வெப்பவியல்

கே. நாச்சிமுத்து

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

த. பா. நி. (க. வெ.) வரிசை எண் — 204

வெப்பவியல்

(பட்டப்படிப்பிற்குரியது)

(திருத்தப்பட்ட பாடத்திட்டத்தின்படி வெளியிடப்படுகிறது)

ஆசிரியர்

கே. நாச்சிமுத்து, பி. எஸ்சி. (ஹானர்ஸ்),
முதல்வர்,
அரசினர் கலைக் கல்லூரி,
உதகை.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition — July, 1969.
Revised Edition — August, 1977.

Number of Copies — 2,000

T.N.T.B.S.(C.P.) No. 204

© Government of Tamilnadu

Heat for B.Sc.

K. NACHIMUTHU

Price Rs. **6-15**

Published by the Tamilnadu Textbook Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

This book has been printed on concessional paper made available by the Government of India.

Printed by

Sri Rajarajeswari Combines (Art Colour Printers),
42, Badrian Street, Madras-600 001.

பதிப்புரை

வெப்பவியல் என்ற இந் நூல், தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் சார்பில் வெளியான **204**ஆவது வெளியீடாகும். இதன் முந்தைய பதிப்புப் படிகள் அனைத்தும் விற்பனையாகிவிட்டன. ஆதலின், இப்பொழுது இந் நூல் மீண்டும் வெளிவருகின்றது. இந் நூல் மைய அரசு, கல்வி, சமூக-நல அமைச்சகத்தின் 'மாநில மொழியில் பல்கலைக் கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்'தின் கீழ் வெளியிடப்படுகிறது.

மேலாண்மை இயக்குநர்
தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

பொருளடக்கம்

			பக்கம்
1.	வெப்பநிலையும் அதன் அளவீடும்	...	1
2.	வெப்பத்தால் பெருக்கம்	...	18
3.	வெப்ப அளவியல்	...	55
4.	நிலை மாற்றம்	...	87
5.	இயக்கவியற் கொள்கை	...	122
6.	நிலைத் தொடர்ச்சி	...	139
7.	கீழ் வெப்பநிலைகளும் வாயுக்களின் திரவமாக்கமும்	...	160
8.	சம வெப்பநிலை நிகழ்வுகளும் வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுகளும்	...	182
9.	வெப்ப இயக்கவியல் முதலாம் விதி	...	200
10.	வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதி	...	212
11.	வெப்பம் பரவுதல்	...	277
	அளவீடுகளின் C. G. S. – M. K. S. அலகுகள்	...	353
	கலைச்சொற்கள்	...	355

1. வெப்பநிலையும் அதன் அளவீடும்

(Temperature and its Measurement)

1. வெப்பத்தின் தன்மை

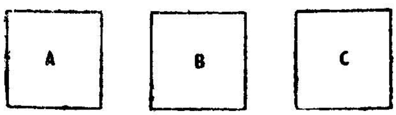
வெப்பம் நமக்கு இன்றியமையாத ஓர் ஆற்றலாகும். இதை நாம் சூரியனிடமிருந்து இயற்கையாகப் பெறுகிறோம். நெருப்பிலிருந்தும் இது கிடைக்கிறது. இதை நாம் கண்களால் நேரில் பார்ப்பது இல்லை. ஆயினும், இது உண்டாக்கும் விளைவுகளிலிருந்து இதனை உணருகிறோம். ஒரு பொருள் வெப்பத்தை ஏற்கும்பொழுது அது சூடடைகிறது. அவ்வாறே ஒரு பொருள் வெப்பத்தை இழக்கும்பொழுது அது குளிர்வடைகிறது. சூடான பொருள் ஒன்றைக் குளிர்ந்த பொருளுடன் சேர்த்து வைக்கும் பொழுது குளிர்ந்த பொருள் சூடடைவதையும் சூடான பொருள் குளிர்வதையும் இறுதியில் இரண்டும் சமமான சுடுநிலையை அடைவதையும் காண்கிறோம். உயர்ந்த மட்டத்திலிருந்து தாழ்ந்த மட்டத்துக்குத் திரவம் சென்று திரவ மட்டங்களைச் சமமாக்க முயலுவதுபோல் சூடான பொருளிலிருந்து குளிர்ந்த பொருளுக்கு ஏதோ ஒன்று சென்று சுடுநிலையைச் சமமாக்குகிறது என்பது புலனாகும். இவ்விதம் சூடான பொருளிலிருந்து குளிர்ந்த பொருளுக்குச் செல்லும் சூட்சுமப் பொருள் வெப்பம் எனப்பெறும். வெப்பம் கண்களுக்குத் தெரியாத நெகிழ் தன்மையுள்ள ஒரு பாய்பொருள் (fluid) என்று முதலில் நினைத்து அதை கேலரிக் (caloric) என அழைத்தார்கள். பிறகு அது ஒருவகை ஆற்றல் என்றும், அதை வேலை செய்வதற்குப் பயன்படுத்த முடியும் என்றும், வேலை செய்வதால் வெப்பத்தை உண்டாக்க முடியும் என்றும் கண்டனர். ஒரு பொருளின் மூலக்கூறுகள் (molecules) அசைவதாகவும் அந்த அசைவைப் பொறுத்த மொத்த இயக்க ஆற்றலே வெப்பம் எனவும் கருதப்படுகிறது.

2. வெப்பநிலை

வெப்பத்தைப்பற்றிய அறிவுக்கு ஆதாரம் வெப்பநிலை ஆகும். வெப்பநிலை என்பது ஒரு பொருள் சூடாக இருக்கிறதா அல்லது

குளிராக இருக்கிறதா என்பதைத் தெரிவிப்பது ஆகும். ஒரு பொருள் சூடாக இருந்தால் அதன் வெப்பநிலை அதிகம் என்றும், குளிராக இருந்தால் அதன் வெப்பநிலை குறைவு என்றும் கூறப் படுகிறது. வெப்பநிலை அதிகமான பொருளிலிருந்து வெப்பநிலை குறைவான பொருளுக்கு வெப்பம் செல்லுகிறது. வெப்பத்தை ஒரு திரவத்துக்கு ஒப்பிடுவோமாயின் வெப்ப நிலையைத் திரவ மட்டத்துக்கு ஒப்பிடலாம். ஆனால், வெப்பம் மூலக்கூறுகளின் மொத்த இயக்க ஆற்றலைக் குறிக்கிறது எனக் கொள்வோமாயின், வெப்பநிலை ஒரு மூலக்கூறின் சராசரி இயக்க ஆற்றலைக் குறிக்கிறது எனக் கருதலாம்.

நாம் ஒரு பொருளைத் தொடுவதனால் ஏற்படும் உணர்ச்சியி லிருந்து அந்தப் பொருளின் வெப்ப நிலையைப்பற்றி ஓரளவு அறியலாம். ஆனால், எல்லா வெப்பநிலைகளையும் இம் முறையில் அறிய முடியாது. மேலும், தொடுவதால் ஏற்படும் உணர்ச்சியி லிருந்து வெப்பநிலைகளை நுட்பமாக அறிய முடியாது. சூழ்நிலை களுக்கேற்ப ஒரே வெப்பநிலையை மாறுபட்டவாறு மதிப்பிட நேரிடும். எடுத்துக்காட்டாக A, B, C என்ற பாத்திரங்களில்



படம் 1.

