில் x தொலைவிலுள்ள O எனும் புள்ளியை




படம் 24.

எடுத்துக்கொள். வட்டத்தை C-யைப் பொது மையமாகக்கொண்ட பல வளையங்களாகப் பிரி. r ஆரமும் dr அகலமும் உள்ள PQ எனும் வளையத்தை எடுத்துக்கொள்.

AO-வை இணை. $\angle AOC = \theta$, $r = CA = x \tan \theta$.

இதை θஐப் பொறுத்து வகைப்படுத்தினல் $\frac{dr}{d\theta} = x \sec^2\theta$.

அல்லது $dr = x \sec^2 \theta \, d\theta$.

மேலும் $AO = x \sec \theta$.

வளையத்தின் பரப்பு $= 2\pi r dr$, தகட்டின் அலகு பரப்பின் நிறை $\sigma$ எனில், வளையத்தின் நிறை $= 2\pi r d r \sigma$ வளையத்தில் A எனும் சிறிய பகுதியை எடுத்துக்கொண்டால் அப் பகுதியினுல் O வில் தோற்றுவிக்கப்படும் புலத்தின் செறிவு $= \frac{\text{பகுதியின் நிறை} \times G}{AO^2}$. இது OA திசையில் செயல்படும்.

இந்தப் புலச்செறிவை OC திசையிலும் அதற்கு நேர்குத்தான மேல் நோக்கிய திசையிலும் இரு ஆக்கக் கூறுகளாகப் பிரிக்கலாம்,

OC திசையிலுள்ள ஆக்கக்கூறு $= \frac{\text{பகுதியின் நிறை}}{AO^2} \, G \cos \theta$

இதற்கு நேர்குத்தாக மேல்நோக்கிய ஆக்கக் கூறு

$$= \frac{\text{பகுதியின் நிறை}}{AO^2} \times G \sin \theta.$$

இதேபோல் Aக்கு, விட்ட எதிர்முனே (Diametrically opposite) யிலுள்ள B யெனும் அதே அளவுள்ள சிறு பகுதியினுல் O வில் ஏற்படும் புலச்செறிவையும் இரு ஆக்கக் கூறுகளாகப் பிரித்தால் OC திசையிலுள்ள ஆக்கக்கூறு $= \frac{\text{பகுதியின் நிறை}}{AO^2} \times G \cos \theta$

இதற்கு நேர்குத்தாகக் கீழ்நோக்கிய ஆக்கக்கூறு

$$= \frac{\text{பகுதியின் நிறை}}{AO^2} \, G \sin \theta.$$

OC நேர்குத்தாயுள்ள இரு ஆக்கக் கூறுகளும் சமமாயும் எதிர்த்திசைகளிலும் செயல்பட்டு ஒன்றையொன்று அழித்துவிடும் OC திசைகளிலுள்ள ஆக்கக்கூறுகள் ஒரே திசையில் செயல்பட்டு ஒன்றுக்கொன்று வலுவூட்டிக் கொள்வதால் அவற்றின் தொகு பயன் அவற்றின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும்.

இதேபோல் வளையத்தை விட்ட முனைகளிலுள்ள இரண்டிரண்டு சமபகுதிகளாகப் பிரித்துக்கொண்டு, முழு வளையத்தினுலேற்படும் புலச்செறிவு, அப் பகுதிகளால் OC திசையில் தோற்று

விக்கப்படும் புலங்களின் ஆக்கக் கூறுகளின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமம் எனக்காட்டலாம்,

∴ முழு வளையத்தினுலும் OC திசையில் ஏற்படும் புலச்செறிவு

$$= \frac{\text{வளையத்தின் நிறை} \times G\cos\theta}{AO^2}$$

$$= \frac{2\pi\, r\, d\, r\, \sigma}{AO^2}\, G\cos\theta$$

$$= \frac{2\pi\,\sigma\, x\tan\theta.\, x\sec^2\theta.\, d\theta}{x^2\sec^2\theta} \times G\cos\theta$$

$$= 2\pi\,\sigma\, G\sin\theta\, d\theta \text{ (OC திசையில்)}$$

இந்தக் கோவையை $r = O$, $r = R$ அல்லது $\theta = O$, $\theta = d$ எனும் வரம்புகளுக்கிடையில் தொகைப்படுத்தினுல், எல்லா வளையங்களினுலும், அதாவது முழு வட்டத் தகட்டினுலும் Oவில் ஏற்படுகின்ற புலச்செறிவு கிடைக்கும். அங்கு $\angle COM = \propto$

எனவே வட்டத் தகட்டினுல் ஏற்படும் புலச்செறிவு

$$= \int_O^{\propto} 2\pi\,\sigma\, G\sin\theta\, d\theta = 2\pi\,\sigma\, G\int_O^{\propto}\sin\theta\, d\theta.$$

$$= 2\pi\,\sigma\, G\Big[-\cos\theta\Big]_O^{\propto} = 2\pi\,\sigma\, G\Big[-\cos\propto - (-\cos O)\Big]$$

$$= 2\pi\,\sigma\, G\,(-\cos\propto + 1) = 2\pi\,\sigma\, G\,(1 - \cos\theta)\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

$$= 2\pi\,\sigma\, G\left(1 - \frac{n}{\sqrt{n^2 + r^2}}\right) \quad \left[\therefore \cos\propto = \frac{CO}{MO} = \frac{n}{\sqrt{n^2 + R^2}}\right.$$

அல்லது $= \sigma\, G\,\omega$ ($\therefore 2\pi\,(1 - \cos\propto) = \omega$. வட்டத்தகடு O வில் தாங்கும் திண்மக்கோணம்.

ஈர்ப்பு அழுத்தம் : r ஆரமுள்ள வளையத்தால் O விலேற்படும்

ஈர்ப்பு அழுத்தம் = O விலேற்படும் புலச்செறிவு × x

$$= 2\pi\,\sigma\, G\sin\theta\, d\theta \times x$$

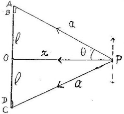
∴ முழுத்தகட்டினாலும் G யில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தம்

$$= \int_0^{\alpha} 2\pi\,\sigma\,G\,x\sin\theta\,d\theta = 2\pi\,\sigma\,G\,x\int_0^{\alpha}\sin\theta\,d\theta$$

$$= -2\pi\,\sigma\,G\,x\,(1 \cos\alpha) = -2\pi\,\sigma\,G\,x\left(1-\frac{x}{\sqrt{x^2+R^2}}\right)$$

$$= -G\,\sigma\,\omega\,x.$$

8. σ அலகு நீள நிறை (Linear density) உள்ள ஒரு வரம்பின்றி நீண்ட நேரான கம்பியினுல் ஒரு புள்ளியிலேற்படும் ஈர்ப்புப் புலச்செறிவைக் கணக்கிடு.




படம் 25.

கம்பியின் AC எனும் நீளத்தில் AB எனும் $dl$ நீளமுள்ள பகுதியை எடுத்துக்கொள். $AO = l$. ACயின் மையம் O விலிருந்து x தொலைவிலுள்ள P எனும் புள்ளியைக் கவனி. PAயை இணை; $\angle APO = \theta$ ∴ $\tan\theta = \frac{l}{x}$.

அல்லது $l = x\tan\theta$

$AP = x\sec\theta$.

இதை θவைப் பொறுத்துத் தொகைப்படுத்தினால் $dl = x\sec^2\theta\,d\theta$ எனவே ABயின் நிறை $= \sigma.dl = x\sec^2\theta\,d\theta.\sigma$,

∴ ABயினால் Pயில் ஏற்படும் புலச் செறிவு

$$= \frac{x\sec^2\theta\,d\theta\sigma\,G}{AP^2} \text{ (PA திசையில்)}$$

$$= \frac{x\sec^2\theta\,d\theta\sigma}{x^2\sec^2\theta}\,G = \frac{\sigma G\,d\theta}{x} \text{ (PA திசையில்)}$$

இதை ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தான ஆக்கக் கூறுகளாக PO திசையிலும், செங்குத்தாக மேல் நோக்கிய திசையிலும் பிரிக்கலாம். PO திசையிலுள்ள ஆக்கக்கூறு $= \frac{\sigma G d\theta\cos\theta}{x}$ செங்குத்தான மேல் நோக்கிய ஆக்கக்கூறு $= \frac{\sigma G\,d\theta\sin\theta}{x}$.

இதேபோல Oவிலிருந்து கீழே $l$ தொலைவில் $dl$ நீளமுள்ள CD எனும் சிறிய பகுதியினுல் Pயில் ஏற்படும் புலச்செறிவு $= \frac{\sigma G\, d\theta}{x}$ இதை ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்துத் திசைகளிலுள்ள ஆக்கக்கூறுகளாக, PO திசையில் $\frac{\sigma G\, d\theta \cos\theta}{x}$, செங்குத்தாகக் கீழ் நோக்கிய திசையில் $\frac{\sigma G\, d\theta \sin\theta}{x}$ எனப் பிரிக்கலாம். இதில் இரு பகுதிகளாலும் ஏற்படும் செங்குத்து ஆக்கக்கூறுகள் ஒன்றையொன்று எதிர்த்தழித்துக்கொண்டுவிடும். PO திசையிலுள்ள கூறுகள் கூட்டப்படும். இதே போலக் கம்பியை Oவிலிருந்து சம தொலைவுகளிலுள்ள இரண்டிரண்டு சமநீளப் பகுதிகளாகப் பிரித்துக்கொண்டு முழுக்கம்பிக்கான புலச்செறிவு PO திசையில் செயல்படுகின்ற ஆக்கக்கூறுகளின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமம் எனக் காட்டலாம். எனவே முழுக்கம்பியினுலும் Pயில் ஏற்படும் புலச்செறிவு

$$= 2\int_0^{\pi/2} \frac{\sigma\ G \cos\theta}{x}\, d\theta = 2\left[\frac{\sigma\ G \sin\theta}{x}\right]_0^{\pi/2}$$

$$= \frac{2G\,\sigma}{x}\sin\frac{\pi}{2} = \frac{2\,G\,\sigma}{x} \times 1 = \frac{2\,G\,\sigma}{x}$$

9. பூமி சூரியனைச் சுற்றியும், சந்திரன் பூமியைச் சுற்றியும் வட்டப் பாதைகளில் ஓடுவதாகக் கொண்டு, பூமி, சூரியன் இவற்றின் நிறைகளை ஒப்பிடு. சந்திரனின் சுற்று நேரம் 27 நாட்கள். பூமியிலிருந்து சூரியன் சந்திரனைவிட 400 மடங்கு தொலைவிலுள்ளது —சென்னை 1949.

சூரியனின் நிறை $M_S$, பூமியின் நிறை $M_e$ என்போம்.

$R_e$ பூமியின் ஓடு பாதையின் ஆரம்.

பூமியின் சுழற்சிவேகம் $\omega_e$ எனில், $\frac{M_S\, M_e\, G}{R_e^2} = M_e\, \omega_e^2\, R_e$

$\therefore\ M_S\, G = \omega_e^2\, R_e^3$ ............................(1)

சந்திரனின் நிறை $M_m$, அதன் ஓடு பாதையின் ஆரம் $R_m$, அதன் சுழல்வேகம் $\omega_m$ எனில்

$$\frac{M_e M_m}{R^2_m} G = M_m \omega^2_m R_m$$

$$\therefore M_e G = \omega^2_m R^3_m \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

(1) ஐயும் (2) ஐயும் இணைத்தால், $\frac{M_e}{M_s} = \left(\frac{\omega_m}{\omega_e}\right)^2 \left(\frac{R_m}{R_e}\right)^2 \ldots\ldots (3)$

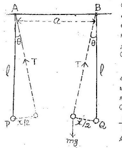
$T_e$, $T_M$ ஆகியவை முறையே பூமி, சந்திரன் ஆகியவற்றின் சுற்று நேரங்களானல் $\left(\frac{\omega_m}{\omega_e}\right)^2 = \left(\frac{T_e}{T_m}\right)^2 [\therefore \omega = 2\pi/T]$

(3) ஆம் சமன்பாட்டில் இதைப் பதிலீடு செய்தால்

$$\frac{M_e}{M_s} = \left(\frac{T_e}{T_m}\right)^2 \left(\frac{R_m}{R_e}\right)^3$$

$$= \left(\frac{365}{27}\right)^2 \left(\frac{1}{400}\right)^3 = \frac{1}{18.52}$$

10. ஒவ்வொன்றும் m கிராம் நிறையுள்ள இரு கோளங்கள் ஒவ்வொன்றும் *l* நீளமுள்ள இரு கயிறுகளால், a எனும் சிறு இடைவெளியிலுள்ள இரு புள்ளிகளிலிருந்து தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. கோளங்களின் பரஸ்பர ஈர்ப்பினல் கயிறுகள் செங்குத்துத் திசையிலிருந்து எவ்வளவு கோணத்தில் விலகியிருக்கும்.




படம் 26.

கயிறுகள் A B எனும் புள்ளிகளிலிருந்து தொங்கவிடப்பட்டிருந்தால் AB = a. தமக்குள் ஈர்ப்பு விசையினல் ஒவ்வொரு கோளமும் மற்றதை நோக்கி $\frac{x}{2}$ தொலைவு நெருங்கியிருப்பதாகக் கொள்வோம்.

Q எனும் கோளத்தின் மேல் (1) கோளத்தின் எடை mg செங்குத்தாகக் கீழ்நோக்கிச் செயல்படுகிறது.

2. ஈர்ப்பு விசை $F = \frac{m \times m}{(a-x)^2} G = \frac{Gm^2}{(a-x)^2}$ செயல்படுகிறது.

3. கயிற்றின் இழு விசை T, QB திசையில் செயல்படுகிறது.

இம் மூன்று விசைகளும் கோளத்தைச் சமநிலையில் வைத்திருப்பதால், அவற்றை அளவிலும் திசையிலும் BQN எனும் முக்கோணத்தின் பக்கங்களால் குறிப்பிடலாம். BQ, mg யையும், QN F விசையையும், NB, இழு விசை T யையும் குறிக்கும்.

எனவே $\frac{F}{mg} = \frac{QN}{BQ} = \tan\theta$

அல்லது $\frac{m^2G}{(a-x)^2\, mg} = \tan\theta$

எனவே $\tan\theta = \frac{mG}{(a-x)^2 g}$

அல்லது $\theta = \tan^{-1}\frac{mG}{(a-x)^2 g}$

## பயிற்சிகள் :

1. ஒரு செயற்கைக்கோள் 141 மைல் உயரத்தில் பூமியைச் சுற்றி வருகிறது. அதன் திசை வேகத்தையும் சுற்று நேரத்தையும் கணக்கிடு. (விடை : 17460 மைல்/மணி; 89 நிமிடங்கள்)

2. ஒரு செயற்கைக்கோள் பூமியை 440 மைல் உயரத்தில் சுற்றி வருகிறது. அதன் திசைவேகத்தையும் சுற்று நேரத்தையும் கணக்கிடு. (விடை : 16800 மை/மணி; 98·9 நிமிஷங்கள்)

3. பூமிப் பரப்பிற்கு 2000 கிலோ மீட்டர் உயரத்திலுள்ள ஈர்ப்புப் புலச்செறிவைக் கணக்கிடு. (விடை : 5·68 நியூட்டன்/கி.கி.)

4. சனிக்கோளின் பரப்பிலுள்ள ஈர்ப்புப் புலச்செறிவைக் கணக்கிடு. அதன் நிறை = $569{\cdot}4 \times 10^{24}$ கிலோ.கி.. ஆரம் 57532 கி.மீ., (விடை : 11,090 மீ/விநாடி)

5. பூமிப் பரப்பிலுள்ள ஏதேனும் ஒரு புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தத்தைக் கணக்கிடு. (விடை : $-6{\cdot}25 \times 10^{7}$ ஜுலெகள்/கி.கி.,)

6. பூமிப் பரப்பிலிருந்து 100 கிலோமீட்டர் வரை தூக்கிச் செல்லப்பட்ட ஒரு ராக்கெட்டின் தப்பித்தல் வேகத்தைக் கணக்கிடு. (விடை : 11,090 மீ/வினடி)

7. செவ்வாய்க் கோளின் பரப்பிலிருந்து கிளம்புகிற ஒரு ராக்கெட்டின் தப்பித்தல் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடு. விடை : 5050 மீ/வினடி)

8. பூமியிலிருந்து எவ்வளவு உயரத்தில் $g = 16$ அடி/வினடி$^{2}$ ஆக இருக்கும்? (விடை : $8{\cdot}7 \times 10^{6}$ அடிகள்)

9. பூமியில் வினடி ஊசலாக உள்ள ஒரு ஊசலை நிலவில் வைத்தால் அதன் அலைவு நேரம் என்னவாக இருக்கும்? (விடை : 4·8 வினடிகள்)

10. ஒரு செயற்கைக் கோளை 100 மைல் உயரத்தில் பூமியைச் சுற்றி வரச் செய்ய அதில் எவ்வளவு கிடைத்திசை வேகத்தை ஏற்படுத்த வேண்டும்? பூமியின் ஆரம் 400 மைல் எனக்கொள். செயற்கைக் கோளின் சுற்று நேரம் என்ன? (விடை : $2{\cdot}56 \times 10^{4}$ அடி/வினடி$^{2}$ 87 நிமிடங்கள்)

11. $G = 6{\cdot}66 \times 10^{-8}$ C.G.S. அலகுகள் எனில், 2 கிலோகி., நிறையுள்ள இரு கோளங்கள், 30 செ.மீ., இடைவெளியிலுள்ளபோது அவற்றிற்கிடையிலுள்ள விசையைக் கணக்கிடு. (விடை : 2931 டைன்கள்)

12. ஒரு சீரான உள்ளீடற்ற கோளத்தினுல் வெளியிலுள்ள ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் ஈர்ப்பு அழுத்தத்தைக் கணக்கிடு கையில் கோளத்தின் நிறை அதன் மையத்தில் செயல்படுவதுபோலத் தோன்றுகிறது எனக் காட்டு. ஒரு சீரான திண்மக்கோளத்தினுல் அதற்கு வெளியேயும் உள்ளேயும் உள்ள புள்ளிகள் தோன்றும் ஈர்ப்பு அழுத்தம் கோளத்தின் மையத்திலிருந்து புள்ளி உள்ள தொலைவைப் பொறுத்து எவ்வாறு மாறுகிறது என்பதை விளக்கு. (சென்னை 1951)

13. பூமியின் சுழற்சியைக் கணக்கில் எடுத்துக்கொண்டு புவியீர்ப்பு முடுக்கம் அட்ச ரேகையைப் பொறுத்து மாறுவதைக் காட்டு. அதற்கான கோவையைக் கணக்கிடுகையில் ஏற்படும் பிழைகளை விவரி.

பூமத்திய ரேகையிலுள்ள ஒரு பொருள், பூமிப் பரப்பிலிருந்து வீசியெறியப்படுவதற்குப் பூமியின் சுழல் நேரம் எவ்வளவு குறைய வேண்டும்? பூமியின் ஆரம் 6,367 கி.மீ., புவியீர்ப்பு முடுக்கம் = 984 செ.மீ./விநாடி$^2$ (சென்னை 1941)

14. நிலவு பூமியிலிருந்து 240000 மைல் தொலைவிலுள்ளது. பூமியின் ஆரம் 4000 மைல்கள். பூமியின் பரப்பில் ஈர்ப்பு முடுக்கம் 32·2 அடி/விநாடி$^2$. நிலவு பூமியைச் சுற்றிவர எவ்வளவு நேரமாகும்? (சென்னை 1942)

15. G-யின் மதிப்பைக் கண்டுபிடிக்கும் சோதனையை விவரி. பூமியின் சராசரி அடர்த்தி எவ்வாறு கணக்கிடப்படுகிறது? பூமிக்கும் சூரியனுக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவு $= 1{\cdot}49 \times 10^{13}$ செ.மீ., $G = 6{\cdot}6 \times 10^{-8}$ C.G.S. அலகுகள் எனில் சூரியனின் நிறையைக் கணக்கிடு. (சென்னை 1946)

16. நியூட்டனின் நிறையீர்ப்பு விதியைக் கூறு. ஈர்ப்பு மாறிலியின் பரிமாணம் என்ன? பூமி சுழலாமல் நிலையிலிருக்குமானால் 45° அட்ச ரேகையில் g-யின் மதிப்பு எவ்வளவு மாறும்? பூமியின் ஆரம் $6{\cdot}38 \times 10^8$ செ.மீ., எனக்கொள். (சென்னை 1947)

17. ஒரு நிலக்கரிச் சுரங்கம் $\frac{1}{2}$ மைல் ஆழமுள்ளது. புவியீர்ப்பு முடுக்கம் அதன் வாயிலில் 981·2 செ.மீ./விநாடி$^2$ ஆகவும் அதன் அடிப்பரப்பில் 981·278 செ.மீ.,/விநாடி$^2$ ஆகவும் காணப்பட்டது. மேல் பரப்பில் தரையின் சராசரி அடர்த்தி 2.5 கி/க. செ.மீ., பூமியின் ஆரம் 4000 மைல்கள், எனில் பூமியின் சராசரி அடர்த்தியைக் கணக்கிடு. (சென்னை 1948)

18. 80 கிலோகிராம் நிறையுள்ள ஒரு கோளம் 40 கிலோகிராம் நிறையுள்ள இன்னொரு கோளத்தால், அவற்றின் மையங்களுக்கிடையில் தொலைவு 275. செ.மீ.யாக இருக்கும்போது, 0·3 மில்லிகிராம் எடை விசையுடன் ஈர்க்கப்படுகிறது. பூமியின் நிறையையும் அடர்த்தியையும்

கணக்கிடு. பூமியின் ஆரம் $6 \times 10^8$ செ.மீ., (சென்னை 1950)

19. நியூட்டனின் ஈர்ப்பு விதியைக் கூறு. அதைப் பயன்படுத்தி ஈர்ப்பு மாறிலி G யை வரையறு. பாய்ஸ், பாயின்டிங் ஆகியோரது G காணும் முறைகளை விவரித்து எவ்வாறு பூமியின் சராசரி அடர்த்தி கணக்கிடப்படுகிறது என விளக்கு. இரு முறைகளிலுள்ள அனுகூலங்களை ஒப்பிட்டுப் பார். (சென்னை 1960)

20. கெப்ளரின் கோளியக்க விதிகளைக் கூறி, $\lambda$ அட்ச ரேகையிலுள்ள g-யின் மதிப்பு பூமியின் சுழற்சியால் மாறுவதற்கான கோவையைத் தருவி. பூமி எவ்வளவு சுழல் வேகத்துடன் சுழன்றால் பூமத்திய ரேகையிலுள்ள ஒரு பொருளுக்கு புவியீர்ப்பு முடுக்கம் மறையும்? $g = 980$ செ.மீ/வினாடி$^2$, பூமியின் ஆரம் $= 6{\cdot}37 \times 10^8$ செ.மீ., (சென்னை 1962)

21. பாய்சின் முறையில் G கண்டு பிடிப்பதை விவரி. காவண்டிஷ் முறையைவிட இது எந்த விதத்தில் அதிகத் துல்லியமானது?

ஜுபிடரின் ஒரு துணைக்கோள் $1{\cdot}16 \times 10^6$ மைல்கள் ஆரமுள்ள வட்டப் பாதையில் 16·6 நாட்களுக்கு ஒரு முறை சுற்றி வருகிறது. ஜுபிடரின் நிறையைக் கண்டு பிடி. ($G = 6{\cdot}66 \times 10^{-8}$ C.G.S. அலகுகள்) சென்னை 1963)

22. பூமியின் சராசரி ஆரம் $= 6{\cdot}4 \times 10^6$ மீட்டர்கள். அதன் சராசரி அடர்த்தி 5·5 கிராம்/க.செ.மீ., $G = 6{\cdot}7 \times 10^{-8}$ C.G.S. அலகுகள் மையத்திலிருந்து அதன் ஆரத்தின் $\frac{2}{3}$ பங்கு தொலைவிலுள்ள ஒரு புள்ளியில் ஈர்ப்பு அழுத்தத்தைக் கணக்கிடு, (சென்னை 1960)

23. ஒரு பொருள் பூமியைவிட்டுத் தப்பிச் செல்ல அதற்குத் தேவைப்படும் திசைவேகத்தின் சிறு மதிப்பைக் கணக்கிடு. (பூமியின் ஆரம் $= 6{\cdot}38 \times 10^8$ செ.மீ., $g = 981$ செ.மீ./வினாடி$^2$) (சென்னை 1965)

24. பூமியின் சுழற்சியால் 'g' யில் ஏற்படும் மாற்றத்தைத் தரும் ஒரு கோவையை வருவி. இக் காரணத்தினால்மட்டும் துருவப் பகுதியிலும் பூமத்தியப் பகுதியிலும் 'g' யின் மதிப்பு எவ்வளவு மாறும்? (சென்னை 1965)

25. 240000 மைல் தொலைவிலுள்ள நிலவு $27\frac{1}{3}$ நாட்களில் பூமியை ஒரு முறை சுற்றி வருகிறது. 200 மைல் உயரத்தில் உள்ள ஒரு செயற்கைக் கோள் 91 நிமிடங்களில் பூமியை ஒரு முறை சுற்றி வரும் எனக் காட்டு. பூமியின் ஆரம் = 4000 மைல்கள். (சென்னை 1966)

26. 150 கிலோகிராம் நிறையுள்ள ஒரு பொருள் 20 கிலோ கிராம் நிறையுள்ள இன்னொரு பொருளை 0·22 மிலிகிராம் எடை விசையுடன் ஈர்க்கிறது. இரண்டின் மையங்களுக் கிடையிலுள்ள தூரம் 30 செ.மீ., எனில் பூமியின் நிறையைக் கணக்கிடு. பூமியின் ஆரம் 6371 கிலோ மீட்டர் (சென்னை 1966)

27. ஒவ்வொன்றும் 10 கிராம் நிறையுள்ள இரு கோளங்கள் அருகருகே 10 மீட்டர் நீளமுள்ள இரு கயிறுகளில் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. கயிறுகளின் மேல் முனைகளுக் கிடையிலுள்ள தொலைவு 1 செ.மீ., எனில் கோளங்களின் மையங்களுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு என்ன? (0·9999985 செ.மீ.,)

28. R ஆரமும், P அடர்த்தியுமுள்ள ஒரு கோளிலிருந்து கிளம்புகிற ராக்கெட்டின் தப்பித்தல் வேகம் $R\sqrt{8\pi GP/3}$ எனக் காட்டு. நிலவிலிருந்து கிளம்பும் ஒரு ராக்கெட்டின் தப்பித்தல் வேகத்தைப் பின்வரும் தகவல்களிலிருந்து கணக்கிடு. பூமியின் சராசரி அடர்த்தி = 5·52 கி/க.செ.மீ., நிலவின் சராசரி அடர்த்தி = 3·36 கி/க.செ.மீ., பூமியின் சராசரி ஆரம் 6380 கி.மீ., நிலவின் சராசரி ஆரம் = 1740 கி.மீ., பூமியின் பரப்பில் g = 980 செ.மீ.,/விநாடி$^2$ ($2·38 \times 10^5$ செ.மீ.,/விநாடி)

29. பூமி, நிலவு ஆகியவற்றின் ஆரங்கள் முறையே $r_1$, $r_2$ சராசரி அடர்த்திகள் முறையே $d_1$, $d_2$ எனில், அவற்றில் உள்ள ஈர்ப்பு முடுக்கங்களை ஒப்பிடு, ($r_1 d_2 : r_1 d_2$)

30. ஒரு செயற்கைக்கோள் பூமியைச் சுற்றி வரச் செய்யத் தேவையான திசைவேகத்தைக் கணக்கிடு. பூமியின் ஆரம் = $6·4 \times 10^8$ செ.மீ., g = 980 செ.மீ.,/விநாடி ($7·92 \times 10^5$ செ.மீ.,)

# 3. மீள்தன்மை

## ( Elalsticity )

3.1. எல்லாப் யொருள்களும் தக்கபடி அமைந்த விசைகளின் தாக்குதலுக்குட்பட்டால் திரிபு (Strain) அடையும். ஒரு கம்பியின் ஒரு முனையை ஒரு பிடிப்பில் உறுதியாகப் பொருத்தித் தொங்க விட்டு அதன் கீழ் முனையில் ஒரு எடையைக் கட்டித் தொங்க விட்டால் அதன் நீளம் அதிகரிக்கிறது. இது நீளத்திரிபு (Elongational Strain) எனப்படும். ஒரு பொருளின் எல்லாப் பக்கங்களிலும் சமமான அமுக்கு விசையோ, இழு விசையோ செலுத்தப்பட்டால், அதன் வெளி உருவம் மாற்றமடையாமல், அதன் பருமம் மட்டும் மாறும். இது பருமத்திரிபு (Volume Strain) எனப்படும். ஒரு பொருளின் குறிப்பிட்ட பகுதிகளில் மட்டும் விசை செலுத்தப்படும் போது முழுப் பொருளும் அசையாமல், அவ்விசைகள் தாக்குமிடங்களிலுள்ள படலங்கள் மட்டும் விசையின் திசையில் இடப்பெயர்ச்சி யடையும். இதனல் பொருளின் பருமம் மாருமல், அதன் வெளியுரு மட்டும் மாற்றமடைகிறது. இது சறுக்குப் பெயர்ச்சித் திரிபு (Shearing Strain) எனப்படும். மேற்கண்ட வகைகளிலெல்லாம் பொருள் திரிபுக்களாவதாகச் சொல்லப்படும்.

திரிபைத் தோற்றுவிக்கும் விசைகள் நீக்கப்பட்டவுடன் பொருள் தனது பழைய நிலேக்குத் திரும்பிவர முயல்கிறது. மேலே கண்ட எடுத்துக்காட்டில் கம்பியின் கீழ் முனையில் தொங்கும் எடையினை எடுத்துவிட்டால் கம்பி சுருங்கித் திரும்பவும் பழைய நீளமுள்ளதாகி விடுகிறது. திரிபுண்டாகும் விசைகள் நீக்கப் பட்டவுடன் பொருள்கள் தத்தம் பழைய நிலைமைக்குத் திரும்புகின்ற இயல்பு மீள்திறன் (Elasticity) எனப்படும். தமது பழைய நிலைமைக்கு முழுமையாகத் திரும்பி விடுகிற பொருள்கள் லட்சிய மீள்திறனுடைய (Perfectly)வையாகும். இதற்கு மாருக விசைகள்

நீக்கப்பட்ட பின்னரும் திரிபடைந்த நிலையிலேயே நிலைத்து விடுகின்ற பொருள்கள் மீள் திறனற்றவை (Plastic) எனப்படும். உண்மையில் முற்றிலும் மீள்திறன் உள்ள அல்லது இல்லாத பொருள் என்று எதுவுமில்லை. மிகவும் சிறந்த மீள்திறனுள்ள குவார்ட்ஸ் இழைகூட, மாபெரும் விசைகளின் தாக்குதலுக்குட் பட்டபின்னர் திரிபடைந்த நிலையிலேயே தங்கிவிடுகிறது. மீள்தன்மையற்ற அச்சுக் களிமண் (Molding clay) கூட லேசான திரிபுகளுக்குப் பின்னர் தனது பழைய நிலைமைக்குத் திரும்பி விடுகிறது. ஆகவே மற்றப் பொருள்களோடு ஒப்பிட்டுத்தான் ஒரு பொருள் அவற்றைவிட அதிகமான அல்லது குறைந்த மீள் திறனுள்ளது எனச் சொல்ல முடியும்.

நாம் இங்கு சீரான அடர்த்தியுள்ள, ஒரு படித்தான (Homogeneous), எல்லாப் புள்ளிகளிலும் எல்லாத் திசைகளிலும் ஒரே மாதிரியான இயல்புகளுள்ள (Isotropic) பொருள்களின் மீள்திறனைப்பற்றி மட்டிலும் கவனிப்போம். இத்தகைய பொருள் களுக்கு எல்லாத் திசைகளிலும், மீள்திறன், நீளவரிவுக் குணகம், வெப்பக் கடத்துதிறன், ஒளிவிலகல் எண் ஆகிய இயல்புகள் சமமாயிருக்கும். இத்தகைய பொருள்கள் திசையொத்த பண்புள்ளவை எனப்படும். திரவங்கள், வாயுக்கள் எனும் பாய்மங்கள் இவ்வகையானவை. திண்மப் பொருள்களில் சில திசையொவ்வாப் பண்புள்ள(Anisotropic)வையாயிருக்கின்றன. மரம், படிகங்கள், படிகக்கட்டமைப்புள்ள உலோகங்கள் ஆகியவை இவ்வகைப்பட்டவை. ஆனால் கம்பி, அல்லது கோல் வடிவிலுள்ள உலோகப் பொருள்களை மீள்திறனைப் பொறுத்தவரை திசையொத்த பண்புள்ளவையாகக் கொள்ளலாம்.

3.2. இப்போது மீள்திறனைப்பற்றிப் பயிலும்போது பயன் படுத்தவேண்டிய சில சொற்களை வரையறுத்துக் கொள்வோம். சுமை (Load) என்பது ஒரு பொருளின்மீது செயல்படும் மொத்த வெளிவிசைகளைக் குறிக்கும். சுமை பொருளில் திரிபை ஏற்படுத்த வல்லது.

ஒரு பொருளைச் சுமை தாக்கும்போது பொருளுக்குள்ளே எதிர் வினை விசைகள் தோன்றுகின்றன. இவை சுமையினாலேற்படும் திரிபை எதிர்த்துப் பொருளைப் பழைய நிலைக்கு மீண்டுவர (Restore) முயல்கின்றன. பொருளுக்குள் அலகுப் பரப்பில் தோற்றுவிக்கப் படும் மீட்டு வரும் விசை தகைவு (Stress) எனப்படும். இது பொருளின் அலகுப் பரப்பின்மேல் நேர்குத்தாகச் செயல்படும் வெளிவிசைக்குச் சமமான விசையாக அளக்கப்படும். அது அலகுப் பரப்பின் மேல் நேர்குத்தாகச் செயல்படும் சுமைக்குச் சமமாயும்

எதிர்த் திசையிலும் இருக்கும். சுமை பரப்பிற்கு நேர்குத்தாயில்லாம லிருந்தால், பரப்பிற்கு நேர்குத்தான திசையிலுள்ள சுமையின் ஆக்கக்கூறு (Component) கணக்கிலெடுத்துக் கொள்ளப்படும். இது நேர்குத்துத்தகைவு (Normal Stress) எனப்படும். பரப்பிற்கு இணையாகச் செயல்படும்.

சுமையின் ஆக்கக்கூறு தொடுவியல் தகைவு (Tangential Stress) எனப்படும் நேர்குத்துத் தகைவு இறுக்கத் தகைவாகவோ (Compressional Stress) அல்லது பெருக்கத் தகைவாகவோ (Tensile or Expansive Stress) இருக்கலாம். ஒரு பொருளின் நீளத்திற்கு நேர்குத்தான அலகுப் பரப்பில், அதன் அச்சின் திசையில் சுருக்கத்தை ஏற்படுத்துவது இறுக்கத் தகைவாகவும், நீட்சியை ஏற்படுத்துவது பெருக்கத் தகைவாகவும் எடுத்துக் கொள்ளப்படும்.

தகைவின் பரிமாணக் கோவை $ML^{-1}T^{-2}$ ஆகும். இது நியூட்டன்கள்/கி.மீ$^2$., டைன்கள்/செ.மீ$^2$., பவுண்டல்கள்/அடி$^2$ ஆகிய அலகுகளில் அளக்கப்படும்.

சம நிலையிலுள்ள ஒரு விசைகளின் தொகுப்பு அல்லது விசையிரட்டையின் தாக்குதலுக்குட்பட்ட ஒரு பொருளின் அலகுப் பரிமாணங்களில் ஏற்படும் மாற்றம் திரிபெனப்படும். ஒரு கம்பியின் நீளத்தில் ஏற்படும் திரிபு அதன் அலகு நீளத்திலேற்படும் பெருக்கமாக (நீட்சித் திரிபு)வும், ஒரு பொருளின் பருமத்தில் ஏற்படும் திரிபு, அலகுப் பருமத்திலேற்படும் பெருக்க (பருமத் திரிபு)மாகவும், ஒரு பொருளின் உருவத்திலேற்படும் மாற்றம், விசையின் திசையில் அதன் ஒரு பரப்பு திருப்பப்படும் கோணம் (கோணத்திரிபு)ஆகவும் அளக்கப்படும். திரிபு ஒரு தகவு அல்லது கோணமானதால் அதற்குப் பரிமாணம் கிடையாது. அலகுகளும் கிடையாது.

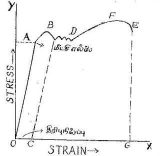
ஒரு லட்சிய மீள் திறனுள்ள பொருளில் ஒரு குறிப்பிட்ட தகைவினால் ஏற்படும் திரிபு மாறிலியாயிருக்கும். திரிபு ஏற்படுத்தும் சுமை நீக்கப்பட்டவுடன் திரிபு முற்றிலுமாக மறைந்துவிடும். ஒரு குறிப்பிட்ட திரிபை உண்டாக்கி நிலைநிறுத்தத் தேவையான விசையின் அளவு மாறுபடாமலிருக்கும்.

3.3. ஹூக்கின் விதி: 1679-ல் ராபர்ட்ஹூக் மீள் திறனைப் பற்றிய அடிப்படையான விதியை உருவாக்கினர். அது பின்வருமாறு:

"திரிபு சிறிய அளவிலிருக்கும்போது, திரிபு தகைவிற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும்." அதாவது தகைவு/திரிபு எனும் தகவு ஒரு மாறிலி. இதற்கு மீள்திறன் குணகம் (Modulus of Elasticity) எனப் பெயர். திரிபுக்குப் பரிமாணங்கள் கிடையாதாகையால், மீள் திறன் குணகத்திற்குத் தகைவின் பரிமாணங்களே $(ML^{-1}T^{-2})$ உண்டு.

ஒரு பொருளின் மீது செயல்படும் தகைவின் அளவை உயர்த்திக்கொண்டே போனால் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்குப் பின்னர், திரிபு ஹுக்கின் விதி வரையறுப்பதைவிட விரைவாக அதிகரிக்கிறது. தகைவிற்கும் திரிபுக்கும் இடையிலுள்ள தகவின் மதிப்பு மாறிப் போகின்றபடி செய்யும் தகைவின் அளவு, குறிப்பிட்ட தகைவின் வகைக்கான, பொருளின் மீள்திறன் எல்லை (Elastic Limit) எனப்படும். இவ்வாறு ஒரு கம்பி அல்லது கோலை இழுத்து நீட்சியடையச் செய்தால் தகைவு மீட்சி எல்லையின் அளவைத் தாண்டிவிட்டால், பொருள் தனது பழைய நிலைக்குத் திரும்பாமல், திரிபு ஏற்பட்ட நிலையிலேயே தங்கிவிடும். இந் நிலை திரிபு நிலைப்பு (Permanent Set) எனப்படும்.

தகைவிற்கும் திரிபுக்கும் இடையிலுள்ள தொடர்பை, இரண்டிற்கும் இடையில் ஓர் வரைப்படம் வரைந்து, எளிதில்




படம் 27.

ஆராயலாம். ஒரு கம்பியின் அடியில் எடைகளைத் தொங்கவிட்டு பிடித்து வரையப்பட்ட ஓர் வரைபடம் படத்தில் காட்டப்பட்

டுள்ளது. OA எனும் சாய்ந்த நேர்கோட்டுப் பகுதி கம்பியில் தோன்றும் திரிபு, செலுத்தப்படும் தகைவிற்கு நேர் விகிதத்தில் இருப்பதைக் காட்டுகிறது. Aவரை ஹூக்கின் விதி பின்பற்றப்படுகிறது. தகைவின் மதிப்பு Aயைத் தாண்டிப் போகாத வரை, விசைகள் நீக்கப்பட்டவுடன் அவற்றின் மதிப்பைப் படிப்படியாக அதிகரித்துக்கொண்டு, ஒவ்வொரு எடைக்கும் தோற்றுவிக்கப்படுகின்ற திரிபுகளைக் கண்டு கம்பியால் தனது பழைய நிலைக்குத் திரும்பிவிட இயலும். அதாவது A வரை கம்பி லட்சிய மீள்திறனுள்ளதாயிருக்கிறது. ஆகவே A என்பது கம்பியின் நீட்சித் தகைவிற்கான மீட்சி எல்லையைக் குறிக்கிறது. இது வரை ஏற்பட்டுள்ள திரிபு மிகவும்குறைவாகவே யிருக்கும். தகைவு மீட்சி எல்லையைத் தாண்டியவுடன், திரிபு விரைவாக அதிகரிக்கத் துவங்குவதை AB எனும் வளைந்த பகுதி காட்டுகிறது. கம்பி ஓரளவு தான் பழைய நிலைக்கு மீளக்கூடியதாயிருக்கும். இந்த நிலையில் உள்ளபோது (Bயில் என்க) சுமையை நீக்கி விடுவோமாஞல் கம்பி AO வழியாகத் தனது பழைய நிலைக்கு மீண்டு வரமால், BC எனும் புதிய பாதையில் மீள்கிறது. அதனுல் ஒரு சிறிய அளவு திரிபு (OC) கம்பியிலேயே தங்கி விடுகிறது. OC, திரிபு நிலைப்பைக் குறிக்கிறது.

B எனும் புள்ளிக்கு மேற்பட்ட நிலையில் சிறிதளவு சுமையைச் சேர்த்தாலும் திரிபு விரைவாகவும் ஒழுங்கில்லாமலும் அதிகரிக்கிறது. இதை BD எனும் சீரற்ற அலைவடிவக்கோடு காட்டும். D எனும் புள்ளிக்கான தகைவு, B-க்கான தகைவைவிடக் குறைவாயிருப்பதைக் கவனிக்கவும், நீட்சி விரைவாக அதிகரிக்கத் துவங்குகின்ற B எனும் புள்ளி இளகு நிலைப்புள்ளி (Yield Point) எனப்படும். அதற்கான தகைவு இளகு நிலை வரமால் ஏற்றக் கூடிய பெரும அளவு சுமையைக் கம்பியின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பால் வகுத்தால் கிடைக்கும் அளவு கம்பியின் நீட்சி வலு (Tensile Strength) எனப்படும்.

D எனும் புள்ளிக்கு மேலே, கம்பியில் இளகுநிலை முடிந்து கம்பி மீள்தன்மையற்றதாகி விடுகிறது. அதற்கு மேலும் தகைவைப் படிப்படியாக அதிகரித்தால் சறுக்கத் திரிபு ஏற்பட்டுக் கம்பியின் நீளம் அதிகரிக்கும்போது அதன் தடியுடன் குறையைத் துவங்குகிறது. ஆனல் அதன் பருமம் மாருது. DF எனும் பகுதி இந்நிலையைக் குறிக்கிறது. F எனும் புள்ளிக்கு மேலே, கம்பியில் சுமையை அதிகரிக்காவிட்டால் கூட கம்பி நீண்டு கொண்டே போகிறது. அதன் நீளத்தில் சில புள்ளிகளில் விட்டம் விரைவாகக் குறைகிறது. அவ்விடங்களில். கம்பியிலுள்ள மொத்தச்

சுமை அதிகரிக்கா விட்டாலும், தகைவு (சுமை/குறுக்குப் பரப்பு) மதிப்பு விரைவாக அதிகரித்து விடும். அதனுல் திரிபும் அதிகமாகி அப் புள்ளிகளில் கழுத்து போன்ற சுருக்கம் ஏற்படுகிறது. இறுதி யில் அவற்றுள் ஏதாவது ஒரு புள்ளியில் கம்பி அறுந்து விடும். இதைக் குறிக்கும் E எனும் நிலை முறிவுநிலை (Breaking Point) எனப்படும்.

இதே போல ஒரு கம்பியின் சுமை—நீட்சி வரை படத்தையும், வரையலாம். அதன் உருவம் தகைவு—திரிபு வரை படத்தைப் போலவே யிருக்கும். இரண்டு வரைபடங்களிலிருந்தும் ஒரே மாதிரியான முடிவுகளைப் பெற முடியும்.

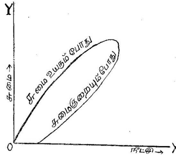
ஒரு கம்பியில் நீட்சி ஏற்படுத்துவதற்கு வெளிச்செயல் தேவைப்படும் என்பது வெளிப்படை. மீட்சி எல்லை வரையில், அவ்வாறு செய்யப்படும் செயல், கம்பியில் அதன் நிலையாற்ற லாகச் சேமித்து வைக்கப்படுகிறது. சுமையை நீக்கினுல் இந்த ஆற்றலைத் திரும்பப் பெறலாம். மீட்சி எல்லைக்கப்பால் உலோ கத்தின் படிக அமைப்பு பாதிக்கப்பட்டு விடுவதால் அப்போது செய்யப்பட்ட செயல் வெப்ப ஆற்றலாக மாறி விடுகிறது. அறுந்த வுடன் கம்பியின் முனைகளைத் தொட்டுப் பார்த்து அந்தச் சூட்டை உணர முடியும். செய்யப்பட்ட மொத்தச் செயலின் அளவு சுமை—நீட்சி வரை கோட்டினுல் அடக்கப்படும் பரப்பளவிற்குச் சமமா யிருக்கும். தகைவு—திரிபுவரை கோட்டின் கீழுள்ள பரப்பளவு அலகு பருமத்திற்கான செயலின் அளவை (செயல்/க.செ. மீ.)க் கொடுக்கும்.

3.4. திடப்பொருள்களின் மீள்தன்மை: திடப் பொருள்கள் தகைவுக் காட்டும்போது சில விந்தையான விளைவுகள் வெளிப்படு கின்றன.

1. மீட்சிப் பின்விளைவு: (Eiastic After Effect) மீட்சி எல்லைக் குள்ளேயே திடப் பொருள்களில் சிலவே தகைவு நீக்கப்பட்ட வுடன் தமது பழைய நிலைமைக்கு உடனடியாகத் திரும்புகின்றன. பெரும்பாலானவை மெதுவாகவே தமது பழைய நிலையை அடை கின்றன. இம்மாதிரியான தாமதித்த மீட்சி, மீட்சிப் பின் விளைவு எனப்படும். கண்ணடியில் இந்த இயல்பு பெருமளவு வெளிப்படை யாகப் புலப்படுகிறது. தங்கம், வெள்ளி, பாஸ்வர வெண்கலம், குவார்ட்ஸ் போன்ற பொருள்கள் திரிபுண்டாக்கும் விசைகள் நீக்கப்பட்டவுடன் உடனடியாகத் தமது பழைய நிலைமைக்குத் திரும்பி வருகின்றன. இதனுல் தான் காவென்டிஷ் கருவி, பாய்சின்

கருவி, குவாட்ரன்ட் எலக்ட்ரா மீட்டர், இயங்கு சுருள் கால்வனு மீட்டர் ஆகிய கருவிகளிலும் தொங்கல் இழைகளாக, இப் பொருள்களாலான இழைகள் பயன்படுகின்றன.

2. மீட்சித்தயக்கம் (Elastic Hysterisis) மீட்சிப் பின் விளைவின் காரணமாக, கண்ணாடி போன்ற திண்மங்களில் தோன்றும் திரிபு, தகைவு குறையும்போது தானும் அதே விகிதத்தில் குறையாமல் தயங்கிப் பின் தங்குகிறது. இதனால் விரைந்து நிகழும் தகைவு மாற்றங்களில், தகைவு குறையும்போது ஒரு குறிப்பிட்ட தகைவிற்




படம் 28.

கான திரிபின் மதிப்பு, தகைவு அதிகரிக்கும் போதிருந்ததைவிட அதிகமாயிருக்கும். மேற்காணும் படத்தைக் கவனித்தால் இது விளங்கும். தகைவிற்கும் திரிபுக்கும் இடையிலேற்படும் இந்தப் பின் தங்கல் மீட்சித் தயக்கம் எனப்படும். இதைக் குறிப்பிடும் வரைபடம் மீட்சித் தயக்கக் கண்ணி (Elastic Hysterisic Loop) எனப்படும். கம்பியில் படிப்படியாக ஏற்றிப் பின்னர் படிப்படியாகக் குறைக்கும் ஒரு செயற்சுழலின்போது, தோன்றும் வெப்ப ஆற்றலின் அளவு கண்ணியின் பரப்பளவிற்குச் சமமாயிருக்கும்.

மீட்சிச் சோர்வு (Elastic Fatigue) கம்பிகளின் முறுக்கலைவுகள் குறையும் வீதத்தைக் கெல்வின் பிரபு ஆராய்ந்துகொண்டிருந்த போது நெடு நேரமாக அலைவு செய்துவரும் கம்பி, புதிதாக அலைவு செய்யத் துவங்கிய கம்பியை விட விரைவாக ஓய்வு நிலைக்கு வந்து

விடுகிறது எனக் கண்டார். இது போல எதிர்த் திசைகளில் மாறி மாறித் திரிபுக்குட்படுத்தப்படும் எல்லாப்பொருள்களும் இவ்வாறே நடந்து கொள்கின்றன. தொடர்ந்து நெடு நேரமாக அதிர்வு செய்து கொண்டிருக்கும் ஒரு கம்பி, சோர்வடைந்து விட்டது போல, மீண்டும் அதிர்வு செய்யச் சிரமப்படுகிறது. கெல்வின் பிரபு இந்த நடத்தைக்கு மீட்சிச் சோர்வு என்ற மிகப் பொருத்த மான பெயரை இட்டார்.

மீட்சி எல்லைக்கப்பால், இவ்வாறு அடிக்கடி திரிபுக்குட்படுத்தப் பட்ட ஒரு பொருளின் மீட்சி இயல்புகள் வெகுவாகக் கெடுக்கப் பட்டு விடுகின்றன. சாதாரணமான முறிவுத் தகைவைவிடக் குறை வான தகைவுகளைக்கூடத் தாங்க முடியாமல் அவை முறிந்து விடும். இந்த இயல்பு ஆழ்ந்த பரிசீலனைக்குரியது. ஏனெனில் ரயில் எஞ்சின் போன்ற பெரிய எந்திரங்களில் பிஸ்டன்களும், இணைப்புத் தண்டுகளும், சுழல் தண்டுகளும் (Crank Shaft) ஒவ்வொரு சுழற்சியிலும் இழுவிசைக்கும், இறுக்கு விசைக்கும் ஆட்படுகின்றன. இந்த விசைகளைச் சரியானபடி கணக்கிடும் போது மீட்சிச் சோர்வையும் கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும். அதனல் பாதிப்பு ஏற்படாத வகையில் எந்திரத்தின் பகுதிகள் அமைக்கப்பட வேண்டும்.

பின்வரும் அட்டவணையில் சில பொருள்களின் மீள்தன்மை யியல்புகள் தரப்பட்டுள்ளன.

| பொருள் | யங்குணகம் டைன்கள் செ. மீ.$^2$ | மீள்திறன் எல்லை டைன்கள் செ.மீ.$^2$ | முறிநிலை டைன்கள் / செ.மீ.$^2$ |
|---|---|---|---|
| அலுமினியம் | $7\times10^{11}$ | $13\times10^{8}$ | $15\times10^{8}$ |
| பித்தளை | $9.02\times10^{11}$ | $7-15\times10^{8}$ | $35-6\times10^{8}$ |
| செப்பு | $12.5\times10^{11}$ | $1-10\times10^{8}$ | $23-47\times10^{8}$ |
| இரும்பு | $2\ .0\times10^{11}$ | $15-18\times10^{8}$ | $30-37\times10^{8}$ |
| தேனிரும்பு | $19.2\times10^{11}$ | $17-21\times10^{8}$ | $34-41\times10^{8}$ |
| மனித எலும்பு | $22\times10^{11}$ | — | $9-12\times10^{8}$<br>$3-10-10^{8}$ |

3.5 மீட்சிக்குணகங்கள் :—மூன்று வகையான திரிபுகளுக்கும் மூன்று மீட்சிக் குணகங்கள் உள்ளன. அவையாவன :

1. நீட்சிக்குணகம் அல்லது யங்குணகம் : இது நீட்சித் திரிபுக் கானது.

2. பருமக்குணகம் (Bulk Modulus). இது பருமத் திரிபுக் கானது.

3. விறைப்புக்குணகம் (Modulus of Rigidity) : இது சறுக்கத் திரிபுக்கானது.

1. யங்குணகம் Young's Modulus) திரிபேற்படுத்தும் விசை பொருளில் ஒரே ஒரு திசையில் செயல்பட்டால், அந்தத் திசையில் அலகு நீளத்தில் ஏற்படும் மாற்றம் நீட்சித்திரிபு எனப்படும். அலகுப் பரப்பில் செயல்படும் விசை நீட்சித்தகைவு எனப்படும் மீட்சி எல்லைக்குள் இவ்விரண்டிற்கும் இடையிலுள்ள தகவு யங்குணகம் எனப்படும். அதை q, y, E ஆகிய எழுத்துகளால் குறிப்பிடலாம்.

a எனும் குறுக்குப் பரப்பில் F எனும் விசை செயல்படும்போது தகைவு $= F/a$. L நீளமுள்ள பொருளில் $l$ நீள மாற்ற மேற்பட்டால் திரிபு $= l / L$.

$$\text{எனவே } q = \frac{F / a}{l / L} = \frac{FL}{a\,l}$$

$L = 1$, $a = 1$, $l = 1$ எனில் $q = F$.

அலகு நீளமும் அலகுக் குறுக்குப் பரப்பும் உள்ள ஒரு பொருளில் அலகு நீளமாற்றம் ஏற்படுத்த அதாவது பொருளின் நீளத்தை இரட்டிக்கத் தேவையான விசை அப்பொருளின் யங்குணகம் எனப்படும். நடைமுறையில் இவ்வளவு நீளவிரிவு ஏற்படுவதற்கு முன்னரே மீட்சி எல்லை கடக்கப்பட்டுப் பொருள் அறுந்துவிடும்.

நீளத்தில் ஏற்படும் விரிவு, செலுத்தப்படும் விசைக்கு நேர் விகிதத்திலில்லாத சமயங்களில் யங்குணகத்தைக் கணக்கிட $\frac{LFd}{adl}$ எனும் சமன்பாடு பயன்படும். இதில் d F/a என்பது நீட்சித் தகைவிலேற்படும் நுண்ணிய மாற்றம். இம்மாற்றத்தினுல் திரிபில் ஏற்படும் நுண்ணிய மாற்றம் $= dL/L$

$$\text{எனவே } q = \frac{L}{a} \times \frac{dF}{dL}$$

2. பருமக்குணகம். பொருளின் மேற்பரப்பு முழுவதிலும் ஒரு சீரான விசை பரப்பிற்கு நேர்குத்தாகச் செயல்படும்போது அதன் பருமம் மாறினாலும், உருவம் மாறாது. அலகுப் பரப்பின் மேல் தாக்கும் விசை (அழுத்தம்) தகைவாகும். அலகுப் பருமத்தில் ஏற்படும் மாற்றம் திரிபாகும். அவற்றின் தகவு பருமக் குணகமாகும். அதை K எனும் எழுத்தால் குறிக்கலாம்.

a எனும் பரப்புள்ள பொருளின் மேல் பரப்பு முழுவதும் F எனும் சீரான விசையைப் பரப்புக்கு நேர்குத்தாகச் செயல்படுத்தினால், தகைவு = F/a. V பருமமுள்ள அந்தப் பொருளில் v எனும் பரும மாற்றம் ஏற்பட்டால் திரிபு = v/V.

எனவே பருமக் குணகம் $K = \frac{F/a}{v/V} = \frac{FV}{av} = \frac{PV}{v}$ $(\therefore F/a = P)$

பருமத்தில் ஏற்படும் மாற்றம் அழுத்தத்திற்கு நேர்விகிதத்தில்லாதபோது, அழுத்தத்தில் dP எனும் நுண்ணிய மாற்றம் பருமத்தில் dV எனும் மிக நுண்ணிய மாற்றத்தைத் தோற்றுவிக்குமானால் $K = \frac{dP\,V}{dV}$.

பருமக் குணகத்தின் தலைகீழ் மதிப்பு இறுக்கத்திறன் (Compressibility) எனப்படும். பருமக்குணகம் அலகுத் திரிபுக்கான தகைவு ; இறுக்கத்திறன் அலகுத் தகைவினாலேற்படும் திரிபு.

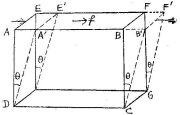
திரவங்களும் வாயுக்களும் நீர்ம நிலையியல் அழுத்தத்திற்கு (Hydrostatic Pressure) மட்டுமே ஆட்படக் கூடியவையாதலால் அவற்றிற்குப் பருமக் குணகம் மட்டிலுமேயுண்டு. எனவே அவற்றின் மீள்திறன் என்பது அவற்றின் பருமமீட்சித் திறனை மட்டுமே குறிப்பிடுவதாகும். அவற்றில் மாறு வெப்பநிலை மீள்திறன் (Isothermal Elasticity), வெப்பமாற்றீடற்ற மீள்திறன் (Adiabatic Elasticity) என இருவகையுண்டு. ஒரு பாய்மம் அழுத்தப்பட்டால் அதில் எப்போதும் வெப்பம் தோன்றும். இந்த வெப்பம் உடனடியாக நீக்கப்பட்டுப் பாய்மத்தின் வெப்பநிலை மாருமல் வைக்கப்பட்டால் அது ஒரு மாறு வெப்பநிலை மாற்றமாகும். அதற்குப் பதிலாகப் பாய்மத்தில் தோன்றிய வெப்பம் அதிலேயே இருக்குமானல் பாய்மத்தின் வெப்பநிலை உயரும். இது ஓர் வெப்பமாற்றீடற்ற மாற்றமாகும்.

ஒரு வாயுவின் மாறு வெப்பநிலை மீள்திறன் அதன் அழுத்தமான Pக்குச் சமம் எனவும், வெப்ப மாற்றீடற்ற மீள்திறன் $\gamma$Pக்குச்

சமம் எனவும் காட்டலாம். இதில் $\nu$ என்பது வாயுவின் அழுத்த மாறு வெப்ப எண்ணுக் (Cp) கும் பருமமாறு வெப்ப எண்ணுக் (Cv) கும் இடையிலுள்ள தகவாகும் ($\nu = Cp/Cv$) காற்றுக்கு இத்தகவின் மதிப்பு 1.41.

திரவ, திண்மப் பொருள்களின் பருமக் குணகங்கள் மாறிலியா யிருக்கும். ஆனல் வாயுவின் பருமக் குணகம் மாறக்கூடியது. விறைப்புக் குணகம் சறுக்குத்திரிபு ஏற்படுகையில் பொருளின் பருமம் மாருமல், உருவம் மட்டும் மாற்றமடைகிறது. பொருளின் ஒன்றின்மேல் ஒன்ருக உள்ள படலங்கள் வெவ்வேறு அளவிற்கு விசையின் திசையில் இடப்பெயர்ச்சி அடைவதால் இது ஏற்படு கிறது. ஒரு அடுக்கப்பட்ட சீட்டுக்கட்டை மேஜையின்மீது வைத்து அதைக் கிடைத்திசையில் சரித்தால் சீட்டுகள் நழுவி இடம் பெயர்வது போல, சறுக்குத் திரிபு ஏற்படும்.

ABCD என்ற செவ்வகப் பட்டகத்தைக் கவனிப்போம். அதன் கீழ்முகம் DHGC பொருத்தப்பட்டுள்ளது. மேல் முகமான




படம் 29.

AEFBயில் தொடுவியலான ஒரு விசை f, படத்தில் காட்டியபடி செயல்படட்டும். இந்த விசையும் பட்டகத்தின் கீழ் முகத்தில் தோற்றுவிக்கப்படும் சமமான, எதிர்த் திசையிலுள்ள விசையும் ஒரு விசை யிரட்டையாகச் செயல்பட்டு, இரு முகங்களுக்கும் இணையாக உள்ள படலங்களை ஒன்றின் மேல் ஒன்ருக நழுவி நகரச் செய்து AEFB எனும் முகத்தை A'E'F'B' எனும் நிலைக்குத் தள்ளிவிடும். இரு முகங்களையும் இணைக்கும் கோடுகள் $\theta$ கோணத்தில் திருப்பப்படும். இப்போது ABCD என்ற முகம் $\theta$ கோணத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சி (Shear) அடைந்துள்ளதாக

சொல்லப்படும். பொருத்தப்பட்ட முகத்திற்கு நேர்குத்தான ஒரு திருப்பப்பட்ட கோணமான θ ரேடியன்கள் சறுக்கத் திரிபு (Shearing Strain) அல்லது சறுக்கக் கோணம் (Angle of Shear) எனப்படும். AD பக்கத்தின் உயரம் L, AA' எனும் இடப்பெயர்ச்சி $l$, எனில் $\theta = AA'/DA = l/L$.

$$\text{அல்லது } \theta = \frac{\text{AEFB பக்கம் அடைந்த சார்பு இடப்பெயர்ச்சி}}{\text{பொருத்தப்பட்ட முகத்திலிருந்து AEFBயின் தொலைவு}}$$

எனவே பொருத்தப்பட்ட முகத்திலிருந்து தொலைவு = 1 எனில் $\theta = l$ = AEFB பக்கம் அடைந்த சார்பு இடப்பெயர்ச்சி (Relative Displacement).

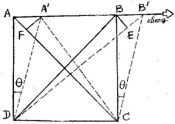
இதிலிருந்து அலகுத் தொலைவு இடைவெளியிலுள்ள இரு படலங்களில் ஏற்படும் சார்பு இடப்பெயர்ச்சி, சறுக்குத் திரிபுக்குச் சமம் என்று புலப்படும். தொழுவியல் தகைவு என்பது அலகுப் பரப்பில் செயல்படும் விசை = f / ABFE = f / a.

தொடுவியல் தகைவிற்கும் சறுக்கத் திரிபுக்கும் இடையிலுள்ள தகவு, பொருளின் விறைப்புக் குணகம் எனப்படும். அது n எனும் எழுத்தால் குறிப்பிடப்படும். $n = \frac{F/a}{\theta} = \frac{f/a}{l/L} = \frac{fL}{a\,l}$

சறுக்கத் திரிபு, தகைவிற்கு நேர்விகிதத்தில் இல்லாதபோது $n = \frac{d\,f/a}{d\,\theta}$, இதில் $d\theta$ என்பது தகைவில் ஏற்படும் dF எனும் மிக நுண்ணிய மாற்றத்தினல் சறுக்கக் கோணத்தில் ஏற்படும் மாற்றமாகும். $a = 1$, $\theta = 1$, ரேடியன் ($57^{\circ}$, $18^{1}$) எனில் n = F.

எனவே விறைப்புக் குணகம் என்பது அலகு சறுக்கக்கோணத் திற்கான, சறுக்கத் தகைவு ஆகும்.

3.6 : சறுக்கத் திரிபு, ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்துத் திசைகளில் ஏற்படும் இறுக்கத்திற்கும் (Compression) விரிவுக்கும் (Extension) சமம் எனக் காட்டுதல்; ABCD எனும் சதுரத்தைக் கவனிப் போம். அதில் DC பொருத்தப்பட்டுள்ளது. ABCD எனும் முகத்தைச் சறுக்கத் தகைவு தாக்கி, θ எனும் சறுக்கத் திரிபை ஏற்படுத்தி A'B'CD எனும் நிலைக்குத் தள்ளட்டும். இப்போது DB எனும் மூலைவிட்டத்தின் நீளம் அதிகரித்து DB' ஆகியுள்ளது. AC எனும் மூலைவிட்டத்தின் நீளம் குறைந்து A'C ஆகியுள்ளது.




படம் 30.

நடைமுறையில் சறுக்கத் திரிபு மிகவும் சிறியது. எனவே AFA′ BEB′ ஆகிய முக்கோணங்களை, இரு சமபக்க செங்கோண முக்கோணங்களாகக் கருதலாம்.

$$\text{எனவே } EB' = BB' \cos BB'E = BB' \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{BB'}{\sqrt{2}}$$

$$(\because \ \llcorner BB'E = 45^\circ)$$

$AB = l$ எனில், $DB = DE = l\sqrt{2}$

$$\therefore \text{ DBயில் ஏற்பட்ட நீட்சித் திரிபு} = \frac{EB'}{DB} = \frac{BB'}{\sqrt{2}} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{BB'}{2l} = \frac{\theta}{2} \quad (\because BB'/l = \theta)$$

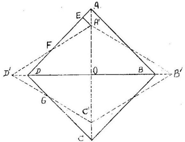
இதேபோல ACயில் ஏற்பட்ட இறுக்கத்திரிபு (Compressional Strain) $= \frac{AF}{AC} = \frac{AA' \cos A'AF}{AC} = \frac{AA' \cos 45^\circ}{l\sqrt{2}}$

$$= \frac{AA'}{l\sqrt{2} \times \sqrt{2}} = \frac{AA'}{2l} = \frac{\theta}{2} \quad (\because AA'/l = \theta)$$

எனவே ஒரு தனிச் சறுக்கத் திரிபு θ ஒன்றுக்கொன்று நேர் குத்துத் திசைகளில் ஏற்படும் சம அளவுள்ள ஒரு நீட்சித் திரிபு

இறுக்கத் திரிபு ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமம் என்பது புலப்படுகிறது.

இக் கூற்றின் மாறுதலே, இதற்குக் கிளைத்தேற்ற (Corollary) மாகும். ஒரே நேரத்தில் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்துத் திசைகளில்




படம் 31.

ஏற்படும் சம அளவுள்ள ஒரு நீட்சித் திரிபும் ஒரு இறுக்கத் திரிபும், ஒரு தனி சறுக்கத் திரிபுக்குச் சமம் $l$ பக்கமுள்ள ABCD எனும் கன சதுரத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் மூலைவிட்ட மான AC திசையில் ஒரு சுருக்கம் ஏற்படட்டும். இதனல் ABCD யின் மூலைவிட்டம் BD, B'D' ஆக நீளவும், AC, A'C' ஆகச் சுருங்கவும் செய்யும்.

$AA' = BB' = a$ என்க

$$OA = AB \cos BAO = AB \cos 45 \frac{AB}{\sqrt{2}} = \frac{l}{\sqrt{2}}$$

ஆதலால் $OA' = OA - AA' = \left(\frac{l}{\sqrt{2}} - a\right)$

$$OB' = OB + BB' = \left(\frac{l}{\sqrt{2}} - a\right)$$

$$\therefore \quad (A'B')^2 = (OA')^2 + (OB')^2$$

$$= \left(\frac{l}{\sqrt{2}} - a\right)^2 + \left(\frac{l}{\sqrt{2}} + a\right)^2$$

$$= \frac{l^2}{2} - \frac{2\,a\,l}{\sqrt{2}} + a^2 + \frac{l^2}{2} + \frac{2\,a\,l}{\sqrt{2}} + a^2$$

$$= l^2 + 2a^2$$

$l^2$ உடன் ஒப்பிடுகையில் $2a^2$ மிகச் சிறியதாகையால் அதைப் புறக்கணித்துவிடலாம். எனவே $(A'B')^2 = l^2$ அல்லது

$$A'B' = l = AB$$

இப்போது $D'C'$ பக்கம், DC பக்கத்தோடு ஒன்றிச்சேருமாறு $A'B'C'D'$ பக்கத்தை $LDGD' = LAFA'$ எனும் கோணத்தில் திருப்பி வைக்கலாம். அப்போது $A'D'$. ADயுடன் $2AFA'$ கோணத்தில் சாய்ந்திருக்கும். அதாவது சறுக்கக் கோணம் $= 2LAFA$ இக் கோணம் சிறியதாயிருக்கையில் $2\ LAFA = 2.\ \frac{A'E}{EF}$ எனலாம்.

இதில் $A'E$ என்பது AFக்கு $A'$ விருந்து வரையப்பட்ட லம்பம் இப்போது $A'E = a/\sqrt{2}$, $EF = l/2$.

$$(\because\ 2\ \ LAFA) = \frac{2a}{\sqrt{2}} \Big/ \frac{l}{2} = \frac{2a}{\sqrt{2}} \times \frac{2}{l} = \frac{2a\sqrt{2}}{l}$$

$$\therefore\ \text{சறுக்கக் கோணம்}\ \theta = \frac{2a\sqrt{2}}{l}.$$

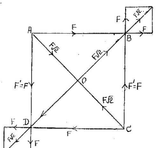
A C எனும் மூலைவிட்டத்தில் ஏற்படும் இறுக்கத்திரிபு

$$= \frac{AA'}{AO} = \frac{a}{l/\sqrt{2}} = \frac{a\sqrt{2}}{l} = \theta/2.$$

அதாவது இறுக்கத்திரிபு, சறுக்கத் திரிபில் பாதியாகும். இதே போல நீட்சித் திரிபும் சறுக்கத் திரிபில் பாதி எனக் காட்டலாம். எனவே ஒரே நேரத்தில் ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்துத் திசைகளில் ஏற்படுகின்ற சம அளவுள்ள ஒரு இறுக்கத் திரிபு, ஒரு நீட்சித்திரிபு ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகை, ஒரு சறுக்கத் திரிபின்

மதிப்பிற்குச் சமம் என்பது புலப்படும். இவ்விரு திரிபுகளும், சறுக்குத் திரிபின் திசைக்கு 45° கோணத்திலிருக்கும்.

3.7 சறுக்கத் தகைவு, ஒன்றுக்கொன்று நேர்க்குத்துத் திசைகளில் செயல்படுகின்ற அதே அளவுள்ள நேர்கோட்டு நீட்சித் தகைவிற்கும் நேர்கோட்டு இறுக்கத் தகைவிற்கும் சமம் எனக் காட்டுதல்: படத்தில்




படம் 32.

காணும் கன சதுரத்தில், அதன் மேல் முகத்தில் F எனும் விசை செயல்பட்டால், கன சதுரம் முழுவதும் விசையின் திசையில் நகரும். ஆனல் அதன் கீழ்ப்பக்கம் DC பொருத்தப்பட்டிருந்தால் அதில் சமமான, எதிர்த் திசையிலுள்ள ஒரு விசை உருவாகிச் செயல்படுகிறது. ஆகவே $F \times l$ எனும் ஒரு இரட்டை விசைச் சுழற்சித் திறன் உருவாகிக் கன சதுரத்தை வலப்பக்கமாகச் சுழற்ற முயல்கிறது,

ஆனல் கன சதுரம் சுழற்சியடைவதால், DC பரப்பு AD, CB எனும் திசைகளில் $F'$ எனும் இரு விசைகளைத் தோற்றுவிக்கிறது என்பது விளங்குகிறது. இவ் விசையிரட்டையின் திருப்புத் திறன் $= F' l$ இது கனசதுரத்தை இடம்புரியாகச் சுழற்ற முயலும். இவ்விரு திருப்புத் திறன்களின் தாக்குதலுக்குட்பட்டுக் கனசதுரம் சம நிலையிலிருப்பதால் $F/l = F'/l$ அல்லது $F = F'$ என்பது வெளிப்படை.

அதாவது AB முகத்தில் F எனும் தொடுவியல்-விசை செயல் பட்டால் மற்றெல்லா முகங்களிலும் படத்தில் காட்டியபடி ஒரு சமமான தொடுவியல் விசை உருவாகிறது.

AB, CB திசைகளில் செயல்படும் F, F' ஆகிய சமமான இரு விசைகளின் தொகுபயன் = $F\sqrt{2}$. இது OB திசையில் செயல் படும் AD, CD திசைகளில் செயல்படும் விசைகளின் தொகு பயனும் $F\sqrt{2}$. இது OD திசையில் செயல்படும். இவ்வாறு DB எனும் மூலைவிட்டத்தில் வெளி நோக்கி Dயிலும் Bயிலும் ஒரு இழுவிசை செயல்படுகிறது. அதனல் முன் கண்டபடி DB நீட்டப்படுகிறது. அதேபோல AC எனும் மூலைவிட்டத்தில் Aயிலும் Cயிலும் உள்நோக்கி ஒரு இறுக்கு விசை செயல்பட்டு' அதைச் சுருக்குகிறது.

இவ்வாறு ஒரு கனசதுரத்தின் ஒரு முகத்தில் செலுத்தப்பட்ட F எனும் தொடுவியல் விசை ஒரு மூலைவிட்டத்தின் மேல் $F\sqrt{2}$ எனும் வெளி நோக்கிய விசையையும், மற்ற மூலைவிட்டத்தின் மேல் $F\sqrt{2}$ எனும் உள்நோக்கிய விசையையும் தோற்றுவிக் கிறது, அதனல் முதல் மூலைவிட்டம் நீளவும் மற்றது சுருங்கவும் செய்கின்றன.

இப்போது கனசதுரத்தை AC வழியாகப் படத்தின் தளத் திற்கு நேர்குத்தாகச் செல்லும் ஒரு தளத்திஞல் இரண்டாக வெட்டிஞல் இரு வெட்டு முகங்களும் $l \times l\sqrt{2} = l^2\sqrt{2}$ பரப்புள் ளவையாயிருக்கும். BD திசையில்படும் $F\sqrt{2}$ எனும் வெளி நோக்குவிசை அதற்கு நேர்குத்தாகச் செயல்படும். எனவே BD திசையில் நேர்கோட்டு நீட்சித் தகைவு $= F\sqrt{2}/l^2\sqrt{2} = F/l^2$

இதேபோலக் கனசதுரத்தை BD வழியாகப் படத்தின் தளத் திற்கு நேர்குத்தாகச் செல்லும் ஒரு தளத்திஞல் இரண்டாக வெட்டிஞல் உள்நோக்கிய $F\sqrt{2}$ எனும் விசை AC திசையில் $l^2\sqrt{2}$ பரப்பளவுள்ள வெட்டு முகத்திற்கு நேர்குத்தாகச் செயல் படும். ஆகவே AC திசையில் நேர்கோட்டு இறுக்கத் தகைவு

$$= F\sqrt{2}/l^2\sqrt{2} = \frac{F}{l^2}.$$

$F/l^2$ என்பது AB முகத்தில் செயல்பட்டு $\theta$ எனும் சறுக்கக் கோணத்தை உண்டாக்கும் சறுக்கத் தகைவாகும்,

இவ்வாறு ஒரு சறுக்கத்தகைவு ஒன்றிற்கொன்று நேர்குத்துத் திசைகளில் செயல்படும் ஒரு நேர்க்கோட்டு நீட்சித்தகைவிற்கும், நேர்கோட்டு இறுக்கத்தகைவிற்கும் சமமாயுள்ளது புலப்படும்.

3.8. திரிபின்போது செய்யப்படும் வேலை: ஒரு பொருளில் திரிபுண்டாகும் விசை, செயல் புரிகிறது. இவ்வாறு செலவழிக்கப் படும் ஆற்றல் பொருளில் சேமித்து வைக்கப்படுகிறது. இது திரிபு ஆற்றல் (Energy of Strain) எனப்படும். திரிபுண்டாக்கும் விசைகள் நீக்கப்பட்டவுடன், தகைவும் மறைந்து, திரிபு ஆற்றல் வெப்பமாக வெளிப்படுகிறது. இப்போது நாம் மூவகைத் திரிபுகளின் போதும் நிகழும் செயல் அளவுகளைக் கணக்கிடுவோம்.

1. நீட்சித் திரிபு: ஒரு முனையில் பிணைத்துத் தொங்கவிடப் பட்ட ஒரு கம்பியில் F எனும் விசை செலுத்தப்படுவதாகக் கொள்வோம். கம்பியின் நீளத்தில் $dl$ எனும் ஒரு சிறிய மாற்றம் ஏற்பட்டால் செய்யப்பட்ட செயல் = $F\,dl$. எனவே கம்பியின் நீளத்தில் ஏற்பட்ட மொத்த மாற்றம் $l$ எனில் செய்யப்பட்ட

மொத்தச் செயல் $= \int_0^l F\,dl$.

கம்பியின் மூலப் பொருளின் யங்குணகம் $q = \frac{FL}{al}$.

இதில் L கம்பியின் மொத்த நீளம். a குறுக்குப் பரப்பு, F செலுத்தப்பட்ட விசை ஆகும்.

$$\because F = \frac{qal}{L}$$

எனவே கம்பி நீள்கையில் செய்யப்பட்ட வேலை $W = \int_0^L \frac{qa}{L}\, l\,dl$

$$= \frac{qa}{L}\int_0^l l\,dl = \frac{qa}{L}\,\frac{l^2}{2} = \frac{1}{2}\,\frac{qal}{L}\,l$$

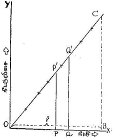
$$\frac{1}{2}\,F.\,l \quad \left(\because F = \frac{qal}{L}\right)$$

$= \frac{1}{2}$ நீட்டுவிசை $\times$ நீட்சி.

கம்பியின் பருமம் = L × a ஆதலால், அலகு பருமத்தில் செய்யப்பட்ட வேலை $= \frac{1}{2} Fl \times \frac{1}{La} = \frac{1}{2} \frac{F}{a} \times \frac{l}{L}$

$= \frac{1}{2}$ தகைவு × திரிபு.

நீட்சிக்கும் நீட்டும் விசைக்குமிடையில் ஓர் வரைப்படம் வரைந்து செயலின் அளவைக் கண்டுபிடிக்கலாம். மீட்சி எல்லைக்குள் நீட்டும் விசையை Y அச்சிலும், கம்பியிலேற்படும் நீட்சியை X அச்சிலும் வைத்து வரைப்படம் வரைந்தால் OC எனும் நேர்கோடு கிடைக்கிறது. படத்தில் PQ எனும் சிறிய நீட்சியை எடுத்துக் கொள். P யிலிருந்தும் Qவிலிருந்தும் Y அச்சுக்கு இணையாக வரையப்படும் கோடுகள், OC யை P′ Q′ எனும் புள்ளிகளில் சந்திக்கும்.




படம் 31.

PQ சிறியதாயிருக்கையில் PP′ ≈ QQ′ எனக்கொள்ளலாம்.

கம்பியில் சேர்த்து வைக்கப்படும் ஆற்றல் = கம்பியில் செய்யப்படும் வேலை = நீட்டும் விசை PP′ × நீட்சி PQ

= PP′Q′Q எனும் பரப்பளவு.

இதுபோல OB = $l$ எனும் மொத்த நீட்சியையும் PQ போன்ற சிறு சிறு துண்டுகளாகப் பிரித்துக்கொண்டு கணக்கிட்டோமானல், கம்பியில் செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை = அதில் சேமிக்கப்படுகிற மொத்த ஆற்றல் = OBP எனும் முக்கோணத்தின் பரப்பு

$= \frac{1}{2} OB \times BP = \frac{1}{2} l \times F$

இதில் $l$ என்பது F எனும் விசையாலுண்டாகும் மொத்த நீட்சி கம்பியின் மொத்த நீளம் L, குறுக்குப் பரப்பு a எனில் அதன் பருமம் = L × a.

∴ அலகுப் பருமத்தில் செய்யப்பட்ட வேலை $= \frac{1}{2} Fl / La$

$= \frac{1}{2} \cdot \frac{F}{a} \times \frac{l}{L} = \frac{1}{2}$ தகைவு × திரிபு.

2. பருமத் திரிபு. a எனும் பரப்புள்ள பொருளின்மீது p எனும் தகைவு செயல்பட்டால், மொத்த விசை = pa. விசையின் திசையில் பரப்பானது dx எனும் சிறிய அளவு நகர்ந்தால் செய்யப் பட்ட செயல் = padx. இதில் adx என்பது பருமத்தில் ஏற்படும் சிறிய மாற்றம் dv ஆகும். எனவே பருமத்தில் dv எனும் மாற் றத்தை ஏற்படுத்தச் செய்யப்பட்ட செயலின் அளவு = pdv பருமத்தில் ஏற்பட்ட v எனும் மொத்த மாற்றத்திற்கான செயல்

$$= \int_0^v p\,dv.$$

பொருளின் மொத்த பருமம் V, அதன் பருமக்குணகம் K எனில்

$K = pv/v$ அல்லது $p = Kv/V$

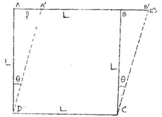
$$\therefore\ W = \int_0^v \frac{Kv}{V}\,dv = \frac{K}{V}\int_0^v v\,dv = \frac{K}{V}\frac{1}{2}v^2$$

$= \frac{1}{2}\frac{Kv}{V}v = \frac{1}{2}p.v = \frac{1}{2}$ தகைவு $\times$ பருமத்திலேற்படும் மாற்றம்

அலகுப் பருமத்தில் செய்யப்படும் செயல் $= \frac{1}{2}Pv/V$

$= \frac{1}{2}$ தகைவு $\times$ திரிபு.

3. சறுக்கத் திரிபு. L பக்கமுள்ள ஒரு கனசதுரத்தை எடுத் துக்கொள்வோம். அதன் கீழ் முகம் DC பொருத்தப்பட்டுள்ளது.




படம் 31.

AB எனும் மேல் முகத்தில் தொடுவியலாக F எனும் விசை செயல் படட்டும். அதனால் ABCD எனும் முகம் பிறழ்ந்து A'B' CD

என்ற நிலையை அடையும். அதாவது அதில் $\theta$ அளவிற்கு சறுக்கத் திரிபு ஏற்படும். இடப் பெயர்ச்சி $AA' = BB' = l$.

$dl$ எனும் சிறிய இடப் பெயர்ச்சியின்போது செய்யப்பட்ட வேலை $= F\,dl$. எனவே $l$ எனும் மொத்த இடப்பெயர்ச்சிக்கும் செய்யப்பட்ட வேலை $W = \int_0^l F\,dl$.

இப்போது $n = F/a\,\theta$ அல்லது $F = na\,\theta$; $a = L^2$

$\theta = l/L$. எனவே $F = nL^2 l/l = n\,L\,l$.

$\therefore$ மொத்த இடப்பெயர்ச்சிக்கான வேலை $W = \int_0^l n\,L\,l\,dl$.

$$= \tfrac{1}{2} n\,L\,l^2 = \tfrac{1}{2}\,\frac{F}{Ll}\,L\,l^2$$

$$\left[\ \because n = F/a\,\theta = \frac{F}{L^2}\cdot\ \frac{L}{l} = \frac{F\,l}{Ll}\ \right]$$

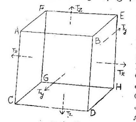
$= \frac{1}{2} Fl = \frac{1}{2} \times$ தொடுவியல் விசை $\times$ இடப்பெயர்ச்சி.

$\therefore$ அலகு பருமத்தில் செய்யப்பட்ட வேலை $= \frac{1}{2}\,Fl/L^3$

$= \frac{1}{2}\,\frac{F}{L^2} \times \frac{l}{L} = \frac{1}{2}\,\frac{F}{a}\,\theta = \frac{1}{2}$ தகைவு $\times$ திரிபு.

எனவே எல்லா வகையான திரிபுகளுக்கும் அலகுப் பருமத்தில் செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை $= \frac{1}{2}$ தகைவு $\times$ திரிபு.

**3.9 கன சதுரப் பட்டகத்தில் ஏற்படும் திரிபு—பருமக்குணகம்** ABCDEFGH என்பது அலகு நீளமுள்ள கனசதுரப் பட்டகம். BEHD, AFGC எனும் முகங்களுக்கு நேர்குத்தாக $T_x$ எனும் இழு விசைகளும் ABDC, EFGH, எனும் முகங்களுக்கு நேர்குத்தாக $T_y$ எனும் இழு விசைகளும், ABEF DHGC ஆகிய முகங்களுக்கு நேர்குத்தாக $T_z$ எனும் இழு விசைகளும் செயல்படுவதாகக் கொள்வோம். அலகு விசைக்கு, அலகு நீளத்தில் விசையின் திசையில் ஏற்படும் மாற்றம் $\alpha$ எனில், AB, BE, BD எனும் விளிம்புகளில் ஏற்படும் நீட்சி



படம் 35.

கள் முறையே $T_x \propto$, $T_y \propto$, $T_z \propto$ ஆகும். அலகு விசைக்கு நீளத்தில் நேர்குத்தான திசைகளில் ஏற்படும் இறுக்கம் B எனில் AB, BE, BDக்கு நேர்குத்தான விளிம்புகளில் ஏற்படும் சுருக்கங்கள் முறையே $T_x B$, $T_y B$, $T_z B$ ஆகும். எனவே கன சதுரத்தின் விளிம்புகளின் நீளங்கள் பின் வருமாறு மாறுதலடையும்.

$$AB = 1 + T_x \propto - T_y B - T_z B$$

$$BE = 1 + T_y \propto - T_x B - T_z B$$

$$BD = 1 + T_z \propto - T_x B - T_y B.$$

இதனல் கனசதுரத்தின் மாற்றமடைந்த பருமம் $= AB \times BE \times BD = (1 + Tx \propto - Ty B - Tz B)(1 + Ty \propto - Tx B - Tz B)(1 + Tz \propto - Tx B - Ty B)$. $\propto$, B இவற்றின் மதிப்புகள் மற்றவற்றோடு ஒப்பிடுகையில் மிக அற்பமானவையாதலால் அவற்றின் வர்க்கங்களைப் புறக்கணித்துவிடலாம்.

எனவே கன சதுரத்தின் புதுப்பருமம் $= 1 + (\propto - 2B)(Tx + Ty + Tz)$
$T_x = T_y = T_z = T$ எனில் புதுப்பருமம் $= 1 + (\propto - 2B)(3T)$

எனவே கனசதுரத்தின் புதுப்பருமத்தில் ஏற்பட்ட அதிகரிப்பு

$$= 1 + 3T(\propto - 2B) - 1 = 3T(\propto - 2B)$$

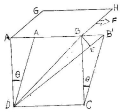
T எனும் இழுவிசைக்குப் பதிலாக, P எனும் இறுக்க விசையைச் செலுத்தினேமானல் கனசதுரத்தின் பருமத்தில் ஏற்படும் இறுக்கம் $= 3P(\propto = 2B)$ ஆகும். எனவே பருமத் திரிபு

$$= \frac{3P(\propto = 2B)}{\text{துவக்கப் பருமம்}} = \frac{3P(\propto = 2B)}{1} = 3P(\propto - 2B)$$

$$\text{எனவே பருமக் குணகம் } K = \frac{\text{தகைவு}}{\text{திரிபு}} = \frac{P}{3P(\propto - 2B)}$$

$$\therefore K = \frac{1}{3(\propto - 2B)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1).$$

விறைப்புக் குணகம். L பக்க முள்ள ABHG எனும் கன சதுரத்தின் மேல் முகத்தில் F எனும் சறுக்க விசை தாக்கி θ எனும் சறுக்கக் கோணத்தை ஏற்படுத்துவதாகக் கொள் வோம். A முனை A′க்கும் B முனை B′-க்கும் இடம் பெயர்கின்றன. ADA′ = BCB′ = θ




படம் 36.

$$\text{அப்போது நீட்சித் தகைவு} = \frac{F}{\text{ABHGயின் பரப்பளவு}}$$

$$= \frac{F}{L^2} = T \text{ என்க.}$$

AA′ = BB′ = $l$ என்போம்.

சறுக்கத் திரிபு = $l/L = \theta$ விறைப்புக் குணகம் $n = T/\theta$

முன்னர் கண்டபடி AB திசையிலுள்ள ஒரு சறுக்கத் தகைவானது, ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்து திசைகளில் செயல் படுகின்ற அதே அளவுள்ள DB திசையிலுள்ள நேர்கோட்டு நீட்சித் தகைவு, AC திசையிலுள்ள நேர்கோட்டுத் தகைவு ஆகியவற்றிற்குச் சமமானது. இவ்வாறு DB திசையில் T எனும் நீட்சித் தகைவும், AC திசையில் T எனும் இறுக்கத் தகைவும் ஏற்பட்டுள்ளன. ஒரு நேர்கோட்டு நீட்சித் திரிபு அல்லது இறுக்கத் திரிபுடன் கூடவே குறுக்குத் திசையில் (Transverse) அல்லது பக்கவாக்குத் திசையில் (Lateral) முறையே ஒரு நேர் கோட்டு இறுக்கத் திரிபு அல்லது நீட்சித் திரிபு, செலுத்தப்படும் விசைக்கு நேர்குத்தான எல்லாத் திசைகளிலும் உண்டாகும். அதனால் AC திசையில் உள்ள இறுக்கத் தகைவினால் DB எனும் மூலை விட்டத்தின் நீளமும் அதிகரிக்கும். எனவே அலகுத் தகைவினால் நீளவாக்கிலும் பக்கவாக்கிலும் முறையே ∝, B எனும் திரிபுகள் உண்டானால், DB எனும் மூலை விட்டத்தில் அதன் திசையிலே செயல்படும் நீட்சித் தகைவினால் ஏற்படும் நீட்சி = DB × T × ∝ AC திசையில் செயல்படும் இறுக்கத் தகைவினால் ஏற்படும் நீட்சி = DB × T × B.

எனவே DB யில் ஏற்படும் மொத்த நீட்சி = DB $(T\propto + TB)$

$$= DB \times T(\propto + B) = L\sqrt{2}\ T(\propto + B)$$

$$[\because DB = \sqrt{L^2 + L^2} = \sqrt{2}L]$$

B யிலிருந்து BB′ க்கு BE எனும் லம்பத்தை வரை. அப்போது DB யின் நீளத்தில் ஏற்பட்ட அதிகரிப்பை EB′ க்குச் சமமாகக் கொள்ளலாம். $EB' = BB' \cos BB'E = l \cos 45$

$$= l/\sqrt{2} \quad [\because LBB'E = \cos 45°; = \sqrt{\tfrac{1}{2}}]$$

$$\because L\sqrt{2}\ T(\propto + B) = \frac{l}{\sqrt{2}}$$

அல்லது $\frac{LT}{l} = \frac{1}{2(\propto + B)}$ அல்லது $\frac{T}{l/L} = \frac{1}{2(\propto + B)}$

அல்லது $\frac{T}{\theta} = n = \frac{1}{2(\propto + B)} \quad \left(\because \frac{l}{L} = \theta\right)$

எனவே பொருளின் விறைப்புக் குணகம் $n = \frac{1}{2(\propto + B)}$

……………………II

யங்குணகம்: அலகு நீளமுள்ள கன சதுரத்தின் மேல் ஒரு முகத்தில் அலகு இழுவிசை செயல்பட்டால் ஏற்படும் நீள அதிகரிப்பு = ∝. எனவே தகைவு = 1, நேர்கோட்டுத் திரிபு $= \frac{\propto}{1} = \propto$.

எனவே யங்குணகம் $q = \frac{1}{\propto}$ … … … … … … … … (III)

மீட்சிக் குணகங்களுக்கிடையிலுள்ள உறவு:

I-லிருந்து $K = \frac{1}{3(\propto - 2B)}$ அல்லது $\propto - 2B = \frac{1}{3K}$ ……(1)

II-லிருந்து $n = \frac{1}{2(\propto + B)}$ அல்லது $\propto + B = \frac{1}{2n}$ ……… (2)

(1) லிருந்து (2) ஐக் கழித்தால் $3B = \frac{1}{2n} - \frac{1}{3k} = \frac{3k - 2n}{6nk}$

$$\therefore B = \frac{3K - 2n}{18nK}$$

(2) ஐ இரண்டால் பெருக்கி (1) உடன் கூட்டினால்

$$3\alpha = \frac{1}{n} + \frac{1}{3K} = \frac{3K+n}{3\,Kn} \text{ அல்லது } \alpha = \frac{3K+n}{9\,Kn}$$

$$\alpha = \frac{1}{q} \text{ ஆதலால் } \frac{1}{q} = \frac{3\,K+n}{9\,Kn} \text{ அல்லது } q = \frac{9\,Kn}{3\,K+n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (a)$$

$$\text{அல்லது } \frac{9}{q} = \frac{3K+n}{Kn} = \frac{3K}{Kn} + \frac{n}{Kn}$$

$$\text{அல்லது } \frac{9}{q} = \frac{3}{n} + \frac{1}{K} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (b)$$

இது மூன்று குணகங்களையும் இணைக்கும் சமன்பாடாகும்.

3.10. பாய்சான் தகவு (Poisson's Ratio): ஒரு கம்பியை நீட்சியடையச் செய்தால் அதன் தடிமன் குறைந்துவிடுகிறது என முன்னர் கண்டோம். ஆகவே ஒரு நேர்கோட்டு அல்லது தொடுவியலான திரிபு ஒரு கம்பியிலேற்படும்போது அதன் கூடவே குறுக்குத் திசையில் அல்லது பக்கவாக்கில் ஒரு எதிர் மாறுன திரிபு, செலுத்தப்படும் விசைக்கு நேர்குத்தான திசைகளில் ஏற்படுகிறது. அதாவது நீளவாட்டுத் திசையில் ஒரு நீட்சி ஏற்பட்டால் பக்கவாட்டில் இறுக்கமும், நீள்வாட்டில் இறுக்க மேற்பட்டால் பக்கவாட்டில் நீட்சியும் ஏற்படும். இது திரிபுக்குட் படும் எல்லாப் பொருள்களிலும் நிகழ்கிறது. எடுத்துக் காட்டாக ஒரு கன சதுரத்தின் ஒரு முகத்திற்கு நேர்குத்தாக ஒரு இழு விசையைச் செலுத்தினல், அதே திசையில் ஒரு நீட்சியும் அதற்கு நேர்குத்தான திசையில் ஒரு சுருக்கமும் தோன்றும்.

மீட்சி எல்லைக்குட்பட்டு ஒரு குறிப்பிட்ட பொருளில் ஏற்படும் பக்கவாட்டுத் திரிபு (B), நீளவாக்கு அல்லது தொடுவியலான திரிபுக்கு ($\alpha$) நேர் விகிதத்திலிருக்கும். அவற்றிற்கிடையிலான தகவு ஒரு மாறிலி. அம் மாறிலி அப் பொருளுக்கான பாய்சான் தகவு எனப்படும். அது $\sigma$ எனும் எழுத்தால் குறிக்கப்படும். பொறியியலார் அதை $\frac{1}{m}$ எனக் குறிப்பிடுவார்.

$$\text{பாய்சான் தகவு} = \frac{\text{பக்கவாட்டுத் திரிபு}}{\text{தொடுவியல் அல்லது நீளவாக்குத் திரிபு}}$$

$$\text{அல்லது } \sigma = B/\alpha.$$

இழுவிசைக்குட்படும் ஒரு பொருளில் பக்கவாட்டுச் சுருக்கம் ஏற்படாவிடில், அதற்கான பாய்சான் தகவின் மதிப்பு சுழியாகும். அதன் பருமம் அதிகரித்து அடர்த்தி குறையும்.

ஒரு பொருளின் பாய்சான் தகவையும், நீள்வாட்டுத் திரிபையும் அறிவோமானல் அதன் மற்றப் பரிமாணங்களில் ஏற்படும் மாற்றங்களை எளிதில் கணக்கிட்டுவிடலாம். ஒரு கோலில் நீளவாட்டுத் திரிபு $\propto$ எனில் அதில் ஏற்படும் பக்கவாட்டுத் திரிபு $= \sigma \propto$. $l$ நீளமும் b அகலமும், t தடிமனுமுள்ள ஒரு சதுரக் கோலின் அகலத்தில் $\delta b$, தடிமனில் $\delta t$ எனும் மாற்றங்கள் ஏற்பட்டால் பக்கவாட்டுத் திரிபு $= \frac{\delta b}{b} = \frac{\delta t}{t} = \sigma \propto$

இதிலிருந்து $\delta t$, $\delta b$ ஆகியவற்றை எளிதாகக் கணக்கிட்டு விடலாம். $l$ நீளமும், d விட்டமும் உள்ள ஒரு உருளைக் கோலின் $\delta d$ மாற்றமேற்பட்டால் பக்கவாட்டுத் திரிபு $= \delta d/d = \sigma \propto$. இதிலிருந்து $\delta d$ யை எளிதாகக் கண்டுபிடிக்கலாம்,

சதுரக் கோல்களின் பருமத் திரிபைக் கண்டுபிடிக்கும்போது துவக்கப்படும் பருமம் $V = lbt$.