முறையே சூடான நீர், இளம் சூடான நீர், குளிர்நீர் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இடக் கையை A-ல் உள்ள நீரிலும், வலக் கையை C-ல் உள்ள நீரிலும் சற்று நேரம் வைத்திருந்த பிறகு இரண்டு கைகளையும் B-ல் உள்ள நீரினுள் வைத்தால், இடக் கைக்கு அந்த நீர் குளிராக இருப்பது போலவும், வலக் கைக்கு அது சூடாக இருப்பது போலவும் தோன்றும். வேறொரு எடுத்துக் காட்டு, குளிர்காலத்தில் ஒரே வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு மரக் கட்டையையும் ஓர் உலோகத் துண்டையும் தொடும்பொழுது உலோகத் துண்டு மரக்கட்டையைவிடக் குளிராக இருப்பதுபோல் தோன்றுவது ஆகும். இதற்குக் காரணம், வெவ்வேறு அளவில் வெப்பத்தைக் கையிலிருந்து அவை எடுத்துக்கொள்வதாகும். ஆகையால், வெப்பநிலையை அளப்பதற்கு ஒரு கருவி தேவை. வெப்பநிலையை அளக்கக்கூடிய கருவிக்கு **வெப்பநிலைமானி** என்று பெயர்.

3. வெப்பநிலைமானியின் தத்துவம் (Principle)

ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை மாறும்பொழுது வேறு சில பண்புகளும் தொடர்ச்சியாக மாறுகின்றன. சான்றாக,

(i) ஒரு திரவத்தின் பருமன் மாறுகிறது.

(ii) அழுத்தம் மாறா நிலையில் ஒரு வாயுவின் பருமன் மாறுகிறது.

(iii) பருமன் மாறா நிலையில் ஒரு வாயுவின் அழுத்தம் மாறுகிறது.

(iv) மின்கடத்தியின் மின்தடை மாறுகிறது.

(v) வெப்ப மின் இரட்டையில் (Thermocouple) சந்திகளின் வெப்பநிலை வேறுபாட்டிற்கு ஏற்றவாறு வெப்ப மின் இயக்கு விசை மாறுகிறது.

(vi) திரவத்தின் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் மாறுகிறது.

இவ்விதம் வெப்பநிலையைப் பொறுத்து மாறுபடும் ஏதோ ஒரு பண்பைப் பயன்படுத்தி வெப்பநிலைமானியை அமைக்கலாம்.

வெப்பநிலை அளவீட்டில் விஞ்ஞானிகளிடையே கருத்தொற்றுமை ஏற்பட வெப்பநிலைமானி அமைப்பதில் சில நியதிகள் தேவை. அவையாவன : (i) எந்தச் சமயத்திலும் எளிதில் உண்டாக்கப்படக்கூடிய இரண்டு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைகளை ஒவ்வொரு வெப்பநிலைமானியிலும் சரியாகக் குறிப்பிட வேண்டும். அந்த வெப்ப நிலைகளுக்குத் **திட்டவரைகள்** (fixed points) என்று பெயர். (ii) திட்டவரைகளுக்கு இடையே உள்ள பகுதியைக் குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையுள்ள சம கூறுகளாகப் பிரிக்க வேண்டும்.

படித்தர வளி (standard atmospheric) அழுத்தத்தில் தூய பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை கீழ்த் திட்டவரையாகவும் (lower fixed point) படித்தர வளி அழுத்தத்தில் தூய நீரின் கொதிநிலை மேல் திட்டவரையாகவும் (upper fixed point) கருதப்படுகின்றன.

திட்டவரைகளுக்கு இடையே உள்ள அடிப்படைப் பகுதியைச் சம கூறுகளாகப் பிரிப்பதில் மூன்று முறைகள் வழக்கில் உள்ளன. அவையாவன :

(i) **சென்டிகிரேடு (Centigrade) அல்லது செல்ஸியஸ் முறை :** இதில் அடிப்படைப் பகுதி 100 சம கூறுகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு,

கீழ்த் திட்டவரை 0°C என்றும், மேல் திட்டவரை 100°C என்றும் வழங்கப்படுகின்றன.

(ii) ஃபாரன்ஹைட் (Fahrenheit) முறை: இதில் அடிப்படைப் பகுதி 180 சம கூறுகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு, கீழ்த் திட்டவரை 32°F என்றும், மேல்திட்டவரை 212°F என்றும் வழங்கப்படுகின்றன.

(iii) ராய்மர் (Reaumur) முறை: இதில் அடிப்படைப் பகுதி 80 சம கூறுகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு, கீழ்த்திட்டவரை 0°R என்றும், மேல் திட்டவரை 80°R என்றும் வழங்கப்படுகின்றன.

இந்த மூன்று முறைகளில் சென்டிகிரேடு முறைதான் மிகுந்த அளவு விஞ்ஞானத்தில் பயன்படுகிறது. வெப்பநிலையோடு சீராக மாறுபடும் ஒரு பண்பின் மதிப்புகள் 0°C-ல் X_0 ஆகவும், 100°C-ல் X_{100} ஆகவும் இருந்து வேறொரு வெப்பநிலையில் அதன் மதிப்பு X_t ஆக இருக்குமாயின், அந்த வெப்பநிலையைக் (t) கீழ்க் கண்ட வாய்பாடு மூலம் அறியலாம்.

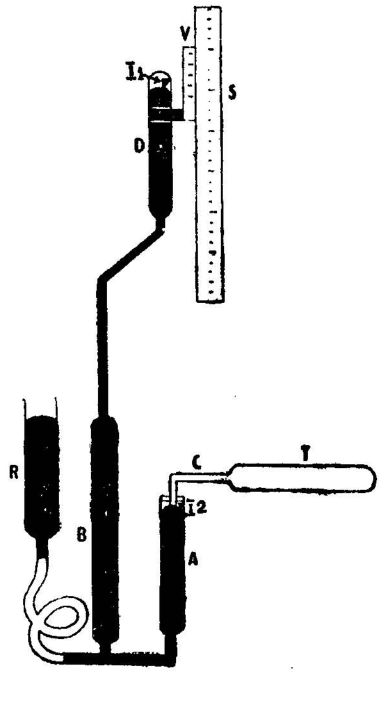
$$\frac{t}{100} = \frac{X_t - X_0}{X_{100} - X_0}$$

4. வாயு வெப்பநிலைமானிகள் (Gas thermometers)