பருமத்தில் ஏற்பட்ட மாற்றம் $\delta v = bt\,\delta l + tl\,\delta b + lb\,\delta t$

$\delta l$ என்பது நீளவாட்டுத் திரிபு $\propto$-வினல், நீளத்திலேற்படும் மாற்றம், எனவே $\frac{\delta V}{V} = \frac{\delta l}{l} + \frac{\delta b}{b} + \frac{\delta t}{t}$

அதாவது பருமத்திரிபு = மூன்று பரிமாணங்களிலும் ஏற்படும் திரிபுகளின் இயற்கூட்டுத்தொகை. பக்கவாட்டுத் திரிபு நீள வாட்டுத் திரிபுக்கு எதிரினமானது. எனவே

$$\frac{\delta V}{V} = \propto - \sigma\propto - \sigma\propto \quad \because \ \delta l/ = \propto$$

அல்லது $\frac{\delta V}{V} = \propto (1 - 2\sigma)$

ஓர் உருளைக்கோலின் துவக்கப் பருமம் $V = \frac{\pi d^2 l}{4}$

பருமத்தில் ஏற்படும் மாற்றம் $\delta V$ = நீளம் மாறுவதாலேற்படும் பரும மாற்றம் + விட்டம் மாறுவதாலேற்படும் பரும மாற்றம்.

$$= \frac{\pi d^2 \delta l}{4} + \frac{\pi}{4} \times 2d\,\delta d\, l$$

எனவே $\dfrac{\delta V}{V} = \dfrac{\delta l}{l} + \dfrac{2\,\delta d}{d}$

$\dfrac{\delta l}{l}$, $\dfrac{\delta d}{d}$ ஆகியவை எதிர்மாறான குறியுடையவை. எனவே

$$\frac{\delta V}{V} = \alpha - 2\sigma\alpha = \alpha(1 - 2\sigma)$$

இம் மதிப்பு சதுரக் கோலுக்கும் உருளைக் கோலுக்கும் ஒன்றாயிருப்பதைக் கவனிக்கவும். இவ்வாறு எவ்வகையான கோலுக்கும் துவக்கப்பருமம் ($V$), நீளவாட்டுத் திரிபு ($\alpha$), பாய்சான் தகவு ($\sigma$) இவற்றின் மதிப்புகளிலிருந்து, கோலின் பருமத்தில் ஏற்படும் மாற்றத்தை எளிதில் கணக்கிட்டுவிடலாம். $\sigma$, K, n ஆகியவற்றிற்கிடையிலான உறவு ;

முன்னர் கண்டபடி $K = \dfrac{1}{3(\alpha - 2B)} = \dfrac{1}{3\alpha\left(1 - \dfrac{2B}{\alpha}\right)}$

$$= \frac{1}{3\alpha(1 - 2\sigma)} = \frac{q}{3(1 - 2\sigma)} \qquad \left(\because q = \frac{1}{\alpha}\right)$$

ஏனவே $q = 3K(1 - 2\sigma)$ ........................................IV

அதேபோல $n = \dfrac{1}{2(\alpha + B)} = \dfrac{1}{2\alpha\left(1 + \dfrac{B}{\alpha}\right)} = \dfrac{1}{2\alpha(1 + \sigma)}$

$$= \frac{q}{2(1 + \sigma)}$$

எனவே $q = 2n(1+\sigma)$ ......................................................V

IV. V ஆகிய சமன்பாடுகளிலிருந்து, $3K(1-2\sigma) = 2n(1+\sigma)$

ஆகவே $\sigma = \dfrac{3K - 2n}{6K + 2n}$

IV, V ஆகிய சமன்பாடுகளிலிருந்து $\sigma$-வை விலக்கினுல்

$q = \dfrac{9Kn}{3K+n}$ ஆகவே $\dfrac{9}{q} = \dfrac{3}{n} + \dfrac{1}{K}$

பாய்சான் தகவின் வரம்புகள்

$3K(1-2\sigma) = 2n(1+\sigma)$ என மேலே கண்டோம். இதில் K, n ஆகியவை எப்போதும் நேரினமானவை. எனவே

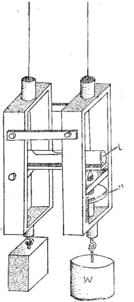
(1) $\sigma$ நேரினமாயிருக்கையில் $2n(1+\sigma)$ நேரினம், எனவே $3K(1-2\sigma)$-வும் நேரினம், அப்போது $2\sigma < 1$ அல்லது $\sigma < \frac{1}{2}$

(2) $\sigma$ எதிரினமாயிருப்பின் $3K(1-2\sigma)$ நேரினமானது எனவே $2n(1+\sigma)$ வும் நேரினமானது. அப்போது $\sigma > -1$

எனவே $\sigma$ எப்போதும் $-1$க்கும் $+\frac{1}{2}$க்கும் இடைப்பட்ட மதிப்புள்ள தாயிருக்க வேண்டும். அப்படியின்றேல் IV, V ஆகிய சமன்பாடுகளின்படி K, n ஆகியவை எண்ணிலி (Infinite) ஆகி விடும். மேலும் $\sigma$ எதிரினமாயிருப்பின் ஒரு பொருளின் நீளம் அதிகரித்தால் அதன் தடிமனும் அதிகரிப்பதாகப் பொருள்படு கிறது. இது போன்ற இயல்புள்ள பொருள் இதுவரை கண்டு பிடிக்கப்படவில்லை. அதே போல ஒரு பொருளுக்கு $\sigma = \frac{1}{2}$ எனில் அது பொருளை இறுக்கவே முடியாது என்ற நிலையைக் குறிக்கிறது. இது போன்ற இயல்புள்ள பொருளும் இதுவரை கண்டு பிடிக்கப் படவில்லை. நடைமுறையில் $\sigma$ வின் மதிப்பு 0.2 விருந்து 0·4 வரை உள்ளது.

**3.11. யங்குணகத்தைக் கண்டுபிடித்தல் :** யங்குணகம் என்பது நீட்சித் தகைவிற்கும் (அலகுப் பரப்பின் மேல் நீளவாக்கில் செலுத்தப்படும் விசை) நீட்சித்திரிபு (அலகு நீளத்தில் ஏற்படும் அதிகரிப்பு)க்கும் இடையிலுள்ள தகவாகும். நீட்சித்திரிபைத் துல்லியமாக அளக்கப் பல்வேறு முறைகள் உருவாக்கப்பட் டுள்ளன.

சியர்ஸின் முறை : இம் முறையில் கம்பி வடிவிலுள்ள ஒரு உலோகத்தின் யங்குணகத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம். சியர்ஸின் கருவி யமைப்பில், ஒரே உலோகத்திலான, ஒரே நீள (4 மீட்டர்) மும் விட்டமும் உள்ள இரு கம்பிகள் சோதனைச் சாலேயின் கூரையில் உறுதியாகப் பிணைக்கப்பட்டுத் தொங்கவிடப்படும். அவற்றுள் ஒன்று சோதனைக்கானது. மற்றது ஒப்பிட்டு நோக்குவதற்கானது. வெப்பநிலை மாற்றங்களினாலும், கூரையிலுள்ள பிடிப்பு நெகிழ்ந்து கொடுப்பதாலும் ஏற்படும் பிழைகளை ஈடு செய்து விலக்குவதற்காகவே இரு கம்பிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. கம்பிகளின் கீழ் முனைகளில் இரு செவ்வக வடிவச் சட்டங்கள் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. அவற்றின் மேல், கீழ் இயக்கங்கள் தடைபடாமல், அதே சமயத்தில் சட்டங்கள் விலகிப் போகாமலும் இருக்கும் வகையில் இரு சட்டங்களும் குறுக்கே இணைக்கப்பட்டிருக்கும். இரு சட்டங்களுக்கும் குறுக்கே ஒரு துல்லியமான ரசமட்டம் (L) பொருத்தப்பட்டுள்ளது. அதன் முனை ஒப்பிட்டுக் கம்பியின் சட்டத்திலுள்ள ஒரு கீலில் இணைக்கப்பட்டிருக்கும். அதன் மற்ற முனை சோதனைக் கம்பியின் சட்டத்தில் பொருத்தப்பட்டுள்ள ஒரு நுண் திருகின் (M) மேல் முனையில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. அத் திருகின் அச்சு செங்குத்தாக, சோதனைக் கம்பியின் அச்சோடு பொருந்தியிருக்கும். ஒப்பீட்டுக் கம்பியின் சட்டத்திற்குக் கீழே ஒரு பாழ்ச்சுமை (Dead Load) தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. மற்றச் சட்டத்தில் ஒரு தராசுத்



படம் 37.

தட்டோ, எடைக் கொக்கியோ மாட்டப்பட்டிருக்கும். இரு கம்பிகளும் விறைப்பாயிருக்குமளவிற்கு இவ்வெடைகள் இருக்கும். துவக்கத்தில் நுண்திருகின் அதம அளவைக் கண்டு பிடித்துக் கொள்ள வேண்டும். நுண்திருகில் அளவுக் குறியிடப்பட்ட தலைக் கோல் (S) ஒன்று சட்டத்தில் பதிக்கப்பட்டுள்ள செங்குத்தான புரிக்கோலுக்கு இணையாக நகருமாறு அமைந்துள்ளது. முதலில் ஒரு புரிக்கோல் பகுதியின் மதிப்பைக் கண்டுபிடித்துக்கொள்ள வேண்டும். பின்னர் நுண்திருகின் புரியிடைத்தூரம், அதம அளவு ஆகியவையைக் கணக்கிட்டுக் கொள். எடைக் கொக்கியில் சம நிறையுள்ள (1 கிலோ கிராம்) எடைக் கற்களை ஒவ்வொன்ருகச் சேர்த்து, பின்னர் அதே போலக் குறைத்துச் சில முறை செய். இது மீட்சிப் பாங்கிற்கு வர உதவும்.

நுண்திருகைச் சரிப்படுத்தி ரச மட்டத்திலுள்ள குமிழ் அதன் மையத்திற்கு வருமாறு செய். அப்போது ரச மட்டம் கிடைத்தளத்திலிருக்கும். அப்போது நுண்திருகின் தலைக்கோல் காட்டும் அளவீட்டைக் குறித்துக்கொள். எடைக் கொக்கியில் ஒரு கிலோ கிராம் எடையைச் சேர். சோதனைக் கம்பி நீண்டு, அதனடியிலுள்ள சட்டம் கீழிறங்கும். அதனல் ரச மட்டத்தின் முனையும் கீழிறங்கி அதன் கிடைத்தன்மை பாதிக்கப்படும். நுண்திருகைச் சற்றுத் திருகி மேலேற்றி மீண்டும் ரச மட்டம் கிடையாக இருக்குமாறு (குமிழ் மையத்திற்குத் திரும்பி வருமாறு) செய். நுண்திருகு நகர்த்தப்பட்ட தொலைவு, கம்பியிலேற்பட்ட நீட்சிக்குச் சமமாயிருக்கும். நுண்திருகு காட்டும் அளவைக் குறித்துக்கொள், இதே போல சம நிறையுள்ள எடைக்கற்களை ஒவ்வொன்ருகக் கொக்கியில் சேர்த்து ஒவ்வொரு முறையும் நுண்திருகை ஏற்றி ரச மட்டத்தின் குமிழை மையத்திற்குக் கொண்டுவந்து தலைக்கோல் குறிக்கும் அளவீட்டைக் குறித்துக்கொள்: ஏழெட்டு முறை அளவீடுகள் எடுத்த பின்னர் எடைக்கற்களை ஒவ்வொன்ருக இறக்கிவிட்டு மீண்டும் அளவீடுகளைக் குறித்துக்கொள்.

ஒரு திருகுமானியின் உதவியுடன் கம்பியின் விட்டத்தைக் கண்டுபிடி. கம்பியின் நீள (L)த்தையும் அளந்துகொள். அளவீடுகளைப் பின் வருமாறு அட்டவணைப்படுத்து.

| எண் | நீட்டும் சுமை கி. கி. | நுண் திருகு அளவீடுகள் | | | 2 கி.கி. சுமைக்கான நீட்சி |
|---|---|---|---|---|---|
| | | சுமை ஏற்றம் | சுமை இறக்கம் | சராசரி மி. மீ. | |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | சராசரி மி. மீ. |

அட்டவணையிலிருந்து 2 கி. கி. சுமையினுல் கம்பியில் ஏற்படும் சராசரி நீட்சி ($l$) யைக் கண்டுபிடி. கம்பியின் துவக்க நீளம் = செ. மீ., எனில் நீட்சித்திரிபு = $\frac{l}{L}$.

நீட்டும் விசை = $2000 \times g = Mg$ டைன்கள் என்க

நீட்சித் தகைவு = $\frac{F}{a}$

எனவே கம்பியின் மூலப் பொருளின் யங்குணகம் $b = \frac{F}{a} \bigg/ \frac{l}{L}$

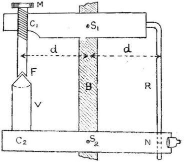
$$\frac{Mg\,L}{\pi r^2 l}.$$

தொங்கவிடப்பட்ட எடைக்கும், கம்பியிலேற்பட்ட நீட்சிக்குமிடையில் ஓர் வரை படம் வரைந்தால் ஒரு நேர்கோடு கிடைக்கிறது. அது துவக்கத் (Origin)தின் வழியாகச் செல்லும். இது நீட்சி, சுமைக்கு நேர் விகிதத்திலிருப்பதைக் காட்டுகிறது.

3.12. ஒரு தடித்த தண்டுக்கான ஈவிங் நீட்சிமானி (Ewing's Extensio Meter).

இக் கருவி தடித்த தண்டுகளில் ஏற்படும் நுண்ணிய நீட்சிகளை உருப்பெருக்கிக் காட்டக்கூடியது. இதில் ஒரு தண்டின் இரு

முனைகளில் இரு இணைப்புத் தகடுகள் ($C_1$, $C_2$), $S_1$, $S_2$ எனும் திருகுகளினால் உறுதியாகப் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. இத் திருகு




படம் 38.

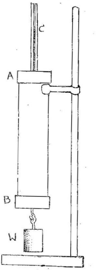
களுக்கிடையிலான $S_1$ $S_2$ எனும் தொலைவு, தண்டின் துவக்க நீளமாக எடுத்துக்கொள்ளப்படும்.

M எனும் ஒரு நுண்திருகு $C_1$ க்குள் சுழலுமாறு அமைக்கப் பட்டுள்ளது. அதன் கீழ் முனையில் கூம்பு வடிவமான பள்ளமாக்கப் பட்டிருக்கும் $C_2$வில் இணைக்கப்பட்ட V எனும் செங்குத்துக் கோலின் கூம்புவடிவ மேல் முனை F இப்பள்ளத்திற்குள் பொருந்துமாறு அமைக்கப்பட்டுள்ளது. தண்டு நீளும்போது $C_2$ எனும் இணைப்புத் தகடு சுழல்வதற்கான, சுழல்தான (Fulcrum) மாக இக் கூம்பு முனை செயல்படுகிறது. $C_1$-ன் மறுமுனையில் $S_1$ திருகிலிருந்து நுண்திருகு உள்ள தொலைவிற்குச் சமமான தொலைவில் $R_1$ எனும் கோல் செங்குத்தாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. அது $C_2$-விலுள்ள ஒரு துளையினுள் நுழைகிறது. துளையினுள்ளிருக்கும் கோலின் பகுதியில் ஒரு கோடு (N) செதுக்கி வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. N மேலும் கீழும் நகருவதை $C_2$ விற்குள் அமைக்கப்பட்ட, அளவுகோல் பொருத்தப்பட்ட கண்ணருகு கருவியுள்ள ஒரு நுண்ணோக்கியினால் அளக்கலாம்.

முதலில் R எனும் தண்டிலுள்ள குறியை நுண்ணோக்கியில் குவியப்படுத்தி, அதற்கு நேரேயுள்ள அளவீட்டினைக் குறித்துக் கொள். தேவைப்பட்டால் M எனும் நுண்திருகினைத் திருகிவிட்டு, அக் குறி நுண்ணோக்கியில் வசதியான ஒரு அளவுக் குறிக்கு நேரே-

வரும்படி செய்து கொள்ளலாம். ஒரு சோதனை யந்திரத்தின் உதவியுடன் சோதனைத் தண்டைச் செங்குத்துத் திசையில் நீட்டினால் அது கீழ்நோக்கி நீளும். $C_1$ எனும் இணைப்புத் தகடு F-ஐச் சுற்றித் திருப்பப்படுகிறது. அதனால் R கீழ்நோக்கி நகர்ந்து N குறியும் இடப்பெயர்ச்சி யடையும். இந்த இடப்பெயர்ச்சியை நுண்ணோக்கியினால் அளந்து கொள்ளலாம். சுழல்தானத்திற்கும் சோதனைத் தண்டின் அச்சிற்கும் இடையிலுள்ள தொலைவை விட இருமடங்கானதால், இந்த இடப்பெயர்ச்சி தண்டில் ஏற்பட்ட நீட்சியைப் போல இருமடங்கு இருக்கும். சோதனைத் தண்டின் நீளம் ($S_1$ $S_2$), அதன் தடிமன், செலுத்தப்பட்ட இழுவிசை ஆகியவற்றைக் கண்டு பிடித்துக்கொண்டு, தண்டின் யங்குணகத்தைக் கண்டு பிடித்துக் கொள்ளலாம்.

**3.13. ரப்பருக்குப் பாய்சான் தகவினைக் கண்டுபிடித்தல் :** சுமார் ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ள AB எனும் ரப்பர் குழாயை ஒரு பிடிப்பிலிருந்து தொங்கவிடு. அதன் இரு முனைகளையும் ரப்பர் உருளைகளை வைத்து ஒட்டி அடைத்துவிடு. மேல் அடைப்பு உருளையில் ஒரு துளையிட்டு அதில் ஒரு நீண்ட நுண் துளைக் குழாயை (c) ச் சொருகு. கீழ் உள்ள அடைப்பு உருளையிலிருந்து ஒரு எடைக் கொக்கியைத் தொங்கவிடு. ரப்பர் குழாயில் காற்று நீக்கப்பட்ட தூய நீரை நீர்மட்டம் மேலேயுள்ள கண்ணாடிக் குழாயில் A-க்கு மேலே சுமார் 30 செ,மீ., உயர்ந்து தெரியும் வரை நிரப்பு. ரப்பர் குழாயின் கீழ் முனையிலிருந்து W எனும் எடைக்கல்லைத் தொங்கவிடு. இதனால் குழாய் நீண்டு அதன் (கொள்ளளவு) பருமம் அதிகரிக்கும். கண்ணாடிக் குழாயிலுள்ள நீர்மட்டம் கீழிறங்கும். ஒரு நகரும் நுண்ணோக்கியின் உதவியுடன் ரப்பர் குழாயின் நீளத்தில் ஏற்பட்ட அதிகரிப்பையும் (dL) கண்ணாடிக் குழாயில் நீர்மட்டம் கீழிறங்கிய அளவையும் (dh) கண்டு பிடி. ரப்பர் குழாயின் துவக்க நீளம் L, விட்டம் D, கொள்ளளவு (பருமம்) V என்போம்.



படம் 30.

அதன் குறுக்குப் பரப்பளவு $A = \frac{\pi D^2}{4}$ ... ... ... ... ... ... (i)

இதை வகைப்படுத்தினுல் $dA = \frac{\pi D}{2} dD$

எனவே $dA = 2A \frac{dD}{D}$ ... ... ... ... ... ... (ii)

ரப்பர் குழாயின் பருமம் $dV$ அதிகரிப்பதற்காக, அதன் நீளம் $dL$ அதிகரிப்பதாயும், குறுக்குப் பரப்பளவு $dA$ குறைவதாயும் கொள்வோம். அப்போது,

$$V + dV = (A - dA)(L + dL)$$

$$= AL + A.dL - dA.L - dA.dL$$

அல்லது $V + dV = V + A.dL - L.dA \qquad (\because AL = V)$

$dA.dL$ மிக அற்பமானதால் அதைப் புறக்கணித்துவிடலாம்.

எனவே $dV = A.dL - L.dA = A.dL - \frac{2\,AL}{D}.dD$

இரு புறங்களையும் $dL$. ஆல் வகுத்தால்,

$\frac{dV}{dL} = A - \frac{2\,AL}{D} \cdot \frac{dD}{dL}$ அல்லது $\frac{2\,AL}{D} \cdot \frac{dD}{dL} = A - \frac{dV}{dL}$

எனவே $\frac{dD}{dL} = \left(A - \frac{dV}{dL}\right) \Big/ \frac{2\,AL}{D}$

$$= \frac{AD}{2\,AL} - \frac{dV}{dL} \times \frac{D}{2\,AL}$$

$$= \frac{D}{2L} - \frac{dV}{dL} \times \frac{D}{2\,AL}$$

அல்லது $\frac{dD}{dL} = \frac{DL}{2L}\left(1 - \frac{1}{A}\ \frac{dV}{dL}\right)$ .......................(iii)

பாய்சான் தகவு $\sigma = \frac{\text{பக்கவாட்டுத் திரிபு}}{\text{நீளவாட்டுத் திரிபு}} = \frac{dD / D}{dL / L}$

$= \frac{dD}{D} \times \frac{L}{dL}$ அல்லது $\sigma = \frac{L\,dD}{D\,dL}$

(iii)-லிருந்து $\frac{dD}{dL}$-ன் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்தால்,

$$\sigma = \frac{L}{D} \cdot \frac{D}{L} \cdot \frac{D}{2L}\left(1 - \frac{1}{A}\ \frac{dV}{dL}\right) = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{1}{A} \cdot \frac{dV}{dL}\right) \text{ -(iv)}$$

ரப்பர் குழாயின் உள் ஆரம் r எனில், $A = \pi r^2$

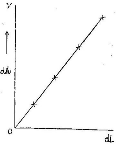
$$\text{எனவே } \sigma = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{1}{\pi r^2}\ \frac{dV}{dL}\right)$$

கண்ணாடிக் குழாயின் உள் ஆரம் a எனில் $dV = \pi a^2 dh$ ஏனெனில் நீர்மட்டம் இறங்குகின்ற அளவு, ரப்பர் குழாயின் உள் கொள்ளளவில் ஏற்பட்ட அதிகரிப்பைக் குறிக்கும்.

$$\text{எனவே } \sigma = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{1}{\pi r^2} \times \frac{\pi a^2 dh}{dL}\right)$$

$$= \frac{1}{2}\left(1 - \frac{a^2}{r^2}\ \frac{dh}{dL}\right)$$

a, r இவற்றின் மதிப்புகளைப் பல புள்ளிகளில் துல்லியமாக அளந்து கொண்டு அவற்றின் மதிப்பைக் கண்டுபிடித்துக்கொள். சோதனையின் போது, வெவ்வேறு எடைகளை அடியில் தொங்கவிட்டு எடுக்கப்பட்ட dh அளவுகளுக்கும், dL அளவுகளுக்கும் இடையில் ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் ஒரு நேர்கோடு கிடைக்கும். அதன் சரிவு $= \frac{dh}{dL}$. இதிலிருந்து σ வைக் கணக்கிடலாம்.

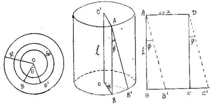


படம் 40.

3.14 உருளை அல்லது கம்பியில் முறுக்க இரட்டை விசையைச் செலுத்தல்.

ஒரு உருளை அல்லது கம்பியின் ஒரு முனையை இறுகப் பொருத்திவிட்டு, மற்ற முனையை θ கோணத்தில் சுழற்றினால்,

கம்பி முறுக்கப்படும். கம்பியின் மீள்திறன் காரணமாக முறுக்கு கின்ற விசையிரட்டைக்குச் சமமானதும் எதிர்த் திசையிலுள்ளது மான ஒரு மீட்டுவரும் விசையிரட்டை (Restoring Couple) கம்பி யினுள் உருவாகிறது.




படம் 41.

n விறைப்புக் குணகமுள்ள மூலப் பொருளாலானதும், $l$ நீள மும் r ஆரமும் உள்ளதுமான ஒரு உருளைக் கம்பியை எடுத்துக் கொள்வோம். அதன் மேல் முனை ஒரு பிடிப்பில் இறுகப் பொருத் தப்பட்டுக் கீழ் முனையில் அதன் நீளத்திற்கு நேர் குத்தான திசையில் ஒரு விசை யிரட்டை செலுத்தப்பட்டால், கோல் θ ரேடி யன் திரும்பும். இப்போது கோலின் நீளத்திலோ ஆரத்திலோ மாற்றமேதும் ஏற்படுவதில்லை.

சமநிலையில் முறுக்கும் விசையிரட்டை, மீட்டுவரும் விசை யிரட்டைக்குச் சமமாயும் எதிர்த்திசையிலும் இருக்கும் உருளையை ஓரச்சான (Coaxial) பல உள்ளீடற்ற உருளைகளாகப் பிரிப்போம். அவற்றுள் x ஆரமும் dx தடிமனுமுள்ள ஒரு உருளையைக் கவனிப் போம். அதன் கீழ் முனையிலுள்ள ஒவ்வொரு ஆரமும் θ கோணத் தில் திருப்பப்பட்டிருக்கும். ஆனால் இடப்பெயர்ச்சி அச்சில் சுழி யாகவும், அச்சிலிருந்து உள்ள தொலைவு x அதிகரிக்க, அதிகரிக்க, அதிகரிப்பதாலும், வெளி விளிம்பில் பெருமமாகவும் இருக்கும்.

உருளையின் மேல் பரப்பில் அச்சிற் கிணையாக AB எனும் கோட்டை வரை உருளை முறுக்கப்பட்ட பின்னர் B, B'க்கு இடம் பெயர்ந்து விடுவதால், AB, AB' எனும் நிலைக்குத் திருப்பப்படும். முறுக்கப்படுவதற்கு முன் உருளையை AB கோட்டில் கிழித்துப் பிரித்துவைத்தால் **ABCD** எனும் செவ்வகப் படலம் கிடைக்கும். ஆனல் முறுக்கப்பட்ட பின்னர் AB'C'D எனும் இணைகரப் படலம்

கிடைக்கிறது. இந்த உள்ளீடற்ற உருளையில் ஏற்பட்ட சறுக்கக் கோணம் = $BAB' = \phi$ என்க.

$$\text{இப்போது } BB' = l\phi = x\theta$$

$$\therefore \quad \phi = x\theta/l$$

x ன் மதிப்புப் பெருமமாயிருக்கையில் $\phi$ யின் மதிப்பும் பெருமமா யிருக்கும். அதாவது பெருமத்திரிபு உருளையின் வெளிப்புறத்தில் ஏற்படுகிறது. மையத்தில் திரிபு சிறுமமா யிருக்கும். ஆகவே உருளைக்குள் திரிபு சீராக இருப்பதில்லை என்பது புலப்படும்.

வெவ்வேறு உள்ளீடற்ற உருளைகளின் சறுக்கக் கோணங்கள் வெவ்வேறாக உள்ளன. அச்சின் அண்மையில் சிறும மதிப்பி லிருந்து வெளிநோக்கிச் செல்லச் செல்ல உருளைகளின் சறுக்கக் கோணம் அதிகரிக்கிறது. மேற்பரப்பிலுள்ள உருளையின் சறுக்கக் கோணம் பெரும மதிப்புள்ளது.

$$n = \frac{\text{சறுக்க விசைத்தகைவு}}{\text{திரிபு அல்லது சறுக்கக்கோணம்}} = \frac{F}{\phi} \text{ ஆதலால்}$$

$$F = n\,\phi = \frac{nx\theta}{l}$$

உள்ளீடற்ற உருளையின் குறுக்குப் பரப்பு $= 2\pi x\, xd$. எனவே அப் பரப்பில் செயல்படும் மொத்த சறுக்க விசை

$$= F \times 2\pi x\, dx = \frac{nx\theta}{l} \times 2\pi x dx$$

$$= 2\pi\, n.\, \frac{\theta}{l} x^2\, dx$$

$00'$ அச்சைப் பொறுத்து இவ்விசையின் சுழற்சி விளைவு

$$= \frac{2\pi n\, \theta x^2\, dx}{l} \times x = \frac{2\pi n\, \theta x^3\, dx}{l}$$

இதை $x = 0$, $x = r$ எனும் வரம்புகளுக் கிடையில் தொகைப் படுத்தினால், உருளையின் மேல் செயல்படும் மொத்த முறுக்க விசை யிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு

$$\int_0^r 2\pi\, n\, \frac{\theta}{l} x^3\, dx = \frac{2\pi\, n\, \theta}{l} \int_0^r x^3\, dx$$

$$= \frac{2\pi\, n\, \theta}{l} \left[\frac{x^4}{4}\right]_0^r = \frac{2\pi\, n\, \theta\, r^4}{4l} = \frac{\pi\, n\, \theta\, r^4}{2l}$$

$\theta = 1$ ரேடியன் எனில் உருளையில் அலகு முறுக்கத்திற்கான விசையிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு $c = \dfrac{\pi n r^4}{2l}$.

கம்பியின் அலகு முறுக்கத்திற்கான விசை யிரட்டையின் இந்தச் சுழற்சி விளைவு முறுக்க விறைப்பு (Torsional Rigidity) எனப்படும்.

$l$ நீளமும், முறையே $r_1$ $r_2$ ஆகிய உள், வெளி ஆரங்களும் உள்ள ஒரு உள்ளீடற்ற உருளை $\theta$ கோணத்தில் முறுக்கப்படும் போது முறுக்க விசை யிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு

$$= \int_{r_1}^{r^2} 2\pi n \frac{\theta}{l} x^3 \, dx = \frac{n\pi\theta}{2l}(r_2^4 - r_1^4)$$

∴ அலகு முறுக்கத்திற்கான முறுக்க விசையிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு $= \dfrac{n\pi}{2l}(r_2^4 - r_1^4) = C^1$ என்க.

இரு முறுக்க விசைகளையும் ஒப்பிட்டால் $\dfrac{C^1}{C} = \dfrac{r_2^4 - r_1^4}{r_2^4}$

$$= \frac{(r_2^2 - r_1^2)(r_2^2 + r_1^2)}{r^4} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \text{I}$$

இரு உருளைகளின் நிறை (m)யும், அடர்த்தி (P)யும் சமமாயிருந்தால், $m = \pi(r_2^2 - r_1^2)\, lP = \pi r^2\, lP$

எனவே $(r_2^2 - r_1^2) = r^2$

$$\therefore \quad \frac{C^1}{C} = \frac{r^2(r_2^2 + r_1^2)}{r^4} = \frac{(r_2^2 + r_1^2)}{r^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(\text{II})$$

இப்போது $r_2^2 - r_1^2 = r^2$ ஆனதால் $r_2^2 = r^2 + r_1^2$

அல்லது $r_2^2 + r_1^2 = (r^2 + r_1^2) + r_1^2$

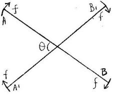
எனவே $r_2^2 + r_1^2 > r^2 + r_1^2 > r^2$

அல்லது $\dfrac{r_2^2 + r_1^2}{r^2} > 1$;

அதாவது $\dfrac{C^1}{C} > 1$ அல்லது $C^1 > C$.

இதிலிருந்து உள்ளீடற்ற உருளைக்கான அலகு முறுக்க விசையிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு, அதே நீளமும் அதே நிறையும், அதே அடர்த்தியுமுள்ள அதே பொருளான திண்மையான உருளைக்கானதைவிட அதே பரிமாணமுள்ள உள்ளீடற்ற உருளை உறுதியானது என விளங்கும்.

**முறுக்கத்தின்போது நிகழும் செயல் :** ஒரு கம்பியால் செயல் திசைகள் ஒன்று சேராதபடி நீளத்திற்கு நேர்குத்தாகச் செயல்படும் இரு சமமான எதிரிணை விசைகள் முறுக்க விசையிரட்டை எனப்படுகின்றன. அவை ஒவ்வொன்றும் f-க்குச் சமமாயும் அவற்றின் செயல் திசைகளுக்கிடையிலுள்ள நேர்குத்துத் தூரம் $l$ ஆகவும் இருந்தால் அவ் விசையிரட்டையின் சுழற்சி $= f \times l$.




படம் 42.

A, B எனும் இரு புள்ளிகளில் செயல்படும் f எனும் விசைகளின் ஒரு இரட்டையைக் கவனிப்போம். அவற்றினிடையே உள்ள நேர்குத்துத் தொலைவு AB. விசையிரட்டையை அதனுடைய தளத்திலேயே $d\theta$ எனும் மிகச் சிறிய கோணத்தில் திருப்பி $A_1$, $B_1$ என்ற நிலைக்குச் சென்றால், விசைக்கு எதிரான திசையில் $A A_1$ க்கும், $B B_1$ க்கும் இடம் பெயர்கின்றன.

செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை $W = f A A_1 + f B B_1$

$A A_1 = B B_1 = \frac{l d\theta}{2}$ ஆதலால் செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை

$W = f\, l\, d\theta = c d\theta$ (இங்கு c என்பது விசையிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு)

$\because$ W = விசையிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு $\times$ விசையிரட்டை அதன் தளத்திலேயே திருப்பப்பட்ட கோணம்

ஒரு முறுக்கு விசையிரட்டையை எடுத்துக்கொண்டோமானால் அதன் சுழற்சி விளைவு மாறிலியாயிருப்பதில்லை. ஆயினும் $d\theta$

எனும் மிகச் சிறிய சுழற்சியின் போது, அதன் சுழற்சி விளைவு மாறிலி என வைத்துக்கொண்டால்,

$d\theta$ எனும் சிறிய முறுக்கத்தின்போது செய்யப்பட்ட வேலை $= c\theta$

∴ ஒரு விசையிரட்டை, கம்பியில் $\theta$ எனும் மொத்த முறுக்கத்தை ஏற்படுத்தும்போது நிகழும் வேலை

$$= \int c\, d\theta = \int C\theta\, d\theta = \tfrac{1}{2} C\theta^2$$

இங்கு C என்பது அலகு முறுக்கத்திற்கான விசையிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு.

மீட்சி வரம்பிற்குட்பட்டு c க்கும் முறுக்கத்திற்குமிடையில் ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் ஒரு நேர்கோடு கிடைக்கும்.

$\theta$ எனும் இறுதி முறுக்கத்தை c எனும் விசையிரட்டைச் சுழற்சி விளைவு உண்டாக்குகையில் செய்யப்படும் வேலை $= \tfrac{1}{2} c\theta$

அலகு முறுக்கத்திற்கான விசையிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு $\zeta$ எனில், $c = \zeta\theta$

$$\therefore \text{ செய்யப்பட்ட செயல் } = \tfrac{1}{2} \zeta\theta^2$$

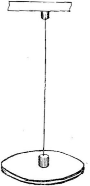
3.15. முறுக்க ஊசல் (Torsional Pendulum): ஒரு கம்பியின் ஒரு முனையை ஒரு உறுதியான தாங்கியில் பொருத்தி மறுமுனையில் ஒரு நிறைமிக்க உருளைக்கோல் அல்லது தட்டை மையமாக இணைத்துத் தொங்கவிடப்பட்ட அமைப்பு முறுக்கு ஊசல் எனப்படும். கோலை அல்லது தட்டைக் கிடைத்தளத்தில் திருப்பிக் கம்பியில் முறுக்கம் ஏற்படுத்தி விட்டுவிட்டால் கோல் அல்லது தட்டுக் கம்பியை அச்சாகக்கொண்டு முறுக்க அலைவுகள் (Torsional Oscillations) செய்கிறது.

கம்பி $\theta$ கோணத்தில் முறுக்கப்படும்போது அதில் உருவாகும் மீட்டு வரும் விசை $\frac{\pi n r^4 \theta}{2l} = \zeta\,\theta$. இதில் $\frac{\pi n r^4}{2l} - \zeta$

அலகு முறுக்கத்திற்கான விசையிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு ஆகும்.

இவ் விசையால் கோலில் அல்லது தட்டில் $\frac{d\omega}{dt}$ எனும் கோணச் சுழல் முடுக்கம் (Angular Acceleration) தோன்றுகிறது ($\omega$ – சுழல் திசை வேகம் எனப்படும்).

கம்பியின் அச்சைச் சுற்றிக் கோலின் அல்லது தகட்டின் சடத்துவத் திருப்புத் திறன் (Moment of Inertia) I எனில்



படம் 43

$$I \frac{d\omega}{dt} = -\zeta\,\theta$$

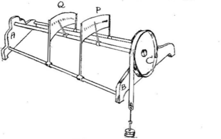
அல்லது $\frac{d\omega}{dt} = -\left(\frac{\zeta}{I}\right)\theta$

அதாவது கோலின் அல்லது தகட்டின் சுழல் முடுக்கம் $\frac{d\omega}{dt}$ அதன் கோண இடப்பெயர்ச்சி (θ) க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது. எனவே அதன் இயக்கம் தனி இசை இயக்கமா(SHM)கும். அதன் அலைவு நேரம்

$$t = 2\pi\sqrt{\frac{1}{C/I}} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{C}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{\text{தட்டு அல்லது கோலின் சுழல் மையத்தைப் பொறுத்த சடத்துவத் திருப்புத் திறன்}}{\text{அலகு முறுக்கத்திற்கான மீட்டு வரும் விசையிரட்டை}}}$$

3.16. ஒரு கம்பியின் விறைப்புக் குணகத்தைக் கண்டுபிடித்தல்:




படம் 44.

**நிலை முறுக்க முறைகள் (Static Torsion Methods):** இம் முறைகளில் ஒரு கம்பியில் செலுத்தப்படும் முறுக்க விசையிரட்டைக்கான கோவை நேரடியாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இப்போது ஒரு தண்டு, ஒரு கம்பி வடிவிலுள்ள பொருள்களின் விறைப்புக் குணகத்தைக் கண்டு பிடிக்கும் இரு கருவிகளைப் பற்றிக் கவனிப்போம்.

**சியர்களின் நிலை முறுக்கக் கருவி (Searle's Static Torsion Apparatus):** இக் கருவியில் நேரடியாக அளக்கப்படக்கூடிய ஒரு விசையிரட்டை ஒரு தடித்த கம்பி அல்லது தண்டின்மேல் செலுத்தப்படுகிறது. அதன் சுழற்று விளைவான $\frac{\pi n r^4 \theta}{2l}$ க்குச் சமமானதால் இரண்டையும் சமன்படுத்தி n-ன் மதிப்புக் கணக்கிடப்படும்.

கருவியின் அமைப்புப் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. சுமார் 50 செ.மீ., நீளமும், 0·25 செ.மீ., ஆரமுள்ள ஒரு கம்பியின் ஒரு முனை ஒரு உலோகச் சட்டத்தில் (AB) உறுதியாகப் பிணைக்கப் பட்டுள்ளது.

கம்பியின் விளிம்பில் ஒரு நாடாவின் ஒரு முனையைப் பதிய வைத்து, நாடாவைக் கப்பியின் மேல் ஒரு முறை சுற்றிவிட்டு அதன் மறுமுனையில் ஒரு எடைக் கொக்கி கட்டிவிடப்பட்டு, கப்பி தனது அச்சைச் சுற்றிச் சுழற்றப்படுகிறது.

P, Q எனும் இரு குறிமுட்கள் $l$ இடைவெளியில் தண்டின்மேல் நேர்குத்தாக வைக்கப்பட்டுள்ளன. அவற்றின் முனைகள் $S_1$ $S_2$ எனும் இருவட்டமான, ரேடியன்களில் அளவு கோல்களின் முனை இயங்குகின்றன. இவற்றின் உதவியுடன் முட்கள் பற்ற வைக்கப் பட்ட புள்ளிகளில் ஏற்படும் முறுக்கத்தை நேரடியாக அளந்து விடலாம்.

தண்டின் விட்டத்தை வெவ்வேறு இடங்களில் துல்லியமாக அளந்துகொண்டு அதன் சராசரி விட்டத்தைக் கண்டுபிடி. நாடாவின் முனையில் உள்ள எடைக் கொக்கியில் சம நிறையுள்ள எடைகளைப் படிப்படியாகச் சேர்த்தும் படிப்படியாக எடுத்தும் சில முறைகள் செய்து தண்டை மீட்சிப் பாங்கிற்குக் கொண்டு வா. கப்பி வலம்புரியாகச் சுழலும் வகையில் நாடாவினை மாட்டி எடைக் கொக்கியில் ஒரு எடையைச் சேர்த்துக் குறிமுட்கள் காட்டும் துவக்க அளவீடுகளைக் குறித்துக்கொள். பின்னர் கொக்கியினில் 200 கிராம் எடையைச் சேர்த்திட்டு மீண்டும் குறிமுட்கள்

காட்டுகின்ற அளவீடுகளைக் குறித்துக்கொள். இவற்றிலிருந்து துவக்க அளவீடுகளைக் கழித்திட்டால் குறிமுட்கள் இணைக்கப்பட்ட புள்ளிகளில் 200 கிராம் எடையினால் ஏற்படுத்தப்பட்ட முறுக்கங்கள் $\theta_1$, $\theta_2$ கிடைக்கும். $(\theta_1 - \theta_2)$ என்பது குறிமுட்களுக்கிடையிலுள்ள $l$ நீளக் கம்பியிலேற்படும் முறுக்கம் $(\theta)$ ஆகும். சுமையைப் படிப்படியாக 200 கிராம்களாக அதிகரித்துப் பின்னர் அதே அளவில் படிப்படியாகக் குறைத்து ஒவ்வொரு சுமைக்கும் குறிமுட்கள் காட்டும் அளவீடுகளைக் குறித்துக்கொள். பின்னர் கப்பி இடம் புரியாகச் சுழலும் வகையில் நாடாவை மாட்டி மேற்கண்ட முறையிலேயே சோதனையைத் திரும்பச் செய்.

குறிமுட்களுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு $l$, கம்பியின் ஆரம் $r$, கப்பியின் ஆரம் $R$. $M$ கிராம் நிறைக்கான சராசரி முறுக்கம் $\theta$ எனில், கம்பியில் நிறையினால் செலுத்தப்படும் விசையிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு $= Mg\,R$

$$\text{முறுக்க விசையிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு} = \frac{\pi n r^4 \theta}{2l}$$

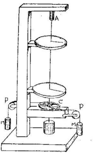
$$\text{தண்டு சம நிலையிலிருக்கையில் } Mg\,R = \frac{\pi n r^4 \theta}{2l}$$

இரு குறிமுட்களை உபயோகிப்பதால், கம்பிகளின் முனைகளில், பிடிப்புகள் நழுவுதாலேற்படும் பிழைகள் விலக்கப்படுகின்றன. அளவு கோலின் வளைவு மையம் தண்டின் அச்சில் அமையாமலிருக்கக்கூடும். அதனால் ஒரு பிழை தோற்றுவிக்கப்படும்.

தண்டின் முனையில் உள்ள கம்பியில் ஒரே ஒரு விசை செலுத்தப்படுவதால், ஒரு பக்கவாட்டு அழுத்தம் தோன்றுகிறது. அதனால் தண்டு பிடிப்புகளில் அழுத்தப்பட்டு, அதன் இயக்கம் தடங்கலடைகிறது. இவை இக் கருவியிலுள்ள குறைகளாகும்.

பார்டனின் கம்பிகளுக்கான நிலைமுறுக்கக் கருவி : இக் கருவியில் நேரடியாக அளக்கப்படக்கூடிய ஒரு விசையிரட்டை செங்குத்தாய்த் தொங்கவிடப்பட்ட கம்பியின் கீழ் முனைகளில் செலுத்தப்பட்டு, அதிலேற்படும் முறுக்கம் அளக்கப்படுகிறது. இந்த இரட்டை விசையை $\frac{\pi n r^4 \theta}{2l}$ எனும் கோவையுடன் சமன்படுத்தி $n$-ன் மதிப்பைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

W எனும் சோதனைக் கம்பியின் மேல்முனை H எனும் பிடிப்பில் பிணைக்கப்பட்டுள்ளது. அதன் கீழ்முனையிலிருந்து ஒரு நிறை மிக்க உருளை C தொங்க விடப்பட்டுள்ளது.



படம் 45.

இரு நூல்களை உருளையில் படத்தில் காட்டியபடி சுற்றி, அவற்றின் மறுமுனைகளைக் கப்பிகளில் மாட்டி அவற்றிலிருந்து M,M எனும் சமமான எடைகளைத் தொங்கவிடு. இந்த எடைகளால் தோற்றுவிக்கப்படும் விசை யிரட்டைக் கம்பியை அச்சாகக் கொண்டு உருளையைச் சுழற்றிக் கம்பியை θ ரேடியன்கள் முறுக்குவதாகக் கொள்வோம். இந்த முறுக்கத்தை நேரடியாக அளப்பதற்கு ஒரு கிடையான, வட்ட அளவுகோலின் மேல் நகரும்படியாக ஒரு குறிமுள் கம்பியில் பற்ற வைக்கப்பட்டுள்ளது. அல்லது கம்பியில் ஒரு கண்ணுடித் துண்டைப் பதித்து விளக்கு-அளவுகோல் முறையிலோ அளவுகோல்-தொலை நோக்கி முறையிலோ இன்னும் துல்லியமாக இந்த முறுக்கத்தை அளக்கலாம்.

நூல்களின் முனைகளில் தொங்க விடப்பட்டுள்ள இரு எடைக் கொக்கிகளிலும் சமமான எடைக் கற்களை ஒவ்வொன்றாகச் சேர்த்தும், பின்னர் ஒவ்வொன்றாகக் குறைத்தும் கம்பியை மீட்சிப் பாங்கிற்குக் கொண்டுவா. பின்னர் இரு சமமான எடைக் கற்களைக் கொக்கிகளில் சேர்த்துக் குறிமுள் காட்டும் துவக்க அளவீட்டைக் குறித்துக்கொள். பின்னர் எடைக்கொக்கிகளில் சம அளவுள்ள எடைக் கற்களைப் படிப்படியாகச் சேர்த்தும், பின்னர் அதே அளவில் படிப்படியாகக் குறைத்தும் ஒவ்வொரு எடைக்கும் குறிமுள் காட்டும் அளவீட்டைக் குறித்துக்கொள்.

M எனும் நிறை கம்பியில் ஏற்படுத்தும் சராசரி முறுக்கம் (θ) என்போம். உருளையின் விட்டம் d எனில் கம்பியில் செலுத்தப் படும் விசையிரட்டை = Mgd.

θ ரேடியன்கள் முறுக்கத்திற்குக் கம்பியில் ஏற்படும் முறுக்க விசையிரட்டை $= \frac{\pi n \, r^4 \theta}{2l}$

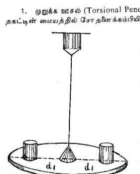
இதில் r, கம்பியின் ஆரம், $l$ அதன் நீளம், n அதன் விறைப்புக் குணகம் ஆகும்.

$$\text{கம்பி சம நிலையிலிருக்கையில் } Mg\,d = \frac{\pi n r^4 \theta}{2l}$$

இதிலிருந்து n கணக்கிடப்படும் சியர்ஸ் முறையில் காணப் பட்ட இரு பிழைத் தோற்றுவாய்களும் இம்முறையில் நீக்கப்பட் டுள்ளன.

### 3.17 இயக்க முறைகள் (Dynamical Methods)

1. முறுக்க ஊசல் (Torsional Pendulum) ஒரு சீரான வட்டத் தகட்டின் மையத்தில் சோதனைக்கம்பியின் ஒரு முனையை இறுகப் பற்ற வைத்துவிட்டு, மறு முனையை ஒரு உறுதியான தாங்கியில் பிணைத்துக் கம்பி யைச் செங்குத்தாகத் தொங்கவிடு. கம்பியின் வழி யாகச் செல்லும்படி ஒரு கோட்டைத் தகட்டின்மேல் வரை. ஒரே மாதிரியான சம எடை (m) யுள்ள இரு உருளை களைக் கம்பியிலிருந்து d, தொலைவில் இரு புறங்களி லும் சமச்சீராக வை. தட் டைச் சற்று சுழற்றி விட்டு விட்டால் அது முறுக்க அலைவு செய்யத் துவங்கும். அதன் அலைவு நேரத்தை ($T_1$)க் கண்டுபிடி. உருளை களைக் கம்பிக்கு அருகில்




படம் 46.

நகர்த்தி $d_2$ தொலைவில் வைத்து மீண்டும் அலைவு நேரத்தை ($T_2$)க் கண்டுபிடி. கம்பியின் ஆரம், நீளம் ஆகியவற்றை அளந்துகொள். தட்டின் சடத்துவத் திருப்புத்திறன் கம்பியின் அச்சைப் பொறுத்து $I_0$, உருளைகளின் திருப்புத்திறன் அவற்றின் அச்சைப் பொறுத்து $i_0$ எனில் முதலில் இத்தொகுப்பின் கம்பியின் அச்சைப் பொறுத்த மொத்த சடத்துவத் திருப்புத்திறன்

$$I = I_0 + 2\,i_0 + 2\,m\,d_1^2$$

(∵ இணை அச்சுத் தேற்றத்தின்படி கம்பியின் அச்சைப் பொறுத்து உருளையின் சடத்துவத் திருப்புத்திறன் $= I_0 + m\, d_1^2$)

எனவே $T_1^2 = \dfrac{4\pi^2}{\zeta}\ (I_0 + 2\, I_0 + 2\, m\, d_1^2)$ ........................(1)

$$T_2^2 = \frac{4\pi^2}{\zeta}\ (I_0 + 2\, I_0 + 2\, m\, d_2^2) \quad \text{.....................(2)}$$

(1) லிருந்து (2)ஐக் கழித்தால்

$$(T_1^2 - T_2^2) = \frac{4\pi^2}{\zeta}\, 2\, m\, (d_1^2 - d_2^2) \quad \text{.....................(3)}$$

$$= \frac{8\pi l}{n r^4}\, 2\, m\, (d_1^2 - d_2^2) \quad \left[\because\ \zeta = \frac{\pi n r^4}{2l}\right]$$

$$\therefore\ n = \frac{16\pi l\, (d_1^2 - d_2^2) m}{(T_1^2 - T_2^2) r^4}$$

கம்பியின் நீளத்தை மாற்றிச் சோதனையைத் திரும்பச் செய்.

இச் சோதனையிலிருந்து தொங்குகின்ற பொருளின், கம்பியின் அச்சைப் பொறுத்த சடத்துவத் திருப்புத்திறனையும் கண்டுபிடிக்கலாம். அதற்கு இரு உருளைகளையும் எடுத்துவிட்டுத் தட்டை மட்டும் முறுக்க அலைவு செய்யவிடு. அதன் அலைவு நேரம் T என்போம்.

இப்போது $(T_1^2 - T_2^2) = \dfrac{4\pi^2}{\zeta}\, 2\, m\, (d_1^2 - d_2^2)$ ....................(4)

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{\zeta}\, I_0 \quad \text{.....................(5)}$$

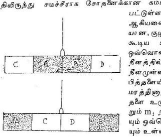
(5)ஐ (4) ஆல் வகுக்க, $\dfrac{T^2}{T_1^2 - T_2^2} = \dfrac{I_0}{2\, m\, (d_1^2 - d_2^2)}$

எனவே $I_0 = \dfrac{2\, m\, (d_1^2 - d_2^2)\, T^2}{(T_1^2 - T_2^2)}$

**மாக்ஸ்வெல் ஊசிமுறை (Maxwell's needle methed) :** குறுக்க அலைவுகளின் மூலம் கம்பியின் விறைப்புக் குணகத்தைக் கண்டு பிடிக்கும்போது, அலைவு செய்கின்ற பொருள் ஒரு படித்தான

சீரான இயல்புள்ளது என வைத்துக்கொண்டு அதன் சடத்துவத் திருப்புத்திறன் கணக்கிடப்பட்டது. இவ்வாறான கற்பிதங்கள் எதுவுமில்லாத, பிழையேற்படும் வாய்ப்புகளற்ற ஓர் முறையை மாக்ஸ்வெல் உருவாக்கியுள்ளார்.

ஒரு உள்ளீடற்ற பித்தளைக்குழாய் அதன் புவியீர்ப்பு மையத்திலிருந்து சமச்சீராக சோதனைக்கான கம்பியில் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. A, B, C, D, ஆகியவை நான்கு திண்மையான, குழாய்க்குள் பொருந்தக்கூடிய உருளைகள். அவை ஒவ்வொன்றும் குழாயின் நீளத்தில் நாலிலொரு பங்கு நீளமுள்ளவை. Aயும் Bயும் பித்தளையினாலும், Cயும் Dயும் மரத்தினாலும் ஆனவை. பித்தளை உருளைகள் ஒவ்வொன்றும் $m_1$ நிறையும் மர உருளையும் ஒவ்வொன்றும் $m_2$ நிறையும் உள்ளவை.



படம் 47.

முதலில் பித்தளை உருளைகள் குழாயின் நடுவிலும் மர உருளைகள் முனைகளிலும் இருக்குமாறு அவற்றைக் குழாய்க்குள் சொருகு. கம்பியிலிருந்து பித்தளை உருளைகளின் மையங்கள் $d_1$ தொலைவிலும், மரஉருளைகளின் மையங்கள் $d_2$ தொலைவிலும் இருக்கட்டும். A, B, C, D ஆகிய உருளைகளின் புவியீர்ப்பு மையங்கள் அவற்றின் வடிவமையங்களிலிருந்து முறையே a, b, c, d ஆகிய தொலைவுகளிலிருக்கட்டும். கம்பியின் அச்சைப் பொறுத்துப் பித்தளைக் குழாயின் சடத்துவத்திருப்புத்திறன் $I_0$ என்க.

$I_a$, $I_b$, $I_c$, $I_d$ ஆகியவை முறையே A, B, C, D எனும் உருளைகளின் புவியீர்ப்பு மையங்களின் வழியாகக் கம்பிக்கு இணையாகச் செல்லும் அச்சுகளைப் பொறுத்து உருளைகளின் சடத்துவத் திருப்புத்திறன்கள் என்க. கம்பியின் நீளம் $l$, ஆரம் r, விறைப்புக்குணகம் n எனில் அதில் தோன்றும் அலகு முறுக்கத்திற்கான மீட்டுவரும் விசையிரட்டையின் சுழற்சிவிளைவு $= \frac{1}{2l} \pi n r^4$. இதை R எனும் எழுத்தால் குறிப்போம்.

இப்போது குழாய் முறுக்க அலைவு செய்கையில் அதன் அலைவு நேரம் $T_1$ எனில்

$$\frac{k}{4\pi 2} T_1^2 = I_o + I_a + I_b + I_c + I_d + m_1 (d_1 + a)^2 + m_1 (d_1 + b)^2 + m_2 (d_2 + c)^2 + m_2 (d_2 + d)^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

உருளைகளை, அவற்றின் இடங்களை மாற்றாமல், முனைக்கு முனை மட்டும் திருப்பி வைத்துவிட்டு மீண்டும் அலைவு நேரத் $(T_2)$ தைக் கண்டுபிடி.

இப்போது $$\frac{k}{4\pi^2} T_2^2 = I_o + I_a + I_b + I_c + I_d + m_1 (d_1 - a)^2 + m_1 (d_1 - b)^2 + m_2 (d_2 - c)^2 + m_2 (d_2 - d)^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

(1) ஐயும் (2) ஐயும் கூட்டி இரண்டால் வகுக்க,

$$\frac{k}{4\pi^2}\left(\frac{T_1^2 + T_2^2}{2}\right) = I_o + I_a + I_b + I_c + I_d + m_1 (d_1^2 + a^2) + m_1 (d_1^2 + b^2) + m_2 (d_2^2 + c^2) + m_2 (d_2^2 + d^2) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

இப்போது மர உருளைகளைக் குழாயின் நடுவிலும் பித்தளை உருளைகளை முனைகளிலும் வைத்துச் சொருகி அலைவு நேர $((T_3)$த் தைக் கண்டுபிடி.

$$\frac{k}{4\pi^2} T_3^2 = I_o + I_a + I_b + I_c + I_d + m_1 (d^2 + a)^2 + m_1 (d^2 + b)^2 + m_2 (d_1 + c)^2 + m_2 (d^1 + d)^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

மீண்டும் உருளைகளின் இடங்களை மாற்றாமல், அவற்றை முனைக்கு முனை மட்டும் திருப்பி வைத்து அலைவு நேர$(T_4)$த்தைக் கண்டுபிடி.

$$\frac{k}{4\pi^2} T_4^2 = I_o + I_a + I_b + I_c + I_d + m_1 (d_2 - a)^2 + m_1 (d_2 - b)^2 + m_2 (d^1 - c)^2 + m_2 (d^1 - d)^2 \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

(4) ஐயும் (5) ஐயும் கூட்டி இரண்டால் வகுத்தால்

$$\frac{k}{4\pi^2}\left(\frac{T_3^2 + T_4^2}{2}\right) = I_0 + I_a + + I_b + I_c + I_d$$

$$+ m^1 (d_2^2 + a^2) + m^1 (d_2^2 + b^2) + m_2 (d_1^2 + c^2) + m_2 (d_1^2 + d^2) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(6)$$

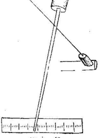
(6) லிருந்து (3) ஐக் கழித்தால்,

$$\frac{k}{4\pi^2}\left[\frac{T_3^2 + T_4^2}{2} - \frac{T^2 + T_2^2}{2}\right] = 2\, m_1 (d_2^2 - d_1^2) - 2\, m_2 (d_2^2 - d_1^2)$$

$$= 2\,(m_1 - m_2)(d_2^2 - d_1^2) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots(7)$$

$d_1$ என்பது ஒரு உருளையின் நீளத்தில் பாதி; $d_2$ என்பது ஒரு உருளையின் நீளத்தில் $\frac{3}{2}$ பங்கு. இவற்றைத் துல்லியமாக அளந்து கொள்ளமுடியும். (7)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து R-ன் மதிப்பையும் அதிலிருந்து n மதிப்பையும் கணக்கிடலாம். இம் முறையில் கம்பியில் தொங்கவிடப்படும் மொத்த எடை மாறுததால் Cயின் மதிப்புப் பாதிக்கப்படுவதில்லை. மேலும் உருளைகளின் சடத்துவத்திறனைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டியதில்லை.

3.18 முறுக்கத் தராசு (Torsion Balance) இரு முனைகளிலும் பொருத்தப்பட்டு நடுவில் ஒரு விசையிரட்டை செலுத்தப்படக் கூடியதாக அல்லது ஒரு முனையில் பொருத்தப்பட்டு மறு முனையில் ஒரு விசையிரட்டை செலுத்தப் படக்கூடியதாக அமைக்கப்பட்ட கம்பி முறுக்கத்தராசு எனப்படும். அதில் முறுக்கத்தை அளப்பதற்காக ஒரு. அளவுகோலின்முன் நகரும்படியாக ஒரு குறிமுள் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். கம்பியில் $C_1$ எனும் விசையிரட்டை $\theta_1$ என்ற முறுக்கத்தையும், $C_2$ எனும் மற்றொரு விசையிரட்டை $\theta_2$ என்ற முறுக்கத்தையும் தோற்றுவிக்குமாயின், $\frac{C_1}{C_2} = \frac{\theta_1}{\theta_2}$



படம். 48

அதாவது முறுக்கங்களின் தகவு, விசையிரட்டைகளின் தகவிற்குச் சமமாயிருக்கும். சாதாரணத் தராசு எடைகளை ஒப்பிடப் பயன்படுவதுபோல முறுக்கத் தராசு விசையிரட்டைகளை ஒப்பிடப் பயன்படுகிறது.

ஒரு விசையிரட்டை, ஒரு கம்பியில் ஒரு குறிப்பிட்ட முறுக்கத்தையும், இன்னொரு கம்பியில் அதைவிட அதிகமான முறுக்கத்தையும் உண்டாக்குமானால், இரண்டாவது கம்பியைப் பயன்படுத்தும் முறுக்கத்தராசு முதலாவதைவிட அதிகமான உணர்வு நுட்பமுள்ளதாயிருக்கும். எனவே முறுக்கத்தராசின் உணர்வு நுட்பம் விசையிரட்டை மாருதபோது முறுக்கத்திற்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது என்பது விளங்கும்.

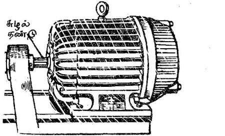
ஒரு கம்பியில் θ முறுக்கத்தை ஏற்படுத்துகின்ற விசையிரட்டையைவிட இன்னொரு கம்பியில் அதே முறுக்கத்தை இன்னும் சிறிய விசையிரட்டை ஒன்று உருவாக்குமானால், இரண்டாவது கம்பியைப் பயன்படுத்தும் முறுக்கத் தராசு அதிகமான உணர்வு நுட்பமுள்ளதாக இருக்கும். எனவே முறுக்கம் மாருதபோது, உணர்வு நுட்பம் விசையிரட்டைக்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலிருக்கிறது என்பது விளங்கும்.

அதாவது ஒரு முறுக்கத் தராசின் உணர்வு நுட்பம் $\frac{\theta}{c}$ அதாவது $\frac{2l}{\pi n r^4}$ க்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். இதில் $l$ என்பது கம்பியின் நீளத்தையும், r அதன் ஆரத்தையும், n அதன் விறைப்புக் குணகத்தையும் குறிப்பிடுகின்றன.

$$\text{அதாவது உணர்வு நுட்பம்} \propto \frac{\theta}{c} = \frac{2l}{\pi n r^4} \left( \because c = \frac{\pi n r^4 \theta}{2l} \right)$$

ஆகவே முறுக்கத் தராசில் பயன்படுத்த நல்ல நீளமும் சிறிய ஆரமும், குறைந்த விறைப்புக் குணகமும் உள்ள கம்பிகள் சிறந்தவையாகும்.

3.19. எந்திரச் சுழல் தண்டுகள் (Shafts): எந்திரங்களில் தோன்றும் விசையிரட்டையை மற்ரேர் புள்ளிக்கு மாற்றுவதற்காக பேரிங்குகளில் பொருத்தப்பட்ட எந்திரத் தண்டுகள் பயன் படுகின்றன. ஒரு சிறந்த சுழல்தண்டு தனது ஒரு முனையில் செலுத்தப்படும் விசையிரட்டையை, அதனுல்தான் எந்த விதத்திலும் பாதிக்கப்படாமல், தானே முறுக்கிக் கொண்டுவிடாமல் மறுமுனைக்கு மாறுதல் ஏதுமின்றி மாற்றவேண்டும். மிகப் பெரிய

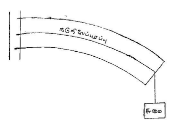



படம் 49.

விசையிரட்டைகள் செயல்படும்போதுகூட, இணைப்புத் தண்டில் ஏற்படும் முறுக்கம் மிக மிக அற்பமானதாயிருக்க வேண்டும். எனவே ஒரு இணைப்புத் தண்டின் செயல் திறமை $\frac{c}{\theta'} = \frac{\pi n r^4}{2l}$ க்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கவேண்டும். அதாவது தடித்தவையும் நீளம் குறைந்தவையும் உயர்ந்த விறைப்புக்குணகம் உள்ளவையுமான தண்டுகளே இணைப்புத் தண்டுகளாகச் செயல்பட ஏற்றவை.

3.20. சட்டங்கள் வளைதல் (Bending of Beams): சட்டம் என்பது ஒரு வட்டமான அல்லது செவ்வகமான சீரான குறுக்குப் பரப்புள்ளதும் ஒரு படித்தானதும் திசையொத்த பண்புள்ளதும் மீள் திறனுள்ளதுமான தடித்த கோல் ஆகும். அதன் நீளத்தோடு ஒப்பிடுகையில் அதன் தடிமன் சிறியதாயிருக்கும். எனவே அது வளைக்கப்படும்போது அதன் குறுக்குப் பரப்புகளில் ஏற்படும் சறுக்கத் தகைவுகள் மிக மிக அற்பமானவை. இத்தகைய ஒரு முனையை இறுகப் பொறுத்திவிட்டு மற்ற முனையில் மீட்சி எல்லைக்குட்பட்ட சுமையை ஏற்றினால் சுமை ஏற்பட்ட முனை கீழே தாழ்கிறது. பொருத்தப்பட்ட முனையில் ஓர் எதிர் விசை தோன்றுகிறது. ஒரு விசையிரட்டையின் தாக்குதலுக்குட்பட்ட சட்டம் வளைகிறது.

படத்தில் இவ்வாறு வளைந்த ஒரு சட்டத்தின் பக்கவாட்டுத் தோற்றம் காட்டப்பட்டுள்ளது. கோல் விசையிரட்டையின் தளத்திலேயே வளைந்துள்ளது. சட்டத்தின் மேல் பரப்பு



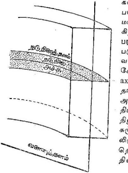

படம் 50.

நீட்சியடைந்து குவிந்த (Convex) உருவையும், கீழ்ப் பரப்பு சுருக்க மடைந்து குழிந்த (Concave) உருவையும் பெற்றுள்ளன. கோல் வளைந்துள்ள தளம் வளைவுத் தளம் (Plane of Bending) எனப்படும். இங்கு வளைவுத் தளம் படத்தின் தளத்தோடு பொருந்துகிறது.

இவ்வாறான நீட்சியும் சுருக்கமும் முறையே மேல்பரப்பிலும் கீழ்ப்பரப்பிலும் மட்டுமின்றி சட்டத்திற்குள்ளேயும் ஏற்படுகின்றன. சட்டத்தின்மேல் பாதியிலுள்ள எல்லா நீளவாட்டுப் படலங்கள் நீட்சியடையவும் கீழ்ப் பாதியிலுள்ள எல்லா நீளவாட்டுப் படலங்கள் சுருங்கவும் செய்கின்றன. மேல் பரப்பிலிருந்து மையத்தை நோக்கிச் செல்லச் செல்ல இந்த நீட்சியின் அளவு குறைந்து மையத்தைத் தாண்டிக்கீழ்ப் பரப்பிற்குச் செல்லச் செல்ல சுருக்கத்தின் அளவு அதிகரிக்கிறது. படத்தில் ஏறக்குறைய விகித நீளமுள்ள அம்புக் கோடுகளால் இத்தகைய நீட்சியின் அளவும் சுருக்கத்தின் அளவும் காட்டப் பட்டுள்ளன. படத்தைப் பார்த்தால் மேல்பரப்பிலுள்ள படலம் பெரும நீட்சியடைவதும் கீழ்ப்பரப்பிலுள்ள படலம், பெருமச் சுருக்கம்டைவதும் புலப்படும். வெளிப் பரப்புகளிலிருந்து அச்சை நோக்கிச் செல்லச் செல்ல இரு அளவுகளும் குறைகின்றன. அப்போது படத்தின் தளத்திற்கு நேர்குத்தான EF எனும்

படம் 51.

தளத்தில் நீட்சியோ சுருக்கமோ ஏற்படுவதில்லை என்பதையும் கவனிக்கவும். அந்தத் தளத்தில் படலங்களில் ஏற்படும் நீள மாற்றத்தின் திசை மாறுகிறது. இந்தத் தளம் நடுநிலைப் பரப்பு (Neutral Surface) எனப்படும். நடுநிலைப் பரப்பு வளைவுத் தளத்தைச் சந்திக்கும் கோடு நடுநிலை அச்சு (Neutral axis) எனப்படும். ஒரு படித்தான சட்டத்தில் நடுநிலை அச்சு, வடிவ அச்சோடு பொருந்தியிருக்கும். எந்த ஒரு படலத்திலும் ஏற்படும் நீட்சியோ சுருக்கமோ நடுநிலைப் பரப்பிலிருந்து அப் படலத்தின் தொலைவிற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும்.



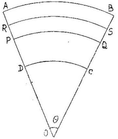
படம் 52.

ஒரு வெளி விசையிரட்டையினால் வளைக்கப்படும் சட்டத்திற்குள் எதிர் விசைகள் தோன்றி வளைவை எதிர்க்கின்றன. சட்டம் சமநிலையிலிருக்கும்போது இந்த மீள்திறன் விசைகள் விசையிரட்டையாக வளைவுத் தளத்தில் உருவெடுக்கின்றன. வெளி விசையிரட்டையை ஈடு செய்யும் இந்த எதிர் விசையிரட்டையின் திருப்புத்திறன் வளைவுத் திருப்புத்திறன் (Bending Moment) எனப்படும்.

வளைவுத் திருப்புத்திறனுக்கான கோவை: ABCD என்பது வளைந்த சட்டத்தின் பக்கவாட்டுத் தோற்றத்தின் ஒரு பகுதியாகும்.

படம் 53.

PQ நடுநிலைப் பரப்பிலுள்ள ஒரு இழையைக் குறிக்கிறது. RS என்பது PQ விலிருந்து 'Y தொலைவிலுள்ள மற்றொரு இழை ஒரு வளைந்த சட்டத்தில் PQ வும் RS-ம் O எனும் மையத்தை உடைய




படம் 54.

வட்டங்களின் வில்களாக இருக்கும். அவற்றின் வளைவு ஆரங்கள் முறையே R, R + Y ஆகும். POQ எனும் கோணம் θ ஆனால், $PQ = R\theta$ $P'Q' = (R + Y)\theta$.

PQ எனும் இழையில் வளைவினால் தோற்றுவிக்கப்பட்ட நீட்சி $= P'Q' - PQ = (R + Y)\theta - R\theta = Y\theta$.

$P'Q'$-ன் துவக்க நீளம் = PQ ஆதலால், $P'Q'$-ல் ஏற்பட்ட நீட்சித் திரிபு $= Y\theta/R\theta = Y/R$.

சட்டத்தில் சறுக்கத் திரிபோ, பருமத் திரிபோ ஏற்படாததால் இழைகளில் ஏற்படும் நீட்சி அல்லது இறுக்கத் திரிபுகள் அவற்றின் நீளவாக்கில் செயல்படும் விசைகளால் ஏற்படுபவையேயாகும்.

சட்டத்தின் யங்குணகம் q எனில், $P'Q'$ எனும் இழையில் செயல்படும் நீளவாட்டுத்தகைவு $= q \times$ திரிபு $= q \times \frac{y}{R}$

இழையின் குறுக்குப் பரப்பளவு 'a' எனில், அதில் நீளவாட்டில் செயல்படும் மொத்த விசை $= \frac{qy}{R} \times a$

நடுநிலை அச்சைப் பொறுத்து இந்த விசையின் சுழற்று விளைவு $= \frac{qa}{R} y^2$. இது எல்லா இழைகளுக்கும் பொருந்தும். ஆதலால் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பிலுள்ள எல்லா இழைகளையும் நீட்டவும் சுருக்கவும் செய்கின்ற எல்லா விசைகளின் நடுநிலை அச்சைப் பொறுத்த சுழற்சி விளைவுகளின் கூட்டுத் தொகை

$$= \Sigma \frac{a}{R} ay^2 = \frac{q}{R} \Sigma ay^2.$$

சம நிலையிலுள்ள ஒரு சட்டத்திற்கு இந்தக் கூட்டுத் தொகை, வெளி விசையிரட்டையின் சுழற்சி விளைவு (c) க்குச் சமமாயும் எதிர்த் திசையிலுமுள்ள வளைவுத் திருப்புத்திறனுக்குச் சமமாகும்.

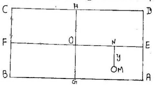
எனவே $c = \frac{q}{R} \Sigma ay^2$

$\Sigma ay^2$ எனும் அளவு நடுநிலை அச்சிற்கு நேர்குத்தாக, நடுநிலைப்பரப்பின் மேலுள்ள ஓர் அச்சைப் பொறுத்து கோலின் வடிவியல் சடத்துவத் திருப்புத்திறன் அல்லது கோலின் பரப்பின் இரண்டாவது திருப்புத்திறன் (Second Moment of Area) எனப்படும்.

$\Sigma ay^2$ என்பதை $AK^2$ எனக் குறித்தால் உள்ளிட வளைவு திருப்புத்திறன் (Internal Bending Moment) $c = \frac{qA K^2}{R}$

இதில் A என்பது கோலின் குறுக்குப் பரப்பு; R என்பது சுழற்சி ஆரம் (Radius of gyration). $qAR^2$ என்பது அலகு வளைவு ஆரத்திற்கான வளைவுத் திருப்புத்திறன். இது வளைவு விறைப்பு (Flexual Rigidity) எனப்படும்.

ABCD என்பது வளைவுத் தளத்திற்கு நேர்குத்தான தளத்தில் சட்டத்தின் தோற்றம். EF என்பது ABCD பரப்பு, நடுநிலைப்




படம் 55.

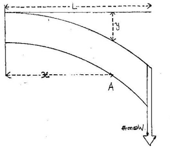
பரப்பைச் சந்திக்கும் கோடு. EF ஐப் பொறுத்து பரப்பின் இரண்டாவது திருப்புத்திறன் $= \Sigma ay^2$.

சட்டம் b அகலமும், $\alpha$ தடிமனும் உள்ள செவ்வகக் குறுக்குப் பரப்புள்ளதாயிருந்தால் $\Sigma ay^2 = bd. \frac{d^2}{12} = \frac{bd^3}{12}$

சட்டம் r ஆரமுள்ள உருளைச் சட்டமானால் $\Sigma ay^2$

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

3.21. (1) லேசான வளைச்சட்ட(Cantilever)த்தின் முனையிறக்கம் ஒரு முனையில் கிடையாக இறுகப் பிணைக்கப்பட்ட, ஒரு லேசான கோலின் மறு முனையில் சுமையேற்றப்பட்ட அமைப்பு வளை சட்டம்




படம் 56.

(Cantilever) எனப்படும். அதன் கட்டப்படாத முனையில் ஏற்படும் இறக்கத்தைச் சுமை W, யங்குணகம் q, சட்டத்தின் பரிமாணங்கள் இவற்றினடிப்படையில் கண்டுபிடிக்கலாம். $l$ நீளமுள்ள ஒரு வளை சட்டத்தில் பிணைக்கப்பட்ட முனையிலிருந்து x தொலைவிலுள்ள A எனும் ஒரு குறுக்குப் பரப்பைக் கவனிப்போம். வளைச் சட்டத்தில் நடுநிலைப் பரப்பிற்கு மேலேயுள்ள இழைகள் நீளுவதாலும், கீழேயுள்ள பரப்புகள் சுருங்குவதாலும் ஏற்படுகின்ற இடம் புரியான விசையிரட்டையின் திருப்புத்திறன் $= qAK^2/R$

இதில் R என்பது அப்பகுதியிலுள்ள நடுநிலைப் பரப்பின் வளைவு ஆரம்பமாகும்.

கட்டப்படாத முனையில் செயல்படுகின்ற Mg எனும் விசையும் A யில் தோன்றுகின்ற சமமான, எதிர்த் திசையிலுள்ள விசையும் இணைந்து ஒரு விசையிரட்டை ஆகின்றன. அதன் வலம்புரித் திருப்புத்திறன் = Mg $(l - x)$

சம நிலையில் இரு திருப்புத்திறன்களும் சமமாயிருக்கும்.

எனவே $\frac{qAK^2}{R} = Mg\,(l - x)$

வடிவியல்படி ஒரு வளைகோட்டில் ஒரு பகுதியினுடைய வளைவு ஆரம் $R = \left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2} \Big/ \frac{d^2y}{dx^2}$ எனக் காட்டலாம். $\frac{dy}{dx}$ சிறியதாயிருக்கையில், $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2$ ஐப் புறக்கணித்து விட்டு, $R = \frac{1}{d^2y/dx^2}$ எனலாம்.

வளை சட்டத்தில் வளைவு மிகவும் லேசாயிருப்பதால் $R = 1 \Big/ \frac{d^2y}{dx}$ எனக் குறிப்பிடலாம்.

எனவே $qAK^2 \frac{d^2y}{dx^2} = Mg\,(l - x)$

கட்டப்படாத முனையின் இறக்கத்தைக் கண்டுபிடிக்க இந்தக் கோவையை இரு முறை தொகைப்படுத்த வேண்டும். முதல் முறையில் $qAK^2 \frac{dy}{dx} = Mg\,(lx - \frac{x^2}{2}) + C$

C என்பது தொகை மாறிலி $n = O$ என்கையில்

$\frac{dy}{dx} = O$ ஆதலால் $C = O$

$\therefore\ qAK^2 \frac{dy}{dx} = Mg\ (lx - \frac{x^2}{2})$

மீண்டும் தொகைப்படுத்தினல் $qAK^2 y = Mg \left( \frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6} \right) + C_1$

$C_1$ என்பது தொகை மாறிலி $x = O$ என்கையில் $y = O$, $C_1 = O$

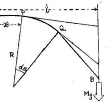
$$\therefore \quad qAK^2 y = Mg \left( \frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6} \right)$$

$x = l$, $y = \delta$ என மதிப்பிட்டால் கோலின் கட்டப்படாத முனையின் இறக்கம் கிடைக்கும்.

$$qAK^2 \delta = Mg \left( \frac{l^3}{2} - \frac{l^3}{6} \right) = \frac{Mg\ l^3}{3}$$

$$\therefore \quad \delta = \frac{Mg\ l^3}{3\, qAK^2}$$

மற்ருெரு முறை ; AB எனும் கோலின் கட்டப்பட்ட முனையிலிருந்து x தொலைவிலுள்ள P எனும் பகுதியைக் கவனிப்போம். Pக்கும் கட்டப்படாத முனைக்கும் இடையிலுள்ள நிறையைப் புறக்கணித்துக்கொண்டு வெளி விசையிரட்டையின் திருப்புத் திறன் = Mg $(l - x)$ எனலாம்.




படம் 57.

Pயிலுள்ள பகுதியின் வளைவுத் திருப்புத் திறன் $= qAK^2/R$. (Pயிலுள்ள பகுதியின் வளைவு ஆரம் R).

சமநிலையில் $Mg\,(l - x) = qAK^2/R$ ..................(1)

அல்லது $R = qAK^2/Mg\,(l - x)$.

இந்தக் கோவையிலிருந்து x அதிகரித்தால் Rம் அதிகரிக்கிறது என்பது தெரிகிறது. அதன் மதிப்பு கட்டுண்ட முனையில் சிறுமமாகவும், மறுமுனையில் பெருமமாகவும் இருக்கும். நடுநிலைப் பரப்பின் வளைவு ஆரம் புள்ளிக்குப் புள்ளி இவ்வாறு மாறுவதால், இந்த வகை வளைவு சீரற்ற வளைவு (Non-uniform Bending) எனப்படும்.

வளைசட்டத்தில் Pக்கு மிக அண்மையில் dx தொலைவிலுள்ள Q எனும் புள்ளியைக் கவனி. P, Q ஆகிய புள்ளிகளில் வரையப்

படும் தொடு கோடுகளுக்கிடையிலுள்ள கோணம் $d\theta$ எனில் $dx = R\,d\theta$ அல்லது $R = \frac{dx}{d\theta}$.

இதை (1)ல் பதிலீடு செய்தால், $Mg\,(l - x) = qAK^2 \frac{d\theta}{dx}$.

அல்லது $d\theta = \frac{Mg\,(l - x)}{qAK^2}\,dx$ ..............................(2)

A, B எனும் புள்ளிகளுக்கிடையில் வரையப்படும் தொடுகோடுகளுக்கிடையிலுள்ள கோணம் $\theta$ எனில்

$$\theta = \int_0^l \frac{Mg\,(l - x)\,dx}{qAK^2} = \frac{Mg\,l^2}{2\,qAK^2} \quad \text{..........................(3)}$$

PQவில் ஏற்படும் வளைவால் Bயில் ஏற்படும் இறக்கம் $dy$ எனில்,

$$dy = (l - x)\,d\theta = \frac{Mg\,(l - x)^2\,dx}{qAK^2} \quad \text{..........................(4)}$$

Bயில் ஏற்படும் மொத்த இறக்கம் $\delta = \int dy$

$$= \int_0^l \frac{Mg\,(l - x)^2\,dx}{qAK^2}$$

$$= \frac{Mg}{qAK^2} \int_0^l (l - x)^2\,dx$$

$$= \frac{Mg}{qAK^2} \left[ l^2x - \frac{2\,lx^2}{2} + \frac{x^3}{3} \right]_0^l$$

$$= \frac{Mg}{qAK^2} \left[ l^3 - {}^3l + \frac{l^3}{3} \right] = \frac{Mg\,l^3}{3\,qAK^2}$$

b அகலமும், d தடிமனும், உள்ள செவ்வகச் சட்டம் வளைசட்டமாகப் பயன்படுத்தப்பட்டால் $AK^2 = \frac{bd^3}{12}$, $\delta = \frac{4\,Mg\,l^3}{qbd^3}$ r ஆர

முள்ள உருளைக்கோல் வளைசட்டமாகப் பயன்படுத்தப்பட்டால்

$AK^2 = \frac{\pi r^4}{4}$, $\delta = \frac{4 \text{ Mg } l^3}{3 \text{ q } \pi r^4}$.

2. வளைச்சட்டம் கணிசமான நிறையுள்ளதாயிருக்கும்போது போது B யிலுள்ள Mg எனும் எடையோடு கோலின் $(l - x)$ எனும் பகுதியின் எடையும், அப்பகுதியின் புவியீர்ப்பு மையத்தில் செயல் படுவதாகக் கொள்ளவேண்டும்.

சட்டத்தின் அலகு நீளத்தின் நிறை w எனில், w $(l - x)$ எனும் நிறை P Q விலிருந்து $\frac{(l-x)}{2}$ எனும் தொலைவில் செயல்படும்.

எனவே சட்டத்தின் மொத்த வளைவு திருப்புத் திறன்

$$= \text{Mg } (l - x) + w\,(l - x)\frac{(l - x)}{2}$$

$$= \text{Mg}\,(l - x) + \frac{w}{2}\,(l - x)^2$$

சட்டம் சமநிலையிலிருக்கையில் இது $\frac{qAK^2}{R}$ க்குச் சமமாயிருக்கும்.

$$\text{எனவே Mg } [l - x) + \frac{w}{2}[l - x)^2 = \frac{qAK^2}{R} = qAK^2\frac{d\theta}{dx}$$

$$\therefore \ d\theta = \frac{\text{Mg } (l - x)\, dx + \frac{w}{2}\,(l - x^2)\, dx}{qAK^2}$$

$$\text{இப்போது } dy = (l - x)\, d\theta = \frac{\text{Mg } (l - x)^2\, dx + \frac{w}{2}\,(l - x)^3\, dx}{qAK^2}$$

$$\therefore \ y = \frac{\text{Mg}}{qAK^2}\int_0^l (l - x)^2\, dx + \frac{w}{2qAK^2}\int_0^l (l - x)^3\, dx$$

$$= \frac{\text{Mg } l^3}{3\, qAK^2} + \frac{w\, l^4}{8\, qAK^2}$$

இப்போது $wl = mg$. கோலின் எடை.

$$\text{எனவே } y = \frac{Mg\, l^3}{3\, qAK^2} + \frac{mg\, l^3}{8\, qAK^2}$$

$$= (M + \tfrac{3}{8} m)\, g\, l^3 / 3\, qAK^2$$

கோலின் நிறையில் $\frac{3}{8}$ பங்கு சுமையுடன் சேர்ந்து B யிலேயே செயல்படுவது போலத் தோன்றுகிறது.

3. சுமை தண்டில் சீராகப் பரவியிருந்தால் அதிலேற்படும் இறக்கம் பின்வருமாறு கணக்கிடப்படும். L நீளமுள்ள வளைச் சட்டத்தில் சீராகப் பரவியுள்ள சுமை அலகு நீளத்திற்கு w கிராம்கள் என்க. இணைக்கப்பட்ட முனையிலிருந்து x தொலைவிலுள்ள ஒரு பகுதியை எடுத்துக் கொண்டால், $(L - x)$ நீளமுள்ள பகுதியின் எடை $= (L - x)\, w$ மட்டுமே அப் பகுதியைப் பொறுத்த வளைவு திருப்புத் திறனை ஏற்படுத்துகிறது. $w\,(L - x)$ எனும் எடை அப் பகுதியிலிருந்து $\left(\frac{L - x}{2}\right)$ தொலைவில் செயல்படும். எனவே இந்த எடையினால் ஏற்படும் வளைவு திருப்புத் திறன்

$$= w\,(L - x)\,(L - x)/2 = \frac{w}{2}\,(L - x)^2$$

சட்டம் சம நிலையிலிருக்கையில்,

$$\frac{w}{2}\,(L - x)^2 = \frac{q\,AK^2}{R} = q\,AK^2\,\frac{d\theta}{dx}$$

$$\text{எனவே } d\theta = \frac{w\,(L - x)^2}{2\,q\,AK^2}\,dx$$

இம் மதிப்பை $dy = (L - x)\, d\theta$ வில் பதிலீடு செய்யின்

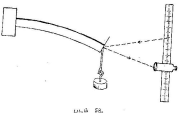
$$dy = \frac{w}{2\,q\,AK^2}\,(L - x)^2\,dx$$

$$\therefore\ y = \frac{w}{2\,q\,AK^2}\int_0^L (L - x)^2\,dx = \frac{w\,L^4}{8\,q\,AK^2}$$

w L = W, சட்டத்திலுள்ள மொத்த நிறையாதலால்

$$y = \frac{W L^3}{8 qAK^2}$$

**வளைச்சட்டத்தைப் பயன்படுத்தி ஒரு கோலின் யங்குணகத்தைக் கண்டுபிடித்தல்:** சோதனைக்கான சட்டத்தின் ஒரு முனையை ஒரு உறுதியான பிடிப்பில் இறுகப் பொருத்திவிட்டு மறு முனையில் சிறிதளவு மெழுகின் உதவியுடன் ஒரு சிறிய ஆடித் துண்டைப் பதி. அம் முனையிலிருந்து ஒரு எடைக் கொக்கியையும் தொங்கவிடு. ஆடித்துண்டிற்கு முன்னால் சுமார் ஒரு மீட்டர்



படம் 58.

தொலேவில் ஒரு செங்குத்தான அளவுகோலைப் பொருத்தி, அதன் அளவீடுகள் எதிரொளிக்கப்பட்டு ஒரு தொலை நோக்கியில் விழுமாறு அமை. ஆடியில் பட்டு எதிரொளிக்கப்படுகின்ற அளவுகோல் அளவீடுகளைத் தொலை நோக்கியில் குவியப்படுத்து. எடைக் கொக்கியில் படிப்படியாக எடைகளைச் சேர்த்துப் பின்னர் படிப்படியாகக் குறைத்துச் சில முறை செய்து கோலினை மீட்சிப் பாங்கிற்குக் கொண்டு வா. பின்னர் கொக்கியில் ஒரு பாழ்ச்சுமையினைச் சேர்த்துத் தொலைநோக்கியில் குறுக்கிழைக்கு நேரே தெரியும் அளவீட்டைக் குறித்துக்கொள். நூறு கிராம் எடைகளை ஒவ்வொன்றாகக் கொக்கியில் சேர்த்து ஒவ்வொரு எடைக்கும், தொலைநோக்கியில் தெரிகின்ற அளவீட்டினைக் குறி. பின்னர் எடைகற்களை ஒவ்வொன்றாக எடுத்து மீண்டும் அளவீடுகளைக்குறி. வளைச்சட்டத்தின் நீளத்தினை மாற்றிச் சோதனையைத் திரும்பச் செய். காட்சிப் பதிவுகளைப் பின்வருமாறு அட்டவணைப்படுத்து.

| வரிசை எண் | வளைச் சட்டத்தின் நீளம் $l$ செ. மீ. | எடை கிராம் | காட்சிப் பதிவுகள் | | | 200 கிராம்களுக்கு ஏற்படும் அளவீட்டில் ஏற்படும் மாற்றம் | $\frac{l^2}{s}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | எடை கூடு கையில் | எடை குறை கையில் | சராசரி | | |
| | | x | | | | | |
| | | x+100 | | | | | |
| | $l_1$ | x+200 | | | | | |
| | | x+300 | | | | | |
| | | x+400 | | | | | |
| | | x | | | | | |
| | | x+100 | | | | | |
| | $l_2$ | x+200 | | | | | |
| | | x+300 | | | | | |
| | | x+400 | | | | | |
| | | x | | | | | |
| | | x+100 | | | | | |
| | $l_3$ | x+200 | | | | | |
| | | x+300 | | | | | |
| | | x+400 | | | | | |

**M** கிராம் சுமையினுல் அளவுகோல் அளவீடுகளில் ஏற்படும் மாற்றம் s எனில் $l^2/s$ ஒரு மாறிலியாயிருப்பதைக் காணலாம். இச் சுமையினுல் வளைந்த சட்டத்தின் இரு முனைகளிலும் வரையப்

படும் தொடு கோடுகளுக்கிடையிலுள்ள கோணம் $\theta$ எனில், $\theta = \frac{s}{2D}$. இங்கு D என்பது ஆடித்துண்டிற்கும் அளவுகோலுக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவு.

$$\text{ஆனால் } \theta = \frac{Mg\ l2}{2qAK^2}$$

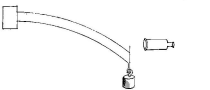
$$\therefore \quad \frac{s}{2D} = \frac{Mg\ l^2}{2qAK^2}$$

b அகலமும் d தடிமனுமுள்ள ஒரு செவ்வகக் கோலுக்கு

$$\frac{s}{2D} = \frac{Mg\ l^2}{2q.\frac{bd^3}{12}} \text{ அல்லது } q = \frac{12MgD}{bd^3}\left(\frac{l^2}{s}\right)$$

அட்டவணையிலிருந்து $(l^2/s)$ன் சராசரி மதிப்பை எடுத்து இதில் பதிலீடு செய்து q-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடு. ஒரு வெர்னியரின் உதவியுடன் சட்டத்தின் அகலத்தையும் தடிமனையும் வெவ்வேறு இடங்களில் அளந்து அவற்றின் சராசரிகளைப் பயன்படுத்து.

குண்டூசி முறை (Pin Method) : நீண்ட செவ்வக வடிவான, சீரான சட்டத்தை ஒரு உறுதியான பிடிப்பில் கிடையாக இணை.



படம் 59.

சட்டத்தின் மறுமுனையில் ஒரு எடை தாங்கியைத் தொங்கவிட்டு அதன் மேல்புறத்தில் ஒரு குண்டூசியைப் பொருத்து. எடைதாங்கியில் படிப்படியாக எடைகளைச் சேர்த்தும், பின்னர் படிப்படியாக எடைகளைக் குறைத்தும் சட்டத்தை மீட்சிப் பாங்கிற்குக்

கொண்டுவா. எடைகளைப் போடும்போது அவற்றின் பெருமதிப்பு எல்லைக்குள்ளிருக்குமாறு பார்த்துக்கொள்ள வேண்டும்.

ஒரு பாழ்ச்சுமையை எடைத்தாங்கியிலிட்டு ஒரு கிடையான நுண்ணோக்கியைச் சரிப்படுத்திக் குண்டூசியின் பிம்பம் அதன் குறுக்கிழைகளில் தெளிவாய்த் தெரியுமாறு குவியப்படுத்து. குண்டூசியின் முனை குறுக்கிழைகளின் வெட்டும் புள்ளியில் பொருந்துமாறு சரிப்படுத்தி அளவீட்டை எடு.

எடை தாங்கியில் எடையைப் படிப்படியாக அதிகரித்து ஒவ்வோரு முறையும் குண்டூசிமுனை, குறுக்கிழைகள் வெட்டும் புள்ளியில் பொருந்துமாறு செய்து நுண்ணோக்கியின் அளவீடுகளைக் குறித்துக்கொள். பின்னர் எடைகளைப் படிப்படியாக அதே அளவில் குறைத்து, ஒவ்வொரு எடைக்கும் நுண்ணோக்கி காட்டும் அளவீட்டினைக் குறித்துக்கொள். காட்சிப் பதிவுகளை அட்டவணைப் படுத்து. வளைச்சட்டத்தின் நீளத்தை மாற்றிச் சோதனையைத் திரும்பச் செய். அட்டவணையிலிருந்து 206 கிராம் எடைக்கான இறக்கத்தைக் கணக்கிடு. அது e என்போம். வளைச்சட்டத்தை வெளியிலெடுத்து திருகுமானி அல்லது வெர்னியர் காலிப்பரைக் கொண்டு அதன் சராசரி அகலத்தையும் தடிமனையும் கண்டுபிடி. கணக்கிடுதலில் தடிமன் மும்மடியில் வருவதால் தடிமன் மிகத் துல்லியமாகக் கணக்கிடப்பட வேண்டும்.

$l$ நீளமும் b அகலமும், d தடிப்புமுள்ள வளைச்சட்டத்தில் Mg எனும் எடை உண்டாக்கும் இறக்கம் e எனில்

$$e = \frac{Mg\, l^3}{3\, q\, AK^2} = \frac{4\, Mg\, l^3}{l d^3 e} \qquad \left[ \therefore AK^2 = \frac{bd^3}{12} \right]$$

$$\text{அல்லது } q = \frac{4\, Mg}{bd^3} \times \frac{l^3}{e}$$

இச் சமன்பாட்டில் $l$, e தவிர மற்றவை மாறிலிகள் ஆதலால் $l^3/e$ ன் சராசரி மதிப்பை அட்டவணையிலிருந்து கண்டுபிடித்து, இச் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்து q வின் மதிப்பைக் கணக்கிடு.

| வரிசை எண் | வளைக்கட்டத்தின் நீளம் $l$ செ. மீ. | எடை கிராம் | நுண்ணோக்கி அளவீடுகள் | | | எடை கிராம் | நுண்ணோக்கி அளவீடுகள் | | | 200 கிராமுக்கு இறக்கம் e | $\frac{l^3}{e}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | எடை கூடு கையில் | எடை குறை கையில் | சராசரி | | எடை கூடு கையில் | எடை குறை கையில் | சராசரி | | |
| 1 | $l_1$ | x<br>x+50<br>x+100<br>x+150 | | | | x+200<br>x+250<br>x+300<br>x+350 | | | | | |
| 2 | $l_2$ | x<br>x+50<br>x+100<br>x+150 | | | | x+200<br>x+250<br>x+300<br>x+350 | | | | | |
| 3 | $l_3$ | x<br>+50<br>x+100<br>x+150 | | | | x+200<br>x+250<br>x+300<br>x+350 | | | | | |

சராசரி $l^3/e$

*சீரற்ற விளைவின்போது கோலில் தோன்றும் நிலையாற்றல் :* ஒரு முனையில் இறுகப் பொருத்தப்பட்ட ஒரு கோலைக் கவனிப்போம். மறுமுனையில் ஒரு விசை தாக்கி அதைச் சிறிதளவு தாழ்த்தட்டும். இத் தாழ்வு அதிகமாக வேண்டுமானால் விசையும் அதிகமாக வேண்டும். y எனும் இறக்கத்திற்குத் தேவைப்படும் விசை Mg எனில் விசையினால் செய்யப்படும் செயல் = $\frac{1}{2}$ × விசை × இறக்கம் = $\frac{1}{2}$ Mg.y

இச் செயல் கோலில் நிலையாற்றலாகச் சேமித்து வைக்கப்படுகிறது. இப்போது $y = \frac{Mg\ l^3}{3qAK^2}$

$$\therefore \quad Mg = \frac{3\ qAK^2}{l^3} \times y$$

∴ *சீரில்லாத வளைவின்போது* நிகழும் வேலை = கோலில் தோன்றும் நிலையாற்றல் $= \frac{3qAK^2}{2\ l^3} \times y^2$

*வளைச்சட்டம் அலைவுறுதல் :* ஒரு சட்டத்தின் ஒரு முனையை இறுகப் பிணைத்துவிட்டு மறுமுனையில் M எனும் எடையைத் தொங்க விடு. எடையைச் சிறிது கீழே இழுத்து விட்டுவிட்டால் சட்டம் மேலும் கீழுமாக தனி இசை இயக்க (SHM) அலைவுகள் செய்யத் துவங்கும். ஒரு கட்டத்தில் கோலின் முனை y அளவு தாழ்ந்திருப்பதாகக் கொள்வோம். வினைவினால் ஏற்படும் நிலையாற்றல் முழுவதும் கோலிலும், இயக்க ஆற்றல் முழுவதும் எடையிலும் செறிந்திருப்பதாகக் கற்பனை செய்துகொள்ளலாம்.

இந்தக் கட்டத்தில் வளைந்த கோலிலுள்ள நிலையாற்றல்
$$= \frac{3}{2l^3}\frac{qAK^2}{} y^2$$

எடை அக் கணத்தில் v திசை வேகத்துடன் அசைந்துகொண்டிருக்குமானால், அதன் இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2}Mv^2 = \frac{1}{2}M\left(\frac{dy}{dt}\right)^2$

இந்த அமைப்பின் மொத்த ஆற்றல் ஒரு மாறிலி. எனவே
$$\frac{1}{2}M.\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \frac{3\ qAK^2}{2\ l^3}y^2 = \text{மாறிலி}$$

இதை வகைப்படுத்தினால்,
$$\frac{1}{2}\ M.\ \frac{2\ dy}{dt}\cdot\frac{d_2y}{dt^2} + \frac{3\ qAK^2}{2l^3}2y.\frac{dy}{dt} = 0$$

அல்லது $M \frac{d^2y}{dt} + \frac{3\,qAK^2}{l^3}\, y = 0$

அல்லது $\frac{d^2y}{dt} + \frac{3\,qAK^2}{M\,l^3}\, y = 0$

அல்லது $\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{3\,qAK^2}{M\,l^3}\quad y = 0$

எனவே இயக்கம் ஒரு தனி இசை இயக்கமாகும். அதன் அலைவு நேரம் $T = 2\pi \sqrt{\frac{M\,l^3}{3\,q\,AK^2}}$

நாம் இயக்க ஆற்றல் முழுவதும் எடையில் செறிந்திருப்பதாக எடுத்துக்கொண்டது முற்றிலும் சரியில்லை. அதற்காக ஒரு திருத் தத்தைச் சேர்க்கவேண்டும். இத் திருத்தம் கோலின் நிறை (m)யில் மூன்றிலொரு பங்கு எனக் காணப்பட்டுள்ளது. அதை எடை (M) யுடன் கூட்டிக்கொள்ள வேண்டும்.

அதாவது $T = 2\pi \sqrt{(M + \frac{m}{3})\,l^3 / 3\,qAK^2}$

இதைப் பயன்படுத்தியும் ஒரு கோலின் யங்குணகத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம். குழாய்களுக்கு இது மிகவும் ஏற்றது. கோலின் ஒரு முனையை இறுகப் பிடிப்பிலிணைத்துவிட்டு, மறுமுனையில் $M_1$ எனும் நிறையைத் தொங்கவிடு. நிறையைச் சற்றுக் கீழே இழுத்து விட்டு விட்டால் கோல் அலைவு செய்யத் துவங்கும். அதன் அலைவு நேரம் $T_1$ என்போம். பின்னர் கோலின் முனையில் M எனும் நிறையைத் தொங்கவிட்டு மீண்டும் அலைவு நேர $(T_2)$த்தைக் கண்டுபிடி. இப்போது

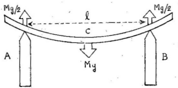
$$T_1^2 = \frac{4\pi^2 \left(M_1 + \frac{m}{3}\right) l^3}{3\,qAK^3}\ ; \quad T_2^2 = \frac{4\pi^2 \left(M_2 + \frac{m}{3}\right) l^3}{3\,qAK^2}$$

எனவே $T_2^2 - T_1^2 = \frac{4\pi^2\,(M_2 - M^1)\,l^2}{3\,qAK^2}$

இதிலிருந்து q கணக்கிடப்படும். $M_1$-க்கும் $M_2$-க்கும் இடையிலுள்ள வேறுபாடு, அதாவது $T_1$ க்கும் $T_2$ வுக்கும் இடையிலுள்ள வேறுபாடு அதிகமாயிருப்பின் சோதனையின் துல்லியமும் அதிகரிக்கும்.

3-22 இரு கூர் விளிம்புகளின்மேல் வைக்கப்பட்டு நடுவில் சுமை யேற்றப்பட்ட கோலின் சீரற்ற வளைவு (Non-uniform Bending)

$l$ இடைவெளியிலுள்ள இரு கூர்விளிம்புகளின்மேல் சமச்சீராக வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு சட்டத்தின் மையப்புள்ளி (C) யில்




படம் 60.

M எனும் நிறை தொங்கும்போது, அதன் மையப்புள்ளி δ தூரம் இறங்கியிருப்பதாய்க் கொள்வோம். கூர்விளிம்புகளில் ஏற்படும் எதிர் விசை ஒவ்வொன்றும் $= \frac{Mg}{2}$.

இந்தச் சட்டத்தை c யில் பொருத்தப்பட்ட சமநீளமுள்ள இரு வளைச்சட்டங்களாகப் பாவித்துக்கொண்டு, A யிலும் B யிலும் $\frac{Mg}{2}$ எனும் எடைகள் செயல்பட்டு, அவற்றை மேல்நோக்கி வளைப்பதாகக் கொள்வோம். அப்போது c க்கு மேல் A அல்லது B யின் உயர்வு

$$\delta = \frac{Mg}{2}\left(\frac{l}{2}\right)^3 \Big/ 3\,qAK^2 = \frac{Mg\,l^3}{48\,qAK^2}$$

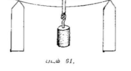
b அகலமும் d தடிமனும் உள்ள சட்டத்திற்கு $AK^2 = \frac{bd^3}{12}$

$$\delta = Mg\,l^3/4\,bd^3\,q$$

இதைப் பயன்படுத்தி ஒரு கோலின் யங்குணகத்தைக் கண்டு பிடிக்கலாம், இதற்குச் சீரற்ற வளைவு முறை (Non-Uniform Bending Method) எனப் பெயர்.

குண்டூசி முறை ; கொடுக்கப்பட்ட சட்டத்தைக் கிடையாக இரு செங்குத்தான கூர்விளிம்புகளின் மேலிருக்குமாறுவை. கூர் விளிம்புகளினிடையிலுள்ள தூரம் சுமார் 50 செ. மீ., இருக்க வேண்டும். சட்டத்தின் மையத்தில் ஒரு எடை தாங்கியில் தொங்கவிடு. அதன் மேல்புறத்தில் ஒரு குண்டூசியைச் செங்குத்தாகப்

பொருத்து. ஒரு நுண்ணோக்கியைக் குண்டூசிக்கு நேரே கிடையாக அமைத்துக் குண்டூசியின் பிம்பத்தின் முனை, நுண்ணோக்கியின் குறுக்கிழைகள் வெட்டும் புள்ளியில் பொருந்தித் தெரியுமாறு குவியப் படுத்து. எடைதாங்கியில் எடைகளைப் பலமுறை படிப்படியாகச் சேர்த்தும் பின்னர் குறைத்தும் செய்து சட்டத்தை மீட்சிப் பாங்கிற்குக் கொண்டு வா. ஒரு பாழ் எடையை



படம் 61.

எடை தாங்கியில் மாட்டிவிட்டும் குண்டூசியின் முனை நுண்ணோக்கியில் குறுக்கிழைகள் வெட்டும் புள்ளியில் பொருந்தித் தெரியுமாறு சரிப்படுத்தி நுண்ணோக்கி காட்டும் அளவீட்டைப் பதிவு செய். பின்னர் எடையைப் படிப்படியாக 50 கிராம் அளவில் அதிகரித்துப் பின்னர் அதே அளவில் குறைத்து, ஒவ்வொரு எடைக்கும், குண்டூசி முனை குறுக்கிழைகள் வெட்டும் புள்ளியில் பொருந்துமாறு செய்து நுண்ணோக்கி காட்டும் அளவீடுகளைப் பதிவு செய். காட்சிப் பதிவுகளை அட்டவணைப்படுத்தி 2000 கிராம் எடையினால் கோலின் மையத்தில் ஏற்படும் இறக்கத்தைக் கணக்கிடு. கத்தி முனைகளுக்கிடையிலுள்ள சட்டத்தின் நீளத்தைத் திருத்தமாக அளந்துகொள். கத்தி முனைகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவை மாற்றியமைத்துச் சோதனையைத் திரும்பச் செய். சட்டத்தின் அகல நீளங்களைத் திருகுமானியினாலும், வெர்னியர் காலிப்பராலும் திருத்தமாக அளந்துகொள்.

M கிராம் எடையினால் தோற்றுவிக்கப்படும் சராசரி இறக்கம் e எனில், $e = \frac{Mg\, l^3}{4\, b\, d^3\, q}$

இதில் $l$ என்பது கூர் விளிம்புகளுக்கிடையிலான தொலைவு. g-புவியீர்ப்பு முடுக்கம், b-சட்டத்தின் அகலம், d-அதன் தடிப்பு. ஆதலால் $q = \frac{Mg\, l^3}{4\, bd^3\, e}$ .

இவ் வாய்பாட்டில் $l$, e தவிர மற்றவை மாறிலிகள். எனவே $l^3/e$ ஒரு மாறிலி. அட்டவணையிலிருந்து இதன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டு, மேற்கண்ட வாய்பாட்டில் பதிலீடு செய்து q வைக் கணக்கிடு.

| வரிசை எண் | கூர்விளிம்புகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு $l$ செ. மீ. | எடை கிராம் | நுண்ணோக்கி அளவீடுகள் செ. மீ. | | | எடை கிராம் | நுண்ணோக்கி அளவீடுகள் | | | 2000 கிராமுக்கு இறக்கம் e | $l^3/e$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | எடை கூடுகையில் | எடை குறைகையில் | சராசரி | | எடை கூடுகையில் | எடை குறைகையில் | சராசரி | | |
| 1 | $l_1$ | x<br>x+500<br>x+1000<br>x+1500 | | | | x+2000<br>x+2500<br>x+3000<br>x+3500 | | | | | |
| 2 | $l_2$ | x<br>x+500<br>x+1000<br>x+1500 | | | | x+2000<br>x+2500<br>x+3000<br>x+3500 | | | | | |
| 3 | $l_3$ | x<br>x+500<br>x+1000<br>x+1500 | | | | x+2000<br>x+2500<br>x+3000<br>x+3500 | | | | | |

சராசரி $l^3/e$

ஒளி நெம்புகோல் முறை (Optic Lever Method):

கொடுக்கப்பட்ட சட்டத்தை இரு கூர்விளிம்புகளின் மேல் கிடையாக வை. கூர்விளிம்புகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு 50 செ. மீ., அல்லது அதற்கு மேலிருக்க வேண்டும். சட்டத்தின் மையத்தில் எடைக்கொக்கியைத் தொங்கவிடு. அதில் ஒரு பாழ்ச் சுமையைச் சேர், எடைகளைப் படிப்படியாகக் கூட்டியும் குறைத்தும் செய்து சட்டத்தினை மீட்சிப்பாங்கிற்குக் கொண்டுவா. சோதனைச் சட்டத்தை வடிவத்தில் ஒத்திருக்கும் ஒரு சட்டத்தை அதற்கு அருகிலும் இணையாகவுமிருக்குமாறு கூர்விளிம்புகளின் மேல் வை. இரு சட்டங்களின் மேற்பரப்பும் ஒரே தளத்தில் அமையவேண்டும். ஒளிநெம்புகோலின் பின்னங்கால்கள் துணைச் சட்டத்தின் மேலும், முன்னங்கால் சோதனைச்சட்டத்தின் மையப் புள்ளியின் மேலும் இருக்குமாறு வை. ஒளிநெம்புகோலின் ஆடியிலிருந்து சுமார் ஒரு மீட்டர் தொலைவில் ஒரு செங்குத்தான அளவுகோலையும், தொலை நோக்கியையும் அமைத்து, அளவுகோலின் அளவீடுகள் ஆடியில்பட்டு எதிரொளிக்கப்பட்டு தொலை நோக்கியில் தெரியுமாறு சரிப்படுத்தி ஏதாவது ஒரு அளவீடு தொலைநோக்கியின் குறுக்கிழைகளின் வெட்டும் புள்ளியில் தெளிவாய்ப் பொருந்தித் தெரியுமாறு குவியப்படுத்து. அந்த அளவீட்டைப் பதிவு செய்துகொள். முறைக்கு 50 கிராமாகப் படிப்படியாக எடைக்கொக்கியில் எடைகளைச் சேர்த்து ஒவ்வொரு முறையும் தொலைநோக்கியில் குறுக்கிழைகள் வெட்டும் புள்ளிக்கு நேராகத் தெரியும் அளவீட்டைக் குறித்துக்கொள். அவ்வாறே எடைக்கொக்கியிலிருந்து படிப்படியாக எடைகளைக் குறைத்து மீண்டும் அளவீடுகளைக் குறி. காட்சிப் பதிவுகளை அட்டவணைப் படுத்தி 200 கிராம் எடையினால் அளவீடுகளில் ஏற்படும் மாற்றத்தைக் கண்டுபிடி. அளவுகோலுக்கும் ஒளிநெம்புகோலின் ஆடிக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவை (D) அளந்துகொள். சட்டத்தின் நீள, அகலங்களைத் திருகுமானியினாலும் வெர்னியர்காலிப்பரினாலும் அளந்துகொள். ஒளிநெம்புகோலை ஒரு காகிதத்தின்மேல் வைத்து மெல்ல அழுத்து. பின்னங்கால்களின் சுவடுகளை இணைத்து அக் கோட்டிற்கு ஒரு லம்பத்தை முன்னங்கால் வழியாகச் செல்லுமாறு வரை. அந்த லம்பத்தின் நீளம் n என்க.

| எடை கிராம் | தொலை நோக்கி அளவீடுகள் | | | எடை கிராம் | தொலை நோக்கி அளவீடுகள் | | | 200 கி. எடைக்கான அளவீட்டு மாற்றம் s |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | எடை கூடுகையில் | எடை குறைகையில் | சராசரி | | எடை கூடுகையில் | எடை குறைகையில் | சராசரி | |
| x | | | | x+200 | | | | |
| x+150 | | | | x+250 | | | | |
| x+100 | | | | x+300 | | | | |
| x+160 | | | | x+350 | | | | |
| | | | | | | | | சராசரி s |

M கிராமுக்கான அளவீட்டு மாற்றம் s எனில் எதிரொளிப்புக் கதிர்களுக்கிடையிலுள்ள கோணம் $\frac{s}{D}$. அதனல் ஆடி திரும்பிய கோணம் $= \frac{s}{2D}$. M கிராம் எடையினுல் சட்டத்தில் ஏற்பட்ட இறக்கம் y எனில், ஆடி திரும்பிய கோணம் $= \frac{y}{x}$ க்குச் சமம்.

ஆதலால் $y / x = s / 2D$ அல்லது $y = \frac{sx}{2D}$

$$\text{யங்குணகம் } q = \frac{Mg\, l^3}{4\, b\, d^3 y}$$

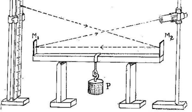
$$= \frac{Mg\, l^3}{4\, b\, d^3} \times \frac{2D}{xs}$$

கத்தி முனைகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவை மாற்றிச் சோதனையைத் திரும்பச் செய்.

**கோனிக் (Koenig's) முறை :**

கோனிக் ஒரு சட்டத்தின் யங்குணகத்தைக் கண்டுபிடிக்க ஒரு முறையை உருவாக்கியுள்ளார். இரு செங்குத்தான கூர்விளிம்பு

களின்மேல் சட்டம் வைக்கப்பட்டுள்ளது. அதன் மையத்தில் ஒரு கூர்விளிம்பிலிருந்து எடைகள் தொங்கவிடப்படும். கோலின் முனைகளில் இரு ஆடித்துண்டுகள் நேர் குத்தாகப் பொருத்தப்



படம் 63.

பட்டு, ஒரு அளவுகோலின் அளவீடுகள் இருமுறை அவற்றில் எதிரொளிக்கப்பட்டு ஒரு தொலைநோக்கியில் தெரியும் வகையில் லேசாகத் திருப்பி வைக்கப்பட்டுள்ளன. அளவுகோலின் ஏதாவது ஒரு குறியீடு தொலைநோக்கியின் குறுக்கிழை வெட்டும் புள்ளியில் பொருந்தித் தெரியுமாறு தொலைநோக்கியைக் குவியப்படுத்து.

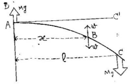
எடைக் கொக்கியில் ஒன்று அல்லது இரண்டு கிலோ கிராம் எடையைச் சேர்த்தால் கோல் நடுவில் இறக்கமடைந்து, ஆடிகள் ஒன்றை நோக்கி ஒன்று திரும்பும். அதனால் தொலைநோக்கியில் தெரியும் அளவீடு மாறும். இம் மாற்றம் x எனில்

$$q = \frac{3\,W\,l^3\,(2\,D + \alpha)}{2\,b\,d^3\,x}$$ எனக் காட்டலாம்.

இதில் W = சுமை mg, $l$ — கூர்விளிம்புகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு, D அளவுகோலுக்கும் தொலைவிலுள்ள ஆடிக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவு, $\alpha$ — ஆடிகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு., b — தண்டின் அகலம், d தண்டின் தடிமன் ஆகும்.

ஒரு வளைந்த சட்டத்தைக் கவனிப்போம். படத்தில் காட்டிய வாறு அதற்கு AC′, x அச்சாகவும், AD, y — அச்சாகவும் இருக் கட்டும். சட்டத்தின் வளைவு மிகச் சிறியதாயிருப்பதாய்க் கொள்

வோம். A யிலிருந்து x தொலைவிலுள்ள B எனும் புள்ளியை எடுத்துக்கொள்வோம். இப்பகுதியில் ஒரு விசைத்தொகுப்பு செயல்




படம் 63.

படுகிறது. BC யின்மேல் இவ்விசைகள் தாக்கி நடுநிலைப் பரப்பிற்கு மேல் நீட்சியையும் அதற்குக் கீழே சுருக்கத்தையும் தோற்றுவிக் கின்றன. அவை B யில் இடம்புரியான C திருப்புத்திறனுள்ள ஒரு விசையிரட்டையை உண்டாக்கும். இப்போது $C = \frac{AK^2q}{R}$ (R என்பது B யில் வளைவு ஆரம்)

அதே சமயத்தில் C யிலுள்ள Mg எனும் விசை BC யில் Mg $(l-x)$ எனும் வலம்புரித்திருப்புத்திறனைச் செலுத்தும் சட்டம் சமநிலையிலிருக்கையில் $\frac{qAK^2}{R} = Mg\,(l-x)$ ......................(1)

$$R = \frac{\left\{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right\}^{3/2}}{d^2y/dx^2} = \frac{1}{d^2y/dx^2}$$

அதாவது $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{W}{qAK^2}(l-x)$

முனையிலேற்படும் மொத்த இறக்கத்தைக் கண்டுபிடிக்க $x=0$, $x=l$ எனும் வரம்புகளுக்கிடையில் இக் கோவையைத் தொகைப்படுத்தினல்,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{W}{AK^2q}\left(lx - \frac{x^2}{2}\right) + K. \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

$x = o$ எனில் $\frac{dy}{dx} = o$ ; $\therefore K = o$

$$\left[\frac{dy}{dx}\right]_o^l = \frac{W}{q\,AK^2} \cdot \frac{l^2}{2}$$

$\left[\frac{dy}{dx}\right]_o^l$ என்பது சட்டம் வளைந்த கோணத்தின் டான்சன்ட்

எனவே $\tan\theta = \frac{W}{qAK^2} \cdot \frac{l^2}{2}$

ஒவ்வொரு முனையும் திரும்பிய கோணம் $= \frac{W/2}{AK^2 q} \times \frac{(l/2)^2}{2}$

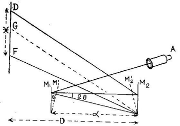
$$= \frac{W\,l^2}{16\,q\,AK^2}$$

b அகலமும் d தடிமனும் உள்ள கோலுக்கு, ஒவ்வொரு முனையும் திரும்பிய கோணம் $= \frac{3w\,l^2}{4\,bd^3q}$

$\theta$ சிறியதாயிருக்கையில் $\tan\theta = \theta$

$$\therefore \theta = \frac{3w\,l^2}{4\,bd^3q} \quad \ldots\ldots(3.$$

ஆடிகள் துவக்கத்தில் $M_1$, $M_2$ எனும் நிலைகளில் இருக்கட்டும்




படம் 64.

துவக்கத்தில் D எனும் அளவீடு தொலைநோக்கியின் குறுக்கிழை வெட்டுப்புள்ளியில் பொருந்தியிருக்கும். ஆடிகள் ஒவ்வொன்றும்

θ கோணத்தில் திரும்பினால் F எனும் அளவீடு குறுக்கிழை வெட்டுப்புள்ளியில் பொருந்தித் தெரியும். அளவீட்டில் ஏற்பட்ட மாற்றம் x என்க.

ஒளிக்கோட்டுப் பாதைகளை ABCD என நேர்மாருக்குவோம். $M_1$, θ கோணத்தில் திரும்பி $M'_1$ எனும் நிலையை அடைந்தால் BC, 2θ கோணத்தில் திரும்பி $M_2$ வை E-ல் சந்திக்கும். CE = ∝. 2θ $M_2$ மேலும் θ கோணத்தில் திரும்புவதால் EF எனும் கதிர் 4θ கோணத்தில் திரும்பும்.

CD க்கு இணையாக EG எனும் கோட்டை வரை.

GEF = 4θ ஆதலால் x = DF = 2θ (∝ + 2D)

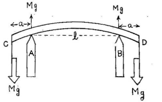
$$\therefore \theta = \frac{x}{2(\propto + 2D)}$$

(3) லிருந்து $$\frac{x}{2(\propto + 2D)} = \frac{3Wl^2}{4bd^3q}$$

$$\therefore q = \frac{3Wl^2(\propto + 2D)}{2bd^3x}$$

சோதனை செய்யும்போது W-ன் பல்வேறு மதிப்புகளுக்கு x-ன் அளவைக் கண்டுபிடித்துக்கொண்டு $\left(\frac{W}{x}\right)$ எனும் தகவின் சராசரி மதிப்பைக் கண்டுபிடித்துக்கொள். இதை மேற்கண்ட கோவையில் பதிலீடு செய்து q வைக் கணக்கிடு.

**3-23. சீரான வளைவு (Uniform Bending):** ஒரு சட்டத்தை $l$ இடைவெளியிலுள்ள இரு கூர்விளிம்புகளின்மேல் சமச் சீராக




படம் 65.

(Symmetrical) வைத்து அவற்றின் முனைகளில் சுமையேற்றினால் சட்டத்தின் மையம் மேலே உயர்கிறது. CD எனும் ஒரு லேசான

கோல் சமச்சீராக A, B எனும் இரு கூர்விளிம்புகளின்மேல் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அதன் முனைகளிலிருந்து Mg அளவுள்ள இரு சம எடைகள் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. கோலில் P எனும் பகுதியை எடுத்துக்கொள்வோம் PC எனும் பகுதி சம நிலையில் இருக்கும்போது, C யில் செங்குத்தாகக் கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் எடை Mg யும் கூர்விளிம்பு A யில் செங்குத்தாக மேல்நோக்கிச் செயல்படும் எதிர்வினை எடை Mg யும் அப் பகுதியில் செயல்படும் வெளி விசைகளாகும். இவை Mg × AC = Mg a எனும் சுழற்று விளைவுள்ள விசையிரட்டையாகச் செயல்படும். இங்கு a என்பது கூர்விளிம்புக்கு வெளியே நீட்டிக்கொண்டிருக்கும் கோலின் நீள மாகும். இப்போது வளைவு திருப்புத்திறன்

$$= \frac{qAK^2}{R} \text{ எனவே } \frac{qAK^2}{R} = Mg\,a$$

Mga ஒரு மாறிலியானதால், வளைவு ஆரம் R-ம்ஒரு மாறிலி. எனவே சட்டம் R எனும் வளைவு ஆரமுள்ள ஒரு வட்டத்தின் வில்லாக வளைகிறது. சட்டத்தின் எல்லாப் பகுதிகளிலும் வளைவு ஆரம் சமமானதால் இத்தகைய வளைவு சீரான வளைவு (Uniform Bending) எனப்படும்.

கூர்விளிம்புகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு $l$, கோலின் மையப் புள்ளியில் ஏற்படும் ஏற்றம் h எனில் $h\,(2R-h) = \frac{l^2}{4}$

R-உடன்ஒப்பிடுகையில் h மிகச் சிறியதாயிருப்பின்

$$\therefore\ R = l^2/8h$$

R-க்கு இந்த மதிப்பைப் பதிலீடு செய்தால் $\frac{q\,AK^2}{l^2/8h} = Mg\,a$

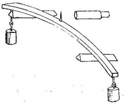
$$\therefore\ h = \frac{Mg\,l^2}{8q\,AK^2}$$

ஒரு செவ்வகக் கோலுக்கு $h = \dfrac{Mg\,l^2}{8\,q\,b\,d.\dfrac{d^2}{12}}$

$$= \frac{3\,Mg\,a\,l^2}{2\,q\,bd^3}$$

இதைப் பயன்படுத்தி ஒரு கோலின் யங்குணகத்தைக் கண்டு பிடிக்கலாம்.

குண்டூசி முறை: கத்தி முனைகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு 50 செ. மீ., க்கு மேலிருக்குமாறு அமைத்து அவற்றின்மீது கொடுக்கப்பட்ட சட்டத்தைக் கிடையாகவும் சமச்சீராகவும் வை. அதாவது இரு கூர்விளிம்புகளிலிருந்து வெளியே நீட்டிக்கொண்டிருக்கும். சட்டப்பகுதிகளின் நீளங்கள் சமமாயிருக்க வேண்டும். சட்டத்தின் மையப்புள்ளியில் மெழுகினுதவியால் ஒரு குண்டூசியைச்



படம் 66.

செங்குத்தாக நிறுத்து. இரு எடை தாங்கிகளை முனைக்கொன்றாகச் சட்டத்தில் மாட்டு. ஒவ்வொரு எடைதாங்கியும் அதனருகிலுள்ள கூர்விளிம்பிலிருந்து சமதூரத்தில் (a) அமைந்திருக்கவேண்டும். ஒவ்வொன்றிலும் சம அளவுள்ள எடைக்கற்களைக் கூட்டியும், பின்னர் குறைத்தும் சில முறைகள் செய்து சட்டத்தை மீட்சிப் பாங்கிற்குக் கொண்டு வா. எடைக்கொக்கிகளில் சம அளவுள்ள பாழ்சுமைகளை மாட்டிவை.

ஒரு நுண்ணோக்கியைக் கிடையாகச் சட்டத்தின் முன்னால் அமை. குண்டூசியின் முனை நுண்ணோக்கியின் குறுக்கிழைகள் வெட்டும் புள்ளியில் பொருந்தித் தெளிவாய்த் தெரியுமாறு குவியப் படுத்தும். நுண்ணோக்கியின் அளவுகோலில் உள்ள அளவீட்டைப் பதிவு செய். ஒவ்வொரு எடைக்கொக்கியிலும் 100 கிராம் எடைக்கற்களை மாட்டு. இந்த எடை சட்டத்தின் பரிமாணங்களையும், அதன் மூலப்பொருளையும் பொறுத்து மீட்சி எல்லைக்குள்ளிருக்க வேண்டும். சட்டம் சீராக வளைந்து ஒரு வட்டத்தின் வில்லை ஒத்திருக்கும். சட்டத்தின் மையம் மேலே உயர்ந்து, குண்டூசியின் முனையும் மேலேறும், நுண்ணோக்கியைச் சரிப்படுத்தி மீண்டும் குண்டூசியின் முனை குறுக்கிழைகள் வெட்டும் புள்ளியில் பொருந்தியிருக்குமாறு செய்து அளவீட்டை எடு. இவ்வாறு

ஒவ்வொரு முறையிலும் 100 கிராமாக இரு எடைக் கொக்கிகளிலும் எடைக் கற்களைச் சேர்த்து அளவீடுகளைப் பதிவு செய். அதே போல எடைகளைப் படிப்படியாகக் குறைத்து மீண்டும் அளவீடு களைப் பதிவு செய்t காட்சிப் பதிவுகளை அட்டவணைப்படுத்தி 400 கிராம் எடையினால் குண்டூசியில் ஏற்படும் ஏற்றத்தைக் கணக்கிடு,

கத்தி முனைகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவை($l$)யும், எடைக் கொக்கியிலிருந்து அருகிலுள்ள எடைக் கொக்கி இருக்கும் தொலைவை (a)யும் அளந்து கொள். சட்டத்தின் அகலத்தையும் தடிமனையும் துல்லியமாகக் கண்டுபிடி.

| எடை கிராம் | நுண்ணோக்கி அளவீடுகள் | | | எடை கிராம் | நுண்ணோக்கி அளவீடுகள் | | | 400 கிராமினால் ஏற்படும் ஏற்றம் |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | எடை கூடுகையில் | எடை குறைகையில் | சராசரி | | எடை கூடுகையில் | எடை குறைகையில் | சராசரி | |
| x | | | | x × 400 | | | | செ.மீ. |
| x + 100 | | | | x + 500 | | | | |
| x + 200 | | | | x + 700 | | | | |
| x + 300 | | | | x + 800 | | | | y |
| | | | | | | | சராசரி | செ.மீ., |

ஒவ்வொரு முனையிலும் M கிராம் எடையிருக்கையில் சட்டத்தின் மையப்புள்ளியிலேற்படும் ஏற்றம் y எனில், $y = \frac{Mg\,al^2}{8\,qAK^2}$

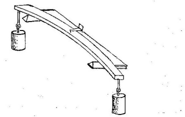
செவ்வகச் சட்டத்திற்கு $AK^2 = \frac{bd^2}{12}$

$$\text{எனவே } y = Mg\,al^2/8q\,\frac{bd^3}{12} = \frac{3\,Mg\,al^2}{2\,qbd^3}$$

$$\text{அல்லது } q = \frac{3\,Mg\,al^2}{2\,bd^3y},$$

இவ் வாய்ப்பாட்டைப் பயன்படுத்தி யங்குணகத்தைக் கணக்கிடு. கத்தி முனைகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு, கத்தி முனையிலிருந்து எடைக் கொக்கிகள் தொங்கும் தொலைவு ஆகியவற்றை மாற்றிச் சோதனையைத் திரும்பச் செய்.

ஒளி நெம்புகோல் (Optic Lever) முறை: கூர்விளிம்புகளுக் கிடையேயுள்ள தொலைவு 50 செ.மீ,,க்கு மேலிருக்குமாறு வைத்து அவற்றின்மீது சட்டத்தைக் கிடையாகவும் சமச் சீராகவும் வை. துணைச் சட்டமொன்றை, சோதனைச் சட்டத்திற்கு இணையாகவும் இரு சட்டங்களின் மேற் பரப்புகளும் ஒரே தளத்தில் இருக்குமாறும் கூர்விளிம்புகளின் மேல் வை. இரு எடை தாங்கிகளை முனைக்கு



படம் 67.

ஒன்றுகக் கூர் விளிம்புகளிலிருந்து சம தூரத்திலிருக்குமாறு மாட்டு. ஒவ்வொரு எடைக் கொக்கியிலும் சம அளவுள்ள எடைகளைப் படிப்படியாகக் கூட்டியும் குறைத்தும் சில முறைகள் செய்து சட்டத்தினை மீட்சிப் பாங்கிற்குக் கொண்டுவா. ஒரு ஒளி நெம்புகோலின் முன்காலை சோதனைச் சட்டத்தின் மையப் புள்ளியின் மேலும், பின்னிரு கால்களும் துணைச் சட்டத்தின் மேலும் இருக்குமாறு வை. ஒரு தொலை நோக்கியையும், செங்குத்தான அளவு கோலையும் ஒளி நெம்புகோலின் ஆடியி லிருந்து சுமார் ஒரு மீட்டர் தொலைவில் அமைத்து ஒளி நெம்பு கோலில் எதிரொளிக்கப்பட்ட அளவுகோல் அளவீடுகள் தொலை நோக்கியின் குறுக்கிழைகளில் தெளிவாய்த் தெரியுமாறு குவியப் படுத்து. இரு எடைக் கொக்கிகளிலும் சம அளவுள்ள பாழ்ச் சுமைகளைச் சேர்த்து தொலைநோக்கியில் குறுக்கிழைகள் வெட்டும்

புள்ளியில் பொருத்தியிருக்கும் அளவீட்டைப் பதிவு செய்துகொள். எடைக் கொக்கிகளில் ஒவ்வொன்றிலும் 100 கிராம் எடைக் கற்களைச் சேர். சட்டம் ஒரு வட்டத்தின் வில் போன்று வளைந்து அதன் மையப் பகுதி மேலே ஏற்றப்படுவதால் ஒளி நெம்புகோலின் முன் காலும் உயர்த்தப்படும். அதனால் அதன் ஆடி திருப்பப்பட்டுத் தொலைநோக்கியில் குறுக்கிழைகள் வெட்டும் புள்ளிக்கு நேரேயுள்ள அளவீடு மாறியிருக்கும். அந்த அளவீட்டைப் பதிவு செய்துகொள். இவ்வாறு ஒவ்வொரு முறையும் 100 கிராம்களாக எடைக் கொக்கிகளில் சேர்த்து ஒவ்வொரு முறையும் தொலைநோக்கியின் குறுக்கிழை வெட்டும் புள்ளிக்கு நேரேயுள்ள அளவீட்டைக் குறித்துக்கொள். அதே போல படிப்படியாக எடைகளைக் குறைத்து அளவீடுகளைப் பதிவு செய். காட்சிப் பதிவுகளை அட்டவணைப் படுத்தி, 400 கிராம் எடையினால் அளவு கோல் அளவீடுகளில் ஏற்படும் சராசரி மாற்றத்தைக் கண்டுபிடி. அளவு கோலுக்கும் ஒளி நெம்புகோலின் ஆடிக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவை (D) அளந்துகொள். கூர் விளிம்புகளிலிருந்து எடைக் கொக்கிகள் தொங்குகின்ற தொலைவை (a), கூர்விளிம்புகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவை ($l$) யும் திருத்தமாக அளந்துகொள். சட்டத்தை வெளியிலெடுத்துத் திருகுமானி, வெர்னியர் காலிப்பர் இவற்றின் உதவியுடன் அதன் அகலம் (b), தடிமன் (d) ஆகியவற்றைத் திருத்தமாகக் கண்டுபிடி. ஒளி நெம்புகோலை ஒரு காகிதத்தின் மேல் வைத்து லேசாக அழுத்து. கால்களின் சுவடுகளை இணைத்து, பின் கால்களை இணைக்கும் கோட்டிலிருந்து முன்னங்கால் உள்ள நேர்குத்துத் தொலைவை (x) அளந்துகொள்.

ஒவ்வொரு முனையிலும் M கிராம் எடை கூட்டப்படும்போது சட்டத்தின் மையத்தில் தோன்றும் ஏற்றம் y எனில்,

$$y = \frac{3\ Mg\ al^2}{2q\ bd^3}$$

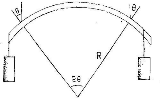
M கிராம்கள் சேர்க்கப்படும்போது தொலைநோக்கியில் தெரியும் அளவீடுகளில் ஏற்படும் சராசரி மாற்றம் s ஆனால் $y = \frac{sx}{2D}$

$$\text{எனவே } y = \frac{3\ Mg\ al^2}{2\ qbd^3} = \frac{sx}{2D}$$

$$\therefore\ q = \frac{3\ Mg\ al^2 \times 2D}{2\ bd^3\ sx} = \frac{3\ Mg\ al^2 D}{bd^3\ sx}$$

இச் சமன்பாட்டிலிருந்து யங்குணகத்தைக் கணக்கிடு. கூர்விளிம்புகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு, கூர்விளிம்புகளிலிருந்து எடைக் கொக்கிகள் தொங்குகின்ற தொலைவு ஆகியவற்றை மாற்றிச் சோதனையைத் திரும்பச் செய்.

கோனிக் முறை (Koenig's method): முன்னர் சீரற்ற வளைவிற்குப் பயன்படுத்திய கருவியமைப்பைச் சற்றுத் திருத்தியமைத்து சீரான வளைவு முறையிலும் கோனிக்கின் சோதனையைச் செய்யலாம். கூர் விளிம்புகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு 50 செ.மீ., க்கு மேலிருக்குமாறு வைத்து அவற்றின் மீது சட்டத்தைக்




படம் 68.

கிடையாகவும் சமச் சீராகவும் வை. இரு எடைக் கொக்கிகளை முனைக்கொன்றாகக் கூர் விளிம்புகளிலிருந்து சமத் தொலைவுகளில் மாட்டு. கோலின்மேல் கத்தி விளிம்புகளுக்கு மேல் இரு ஆடித் துண்டுகளை நேர்குத்தாகப் பொருத்தி, ஓர் அளவு கோலின் அளவீடுகள் இரு முறை எதிரொளிக்கப்பட்டு ஒரு தொலை நோக்கியில் தெளிவாகத் தெரியுமாறு லேசாகத் திருப்பி வை. அளவு கோலின் ஏதாவது ஒரு அளவீடு குறுக்கிழைகள் வெட்டும் புள்ளிக்கு நேரே தெரியும்படி தொலை நோக்கியைக் குவியப்படுத்து.

எடைக் கொக்கிகளில் சம அளவுள்ள எடைகளைப் படிப்படியாகச் சேர்த்தும் குறைத்தும் சட்டத்தை மீட்சிப் பாங்கிற்கு கொண்டுவா. பின்னர் சம அளவுள்ள பாழ்ச் சுமைகளைக் கொக்கிகளில் மாட்டித் தொலைநோக்கியின் குறுக்கிழைகளின் வெட்டும் புள்ளியில் பொருந்தித் தெரியும் அளவீட்டைப் பதிவு செய்து கொள். இதே போல படிப்படியாகச் சம அளவுள்ள எடைகளைச் சேர்த்தும் குறைத்தும் ஒவ்வொரு எடைக்கும் தொலை நோக்கியில் தெரிகின்ற அளவீடுகளைக் குறித்துக்கொள்.

அளவீடுகளை அட்டவணைப்படுத்தி, ஒரு குறிப்பிட்ட எடையினால் அளவீடுகளில் ஏற்படும் சராசரி மாற்றத்தைக் கண்டுபிடி.

எடைக் கொக்கிகளில் ஒவ்வொன்றிலும் 1 அல்லது 2 கிலோ கிராம் எடைகளைச் சேர்த்தால் கோல் நடுவில் ஏற்றமடைந்து ஆடிகள் வெளிப்புறமாகத் திரும்பும். இதனால் தொலைநோக்கியில் தெரியும் அளவீடு மாறும். இம் மாற்றம் x எனில்

$$q = \frac{Wa\propto}{AK^2} \cdot \frac{(2D + \propto)}{x}$$ எனக் காட்டலாம்.

இதில் W = சுமை Mg, D = அளவு கோலுக்கும் தொலைவிலுள்ள ஆடிக்குமிடையிலுள்ள தூரம், ∝ = ஆடிகளுக்கிடையில் உள்ள தொலைவு. a – கூர்விளிம்பிற்கும் எடைக் கொக்கிக்குமிடையிலுள்ள தூரம்.

சீரான வளைவின்போது சட்டம் சம நிலையிலிருக்கையில்,

$$\frac{qAK^2}{R} = Wa.$$

ஆடிகள் ஒவ்வொன்றும் θ அளவு திருப்பப்பட்டால், ஆடிகள் பதிக்கப்பட்ட புள்ளிகளுக்கிடையிலுள்ள கோலின் பகுதி அதன் வளைவு மையத்தில் 2 θ கோணத்தைத் தாங்குகின்றது.

இப்போது $\frac{\propto}{R} = 2\theta$ அல்லது $\theta = \frac{\propto}{2R}$

முன்னர் கண்டபடி $\theta = \frac{x}{\propto(2D + \propto)}$

$$\because \quad R = \frac{\propto}{2\theta} = \frac{\propto(2D + \propto)}{x}$$

$$\therefore \quad \frac{qAK^2}{R} = \frac{qAK^2 \times x}{\propto(2D + \propto)} = Wa$$

$$\because \quad q = \frac{Wa \propto (2D + \propto)}{AK^2 x}$$

செவ்வகக் கோலுக்கு $AK^2 = \frac{bd^3}{12}$. ஆகவே

$$q = \frac{12Mg \propto (2D + \propto)}{bd^3 x.}$$

இதிலிருந்து q வின் மதிப்பைக் கணக்கிடு.

3.24. சீரான வளைவின்போது செய்யப்படும் வேலையின் அளவு :

வெளி விசையிரட்டையினால் வளைக்கப்பட்ட ஒரு சட்டத்தில் நடுநிலைப் பரப்பிலிருந்து y தொலைவிலுள்ள, a பரப்பளவுள்ள ஒரு படலத்தைக் கவனிப்போம். அப் படலத்தில் ஏற்படும் திரிபு $= \frac{y}{R}$

சட்டத்தின் நீளம் $l$ எனில் உண்மையான நீட்சி $= \frac{yl}{R}$

இந்தத் திரிபை ஏற்படுத்தும் தகைவு $= \frac{qy}{R}$

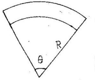
($\because$ q = தகைவு/திரிபு)

இந்தத் தகைவைத் தரும் விசை $= \frac{qay}{R}$

படலத்தை நீட்டுவதில் செய்யப்படும் வேலை $= \frac{1}{2}$ விசை $\times$ நீட்சி

$$= \frac{1}{2}\left( q \times \frac{1}{R} \times y \times a \right) \left( \frac{1}{R} \times y \times l \right)$$

$$= \frac{1}{2} \frac{qal\, y^2}{R^2} = \frac{1}{2} \frac{qy^2\, al}{R^2}$$




படம் 69.

முழுச் சட்டத்திற்கும் செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை

$$= \frac{1}{2} \frac{ql}{R^2} \Sigma (y)^2 a$$

எனவே சீரான வளைவின்போது செய்யப்படும் வேலை

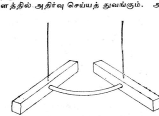
$$= \frac{1}{2} \frac{ql\, AK^2}{R^2} = \frac{1}{2} \frac{qAK^2}{R} \times \frac{l}{R}$$

சீராக வளைந்த கோலின் முனைகளுக்கிடையிலுள்ள கோணம் $\theta = l/R$. எனவே சீரான வளைவின்போது நிகழும் செயல் $= \frac{1}{2}$ (வளைவுத் திருப்புத்திறன் $\times$ வளைந்த சட்டம் அதன் மையத்தில் தாங்குகின்ற கோணம்)

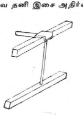
**3.25. சியர்ள் முறையில் ஒரு கம்பியின் யங்குணகம் q, விறைப்புக் குணகம் n, பாய்சான் தகவு σ ஆகியவற்றைக் கண்டுபிடித்தல் :**

சியர்ள் கருவியமைப்பில் சீரானதும், செவ்வக அல்லது உருளையான, ஒரே மாதிரியான இரு உலோகக் கோல்கள் AB, CD உள்ளன. அவை சுமார் 30 செ.மீ., நீளமுள்ளவையாயிருக்கும். சோதனைக்கான கம்பியின் இரு முனைகளையும், உலோகக் கோல்களின் மையத்திலுள்ள துளைகளில் சொருகிப் பற்றவைத்து விடவேண்டும். சம நீளமுள்ள, முறுக்கற்ற இரு நூல்களில் இவ்விரு கோல்களும் ஒரு உறுதியான தாங்கியிலிருந்து தொங்க விடப்படும். நூல்கள் இணையாகவும் சட்டங்கள் ஒரே கிடைத் தளத்திலும் இருக்குமாறு சரிப்படுத்திக்கொள்ள வேண்டும்.

சட்டங்களின் B, D முனைகளைப் பிடித்து அழுத்தி அவை நெருங்கி வருமாறு செய்து விட்டுவிடு. சட்டங்கள் கிடைத் தளத்தில் அதிர்வு செய்யத் துவங்கும். அவை தனி இசை அதிர்வு



படம் 70



படம் 70-A

களா(SHM)யிருக்கும். ஒரு கடிகாரத்தினுதவியுடன் 20 அலைவுகளுக்கான நேரத்தைக் கண்டுபிடி. பலமுறை சோதனையைத் திரும்பச் செய்து சராசரி நேரத்தைக் கண்டுபிடித்துக் கொண்டு ஒரு அலைவுக்கான நேரத்தை($T_1$)க் கண்டு பிடி.

ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் சோதனைக் கம்பி R ஆரமுள்ள ஒரு வட்டத்தின் வில்லாக வளைந்து வளைவு மையத்தில் 2 θ கோணத்தைத் தாங்கி யிருக்கட்டும். ஒவ்வொரு சட்டமும் தனது துவக்க நிலையிலிருந்து θ கோணத்தில் திரும்பி யிருக்கும்.

தொங்கு நூலிலுள்ள இழுவிசையோ முறுக்கமோ அற்பமான தாகையால், சட்டங்களில் செயல்படும் விசை யிரட்டை சோதனைக்

கம்பி வளைவதால் மட்டுமே ஏற்பட்டதாகும். இம் முறையில் தொங்கவிடப்பட்ட ஒரு கம்பியில் தோன்றும் விசையிரட்டை $\frac{qAK^2}{R}$ க்குச் சமம். இதில் R என்பது கம்பியின் வளைவு ஆரம்,

கம்பியின் நீளம் $l$ எனில் $R = l/2\theta$

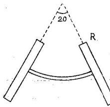
கம்பி உருளையானது எனக் கொண்டால், $AK^2 = \frac{\pi r^4}{4}$

எனவே அதில் செயல்படும் விசை யிரட்டை

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

AB சட்டத்தின் சடத்துவத்திருப்புதிறன் I, $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ அதன் சுழல் முடுக்கம் (Angular Acceleration) எனில் வெளி விசையின் திருப்பு திறன் = $I \frac{d^2\theta}{dt^2}$.

இது கம்பியில் தோன்றும் மீட்டுவரும் விசை யிரட்டைக்குச் சமமாயும் எதிர்த்திசைகளிலுமிருக்கும். எனவே சட்டத்திற்கான இயக்கச் சமன்பாடு, $I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{\pi q r^4}{2l}\theta$




படம் 71.

இது ஒரு தனி இசை இயக்கம் (SHM), அதன் அலைவு நேரம்

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{2\, I,\, l}{\pi\, q r^4}}$$

AB கோல் 2L நீளமும், 2B அகலமும் M நிறையுள்ள ஒரு செவ்வகச் சட்டமானால், $I = M \frac{L^2 + A^2}{3}$,

$$\text{எனவே } q = \frac{8\pi l}{T_1^2 r^4} \left( \frac{L^2 + B^2}{3} \right) M$$

கம்பியின் ஆரம் r, நான்கு மடிகளில் வருவதைக் கவனி. ஆகவே அதை மிகவும் துல்லியமாகக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும். ஏழெட்டு இடங்களில் திருகுமானி உதவியுடன் விட்டத்தைக் கண்டு பிடித்துச் சராசரி ஆரத்தைக் கணக்கிடவேண்டும்.

விறைப்புக் குணகத்தைக் கண்டுபிடிக்க, CD சட்டத்தை ஒரு உறுதியான பிடிப்பில் கிடையாக இருக்குமாறு இறுகப் பொருத்து. AB-யை இப்போது கிடைத்தளத்தில் முறுக்க அலைவுகள் செய்ய விட்டால், கம்பி முறுக்கப்பட்டு சட்டத்தில் ஒரு மீட்டுவரும் விசை யிரட்டை தோன்றும். θ எனும் முறுக்கத்திற்கு மீட்டுவரும்

$$\text{விசையிரட்டை} = \frac{\pi n r^4 \theta}{2l}$$

$$\text{எனவே சட்டத்தின் இயக்கச் சமன்பாடு } I\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{\pi n r^4}{2l}\theta$$

இது ஒரு தனி இசை (SHM) அலைவாகும். அதன் அலைவு நேரம்

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{2l\,I}{\pi n r^4}}$$

$$\text{இதிலிருந்து } n = \frac{8\pi\, Il}{T_2^2 r^4}$$

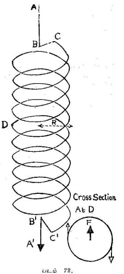
இவ்வாறு கம்பியின் விறைப்புக் குணக (n) த்தைக் கணக்கிடலாம்,

பாய்சான் தகவு, $\sigma = \frac{q}{2n} - 1$ எனும் தொடர்பிலிருந்து

கணக்கிடப்படும். $q = \frac{8\pi\, Il}{T_1^2 r^4}$ , $n = \frac{8\pi\, Il}{T_2^2 r^4}$ ஆதலால்

$$\sigma = \frac{q}{2n} - 1 = \frac{T_2^2}{2\,T_1^2} - 1$$

3.26. தட்டைச்சுருள்வில்(Flat Spiral Spring)லின் நீட்சி: ஒரு சீரான உலோகக் கம்பி அல்லது நாடாவை ஒரு உருளையின் மேல், கம்பியின் அச்சு உருளையின் அச்சோடு ஒரு மாருத கோணத்தில் சாய்ந்திருக்கும்படியாகச் சுற்றினால் ஒரு தட்டைச் சுருள் உருவாகி விடுகிறது. இங்கு நாம் ஒரு மெல்லிய கம்பியை அதன் தளம் எல்லாவிடத்தும் உருளையின் அச்சிற்கு ஏறத்தாழ நேர்குத்தாக இருக்குமாறு நெருக்கமாகச் சுற்றி உருவாக்கப்பட்ட ஒரு சுருள்வில்லைப் பற்றிப் பார்ப்போம். அதன் சுற்றுகளுக்கிடையிலுள்ள தூரம் (Pitch) சுருள் வில்லின் ஆரத்தோடு ஒப்பிடுகையில் மிகச் சிறியதாயிருக்கும். இத்தகைய ஒரு சுருள்வில்லை எடுத்துக் கொண்டு, அதன் முனைகளை இரு முறை யடித்து அவை படத்தில் காட்டியுள்ளபடி சுருள் வில்லின் அச்சோடு பொருந்தியிருக்குமாறு செய். பின்னர் அதன் அச்சுத் திசையில் ஒரு நீட்சி விசையைச் செலுத்தும் வகையில் ஒரு எடையைத் தொங்கவிடு. சுருள் வில்லில் B'D எனும் பகுதியைக் கவனி. அது B' ல் உள்ள வெளி விசைக்கும், D யில் கம்பியின் செங்குத்தான குறுக்குப் பரப்பில் செயல்படும் தகைவுகளுக்கும் உட்பட்டுச் சம நிலையிலுள்ளது. எனவே இந்தத் தகைவுகள் F ஆல் ஏற்படும் சுழற்சி மற்றும் நீட்சி விளைவுகளை எதிர்த்து ஈடு செய்துவிட்டதாக அர்த்தமாகிறது. எனவே இத் தகைவுகளினால்,



படம் 72.

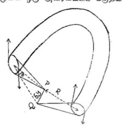
(1) D யில் ஒரு செங்குத்தான மேல் நோக்கிய தொடுவியல் விசை F

(2) B'-ல் உள்ள வெளிவிசை, D யிலுள்ள தொடுவியலான மேல் நோக்கு விசை ஆகியவற்றின் வலம்புரி திருப்புத்திறனை ஈடு செய்கின்ற இடம்புரித்திருப்புத்திறனுள்ள ஒரு விசையிரட்டை ஆகியவற்றை உருவாக்க வேண்டும்.

இந்த இரண்டாவதாகக் கூறப்பட்ட விசையிரட்டையின் திருப்புத்திறன் $= F \times R$. இதில் R என்பது சுருள் வில்லின் ஆரம்.

R-உடன் ஒப்பிடுகையில் கம்பியின் ஆரம் r மிகச் சிறியதாகை யால், சுருள் வில்லை நீட்டுகையில் F, F எனும் விசைகளால் உரு வாக்கப்பட்ட சறுக்கத்தகைவுகளைப் புறக்கணித்து விடலாம். (2)ல் கூறப்பட்ட விசையிரட்டை முறுக்கப்பண்புள்ளதாகையால் அது கம்பி முழுமைக்கும் சமமான மாறிலியாயிருக்கும். எனவே அது கம்பி முழுவதிலும் ஒரு சீரான முறுக்க வீதத்தை (Rate of Twist) ஏற்படுத்துகிறது.

சுருள் வில்லில் ஏற்பட்ட நீட்சியைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு நாம் முதலில் R ஆரமுள்ள ஒரு அரைவட்டப் பகுதியின் முனைகளுக்




படம் 73.

கிடையில் ஏற்பட்ட சார்பு நீட்சி (Relative Extension) யைக் கவனிப்போம். சுருள் வில்லில் நீட்சி ஏற்படுவதற்கு முன், அந்த அரைவட்டத்தின் மையத்தில் சந்திக்கும் வகையில் இரு முனைகளி லிருந்தும் R நீளமுள்ள இரு குறிமுள்களைப் பொருத்துவதாகக் கற்பனை செய்துகொள்வோம். சுருள்வில்லின் அச்சுத்திசையில் F எனும் விசையால் சுருள்வில் நீட்டப்படும்போது இந்த அரை வட்ட வளையத்தின் ஒவ்வொரு முனையிலும் தோன்றும் முறுக்க விசையிரட்டை $F \times R = \dfrac{\pi n r^4 \theta}{2 l}$

இதில் n = கம்பியின் விறைப்புக்குணகம், $l$ = அரைவட்டத்தின் நீளம், θ = அரைவட்டத்தில் ஏற்படும் முறுக்கக்கோணம் (இரு முனைகளுக்கும் இடையில் உள்ள சார்புக்கோண இடப்பெயர்ச்சி (Relative Angular Displacement) ஆகும்.

$$\text{எனவே } \theta = \frac{F \times R \times 2\,l}{\pi\, n r^4}$$

$$l = \pi R \text{ ஆதலால் } \theta = \frac{2\,F\,R^2}{n r^4}$$

P க்கும் Q வுக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவு = $\delta y = R\,\theta$

$$= \frac{2\,F\,R^3}{n r^4}$$

சுருள்வில்லினுடைய ஒவ்வொரு அரைவட்டமும் இவ்வாறு இறக்கமடைவதால் தோன்றும் மொத்த விளைவு சுருள்வில்லின் நீட்சியாகப் புலப்படுகிறது. சுருள்வில்லில் மொத்தம் N சுற்றுகள் இருந்தால் அதில் ஏற்படும் மொத்த நீட்சி y = δy × அரைவட்டங்களின் எண்ணிக்கை.

$$= \delta y \times 2\,N$$

$$= \frac{4NFR^3}{n r^4}$$

சுருள் வில்லிலுள்ள கம்பியின் மொத்த நீளம் L எனில், $N = \frac{L}{2\pi R}$

$$\therefore\ y = \frac{2\,R^2 L \times F}{\pi\, n r^4}$$

இந்த நீட்சி சுருள்வில்லின் அடியில் தொங்கவிடப்பட்ட M எனும் நிறையினால் ஏற்படுவதானால் F = Mg.

$$\therefore\ y = \frac{2\,R^2\,L}{\pi\, n r^4} Mg.$$

சுருள் வில்லின் அலைவுகள் : மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து $F = \frac{\pi\, n\, r^4}{2\,R^2 L} \times y$ அல்லது F = Ry எனப் புலப்படும். இங்கு R என்பது ஒரு மாறிலியாகும்.

M எனும் சுமையேற்றப்பட்ட சுருள்வில் ஓய்வு நிலையிலிருக்கையில் அதன் கீழ்முனை y தொலைவு இறங்கியிருக்கும். இதனால் $F = Mg$ எனும் சமமான விசை செங்குத்தாக மேல்நோக்கிச் சுமையின் மேல் செலுத்தப்படும். இப்போது சுமையைச் சற்றுக் கீழே இழுத்து நீட்சியை $\delta y$ அளவு அதிகரித்தோமானால், சுருள் வில் சுமையின்மேல், மேல்நோக்கிச் செலுத்தும் விசை $= R(y + \delta y)$

எனவே சுமையின்மேல் செயல்படும் மேல்நோக்குத் தொகு பயன் விசை $= R(y + \delta y) - Mg$

$$= Ry + R\delta y - Mg = R\delta y \; (\because \; Ry = F = Mg)$$

சுமையை இழுத்துவிட்டு விட்டோமானால் இந்த $R\delta y$ எனும் விசை சுமையில் $\frac{d^2y}{dt^2}$ எனும் முடுக்கத்தைத் தோற்றுவிக்கும்.

$$\text{ஆகவே } M\frac{d^2y}{dt^2} = -R\delta y.$$

$\delta y$-ம், முடுக்கம் $\frac{d^2y}{dt^2}$-ம் எதிர் எதிர்த் திசைகளிலுள்ளதை எதிர்க் குறி காட்டுகிறது.

$$\text{அல்லது } \frac{d^2y}{dt^2} = -\left(\frac{R}{M}\right)\delta y$$

இது சுருள்வில் சீரிசை இயக்கம் (SHM) அலைவு செய்வதைக் குறிக்கிறது. அதன் அலைவு நேரம் $T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{R}}$

$$\text{அல்லது } T = 2\pi\sqrt{\frac{2R^2LM}{\pi nr^4}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

$$\text{ஆனால் } \frac{2R^2LM}{\pi nr^4} = y/g$$

$$\therefore \; T = 2\pi\sqrt{\frac{y}{g}}$$

சுருள் வில்லினுடைய நிறையைக் கணக்கிலெடுத்துக் கொண்டால் அலைவு நேரத்திற்கான சமன்பாட்டில் ஓர் திருத்தத்தைச் சேர்க்க வேண்டும். அத் திருத்தம் சுருள்வில்லின் நிறை

(m) யில் மூன்றில் ஒரு பங்கு எனக் காணப்பட்டுள்ளது. இதைச் சுமையின் மதிப்புடன் கூட்டிக்கொள்ள வேண்டும்.

$$\therefore \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{2R^2L\left(M + \frac{m}{3}\right)}{\pi n r^4}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

இச் சமன்பாட்டிலிருந்து சுருள்வில்லின் கம்பியின் விறைப்புக் குணகத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

ஒரு தட்டைச்சுருள்வில்லின் ஒரு முனையைத் தாங்கியில் உறுதியாகப் பொருத்தித் தொங்கவிட்டுக் கீழ்முனையில் M எனும் தெரிந்த நிறையைத் தொங்கவிடு. நிறையைச் சிறிது கீழே இழுத்து விட்டுவிட்டால் நிறை செங்குத்தான தளத்தில் தனி இசை அலைவுகள் செய்யும். ஒரு கடிகாரத்தினுதவியால் அதன் அலைவு நேரத்தைக் கண்டுபிடி. M-ன் மதிப்பைப் பலமுறை மாற்றிச் சோதனையைத் திரும்பச் செய். சுருளில் உள்ள கம்பியின் நீளம் L-ன் மதிப்பை $2\pi NR$ எனும் கோவையிலிருந்து கண்டு பிடிக்கலாம். இதில் R என்பது சுருள் வில்லின் சராசரி ஆரமாகும். சுருள்வில்லின் வெளி ஆரத்திலிருந்து கம்பியின் ஆரத்தைக் கழித்து R பெறப்படும். கம்பியின் ஆரம் r, நான்கு மடியில் வருவதால் அதன் மதிப்பைக் கவனத்துடன் துல்லியமாகக் கண்டுபிடிக்க வேண்டும்.

மேற்கண்ட (2) ம் கோவையிலிருந்து $n = \frac{16\pi^2R^3N}{r^4} \times \frac{M + \frac{m}{3}}{T^2}$ ... ... ... (3)

அளவீடுகளைப் பின்வருமாறு அட்டவணைப் படுத்து.

| M கிராம் | $M + \frac{m}{3}$ | T விநாடி | $T^2$ | $\frac{M + m/3}{T^2}$ |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

$\frac{M + m/3}{T^2}$ ன் சராசரி மதிப்பை (3)ம் கோவையில் பதிலீடு செய்து விறைப்புக் குணகத்தின் மதிப்பைக் கணக்கிடு.

$T^2$க்கும் M க்கும் இடையில் ஓர் வரைபடம் வரையலாம். அந்த வரைகோடு M அச்சைச் சந்திக்குமிடம் $\frac{m}{3}$ மதிப்பைக் கொடுக்கும். சுருள்வில்லின் கம்பியின் யங்குணகத்தைக் கண்டுபிடித்தல்.

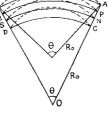
சுருள்வில்லின் மேல்முனையை ஒரு உலோகத்தண்டைக் கிடையாக இருக்குமாறு இணை. மாக்ஸ்வெல் ஊசி முறையில் செய்ததுபோல இந்தத் தண்டைக் கிடைத்தளத்தில் அலைவு செய்ய விட்டுச் சுருள்வில்லின் கம்பியின் யங்குணகத்தைக் கண்டு பிடிக்கலாம். அத்தகைய தண்டின் அலைவு நேரம்

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{8\ R\ N\ I}{r^4 q}}$$

இதில் q என்பது கம்பியின் யங்குணகம்., R சுருள்வில்லின் சராசரி ஆரம், r, கம்பியின் ஆரம், I, சுருள்வில்லின் அச்சைப் பொறுத்த (அலைவு அச்சைப் பொறுத்த) தண்டின் சடத்துவ திருப்புத்திறன் N, சுருள்வில்லிலுள்ள சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை.

முன் சோதனையில் போலவே இப்போதும் தட்டைச்சுருளில் சுருள்கள் நெருக்கமாயிருப்பதாயும், ஒவ்வொன்றும் கிடையாக இருப்பதாயும் கற்பனை செய்துகொள்ளுவோம்.

சுருள்வில்லின் ABCD எனும் சிறிய s நீளமுள்ள பகுதியின் கிடைத்தோற்றம் காட்டப்பட்டுள்ளது. படத்தின் தளத்திலுள்ள நடுநிலைப் பரப்பின் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றம் NS ஆகக் குறிக்கப்படும். இந்த நடுநிலைப் பரப்பு படத்தின் தளத்திற்கு நேர்குத்தாயிருக்கும். சுருள்வில் விசைகளினால் பாதிக்கப்படாமல் இருக்கும் நிலையை ABCD குறிக்கட்டும்.



படம் 74.

தண்டைக் கிடைத்தளத்தில் L கோணத்தில் திருப்பு

வதாகக் கொள்வோம். சுருள்வில்லின் மற்றெல்லாப் பகுதிகளுடன் ABCD யின் வளைவும் அதிகமாகும். அதை புள்ளிக்கோட்டினால் காட்டப்பட்ட உருவம் குறிக்கும்.

கம்பியில் ஒரு தனியிழையை எடுத்துக்கொள்வோம். a எனும் குறுக்குப் பரப்புள்ள அந்த இழையினை ஒரு சிறிய கோணத்தில் வளைக்கத் தேவையான விசை f எனில்

$$q = \frac{f/a}{\text{இழையிலேற்படும் திரிபு}}$$

நடுநிலைப் பரப்பின் துவக்க வளைவு ஆரம் Ro என்போம்.

NS எனும் நடுநிலைப் பரப்பிலிருந்த n தொலைவிலுள்ள Pq எனும் இழையின் துவக்க நீளம் = $(Ro + x)\ \theta o$. இதில் $\theta o$ என்பது நடுநிலைப் பரப்பு அதன் வளைவு மையத்தில் துவக்கத்தில் தாங்குகின்ற கோணமாகும்.

f ஐப்போன்ற தகைவுகளினால் கம்பிப் பகுதியின் வளைவு அதிகமாகியுள்ளது. அதனால் நடுநிலைப்பரப்பின் வளைவு ஆரம் R ஆகக் குறைந்துள்ளதாய்க் கொள்வோம், புதிய வளைவு மையம் O' எனில், Pq வின் புதிய நீளம் = $(R + x)\ \theta$

நடுநிலைப்பரப்பின் நீளம் மாறாது ஆகையால் $Ro\ \theta o = R\theta = s$

$$\text{எனவே Pq வில் ஏற்பட்ட திரிபு} = \frac{(R + x)\ \theta - (Ro + x)\ \theta o}{\text{துவக்க நீளம் s}}$$

$$= \frac{x\ (\theta - \theta o)}{s}$$

$$= x\left(\frac{\theta}{R\theta} - \frac{\theta_0}{R_0\theta_0}\right)$$

$$= x\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0}\right)$$

$$\therefore\ q = \frac{f/a}{x\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0}\right)}$$

அதாவது $f = q\ a\ x\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0}\right)$

நடுநிலைப்பரப்பைப் பொறுத்து இத்தகைவின் திருப்புதிறன் $= fx$ ∴ கம்பிப் பகுதியில் செயல்படும் மொத்த திருப்புறன் $= \Sigma fn$

$$= \Sigma q a x^2 \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{R_0} \right)$$

$$= q AK^2 \left( \frac{1}{R} - \frac{1}{R^2} \right)$$

ஒரு செ. மீ., நீளமுள்ள கம்பியினுல் இரு நிலைகளிலும் முறையே B, Bo எனும் கோணங்கள் வளைவு மையத்தில் தாங்கப்பட்டால் மேற்கண்ட விசையிரட்டை $C = qAK^2 (B - Bo)$

சுருள்வில்லிலுள்ள கம்பியின் மொத்த நீளம் $l$ எனில், கோணத்தில் ஏற்பட்ட மொத்த மாற்றம் = தண்டு திருப்பப்பட்ட மொத்த கோணம் $= \propto = l (B - Bo)$

$$\text{எனவே } C = qAK^2 \frac{\propto}{l}$$

இது கம்பி வளைவதால் அதனுள் ஏற்படும் உள்ளிடத்தகைவுகளின் விசையிரட்டை திருப்புத்திறனுக்குச் சமமாகும். எனவே

$$I \frac{d^2 \propto}{dt^2} = - q AK^2 \propto$$

இந்த தனி இசை யியக்கத்தின் அலைவு நேரம் $T = 2\pi \sqrt{\frac{I l}{q A K^2}}$

உருளையான கம்பிக்கு $AK^2 = \frac{\pi r^4}{4}$., $l = 2\pi RN$

$$\text{எனவே } T = 2\pi \sqrt{\frac{8 I N R}{r^4 q}}$$

$$\text{அலலது } q = \frac{32 \pi^2 I N R}{r^4 T^2}$$

சுருள்வில்லின் மேல்முனையை ஒரு தாங்கியில் இறுகப் பொருத்து. கீழ்முனையில் ஒரு கோலை அதன் புவியீர்ப்பு மையத்தில் இறுகப் பிணைத்துவிட்டு, அதை முறுக்கலைவுகள் செய்யவிடு. ஒரு நிறுத்துக் கடிகாரத்தின் உதவியுடன் 50 அல்லது 100 அலைவுகளுக்காகும் நேரத்தைத் துல்லியமாகக் கண்டுபிடித்து ஒரு அலைவுக்கான நேரத் (T) தைக் கணக்கிடு. கோலின் பரிமாணங்

களிலிருந்து l கணக்கிடப்படும். r, R ஆகிய மதிப்புக்களைத் துல்லியமாக அளந்து கொண்டு q வின் மதிப்பைக் கண்டுபிடி.

### மாதிரிக் கணக்குகள்

1. 3 மீட்டர் நீளமும் 2 மி. மீ² குறுக்குப் பரப்புமுள்ள ஒரு செப்புக்கம்பி கூரையிலிருந்து தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. அதன் அடியில் 2 கிலோ கிராம்நிறையைக் கட்டித் தொங்கவிட்டால் அது எவ்வளவு நீட்சியடையும்? ($q = 12.5 \times 10^{11}$ டைன்கள்/செ.மீ.²)

$$q = \frac{FL}{A\,l}; \quad \therefore \; l = \frac{FL}{Aq}$$

$$= \frac{2000 \times 980 \times 300}{\cdot 02 \times \cdot 02 \times 12\cdot 5 \times 10^{11}}$$

$$= 0\cdot 0235 \text{ செ.மீ.}$$

2. மேற்கண்ட கணக்கிலுள்ள செப்புக்கம்பி அதன் மீட்சி எல்லையை அடைய, அதன் முறிவுப்புள்ளியை அடைய எவ்வளவு நிறை தேவைப்படும்?

மீட்சி என்பது ஹுக்கின் விதிக்கு உட்படுகின்ற பெருமத் தகைவு ஆகும். எனவே $F = E \times A$, செப்புக்கு மீட்சி எல்லையின் சிறுமதிப்பை ($1 \times 10^8$ டைன்கள்/செ. மீ²) எடுத்துக்கொள்வோம். (a) $F = 1 \times 10^8 \times 0.02 = 2 \times 10^6$ டைன்கள் = 20 நியூட்டன்கள். (b) முறிவுப்புள்ளி, செம்புக்கம்பி அறுந்து போவதற்குமுன் ஏற்றக்கூடிய பெருமத்தகைவு ஆகும்.

$F = P \times A = 23 \times 10^8 \times 0.02 = 46 \times 10^6$ டைன்கள் = 460 நியூட்டன்கள்.

3. ஒரு சீரான சிறிய பருமத்திரிபு v, ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்துத் திசைகளில் உள்ள v/3 எனும் மூன்று நேர்கோட்டுத் திரிபுகளுக்குச் சமம் எனக் காட்டு.

அலகு பக்கமுள்ள ஒரு கன சதுரம் எல்லாத் திசைகளிலும் சமமான, சீரான அழுத்தத்தினால் இறுக்கப்படட்டும். அதனால் அதன் எல்லாப் பக்கங்களும் $l$ அளவு சுருங்கவும், பருமம் v அளவு குறையவும் செய்யும்.

இப்போது அதிலேற்படும் பருமத் திரிபு $= \frac{v}{1} = v$

கன சதுரத்தின் பக்கங்களில் ஏற்படும் நீளத் திரிபு $= \frac{l}{1} = l$

கன சதுரத்தின் புதிய பருமம் $= (1 - l)^3$

$\therefore$ பருமத்தில் ஏற்பட்ட குறைவு, $v = 1 - (1 - l)^3$

$$= 1 - 1 + 3l - 3l^2 + l^3 = 3l$$

(மற்றவை மிகச் சிறியவையானதால் விடப்பட்டன),

அதாவது $l = v/3$, எனவே ஒரு சிறிய, சீரான பருமத் திரிபு $v/3$ அளவுள்ள, ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்துத் திசைகளில் தோன்றும் மூன்று நீளவாட்டுத் திரிபுகளுக்குச் சமமாகும்.

**4.** ஒரு வாயுவின் பருமக்குணகம் (i) வெப்பநிலை மாறும் விருக்கையில் (Isothermal) அதன் அழுத்தத்திற்குச் சமம் எனவும் (ii) வெப்ப மாற்றீடற்ற (Adiabatic) நிலையில் அழுத்தத்தைப் போல $\gamma = cP/cv$ மடங்கு எனவும் காட்டு.

வாயுவின் அழுத்தம் P, பருமம் V என்போம். அதன் அழுத்தத்தை $(P + dP)$ ஆக உயர்த்தினால், பருமம் $(V - dV)$ ஆகக் குறையும். இப்போது தகைவு = அலகுப் பரப்பிலுள்ள விசை

= செலுத்தப்பட்ட அழுத்தம் dP

பருமத் திரிபு $= - dV/V$

$$\therefore \text{வாயுவின் பருமக்குணகம்} = - \frac{dP}{dV/V} = - \frac{dP}{dV} V \qquad \text{.........I}$$

(a) வெப்பநிலை மாறா நிலையில் பாயிலின் விதி பின்பற்றப் படுகிறது.

எனவே $PV = R$ எனும் மாறிலி, அல்லது $P = R/V$

இதை வகைப்படுத்தினால் $- dP/dV = R/V^2$

அல்லது $- VdP/dV = V. \quad R/V^2 = R/V = P$.........II

I லிருந்து இது பருமக்குணகத்திற்குச் சமம் என்பது புலப்படும். எனவே மாறா வெப்பநிலை மாற்றத்தின்போது பருமக் குணகம் அழுத்தத்திற்குச் சமம்.

(b) வாயு வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் அழுத்தப்பட்டால் $PV^{\gamma}$ = ஒரு மாறிலி R. ($\gamma = cP/cv$, வாயுவின் மாறா அழுத்த

வெப்ப எண்ணுக்கும், மாறாப் பரும வெப்ப எண்ணுக்கும் இடையில் உள்ள தகவாகும்).

$$P = R/V^{\nu} = RV^{-\nu}$$

இதை வகைப்படுத்தினல் $\frac{dP}{dV} = \nu RV^{-\nu-1}$

$$= -\nu R^{-\nu}/V$$

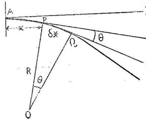
$$= -\nu/P/V$$

எனவே வெப்பமாற்றீடற்ற பருமக்குணகம் =

$$-V, \frac{dP}{dV} = \nu P,$$

5, ஒரு வளைந்த கோலின் வளைவு ஆரத்தைக் கோலின் இரு புள்ளிகளிலுள்ள சரிவின் அடிப்படையில் கண்டுபிடி. அதைப் பயன்படுத்தி ஒரு வளை சட்டத்தின் சுமையேற்றப்பட்ட முனையின் இறக்கத்தைக் கணக்கிடு.

APQ வளைந்த கோலைக் குறிப்பிடுகிறது. PQ என்பவை $\delta x$ இடைவெளியிலுள்ள இரு புள்ளிகள். Pயிலும் Qவிலும் தொடு




படம் 75.

கோடுகள் வரை. PQவின் வளைவு மையம் O., வளைவு ஆரம் R என்போம்.

$\hat{POQ} = \theta$ எனில், $PQ = R\theta$ அல்லது $\theta x = R\theta$.

$\theta$ என்பது P, Qவிலுள்ள தொடுகோடுகளுக்கிடையிலுள்ள கோணத்திற்கும் சமமாகும். ஒரு புள்ளியிலுள்ள தொடுகோட்டின் சரிவு அப் புள்ளியிலுள்ள $\frac{dy}{dx}$ மதிப்பிற்குச் சமமாகும்.

$$\text{எனவே } \theta = \left[ \text{Qவில் } \frac{dy}{dx} - \text{Pயில் } \frac{dy}{dx} \right]$$

$$\frac{d^2y}{dz^2} = \text{சரிவு மாறுகின்ற வீதம் ஆகும்.}$$

$\therefore$ Pயிலிருந்து Qவிற்குச் செல்லுகையில் சரிவில் ஏற்படும் மாற்றம் $= \frac{d^2y}{dx^2} \times \delta x$

$$\text{அதாவது } \theta = \frac{d^2y}{dx^2} \delta x$$

$$\therefore \delta x = R\delta x \cdot \frac{d^2y}{dx^2}$$

$$\text{அல்லது } R \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = 1$$

$$\text{அல்லது } \frac{1}{R} = \frac{d^2y}{dx^2}, \text{ Pயில் சரிவு மாற்ற வீதம்-}$$

இதிலிருந்து நடுநிலே அச்சின் வளைவு ஆரத்தைக் கண்டு பிடிக்கலாம். ஒரு முனையில் பொருத்தப்பட்டு மறுமுனையில் சுமை ஏற்றப்பட்ட $l$ நீளமுள்ள ஒரு வளைவு சட்டத்திற்கு,

$$Mg(l - x) = qAK^2/R$$

x அச்சு கிடைத்திசையிலும் y அச்சு செங்குத்தாகக் கீழ் நோக்கியுமிருக்குமாறு அவற்றைத் தேர்ந்தெடுத்துக் கொள்வோம்.

$$\therefore Mg(l - x) = q AK^2 \frac{d^2y}{dx^2}$$

$$\text{அல்லது } \frac{q AK^2}{Mg} \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = (l - x)$$

இதைத் தொகைப்படுத்தினால்,

$$\int \frac{q\,AK^2}{Mg} \cdot \frac{d^2y}{dx^2}\,dx = \int (l-x)\,dx$$

அல்லது $\frac{q\,AK^2}{Mg} \frac{dy}{dx} = \left( lx - \frac{x^2}{2} \right) + C_1$

$C_1$ என்பது தொகைமாறிலி. இதன் மதிப்பைச் சோதனை நிபந்தனைகளிலிருந்து கண்டுபிடிக்கலாம். பொருத்தப்பட்ட முனையான

A யில் $\frac{dy}{dx} = 0$, அதாவது $x = 0$ எனில் $\frac{dy}{dx} = 0$

எனவே $C_1 = 0$

$$\therefore \quad \frac{q\,AK^2}{Mg} \cdot \frac{dy}{dx} = lx - \frac{x^2}{2}$$

இதை மீண்டும் தொகைப்படுத்தினால்,

$$\int \frac{q\,AK^2}{Mg} \frac{dy}{dx}\,dx = \int \left( lx - \frac{x^2}{2} \right) dx$$

அல்லது $\int \frac{q\,AK^2}{Mg}\,dy = \int \left( lx - \frac{x^2}{2} \right) dx$

அல்லது $\frac{q\,AK^2}{Mg}\,y = \frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6} + C^2$

இங்கு $c_2$ என்பது மற்றொரு தொகை மாறிலி. மீண்டும் A-யில் இறக்கம் $y = 0$. அதாவது $x = 0$ எனில் $y = 0$.

எனவே $c_2 = 0$

$$\therefore \quad \frac{q\,AK^2}{Mg}\,y = \frac{lx^2}{2} - \frac{x^3}{6}$$

சுமையேற்றப்பட்ட முனையின் இறக்கத்தைக் கண்டுபிடிக்க $x = l$ எனும் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்யவேண்டும்.

$$\therefore \quad \frac{q\,AK^2}{Mg}\,y = \frac{l^3}{2} - \frac{l^3}{6} = \frac{l^3}{3}$$

அல்லது $y = \frac{Mg\,l^3}{3\,q\,AK^2}$

b அகலமும் d தடிமனும் உள்ள கோலுக்கு $AK^2 = \frac{bd^3}{12}$.

எனவே $y = \frac{4\ Mg\ l^3}{q\ bd^3}$.

r ஆரமுள்ள ஒரு உருளைத் தண்டிற்கு $AK^2 = \frac{\pi\ r^4}{4}$.

எனவே $y = \frac{4\ Mg\ l^3}{3\ q\pi r^4}$

6. 4 மீட்டர் நீளமும் 8 மி.மீ., விட்டமுமுள்ள ஒரு எஃகுக் கம்பி ($q = 2 \times 10^{12}$ டைன்கள்/செ. மீ.$^2$)யில் 0.3 மி. மீ., நீட்சி யுண்டாக்கத் தேவைப்படும் செயலின் அளவைக் கணக்கிடு.

$$q = \frac{F}{a} \Big/ \frac{x}{l} = \frac{Fl}{ax}$$

அல்லது $2 \times 10^{12} = \frac{F \times 400}{x \times \pi \times (.04)^2}$

$$\therefore\ F = \frac{2 \times 10^{12} \times \pi \times .04 \times .04x}{400}$$

$= 2.5 \times 10^7$ டைன்கள்

செய்யப்பட்ட செயல் $= \int_0^{0.3} F dx$

$$= \int_0^{0.3} 2.5 \times 10^7 x\ dx = 2.5 \times 10^7 \left[\frac{x^2}{2}\right]_0^{0.3}$$

$$= 2.5 \times 10^7 \times \frac{0{\cdot}09}{2}$$

$= 1.125 \times 10^6$ எர்குகள் $= 0.1125$ ஜுல்கள்

7. 2 மி. மீ., விட்டமுள்ள ஒரு எஃகுக் கம்பி 20°C வெப்ப நிலையில் இரு ஆணிகளுக்கிடையில் இழுத்துக் கட்டப்பட்டுள்ளது. வெப்பநிலை 10°C யாகக் குறையும்போது கம்பியிலுள்ள இழுவிசை

யைக் கணக்கிடு (எஃகின் நீள விரிவு எண் $\alpha = 0.000011$ $q = 2.1 \times 10^{12}$ டைன்கள்/செ. மீ.,$^2$

கம்பியில் ஏற்படும் சுருக்கம் $x = l\alpha t$

$$= l \times 0.000011 \times 10 = 0.00011 l \text{ செ.மீ.}$$

ஆனால் $q = \frac{F}{a} \Big/ \frac{x}{l}$, $F = \frac{qax}{l}$

$$= \frac{2.1 \times 10^{12} \times \pi (0.1)^2 \times 0.00011 l}{l}$$

$$= 7{\cdot}16 \times 10^4 \text{ டைன்கள்}$$

$$= 0.716 \text{ நியூட்டன்கள்,}$$

8. 0.32 மி. மீ., விட்டமுள்ள ஒரு தங்கக் கம்பி 230 கிராம் எடை விசையினுல் 1 மி. மீ. நீட்சி யடைகிறது. அதன் முனை களில் செயல்படும் 145 டைன் – செ. மீ., அளவுள்ள சமமான எதிர்த் திசைகளிலுள்ள விசையிரட்டையினுல் ஒரு ரேடியன் முறுக்க மடைகிறது. தங்கத்தின் பாய்சான் தகவைக் கண்டுபிடி.

$$q = \frac{FL}{a \times l} = \frac{330 \times 981 \times L}{\pi \times 0.0162 \times 0{\cdot}1} \text{ டைன்கள்/செ. மீ..}$$

அலகு முறுக்கத்திற்கான விசையிரட்டையின் திருப்பு திறன்

$$= \frac{\text{விசையிரட்டை}}{\text{முறுக்கம்}} = \frac{145}{1} = 145 \text{ டைன் – செ. மீ,,}$$

இது $\frac{\pi n r^4}{2l}$க்குச் சமம். அதாவது $n = \frac{145 \times 2l}{\pi (0.016)^4}$

$$\frac{q}{n} = \frac{330 \times 981 \times l}{\pi (0.016)^2 \times 0.1} \times \frac{\pi \times (0.016)^4}{145 \times 2l}$$

$$= 2.858$$

$$\sigma = \frac{q}{2n} - 1 = \frac{2.858}{2} - 1 = 0.429$$

9. ஒரு சதுரமான உலோகக் கோல் 2.51 செ. மீ., பக்கமும் 37.95 செ. மீ., நீளமும் 826 கிராம் எடையுமுள்ளது. அது 37.85 செ. மீ., நீளமும், 0.0501 செ. மீ., ஆரமுமுள்ள ஒரு கம்பியில் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. அது 335·7 விநாடிகளில் 50 முறை

முறுக்கலைவு செய்கிறது. அக் கம்பியின் விறைப்புக் குணகத்தைக் கணக்கிடு.

$$\text{கோலின் அலைவு நேரம் } T = \frac{335.7}{50} = 6.714 \text{ விநாடிகள்}$$

$$\text{முறுக்கலைவுகள் செய்யும் பொருளின் அலைவுநேரம்} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{C}}$$

என மேலே கண்டோம். இதில் I என்பது கம்பியைப் பொறுத்துப் பொருளின் சடத்துவ திருப்புதிறன், C-அலகு முறுக்கத்திற்கான விசை யிரட்டையின் திருப்புதிறன்.

$$I = \text{நிறை } \frac{\text{Length}^2 + \text{Breadth}^2}{12} = 826 \times \frac{(37.95)^2 + (2.51)^2}{12}$$

$$= 826 \times 120.5 = 99540 \text{ கிராம் - செ.மீ.,}^2$$

$$\therefore \quad 6.714 = 2\pi\sqrt{\frac{99540}{C}}$$

$$\text{அல்லது } C = \frac{4\pi^2 \times 99540}{(6.714)^2}$$

$$C = \frac{n\,\pi\,r^4}{2\,l} \text{ என நாமறிவோம்.}$$

$$\therefore \quad \frac{n\,\pi(0.0501)^4}{2 \times 37.85} = \frac{4\pi^2 \times 99540}{(6.714)^2}$$

$$\text{எனவே } n = \frac{8\pi \times 99540 \times 37.85}{(0.0501)^4 \; (6.714)^2}$$

$$= 3.357 \times 10^{11} \text{ டைன்கள்/செ. மீ.}^2$$

10. (a) மீள் திறனுள்ள ஒரு கயிற்றின் மேல் முனை ஒரு தாங்கியில் பொருத்தப்பட்டுக் கீழ் முனையில் M எனும் நிறை தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. நிறையைச் சிறிது கீழே இழுத்து விட்டுவிட்டால் என்ன ஆகும்? அந்த நிறையின் அலைவு நேரத்தைக் கண்டுபிடி.

(b) M நிறையுடன் m எனும் நிறையைச் சேர்த்தால் அலைவு நேரம் 5 : 4 என்ற விகிதத்தில் மாறுகிறது. m, M ஆகிய நிறைகளை ஒப்பிடு.

கயிற்றில் M எனும் நிறையால் $l$ எனும் நீட்சி ஏற்படுத்தப்படுவதாகக் கொள்வோம். கயிற்றின் துவக்க நீளம் L என்க.

கயிற்றில் செயல்படும் கீழ்நோக்கு விசை = Mg டைன்கள்.

கயிற்றில் செயல்படும் மேல் நோக்குவிசை = T

சமநிலையில் T = Mg.

கயிற்றின் யங்குணகம் $q = \frac{\text{தகைவு}}{\text{திரிபு}}$

அல்லது தகைவு = q × திரிபு.

கயிற்றின் குறுக்குப் பரப்பளவு a எனில் தகைவு $= \frac{T}{a}$.,

திரிபு $= l/L$.

எனவே $\frac{T}{a} = q.\frac{l}{L}$ அல்லது $T = \frac{qa\,l}{L} = Mg.$

அல்லது $\frac{Mg}{l} = \frac{qa}{L}$ ... ... ... ... ... (i)

கயிற்றைக் கீழ்நோக்கி x தொலைவு இழுத்தால், கயிற்றிலுள்ள மேல் நோக்கு இழுவிசை $= \frac{qa}{L}(l+x) = \frac{Mg}{l}(l+x)$

கயிற்றிலுள்ள கீழ்நோக்கு விசை Mg ஆகையால் அதில் மேல் நோக்கிச் செயல்படும் நிகர விசை $= \frac{Mg\ (l+x)}{l} - Mg$

அல்லது மேல் நோக்குத் தொகுபயன் விசை $= \frac{Mgx}{l}$

இப்போது எடையின் முடுக்கம் $= \frac{\text{விசை}}{\text{நிறை}}$

$$= \frac{Mgx}{Ml} = \frac{g}{l}x = \mu x$$

இங்கு $\mu = \frac{g}{l}$ ஒரு மாறிலி

எனவே முடுக்கம் இடப்பெயர்ச்சிக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது. அதனால் நிறை தனி இசை இயக்கத்தில் (SHM) அலைவு செய்கிறது. அதன் அலைவு நேரம் $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

(b) M நிறை தொங்கவிடப்பட்டபோது கயிற்றின் அலைவு நேரம் $T_1$ எனவும், (M + m) நிறை தொங்கவிடப்பட்டபோது $T_2$ எனவும் கொள்வோம். இந்நிறைகளால் ஏற்பட்ட நீட்சிகள் முறையே $l_1$, $l_2$ எனில்,

$$T_1 = 2\pi\sqrt{l_1/g}, \quad T_2 = 2\pi\sqrt{l_2/g}$$

$$\text{எனவே } T_1^2/T_2^2 = l_1/l_2$$

$$T_1 = 4 \text{ விநாடி}, T_2 = 5 \text{ விநாடி எனில் } \frac{16}{25} = \frac{l_1}{l_2}$$

$l_1$, $l_2$ எனும் நீட்சிகள் ஹூக் விதிப்படி நீட்டுகின்ற விசைகளுக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். ஏனெனில்,

$q = \frac{MgL}{al_1} = \frac{(M + m)\,gL}{al_2}$. இதில் a கயிற்றின் குறுக்குப் பரப்பளவு. எனவே $l_1 = MgL/qa$ ; $l_2 = (M + m)\,gL/qa$

$$\therefore \quad \frac{l^1}{l^2} = \frac{Mg}{(M+m)g} = \frac{M}{M+m}$$

$$\therefore \quad \frac{M+m}{M} = \frac{25}{16} \text{ ; எனவே } \frac{m}{M} = \frac{25-16}{16} = \frac{9}{16}$$

**இரு நிறைகளும் 9 : 16 என்ற விகிதத்திலுள்ளன.**

11. அலுமினியத்தின் முறிவுத் தகைவு = $7{\cdot}5 \times 10^8$ டைன்கள்/செ.மீ.,$^2$ செப்பின் முறிவுத் தகைவு = $22 \times 10^8$ டைன்கள்/செ.மீ.,$^2$ இவற்றின் எவ்வளவு நீளக்கம்பிகளை அவை அறுந்துவிடாத வகையில் செங்குத்தாய்த் தொங்கவிடலாம்? அலுமினியத்தின் அடர்த்தி = $2{\cdot}7$ கிராம்/க.செ.மீ. செப்பின் அடர்த்தி = $8{\cdot}9$ கிராம்/க.செ.மீ.

கம்பிகளின் குறுக்குப் பரப்பளவு a என்க. அலுமினியக் கம்பி அறுந்துவிடாமல் தொங்கவிடப்படக்கூடிய நீளம் $l_1$ செ.மீ. என்க. அதன் பருமம் = $l_1$ a க.செ.மீ., நிறை = $l_1$ a $\times$ $2{\cdot}7$ கிராம். அதன் எடை = $l_1 \times 2{\cdot}7 \times 981$ டைன்கள். இது கம்பி தாங்கக்கூடிய பெருமவிசைக்குச் சமமாயிருக்க வேண்டும். அலுமினியத்தின் முறிவுத் தகைவு = $7{\cdot}5 \times 10^8$ டைன்கள்/செ.மீ.,$^2$ ஆதலால் கம்பி அறுந்துவிடாமல் அதன்மேல் செலுத்தப்படக்கூடிய பெருமவிசை = $7{\cdot}5 \times 10^8 \times$ a டைன்கள்.

எனவே $l_1$ a × 2·7 × 981 = 7·5 × $10^8$ × a

எனவே $l_1 = \frac{7.5 \times 10^8}{2.7 \times 981}$ = 283,100 செ.மீ., = 2.831 கி. மீட்டர்.

செப்புக் கம்பிக்கு மேல்கண்டவாறு கணக்கிட்டால் $l_2$ a × 8·9 × 981 = 22 × $10^8$ a

$l_2 = \frac{22 \times 10^8}{8.9 \times 981}$ = 252000 செ.மீ., = 2.52 கிலோ மீட்டர்.

12. ஒரு சீரான கண்ணாடிக் குழாயின் மேல் முனையை ஒரு தாங்கியில் பொருத்திக் கீழ் முனையில் ஒரு எடை தொங்கவிடப் பட்டுள்ளது. ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ள குழாய், 0.08 நீட்சியடையக் காணப்பட்டது. ஆனல் கண்ணாடிக் குழாயினுள்ளிருந்த ஒரு மீட்டர் உயரமுள்ள நீர்த்தம்பம் 0·4 செ.மீ., மட்டுமே நீண்டது கண்ணாடியின் பாய்சான் தகவைக் கணக்கிடு.

பாய்சான் தகவு = $\beta/\propto$

கண்ணாடியில் செலுத்தப்படும் தகைவு P டைன்கள்/செ.மீ.,$^2$ குழாயின் உள் ஆரம் r செ.மீ., என்போம்.

குழாயின் அலகு நீளத்தில் ஏற்படும் நீட்சி = P × $\propto$ செ.மீ.,

∴ 1 மீட்டர் குழாயில் ஏற்படும் நீட்சி = 100 × P $\propto$ செ.மீ.,

குழாயின் அலகு ஆரத்தில் ஏற்படும் சுருக்கம் = P × $\beta$ செ.மீ.,

∴ குழாயின் ஆரத்தில் ஏற்படும் சுருக்கம் = P$\beta$r செ.மீ.,

எனவே குழாயின் புதிய ஆரம் = (r − P$\beta$r) செ.மீ.,
= r (1 − P$\beta$) செ.மீ.,

குழாயின் நீளத்தில் ஏற்பட்ட அதிகரிப்பு = 0·06 செ.மீ.,

∴ 100 P $\propto$ = 0·06 அல்லது $\propto$ = 0·06/100 P

குழாயின் துவக்கக் குறுக்குப் பரப்பளவு = $\pi r^2$ ச. செ.மீ.,

புதிய குறுக்குப் பரப்பளவு = $\pi$ [ r (1 − P$\beta$)$^2$ ] ச.செ.மீ.,

= $\pi r^2$ [1 − 2 P.$\beta$ + (P·B)$^2$ ] ச.செ.மீ.,

= $\pi r^2$ [1 − 2 P$\beta$] ச.செ.மீ.,

P.B$^2$ மிகக் சிறியதாகையால் விடப்பட்டது.

எனவே துவக்கத்தில் நீர்த் தம்பத்தின் பருமம் $= 100\ \pi r^2$ ச.செ.மீ., இறுதியில் நீர்த் தம்பத்தின் பருமம் $= 100{\cdot}04 \times \pi r^2 (1 - 2\ P\beta)$ ச.செ.மீ.,

நீரின் பருமம் மாருததாகையால்,

$$100{\cdot}04 \times \pi r^2 (1 - 2\ P\beta) = 100\ \pi r^2 \text{ அல்லது}$$

$$100{\cdot}04\ (1 - 2\ P.\beta) = 100$$

$$100{\cdot}04 - 100{\cdot}04 \times 2\ P\beta = 100$$

$$100{\cdot}04 \times 2\ P\beta = 0{\cdot}04$$

$$\therefore\ \beta = \frac{0{\cdot}04}{2P \times 100{\cdot}04}$$

$$\therefore\ \sigma = \frac{\beta}{\propto} = \frac{0{\cdot}04}{2P \times 100.4} \times \frac{100\ P}{0{\cdot}06}$$

$$= \frac{0{\cdot}04 \times 100}{2 \times 100{\cdot}04 \times 0{\cdot}06} \times 0.332$$

**13.** ஒரு தட்டைச் சுருள் வில்லின் அலைவு நேரத்தைக் கணக்கிடுகையில், அதன் நிறைக்கான திருத்தத்தைக் கண்டுபிடி.

சுருள் வில்லின் நிறையைக் கணக்கிலெடுத்துக் கொள்ளாமல் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட அலைவு நேரத்திற்கான கோவை $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{2\ R^2\ LM}{\pi n\ r^4}}$ சுருள் வில்லின் நிறையைக் கணக்கில் எடுத்துக் கொண்டால் இக் கோவை சிறிது மாற்றமடையும். சுருள் வில்லின் நிறையினுல் அதன் கீழ் முனையின் இறக்கம் அதிகமாகும். சுருள் வில்லின் நிறை (m) சுருள் வில் முழுவதும் பரவலாக இருப்பதால், சுமையுடன் m-ஐச் சேர்த்துவிட்டு இந்த அதிகமான இறக்கத்தைக் கண்டுபிடிக்க முடியாது. ஆனுல் இந்த மிகுதிப்பாடு சுருள்வில்லின் நிறை (m)க்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும் என்பது வெளிப்படை. எனவே சுமை M-உடன் cm என்ற அளவைச் சேர்க்க வேண்டும். இதில் c ஒரு பின்னமாகும். c யின் மதிப்பைப் பின்வருமாறு கண்டுபிடிக்கலாம்.

திருத்தப்பட்ட கோவை $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{(M + Cm)\ 2\ R^2 L}{\pi\ nr^4}}$ எனும் உருவிலிருக்கும்.

ஒரு லேசான சுருள்வில்லின் அடி முனையில் ஏற்படும் முறுக்கம்

$$\theta = \frac{2\,FR^2}{nr^4} = \frac{2\,L\,Mg\,R}{\pi\,r^4 n}$$

இதில் L என்பது சுருள்வில்லிலுள்ள கம்பியின் மொத்த நீளம் $= 2\pi\,RN$.

கீழ் முனையில் ஏற்படும் இறக்கம் $y = R\theta = \frac{2\,LMg\,R^2}{\pi r^4 n}$

இத்துடன் சுருள்வில்லின் நிறைக்கான திருத்தத்தைச் சேர்த்துக் கொண்டால், $y = \frac{2LgR^3}{\pi n r^4}\,(M + Cm)$

y எனும் இறக்கத்தில் n எனும் சிறிய அளவு அதிகரிப்பதற்கு சுமையில் m′ அளவு அதிகரிக்க வேண்டும். அப்போது

$$x = \frac{2\,Lg\,R^3}{\pi n\,r^4}\,m'$$

x எனும் இடப்பெயர்ச்சினல் கம்பியில் தோன்றும் மீட்டுவரும் விசை $F = m'g = \frac{\pi\,r^4 n}{2\,l\,R^2}$

எடை இடம் பெயர்ந்த நிலையில் நிலை ஆற்றல் V எனில், F எனும் விசையினல் செய்யப்பட்ட வேலை = திரிபு ஆற்றல் (Strain Energy) U + நிலையாற்றல் V.

இவ்வாறு $\int_0^x F\,dx = \frac{\pi\,r^4 n\,x^2}{4\,l\,R^2} = U + V$

சுமை சுருள் வில்லைச் சீராக நீட்டியிருப்பதாகக் கொள்வோம். மேல் முனையிலிருந்து கம்பியின் நீளத்தில் அளக்கப்படும் s எனும் தொலைவிலுள்ள ஒரு புள்ளியின் திசை வேகம் $= \frac{s}{l}\cdot\frac{dx}{dt}$. $\frac{dx}{dt}$ முனையின் திசை வேகமாகும். அந்தப் புள்ளியிலுள்ள ds நீளப் பகுதியின் நிறை $= \frac{mds}{l}$.

அப் பகுதியின் இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2}\,\frac{mds}{l}\left(\frac{s}{l}\,\frac{dx}{dt}\right)^2$

$$\text{கம்பியின் மொத்த இயக்க ஆற்றல்} = \int_0^l \frac{1}{2} \frac{m}{l^3} \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 s^2 ds$$

$$= \frac{1}{6} m \left(\frac{dx}{dt}\right)^2$$

$$\text{சுமையின் இயக்க ஆற்றல்} = \frac{1}{2} M \left(\frac{dx}{dt}\right)^2$$

$$\therefore \quad \text{தொகுப்பின் மொத்த ஆற்றல்} = \frac{1}{2} \left(M + \frac{m}{3}\right) \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + U + V$$

இது ஒரு மாறிலி. இக்கோவையை வகைப்படுத்தி $\frac{dx}{dt}$ யால் வகுத்தால் பின் வரும் இயக்கச் சமன்பாடு கிடைக்கிறது.

$$\left(M + \frac{m}{3}\right) \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{\pi r^4 n}{2\,LR^2}\, n = 0$$

இது ஒரு தனி இசை இயக்கத் (SHM)தைக் குறிக்கும் சமன்பாடாகும். இதன் அலைவு நேரம் $T = 2\pi \sqrt{\frac{\left(m + \frac{m}{3}\right) 2LR^2}{\pi n r^4}}$

இது சுருள் வில்லின் நிறைக்கான திருத்தம் சேர்க்கப்பட்ட அலைவு நேரத்தின் கோவையாகும்.

## பயிற்சி :

1. 385 செ.மீ., நீளமும் 0·32 மி.மீ., விட்டமும் உள்ள ஒரு கம்பி, 660 கிராம் எடை விசையினால் நீட்டப்பட்டு 2 மி.மீ. நீட்சியடைந்தது. அதன் முனைகளில் 116 டைன்/செ மீ., மதிப்புள்ள சமமான எதிர்த் திசையிலுள்ள விசை யிரட்டைகள் செயல்பட்டபோது 0·8 ரேடியன் முறுக்க மடைந்தது. கம்பியின் n, q, σ ஆகிய மதிப்புகளைக் கணக்கிடு. (சென்னை 1940)

2. 300 செ.மீ., நீளமும் 21 கிராம் நிறையுமுள்ள ஒரு சீரான கம்பி 50 கிலோ கிராம் எடை விசையினால் 2·4 மி.மீ.

நீட்டப்பட்டது. அக் கம்பியின் உலோகத்தின் அடர்த்தி 8·8 கிராம்/க.செ.மீ., எனில் கம்பியில் சேமிக்கப்படும் ஆற்றலின் அளவைக் கணக்கிடு. (சென்னை 1943)

3. ஒரு வளை சட்டம் 8 அடி நீளமுள்ளது. 400 பவு. எடையுள்ள சுமை அதன் நீளத்தில் சீராகப் பரவியுள்ளது. வளைவுத் திருப்புத் திறன்களையும், பொருத்தப்பட்ட முனையிலிருந்து 2 அடி, 4 அடி தொலைவுகளிலுள்ள சறுக்குத் தகைவுகளின் மதிப்பையும் கண்டுபிடி. (சென்னை 1945)

4. லேசான ஒரு உருளைச் சட்டத்தின் ஒரு முனை கிடையாகப் பொருத்தப்பட்டு, மற்ற முனையில் ஒரு சுமை ஏற்பட்டுள்ளது. அம் முனையின் இறக்கத்தைக் கணக்கிடு. சுமையைச் சற்றுக் கீழே இழுத்துவிட்டால் அது தனி இசை இயக்கத்தில் அலைவுறும் எனக் காட்டு. அலைவு நேரம், நிறை, சட்டத்தின் பரிமாணங்கள் ஆகியவற்றி லிருந்து அதன் யங்குணகம் எவ்வாறு கணக்கிடப் படுகிறது? (சென்னை 1947)

5. a ஆரமுள்ள ஓர் உருளைக் கோலும், முறையே a, b வெளி, உள் ஆரங்களுள்ள ஒரு குழாயும் இரு கூர்விளிம்பு களின் மேல் சேர்த்து வைக்கப்பட்டுள்ளன. அவற்றின் மையங்களில் சம அளவு எடைகள் தொங்கவிடப்பட்டால், அவற்றில் தோன்றும் தொய்வுகளை ஒப்பிடு.