(a) **வாயு வெப்பநிலைமானிகளின் நற்பண்புகள்** (merits): வாயு வெப்பநிலைமானிகளில் இரு வகை உண்டு. ஒன்று பருமன் மாறு வகை; மற்றொன்று அழுத்தம் மாறு வகை. இரண்டு வகையிலுமே காணப்படும் நற்பண்புகள் வருமாறு: (i) வாயுவின் பருமப் பெருக்க எண்ணும் (volume coefficient), அழுத்தப் பெருக்க எண்ணும் (pressure coefficient) அதிக மதிப்பை உடையனவாக இருக்கின்றன. வாயுவின் பருமப் பெருக்க எண் பாதரசத்தின் பருமப் பெருக்க எண்ணைப்போல் சுமார் 20 மடங்கு உள்ளது. (ii) வாயுவின் பெருக்கம் ஒழுங்கானதாகவும் ஒரே சீரானதாகவும் இருக்கிறது. (iii) வாயுக்கள் தூய நிலையில் எங்கும் எளிதில் கிடைக்கக்கூடியவை. (iv) ஓரளவு நிரந்தரமான வாயுக்கள் என்று கூறப்படும் காற்று, நைட்ரஜன், ஹைட்ரஜன் ஆகியவை நீண்ட வெப்பநிலை நெடுக்கத்திற்குப் (wide range of temperatures) பயன்படக்கூடியவை. (v) வாயுக்களின் வெப்ப ஏற்புத் திறன் (thermal capacity) குறைவு. (vi) எல்லா வாயுக்களின் பருமப் பெருக்க எண்களும் அழுத்தப் பெருக்க எண்களும் ஏறத்தாழ ஒரே அளவினதாக இருப்பதால் வெவ்வேறு வாயுக்களினாலான வாயு வெப்பநிலைமானிகளின் அளவீடுகள் ஏறத்தாழ ஒன்றுபடுகின்றன.

ஆதலால், வாயு வெப்பநிலைமானிகள் மற்ற வெப்பநிலைமானிகளின் அளவீடுகளைச் சரிபார்த்துப் படித்தரமாக்கப் (standardise) பயன்படுகின்றன.

(b) **பருமன் மாறாப் படித்தர ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானி** (Constant volume Standard Hydrogen thermometer) : ஹார்க்கர், சாப்புயி (Harker and Chappuis) என்பவர்களால் அமைக்கப்பட்ட பருமன் மாறா ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானி (படம் 2) எல்லாவற்றிலும் சிறந்ததாகக் கருதப்படுகிறது. எனவே, நடைமுறையில் அதைப் படித்தரமானதாக எடுத்துக்கொள்கிறோம். பிளாட்டின-இருடியத்தால் செய்யப்பட்டதும், ஒரு லிட்டர் கொள்ளளவு கொண்டதுமான T என்ற நீண்ட குமிழ் ஒன்று C என்ற நுண்துளைக்குழாய் ஒன்றினால் ஓர் அழுத்தமானியின் A என்ற புயத்துடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அழுத்தமானியின் B என்ற புயத்திலுள்ள பாதரசத்தில் Dஎன்ற பாரமானிக்குழாய் வைக்கப்பட்டுள்ளது. பாரமானிக் குழாயின் மேற்பாகம் வளைக்கப்பட்டு A புயத்திற்கு நேர் மேலே இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. A-ன் மேல் முனையிலும் D-ன் மேற்பாகத்திலும் முறையே I_2, I_1 என்ற தந்தக் குறி முட்கள் உள்ளன. அழுத்தமானியின் அடிப்பாகம் ஓர் ரப்பர்க் குழாய் மூலமாக R என்ற தேக்கக் குழாயுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. I_2-ன் முனையுடன் பொருந்துமாறு சுழி முனையைக் கொண்ட ஓர் அளவுகோல் D-க்கு அருகில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. R என்ற தேக்கக் குழாயை உயர்த்தியோ தாழ்த்தியோ A புயத்திலுள்ள பாதரச மட்டம் I_2-ன் முனையைத் தொடுமாறு செய்யப்படுகிறது. இதனால் T-ல் உள்ள வாயுவின் பருமன் மாறாததாக வைக்கப்படுகிறது. D என்ற பாரமானிக் குழாயைத் தக்கவாறு உயர்த்தி அதில் உள்ள பாதரச மட்டம் I_1-ன் நுனியைத் தொடுமாறு



படம் 2.

அமைக்க வேண்டும். இப்பொழுது I_1, I_2 இவைகளின் நுனிகளுக் கிடையே உள்ள செங்குத்து உயரம் T-ல் உள்ள வாயுவின் அழுத்தத்தை நேரிடையாகக் கொடுக்கும். இதை D குழாயுடன் இணைக்கப்பட்ட ஒரு வெர்னியரின் உதவியால் நுட்பமாக அளந்து கொள்ளலாம். P_0, P_{100}, P_θ என்பவை முறையே 0°, 100°, θ° C வெப்பநிலைகளில் வாயுவின் அழுத்தங்கள் எனில்,

$$\frac{P_{100}-P_0}{P_\theta-P_0} = \frac{100}{\theta}$$

$$\therefore\ \theta = \left(\frac{P_\theta-P_0}{P_{100}-P_0}\right) \times 100$$

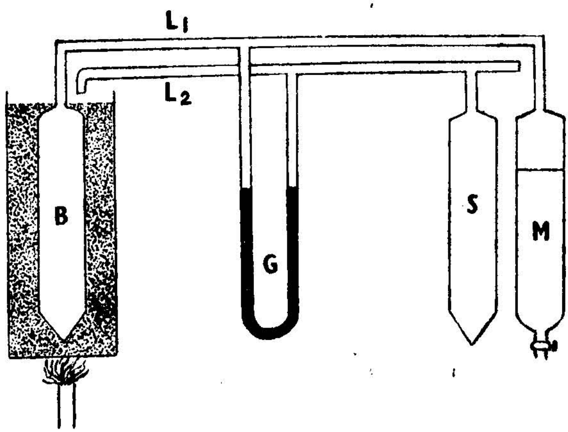
வெப்ப நிலையை மிகவும் திருத்தமாகக் காண வேண்டி யிருந்தால் கீழ்க்கண்டவற்றிற்குத் திருத்தங்கள் செய்யவேண்டும். (i) நுண்துளைக் குழாயிலும் A புயத்தின் மேற்பகுதியிலுமுள்ள வாயு T குமிழின் வெப்பநிலையில் இல்லை. (ii) T குமிழின் கொள்ளளவு வெப்பநிலை மாறுபாட்டினுல் சற்று மாறுகிறது. (iii) T குமிழின் கொள்ளளவு உள் அழுத்த மாறுபாட்டால் சற்று மாறுகிறது. (iv) வெப்பநிலை மாறுபாட்டினுல் பாதரசத்தின் அடர்த்தி மாறுகிறது. ஆகையால், அழுத்தத்தைக் கணக்கிடு வதில் இதற்கான திருத்தம் தேவை.

மேற்கண்ட திருத்தங்களைச் செய்து கிடைக்கும் அளவீடு, கெல்வின் பிரபுவால் ஏற்படுத்தப்பட்ட வெப்ப இயக்கவியல் வெப்பநிலைமானியின் (Thermodynamic thermometer) அள வீட்டுடன் ஒத்திருக்கும். ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானியைக் கொண்டு — 250°C முதல் 500°C வரையுள்ள வெப்பநிலைகளைத் துல்லியமாக அளவிடலாம். 500°C-க்கு மேல் ஹைட்ரஜன் பிளாட் டினத்தில் விரவிப் பரவிவிடுமாதலால் அதற்கு மேல் ஹைட்ரஜ னுக்குப் பதிலாக நைட்ரஜனைப் பயன்படுத்தவேண்டும்.

வாயு வெப்பநிலைமானிகளைப் பயன்படுத்துவதில் அதிகத் தொல்லைகள் இருக்கின்றன. ஆகையால், அவைகளைச் சாதாரண மாக மற்ற வெப்பநிலைமானிகளின் அளவீடுகளைப் படித்தரமாக்க மட்டும் பயன்படுத்துகிருர்கள்.