6. ஒரு நீண்ட செங்குத்தான கம்பியில் இரு எடைக் கற்கள் தொங்கவிடப்பட்டபோது முறையே 0·5 மி.மீ., 0·8 மி.மீ., நீட்சிகள் ஏற்பட்டன. இந்த நீட்சிகளுக்குத் தேவைப் பட்ட செயல்களின் அளவுகளை ஒப்பிடு. (சென்னை 1950)

7. 0·32 மி.மீ., விட்டமுள்ள ஒரு தங்கக் கம்பி, 660 கிராம் எடை விசையால் 2 மி.மீ., நீட்சியடைகிறது. அதன் முனைகளில் 290 டைன்கள்/செ.மீ., எனும் சமமான எதிர்த் திசைகளிலுள்ள இரு விசையிரட்டைகள் அதை 2 ரேடியன்கள் முறுக்குகின்றன. தங்கத்தின் பாய்சான் தகவைக் கணக்கிடு. (சென்னை 1951)

8. 2·5 செ.மீ., அகலம், 1.5 செ.மீ., தடிமன், 100 செ.மீ., நீளமுள்ள ஒரு செவ்வக எஃகுச் சட்டம் அதன் முனைகளில் தாங்கப்பட்டுள்ளது. அதன் மையத்தில்

5 கிலோ கிராம் எடையைத் தொங்கவிட்டால் (a) அகலம் கிடையாக (b) அகலம் செங்குத்தாக இருக்கும்போது அதன் மையப் புள்ளியிலேற்படும் இறக்கங்களைக் கணக்கிடு. எஃகின் யங்குணகம் = $20 \times 10^{11}$ டைன்கள்/ச.செ.மீ., (ஆந்திரா 1939)

9. $2 \times 10^{6}$ டைன்கள்/ச.செ.மீ., எனும் விசையிரட்டை 5 செ.மீ., விட்டமுள்ள ஒரு உருளைக் கோலின் முனைகளில் செலுத்தப்பட்டது. கோலின் யங்குணகம் = $1{\cdot}6 \times 10^{11}$ டைன்கள்/ச.செ.மீ., எனில் அதன் வளைவு ஆரத்தைக் கண்டுபிடி.

10. 4 ச.செ.மீ., குறுக்குப் பரப்புள்ள ஒரு செப்புச் சட்டம் $100°$ c-க்குச் சூடாக்கப்பட்டு, அதன் முனைகள் பிடிப்புகளில் இறுகப் பிணைக்கப்பட்டன. சட்டம் $30°$ c-க்குக் குளிர்ந்தபோது அதில் உள்ள இழுவிசை என்னவாக இருக்கும்? செப்பின் யங்குணகம் q = $12{\cdot}3 \times 10^{11}$ டைன்கள்/ச.செ.மீ., நீள விரிவு எண் = $1{\cdot}7 \times 10^{-5}$ (ஆந்திரா 1949)

11. எஃகின் நீள விரிவு எண் = $1{\cdot}2 \times 10^{-5}$, q = $2 \times 10^{11}$ டைன்கள்/ச.செ.மீ., ஒரு எஃகு உருளையின் வெப்ப நிலை $20°$ c-க்கு உயர்த்தப்பட்டபோது அதன் நீளத்தை மாறாமல் தடுக்கத் தேவைப்படும் விசையினைக் கணக்கிடு. (அண்ணாமலை 1936)

12. யங்குணகம், பருமக் குணகம், விறைப்புக் குணகம் ஆகிய வற்றை இணைக்கும் தொடர்பினை வருவி.

ஒரு பொருளின் பாய்சான் தகவு 0.45, அதன் யங்குணகம் $5 \times 10^{9}$ டைன்கள்/செ.மீ.$^2$ அதன் பரும மீள்திறனைக் கண்டுபிடி (சென்னை 1960).

13. அடிப்படைத் தத்துவங்களிலிருந்து துவங்கி (a) ஒரு வளைவுச் சட்டத்தின் சுமையேற்றப்பட்ட முனையின் இறக்கம், (b) சுமையேற்றப்பட்ட ஒரு வளைவுச் சட்டத்தின் அலைவு நேரம் ஆகியவற்றிற்கான கோவைகளை வருவி. வளைவுச் சட்டத்தின் நிறையைப் புறக்கணித்து விடு. (சென்னை 1961)

14. யங்குணகம், விறைப்புக் குணகம், பருமக்குணகம் எனும் சொற்களை விளக்கு. இவற்றை இணைக்கும் தொடர்பினை வருவி.

2 மீட்டர் நீளமும், 1 மி.மீ., விட்டமும் உள்ள ஒரு எஃகுக் கம்பி ($q = 19 \times 10^{11}$ டைன்கள் / ச.செ.மீ.,)யில் 2 மி.மீ., நீட்சி ஏற்படுத்தத் தேவையான செயலின் அளவைக் கணக்கிடு. நீ பயன்படுத்துகின்ற கோவையை வருவி (சென்னை 1962).

15. வளைவுச் சட்டத்தின் தத்துவத்தை வரைக. நீ பயன் படுத்தும் கோவையை வருவி.

ஒரு ரப்பர் கயிற்றின் முனையிலிருந்து 1 கிலோகிராம் எடை தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. அப்போது அதன் நீளம் 1 மீட்டர், விட்டம் 0.5 செ.மீ., எடை செங் குத்தாக அலைவு செய்கையில் அதன் அலைவு நேரம் 1.5 வினாடிகள். ரப்பரின் குணகங்களைக் கண்டுபிடி. (சென்னை 1963)

16. ஓர் உருளையை முறுக்குவதற்கான விசை யிரட்டையின் கோவையை வருவி.

200 கிராம் நிறையும், 5 செ.மீ., ஆரமும் உள்ள ஒரு வட்டத்தட்டு 30 செ.மீ., நீளமும், 1 மி.மீ., விட்டமும் உள்ள கம்பியில் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. அதன் முறுக்க அலைவு நேரம் 1 வினாடி எனில், கம்பியின் விறைப்புக் குணகத்தைக் கணக்கிடு. (சென்னை 1964)

17. யங்குணகம், விறைப்புக்குணகம் ஆகியவற்றை வரையறு. ஒரு ஒருபடித்தான திசையொத்த பண்புள்ள பொருளுக்கு $\frac{q}{n} = 2(\sigma + 1)$ ($\sigma$ = பாய்சான் தகவு) எனக் காட்டு.

30 செ.மீ., நீளமும், 2 செ.மீ., அகலமும் உள்ள ஒரு எஃகுச் சட்டத்தை வளைவுச் சட்டமாக அமைத்து அதில் 100 கிராம் சுமை ஏற்றினால், அதன் அலைவு நேரம் என்னவாக இருக்கும்? $q = 19.5 \times 10^{11}$ டைன்கள் / ச.செ.மீ, சட்டத்தின் நிறையை விட்டு விடு. (சென்னை செப். 1962)

18. இரு உருளைகள் சமநீளமும், சம நிறையும் உள்ளவை. ஒன்று திண்மம்; மற்றது உள்ளீடற்றது. உள்ளீடற்ற உருளையின் வெளியாரம் உள் ஆரத்தைப்போல இரு மடங்கு. அவற்றின் ஒரே அளவான முறுக்கங்களுக்கு

உட்படுத்தும்போது அவற்றில் ஏற்படும் பெருமத்திரிபு களேயும், முறுக்க விறைப்புகளேயும் ஒப்பிடு (1 : 1.44, 3:5).

19. $l$ நீளமும் r ஆரமும் உள்ள ஒரு தண்டு அதே நீளமும் 2r ஆரமும் உள்ள இன்னெரு தண்டுடன் உறுதியாகப் பிணைக்கப்பட்டுள்ளது. மேல் முனேயை ஒரு பிடிப்பில் பொருத்திவிட்டுக் கீழ்முனே ஒரு முறுக்க விசையிரட்டைக்கு உட்படுத்தப்படுகிறது. தண்டுகளின் விறைப்புக் குணகம் n எனில் இத்தொகுப்பின் முறுக்க விறைப்பைக் கண்டுபிடி ($8 \pi n r^4 / 17 l$).

20. ஒரு தட்டைச் சுருளின் ஆரம் 3 செ.மீ. அதில் 200 சுற்றுகள் உள்ளன. அதன் கம்பியின் ஆரம் 1 மி.மீ. தட்டைச் சுருளின் நீளம் 50 செ.மீ. கம்பியின் விறைப்புக் குணகம் $8 \times 10^{11}$ டைன்கள்/செ.மீ.$^2$; யங்குணகம் $20 \times 10^{11}$ டைன்கள் / செ.மீ.$^2$ தட்டைச் சுருளின் அடிமுனேயிலிருந்து 50 கிராம் எடையைத் தொங்கவிட்டால், அதிலேற்படும் இறக்கத்தைக் கணக்கிடு (1.655 செ.மீ.)

21. ஒரு லேசான வளேச் சட்டம் கிடையாகப் பொருத்தப் பட்டுள்ளது. அதில் P, Q எனும் இரு புள்ளிகளே எடுத்துக்கொண்டு Qவில் ஒரு எடையைச் செங்குத்தாகத் தொங்க விடுவதால் P யில் ஏற்படும் இறக்கம், அதே எடையை P யில் தொங்கவிடுவதால் Q வில் ஏற்படும் இறக்கத்திற்குச் சமம் எனக்காட்டு.

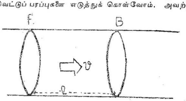
22. 2 செ.மீ. அகலமும் 1 மி.மீ. தடிமனும் உள்ள ஒரு எஃகுப் பட்டையின் முனேகளே வளேத்து ஒரு கயிற்ருல் கட்டியுள்ளது. கயிற்றிலுள்ள இழுவிசை 3 கி.கிராம், கயிற்றின் மையத்திற்கும் பட்டையின் மையத்திற்கும் இடையிலுள்ள தூரம் 15 செ.மீ. பட்டை இருமுனேகளிலும் கயிற்றுக்குச் செங்குத்தாயுள்ளது. பட்டையின் யங்குணகத்தைக் கணக்கிடு. $g = 981$. ($1.99 \times 10^{12}$ டைன்கள்/செ.மீ.$^2$)

# 4. பாகியல்

## (Viscosity)

4.1. திரவங்களின் பாய்ச்சல் (Flow of Liquids) ; ஒரு திரவம் என்பது தடையின்றி இயங்கக் கூடியதாகவும், இறுக்கவே முடியாத தாகவும் கற்பனை செய்து கொள்ளப்படுகிறது. எனவே ஒரு குழா யின் வழியாகத் திரவம் பாயும்போது குழாயின் ஒவ்வொரு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பின் வழியாகவும் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு திரவம்தான் பாய்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பின் வழியாக ஒரு விஞடியில் பாய்ந்து செல் லும் திரவத்தின் பருமத்தைப் பாய்வு வீதம் (Rate of Flow) என அழைக்கலாம்.

ஒரு குழாயினுள் $l$ இடைவெளியிலுள்ள A, B எனும் இரு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புகளை எடுத்துக் கொள்வோம். அவற்றின்




படம் 76.

பரப்பளவு a என்போம். அவற்றிற்கு நேர்குத்தான திசையில் திரவத்தின் பாய்வுத் திசை வேகம் v எனவும் திரவம் Aயிலிருந்து Bக்குச் செல்வதற்கு t விஞடிகள் பிடிப்பதாகவும் கொண்டால், $vt = l$.

AB எனும் பகுதியின் வழியாக t விநாடிகளில் பாயும் திரவத்தின் பருமம் = AB எனும் உருளையின் பருமம் = $l \times a = vt \times a$.

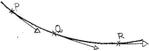
$$\therefore \text{ திரவத்தின் பாய்வு வீதம் } = \frac{vt \times a}{t} = va$$

= பாய்வுத் திசை வேகம் × குழாயின் குறுக்குப் பரப்பளவு

சில சமயங்களில் பாய்வு வீதம், ஒரு குறிப்பிட்ட குறுக்கு வெட்டுப் பகுதியின் வழியாக அலகு நேரத்தில் பாயும் திரவத்தின் நிறையாகவும் வரையறுக்கப்படுகிறது.

அதாவது பாய்வு வீதம் = பாய்வுத் திசை வேசம் × குழாயின் குறுக்குப் பரப்பளவு × திரவத்தின் அடர்த்தி $= v \times a \times d$.

பாய்வுக் கோடுகளும் பாய்வுக் குழாய்களும் (Lines of flow and Tubes of Flow) திரவம் சுழற்சி யியக்கமும் குழப்பமும் இன்றிச் சீராக ஒரு குழாயின் வழியாகப் பாயும்போது, திரவத்தின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும், அதன் திசை வேகம் அளவிலும் திசையிலும் மாறுமலிருக்கிறது. அதாவது திரவத்தின் ஒவ்வொரு துகளும் அதற்கு முந்திய, முன்னர் செல்கின்ற துகளின் பாதையிலேயே, அதே திசை வேகத்துடன், அதைப் பின்பற்றிச் செல்கிறது. இத்தகைய பாய்ச்சல் ஒழுங்குப் பாய்வு அல்லது அருவிக்கோட்டியக்கம் (Stream-lined Motion) எனப்படும். இந்த நிலையில் ஒரு துகள்

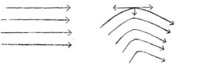



படம் 77.

செல்லும் கோட்டுப் பாதையைக் கவனித்தோமானல் அந்தக் கோட்டிலுள்ள எந்த வொரு புள்ளியிலும் வரையப்படும் தொடு கோடு, அந்தப் புள்ளியில் திரவத்தின் திசை வேகத்தின் திசையைக் குறிக்கும். சீரான பாய்ச்சலின்போது ஒரு புள்ளியில் உள்ள திசை வேகம் மாருது. திரவத்தில் P எனும் புள்ளியைக் கவனி. அதிலுள்ள திசை வேகம் மாறுவதில்லையாதலால் Pயில் வந்து சேரும் எல்லாத் துகள்களும் அதே திசையில் அதே திசை வேகத்தோடு அப் புள்ளியைக் கடந்து செல்லும். இதே போல Q-விலும் R-லும் நிகழ்கிறது. எனவே துகளின் பாதையை வரைவோ

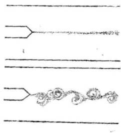
மாஞல் அது P–யில் வந்து சேரும் எல்லாத் துகள்களுக்கும் பொருத்துவதாக அமையும். இந்தக் கோட்டுப் பாதை அருவிக்கோடு (Stream line) எனப்படும். அருவிக்கோடு ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் பாய்மத் துகள்களின் திசை வேகத்திற்கு இணையாகவிருக்கும். இரு அருவிக் கோடுகள் ஒன்றையொன்று குறுக்கிடா. அப்படி குறுக்கிட்டால் துகள்கள் அங்குமிங்கும் அலேவதாகப் பொருள். அப்போது பாய்மத்தின் ஓட்டம் சீராக இருக்காது.

எனவே அருவிக்கோடு என்பது அதன் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் வரையப்படும் தொடுகொடு அப் புள்ளியில் திரவத்தின் பாய்வுத் திசையைக் குறிக்கும் வகையில் வரையப்படும் கோடாகும்.



படம் 77–ஆ.

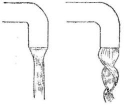
அதன் மேலுள்ள பக்கவாட்டு அழுத்தம் சீரா கஇருப்பின் அருவிக்கோடு நேர்கோடாகவும், இல்லாவிட்டால் வளைந்துமிருக்கும். அது வளைந்திருக்கும்போது குவிந்த பகுதியின் மேலுள்ள அழுத்தம், குழிந்த பகுதியின் மேலுள்ள அழுத்தத்தைவிட அதிகமாயிருக்கும்.



படம் 78.

அருவி ஓட்டம் திரவத்தின் திசை வேகம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்கு மேல் போகாமலிருக்கும்வரைதான் நீடிக்கும். இந்தக் குறிப்பிட்ட வரம்புத் திசை வேகம், மாறுதானத் திசை வேகம் (Critical Velocity) எனப்படும். திசை வேகம், மாறுதானத் திசை வேகத்தைத் தாண்டிவிட்டால் திரவம் அங்குமிங்கும் வளைந்து ஒழுங்கற்றுப் பாய ஆரம்பிக்கும். இவ் வகை இயக்கம் சுழற்சி அல்லது கலக்க ஓட்டம் (Turbulant Motion) எனப்படும். இந்த

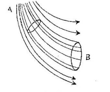
நிகழ்ச்சியை ஒரு எளிய சோதனையின் மூலம் நிகழ்த்திக் காட்ட லாம். ஒரு நுண்ணிய மூக்குக் குழாயை ஒரு கண்ணடிக் குழாயின் அச்சுக்கு இணையாக அமை. கண்ணடிக் குழாயில் நீரைச் செலுத்தி மூக்குக் குழாயின் வழியே ஒரு நிறமுள்ள திரவத்தை மெல்லப் பாய்ச்சு. அருவிப் பாய்ச்சலிருக்கும் வரை, நிறப்பொருள் நீர் செல்லும் திசைக்கு இணையாகக் குழாயின் அச்சினூடே மெல் லிய இழையாகப் பாய்வதைக் காணலாம். குழாயில் நீரின் வேகத் தைப் படிப்படியாக மெல்ல அதிகரித்தோமானல், மாறுதானத் திசை வேகத்தை எட்டியவுடன் நிறப்பொருளின் பாதை வளையத் துவங்கும். மாறுதானத் திசை வேகத்தைத் தாண்டியவுடன் நிறப்பொருள் சுற்றிலும் பரவிக் குழாய் முழுவதும் நிறமுள்ளதாகி விடும். இது சுழல் ஓட்டத்தைக் காட்டுகிறது. திரவத்தைக் குழாயின் வழியாகச் செலுத்தத் தேவைப்படும் ஆற்றலின் பெரும் பகுதி நீர்ப்போக்கில் சுழல் (Eddies)களை ஏற்படுத்துவதில் செலவழிந்து விடுகிறது. இதே நிகழ்ச்சியை வீடுகளிலுள்ள தண்ணீர்க் குழாய்களில் நீங்கள் பார்த்திருக்கலாம். குழாய்



படம் 79.

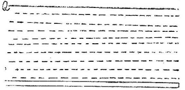
அடைப்பானை மெல்லத் திறந்தால் நீர் முதலில் சொட்டுச் சொட்டாக விழுந்து பின்னர் ஒரு சீரான உருவை வடிவில் விழும். குழாய் உயரத்திலிருந்தால் இந்தச் சீரான நீரொழுக்கு சிறிது தூரம் விழுந்த பின்னர் கோணலாகி விடுகிறது. அல்லது அடைப்பானை அதிகமாகத் திறந்துவிட்டாலும் நீரோட்டம் சீர்குலைந்து விடுவதைக் காணலாம். விளக்கெண்ணெய் போன்ற பிசுக்குத்தன்மை அதிகமுள்ள திரவங்களில் இந்த மாதிரியான சீரான ஒழுக்கு அதிக அளவில் தென்படும்.

ஒரு திரவத்தின் எந்தப் புள்ளியிலிருந்தும் அருவிக் கோடுகளை வரைய முடியும். இத்தகைய பல அருவிக் கோடுகளை இணைத்துப் பாய்வுக் குழா(Tube of Flow)யை உருவாக்கலாம். A, B எனும் இரு பரப்புகளைத் திரவப் போக்கிற்கு நேர் அருவிக் கோடுகளினால் இணை. இப்போது A B எனும் பாய்வுக் குழாய் உருவாக்கப்பட்டுள்ளது. A எனும் பரப்பு வழியாக உள்ளே நுழையும் திரவம் முழுவதும் B வழியாக வெளியேறிவிடும். ஏனெனில் பாய்வுக் குழாயின் அருவிக் கோடுகளாலான பக்கங்கள் அருவிப் பாய்ச்சலின் திசைகளுக்கிணையாக இருப்பதால், திரவம் அப் பக்கங்களைக் கடந்து குறுக்கே செல்லாது. இவ்வாறு பாய்வுக் குழாய் அதே பரிமாணமுள்ள ஒரு ரப்பர் குழாயைப்போலச் செயல்படுகிறது. A யின் வழியாகச் செல்லும் திரவத்தின் பருமம் B வழியே செல்லும் திரவத்தின் பருமத்திற்குச் சமமாய் இருக்கும். சீரான பாய்வின்போது அருவிக் கோடுகளின் அமைப்போ பாய்வுக் குழாய்களின் அமைப்போ மாறாது.




படம் 80.

4.2. பாகியல் (Viscosity): ஒரு திரவம் மெதுவாகவும் சீராகவும் ஒரு கிடைத் தளத்திலுள்ள பரப்பின்மேல் அருவிக் கோட்டியக்கத்தில் செல்லுகையில் கீழ்ப் பரப்பைத் தொட்டுக்




படம் 81.

கொண்டிருக்கும் திரவப் படலம் ஓட்டமின்றி நிலைத்திருக்கும். அதற்கு மேலேயுள்ள படலங்களின் திசைவேகம் படிப்படியாக அதிகரித்துக்கொண்டே போய், உச்சியில் பெருமதிப்புள்ளதாய்

இருக்கும். அதாவது கீழ்ப் பரப்பிலிருந்து உள்ள தொலைவு அதிகரிக்க அதிகரிக்க ஒரு படலத்தின் திசைவேகமும் அதிகரிக்கும்.

ஒவ்வொரு படலத்திற்கும் அதற்கு மேலேயுள்ள படலம் அதைவிட வேகமாயும் அதற்குக் கீழேயுள்ள படலம் அதைவிட மெதுவாயும் பாய்ந்துகொண்டிருக்கின்ற சூழ்நிலை ஏற்படுகிறது. மேலேயுள்ள படலம் அதன் திசைவேகத்தை அதிகரித்து அதைத் தன்னுடன் இழுத்துச் செல்லவும் கீழேயுள்ள படலம் அதன் திசைவேகத்தைக் குறைத்துப் பின்னுக்கிழுக்கவும் முயல்கின்றன. இவ்வாறு இரு படலங்களும் தமக்குள்ளிருக்கும் சார்புத் திசைவேகத்தை, திசைவேக வேறுபாட்டைக் குறைத்துக் கொள்ள முயற்சி செய்கின்றன. இதன் காரணமாகப் படலங்களின் மேல் தொடுவியலாக (Tangentially) ஒரு விசை தாக்கி அவற்றின் முன்னேற்கு இயக்கங்களைத் தடுத்துப் பின்னுக்குத் தள்ளுவது போலத் தோன்றுகிறது. எனவே படலங்களுக்கிடையில் உள்ள திசைவேக வேறுபாட்டை, சார்புத் திசைவேகம் தொடர்ந்திருக்க (Relative Velocity) வேண்டுமாயின் இந்த பின்னே தள்ளும் விசையை எதிர்த்து ஈடுசெய்யக்கூடிய ஒரு வெளி விசையைச் செலுத்தவேண்டும். இல்லாவிடில் படலங்களுக்கிடையிலான சார்புத் திசைவேகம் அழிந்துபோய் திரவப்போக்கு நின்றுவிடும். ஒரு திரவம் தனது வெவ்வேறு படலங்களுக்கிடையிலுள்ள சார்புத் திசை வேகத்தை எதிர்த்தழிக்கும் இந்த இயல்பு பாகியல் அல்லது திரவத்தின் உள்ளீட உராய்வு (Internal Friction) எனப்படும்.

பாகுநிலை எண் (Coefficient of Viscosity): ஒரு திரவத்தில் ஒரு படலத்தில் தொடுவியலாகச் செயல்படுகின்ற, பின் தள்ளும் பாகியல் விசை (Viscous Force) படலத்தின் பரப்பளவு (A)க்கும், திசைவேக (v)த்திற்கும் நேர் விகிதத்திலும், இயங்காத ஒவ்வுப் படலத்திலிருந்து அப் படலம் உள்ள தொலைவி(x)ற்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலும் உள்ளது என நியூட்டன் காட்டினார். இந்த விசை

F எனில், $F \propto A$, $F \propto -v$, $F \propto \frac{1}{x}$

$$\text{அல்லது } F \propto -\frac{Av}{x} \text{ அல்லது } F = -\eta \frac{Av}{x}$$

திசைவேகத்திற்கு எதிர்த் திசையில் செயல்படுவதை எதிரினக் குறி காட்டுகிறது. $\eta$ (ஈட்டா) என்பது திரவத்தின் இயல்பைப் பொறுத்த ஒரு மாறிலி. அதற்குப் பாகுநிலை எண் எனப் பெயர்.

v/x எனும் தகவை dv/dx எனவும் குறிப்பிடலாம். அது ஓய்வுப் படலத்திலுள்ள தொலைவுடன் படலங்களின் திசைவேகம் மாறுகின்ற வீதத்தைக் குறிக்கிறது. அதற்குத் திசைவேகச் சரிவு (Velocity gradient) எனப் பெயர். எனவே $F = -\eta A. \frac{dv}{dx}$

இது அருவிக் கோட்டியக்கத்தில் பாகியல் பாய்ச்சலுக்கான நியூட்டனின் விதி எனப்படும்.

A = 1 செ.மீ., dv/dx = 1 எனில் $F = \eta$

எனவே பாகுநிலை எண் என்பது, ஒரு திரவத்தினுள் அலகுத் திசைவேகச் சரிவை அதாவது அலகுத் தொலைவு இடைவெளியில் உள்ள இரு படலங்களுக்கிடையில் அலகுத் திசைவேக வேறுபாட்டைப் பராமரித்து வைப்பதற்குத் தேவைப்படும், அலகுப் பரப்பில் செயல்படுகின்ற தொடுவியல் விசைக்குச் சமமாகும்.

இந்தத் தொடுவியல் விசையின் மதிப்பு ஒன்றாக இருக்கையில் பாகுநிலை எண் பாய்ஸ் (Poise) எனும் அலகுக்குச் சமம். இது C.G.S. திட்ட அலகு சென்டிபாய்ஸ் Centi poise) = $10^{-2}$ பாய்ஸ் மில்லி பாய்ஸ் (Millipoise) = $10^{-3}$ பாய்ஸ், மைக்ரோபாய்ஸ் (Micropoise) = $10^{-6}$ பாய்ஸ் ஆகிய அலகுகளும் பழக்கத்தில் உள்ளன.

பாகு நிலை எண்ணின் பரிமாணங்கள் : $\eta = \frac{F}{A.dv/dx}$

எனவே $\eta = \frac{\text{விசை}}{\text{பரப்பளவு} \times \text{திசைவேகம்/தொலைவு}}$

$\therefore$ பரிமாணக் கோவை $= \frac{MLT^{-2}}{L^2 \times \frac{L}{T} \times L} = ML^{-1}T^{-1}$

4.3 ஒரு சீரான குழாயின் வழியே திரவங்கள்பாய்தல்–பாய்ஸிவி லியின் சமன்பாடு (Poiseville's Equation). $l$ நீளமும் r ஆரமும் உள்ள ஒரு நுண் துளைக்குழாயில் பாயும்திரவத்தினுள் x ஆரமுள்ள ஒரு உள்ளீடற்ற உருளைத் திரவப் படலத்தைக் கற்பனை செய்து கொள்வோம். அந்த உருளையில் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் திரவப் போக்கின் திசை வேகம் சமமாயிருக்கும். அதை v என்போம்.

குழாயின் சுவற்றைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கின்ற திரவப் படலங்களின் திசை வேகம் சுழியாகவும், குழாயின் அச்சை நெருங்குகையில் படலங்களின் திசைவேகம் படிப்படியாக அதிகரிப்பதாயும் இருப்பதால், நமது கற்பனை உருளையிலுள்ள திரவம் உருளைக்கு வெளியிலுள்ள திரவத்தைவிட அதிகமான திசை வேகத்துடனும், உருளைக்குள்ளேயுள்ள திரவத்தைவிடக் குறைவான திசை வேகத்துடனும் பாய்ந்து கொண்டிருக்கும். வெளியே மெதுவாகப் பாயும் திரவம், உருளையில் வேகமாகப் பாயும் திரவத்தின்மேல் செலுத்துகின்ற தொடுவியல் பின்னிழுப்பு விசை (Dragging Force) $= \eta\, 2\pi\, x\, l\, \frac{dv}{dx}$ ஆகும். இதில் $l$ – நுண்துளைக் குழாயின் நீளம், $2\pi\, x\, l$ என்பது கற்பனை உருளையின் பரப்பு, $dv/dx$ என்பது திசைவேகச் சரிவு ஆகும்.

நுண்துளைக் குழாயின் இரு முனைகளுக்கிடையிலுள்ள அழுத்தங்களின் வேறுபாடு P என்போம். அப்போது கற்பனை உருளையைத் திரவப் பாய்வின் திசையில் முன்னுக்குத் தள்ளும் விசை $= P\pi x^2$ இது திரவ உருளையின் திசை வேகத்தை அதிகரிக்க முயல்கிறது. எனவே திரவத்தின் இயக்கம் சீராக இருக்கும் போது இவ்விரு விசைகளும் சமமாயிருக்கும். அதாவது

$$\eta\, 2\pi\, x\, l\, \frac{dv}{dx} = -P\, \pi\, x^2$$

இரு விசைகளும் எதிரெதிர்த் திசைகளில் செயல்படுவதை எதிர்னக் குறி காட்டுகிறது.

$$\therefore\quad dv = \frac{P\,\pi\, x^2\, dx}{\eta\, 2\,\pi\, x\, l} = \frac{-P\, x\, dx}{2\,\eta\, l}$$

d v க்கான கோவையைத் தொகைப்படுத்தினல்

$$v = -\frac{P}{2\,\eta\, l}\int x\, dx.$$

அல்லது $v = -\frac{P}{2\,\eta\, l}\;\frac{x^2}{2} + C_1$

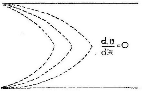
$$= -\frac{P\, x^2}{4\,\eta\, l} + C_1$$

இதில் $C_1$ என்பது தொகை மாறிலி. குழாயின் சுவற்றைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும் திரவப் படலம் ஓய்வு நிலையிலுள்ளதால் $x = r$ எனில் $v = o$

$$\therefore \quad o = -\frac{P r^2}{4 \eta l} + C_1 \text{ அல்லது } C^1 = \frac{P r^2}{4 \eta l}$$

$$\therefore \quad v = \frac{P r^2}{4 \eta l} - \frac{P x^2}{4 \eta l} = \frac{P}{4 \eta l}(r^2 - x^2)$$

இது குழாயின் அச்சிலிருந்து தொலைவிலுள்ள திரவப் படலத்தின் திசை வேகமாகும். இந்தக் கோவையிலிருந்து திரவத்




படம் 82.

தினுள் திசைவேகம், குழாய்ச் சுவற்றில் சுழியிலிருந்து அதிகரித்து அச்சில் பெருமதிப்பை அடைகிறது என்பது புலப்படும். திரவத்தின் திசைவேகப் பரவீட்டுக்கோடு (Velocity Distribution Curve) ஒரு பரவளைய வடிவில், படத்தில் காட்டியுள்ளபடி இருக்கும்.

இப்போது அதே அச்சுள்ள $x + dx$ ஆரமுள்ள இன்னொரு திரவ உருளையைக் கற்பனை செய்துகொள்வோம். இரு உருளைகளுக்குமிடையிலுள்ள பரப்பளவு $= 2 \pi x \, dx$ இவ்விரு உருளைகளுக்கும் இடையிலுள்ள திரவத்தின் திசை வேகம் v ஆதலால் அப் பரப்பளவின் வழியே ஒரு வினாடியில் பாய்ந்து செல்லும் திரவத்தின் பருமம் $= dv = 2 \pi x . d x . v$

முழுக் குழாயையும் இவ்வாறான ஓரச்சுள்ள உருளைகளாகப் பிரித்துக்கொண்டு அவை எல்லாவற்றிலும் வழியாக, அதாவது நுண்துளைக் குழாயின் வழியாக ஒரு வினாடியில் பாயும் திரவத்தின்

பருமம் v யைக் கண்டுபிடிக்கலாம். அதற்கு dv க்கான கோவையை x=o, x=r எனும் வரம்புகளுக்கிடையில் தொகைப் படுத்தவேண்டும்.

அதாவது $$V = \int_0^r 2\pi x d xv$$

$$= \int_0^r 2\pi x \frac{P}{4\eta l}(r^2 - x^2)\,dx$$

$$= \frac{\pi P}{2\eta l}\int_0^r (xr^2 - x^3)\,dx$$

$$= \frac{\pi P}{2\eta l}\left[\frac{x^2r^2}{2} - \frac{x^4}{4}\right]_0^r$$

$$- \frac{\pi P}{2\eta l}\left(\frac{r^4}{2} - \frac{r^4}{4}\right) = \frac{\pi P r^4}{8\eta l}$$

இதிலிருந்து $\eta = \dfrac{\pi P r^4}{8 V l}$

இவ்வாறு P, r, V, $l$ ஆகிய அளவுகளைத் தெரிந்துகொண்டு பாகுநிலை எண்ணை ($\eta$)க் கணக்கிட்டு விடலாம்.

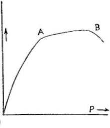
மேற்கண்ட சமன்பாட்டை உருவாக்குகையில் நாம்

(a) திரவப் பாய்வு சீராகவும், அருவிக் கோட்டியக்கமாகவும் அதன் சராசரி திசைவேகம் மாறுதானத் திசை வேகத்தை விடக் குறைவாக இருப்பதாகவும்,

(b) அதன் எல்லாப் பகுதிகளிலுமுள்ள குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புகளிலும் அழுத்தம் சமச்சீராயிருப்பதாயும், ஆரத் திசைகளில் திரவம் பாயவில்லை எனவும்

(c) குழாயின் சுவர்களைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கின்ற திரவப் படலம் இயங்காமலிருப்பதாயும் கற்பித்துக்கொள் கிறோம். இந்த நிபந்தனைகள் பூர்த்தி செய்யப்படா விட்டால் மேற்கண்ட சமன்பாடு பொருந்தாது.

குழாயின் விட்டம் சிறியதாயிருக்கும்போதும் திரவப் பாய்வின் திசைவேகம் குறைவாயிருக்கும்போதும் மேற்கூறிய கற்பிதங்கள் ஏறக்குறைய சரியாயிருக்கும். அகன்ற குழாய்களுக்கு மேற்கண்ட சமன்பாடு பொருந்தாது. ஏனெனில் குழாயின் ஆரம் அதிகரிக்கும்போது மாறுதானத் திசை வேகத்தில் மதிப்பு குறைகிறது. $\left(v_c \propto \frac{1}{r}\right)$ அதனால் திரவ ஓட்டம் விரைவில் சுழல் ஓட்டமாகி விடும். குழாயின் இரு முனைகளுக்கிடையிலுள்ள அழுத்த வேறுபாட்டிற்கும் (P) திரவப் பாய்வு வீதத்திற்கும் (குழாய் வழியே ஒரு




படம் 83.

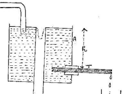
விநாடியில் பாயும் திரவத்தின் பருமம் V) இடையில் ஓர் வரைபடம் வரைந்தால், படத்தில் காட்டியவாறு ஒரு கோடு கிடைக்கிறது. OA பகுதி மாறுதானத் திசை வேகத்திற்குக் குறைந்த திசை வேகமுள்ளபோது திரவம் பாய்வதையும் AB அதற்கு மேற்பட்ட திசை வேகங்களில் திரவம் பாய்வதையும் குறிக்கிறது. மாறுதானத் திசை வேகத்தைவிடக் குறைந்த வேகங்களில் திரவம் பாயும் போது, பாய்வு வீதம் V, அழுத்த வேறுபாட் (P) டிற்கு நேர் விகிதத்திலிருப்பதை OA எனும் நேர்கோட்டுப் பகுதி காட்டுகிறது. இவ்வாறு இந்தத் திசைவேக வரம்பிற்குள் பாய்வு வீதம் முக்கியமாகத் திரவத்தின் பகுதி எண்ணைப் பொறுத்துள்ளது.

மாறுதானத் திசைவேகத்திற்கு மேற்பட்ட திசை வேகங்களுடன் திரவம் பாயும்போது, அழுத்த வேறுபாடு (P) பெருமளவு, திரவத்தில் ஏற்படும் சுழல்களைச் சமாளிக்கவும், திரவத்திற்கு இயக்க ஆற்றலை அளிக்கவும் செலவழிகிறது. இதனால் பாய்வு

வீதம், அழுத்த வேறுபாட்டிற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்காது. அப்போது அது பாகுநிலை எண்ணையும் பொருத்திருப்பதில்லை. இந்த நிலையில் பாய்வு வீதம் திரவத்தின் அடர்த்தியை முக்கியமாகப் பொறுத்திருக்கிறது. கலக்க ஓட்டத்தின்போது, திரவத்தின் பாய்வு வீதம் அதன் பாகுநிலை எண்ணைப் பொறுத்திருக்காததால் எல்லாத் திரவங்களையும் அவற்றின் மாறுதானத் திசை வேகங்களை விட அதிகமான திசை வேகத்தில் ஒரு குழாய் வழியாகச் செலுத்த ஒரே அளவு அழுத்த வேறுபாடு போதுமானது. உதாரணமாக பாகுநிலை எண் அதிகமுள்ள திரவத்தையும், நீர்போன்ற குறைந்த பாகுநிலை எண்ணுள்ள திரவத்தையும் அகன்ற குழாய்களின் வழியே, ஒரே அளவு அழுத்த வேறுபாட்டினுதவியால், அவற்றின் மாறுதான அளவுகளைவிட அதிகமான திசை வேகங்களில் செலுத்தலாம்.

மாறுதானத் திசைவேகம் குழாயின் ஆரத்திற்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலுள்ளபடியால், அகன்ற குழாய்களின் வழியே எல்லாத் திரவங்களுமே எளிதாகப் பாயும். எரிமலைகளிலிருந்து வழியும் எரிமலைக்குழம்பு (Lava) உயர்ந்த பாகியல் எண்ணுள்ளது. ஆனாலும் அது நீரைப்போலவே மலைச்சரிவுகளில் விரைந்தோடி வருகிறது.

பாய்ஸ் வில்லியின் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்தி ஒரு திரவத்தின் பாகுநிலை எண்ணைக் கண்டுபிடித்தல்: A எனும் பாத்திரத்தின்




படம் 84.

அடிப்பகுதியில் $l$ நீளமும், r ஆரமும் உள்ள ஒரு நுண்துளைக்குழாய் (T) கிடையாகச் சொருகப்பட்டுள்ளது. A யில் ஓர் வழிந்தோடும் குழாய் அமைப்பின் உதவியால் திரவமட்டத்தை விருப்பமான

அளவில் மாருமல் வைக்கலாம். நுண்துளைக்குழாயில் திரவம் சொட்டுச் சொட்டாக வருமாறு திரவமட்டத்தின் உயரம் சரிப்படுத்தப்படும். ஒரு தூய, உலர்ந்த முகவையை நிறுத்து எடை கண்டுபிடித்துக்கொள். நுண்துளைக்குழாயின் வெளிமுனைக்கடியில் அதை வைத்துக் குழாயிலிருந்து வெளியேறும் திரவத்தைச் சேகரி. ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குத் திரவத்தைச் சேகரித்து, முகவையை நிறுத்தித் திரவத்தின் நிறையைக் கணக்கிடு. திரவத்தின் அடர்த்தி (d) யினுல், அதன் நிறையை வகுத்தால், அதன் பருமம் கிடைக்கும். இப் பருமத்தைச் சேகரித்த நேரத்தினுல் வகுத்தால், ஒரு வினாடியில் குழாய் வழியே பாய்கின்ற திரவத்தின் பருவம் V கிடைக்கும்.

நுண்துளைக்குழாயின் அச்சிலிருந்து A யிலுள்ள திரவ மட்டம் h உயரத்திலிருந்தால் குழாயின் இரு முனைகளுக்கிடையிலுள்ள அழுத்த வேறுபாடு $= P + hgd - P = hgd$

$\eta = \dfrac{\pi\,(hgd)\,r^4}{8\,V\,l}$ எனும் சமன்பாட்டிலிருந்து $\eta$ கணக்கிடப்படும்.

இம் முறை நீர்போன்ற குறைந்த பாகுநிலை எண்ணுள்ள திரவங்களுக்கு ஏற்றது. இச் சோதனையில் பிழை தோன்றக்கூடிய இரு தோற்றுவாய் (Sources of Error) கள் உள்ளன, அவையாவன: ($l$) குழாயின் இரு முனைகளுக்கும் இடையிலுள்ள அழுத்த வேறுபாட்டினுல் ஏற்படும் அமுக்கு விசை (Thrust) முழுவதும் பாகியல் உராய்வைச் சமாளிப்பதில் செலவழியாமல், அதில் ஒரு பகுதி திரவத்திற்கு இயக்க ஆற்றலைக் கொடுப்பதில் செலவாகிறது. ஆகவே அழுத்த வேறுபாட்டின் மதிப்பிற்கு, P க்குப் பதிலாக $P - \dfrac{V^2 d}{\pi^2 r^4}$ எனும் திருத்தப்பட்ட அளவு பயன்படுத்தப்படும். இது அழுத்த முகட்டிற் (Pressure Head)கான திருத்தமெனப்படும். அதைப் பின்வருமாறு கண்டுபிடிக்கலாம்.

ஒரு நுண்துளைக்குழாய் வழியே ஒரு திரவம் பாய்கையில் குழாயின் இரு முனைகளுக்கும் இடையிலுள்ள அழுத்த வேறுபாட்டில் ஒரு பகுதி திரவத்திற்கு இயக்க ஆற்றலைத் தந்து அதன் திசை வேகத்தை அதிகப்படுத்துவதில் செலவழிகிறது எனக் கண்டோம். இதற்காக ஒரு சுமாரான திருத்தத்தை அழுத்த முகட்டுடன் சேர்க்க வேண்டும்.

குழாய் வழியே திரவத்தைச் செலுத்தும் அழுத்த முகட்டின் உயரம் h எனில், ஒரு வினாடியில் குழாயின் வழியே பாயும் V பருமமுள்ள திரவத்தினுல் செய்யப்படும் வேலை $= Vdgh$.

இந்தச் செயலில் ஒரு பகுதி பாகியல் விசைகளைச் சமாளிப்பதி லும் மீதி திரவத்திற்கு இயக்க ஆற்றலைத் தந்து அதன் திசை வேகத்தை அதிகமாக்குவதிலும் செலவாகிறது. பாகியல் விசை களைச் சமாளிப்பதற்குச் செலவழியும் அழுத்தத்தின் பகுதி $P_1$ என் போம். அப்போது ஒரு வினாடியில் பாகியல் விசைகளை எதிர்த்துச் செய்யப்படும் செயல் $= P_1V$ குழாய்க்குள் முறையே $x, x + \delta x$ எனும் உள் வெளி ஆரங்களுடைய ஒரு உருளைத் திரவக் கூட்டைக் கவனிப்போம். அக் கூட்டிலுள்ள திரவத்தின் திசை வேகம் v என்போம்.

ஒரு வினாடியில் கூட்டின் வழியாகப் பாயும் திரவத்தின் நிறை $= 2\pi x\, \delta x v d$

இந்தத் திரவத்தின் இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2}$ நிறை $\times$ (திசை வேகம்)$^2$

$$= \frac{1}{2}(2\pi\, \delta x\, vd)\, v^2$$

$$= \pi d\, x v^3\, \delta x$$

$$= \pi\, dx\, \delta x \left[\frac{P}{4l\eta}(r^2 - x^2)\right]^3$$

$$= \frac{\pi\, P^3 d}{64\, l^3\, \eta^3}(r^6 x - 3\, r^4 x^3 + 3\, r^2 x^5 - x^7)\, \delta x$$

இக் கோவையை $x = 0, x = r$ எனும் வரம்புகளுக்கிடையில் தொகைப்படுத்தினால் நுண்துளைக்குழாயின் வழியே ஒரு வினாடி யில் பாய்கின்ற திரவத்தின் மொத்த இயக்க ஆற்றல் கிடைக்கும் இவ்வாறு திரவத்தின் மொத்த இயக்க ஆற்றல்

$$= \frac{\pi P^3 d}{64\, l^3\, \eta^3}\left(\frac{r^8}{2} - \frac{3\, r^8}{4} + \frac{3\, r^8}{6} - \frac{r^8}{8}\right)$$

$$= \frac{\pi P^3 d}{64\, l^3\, \eta^3} \times \frac{3\, r^8}{24}$$

$$= \frac{\pi\, P^3 d\, r^8}{512\, l^3\, \eta^3} = \left(\frac{\pi\, P\, r^4}{8\, \eta l}\right)^3 \cdot \frac{d}{\pi^2\, r^4}$$

$$= V^3\, \frac{d}{\pi^2\, r^4}$$

$$\text{எனவே } hg\, dV = P_1 V + \frac{V^2 d}{\pi^2 r^4}$$

$$\text{அல்லது } P_1 V = hgd\, V - \frac{V^2 d}{\pi^2 r^4}$$

$$\text{அதாவது } P_1 = hgd - \frac{V^2 d}{\pi^2 r^4} = gd \left( h - \frac{V^2}{\pi^2 r^4 g} \right)$$

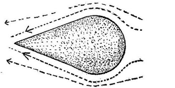
$- \dfrac{V^2}{\pi^2 r^4 g}$ என்பது இயக்க ஆற்றலுக்காக அழுத்த முகட்டின் உயரத்தில் சேர்க்க வேண்டிய திருத்தமாகும்.

2. நுண் துளைக் குழாயினுள் நுழையும்போது திரவத்தின் திசை வேகம் அதிகரிக்கிறது. எனவே துவக்கப் பகுதியில் அதன் திசை வேகம் சீராயிருப்பதில்லை. இதற்காகக் குழாயின் நீளத்திற்கு $l$க்குப் பதிலாக $(l + 1.64\, r)$ எனும் திருத்தப்பட்ட மதிப்பு பயன்படுத்தப்பட வேண்டும்.

இவ்வாறு திருத்தங்களைச் சேர்த்த பிறகு பாகு நிலை எண்ணின் சமன்பாடு பின் வருமாறு அமையும்.

$$\eta = \frac{\pi P r^4}{8\, V\, (l + 1.64 r)} - \frac{V d}{8\, \pi\, (l + 1.64\, r)}$$

**4.4. ஒரு பாகியல் ஊடகத்திற்குள்ளே பொருள்களின் இயக்கம்.** ஒரு பொருள் ஒரு பாகியல் ஊடகத்தின் வழியாக இயங்கும்போது

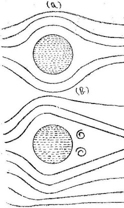


படம் 85.

பொருளைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கின்ற திரவப் படலம் அதன் திசை வேகத்தோடு கூடவே இயங்குகிறது. பொருளிலிருந்து சற்றுத் தொலைவிலுள்ள படலத்தில் இயக்கமேதும் இருக்காது. இதனால் ஒரு உராய்வு விசை பொருளின் இயக்கத்தைத் தடை

செய்யும் வகையில் உருவாகிறது. ஊடகம் ஆற்றலைத் தொடர்ந்து உட்கவர்ந்து வெப்பமாக மாற்றுகிறது. பந்தயக் கார்கள், விமானங்கள், ராக்கெட்டுகள் போன்ற அதிவேகமாகச் செல்லும் பொருள்கள், ஊடகத்தின் வழியே செல்லும்போது சுழல் ஓட்டங்களும் அலைகளும் கூட உருவாகி இன்னும் அதிகமான ஆற்றலை உட்கவர்கின்றன. இதைத் தவிர்க்கவே தற்காலத்தில் கார்களும் விமானங்களும் படகுகளும் அருவிக் கோட்டுருவில் (Stream lined shape) அமைக்கப்படுகின்றன. வளைவான முகப்பும் கூர்மையான வால்பகுதியும் காற்றின் தடையை வெகுவாகக் குறைக்கக் கூடியவை. மீன் போன்ற நீர்வாழ் பிராணிகளின் உடல் இயற்கையாகவே அருவிக் கோட்டுருவில் அமைந்திருக்கிறது. பறவைகளின் உடலமைப்பும் அவ்வாறே உள்ளது.

பொருள் மெதுவாகச் சுழல்களை ஏற்படுத்தாத வகையில் இயங்கினால்கூட பாகியல் பின்னிழுப்பு விசை அதன் ஆற்றலை




படம் 86.

வீணடிக்கிறது. பொருளின் திசை வேகம் அதிகரிக்கும்போது இந்தப் பின்னிழுப்பு விசையும் அதிகரிக்கும். இவ்வாறு அதிகரிக்

கின்ற விசை, சிறிய பொருள்களுக்கு அவற்றின் இயக்க விசைக்குச் சமமாகும்போது பொருள் ஒரு மாறுத திசை வேகத்துடன் இயங்க ஆரம்பிக்கிறது. இந்த மாறுத திசை வேகம் முற்றுத் திசைவேகம் (Terminal Velocity) எனப்படும். இது பொருளின் நிறையைப் பொறுத்து அமைகிறது. மழை பெய்யும்போது பெரிய நீர்த்துளிகள் வேகமாகவும் சிறிய நீர்த்துளிகள் மெல்லவும் விழுவதைக் கண்டிருப்பீர்கள். பனித்துளிகள் போன்ற மிகச் சிறிய பொருள்களின் முற்றுத் திசைவேகமும் மிகச் சிறியதாகையால், அவற்றைச் சுற்றியுள்ள காற்றுப்பாய்வு தகட்டுப்படல வடிவில் (Laminated) இருக்கும் (படம் a). பெரிய துளிகள் அதிக வேகத்துடன் இயங்கும்போது காற்றில் சுழல்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன (படம் b). ஸ்டோக்ஸ் (Stokes) என்பார் சிறிய பொருள்களின் முற்றுத்திசை வேகம், அவற்றின் நிறைகளுக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும் என முதன் முதலில் கண்டுபிடித்தார். அதற்கான தொடர்பு ஸ்டோக்ஸ் விதி எனப்படுகிறது.

பெரிய பொருள்களுக்கு முற்றுத் திசைவேகம் அதிகமாயிருக்கும். ஆகவே ஊடகத்தில் சுழல் ஓட்டங்கள் உருவாகி உராய்வுத் தடையில் பெருமளவிற்குக் காரணமாகிறது. இது கீழ்நோக்கி விழும் பொருள்களுக்கு மட்டுமின்றி, மேலே செல்லும் விமானங்களுக்கும், நீரில் செல்லும் கப்பல்களுக்கும், திரவத்தின் அடிப்பகுதியிலிருந்து மேலெழும்பும் காற்று அல்லது வாயுக்குமிழ்களுக்கும்கூடப் பொருந்தும். விமானங்கள், கப்பல்கள் இவற்றின் உந்து விசிறி (Propeller)களின் உந்தல் விசை உராய்வுத்தடைக்குச் சமமாகும்போது அவை ஒரு மாறுத திசை வேகத்துடன் செல்கின்றன.

பாரசூட்டுகளின் (Parachutes) உதவியுடன் வானத்திலிருந்து குதிப்பவர்கள் பாரசூட்டுகளைத் திறப்பதில் தாமதம் செய்வார்களேயானல், சுமார் மணிக்கு 130 லிருந்து 150 மைல்கள் வரைக்குச் சமமான முற்றுத் திசை வேகத்தை எட்டிவிடுவார்கள். அவர்களது எடைக்குச் சமமான ஓர் எதிர்ப்பு விசை அவர்களை மேல்நோக்கித் தள்ளுவதால் அவர்கள் கீழே விழும் வேகம் மாறுமலிருக்கும்.

ஸ்டோக்ஸின் சமன்பாடு: ஒரு ஊடகத்தில் மெதுவாக இயங்கும் ஒரு கோள வடிவமான பொருளுக்குப் பாகியல் பின்னிழுப்பினுல் ஏற்படும் எதிர் முடுக்கம்

F ∝ திசைவேகம் v

∝ r – கோணத்தின் ஆரம்

∝ $\eta$ – ஊடகத்தின் பாகுநிலை எண்

எனவே $F = K v^a r^b \eta^c$ எனலாம். இதில் K என்பது ஒரு மாறிலி. a, b, c ஆகியவை முறையே v, r, $\eta$ ஆகியவற்றின் பரிமாணக் குணகங்கள் (Dimensional Coefficients). இந்த அளவுகளின் பரிமாணங்களைப் பதிலீடு செய்தால்

$$(MLT^{-2}) = (LT^{-1})^a (L)^b (ML^{-1}T^{-1})^c$$
$$= M^c L^{(a+b-c)} T^{(-a-c)}$$

இவற்றிலிருந்து $c = 1$, $a + b - c = 1$, $-a - c = -2$ எனத் தெரிகிறது. இவற்றைத் தீர்வு செய்தால் $a = 1$, $b = 1$, $c = 1$ என அறிகிறோம்.

$$\therefore \quad F = K v r \eta$$

$K = 6\pi$ என ஸ்டோக்ஸ் கண்டுபிடித்துள்ளார். எனவே

$$F = 6\pi v r \eta$$

பொருளின் அடர்த்தி $\rho$ எனில் அதன் எடை $= \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$

ஊடகத்தின் அடர்த்தி $\sigma$ எனில், இடம் பெயர்ந்த ஊடகத்தினால் பொருளின்மீது செலுத்தப்படும் மேல் நோக்கு அமுக்குவிசை (Upward Thrust) $= \frac{4}{3}\pi r^3 \sigma g$.

எனவே பொருளின்மேல் செயல்படும் தொகுபயன் கீழ்நோக்கு விசை $= \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - \frac{4}{3}\pi r^3 \sigma g$

$$= \frac{4}{3}\pi r^3 g (\rho - \sigma)$$

எனவே $6\pi v r \eta = \frac{4}{3}\pi r^3 g (\rho - \sigma)$

$$\therefore \quad v = \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 g (\rho - \sigma)}{6\pi r \eta}$$

$$\text{அல்லது } v = \frac{2}{9}\frac{r^2 g (\rho - \sigma)}{\eta}$$

ஆகவே ஒரு பாகியல்புள்ள ஊடகத்தின் வழியே விழுகின்ற ஒரு சிறிய பொருளின் முற்றுத் திசைவேகம்,

(1) அதன் ஆரத்தின் இரு மடிக்கு $r^2$ நேர் விகிதத்திலும்

(2) ஊடகத்தின் அடர்த்திக்கும், பொருளின் அடர்த்திக்கும் உள்ள வித்தியாசத்திற்கும் $(\rho - \sigma)$ நேர்விகிதத்திலும்.

(3) ஊடகத்தின் பாகுநிலை எண்ணுக்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலும் உள்ளது.

மேற்கண்ட சமன்பாட்டை உருவாக்கும்போது ஸ்டோக்ஸ் பின்வரும் கற்பிதங்களைச் செய்துகொண்டார்.

(1) பொருள் கடந்து செல்கின்ற ஊடகத்தின் நீளம் எல்லை யற்றது.

(2) கோளப்பொருள் முற்றிலும் உறுதியானது. வழவழப் பான மேல்பரப்பை உடையது.

(3) ஊடகத்திற்கும் பொருளுக்கும் இடையில் வழுக்கி நழுவுதல் (Slipping) இல்லை.

4. ஊடகம், கோளத்தைப் பொறுத்தவரை ஒரு படித்தானது கோளப்பொருளின் விட்டம், ஊடகத்தின்மூலக் கூறுகளிடையே யுள்ள தொலைவோடு ஒப்பிடுகையில் மிக மிகப் பெரியது.

5. பொருள் ஊடகத்தின் வழியே செல்லுகையில் அதில் சுழல் ஓட்டங்களோ அலைகளோ ஏற்படவில்லை. அதாவது பொருள் ஊடகத்தின் வழியே மிக மிக மெதுவாகவும், சீராகவும் சுழற்சி யின்றியும் இயங்குகிறது. பொருளின் திசைவேகம், மாறுதனத் திசை வேகம் (Critical Velocity) எனப்படும் $\eta/\sigma r$ எனும் மதிப்பை விடக் குறைவாயிருந்தால்தான் தனது சமன்பாடு சரியாகப் பொருந்துகிறது என ஸ்டோக்ஸ் கண்டுபிடித்தார். ஆனல் ஆர்னல்டு என்பார் நடைமுறையில் பொருளின் திசைவேகம் $0.6\,\eta/\sigma r$ எனும் மதிப்பைவிடக் குறைந்திருக்க வேண்டும் எனக் கண்டுபிடித்திருக்கிருர்.

மழைத்துளிகள் 0.001 செ. மீ. அளவு சிறிய ஆரமுள்ளவை 0.00018 பாகுநிலை எண்ணுள்ள காற்றின் வழியாக விழும்போது அவற்றின் முற்றுத் திசைவேகம் 1.2 செ. மீ., / விநாடியாக உள்ளது. எனவேதான் அவை மேகங்களாகக்கூடி உருவெடுத்து மிதக்கின்றன. பெரிய மழைத்துளிகளின் விட்டம் சுமார் 0.01 செ. மீ., ஆக உள்ளதால், அவற்றின் முற்றுத் திசைவேகம் 120 செ. மீ.,/விநாடியாக உள்ளது. ஆகவே அவை மிதக்காமல் கீழே விழுந்து விடுகின்றன.

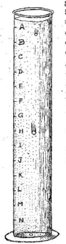
ஊடகத்தின் அடர்த்தி பொருளின் அடர்த்தியைவிட அதிக மாயிருக்கும்போது, பொருளுக்கு எதிரின முற்றுத் திசைவேகம் ஏற்படுகிறது. ஆகவே பொருள் ஒரு மாருத திசை வேகத்துடன் மேலெழும்புகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, திரவங்களில் உண்டாகும் வாயுக்குமிழிகள் மேலே எழும்புவதைக் காட்டலாம். சிறிய குமிழி கள் மெதுவாகவும், பெரிய குமிழிகள் வேகமாகவும் ஏறுவதைக் கவனித்திருக்கலாம்.

**ஸ்டோக்ஸ் முறையில் ஒரு திரவத்தின் பாகுநிலை எண்ணைக் கண்டு பிடித்தல்** : மேலே காணப்பட்ட முற்றுத்திசைக்கான கோவையைப் பயன்படுத்தி ஒரு திரவத்தின் பாகுநிலை எண்ணைக் கண்டுபிடிக்க லாம். இம் முறையில் சிறிய கோளங்களைத் திரவத்தின் உள்ளே

விழச் செய்து அவற்றின் முற்றுத் திசைவேகங்கள் கண்டுபிடிக்கப் படுகின்றன. அவற்றை ஸ்டோக்ஸின் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்து திரவத்தின் பாகுநிலை எண் கணக்கிடப்படும்.

முற்றுத் திசைவேகம் (.06 $\eta$ $\sigma$ r) க்கு மேலே போகாதவாறு பார்த்துக்கொள்ள வேண்டும். அடர்வு குறைந்த, சுமார் ஒரு பாய்ஸ் பாகுநிலை எண்ணுள்ள திரவங்களுக்கு 1 மி. மீ., வரை ஆரமுள்ள குண்டுகளைப் பயன்படுத்தலாம். பாகுநிலை எண் சுமார் 10 பாய்ஸ் உள்ள அடர்வுமிக்க எண்ணெய்களுக்கும், கிளிசரின் போன்ற திரவங்களுக்கும் கால் அங்குலம் வரை ஆரமுள்ள குண்டுகளைப் பயன்படுத்தலாம். நுண்ணோக்கியின் உதவியால் அவற்றின் ஆரங்களைத் துல்லியமாக அளந்துகொள்ள வேண்டும்.

அகன்ற, உயரமான, ஒரு ஜாடியில் திரவத்தை எடுத்துக்கொள். ஜாடியின் வெளிப்புறத்தில் மேலேயிருந்து 5 செ. மீ. இடைவெளியில் A, B, C......முதலிய கோடுகளைப் படத்தில் காட்டியவாறு வரை. ஒரு எஃகுக் கோளத்தைத் திரவ மட்டத்தில் வைத்து விட்டு விடு. AB தொலைவைக் கடக்க அது எடுத்துக் கொள்ளும் நேரத்தை ஒரு கடிகாரத்தின் உதவியால் துல்லியமாகக் கண்டுபிடி. அதே ஆரமுள்ள இன்னொரு எஃகுக் குண்டைத் திரவத்திலிட்டு அது BC தொலைவைக் கடக்க எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்தைக் கண்டுபிடி. இவ்வாறு CD, DE, EF......ஆகிய தொலைவுகளைக் கடக்க ஆகும் நேரங்களைக் கண்டுபிடி. குண்டு இரு அடுத்தடுத்த இடைவெளிகளை சம நேரத்தில் கடக்கும் ஆழத்தைக் கண்டுபிடி. அந்த ஆழத்தில் குண்டுகள் முற்றுத் திசைவேகத்தைப் பெற்று விடுகின்றன என்பது வெளிப்படை.



படம் 87.

பின்னர் ஒரு எஃகுக் குண்டைத் திரவ மட்டத்தில் வைத்து விட்டு விட்டு, அது முற்றுத் திசைவேகத்தைப் பெறுகின்ற ஆழத்திலிருந்து ஜாடியின் அடிப்பரப்பை அடைய எடுத்துக் கொள்ளும் நேரத்தைக் கண்டுபிடி. குண்டு கடந்த தூரத்திலிருந்து அதன் முற்றுத் திசைவேகத்தைக் கணக்கிட்டு விடலாம். ஐந்தாறு குண்டுகளைப் பயன்படுத்தி முற்றுத் திசைவேகத் (v) தின் சராசரி மதிப்பைக் கண்டுபிடி.

குண்டுகளின் ஆரத்தை நுண்ணோக்கி அல்லது திருகுமானியினால் துல்லியமாகக் கண்டுபிடி. அவற்றின் அடர்த்தியையும் திரவத்தின் ஒப்படர்த்தியையும், அடர்த்திக் குப்பியைப் பயன்படுத்திக் கண்டுபிடி.

$\eta = \frac{2}{9}\frac{r^2 g(\rho - \sigma)}{v}$ எனும் சமன்பாட்டிலிருந்து திரவத்தின் பாகியல் எண்ணைக் கணக்கிடு.

ஒரு திரவத்தின் பாகியல் எண், வெப்ப நிலையால் விரைவாக மாறக்கூடியதாகையால் சோதனையை விரைவாகச் செய்து முடிக்க வேண்டும். ஒரு உணர்வுமிக்க வெப்பநிலைமானியைப் பயன்படுத்தித் திரவத்தின் வெப்பநிலையைக் கண்காணித்து வரவேண்டும். இந்தச் சோதனையில் ஸ்டோக்ஸின் கற்பிதப்படி இல்லாமல் ஜாடி ஒரு குறிப்பிட்ட உயரமுள்ளதாக இருக்கின்றபடியால், அதற்கான தக்கதோர் திருத்தத்தைச் சேர்த்துக் கொண்டால் இன்னும் துல்லியமான பாகுநிலை எண்ணின் மதிப்புக் கிடைக்கும்.

லேடன்பர்க் என்பார் காட்டியுள்ளபடி R ஆரமுள்ள ஜாடியிலுள்ள திரவத் தம்பத்தை நீளவாக்கில் மூன்று பகுதிகளாகப் பிரித்துக்கொண்டு, நடுப்பகுதியில் r ஆரமுள்ள குண்டைப் போட்டால், அதன் திசை வேகம் v எனில் சுவர்களால் அடைக்கப்படாத திரவத்தினுள் இருக்கக்கூடிய திசை வேகம் $V = v(1 + 2.4\ r/R)$ ஆகும். இது சுவற்றின் விளைவு (Wall Effect)க்காகத் திருத்தப்பட்ட கோவையாகும்.

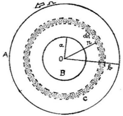
அதேபோல D ஆழமுள்ள ஜாடியிலுள்ள திரவ ஊடகம் அடிப்பரப்பினால் கட்டுப்படாமலிருப்பின் அதன் திசைவேகம் $= v(1 + 3.3\ r/D)$ எனவும் லேடன்பர்க் காட்டியுள்ளார். இது அடிப்பகுதியின் பாதிப்பு (End Effect)க்காக திருத்தப்பட்ட கோவையாகும்.

இரு திருத்தங்களையும் சேர்த்த பின்னர் பாகுநிலை எண்ணுக்கான திருத்தப்பட்ட சமன்பாடு பின்வருமாறு அடையும்.

$$\eta = \frac{2}{9}\frac{r^2 g(\rho - \sigma)}{v\left(1 + 2.4\frac{r}{R}\right)\left(1 + 3.3\frac{r}{D}\right)}$$

4.5. சுழல் பாகியல்மானி (Rotation Viscometer): ஒரு உருளைப் பாத்திரத்திற்குள், ஒரு திண்ம உருளையை ஓரச்சாகப் பொருத்திவிட்டு, இரண்டிற்கும் இடையில் சோதனைக்கான

பாய்மத்தை நிரப்பவும். இப்போது வெளி உருளையை $\Omega$ எனும் மாறாத சுழல் வேகத்தில் (Angular Velocity) சுழற்றினால், உள்



படம் 88.

உருளையின் மீதும் ஒரு சுழற்சி விசை நடுவிலுள்ள பாய்மத்தின் வழியாகச் செலுத்தப்படும். அந்த விசையின் அளவு பாய்மத்தின் பாகுநிலை எண்ணைப் பொறுத்திருக்கும்.

படத்தில் இரு உருளைகளின் முனைத் தோற்றங்கள் காட்டப் பட்டுள்ளன. அவற்றின் ஆரங்கள் முறையே a, b என்போம். அவற்றின் பொது அச்சு படத்தின் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக O வழியே செல்கிறது.

வெளி உருளை $\Omega$ எனும் சிறிய சுழல் வேகத்துடன் சுழல்கையில் அதைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் திரவப் படலமும் அதே வேகத்துடன் சுழலும். உள் உருளையை நெருங்க நெருங்கப் படலங்களின் திசைவேகங்கள் படிப்படியாகக் குறைந்துகொண்டே போய் உள் உருளையின் பரப்பில் சுழியாகிவிடும். இவ்வாறு திரவப் படலங்களுக்கிடையில் ஒரு சார்புச் சுழல் இயக்கம் (Relative Rotational Motion) தோற்றுவிக்கப்படுகிறது.

திரவத்தின் நடுவில் உருளைகளுக்கு ஓரச்சான c எனும் திரவக் கூட்டைக் கவனி. அது O விலிருந்து r தொலைவில் dr தடிமனுள்ளதாக அமைந்திருக்கட்டும். அது $\omega$ எனும் சுழல் வேகத்துடன் இயங்கினால் அதன் நேர்கோட்டுத் திசைவேகம் $= r\,\omega$. எனவே அவ்வுருளையின் நீளம் $l$ எனில், நியூட்டனின் விதிப்படி அதன் மேல் செயல்படும் பாகியல் விசை F

$$= \text{பரப்பளவு} \times \eta \times \frac{dv}{dr} = 2\pi r\, l \times \eta \times \frac{dv}{dr}$$

இதில் $\eta$ – திரவத்தின் பாகுநிலை எண், $\frac{dv}{dr}$ – o விலிருந்து r தொலைவிலுள்ள திசைவேகச் சரிவு.

$$\frac{dv}{dr} = \frac{d}{dr}(r\,\omega) = \omega + r.\frac{d\omega}{dr}$$

ω என்பது ஒரு மாறிலி. அது திரவ உருளை ஒரு திண்மை யான உருளையைப் போல பாகியல் வழுக்கல் இல்லாதவாறு சுழல் கையில் அதன் சுழல் வேகத்தைக் குறிப்பதாகும். அது திசை வேகச் சரிவிற்கு எந்த விதத்திலும் உதவுவதில்லை. எனவே $\left(r\frac{d\omega}{dr}\right)$ என்பதையே C உருளையின் மேலுள்ள பாகியல் பின்னிழுப்பு விசையைத் தோற்றுவிக்கும் திசைவேகச் சரிவின் மதிப்பாக எடுத்துக் கொள்ளலாம். எனவே இப் பாகியல் பின்னிழுப்பு விசை $F = 2\pi\, r\, l\, \eta\, r\, \frac{d\omega}{dr}$

C படலத்தின் மேல் செயல்படும் இவ்விசையின் திருப்புத் திறன் $T = 2\pi\, r\, l\, \eta\, r\, \frac{d\omega}{dr} \times r = 2\pi\, r^3 l\, \eta\, \frac{d\omega}{dr}$

$$\therefore \quad \frac{dr}{r^3} = \frac{2\pi\, l\, \eta\, d\omega}{T}$$

எனவே A க்கும் B க்கும் இடையிலுள்ள முழுத் திரவத்தின் விளைவையும், மேலே கண்ட கோவையை ω = o, ω = Ω எனும் வரம்புகளுக்கும், r = a, r = b எனும் வரம்புகளுக்கும் இடையில் தொகைப்படுத்திப் பெறலாம்.

அதாவது $$\int_0^{\Omega} \frac{2\pi\, l\, \eta}{T}\, d\omega = \int_b^a \frac{dr}{r^3}$$

அல்லது $$\frac{2\pi\, \eta\, \Omega}{T} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{b^2}\right)$$

$$\therefore \quad T = \frac{4\pi\, l\, \eta\, \Omega}{\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{b^2}\right)} = \frac{4\pi\, l\, \eta\, \Omega\, a^2 b^2}{b^2 - a^2}$$

இந்த விசையிரட்டைத் திருப்புத்திறன் T, B க்கும் A க்கும் இடையிலுள்ள திரவத்தின் திசைவேகத்தை அதிகப்படுத்த முயற்சி செய்கிறது. ஆனால் அத்திரவம் ஒரே சீராகச் சுழன்று கொண்டிருப்பதால், உள் உருளை A யும், ஒரு சம அளவுள்ள எதிர்முடுக்க விசையிரட்டைத் திருப்புத்திறனைத் தன்னைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கின்ற திரவப்படலத்தின்மேல் செலுத்துவதாகப் புலப்படுகிறது. ஒவ்வொரு வினைக்கும் சமமான எதிர்வினை உண்டாகையால் Aயின் மேலும் ஒரு சமமான எதிர்த்திசையிலுள்ள ஒரு விசையிரட்டைத் திருப்புத்திறன் T செயல்பட்டு, அதைத் திருப்ப முயல்கிறது. உள் உருளை A, ஒரு இழையில் தொங்கவிடப்பட்டிருக்குமேயானல், அதில் முறுக்கமேற்படும். அதனல் அதற்குள் ஓர் சமமான மீட்டுவரும் முறுக்க விசையிரட்டைத் திருப்புத்திறன் உருவாகி எதிர்த்திசையில் செயல்பட்டு, $\theta$ கோணத்தில் திரும்பியிருக்கும் உருளையைச் சமநிலையில் வைக்கும்.

இப்போது தொங்கல் இழைக்கும் அலகு முறுக்கத்திற்கான முறுக்கு விசையிரட்டைத் திருப்புத்திறன் C எனில், $T = C\theta$.

$$\text{அதாவது } C\theta = \frac{4\pi\eta\, l\Omega\, a^2 b^2}{b^2 - a^2}$$

$$\text{எனவே } \eta = \frac{C(b^2 - a^2)\,\theta}{4\pi\, l\Omega\, a^2 b^2}$$

உள் உருளையின் அடிப்பக்கத்திற்கும் வெளி உருளையின் அடிப்பக்கத்திற்கும் இடையிலுள்ள திரவத்திலும் இதேபோல சார்பு இயக்கம் உருவாகிறது. அதையும் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். உள் உருளையின் அடிப்பக்கத்தில் இவ்வாறு தோன்றும் விசையிரட்டைத் திருப்புத்திறன் Tb எனில், A, B இவற்றிற்கிடையிலுள்ள திரவத்தின்மேல் செயல்படும் மொத்த விசையிரட்டைத் திருப்புத்திறன் =

$$T_1 = C\theta = \frac{4\pi\eta\, l\Omega\, a^2 b^2}{(b^2 - a^2)} + Tb$$

Tb உள், வெளிஉருளைகளின் ஆரங்களையும், அவற்றின் அடிப்பகுதிகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவையும் பொறுத்திருக்கும். சோதனை செய்யும்போது உள் உருளை திரவத்தில் மூழ்கியுள்ள ஆழத்தை மாற்றி மீண்டும் அளவீடுகளை எடுப்பதன்மூலம் Tb கணக்கீட்டிலிருந்து விலக்கிவிடப்படும். உள் உருளையை $l'$ ஆழத்திற்கு மூழ்கியிருக்குமாறு வைத்தபோது மொத்த விசையிரட்டைத் திருப்புத்திறன் $T^2$, உருளை திரும்பிய கோணம் $\theta'$ எனில்,

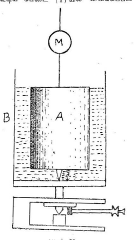
$$T_2 = C\,\theta' = \frac{4\pi\eta\Omega a^2 b^2 l'}{(b^2 - a^2)} = Tb$$

இப்போது $C\,\theta - C\,\theta' = C(\theta - \theta')$

$$= \frac{4\pi\eta\Omega a^2 b^2}{b^2 - a^2}(l - l')$$

எனவே $\eta = \dfrac{C(b^2 - a^2)(\theta - \theta')}{4\pi\Omega a^2 b^2 (l - l')}$

பாகியல்மானியின் அமைப்புப் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது வெளிஉருளை B ஒரு சுழலக்கூடிய மேடை (T) யில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. அதன் அச்சு மேடையின் சுழற்சி அச்சுக்கு நேரேயிருக்கும்படி சரிப்படுத்தவேண்டும். சுழல் மேடையை ஒரு மின்மோட்டாரின் உதவியால் நிமிடத்திற்கு இருபதிலிருந்து 60 முறை வரை சுழற்றலாம்.




படம் 89.

உள் உருளை A, B க்குள் இரு அச்சுகளும் பொருந்தியிருக்குமாறு ஒரு நீண்ட பாஸ்வர வெண்கல இழையில் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. இக்கம்பியில் ஒரு சிறிய ஆடித்துண்டு M பதிக்கப்பட்டிருக்கும். ஓர் அளவுகோல் — தொலைநோக்கி அமைப்பின் உதவியால் கம்பியின் முறுக்கத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

அலகு முறுக்கத்திற்கான முறுக்க விசையிரட்டையின் திருப்புத்திறன் C யைக் கண்டுபிடிக்க, உருளையை மட்டும் முதலில் முறுக்க அலைவுகள் செய்ய விடு. அதன் அலைவு நேரம் t என்க. பின்னர் தெரிந்த சடத்துவத் திருப்புத் திறன் உள்ள ஒரு வட்டத் தகட்டை அதில் மையமாக வைத்து

மீண்டும் முறுக்க அலைவு நேரத்தைக் கண்டுபிடி. அதை t' என்போம்.

உருளையைத் தொங்கவிட்டுள்ள இழையைப் பொறுத்த சடத்துவத் திருப்புத் திறன் I எனில் $t = 2\pi\sqrt{I/C}$.

வட்டத்தகட்டின் சடத்துவத் திருப்புத்திறன் I' எனில்

$$t' = 2\pi\sqrt{(I + I')/C}$$

$$\text{எனவே } (t'^2 - t^2) = \frac{4\pi^2 (I + I' - I)}{C}$$

$$= \frac{4\pi^2 I'}{C}$$

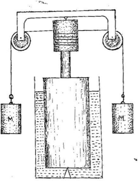
$$\therefore\ C = \frac{4\pi^2 I'}{(t'^2 - t^2)}.$$

சோதனையின்போது வெளி உருளையின் சுழல் வேகம் குறைவாயிருக்க வேண்டும். இல்லாவிடில் திரவத்தின் இயக்கம் சுழல் ஓட்டமாகிவிடும். அப்போது T, சுழல் திசைவேகம் Ωக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்காது. சுழல் மேடையில் இணைக்கப்பட்டுள்ள ஓர் எண்ணும் கருவியின் உதவியால் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் மேடையின் சுழற்சிகளைக் கண்டுபிடித்துக்கொண்டு அதிலிருந்து சுழல் திசை வேகம் Ω கணக்கிடப்படும். உள் உருளையை $l$, $l'$ ஆழங்களுக்கு திரவத்தில் மூழ்கி யிருக்குமாறு வைத்து வெளி உருளை Ω எனும் மாறுத சுழல் திசைவேகத்தில் சுழலும்போது கம்பியில் ஏற்படும் முறுக்கங்கள் முறையே θ, θ' ஆகியவை கண்டு பிடிக்கப்படும். பின்னர் மேலே கண்ட கோவையில் தக்கவாறு பதிலீடு செய்து பாகுநிலை எண் η கணக்கிடப்படும்.

வாயுக்களின் பாகுநிலை எண்களைக் கண்டு பிடிப்பதற்கும் இக் கருவி யமைப்பைப் பயன்படுத்தலாம். திரவங்களுக்கான முறையில் இரு ஆழங்களுக்கு உள் உருளையை மூழ்க வைத்துச் சோதனை செய்ததுபோல வாயுக்களுக்குச் செய்ய முடியாது. ஆகவே ஒரே தூரமுள்ள ஆனல் வெவ்வேறு நீளங்கள் ($l$, $l'$) உள்ள இரு உருளைகளை எடுத்துக்கொண்டு, உள், வெளி உருளைகளுக்கிடையிலுள்ள இடைவெளி மாறாமலிருக்கும்படி செய்து அளவீடுகளை எடுக்க வேண்டும்.

சியர்லின் பாகியல்மானி (Searle's Viscometer) :

சோதனைச் சாலைகளில் திரவங்களின் பாகுநிலை எண்களைக் கண்டுபிடிக்க சியர்லின் கருவி மிகவும் ஏற்றது. இதில் வெளி




படம் 90.

உருளைப் பாத்திரம் நிலையாக வைக்கப்பட்டு உள்ளிருக்கும் திண்ம உருளை ஒரு வெளி சுழற்று விசையினால் மாருத கோண வேகத்தில் சுழற்றப்படுகிறது.

ஒரு உருளைப் பாத்திரத்திற்குள் ஓரச்சான இன்னொரு திண்ம உருளை ஒரு கூர்மையான சுழல் தானத்தின் மேல் வைக்கப்பட்டுள்ளது. அது பாத்திரத்தின் அச்சைச் சுற்றிச் சுழலக்கூடியது. அதன் மேல் முனையில் D விட்டமுள்ள ஒரு சுழலுருளை (Drum) அதே அச்சில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இரு நூல்களின் முனைகள் சுழல் உருளையின் மேல் பரப்பில் இணைக்கப்பட்டு, நூல்கள் அதன் மேல் சுற்றப்பட்டுள்ளன. அவற்றின் மறுமுனைகள், சுழலுருளையின் கிடைத்தளத்திலேயே அமைந்துள்ள இரு கப்பிகளின்மேல் செலுத்தப்பட்டு, அவற்றிலிருந்து சம அளவு(M)ள்ள இரு எடைக்கற்கள் தொங்கவிடப்பட்டிருக்கும். இவை உருளையை ஒரு திசையில் சுழற்றும் வகையில் அதன் மேல் நூல்கள் சுற்றப்பட்

டிருக்கும். இவ்வெடைகள் செலுத்தக்கூடிய விசை யிரட்டைத் திருப்புத் திறன் = Mg D. பாத்திரத்தில் திரவம் இருக்கும்போது உருளை $\Omega$ எனும் மாருத சுழல் வேகத்துடன் சுழற்றப்படுவதாகக் கொள்வோம், முன்னர் செய்தது போல $\omega$ எனும் சுழல் வேகத்துடன் சுழன்றுகொண்டிருக்கும் r ஆரமும் dr தடிமனும் உள்ள ஒரு கற்பனை உருளையைக் கவனித்தால் அதில் ஏற்படும் திசை வேகச் சரிவு $= r\dfrac{d\omega}{dr}$. உருளை $l$ ஆழத்திற்கு மூழ்கியுள்ளபோது பாகியல் பின்னிழுப்பு விசை $F = 2\pi r\, l\, \eta\, r\,\dfrac{d\omega}{dr}$.

உருளைப் படலத்தின் மேல் செயல்படும் இவ் விசையின் திருப்புத் திறன் $T = 2\pi r\, l\, \eta\, r.\ \dfrac{d\omega}{dr} \times r$

$$= 2\pi r^2\, l\eta.\ \frac{d\omega}{dr}$$

$$\therefore\ \frac{dr}{r^2} = \frac{2\pi\, l\,\eta}{T}.\ d\omega$$

இரு உருளைகளுக்கு மிடையிலுள்ள முழுத் திரவத்தின் விளைவையும் மேலே கண்ட கோவையை $\omega = 0$, $\omega = \Omega$ எனும் வரம்புகளுக்கும், $r = a$, $r = b$ எனும் வரம்புகளுக்கிடையிலும் தொகைப்படுத்திப் பெறலாம்.

$$\text{அதாவது } T = \frac{4\pi\, l\,\eta\,\Omega}{\left(\dfrac{1}{a^2} - \dfrac{1}{b^2}\right)}$$

$$= \frac{4\pi\, l\,\eta\,\Omega\, a^2 b^2}{(b^2 - a^2)} \qquad \dots\ \dots\ \dots\ \dots\ (1)$$

இந்த விசை யிரட்டை உருளை மாருத சுழல் வேக($\Omega$)த்துடன் சுற்றும்போது வெளி விசை யிரட்டையான Mg D க்குச் சமமாயிருக்கும்.

$$\text{எனவே } Mg\,D = 4\pi\,\eta\, l\,\frac{b^2 a^2}{b^2 - a^2}\,\Omega$$

செய்முறை : கொடுக்கப்பட்ட திரவத்தை இரு உருளைகளுக்கும் இடையில் நிரப்பு. உள் உருளை திரவத்தில் $l$ ஆழத்திற்கு மூழ்கி

யிருக்கட்டும் மேல் உருளையைச் சுற்றி இருபுறங்களிலும் உள்ள எடைகளை மேலே ஏற்றிவை. இரு எடைகளும் ஒரே கிடைத் தளத்திலிருக்க வேண்டும். ஒரு தாழ் (Lock) அமைப்பின் உதவி யுடன் உருளையைச் சுழலாமல் பிடித்துக் கொள்ளலாம். உள் ளிருக்கும் திரவத்திற்கு இயக்கங்கள் அடங்கி ஓய்வு நிலைக்கு வந்ததும் தாழை நீக்கு. இரு எடைகளும் கீழே இறங்கும் அவற்றின் வேகம் படிப்படியாக அதிகரிக்கும். அதனால் திரவத் தினுள் உள்ள உருளையும் படிப்படியாக அதிகரிக்கின்ற வேகத் துடன் சுழலத் துவங்கும். ஆனால் பாகியல் விசைகள் தலையிட்டு ஒரு மாறுத சுழல் வேகத்துடன் உருளையைச் சுழல வைக்கும். இவ்வாறு உருளை மாறுத சுழல் வேகத்துடன் சுழலும்போது ஒரு கடிகாரத்தின் உதவியுடன் 10 அல்லது 20 சுழற்சிகளுக்கான நேரத்தைக் கண்டுபிடித்து ஒரு சுற்று நேரத் (t) தைக் கணக்கிடு.

$$\text{உள் உருளையின் சுழல் வேகம் } \Omega = \frac{2\pi}{t}$$

திண்ம உருளையின் ஆரம் a, வெளி உருளையின் ஆரம் b எனில் $Mg\,D = 4\pi\,\eta\,l\,\frac{b^2a^2}{b^2 - a^2}\cdot\frac{2\pi}{t}$

$$\text{அல்லது } \frac{Mt}{l} = 8\,\pi^2\,\eta\,\frac{b^2a^2}{b^2 - a^2}\;\frac{1}{Dg} \quad \ldots\ \ldots\ \ldots\ \ldots \quad (2)$$

எடைகளின் மதிப்புகளையும், திண்ம உருளை திரவத்தினுள் அமிழ்ந்திருக்கும் ஆழத்தையும் மாற்றிச் சோதனையைத் திரும்பப் பலமுறை செய். காட்சிப் பதிவுகளிருந்து $\frac{mt}{l}$ என்பது ஒரு மாறிலி என்பது புலப்படும். அதன் சராசரி மதிப்பை மேற்கண்ட கோவையில் பதிலீடு செய்து பாகுநிலை எண் (η) ணைக் கணக்கிடு. முனை விளைவுத் திருத்தத்தைப் புறக்கணித்து விடில்

$$\eta = \frac{gD\,(b^2 - a_2)}{8\,\pi^2\,a^2b^2}\cdot\frac{Mt}{l} \quad .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ . \quad (3)$$

முனை விளைவுத் திருத்தம் :

மேலே (1)ஆம் சமன்பாட்டில் பெறப்பட்ட T உருளையின் பக்கங் களில் செயல்படும் விசையிரட்டைத் திருப்புத்திறன் மட்டுமே யாகும். பாகியல் தன்மையினால். உருளையின் அடிப்பக்கத்திலும் ஒரு விசையிரட்டைத் திருப்புத் திறன் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது.

இதன் பரிமாணம், a, b, உள் உருளையின் அடிப் பக்கத்திற்கும் வெளி உருளையின் அடிப் பக்கத்திற்கும் இடையிலுள்ள தொலைவு ஆகியவற்றைப் பொறுத்திருக்கும். அதை f என்போம். இரு உருளைகளின் அடிப் பக்கங்களுக்கும் இடையிலுள்ள தொலைவை மாறாமல் வைத்துக்கொண்டு உள் உருளை திரவத்தில் ஆழ்ந் திருக்கும் நீளத்தை $l_1$, $l_2$ எனும் அளவுகளில் வைத்து மேற்கண்ட சோதனையைச் செய்கின்றபோது உருளையின் மேல் செயல்படும் மொத்த சுழற்சி வலுவுகளாவன,

$$T_1 = \frac{4\pi\eta\Omega a^2 b^2}{b^2 - a^2} l_1 + f$$

$$T_2 = \frac{4\pi\eta\Omega a^2 b^2}{b^2 - a^2} l_2 + f$$

$$\text{எனவே } T = T_1 - T_2 = \frac{4\pi\eta\Omega a^2 b^2}{b^2 - a^2}(l_1 - l_2)$$

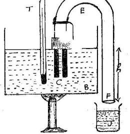
முனை விளைவுத் திருத்தம் அற்பமாக இருக்கும்போது Mt, $l$ ஆகியவற்றிற்கிடையில் வரையப்படும் வரை படம் மூலத்தின் வழியே செல்லும் நேர் கோடாக இருக்க வேண்டும். ஆனால் உண்மையில் இந்த நேர்கோடு $l$-அச்சை எதிரிலைப் பக்கத்தில் வெட்டுகிறது. இதிலிருந்து $l$-க்கும் ஒரு திருத்தத்தைச் சேர்க்க வேண்டும் எனப் பொருளாகிறது. இத் திருத்தத்தின் மதிப்பை (K) வரை படத்திலிருந்து பெறலாம்.

எனவே (3)ஆம் சமன்பாடு பின்வருமாறு அமையும்.

$$\eta = \frac{gD(b^2 - a^2)}{8\pi^2 a^2 b^2} \cdot \frac{Mt}{(l + K)}$$

4.6 **பாகு நிலை எண் வெப்ப நிலையுடன் மாறுதல் :** ஒரு திரவத் தின் பாகுநிலை எண்ணைக் கண்டு பிடிப்பதற்கு, ஒரு நுண் துளைக் குழாய் வழியாக அத் திரவம் பாயும் வீதத்தை அளக்கிறோம். அதே போல வெப்பநிலையுடன் பாகுநிலை எண் மாறுகின்ற வீதத்தைக் கண்டுபிடிக்க, வெவ்வேறு வெப்பநிலையுடன் பாகு நிலை எண் மாறு கின்ற வீதத்தைக் கண்டுபிடிக்க, வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் திரவம் நுண் துளைக்குழாயின் வழியே பாயும் வீதத்தை அளக்க வேண்டும். இதற்கு முதலில் செய்தது போன்ற கிடையாகப் பொருத்தப்பட்ட நுண்துளைக்குழாய் அமைப்பு சரிப்பட்டு வராது.

அதனால் படத்தில் காட்டியது போலக் கருவி யமைப்பைச் சற்றுத் திருத்தி யமைத்துச் சோதனையைச் செய்ய வேண்டும். சோதனைக் கான திரவத்தை B எனும் பாத்திரத்தில் எடுத்துக்கொள். அதன் வெப்ப நிலையை அளப்பதற்கு T எனும் நுட்பமான வெப்பநிலை




படம் 91.

மானியைப் பொருத்து. C எனும் நுண்துளைக் குழாயைச் செங்குத் தாகத் திரவத்தில் மூழ்கி யிருக்குமாறு பொருத்தி, EF எனும் அகன்ற வளைந்த வடி குழாயுடன் இணை. திரவம் அவன் வழியாக J எனும் நிறை தெரிந்த ஒரு முகவையில் சேகரிக்கப்படும்.

முன் செய்தது போலவே ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்திற்கு நுண் துளைக்குழாய் வழியே வடிந்து வெளியேறும் திரவத்தின் பருமம் கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது. இந்தப் பாய்வு DF = h எனும் உயர முள்ள திரவத்தம்பத்தின் அழுத்தத்தினால் (P) ஏற்படுகிறது. இது hgdக்குச் சமம்.

திரவம் வெளியே வடியும்போது Bயிலுள்ள திரவ மட்டம் குறைவதை ஈடுகட்ட அது மெல்ல படிப்படியாக உயர்த்தப்பட்டுத் திரவ மட்டம் Dயில் மாறாமல் இருக்குமாறு செய்யப்படுகிறது. இதற்கு உதவியாகப் படத்தில் காட்டியது போல ஒரு வளைந்த ஊசி பொருத்தப்பட்டிருக்கும். திரவ மட்டம் எப்போதும் அந்த ஊசி யின் கீழ் முனையைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்குமாறு செய்யப்படும்.

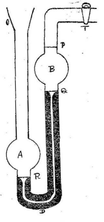
இவ்வாறு ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்திற்கு வெளியேறுகின்ற திர வத்தை J எனும் முகவையில் சேகரித்து அதன் பருமத்தைக்

கண்டுபிடி. அதை, சேகரிக்கப்பட்ட நேரத்தினால் வகுத்தால், திரவத்தின் பாய்வு வீதம் V (ஒரு வினாடியில் நுண் துளைக்குழாய் வழியே பாயும் திரவத்தின் பருமம்) கிடைக்கும். நுண் துளைக் குழாயின் ஆரம் r, நீளம் $l$ எனில் $\eta = P \pi r^4/8 V l$. எனும் சமன்பாட்டினைப் பயன்படுத்திப் பாகுநிலை எண்ணைக் கணக்கிடலாம்.

திரவத்தை வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் மாறாமல் வைத்து இச் சோதனையைத் திரும்பச் செய். வெப்பநிலைக்கும் பாகு நிலை எண்ணிற்கும் இடையில் ஓர் வரை படம் வரையவும்.

சாதாரணமாகத் திரவத்தின் வெப்பநிலை உயரும்போது பாகு நிலை எண் குறைவதாகத் தெரிகிறது. ஆனால் இரண்டிற்கு மிடையில் பொதுவான, நிச்சயமான தொடர்பு எதுவும் இருப்பதாகத் தெரியவில்லை.

**4.7.** திரவங்களின் பாகுநிலை எண்களை ஒப்பிடுதல் — **ஆஸ்ட்வால்டு பாகியல்மானி** (Ostwald's Viscometer). இரு திரவங்களின் பாகுநிலை எண்களை அல்லது வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில் ஒரே திரவத்தின் பாகுநிலை எண்களை ஒப்பிடுவதற்கு ஆஸ்ட்வால்டு அமைத்து உருவாக்கியுள்ள எளிய கருவி பயன்படுகிறது. இதிலுள்ள சிறப்பு வசதி என்னவென்றால் கருவியின் பரிமாணங்களைத் துல்லியமாக அளக்கத் தேவையில்லை. இதில் U வடிவுள்ள RQ எனும் நுண் துளைக்குழாயின் இரு முனைகளிலும் A, B எனும் குமிழ்கள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. அதன் வலது புறத்தில் T எனும் அடைப்பானுடன் கூடிய ஒரு பக்கக் குழாய் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. குழாயில் R, Q, P எனுமிடங்களில் குறிகள் செதுக்கப்பட்டிருக்கும். இந்தக் குழாயை வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில் மாறாது வைக்கக்கூடிய திரவத் தொட்டியில் வைத்துப் பொருத்தலாம். சோதனைகள் செய்யும்போது A குமிழில் QDR எனும் பகுதி முழுவதும் நிரம்புமாறு திரவத்தை விடு



படம் 92.

வதனல் ஒவ்வொரு முறையும் ஒரு குறிப்பிட்ட, மாருத அளவு திரவத்தைப் பயன்படுத்த முடிகிறது.

முதல் திரவத்தைக் குழாயில் எடுத்துக்கொள். T எனும் அடைப்பானைத் திறந்துகொண்டு திரவம் P எனும் குறிக்குச் சற்று மேலே வரும்படி உறிஞ்சிவிட்டு அடைப்பானை மூடிவிடு. பின்னர் அடைப்பானைத் திறந்தால் அந்தப் பக்கத்தில் அழுத்தம் அதிகமா யிருப்பதால் திரவம் நுண்துளைக் குழாய் வழியே மறுபுறம் பாயும். திரவமட்டம் P யைக் கடக்கும்போது ஒரு கடிகாரத்தைத் துவக்கி அது Q வைக் கடந்து செல்லும்போது ஆகும் நேரத்தையும் பதிவு செய்துகொள். இது PQ பகுதியிலுள்ள திரவம் நுண்துளைக் குழாயைக் கடந்து செல்லப் பிடிக்கும் நேரமாகும். பாகியலினல் திரவப் பாய்ச்சலுக்கு ஏற்படும் எதிர்ப்பு விசை குழாயின் ஆரத்தின் நான்கு மடிக்குத் தலைகீழ் விகிதத்தில் மாறுகின்றபடியால், திரவத் தின் பாய்வு வீதத்தை நுண்துளைக் குழாய் மட்டுமே நிர்ணயிக் கிறது. குழாயின் அகன்ற பகுதிகள் அதைப் பாதிப்பதேயில்லை.

பாய்வு வீதம் V எனில் $V = \frac{\pi P r^4}{8 \eta l}$

இதில் $l$ என்பது QR எனும் நுண்துளைப் பகுதியின் நீளம் P. அதன் முனைகளுக்கிடையிலுள்ள அழுத்த வேறுபாடு $\eta$– திரவத்தின் பாகுநிலை எண் ஆகும்.

$\eta'$ பாகுநிலை எண்ணுள்ளதும், அதே வெப்ப நிலையிலுள்ளது மான இரண்டாவது திரவத்தைப் பயன்படுத்திச் சோதனையை முன் போலவே திரும்பச் செய். அதன் பாய்வு வீதம் V′ எனில் $V' = \frac{\pi P' r^4}{8 \eta' l}$.

அழுத்த வேறுபாடு திரவப் பாய்வின்போது மாறிக்கொண்டே யிருப்பினும் இயக்கத்தின் ஒவ்வொரு கட்டத்திலும் அது திரவத் தின் அடர்த்திக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். எனவே ஒரே மாதிரி யான இரு கட்டங்களில் $\rho, \rho'$ அடர்த்திகளுள்ள இரு திரவங்களி லுள்ள அழுத்த வேறுபாடுகள் முறையே P, P′ எனில், $P \propto \rho$, $P' \propto \rho'$

எனவே முதல் திரவத்திற்கு $V \propto \frac{\pi \rho r^4}{8 \eta l}$

இரண்டாவது திரவத்திற்கு $V' \propto \frac{\pi \rho' r^4}{8 \eta' l}$

$$\therefore \quad \frac{V}{V'} = \frac{\rho}{\rho'} \times \frac{\eta'}{\eta}$$

திரவப் பாய்வின்போது அழுத்த வேறுபாடுகள் மாறுவதால் பாய்வு வீதங்களும் (V, V′) மாறினாலும் இரு திரவங்களின் அலகுப் பருமங்கள் ஒத்த நிலைகளில் பாய்வதற்கான நேரங்கள் V, V′ க்குத் தலைகீழ் விகிதங்களில் மாறுகின்றன. எனவே திரவம் பாய்கின்ற மொத்த நேரங்களான t யும் t′-ம் அதேபோல முறையே V, V′ க்குத் தலைகீழ் விகிதத்தில் மாறவேண்டும். அதாவது

$$\frac{t}{t'} = \frac{V}{V'}. \quad \text{எனவே} \quad \frac{\rho'\eta}{\rho\eta'} = \frac{t}{t'}$$

அல்லது $\frac{\eta}{\eta'} = \frac{\rho}{\rho'} \times \frac{t}{t'}$

இவ்வாறு $\rho, \rho'$ எனும் அடர்த்திகளையும், $t, t'$ எனும் நேர இடை வெளிகளையும் கண்டுபிடித்துக் கொண்டு இரு திரவங்களின் அல்லது இரு வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளிலுள்ள ஒரே திரவத்தின் பாகுநிலை எண்களை $(\eta, \eta')$ எளிதாக ஒப்பிட முடியும்.

இந்தக் கருவியைப் பயன்படுத்தி ஒரு திரவத்தின் பாகுநிலை எண்ணையும் கண்டுபிடிக்கலாம். மேலே கண்டபடி $\eta \propto \rho t$

அல்லது $\eta = K.\rho.t.$ இதில் K என்பது கொடுக்கப்பட்ட பாகியல்மானிக்கான ஒரு மாறிலி. தெரிந்த பாகுநிலை எண்ணுள்ள ஒரு திரவத்தைப் பயன்படுத்தி அதற்கு இம் மாறிலியைக் கண்டு பிடித்துக் கொண்டால், அந்தக் கருவியைப் பயன்படுத்தி மற்ற திரவங்களின் பாகுநிலை எண்களைக் கண்டுபிடித்து விடலாம்.

**4.8 வாயுக்களின் பாகுநிலை எண்களைக் கண்டுபிடித்தல் :** திரவங்களின் பாகுநிலை எண்களைக் கண்டுபிடிக்கப் பயன்படுகிற நியூட்டனின் விதி வரையறை வாயுக்களுக்கும் பொருந்தும். ஆனால் பாய்ஸ்வீலியின் திரவங்களுக்கான பாகுநிலை எண் சமன் பாடு அப்படியே வாயுக்களுக்குப் பொருந்தாது. ஏனெனில் ஒரு திரவத்தின் அடர்த்தி அதன் மேலுள்ள அழுத்தத்தினால் பாதிக்கப் படுவதில்லை. ஆனால் ஒரு வாயுவின் அடர்த்தி அதன் அழுத்தத் திற்கு நேர் விகிதத்தில் மாறுகிறது. ஒரு குழாயின் ஒரு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பின் வழியே ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் பாயும் திரவத்தின் பருமத்தையும் நிறையையும் மாறிலியாகக் கொள்ள முடியும். ஆனால் ஒரு குழாயின் ஒரு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பின் வழியாக ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் பாய்ந்து செல்லும் வாயுவின் நிறையை மட்டுமே மாறிலியாக எடுத்துக்கொள்ள முடிகிறது.

இவ்வாறு ஒரு குழாயின் நுழைவாய் முனையிலிருந்து x தொலைவிலுள்ள ஒரு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பின் வழியே ஒரு வினாடியில் பாயும் வாயுவின் பருமம் V, அக் குறுக்குப் பரப்பின்மேல் செயல்படும் சீரான அழுத்தம் P, அந்த அழுத்தத்தில் வாயுவின் அடர்த்தி $\rho$ எனில், $\rho$ V = ஒரு மாறிலி.

அடர்த்தி, அழுத்தத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் மாறுவதால் PV = ஒரு மாறிலி.

நுழைவாய் முனையிலிருந்து x தொலைவிலுள்ள dx எனும் பகுதியை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் முனைகளுக்கிடையில் உள்ள அழுத்த வேறுபாடு d P என்போம்.

பாய்ஸ்வில்லியின் சமன்பாட்டின்படி அப் பகுதியின் வழியே ஒரு வினாடியில் பாயும் வாயுவின் பருமம் $V = -\dfrac{\pi\, dP\, r^4}{8\, dx\, \eta}$

$$= -\frac{\pi r^4}{8\eta} \cdot \frac{dP}{dx}$$

எதிரினக் குறி x அதிகரிக்கும்போது P குறைவதைக் காட்டுகிறது. இக் கோவையின் இருபுறங்களையும் P யினால் பெருக்கினால் $P\,V = -\dfrac{\pi r^4}{8\eta} \times \dfrac{P\,dP}{dx}$ = ஒரு மாறிலி.

$P_1$ அழுத்தத்தில் குழாயினுள் $V_1$ பருமமுள்ள வாயு நுழைந்தால் $P_1 V_1 = PV$. (குழாயின் குறுக்களவு மாறுவதில்லை).

அல்லது $P_1V_1 = -\dfrac{\pi r^4}{8\eta} \times \dfrac{P\,dP}{dx}$

அல்லது $P_1V_1\, dx = -\dfrac{\pi r^4}{8\eta} P.dP.$

இக் கோவையை x = o, x = $l$ (குழாயின் நீளம்), $P = P_1$ (நுழைவாய் முனையில் அழுத்தம்), $P = P_2$ (வெளியேறு முனையில் அழுத்தம்) எனும் வரம்புகளுக்கிடையில் தொகைப்படுத்தினால்,

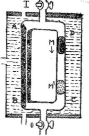
$$P_1V_1 \int_0^l dx = -\frac{\pi r^4}{8\eta} \int_{P_1}^{P_2} P\, dP$$

அல்லது $P_1V_1\, l = \frac{\pi r^4}{8\eta} \frac{(P_1^2 - P_2^2)}{2}$

அல்லது $P_1\, V_1 = \frac{\pi r^4 (P_1^2 - P_2^2)}{16\, \eta\, l}$

இதிலிருந்து $\eta$ வின் மதிப்பை எளிதில் கண்டுபிடித்துவிடலாம். இம் முறையில் கிரின்ட்லே, கிப்ஸன் ஆகியோர் வாயுக்களின் பாகுநிலை எண்களைக் கண்டுபிடித்துள்ளனர். வாயு நிரம்பிய ஒரு கலம் இன்னொரு கலத்துடன் ஒரு நுண்துளைக் குழாயின் மூலம் இணைக்கப்பட்டது. முதல் கலத்தில் நீரைச் செலுத்தி அதிலிருந்து வாயு வெளியேறி மற்ற கலத்திற்குள் செல்லுமாறு செய்யப்பட்டது. குழாய் வழியே செல்லும் வாயுவின் பருமத்தை இதனுல் எளிதில் கண்டுபிடித்துக் கொள்ளலாம். நுண்துளைக் குழாயின் இரு முனைகளிலுமுள்ள அழுத்தங்கள் அளந்து கொள்ளப்பட்டன. மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து பாகுநிலை எண் கணக்கிடப்பட்டது.

ரான்கின் (Rankine) முறை : வாயுக்களின் பாகுநிலை எண்ணைக் கண்டுபிடிக்க ரான்கின் பயன்படுத்திய எளிய தோல் கருவியமைப்புப் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. ABCD என்பது ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ள கண்ணடிக் குழாய், AB பகுதி 2 மி.மீ., ஆரமுள்ள நுண்துளைக் குழாயாலானது. குழாயின் இருபுறங்களிலும் I, o எனும் அடைப்பான்கள் உள்ளன. நுண்துளைப் பகுதிக்கு எதிர்ப் பகுதி CD யில் ஒரு பாதரசத் துளி உள்ளது (M).



படம் 93.

குழாயைச் செங்குத்தாகப் பொருத்தினுல் பாதரசத் துளி, அதன் சொந்த எடையின் காரணமாகக் கீழே இறங்கத் துவங்கும். ஆகவே அதற்கடியிலுள்ள வாயு நுண்துளைக் குழாய் வழியே செலுத்தப்படுகிறது. அதன் பாய்வு வீதத்தைப் பாதரசத் துளி ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவு இறங்குவதற்காகும் நேரத்திலிருந்து கண்டுபிடித்துக் கொள்ளலாம். இதிலிருந்து பாகுநிலை எண் கணக்கிடப்படும்.

முதலில் குழாயைக் கிடையாக மேஜையின்மேல் வைத்து குழாய் முழுவதும் வாயுவின் அழுத்தம் (P) சீராக இருக்குமாறு செய்து அடைப்பான்களை மூடு. அப்போது அலகு அழுத்தத்தில் வாயுவின் அடர்த்தி $\rho$. குழாயில் அடைக்கப்பட்டுள்ள வாயுவின் மொத்தப் பருமம் V எனில், வாயுவின் மொத்த நிறை $= \rho P V$

குழாயைச் செங்குத்தாகப் பொருத்து, பாதரசத் துளி கீழே விழத் துவங்கும். ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் அது M எனும் நிலையிலிருக்கட்டும். பாதரசத் துளிக்கு மேலேயுள்ள வாயுவின் பருமம் $v_1$ என்போம். M க்கு மேலேயுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் $P_1$ எனில், M க்கு கீழேயுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் $= P_1 + \frac{mg}{a}$.
இதில் mg என்பது பாதரசத் துளியின் எடை, a என்பது DC பகுதியின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பளவு. எனவே M க்கு மேலே யுள்ள வாயுவின் நிறை $= \rho P_1 v_1$.

$$\text{M க்குக் கீழேயுள்ள வாயுவின் நிறை} = \rho\left(P_1 + \frac{mg}{a}\right)(V - v_1)$$

இதில் $(V - v_1)$ என்பது M க்குக் கீழேயுள்ள வாயுவின் பருமம். எனவே குழாயிலுள்ள வாயுவின் மொத்த நிறை

$$= \rho P_1 v_1 + \rho\left(P_1 + \frac{mg}{a}\right)(V - v_1)$$

$$\text{அல்லது } \rho P V = \rho P_1 v_1 + \rho\left(P_1 + \frac{mg}{a}\right)(V - v_1)$$

$$\text{அல்லது } P_1 = P - \frac{mg}{a} + \frac{mg}{a} \times \frac{v_1}{V} \quad \ldots \ldots \ldots \text{(i)}$$

M-க்குக் கீழேயுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் $P_2$ எனில்

$$P_2 = P_1 - \frac{mg}{a} = \left(P - \frac{mg}{a} + \frac{mg}{a} \times \frac{v_1}{V}\right) + \frac{mg}{a}$$

$$= P + \frac{mg}{a} \times \frac{v_1}{V} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \text{(ii)}$$

பாதரசத் துளி M' எனும் நிலைக்கு இறங்கிவிடட்டும். அதற்கு மேலேயுள்ள வாயுவின் பருமம் $= v_2$ என்போம். அவ்வாயுவின் அழுத்தம் $P_1'$ எனில்

$$P_1' = P - \frac{mg}{a} \times \frac{mg}{a} \times \frac{v_2}{V} \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iii)}$$

பாதரசத் துளிக்குக் கீழேயுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் $P'_2$ எனில்

$$P'_2 = P + \frac{mg}{a} \times \frac{v_2}{V} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (iv)$$

பாதரசத் துளி M-ல் இருக்கும்போது அதற்குக் கீழே B வரையிருந்த வாயுவின் நிறை $= \rho\ P_2\ (V - v_1)$ ஆகவும் பாதரசத்துளி M′-ல் இருக்கும்போது அதற்குக் கீழே B வரையுள்ள வாயுவின் நிறை $\rho\ P_2'\ (V - v_2)$ ஆகவும் உள்ளது. எனவே இவ்விரண்டு நிறைகளுக்குமிடையிலான வித்தியாசம், பாதரசத் துளி M-லிருந்து M′-க்கு இறங்கியபோது நுண்துளைக் குழாய் வழியே செலுத்தப்பட்ட வாயுவின் நிறைக்குச் சமமாகும். எனவே நுண்துளைக் குழாய் வழியே செலுத்தப்பட்ட வாயுவின் நிறை

$$= \rho\ P_2\ (V - v_1) - \rho\ P_2'\ (V - v_2)$$

பாதரசத் துளி யிருக்குமிடத்தைச் சரிப்படுத்தி $V = v_1 + v_2$ ஆக இருக்கும்படி அடைத்துக் கொண்டால், நுண்துளைக் குழாய் வழியே செலுத்தப்பட்ட வாயுவின் நிறை

$$= \rho\left(P + \frac{mg}{a} \cdot \frac{v_1}{V}\right)(V - v_1) - \rho\left(P + \frac{mg}{a} \cdot \frac{v_2}{V}\right)(V - v_2)$$

$$= \rho\ P\ (v_2 - v_1)$$

எனவே பாதரசத் துளி M M′ எனும் இடைவெளியை t வினாடிகளில் கடந்து சென்றால், நுண்துளைக் குழாய் வழியாக ஒரு வினாடியில் பாய்கின்ற வாயுவின் நிறை $= \dfrac{\rho\ P\ (v_2 - v_1)}{t} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad I$

பாதரசத் துளி M-ல் இருக்கும்போது ஒரு வினாடியில் பாய்கின்ற வாயுவின் பருமம் v எனில்

$$\frac{(P_2^2 - P_1^2)\ \pi\ r^4}{16\ \eta\ l} = P^2\ v$$

இதில் r என்பது நுண்துளைக் குழாயின் ஆரம், $l$ அதன் நீளம்

அதேபோலப் பாதரசத் துளி M′-ல் இருக்கும்போது ஒரு வினாடியில் பாய்கின்ற வாயுவின் பருமம் v′ எனில்

$$\frac{(P_2'^2 - P_1'^2)\ \pi\ r^4}{16\ \eta\ l} = P_2'\ v'$$

எனவே நுண்துளைக்குழாயின் வழியே பாயும் வாயுவின் சராசரிப் பாய்வு வீதம் = $\frac{(P_2{}^2 - P_1{}^2) + (P_2{}^{12} - P_1{}^{12})}{2}$ க்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது. இது = $\frac{2 \text{ mg P}}{a}$ க்குச் சமமாகும்.

எனவே ஒரு விநாடியில் நுண்துளைக் குழாயின் வழியே பாயும்

$$\text{வாயுவின் நிறை} = \frac{\rho \times 2 \text{ mg } \frac{P}{a} \pi r^4}{16 \eta l} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \text{II}$$

I, II ஆகிய கோவைகளிலிருந்து

$$\rho \times \frac{2 \text{ mg P}}{a} \times \frac{\pi r^4}{16 \eta l} = \frac{\rho \text{ P } (v_2 - v_1)}{t}$$

$$\text{ஆகவே } \eta = \frac{\text{mg } \pi r^4 t}{8 a\ l\ (v_2 - v_1)}$$

இதிலிருந்து வாயுவின் பாகுநிலை எண்ணைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

ரான்கின் பல வாயுக்களின் பாகுநிலை எண்களை இக் கருவியின் உதவியுடன் கண்டுபிடித்தார். வாயுவின் பாகுநிலை எண் அதன் அழுத்தத்தைப் பொறுத்ததல்ல என இயக்கக் கோட்பாடு கூறுவதை அவர் மெய்ப்பித்துக் காட்டினர். ஆனல் இம்முறை அவ்வளவு துல்லியமானது அல்ல. இதில் பரப்பு இழுவிசையின் பாதிப்பு விளைவு அதிகமாயிருக்கிறது. இக்காலத்தில் பியர்டென் என்பார் உருவாக்கிய சுழல் உருளை முறையிலேயே வாயுக்களின் பாகுநிலை எண்கள் கண்டுபிடிக்கப்படுகின்றன.

4.3 உயவுப் பொருள்கள் : இயங்குகின்ற எந்திரப் பகுதிகளில் உராய்வைக் குறைப்பதற்காக அவற்றில் தடவப்படும் பொருள்கள் உயவுப் பொருள்கள் (Lubricants) எனப்படும். காரீயம், இரிடியம் போன்ற மென்மையான உலோகங்கள் எஃகு போன்ற கடினமான உலோகங்களாலான எந்திரப் பகுதிகளில் உயவுப் பொருள்களாகத் தடவப்படுகின்றன. விமான எஞ்சின்களில் இரிடியம் அல்லது காரீயம் பூசப்பட்ட செப்பு அல்லது வெள்ளி பேரிங்குகள் உள்ளன. மற்ற சாதாரண காரியங்களுக்குத் திரவங்களே பெரும்பாலும் உயவுப் பொருள்களாகப் பயன்படுத்தப்படும். இயங்குகின்ற இரு பரப்புகளுக்கிடையில் ஓர் மெல்லிய படலமாகப் பரவி அவற்றிற்

கிடையிலுள்ள உராய்வைக் குறைக்கக் கூடிய திரவமே ஒரு நல்ல உயவுப் பொருளாகும். அது திடப் பரப்புகளுடன் ஒட்டிக்கொள்ளக் கூடியதாயும் உயர்ந்த பாகுநிலை எண்ணுள்ளதாயும், எளிதில் ரசாயன மாற்றமடையாத ஸ்திர தன்மையுள்ளதாயும் இருக்க வேண்டும். மிகவும் உயர்ந்த பாகுநிலை எண்ணுள்ள திரவம் இயக்கத்தைத் தடை செய்யக் கூடியதாகையால் அத்தகைய திரவமும் ஏற்றதல்ல. மேலும் வேகம் அதிகரிக்கும்போது பாகியல் உராய்வுத் தடையும் அதிகரிக்குமாதலால், உயர் வேகங்களுக்குத் தாழ்ந்த பாகுநிலை எண் உள்ள திரவங்களும் தாழ்ந்த வேகங் களுக்கு உயர்ந்த பாகுநிலை எண்ணுள்ள திரவங்களும் விரும்பத் தக்கவை. இத் தகுதிகளெல்லாம் தாவர எண்ணெய்களைவிட கனிம எண்ணெய்(Mineral Oils)களுக்கு அதிகமாக உள்ளதால் அவை உயவுப் பொருள்களாகப் பெருமளவு பயன்படுகின்றன. தாவர எண்ணெய்களுக்குத் திடப் பரப்புகளுடன் நன்கு ஒட்டிக் கொள்ளும் தன்மையுண்டு. எனவே தற்காலத்தில் இருவித எண்ணெய்களும் தக்க விகிதத்தில் கலக்கப்பட்ட கலவைகள் பயன் பட்டு வருகின்றன. உயர்ந்த பரப்புகளைப் போலல்லாமல் நன்கு உயவு செய்யப்பட்ட பரப்புகளில் சறுக்கு இயக்கத்தைத் தோற்று விக்கத் தேவைப்படும் விசை, பரப்பின் தன்மையையோ பரப்பு களைச் சேர்த்து வைக்கும் விசைகளையோ பொறுத்திருப்பதில்லை. ஆனால் இயக்கத்தைப் பராமரித்து வைப்பதற்கான விசை, பரப்பு களுக்கிடையேயான சார்புத் திசைவேகத்தையும், வெப்பநிலை யையும், உயவுப் பொருளின் தன்மையையும் பொறுத்துள்ளது. உயவுப் பொருளின் படலம் சார்பு இயக்கத்திலுள்ள பரப்புகளைப் பிரித்து வைக்கிறது. இயக்கத்தைப் பராமரிக்கும் விசை உயவுப் பொருளின் பாகியலால் தோன்றுவதாகும். d எனும் இடைவெளி விட்டுள்ள, A எனும் பரப்பளவுள்ள இரு தளங்களை $\eta$ பாகுநிலை எண்ணுள்ள உயவுப் பொருளைப் பயன்படுத்தி v எனும் சார்புத் திசைவேகத்துடன் தொடர்ந்து இயங்கச் செய்யத் தேவையான விசை $= \frac{A\eta v}{d}$ எனக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. $\eta$ மதிப்பு அதிக முள்ள ஒரு உயவுப் பொருள், தளங்களுக்கிடையிலுள்ள இடை வெளி d யை அதிகமாக்கும். எனவே உயர்ந்த பாகுநிலை எண் ணுள்ள ஒரு திரவம் சிறந்த உயவுப் பொருளாகும்.

## மாதிரிக் கணக்குகள்

(1) 10 செ.மீ., பரப்புள்ள ஒரு தட்டையான தகடு, ஒரு பெரிய தட்டின்மேல் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இரண்டிற்குமுடையே 1 மி.மீ. தடிமனுள்ள கிளிசரின் படலம் உள்ளது. கிளிசரினின் பாகுநிலை

எண் 20 பாய்ஸ் எனில் தகட்டை 1 செ.மீ.,/வினடி எனும் திசை வேகத்துடன் இயங்கச் செய்யத் தேவைப்படும் விசையைக் கணக்கிடு.

பாகியல் விசை $F = \eta Av/x$

$$\therefore \quad F = \frac{20 \times 10 \times 1}{0.1} = 2000 \text{ டைன்கள்,}$$

எனவே தேவைப்படும் விசை $= 2000$ டைன்கள்.

2. ஒரு தொட்டியிலிருந்து நீர்மட்டத்திலிருந்து 50 செ.மீ., ஆழத்திலுள்ள 0.4 மி.மீ., ஆரமும், 10 செ.மீ., நீளமும் உள்ள ஒரு நுண்துளைக் குழாய் வழியாக நீர் வெளியேறிக் கொண்டிருக்கிறது. நீர் வெளியேறும் வீதத்தைக் கணக்கிடு.

$$\text{நீர் வெளியேறும் வீதம்} = \frac{\pi P r^4}{8 \eta l}$$

$$= \frac{\pi \times 50 \times 981 \times 1 \times (0.02)^4}{8 \eta \times 10}$$

$$= \frac{3.082 \times 10^{-4}}{\eta} \text{ க. செ. மீ.,}$$

3. 2 செ. மீ., விட்டமுள்ள ஒரு வாயுகுமிழி 1·75 கிராம்/க. செ. மீ., அடர்த்தியுள்ள ஒரு கரைசலின் அடியிலிருந்து 0·35 செ. மீ./வினடி எனும் வீதத்தில் மேலெழும்புகிறது. கரைசலின் பாகியல் எண்ணைக் கண்டுபிடி. வாயுவின் அடர்த்தியைப் புறக்கணித்து விடு.

$$\eta = \frac{2}{9} \times \frac{r^2 g (\rho - \sigma)}{v}$$

$$= \frac{2 r^2 g \rho}{9 v}$$

$$= \frac{2 \times 1 \times 981 \times 1.75}{9 \times 0.35} = 1.09 \times 10^3 \text{ பாய்ஸ்கள்.}$$

## பயிற்சிகள் :

1. ஒரு அளவு ஜாடியின் அடியில் ஒரு நுண் துளைக்குழாய் கிடையாகப் பொருத்தப்பட்டுள்ளது, அந்த A எனும் திரவம் நிரப்பப்பட்டபோது ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் அரைப்பங்கு திரவம் வெளியேறியது. அதில் B எனும் திரவம் நிரப்பப்பட்டபோது அதே நேரத்தில் முக்கால் பங்கு திரவம் வெளியேறியது. Aயின் அடர்த்தி 1.2 கிராம்/க. செ. மீ., Bயின் அடர்த்தி 0.8 கிராம்/க. செ. மீ., எனில் அவற்றின் பாகுநிலை எண்களை ஒப்பிடு. (சென்னை 1946)

2. ஒரு நுண்துளைக் குழாயின் வழியாக ஒரு திரவத்தின் பாய்வு வீதத்திற்கான கோவையை வருவி. சோதனை மூலம் ஒரு திரவத்தின் பாய்வு வீதத்திற்கான கோவையை வருவி. சோதனைமூலம் ஒரு திரவத்தின் பாகுநிலை எண் எவ்வாறு கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது? (சென்னை 1941)

3. இரு திரவங்களின் பாகுநிலை எண்களை ஒப்பிடும் முறைகளை விவரி. (சென்னை 1942)

4. வெப்பநிலை மாறுகையில் திரவங்களின் பாகுநிலை எண்கள் மாறுகின்ற வீதம் எவ்வாறு சோதிக்கப்படுகிறது? (சென்னை 1944)

5. ஒரு நுண்துளைக் குழாயின் வழியே பாயும் திரவத்தில் தோன்றும் சுழல் ஓட்டம், திசை வேகச் சரிவு எனும் சொற்களை விளக்கு. கிளிசரினின் பாகுநிலை எண்ணைக் கண்டுபிடிக்கும் ஒரு முறையினை விவரி. (சென்னை 1946)

6. 20 செ. மீ., பரப்புள்ள ஒரு பாத்திரத்தின் அடியில் 10 செ. மீ., நீளமும் 0·5 மி. மீ., உள் ஆரமும் உள்ள ஒரு நுண்துளைக் குழாய் கிடையாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. பாத்திரத்தில் குழாய்க்கு மேலே 20 செ. மீ., உயரத்திற்கு நீர் நிரப்பப்பட்டது. நீரின் பாகுநிலை எண் 0.01 பாய்ஸ் எனில் அரைப்பங்கு நீர் வெளியேற ஆகும் நேரத்தைக் கண்டுபிடி. (சென்னை 1947)

7. பாகியல் தடைமட்டும் உள்ளதாகக் கற்பித்துக்கொண்டு 8 செ. மீ., விட்டமும், 4 கிலோ மீட்டர்கள் நீளமும் உள்ள

கிடையான ஒரு குழாயின் வழியே நிமிடத்திற்கு 1500 லிட்டர் நீரைச் செலுத்தத் தேவையான அழுத்த முகட்டின் உயரத்தைக் கணக்கிடு. நீரின் பாகுநிலை எண் = 0.01 பாய்ஸ். (சென்னை 1948)

8. ஸ்டோக்ஸ் முறையில் ஒரு திரவத்தின் பாகுநிலை எண் எவ்வாறு கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது? அதன் முக்கியமான நடைமுறைப் பயன்கள் யாவை? (சென்னை 1950)

9. ஒரு நுண்துளைக் குழாயின் வழியே பாயும் ஒரு திரவத்தின் பாய்வு வீதம் வெப்பநிலையால் எவ்வாறு பாதிக்கப்படுகிறது? ஏன்? (ஆந்திரா 1937)

10. ஒரு திரவத்தின் பாகுநிலை எண்ணைக் கண்டுபிடிக்கும் ஸ்டோக்ஸ் முறையினைத் தத்துவத்துடன் விவரி. தேவைப்படும் சமன்பாட்டைப் பரிமாண முறையில் தருவி. அதன் உண்மையை ஆராய்க. (சென்னை 1960)

11. பாய்மரங்களில் அருவிக்கோடு, சுழல் இயக்கம், சுழிப்பு இவற்றை விளக்குக. ஒரு நுண்துளைக் குழாயின் வழியாக திரவம் பாயும் விதத்திற்கான பாய்ஸ்விலியின் சமன்பாட்டை வருவி. அதற்குத் தேவைப்படும் திருத்தங்களை விவரித்து அவற்றின் மதிப்புகளைக் கணக்கிடு. (சென்னை 1961)

12. ஒரு நுண்துளைக் குழாயின் வழியாக அலகு நேரத்தில் பாயும் ஒரு பாகியல் திரவத்தின் பருமத்திற்கான கோவையை வருவி. உயர்ந்த பாகுநிலை எண்ணுள்ள ஒரு திரவத்தின் பாகுநிலை எண்ணை எவ்வாறு காணுவாய்? (சென்னை 1964)

13. 10 செ.மீ. நீளமும் 0·200 செ.மீ. உள் ஆரமும் உள்ள ஒரு கண்ணாடிக்குழாயின் முனையில் 4 செ.மீ. ஆரமும் உள்ள சோப்புக் குமிழி உருவாக்கப்பட்டது. சோப்பு நீரின் பரப்பு இழுவிசை 30 டைன்கள்/செ.மீ., காற்றின் பாகியல் எண் $1{\cdot}85 \times 10^{-4}$ C.G.S அலகுகள் எனில்

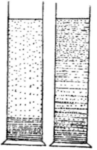
குமிழின் ஆரம் 2 செ.மீ. ஆகக் குறைவதற்கு எவ்வளவு நேரமாகும்? (4 நிமி. 56 வி.)

14. 1 செ.மீ. ஆரமுள்ள ஒரு காற்றுக் குமிழி இனிப்புக் கூழ் (Syrup) உள்ள ஒரு உயரமான ஜாடியின் அடியிலிருந்து மேல்நோக்கிச் செல்லுகையில் அதன் முற்றுத்திசைவேகம் 0·21 செ.மீ./விநாடி. ஜாடியின் ஆரம் 5 செ.மீ. கூழின் அடர்த்தி 1·47 கி/செ.மீ.$^3$ எனில் அதன் பாகியல் எண்ணைக் கணக்கிடு. ($1·03 \times 10^3$ C.G.S அலகுகள்)

# 5. விரவலும் சவ்வூடுபரவலும்

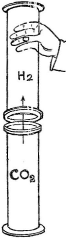
## (Diffusion and Osmosis)

5.1. விரவல்: ஒரு உயரமான ஜாடியின் அடியில் செறிவுமிக்க துத்தக் கரைசலையோ, அல்லது மயில் துத்தம், பொட்டாசியம் பெர்மாங்கனேட், பொட்டாசியம் டைக்ரோமேட் போன்ற நிறமுள்ள படிகங்களையோ வைத்து ஒரு கண்ணாடித் தகட்டை அதன்மேல் வை. ஒரு பிப்பெட்டின் உதவியுடன் நீரைச் சொட்டுச் சொட்டாகக் கண்ணாடித் தகட்டின்மேல் விட்டு, கரைசலைக் கலக்கிவிடாமல் ஜாடி முழுவதையும் நீரால் நிரப்பி விடு. கவனத்துடன் நீரில் குழப்பம் ஏற்படுத்தாமல் கண்ணாடிக் தகட்டை வெளியிலெடு. முதலில் கரைசலுக்கும் கரைப்பானு(நீர்)க்கும் இடையிலுள்ள பிரிபிணைத்தளம் (Surface of Separ-ation) தெளிவாகத் தெரியும். பாத்திரத்தை, அதிர்ச்சிகள் ஏற்படாமல் அசைவின்றி நெடுநேரம் (பல நாட்கள் அல்லது மாதங்கள்) வைத்திருந்தால் கரைசலின் சிறப்பியல்பான நிறம் மெல்ல மெல்ல மேல் நோக்கி நகர்ந்து இறுதியில் பாத்திரம் முழுவதும் பரவி விடுவதைக் கணலாம். பாத்திரம் முழுவதிலும் சீரான அடர்வுள்ள கரைசல் ஏற்பட்டு விடுகிறது.



படம் 94.

இது வாயுக்களிலும் ஏற்படுகிறது. இரு நீண்ட ஜாடிகளை எடுத்துக்கொள். ஒன்றில் லேசான ஹைடிரஜன் வாயுவை நிரப்பி ஒரு கண்ணாடித் தகட்டால் மூடு. மற்றதில் நிறைமிக்க கரியமிலவாயுவை நிரப்பி ஒரு கண்ணாடித் தட்டால் மூடு. பின்னர் ஹைடிரஜன் ஜாடி கீழேயும், கரியமிலவாயு ஜாடி மேலேயும் உள்ள வாறு அவற்றின் வாய்களைச் சேர்த்து வைத்துக் கண்ணாடித் தட்டுகளை எடுத்து விடு. இரு வாயுக்களும் ஒன்றுகக் கலந்து சீரான அடர்த்தியுள்ள ஒரு வாயுக் கலவையாகிவிடும். நிறைமிக்க கரியமில வாயுகூட மேலெழுந்து ஹைடிரஜனுடன் கலக்கிறது.



படம் 95.

இவ்வாறு புவியீர்ப்பு விசையை மீறி எதிர்த்துக்கூட ஒரு கரைசலிலுள்ள கரை பொருளின் மூலக்கூறுகள் அடர்வு மிகுந்த பகுதிகளிலிருந்து அடர்வு குறைந்த பகுதிகளுக்குச் செல்லுவதும் ஒரு கனமான வாயுவின் மூலக் கூறுகள் மேலெழும்பி ஒரு லேசான வாயுவின் மூலக் கூறுகளுடன் கலப்பதும் விரவல் எனப்படும்.

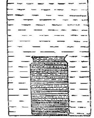
ஏதோ ஒரு விசை தன்மேல் செயல் பட்டு மேலே தள்ளுவதைப் போலக் கரைபொருள், சமநிலை ஏற்பட்டுக் கரை சலின் அடர்வும், அழுத்தமும் ஒரு சீராக ஆகும் வரை கரைப்பானுக்குள் பரவுகிறது.

திடப் பொருள்களில் ஒரு குறிப்பிட்ட படிகவியல் கட்டுமானம் இருந்தபோதிலும், அவற்றிலும் விரவல் ஏற்படுவதாகக் கண்டு பிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இரு திடப் பொருள்களை ஒன்றையொன்று நன்கு தொட்டுக்கொண்டிருக்கும்படியாக ஒட்டி வைத்தால் நெடுங் காலத்திற்குப் பின்னர் அவை ஒன்றுக்குள் ஒன்று விரவியிருப் பதைக் காணலாம். ஒரே திடப் பொருளின் இரு பாகங்களைவிட வெவ்வேறு திடப் பொருள்களாலான பாளங்களுக்கிடையில் விரவல் அதிக அளவிலும் விரைவாயும் ஏற்படுகிறதாகக் காணப் பட்டுள்ளது. ராபர்ட் ஆஸ்டன் என்பார் ஒரு தங்கத் தகட்டிற்குள்

ஒரு மெல்லிய காரீய உருளையைச் சொருகி, உயர்ந்த அழுத்தத்திலும் இரு உலோகங்களின் உருகு நிலைகளைவிட மிகக் குறைந்த வெப்பநிலையிலும் வைத்திருந்து தங்கம் காரீயத்திற்குள் விரவுவதை மெய்ப்பித்துக் காட்டினர். அண்மையில் குரோஹ் (Groh) ஹீவ்ஸி (Hevesy) ஆகியோர் கதிரியக்கக் காரீயம் (Radioactive Lead) சாதாரண காரீயத்தைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும்படி ஓராண்டுக்கு மேலாக வைத்திருந்து கதிரியக்கக் காரீயம், சாதாரணக் காரீயத்திற்குள் விரவுவதைக் கண்டுபிடித்தனர். இது தன்னின விரவலு (Self Diffusion)க்கு ஓர் நல்ல எடுத்துக் காட்டாகும். இதில் காரீயம், காரீயத்திற்குள்ளேயே விரவிப் பரவுகிறது.

5.2. விரவல் எனும் நிகழ்ச்சியை 1851-ல் கிரஹாம் முதன் முதலாக முறைப்படி ஆராய்ந்தார். அவரது சோதனை விவரங்களைச் சுருக்கமாகப் பார்ப்போம்.

கிரஹாம் அகன்ற வாயுள்ள ஒரு பாத்திரத்தில் சோதனைக்கான உப்புக் கரைசலை விளிம்புக்குச் சற்றுக் கீழ்வரை நிரப்பி ஒரு தக்கையாலான தட்டைக் கரைசலில் மிதக்கவிட்டார். தூய நீரைத் தக்கைத் தகட்டின்மேல் சொட்டுச் சொட்டாக விட்டுப் பாத்திரத்தின் மீதிப் பகுதியை நீரால் நிரப்பினர். தக்கைத் தகட்டை எடுத்துவிட்டு பாத்திரத்தின் வாயை ஒரு கண்ணாடித் தட்டினால் மூடிப் பாத்திரத்தைத் தூய நீர் நிரம்பிய ஒரு தொட்டிக்குள் பாத்திரத்தின் மேல்விளிம்பு நீர் மட்டத்திற்குக் கீழே இருக்கும்படி, வைத்தார். இரு திரவங்களிலும் இயக்கங்கள் ஓய்ந்த பின்னர் பாத்திரத்தை மூடியிருக்கும் கண்ணாடித் தகட்டை மெல்லவும் கவனமாகவும் எடுத்து விட்டார். ஆவியாதலைத் தடுப்பதற்காக,



படம் 96.

தொட்டியை ஒரு கண்ணாடித் தகட்டினால் மூடினர். வெப்பச் சலன ஓட்டங்களைத் தவிர்ப்பதற்காகத் தொட்டி மாறு வெப்பநிலையில் வைத்துப் பராமரிக்கப்பட்டது.

கரைசலிலுள்ள உப்பு மேலேயுள்ள தூய நீரில் விரவுவதால் கரைசலின் அடர்வு (ஒருக்.செ.மீ., கரைசலிலுள்ள உப்பின் நிறை)

(Concentration) மாறத் துவங்கும். ஒரு பிப்பெட்டின் உதவியுடன் குறிப்பிட்ட நேர இடைவெளிகளில் சிறிதளவு கரைசலை வெளியி லெடுத்து அதன் அடர்விலேற்படும் மாற்றம் கண்டுபிடிக்கப் பட்டது. அடர்வில் ஏற்படும் மாற்றத்திலிருந்து கிரஹாம், கரைசலிலிருந்து நீருக்குள் விரவிச் சென்ற கரை பொருளின் அளவை நிர்ணயித்தார். வெவ்வேறு உப்புக் கரைசல்களை கிரஹாம் பலமுறை சோதித்தார். அவரால் ஒரு நிச்சயமான விதியை உருவாக்க முடியவில்லை என்றாலும் அவரது சோதனைகளி லிருந்து பின்வரும் முடிவுகள் பெறப்பட்டன.

ஒரே அடர்வுள்ள வெவ்வேறு உப்புகளின் கரைசல்கள் வெவ் வேறு வீதங்களில் விரவும். அதாவது விரவல் வீதம் (Rate of Diffusion) கரை பொருளின் தன்மையைப் பொறுத்தது.

2. ஒரே உப்பின் வெவ்வேறு அடர்வுள்ள கரைசல்கள் அவற்றின் அடர்வுக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ள வீதங்களில் விரவு கின்றன.

3. பொதுவாக விரவலினால் இரு கரைசல்களின் கலவையி லுள்ள உப்புகளின் கரைவு விகிதம் மாறிவிடுகிறது.

4. வெப்பநிலை உயர்ந்தால் விரவல் வீதமும் அதிகரிக்கிறது.

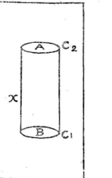
5. கரைசல்கள் இரு வகைப்படுகின்றன. (a) கனிம அமிலங்கள் (Mineral Acids), உப்புகள், சர்க்கரை முதலியவற்றின் படிகவுருப் பொருள் (Crystalloids) கரைசல்கள் - இவை தீவிர மாக விரவக்கூடியவை. (b) கூழ்ப் பொருள்கள் (Colloids) எனப்படும் ஆல்புமன், கோந்து, ஜெலாடின், ஜெல்லி ஆகிய வற்றின் கரைசல்கள் - இவை படிக உருப்பொருள்களைவிட மிக மெதுவாக விரவுபவை.

பாய்மங்களில் ஏற்படும் விரவலை, மூலக்கூறுகளின் இயக்கக் கோட்பாட் (Kinetic Theory of Molecules) டின் அடிப்படையில் விளக்கலாம், அதன்படி மூலக் கூறுகள் சதா, சர்வகாலமும், ஓய்வின்றி பிரௌனியன் இயக்கம் (Brownian Motion) எனப்படும் அங்குமிங்கும் அலைந்து பாய்ந்து கொண்டிருக்கின்ற இயல் புள்ளவை. மூலக் கூறுகளின் இந்த இடப்பெயர்ச்சி இயக்க ஆற்றல் (Translational Kinetic Energy) அவற்றின் மெய்வெப்ப நிலைக்கு (Absolute Temperature) நேர்விகிதத்திலிருக்கும். இந்த ஆற்றலை அவை கரைபொருள் மூலக்கூறுகளோடு பங்கிட்டுக்

கொள்ளும்போது, கரை பொருளும் கரைசலுக்குள் அங்குமிங்கும் ஓடுகிறது. இவ்வாறு அவை புவியீர்ப்பு விசைக்கு எதிராகக் கூட இயங்கி மேல் நோக்கிப் பரவி விடுகின்றன. நறுமணப் பொருள்களிலிருந்தும் புது மலர்களிலிருந்தும் வரும் வாசனை இவ்வாறே நமது மூக்கை அடைகிறது. ஓர் மூடப்பட்ட அறையினுள் சிறிதளவு நறுமணப் பொருள் வைக்கப்பட்டிருந்தாலும் அதன் வாசனை, அறை முழுவதும் பரவிவிடுவதை நாம் அறிவோம். அதே பொருளின் மூலக்கூறுகள் நமது மூக்கில் நுழைந்து நரம்புணர்வு முனைகளைத் தூண்டிவிடும்போது நாம் அதன் நறுமணத்தை உணர்கிறோம்.

5.3. ஃபிக் விதி (Fick's Law): 1855-ல் ஃபிக் என்பார் ஒரு வெப்பக் கடத்தியின் வழியே வெப்பம் பாய்வதற்கும் ஒரு கரைசலின் வழியே கரைபொருள் பரவுவதற்கும் இடையிலுள்ள நெருங்கிய ஒற்றுமையைக் கண்டு, வெப்பக் கடத்தலுக்கான ஃபூரியர் விதியின் அடிப்படையில் விரவலுக்கான ஒரு விதியை உருவாக்கினர். அவரது விதி கூறுவதாவது "ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் ஏற்படும் விரவல் வீதம், அத் திசையில் கரை பொருளின் அடர்வுச் சரிவிற்கு (Concentration Gradient) நேர்விகிதத்திலிருக்கும்" இவ் விதி விரவலுக்கான ஃபிக் விதி (Fick's Law of Diffusion) எனப்படும்.

கரைசலுக்குள் AB எனும் உருளையைக் கவனி. அதன் உயரம் x என்போம். அதன் முனைகளிலுள்ள அடர்வுகள் முறையே $C_1$, $C_2$ ($<C_1$) என்க. ஒரு குறிப்பிட்ட நேர இடைவெளியில் அதன் கீழ் முனையில் நுழைந்து மேல் முனையின் வழியே வெளியேறும் கரைசலின் அளவு Q, ஃபிக்கின் விதியின்படி அடர்வுச் சரிவான $\frac{(C_1 - C_2)}{x}$ க்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். அதாவது $Q \propto \frac{(C_1 - C_2)}{x}$.



படம் 97

dx எனும் ஒரு சிறிய தொலைவுக்குள் அடர்வு dc அளவு மாறினால், அடர்வுச் சரிவு $= \frac{dc}{dx}$.

ஆகவே A எனும் பரப்பளவின் வழியே ஒரு வினாடியில் விரவல் செய்யும் கரைபொருளின் அளவு

$$Q = KA\frac{dc}{dx}$$

இதில் காணப்படும் K என்பது ஒரு மாறிலி. அது கரை பொருளின் விரவல் எண் (Coeffieient of Diffussion or Diffusivity) எனப்படும். அது குறிப்பிட்ட ஒரு கரைப்பானில் உள்ள கரை பொருளின் தன்மையையும், கரைசலின் அடர்வையும் பொறுத் துள்ளது. $A = 1.\ \frac{dc}{dx} = 1$ எனில் $Q = K$,

அதாவது அலகு அடர்வுச் செறிவுள்ள திசையில் அதற்கு நேர்குத்தாக உள்ள அலகுப் பரப்பளவின் வழியாக ஒரு விநாடியில் விரவிக் கடக்கும் கரைபொருளின் நிறை அதன் விரவல் எண்ணுக் குச் சமமாகும்.

விரவல் எண்ணின் பரிமாணக் கோவை $L^2T^{-1}$ ஆகும்.

ஒரு திரவத்தினுள் அடர்வு மாற்ற வீதம் (Rate of change of concentration) : கரைசலுக்குள் ஒரு படலத்திலுள்ள அடர்வு C எனில் மேலே $\delta x$ தொலைவிலுள்ள இன்னொரு படலத்தில் உள்ள அடர்வு $= C - \frac{dc}{dx}\delta x$. ஏனெனில் $\frac{dc}{dx}$ அடர்வுச் சரிவானதால், $\delta x$ தொலைவில் அடர்விலேற்படும் மாற்றம் $= \frac{dc}{dx}\delta x$.

அப்போது முதல் படலத்திற்குள் ஒரு விநாடியில் நுழையும் கரைபொருளின் அளவு $= KA\frac{dc}{dx}$.

மேலேயுள்ள அடுத்த படலத்தின் வழியாக ஒரு விநாடியில் வெளியேறும் கரை பொருளின் அளவு

$$= K.\ A\frac{d}{dx}\left(c - \frac{dc}{dx}\delta x\right)$$

$$= K.A\frac{dc}{dx} - K.A\frac{d^2c}{dx^2}\delta x$$

அதாவது முதல் படலத்தின் வழியே நுழைகின்ற கரை பொருளின் அளவைவிட அடுத்த படலத்தின் வழியே வெளி யேறும் கரை பொருளின் அளவு $KA\frac{d^2c}{dx^2}\delta x$ அளவிற்குக் குறைந் துள்ளது. அதாவது இரு படலங்களுக்கு மிடையிலுள்ள கரை சலில் இந்த அளவு கரை பொருள் ஒரு விநாடியில் $A\,\delta x$ பரும முள்ள கரைசலில் கூடி அதன் அடர்வை அதிகப்படுத்தியுள்ளது.

இது அடர்வு மாற்ற வீதம் (Rate of Change of Concentration) எனப்படும்.

$$\text{அடர்வு மாற்ற வீதம்} = \frac{KA\,\delta x\,\frac{d^2c}{dx^2}}{A\,\delta x}$$

$$= K\frac{d^2c}{dx^2}$$

இதை $\frac{dc}{dt}$ எனக் குறிப்போம். எனவே $\frac{dc}{dt} = K\frac{d^2c}{dx^2}$

இந்தச் சமன்பாடு அடிப்படை முக்கியத்துவம் வாய்ந்த ஒன்றாகும்.

5.4. விரவலுக்கும் வெப்பக்கடத்தலுக்கு மிடையிலுள்ள ஒற்றுமை :

ஃபிக்கின் விரவல் விதிக்கும் ஃபூரியரின் வெப்பக் கடத்தல் விதிக்கு மிடையிலும், ஃபிக்கின் விரவல் விதிக்கும் ஓமின் மின்சாரக் கடத்தல் விதிக்கு மிடையிலும் உள்ள ஒற்றுமைகள் கவனத்திற் குரியவை.

வெப்பம் உயர்ந்த வெப்பநிலையிலுள்ள புள்ளியிலிருந்து தாழ்ந்த நிலையிலுள்ள புள்ளிக்குப் பாய்வதைப் போலவும், மின் சாரம் உயர்மின்னழுத்தமுள்ள புள்ளியிலிருந்து தாழ்ந்த மின் னழுத்தமுள்ள புள்ளிக்குப் பாய்வதைப் போலவும், விரவலிலும் கரைபொருள் அடர்வு மிக்க பகுதிகளிலிருந்து அடர்வு குறைந்த பகுதிகளுக்குச் செல்கிறது.

வெப்பக் கடத்தலையும், மின்சாரக் கடத்தலையும் போலவே விர வலும் ஒரு நேர்மாறுக்க முடியாத (Irreversible) நிகழ்ச்சியாகும். ஏனெனில் ஒரு கரைபொருள் கரைப்பானுடன் இணைந்த பின்னர் வெளி உதவியின்றி அதனுல் தனியாகப் பிரிந்து வரமுடியாது.

வெப்பக் கடத்தலில் ஒரு கடத்தியினுள் வெப்பம் பாயும் திசைக்கு நேர்குத்தாக உள்ள ஒரு தளத்தின் வழியாக ஒரு விஞடி யில் கடந்து செல்லும் வெப்பத்தின் அளவு அத் தளத்தின் பரப்பள விற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். அதே போல விரவலிலும் கரைச லுக்குள் விரவல் திசைக்கு நேர்குத்தாக உள்ள ஒரு தளத்தின் வழியே ஒரு விஞடியில் கடந்து செல்லும் கரை பொருளின் அளவு (விரவல் வீதம்) அத் தளத்தின் பரப்பளவிற்கு நேர்விகிதத்தி லிருக்கும்.

வெப்பம் பாயும் திசைக்கு நேர்குத்தாக உள்ள அலகுப் பரப் புள்ள தளத்தின் வழியே வெப்பம் கடத்தப்படும் வீதம் அத் தளத்

தில் வெப்பநிலைச் சரிவுக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். அதே போல விரவல் திசைக்கு நேர்குத்தாயிருக்கும் அலகுப் பரப்புடைய தளத்தின் வழியே விரவல் வீதம், அத் தளத்தில் அடர்வுச் சரிவுக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும்.

வெப்பக் கடத்தலுக்கான சமன்பாடு $Q = KA\frac{d\theta}{dx}$ இதில் Q ஒரு வினாடியில் கடத்தப்பட்ட வெப்பத்தின் அளவு A தளத்தின் பரப்பு $\frac{d\theta}{dx}$ அத் தளத்தில் வெப்பநிலைச் சரிவு, K வெப்பக் கடத்து எண்.

அதே போல விரவலுக்கான சமன்பாடு $Q = KA\frac{dc}{dx}$ இதில் Q ஒரு வினாடியில் விரவப்பட்ட கரை பொருளின் அளவு, A தளத்தின் பரப்பளவு, $\frac{dc}{dx}$ அத் தளத்தில் அடர்வுச் சரிவு, K விரவல் எண், இவ்விரு சமன்பாடுகளும் ஒரே உருவுள்ளவையாக இருப்பதைக் கவனிக்கவும்.

இவ்வாறு வெப்பக் கடத்தலுக்கும் விரவலுக்கும் இடையிலுள்ள நெருக்கமான ஒற்றுமையிலிருந்து, ஒரு நிகழ்ச்சியில் தோன்றும் விளைவுகளுக்குச் சமமான விளைவுகள் மற்ற நிகழ்ச்சியிலும் தோன்றும் என ஊகிக்கலாம்.

விரவல் நேரத்திற்கும், கரைசல் தம்பத்தின் உயரத்திற்கும் இடையிலுள்ள தொடர்பு.

$l_1$, $l_2$ உயரங்களுள்ள இரு ஜாடிகளில் ஒரே உப்பின் கரைசல் தம்பங்களிருக்கட்டும். ஒத்த புள்ளிகளில் அடர்வுகள் ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் சமமாயிருக்கட்டும். அதாவது எடுத்துக்காட்டாக முறையே $\frac{l_1}{2}$, $\frac{l_2}{2}$ ஆகிய உயரங்களில் அல்லது $\frac{l_1}{4}$, $\frac{l_2}{4}$ ஆகிய உயரங்களில் ஒரு குறிப்பிட்ட கணத்தில் அடர்வுகள் சமமாயிருக்கட்டும். அத் தம்பங்களில் விரவல் நிகழ்கையில் முதல் தம்பத்தில் மேற்கண்ட புள்ளிகளில் $t_1$ வினாடிகள் கழித்து ஏற்படும் அடர்வு மதிப்புகள் இரண்டாவது தம்பத்தில் $t_2$ வினாடிகள் கழித்து ஏற்படட்டும்.

இந்த நேர இடைவெளிகள் (a) கரைபொருள் பயணம் செய்கின்ற தொலைவுகளுக்கு நேர்விகிதத்திலும் (b) ஒவ்வொரு படலத்

திலும் கரைபொருளின் தனித்திசை வேகத்திற்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலும் இருக்கும். ஆகவே, கரைபொருள் கடந்த தொலைவுகள் தம்பங்களின் உயரங்களுக்கு நேர்விகிதத்திலுள்ள படியால், $\frac{t_1}{t_2} = \left(\frac{l_1}{l_2}\right)\left(\frac{v_2}{v_1}\right)$

இதில் $v_1$, $v_2$ ஆகியவை இரு தம்பங்களில் ஒத்த புள்ளிகளில் கரைபொருளின் திசை வேகங்களாகும்.

$\therefore$ பிக்கின் விதிப்படி $Q = KA\,\frac{dc}{dx}$

A பரப்பளவுள்ளதும், C அடர்வுள்ளதுமான ஒரு படலத்தில், கரைபொருளின் திசை வேகம் v எனில் $Q = A\,vc$.

$\therefore\ A\,vc = KA\,\frac{dc}{dx}$ அல்லது $v = \frac{K}{C}\ \frac{dc}{dx}$

அதாவது $v \propto \frac{dc}{dx}$ (ஏனெனில் ஒரு குறிப்பிட்ட படலத்திற்கு K/c ஒரு மாறிலியாகும்.

இரு தம்பங்களிலும் அடர்வுமாற்ற வீதம் (சரிவு) ஒரே மாதிரி யாயிருப்பின், $\frac{dc}{dx}$ அவற்றின் நீளங்களுக்குத் தலைகீழ் விகிதத்தி லிருக்கும். எனவே $v \propto \frac{1}{l}$

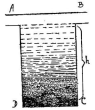
எனவே $\frac{v_2}{v_1} = \frac{l_1}{l_2}$ அல்லது $\frac{t_1}{t_2} = \frac{l_1^2}{l_2^2}$

அதாவது $t \propto l^2$

ஒரு குறிப்பிட்ட கரைசலில் ஒரு அடர்வு மட்டத்திலிருந்து இன்னொரு அடர்வு மட்டத்திற்குக் கரைபொருள் விரவும் நேரம், கரைசல் தம்பத்தின் நீளத்தின் இருமடிக்கு நேர்விகிதத்தி லிருக்கும்.

5.5. விரவல் எண்ணைக் கண்டு பிடித்தல்: ABCD எனும் உயர மான பாத்திரத்தின் அடியில் ஒரு உப்பின் பூரிதக் கரைசல் வைக்கப்பட்டுள்ளது. அதன் பூரிதத் தன்மையைப் பராமரிப்பதற்

காக அதில் உப்புப் படிகங்கள் போடப்பட்டிருக்கும். அக் கரைசலின்மேல் ஒரு கண்ணாடிப் பலகையை வைத்துவிட்டுக் கரைசலைக் கலக்கிவிடாமல் கவனமாகப் பாத்திரத்தின் மீதிப் பகுதியை h உயரத்திற்குத் தூய நீரால் நிரப்பப்படும். அதன் மேல் பரப்பில் ஒரு சீரான மெதுவான நீரோட்டம் தோற்றுவிக்கப்படும். அது Aயில் நுழைந்து Bயில் வெளியேறுமாறு செய்யப்படும். விரவலைப் பாதிக்காத வகையில் நீரோட்டம் மிகமிக மெதுவாக இருக்க வேண்டும். நீண்ட நேரம் கழித்துச் சீரான விரவல் நிறுவப்பட்டுச் சமநிலை ஏற்படும்போது AB பரப்பினூடே விரவப்படும் கரை பொருளின் அளவு மாறிலியாயிருக்கும். அந்த நிலையில் Bயில் வெளிவரும் கரைசலை ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குச் சேகரித்து, அதை ஆவியாக்கி அதிலுள்ள கரைபொருளின் நிறை கண்டுபிடிக்கப்படும். இது t வினாடிகளில் AB வழியே விரவிய உப்பின் அளவாகும்.



படம் 98.

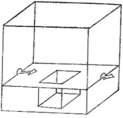
CD யிலும் AB யிலும் உள்ள படலங்களின் அடர்வுகள் முறையே $C_1$, $C_2$ என்க. AB வழியே t வினாடிகளில் விரவிய உப்பின் நிறை m கிராம்கள், AB யின் மேற்படலத்தின் பரப்பளவு A எனில் ∴ பிக்கின் விதிப்படி $\frac{m}{t} = K.A \frac{(C_1 - C_2)}{h}$

இதிலிருந்து விரவல் எண் K கணக்கிடப்படும்.

கரைசலுக்குள் பல்வேறு படலங்களிலுள்ள அடர்வுகளைக் கண்டுபிடிக்கப் பல்வேறு முறைகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. வெவ்வேறு படலங்களின் அடர்வைக் கண்டுபிடிக்கக் கெல்விள் வெவ்வேறு தெரிந்த அடர்த்திகளுள்ள கண்ணாடிக் கோளங்களைப் பயன்படுத்தினர். அவற்றைக் கரைசலில் மிதக்க விட்டால் தத்தம் அடர்த்திகளுக்குச் சமமான அடர்வுள்ள பகுதிகளில் சமநிலையில் தொங்கும். ஆனால் இம்முறையில் இரு இடையூறுகள் உள்ளன. கரைசலிலிருந்து சிறிது உப்பு இக் கோளங்களின் மீது படிகமாகப் படிந்து அதன் நிறையை மாற்றிவிடுகிறது. மேலும் காற்றுக் குமிழிகள் அவற்றின் மேல்பரப்பின்மேல் உருவாகி ஒட்டிக்கொள்கின்றன. இவ்விரு காரணங்களால் கோளங்களின் மிதப்புத் தன்மையும் அடர்த்தியும் பாதிக்கப்படுகின்றன.

கரைசலின் ஒளி விலகல் எண்ணைக் கண்டுபிடிப்பதாலும் இரு படலங்களுக்கிடையிலுள்ள தொடர்பு மின்னழுத்த வேறுபாட்டை (Contact Potential Difference)க் கண்டுபிடிப்பதாலும், ஒளிச் சுழற்சி விளைவு இயல்பு கொண்ட சர்க்கரை போன்ற பொருள்களின் கரைசல்களில் முனைவிளைவுத்தளத்தின் (Plane of Polarsiation) சுழற்சியை அளப்பதாலும், அடர்வுகளை நிர்ணயிக்கலாம். வெபர் (Weber) என்பார் இரு ரசக்கலவை செய்யப்பட்ட துத்தநாகத் தகடுகளை அடர்வு வேறுபடுகின்ற இரு படலங்களில் வைத்து அவற்றிற் கிடையிலுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டை அளந்தார். தகடுகளுக்கிடையிலுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு அடர்வு வித்தியாசத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். ஒரு வோல்ட் மீட்டரின் உதவியால் இந்த மின்னழுத்த வேறுபாட்டை அளந்து விடலாம். விரவல் நடக்கும்போது துத்தநாகத்தகடுகள் உள்ள பகுதிகளிலுள்ள கரைசல் படலங்களுக்கிடையிலுள்ள அடர்வு வேறுபாடு குறைவதால் வோல்ட் மீட்டர் அளவு குறையும். ஒரு தர நிர்ணயச் சோதனையின்மூலம் முன்கூட்டியே அடர்வு வேறுபாட்டிற்கும் இரு தகடுகளுக்கிடையிலுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டிற்கு மிடையில் ஒரு தொடர்பை வருவித்துக் கொண்டால், இம்முறையில் எளிதாக இரு படலங்களுக்கிடையிலுள்ள அடர்வு வேறுபாட்டைக் கண்டுபிடித்து விடலாம்.

Nacl, Kcl, $KNO_3$ போன்ற உப்புக்களின் கரைசல்களுக்கு கிளாக் (Clack) கின் முறை மிகவும் ஏற்றது. அவர் கண்ணாடித் தகடுகளினால் 5 செ. மீ., நீளமும் 1 செ. மீ., உயரமும் கிடைத்தளத்



படம் 99.

தில் 4 செ. மீ., அகலமும் உள்ள ஒரு செவ்வக வடிவ விரவல் கலத்தை (Diffusion Cell)ப் பயன்படுத்தினர், காற்று நீக்கப்பட்ட,

சோதனைக்கான உப்பின் பூரிதக்கரைசல் இருந்த ஒரு கண்ணாடிப் பெட்டிக்குள் அதைச் செங்குத்தாகப் பொருத்தினர். கரைசலின் பூரிதத்தன்மையைப் பராமரித்து வைக்க உப்புப் படிகங்களும் கரைசலில் வைக்கப்பட்டிருந்தன. விரவல் கலத்திற்கு வெளியே அதற்கு 5 செ. மீ., உயரத்தில் நன்னீர் அடங்கிய அறைகள் பொருத்தப்பட்டன. ஒரு நுழைவாயும் வெளியேறு குழாயும் பொருத்தப்பட்டு விரவல் கலத்தின் மேற்பரப்பில் காய்ச்சி வடித்த தூயநீர் மெல்ல ஓடும்படி செய்யப்பட்டது. விரவல் கலத்திலுள்ள கரைசலிலிருந்து விரவி வெளிவரும் உப்பு அந்த நீரோட்டத்தில் அடித்துச் செல்லப்படும். கருவியமைப்பு சமநிலைக்கு வரும்வரை பொறுத்திருக்க வேண்டும் கிளாக்கின் சோதனைகளின்போது சமநிலை ஏற்பட 12 நாட்களுக்குமேல் ஆயிற்று. நீரோட்ட வீதம் ஒரு நாளுக்கு 50 க. செ. மீ., அளவிற்கு மெதுவாக அமைக்கப்பட்டது) ஒரு தெர்மோஸ்டாட் (Thermostat)டின் உதவியுடன் கருவியின் வெப்பநிலை மாறாமல் பாதுகாக்கப்பட்டது.

விரவல் கலத்தின் மேல் முனையிலிருந்து $l$ தொலைவிலுள்ள P எனும் ஒரு கரைசல் படலத்தைக் கவனி. ஒரு வினாடியில் அதைக் கடந்து மேலே வரும் கரைபொருளின் நிறை Q என்போம்.

அந்தப் படலத்தில் கரைசலின் அடர்வு C, விரவல் கலத்தின் பரப்பளவு A எனில் ஃபிக்கின் விதிப்படி விரவல் எண்

$$K = \frac{Q}{A} \quad \frac{d\,l}{dc}$$

படலத்தின் ஒளிவிலகல் எண் $\mu$ ஆனல் $\frac{d\,l}{dc} = \frac{d\,l}{d\,\mu} \times \frac{d\,\mu}{d\,c}$

$$\therefore K = \frac{Q}{A} \cdot \frac{d\,l}{d\,\mu} \times \frac{d\,\mu}{d\,c} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad I$$

கரைபொருளின் இயக்கம், விரவலால் மட்டுமின்றி தூயநீர் விரவல் கலத்திற்குள் கீழிறங்குவதாலும் பாதிக்கப்படுகிறது. கரைப்பான் (நீர்) v எனும் சீரான திசை வேகத்துடன் கீழ்நோக்கி இறங்கினல் P யில் Avc நிறையுள்ள கரைபொருளும், Av $(\rho - c)$ நிறையுள்ள கரைப்பானும் கீழ்நோக்கி இறங்கும். இதில் $\rho$ என்பது P யில் கரைசலின் அடர்த்தி. எனவே $(\rho - c)$ அங்கு கரைப்பானின் அடர்த்தியாகும்.

இதுபோல ஒரு வினாடியில் விரவல் கலத்திற்குள் இறங்கும் கரைப்பானின் நிறை M, ஒரு வினாடியில் விரவல் கலத்தைவிட்டு வெளியேறும் கரைபொருளின் நிறை m எனில்,

$$M = Av(\rho - C)$$

$$m = Q - AvC \quad \text{அல்லது} \quad Q = m + AvC$$

$$Av = \frac{M}{(\rho - C)} \quad \text{ஆதலால்} \quad Q = m + \left[\frac{M}{(\rho - C)}\right] C$$

$$\frac{M}{m} = \delta, \text{ ஒரு மாறிலி. } \quad \text{எனவே} \quad Q = m + \left[\frac{\delta m}{(\rho - C)}\right] C$$

$$= \frac{m(\rho - C) + \delta m C}{(\rho - C)}$$

$$\text{அல்லது} \quad Q = \frac{m(\rho - C + \delta C)}{(\rho - C)}$$

எனவே விரவல் கலத்திற்கேற்படும் நிகர இழப்பு,

$$i = m - M = m - \delta m = m(1 - \delta)$$

$$\text{எனவே} \quad m = \frac{i}{(1 - \delta)}$$

$$\text{எனவே} \quad Q = \frac{i(\rho - C + \delta C)}{(1 - \delta)(\rho - C)}$$

I சமன்பாட்டிலிருந்து $K = \frac{i(\rho - C + \delta C)}{A(1 - \delta)(\rho - C)} \cdot \frac{dl}{d\mu} \cdot \frac{d\mu}{dC}$

i, δ ஆகிய அளவுகள் கரைசலை ஆவியாக்கி எடை கண்டோ, அல்லது ரசாயன முறைகளிலோ கண்டுபிடிக்கப்படும்.

$dl/d\mu$ எனும் அளவை அளக்க ஒரு மெல்லிய, ஒரு நிற ஒளிக் கற்றையைக் கிடைத்தளத்தில் கரைசலில் படுமாறு செய்தால் அது செங்குத்துத் தளத்தில் ஒளி விலகல் அடைந்து கிடைத் தளத்திற்கு ∝ கோணத்தில் கீழ்நோக்கித் திரும்பும்.

இப்போது விரவல் கலத்தின் தடிமன் t எனில் $\frac{d\mu}{dl} = \frac{\sin \alpha}{t}$

௯. ஒளிக் குறுக்கீட்டு முறையில் பாதரச விளக்கிலிருந்து வரும் பச்சை ஒளியினால் ஒளியூட்டப்பட்ட, நெருக்கமான இரு குறு பிளவுகளினால் ஏற்படும் ஒளிக் குறுக்கீட்டு பிம்பம் கரைசலின் வழியாகச் செல்லுகையில் அதன் மைய வரியில் ஏற்படும் செங் குத்து இடப்பெயர்ச்சியிலிருந்து கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

$\frac{d\mu}{dC}$ எனும் அளவு ராலேயின் ஒளிக் குறுக்கீட்டுமானி (Rayleigh's Interferometer) யின் உதவியுடன் வெவ்வேறு அடர்வு (C) ள்ள திரவங்களுக்கு ஒளிவிலகல் எண்ணைக் கண்டுபிடிப்பதன் மூலம் கணக்கிடப்பட்டது.

P யிலுள்ள அடர்வு C, $l - \frac{d\mu}{dl}$, $C - \frac{d\mu}{dC}$ ஆகிய வரைப் படங்களிலிருந்து கண்டுபிடிக்கப்பட்டது.

இவ்வாறு ஒரு கரைசலின் K கணக்கிடப்படும்.

வாயுக்களின் விரவலுக்கான கிரஹாமின் விதி.

வாயுக்கள் திரவங்களைவிட விரைவாகவும் அதிக அளவிலும் விரவுகின்றன. ஏனெனில் அவற்றின் மூலக்கூறுகள் திரவ மூலக் கூறுகளைவிட அதிகமான திசை வேகத்துடன் இயங்குகின்றன. விரவலுக்கான பின்வரும் விதியைக் கிரஹாம் உருவாக்கினார்.

"இரு வாயுக்கள் ஒன்றுக்குள் ஒன்று விரவிக் கொள்கின்ற வீதம் அவற்றின் அடர்த்திகளுக்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலிருக்கும்."

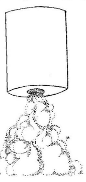
$\rho_1$, $\rho_2$ எனும் அடர்த்திகளுள்ள இரு வாயுக்கள் ஒன்றுக்குள் ஒன்று முறையே $r_1$, $r_2$ எனும் வீதங்களில் விரவினால்

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\rho_2/\rho_1}$$

கிரஹாம் இவ்வியல்பைப் பயன்படுத்தி வாயுக் கலவைகளி லிருந்து வாயுக்களைத் தனியாகப் பிரித்தெடுக்கும் ஒரு முறையை உருவாக்கினார். அது விரவல் பகுப்பு (Atmolysis) எனப்படும், வேறெந்த முறையினாலும் பிரித்தெடுக்க முடியாத ஐசடோப்புகள் இம்முறையில்தான் பிரித்தெடுக்கப்படுகின்றன. உலகப் போரின் போது அமெரிக்கர்கள் அணுகுண்டு செய்யப் பயன்படும் யுரேனிய ஐசடோப்புகளைப் பிரித்தெடுப்பதற்கான முயற்சியில் ஈடுபட்டு, ஏராளமான பொருட்செலவில் விரவல் பகுப்பு முறையைச் செம்மைப்படுத்தினார்கள்.

**5.6 பொழிவு (Effusion)—கசிவும் (Transpiration) இடைவிரவலும் (Transfusion or Inter-diffusion).**

(a) ஒரு கலத்தில் அடைக்கப்பட்டுள்ள வாயு ஒரு சிறிய துளை வழியே வெற்றிடத்திற்குள் பரவுவதாகக் கொள்வோம்.



படம். 100

அத் துளையுள்ள தகட்டின் தடிமனை விட அதாவது அத்துளையின் நீளத்தைவிடத் துளையின் விட்டம் பெரியதாக இருந்தால் வாயு வெளியேறும் முறை பொழிவு (Effusion) எனப்படும். பொழிவு வீதம் (Rate of Effusion) துளையின் இரு புறங்களிலுள்ள அழுத்தங்களுக்கிடையிலுள்ள வேறுபாட்டின் வர்க்க மூலத்திற்கு நேர் விகிதத்திலும், அதன் அடர்த்தியின் வர்க்க மூலத்திற்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலும் இருக்கும் என கிரஹாம் கண்டுபிடித்தார்.

$$\text{பொழிவு வீதம்} \propto \left(\frac{\text{அழுத்த வேறுபாடு}}{\text{அடர்த்தி}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

இம்முறையில் ஒரு வாயுக்கலவை பொழிவு செய்யும்போது தனித்தனியாகப் பிரிந்து விடாமல் முழுமையாகவே வெளியேறுகிறது.

துளை மிக நுண்ணியதாயில்லாமலும், துளையுள்ள தகட்டின் தடிமன், துளையின் விட்டத்தைவிட அதிகமாகவுமிருந்தால் அதன் வழியே வாயு வெளியேறும் முறை கசிவு (Transpiration) எனப்படும். இதில் வாயுப்பாய்ச்சல் அதன் பாகியலை மட்டுமே பொறுத்திருக்கும். ஒரு நீண்ட குழாயின் வழியாக வாயுப்பாய்வுக்கான விதிகள் இதற்கும் பொருந்தும். இம்முறையிலும் ஒரு வாயுக் கலவை தனித்தனியாகப் பிரிந்து விடாமல் மொத்தமாகவே வெளியேறுகிறது.

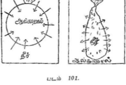
துளை மிக நுண்ணியதாக, அதன் விட்டம் மூலக்கூறுகளின் பரிமாணங்களோடு ஒப்பிடக்கூடியதாக இருந்தால் அதன் வழியே வாயு வெளியேறுதல் இடைவிரவல் (Transfusion or Inter Diffusion) எனப்படும். இம்முறையில் ஒரு வாயுக்கலவை ஓரளவு தனித்தனி

வாயுக்களாகப் பிரிக்கிறது. இம்முறை வாயுக்கலவைகளிலிருந்து வாயுக்களைத் தனித்தனியாகப் பிரித்தெடுக்கப் பயன்படுகிறது.

5.7 சவ்வூடு பரவல் (Osmosis) ஒன்றுக்குள் ஒன்று விரவக்கூடிய இரு திரவங்களை ஒரு மிருகச்சவ்வினால் பிரித்து வைத்தால் அவை ஒன்றுக்குள் ஒன்று இடைவிரவல் செய்கின்றன. இவ்வாறு ஒரு சவ்வின் வழியே நிகழும் இடைவிரவல் சவ்வூடுபரவல் எனப்படும்.

சவ்வூடுபரவலை, ஒரு பகுதி விடு சவ்வை (Semi Permeable Membrane)ப் பயன்படுத்தி நிகழ்த்திக் காட்டலாம். இவ்வகைச் சவ்வு தேர்ந்து செலுத்துகை (Selective Transmission) எனும் இயல்புள்ளது. அது சில குறிப்பிட்ட பொருள்களின் மூலக் கூறுகளை மட்டுமே தன்னை ஊடுருவிச் செல்ல அனுமதித்து மற்ற வகை மூலக்கூறுகளைத் தடுத்துவிடும். இவ்வகையான சவ்வுகள் இயற்கையில் தாவரங்களிலிருந்தும் மிருகங்களிருந்தும் கிடைக்கின்றன. தாவரங்களின் செல்சுவர்கள் மிருகங்களின் சிறுநீர்ப் பைகள் (Bladders) ஆகியவை இவ்வியல்புள்ளவை. சில கனிம வீழ்படிவுகளை (Inorganic Precipitates)ப் பயன்படுத்தி செயற்கையான பகுதி விடுசவ்வுகளைத் தயாரிக்கலாம்.

ஒரு பன்றியின் சிறுநீர்ப்பைத் தோல் இவ்வகையான சவ்வூடு பரவலை நிகழ்த்திக் காட்ட ஏற்றதாகும். அதில் ஆல்கஹாலை திரப்பி



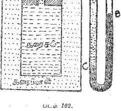

படம் 101.

அதன் வாயை இறுகக் கட்டிவிட்டுப் பையைத் தண்ணீர்த் தொட்டிக்குள் வைத்தால், அது சிறிது சிறிதாகப் பெருத்துக்கொண்டே போய் இறுதியில் வெடித்துவிடும். அதற்குப் பதிலாகப் பையில் நீரை நிரப்பி ஆல்கஹாலுக்குள் வைத்தால் அது சுருங்கிவிடும். இதிலிருந்து சிறுநீர்ப்பைத்தோல் ஆல்கஹாலைவிட நீரைஅதிக அளவில் தன் ஊடே செல்லவிடுவது விளங்கும். கிரஹாம் பன்றியின் சிறுநீர்ப்பையைப் பயன்படுத்திப் படிக உருப்

பொருள்களைக் கூழ்ப் பொருள்களிலிருந்து பிரித்தெடுத்தார். இம் முறைக்கு அவர் சவ்வூடு பகுப்பு (Dialysis) எனப் பெயரிட்டார். தோலாலான அடிப்பக்கமுள்ள ஒரு கிண்ணத்தில் படிக உருப்பொருள்களும் கூழ் உருப்பொருள்களும் கலந்த கலவையை வைத்துக் கிண்ணத்தை நீரில் மிதக்கவிட்டால், படிகவுருப்பொருள்கள் தோலைக்கடந்து சென்று நீரில் கரைந்துவிடும். விஷமுண்ட பிராணிகளின் வயிற்றிலுள்ள விஷத்தைப் பிரித்தெடுத்து அடையாளம் கண்டு பிடிக்க இம் முறை பயன்படுகிறது.

முதன் முதலாக ஃபெவர் (Pfeffer) என்பார் சவ்வூடு பரவலை முறைப்படி ஆராய்ந்தார். அவர் காப்பர் பெர்ரோசயனைடு எனும் வீழ்படிவு பூசப்பட்ட நுண்துளைப்பாண்டத்தைப் பயன்படுத்தினர். இயற்கையில் கிடைக்கும் சவ்வுகள் உயர் அழுத்தங்களைத் தாங்காது. ஒரு நுண்துளைப்பாண்டத்தைக் கொதி நீரில் வைத்து அதன் நுண்துளைகளிலுள்ள காற்று வெளியேற்றப்படும். பின்னர் பாண்டத்தில் செப்பு சல்பேட் கரைசலை நிரப்பி, அதைப் பொட்டாசியம் பெர்ரோசயனைடு கரைசலில் வைத்தால், இரு கரைசல்களும் நுண்துளைகளுக்குள் விரவிச் சந்திக்கும். அங்கு பழுப்பு (Brown) நிறமான, தேர்ந்து செலுத்தும் இயல்புள்ள குப்ரிக் சயனைடு எனும் வீழ்படிவு துளைகளில் நிரம்புகிறது. பிறகு பாண்டத்தைக் காய்ச்சி வடித்த நீரால் கழுவிச் சுத்தம் செய்யப்படும்.

இத்தகைய ஒரு பாண்டத்தை உப்பு சர்க்கரைக் கரைசலால் நிரப்பி ஒரு ரப்பர்த் தக்கையால் இறுகமூடு. ரப்பர்த் தக்கையில்




படம் 102.

உள்ள துளையில் ஒரு பாதரச அழுத்தமானியைப் பொருத்து. இப்போது பாண்டத்தைத் தூய நீர் நிரம்பிய ஒரு தொட்டியில்

வைத்தால், நீர் பாண்டத்திற்குள் சென்று கலந்து, அதனுல் அழுத்தம் அதிகமாவதை அழுத்தமானி காட்டும். பாண்டத்திலிருந்து வெளியேறுவதை விட அதிகமான நீர் பாண்டத்திற்குள் செல்லுவது இதிலிருந்து புலப்படும். மேலும் மேலும் நீர் உள்ளே சென்று அழுத்தம் படிப்படியாக உயர்ந்து ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை எட்டும். அந்த அளவில் கருவியமைப்பில் இயக்கசமநிலை (Dynamic Equilibrium) ஏற்பட்டிருக்கும். அதாவது பாண்டத்திற்குள் நீர் செல்லும் வீதமும், அதிலிருந்து நீர் வெளியேறும் வீதமும் சமமாகிவிடும். ஒரு வினடியில் எவ்வளவு நீர் பாண்டத்திற்குள் செல்கிறதோ அதே அளவு நீர் பாண்டத்திலிருந்து வெளியேறிக் கொண்டிருக்கும். இந்த அதிகரித்த அழுத்தம், அதாவது வெளிப்புறத்திலுள்ள வளி அழுத்தத்திற்கதிகமாக பாண்டத்திற்குள்ளிருக்கும் உபரி அழுத்தம் பாண்டத்திற்குள் மேலும் நீர் செல்லுவதைத் தடுக்கிறது. இந்த அழுத்தம் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் (Osmotic Pressure) எனப்படும்.

இவ்வாறு சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் என்பது ஒரு சவ்வின் வழியாகக் கரைப்பான் பரவுவதைத் தடுக்கக் கரைசல் செலுத்தப்பட வேண்டிய அழுத்தத்திற்குச் சமமாகும். இதன் மதிப்பு கரைசலின் தன்மை, அடர்வு, வெப்பநிலை ஆகியவற்றைப் பொறுத்தது.

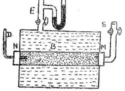
இம் முறையில் ஒரு கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாமாயினும் இதில் சில இடையூறுகள் உள்ளன. பாண்டத்தினுள் நீர் சேர்வதால் கரைசலின் அடர்வு குறைந்துவிடுகிறது. எனவே முதலில் எடுத்துக்கொள்ளப்பட்ட கரைசலின் துவக்க அடர்வுக்கான சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைப் பெறமுடியாது.

கரைசலின் இறுதி அடர்வு கரைசல் முழுவதிலும் சீராக இருப்பதில்லை. எனவே பெறப்பட்ட சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம், சவ்வுக்கு அண்மையிலுள்ள திரவத்தின் அடர்வுக்கானதாகவே இருக்கும். அந்த அடர்வை எளிதில் நிர்ணயம் செய்யமுடியாது.

பெர்க்லி, ஹார்ட்லி: ஆகியோர் 1906-ல் இன்னும் மேலான ஒரு கருவியமைப்பையும் முறையையும் உருவாக்கினர்கள். இம் முறையில் கரைப்பான் கரைசலுக்குள் போவதைத் தடுக்கத் தேவையான அழுத்தம் கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது.

அவர்கள் பயன்படுத்திய கருவியமைப்பில் குப்ரிக் சயனேடு படலமுள்ள ஒரு நுண்துளை உருளைப்பாண்டம் MN உள்ளது.

அதைக் கரைப்பானல் நிரப்பி B எனும் ஒரு உலோகப் பாத்திரத் திற்குள் வைத்து மூடிவிடப்பட்டது. Bயில் கரைசல் நிரப்பப்பட்டது. நுண்துளை உருளையின் ஒரு முனையில் அளவு குறிக்கப்பட்ட D




படம் 108.

எனும் நுண்துளைக்குழாயும் மறுமுனையில் S எனும் அடைப்பானுடன் கூடிய குழாயும் காற்றிறுக்கமாக (Air tight)ச் சொருகப் பட்டன. ஒரு அமுக்கப் பம்பின் உதவியுடன் E எனும் குழாய் வழியே உலோகப் பாத்திரத்திற்குள் அழுத்தம் செலுத்தப்பட்டுக் கரைசலுக்குள் கரைப்பான் வெளியேருமல் செய்யப்பட்டது. Dயிலுள்ள திரவ மட்டம் மாருமலிருப்பது இந்நிலையைக் குறிப்பிடும். E-ல் இவ்வாறு செலுத்தப்பட்ட வெளியழுத்தம் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்திற்குச் சமமாகும்.

130 வளி அழுத்தங்கள் வரையுள்ள சவ்வூடு பரவல் அழுத்தங்களை இம் முறையினல் எளிதாகக் கண்டுபிடிக்க முடியும்.

5.8 சவ்வூடு பரவல் அழுத்த விதிகள்: (Laws of Osmotic Pressure) ∴ பெவ்வரின் சோதனைகளிலிருந்து மின்னற்பகுபடாப் பொருள்களின் (Non-electrolytes) நீர்த்த கரைசல்களின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தமான P, அதன் அடர்வு (1 க. செ/மீ., கரைசலில் உள்ள கரைபொருளின் நிறை கிராம்களில்) Cக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும்.

அதாவது T மாருதபோது $P \propto C$

அடர்வு பருமத்திற்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலிருக்குமாதலால் $P \propto \frac{1}{V}$ அல்லது PV = ஒரு மாறிலி. இது வாயுக்களுக்கான பாயிலின் விதியை ஒத்திருப்பதைக் கவனிக்கவும்.

(2) ஒரு குறிப்பிட்ட அடர்வுள்ள ஒரு கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் அதன் மெய் வெப்ப நிலைக்கு நேர்விகிதத்தி லிருக்கும். அதாவது C மாறுதபோது P∝T. இது வாயுக்களுக் கான சார்லஸ் விதியை ஒத்திருக்கிறது.

இவ்விரு விதிகளையும் இணைத்தால் P∝CT அல்லது P = KCT

$= K. \frac{T}{V}$ அல்லது PV = KT

இது லட்சிய வாயுச் சமன்பாட்டை ஒத்திருப்பதைக் கவனிக்க வும். அடர்வு C யை ஒரு கன சென்டி மீட்டர் கரைசலில் உள்ள கரைபொருளின் கிராம் மூலக்கூறுகளாக எடுத்துக்கொண்டால் V என்பது ஒரு கிராம் மூலக்கூறு கரைபொருள் உள்ள கரைசலின் பருமம் ஆகும். அப்போது நீர்த்த கரைசல்களுக்கான K யின் மதிப்பு, லட்சிய வாயு மாறிலி R ன் மதிப்புக்குச் சமமாக இருக் கிறது. எனவே நீர்த்த கரைசல்களுக்கு PV = RT எனும் சமன் பாடு பொருந்தும் என்பது விளங்குகிறது.

(3) வெவ்வேறு மின்னூற் பகுபடாத பொருள்களின் கரைசல் கள் சம அளவான சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைச் செலுத்து மாயின், அவற்றின் ஒரு கன சென்டி மீட்டர் பருமத்தில் உள்ள கரைபொருளின் கிராம் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை சமமாயிருக் கும். அதாவது அவற்றின் அடர்வு கரைபொருளின் மூலக்கூறு எடைக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். இது அவகட்ரோவின் கோட் பாட்டை ஒத்திருக்கிறது, சமமான சவ்வூடுபரவல் அழுத்தத்தைச் செலுத்தும் கரைசல்கள் ஐசடோனிக் (Isotonic) அல்லது ஐசோமாடிக் (Isomatic) கரைசல்கள் எனப்படும்.

4. மின்னூற் பகுபடு (Electolytes) பொருள்களின் கரைசல்கள் மின் பகுபடாப்பொருள்களின் கரைசல்களைவிட அதிகமான சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைச் செலுத்துகின்றன. ஏனெனில் மின்னூற் பகுபடு பொருள்களே ஒரு கரைப்பானிலிட்டவுடன் அவை மின்னூட்டம் பெற்ற அயனி (Ion) களாகப் பிரிந்துவிடுகின்றன. இந்நிகழ்ச்சி அயனிப்பிரிவு (Dissociation) எனப்படும். சோடியம் குளோரைடை நீரிலிட்டால், அது சோடியம் அயனியாகவும், குளோரின் அயனியாகவும் பிரிகிறது. உலோக அயனிகள் நேரின மாகவும் அலோக அயனிகள் எதிரினமாயும் மின்னூட்டப்பட்டிருக் கும். ஒரு அயனியிலுள்ள மின் (Charge) அளவு அம் மூலகத்தின் கூடுகை எண் (Valency) ணைப் பொறுத்திருக்கிறது. ஒரு கூடுகை எண்ணுள்ள அயனியில் அலகு மின்னும்; இரண்டு கூடுகை

எண்ணுள்ள அயனியில் இரண்டு அலகு மின்னும் இருக்கும். இந்த அயனிகள் கரைசலுக்குள் மூலக்கூறுகளைப் போலவே அங்கு மிங்கும் அலைந்து திரிந்துகொண்டும், ஒன்றோடொன்று மோதிக் கொண்டும் இருக்கின்றன. இதனால் மூலக்கூறு களைப் போலவே அயனிகளும் அழுத்தத்தைத் தோற்று விக்கின்றன. இவ்வாறு ஒரு மின்னாற் பகுபடுபொருளின் கரைசலில் ஏற்படும் அழுத்தம், பிரிவுபடாத மூலக் கூறுகளால் மட்டுமின்றி, அயனிகளாலும் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. எடுத்துக் காட்டாக சோடியம் குளோரைடின் x மூலக்கூறுகள் அலகு பரும முள்ள, (Unit volume) கரைசலிலிருக்கும்போது அவற்றில் y மூலக்கூறுகள் இரண்டிரண்டு அயனிகளாகப் பிரிந்து விடுவதாகக் கொள்வோம். எனவே கரைசலின் அலகுப் பருமத்தில் $(x-y)$ பிரிவுபடாத மூலக்கூறுகளும் $2y$ அயனிகளுமிருக்கும். அதாவது அழுத்தத்தைத் தோற்றுவிக்கின்ற துகள்களின் எண்ணிக்கை $(x-y+2y)=n+y$ ஆகும். இதனால் மின்னாற்பகுபடு பொருள் களின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் $PV=RT$ எனும் சமன்பாட்டினால் குறிப்பிடப்படுவதைவிட அதிகமாயிருக்கும். இதற்காக மின்னாற் பகுபடு பொருள்களின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைக் கண்டுபிடிக்க $PV=IRT$ எனும் திருத்தியமைக்கப்பட்ட சமன்பாட்டைப் பயன் படுத்த வேண்டும். இதில் i என்பது அயனிப் பிரிவின் அளவை (Degree of Dissociation)ப் பொறுத்த ஒரு காரணியாகும். அது சோதனை மூலம் கிட்டும் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்திற்கும், கணக் கீடு மூலம் கிட்டுகின்ற சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்திற்கும் இடையி லுள்ள தகவாகும். இதிலிருந்து மின்னாற்பகுபடு பொருள்களில் ஏற்படும் அயனிப் பிரிவின் அளவைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

5.9 கரைசல்களின் இயக்கக் கோட்பாடு (Kinetic Theory of Solutions). கரைசல்களுக்கான இயக்கக் கோட்பாடு வான்ட் ஹாஃபி (Vont Hoff)னால், வாயுக்களுக்கான இயக்கக் கோட்பாட் டைப்போலவே மிகவும் நீர்த்த கரைசல்களுக்கு உருவாக்கப்பட்டது. வெப்ப இயக்கவியலின் தத்துவங்களின் அடிப்படையில் $PV = RT$ எனும் சமன்பாட்டையும் அவர் உருவாக்கினார். வாயுக்களுக்கும், நீர்த்த கரைசல்களுக்கும் உள்ள நெருங்கிய ஒற்றுமையைக் கண் ணுற்ற வான்ட்ஹாஃப் பின்வரும் விதியை உருவாக்கி வெளியிட் டார்.

''ஒரு நீர்த்த கரைசலின் சவ்வூடுபரவல் அழுத்தம் கரை பொருளானது, கரைசலின் பருமத்திற்குச் சமமான பருமமுள்ளதும் அதே வெப்ப நிலையிலுள்ளதுமான வாயுவாக இருக்கக்கூடுமானால் செலுத்தக்கூடிய அழுத்தத்திற்குச் சமமாயிருக்கும்.''

இது வான்ட்ஹாஃபின் விதி எனப்படுகிறது.

### 5.10 ஒரு கரைசலின் சவ்வூடு பரவலும் ஆவியமுத்தமும் (Vapour Pressure) :

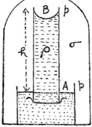
ஒரு கரைசலின் ஆவியழுத்தம் எப்போதும், தனியான கரைப்பானின் ஆவியமுத்தத்தைவிடக் குறைவாகவே யிருக்கும். அதைப் பின்வருமாறு மெய்ப்பிக்கலாம்.

ஒரு வெற்றிடமாக்கப்பட்ட ஜாடியினுள் கரைப்பானை வை. ஒரு பகுதிவிடு சவ்விணுலான அடிப்பக்கமுள்ள நீண்ட குழாயில் கரைசலை நிரப்பிக் குழாயைச் செங்குத்தாகக் கரைப்பானில் நிறுத்து. சவ்வு கரைப்பானை மட்டும் தன்னூடே பரவச் செய்து, கரை பொருள் மூலக் கூறுகளைத் தடுத்து நிறுத்திவிடும். எனவே குழாயில் திரவமட்டம் உயர்ந்து சமநிலை எட்டப்பட்டவுடன் Bயில் நிற்கட்டும். கரைப்பானின் ஆவி, B யில் கரைசலையும் A-யில் கரைப்பானையும் தொட்டுக் கொண்டிருக்கிறது. A யிலும் B யிலும் உள்ள பெரும அழுத்தங்கள் p, p′ என்போம்.

இப்போது $p = p' + h\sigma g$.

இதில் $\sigma$ என்பது கரைப்பானின் ஆவியடர்த்தியாகும். எனவே
$p - p' = h\sigma g$ .... ... ... ... ... .... ... ... ... ... ... ....(1)

கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் P எனில், P = A எனும் கிடைத்தளத்தில் குழாய்க்கு வெளியில் கரைப்பானின் பரப்பின்



படம் 104.

மேலுள்ள அழுத்தத்தை விடக் குழாய்க்குள் உபரியாக உள்ள அழுத்தம் $= h\rho g - h\sigma g = hg\ (\rho - \sigma)$ ... ... (2)

இதில் $\rho$ என்பது கரைசலின் அடர்த்தி.

$$\therefore \quad hg = \frac{P}{(\rho - \sigma)}$$

(1) ஆம் சமன்பாட்டில் $hg$ யின் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்தால்,

$$p - p' = \left(\frac{P}{\rho - \sigma}\right)\sigma$$

$\rho$-வுடன் ஒப்பிடுகையில் $\sigma$ அற்பமானதாகையால் அதை விட்டுவிட்டால் $p - p' = P \cdot \frac{\sigma}{\rho}$

எனவே ஆவியழுத்தத்தில் ஏற்படும் குறைவு, சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்திற்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது.

p எனும் அழுத்தத்தில் ஒரு கிராம் நிறையுள்ள ஆவியின் பருமம் v எனில் $\sigma = \dfrac{1}{v}$. எனவே $p - p' = \dfrac{P}{v\rho}$ . . . . . . (3)

வளியழுத்தம் $P_0$, வளியழுத்தத்தில் ஆவியின் பருமம் $v_0$, அடர்த்தி $\sigma_0$ எனில், $pv = P_0 v_0 = P_0 / \sigma_0$

இவ்வாறு $p\,\sigma_0 = P_0 / v = P_0\,\sigma$

அல்லது $\sigma = p\,\sigma_0 / P$ ... ... ... ... (4)

மேலும் $v = P_0 v_0 / p$

v யின் இந்த மதிப்பை (3)ஆம் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால்

$$p - p' = \frac{P}{\rho} \times \frac{p}{P_0 v_0} = \frac{Pp\sigma^0}{P_0\rho}$$

அல்லது $\dfrac{p - p'}{p} = \dfrac{P\,\sigma_0}{P_0\rho}$

அல்லது $\dfrac{dp}{p} = \dfrac{P}{P_0} \cdot \dfrac{\sigma_0}{\rho}$ ... ... ... ... (5)

$\dfrac{P}{P_0}$ என்பது வளிஅழுத்தங்களில் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம்.

$\dfrac{\sigma_0}{\rho}$ என்பது திட்ட வெப்ப அழுத்த நிலை (N.T.P.) யில் கரைப்பானின் வாயு, திரவ நிலைகளில் அடர்த்திகளின் தகவு.

மேற்கண்ட சமன்பாடு கரைப்பானின் ஆவியழுத்தத்திற்கும் அதிலேற்படும் வீழ்ச்சிக்கும் இடையிலுள்ள தகவைத் தருகிறது. ஆனால் h-ன் அளவு சிறியதாயிருக்கும்போதே இந்தச் சமன்பாடு சரியாயிருக்கும். அடர்வு குறைவாயிருக்கும்போது, ஆகவே சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் குறைவாயிருக்கும்போது h-ன் அளவும் குறைவாயிருக்குமாதலால், இந்தச் சமன்பாடு நீர்த்த கரைசல்களுக்கு மட்டுமே பொருந்தும். இந்த அளவுகளும், h-ன் அளவும் அதிகமாக இருக்குமானால் p, p' ஆகியவற்றிற்கிடையிலுள்ள தொடர்பு பின்வருமாறு பெறப்படும்.

கரைசல் தம்பத்தில் dh எனும் சிறிய நீளத்தை எடுத்துக் கொண்டால், $dp = -dh \cdot \sigma \cdot g$.

உயரம் அதிகரித்தால் அழுத்தம் குறையும் என்பதை எதிரினக் குறி காட்டுகிறது.

இப்போது $\sigma = p\,\sigma_0/P_0$

$$\therefore \quad dp = -g\frac{p\,\sigma_0}{P_0}\,dh$$

$$\text{அல்லது} - dh = \frac{P_0}{g\,\sigma_0} \cdot \frac{dp}{p}$$

dh க்கான இந்தக் கோவையை p, p' எனும் வரம்புகளுக் கிடையில் தொகைப்படுத்தினால்,

$$\int dh = -\frac{P_0}{g\sigma_0} \cdot \int_p^{p'} \frac{1}{p}\,dp$$

$$\text{அல்லது } h = -\frac{P_0}{g\,\sigma_0}\Big[\log p\Big]_p^{p'}$$

$$= -\frac{P_0}{g\,\sigma_0}(\log p' - \log p)$$

$$\text{அல்லது } h = \frac{P_0}{g\,\sigma_0}(\log p - \log p')$$

$$= \frac{P_0}{g\,\sigma_0}\log\frac{p}{p'}$$

$$\text{அல்லது } \log\frac{p}{p'} = \frac{h\,g\,\sigma_0}{P_0}$$

$$P = h\,\rho\,g \text{ ஆதலால் } h = \frac{P}{\rho g}.$$

$$\text{எனவே } \log\frac{p}{p'} = \frac{P}{\rho\,g} \times \frac{g\,\sigma_0}{P_0} = \frac{P}{P_0} \cdot \frac{\sigma_0}{\rho} \quad \ldots\ldots (6)$$

இது உயர்ந்த அடர்வுகளும், சவ்வூடு பரவல் அழுத்தங்களும் உள்ள கரைசல்களுக்குப் பொருந்தும்.

படித்தர வெப்ப அழுத்த நிலை (N.T.P.)யிலுள்ள ஒரு கிராம் மூலக்கூறு வாயு 22.4 லிட்டர் பருமமுள்ளது. ஒரு நீர்த்த கரைசல் ஒரு வாயுவைப் போல நடந்துகொள்வதால் படித்தர வெப்ப அழுத்த நிலையில் (0°C வெப்ப நிலையிலும், 76 பாதரச செ. மீ., அழுத்தத்திலும்) ஒரு பொருளின் ஒரு கிராம் மூலக்கூறு கரைந்துள்ள கரைசலின் பருமம், அப்பொருள் அதே சூழ்நிலைகளில் வாயுவாக இருக்கும்போது அடைத்துக்கொள்ளும் பருமத்திற்குச் சமமாயிருக்கும். அதாவது 22.4 லிட்டர் பருமமுள்ளதாயிருக்கும்.

எனவே ஒரு கிராம் மூலக்கூறு கரைபொருள் உள்ள ஒரு லிட்டர் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் 22.4 வளி அழுத்தங்களுக்குச் சமமாக இருக்கும்.

நீராவி (Water Vapour) யின் ஒரு கிராம் மூலக்கூறு (18 கிராம்கள்) படித்தர அழுத்த வெப்பநிலையில் 22.4 லிட்டர் பருமமுள்ளதாயிருக்கும்.

∴ படித்தர அழுத்த வெப்பநிலையில் நீராவியின் அடர்த்தி

$$\sigma_0 = \frac{18}{22400} \text{ கிராம்/க. செ.மீ.}$$

நீரின் அடர்த்தி $\rho$ = 1 கிராம்/க. செ.மீ.,

எனவே ஒரு மூலக்கூறு கரைசலுக்கு (Molecular Solution) அதாவது ஒரு கிராம் மூலக்கூறு கரைபொருள் உள்ள கரைசலுக்கு

$$\frac{dp}{p} = \frac{P}{P_0} \times \frac{\sigma^\circ}{\rho}$$

$$\text{அதாவது } \frac{dp}{p} = \frac{22.4 \times 18}{22400 \times 1} \times 100\% = 1.8\%$$

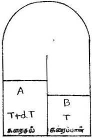
அதாவது ஒரு மின்னுறு பகுபடாத பொருளின் ஒரு கிராம் மூலக்கூறு நீரில் கரைந்துள்ளபோது ஆவியழுத்தம் 1.8% குறைகிறது. இவ்வகையான வீழ்ச்சி மின்னுறு பகுபடு பொருள்களுக்கு இன்னும் அதிகமாயிருக்கும்.

### 5.11. சவ்வூடு பரவலும், ஒரு கரைசலின் கொதி நிலையும் :

ஒரு திரவத்தின் பூரித ஆவியழுத்தம் (Saturated Vapour Pressure) திரவப் பரப்பின் மேல் செயல்படும் வெளி யழுத்தத்திற்குச் சமமாகும்போது திரவம் கொதிக்கிறது என்பதை நாமறி

வோம். எனவே ஒரு திரவத்தின் பூரித ஆவி அழுத்தம் வெளி யழுத்தத்திற்குச் சமமாகும். வெப்பநிலை, திரவத்தின் கொதி நிலை யாகும். வெப்பநிலை உயர உயர, பூரித ஆவி யழுத்தத்தின் அளவு அதிகமாகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் ஒரு கரைசலின் ஆவி யழுத்தம், தூய கரைப்பானின் ஆவி யழுத்தத்தைவிடக் குறைந்தது எனக்கண்டோம். கரைப்பானின் கொதிநிலையில் அதன் ஆவியழுத்தம் வளியழுத்தத்திற்குச் சமமாயிருந்தாலும் கரைசலின் யழுத்தம் குறைவா யிருக்குமாதலால், அதை வளி யழுத்தத்திற் குச் சமமாக, அதை இன்னும் சூடாக்க வேண்டும். அப்போது தான் கரைசல் கொதிக்கத் துவங்கும். அதாவது கரைசலின் கொதிநிலை, கரைப்பானின் கொதி நிலையைவிட அதிகமானது.

ஒரு கரைசலின் கொதிநிலையில் ஏற்படும் இந்த ஏற்றம் (Elevation of Boiling Point) சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தை எவ் வாறு சார்ந்துள்ளது என்பதைப் பார்ப்போம்.




படம் 105.

கிளாசியஸ்—கிளேபெரான் உள்ளுறை வெப்பச் சமன்பாட்டி லிருந்து ஒரு கரைசலின் கொதிநிலை ஏற்றத்தைப் பெறலாம்.

$$\frac{dT}{T} = \frac{V_2 - V_1}{L}\, dp$$

இதில் $V_1$, $V_2$ ஆகியவை முறையே திரவம், அதன் ஆவி ஆகியவற்றின் பருமங்கள், L என்பது திரவத்தின் உள் ளுறை வெப்பம் T என்பது கரைப்பா னின் கொதிநிலை, dp என்பது கரைச லின் ஆவியழுத்தத்தில் ஏற்படும் வீழ்ச்சி, dT என்பது கொதிநிலை ஏற்றம்.

dp யின் மதிப்பை $\frac{dp}{p} = \frac{\rho_{\sigma_0}}{\rho_c P}$ எனும் சமன்பாட்டிலிருந்து பெறலாம்.