(c) **காலண்டரின் ஈடுசெய்யப்பட்ட காற்று வெப்பநிலைமானி** (Callendar's Compensated Air Thermometer) : இக் கருவியில் **B** என்ற நீண்ட குமிழ் ஒன்று L_1 என்ற குழாயால் M என்ற வேறொரு நீண்ட குமிழுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. M-ல் பாதரசம்

இருக்கிறது. இந்தப் பாதரசத்தின் அளவை அதிகப்படுத்தவோ குறைக்கவோ செய்வதற்காக M-ன் அடியில் அடைதிறப்பான் (stop corck) ஒன்று அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. M-க்கு அருகில் B-ன் கொள்ளளவேயுள்ள S என்ற நீண்ட குமிழ் வைக்கப்பட்டு அது மூடிய முனையையுடைய L_2 என்ற ஈடுசெய் குழாயுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. L_2 குழாயும் L_1 குழாயும் ஒரே கொள்ளளவும் நீளமும் கொண்டவை. அவை அருகருகே வைக்கப்பட்டுள்ளன. G என்ற அழுத்தமானியின் ஒரு புயம் L_1 குழாயுடனும், மற்றப் புயம் L_2 குழாயுடனும் சேர்க்கப்பட்டுள்ளன. G-ல் கந்தக அமிலம் அழுத்தமானித் திரவமாகச் செயலாற்றுகிறது.



படம் 3.

அழுத்தமானியின் இரு புயங்களுடன் தொடர்பு கொண்டுள்ள காற்றுகளின் நிறைகள் சமமாக இருக்குமாறு சரிசெய்யப்பட்டுள்ளது. ஒவ்வொரு பக்கமும் உள்ள காற்றின் நிறையை m கிராம் எனக் கொள்வோம்.

தொடக்கத்தில் B, S, M ஆகிய மூன்று குமிழ்களும் பனிக்கட்டித் தொட்டிகளில் இருக்கும்பொழுது G-ன் இரு புயங்களில் திரவமட்டங்கள் ஒரே கிடைமட்டத்திலிருக்குமாறு M-ல் உள்ள பாதரசத்தின் அளவு சரிசெய்யப்படுகிறது. பின்பு S, M என்ற குழாய்கள் பனிக்கட்டித் தொட்டியிலும், B குழாய் அளக்கப்பட வேண்டிய வெப்பநிலையைக் கொண்ட தொட்டியிலும் வைக்கப்படுகின்றன. M-லிருந்து வேண்டிய அளவு பாதரசத்தை நீக்கி G-ன் இரு புயங்களிலுள்ள திரவ மட்டங்கள் ஒரே கிடைத்தளத்தில் இருக்கும்படி செய்யவேண்டும்.

B, S இவை ஒவ்வொன்றின் பருமன் V என இருக்கட்டும். M குழாயில் பரவியுள்ள காற்றின் பருமன் வெளியேற்றப்பட்ட பாதரசத்தின் பருமனுக்குச் சமமாகும். இதை v என்போம். L_1, L_2 இவைகள் ஒவ்வொன்றின் கொள்ளளவு v_1 எனக் கொள்வோம். M, S இவை T_0 என்ற தனி வெப்பநிலையிலும் L_1, L_2 ஆகியவை T_1 என்ற தனி வெப்பநிலையிலும், B குமிழ் T என்ற தனி வெப்பநிலையிலுமுள்ளதாகக் கொள்வோம். அழுத்தமானியின் இரு புயத்திலும் காற்றின் அழுத்தம் P என இருக்கட்டும். இப்பொழுது R என்பது ஒரு கிராம் நிறையுள்ள காற்றின் வாயு மாறிலியானல், m கிராம் நிறையுள்ள காற்றிற்கான சமன்பாடு

$$\frac{PV}{T} = mR \text{ என்பதாகும்.}$$

$$\therefore \quad m = \frac{PV}{RT}$$

ஆகையால், எந்த ஒரு பகுதியிலுமுள்ள காற்றின் நிறை $\frac{PV}{RT}$ என்ற தொகுதியால் கொடுக்கப்படும்.

எனவே, B, L_1, M இவற்றிலுள்ள காற்றின் மொத்த நிறை

$$= m = \frac{PV}{RT} + \frac{Pv_1}{RT_1} + \frac{Pv}{RT_0}, \qquad \dots \quad (1)$$

இவ்வாறே L_2, S இவைகளிலுள்ள காற்றின் மொத்த நிறை

$$= m = \frac{Pv_1}{RT_1} + \frac{PV}{RT_0}, \qquad \dots \quad (2)$$

(1), (2) இந்தச் சமன்பாடுகளிலிருந்து

$$\frac{P}{R}\left(\frac{V}{T} + \frac{v_1}{T_1} + \frac{v}{T_0}\right) = \frac{P}{R}\left(\frac{v_1}{T_1} + \frac{V}{T_0}\right).$$

$$\therefore \quad \frac{V}{T} + \frac{v}{T_0} = \frac{V}{T_0}$$

$$\therefore \quad \frac{V}{T} = \frac{V - v}{T_0}$$

$$\text{ஆதலால்,} \quad T = \frac{VT_0}{V - v}$$

இந்த முறையில் காற்றின் அழுத்தம் வளி மண்டல அழுத்தத்தைச் சார்ந்து இல்லாமலிருப்பதும், அது மாறுமல் குறைந்த அளவிலேயே இருப்பதும் இந்த வெப்பநிலைமானியின் நற்பண்புகளாகும். மேலும், L_1 L_2 குழாய்களின் வெப்பநிலைகளைத் தெரிந்திருக்க வேண்டிய தேவையில்லை.

5. பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானி (Platinum Resistance Thermometer)

(a) **மின்தடைக்கும் வெப்பநிலைக்குமுள்ள தொடர்பு:** பொதுவாகக் கடத்திகளின் வெப்பநிலை அதிகமாகும்பொழுது அவைகளின் மின்தடைகளும் அதிகமாகின்றன. காலண்டர் (Callendar) என்பவர் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் பிளாட்டினத்தின் மின்தடைகளை அளந்து அவைகளுக்கிடையே உள்ள தொடர்பைக் கீழ்க்கண்ட இருபடிச் சமன்பாட்டால் குறித்தார்.

$$R_\theta = R_0 (1 + \alpha\theta + \beta\theta^2) \qquad \dots (1)$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் R_θ = θ°C வெப்பநிலையில் மின்தடை
R_0 = 0°C வெப்பநிலையில் மின்தடை
α, β என்பவை மாறிலிகள்.

மாறிலிகளின் மதிப்புகளை அறிவோமாயின் R_θ, R_0 இவைகளின் மதிப்புகளைக் கொண்டு θ-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட முடியும். ஒவ்வொரு தடவையும் இருமடிச் சமன்பாட்டிலிருந்து θ-ன் மதிப்பைக் காண்பதைவிடக் கீழ்க்கண்ட எளிய முறையில் θ-ன் மதிப்பைக் காணலாம் என்று காலண்டர் விளக்கியுள்ளார். 0° – 100°C வெப்பநிலைப் பகுதியில் பிளாட்டினத்தின் சராசரி **மின்தடை வெப்பநிலை எண்ணை** (temperature coefficient of resistance) r எனக் கொள்வோமாஞல்,

$$r = \frac{R_{100} - R_0}{100\, R_0} \qquad \dots (2)$$

இந்த மின்தடை—வெப்பநிலை எண் எல்லாப் பகுதிகளுக்கும் பொருந்துவதாக எடுத்துக்கொண்டு கணக்கிடும் வெப்ப நிலையைப் பிளாட்டின வெப்பநிலை (Platinum temperature) என்று காலண்டர் வழங்கிஞர். இது உண்மையான வெப்பநிலையிலிருந்து சற்று மாறுபட்டது. இப்பொழுது θ என்ற உண்மையான வெப்ப நிலைக்குரிய பிளாட்டின வெப்பநிலையை θ_p எனக் குறிப்பிடுவதாகவும், அந்த வெப்ப நிலையில் மின்தடையின் மதிப்பு R_θ எனவும் கொள்வோம்.

எனவே, $r = \frac{R\theta - R_0}{R_0\,\theta p} = \frac{R_{100} - R_0}{100\ R_0}$

$$\therefore\ \theta p = \frac{(R\theta - R_0)}{(R_{100} - R_0)} \times 100 \qquad \ldots\ (3)$$

(1)ஆவது சமன்பாட்டிலிருந்து

$$R\theta - R_0 = R_0(\alpha\theta + \beta\theta^2)$$

எனவே, $R_{100} - R_0 = R_0(100\alpha + 100^2\beta)$

$$\therefore\ \theta p = \frac{(\alpha\theta + \beta\theta^2)}{(100\alpha + 100^2\beta)} \times 100$$

$$= \frac{(\alpha\theta + \beta\theta^2)}{\alpha + 100\beta}$$

$$\therefore\ \theta - \theta p = \theta - \frac{(\alpha\theta + \beta\theta^2)}{\alpha + 100\beta}$$

$$= \frac{\alpha\theta + 100\,\beta\theta - \alpha\theta - \beta\theta^2}{\alpha + 100\beta}$$

$$= \frac{-\beta}{\alpha + 100\beta}[\theta^2 - 100\,\theta]$$

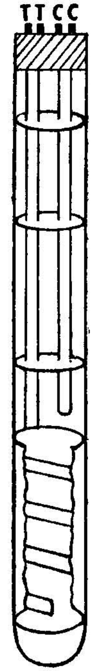
$$= \frac{-100^2\beta}{\alpha + 100\beta}\left[\left(\frac{\theta}{100}\right)^2 - \left(\frac{\theta}{100}\right)\right]$$

$$= \delta\left[\left(\frac{\theta}{100}\right)^2 - \left(\frac{\theta}{100}\right)\right] \qquad \ldots\ (4)$$

இதில் δ என்பது ஒரு மாறிலி. இதன் மதிப்பு சுமார் 1·5. கந்தகத்தின் கொதிநிலை 444·6°C என்று உறுதியாகத் தெரியும். ஆகையால், அந்த வெப்பநிலைக்கான $R\theta$-ன் மதிப்பை 3ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வதன்மூலம் θpயின் மதிப்பையும், பின்பு θp, θ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளை 4ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செல்வதன் மூலம் δ-ன் மதிப்பையும் திட்டவட்டமாகத் தெரிந்து கொள்ளலாம். δ-ன் மதிப்புத் தெரிந்ததும் மற்ற எந்த மின்தடைக்கும் உரிய வெப்பநிலையைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

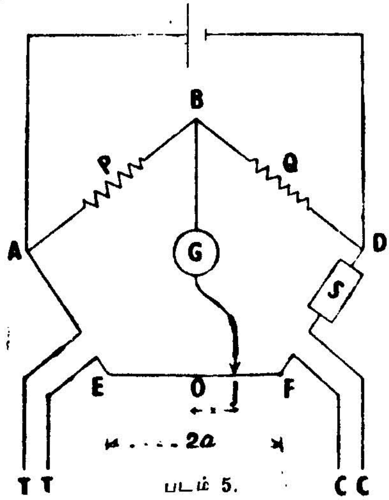
இவ்விதம் கணக்கிடுவதற்குப் பதிலாகத் தெரிந்த வெப்பநிலை களில் மின்தடைகளை அளந்து வெப்பநிலை மின்தடை வரைபடம் வரைந்து அதன் உதவியால் எந்த மின்தடைக்கும் உரிய வெப்ப நிலையை எளிதாக அறிந்துகொள்ளலாம்.

(b) **பிளாட்டின வெப்பநிலை மானியின் அமைப்பு :** சிலிகன், கார்பன் முதலியவைகளின் கலப்பற்ற தூய பிளாட்டினக் கம்பியை இரட்டையாக மடித்தவாறு ஒரு மைக்கா துண்டின் மேல் சுற்றி அதை ஒரு பீங்கான் குழாயின் அடிப் பாகத்தில்வைத்து, கம்பியின் நுனிகள் இரு பிளாட்டினத் தண்டுகளுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. கம்பி இரட்டையாக மடிக்கப்பட்டிருப்பதால் மின் காந்தத் தூண்டுதலால் ஏற்படும் விளைவுகள் தவிர்க்கப்படுகின்றன. பிளாட்டினத் தண்டுகள் மைக்காத் தகடுகளில் செலுத்தப்பட்டுப் பீங்கான் குழாயின் மேலே உள்ள T T என்ற இரு திருகு களுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இணைப்புத் தண்டுகளின் மின்தடையை ஈடுசெய்வதற்காக அவைகளை ஒத்ததும் அடியில் ஒன்றுசேர்க்கப் பட்டதுமான வேறு இரு பிளாட்டினத் தண்டுகள் முன் கூறப்பட்ட இரு தண்டுகளுக்குப் பக்கத்தில் வைக்கப்பட்டு மைக்காத் தகடுகளின் வழியே செலுத்தப்பட்டுப் பீங்கான் குழாயின் மேல் உள்ள C C என்ற இரு திருகுகளுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. குழாயினுள் காற்றும் ஈரமும் புகாதவாறு அதன் வாய் மூடப்பட்டுள்ளது.



படம் 4.

(c) **பிளாட்டின வெப்பநிலைமானியின் மின் தடை அளவிடு :** இந்த வெப்பநிலைமானியின் மின் தடையை அளப்பதற்கு வீட்ஸ்டன் (Wheatstone's) சுற்றமைப்பின் ஒருவகையான காலண்டர் — கிரிஃபித்ஸ் சுற்றமைப்பு (Callendar and Griffith's Bridge) என்னும் கருவி சிறந்தது. இதில் ஒன்றுக்கொன்று அண்மையிலுள்ள PQ என்னும் இரு புயங்களில் சம மின்தடைகள் உள்ளன. 3 ஆவது புயத்தில் உள்ள ஓர் இடைவெளியில் வெப்பநிலை மானியின் பிளாட்டினக் கம்பி (T T) இணைக்கப் படுகிறது. 4 ஆவது புயத்திலுள்ள இடை வெளியில் ஈடு செய்யும் இணைப்புத் தண்டுகளும் S என்ற ஒரு மின்தடைப் பெட்டியும் இணைக்கப்படுகின்றன. சீரான மின் தடையுள்ள EF என்ற கம்பி 3 ஆவது புயத்தையும்



படம் 5.