அல்லது நேரடியாகப் பின் வரும் முறையிலும் கொதிநிலை ஏற் றத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

ஒரு காற்று நீக்கம் செய்யப்பட்ட மணி ஜாடிக்குள் கரைப் பானையும் கரைசலையும் ஒரு பகுதி விடுச் சவ்வினால் பிரித்து வை. இரண்டும் தத்தம் கொதி நிலைகளான T, T + dT எனும் மெய்

வெப்ப நிலைகளில் இருக்கட்டும். அதனால் அவற்றின் ஆவி யழுத்தங்கள் சமமாய் இருக்கட்டும். ஆவிகள் திரவப் பரப்புகளுக்கு மேலே ஒன்றோடொன்று தடையற்ற தொடர்புள்ளதாயிருக்கட்டும். இவ்வமைப்பு சம நிலையிலுள்ளதாகக் கொள்வோம். இதை T, T + dT எனும் வெப்ப நிலைகளுக்கிடையில் செயல்படும் ஒருநேர்மாருக்கத் தக்க வெப்ப எஞ்சினாக (Reversible Heat Engine)க் கருதி செயற்சுழலில் அதை ஈடுபடுத்துவோம்.

(1) கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் $\rho$ டைன்கள்/ச. செ. மீ., என்போம். v க. செ. மீ., பருமமுள்ள சிறிது கரைப்பான் சவ்வின் ஊடே கடந்து கரைசலுக்குள் செல்லட்டும். அதனால் கரைசலின் அடர்வு குறைந்து அதன் பருமம் அதிகரிக்கும். இப்போது செய்யப்பட்ட வேலை = கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் × பருமத்தில் ஏற்பட்ட மாற்றம் = $\rho \times v$ எர்குகள் = $\frac{\rho v}{J}$ கலோரிகள்.

(2) கரைப்பானின் அடர்த்தி $\rho$ எனில் v க. செ. மீ., பருமமுள்ள கரைப்பானின் நிறை = $v\rho$ கிராம். இந்த நிறையுள்ள கரைப்பான் A பகுதியிலிருந்து ஆவியாகட்டும். T + dT வெப்ப நிலையிலுள்ள கரைப்பானின் ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் $L_1$ கலோரிகள்/கிராம் எனில் $v\rho$ கிராம் நிறையுள்ள கரைப்பான் உட்கவர்ந்த வெப்பம் $H = \rho v L_1$ கலோரிகள்.

(3) இந்த ஆவியை A யிலிருந்து Bக்கு மாற்றுவோம். A யிலும் B யிலும் அழுத்தங்கள் சமமாயுள்ளபடியால், இந்தச் செயலுக்கு ஆற்றல் ஏதும் தேவைப்படாது.

(4) இறுதியாக இந்த ஆவியை T வெப்ப நிலையில் மீண்டும் திரவமாக்குவோம். இப்போது கழிக்கப்பட்ட வெப்பம் $H_2 = \rho vL$ இதில் L என்பது T எனும் வெப்ப நிலையில் ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பமாகும்.

ஒரு நேர்மாருக்கத் தக்க எஞ்சினுக்கு, வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டாவது விதிப்படி,

$$\frac{\text{A எனும் மூலத்திலிருந்து உட்கவரப்பட்ட வெப்பம்}}{\text{B எனும் தொட்டியில் கழிக்கப்பட்ட வெப்பம்}}$$

$$= \frac{\text{மூலத்தின் வெப்பநிலை}}{\text{தொட்டியின் வெப்பநிலை}}$$

$$\text{அல்லது } \frac{H_1}{T + dT} = \frac{H_2}{T} = \frac{H_1 - H_2}{dT} = \frac{Pv}{J.\ dT}$$

இதில் J என்பது வெப்பத்தின் எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று

$$H_2 = \rho vL \text{ ஆதலால் } \frac{\rho vL}{T} = \frac{\rho vL}{JdT}$$

$$\text{அல்லது } dT = \frac{\rho T}{JLP}$$

இதிலிருந்து ஒரு கரைசலின் கொதிநிலை ஏற்றம் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்திற்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது என்பது புலப்படுகிறது. எனவே ஒரு கரைப்பானிலுள்ள ஐசடோனிக் (சமசவ்வூடு பரவல் அழுத்தமுள்ள) கரைசல்களின் கொதி நிலைகள் சமமாயிருக்கும் என்பதும் புலப்படும்.

100°C வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு லிட்டர் நீரில் 1 கிராம் மூலக்கூறு கரைபொருள் கரைந்திருந்தால் வளி அழுத்தத்தில் அக்கரைசலின் கொதிநிலையில் ஏற்படும் ஏற்றத்தைக் கணக்கிடுவோம்.

ஒரு லிட்டர் நீரில் ஒரு கிராம் மூலக்கூறு கரைபொருள் உள்ள கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் படித்தர அழுத்த வெப்ப நிலையில், 22.4 வளி அழுத்தங்களுக்குச் சமம்.

எனவே 100°C வெப்ப நிலையிலும், 76 பாதரச செ.மீ., அழுத்தத்திலும், சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம்

$$= 22.4 \times \frac{373}{273} \times \text{ வளி அழுத்தம் } \quad (\therefore \ P \propto T)$$

$$\text{அதாவது } P = \frac{22.4 \times 373 \times 76 \times 13.59 \times 981}{273}$$

டைன்கள் / ச.செ.மீ.,

$L = 540$ கலோரிகள் / கிராம், 100°C யில் நீரின் அடர்த்தி

$\rho = 0.958$ கிராம் / க.செ.மீ., $T = 100°C = 373°A$

$$\therefore \ dT = \frac{373 \times 22.4 \times 373 \times 76 \times 13.59 \times 981}{273 \times 0.958 \times 540 \times 4.19 \times 10^7}$$

$$= 0.534°C$$

100 க. செ.மீ., பருமமுள்ள நீரில் ஒரு கிராம் மூலக்கூறு உள்ள கரைசலின் கொதிநிலையில் ஏற்படும் ஏற்றம், மூலக்கூறு கொதிநிலை ஏற்றம் (Molecular Elevation of Boiling Point) எனப்படும்.

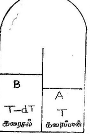
$dT \propto C$ ஆதலால், C 100 மடங்கு அதிகரித்துள்ளதாலும் மூலக்கூறு கொதிநிலை ஏற்றம் = 5.34°C

**5.12 சவ்வூடு பரவல் அழுத்தமும், ஒரு கரைசலின் உறைநிலையும்.**

ஒரு திரவத்தின் ஆவியழுத்தம் அதன் திடப்பொருளின் ஆவியழுத்தத்திற்குச் சமமாகும் வரை அதன் வெப்ப நிலையைக் குறைத்தால் திரவம் உறைந்துவிடும். எனவே கரைசலின் ஆவியழுத்தம், கரைப்பானின் ஆவியழுத்தத்தைவிடக் குறைவானதால், அது தூய கரைப்பானைவிடக் குறைந்த வெப்பநிலையில்தான் உறையும். அதாவது ஒரு கரைப்பானில் ஒரு கரைபொருள் கரைந்திருந்தால் கரைப்பானின் உறைநிலை வீழ்ச்சியடைகிறது. இது கரைசலின் உறைநிலை இறக்கம் (Depression of Freezing Point) எனப்படும். அதன் அளவை இப்போது கண்டுபிடிப்போம்.

முன்போலவே ஒரு காற்று நீக்கம் செய்யப்பட்ட மணி ஜாடிக்குள் ஒரு கரைப்பானும், கரைசலும் ஒரு பகுதிவிடு சவ்வினுல் பிரித்து வைக்கப்பட்டிருக்கட்டும். அவை தத்தம் உறைநிலைகளான T, T – dT எனும் வெப்ப நிலைகளில் இருப்பதாய்க் கொள்வோம். அமைப்பு சமநிலையில் இருக்கும்போது அதை ஒரு நேர்மாருக்கத்தக்க எஞ்சினுகக் கருதிப் பின்வரும் செயற்சுழலில் ஈடுபடுத்துவோம்.

(1) v க.செ.மீ., பருமமுள்ள அல்லது v ρ கிராம் நிறையுள்ள கரைப்பானைச் சவ்வின் வழியாகக் கரைசலுக்குள் செலுத்துவோம். சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் P எனில் இதற்காகச் செய்யப்பட்ட வேலை = P v எர்குகள் = $\frac{Pv}{J}$ கலோரிகள்



படம் 106.

(2) இந்தக் கரைப்பானைத் திண்மமாக உறையவிட்டால் அது $H_2 = \rho v L_1$ கலோரிகள் வெப்பத்தை வெளிவிடும். $L_1$ என்பது T – dT வெப்ப நிலையில் உறைதலின் உள்ளுறை வெப்பமாகும்.

(3) உறைந்த திடப் பொருளைக் கரைப்பானுக்கு மாற்றுவோம். இதில் வேலை ஏதும் செய்யப்படவில்லை.

(4) இறுதியாக இத் திண்மத்தை உருக விடுவோம். அப்போது அது $H_1 = \rho v L$ கலோரிகள் வெப்பத்தை உட்கவரும். இதில் L என்பது T வெப்பநிலையில் உறைதலின் உள்ளுறை வெப்பம் முன்போலவே

$$\frac{\text{மூலத்(A)திலிருந்து உட்கவர்ந்த வெப்பம்}}{\text{தொட்டியில் கழிக்கப்பட்ட வெப்பம்}}$$

$$= \frac{\text{மூலத்தின் வெப்பநிலை}}{\text{தொட்டியின் வெப்பநிலை}}$$

$$\text{அதாவது } \frac{H_1}{T} = \frac{H_2}{T - dT} = \frac{H_1 - H_2}{dT} = \frac{Pv}{JdT}$$

$$H_1 = \rho v L \text{ ஆதலால், } \frac{\rho v\ L}{T} = \frac{Pv}{J\,dT}$$

$$\text{அல்லது } dT = \frac{\rho T}{J\rho L}$$

இது உறை நிலையில் ஏற்படும் இறக்கத்தைக் கொடுக்கிறது. உறைதலின் உள்ளுறை வெப்பம் ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பத்தைவிடக் குறைந்ததாகையால் உறைநிலை இறக்கம், கொதிநிலை ஏற்றத்தைவிட அதிகமாயிருக்கும். O°Cயில் 76 செ. மீ.. அழுத்தத்தில் (N.T.P.) ஒரு லிட்டர் நீரில் ஒரு கிராம் மூலக்கூறு கரைபொருள் கரைந்துள்ளபோது ஏற்படும் உறைநிலை இறக்கத்தைக் கணக்கிடுவோம். இங்கு $T = 0°C = 273°A$

$$\rho = 22.4 \times 76 \times 13{\cdot}59 \times 981 \text{ டைன்கள்/ச. செ. மீ.,}$$

$$L = 80 \text{ கலோரிகள்/கிராம் ; } \rho = 1 \text{ கிராம்/க. செ. மீ.}$$

$$\text{எனவே } dT = \frac{273 \times 22.4 \times 76 \times 13{\cdot}59 \times 981}{1 \times 80 \times 4.19 \times 10^7}$$

$$= 1.85°C.$$

100 க. செ. மீ. நீரில் ஒரு கிராம் மூலக்கூறு கரைபொருள் உள்ள ஒரு கரைசலில் ஏற்படும் உறைநிலை இறக்கம் மூலக்கூறு உறைநிலை இறக்கம் (Molecular Depression of Freezing Point) எனப்படும். அது 18.5°Cக்குச் சமம்.

ஒரு மின்பகுபடு பொருளின் அயனிப் பிரிவு சதவீதத்தைக் கணக்கிடுதல் : மேலே கண்ட சமன்பாடுகள் எல்லாம் மின்னற் பகுபடாத பொருள்களுக்குத்தான் பொருந்தும் என்பதைக் கவனத்திற் கொள்ள வேண்டும். அத்தகைய (சர்க்கரை) போன்ற பொருள்களில் கரைபொருள் மூலக்கூறுகளே இருக்கும். மின்னற் பகுபடு பொருள்களுக்கு அயனிப் பிரிவினால் துகள்களின் எண்ணிக்கை

கூடிவிடுவதால் மேற்கண்ட சமன்பாடுகளிலிருந்து பெறப்படுகின்ற அளவுகளைவிட அதிகமான கொதிநிலை ஏற்றமும், உறைநிலை இறக்கமும் ஏற்படுகின்றன. இந்த முரண்பாட்டிலிருந்து கரை பொருளில் ஏற்படும் அயனிப் பிரிவின் அளவைக் கண்டு பிடிக்க லாம்.

x மூலக்கூறுகள் உள்ள ஒரு கரைபொருளில் y மூலக்கூறுகள் இரண்டிரண்டாக அயனிப் பிரிவுகளுக்கு ஆளாவதாகக் கொள் வோம். எனவே மொத்த துகள்களின் எண்ணிக்கை

$= (x - y + 2y) = x + y$. இப்போது முன்னர் கண்டபடி,

$$\frac{\text{சோதனையில் கிட்டிய } dT'}{\text{கணக்கிடப்பட்ட } dT} = \frac{x + y}{x}$$

dT, dT′ ஆகியவை கொதிநிலை ஏற்றம் அல்லது உறைநிலை இறக்கமாகும்.

$$dT' = dT\left(\frac{x + y}{x}\right) = dT\left(1 + \frac{y}{x}\right)$$

$$\text{அல்லது } dT.\frac{y}{x} = dT' - dT$$

$$\text{எனவே } \frac{y}{x} = \frac{dT' - dT'}{dT}$$

$$\text{அயனிப் பிரிவின் சதவீதம்} = \frac{dT' - dT}{dT} \times 100$$

இதே போல இரண்டிற்கு மேற்பட்ட அயனிகளாகப் பிரியும் கரைபொருள்களுக்கும் அயனிப் பிரிவின் சதவீதத்தைக் கணக்கிடலாம்.

ஒரு லட்சிய (Perfect) நீர்த்த கரைசலில் எல்லா மூலக் கூறுகளும் அயனிப் பிரிவாயிருக்கும் எனக் கற்பித்துக் கொள்கிறோம். அடர்வு அதிகமாகும்போது அயனிப் பிரிவின் அளவு குறையும். ஒரு மின்னாற் பகுபடு பொருளின் அடர்வுமிக்க கரைசல், மின்னாற் பகுபடாத பொருட் கரைசலைப் போலவே ஏறக்குறைய நடந்துகொள்கிறது.

ஒரு பொருளின் மூலக்கூறு எடையைக் கண்டுபிடித்தல்:

(a) 100 க.செ.மீ., நீரில் x கிராம் பொருள் கரைந்துள்ள போது கொதி நிலையில் ஏற்படும் ஏற்றம், dT என்போம்.

1 கிராம் மூலக்கூறு 100 க. செ. மீ.,யில் கரைந்தபோது தோன்றும் கொதிநிலை ஏற்றம் 5·34°c ஆதலால், இக் கரைசலிலுள்ள கிராம் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை $= \frac{dT}{5 \cdot 34}$

இந்த அளவு கிராம் மூலக்கூறுகள் x கிராம் பொருளில் உள்ளன.

$\therefore$ $\frac{dT}{5 \cdot 34}$ கிராம் மூலக்கூறுகளின் எடை = x கிராம்

எனவே ஒரு கிராம் மூலக்கூறின் எடை $= \frac{5 \cdot 34 \times x}{dT}$

= மூலக்கூறு எடை M.

(b) x கிராம் பொருள் 100 க.செ.மீ., நீரில் கரைந்துள்ள போது உறைநிலை இறக்கம் dT என்போம்.

18·5°c உறைநிலை இறக்கம், 100 க.செ.மீ., நீரில் ஒரு கிராம் மூலக்கூறு கரைந்துள்ளதைக் குறிக்கிறபடியால், x கிராம் பொருளிலுள்ள கிராம் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை $= \frac{dT}{18 \cdot 5}$

அல்லது $\frac{dT}{18 \cdot 5}$ கிராம் மூலக்கூறுகளின் எடை = x கிராம்

1 கிராம் மூலக்கூறின் எடை $= \frac{x \times 18 \cdot 5}{dT}$

= பொருளின் மூலக்கூறு எடை M.

### மாதிரிக் கணக்குகள்

1. 20°c வெப்ப நிலையில் 1% சர்க்கரைக் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைக் கணக்கிடு. சர்க்கரையின் மூலக்கூறு எடை 342 கிராம், 100 க.செ.மீ., நீரில் 1 கிராம் சர்க்கரையானது 34200 க.செ.மீ., யில் 342 கிராம் சர்க்கரைக்குச் சமம்.

$\frac{PV}{T}$ = ஒரு மாறிலி.

இதில் P = 76 பாதரச செ.மீ., V = 22400 க.செ.மீ., T = 273°A

$$\therefore \frac{76 \times 22400}{273} = \frac{P \times 34200}{293}$$

$$\therefore P = \frac{76 \times 22400 \times 293}{34200 \times 273}$$

$$= 53{\cdot}42 \text{ பாதரச செ.மீ.,}$$

2. $27^{\circ}c$ வெப்ப நிலையில் 500 க.செ.மீ., நீரில் 5 கிராம் உப்புக் கரைந்திருந்தால், அக் கரைசலின் சவ்வூடு பரவலைக் கணக்கிடு.

மூலக்கூறு எடை = 300; 500 க.செ.மீ., யில் 5 கிராம் உப்பு, 30000 க.செ.மீ., யில் 300 கிராம் உப்பிற்குச் சமம்.

$$PV = RT$$

$$\therefore P \times 30000 = R(273 + 27) = R \times 300$$

$$P = \frac{R}{100}$$

மேலும் PV = RT யில் $1 \times 22400 = R \times 273$

$$\therefore R = \frac{22400}{273}$$

$$\therefore P = \frac{22400}{273} \times \frac{1}{100} = 0{\cdot}81 \text{ வளி அழுத்தம்}$$

3. $37^{\circ}c$ வெப்ப நிலையில் ஒரு வளி அழுத்தத்திற்குச் சமமான சவ்வூடு பரவல் அழுத்தமுள்ள சர்க்கரைக் கரைசலின் அடர்வைக் கண்டுபிடி. சர்க்கரையின் மூலக்கூறு எடை = 342; $R = 8{\cdot}4 \times 10^{7}$ எர்குகள்/டிகிரி.c.

342 கிராம் சர்க்கரை. V க.செ.மீ., கரைசலிலிருக்கட்டும். எனவே 1000 க.செ.மீ., கரைசலில் $\frac{1000 \times 342}{V}$ கிராம் சர்க்கரை இருக்கும்.

ஆனால் PV = RT. எனவே $V = \frac{RT}{P}$

P = ஒரு வளியழுத்தம் = $76 \times 13{\cdot}6 \times 981$ டைன்கள்/ச.செ.மீ., $T = 273 + 37 = 310^{\circ}A$

$$\therefore V = \frac{8{\cdot}4 \times 10^{7} \times 310}{76 \times 13{\cdot}6 \times 981}$$

$\therefore$ ஒரு லிட்டரிலுள்ள சர்க்கரையின் நிறை = அடர்வு

$$= \frac{1000 \times 342 \times 76 \times 13{\cdot}6 \times 981}{8{\cdot}4 \times 10^{7} \times 310}$$

= 13·3 கிராம்/லிட்டர்.

4. 1000 க.செ.மீ., கரைசலில் ஒரு கிராம் சர்க்கரை உள்ளது. O°c யிலும் 100°c யிலும் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைக் கண்டுபிடி. சர்க்கரையின் மூலக்கூறு எடை = (342 கிராம். ஒரு கிராம் மூலக்கூறுக்கு $R = 8{\cdot}4 \times 10^{7}$

$PV = RT$ எனவே $P = RT/V$
O°c யில். $R = 8{\cdot}4 \times 10^{7}$ எர்குகள்/டிகிரி c.

$T = 273°A$, $V = 342 \times 1000$ க.செ.மீ., ஏனெனில் ஒரு லிட்டரிலுள்ள 1 கிராம் சர்க்கரை, 342 லிட்டரில் 342 கிராம் சர்க்கரைக்குச் சமம்.

$$\therefore \quad P = \frac{8{\cdot}4 \times 10^{7} \times 273}{342 \times 10^{3}} = 6{\cdot}707 \times 10^{4}$$ டைன்கள்/செ.மீ$^2$.,

எனவே O°c யில் சரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் $6{\cdot}707 \times 10^{4}$ டைன்கள்/ச.செ.மீ., க்குச் சமம்.

100°c வெப்ப நிலையில், $R = 8{\cdot}4 \times 10^{7}$ எர்குகள்/டிகிரி c

$T = 100 + 783 = 373°A$

$V = 342$ லிட்டர்கள்

இவற்றை $P = \frac{RT}{V}$ எனும் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால்

$$P = \frac{8{\cdot}4 \times 10^{7} \times 373}{342 \times 10^{3}} = 9{\cdot}162 \times 10^{4}$$ டைன்கள்/செ.மீ.,$^2$

எனவே 100°c-ல் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம்

$= 9.162 \times 10^{4}$ டைன்கள்/ச.செ.மீ.,

5. ஒரு கிராம் சாதாரண உப்பு நீரில் கரைக்கப்பட்டு 100 க.செ.மீ., பருமமுள்ள கரைசலாக்கப்பட்டது. உப்பு முழுவதும் அயனிப் பிரிவுக்காளானல், 20°C-ல் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைக் கணக்கிடு.

சோடியத்தின் அணு எடை = 23, குளோரினின் அணு எடை 35.5. பாதரசத்தின் அடர்த்தி = 13.6 கிராம்/க. செ. மீ., ஒரு கிராம் மூலக்கூறுக்கு $R = 8.4 \times 10^7$ எர்குகள்/டிகிரி C.

ஒவ்வொரு சோடியம் குளோரைடு மூலக்கூறும் இரு அயனிகளாகப் பிரியும். உப்பு முழுவதும் அயனிப் பிரிவாகி விடுவதால் ஒரு க. செ. மீ., கரைசலிலுள்ள மூலக்கூறுகளைப் போல இரு மடங்கு துகள்களிருக்கும் எனவே சவ்வூடு பரவல் அழுத்தமும் இரு மடங்காகிவிடும். அதாவது $\rho = \frac{2\ RT}{V}$

இதில் $R = 8.4 \times 10^7$ எர்குகள்/டிகிரிC, $T = 20 + 273 = 293^\circ A$

100 க. செ. மீ.,-ல் ஒரு கிராம் உப்பு கரைந்திருப்பதால்

$V$ = மூலக்கூறு எடை $\times$ 100 க. செ. மீ.

$= (23 + 35.5) \times 100$ க. செ. மீ., $= 58 \cdot 5 \times 10^2$ க.செ.மீ.,

$\therefore$ சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் P

$= \frac{2 \times 8.4 \times 10^7 \times 293}{58.5 \times 10^2}$ டைன்கள்/செ. மீ$^2$.

$= \frac{2 \times 8.4 \times 10^7 \times 293}{58.5 \times 10^2 \times 76 \times 13.6 \times 981}$ வளி அழுத்தங்கள்

$= 8.299$ வளி அழுத்தங்கள்.

6. ஒரு கிராம் அயோடின், ஈதரில் கரைக்கப்பட்டு 40 க. செ. மீ., பருமமுள்ள கரைசல் தயாரிக்கப்பட்டது. 20°C யில் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் = 2.4 வளி அழுத்தம் எனில் கரைந்த அயோடின் மூலக்கூறில் இரு அணுக்கள் உள்ளன எனக் காட்டு.

(அயோடினின் அணு எடை = 127)

இங்கு தோற்ற சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் = 2.4 வளி.

$P = \frac{RT}{V}$ எனும் சமன்பாட்டிலிருந்து சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைக் கணக்கிடுவோம். $R = 8.4 \times 10^7$ எர்குகள்/டிகிரி C.

$T = 20 + 273 = 293^\circ A$ ; $V = 127 \times 40$ க. செ. மீ.,

ஏனெனில் அயோடினுக்கு மூலக்கூறு எடையும் அணு எடையும் சமம்.

$$\therefore\ P = \frac{8.4 \times 10^7 \times 293}{727 \times 40} = 4.778$$ வளி அழுத்தம்.

இது தோற்ற மதிப்பை விட இரு மடங்காகும். எனவே அயோடினின் இரு அணுக்கள் இணைந்து ஒரு மூலக்கூறாகி யுள்ளன.

7. 100 க. செ. மீ., நீரில் 6 கிராம் சர்க்கரையுள்ள கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் 13°C வெப்பநிலையில் 307 பாதரச செ.மீ., இதைப்போல $\frac{1}{6}$ பங்கு அடர்வுள்ள கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் 50°Cயில் எவ்வளவு இருக்கும்.

சர்க்கரையின் மூலக்கூறு எடை = m கிராம் என்க.

ஒரு கிராம் மூலக்கூறு சர்க்கரையுள்ள கரைசலின் பருமம்

$$V_1 = \frac{m \times 100}{6} \text{ க. செ. மீ.,}$$

ஏனெனில் 6 கிராம் சர்க்கரை 100 க. செ. மீ.,நீிலுள்ளதால் m கிராம் சர்க்கரை $\frac{100 \times m}{6}$ க. செ. மீ.,யிலிருக்கும்.

ஒரு கிராம் மூலக்கூறு சர்க்கரையுள்ள இரண்டாவது கரைசலின் பருமம் $V_2 = m \times 100$ க. செ. மீ.,

முதல் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் $P_2$ எனில்

$$P_1 = \frac{RT_1}{V_1}, \quad P_2 = \frac{RT_2}{V_2}$$

$$\therefore \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{RT_1}{V_1} \times \frac{V_2}{RT_2} = \frac{T_1}{T_2} \times \frac{V_2}{V_1}$$

$$\therefore \quad P_2 = \frac{T_2}{T_1} \times \frac{V_1}{V_2} \times P_1$$

$$= \frac{323 \times m \times 100 \times 307 \times 13.6 \times 981}{286 \times 6 \times m \times 100}$$

$$= 57.77 \text{ பாதரச செ. மீ.,}$$

8. ஒரு கிராம் சர்க்கரையை 100 க. செ. மீ., நீரில் கரைத்தால் ஆவியழுத்தம் எவ்வளவு குறையும்? (சர்க்கரையின் மூலக்கூறு எடை = 342 கிராம்)

$$\frac{dp}{p} = \frac{P}{P_0} \times \frac{\sigma_0}{\rho} \text{ என முன்னர் கண்டோம்.}$$

இதில் $\frac{P}{P_0}$ வளி அழுத்தங்களில் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் ; $\rho$-கரைப்பானின் அடர்த்தி ;

$\sigma_0$- படித்தர அழுத்த வெப்ப நிலையில் ஆவியின் அடர்த்தி

சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் $P = \frac{RT}{V} = \frac{8.4 \times 10^7 \times 273}{342 \times 10^2}$

$P_0$ = வளி அழுத்தம் $= 76 \times 13.6 \times 981$ டைன்கள்/ச. செ. மீ.,

ஒரு கிராம் மூலக்கூறு நீராவியின் எடை 18 கிராம் படித்தர அழுத்த வெப்ப நிலையில் அதன் பருமம் = 22.4 லிட்டர்.

எனவே $\sigma_0 = \frac{18}{22400}$ கிராம்/க.செ.மீ.,

நீரின் அடர்த்தி $\rho = 1$ கிராம்/க.செ.மீ.,

$$\therefore \quad \frac{dp}{p} = \frac{8 \cdot 4 \times 10^5 \times 273}{342 \times 76 \times 13.6 \times 981} \times \frac{18}{22400}$$

$$= 0.0005316 \quad = .05316\%$$

9. மேலே கண்ட 8ஆம் கணக்கில் கொடுக்கப்பட்ட சர்க்கரைக் கரைசலின் உறைநிலை இறக்கத்தைக் கணக்கிடு.

பனிக்கட்டியின் உள்ளுறை வெப்பம் = 80 கலோரிகள்/கிராம்.

வளி அழுத்தம் $= 10^6$ டைன்கள்/ச.செ.மீ.,

100 க. செ. மீ., கரைசலில் ஒரு கிராம் சர்க்கரையிருந்தால் ஒரு லிட்டரில் $\frac{10}{342}$ கிராம் மூலக்கூறு சர்க்கரையிருக்கும்.

ஒரு லிட்டர் நீரில் ஒரு கிராம் மூலக்கூறுள்ள கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் = 22.4 வளிகள்.

$\therefore$ ஒரு லிட்டரிலுள்ள $\frac{10}{342}$ கிராம் மூலக்கூறுகள் செலுத்தும்

சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் $P = \frac{22.4 \times 10}{342} = \frac{224}{342}$ வளிகள்

$$= \frac{224}{342} \times 10^6 \text{ டைன்கள்/ச.செ.மீ.,}$$

உறைநிலை இறக்கம் $dT = T\frac{P}{J\,\rho\,L}$

$T = 0°C = 273°\ A,\ \rho = \frac{224 \times 10^{6}}{342}$ டைன்கள்/ச.செ.மீ.,

$\rho = 1$ கிராம்/க.செ.மீ., $L = 80$ கலோரிகள்/கிராம்

$$\therefore\ dT = \frac{273 \times 224 \times 10^{6}}{342 \times 1 \times 80 \times 4.2 \times 10^{6}}$$

$$= 0.05322°C$$

10. 100 க.செ.மீ., ஈதரில் 10 கிராம் கார்பன் ஹெக்சா குளோரைடைக் கரைத்தால் கொதி நிலையில் ஏற்படும் ஏற்றம் என்ன? ஈதரின் கொதிநிலை = 3.5°c, 35°c யில் அதன் அடர்த்தி = 0.695 கிராம்/க.செ.மீ, அதன் ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் = 81·5 கலோரிகள் / கிராம். வளி அழுத்தம் = $10^{6}$ டைன்கள் / ச.செ.மீ.

கார்பன் ஹெக்சா குளோரைடின் மூலக்கூறு எடை = 237 கிராம் 100 க.செ.மீ., ஈதரில் 10 கிராம் அல்லது $\frac{10}{237}$ கிராம் மூலக்கூறு கார்பன் ஹெக்சா குளோரைடு உள்ளது.

$\therefore$ ஒரு லிட்டர் ஈதரில் $\frac{10}{237} \times \frac{1000}{100} = \frac{100}{237}$ கிராம் மூலக்கூறு கார்பன் ஹெக்சா குளோரைடு இருக்கும்.

படித்தர அழுத்த வெப்ப நிலையில் ஒரு லிட்டரில் ஒரு கிராம் மூலக்கூறு கரை பொருளிருந்தால் அதன் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் = 22.4 வளிகள்.

$\therefore$ ஒரு லிட்டரில் $\frac{100}{227}$ கிராம் மூலக்கூறுகள் இருந்தால் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் = $\frac{100}{237} \times 22.4$ வளிகள்.

$\therefore$ 35°C வெப்பநிலையில் ஒரு லிட்டரில் $\frac{100}{237}$ கிராம் மூலக்கூறுகள் உள்ள கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம்

$$= \frac{100}{237} \times 22.4 \times \frac{308}{273}\ \text{வளிகள்}$$

$$= \frac{2240 \times 308}{237 \times 273} \times 10^6 \text{ டைன்கள்/ச. செ. மீ.}$$

கொதிநிலை ஏற்றம் $dT = \frac{TP}{\rho L J}$

$$= \frac{308 \times 2240 \times 308 \times 10^6}{237 \times 273 \times 0{\cdot}695 \times 81.5 \times 4.2 \times 10^7}$$

$$= 1.38°C.$$

11. 270°C வெப்பநிலையில் பொட்டாசியம் குளோரைடின் ஒரு சதவீதக் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் = 6.604 வளிகள். அயனிப் பிரிவின் சதவீதத்தைக் கணக்கிடு. பொட்டாசியத்தின் அணு எடை = 39, குளோரினின் அணு எடை = 35.5.

பொட்டாசியம் குளோரைடி(Kcl)ன் மூலக்கூறு எடை = 74.5 கிராம்.

∴ ஒரு லிட்டர் நீரில் கரைந்துள்ள 74.5 கிராம் அயனிப் பிரிவாகாத K cl, 22.4 வளி அழுத்தத்திற்குச் சமமான சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைச் செலுத்தும்.

கொடுக்கப்பட்ட கரைசலில் 100 க. செ. மீ. பருமத்தில் 1 கிராம் அல்லது $\frac{1}{74.5}$ கிராம் மூலக்கூறு K cl கரைந்துள்ளது. அல்லது 1 லிட்டரில் $\frac{10}{74.6}$ கிராம் மூலக்கூறு K cl இருக்கும்.

∴ படித்தர அழுத்த வெப்பநிலையில் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் = 22.4/74.5 வளிகள்.

∴ 27°C வெப்பநிலையில் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம்

$$= 22.4 \times \frac{10}{74.5} \times \frac{300}{273} = 3.303 \text{ வளிகள்.}$$

எனவே கரைசலில் அயனிப் பிரிவு ஏற்படாமலிருந்தால் அது 3.303 வளி அழுத்தத்திற்குச் சமமான சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைச் செலுத்தும். ஆனால் சோதனை மூலம் கிடைக்கும் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் = 6.604 வளிகள். அயனிப் பிரிவின் அளவு i என்க.

$$\therefore \; i = \frac{\text{தோற்ற சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம்}}{\text{கணக்கிடப்பட்ட சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம்}}$$

$$= \frac{6.604}{3.303} = 1.999$$

அதாவது 1000 மூலக்கூறுகள் 1999 அயனிகளாகப் பிரிகின்றன. அயனிப் பிரிவு சதவிகிதம் = 199.9 − 100 = 99.9%.

12. 2 லிட்டர் நீரில் 31.88 கிராம் பொருள் கரைக்கப்பட்டுள்ளது. படித்தர அழுத்த வெப்பநிலையில் கரைசலின் கொதிநிலை 100.266°C எனில் பொருளின் மூலக்கூறு எடையைக் கண்டுபிடி.

இங்கு 2000 க. செ. மீ., பருமமுள்ள நீரில் 31.88 கிராம் பொருள் உள்ளது.

100 க. செ. மீ. நீரில் $\frac{31.88}{20}$ கிராம் பொருளுள்ளது.

பொருளின் மூலக்கூறு எடை $M = \frac{5.34\, x}{dT}$. இங்கு கொதிநிலை ஏற்றம் $dT = 0.266$, $\therefore \; M = \frac{5.34 \times 31.88}{0.266 \times 20}$

$$= 32.00 \text{ கிராம்.}$$

## பயிற்சிகள் :

1. சர்க்கரைக் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் எவ்வாறு கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது? ஒரு மின் ஊற் பகுபடாத பொருளின் நீர்த்த கரைசலுக்கான சவ்வூடு பரவல் அழுத்த விதிகளைக் கூறு.

   5·1 கிராம்/லிட்டர் கிளிசரின் உள்ள ஒரு கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் குளூகோஸின் ஒரு சதவீதக் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்திற்குச் சமமாக உள்ளது. குளூகோஸின் மூலக்கூறு எடை 180 எனில் கிளிசரினின் மூலக்கூறு எடையைக் கண்டுபிடி. (சென்னை 1940)

2. 342 மூலக்கூறு எடையுள்ள சர்க்கரை ஒரு கிராம் 100 க.செ.மீ., நீரில் கரைக்கப்பட்டது. ஒரு வளி

அழுத்தத்தில் கரைசலின் உறைநிலையைக் கணக்கிடு. வாயு மாறிலி $R = 8.4 \times 10^7$ எர்குகள் / டிகிரிC. / கிராம் மூலக்கூறு. (சென்னை 1946)

3. 360 மூலக்கூறு எடையுள்ள சர்க்கரையின் 10 கிராம் அளவு ஒரு லிட்டர் நீரில் கரைக்கப்பட்டது. சாதாரண அழுத்தத்தில் அதன் உறைநிலை, கொதி நிலை ஆகியவற்றைக் கண்டுபிடி. நீரின் அடர்த்தி 100°c யில் 0·958 கிராம்/க.செ.மீ., O°c யில் 1 கிராம் / க.செ.மீ.. 100°c யில் நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் = 540 கலோரி/கிராம், பனிக்கட்டியின் உள்ளுறை வெப்பம் = 80 கலோரிகள்/கிராம். வாயு மாறிலி = 2 கலோரி/கிராம் மூலக்கூறு. (சென்னை 1948, செப். 1965)

4. 27°c வெப்ப நிலையிலுள்ள நீரில் சர்க்கரையின் 6% கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைக் கணக்கிடு, சர்க்கரையின் மூலக்கூறு எடை = 342. (சென்னை 1950)

5. சவ்வூடு பரவல் அழுத்த விதிகளைக் கூறி விளக்கு. ஒரு கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைக் கண்டு பிடிக்கும் முறைகளை விவரி. 360 மூலக்கூறு எடையுள்ள சர்க்கரையின் 10 கிராம் ஒரு லிட்டர் நீரில் கரைக்கப் பட்டது. கரைசலின் வெப்பநிலை 27°c எனில் அதன் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைக் கணக்கிடு. (சென்னை 1962)

6. சவ்வூடு பரவல் நிகழ்ச்சியை விளக்கு. வெப்ப இயக்க வியலின் அடிப்படையில் ஓர் உப்புக் கரைசலின் உறைநிலை இறக்கத்திற்கான சமன்பாட்டைத் தருவி.

12·5 கிராம் நிறையுள்ள ஒரு மின்னூற் பகுபடு பொருள் கரைந்துள்ள ஒரு லிட்டர் நீர்க்கரைசல்— 0·028°c வெப்ப நிலையில் உறைகிறது. பொருளின் மூலக்கூறு எடையைக் கணக்கிடு. மூலக்கூறு உறைநிலை இறக்கம் = 18·6°c. (சென்னை 1960)

7. 17°c வெப்ப நிலையில் 1·5 வளி அழுத்தத்தைச் செலுத்து கின்ற சர்க்கரைக் கரைசலின் அடர்வைக் கணக்கிடு. (ஒரு வளி அழுத்தம் = $10^6$ டைன்கள் / ச.செ.மீ., $R = 8.4 \times 10^7$ எர்குகள்/டிகிரி c/ கிராம் மூலக்கூறு. (விடை : 21·06 கிராம்/லிட்டர்)

8. 27°c வெப்ப நிலையிலுள்ள சாதாரண உப்புக் கரைந்த ஒரு சதவீதக் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைக் கணக்கிடு. கரைசலில் 99·5% அயனிப் பிரிவு ஏற்படுவதாகக் கொள். அணு எடைகள் – சோடியம் 23, குளோரின் 35·5. (விடை : 8·013 வளி)

9. 5 கிராம் நிறையுள்ள ஒரு மின்னற் பகுபடு பொருளை 1000 க.செ.மீ., நீரில் கரைத்த கரைசல் 0·279°c வெப்ப நிலையில் உறைகிறது. பொருளின் மூலக்கூறு எடையைக் கணக்கிடு. (உறைநிலையின் மூலக்கூறு இறக்கம் = 18·6°c) (விடை : 33·3 கிராம்)

10. 12·5 கிராம் சர்க்கரை (மூலக்கூறு எடை = 342) ஒரு லிட்டர் நீரில் கரைக்கப்பட்டபோது உறைநிலை 0·068°c குறைந்தது. நீரின் மூலக்கூறு உறைநிலை இறக்கத்தைக் கணக்கிடு. (விடை : 18·6°c)

11. 360 மூலக்கூறு எடையுள்ள 10 கிராம் சர்க்கரை 1 லிட்டர் நீரில் கரைக்கப்பட்டது. நீரின் வெப்பநிலை 15°c. அலகு கிராம் மூலக்கூறுக்கான வாயுமாறிலி $8{\cdot}26 \times 10^7$ எனில் கரைசலின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்தைக் கணக்கிடு. ($6{\cdot}61 \times 10^5$ டைன்கள்/செமீ$^2$)

மேற்படி கரைசலின் அடர்த்தி 1·006 கிராம்/cc; திட்ட அழுத்த வெப்ப நிலையில் ஹைடிரஜனின் அடர்த்தி $8{\cdot}98 \times 10^{-5}$ கி/cc 15°c யில் நீரின் பூரித ஆவியழுத்தம் 1·200 பாதரச செ.மீ., எனில் கரைசலின் மேற்பரப்பில் உள்ள பூரித ஆவியழுத்தம், தூய நீரின் மேற்பரப்பி லுள்ளதைவிட எவ்வளவு குறைவு எனக் கண்டுபிடி. ($6 \times 10^{-4}$ பாதரச செ.மீ.,)

மேற்படி கரைசலுக்கு சாதாரண அழுத்தத்தில் கொதிநிலையையும், உறைநிலையையும் கணக்கிடு. 0°cயில் நீரின் அடர்த்தி 1.00°cயில் நீரின் அடர்த்தி 1.00 கி/cc., 100°cயில் 0.958 கி/cc. 100°cயில் நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் = 540 கலோரிகள். 0°cயில் பனிக்கட்டியின் உள்ளுறை வெப்பம் = 80 கலோரிகள். $J = 4.18 \times 10^7$ எர்குகள்/கலோரி.

(100.015°c, – 0.051°c)

# 6. பரப்பு இழுவிசை

## (Surface Tension)

6.1. மூலக்கூறுகளுக்கிடையில் இரு விதமான விசைகள் உள்ளன (1) வேறின ஈர்ப்பு விசைகள் (Adhesive forces) எனும் வெவ்வேறு பொருள்களின் மூலக்கூறுகளுக்கிடையிலான கவர்ச்சி விசைகள் ஒரு பொருள் வெவ்வேறு பொருள்களை வெவ்வேறு அளவுள்ள கவர்ச்சி விசைகளுடன் ஈர்க்கும். எடுத்துக்காட்டாக ஒரு பரப்பில் தடவப்படும் கோந்து, நீர் அல்லது ஆல்கஹாலை விட அதிகமான ஈர்ப்பு விசையுடன் ஒட்டிக் கொள்கிறது.

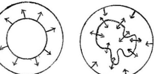
(2) ஓரின ஈர்ப்பு விசைகள் (Cohesive forces or forces of cohesion) எனும் ஒரே பொருளின் மூலக்கூறுகளுக்கிடையிலுள்ள கவர்ச்சி விசைகள். இவை சாதாரண நிறையீர்ப்பு விசை (Gravitational forces) களிலிருந்து வேறுபட்டவை. அவை பொதுவாக விசைகளின் தலைகீழ் இரு மடி விதியைப் பின்பற்றுவதில்லை. இரு மூலக்கூறுகளுக்கிடையிலுள்ள ஓரின ஈர்ப்பு விசை அவற்றினிடையேயுள்ள தொலைவின் ஏறக்குறைய எண் மடி (8th Power)க்குத் தலைகீழ் விகிதத்தில் மாறுகிறது. எனவே இடைப்பட்ட தொலைவு அதிகரிக்கும்போது இந்த ஈர்ப்பு விசை மிக வேகமாகக் குறைகிறது. இது திண்மப் பொருள்களில் பெருமமாயும், திரவங்களில் குறைவாயும் வாயுக்களில் மிக அற்பமாயும் இருக்கிறது. சாதாரண வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் ஒரு வாயுவிலுள்ள மூலக்கூறுகள் ஒன்றைவிட்டு ஒன்று மிகவும் விலகி யிருப்பதால் அவற்றினிடையே கவர்ச்சி விசையே ஏறக்குறைய இல்லை எனலாம். இதனால் தான் ஒரு திண்மப் பொருளுக்கு ஒரு குறிப்பிட்ட வெளி உருவமும் திரவத்திற்குக் குறிப்பிட்ட பரப்பும் உள்ள போது வாயுவிற்குக் குறிப்பிட்ட உருவமோ, புறப்பரப்போ இல்லை.

மூலக்கூறு ஆட்சிப் புலம் (Sphere of Influence) :

இரு மூலக்கூறுகளுக்கிடையிலுள்ள ஓரின ஈர்ப்பு விசைகள் எவ்வளவு தொலைவிற்குச் செயல்படக் கூடுமோ அத் தொலைவு மூலக்கூறு நெருக்கம் (Molecular Range) எனப்படும். இது சாதாரணமாக $10^{-7}$ செ. மீ., அளவிலிருக்கும். மூலக்கூறை மையமாகக் கொண்டு நெடுக்கத்திற்குச் சமமான ஆரமுள்ள ஒரு கோளப் பகுதியை வரைவோமானால், அக் கோளம் மூலக்கூறின் ஆட்சிப் புலம் (Sphere of Influence) எனப்படும். அந்தக் கோளப் பகுதிக்குள்ளிருக்கும் மற்ற மூலக்கூறுகளை மட்டுமே இந்த மூலக்கூறு ஈர்க்கும். தானும் அவற்றால் ஈர்க்கப்படும். ஆட்சிப் புலத்திற்கு வெளியிலிருக்கும் மற்ற மூலக்கூறுகளை அது பாதிக்கவோ அவற்றால் தானும் பாதிக்கப்படவோ மாட்டாது. நுண்துளை ஏற்றம் முதலிய புறப்பரப்பு இழுவிசை விளைவுகளை விளக்குவதற்காக இந்த ஓரின ஈர்ப்பு விசைகளைப்பற்றிய கோட்பாட்டை லாப்லாஸ், முதலியவர்கள் முதன் முதலில் உருவாக்கினர்கள்.

6.2 பரப்பு இழுவிசை (Surface Tension) சிறு அளவிலுள்ள திரவம் புவியீர்ப்பு விசை போன்றவற்றால் பாதிக்கப்படாதபோது எப்போதும் கோளவடிவாயிருக்கிறது. மழைத்துளிகள், சுத்தமான கண்ணாடித் தகட்டின்மேல் உள்ள சிறிய பாதரசத்துளிகள் ஆகியவை இவ்வாறு உருண்டையாயிருப்பதை நாமறிவோம். ஒரு குறிப்பிட்ட பருமத்திற்குக் கோளம் சிறும மதிப்புள்ள புறப்பரப்பு உடையதாகும். இவ்வாறு ஒரு திரவம் எப்போதும் தனது புறப்பரப்பைச் சிறும மதிப்புக்குச் சுருக்கிக் குறைத்துக்கொள்ள முயல்கிறது. இதை விளக்குவதற்குப் பின்வரும் எளிய சோதனைகளைச் செய்து காட்டலாம்.

ஒரு வட்டமான கம்பி வளையத்தைச் சோப்புக்கரைசலில் முக்கி

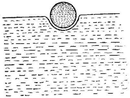


படம் 107.

வெளியே எடுத்தால் அதில் ஒரு சோப்புப் படலம் உருவாகியிருக்கும். அதன்மேல் ஒரு லேசான நூலை வளையமாக வைத்தால்

அது கோணல் மாணலாக வைக்கப்பட்ட நிலேயிலேயே படத்தில் காட்டியதுபோல இருக்கும். சோப்புப் படலம் நூலுக்கு வெளியிலும் உள்ளேயும் இருப்பதால், நூலின்மேல் எல்லாப் புள்ளிகளிலும், சமமான எதிர்த்திசைகளிலுள்ள விசைகள் செயல்பட்டு அதை இருபுறத்திலும் இழுப்பதால் நூல் சம நிலேயிலிருக்கும். இப்போது நூல் வளேயத்திற்குள் உள்ள படலத்தை ஊசியினுல் குத்தினுல் அது வெடித்து மறைந்துவிடும். நூல் வளேயத்திற்கு வெளியிலுள்ள படலம், நூலே எல்லாப் புள்ளிகளிலும் நேர்குத்துத் திசைகளில் வெளிப்புறமாக இழுப்பதால் நூல் வளேயம் வட்ட வடிவுள்ளதாகிவிடும். ஒரு குறிப்பிட்ட பரிதிக்கு, வட்டம் பெரும அளவுள்ள பரப்புள்ளதாகும். எனவே நூல் வளேயம் பெருமப் பரப்பை அடைத்துக் கொள்வதற்காக வட்ட வடிவை யெடுத்துக் கொள்கிறது. ஆகவே கம்பிவளேயத்திற்கும், நூல்வளேயத்திற்கும் இடையிலுள்ள சோப்புப் படலம் சிறும அளவுள்ள பரப்புடையதாகச் சுருங்கி விடுகிறது. இதிலிருந்து ஒரு திரவப் படலம் சுருங்கும் இயல்புள்ளது என்பதும் அதில் ஓர் இழுவிசை செயல் படுகிறது என்பதும் புலப்படும்.

ஓர் எண்ணெய் தடவிய ஊசியை ஒரு சிறிய ஒற்றுத்தாள் துண்டின் மேல் வைத்து நீரில் மிதக்க விடு. சற்று நேரம் கழித்து

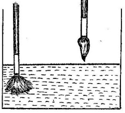


படம் 108.

ஒற்றுத்தாள் ஊறிப்போய் நீரில் முழுகிவிடும். ஆனுல் ஊசி மட்டும் நீர்ப்பரப்பில் மிதப்பதைக் காணலாம். ஊசியைக் கூர்ந்து கவனித்தால் ஊசிக்கு அடியிலும் அதைச் சுற்றிலும் திரவம் தொய்ந்து பள்ளமாயிருப்பதைக் காணலாம். அங்கு நீரின் மேல்பரப்பு லேசாக நீட்சியடைந்துள்ளது. இதிலிருந்து ஒரு திரவத்தின் புறப்பரப்பு சிறிய விசைகளேக் கிழிந்துவிடாமல் தாங்கக்கூடியது என்பது

புலப்படும். ஊசியின் ஒரு முனையைக் கீழே அழுத்தி நீர்ப்பரப்பைக் கிழித்துவிட்டால், ஊசி சரிந்து மூழ்கிவிடும்.

படம் தீட்டும் ஒட்டக மயிர் புருசை நீரில் முக்கினால் அதன் மயிர்கள் விரிந்து நிற்கும். அதை வெளியே எடுத்தவுடன் மயிர்



படம் 109.

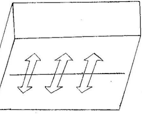
கள் ஒன்று சேர்ந்து விடுவதைக் காணலாம். அவற்றிற்கிடையி லுள்ள நீர் தனது புறப்பரப்பைக் குறைத்துக்கொள்வதற்காகச் சுருங்குவதால் இது நிகழ்கிறது.

ஒரு கற்பூரத்துண்டை நீரில் போட்டால் அது நீர்ப்பரப்பில் அங்குமிங்கும் ஓடுவதைக் காணலாம். கற்பூரம் நீரில் கரையும்போது பரப்பு இழுவிசை குறைகிறது. கற்பூரக்கட்டியின் ஒரு பக்கத்தில் கற்பூரம் அதிகமாகக் கரையும்போது, மற்றப் பக்கங்களைவிட பரப்பு இழுவிசை குறைந்து விடுகிறது. அதிகப் பரப்பு இழுவிசையுள்ள பக்கமாகக் கற்பூரம் இழுக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு கற்பூரம் சில முனைகளில் வேகமாகவும் மற்ற முனைகளில் மெதுவாகவும் கரை வதால் சமன் செய்யப்படாத இழுவிசைகள் அதை அங்குமிங்குமாக ஓடச் செய்கின்றன. நீர்ப்பரப்பு முழுவதும் கற்பூரக் கரைசல் சீராகப் பரவிய பிறகு கற்பூரம் ஓடுவது நின்றுவிடும்.

மேலே கண்ட சோதனைகளிலிருந்து திரவப்பரப்பு ஒரு மீள் திறனுள்ள ரப்பர் படலத்தைப்போல நடந்துகொள்வது புலப்படும். அது தன் பரப்பைக் குறைத்துச் சுருங்கிக்கொள்ள முயல்கிறது. இவ்வாறு திரவத்தின் புறப்பரப்பில் தோன்றும் இழுவிசை பரப்பு இழுவிசை எனப்படும். இது திரவமும் அதைத் தொட்டுக்

கொண்டிருக்கும் இன்னொரு பொருளும் (சாதாரணமாகக் காற்று) சந்திக்கும் பரப்பில் திரவப் பரப்பிற்கு இணையாகச் செயல்படுகிறது. திரவத்தின் புறப்பரப்பை ஒரு தளம் வெட்டுவதாகக் கற்பனை செய்துகொள்வோமாயின் இந்தப் பரப்பு இழுவிசை திரவப்பரப்பும், தளமும் சந்திக்கின்ற நேர்கோட்டின் மேல், அதற்கு நேர் குத்தாகவும் திரவப்பரப்பிற்கு இணையாகவும் செயல்படுகிறது.

இவ்வாறு ஒரு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை என்பது, திரவப் பரப்பின் மேல் வரையப்பட்ட அலகு நீளமுள்ள ஒரு நேர்கோட்டின்



படம் 110.

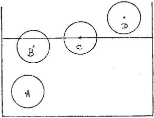
மேல், எல்லாப் புள்ளிகளிலும் அதற்கு நேர்குத்தாகச் செயல்பட்டு, அக் கோட்டின் ஊடாக திரவப்பரப்பைப் பிளக்க முயல்கின்ற விசையாகும்.

பரப்பு இழுவிசைக்கான விளக்கம்: வாயுக்களின் இயக்கக் கோட்பாட்டைத் திரவங்களுக்கும் நீட்டிப் பரப்பு இழுவிசையை விளக்கலாம். இது லாப்லாசினால் முதன் முதலில் செய்யப்பட்டது.

ஒரு திரவத்தின் A, B, C, D எனும் நான்கு மூலக்கூறுகளை எடுத்துக்கொள்வோம். படத்தில் அவற்றின் ஆட்சிப்புலங்கள் காட்டப்பட்டுள்ளன. A எனும் மூலக்கூறு திரவத்தின் நடுவிலும். B திரவப்பரப்பிற்குச் சற்று கீழேயும், C திரவப்பரப்பிலும், D திரவப் பரப்பிற்குச் சற்று மேலாகவும் அமைந்துள்ளன,

A யின் ஆட்சிப்புலம் முழுவதும் திரவத்திற்குள்ளிருப்பதால் அது ஆட்சிப்புலத்திற்குள்ளிருக்கும் மற்ற மூலக்கூறுகளால் எல்லாத் திசைகளிலும் சம அளவில் ஈர்க்கப்படுகிறது. எனவே அதில்

எந்த ஒரு குறிப்பிட்ட திசையிலும் தொகுபயன் விசை செயல்படாது. அது சமநிலையில், வெப்பவியல் இயக்க ஆற்றலுடன் இயங்கும்.




படம் 111.

B மூலக்கூறின் ஆட்சிப்புலத்தின் ஒரு சிறு பகுதி திரவப் பரப்பிற்கு வெளியிலிருக்கிறது. அப் பகுதியில் மிகச் சில ஆவி மூலக்கூறுகளே இருக்கும். அதனால் ஆட்சிப்புலத்தின் மேல் பாதியைவிடக் கீழ்ப்பாதியில் அதிக எண்ணிக்கையிலான மூலக்கூறு கள் உள்ளன. அதாவது B யைக் கீழ்நோக்கி இழுக்கக்கூடிய மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை அதிகமாயிருக்கிறது. இதனால் B யின் மேல் கீழ்நோக்கிய ஒரு தொகுபயன் விசை செயல்பட்டு அதைத் திரவத்தின் நடுப்பகுதியை நோக்கி இழுக்கின்றது. இது போன்ற ஒரு மூலக்கூறு திரவப்பரப்பை நெருங்க நெருங்க அதன் மேல் செயல்படும் கீழ்நோக்கிய தொகுபயன் விசை அதிகரித்துக் கொண்டே போய், மூலக்கூறு திரவப்பரப்பில் இருக்கும்போது பெரும மதிப்பை அடைகிறது.

C மூலக்கூறு திரவப் பரப்பிலுள்ளதால் அதன் ஆட்சிப்புலத் தில் சரிபாதி திரவத்திற்கு வெளியிலிருக்கிறது. அதில் திரவத்தின் ஆவியின் சில மூலக்கூறுகள்தானிருக்கும். ஆட்சிப்புலத்தின் கீழ்ப் பாதியில் ஏராளமான மூலக்கூறுகள் உள்ளதால் C யை ஒரு தொகு பயன் இழுவிசை கீழ்நோக்கி இழுக்கிறது. இந்த நிலையில் மூலக் கூறுகளின் மேல் கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் தொகுபயன் விசை பெருமமதிப்புள்ளது. அலகுப் பரப்பின்மேல் செயல்படும் இந்த உள் நோக்கு அல்லது கீழ்நோக்கி யிழுக்கும் விசை, திரவத்தில் உள்ளீட அல்லது ஓரின அழுத்தம் (Internal or Cohesion Pressure) எனப் படும். இதுதான் ஓரின ஈர்ப்புக்குக் காரணமாகும். வான்டர்

வாலின் வாயுச் சமன்பாட்டிலுள்ள $\frac{a}{v^2}$ இதையே குறிக்கிறது.

D மூலக் கூறு திரவத்தைவிட்டு வெளியேறி ஆவியாக இருக்கிறது. அதன் ஆட்சிப் புலத்தில் ஒரு சிறு பகுதிதான் திரவத்தில் உள்ளது. எனவே அதைக் கீழ் நோக்கி இழுக்கும் விசை குறைவானது. அதனுடைய ஆட்சிப்புலமும் திரவத்தைவிட்டு வெளியே சென்றுவிட்டால், அதைக் கீழ் நோக்கி இழுக்கும் விசையே இருக்காது. அதனல் அது விருப்பப்படி திரியக் கூடிய ஆவி மூலக் கூருகிவிடும்.

இவ்வாறு திரவப் பரப்பில் அமைந்துள்ள மூலக் கூறுகளின் மேல் எல்லாம் மூலக்கூறிடை ஈர்ப்பு விசை செயல்பட்டு அவற்றைக் கீழ்நோக்கி இழுக்கிறது என்பதைக் காண்கிறோம்.

6.3. பரப்புப் படலமும் (Surface Film) பரப்பு ஆற்றலும் (Surface Energy) திரவத்தின் புறப்பரப்பிற்கு இணையாகவும், மூலக் கூறு நெடுக்கத்திற்குச் சமமான தொலைவிலும் உள்ள ஒரு தளத்தைக் கற்பனை செய்துகொண்டால், திரவப் பரப்பிற்கும் இந்தத் தளத்திற்கும் இடையிலுள்ள திரவப் படலம், பரப்புப் படலம் எனப்படும். இப் படலத்திலுள்ள எல்லா மூலக்கூறுகளையும் ஒரு தொகுபயன் ஓரின ஈர்ப்பு விசை கீழ் நோக்கி இழுக்கிறது. இதன் மதிப்பு புறப்பரப்பை நெருங்க நெருங்கப் படிப்படியாக அதிகரிக்கும்.

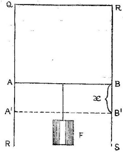
திரவத்தின் உட்பகுதியிலிருந்து ஒரு மூலக்கூறினைப் பரப்புப் படலத்திற்கு எடுத்துவரும்போது, கீழ் நோக்கிய ஓரின ஈர்ப்பு விசையை எதிர்த்து வேலை செய்ய வேண்டியிருக்கிறது. அதனல் அந்த மூலக் கூறின் நிலை ஆற்றல் அதிகரிக்கிறது. எனவே பரப்புப் படலத்திலிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் நிலை ஆற்றல் திரவத்தினுள் இருக்கும் மற்ற மூலக்கூறுகளைவிட அதிகமாயிருக்கிறது.

இருந்தாலும் ஒரு அமைப்பின் நிலையாற்றல் சிறுமமான மதிப்பை அடையவே நாட்டமுள்ளதாயிருப்பதால், அதாவது அமைப்பு தனது நிலையாற்றலைக் கூடிய வரை குறைத்துக்கொள்ளவே முயல்வதால் பரப்புப் படலமும் தனது நிலையாற்றலைக் கூடிய வரை குறைத்துக்கொள்ளவே முயற்சி செய்கிறது. அது மாறக் கூடியதில்லையாதலால், தன்னிடமுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையைக் குறைத்துத் தன் பரப்பைச் சுருக்கிக் கொள்வதன் மூலம் அது தன் நிலையாற்றலின் அளவைக் குறைத்துக்கொள்கிறது. பரப்புப் படலத்தின் அலகுப் பரப்பளவில் உள்ள நிலையாற்றல் அதன் பரப்பு ஆற்றல் (Surface Energy) எனப்படும்.

ஒரு மூலக்கூறினைத் திரவத்தின் புறப்பரப்பிற்குக் கொண்டு வந்தால் அதற்கு இடங்கொடுப்பதற்காக மற்ற மூலக்கூறுகளைப் பிரித்து விலக்கவேண்டியிருக்கிறது. அதற்காக மேற்பரப்பிலுள்ள மூலக்கூறுகளுக்கிடையிலுள்ள ஓரின ஈர்ப்பு விசைகளை எதிர்த்துச் செயல் புரியவேண்டியிருக்கிறது. இதில் மூலக்கூறுகளைப் பரப்பின் தளத்திலேயே நகர்த்த வேண்டியிருப்பதால், கீழ்நோக்கிய ஓரின ஈர்ப்பு விசைகளுக்கு எதிராக வேலை செய்ய வேண்டியதில்லை. இவ்வாறு ஒரு திரவப் பரப்பை அதிகரிக்கும்போது, ரப்பர் படலத்தைப்போல மீள் திறனுள்ள படலத்தின் பரப்பு இழுவிசைக்கு எதிராகவே செயல் புரிய வேண்டியிருக்கிறது.

## 6.4. ஒரு பரப்பிலுள்ள தனி ஆற்றலும், பரப்பு இழுவிசையும் :

PQRS எனும் கம்பியைப் படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல "ப" வடிவில் வளை. AB எனும் கம்பியைச் செவ்வகத்தின் நாலாவது பக்கமாக அமை. இந்த அமைப்பைச் சோப்புக் கரைசலில் முக்கி




படம் 112.

எடுத்தால் QRBA எனும் சோப்புப் படலம் உருவாகிறது. ABக்கு நேர்குத்தாகப் படலத்தின் தளத்தில் செயல்படும் பரப்பு இழுவிசையால் AB கம்பி மேலே இழுக்கப்படும். AB யை அசையாமல் சமநிலையில் வைக்க, அதில் செலுத்தப்படும் மேல் நோக்கு விசைக்குச் சமமான F எனும் விசையைக் கீழ் நோக்கிச் செலுத்த வேண்டும். இதில் AB யின் எடையும் அடங்கும். படலத்தின் பரப்பு இழுவிசை T (படலத்தின் அலகு நீளத்தில் செயல்படும் இழுவிசை), $l$, கம்பி

AB யின் நீளம், எனில் படலத்தின் இரு பக்கங்களும் T எனும் பரப்பு இழுவிசையைச் செலுத்துவதால், AB யின் மேல் செலுத்தப் படும் விசை = $2\ l$T.

AB யை x தொலைவில் கீழேயுள்ள A'B' எனும் நிலைக்கு இழுத்து வைத்தால், படலத்தின் ஒவ்வொரு முகத்தின் பரப்பளவும் $lx$ அதிகரிக்கிறது. இதன்போது செய்யப்பட்ட வேலை = F × 2 $l$Tx.

மூலக்கூறுகளைப் படலத்தின் உட்புறத்திலிருந்து வெளி யிழுத்துத்தான் அதன் புதிய பரப்பு உருவாகும். அப்போது கவர்ச்சி விசைகளை எதிர்த்து அவை வெளிவரும்போது அவற்றின் வெப்ப இயக்கம் (Thermal Motion) தடைபட்டு வெப்பநிலை குறை வதால், படலம் நீட்சியடையும்போது வெப்பத்தை இழந்து குளிர்ச்சியடைகிறது. எனவே படலம் சுற்றுப் புறங்களிலிருந்து வெப்பத்தை உட்கவர்ந்து தனது துவக்க வெப்ப நிலைக்கு மீண்டு வரும். இவ்வாறு பெறப்பட்ட ஆற்றலும், பரப்பை விரிவடையச் செய்யச் செலவான எந்திர ஆற்றலும் சேர்ந்து 2 $lx$ பரப்பளவுள்ள புதுப் படலத்தின் ஆற்றலாகிறது.

பரப்பு ஆற்றல் E, புதிய படலத்தின் அலகுப் பரப்பினுல் சுற்றுப் புறங்களிலிருந்து பெறப்பட்ட ஆற்றல் Q ஏர்குகள் எனில்,

$$E \times 2\ lx = 2\ l Tx + Q.\ 2\ lx$$

அல்லது E = T + Q அல்லது T = E − Q.

∴ பரப்பு இழுவிசை = பரப்பு ஆற்றல் — அலகுப் பரப்பின் வெப்ப ஆற்றல்.

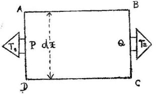
= அலகுப் பரப்பின் நிலையாற்றல்.

= அலகுப் பரப்பளவுள்ள படலத்தை உருவாக்குவதற்குத் தேவையான செயல்.

எனவே ஒரு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை என்பது அதன் படலத்தின் பரப்பளவை அலகு அளவு அதிகரிப்பதற்குத் தேவை யான ஆற்றலாகும். அது திரவப்படலத்தின் பரப்பு ஆற்றலின் எந்திரவியல் பகுதியாகும். அதாவது பரப்பு இழுவிசை திரவப் படலம் அல்லது பரப்பின் தனி ஆற்றலு (Free Energy) க்குச் சமம்.

6.5. பரப்பு இழுவிசை (1) எல்லாப் புள்ளிகளிலும் (2) எல்லாத் திசைகளிலும் சமம் எனக் காட்டுதல்: ஓய்வு நிலையிலிருக்கும் ஒரு திரவப்பரப்பின் மேல், ஒன்றுக்கொன்று அண்மையிலுள்ள P, Q

எனும் இரு புள்ளிகளை எடுத்துக்கொள்வோம். P, Q வை அடக்கிப் படத்தில் காட்டியுள்ளது போன்ற மிக மிக நுண்ணிய dx எனும் அகலமுள்ள ஒரு செவ்வகத்தைக் கற்பனை செய்துகொள். AD, BC




படம். 113

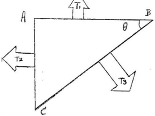
எனும் பக்கங்களின் மேல் அவற்றின் நேர்குத்தாகச் செயல்படும் பரப்பு இழுவிசைகள் முறையே $T_1$, $T_2$ என்க.

திரவப் பரப்பு சமநிலையிலிருக்கும்போது ABக்கு இணையான விசைகளைச் சமன் செய்தால் $T_1\,dx = T_2\,dx$

அல்லது $T_1 = T_2$

இது திரவத்தின் பரப்பிலுள்ள எல்லாப் புள்ளிகளுக்கும் பொருந்தும். எனவே எல்லாப் புள்ளிகளிலும் பரப்பு இழுவிசை சமமாயிருக்கிறது.

(2) திரவத்தின் பரப்புப் படலத்தில் ABC எனும் செங்கோண




படம் 114.

முக்கோணத்தைக் கற்பனை செய்துகொள். AB, AC, BC, ஆகிய

பக்கங்களுக்கு நேர்குத்தாக முறையே $T_1$, $T_2$, $T_3$ ஆகிய பரப்பு இழுவிசைகள் செயல்படட்டும். அப்போது அப் பக்கங்களின்மேல் முறையே $T_1 \cdot AB$, $T_2 \cdot AC$, $T_3 \cdot BC$ ஆகிய விசைகள், பக்கங்களுக்கு நேர்குத்தாகச் செயல்பட்டுக்கொண்டிருக்கும். இவ்விசைகளுக்கு ஆட்பட்டு ABC எனும் முக்கோணம் சமநிலையிலிக்கிறது. எல்லா விசைகளையும் AB-க்கு இணையாகவும், நேர்குத்தாகவும் வகுத்தால்,

$$T_1 \cdot AB = T_3 \cdot BC \cos\theta = T_2 \cdot AB$$

$$T_2 \cdot AC = T_3 \cdot BC \sin\theta \; T_3 \cdot AC$$

$$\therefore \quad T_1 = T_3 \, ; \; T_2 = T_3$$

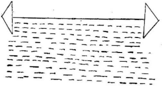
அல்லது $T_1 = T_2 = T_3$

இம்மாதிரி ஒரு முக்கோணத்தை திரவத்தின் பரப்புப் படலத்தின் மேல் எந்தத் திசையிலும் கற்பனை செய்துகொள்ள முடியும். ஆதலால் எல்லாத் திசைகளிலும் பரப்பு இழுவிசை சமமாயிருக்கிறது. மேலும் $T_1 \cdot AB$, $T_2 \cdot AC$, $T_2 \cdot BC$ ஆகிய விசைகள் சமநிலையிலுள்ளன. அவற்றை 90° கோணத்தில் சுழற்றி வைத்தால் அவை ABC எனும் முக்கோணத்தின் பக்கங்களோடு பொருந்தும். எனவே விசைகளின் முக்கோண விதியின்படி,

$$\frac{T_1 \, AB}{AB} = \frac{T_2 \cdot AC}{AC} = \frac{T_3 \cdot BC}{BC}$$

அல்லது $T_1 = T_2 = T_3$

6.6. திரவப் பரப்பிற்கு இரு புறங்களிலுமுள்ள அழுத்தங்களிடையே உள்ள வேறுபாடு — துளிகளும் குமிழ்களும்: திரவப் பரப்புப்

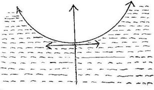


படம் 114-A.

படலத்தில் காட்டியுள்ளதுபோலச் சமதளமாயிருப்பின், அதிலுள்ள ஒரு மூலக்கூறின் மேல், பரப்பு இழுவிசையினல் ஏற்படும் தொகு

பயன் விசை சுழியாகும். எனவே அதிலுள்ள ஓரின அழுத்தம் மிகக் குறைவாயிருக்கும்.

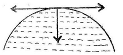
திரவப் பரப்பு குழிவாயிருந்தால், அதிலுள்ள மூலக்கூறின்



படம் 115.

மேல், ஒரு தொகுபயன் விசை மேல்நோக்கிச் செயல்படுகிறது. இதனல் ஓரின அழுத்தம் குறைகிறது.

திரவப் பரப்பு குவிந்திருக்குமானல் அதிலுள்ள மூலக்கூறின்

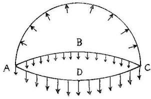


படம் 116.

மேல் கீழ்நோக்கிய ஒரு தொகுபயன் விசை செயல்படுகிறது. இதனல் ஓரின அழுத்தம் குறைகிறது.

ஒரு திரவத் துளியினுள்ளே இருக்கும் உபரி அழுத்தம்: ஒரு திரவத்துளி கோள வடிவாயிருப்பதால் அதன் மேல்பரப்பு குவிந்திருக்கும். எனவே அப் பரப்பின்மேல் உள் நோக்கிய ஒரு தொகுபயன் இழுப்பு விசை செயல்படும். எனவே ஒரு துளியினுள் உள்ள அழுத்தம் அதற்கு வெளியிலுள்ள அழுத்தத்தைவிட அதிகமாயிருக்கும். இந்த உபரி அழுத்தத்தை p என்போம். துளியின் அரைக்கோள வடிவை எடுத்துக்கொண்டு, துளியின்

ஆரம் r, திரவத்தின் இழுப்பு விசை T எனில், துளி சமநிலையில்




படம் 117.

இருக்கையில் ABCD எனும் சமதளப் பரப்பில் செயல்படும் மேல் நோக்கிய அழுக்கு விசை (Thrust) = $p \pi r^2$

அதன் விளிம்புகளில், கீழ்நோக்கிச் செயல்படும் பரப்பு இழுவிசை = $T \times 2 \pi r$.

துளி சமநிலையிலிருக்கையில் $p \pi r^2 = T \times 2 \pi r$

எனவே $p = \dfrac{T \times 2 \pi r}{\pi r^2} = \dfrac{2T}{r}$

ஒரு குமிழியினுள்ளேயிருக்கும் உபரி அழுத்தம் :

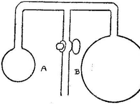
ஒரு திரவத்துளிக்குப் பதிலாக ஒரு குமிழியை எடுத்துக் கொண்டோமானல், அதில் இரு பரப்புகள் உள்ளன என்பதைக் கவனிக்கவேண்டும். ஒரு குமிழி உள் பரப்பு ஒன்றும் வெளிப் பரப்பு ஒன்றும் உள்ள உள்ளீடற்ற கோள அல்லது உருளை வடிவிலுள்ளதாகும். ஒரு கோள வடிவக் குமிழில் பரப்பு இழுவிசையினல் ஏற்படும் விசை = $2 \times 2 \pi r T$

எனவே சமநிலையில் $p \pi r^2 = 2 \times 2 \pi r T$.

அல்லது $p = \dfrac{4T}{r}$

இதிலிருந்து ஒரு துளிக்குள் அல்லது குமிழிக்குள்ளிருக்கும் உபரி அழுத்தம் அதன் ஆரத்திற்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலுள்ளது என்பது விளங்கும். குமிழியின் ஆரம் குறையக் குறைய அதனுள்ளிருக்கும் உபரி அழுத்தம் அதிகமாகிறது. அதாவது சிறிய குமிழிகளுக்குள்ளிருக்கும் அழுத்தம் பெரிய குமிழிகளுக்குள்

இருப்பதைவிட அதிகமாயிருக்கும். இதை ஒரு எளிய சோதனையின் மூலம் நிகழ்த்திக் காட்டலாம். T வடிவிலுள்ள ஒரு குழாயின் இரு முனைகளிலும் வெவ்வேறு அளவுள்ள குமிழிகளை ஊதி உருவாக்கி

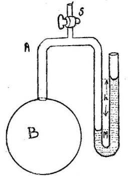



படம் 118.

விட்டு இரண்டிற்குமிடையில் தொடர்பை ஏற்படுத்தினல் சிறிய குமிழிலிருந்து பெரிய குமிழிக்குக் காற்று பாய்வதைக் காணலாம். அதனல் சிறிய குமிழி சுருங்கிக்கொண்டே போய் மற்ற குமிழி பெருத்துக்கொண்டே போகும். ஏனெனில் சிறிய குமிழிக்குள் அழுத்தம் பெரிய குமிழிக்குள்ளிருப்பதைவிட அதிகமாயிருக்கும் என நாம் முன்னர் கண்டோம். சிறிய குமிழ் அரைக்கோள வடிவடையும் வரை இவ்வாறு காற்று மற்றக் குமிழிக்குள் செல்லும். அதற்குப் பிறகும் குமிழி சுருங்குமானுல் அதன் வளைவு ஆரம் அதிகமாகிவிடுமாதலால் அதனுள் அழுத்தம் குறையும். இரு குமிழிகளின் ஆரங்களும் சமமாயிருந்தால் அவை சமநிலையில் இருக்கும்.

ஒரு குமிழியின் பரப்பு இழுவிசையைக் கண்டுபிடித்தல் :

ஒரு குமிழிக்குள் உள்ள உபரி அழுத்தத்திற்கான கோவை, அதன் பரப்பு இழுவிசையைக் கண்டுபிடிக்க உதவுகிறது. AB எனும் செங்குத்தான கண்ணடிக் குழாயை M எனும் ஒரு அழுத்த மானியுடன் இணை. கண்ணடிக் குழாயின் கீழ்முனையை ஒரு திரவத்தில் முக்கி எடுத்தால் அதன் வாயில் ஒரு திரவப் படலம் உருவாகிறது. அதை ஒரு குமிழியாக ஊதிவிட்டு S எனும் அடைப்பானை மூடு. இப்போது அழுத்தமானி காட்டும் அழுத்தத்தைக் கண்டுபிடி. அது hρg க்குச் சமமாகும். இங்கு h என்பது அழுத்தமானியின் திரவ மட்டங்களுக்கிடையிலுள்ள




படம் 119.

வித்தியாசம், d-அழுத்தமானி திரவத்தின் அடர்த்தி g-புவியீர்ப்பு முடுக்கம். hgd குமிழிக்குள்ளிருக்கும். இப்போது $hgd = \frac{4T}{R}$.

எனவே $T = \frac{hg\,dr}{4}$

குமிழியின் ஆரம் r ஒரு நகரும் நுண்ணோக்கியின் உதவியுடன் துல்லியமாகக் கண்டுபிடிக்கப்படும். இந்தச் சோதனையின் துல்லியத்தை அதிகரிக்க வேண்டுமாயின் hgd அதிகமாயிருக்க அதாவது குமிழிக்குள் உள்ள உபரி அழுத்தம் அதிகமாயிருக்க வேண்டும். அதற்குக் குமிழி சிறியதாயிருக்க வேண்டும். அதற்காகச் சிறிய ஆரமுள்ள வாய்களை உடைய குழாய்களைப் பயன்படுத்த வேண்டும்.

ஒரு குமிழை உருவாக்கத் தேவைப்படும் ஆற்றல் :

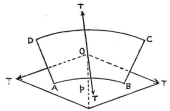
ஒரு குமிழை உருவாக்கத் தேவைப்படும் ஆற்றலைக் கணக்கிடுவதற்காக நாம் அப்போது தோன்றும் வெப்பநிலை வீழ்ச்சியைப் புறக்கணித்து விடுவோம்.

ஒரு படலத்தை உருவாக்கத் தேவைப்படும் செயல் = பரப்பு இழுவிசை × படலத்தின் பரப்பு.

r ஆரமுள்ள குமிழியின் பரப்பு $= 2 \times 4 \pi r^2$

∴ r ஆரமுள்ள குமிழியை உருவாக்கத் தேவைப்படும் ஆற்றல் $= T \times 8 \pi r^2 = 8 \pi r^2 T$

**6.7 பரப்பின் வளைவு (Curvature), அழுத்தம், பரப்பு இழுவிசை இவற்றிற்கிடையிலுள்ள தொடர்பு:** ஒய்வு நிலையிலுள்ள ஒரு

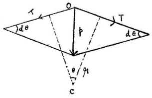



படம் 120.

வளைந்த திரவப் பரப்பை எடுத்துக் கொள்வோம். அதன்மேல் செயல்படும் புறப்பரப்பு இழு விசையினாலான உள் நோக்கிய அழுத்தம், அதனுள் செயல்படும் ஒரு வெளி நோக்கிய அழுத்தத்தினால் ஈடு செய்யப்பட வேண்டும் என்பது வெளிப்படை.

உருளை வடிவான ஒரு திரவப் பரப்பில் ABCD எனும் பகுதியைக் கவனிப்போம். இது ஒரு திசையில் மட்டும் வளைந்திருக்கும். அதன் எல்லையின் ஒவ்வொரு அலகு நீளத்திலும் T எனும் பரப்பு இழுவிசை நேர்குத்தாகச் செயல்படுகிறது. AB, CD ஆகிய பக்கங்களில் செயல்படும் பரப்பு இழுவிசைகள் சமமாயும் எதிர் திசைகளிலும் இருப்பதால் அவை ஒன்றையொன்று ரத்து செய்துகொண்டு விடுகின்றன. ஆனால் AD, BC ஆகிய பக்கங்களிலுள்ள இழு விசைகள் சமமாயிருப்பினும், ஒன்றுக்கொன்று சாய்ந்திருப்பதால், அவற்றின் தொகுபயன் p படத்தில் காட்டியவாறு செயல்படுகிறது,

O எனும் புள்ளியில் DA திசையில் அலகு நீளப்பரப்பை எடுத்துக்கொள்வோம். O வில் படத்தில் காட்டியவாறு T, T எனும் விசைகள் செயல்படுகின்றன. அவற்றின் தொகு பயன் $OP = T.d\,\theta$




படம் 121.

பரப்பின் வளைவு ஆரம் r எனில் O விலுள்ள பரப்பளவு $= 1 \times r\,d\,\theta$.

இப் பரப்பின் மேல் செயல்படும் உள்நோக்கு விசை $= T.d\,\theta$.

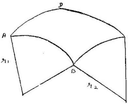
இப் பரப்பின்மேல் வெளி நோக்கி ஒரு தொகுபயன் அழுத்தம் p செயல்படுமாயின் அதன் மேல் செயல்படும் மொத்த வெளி நோக்கு விசை $= p\,r\,d\,\theta$.

இப் பரப்பு சமநிலையிலிருக்க வேண்டுமாயின்

$p\,r\,d\,\theta = T\,d\,\theta$ அல்லது $p = \frac{T}{r}$ டைன்கள் / செ.மீ.$^2$

பரப்பு இழுவிசையின் விளைவை ஈடு செய்யத் தேவைப்படும் இந்தத் தொகுபயன் அழுத்தம், பரப்பின் இரு பக்கங்களிலுமுள்ள அழுத்தங்களுக் கிடையிலுள்ள வித்தியாசத்திற்குச் சமமாகும். இதிலிருந்து பரப்பு இழு விசையை ஈடு செய்வதற்குக் குழிந்த பரப்பில், குவிந்த பரப்பைவிட அதிகமான அழுத்தம் தேவைப் படும் என்பது விளங்கும்.

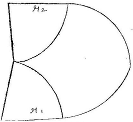
திரவப் பரப்பு படத்தில் காட்டியுள்ளபடி இரு திசைகளிலும் வளைந்திருக்கும்போது அவற்றின் வளைவு ஆரங்கள் $r_1$, $r_2$ எனில்




படம் 122.

AB யின் வளைவால் ஏற்படும் உபரி அழுத்தம் $= \frac{T}{r_1}$; CD யின் வளைவால் ஏற்படும் உபரி அழுத்தம் $= \frac{T}{r_2}$

எனவே பரப்பின் இருபுறங்களிலுமுள்ள அழுத்தங்களுக் கிடையிலுள்ள மொத்த வேறுபாடு $p = \left(\frac{T}{r_1} + \frac{T}{r_2}\right) = T\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$




படம் 123.

இவற்றில் ஒரு பரப்பு குவிந்தும் மற்றது குழிந்தும் இருந்தால் $r_1$, $r_2$ ஆகியவை எதிர் எதிர்க் குறிகளுள்ளவையா யிருக்கும். எனவே இவ்விதமான பரப்பிற்கு

$$p = T\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

பொதுவாக $p = T\left(\frac{1}{r_1} \pm \frac{1}{r_2}\right)$

(1) திரவத்துளி அல்லது திரவத்தினுள் உள்ள காற்றுக் குமிழிபோன்ற கோளப் பரப்புகளுக்கு $r_1 = r_2 = r$. எனவே அதனுள் உள்ள உபரி அழுத்தம் $p = T\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r}\right) = \frac{2T}{r}$

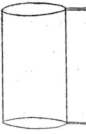
ஒரு சோப்புக் குமிழில் இரு பரப்புகளுள்ளதால்

$$p = 2 \times \frac{2T}{r} = \frac{4T}{r}.$$

(2) ஒரு உருளையான பரப்பை, ஒரு வளைவு ஆரம் எண்ணிலி (Infinite) ஆகவும், மற்றது உருளையின் ஆரத்திற்குச் சமமாயும் இருக்கும். எனவே $p = T/r$.

இரு பரப்புகளுள்ள உருளையான குமிழிக்கு $p = \frac{T}{r}$

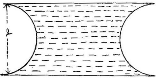
(3) உள்ளீடற்ற குழாய் வடிவான பரப்பிற்கு இருபுறத்திலும் அழுத்த வேறுபாடு இருக்காது. எனவே $\left(\frac{1}{r_1} \pm \frac{1}{r_2}\right) = 0$


படம் 124

இரு ஒரே வட்டமுள்ள கம்பி வளையங்களைச் சேர்த்து வைத்து சோப்புக் கரைசலில் முக்கி எடுத்து வளையங்களைக் கவனமாக விலக்கினால் இத்தகைய உள்ளீடற்ற உருளைக் குமிழி கிடைக்கும். வளையங்களின் குறுக்கேயுள்ள சோப்புப் படலங்களைக் குத்தி உடைத்து விட்டால் உருளைக்குள்ளேயும் வெளியேயும் அழுத்தம் சமமாகி விடும்.

## 6.8 இரு சமதளப் பரப்புகளுக்கிடையில் சிக்கிய திரவப் படலம்:

இரு கண்ணாடித் தகடுகளை ஒன்றின்மேல் ஒன்றாகச் சேர்த்து வைத்துவிட்டுப் பின்னர் அவற்றைப் பிரித்தெடுப்பதில் சிரம



படம் 125.

மேதும் ஏற்படுவதில்லை. ஆனால் அவற்றிற்கிடையில் சிறிதளவு நீரைவிட்டு அமுக்கிவிட்டால், தகடுகளைப் பிரித்தெடுக்கச் சற்று பலமாக இழுக்க வேண்டியிருக்கிறது. இது ஏன் என்று பார்ப்போம்.

இரு தகடுகளுக்கிடையிலுள்ள திரவப் படலத்தின் விளிம்புகள் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது போலக் குழிந்து இருக்கும். திரவப் படலத்தின் தடிமன் 'd' எனில் அதன் விளிம்புகளின் வளைவு ஆரம் ஏறக்குறைய $\frac{d}{2}$ க்குச் சமமாயிருக்கும். படலம் r ஆரமுள்ள வட்டமாக இருப்பதாகக் கொண்டால், திரவப் படலத்திற்குள்ளிருக்கும் அழுத்தம் வளி அழுத்தத்தைவிட $T\left(\frac{1}{r} - \frac{2}{d}\right)$

d-யுடன் ஒப்பிட்டால் r மிகப்பெரியதாகையால் $\frac{1}{r}$ -ஐப் புறக்கணித்துவிடுவோம். எனவே $p = -\frac{2T}{d}$.

அதாவது படலத்திற்குள்ளிருக்கும் அழுத்தம் வளி அழுத்தத்தைவிட $\frac{dT}{d}$ அளவு குறைவானது ஆகும். இதனால் வெளியிலுள்ள அதிகமான அழுத்தம் தட்டுகளை நெருக்கி அழுத்துகிறது. அதனால் d மேலும் குறைந்து, r அதிகரித்து உள்ளிருக்கும் அழுத்தம் இன்னும் குறைகிறது.

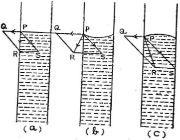
வட்டமான திரவப் படலத்தின் பரப்பளவு A எனில் தகடுகளை அழுத்தும் மொத்த விசை $= \frac{2T}{d} \times A$

$$= \frac{2T}{d} \cdot \pi r^2$$

இந்த அளவுள்ள விசையைத் தகடுகளுக்கு நேர்குத்தாகச் செலுத்தினால்தான் அவற்றைப் பிரித்தெடுக்க முடியும். மேலும் d குறையக் குறைய அதாவது திரவப் படலம் மெலிய மெலியத் தகடுகளைப் பிரித்தெடுக்கத் தேவைப்படும் விசையும் அதிகமாகிறது,

**6.9 நுண்துளைக் குழாயில் திரவத்தின் பிறைத்தளம் :** நீர்போன்ற திரவம் ஒரு நுண்துளைக் குழாயினுள் ஏறினால் அதன் பிறைத்தளம் குழிந்தும், பாதரசம் போன்ற திரவத்தின் பிறைத்தளம் குவிந்தும் இருப்பதை நாமறிவோம். இது ஏன் எனப் பார்ப்போம்.

ஒரு நுண்துளைக் குழாயை ஒரு திரவத்தில் செங்குத்தாக முக்கினால் திரவமட்டம் P யிலிருப்பதாகக் கொள்ளுவோம். கண்ணடியைத் தொட்டுக்கொண்டு P யிலுள்ள ஒரு திரவ மூலக்கூறு, குழாயின்




படம் 126

திண்ம மூலக்கூறினால் வெளிப்புறமாக வேறின ஈர்ப்பு விசையுடன் இழுக்கப்படும். அத் திரவ மூலக்கூறை மற்ற திரவ மூலக்கூறுகள் ஓரின ஈர்ப்பு விசையுடன் உள்நோக்கி இழுக்கும். இதனல் அதன்மேல் ஒரு தொகுபயன் விசை உருவாகிச் செயல்படுகிறது.

வேறின ஈர்ப்பு விசைகளின் தொகுபயன் P யில் குழாய்ச் சுவற்றுக்கு நேர்குத்தாகச் செயல்படும், அதை PQ வினால் குறிக்கலாம். ஓரின ஈர்ப்பு விசைகளின் தொகுபயன் குழாய்ச் சுவற்றுக்கு 45° கோணத்தில் செயல்படுகிறது, இதை PS ஆல் குறிக்கலாம். சாதாரண விசைகளின் இணைகர விதியின்படி இவ்விரு விசைகளின் தொகுபயனைக் கணக்கிடலாம். அது PQ RS எனும் இணைகரத்தின் மூலைவிட்டம் PRr-னால் குறிக்கப்படும். PR-ன் திசை PQ, PS ஆகிய விசைகளின் பரிமாணத்தைப் பொறுத்திருக்கும்.

$PS = \sqrt{2}\ PQ$ எனில், தொகுபயன் PR முதல் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது போலச் செங்குத்தாயிருக்கும்.

$PS < \sqrt{2}\ PQ$ எனில் PR இரண்டாம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளதுபோலக் குழாய்க்கு வெளியிலிருக்கும்.

$PS > \sqrt{2}\ PQ$ எனில் PR மூன்றும் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளதுபோலக் குழாய்க்குள்ளிருக்கும்.

P-யைப் போலவே திரவத்தின் எல்லா மூலக்கூறுகளும் ஈர்க்கப்படுவதால், அதன் பரப்பு முழுவதும் தொகுபயன் விசைக்கு நேர்குத்தாகத் திருப்பப்பட்டு, திரவப் பரப்பு சமநிலையையடையும்.

இவ்வாறு முதல் படத்தில், தொகுபயன் PR செங்குத்தாகச் செயல்படுகையில், ஓரின ஈர்ப்பு விசை வேறின ஈர்ப்பு விசையைப் போல $\sqrt{2}$ மடங்கு இருக்கும்போது திரவ மட்டம் உயரவோ தாழவோ செய்யாமல் சமதளமாயிருக்கிறது.

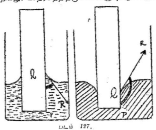
இரண்டாவது படத்தில் தொகுபயன் PR, திரவத்திற்கு வெளியிலிருக்கும்போது அதாவது ஓரின ஈர்ப்பு விசை வேறின ஈர்ப்பு விசையைப்போல $\sqrt{2}$ மடங்குக்குக் குறைவாயிருக்கும்போது குழாய்ச்சுவருக்கு அருகிலுள்ள மூலக்கூறுகள் மேலே இழுக்கப்படுவதால் திரவப்பரப்பு குழிந்துவிடுகிறது. நீர் போன்ற கண்ணாடியை நனைக்கும் திரவங்களில் இது நேர்கிறது.

மூன்றுவது படத்தில் தொகுபயன் PR, திரவத்திற்குள்ளிருக்கும்போது அதாவது ஓரின ஈர்ப்புவிசை வேறின ஈர்ப்பு விசையைப் போல $\sqrt{2}$ மடங்குக்கு அதிகமாயிருக்கும்போது சுவருக்கு அருகிலுள்ள மூலக்கூறுகள் உள்ளிழுக்கப்பட்டுத் திரவமட்டம் குவிந்துவிடுகிறது. பாதரசம் போன்ற கண்ணாடியில் ஒட்டாத திரவங்களில் இதுபோல நேர்கிறது.

### 6.10. சேர்கோணம் (Angle of Contact):

1. திரவம் திடப்பொருளுடன் கூடியிருக்கும்போது, திடப் பொருளைத் தொட்டுக்கொண்டுள்ள தளம் வளைந்திருக்கிறது. திரவத்திற்குள்ளிருக்கும் திடப் பரப்பிற்கும், திரவப் பரப்பிற்கு வரையப்படும் தொடு கோட்டிற்கும் இடையிலுள்ள கோணம் அத் திடப் பொருளுக்கும் திரவத்திற்குமான சேர் கோணம் எனப்படும்.

சேர் கோணத்தின் மதிப்பு சுழியிலிருந்து 180° வரை எந்த அளவிலும் இருக்கலாம். பெரும்பாலான திரவங்களுக்கு அது 90° யைவிடச் சிறியது. பாதரசத்திற்கும் கண்ணாடிக்கும் அது 140° க்குச்



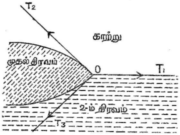

படம் 127.

சமம். சேர்கோணம் திரவத்தின் தன்மையையும் திடப்பொருளின் தன்மையையும் பொறுத்திருக்கும். திடப்பரப்பு சாய்ந்திருந்தாலும் அது மாறுது.

படத்தில் காட்டியபடி ஒரு பரப்பு திரவத்தினுள் இருக்கும் போது PQR என்பது சேர்கோணமாகும். முதல் படத்தில் திரவம் திடப்பொருளின் பரப்பில் சிறிது ஏறி நிற்பதால், திரவப் பரப்பிற்கு வரையப்படும் QR எனும் தொடுகோட்டிற்கும், திரவத்திற்குள் ளிருக்கும் QP எனும் திடப்பரப்பிற்கும் இடையிலுள்ள சேர்கோணம் குறுங்கோணமாயுள்ளது. இரண்டாவது படத்தில் திரவம், திடப் பொருளைத் தொடும் இடத்தில் இறக்கமடைந்துள்ளது. எனவே QR க்கும், PQ க்கும் இடையிலுள்ள கோணம் விரி கோண மாயுள்ளது.

தூய நீருக்கும் சுத்தமான கண்ணாடித் தகட்டிற்கும் சேர் கோணம் சுழியாகும். கண்ணாடித்தகடு எண்ணெய்ப் பசையால் களங்கப்பட்டிருக்குமானல் சேர்கோணம் 35° வரையிருக்கும்.

காற்றில் ஒரு திரவப் பரப்பின்மேல் இன்னொரு திரவம் மிதத்தல்: ஒன்றோடொன்று கலக்காத இரு திரவங்கள் O வில் சந்திக்கட்டும். இரு திரவப்பரப்புகளும் காற்றுடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளன வாகையால் மூன்று பரப்பு இழுவிசைகள் O வில் செயல்படு

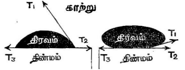



படம் 128

கின்றன — காற்றுக்கும் முதல் திரவத்திற்கும் இடையிலுள்ள பரப்பில் $T_1$ எனும் பரப்பு இழுவிசை, காற்றுக்கும் இரண்டாவது திரவத்திற்கும் இடையிலுள்ள பரப்பில் $T_2$ எனும் பரப்பு இழுவிசை முதல் திரவத்திற்கும் இடையிலுள்ள பரப்பில் $T_3$ எனும் பரப்பு இழுவிசை ஆகியவை இவ்வாறு செயல்படுகின்றன.

சமநிலை ஏற்படுவதற்கு இம் மூன்று இழுவிசைகளும் ஒரு முக்கோணத்தின் வரிசையாக எடுக்கப்பட்ட மூன்று பக்கங்களால் குறிக்கப்படக் கூடியவையாயிருக்க வேண்டும். இந்த விசைகளின் முக்கோணம் நியூமன் முக்கோணம் (Newman's Triangle) எனப் படும். நடைமுறையில் இத்தகைய முக்கோணத்தை உருவாக்கக் கூடிய அளவு தூயதான இரு திரவங்கள் கிடைப்பதில்லை. எப்போ தும் ஒரு பரப்பு இழுவிசை மற்ற இரண்டையும்விட அதிகமாகவே யிருப்பதால், சமநிலைக்கான நிபந்தனை பூர்த்தி செய்யப்படுவதே யில்லை. உதாரணமாகப் பாதரசத்தின் மேல் நீரைவிட்டால் அது பாதரசப்பரப்பு முழுவதும் பரவி விடுகிறது. ஏனெனில் பாதரசத் தின் பரப்பு இழுவிசை 550 டைன்கள்/செ.மீ., ஆனல் நீரின் பரப்பு இழுவிசை 75 டைன்கள்/செ.மீ., தான். பாதரசப் பரப்பைச் சிறிது எண்ணெயால் அசுத்தப்படுத்தினால் சிறிது நீர் அதன் மேல் தங்கி நியூமனின் முக்கோணத்தை உருவாக்கும் வாய்ப்பு ஏற்படலாம்.

காற்றில் திடப்பரப்பின்மேல் திரவம் இருத்தல் : இதிலும் காற்று திரவத்திற்கான பரப்பு இழுவிசை $T_1$, காற்று — திண்மத்திற்கான




படம் 129.

இழுவிசை $T_2$, திண்மம் — திரவத்திற்கான பரப்பு இழுவிசை $T_3$ ஆகிய மூன்று பரப்பு இழுவிசைகளைக் கவனிக்க வேண்டும்.

திண்மத்திற்கும் திரவத்திற்குமான சேர்கோணம் θ (முதல் படத்தில் குறுங்கோணம், இரண்டாவது படத்தில் விரிகோணம்) எனில் சமநிலை ஏற்பட $T_3$ யும், $T_3$ யின் திசையில் $T_1$ ன் ஆக்கக் கூருன $T_1 \cos\theta$-வும் சேர்ந்து $T_2$-வை ஈடு செய்ய வேண்டும். அதாவது $T_3 + T_2$, $\cos\theta - T_2$

$$\text{அல்லது } T_1 \cos\theta = T_2 - T_3$$

$$\text{அல்லது } \cos\theta = \frac{T_2 - T_3}{T_1}$$

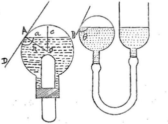
ஆகவே $T_2 > T_3$ எனில் $\cos\theta$ நேரினமாயிருக்கும். அதாவது $\theta < 90^\circ$, அதாவது θ குறுங்கோணமாகும் $T_2 < T_3$ எனில் $\cos\theta$ எதிரினமானது. அதாவது θ, 90° க்கும் 180° க்கும் இடையி லிருக்கும். அதாவது θ விரிகோணமாயிருக்கும்.

$T_2 > T_1 + T_2$ எனில் சமநிலை ஏற்படாது. எனவே திரவம் திண்மப் பரப்பின் மேல் பரவிவிடும். தூய கண்ணாடித்தகட்டின் மேல் நீரை விட்டால் அதுபோல நேர்கிறது.

சேர்கோணத்தை அளத்தல் : பாதரசம்—கண்ணாடிக்குச் சேர் கோணத்தை கேலூசாக் உருவாக்கிய பின்வரும் முறையில் கண்டு பிடிக்கலாம்.