4ஆவது புயத்தையும் இணைக்கிறது. இந்தக் கம்பியின் மேல் நகரக் கூடிய J என்ற தொடுகோல் G என்ற ஒரு கால்வனு மீட்டர் மூலமாக PQ இவைகளின் சந்தியுடன் இணைக்கப்படுகிறது. P புயம், 3ஆவது புயம் இவைகளின் சந்தி ஒரு மின்கலத்தின் வழியாக Q புயம், 4 ஆவது புயம் இவைகளின் சந்தியுடன் இணைக்கப் படுகிறது.

S என்ற மின்தடைப் பெட்டியில் போதிய அளவு மின்தடையைப் புகுத்தியும் J-ன் நிலையைத் தக்கவாறு மாற்றியும் கால்வனு மீட்டரில் விலகலின்மை நிலை ஏற்படுமாறு செய்யவேண்டும். இந் நிலையில் EF-ன் மையப் புள்ளியான O-விலிருந்து வலப் பக்கம் x தூரத்தில் J இருப்பதாகக் கொள்வோம். EF-ன் மொத்த நீளம் $2a$ எனவும், அதன் ஒவ்வொரு சென்டிமீட்டர் நீளத்திற்கு மின்தடை r எனவும் கொள்வோம். பிளாட்டினக் கம்பியின் மின்தடை R எனவும், இணைப்புத்தண்டுகளின் மின்தடை l எனவும் கொள்வோம். எனவே, ஈடு செய்யும் இணைப்புத் தண்டுகளின் மின் தடையும் l ஆக இருக்கும். இப்பொழுது வீட்ஸ்ட்டன் சுற்று சம நிலையிலிருப்பதால்,

$$R + l + (a + x)\, r = S + l + (a - x)\, r$$
$$\therefore \quad R = S - 2\, xr.$$

இவ்வாறே J-ன் நிலை O-விலிருந்து இடதுபக்கம் x தூரத்தில் இருக்குமானால்,

$$R = S + 2\, x\, r \text{ ஆகும்.}$$

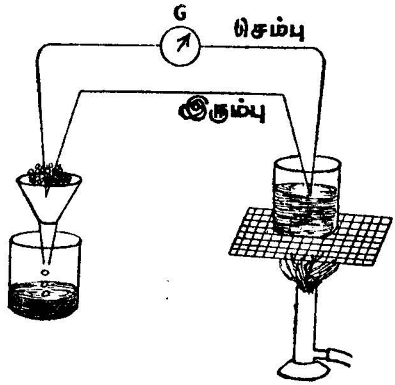
இந்தச் சமன்பாட்டில் r-ன் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்து R-ன் மதிப்பை நுட்பமாகத் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

பிளாட்டின வெப்பநிலைமானியில் பின்வரும் நற்பண்புகள் உள்ளன: (i) அதை — 200°C முதல் 1200°C வரையுள்ள வெப்ப நிலைப்பகுதிக்குப் பயன்படுத்தலாம். (ii) அதனால் தரப்படும் வெப்பநிலை அளவீடு படித்தர வாயு வெப்பநிலைமானியின் அளவீட்டிலிருந்து அதிகமாக மாறுபடுவதில்லை. மின்தடை வெப்பநிலைமானியின் அளவீடு 0° — 100°C பகுதியில் ·001°C அளவுக்கும், 100°—500°C பகுதியில் ·01°C அளவுக்கும், 500° — 1200°C பகுதியில் 0·1°C அளவுக்கும் திருத்தமாக இருக்கும். (iii) வெப்பநிலையில் ஏற்படும் சிறு மாறுதல்களை நுட்பமாக அளக்க உதவும்.

அதனுடைய பெரும் குறைபாடு பொருளின் வெப்பநிலையை அடைவதற்கு அதிக நேரம் எடுத்துக்கொள்வதாகும். ஆகையால்,

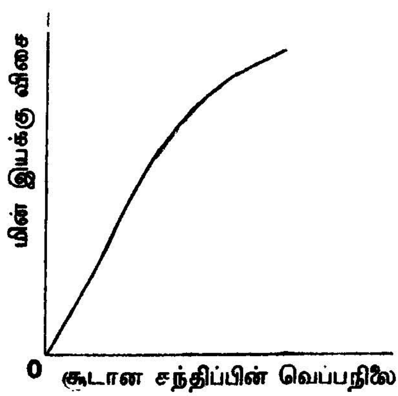
தொடர்ச்சியாக மாறும் வெப்ப நிலைகளை அளப்பதற்குப் பிளாட்டின வெப்பநிலைமானியைப் பயன்படுத்த முடியாது.

6. வெப்பமின் வெப்பநிலைமானி (Thermo - electric Thermometer)



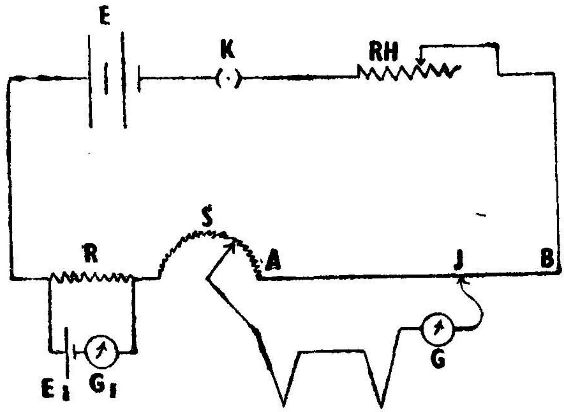
படம் 6.

வெவ்வேறு உலோகங்களாலான இரு கம்பிகளைக் கொண்டு ஒரு மின்சுற்றை ஏற்படுத்தி அதில் உண்டாகும் இரண்டு சந்திகளையும் வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில் வைத்தால், சுற்றில் மின் இயக்கு விசையும் அதனால் மின்னோட்டமும் ஏற்படும் என்பதை சீபெக் (Seebeck) என்பவர் 1821 ஆம் ஆண்டு கண்டார். இந்த அமைப்புக்கு வெப்பமின் இரட்டை (thermocouple) என்று பெயர். வெப்பமின் இரட்டையில் ஏற்படும் மின்னோட்டத்தையோ அல்லது மின் இயக்கு விசையையோ வெப்பநிலையை அளப்பதற்குப் பயன்படுத்தலாம். வெப்பமின் இரட்டையின் ஒரு சந்தி ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் (சாதாரணமாக 0°C-ல்) இருக்கும் பொழுது மற்றச் சந்தியின் வெப்பநிலையை உயர்த்தினல் மின் இயக்கு விசையின் மதிப்பு உயர்ந்து பெரும் மதிப்பை அடைந்து பிறகு குறையும். பெரும் மதிப்பு மின் இயக்கு விசையைக் கொடுக்கக்கூடிய சுடு சந்தியின் வெப்பநிலைக்குத் திருப்பு வெப்பநிலை (neutral temperature) என்று பெயர். சூடான சந்தியின் வெப்ப நிலைக்கும் மின் இயக்கு விசைக்குமிடையே ஒரு வரைபடம் வரைவோமாயின், அதைக் கொண்டு எந்த மின் இயக்குவிசைக்கும் உரிய வெப்ப நிலையைத் தெரிந்துகொள்ளலாம்.



படம் 7.

மின் இயக்கு விசையை அளக்க ஒரு மில்லி வோல்ட்மீட்டரைப் பயன்படுத்தலாம். தேவையானல் மில்லி வோல்ட்மீட்டரின் விலகல் நேரடியாக வெப்ப நிலையைக் காட்டுமாறு அமைத்துக்

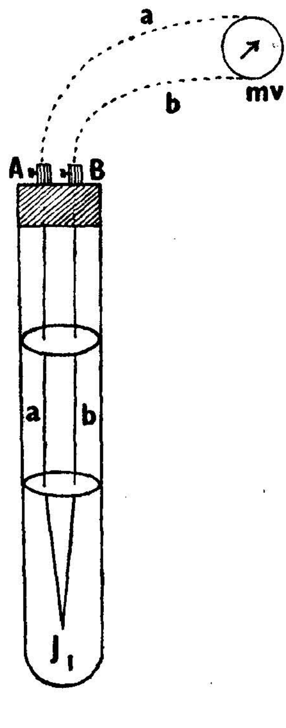


படம் 8.

கொள்ளலாம். மின் இயக்கு விசையை நுட்பமாக அளக்க மில்லி வோல்ட்மீட்டருக்குப் பதிலாக மின் அழுத்தமானியைப் (potentiometer) பயன்படுத்த வேண்டும். AB என்ற மின் அழுத்தமானியை R, S என்ற மின்தடைகள், RH என்ற மின் தடைமாற்றி, E என்ற மின்கல அடுக்கு (battery) ஆகியவற்றுடன் படத்தில் காட்டியவாறு தொடரிணைப்பு முறையில் இணைக்க வேண்டும். AB-ன் மின்தடையைத் (r) தெரிந்துகொள்ள வேண்டும். இப்பொழுது படித்தரக் கேட்மிய மின்கலம் (E_1) ஒன்றை G_1 என்ற கால்வனு மீட்டர் மூலம் R என்ற மின்தடையுடன் பக்க இணைப்பு முறையில் இணைத்து RH-ன் மதிப்பை வேண்டியவாறு மாற்றி G_1-ல் விலகல் சுழி ஆகும்படி செய்தால் மின் அழுத்தமானியில் செல்லும் மின்னோட்டத்தின் அளவையும் அதன் ஒவ்வொரு சென்டிமீட்டர் நீளத்திலேற்படும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டினையும் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். பிறகு வெப்ப மின் இரட்டையின் ஒரு முனையை A என்ற புள்ளியுடனும், மற்ற முனையை G என்ற கால்வனு மீட்டர் மூலம் AB-ன் மேல் நகரும் J என்ற தொடுகோலுடனும் இணைக்க வேண்டும். வெப்ப மின் இரட்டையில் ஏற்படும் மின் இயக்கு விசையும் AJ-ல் உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடும் ஒன்றையொன்று எதிர்ப்பவையாக இருக்கவேண்டும். J-ன் நிலையைத் தக்கவாறு சரிசெய்து G-ல் விலகல் சுழியாகும்படிச் செய்யவேண்டும். AJ-ன் நீளத்தை அளந்து அதில் நிலவும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டைக் கணக்

கிட்டால் அது வெப்பமின் இரட்டையின் மின் இயக்கு விசையைக் கொடுக்கும். AB-ல் உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு வெப்பமின் இரட்டையின் மின் இயக்கு விசையைச் சரியீடு செய்யப் போது மானதாக இல்லாவிட்டால் S-ல் நிலவும் மின் அழுத்த வேறு பாட்டையும் தேவையான அளவு அத்துடன் சேர்த்துக்கொள்ள வேண்டும்.

அளக்கப்படவேண்டிய வெப்பநிலை நெடுக்கத்திற்குத் (range) தக்கவாறு வெவ்வேறு வெப்ப மின் இரட்டைகளைப் பயன்படுத்த வேண்டும். சாதாரணமாக 300°C வரை இரும்பு-கான்ஸ்ட் டன்டன் இரட்டையையோ அல்லது செம்பு-கான்ஸ்ட்டன்டன் இரட்டையையோ பயன்படுத்துவது சிறந்தது. ஏனெனில், அவை மற்றவைகளைவிட ஒரு டிகிரி வெப்ப நிலை வேறுபாட்டிற்கு அதிக மின் இயக்கு விசைகளைக் கொடுக்கின் றன. ஆனால், அதிக வெப்ப நிலை களில் அவை உருகிவிடும். ஆகை யால், 300°C முதல் 600°C வரை இரும்பு - நிக்கல் இரட்டையையும் 600°C முதல் 1000°C வரை நிக்கல்-நைக்ரோம் இரட்டையையும் அதற்கு மேல் பிளாட்டினம் — பிளாட்டின ரோடியம் இரட்டையை யும் பயன்படுத்த வேண்டும்.



படம் 9.

சுடுசந்தி மாசுபடாமல் இருக்க அது குவார்ட்ஸ் அல்லது பீங்கான் குழாயினுள் வைக்கப்படுகிறது. சுடுசந்திக்கு அருகிலுள்ள கம்பிப் பகுதிகள் சுடுகளிமண் (fire clay) அல்லது கடினமான கண்ணாடியால் செய்யப்பட்ட நுண் குழாய்களில் செலுத்தப்பட்டுக் காப்பிடப் படுகின்றன. மேலும் அவை மைக்காத் தகடுகளில் செலுத்தப்பட்டு, பீங்கான் குழாயின் உச்சியி லுள்ள AB என்ற இரு இணைப்புத் திருகுகளுடன் இணைக்கப்படு கின்றன. இந்த AB திருகுகளை இணைப்புக் கம்பிகளால் குளிர் சந்தி யுடன் இணைக்கவேண்டும். பொதுவாக இதற்கான இணைப்புக் கம்பிகள் இரட்டையின் உறுப்புகள் எந்த உலோகங்களால் ஆன

வையோ அதே உலோகங்களால் செய்யப்பட்டவையாக இருந்து அவைகளுக்குரிய திருகுகளுடன் இணைக்கப்பட வேண்டும்.

வெப்பமின் வெப்பநிலைமானியின் நற்பண்புகள் : (i) இதனைக் கொண்டு மாறும் வெப்பநிலைகளை அளக்க முடியும். (ii) வெப்ப நிலைகளை நேரிடையாகக் கொடுக்கும்படி இதனை அமைக்கமுடியும். (iii) இது பொருளின் ஒரு புள்ளியில் நிலவும் வெப்பநிலையை அளக்க வல்லது. (iv) இது —200°C முதல் 1600°C வரையான அதிக வெப்ப நிலை நெடுக்கத்திற்குப் பயன்படக்கூடியது.

வெப்பமின் வெப்பநிலைமானியின் குறைபாடுகள் : (i) இதன் அளவீட்டுத் துல்லியம் (accuracy) பிளாட்டின வெப்பநிலை மானியின் அளவீட்டுத் துல்லியத்தைவிடக் குறைந்தது. (ii) மின் இயக்கு விசையை வெப்பநிலையுடன் தொடர்படுத்தக்கூடிய சமன்பாட்டிலுள்ள மாறிலிகளின் மதிப்புகள் வெவ்வேறு வெப்பநிலை நெடுக்கங்களில் வெவ்வேறாக அமையும்.