ஒரு சிறிய உருண்டையான கண்ணாடிக்குடுவையில் முக்கால் பங்கிற்குமேல் பாதரசத்தை நிரப்பி அதில் ஒரு ஒற்றைத்துளை

யுள்ள ரப்பர்த்தக்கையை இறுக்கமாகப் பொருத்து. தக்கையிலுள்ள துளையில் ஒரு கண்ணுடித்தண்டைச் செருகிவிட்டால் அதை மேலும் கீழும் நகர்த்திப் பாதரச மட்டத்தை உயர்த்தவோ தாழ்த்




படம் 130.

தவோ செய்யலாம். குடுவையைத் தலைகீழாக ஒருதாங்கியில் பொருத்து. கண்ணுடித்தண்டை மேலும் கீழுமாக நகர்த்திப் பாதரச மட்டம் கண்ணுடியைச் சந்திக்குமிடத்தில் வளைவு இல்லாமல் சமதளமாக இருக்குமாறு சரிப்படுத்து. இதைச் சோதித்தறியப் பாதரச மட்டத்திற்கு எதிராக ஓர் அச்செழுத்துள்ள காகிதத்தை பிடி. எழுத்துகள் கோணுமல் சரியாகத் தெரிந்தால், பாதரச மட்டம் வளையாமல் சமதளமாக இருப்பதாகப் பொருள்.

குடுவையிலுள்ள பாதரச மட்டம் A B விட்டமுள்ள ஒரு வட்டமான பரப்பாயிருக்கும். ஒரு காலிப்பரின் உதவியுடன் அதன் விட்டத்தை அளந்துகொள். அதன் ஆரம் A C யைக் கணக்கிடு. குடுவையின் ஆரம் r, $\angle BAO = \alpha$ எனில் $\cos \alpha = \frac{AC}{r}$ அல்லது $\alpha = \cos^{-1} \frac{AC}{r}$.

A யில் AD எனும் தொடு கோட்டை வரைந்தால் $\angle BAD$ என்பது பாதரசம்—கண்ணுடிக்கான சேர் கோணமாகும். அதாவது $\theta = \angle BAD = \angle BAO + \angle OAD$

$$= (\alpha + 90^\circ)$$

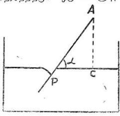
$\alpha$-வைக் கண்டு பிடித்துக்கொண்டு அதிலிருந்து சேர்கோண ($\theta$) த்தைத் கணக்கிட்டு விடலாம்.

இக் கருவியைப் போலவே, இரு புறமும் திறப்புள்ள உருண்டையான குடுவையையும் படத்தில் காட்டியபடி பயன்படுத்திச் சேர்கோணத்தைக் கண்டுபிடிக்கலாம், R எனும் தேக்கிக்குழாயை (Reservoir) ச் சரிப்படுத்திப் பாதரச மட்டம் சமதளமாயிருக்கும்படி செய்து மேலே கண்ட முறையிலேயே சேர்கோணத்தைக் கணக்கிட வேண்டும்.

இன்னொரு முறையில் பாதரசத்திற்குள் ஒரு கண்ணாடித் தகட்டை வைத்துப் படத்தில் காட்டியவாறு பாதரச மட்டம் P யில் சமதளமாயிருக்கும்படி செய்யப்படும். ஒரு குண்டு நூலின் உதவியுடன் AC எனும் தொலைவை அளந்து கொண்டால் $\text{Tan}\,\alpha = \frac{AO}{PC}$

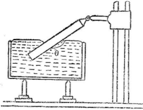
அல்லது $\alpha = \text{Tan} - 1\,\frac{AC}{PC}$

$\theta = (180 - \alpha)$ எனும் தொடர்பைப் பயன்படுத்தி சேர்கோணம் $\theta$ கணக்கிடப்படும்.



படம் 131.

இதே முறையில் நீருக்கும் மெழுகு பூசப்பட்ட கண்ணாடித் தகட்டிற்கும் உள்ள சேர்கோணம் ஆடம் (Adam) என்பவரால்



படம் 132.

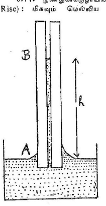
கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. உட்பரப்பில் முழுவதும் மெழுகு பூசப்பட்ட ஒரு கண்ணாடித்தொட்டியில் நீரை நிரப்பு. தொட்டியின்விளிம்பிற்குச் சற்று மேலே வரை நீரை நிரப்பமுடியும். தொட்டியின் அடியி

லுள்ள மட்டப்படுத்தும் திருகுகளின் உதவியுடன் அதன் விளிம்புகள் கிடைத்தளத்தில் வைக்கப்படும். நீரின் மேற் பரப்பிலுள்ள அசுத்தங்களை ஒரு மெழுகு பூசப்பட்ட கண்ணடித் தகட்டினுல் பெருக்கி எடுத்துவிடலாம்.

ஒரு மெழுகு பூசப்பட்ட கண்ணடித்தகடு படத்தில் காட்டியுள்ளபடி மேலும் கீழும் இயக்கப்படக்கூடிய வகையில் ஒரு தாங்கியில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். அதை நீரில் முக்கி அதைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கிற நீர்ப்பரப்பு சமதளமாயிருக்கும்படி அதன் சாய்வு சரிப்படுத்தப்பட்டது. மேலே கண்ட முறையில் செய்தது போலவே இதிலும் சேர்கோணம் கண்டுபிடிக்கப்படும்.

இம்முறையில் கண்ணடித் தகட்டை மேலே உயர்த்திச் சரிப்படுத்தும்போது சேர்கோணம் ஒரு மதிப்புள்ளதாயும் இறக்கிச் சரிப்படுத்தும்போது சற்று வேறுபட்ட மதிப்புள்ளதாகவும் இருக்கிறது. எனவே இரு மதிப்புகளின் சராசரியே சேர்கோணமாக எடுத்துக்கொள்ளப்படும்.

**6.11. நுண்துளைக்குழாயில் திரவங்களின் ஏற்றம் (Capillary Rise):** மிகவும் மெல்லிய துளையுள்ள ஒரு குழாயை ஒரு திரவத்தில் செங்குத்தாக முக்கினல், சிறிதளவு திரவம் துளையினுள் ஏறி நிற்கிறது. இது பரப்பு இழுவிசையினுல் ஏற்படும் விளைவாகும். இதன் காரணமாகப் பரப்பு இழுவிசை நுண்புழைப் பண்பு (Capillarity எனவும் அழைக்கப்படுகிறது.



படம் 133.

கண்ணடியுடன் $0^\circ$ சேர்கோணமுள்ளதும், குழாயுடன் ஒட்டக்கூடியதுமான நீர் போன்ற திரவத்தில் நுண்துளைக் குழாயைச் செங்குத்தாக முக்கினல் உடனே திரவம் B வரை ஏறி நிற்கிறது. குழாயின் துளையின் ஆரம் சிறியதாயிருப்பின் திரவத்தின் பிறைத்தளம் குழிந்து அரைக்கோள வடிவில் இருக்கும்.

Bயில் குழாயின் ஆரம் r எனில் பிறைத்தளத்தின் வளைவு ஆரமும் ஏறக்குறைய r சமமாயிருக்கும்.

பிறைத்தளத்திற்கு மேலேயும் அதன் கீழேயுமுள்ள அழுத்தங்களிடையேயுள்ள வேறுபாடு = $\frac{2T}{r}$. அதாவது பிறைத்தளத்திற் கடியிலுள்ள அழுத்தம் வெளியிலுள்ள வளியழுத்தத்தைவிட $\frac{2T}{r}$ குறைவாயிருக்கும். குழாய்க்கு வெளியிலுள்ள திரவப் பரப்பின் மேல் வளியழுத்தம் செயல்படுவதால் அது உந்த அழுத்தக் குறைவை ஈடுகட்டும் அளவிற்கு அழுத்தமுள்ள ஒரு திரவத் தம்பத்தைக் குழாய்க்குள் ஏற்றி நிறுத்துகிறது.

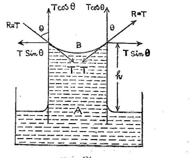
இவ்வாறு ஏறி நிற்கும் திரவத் தம்பத்தின் உயரம் h எனில் திரவத் தம்பத்தினால் ஏற்படும் அழுத்தம் = $h\rho g$. இதில் $\rho$ திரவத்தின் அடர்த்தியைக் குறிக்கிறது.

எனவே $h\rho g = \frac{2T}{r}$

அல்லது பரப்பு இழுவிசை $T = \frac{rh\rho g}{2}$

r, h, $\rho$, g ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் தெரிந்தால் பரப்பு இழுவிசை T யைக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

மேற்கண்ட முறையில் நாம் சேர்கோணத்தின் மதிப்பு சுழி எனக் கொண்டிருக்கிறோம். அவ்வாறில்லாவிட்டாலும், குழாயின் துளை சிறியதாயில்லாவிட்டாலும் திரவம் குழாய்ச் சுவற்றுடன் θ




படம் 134.

சேர்கோணத்தில் சாய்ந்து தொட்டுக் கொண்டிருக்கும். சுவரைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கிற ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் பரப்பு இழு விசை திரவப் பரப்பிற்குத் தொடுகோட்டுத் திசையில் உள்நோக்கிச் செயல்படும். இவ்வாறு இப்புள்ளிகளில் கண்ணுடியின் மேல் ஒரு உள்நோக்கு விசை (T) செயல்பட்டுக் கொண்டிருக்கும். கண்ணுடியும் சமமான ஒரு எதிர்விசை (R) யைத் திரவத்தின்மேல் செலுத்தும். இந்த எதிர்விசையினை ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்துத்திசைகளிலுள்ள ஆக்கக் கூறுகளாக-செங்குத்தாக மேல்நோக்கிய திசையில் $R \cos\theta = T \cos\theta$/செ.மீ., எனவும், கிடைத்திசையில் வெளி நோக்கி $R \sin\theta = T \sin\theta$ / செ.மீ. எனவும் பிரிக்கலாம். முழுப் பிறைத்தளத்தையும் கவனித்தால் கிடைத்திசையிலுள்ள ஆக்கக் கூறுகள் ஒன்றையொன்று ரத்து செய்துகொண்டுவிடுவது புலப் படும். மேல்நோக்கிய விசைகளே செயல்பட்டு, ஒரு கூட்டல் தொகு பயன் விளைவை ஏற்படுத்துகின்றன.

பிறைத்தளத்தில் குழாயின் ஆரம் r எனில் பிறைத்தளம் $2\pi r$ நீளத்திற்குக் குழாயைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கிறது. எனவே திரவத்தில் செயல்படும் மேல் நோக்கிய விசையின் மொத்த மதிப்பு $= 2\pi r\, T \cos\theta$. இந்த விசை h உயரமுள்ள திரவத் தம்பத்தைத் தாங்குகிறது. இந்த உயரம் குழாய்க்கு வெளியிலுள்ள திரவ மட்டத்திலிருந்து, பிறைத்தளத்தின் அடிப்பரப்பு வரையிலுள்ள தொலைவாக அளக்கப்படும். திரவத்தம்பத்தின் எடை = h உயரமும், r ஆரமும் உள்ள திரவ உருளையின் எடை + பிறைத்தளத்தி லுள்ள v பருமமுள்ள திரவத்தின் எடை.

$$\therefore\quad 2\pi r\, T \cos\theta = (\pi r^2 h + v)\,\rho g$$

இங்கு ρ என்பது திரவத்தின் அடர்த்தியைக் குறிக்கிறது.

$$\text{எனவே } T = \left(\frac{\pi r^2 h + v}{2\pi r \cos\theta}\right)\rho g$$

$\pi r^2 h$ உடன் ஒப்பிடுகையில் v அற்பமானதாயிருப்பின் அதைப் புறக்கணித்து விடலாம்,

$$\text{அப்போது } T = \frac{\pi r^2 h \rho g}{2\pi r \cos\theta} = \frac{h r \rho g}{2 \cos\theta}$$

இது ஜூரினின் (Jurin's) சமன்பாடு எனப்படும்.

குழாய் திரவத்தில் செங்குத்தாயில்லாமல், ஒரு கோணத்தில் சாய்ந்திருந்தால், பிறைத்தளத்தின் செங்குத்து உயரம் திரவ மட்டத்திலிருந்து அளக்கப்பட்டு, திரவத்தம்பத்தின் உயரம் h ஆகக் கொள்ளப்படும்.

v யின் மதிப்பு விலக்க முடியாத அளவிற்குக் கணிசமாக இருந்தால், பிறைத்தளத்தை r ஆரமுள்ள அரைக்கோளமாகக் கருதி v யின் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

பிறைத்தளத்திலுள்ள திரவத்தின் பருமம் = r ஆரமும் r நீளமும் உள்ள ஒரு உருளையின் பருமம் − r ஆரமுள்ள ஒரு அரைக்கோளத்தின் பருமம்.

அதாவது $v = \pi r^2 . r - \frac{2}{3}\pi r^3 = \frac{1}{3}\pi r^3$

எனவே $2\pi r T \cos\theta = (\pi r^2 h + \frac{1}{3}\pi r^3)\rho g$

$$= \pi r^2 (h + \tfrac{1}{3} r)\rho g$$

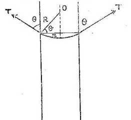
அல்லது $T = \dfrac{\pi r^2 (h + \frac{1}{3} r)\rho g}{2\pi r \cos\theta}$

$\theta = 0$ எனில் $\cos\theta = 1$; எனவே $T = \dfrac{r(h + \frac{1}{3} r)\rho g}{2}$

θ - ஆனது 90° யைவிட அதிகமாயிருந்தால் cos θ எதிரினமாயிருக்கும். ஆதலால் அத்தகைய ஒரு திரவத்திற்குக் குழாயினுள் உள்ள திரவமட்டம், வெளியிலுள்ளதைவிடத் தாழ்ந்திருக்கும். அதாவது h எதிரின மதிப்புள்ளதாயிருக்கும். இதனுல்தான் பாதரச ($\theta = 140$) த்தில் ஒரு நுண்துளைக்குழாயைச் செங்குத்தாய் நிறுத்தினுல் அதில் நுண்துளை இறக்கம் (Capillary Depression) ஏற்படுகிறது. இதனுலேயே பாதரசத்தை ஒரு மெல்லிய நுண்துளைக்குள் நுழைப்பது சிரமமாயிருக்கிறது.

நுண்துளையில் பாரபின் மெழுகு பூசப்பட்ட குழாயை நீரில் முக்கினுல் θ, 90° யைவிட அதிகமாகிவிடுவதால் அதனுள்ளும் திரவமட்டம் வெளியிலிருப்பதைவிடத் தாழ்ந்திருக்கும்.

தேவைக்குக் குறைவான நீளமுள்ள நுண்துளைக் குழாயினுள் திரவத்தின் ஏற்றம்: ஒரு நுண்துளைக் குழாயை ஒரு திரவத்தினுள் செங்குத்தாக முக்கினுல் பரப்பு இழுவிசையினுல் ஏற்படும் விசையைத் தன் எடை சமன் செய்யும் அளவிற்கு உயரமுள்ள ஒரு திரவத்தம்பம் குழாயினுள் ஏறி நிற்கிறது எனக் கண்டோம். குழாய்க்கும் திரவத்திற்குமான சேர்கோணம் θ, திரவப் பிறைத்தலத்தின் ஆரம் R, குழாயின் ஆரம் r, எனில் $r = R\cos\theta$.




படம் 135

h உயரத்திற்குத் திரவம் ஏறி நின்றால் $T = \frac{R \cos h \rho g}{2 \cos \theta}$

$$= \frac{R h \rho g}{2}$$

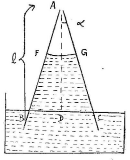
எனவே $Rh = \frac{2T}{\rho g}$ = ஒரு மாறிலி.

குழாய், போதுமான நீளமுள்ளதாய் இருந்தால் மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் h மட்டும் தக்கபடி மாறி, T க்கான தொடர்பை நிறைவு செய்யும். ஆனால் குழாய் சிறியதாயிருந்து, கணக்கிடப் பட்ட h-ன் அளவைவிடக் குறைந்த நீள ($l$) முள்ளதாயிருந்தால் மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் R மட்டுமே மாறக்கூடியதாகிவிடும். ஏனெனில் $h = l$ எனும் உயரத்தில் மாறாமல் இருந்துவிடுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட திரவத்திற்கும் குழாய்க்கும் θ ஒரு மாறிலியாகும். எனவே திரவம் குழாயின் மேல்பரப்பில் சுவர்களின் மேல்பரவி, புதிதான R′ எனும் வளைவாரம் கொண்ட பிறைத்தளமுள்ளதாகி விடும்.

அப்போது $R'l = \frac{2T}{\rho g}$

அல்லது $R'l = Rh$ ஒரு மாறிலி.

**கூம்பு வடிவ நுண்துளையுள்ள குழாயினுள் திரவத்தின் ஏற்றம்:** கூம்பு வடிவமான நுண்துளையுள்ளதும் உச்சியில் திறந்ததுமான




படம் 136.

A B C எனும் குழாயை எடுத்துக்கொண்டு, அதை நீர் போன்ற, குழாயுடன் ஒட்டக்கூடிய திரவத்தில் முக்கினால், திரவம் h எனும் உயரத்திற்கு ஏறி நிற்பதாகக் கொள்வோம்.

அப்போது $h = \frac{2\,T\cos\alpha}{R\,\rho g}$ ..............................(1)

இதில் $\alpha$ என்பது கூம்புக்குழாயின் அரைக்குத்துக்கோணம் (Semi-vertical Angle), R என்பது F G எனும் பிறைத்தளத்தில் குழாயின் ஆரம்.

திரவ மட்டத்திலிருந்து குழாயின் உச்சியின் உயரம் AD, $= l$.. திரவமட்டத் (BC) தில் குழாயின் ஆரம் r என்க.

AEF, ADB எனும் செங்கோண முக்கோணங்கள் வடிவொத்தவை. எனவே $\frac{FE}{BD} = \frac{AE}{AD}$

அதாவது $\frac{R}{r} = \frac{l-h}{l}$

எனவே $R = \left(\frac{l-h}{l}\right) r.$

(1)ஆம் சமன்பாட்டில் இந்த R-ன் மதிப்பைப பதிலீடு செய்தால்,

$$h = \frac{2\,l\,T\cos\alpha}{(l-h)\,r\,\rho\,g}$$

எனவே $h\,(l-h) = \frac{2\,l\,T\cos\alpha}{r\,\rho\,g}$

அல்லது $h^2 - h\,l + \frac{2\,l\,T\cos\alpha}{r\,\rho\,g} = 0$

எனவே $h = \frac{+\,l \pm \sqrt{l^2 - 4 \times \frac{2\,l\,T\cos\alpha}{r\,\rho\,g}}}{2}$

$$= \frac{l}{2} \pm \sqrt{\frac{l^2}{4} - \frac{2\,l\,T\cos\alpha}{r\,\rho\,g}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

இதிலிருந்து குழாயில் திரவம் ஏறி நிற்கும் உயரமான h-ன் மதிப்பை எளிதாகக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

குழாயின் துளை மிக லேசாகக் கூம்பிலிருந்தால் அதாவது கூம்பின் குத்துக்கோணம் மிகச் சிறியதாயிருந்தால் $\alpha$ கிட்டத்தட்ட சுழிக்குச் சமம். எனவே $\cos \alpha = 1$

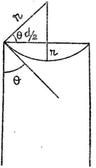
$$\text{எனவே } h = \frac{l}{2} \pm \left( \frac{l^2}{4} - \frac{2\,l\,T}{r\,\rho\,g} \right)^{\frac{1}{2}}$$

இதில் எதிரினக்குறி வழக்கமாகக் குறிக்கப்படுவதில்லை.

இத்தகைய ஒரு குழாயில் பிறைத்தளத்தருகிலுள்ள குழாயின் ஆரமும் (R), திரவ மட்டத்திலுள்ள குழாயின் ஆரத்திற்கு (r)ச் சமமாகவிருக்கும். இப்போது குழாய் முழுவதும் திரவத்தால் நிரம்பியிருக்கையில் $h = l$. அப்போது T யின் சிறும மதிப்பு $r\,\rho\,g / 2\,l$ எனும் அளவைவிட அதிகமாயிருக்க வேண்டும்.

நெருங்கிய, இணையான, இரு செங்குத்துத் தகடுகளுக்கிடையில் திரவத்தின் ஏற்றம்: இரு கண்ணாடித் தகடுகளை ஒன்றுக்கொன்று நெருக்கமாகவும், இணையாகவும் செங்குத்தாகவும் கண்ணாடியுடன் ஒட்டக்கூடிய திரவத்தில் வைத்தால் திரவம் நுண்துளைக் குழாயில் போலவே ஏறி நிற்கிறது. இவ்வாறு திரவம் ஏறி நிற்கும் உயரத்தைக் கணக்கிடுவோம்.

சேர்கோணம் θ, தகடுகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு d உருளை வடிவப் பிறைத்தளத்தின் ஆரம் r எனில், $\frac{d}{2} = r \cos \theta$



படம் 147.

$$\text{அல்லது } r = \frac{d}{2 \cos \alpha}$$

பிறைத்தளத்திற்கு அடியிலுளள் அழுத்தம் மேலேயுள்ள வளியழுத்தத்தைவிட

$$T \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} \right)$$

அளவிற்குக் குறைவாயிருக்கும் என முன்னர் கண்டோம். இதில் $r$, $r_1$ ஆகியவை ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தான இரு திசைகளில் பரப்பின் வளைவு ஆரங்களாகும். பிறைத்தளம் உருளை வடிவமானதால் இவற்றில் ஒரு வளைவு ஆரம் அந்த உருளையின் ஆரத்திற்குச் சமமாகவும், மற்ற வளைவு ஆரம் எண்ணிலிக்குச் சமமாகவும் இருக்கும்.

அதாவது பிறைத்தளத்திற்கு மேலேயுள்ள உபரி அழுத்தம் $= \frac{T}{r}$

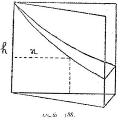
இதில் r-ன் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்தால் இந்த உபரி அழுத்தம் $= \frac{T}{d/2\cos\theta} = \frac{2T\cos\theta}{d}$

எனவே திரவத் தம்பத்தின் எடை, இந்த உபரியழுத்தத்தை ஈடு செய்யும் அளவிற்குத் திரவம் தகடுகளுக்கு நடுவிலுள்ள இடைவெளியில் ஏறும்.

திரவத் தம்பத்தின் உயரம் h, திரவத்தின் அடர்த்தி ρ எனில்

$$\frac{2T\cos\theta}{d} = h\rho g \text{ அல்லது } h = \frac{2T\cos\theta}{d\rho g}$$

இதிலிருந்து h, d க்குத் தலைகீழ் விகிதத்திலிருப்பது விளங்கும். அதாவது தகடுகளுக்கு நடுவிலுள்ள இடைவெளி குறையக் குறைய திரவம் அதிகமான உயரத்திற்கு ஏறி நிற்கும்.



படம் 138.

இரு தகடுகளும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இல்லாமல் ஒரு கோணத்தில் திரும்பி பொது விளிம்பான ஒரு செங்குத்துக் கோட்டினில் சேர்ந்திருக்குமானால் அவற்றுக்கிடையில் திரவத்தின் ஏற்றம் சீராக இருக்காது. தகடுகளுக்கிடையிலுள்ள தொலைவு d பொது விளிம்பிலிருந்து தொலைவு (x) க்கு நேர்விகிதத்தில் மாறும். திரவத் தம்பத்தின் உயரம் $h \propto \frac{1}{d}$ ஆதலால் $h \propto \frac{1}{x}$

மேலே கண்டபடி $hd = 2T\cos\theta / \rho g$ = ஒரு மாறிலி.

எனவே h x-ன் மதிப்பும் ஒரு மாறிலியாகும். இரு தகடுகளுக்கு இடையிலுள்ள திரவ மட்டம் ஒரு செவ்வக அதிபரவளைய (Rectangular hyperbola) உருவிலிருக்கும்.

ஒரு கிடைத் தளத்திலுள்ள தகட்டின் மேலுள்ள திரவத்துளியின் **உயரம்:** கிடையாக வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு தட்டின் மேலுள்ள ஒரு திரவத் துளியின் மேல் இருவிதமான விசைகள் - புவியீர்ப்பு விசையும், பரப்பு இழுவிசையும் — செயல்படுகின்றன. புவியீர்ப்பு விசை துளியின் புவியீர்ப்பு மையத்தைக் கூடியவரை தாழ்த்தித் துளியின் உயரத்தைக் குறைத்து அதைத் தட்டையாக்கித் தகட்டின்மேல் பரவச் செய்யும், பரப்பு இழுவிசை திரவத்தின் புறப்பரப்பைக் குறைப்பதற்காக அதைத் திரட்டிக் கோள வடிவமுள்ளதாக்க முயலும். இவ்விரு விசைகளும் ஒன்றுக்கொன்று எதிரான நோக்கங்களுடன் செயல்புரிகின்றன.

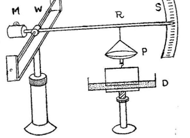
புவியீர்ப்புவிசை துளியின் நிறையைப் பொறுத்தது. துளியின் நிறை அதன் பருமத்தை அதாவது நேர்கோட்டுப் பரிமாணத்தின் (Linear Dimension) மும்மடியைப் பொறுத்தது. பரப்பு இழுவிசை, பரப்பளவை அதாவது நேர்கோட்டுப் பரிமாணத்தின் இருமடியைப் பொறுத்தது. எனவே துளியின் பருமம் அதிகரிக்கும்போது புவியீர்ப்பு விசையின் ஆளுகை அதிகரிக்கிறது. அதனால் துளியின் உயரம் குறைந்து, துளி தட்டையாகிறது. துளி சிறிய பருமமுள்ளதாயிருக்கையில், பரப்பு விசையின் ஆளுகைக்குட்பட்டு, அது கோளவடிவுள்ளதாகிறது. இதனால்தான் சிறிய மழைத் துளிகளும், பாதரசத்துளிகளும் கோளவடிவுள்ளவையாயிருக்கின்றன. ஒரு கிடையான தட்டின்மேல் வைக்கப்பட்டுள்ள கோளவடிவான சிறிய பாதரசத்துளியுடன் சிறிது சிறிதாகப் பாதரசத்தைச் சேர்த்துக்கொண்டே போனோமானால் அது தட்டையாகி செங்குத்துத் தளத்தில் நீள்வட்டமான குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பையுடையதாகி விடுவதைக் காணலாம். இன்னும் சிறிது பாதரசத்தை அதனுடன் சேர்த்தால் அதன் மேல்பரப்பு முற்றிலும் சமதளமாகி, விளிம்புகள் $140^\circ$ சேர்கோணத்தில் வெளியே நீட்டிக்கொண்டிருக்கும். இதைப் பயன்படுத்திக் குயிங்கின் முறையில் பாதரசத்தின்பரப்பு இழுவிசையைக் கணக்கிடலாம்.

**6.12 பரப்பு இழுவிசையைக் கண்டுபிடிக்கும் சோதனை முறைகள்:**

**1. சியர்லின் முறுக்குத்தராசு** (Searle's Torsion Balance) இம்முறையில் எளிதாகவும், நேரடியாகவும், விரைவாகவும் திரவங்களின் பரப்பு இழுவிசையைக் கண்டுபிடிக்கலாம். கண்ணாடியுடன் சேர் கோணம் சுழியாக உள்ள, கண்ணாடியை நனைக்கக்கூடிய திரவங்களுக்கு இம்முறை மிகவும் ஏற்றதாகும்.

இதற்கான கருவியமைப்புப் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் R எனும் விறைப்பான குறிமுள், கிடைத்தளத்தில் இழுத்துக்

கட்டப்பட்ட, சுமார் 1.25 மி.மீ., ஆரமுள்ள W எனும் முறுக்குக் கம்பியின் நடுப்புள்ளியில் பற்ற வைக்கப்பட்டுள்ளது. குறிமுள்ளின்




படம் 139.

முனை ஒரு செங்குத்தான அளவுகோலின் (S) ன் முன்னால் நகருமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கும். மற்ற முனையில் நழுவு எடை M சொருகப் பட்டுள்ளது. அதை முன்னும் பின்னுமாக நகர்த்திக் குறிமுள் கிடைத்தளத்திலிருக்குமாறு செய்யலாம்,

முதல் முனைக்கருகில் ஒரு தராசுத்தட்டு (P) தொங்கவிடப் பட்டிருக்கிறது. தராசுத்தட்டின் அடியிலிருந்து 10 செ.மீ., நீளமும் 0.5 மி.மீ., தடிமனும் உள்ள ஒரு செவ்வகக் கண்ணாடித்தகடு தொங்குகிறது. அதன் கீழ்விளிம்பு கிடைத்தளத்திலிருக்குமாறு சரிப்படுத்தப்பட்டிருக்கும். சோதனைக்கான திரவம் D எனும் கிண்ணத்தில் எடுத்துக்கொள்ளப்படும். கிண்ணம் மேலும் கீழும் செங்குத்துத் திசையில் நகர்த்தப்படக்கூடிய ஒரு மேடையின்மேல் வைக்கப்பட்டிருக்கும்.

முதலில் கிண்ணத்தை உயர்த்திக் கண்ணாடித்தகட்டின் கீழ் விளிம்பு திரவத்தினுள் முங்கியிருக்குமாறு செய். பிறகு கிண்ணத்தை மெல்லப் படிப்படியாகக் கீழே இறக்கு, திரவ மட்டம் கீழிறங்கும் போது, பரப்பு இழுவிசையின் காரணமாகக் கண்ணாடித்தகட்டையும் தன்னுடன் சேர்த்து இழுக்கும். அதனால் குறிமுள்ளும் கீழே இறங்கும். இதனால் முறுக்குக்கம்பி முறுக்கப்படும். அப்போது

அதில் ஒரு மீட்டுவரும் விசைதோன்றி இம் முறுக்கத்தை எதிர்க்கும். இவ்வாறு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை, கம்பியிலேற்படும் மீட்டு வரும் விசைக்குச் சமமாகும் வரை குறிமுள் கீழேயிறங்கும். அதற்கு மேலே கண்ணுடித்தகடு திரவப் பரப்பிலிருந்து விடுபட்டு மேலே சென்றுவிடும். இவ்வாறு விடுபடும் தருணத்தில் அளவுகோலில் குறிமுள் கடைசியாக எட்டி அளவீட்டைக் குறித்துக்கொள்.

கிண்ணத்தைக் கண்ணுடித்தகட்டினடியிலிருந்து எடுத்து விட்டுக் கண்ணுடித்தகட்டைத் துடைத்து உலரவிடு. தராசுத்தட்டில் எடைகளைச் சேர்த்துக் குறிமுள்ளை முன்கண்ட அளவிற்கு இறக்கு வதற்குத் தேவையான எடையைக் கண்டுபிடி. இந்த எடை Mg எனில் அதனுல் ஏற்படும் கீழ்நோக்கு விசை, பரப்பு இழுவிசை யினுல் ஏற்பட்ட கீழ்நோக்கு இழுப்புக்குச் சமமாயிருக்கும்.

தகட்டின் நீளம் $l$, தடிமன் t எனில் திரவத்தோடு தொடர்பு கொண்ட நீளம் $= 2\,(l + t)\cos\theta$. இதில் θ என்பது கண்ணுடிக்கும் திரவத்திற்கும் ஆன சேர்கோணம் ஆகும்.

திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை T எனில், அதனுல் கண்ணுடித் தகட்டின்மேல் செலுத்தப்படும் கீழ்நோக்கு விசை $= 2\,(l + t)\cos\theta . T$ எனவே $Mg = 2\,(l + t)\cos\theta . T$

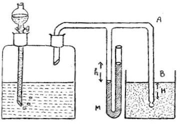
அல்லது $T = \dfrac{Mg}{(2\,l + t)\cos\theta}$

கொடுக்கப்பட்ட திரவத்திற்குச் சேர்கோணம் $\theta = 0$ எனில் $\cos\theta = 1$. எனவே $T = \dfrac{Mg}{2\,(l + t)}$

இவ்வாறு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசையை எளிதில் கணக் கிட்டு விடலாம். இம்முறையில் இரு திரவங்களின் பரப்பு இழு விசைகளையும் ஒப்பிடலாம்.

2. ஜீகர் (Jaeger) முறை : ஒரு திரவத்தினுள் உள்ள ஒரு காற்றுக்குமிழிக்குள் உள்ள அழுத்தம் அதற்கு வெளியிலுள்ளதைவிட அதிகமாயிருக்கும் என முன்னர் கண்டோம். இந்த உபரி அழுத்தம் $\dfrac{2T}{r}$-க்குச் சமமாயிருக்கும். இதில் T என்பது திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை, r குமிழின் ஆரம் ஆகும். ஒரு எளிய முறையில்

குமிழுக்குள்ளிருக்கும் உபரி அழுத்தத்தை அளக்கும் முறையினை




படம் 140.

ஜீகர் உருவாக்கியுள்ளார். குமிழின் ஆரத்தை அளந்து கொண்டு, பரப்பு இழுவிசையினை எளிதில் கணக்கிட்டு விடலாம்.

ஜீகரின் கருவியமைப்புப் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் AB எனும் மெல்லிய நீண்ட குழாய் செங்குத்தாய்ப் பொருத்தப் பட்டுள்ளது. அதன் கீழ்முனை சிறுத்து 0.2 மி.மீ., லிருந்து 0.5 மி.மீ., வரை ஆரமுள்ளதாய், முனை வழ வழப்பாயும், அச்சிற்கு நேர்குத்தாகவும் வெட்டப்பட்டிருக்கும். இம் முனை சோதனைக்கான திரவத்தினுள் மூழ்கியிருக்கும். பின்னர் அது ஒரு அழுத்தமானி (M) யுடனும் ஒரு உல்ஃபின் (Woulff) குடுவையுடனும் இணைக்கப் படும். உல்ஃப் குடுவையில் உள்ள மற்ற தக்கை வழியே ஒரு வீழ்புனல் குழாய் சொருகப்பட்டிருக்கும். அழுத்தமானியில் Xylol எனும் அடர்த்தி குறைந்த திரவம் உபயோகிக்கப்படும். இதனால் அழுத்தமானியிலுள்ள திரவமட்டங்களினிடையேயுள்ள வேறுபாடு (h) கணிசமாயிருக்கும்.

உல்ஃப் குடுவையில் புனல்குழாய் வழியே நீரை மெல்ல விட்டால் காற்று வெளியேற்றப்பட்டு, AB குழாயின் கீழ்முனையில் ஒருகுமிழி உருவாகும். இது மிக மிக மெதுவாகச் செய்யப்பட வேண்டும். குமிழிக்குள் அழுத்தம் அதிகமாக அதன் வளைவு ஆரம் படிப்படி யாகக் குறைந்துகொண்டே போகும். அது சிறும மதிப்பை அடையும்போது குமிழி ஏறத்தாழ அரைக்கோள வடிவை யடை கிறது. அதன் ஆரம் குழாய் வாயின் ஆரத்திற்குச் சமமாயிருக்கும். இந்நிலையில் குமிழிக்குள்ளிருக்கும் காற்றின் அழுத்தம் பெரும் மதிப்

புள்ளதாயிருக்கும். இதை அமுத்தமானியிலிருந்து அளந்து கொள்ளலாம்.

குமிழி மேலும் பெருத்தால், அதன் ஆரம் அதிகரித்து அத னுள்ளிருக்கும் அமுத்தம் குறையத் துவங்கும். இதனல் குமிழியின் சமநிலை பாதிக்கப்பட்டு, அது குழாயிலிருந்து விடுபட்டு விடும். புதிதாக ஒரு குமிழி முன்போலவே உருவாகத் துவங்குகிறது.

குமிழி Bயிலிருந்து விடுபடும் தருணத்தில் அதனுள்ளிருக்கும் அமுத்தம் = வளியமுத்தம் + அமுத்தமானியிலுள்ள h உயரத் திரவத்தினுல் ஏற்படும் அமுத்தம் = $P + h\rho g$ இதில் $\rho$ என்பது அமுத்தமானித் திரவத்தில் அடர்த்தியாகும்.

குமிழி விடுபட்டுப் போன கணத்தில் Bயின் மேல் செயல்படும் அமுத்தம் = $P + H\,dg$, இதில் H என்பது திரவ மட்டத்தி லிருந்து Bயின் ஆழம், d திரவத்தின் அடர்த்தி.

எனவே குமிழுக்குள்ளிருக்கும் உபரி அமுத்தம்

$$= (P + h\rho g) - (P + H\,dg) = g\,(h\rho - Hd)$$

இப்போது $g\,(h\rho - Hd) = \dfrac{2T}{r}$

அல்லது $T = \dfrac{rg\,(h\rho - Hd)}{2}$

குமிழியின் ஆர(r)த்தை, அதாவது குழாய் வாயின் ஆரத்தை ஒரு நகரும் நுண்ணோக்கியின் உதவியுடன் கண்டுபிடி. h, H. $\rho$, d ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைக் கண்டுபிடித்துக் கொண்டு, திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசையைக் கணக்கிட்டு விடலாம்.

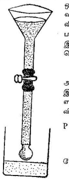
குழாயிலிருந்து குமிழ் விடுபடுவதற்கு முன், அது குழாயின் ஆரத்திற்குச் சமமான ஆரமுள்ள அரைக் கோள வடிவிலிருக்கும் என்பதை நிச்சயமாகச் சொல்வதற்கில்லை. குழாய் மிக மிக நுண் ணிய துளையுடையதாக இருந்தால்தான் இதுபோல இருக்க முடியும். குமிழின் ஆரம், குழாயின் ஆரத்தைப் பொறுத்த ஒரு சார்பு எண் (Function) எனக் காணப்பட்டுள்ளது, இன்னும் துல்லியமான முடிவுகளைப் பெற $T = \dfrac{rg}{2}\left[\,h\rho - d\left(H + \dfrac{2r}{3}\right)\right]$

எனும் திருத்தப்பட்ட சமன்பாடு பயன்படுத்தப்படுகிறது.

இம் முறையினைப் பயன்படுத்தி உருகிய உலோகங்களின் பரப்பு இழுவிசையையும், ஒரு கரைசலின் அடர்வைப் பொறுத்து,

அதன் பரப்பு இழுவிசை மாறுகின்ற பாங்கினையும் கண்டு பிடிக்க லாம். வெவ்வேறு திரவங்களின் பரப்பு இழுவிசைகளை ஒப்பிடவும், ஒரு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை வெப்பநிலை மாற்றத்தினால் பாதிக்கப்படும் விதத்தினைக் கண்டு பிடிக்கவும் வெப்பநிலைக்கும், பரப்பு இழுவிசைக்கும் இடையில் வரையப்பட்ட வரை கோட்டிலிருந்து ஒரு திரவத்தின் மூலக்கூறில் எவ்வளவு அணுக்களுள்ளன என்பதை ஆராயவும் இம் முறை சிறப்பாகப் பயன்படுகிறது.

3. துளி எடைமுறை (Drop Weight Method): இம் முறையில் ஒரு செங்குத்தான கண்ணாடிக்குழாயின் வட்டமான அடி வாயில் ஒரு துளி உருவாகி அதிலிருந்து விடுபடும் தருவாயில் அதைச் சமநிலையில் வைத்திருக்கும் விசைகளைக் கணக்கிடுவதன்மூலம் திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது. இது அவ்வளவு துல்லியமான முறையல்ல வெனினும், எளிய ஒன்ருகும்.



படம் 141

துளி குழாயிலிருந்து விடுபடும் தருவாயில் அது உருளை வடிவடைகிறது. அதன் பரப்பு இழுவிசை T, குழாயின் முனையின் ஆரம் r எனில் வெளியிலிருக்கும் வளி அழுத்தத்தை விடத் துளிக்குள்ளிருக்கும் உபரி அழுத்தம் $P = \frac{T}{r}$

இதனுல் துளியின் மேல் செயல்படும் கீழ் நோக்கு விசை $= \pi r^2 . \frac{T}{r}$

துளியின் எடையினுலான mg-யும் அதன் மேல் கீழ்நோக்கிச் செயல்படுகிறது. எனவே துளியின்மேல் கீழ் நோக்கிச் செயல்படும் மொத்த விசை $= \pi r^2 . \frac{T}{r} + mg.$

துளி குழாயின் வட்டமான விளிம்பைத் தொட்டுக்கொண்டிருப்பதால் பரப்பு இழுவிசையின் காரணமாக அதன் மேல் செயல்படும் மேல்நோக்கு விசை $= 2\pi r\ T.$

இவ்வாறு துளி சமநிலையிலிருக்கையில்

$$2\pi r\ T = \pi r^2 \frac{T}{r} + mg. = \pi r\ T + mg.$$

அல்லது $2\pi r\ T - \pi r\ T = mg$.

அல்லது $\pi r\ T = mg$.

எனவே $T = \frac{mg}{\pi r}$

இவ்வாறு துளியின் நிறையினையும், குழாயின் ஆரத்தினையும் கண்டுபிடித்துவிட்டால் திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை (T) யினை எளிதாகக் கணக்கிட்டுவிடலாம்.

செய்முறை: ஒரு மெல்லிய, சுத்தமான, உலர்ந்த, சுமார் 4 மி. மீ., விட்டமுள்ள கண்ணாடிக்குழாய் ஒரு புனலின் அடியில் இணைக்கப்பட்டுச் செங்குத்தாகத் தொங்கவிடப்படுகிறது. புனலின் அடியில் ஒரு அடைப்பான் உள்ளது புனலில் சோதனைத் திரவத்தைவிட்டு, அடைப்பானைச் சரிப்படுத்தித் திரவம் குழாயின் முனையிலிருந்து துளித்துளியாகச் சொட்டுமாறு செய். துளிகள் மிக மிக மெதுவாக (ஒரு நிமிடத்திற்கு ஒன்று வீதம்) உருவாகுமாறு அடைப்பானைச் சரிப்படுத்து.

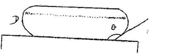
ஒரு சுத்தமான, உலர்ந்த, கண்ணாடி முகவையைத் துல்லியமாக நிறுத்து எடை கண்டுபிடி. அதில் 100 அல்லது 200 துளிகளைச் சேகரித்து மீண்டும் முகவையை நிறுத்து எடை கண்டுபிடி. இதிலிருந்து ஒரு துளியின் சராசரி எடையைக் கணக்கிடு. ஒரு நகரும் நுண்ணோக்கியின் உதவியுடன் கண்ணாடிக்குழாயின் ஆரத்தைத் துல்லியமாகக் கண்டுபிடி. $T = \frac{mg}{\pi r}$ எனும் சமன்பாட்டிலிருந்து T யின் மதிப்பைக் கணக்கிடு.

முன்னரே சொன்னதுபோல இம்முறை அவ்வளவு துல்லியமானது அல்ல. ஏனெனில் நாம் மேலே கண்ட லட்சியச் சூழ்நிலைகளில் விசைகளின் சமநிலை ஏற்படுவதில்லை. குழாயின் முனையிலிருந்து விடுபடும் தருவாயில் துளியின் ஆரத்தையும், உண்மையில் விடுபடும் துளியின் நிறையையும் சரிவரக் கண்டுபிடிக்க முடியாது. இவற்றைத் தவிர்க்கக் குழாயின் உட்புறத்தில் மெழுகு பூசப்பட்டிருந்தாலும்கூட நிலைமை அபிவிருத்தியடைவதில்லை. ராலே பிரபு $T = \frac{mg}{3.8\ r}$ எனும் சீர்திருத்தப்பட்ட சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினால் இன்னும் துல்லியமான முடிவுகள் கிடைக்கின்றன எனக் கண்டார். ஹார்க்கின்ஸ், பிரௌன் ஆகியோர் தெரிந்த பரப்பு இழுவிசையுள்ள திரவங்களைச் சோதித்து $T = \frac{mg\ F}{R}$

எனும் சமன்பாடு ஓரளவு நல்ல முடிவுகளைத் தருகின்றது எனக் கண்டுள்ளனர். இதில் F என்பது $\frac{V}{r^3}$ (V - துளியின் பருமம், r - குழாயின் ஆரம்) எனும் தகவைச்சார்ந்த ஒரு காரணி. இதுகூட $\frac{V}{r^3}$ ன் மதிப்பு 10 க்குக் கீழே யிருக்கும் வரைதான் சரியாக இருக்கிறது.

4. குவிங்கியின் (Quincke's) முறை : இம்முறையில் ஒரு கண்ணாடித் தகட்டுடன் ஒட்டாத, பாதரசம் போன்ற திரவங்களில் பரப்பு இழுவிசையையும் சேர்கோணத்தையும் கண்டுபிடிக்கலாம்.

ஒரு திண்மப் பரப்பின்மேல் ஓய்வு நிலையிலிருக்கும் திரவத் துளியின் உருவம், பரப்பு இழுவிசையையும் புவியீர்ப்பு விசையையும் பொறுத்தது எனக் கண்டோம். சிறிய துளிகளில் பரப்பு இழுவிசையும் பெரிய துளிகளில் புவியீர்ப்பு விசையும் முதன்மையாகச் செயல்படுகின்றன. சிறிய துளிகளைப் பரப்பு இழுவிசை கோளவடிவில் வைக்கிறது. பெரிய துளிகளைப் புவியீர்ப்பு விசை பரவலாக்கி அவற்றின் மேல்பரப்பைச் சமதளமாக்கிவிடுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்குமேல் துளியின் பருமம் அதிகரிக்கும்போது திரவம் - திண்மப் பரப்பிற்கான சேர்கோணம் தலையிட்டு திரவப் பரப்பின் உயரம் மேலும் குறையாமல் செய்துவிடுகிறது. இறுதியில்

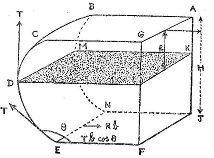



படம் 142.

திரவத்துளி படத்தில் காட்டியுள்ளது போல மையத்தில் சமதளமாயும், விளிம்புகள் வெளியே நீட்டிக்கொண்டும் இருக்கும் உருவத்தை அடைகிறது. விளிம்பில் பெரும் அளவு நீட்டிக்கொண்டிருக்கும் D பரப்பு செங்குத்தாயிருக்கும்.

ஒரு பெரிய துளியை அதன் மையத்தின் வழியாக, அதன் நீளத்திற்கு நேர்குத்தான தளத்தில் வெட்டிப் பின்னர் படத்தில் காட்டியுள்ளது போல நீளவாக்கில் இருதளங்களில் JABCEFG

எனும் துண்டாக வெட்டியிருப்பதாகக் கொள்வோம். இத் துண்டு சமநிலையிலிருக்கும்போது GA = FJ = b, என்க.




படம் 143.

மேலும் துளி சமச்சீர் நிலையிலிருப்பதால் (1) GCEF, ABNJ ஆகிய பக்கங்களில் செயல்படும் விசைகள் சமமாயும் எதிர்த் திசைகளிலும் இருக்கவேண்டும். (2) சமதளமான மேல்பரப்பின் மேற்புறத்திலும் கீழ்ப் புறத்திலும் செயல்படும் விசைகளும் சமமாயும் எதிர்த் திசைகளிலும் இருக்கவேண்டும்.

மேல் பரப்பிலிருந்து h ஆழத்தில், துளி பெரும் அளவு நீட்டிக்கொண்டிருக்கும் D எனும் புள்ளி வழியாகச் செல்லும் DMKL எனும் கிடைத்தளம், துளியில் பெரும் அளவு பரப்புள்ள தளமாகும். அதற்கு மேலேயுள்ள துளிப் பகுதியில் செயல்படும் விசைகளாவன :

(1) D யில் செயல்படும் பரப்பு இழுவிசை. இது செங்குத்தாக மேல் நோக்கிச் செயல்படும். அதனால் இதற்குக் கிடைத் திசையில் ஆக்கக்கூறு கிடையாது.

(2) GLKA சமதளப் பரப்பின் வலது பக்கத்திலுள்ள திரவத்தினால் அதன்மேல் செலுத்தப்படும் பக்கவாட்டு நீர் நிலையில் (Hydrostatic) விசை P. இது இடதுபுறம் நோக்கிச் செயல்படும்.

(3) GA யின் மேல் பரப்பு இழுவிசையினால் ஏற்படும் இழுப்பு. இது GA-க்கு நேர்குத்தாக வலதுபுறம் நோக்கிச் செயல்படும்.

துண்டின்மேல் (2)-ம் 3-ம் மட்டுமே கிடைத்தளத்தில் எதிர் எதிர்த் திசைகளில் செயல்படுகின்ற விசைகளாகும். துளி சம நிலையில் இருப்பதால் அவை சமமானவை.

இப்போது பக்கவாட்டு நீர்ம நிலையில் விசை அதில் பாதி உயரத்தில் உள்ள ஒரு புள்ளியில் செயல்படும் அழுத்தத்திற்குச் சமமாகும். எனவே GLKA யின் மேல் செயல்படும் நீர்ம நிலையியல் விசை $P = \frac{1}{2}\, GL \cdot \rho g = \frac{h\rho g}{2}$

இதில் $GL = h$, $\rho$ = திரவத்தின் அடர்த்தி, $g$ = புவியீர்ப்பு முடுக்கம்.

∴ GLKAயின்மேல் செயல்படும் நீர்ம நிலையில் அமுக்கு விசை (Thrust) = P × GLKA-ன் பரப்பளவு

$$= \tfrac{1}{2}\, h\rho g \times h \times b = \frac{h^2 \rho g b}{2}$$

பரப்பு இழுவிசையினால் GA-யின் மேல் செயல்படும் இழுப்பு $= T \times b$. எனவே $T.b = \frac{h^2 \rho g\, b}{2}$

$$\text{அல்லது } T = \frac{h^2 \rho g}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

இவ்வாறு h-ன் உயரத்தை அளந்துகொண்டு, T-யின் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுவிடலாம். இம்முறையில் சேர்கோணத்தைக் கண்டுபிடிக்க வேண்டியதில்லை.

சேர் கோணத்தையும் ஈடுபடுத்திப் பரப்பு இழுவிசையைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம். இப்போது துண்டு முழுவதினுடைய சமநிலையைக் கவனிக்கவேண்டும்.

பாதரசம் கண்ணடித் தளத்துடன் கூடுகின்ற EF எனும் கோட்டின்மேல் செயல்படும் பரப்பு இழுவிசையின் இழுப்பு $= T \times b$.

இது துண்டிற்குத் தொடுவியலாக EQ திசையில் செயல்படும். இதற்குச் சமமான எதிர் வினைவிசை EQ திசையில் செயல்படும்.

கண்ணுடியின் இந்த எதிர்வினை விசையின் கிடைத் திசை ஆக்கக்கூறு ($T \times b. \cos \propto$), EF திசையில் செயல்படும்.

$\propto$ என்பது சேர் கோணத்தின் மிகை நிரப்புக் கோணம் (Supplementary Angle) FEQ. இது வலதுபுறம் நோக்கிச் செயல்படுகிறது.

GA-யின் மேல் செயல்படும் பரப்பு இழுவிசை இழுப்பும் ($T \times b$) அதே திசையில் GA-க்கு நேர்குத்தாகச் செயல்படும் மொத்த விசை $= T.b. \cos \propto + Tb = T.b. (1 + \cos \propto)$

இதை, GFHA முகத்தில் இடதுபுறம் நோக்கிச் செயல்படும் $\frac{1}{2} H\rho g \times H.b = \frac{1}{2} H^2 \rho b g$ எனும் நீர்ம நிலையியல் விசை எதிர்க்கிறது. இதில் H என்பது துளியின் மொத்த உயரம்.

துளியில் வேறு கிடைத்தள விசைகளில்லாததால், துளி சம நிலையிலிருக்கும்போது,

$$T.b. \cos \propto + T.b = \frac{1}{2} H^2 \rho b.g.$$

அல்லது $T. \cos \propto + T = \frac{1}{2} H^2 \rho g.$

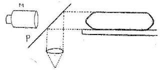
அல்லது $2T + 2T \cos\propto = H^2 Pg$

அல்லது $2T (1 + \cos\propto) = H^2 Pg$

அல்லது $T = \frac{H^2 Pg}{2 (1 + \cos \propto)}$ ..............................(2)

H, $\propto$ இவற்றைக் கண்டுபிடித்துக்கொண்டால் T யின் மதிப்பைக் கணக்கிட்டு விடலாம்.

செய்முறை : h-ஐக் கண்டுபிடித்தல் h-என்பது செங்குத்தாயிருக்கும் D எனும் தளத்திற்கும் துளியின் மேல் பரப்பிற்கும் இடை




படம் 144.

யிலுள்ள செங்குத்துத் தூரமாகும். இதைக் கண்டுபிடிக்க எட்சர் ஒரு முறையை வகுத்துள்ளார்.

ஒரு கண்ணாடித்தகட்டை (P) துளிக்கு நேராக 45° கோணத்தில் சாய்த்துவை. S எனும் விளக்கிலிருந்து வரும் ஒளியை ஒரு லென்சினால் இணையாக்கி அந்த இணைகற்றை கண்ணாடித் தகட்டில் எதிரொளிக்கப்பட்டு, துளியின் பக்கவாட்டில் விழுமாறு செய். துளியின் விளிம்பிற்கு நேரே ஒரு நகரும் நுண்ணோக்கியைக் கிடையாக அமைத்துக் குவியப்படுத்தினால் ஒரு மெல்லிய, கிடையான ஒளிக்கோடு துளியின் விளிம்பில் பெரும அளவு நீட்டிக் கொண்டிருக்கும் D எனும் பரப்பில் தெரியும். நுண்ணோக்கியின் குறுக்கிழைகள் வெட்டும் புள்ளியை அந்த ஒளிக்கோட்டுடன் பொருந்துமாறு செய்து அளவீட்டைக் குறித்துக்கொள். பின்னர் நுண்ணோக்கியை மேலே உயர்த்தித் துளியின் கிடையான மேல் தளத்தைக் குவியப்படுத்து. மேல்பரப்பில் சிறிது லைகோபோடியம் தூளைத் தூவி விட்டால், மேல்பரப்பைக் குவியப்படுத்துவது எளிதாகும். குறுக்கு இழைகள் வெட்டும் புள்ளியுடன் ஏதாவது ஒரு துகள் பொருந்தியிருக்குமாறு செய்து மீண்டும் அளவீட்டை எடு. இவ்விரு அளவீடுகளுக்கு மிடையிலுள்ள வேறுபாடு h ஆகும்.

H-ஐக் கண்டுபிடித்தல்: ஒரு கோளமானியின் உதவியால் துளியின் மொத்த உயரத்தைக் கண்டுபிடித்து விடலாம். அல்லது நகரும் நுண்ணோக்கியையும் பயன்படுத்தலாம். நகரும் நுண்ணோக்கியைத் துளிக்கு நேராகப் பக்கவாட்டில் வை. துளி தகட்டைத் தொடும் பரப்பைக் குவியப்படுத்தி அளவீட்டை எடு. சிறிது லைகோபோடியம் தூளைத் துளியின் மேல்பரப்பில் தூவி விட்டு ஏதாவது ஒரு துகளை நுண்ணோக்கியின் குறுக்கிழைகள் வெட்டும் புள்ளியில் குவியப்படுத்தி மீண்டும் அளவீட்டை எடு. இவ்விரு அளவீடுகளுக்கு மிடையிலுள்ள வேறுபாடு H ஆகும்.

$\alpha$-வைக் கண்டுபிடித்து அதிலிருந்து சேர் கோணம் $\theta$-ஐக் கணக்கிடுதல்: மேலே கண்ட (1), (2) ஆகிய சமன்பாடுகளிலிருந்து,

$$\frac{h^2 \rho g}{2} = \frac{H^2 \rho g}{2(1+\cos\alpha)}$$

அல்லது $h^2 = \dfrac{H^2}{(1+\cos\alpha)}$

அல்லது $1 + \cos \propto = \frac{H^2}{h^2}$ அல்லது $\cos \propto = \frac{H^2}{h^2} - 1$

இதிலிருந்து ∝-வைக் கணக்கிடலாம். இதிலிருந்து சேர் கோணம் $\theta = (\propto 180° = \propto)$கணக்கிடப்படும்.

(1)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து, துளியில் பெரும் அளவு நீட்டிக் கொண்டிருக்கும் பகுதிக்கும், மேல்பரப்பிற்கும் இடையிலுள்ள தூரம் h, துளியின் பருமந்தைப் பொறுத்ததல்ல என்பது விளங்கு கிறது. அது திரவத்தின் தன்மையையும், திடப் பரப்பின் தன்மை யையும் அவற்றிற்கான சேர் கோணத்தையுமே பொறுத்திருப்ப தாகும்.

(2)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து $H^2 = \frac{2\,T\,(1 + \cos \propto)}{\rho g}$

$$= \frac{4\,T \cos^2\left(\frac{\propto}{2}\right)}{\rho g}$$

$$\left(\because 1 \cos \propto = 2 \cos^2 \frac{\propto}{2}\right)$$

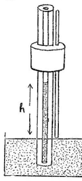
அல்லது $H = 2 \cos \frac{\propto}{2} \sqrt{\frac{T}{\rho g}}$

ஆகவே ஒரு கிடைத்தளமான திடப் பரப்பின் மேல் திடப் பரப்போடு ஒட்டாத ஒரு திரவத்தின் பெரிய தட்டையான துளி களை வைத்தால் எல்லாத் துளிகளும் ஒரே உயரமாக விருக்கும் என்பது இதிலிருந்து வெளிப்படை. திடப் பரப்போடு ஒட்டுகின்ற எல்லாத் திரவங்களுக்கும் $\theta = 0°, \propto = \pi$. அதாவது $\cos \frac{\propto}{2} = 0$. எனவே $H = 0$.

அதாவது அத்தகைய திரவங்கள் முடிவின்றித் திடப்பரப்பின் மேல் பரவிக்கொண்டே யிருக்கும்.

5. நுண்துளை ஏற்ற முறையில் கண்ணுடியுடன் ஒட்டுகின்ற திரவத் தின் பரப்பு இழுவிசையைக் கண்டுபிடித்தல்: பரப்பு இழுவிசை

காணும் சோதனைகளில் பயன்படுத்தப் படும் நுண்துளைக் குழாய்கள் துப்புரவானவையாக இருக்க வேண்டும். குழாய்களை முறையே எரிசோடாக் கரைசல், காய்ச்சி வடித்தநீர், நைட்ரிக் அமிலம், நீர் இவற்றில் கழுவி சுத்தப்படுத்தி பின்னரே பயன்படுத்த வேண்டும். இரு துளைகள் உள்ள ஒரு ரப்பர் தக்கையை எடுத்துக் கொண்டு ஒரு துளை வழியாக நுண்துளைக் குழாயையும், மற்றதன்வழியாக ஒரு பின்னல் ஊசியையும் சொருகு. ஒரு தாங்கியிலுள்ள பிடிப்பில் நுண்துளைக் குழாயும், ஊசியும் செங்குத்தாய் அமையுமாறு ரப்பர் தக்கையைப் பொருத்து.




படம் 145.

நுண்துளைக் குழாயின் அடியில் சோதனைத் திரவமுள்ள முகவையை வைத்து. குழாயின் கீழ்முனை திரவத்தில் மூழ்கியிருக்குமாறு அமை. சிறிய ரப்பர் குழாயொன்றை நுண்துளைக் குழாயின் மேல் முனையில் சொருகு. அதன் வழியாகச் சிறிது காற்றை உறிஞ்சி விட்டுவிட்டால் நுண்துளைக் குழாயிலுள்ள காற்றுக்குமிழிகள் நீக்கப்பட்டுத் திரவமும் குழாயினுள் ஏறி நிற்கும். நுண்துளைக் குழாயில் திரவத்தம்பம் தொடர்ச்சியாக துண்டு படாமல் இருக்கிறதா என்பதைக் கவனித்துக் கொள்ளவும். பின்னல் ஊசியின் கீழ்முனை முகவையிலுள்ள திரவத்தின் பரப்பைச் சற்றே தொடுமாறு அமை.

நுண்துளைக் குழாய்க்கு முன்னர் வெர்னியர் நுண்ணோக்கியை அமை. அதன் அச்சு கிடைமட்டமாக இருக்குமாறு, அது நுண்துளைக் குழாயின் அச்சின் வழியே செல்லுமாறும் சரிப்படுத்த வேண்டும். குறுக்கிழைக் கம்பிகள் தெளிவாகத் தெரியுமாறு கண்ணருகு கருவியைச் சரிசெய்துகொண்டு நுண்குழாய் தெளிவாய்த் தெரியுமாறு நுண்ணோக்கியைக் குவியப்படுத்து. நுண்ணோக்கியை மேலேயோ கீழேயோ நகர்த்தித் திரவத்தின் பிறைத் தலத்தின் அடிப்பரப்பில் கிடையான குறுக்கிழை தொடுவியலாக அமையுமாறு சரிப்படுத்து. நுண்ணோக்கியிலுள்ள செங்குத்து அளவு கோலில் உள்ள அளவீட்டைக் குறித்துக்கொள். நுண்

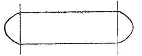
துளைக்குழாய், பின்னல் ஊசி இவற்றின் நிலைகளை மாற்றிவிடாமல் கவனமாக முகவையை மட்டும் அப்புறப்படுத்திவிடு. நுண்ணோக்கியைக் கீழே நகர்த்திப் பின்னல் ஊசியின் கீழ்முனை கிடையான குறுக்கிழையுடன் பொருந்துமாறு செய்து செங்குத்து அளவுகோலில் மீண்டும் அளவீட்டினை எடு. இரு அளவீடுகளுக்கும் இடையிலுள்ள வித்தியாசம் நுண்துளை ஏற்றத்தைத் தரும். நுண்துளைக் குழாயைச் சற்று மாற்றியமைத்துச் சோதனையைத் திரும்பச் செய். சராசரி நுண்துளை ஏற்ற (h) த்தைக் கணக்கிடு.

நுண்துளைக் குழாயின் ஆரத்தைப் பிறைத்தலம் அமைகின்ற புள்ளியில் காணவேண்டும். குழாய் சீரான துளையுள்ளதாயிருந்தால் அதைக் குழாயின் முனைகளிலேயே நுண்ணோக்கியைக் கொண்டு அளக்கலாம். உருக்கி இழுக்கப்பட்ட குழாயானால் பிறைத்தளம் அமையும் புள்ளியில் குழாயைக் குறுக்காக வெட்டி ஆரத்தைக் காணவேண்டும். ஆரத்தை அளக்கக் குழாயைக் கிடைமட்டமாகப் பொருத்து. குழாயின் வெட்டுமுகம் தெளிவாகத் தெரியுமாறு நுண்ணோக்கியைக் குவியப்படுத்திச் சரிசெய். கிடைமட்டத்திலும் செங்குத்து மட்டத்திலும் விட்டங்களை அளந்து சராசரி விட்டத்தைக் கண்டு ஆரத்தைக் கணக்கிடு.

நுண் துளைக் குழாயின் விட்டத்தைத் துல்லியமாகக் கண்டுபிடிப்பதற்கு, அதனுள் சிறிது பாதரசத்தைப் புகுத்தி வெவ்வேறு இடங்களில் பாதரச இழையின் நீளங்களைக் கண்டுபிடித்துக் கொண்டு அவற்றின் சராசரியைக் கணக்கிட்டுக்கொள். பின்னர் பாதரசத்தை ஒரு சிறு கண்ணாடிக் கிண்ணத்தில் சேகரித்து அதன் எடையைத் துல்லியமாகக் கண்டுபிடி. பாதரசக் குழாயின் நீளம் $l$, அதன் நிறை m, அதன் அடர்த்தி $\rho$. குழாயின் ஆரம் r எனில்

$$m = \pi r^2 l \rho \ . \quad \text{எனவே } r = \sqrt{\frac{m}{\pi l \rho}}$$

இந்தச் சமன்பாடு பாதரச இழையின் முனைகள் சமதளமாயிருந்தால்தான் சரியாயிருக்கும். ஆனால் உள்ளபடிக்குப் பாதரச



படம் 146.

இழையின் முனைகள் அரை நீள்கோள வடிவானவை. எனவே

வளைந்துள்ள முனைகளின் நீளங்களைத் தனித்தனியாக அளந்து கொள்ள வேண்டும். அவற்றின் நீளங்கள் $\frac{x}{2}$ எனில் அதாவது வளைந்த முனைகளின் மொத்த நீளம் x எனில்

$$m = \pi r^2 \left( l + \frac{2}{3} x \right) \rho$$

$$\text{எனவே } r = \sqrt{\frac{m}{\pi \rho \left( l + \frac{2}{3} x \right)}}$$

ஹேர் கருவியைக் கொண்டு திரவத்தின் சராசரி அடர்த்தியைக் கண்டுபிடி (d). திரவத்தின் வெப்ப நிலையை ஒரு வெப்ப நிலைமானியைக்கொண்டு கண்டுபிடி.

திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை T எனில்

$$T = \frac{r\,d\,g}{2} \left( h + \frac{r}{3} \right)$$

6.13 இரு திரவங்களின் முகவிடைப் பரப்பின் இழுவிசை (Inter facial Surface Tension): ஒன்றோடொன்று கலக்காத இரு திரவங்கள் ஒன்றையொன்று தொட்டுக் கொண்டிருக்கும்போது அவற்றின் பிரிதளத்தில் (Surface of Separation) இரு திரவங்களின் தன்மையையும் பொறுத்த பரப்பு இழுவிசை தோன்றுகிறது. இரு திரவங்களின் முகவிடைப் பரப்பில் உள்ள பரப்பு இழுவிசை அவற்றின் தனித்தனிப் பரப்பு இழுவிசைகளுக்கிடையிலுள்ள வித்தியாசத்திற்குச் சமம் ஆகும் என ஆன்டனோவ் ஒரு விதியை உருவாக்கியுள்ளார். அதாவது $T_1$, $T_2$ பரப்பு இழுவிசைகளுள்ள இருதிரவங்கள் ஒன்றையொன்று தொட்டுக்கொண்டிருந்தால் அவற்றின் முகவிடைப்பரப்பு இழுவிசை $= T_1 - T_2$,

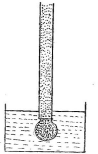
இந்த விதி இரு பூரிதமான கரைசல்களுக்குப் பொருந்தும். ஏனெனில் அப்போதுதான் அவை சமநிலையிலிருக்கும். இல்லாவிடில் ஒன்றையொன்று சந்திக்கும்போது ஒன்று மற்றதன் பரப்பு இழுவிசையைக் குறைத்துவிடும். முகவிடைப் பரப்பு இழுவிசை இரு திரவங்களின் பரப்பு இழுவிசைகளின் வேறுபாட்டிற்குச் சமமானதால் அதன் மதிப்புக் குறைவாகவேயிருக்கும். ஒரு திரவம் மற்றதில் குறையும் தன்மை குறையக் குறைய முகவிடைப் பரப்பு

இழுவிசை அதிகரிக்கும். வெப்பநிலை அதிகரிக்கும்போது முகவிடைப் பரப்பு இழுவிசை குறையும்.

ஒரு திரவம் இன்னொன்றின்மேல் பரவுதல், ரசாயன அமைப்பு போன்றவற்றை ஆராய இந்த முகவிடைப்பரப்பு இழுவிசை முக்கியமானதாகையால், அது எவ்வாறு கண்டுபிடிக்கப்படுகிறது என்பதைப் பார்ப்போம்.

தனித்தனித் திரவங்களின் பரப்பு இழுவிசைகளைக் கண்டு பிடிக்கக் கையாளப்பட்ட முறைகளிலேயே முகவிடைப்பரப்பு இழு விசையையும் கண்டுபிடிக்கலாம். துளி எடை முறையைப் பயன் படுத்தி முகவிடைப்பரப்பு இழுவிசையைக் கண்டுபிடிக்கும் முறையினைச் சற்று விரிவாகக் கண்டிடுவோம்.

துளி எடை முறை: இம்முறையிலும் கருவியமைப்பு முன் போலவே இருக்கும். ஆனால் குழாயின் கீழ்முனை இரண்டாவது திரவத்தில் மூழ்கியிருக்கும். முதல் திரவத்தைப் புனலில் நிரப்பி மெது வாகத் துளிகள் உருவாகுமாறு செய். இரண்டாவது திரவத்தை ஒருமுகவை யில் எடுத்துக்கொண்டு, முகவை யுடன் திரவத்தின் எடையைக் கண்டு பிடி. பின்னர் குழாயின் கீழ்முனை இரண்டாவது திரவத்திற்குள் மூழ்கி யிருக்குமாறு வைத்து நூறு அல்லது இருநூறு துளிகளைச் சேகரித்து எடை கண்டுபிடி. அதிலிருந்து ஒரு துளியின் எடை (Mg) யைக் கணக் கிடு.



படம் 147.

இரு திரவங்களின் அடர்த்திகள் முறையே $\rho_1$, $\rho_2$ என்க. துளியின் பருமம் $= \frac{m}{\rho_1}$. இத் துளியினால் இதே பருமமுள்ள இரண்டாவது திரவம் இடப் பெயர்ச்சியடைகிறது.

அதாவது இடம் பெயர்ந்த இரண்டாவது திரவத்தின் எடை = துளியின் மேல் செயல்படும் மேல் நோக்கு அமுக்கு விசை

$= \frac{m}{\rho_1} \times \rho_2 g.$

எனவே துளியின் தோற்ற எடை $= mg - \frac{m}{\rho_1} \cdot \rho_2 g$,

$$= mg\left(1 - \frac{\rho_2}{\rho_1}\right) = mg\left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1}\right)$$

இது துளியின்மேல், கீழ் நோக்கிச் செயல்படுகிறது.

முன்போலவே துளி குழாயிலிருந்து விடுபடும் தருவாயில் அது குழாயின் ஆரத்திற்குச் சமமான ஆரமுள்ள உருளை வடிவமுள்ளது எனக் கொண்டால் அதனுள்ளிருக்கும் உபரி அழுத்தம் $p = \frac{T}{2}$

இதில் T முகவிடைப் பரப்பு இழுவிசை. இதன் காரணமாகத் துளியின் மேல் செயல்படும் கீழ்நோக்கு விசை $= p \times \pi r^2$

$$= \frac{T}{r} \times \pi r^2 = \pi r T.$$

எனவே துளியின் மேல் செயல்படும் மொத்தக் கீழ்நோக்கு விசை $= mg\left(\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1}\right) + \pi r T$

பரப்பு இழுவிசையின் காரணமாகத் துளியில் மேல்நோக்கிச் செயல்படும் இழுவிசை $= 2\pi r T$.

இதில் $2\pi r$ என்பது துளியின் சுற்றளவு.

துளி சமநிலையிலிருக்கையில், $\frac{mg(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1} + \pi r T = 2\pi r T$

அல்லது $\frac{mg(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1} = \pi r T$

அல்லது $T = \frac{mg(\rho_1 - \rho_2)}{\rho_1 \pi r}$

ராலே பிரபு தனது சோதனை முடிவுகளின் அடிப்படையில் மேற்கண்ட சமன்பாட்டை $T = \frac{mg(\rho_1 - \rho_2)}{3.8 \rho_1 r}$ எனத் திருத்தியமைத்துள்ளார்.

சோதனை முறை : இரு திரவங்களில் அடர்த்தி அதிகமான திரவத்தைப் புனலில் எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். புனலுக்கடியிலுள்ள ரப்பர் குழாயில் ஒரு சுத்தமான கண்ணாடிக் குழாயைச்

சொருகு. கண்ணாடிக் குழாய் செங்குத்தா யிருக்குமாறு பிடிப்பில் அமை. கண்ணாடிக் குழாயிலிருந்து முதல் திரவம் நிமிடத்திற்கு 10 அல்லது 15 துளிகள் எனும் வீதத்தில் சொட்டுச் சொட்டாக வெளியேறுமாறு சரிப்படுத்து. சுத்தமான ஒரு முகவையில் ஏறத்தாழ அரைப்பங்கு இரண்டாவது திரவத்தை எடுத்துக் கொண்டு அதன் எடையைக் கண்டுபிடி. பின்னர் முகவையைப் புனலின் அடியில் வைத்துக் கண்ணாடிக் குழாயின் வாய் திரவத்தினுள் உருவாகின்ற நீர்த் துளிகளில் 100 அல்லது 200 திரட்டிய பின்னர் முகவையின் எடையைக் கண்டுபிடி. அதிலிருந்து ஒரு துளியின் எடையைக் கணக்கிடு. நுண்ணோக்கியைக்கொண்டு குழாயின் ஆரத்தைக் (r) கண்டுபிடி.

ஹேர் கருவியைக்கொண்டு இரு திரவங்களின் அடர்த்திகளின் விகிதங்களைக் கண்டுபிடி.

$$\frac{\text{திரவத்தின் அடர்த்தி}}{\text{நீரின் அடர்த்தி}} = \frac{d_2}{d_1}$$ எனில் திரவத்தில் நீர்த் துளியின் தோற்ற எடை $= mg\left(1 - \frac{d_2}{d_1}\right)$

ஆதலால் இரு திரவங்களின் முகவிடைப் பரப்பு இழுவிசை

$$T = \frac{mg}{3.8\,r}\left(1 - \frac{d_2}{d_1}\right)$$

## 6.14 பரப்பு இழு விசையைப் பாதிக்கின்ற அம்சங்கள்

1. திரவப் பரப்பிலுள்ள அசுத்தம்: திரவப் பரப்பு தூய்மையாக இல்லாவிட்டால் பரப்பு இழு விசை உடனடியாகப் பாதிக்கப் படுகிறது. எனவே திரவப் பரப்பின் மேல் ஏதாவது களங்கமிருப்பின் பரப்பு இழு விசையின் மதிப்பு பெருமளவு மாறுகிறது. இந்த மாற்றம் அசுத்தத்தின் அளவைப் பொறுத்தது. கற்பூரம் நீர்ப் பரப்பின் மேல் அங்கும் இங்கும் ஓடுவதற்குக் காரணம் நீர்ப்பரப்பு கற்பூரக் கரைசலால் மாசுறுவதால்தான் என நாம் முன்னர் கண்டோம்.

2. திரவத்தில் கரைந்த பொருள்கள் இருத்தல்: திரவத்தில் நன்கு கரையக் கூடிய கரை பொருள் இருந்தால் அதன் மூலக் கூறுகள் திரவ மூலக் கூறுகளால் வலுவாக ஈர்க்கப்படுகின்றன. இந்த வேறின ஈர்ப்பு விசை மூலக் கூறுகளிடையேயுள்ள ஒரின ஈர்ப்பு விசையைவிட அதிகமாயிருந்தால், புறப்பரப்பில் கரை பொருள் மூலக்கூறுகளினால் பரப்பு ஆற்றல் அதிகரிக்கும் எடுத்துக்

காட்டாக சாதாரண உப்புக் கரைசலின் பரப்பு இழுவிசை 82 டைன்கள்/செ. மீ., நீரின் பரப்பு இழுவிசை 72 டைன்கள்/செ. மீ. இதேபோல கனிம உப்புக் கரைசல்களின் பரப்பு இழுவிசை கரைப்பானின் பரப்பு இழுவிசையைவிட அதிகமாயிருக்கும். ஒரு கரைசல் தனது நிலையாற்றலைக் குறைத்துக் கொள்ளும் பொருட்டுக் கரை பொருளின் மூலக் கூறுகளைத் தனது நடுப் பகுதியை நோக்கி இழுக்கும். இதனால் மேல் பரப்பின் அருகிலிருப்பதைவிடக் கரைசலின் நடுப் பகுதிகளில் அடர்வு அதிகமாயிருக்கும். திரவத்தில் குறைந்த அளவில் கரையும் பொருள்கள் இருக்கும்போது, திரவ மூலக்கூறுகள் நடுப்பகுதிக்கு இழுக்கப்பட்டு கரை பொருள் மூலக் கூறுகள் திரவப் பரப்பில் பரவுகின்றன. இதனால் கரைசலின் பரப்பு இழுவிசை குறைகிறது. இவ்வகைக் கரைசல்களின் அடர்வு நடுப்பகுதியைவிட புறப் பரப்பினருகில் அதிகமாயிருக்கும். பீனால், சோப்பு போன்றவற்றின் கரைசல்களில் இது நேர்கிறது. ராலே பிரபு புதிதாகத் தயாரிக்கப்பட்ட சோப்புக் கரைசலின் புறப்பரப்பு இழுவிசை நீரினுடையதற்குச் சமமாயிருந்தாலும், நேரம் செல்லச் செல்லச் சமநிலை எட்டப்படும்போது அதன் பரப்பு இழுவிசை பெருமளவு குறைந்து விடுகிறது எனக் கண்டார். இதனால்தான் சோப்புக் குமிழிகளும் படலங்களும் எளிதில் உடைவதில்லை. படலத்தின் மேற் பரப்பில் அடர்வு நடுவிலிருப்பதைவிட அதிகமாக உள்ளது. ஏதேனும் ஒரு இடத்தில் விரிசல் ஏற்படும் அளவிற்குப் படலம் நீட்சித்திரிபு அடைந்தால், நடுவிலிருந்து புதுத்திரவம் மேற்பரப்பிற்கு விரைந்து அந்த இடத்திற்கு வலுவூட்டுகிறது.

3. வெப்ப நிலை: திரவங்களைத் தனி மூலக் கூறுள்ளவை (Unassociated), கூட்டு மூலக் கூறுள்ளவை (Associated) என இருவகையாகப் பிரிக்கலாம். பென்சீன், கார்பன் டெட்ராகுளோரைடு போன்ற திரவங்களில் சாதாரண வெப்ப நிலையில் மூலக் கூறுகள் தனித்தனியாக உள்ளன. இவை முதல் வகையைச் சேர்ந்தவை. இரண்டாவது வகையான திரவங்களில் சாதாரண வெப்ப நிலைகளில் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட மூலக் கூறுகள் இணைந்திருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, சாதாரண வெப்ப நிலையிலுள்ள நீரில் இரு $H_2O$ மூலக் கூறுகள் இணைந்த குழுக்கள் நிறைந்திருக்கும்.

தனி மூலக்கூறு வகைத் திரவங்களின் வெப்பநிலை உயர உயர அவற்றின் பரப்பு இழுவிசைகள் குறைவதாகக் காணப்பட்டிருக்கிறது. உருகிய செப்பு, காட்மியம் ஆகிய திரவங்கள் இதற்கு விலக்கு. சிறிய வெப்ப நிலை மாற்றங்களுக்கு $T = To\ (1 - \alpha t)$

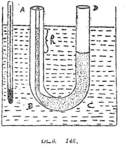
எனும் சமன்பாடு பொருந்துகிறது. இதில் T, To ஆகியவை முறையே $t^\circ c$, $0^\circ c$ எனும் வெப்ப நிலைகளில் திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசைகள். $\alpha$ என்பது திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசையின் வெப்ப நிலைக் குணகம்.

அதாவது $\frac{dT}{dt} = -To\,\alpha =$ ஒரு மாறிலி

வான்டர்வால், பெர்கூஸன் ஆகியோர் மாறுதான வெப்ப நிலைகளில் திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை மறைந்து விடுவதாகக் காட்டியுள்ளனர். காலண்டர் தனது சோதனைகளின் மூலம் $647^\circ$ மெய்வெப்ப நிலையில் நீரின் பரப்பு இழுவிசை மறைந்து விடுவதாகக் கண்டு பிடித்துள்ளார்.

ஜீகர் சிறிய வெப்பநிலை மாற்றங்களுக்குப் பரப்பு இழுவிசை மாறுகின்ற விதத்தைக் கண்டு பிடிக்க ஒரு சோதனை முறையை உருவாக்கியுள்ளார்.

AB எனும் நுண்துளைக்குழாய் CD எனும் அகன்ற குழாயுடன் U-வடிவில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. சோதனைத் திரவம் இதில் நிரப்பப்படும். திரவத்திற்கும் சுண்ணடிக்குமான சேர்கோணம் 90°யைவிடக் குறைவாயிருந்தால் நுண் துளைப் புயத்தில், மற்ற புயத்தைவிடத் திரவ மட்டம் உயரத்திலிருக்கும். இரு புயங்களின் ஆரங்கள் முறையே $r_1$, $r_2$. திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை T, சேர்கோணம் $\theta$ வளியமுத்தம் P எனில்,



படம் 148.

AB யிலுள்ள பிறைத்தளத்திற்கடியிலுள்ள அமுத்தம்

$$= P - \frac{2\,T\cos\theta}{r_1}$$

CD யிலுள்ள பிறைத்தளத்திற்கடியிலுள்ள அமுத்தம்

$$= P - \frac{2\,T\cos\theta}{r_2}$$

இரு புயங்களிலுமுள்ள அழுத்தங்களின் வேறுபாடு

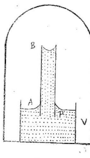
$$2\ T \cos\theta \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

இவ் வேறுபாடு U குழாயிலுள்ள நீர்ம நிலையியல் அழுத்தத்தால் ஈடு செய்யப்படுகிறது. பிறைத்தளங்களுக்கிடையிலுள்ள உயரம் h, திரவத்தின் அடர்த்தி P எனில் இந்த நீர்ம நிலையியல் அழுத்தம் = h P g.

$$\text{எனவே } T = \frac{h\rho g}{2\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)\cos\theta}$$

இதிலிருந்து பரப்பு இழுவிசையைக் கணக்கிடலாம் திரவத்தை வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில் வைத்துப் பரப்பு இழுவிசை (T)க்கும் வெப்ப நிலை (t) க்கும் இடையில் ஓர் வரை படம் வரைந்தால் வெப்ப நிலையோடு பரப்பு இழுவிசை மாறுகின்ற விதத்தை ஆராயலாம்.

6.15 பரப்பு இழுவிசையும் ஓர் திரவப் பரப்பின்மேலுள்ள ஆவியழுத்தமும்: ஒரு நுண்துளைக்குழாய் அதனுடன் ஒட்டக் கூடிய திரவத்தில் செங்குத்தாய் நிறுத்தப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். திரவத்தின் அடர்த்தி P, பரப்பு இழுவிசை T என்க. திரவமும் குழாயும் வெற்றிடமாக்கப்பட்டுள்ள ஒரு மணி ஜாடிக்குள் வைக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். சமநிலை ஏற்படும்போது திரவப் பரப்பிற்கு மேலேயுள்ள பகுதி முழுவதும் அதன் தெவிட்டிய ஆவி நிறைந்திருக்கும். திரவக் குழாயினுள் திரவப் பரப்பிலிருந்து h உயரத்திற்கு ஏறியிருக்கட்டும். கிடைத்தளமான Aயில் ஆவியழுத்தம் P. அந்த அழுத்தத்தில் ஆவியின் அடர்த்தி σ எனில் திரவத் தம்பத்தின் உச்சியில் B எனும் குழிந்த பிறைத்தளத்தின் மேலுள்ள ஆவியழுத்தம் = $P - h\sigma g$ திரவத்தின் அடர்த்தி P எனில் Bயில் பிறைத்தளத்திற்கு அடியிலுள்ள அழுத்தம் = $P - hPg$



படம் 149.

குழாயின் ஆரம் r சிறியதாயிருந்தால் பிறைத்தளத்தைக் குழாயின் ஆரத்திற்குச் சமமான ஆரமுள்ள அரைக்கோளமாகக் கருதலாம். எனவே பிறைத்தளத்திற்கு அடியிலுள்ளதைவிட அதற்கு மேலேயிருக்கும் உபரியழுத்தம் $= \frac{2T}{r}$

அதாவது $(P - h\sigma g) - P - h\rho g) = \frac{2T}{r}$

அல்லது $hg(\rho - \sigma) = \frac{2T}{r}$

$h\sigma g = p$ எனில் $hg = \frac{p}{\sigma}$

$\therefore \quad \frac{p}{\sigma}(\rho - \sigma) = \frac{2T}{r}$ அல்லது $p = \frac{2T}{r}\left(\frac{\sigma}{\rho - \sigma}\right)$

$\sigma$, $\rho$ வைவிட மிகச் சிறியதாயிருப்பதால் அதை விட்டு விடலாம். எனவே $p = \frac{2T}{r} \cdot \frac{\sigma}{\rho}$

$\sigma$, $\rho$ வைவிடச் சிறியதாகையால் $\frac{2T}{r}\left(\frac{\sigma}{\rho - \sigma}\right)$ நேரினமானது. எனவே ஒரு திரவத்தின் குழித்த பரப்பின் மேலுள்ள ஆவியழுத்தம் அதே திரவத்தின் கிடைத்தளமான பரப்பிலுள்ளதை விட $\frac{2T\sigma}{r\rho}$ அளவு குறைவாயிருக்கும்.

இத்த ஆவிக்கு $PV = R\theta$ எனும் வாயுச் சமன்பாட்டைப் பின்பற்றக் கூடியதானால், $V = \frac{R\theta}{P}$.

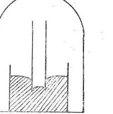
$\sigma = \frac{1}{V}$ ஆகையால் $\sigma = \frac{P}{R\theta}$

இதை மேலேகண்ட உபரி அழுத்(p)தத்திற்கான கோவையில் பதிலீடு செய்தால், குழிந்த பரப்பைவிடக் கிடைத்தளப் பரப்பில் இருக்கும் உபரி அழுத்தம்

$$p = \frac{2T}{r} \times \frac{\sigma}{\rho} = \frac{2T}{r} \cdot \frac{P}{R\theta\rho}$$

இதே போலப் பாதரசம் போன்ற, குழாயுடன் ஒட்டாத ஒரு திரவத்தில், நுண்துளைக் குழாயை நிறுத்தினோமானல், குழாயினுள் குவிந்த திரவ மட்டம், வெளியிலிருக்கும் கிடைத்தள மட்டத்தை விட h ஆழத்திற்குக் கீழேயிறங்கியிருக்கும்.

குழாய்க்கு வெளியிலுள்ள கிடைத்தளப்பரப்பில் ஆவியழுத்தம் P எனில் குழாய்க்குள்ளிருக்கும் குவிந்த பிறைத் தளத்தின் மேல் உள்ள ஆவியழுத்தம் $= P + h\sigma g$.



படம் 150.

இதில் $\sigma$ என்பது P அழுத்தத்தில் ஆவியின் அடர்த்தியாகும். $h\sigma g = p$ எனில் $hg = \frac{p}{\sigma}$

குழிந்த பிறைத்தளத்திற்கடியிலுள்ள திரவத்தின் அழுத்தம் $= (P + h\rho g)$

இதில் $\rho$ என்பது திரவத்தின் அடர்த்தி.

$\rho$, $\sigma$ வைவிடப் பெரியதாகையால் $(P + h\rho g) > (P + h\sigma g)$

எனவே பிறைத்தளத்தின் மேலிருப்பதைவிட அதற்கடியில் உள்ள உபரி அழுத்தம் $(P + h\rho g) - (P + h\sigma g)$

$$\text{அல்லது } h\rho g - h\sigma g = hg(\rho - \sigma)$$

$$= \frac{p}{\sigma}(\rho - \sigma) = \frac{2T}{r}$$

இதில் T திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை, r பிறைத்தளத்தின் ஆரம் ஆகும்.

$$\therefore \quad \frac{p}{\sigma}(\rho - \sigma) = \frac{2T}{r} \text{ அல்லது } p = \frac{2T}{r}\left(\frac{\sigma}{\rho - \sigma}\right)$$

இவ்வாறு ஒரு திரவத்தின் குவிந்த பரப்பின் மேலுள்ள ஆவியழுத்தம், அதே திரவத்தின் சமதளமான பரப்பின் மேலுள்ளதை விட $\frac{2T\sigma}{r(\rho - \sigma)}$ அல்லது $\sigma$-ன் மதிப்பு சிறியதாயிருக்கையில் $\frac{2T\sigma}{r\rho}$ அளவு அதிகமாயிருக்கும்.

$$\text{எனவே } p = \frac{2T}{r} \quad \frac{P}{R\theta\rho}$$

p, பரப்பின் வளைவு ஆர (r)த்திற்குத் தலைகீழ் விகிதத்தி லிருப்பதைக் கவனிக்கவும். அதாவது குழாயின் ஆரம் குறையக் குறைய, வளைவு அதிகரிக்கிறது. அதனால் வளைந்த பரப்பின் மேலுள்ள ஆவியழுத்தமும் அதிகமாகிறது. ஒரு சிறிய திரவத் துளியின் மேலுள்ள ஆவியழுத்தம் பெரிய துளியின் மேலிருப் பதைவிட அதிகமாயிருக்கும்.

எடுத்துக்காட்டாக 1 மி.மீ., விட்டமுள்ள ஒரு பெரிய நீர்த் துளியை எடுத்துக் கொள்வோம். இப்போது $\theta = 273°A$, $\rho = 1$ கிராம்/க.செ.மீ., $\sigma = 0{\cdot}61 \times 10^{-3}$ கிராம்/க.செ.மீ., $T = 75$ டைன்கள்/செ.மீ., எனில்

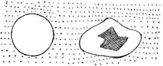
இவ்வாறு துளியின் பரிமாணம் குறையக் குறைய அதன் தெவிட்டிய ஆவியழுத்தம் அதிகரிக்கிறது.

$$p = \frac{2\,T\,\sigma}{r\,\rho} = \frac{2 \times 76 \times 0.61 \times 10^{-3}}{0.05 \times 1} = 1.83 \text{ டைன்கள்/செ. மீ.,}^2$$

$\frac{1}{1000}$ மி. மீ., விட்டமுள்ள ஒரு நீர்த்துளிக்கு $p = 1.83 \times 1000$

$$= 1.83 \times 10^3 \text{ டைன்கள்/செ. மீ.,}^2$$

**மழைத் துளிகள் உருவாதல்:** தட்டையான திரவப் பரப்பின் மேலிருப்பதைவிடக் குழிந்த பரப்பின் மேலுள்ள பெரும ஆவி அழுத்தம் குறைந்தது எனவும் குவிந்த பரப்பின் மேலுள்ள பெரும ஆவி அழுத்தம் அதிகமானது எனவும் மேலே கண்டோம்.



படம் 151.

வானவெளியில் ஒரு நீர்த்துளி உருவாகும்போது, அவ்விடத்தில் உள்ள ஆவியழுத்தம் தட்டைப் பரப்பிற்கான தெவிட்டிய ஆவியழுத்தத்திற்குச் சமமாயிருக்குமானால், துளி ஆவியாகத் துவங்கிவிடும். ஏனெனில் அந்த ஆவியழுத்தம் துளியின் குவிந்த பரப்பிற்கான தெவிட்டிய ஆவியழுத்தத்தைவிடக் குறைந்தது.

இதனால் ஆவியழுத்தத்தை அதிகமாக்கிச் சமப்படுத்துவதற்காகச் சிறிது நீர் ஆவியாகிறது. இதனால் துளியின் ஆரம் மேலும் குறைந்து அதன் வளைவு இன்னும் அதிகரிக்கும். இதன் விளைவாம் அதன் குவிந்த பரப்பிற்கான தெவிட்டிய ஆவியழுத்தத்தின் மதிப்பு இன்னும் உயரும். அதனால் துளி இன்னும் வேகமாக ஆவியாகும். தெவிட்டிய ஆவி துளிகளாக உறைவதில்லை. ஏனெனில் ஒரு சிறு துளி உருவான உடனேயே அது மீண்டும் ஆவியாகத் துவங்கிவிடுகிறது. ஆவி தெவிட்டிய நிலையைத் தாண்டிய பின்னர்கூடத் துளிகள் உருவாகாது.

இந் நிலையில் தெவிட்டிய ஆவியில் தூசுத்துகள்களோ மின் துகள்களோ (Charged Particles) இருந்தால் அவற்றின் புறப் பரப்புகள் தட்டையாயிருப்பதால் ஆவி அவற்றின் மேல் உறையத் துவங்குகிறது. அவ்வாறு படியும் திரவத்தின் பரப்பு வளைவு மிகக் குறைவாயிருக்கும். அதனால் அது ஆவியாவதில் ஆர்வம் காட்டுவதில்லை. மேலும் மேலும் திரவம் சேருகையில் வளைவு இன்னும் குறைந்து ஆவியாதல் ஏறக்குறைய நின்று விடுகிறது. ஏனெனில் அப் பரப்பிற்கான தெவிட்டிய ஆவியழுத்தத்தின் மதிப்புக் குறையும்போது, துளியின் பரிமாணம் அதிகரித்துக் கொண்டே போகிறது.

இந்தத் தூசுத்துகள்களும், மின் துகள்களும் மழைத் துளிகளை உருவாக்குவதில் பெரும் பங்கேற்கின்றன. ஒரு தூய ஆவியின் வெப்ப நிலையை, அதன் சாதாரண உறைநிலைக்குக் கீழே குளிர வைத்தால்கூட அந்த ஆவி துளிகளாக உறைவதில்லை. ஆனால் அதில் சிறிது தூசுத் துகள்களை விட்டால் அத் துகள்களை மையக் கருக்களாகக்கொண்டு துளிகள் உருவாகிவிடுகின்றன. குழிந்த பரப்புகளின் மேலுள்ளதைவிடக் குறைவானதால், ஆவி விரைவாகக் குழிந்த பரப்புகளின்மேல் உறையும். செயற்கை முறையில் மழையை ஏற்படுத்தும் சோதனைகள் இந்தத் தத்துவங்களின் அடிப்படையில் நிகழ்த்தப்படுகின்றன. நீரடங்கிய மேகங்களில் பனிக் கட்டிகளைத் தூவி வெப்ப நிலையைக் குறைத்துத் தெவிட்டிய ஆவியழுத்தத்தைக் குறைப்பது, சோடியம், நைட்ரஸ் ஆவி போன்ற மையக் கருவிற்கான துகள்களைத் தூவுதல் போன்ற உபாயங்கள் கையாளப்படுகின்றன.

## மாதிரிக் கணக்குகள்

1. 0·1 மி.மீ., விட்டமுள்ள ஒரு நுண்துளைக் குழாய் நீரில் செங்குத்தாக முடுக்கப்பட்டது. நீரின் பரப்பு இழுவிசை 72

டைன்கள்/செ.மீ., எனில் குழாயில் ஏறி நிற்கும் திரவத் தம்பத்தின் உயரத்தைக் கணக்கிடு.

$$T = \frac{h\,d\,g\,r}{2} \text{ அல்லது } 72 = \frac{h \times 1 \times 981 \times 0.005}{2}$$

$$\therefore \quad h = \frac{72 \times 2}{981 \times 0.005} = 29.35 \text{ செ.மீ.,}$$

2. 0·5 செ.மீ., ஆரமுள்ள ஒரு நீர்த்துளி சம பரிமாணமுள்ள 1000 சிறிய துளிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டது. இதற்குச் செலவாகும் எந்திர ஆற்றலைக் கணக்கிடு. சிறிய துளி ஒன்றினுள்ளிருக்கும் அழுத்தத்தைக் கண்டுபிடி. நீரின் பரப்பு இழுவிசை = 72 டைன்கள்/செ.மீ.,

சிறிய துளி ஒன்றின் ஆரம் r என்க.

அதன் பருமம் $= \frac{4}{3}\pi r^3$

பெரிய துளியின் பருமம் $= \frac{4}{3}\pi\,(0{\cdot}5)^3$

$$\therefore \quad \frac{4}{3}\pi r^3 \times 1000 = \frac{4}{3}\pi\,(0{\cdot}5)^3$$

$$\text{அல்லது } r^3 = \frac{0{\cdot}5 \times 0{\cdot}5 \times 0{\cdot}5}{1000}$$

$$\therefore \quad r = \frac{0{\cdot}5}{10} = 0{\cdot}05 \text{ செ.மீ.,}$$

1000 துளிகளின் புறப் பரப்பளவு $= 4\pi\,(0{\cdot}05)^2 \times 1000$

பெரிய துளியின் புறப் பரப்பளவு $= 4\pi\,(0{\cdot}5)^2$

திரவத்தின் பரப்பளவில் ஏற்பட்ட விரிவு

$$= 4\pi\,[\,(0{\cdot}05)^2\,1000 - (0{\cdot}5)^2\,]$$

$$= 4\pi \times 2{\cdot}25$$

$$\text{செலவான எந்திர ஆற்றல்} = 75 \times 4\pi \times 2{\cdot}25$$

$$= 675\,\pi \text{ எர்குகள்}$$

சிறிய துளிக்குள்ளிருக்கும் அழுத்தம்

$$= \text{வளி அழுத்தம்} + p = P + \frac{2\,T}{r}$$

$$= P + \frac{2 \times 75}{0.05}$$

$$= P + 3000 \text{ டைன்கள்.}$$

3. 2 செ.மீ., ஆரமுள்ள ஒரு சோப்புக் குமிழியை ஊதுவதற்குத் தேவையான செயலின் அளவைக் கணக்கிடு. சோப்புக் கரைசலின் பரப்பு இழுவிசை = 25 C.G.S. அலகுகள்.

பரப்பளவிலேற்பட்ட அதிகரிப்பு $= 2 \times 4 \times \frac{22}{7} \times 2^2$

செய்யப்பட்ட செயலின் அளவு $= T \times$ பரப்பு மாற்றம்

$= 25 + 8 + \frac{22}{7} + 4 = 2, 514$ எர்குகள்.

4. a, b ஆரங்களுள்ள இரு சோப்புக்குமிழிகள் இணைந்து c ஆரமுள்ள பெரிய சோப்புக்குமிழி உருவாயிற்று. வளியமுத்தம் P. பரப்பு இழுவிசை T எனில்,

$P[a^3 + b^3 - c^3] = 4T[c^2 - a^2 - b^2]$ எனக் காட்டு.

பழைய, புதிய குமிழிகளுக்குள் உள்ள அழுத்தங்கள் முறையே $p_1$. $p_2$, $p_3$ என்க. வளியமுத்தம் P எனில்

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

$$p_2 = P + \frac{4T}{b}$$

$$p_3 = P + \frac{4T}{c}$$

குமிழிகளுக்குள் உள்ள காற்றின் அழுத்தங்கள் அவற்றினுள் உள்ள அழுத்தங்களுக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும்,

அதாவது முதல் குமிழிக்குள் உள்ள காற்றின் அடர்த்தி $d_1 \propto p_1$
இரண்டாம் குமிழிக்குள் உள்ள காற்றின் அடர்த்தி, $d_2 \propto p_2$
பெரிய குமிழிக்குள் உள்ள காற்றின் அடர்த்தி. $d_3 \propto p_3$

குமிழிகளுக்குள் உள்ள காற்றின் நிறைகள் முறையே $m_1$, $m_2$, $m_3$ எனில், $m_1 = \frac{4}{3}\pi a^3 d_1$

$$m_2 = \frac{4}{3}\pi b^3 d_2$$

$$m_3 = \frac{4}{3}\pi c^3 d_3$$

$m_1 \times m_2 = m_3$ ஆதலால் $\frac{4}{3}\pi a^3 d_1 \times \frac{4}{3}\pi b^3 d_2 = \frac{4}{3}\pi c^3 d_3$

$$\therefore \quad a^3 d_1 \times b^3 d_2 = c^3 d_3$$

$$\therefore \quad a^3 p_1 \times b^3 p_2 = c^3 p_3$$

$$a^3\left(P + \frac{4T}{a}\right) + b^3\left(P + \frac{4T}{b}\right) = c^3\left(P + \frac{4T}{c}\right)$$

$$\therefore \quad P[a^3 + b^3 - c^3] = 4T(c^2 - b^2 - a^2)$$

5. 10 செ. மீ. நீளமும், 1·54 செ. மீ., அகலமும், O. 2 செ. மீ. தடிமனும் உள்ள கண்ணாடித் தகடு காற்றில் 8. 2 கிராம் எடையுள்ளதாயிருக்கிறது. அதன் நீளவாட்டு விளிம்பு கிடையாகவும், தகட்டின் கீழ்ப்பாதி நீரில் மூழ்கியும் இருந்தால் அதன் எடை எவ்வளவாகத் தோன்றும்? நீரின் பரப்பு இழுவிசை = 73 டைன்கள்/ செ. மீ.,

கண்ணாடித் தகட்டின் மேல் அதன் எடையைத் தவிர நீரின் மேல் நோக்கு அமுக்கு விசையும். அதன் விளிம்புகளில் கீழ் நோக்குப் பரப்பு இழுவிசையும் செயல்படுகின்றன.

நீரின் மேல் நோக்கு அமுக்கு விசை = பாதிக்கண்ணாடித் தகட்டினல் இடம் பெயர்க்கப்பட்ட நீரின் எடை

$= 10 \times \cdot 77 \times 0{\cdot}2 \times 1 \times 981$ டைன்கள்

$= 1{\cdot}54$ கிராம் எடை

பரப்பு இழுவிசை $2(10 \times 0{\cdot}2)$ செ. மீ. நீளமுள்ள விளிம்பில் செயல்படுகிறது.

எனவே பரப்பு இழுவிசையினல் தகட்டின் மேல் கீழ் நோக்கிச் செயல்படும் மொத்த விசை $= 73 \times 20.4$ டைன்கள்

$= 1{\cdot}518$ கிராம் எடை

∴ தகட்டின் தோற்ற எடை = காற்றில் எடை − மேல் நோக்கு அமுக்கு விசை $= 8{\cdot}2 - 0{\cdot}022 = 8{\cdot}178$ கிராம் எடை

6. ஒரு சோப்புக்குமிழினுள் அழுத்தம் வெளியழுத்தத்தைவிட 8 நீர்த்தம்ப மில்லி மீட்டர் அதிகமாயிருக்கிறது. குமிழின் விட்டம் 0·7 செ. மீ., எனில், சோப்புக் கரைசலின் பரப்பு இழுவிசையைக் கணக்கிடு.

சோப்புக்கு குமிழியினுள்ளிருக்கும் உபரியழுத்தம் $p = \frac{4\,T}{r}$

$p = 0{\cdot}8$ நீர்த்தம்ப மி. மீ.,

$= 0{\cdot}8 \times 1 \times 981$ டைன்கள் / செ. மீ.,$^2$

$= 784 \cdot 8$ டைன்கள் / செ. மீ.,$^2$

$$\therefore \quad 784.8 = \frac{4T}{0.35}$$

அல்லது $T = \frac{784.8 \times 0.35}{4} = 68.66$ டைன்கள்/செ. மீ.

7. மழை நீரின் பரப்பு இழுவிசை 72 டைன்கள்/செ. மீ., 0·02 செ. மீ., விட்டமுள்ள ஒரு மழைத்துளிக்கு உள்ளேயும் வெளியேயும் உள்ள அழுத்தங்களினிடையேயுள்ள வேறுபாட்டைக் கணக்கிடு. ஆவியாதலினால் துளியின் விட்டம் 0·00002 செ. மீ., ஆகக் குறைந்தால் இந்த வேறுபாடு எவ்வளவு இருக்கும்?

ஒரு துளியினுள்ளிருக்கும் உபரி அழுத்தம் $p = \frac{2T}{r}$

$$\therefore \quad p = \frac{2 \times 72}{0.01} = 1.44 \times 10^4 \text{ டைன்கள்/செ, மீ.,}^2$$

துளியின் விட்டம் குறைந்து 0·00002 செ. மீ., ஆகும்.

போது, $p = \frac{2 \times 72}{0.00001} = 1.44 \times 10^7$ டைன்கள்/செ. மீ.,

8. பாரபின் எண்ணெய்க்கு நடுவில் மேற் பரப்பிலிருந்து 20 செ. மீ., ஆழத்தில், 0·0026 செ. மீ., விட்டமுள்ள ஒரு காற்றுக் குமிழ் உள்ளது. பாரபின் எண்ணெயின் ஒப்பு அடர்த்தி 0·85., அதன் பரப்பு இழுவிசை 26 C. G. S. அலகுகள் – எண்ணெயின் மேற் பரப்பில் செயல்படும் வளியழுத்தம் = 76 பாதரச செ.மீ., எனில் குமிழுக்குள்ளிருக்கும் அழுத்தத்தைக் கணக்கிடு.

வளியழுத்தம் $= 76 \times 13.6 \times 981 = 1.014 \times 10^6$ டைன்கள்/செ. மீ.,$^2$ 20 செ. மீ., உயரமுள்ள எண்ணெய்த் தம்பத்தில் ஏற்படும் அழுத்தம்

$$= 20 \times 0.85 \times 981$$

$$= 1.667 \times 10^4 \text{ டைன்கள்/செ. மீ.,}^2$$

∴ குமிழியின் மேல் செயல்படும் மொத்த அழுத்தம்

$$= 1.013 \times 1.667 \times 10^4$$

$$= 103.067 \times 10^4 \text{ டைன்கள்/செ, மீ.,}$$

குமிழுக்குள்ளிருக்கும் அழுத்தம் வெளியழுத்தத்தை விட $\frac{2T}{r}$ அதிகமாயிருக்கும். எனவே குமிழுக்குள் உள்ள அழுத்தம்.

$$= 103.067 \times 10^4 + \frac{2 \times 26}{.0013}$$

$$= 103{\cdot}067 \times 10^4 \times 4 \times 10^4 \text{ டைன்கள்/செ. மீ.,}^2$$

$$= 107{\cdot}067 \times 10^4 \text{ டைன்கள்/செ. மீ.,}^2$$

$$= 10{\cdot}7067 \text{ நியூட்டன்கள்/செ. மீ.,}^2$$

9. ஒரு உயரமான ஜாடியிலுள்ள பாதரசத்தின் அடியிலிருந்து ஒரு காற்றுக் குமிழ் மெல்ல மேல் நோக்கி எழும்பிக்கொண்டிருக்கிறது. 100 செ. மீ., ஆழத்தில், அதன் ஆரம் 0·1 மி. மீ., எனில் எந்த ஆழத்தில் அதன் ஆரம் 0·126 மி. மீ., ஆக இருக்கும்? பாதரசத்தின் பரப்பு இழுவிசை = 567 C. G. S. அலகுகள். வெளியழுத்தம் = 76 பாதரச செ. மீ.,

பாதரசப் பரப்பின் மேலுள்ள அழுத்தம் $= 76 \times 13{\cdot}6 \times 981$ டைன்கள்/செ. மீ.,$^2$

100 செ. மீ., உயரமுள்ள பாதரசத் தம்பத்தினால் ஏற்படும் அழுத்தம் $= 100 \times 13{\cdot}6 \times 981$ டைன்கள்/செ. மீ.,$^2$

∴ குமிழியின் மேல் செயல்படும் மொத்த அழுத்தம் $= (100 + 76)\ 13{\cdot}6 \times 981 = 2{,}348{,}000$ டைன்கள்/செ. மீ.,$^2$

வெளியழுத்தத்தைவிடக் குமிழியினுள் உள்ள உபரி அழுத்தம்

$$= \frac{2T}{r} = \frac{2 \times 567}{0{\cdot}01} = 113400 \text{ டைன்கள்/செ. மீ.,}^2$$

∴ 100 செ. மீ., ஆழத்தில் குமிழியினுள் உள்ள மொத்த அழுத்தம் $= 2{,}348{,}000 + 113{,}400 = 2{,}461{,}400$ டைன்கள்/செ.மீ.,$^2$

குமிழியின் பருமம் $= \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi (0{\cdot}01)^2$ க. செ. மீ.,

h செ. மீ., ஆழத்தில் அதன் ஆரம் 0·126 மி. மீ., ஆக இருக்கட்டும். அந்த ஆழத்தில் குமிழுக்குள் உள்ள மொத்த அழுத்தம். $= (76 + h)\ 13{\cdot}6 \times 981 = (76 + h)\ 13350$ டைன்கள்/செ. மீ.,$^2$

வெளியழுத்தத்தைவிடக் குமிழுக்குள் இப்போதுள்ள உபரி அழுத்தம் $= \frac{2T}{r} = \frac{2 \times 567}{0{\cdot}0126} = 89990$ டைன்கள்/செ.மீ.,$^2$

$\therefore$ h செ. மீ., ஆழத்தில் குமிழிக்குள் உள்ள மொத்த அழுத்தம்

$= 13350\,(76 + h) + 899900$ டைன்கள்/செ. மீ.,$^2$

$= 1014000 + 13350\,h + 8990$

$= 1103990 + 13350\,h.$

குமிழியின் பருவம் $= \frac{4}{3}\pi\,(0.0126)^3$ க. செ. மீ.,

பாயிலின் விதிப்படி P V ஒரு மாறிலி.

எனவே $2461400 \times \frac{4}{3}\pi\,(0.01)^3 = (1103990 \times 13350\,h) \times \frac{4}{3}\pi\,(0.0126)^3$

$\therefore h = 9.441$ செ. மீ.,

10. ஒரு U-குழாயின் இருபுயங்களும் முறையே 1 மி. மீ., 2 மி. மீ., விட்டமுள்ள நுண்துளைக் குழாய்களாலானவை. U. குழாயைச் செங்குத்தாகப் பொருத்தி அதில் சிறிது திரவம் விடப்பட்டது. திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை 49 டைன்கள்/செ. மீ., சேர்கோணம் சுழி, திரவ மட்டங்களுக்கிடையிலுள்ள வேறுபாடு 1·25 செ. மீ., எனில் திரவத்தின் அடர்த்தியைக் கணக்கிடு.

$T = h\,r\,g\,\rho/2$ என நாமறிவோம்.

$r_1$, $r_2$ ஆரமுள்ள குழாய்களில் முறையே $h_1$, $h_2$ உயரத்திற்குத் திரவத்தம் மிருப்பின்,

$$T = \frac{h_1 r_1 \rho g}{2} \text{ அல்லது } h_1 = \frac{2T}{r_1 \rho g}$$

$$T = \frac{h_2 r_2 \rho g}{2} \text{ அல்லது } h_2 = \frac{2T}{r_2 \rho g}.$$

$$\therefore\ h_1 - h_2 = \frac{2T}{\rho g}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$\text{அல்லது } 1.25 = \frac{2 \times 49}{\rho \times 981} \times \left(\frac{1}{0.05} - \frac{1}{0.1}\right)$$

அல்லது $\rho = 1.7991$ கிராம்/க. செ. மீ.,

11. ஒரு U-குழாயின் இருபுயங்களும் முறையே 1 மி. மீ., 8 மி. மீ., ஆரமுள்ளவை. அதில் பாதரசத்தை விட்டால் இரு புயங் களிலுமுள்ள திரவமட்டங்களுக்கிடையில் எவ்வளவு வித்தியாச

மிருக்கும்? பாதரசத்தின் பரப்பு இழுவிசை = 440 C. G. S. அலகுகள். அதன் அடர்த்தி = 13·6 கிராம்/க. செ. மீ. கண்ணடிக்கும் பாதரசத்திற்குமான சேர்கோணம் = 140.°

$$T = \frac{r h \rho g}{2 \cos \theta} \text{ ஆதலால் } h = \frac{2 T \cos \theta}{r \rho g.}$$

ஒரு புயத்தில் பாதரசத்தின் இறக்கம் $h_1$, மற்றதில் $h_2$ என்க.

$$\therefore \quad h_1 = \frac{2 \times 440 \times 0.7660}{0.05 \times 13.6 \times 981} \quad (\because \cos 140 = -0.7660)$$

$$h_2 = \frac{2 \times 440 \times 0.7660}{0.4 \times 13.6 \times 981}$$

$$\therefore (h_1 - h_2) = \frac{2 \times 440 \times 0.7660}{13.6 \times 981} \left( \frac{1}{0.05} - \frac{1}{0.4} \right)$$

$$= 0{\cdot}8843 \text{ செ. மீ.,}$$

12. ஒரு பாத்திரத்தினடியில் 0·1 மி. மீ., விட்டமுள்ள ஒரு துளையுள்ளது. பாத்திரத்தில் கசிவு ஏற்படாமல் எவ்வளவு உயரத்திற்கு அதில் பாதரசத்தை ஊற்றலாம்? பாதரசத்தின் பரப்பு இழுவிசை = 550 டைன்கள்/செ. மீ., அடர்த்தி 13·6 கிராம்/க. செ. மீ., சேர்கோணம் = O°C.

நாம் இங்கு துளையின் விளிம்பைச் சுற்றிச் செயல்படும் பரப்பு இழுவிசையால் தாங்கக் கூடிய பாதரசத்தம்பத்தின் உயரத்தைக் கணக்கிட வேண்டும். கசிவு ஏற்படாத பெரும உயரம் h எனில்,

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

$$\text{அல்லது } h = \frac{2 T \cos \theta}{r \rho g}$$

$$= \frac{2 \times 550 \times 1}{0.005 \times 13.6 \times 981} = 16.49 \text{ செ. மீ.,}$$

## பயிற்சிகள் :

1. குயிங்கியின் முறையில் பாதரசத்தின் பரப்பு இழுவிசையையும், சேர்கோணத்தையும் காணும் முறையினை அதன் கொள்கை விளக்கத்துடன் விவரி.

ஒவ்வொன்றும் 0. 2 மி. மீ., விட்டமுள்ள 1200 நீர்த் துளிகள் இணைந்து ஒரு பெரும துளியானல் ஏற்படும் ஆற்றல் இழப்பைக் கணக்கிடு. நீரின் பரப்பு இழுவிசை = 72 டைன்கள்/ செ. மீ., (சென்னை. ஏப். 1960)

2. ஜீகர் முறையில் ஒரு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசையையும் அது வெப்ப நிலையுடன் மாறுகின்ற வீதத்தையும் கண்டு பிடிக்கும் முறையினைக் கொள்கையுடன் விவரி.

ஒரு மி. மீ., ஆரமுள்ள ஒரு துளி சமபரிமாணமுள்ள ஒரு மில்லியன் துளிகளாகச் சிதறடிக்கப்பட்டது. அதில் செலவழிந்த ஆற்றலைக் கணக்கிடு. நீரின் பரப்பு இழு விசை = 72 டைன்கள்/செ. மீ., (சென்னை ஏப். 1961)

3. ஒரு செங்குத்தான U-குழாயின் புயங்கள் முறையே 0·5 மி. மீ., 1 மி. மீ., விட்டமுள்ளவை. அதில் நீர் இருந்த போது இருபுயங்களிலுமுள்ள நீர் மட்டங்களிடையேயுள்ள வித்தியாசத்தைக் கண்டுபிடி. பிறைத்தளங்கள் அரைக் கோள வடிவுள்ளவை எனவும், நீரின் பரப்பு இழுவிசை 70 டைன்கள்/ செ. மீ., எனவும் கொள். (சென்னை ஏப். 1962)

4. ஒரு திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசைக்கும், அதன் பெரும ஆவியமுத்தத்திற்கு மிடையிலுள்ள தொடர்பை நிறுவு. இதிலிருந்து தட்டையான பரப்புகளின் மேலுள்ள ஆவி யமுத்தத்தைவிடக் குழிந்த பரப்புகளின் மேலுள்ள ஆவி யமுத்தம் குறைவானது எனவும் குவிந்த பரப்புகளின் மேலுள்ள ஆவியமுத்தம் அதிகமானது எனவும் காட்டு இதனல் மழைத்துளிகள் உருவாவது எவ்வாறு பாதிக்கப் படுகிறது? (சென்னை செப். 1960)

5. முறுக்குத் தராசைப் பயன்படுத்திப் பரப்பு இழுவிசை எவ்வாறு காணப்படுகிறது? (சென்னை செப். 1961)

6. குறிப்பு வரைக: நியூமனின் முக்கோணம் (செப். 1962) துளிகள் உருவாதல், உருளை மற்றும் கோள வடிவத் துளிகள், குமிழிகளுக்குள் உள்ள உபரி அழுத்தம். (சென்னை செப். 1963)

7. 72 டைன்கள்/செ. மீ., பரப்பு இழுவிசையும், 1 கிராம்/ க. செ. மீ., அடர்த்தியும் உள்ள ஒரு திரவம் 3 செ. மீ.,

உயரத்துக்கு ஏறி நிற்கக்கூடிய நுண்துளைக் குழாயின் ஆரத்தைக் கணக்கிடு $g = 980$ செ மீ.,/வினடி$^2$,

(சென்னை செப். 1967)

8 பரப்பு இழுவிசை, பரப்பு ஆற்றல், முகவிடைப் பரப்பு இழுவிசை ஆகியவற்றை வரையறு. இரு திரவங்களின் முகவிடைப் பரப்பு இழுவிசையைக் கண்டுபிடிக்கும் முறையினை விவரி.

ஆவி யழுத்தம், பரப்பு இழுவிசை, வளைவு இவற்றுக்கிடையிலான தொடர்பை வருவி. (சென்னை ஏப். 1963)

9. ஒரு வளைந்த திரவப் பரப்பிற்குள்ளிருக்கும் உபரி அழுத்தத்திற்கான கோவையைப் பெறுக. ஒரு குமிழியை உருவாக்குவதில் செலவான ஆற்றல், பரப்பு ஆற்றலில் ஏற்பட்ட மிகுதிப் பாட்டிற்குச் சமம் எனக்காட்டு.

(சென்னை ஏப்ரல் 1964)

# பிற்சேர்க்கை

## 1. கிரேக்கமொழி எழுத்துகள்

| | | | |
|---|---|---|---|
| A | α | — | ஆல்ஃபா (Alpha) |
| B | β | — | பீட்டா (Beta) |
| r | γ | — | காமா (Gamma) |
| △ | δ | — | டெல்டா (Delta) |
| E | ε | — | எப்சிலான் (Epsilon) |
| Z | ζ | — | ஸீட்டா (Zeta) |
| ]-[ | η | — | யீட்டா (Eta) |
| H | θ | — | தீட்டா (Theta) |
| J | i | — | அயோட்டா (Iota) |
| K | κ | — | காப்பா (Kappa) |
| Λ | λ | — | லாம்டா (Lambda) |
| M | μ | — | ம்யூ (Mu) |
| N | ν | — | ந்யூ (Nu) |
| Ξ | ξ | — | ஸை (Xi) |
| O | o | — | ஒமிக்ரான் (Omicron) |
| ]-[ | π | — | பை (Pi) |
| P | ρ | — | ரோ (Rho) |
| Σ | σ | — | ஸிக்மா (Sigma) |
| T | τ | — | டவ் (Tau) |
| Y | ν | — | உப்சிலான் (Upsilon) |
| φ | φ | — | ஃபை (Phi) |
| X | χ | — | சை (Chi) |
| ψ | ψ | — | ப்சை (Psi) |
| Ω | ω | — | ஓமேகா (Omega) |

## 2. சில முக்கியமான தகவல்கள்

e – நேப்பியரின் அடிப்படை (Napierian base)

= 2·71828183

$\pi$ = 3·14159265

சராசரி சூரிய நாள் = 86400 விநாடிகள்

= 1·0027379 விண்மீன் நாள்

விண்மீன் நாள் = 86164·09054 சராசரி சூரிய விநாடி

= 23 மணி 56 நிமி. 4·09054 விநாடிகள்

பூமியின் நிறை = 5·975 × $10^{24}$ கிலோகிராம்

சூரியனின் நிறை = 1·987 × $10^{30}$ கிலோகிராம்.

நிலவின் நிறை = 7·343 × $10^{22}$ கிலோகிராம்

நிலவுக்கும் பூமிக்குமிடையிலுள்ள சராசரித் தொலைவு

= 384, 400 கிலோமீட்டர்கள்

பூமியின் ஓடு பாதைத் திசைவேகம் = 18·5 மை/விநாடி

ஈர்ப்பு மாறிலி G = 6·67 × $10^{-8}$ டைன் செ.மீ.$^2$/கிராம்$^2$

பூமத்யரேகையில் புவியீர்ப்பு முடுக்கம் = 978·0495 செ.மீ/விநாடி$^2$

சூரியனின் ஆரம் = 6·965 × $10^{10}$ செ.மீ.

சூரியனின் சராசரி அடர்த்தி = 1·41 கி/செ.மீ$^3$

பூமியின் சராசரி அடர்த்தி = 5.52 கி/செ.மீ$^3$

பூமியிலிருந்து தப்பித்தல் வேகம் = 11·3 கிமீ/விநாடி

O°c காற்றில் ஒலியின் வேகம் = 331·45 மீ/விநாடி

25°c நீரில் ஒலியின் வேகம் = 1493·2 மீ/விநாடி

ஒரு கலோரி = 4·186 ஜூல்கள்

ஒளியின் வேகம் = 299, 792·5 = 0·1 கி.மீ/விநாடி

வாயு மாறிலி R = 0·082054 லி. வளி/மூலக்கூறு டிகிரி

= 82·055 க.செ.மீ. வளி/மூலக்கூறு டிகிரி

= 8·314 ஜூல்/மூலக்கூறு டிகிரி

= 8·314 × $10^7$ எர்குகள்/மூலக்கூறு டிகிரி

= 1·987 கலோரி/மூலக்கூறு டிகிரி

## பொருள்களின் நிலைமத்திருப்பு திறன்

### M-பொருளின் நிறை

| பொருள் | சுழல் அச்சு | நிலைமத் திருப்பு திறன் |
|---|---|---|
| 1. சீரான மெல்லிய கோல் (நீளம் $l$) | நீளத்திற்கு நேர்குத்தாக முனையில் | $M \frac{l^2}{3}$ |
| 2. ,, | நீளத்திற்கு நேர்குத்தாக மையத்தில் | $M \frac{l^2}{12}$ |
| 3. a நீளமும் b அகலமுள்ள நீள் சதுரத் தகடு | b பக்கத்திற்கு இணையாக புவியீர்ப்பு மையத்தின் வழியாக | $M \frac{a^3}{12}$ |
| 4. ,, | தகட்டிற்கு நேர்குத்தாக புவியீர்ப்பு மையத்தின் வழியாக | $M \frac{a^2 + b^2}{12}$ |
| 5. a, b, c பரிமாணங்களுள்ள நீள் சதுரத் திண்மம் | ab முகத்திற்கு இணையாகப் புவியீர்ப்பு மையத்தின் வழியாக | $M \frac{a^2 + b^2}{12}$ |
| 6. r ஆரமுள்ள வட்டத் தகடு | விட்டம் | $M \frac{r^2}{4}$ |
| 7. ,, | தளத்திற்கு நேர்குத்தாகப் புவியீர்ப்பு மையத்தின் வழியாக | $M \frac{r^2}{4}$ |
| 8. r ஆரமுள்ள உருளை | அச்சு | $M \frac{r^3}{2}$ |

| பொருள் | சுழல் அச்சு | நிலையத் திருப்புத் திறன் |
|---|---|---|
| 9. R வெளி ஆரமும் r உள் ஆரமும் உள்ள உள்ளீடற்ற உருளை | அச்சு | $M \frac{R^2 + r^2}{2}$ |
| 10. $l$ நீளமும் r ஆரமும் உள்ள உருளை | அச்சிற்கு நேர்குத்தாகப் புவியீர்ப்பு மையத்தின் வழியாக | $M \left( \frac{l^2}{12} + \frac{r^2}{4} \right)$ |
| 11. r ஆரமுள்ள கோளம் | விட்டம் | $M \frac{2r^2}{5}$ |
| 12. R வெளி யாரமும் r உள்ளாரமும் உள்ள உள்ளீடற்ற கோளம் | விட்டம் | $M \left( \frac{2}{5} \frac{R^5 - r^5}{R^3 - r^3} \right)$ |

## 4. நீளம்—மாற்றல் அட்டவணை

24

| | கி.மீ. | மீட்டர் | செ.மீ. | அங். | அடி | மைல் |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 கிலோமீட்டர் ... | 1 | 1000 | 100,000 | 39370 | 3280.83 | 0.62137 |
| 1 மீட்டர் ... | 0.00100 | 1 | 100 | 39.370 | 3.28083 | $6.21 \times 10^{-4}$ |
| 1 சென்டிமீட்டர் ... | $1.0 \times 10^{-5}$ | 0.0100 | 1 | 0.39370 | 0.032808 | $6.21 \times 10^{-6}$ |
| 1 அங்குலம் ... | $2.54 \times 10^{-5}$ | 0.2540 | 2.2400 | 1 | 0.08333 | $1.58 \times 10^{-5}$ |
| 1 அடி ... | $3.05 \times 10^{-4}$ | 0.30480 | 30.480 | 12 | 1 | $1.89 \times 10^{-4}$ |
| 1 மைல் ... | 1.60935 | 1609.35 | 160935 | 63360 | 5280 | 1 |

## 5. கோள்களைப்பற்றிய தகவல்கள்

| கோள் | சுற்று நேரம் | சராசரி தொலைவு | | சராசரி ஆரம் | | நிறை |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ஆண்டுகள் | மைல்கள் $\times 10^6$ | கிமீ $\times 10^6$ | மைல்கள் | கிமீ | கிலோகிராம் $\times 10^{24}$ |
| வெள்ளி (Mercury) | 0.241 | 36.0 | 57.9 | 1504.3 | 2421.1 | 0.3244 |
| புதன் (Venus) | 0.615 | 67.1 | 108.1 | 3828.2 | 6161.0 | 4.861 |
| பூமி (Earth) | 1.000 | 92.9 | 149.5 | 3958.9 | 6371.0 | 5.975 |
| செவ்வாய் (Mars) | 1.881 | 141.5 | 227.8 | 2070.5 | 3332.1 | 0.6387 |
| வியாழன் (Jupiter) | 11.862 | 483.3 | 777.8 | 43429.0 | 69892.0 | 1902.1 |
| சனி (Saturn) | 29.458 | 886.1 | 1426.0 | 35748.5 | 57532.0 | 569.4 |
| யுரானஸ் | 84.015 | 1783.0 | 2869.0 | 14729.0 | 23701.0 | 87.1 |
| நெப்ட்யூன் | 164.790 | 2793.0 | 4496.0 | 13381.0 | 21535.0 | 103.1 |
| புளூடோ | 247.700 | 3665.0 | 5899.0 | 1781.4 | 2867.0 | 0.5 |

## 6. பாகியல் எண்கள்

| திரவம் | 20°c யில் பாகியல் எண் மிலிபாய்ஸ் |
|---|---|
| அசிடோன் | 3.311 |
| அனிலீன் | 44.67 |
| பென்ஸீன் | 6.47 |
| ப்யூடில் ஆல்கஹால் | 29.48 |
| கார்பன் டெட்ரா குளோரைடு | 9.578 |
| எதில் அசிடேட் | 4.546 |
| எதில் ஆல்கஹால் | 11.943 |
| மெதில் அசிடேட் | 3.880 |
| புரோமின் | 9.93 |
| கார்பன் டைசல்பைடு | 3.63 |
| குளோரோபாரம் | 5.8 |
| ஈதர் | 2.34 |
| கிளிசரின் | 1340 |
| பாதரசம் | 15.6 |
| நைட்ரோ பென்சீன் | 20.3 |
| ஒலிவ் எண்ணெய் | 840 |
| டர்பன்டைன் | 149 |
| நீர் | 10.02 |
| விளக்கெண்ணெய் | 9860 |
| தேங்கா யெண்ணெய் | 154.0 |
| மண்ணெண்ணெய் | 20 |
| பெட்ரோல் | 4.5 |

| வாயு | பாகியல் எண் மைக்ரோ பாய்ஸ் |
|---|---|
| அசிடோன் | 70.0 (18°c)<br>94.27 (100°c) |
| காற்று | 170.9 (0°c)<br>180.8 (20°c)<br>217.5 (100°c) |
| ஆர்கான் | 221.0 (23°c) |
| பென்ஸீன் | 75.9 (16.8°c)<br>100.7 (70.1°c) |
| ஹைடிரஜன் | 93.1 (20°c) |
| அயோடின் | 239.7 (247.1°c) |
| நைட்ரஜன் | 184 (20°c)<br>189.4 (53.5°c) |
| நீராவி | 100.6 (28.9°c)<br>87 (0°c)<br>127 (100°c) |
| அசிடிலீன் | 93.5 |
| அமோனியா | 91.8 |
| கரியமில வாயு | 140 |
| கார்பன் மோனாக் ஸைடு | 166 |
| குளோரின் | 129 |
| சயனோஜன் | 92.8 |
| எதிலீன் | 90.7 |
| ஹீலியம் | 186 |
| ஹைடிரஜன் குளோரைடு | 138 |
| ஹைடிரஜன் சல்பைடு | 117 |
| மீதேன் | 103 |
| நைட்ரிக் ஆக்சைடு | 178 |
| நைட்ரஸ் ஆக்சைடு | 135 |
| ஆக்ஸிஜன் | 189 |
| சல்பர் டையாக் ஸைடு | 117 |

## 7. பரப்பு இழுவிசை

| திரவம் | பரப்பு இழுவிசை காற்றில் 20°c யில் டைன்கள்/செ.மீ. |
|---|---|
| எதில் ஆல்கஹால் | 22.3 |
| பென்ஸீன் | 28.9 |
| புரோமின் | 44 |
| கார்பன் பைசல்பைடு | 33 |
| குளோரோபாரம் | 27.1 |
| ஈதர் | 17 |
| கிளிசரின் | 63.14 |
| ஹைடிரோகுளோரிக் அமிலம் | 74 |
| பாதரசம் | 487 |
| ஆலிவ் எண்ணெய் | 32 |
| கந்தக அமிலம் | 76 |
| டர்பன்டைன் | 27.3 |
| புயூடில் ஆல்கஹால் | 24.6 |
| குளோரோபென்ஸீன் | 33.2 |
| எதில் அசிடேட் | 23.9 |
| நீர் | 75.64 (0°c) |
| | 74.22 (10°c) |
| | 73.49 (15°c) |
| | 71.97 (25°c) |
| | 71.18 (30°c) |
| | 67.91 (50°c) |
| அசிடோன் | 23.7 |
| பீனல் | 40.9 |
| டாலுவீன் | 28.4 |
| அனிலின் | 41.70 |
| தேங்காயெண்ணெய் | 33 |
| மண்ணெண்ணெய் | 30 |
| பாரபின் எண்ணெய் | 25.5 |
| பெட்ரோல் | 25.9 |
| சோப்புக் கரைசல் | 30 |

## 8. மீள்திறன் மாறிலிகள் : $10^{11}$ டைன்கள்/செ.மீ²

| பொருள் | யங் குணகம் | விறைப்புக் குணகம் | பருமக் குணகம் | பாய்சான் தகவு |
|---|---|---|---|---|
| அலுமினியம் | 7.1 | 2.5 | 7.7 | 0.343 |
| ஆண்டிமனி | 7.8 | 2.0 | — | — |
| பிஸ்மத் | 3.2 | 1.2 | 3.2 | 0.33 |
| பித்தளை | 9 – 11.7 | 3.5 – 4.7 | 10.5 | 0.3 – 0.4 |
| காட்மியம் | 4.8 – 6.9 | 1.0 – 2.5 | 4 | 0.3 |
| கான்ஸ்டன்டன் | 17 | 6.1 | 15.5 | 0.33 |
| செப்பு | 12.77 | 4.68 | 13.5 | 0.364 |
| கண்ணாடி | 7 | 3 | 5 | 0.2 |
| தங்கம் | 8 | 2.8 – 3.8 | 18.5 | 0.42 |
| வார்ப்பு இரும்பு | 11 | 5.0 | 10 | 0.27 |
| தேன் இரும்பு | 19.7 | 7.7 | 16.7 | 0.28 |
| காரீயம் | 1.47–1.67 | 0.76 | 4.3 | 0.40–0.45 |
| மக்னீசியம் | 4.8 | 1.67 | 4.4 | 0.35 |
| மாங்கனின் | 12 | 4.7 | 12 | 0.33 |
| நிக்கல் | 20.7 | 7.6 | 17.7 | 0.36 |
| பலேடியம் | 10.8 | 4.3 | — | — |
| பாஸ்வர்பிரான்ஸ் | 10 – 12.5 | 4.3 | 14 | 0.38 |
| பிளாடினம் | 16.67 | 6.42 | 26 | 0.39 |
| வெள்ளி | 7.1 – 7.8 | 2.6 | 10 | 0.37 |
| எஃகு | 18 – 20 | 8.3 | 17.5 | 0.3 |
| வெள்ளீயம் | 3.92–5.39 | 1.67 | 5.2 | 0.33 |
| டங்ஸ்டன் | 34 | 13.5 | 15 | 0.17 |
| மரம் | 1.0 | — | — | — |
| துத்தநாகம் | 7.8–10.2 | 2.9 – 3.73 | 6 | 0.33 |
| கலப்பு எஃகு | 18–20 | 7 – 9 | — | 0.2 – 0.3 |
| பெரிலியம் | 29.4 | — | — | — |
| மாலிப்டினம் | 34 | 14.7 | — | — |
| சிலிகான் | 11.26 | — | — | — |
| டிடானியம் | 11.6 | — | — | — |
| இந்தியாரப்பர் | 0.05 | .00016 | — | 0.48 |
| குவார்ட்ஸ் | 5.3 | 3.0 | 1.5 | — |

## 9. M.K.S திட்ட பரிமாற்ற அட்டவணை

1. தொலைவு

| | | |
|---|---|---|
| 1 செ.மீ., | = | $10^{-2}$ மீட்டர் |
| 1 அங். | = | $2·5400 \times 10^{-2}$ மீ. |
| 1 அடி | = | ·3048 மீ. |
| 1 மைல் | = | 1609·4 மீ. |
| 1 மைக்ரான் $\mu$ | = | $10^{-6}$ மீ. |
| 1 மிலி மைக்ரான் $m\mu$ | = | $10^{-9}$ மீ. |
| 1 ஆங்ஸ்ட்ராம் | = | $10^{-10}$ மீ. |

2. திசைவேகம்

| | | |
|---|---|---|
| 1 அடி/விநாடி | = | ·3058 மீ/விநாடி |
| 1 மைல்/விநாடி | = | ·44704 மீ/விநாடி |

3. நிறை

| | | |
|---|---|---|
| 1 கிராம் | = | $10^{-3}$ கிலோ கிராம் |
| 1 ஸ்லக் | = | 15·595 கிகி. |

4. விசை

| | | |
|---|---|---|
| 1 டைன் | = | $10^{-5}$ நியூட்டன் |
| 1 பவுண்டல் | = | 0·13826 நி. |
| 1 பவுண்டு | = | 4·4482 நி. |

5. ஆற்றல்

| | | |
|---|---|---|
| 1 எர்கு | = | $10^{-7}$ ஜூல் |
| 1 எலக்ட்ரான்வோல்ட் ev | = | $1·6019 \times 10^{-19}$ ஜூ |
| 1 கிலோவாட்மணி KWH | = | $3·6 \times 10^{-6}$ ஜூ |
| 1 கலோரி | = | 4·1861 ஜூ |
| 1 கிலோ கலோரி | = | $4·.861 \times 10^{3}$ ஜூ |
| 1 அடி பவுண்டு | = | 1·3558 ஜூ |
| 1 பிரிட்டிஷ் வெப்ப அலகு BTU | = | 1054·6 ஜூ |

6 திறன்

| | | |
|---|---|---|
| 1 எர்கு/விநாடி | = | $10^{-7}$ வாட் |
| 1 கலோரி/விநாடி | = | 4·1861 வாட் |
| 1 BTU/மணி | = | 0·29294 வாட் |
| 1 அடி பவுண்டு/விநாடி | = | 1·3558 வாட் |
| 1 குதிரைத் திறன் | = | 746 வாட் |

7. அழுத்தம்

| | | |
|---|---|---|
| 1 டைன்/செ.மீ² | = | $10^{-1}$ நி/மீ² |
| 1 பவு/அங்² | = | $6{\cdot}8947 \times 10^{3}$ நி/மீ² |
| 1 வளி அழுத்தம் | = | $1{\cdot}0133 \times 10^{5}$ நி/மீ² |
| 1 பாதரச செ.மீ. | = | $1{\cdot}3332 \times 10^{3}$ நி/மீ² |

8. அடர்த்தி

| | | |
|---|---|---|
| கிராம்/செ.மீ³ | = | $10^{3}$ கிகி/மீ³ |
| பவு/அடி³ | = | 16·018 கிகி/மீ³ |

9. வெப்ப எண்

| | | |
|---|---|---|
| 1 கலோரி/கிராம்/டிகிரி c | = | $4{\cdot}1861 \times 10^{3}$ ஜுல்/கிகி/டிகிரி c |
| 1 BTU/பவு/டிகிரி F | = | $4{\cdot}1861 \times 10^{3}$ ஜு/கிகி/டிகிரி c |

10. மின்னேற்றம்

| | | |
|---|---|---|
| 1 ஸ்டாட்கூல் (esu) | = | $1/3 \times 10^{9}$ கூலாம் |
| 1 அப்கூல் (abcoul)emu | = | 10 கூலாம் |

11. மின்னழுத்த வேறுபாடு

| | | |
|---|---|---|
| 1 ஸ்டாட்வோல்ட் esu | = | 300 வோல்ட் |
| 1 அப்வோல்ட் emu | = | $10^{-8}$ வோல்ட் |

12. மின்தேக்கு திறன் (capacitance)

1 ஸ்டாட்பிரட் esu = $1/9 \times 10^{11}$ பாரட்
1 அப்பாரட் (esu) = $10^{9}$ பாரட்

13. மின் உட்புகு திறன் (Permittivity)

1 esu = $1/36\pi \times 10^{9}$ பாரட்/மீட்டர்

14. மின்புலச் செறிவு

1 வோல்ட்/செ.மீ. = $10^{2}$ வோல்/மீ
1 டைன்/ஸ்டாட்கூல் esu = $3 \times 10^{4}$ வோ/மீ.

15. மின்பாயம் (Electrical flux) அல்லது
மின் இடப் பெயர்ச்சி (Electric displacement)

1 emu = $10^{5}/4\pi$ கூல்/மீ$^{2}$
1 esu = $1/12\pi \times 10^{5}$ கூல்/மீ$^{2}$

16. மின்னோட்டம்

1 ஸ்டாடாம்ப் = $1/3 \times 10^{9}$ ஆம்ப்
1 அபாம்ப் emu = 10 ஆம்ப்.

17. மின்தடை

1 ஸ்டாடோம் = $9 \times 10^{11}$ ஓம்
1 அபோம் = $10^{-9}$

18. மின்தடை எண்

1 ஓம்-செ.மீ. = $10^{-2}$ ஓம்-மீ.
1 ஓம்-அடி = $1{\cdot}6624 \times 10^{-9}$

19. காந்தப்பாய அடர்த்தி (Magnetic Flux density) அல்லது காந்தத்தூண்டல்

1 காஸ் = $10^{-4}$ வெபர்/மீ.
லைன்/அங்$^{2}$ = $1{\cdot}55 \times 10^{-5}$ வெபர்-மீ
1 esu = $3 \times 10^{6}$ வெபர்-மீ.

21. மின் நிலைமம் (Inductance)

1 அப்ஹென்றி = $10^{-9}$ ஹென்றி

1 ஸ்டாட்ஹென்றி = $9 \times 10^{11}$ ஹென்றி

22. காந்த உட்புகுதிறன் (Permeability)

1 emu = $4\pi \times 10^{-7}$ ஹென்றி/மீட்டர்

23. காந்தப் புலச்செறிவு

1 ஓர்ஸ்டட் emu = $10^{3}/4\pi$ ஆம்ப்/சுற்று/மீ.

# BIBLIOGRAPHY


1. Physics (Wiley Eastern)—Resmick & Halliday
2. Berkely Physics Couse (Blackie)
3. P.S.S.C. Text Book of Physics—National council of Educational Research and Training
4. Properties of Matter—D. S. Mathwe
5. Properties of Matter—S. R. Govindarajan and T. Murugaiyan
6. Properties of Matter—P. E. Subramania Iyer
7. Mechanical Properties of Matter—S. G. Starling
8. General Properties of Matter—C. J. Smith
9. Advahced Text Book of Practical Physics—Worsnop and Flint
10. Modern College Physics—Harvey, E. White

# கலைச் சொற்கள்

## A

Abacaus — அபாக்கஸ் எண்ணி
Aberration — பிறழ்ச்சி
Abscissae — கிடைஆயம், மட்டாயம்
Absolute — தனி, சரர்பிலா
Absolute Determiniation — சார்பிலா நிர்ணயம்
Absolute unit — தனி அலகு அல்லது சார்பிலா அலகு
Absorption coefficient — உட்கவர் எண்
Absorption cross section — உட்கவர் வாய்ப்பு
Absorption Edge — உட்கவர் விளிம்பு
Absorption Line — உட்கவர் கோடு
Absorption Power — உட்கவர் திறன்
Abundance Ratio — செழிப்பு விகிதம்
Acceleration — முடுககம்
Acceleration due to Gravity — புவியீர்ப்பு முடுக்கம்
Acceleration — முடுக்கி
Accumulation — திரள்
Accuracy — துல்லியம்
Action — வினை, செயல்
Additive Process — கூட்டு முறை
Adjustment — சீரமைவு, சரியமைப்பு
Aerial — ஏரியல்
Agate Knife Edge — அகேட் கத்தி விளிம்பு
Aggregate — மொத்தம்
Aim — நோக்கம்
Air column — காற்றுத்தம்பம்

Airy's Mine Enperiment — ஆயிரியின் சுரங்கச் சோதனை
Algebraic Sum — குறியியல் தொகை
Alignment — இணைப்பொருமை
Alpha (α) — ஆல்ஃபா
Altimeter — உயரமானி
Altitude — குத்துயரம்
Altitude Effect — குத்துயர விளைவு
Ambient Temperature — சூழ்வெப்பநிலை
Ammeter — அம்மீட்டர்
Amplitude — வீச்சு
Analysis — பகுப்பாய்வு
Anchor Ring — நங்கூரவளையம்
Aneroid Barometer — அனிராய்டுபாரமானி
Angle of Contact — சேர்கோணம்
Angle of Declination — ஒதுக்கக்கோணம்
Angle of Depression — இறக்கக்கோணம்
Angle of Elevation — ஏற்றக்கோணம்
Angle of Friction — உராய்வுக்கோணம்
Angle of Incidence — படுகோணம்
Angle of Projection — எறிகோணம்
Angle of Potation — சுழல்கோணம்
Angle of Shear — சறுக்குக்கோணம்
Angle of View — பார்வைக்கோணம்
Angstrom Unit — ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு
Angular Distribution — கோணப் பரவீடு
Angular Magnification — கோண உருப்பெருக்கம்
Angular Momentum — கோண உந்தம்
Angular Velocity — கோணத் திசைவேகம், சுழல் வேகம்
Anisotrophic — திசையொவ்வாப் பண்பியலான
Anisotrophic Crystal — திசையொவ்வாப் பண்பியல் படிகம்
Annihilation — அழிவு
Annual changes — ஆண்டுவாரி மாற்றங்கள்
Annular — வளைவடிவ
Annular Eclipse — வளைவடிவ கிரகணம்
Anomaly — முரண்பாடு
Anticlastic Surface — எதிர்வளைவுப் பரப்பு
Anti clock wise — இடஞ்சுழியாக
Antinode — எதிர்க்கணு

| | | |
|---|---|---|
| Antiparticle | — | எதிர்த்துகள் |
| Antisymmetric | — | எதிர் சமச்சீரான |
| Aperiodic | — | நேரத் தொடர்பற்ற |
| Aperture | — | துளை |
| Apex | — | உச்சி |
| Aphelion | — | அண்மையிடம் |
| Apiezon Oil | — | அப்பீசன் நெய் |
| Aplanatic Points | — | அப்ளானடிக் புள்ளிகள் |
| Aplanatic Surface | — | அப்ளானடிக் பரப்பு |
| Apparatus | — | ஆய்கருவி |
| Apparent | — | தோற்றவியலான |
| Apparent Depth | — | தோற்ற ஆழம் |
| Apparent Loss | — | தோற்ற இழப்பு |
| Appronimation | — | தோராயம் |
| Arc | — | வில் |
| Areal Expansion | — | பரப்பு விரிவு |
| Areal Velocity | — | பரப்புத் திசை வேகம் |
| Assembly | — | தொகுதி |
| Assumption | — | தற்கோள் |
| Asymptote | — | ஈற்றணுகி |
| Astonomical Unit of Force | — | விசையின் வானியல் அலகு |
| Atmolysis | — | விரவல் பகுப்பு |
| Atmospheric pressure | — | வளியமுத்தம் |
| Attraction | — | ஈர்ப்பு |
| Atwoods Machine | — | அட்வுட் எந்திரம் |
| A. V. C. | — | ஏ. வி. ஸி. |
| Average | — | சராசரி |
| Average Velocity | — | சராசரி திசை வேகம் |
| Avogadro's Number | — | அவகட்ரோ எண் |
| Axial line | — | அச்சுக்கோடு |
| Axion | — | மூலக்கோள் |
| Axis | — | அச்சு |
| Axis of Rotation | — | சுழற்சி அச்சு |
| Azimuth | — | முகட்டுவட்டை, திசைச் சார்பான |
| Azimuth Angle | — | திசைக்கோணம் |

## B

| | | |
|---|---|---|
| Backward Reading Vernier | — | பின்னோக்கு வெர்னியர் |
| Bad conductor | — | அரிதிற்கடத்தி |

Balancing column — சரியீட்டுத்தம்பம்
Balancing Length — சரியீட்டு நீளம்
Ball Bearing — குண்டுபேரிங்
Balloon — பலூன்
Banana Pin — பனு ஊசி
Barograph — பாரவரைவி
Barometer — பாரமானி
Barometric Liquid — பாரமானித் திரவம்
Barrier — தடுப்பு
Bath — தொட்டி
Beaker — முகவை
Beats — விம்மல்
Bell Jar — மணிஜாடி
Bellows — துருத்தி
Bending — வளைவு
Bending Moment — வளைவு திருப்பு திறன்
Beta — பீட்டா
Bevelled Edge — சரிந்த விளிம்பு
Bilateral — இரு பக்கத்திற்குரிய
Binocular — பைனகுலர்
Bisector — சமவெட்டி
Board of Trade Unit — வணிகச் சங்க அலகு
Bob — ஊசல் குண்டு
Bracket — அடைப்பு
Breaking Point — முறிநிலை
Breaking Stress — முறிவுத்தகைவு
Breaking Strain — முறிவுத்திரிவு
British System — ஆங்கில முறை
Broad cast — பரப்பு
Broad side on — பக்கவாகு
Brush — புருசு
Bubble — குமிழி
Bulk Moduems — பருமமீட்சிக் குணகம்
Bulk Strain — பருமத் திரிவு
Bult Stress — பருமத் தகைவு
Buzzer — இமிரி

## C

Cable — கேபிள்
Cadmium cell — கேட்மியம் மின்கலம்

Canada balsam — கேனடா பால்ஸம்
Canti lever — வளைசட்டம்
Capillarity — நுண்புழையியல்
Capillary Rise — நுண்புழையேற்றம்
Capillary Tube — நுண்துளைக் குழாய்
Capsule — சுரை, பொதியுறை
Cathetometer — கேதிடாமீட்டர், சிற்றுயரமானி
Cathode — எதிர் மின்வாய்
Caustic curve — காஸ்டிக் வளைவு
Caustic Surface — காஸ்டிக் பரப்பு
Cavity — உட்குழிவு
Cedarwood Oil — சிடார்மர எண்ணெய்
Cell — நுண்ணறை, செல்
Centigrade — சென்டிகிரேடு
Centigrade Scale — சென்டிகிரேடு அளவுமுறை
Centimeter-gram — சென்டிமீட்டர் கிராம்
Central axis — மைய அச்சு
Central Force Field — மைய விசைப்புலம்
Central Maximum — மையப்பெருமம்
Centre of Gravity — புவியீர்ப்பு மையம்
Centre of Mass — நின்ற மையம்
Centre of Mass-System — நிறைத் தொகுப்பு மையம்
Centre of Oscillation — அலைவு மையம்
Centre of Percursion — தாக்கு மையம்
Centre of Pressure — அழுத்த மையம்
Centre of Suspension — தொங்கு மையம்
Centrifugal force — மைய விலக்கு விசை
Centrifugal Pump — மைய விலக்குவிசைப் பம்பு
Centripetal Force — மைய நோக்கு விசை
Centroid — திணிவு மையம்
Chain Reaction — தொடர்வினை
Chamois Leather — மலையாட்டுத் தோல்
Charge — மின், மின்னூட்டம்
Chart — விளக்குப் படம்
Chimney — புகைபோக்கி
Choke — சோக்
Cipher — சுழி
Circular Shell — வட்ட ஓடு
Circular Orbit — வட்டச் சுற்றுப்பாதை
Circular motion — வட்ட இயக்கம்

| | |
|---|---|
| Circular Membrane | — வட்டச் சவ்வு |
| Circular Aperture | — வட்டத் துளை |
| Circumference | — பரிதி |
| Cistern | — கிண்ணம், மிடா |
| Clamping | — பொருத்துதல் |
| Classical Theory | — பழங் கொள்கை |
| Classification | — வகைப்படுத்துதல் |
| Cleavage Plane | — பிளவுறு தளம் |
| Clockwise | — வலஞ் சுழியாக |
| Clutch | — கிளச் |
| Coaxial cylinder | — ஓரச்சு உருளை |
| Coaxially | — ஓரச்சாக |
| Coefficient of Coupling | — இணைப்பெண் |
| Coefficient of Diffusion | — விரவல் எண் |
| Coefficient of Elasticity | — மீட்சி எண் |
| Coefficient of Friction | — உராய்வு எண் |
| Coefficient of Restitution | — நிலமீட்பு எண் |
| Coefficient of Rigidity | — விறைப்பு எண் |
| Coefficient of Performance | — சாதனை எண். |
| Coefficient of Viscosity | — பாகியல் எண் |
| Coefficient of increase in Gravitation | — ஈர்ப்பு விரிவுக் குணகம் |
| Coincidence | — ஒன்றிப்பு |
| Collapse | — குலைவு |
| Collimator | — இணையாக்கி |
| Collinear | — நேர்கோட்டில் அமைந்த |
| Collision of Elastic Bodies | — மீட்சியல் பொருள் மோதுகை |
| Colloid | — கூழ் |
| Common axis | — பொது அச்சு |
| Commutator | — திசை மாற்றி |
| Comparison | — ஒப்பீடு |
| Comparator | — காம்பரேடர் |
| Complementary Angle | — நிரப்பக்கோணம் |
| Component of the Force | — விசைக்கூறு |
| Composition of Forces | — விசைத்தொகுப்பு |
| Compressible | — இறுகும் |
| Compressibility | — இறுகுதிறன் |
| Compression | — இறுக்கம் |
| Computor | — கம்ப்யூட்டர், எண்ணி |

| | | |
|---|---|---|
| Concentration | — | செறிவு, அடர்வு |
| Concentration Gradient | — | செறிவுவாட்டம், அடர்வு நிலைச் சரிவு |
| Concentric | — | ஒருமைய |
| Concentric Rings | — | ஒருமைய வளையங்கள் |
| Concentric Spheres | — | ஒருமையக் கோளங்கள் |
| Concurrent Forces | — | புள்ளிசேர் விசைகள் |
| Condensation | — | நெருக்கம், சுருக்கம் |
| Condition | — | தகுதி, நிபந்தனை, கட்டுப்பாடு |
| Cone of Friction | — | உராய்வுக் கூம்பு |
| Conservation | — | அழிவின்மை |
| Conservation of Energy | — | ஆற்றலின் அழிவின்மை |
| Constant | — | மாறிலி |
| Constituent | — | ஆக்கக்கூறு |
| Constrained Bodies | — | வரம்புறு இயக்கப் பொருள்கள் |
| Constrained Motion | — | வரம்புறு இயக்கம் |
| Constriction | — | இடுக்கு |
| Contact Potential | — | தொடுகை மின்னழுத்தம் |
| Continuum | — | தொடர்பம் |
| Contraction | — | சுருக்கம் |
| Controlling Couple | — | ஆளும் இரட்டை |
| Control Rod | — | கட்டுப்பாட்டுத்தண்டு |
| Conversion of Scales | — | குறியீட்டளவை மாற்றம் |
| Converse | — | மறுதலை |
| Convex Meniscus | — | குவிப்பிறை |
| Convex Surface | — | குவிதளம் |
| Co-ordinate | — | ஆயம் |
| Copernicas Theory | — | கோப்பர்நிக்கஸ் கொள்கை |
| Coplanar | — | ஒருதள |
| Coplanar Forces | — | ஒருதள விசைகள் |
| Coplanar Parallel Forces | — | ஒருதள இணைவிசைகள் |
| Core | — | உள்ளகம் |
| Corpuscle | — | நுண்ணிமம் |
| Correction Factor | — | திருத்தக்கூறு |
| Counter | — | கணிப்பான் |
| Counterpoise | — | சம எடையாக்கு |
| Couple | — | இரட்டை |
| Couple per unit trust | — | சுழல் இரட்டை/முறுக்கு |
| Coupling | — | இணைப்பு |

Crest — முகடு
Criterion — கட்டளை விதி
Critical — மாறுநிலையான
Critical Constant — மாறுதான மாறிலி
Cross wire — குறுக்கிழை
Crown Glass — கிரவுன் கண்ணடி
Crystal — படிகம்
Crystalloid — படிகப் பொருள்
Cube Root — மும்மடி மூலம்
Cubical Strain — பருமத் திரிபு
Curvature — வளைவு
Curvature of Field — புலவளைவு
Cusp — வளைவிடம்
Cycle — சுற்று

## D

Dead Load — பாழ்ச்சுமை
Declaration — எதிர்முடுக்கம்
Declination — இறக்கம்
Defect — குறைபாடு
Definition — வரையறை
Deflection — விலக்கம்
Define — வரையறு
Deformation — வடிவமாற்றம்
Degree of Dissociation — பிரிகைத்தகவு
Degree of Freedom — உரிமைப்படிகள்
Denser Medium — அடர்வுமிகு ஊடகம்
Density — அடர்த்தி, செறிவு
Depression — இறக்கம்
Derived Units — வழி அலகுகள்
Deviated — திசைமாறி
Deviation — திசைமாற்றம்
Device — கருவி, சாதனம்
Dilation — விரிவு
Dialysis — சவ்வூடு பகுப்பு
Diaphragm — இடைத்திரை
Differential Pulley — வேறுபடு கப்பி
Differentiation — வகைப்படுத்தல்
Diffusion — விரவல்

| | | |
|---|---|---|
| Diffusion cell | — | விரவல் கலம் |
| Diffusivity | — | விரவல் திறன் |
| Dilution | — | நீர்த்தல் |
| Dimension | — | பரிமாணம் |
| Dimensional Analysis | — | பரிமாண ஆய்வு |
| Dimensional Method | — | பரிமாண முறை |
| Dip | — | சரிவு |
| Directional Property | — | திசை யியல்பு |
| Directivity | — | நெறிப்படுத்து திறன் |
| Discontinuity | — | தொடர்ச்சியின்மை |
| Discrete | — | தனித்தனியான |
| Disintegration | — | சிதைவு |
| Displacement | — | பெயர்ச்சி |
| Dissociation | — | அயனிப்பிரிகை |
| Division | — | பிரிவு |
| Drawing Board | — | வரை பலகை |
| Drawing Paper | — | வரை தாள் |
| Drift | — | நகர்வு |
| Droplet | — | திவலை |
| Dropweight Method | — | துளி எடை முறை |
| Dumb bell | — | வன்பிடி |
| Dynamic Equilibrium | — | இயக்கச் சமநிலை |
| Dynamical Method | — | இயக்க வகை முறை |
| Dynamical Theory | — | இயக்கக் கொள்கை |
| Dynamics | — | இயக்கவியல் |
| Dynamometer | — | டைனமோ மீட்டர் |
| Dyne | — | டைன் |

## E

| | | |
|---|---|---|
| Earth crust | — | பூமிப் புறஓடு |
| Ebonite | — | எபனைட் |
| Eccentric | — | வேற்றுமைய. உறழ்வட்டமாக |
| Echo | — | எதிரொலி |
| Eddy cuvrent | — | சுழிஓட்டம் |
| Effective Area | — | செயலுறு பரப்பு |
| Efficiency | — | இயக்குதிறம், பயனுறுதிறம் |
| Effort | — | முயற்சி |
| Effusion | — | சொரிவு, பொழிவு |
| Elastic After Effect | — | மீட்சிப் பின் விளைவு |

| | | |
|---|---|---|
| Elastic collision | — | மீட்சி மோதுகை |
| Elastic constant | — | மீட்சி மாறிலி |
| Elastic Hysterisis | — | மீட்சித் தயக்கம் |
| Elastic Limit | — | மீட்சி எல்லை |
| Elastic Modulus | — | மீட்சிக் குணகம் |
| Elastic Spring | — | மீட்சி வில் |
| Elastic Vibration | — | மீட்சியல் அதிர்வு |
| Elasticity | — | மீட்சியல் |
| Electrolyte | — | மின்பகுபொருள் |
| Element | — | மூலகம் |
| Elevation | — | ஏற்றம் |
| Elevation of Boiling Point | — | கொதிநிலை ஏற்றம் |
| Ellipse | — | நீள்வட்டம் |
| Ellipsoid | — | தட்டைக்கோளம், மூவார உரு |
| Elliptic Orbit | — | நீள்வட்டச் சுற்றுப்பாதை |
| Elongation | — | நீட்சி |
| Emanation | — | வெளியீடு |
| Empirical Law | — | அனுபவ விதி |
| Emulsion | — | பசைப்பூச்சு, குழம்பு |
| Encounter | — | எதிர்ப்படுதல் |
| End correction | — | முனைத்திருத்தம் |
| Endothermic | — | ஆற்றல் உட்கவரவல்ல |
| Energy | — | ஆற்றல் |
| Energy intensity | — | ஆற்றல் செறிவு |
| Energy flow | — | ஆற்றல் பாய்கை |
| Energy function | — | ஆற்றல் கோவை |
| Entrophy | — | என்ட்ரபி |
| Enthalpy | — | எந்தால்பி |
| Envelope | — | உறை |
| Epicycle | — | எபிசைகிள் |
| Epidiascope | — | எபிடயாஸ்கோப் |
| Episcope | — | எபிஸ்கோப் |
| Epoch | — | தொடக்கக் கட்டம் |
| Equation | — | சமன்பாடு |
| Equation of Motion | — | இயக்கச் சமன்பாடு |
| Equator | — | பூமத்திய ரேகை |
| Equilibrant | — | சமனியாக்கி |
| Equilibrium | — | சமநிலை |
| Equipment | — | சாதனம் |

| | | |
|---|---|---|
| Equipotential Surface | — | சம அழுத்தப் பரப்பு |
| Erect | — | நேரான |
| Erg | — | எர்கு |
| Error | — | பிழை |
| Escape Velocity | — | தப்பித்தல் வேகம் |
| Ether | — | ஈதர் |
| Evacuation | — | வெளியேற்றம் |
| Even numbers | — | இரட்டை எண்கள் |
| Excess | — | உபரி |
| Experimental error | — | சோதனைப் பிழை |
| Exposure | — | திறப்பு |
| Extensible String | — | நீளவல்ல இழை |
| Extensiometer | — | நீட்சிமானி |
| External force | — | வெளி விசை |
| External Point | — | வெளிப்புள்ளி |
| External Work | — | வெளிச்செயல் |
| Eye piece | — | கண்ணருகு கருவி |

## F

| | | |
|---|---|---|
| Factor | — | காரணி, கூற்றெண் |
| Field Intensity | — | புலவலிமை |
| Film | — | படலம், மெல்லிய ஏடு |
| Finite Object | — | வரம்புடைப் பொருள் |
| First Approximation | — | முதல் நிலைத் தோராயம் |
| Fixed Point | — | நிலைப்புள்ளி |
| Flexible | — | நெகிழ்கின்ற |
| Flint glass | — | பிளின்ட் கண்ணாடி |
| Fluid | — | பாய்மம் |
| Fluid Friction | — | பாய்ம உராய்வு |
| Fluid Pressure | — | பாய்ம அழுத்தம் |
| Fly wheel | — | விசையாட் சுழலி |
| Force | — | விசை |
| Force of Attraction | — | ஈர்ப்பு விசை |
| Force Diagram | — | விசை விளக்கப் படம் |
| Force of Friction | — | உராய்வு விசை |
| Force of Gravity | — | ஈர்ப்பு விசை |
| Forceps | — | இடுக்கி, சாமணம் |
| Forward Reading Vernier | — | முன்னோக்குவெர்னியர் |
| Fragments | — | பகுதிகள் |

| | |
|---|---|
| Frame | சட்டம் |
| Free Energy | இயல்பாற்றல் |
| Free Surface Energy | புறப்பரப்பு ஆற்றல் |
| Freezing Point | உறைநிலை |
| Freezing Mixture | உறைக்கலவை |
| Frequency | அதிர்வெண் |
| Frequency of Rotation | சுழற்சி அதிர்வெண் |

## G

| | |
|---|---|
| Gauge | அளவி |
| Geographical Meridian | புவியியல் துருவத்தளம் |
| Geographical Survey | புவியியல் சுற்றுய்வு |
| Geometrical Moment of inertia | வடிவியல் நிலைமத் திருப்புத் திறன் |
| Geometric axis | வடிவியல் அச்சு |
| Geometric Progression | பெருக்கமாற்றத் தொடர்பு |
| Geophysical Prospecting | பூ பௌதிக ஆய்வு |
| Germanium | ஜெர்மேனியய் |
| Girder | உத்திரம் |
| Glancing angle | தொடுகோணம் |
| Glass Slab | கண்ணாடிப் பட்டகம் |
| Goniometer | கோணமானி |
| Gradient | வாட்டம், சரிவு |
| Graduate | அளவுக் குறியிடு |
| Gram-molecule | கிராம் மூலக் கூறு |
| Gram weight | கிராம் எடை |
| Graph | வரை படம் |
| Gravitation constant | ஈர்ப்பு மாறிலி |
| Gravitational Force | ஈர்ப்பு விசை |
| Gravitational Head | ஈர்ப்பு முகடு |
| Gravitational Intensity | ஈர்ப்புச் செறிவு |
| Gravitational Mass | ஈர்ப்பு நிறை |
| Gravitational Potential | ஈர்ப்பு அழுத்தம் |
| Gravitational Potential Energy | ஈர்ப்பு நிலையாற்றல் |
| Gravitational Units | ஈர்ப்பு அலகுகள் |
| Gravity Balance | ஈர்ப்புத் தராசு |
| Gravity Meter | ஈர்ப்புமானி |
| Gravity Ratio | ஈர்ப்புத்தகவு |

Gravity Survey — ஈர்ப்புச் சுற்றாய்வு
Grooved Edge — கீறிட்ட விளிம்பு
Gradation — அளவுக் குறி
Gyration — சுழலியக்கம்
Gyroscope — ஜைராஸ்கோப்
Gyrostat — ஜைராஸ்டாட்

## H

Hemisphere — அரைக்கோளம்
Hollow — உள்ளீடற்ற
Homogeneity of Dimensions — பரிமாண ஒரியல்பு
Homogeneous Medium — ஒரு படித்தான ஊடகம்
Homogeneous Sphere — ஒரு படித்தான கோளம்
Homogeneous Strain — ஒரியல் திரிபு
Hook's law — ஹூக்கின் விதி
Horizoa — அடிவானம்
Horizontal — கிடைமட்டம்
Horizontal Component — கிடைக்கூறு
Horizontal Directive
  Tendency — கிடைத்திசைச் சார்பு
Horizontal intensity — கிடைச்செறிவு
Horizontal Plane — கிடைத்தளம்
Horse power — குதிரைத்திறன்
Hyperbola — அதிபரவளையம்
Hypothesis — புனைவுகோள்
Hypothetical Medium — கற்பித ஊடகம்
Hysterisis loop — தயக்கக் கண்ணி

## I

Ideal Gas — லட்சியவாயு
Image — பிம்பம்
Impact — மோதல்
Impulse — கணத்தாக்கு
Impurity — வேற்றுப்பொருள்
Inactive — செயலிலா
Incandescence — வெண்சுடர்
Incident Ray — படுகதிர்
Inclined Plane — சாய்தளம்

| | | |
|---|---|---|
| Inclination | — | சாய்வு |
| Incompressibility | — | இறுகாத்தன்மை |
| Indicate | — | சுட்டிக்காட்டு |
| Indicator | — | சுட்டிக்காட்டி |
| Indicator Diagram | — | சுட்டு வரை படம் |
| Induced | — | தூண்டப்பட்ட |
| Inelastic Collision | — | மீட்சியிலா மோதுகை |
| Inertia | — | சமத்துவம், நிலைமம் |
| Infinite | — | எண்ணிலா, ஈறிலா |
| Infinity | — | வரம்பிலி |
| Inference | — | அனுமானம், விளைகோள் |
| Ingredient | — | கூறு |
| Inlet | — | ஏற்புவாய் |
| Input | — | உள்ளிடு அளவு |
| Instrument | — | கருவி |
| Insulation | — | காப்பு |
| Insulated | — | காப்பிடப்பட்ட |
| Insulator | — | காப்பான் |
| Intensity | — | செறிவு |
| Inter diffusion | — | இடை விரவல் |
| Intrinsic | — | உள்ளார்ந்த |
| Intrinsic Pressure | — | உள்ளார்ந்த அழுத்தம் |
| Interfacial Surface Tension | — | முகவிடைப் பரப்பு இழுவிசை |
| Interfere | — | இடையீடு |
| Jntegral Multiple | — | முழு எண்மடங்கு |
| Integration | — | தொகைப்படுத்தல் |
| Intermolecular Attraction | — | மூலக் கூறிடைக் கவர்ச்சி |
| Intermolecular Force | — | மூலக் கூறிடை விசை |
| Interpolation | — | இடைச்செருகல் |
| Intersect | — | இடைவெட்டு |
| Interspace | — | இடைவெளி |
| Interstellar Space | — | விண்மீனிடை வெளி |
| Internal Bending Moment | — | உள்வளைவுத் திருப்புத் திறன் |
| Internal Energy | — | உள்ளாற்றல் |
| Inverse Square Law | — | தலைகீழ் இருமடி விதி |
| Invariable Pendulum | — | மாறிலி ஊசல் |
| Ion | — | அயனி |
| Ionisation | — | அயனியாக்கம் |
| Iron filings | — | இரும்புத்தூள் |
| Isogarn | — | ஐசோகம் |

Isothermal — மாறா வெப்பநிலைக் கோடு
Isothermal compression — வெப்பநிலை மாறா இறுக்கம்
Isothermal Expansion — வெப்பநிலை மாறாப் பெருக்கம்
Isotope — ஐசடோப்
Isotropic — திசையொப்புப் பண்பியலான

## J

Jaeger's Method — ஜீகர் முறை
Jacket — உறை
Jamming — நெருக்குதல்
Jelly — பாகு
Jet — ஜெட்
Jockey — தொடுகோல்
Joule — ஜூல்
J - tube — J குழாய்
Junction — சந்தி
Jupiter — வியாழன்

## K

Kepler — கெப்ளர்
Kepler's Laws of Planctary motion — கெப்ளரின் கோளியக்க விதிகள்
Key Board — சாவிப் பலகை
Kilo cycle — கிலோ சைகிள்
Kilogram — கிலோகிராம்
Kilometer — கிலோமீட்டர்
Kinetic Energy — இயக்க ஆற்றல்
Kinetic theory of Gases — வாயுக்களின் இயக்கக் கோட்பாடு
Kink — நெளிவு
Kirchoff's Law — கிர்சாவ் விதி
Knife Edge — கூர்விளிம்பு
Knitting needle — பின்னல் ஊசி
Knob — குமிழ்
Kundt — குண்ட்

## L

Laboratory — ஆய்வுக்கூடம்
Lactometer — பால்மானி
Lagging — பின் தங்கல்
Lagging Rate — பின் தங்கல் வீதம்
Lamis Theorem — லாமியின் தேற்றம்
Laplace correction — லாப்லாஸ் திருத்தம்

Laser — லேஸர்
Latent Heat — உள்ளுறை வெப்பம்
Lateral — இடவலமான
Lateral Contraction — பக்கவாகுச் சுருக்கம்
Lateral Displacement — பக்கப் பெயர்ச்சி
Lateral Jnversion — இடவல மாற்றம்
Lateral Magnification — குறுக்கு உருப்பெருக்கம்
Lateral Thrust — பக்க அமுக்கம்
Latitude — குறுக்குக்கோடு, அட்சரேகை
Latitude Effect — குறுக்குக்கோட்டு விளைவு
Law of Diffusion — விரவல் விதி
Laws of Friction — உராய்வு விதிகள்
Layer — அடுக்கு
Leakage — கசிவு
Least count — அதம அளவு. துல்லியம்
Lens — லென்ஸ்
Levelling Serews — மட்டப்படுத்தும் திருகுகள்
Lever — நெம்புகோல்
Lift — விசை ஏணி
Light — ஒளி
Like Parallel Forces — ஒத்தி இணைவிசைகள்
Limit — எல்லை, வரம்பு
Limiting Angle — வரம்புக்கோணம்
Limiting Equilibrium — வரம்புச் சமநிலை
Line Integral — வரித்தொகை
Line of Force — விசைக்கோடுகள்
Lincar Elongation — நீட்சி
Linear Expansion — நீள் விரிவு
Linear Magnification — நீட்சி உருப்பெருக்கம்
Linear Strain — நீட்சித் திரிவு
Linear Velocity — நேர்கோட்டு வேகம்
Locus — நியமப் பாதை
Logarithum — லாகரிதம்
Longitudinal Extension — நீளவாகு நீட்சி
Longitudinal Magnification — நீளவாகு உருப்பெருக்கம்
Longitudinal Stress — நீட்சித்தகைவு
Longitudinal Vibration — நெட்டலைவு
Lubricant — உயவுப்பொருள், மசகு

## M

| | | |
|---|---|---|
| Macroscopic | — | பேரளவு |
| Magnification | — | உருப்பெருக்கம் |
| Magnifying Power | — | உருப்பெருக்கத் திறன் |
| Magnitude | — | எண்மதிப்பு. பரிமாணம் |
| Magnitude and Direction | — | எண்மதிப்பும் திசையும் |
| Main Scale Reading | — | முதற்கோல் அளவீடு |
| Major Axis | — | பேரச்சு |
| Manometer | — | அழுத்தமானி |
| Maser | — | மேசர் |
| Mass | — | நிறை |
| Mass Energy Equivalence | — | நிறை ஆற்றல் இணைமாற்று |
| Mass Energy Relation | — | நிறை ஆற்றல் தொடர்பு |
| Mass Number | — | நிறை எண் |
| Mass Unis | — | நிறை அலகு |
| Matching | — | பொருத்தம் |
| Matter | — | பகுப்பொருள் |
| Maximum | — | பெருமம் |
| Maxwell's Needle | — | மாக்ஸ்வெல் ஊசி |
| Mean Solar Day | — | சராசரி ஆயுள் |
| Mechanical Advantage | — | எந்திர லாபம் |
| Mechanical Equivalent of Heat | — | வெப்பத்தின் எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று |
| Mechanics | — | எந்திரவியல் |
| Medium | — | ஊடகம் |
| Melting Point | — | உருகுநிலை |
| Membrane | — | சவ்வு |
| Meniscus | — | பிறைத்தளம் |
| Mesh | — | வலை |
| Meson | — | மெசான் |
| Metacentre | — | மிதவைக் காப்பு மையம் |
| Meter | — | மானி |
| Mercury | — | பாதரசம் |
| Metric System | — | மெட்ரிக் முறை |
| Mica | — | மைக்கா |
| Micrometer | — | மைக்ரா மீட்டர் |
| Microphone | — | மைக்ராபோன், மைக் |
| Microscope | — | நுண்ணோக்கி |
| Microscopic | — | நுண்ணிய |

| | | |
|---|---|---|
| Mike | — | மைக் |
| Mine Method | — | சுரங்க முறை |
| Minimum | — | சிறுமம் |
| Minor Axis | — | சிற்றச்சு |
| Minutes | — | நிமிடங்கள் |
| Minor | — | ஆடி |
| Minor Strip | — | ஆடித்துண்டு |
| Modulus | — | குணகம் |
| Modulus of Elasticity | — | மீட்சிக்குணகம் |
| Modulus of Rigidity | — | விறைப்புக்குணகம் |
| Moisture | — | ஈரம் |
| Molar Solution | — | மூலக்கூறு கரைசல் |
| Molecule | — | மூலக்கூறு |
| Molecular Attraction | — | மூலக்கூறு கவர்ச்சி |
| Molecular Depression | — | மூலக்கூறு இறக்கம் |
| Molecular Heat | — | மூலக்கூறு விலக்கம் |
| Molecular Theory | — | மூலக்கூறுக் கொள்கை |
| Molecular Weight | — | மூலக்கூறு எடை |
| Moment of Inertia | — | நிலைமத் திருப்புத் திறன் |
| Moment | — | திருப்புத்திறன், சுழற்சி விளைவு |
| Momentum | — | உந்தம் |
| Monoclinical | — | ஒற்றைத்தளப்படிகம் |
| Moment | — | திருப்புத்திறன், சுழற்சி விளைவு |
| Motion | — | இயக்கம் |
| Motion under Gravity | — | ஈர்ப்புவினை இயக்கம் |
| Motor | — | மோட்டார் |
| Mountain Effect | — | உயர விளைவு |
| Movable Jaw | — | இயங்குதாடை |
| Multiple | — | மடங்கு |
| Multiplication factor | — | பெருக்க எண் |
| Multiplier | — | பெருக்கி |
| Multistage Rockets | — | பலகட்ட ராக்கெட்டுகள் |

## N

| | | |
|---|---|---|
| Natural Frequency | — | இயல் அதிர்வெண் |
| Negative | — | எதிரின |
| Negative Pole | — | எதிர்முனை |
| Neutral Axis | — | நடுநிலை அச்சு |
| Neutral Equilibrium | — | நடுநிலைச் சமநிலை |
| Neutral Line | — | நடுநிலைக்கோடு |

| | | |
|---|---|---|
| Neutralised | — | நடுநிலையாக்கப்பட்ட |
| Neutral Surface | — | நடுநிலைப் பரப்பு |
| Neutrino | — | நியூட்ரினோ |
| Neutron | — | நியூட்ரான் |
| Node | — | கணு |
| Noise | — | இரைச்சல் |
| Nomenclature | — | பெயரிடு முறை |
| Non-electrolyte | — | மின் பகாப்பொருள் |
| Non-Uniform Bending | — | சீரிலா வளைவு |
| Non-Uniform field | — | சீரிலாப்புலம் |
| Non-Volatile | -- | எளிதில் ஆவியாகாத |
| Normal | — | இயல்பான, நேர்குத்துக்கோடு லம்பம் |
| Normal Acceleration | — | நேர்குத்து முடுக்கம் |
| Normal Force | — | நேர்குத்து விசை |
| Normal Incidence | — | நேர்குத்துப் படுகை |
| Normal Reaction | — | நேர்குத்து எதிர்வினை |
| Normal State | — | இயல்பு நிலை |
| Normal Temperature and Pressure | — | படித்தர வெப்பநிலையும் அழுத்தமும், இயல்பான வெப்பநிலையும் அழுத்தமும் |
| Nucleon | — | நியூக்ளியான் |
| Nucleus | — | அணுக்கரு |
| Numerical Value | — | எண் மதிப்பு |

## O

| | | |
|---|---|---|
| Object | — | பொருள் |
| Oblique | — | சாய்வான |
| Obliquity | — | சாய்வு |
| Observation | -- | காட்சிப் பதிவி |
| Observer | — | பார்வையாளர் |
| Obstacle | — | தடைப்பொருள் |
| Octave | — | எண்மம் |
| Odd Number | — | ஒற்றை எண் |
| Oerstead | — | ஓர்ஸ்டட் |
| Oil Immersion | — | எண்ணை அமிழ்வு |
| Omega | — | ஒமேகா |
| Opacity | — | ஒளிபுகா இயல்பு |
| Opaque | — | ஒளிபுகா |

| | | |
|---|---|---|
| Open End | — | திறந்த முனை |
| Optic Lever | — | ஒளி நெம்புகோல் |
| Optics | — | ஒளியியல் |
| Orbit | — | சுற்றுப்பாதை |
| Orbital Velocity | — | ஓடுபாதைத் திசைவேகம் |
| Order | — | கிரமம், வரிசை |
| Ordinate | — | குத்தாயம் |
| Orientation | — | முகப்பு நிலை |
| Origin | — | தோற்றுவாய், துவக்கம் |
| Oscillation | — | அலைவு |
| Oscillation disc | — | அலைவுவட்டு |
| Osmotic Pressure | — | சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் |
| Outlet | — | வெளியேறு குழாய் |
| Output | — | வெளிவரு அளவு |
| Overlapping | — | மேற்பொருந்தும் |

## P

| | | |
|---|---|---|
| Paddle | — | துடுப்பு |
| Pan | — | தட்டு |
| Parabola | — | பரவளையம் |
| Parabolic Minor | — | பரவளைய ஆடி |
| Parallax | — | இடமாறுதோற்றம் |
| Parallal Forces | — | இணைவிசைகள் |
| Parallelogram of Forces | — | விசை இணைகரம் |
| Particle | — | துகள் |
| Pattern | — | அமைப்பு |
| Perfect gas | — | லட்சிய வாயு |
| Periodicity | — | காலாந்தரம் |
| Period of Oscillation | — | அலைவுநேரம் |
| Period of Revolution | — | சுற்றுநேரம் |
| Period of Rotation | — | சுழற்சிநேரம் |
| Periodic Table | — | மூலக அட்டவணை |
| Periscope | — | பெரிஸ்கோப் |
| Permanent Gas | — | நிலைவாயு |
| Permanent Set | — | திரிபு நிலைப்பு |
| Perpendicular | — | நேர்குத்துக்கோடு |
| Phase | — | கட்டம் |
| Phase Difference | — | கட்ட வேறுபாடு |
| Phi | — | ஃபை |

| | | |
|---|---|---|
| Phon | — | ஃபோன் |
| Physics | — | பௌதிகம் |
| Physical Balance | — | பௌதிகத் தராசு |
| Physical State | — | பௌதிக நிலை |
| Procedure | — | வழிமுறை |
| Precaution | — | முன் எச்சரிக்கை |
| Pi | — | பை |
| Pick up | — | எடுப்பி |
| Pin Hole | — | ஊசித்துளை |
| Piston | — | பிஸ்டன் |
| Pitch | — | சுருதி, புரியிடைத்தூரம் |
| Pitch Scale | — | புரிக்கோல் |
| Pivot | — | சுழல்தானம் |
| Plane of Bending | — | வளைதளம் |
| Plane Minor | — | சமதள ஆடி |
| Plane of Paper | — | தாளின் தளம் |
| Plane Parallel | — | தள இணைமை |
| Planetary Motion | — | கோளியக்கம் |
| Planet | — | கோள் |
| Plasma | — | பிளாஸ்மா |
| Plastic | — | பிளாஸ்டிக், மீட்சியற்ற |
| Platform | — | மேடை |
| Platinum | — | பிளாடினம் |
| Plug Key | — | முளைச்சாவி |
| Plumb Line | — | குண்டுநூல் |
| Point Mass | — | நிறைப்புள்ளி |
| Point Object | — | புள்ளிப்பொருள் |
| Poise | — | பாய்ஸ் |
| Poisenille's Equation | — | பாய்சல் சமன்பாடு |
| Poison's Ratio | — | பாய்சான் தகவு |
| Pore | — | நுண்துளை |
| Porous Pot | — | நுண்துளைப்பாண்டம் |
| Positive | — | நேரின |
| Positive Column | — | நேர்மின்தொடர் |
| Positron | — | பாசிட்ரான் |
| Postulate | — | எடுகோள், கோட்பாடு |
| Potential | — | (மின்) அழுத்தம் |
| Potential Difference | — | அழுத்த வேறுபாடு |
| Potential Energy | — | நிலையாற்றல் |
| Potential (Gravitational) | — | ஈர்ப்பு அழுத்தம் |

| | | |
|---|---|---|
| Poundal | — | பவுண்டல் |
| Ponnd Weight | — | பவுண்டு எடை |
| Power | — | திறன் |
| Poynting's Experiment | — | பாயின்டிங் சோதனை |
| Practical Unit | — | நடைமுறை அலகு |
| Precession | — | அச்சுச் சுழற்சி |
| Prediction | — | வருமுன்னுரைத்தல் |
| Pressure | — | அழுத்தம் |
| Pressure Coefficient | — | அழுத்த விரிவெண் |
| Pressure Head | — | அழுத்த முகடு |
| Principle | — | கோட்பாடு, தத்துவம் |
| Principal Plane | — | முதன்மைத்தளம் |
| Principle of Conservation of Energy | — | ஆற்றல் அழிவின்மைக் கோட்பாடு |
| Principle of Conservation of Momentum | — | உந்த அழிவின்மைக்கோட்பாடு |
| Principle of Virtual Work | — | கற்பித வேலைத் தத்துவம் |
| Probability | — | நிகழ்திறம் |
| Procedure | — | வழிமுறை |
| Projectile | — | எறிபொருள் |
| Projection | — | எறிதல் |
| Propagation | — | பரப்பல் |
| Properties of Matter | — | பருப்பொருளியல் |
| Proton | — | புரோட்டான் |
| Protruding | — | முன்நீண்ட |
| Pulley | — | கப்பி |
| Pulse | — | துடிப்பு |
| Pump | — | பம்பு |

## Q

| | | |
|---|---|---|
| Quadratic Equation | — | இருபடிச் சமன்பாடு |
| Qualitative | — | பண்பியலான |
| Quality | — | பண்பு |
| Quantitative | — | அளவியலான |
| Quantity | — | அளவு |
| Quantum | — | குவான்டம் |
| Quantum Theory | — | குவான்டம் கொள்கை |
| Quarts | — | குவார்ட்ஸ் |

| | |
|---|---|
| Quarty Gravity Balance | — குவார்ட்ஸ் ஈர்ப்புத் தராசு |
| Quasi State | — தோற்றவியல் நிலை |
| Quincke | — குவிங்கி |
| Quincke Method | — குவிங்கி முறை |

## R

| | |
|---|---|
| Radar | — ராடார் |
| Radial | — ஆரத்திசையான |
| Radiant Energy | — கதிர் ஆற்றல் |
| Radiation | — கதிர்வீச்சு |
| Radiation Correction | — கதிர்வீச்சுத் திருத்தம் |
| Radio | — வானொலிப் பெட்டி, ரேடியோ |
| Radio active | — கதிரியக்கமுள்ள |
| Radio activity | — கதிரியக்கம் |
| Radius | — ஆரம் |
| Radius Vector | — ஆரக்கோடு |
| Radius of Curvature | — வளைவு ஆரம் |
| Radius of the Orbit | — சுற்றுப்பாதை ஆரம் |
| Rain bow | — வானவில் |
| Rarefaction | — அடர்வு குறைவு, விலக்கம் |
| Rarefied | — அடர்வு குறைந்த |
| Rarer Medium | — அடர்வு குறைந்த ஊடகம் |
| Rate of Change of Twist | — முறுக்கு மாற்ற வீதம் |
| Rate of Flow | — பாய்வு வீதம் |
| Reaction | — எதிர்வினை |
| Reading | — காட்சிப் பதிவு |
| Real Depth | — மெய் ஆழம் |
| Receiver | — ஏற்பி |
| Recoil | — பின் உதைப்பு |
| Recording | — பதிவீடு |
| Rectangular Aperture | — நீள்சதுரத் துளை |
| Rectangular Membrane | — நீள்சதுரச் சவ்வு |
| Rectilinear | — நேர்கோட்டியவான |
| Red | — சிவப்பு |
| Reduction Factor | — சுருக்கக் கூற்றெண் |
| Reference | — மேற்கோள் |
| Relativity | — சார்பியல் |
| Reflection | — எதிரொளிப்பு |
| Refraction | — ஒளிவிலகல் |

| | | |
|---|---|---|
| Refractive index | — | ஒளிவிலகல் எண் |
| Refrigerent | — | குளிர்பதனூட்டி |
| Refrigeration | — | குளிர்பதனேற்றம் |
| Refrigerator | — | குளிர்பதனப்பெட்டி |
| Regulator | — | கட்டுப்படுத்தி |
| Reinforcement | — | வலிவூட்டம் |
| Relativity Theory | — | சார்புக் கொள்கை |
| Relay | — | அஞ்சல் |
| Reliability | — | நம்பகம் |
| Replica | — | நகல், படி |
| Repulsion | — | எதிர்த்துத் தள்ளுதல் |
| Research Laboratory | — | ஆய்வுக்கூடம் |
| Reservoir | — | தேக்கி |
| Resistance | — | தடை |
| Resolving Power | — | பகுதிறன் |
| Resolution of Forces | — | விசைப்பகுப்பு |
| Resolution of Shear | — | சறுக்குப்பகுப்பு |
| Resonance | — | ஒத்திசைவு, இயைவு |
| Restoring couple | — | மீட்டுவரும் விசையிரட்டை |
| Result | — | பயன், முடிவு |
| Resultant | — | தொகுபயன் |
| Resultant Amplitude | — | தொகுபயன் வீச்சு |
| Resultant Displacement | — | தொகுபயன் பெயர்ச்சி |
| Resultant Force | — | தொகுபயன் விசை |
| Reverberation | — | எதிர்முழக்கம் |
| Reverse | — | திருப்பு |
| Reversible engine | — | எதிர்மாறுக்கத்தக்க எஞ்சின் |
| Revolution | — | சுற்று |
| Rheostat | — | மின்தடை மாற்றி |
| Rhomboid | — | சாய்சதுரத்திண்மம் |
| Rider | — | ஏறி, கொக்கி |
| Right handed Screw | — | வலஞ்சுழித்திருகு |
| Rigid | — | விறைப்பான |
| Rigid Rator | — | திண்மச்சுழலி |
| Rigidity Modulus | — | விறைப்புக்குணகம் |
| Rocket | — | ராக்கெட் |
| Rocket Fuel | — | ராக்கெட் எரிபொருள் |
| Root Mean Square | — | சராசரி இருமடியின் இருமடி மூலம் |

Root Mean Square Velocity — திசைவேக சராசரி இருமடியின் இருமடி மூலம்
Rotation Viscometer — சுழல் பாகியல்மானி
Rotational Energy — சுழல் ஆற்றல்
Rotor — சுழலி

## S

Sag — தொய்வு
Satellite — துணைக்கோள்
Saturate — பூரித, தெவிட்டிய
Saturated Vapour — தெவிட்டிய ஆவி
Saturation — தெவிட்டு நிலை
Scalar — ஸ்கேலார், திசையற்ற
Scale — அளவுகோல்
Scale Pan — எடைத்தட்டு
Screen — திரை
Screw — திருகு
Screw Gange — திருகுமானி
Screw Thread — திருகுப்புரி
Secondary Scale — துணை அளவுகோல்
Section (Cross Section) — வெட்டுமுகம்
Sector — வட்டப்பகுதி
Seismogram — நிலநடுக்கப் பதிவுக் கருவி
Seismology — நிலநடுக்கவியல்
Selenium — செலினியம்
Semipermeable Membrane — பகுதிவிடு சவ்வு
Sensibility of Balance — தராசின் நுட்பத்திறன்
Sensitiveness, Sensitivity — உணர்வு நுட்பம்
Seismograph — நிலநடுக்க வரைவுக் கருவி
Sextant — செக்ஸ்டன்ட்
Shaft — எந்திரத்தண்டு
Shear — சறுக்குப் பெயர்ச்சி
Shearing Strain — சறுக்குப் பெயர்ச்சித் திரிபு
Shell — கூடு
Shield — கேடயம்
Shift — பெயர்ச்சி
Shower — பொழிவு
Shrink — குறுக்கம்
Siemen's Dynamometer — சீமன் டைனமோ மீட்டர்

Signal — சைகை
Sidereal Day — விண்மீன் நாள்
Simple Machines — லகு யந்திரங்கள்
Simple Harmonic Motion — சீரிசை இயக்கம்
Simple Microscope — தனி நுண்ணோக்கி
Simple Pendulum — தனி ஊசல்
Sink — தொட்டி, வெப்பவாங்கி
Sinker — மூழ்க்கி
Slit — குறுபிளவு
Slab — பாளம்
Sleeve — உறை
Slide — வழுக்கு
Slide Calipers — வெர்னியர் காலிப்பர்
Sliding Friction — வழக்கு உராய்வு
Slug — ஸ்லக், உள் தண்டு
Soap Bubble — சோப்புக் குமிழி
Solar Day — சூரிய நாள்
Solar System — ஞாயிற்றுக் குடும்பம்
Solid — திண்மம், திடப்பொருள்
Solid Angle — திண்மக்கோணம்
Solidifaction — உறைதல்
Solid State — திண்ம நிலை
Solute — கரைபொருள்
Solution — கரைசல்
Solvent — கரைப்பான்
Source — மூலம்
Specific Gravity — ஒப்பு அடர்த்தி
Specific Gravity Bottle — அடர்த்திக்குப்பி
Specific-Volume — அலகுப் பரும நிறை
Speed — வேகம்
Speed of Rotation — சுழல் வேகம்
Sphere of Influence — ஆட்சிப்புலம்
Spherometer — கோளமானி
Spin — தற்சுழற்சி
Spiral Spring — சுருள்வில்
Spirit Level — ரசமட்டம்
Spot — புள்ளி
Sputnic — ஸ்புட்னிக்
Square Law — இருமடி விதி

Square Root — இருமடி மூலம்
Stability — நிலைப்பாடு
Stable Equilibrium — உறுதிச் சமநிலை
Stand — தாங்கி
Standardisation — படித்தரப்படுத்தல்
Standard Atmospheric Pressure — படித்தர வளி யழுத்தம்
Static Torsion — நிலைமுறுக்கு
Statical Method — நிலையியல்
Stator — ஸ்டேடர்
Stem — தண்டு
Stirrer — கலக்கி
Stirrup — அங்கவடி
Stop Cock. — அடைப்பான்
Stop Watch — நிறுத்துக் கடிகாரம்
Strain — திரிபு
Stress — தகைவு
Stretching — நீட்டம்
Stretching Force — நீட்டு விசை
Structure — கட்டுமானம்
Stud — புடைப்பு, குமிழ்
Substitute — பதிலீடுசெய்
Successive — அடுத்தடுத்த
Super fluidity — மீப்பாய்தன்மை
Super position — மேற்பொருத்தல்
Supplementary Angle — நிமிர்க்கும் கோணம்
Surfaee — புறப்பரப்பு
Surface Energy — பரப்பாற்றல்
Surface Film — பரப்புப் படலம்
Surface Tension — பரப்பு இழுவிசை
Suspension — தொங்கல்
Switch — ஸ்விட்ச்
Symmetric — சமச்சீர்
Systems of Units — அலகு முறைகள்

## T

Tangent — தொடுகோடு
Tangential — தொடுவியலான
Tangential Force — தொடுவியல்விசை

Tangential Screw — தொடுவியல்திருகு
Tangent Law — டான்ஜெண்ட் விதி
Tap Key — தட்டுச்சாவி
Target — இலக்கு
Technique — உத்தி
Telephone — தொலைபேசி
Tensile Strain — நீட்சித்திரிபு
Tensile Strength — நீட்சி வலிமை
Tensile Stress — நீட்சித்தகைவு
Terminal Velocity — முற்றுத் திசைவேகம்
Theorem — தேற்றம்
Theorem of Parallel axes — இணை அச்சுத்தேற்றம்
Theorem of Perpendicular axes — நேர்குத்தச்சுத்தேற்றம்
Theory — கொள்கை
Thermodynamics — வெப்ப இயக்கவியல்
Three dimensional — முப்பரிமாண
Three Way Key — மூவழிச்சாவி
Thrust — அமுக்கம், இறுக்குவிசை
Time of Flight — பறத்தல் நேரம்
Tin Foil — தகர மென்தகடு
Torque — விசையிரட்டைத் திருப்புத் திறன்
Torsion — முறுக்கு
Torsion Head — முறுக்குக் குமிழ்
Torsi'n Fibre — முறுக்கு இழை
Torsion Road — முறுக்குத்தண்டு
Torsion Balance — முறுக்குத் தராசு
Torsional Oscillation — முறுக்கலைவு
Torsional Pendulum — முறுக்கு ஊசல்
Tracking — சுவடுபற்றிச் செல்லுதல்
Trajectory — எறிபொருள் பாதை
Transfusion — இடைவிரவல்
Transient — நிலையற்ற
Trans Time — கடக்கும் காலம்
Translatory Force — பெயர்ச்சி விசை
Transmissibility of Pressure — அழுத்தம் செலுத்துகை
Transmission — செலுத்துகை
Transpiration — கசிவு
Transparent — ஒளிபுகும்

Triangle — முக்கோணம்
Triangle of Forces — விசை முக்சோணம்
Triangle of Velocities — திசைவேக முக்கோணம்
Trigger — குதிரை, துவக்கி
Trough — சிறுதொட்டி
Tubes of Force — விசைக்குழாய், விசைக்கற்றை
Turbine — டர்பைன்
Turbulent Flow — கொந்தளிப்பு ஓட்டம்
Turn table — சுழல்மேடை
Turning Point — திரும்புதானம்
Twist — முறுக்கு
Twisting couple — முறுக்கு இரட்டை
Type — வகை

## U

Unbalanced — ஈடுசெய்யப்படாத
Uniform Bending — சீர்வளைவு
Uniform Dilation — சீர்விரிவு
Uniform Velocity — சீரான திசைவேகம்
Uniform Acceleration — சீரான முடுக்கம்
Units — அலகுகள்
Unit length — அலகு நீளம்
Unit Mass — அலகு நிறை
Unit Time — அலகு நேரம்
Unit Vector — அலகு வெக்டார்
Universe — பிரபஞ்சம்
Universal constant — சர்வமாறிலி
Universal Gas Constant — சர்வவாயு மாறிலி
Unsaturated Vapour — தெவிட்டா ஆவி
Unstable Equlibrium — உறுதியிலாச் சமநிலை

## V

Vacuum — வெற்றிடம்
Valency — கூடுகை எண், இணைதிறன்
Valve — வால்வு
Vane — தட்டு
Vapouristion — ஆவியாதல்
Vapour — ஆவி

Variable — மாறக்கூடிய
Variable Velocity — மாறுபடுதிசைவேகம்
Variable coefficient — மாறுபடு எண்
Variation — மாற்றம்
Vector — திசையுள்ள, வெக்டார்
Velocity — திசைவேகம்
Veloc'ty Ratio — திசைவேகத்தகவு
Vernier — வெர்னியர்
Ventex — உச்சி
Vertical component — செங்குத்துக்கூறு
Vertical Plane — செங்குத்துத்தளம்
Vibration — அதிர்வு
Virtual — மாய
Virtual displacement — மாயப்பெயர்ச்சி
Virtual object — மாயப்பொருள்
Virtual Source — மாயமூலம்
Virtual Work — மாயவேலை
Viscometer — பாகுநிலைமானி
Viscosity — பாகியல்
Viscous Drag — பாகுநிலை இழுவை
Viscous Force — பாகுநிலை விசை
Viscous Medium — பாகியல் ஊடகம்
Vision — பார்வை
Volatile — எளிதில் ஆவியாகிற
Volume — பருமம்
Vortex Motion — கொந்தளிப்பியக்கம்

## W

Wedge — ஆப்பு
Weight — எடை
Work — வினை, செயல்

## Y

Yield Point — இளகுநிலைப்புள்ளி
Young's Modulus — யங்குணகம்

## Z

Zero Error — துவக்கப்பிழை

## தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

சென்னை-600 006

தமிழில் பயில்பவர்க்குக் கல்லூரிப் பாடநூல்கள்
(Tamil Medium Books for Colleges)
இதுவரை பல்வேறு துறைகளுக்கான
910 நூல்கள் வெளியிடப்பட்டுள்ளன.

கிடைக்குமிடம் :

**தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனக் கிடங்கு**

(கல்லூரிக் கல்வி இயக்குநர் அலுவலக வளாகம்)
கல்லூரிச் சாலை, நுங்கம்பாக்கம்,
சென்னை - 600 006.

... பாடநூல்களுக்கு 20% கழிவு வழங்கப்படும்