7. ஆவி அழுத்த வெப்பநிலைமானி (Vapour Pressure Thermometer)

ஒரு திரவத்தின் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் வெப்ப நிலையைப் பொறுத்து வேகமாக மாறும். இதை அடிப்படையாகக் கொண்டு வெப்ப நிலைகளை (குறிப்பாக, மிகவும் குறைந்த வெப்ப நிலைகளை) அளக்கலாம். இந்த வெப்பநிலைமானியின் அளவீடு நுட்பமாக இருப்பதுடன் கொள்கலத்தின் அளவைச் சார்ந்து இல்லாதிருப்பது இதன் ஒரு சிறந்த பண்பாகும். வெவ்வேறு வெப்பநிலை நெடுக் கங்களுக்குக் கீழ்க்கண்டவாறு வெவ்வேறு ஆவிகளைப் பயன் படுத்துகிறார்கள்.

ஆக்ஸிஜன்	:	—150°C முதல் —210°C வரை
நியான்	:	—245°C முதல் —249°C வரை
ஹைட்ரஜன்	:	—253°C முதல் —262°C வரை
ஹீலியம்	:	—268°C-க்குக் கீழாக

8. கதிர்வீச்சுப் பைரோமீட்டர்கள் (Radiation Pyrometers)

உயர் வெப்ப நிலைகளை அளக்கக்கூடிய இவற்றினை வெப்பக் கதிர்வீச்சினைப்பற்றிய பகுதியில் கவனிப்போம்.

வினாக்கள்

1. பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானியின் அமைப்பையும் அதைக்கொண்டு வெப்பநிலை அளக்கும் முறையையும் விளக்குக.

2. வெப்ப மின் வெப்பநிலைமானியின் மூலம் வெப்ப நிலையை எவ்வாறு அளக்கலாம் என்று காட்டுக. இந்த வெப்ப நிலைமானியை மின்தடை வெப்பநிலைமானியுடன் ஒப்பிட்டு அவைகளின் நற்பண்புகளையும் குறைபாடுகளையும் எடுத்துக் கூறுக.

3. காலண்டரின் ஈடுசெய்யப்பட்ட காற்று வெப்பநிலைமானியைக் கொண்டு வெப்ப நிலைகளை அளக்கும் முறையை விளக்கிக் கூறுக.

4. படித்தர ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானியின் அமைப்பை விளக்கி அதன்மூலம் வெப்பநிலையை அளக்கும் முறையை விவரித்துக் கூறுக.

2. வெப்பத்தால் பெருக்கம்
(Thermal Expansion)

1. முன்னுரை

பொதுவாக எல்லாப் பொருட்களும் சூடேற்றப்படும்பொழுது பெருக்கமடைகின்றன. திடப்பொருட்கள் சூடேற்றப்படும் பொழுது அவைகளின் நீளம், அகலம், உயரம் ஆகியவை பெருக்க மடைகின்றன. இதன் காரணமாகத் திடப்பொருட்களின் பரப் பளவும் பருமனும் பெருக்கமுறுகின்றன. சில பொருட்கள் எல்லாத் திசைகளிலும் ஒரே சீராகப் பெருக்கமடைகின்றன. அவைகள் **திசையொப்புப் பண்புள்ள** (isotropic) பொருட்கள் எனப்பெறும். சில பொருட்கள் வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு வீதத்தில் பெருக்கமடைகின்றன. அவைகள் **திசையொவ்வாப் பண்புள்ள** (anisotropic) பொருட்கள் எனப்பெறும். படிகங்கள் (crystals) பொதுவாகத் திசையொவ்வாப் பண்புள்ளவை. ஆனல், கன சதுரப் படிகங்களும் உலோகங்களும் திசையொப்புப் பண்புள்ளவை.

2. நீட்சிப் பெருக்கம் (Linear Expansion)

ஒரு திடப்பொருள் சூடேற்றப்படும்பொழுது அதன் நீளத்தில் ஏற்படும் பெருக்கம் (i) அதன் தொடக்க நீளத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். (ii) அதன் வெப்பநிலை உயர்விற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். (iii) பொருளின் தன்மையைப் பொறுத்து இருக்கும்.

எனவே, ஒரு பொருளின் தொடக்க நீளம், இறுதி நீளம் ஆகியவற்றை முறையே l_1, l_2 என்றும், வெப்பநிலை உயர்வை θ என்றும் குறிப்பிடுவோமாயின்,

$$l_2 - l_1 \propto \alpha l_1 \theta$$

$\therefore\ l_2 - l_1 = \alpha l_1 \theta$. இங்கு α என்பது பொருளின் தன்மையைப் பொறுத்த ஒரு மாறிலி. அது **நீட்சிப் பெருக்க எண்** (Coefficient of linear expansion) எனப்படும். மேலே உள்ள சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1 \theta}$$

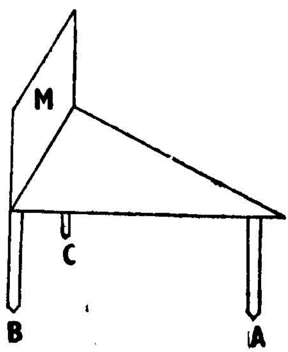
எனவே $l_1 = l$, $\theta = l$ என்றிருக்குமானால் $\alpha = l_2 - l_8$. ஆகையால், ஒரு பொருளின் நீட்சிப் பெருக்க எண் என்பது ஓர் அலகு நீளமுள்ள பொருளின் வெப்ப நிலை ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் உயரும் பொழுது அதன் நீளத்திலுண்டாகும் மிகுதிப்பாடாகும்.

மேலே கொடுக்கப்பட்ட சமன்பாட்டினை $l_2 = l_1(1+\alpha\theta)$ என்ற வடிவத்தில் குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

3. நீட்சிப் பெருக்கெண்ணைக் காணல்

(i) ஒளியியல் நெம்புகோல் முறை (Optic lever method) :

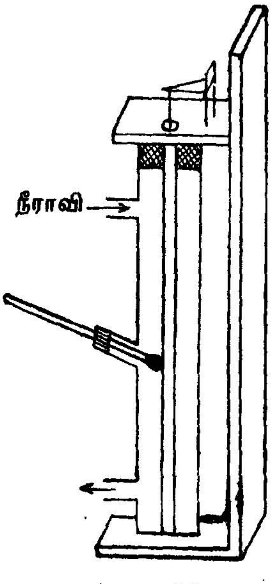
இம் முறையில் நீட்சிப் பெருக்கத்தைக் கணக்கிட 'ஒற்றை ஒளியியல் நெம்புகோல்' (Single optic lever) ஒன்று பயன்படுத்தப்படுகிறது. இந்த நெம்புகோல் ஆடியில் கூறிய முனைகளையுடைய மூன்று கால்களைக் (ABC) கொண்ட சட்டம் ஒன்று உள்ளது. கால்களின் முனைகள் இரு சமபக்க முக்கோணம் ஒன்றின் உச்சிகளில் அமைந்துள்ளன. இம் முக்கோணத்தின் அடித்தளத்திற்கு (BCக்கு) இணையாகவும் சட்டத்திற்கு நேர்க்குத்தாகவும் ஒரு சமதள ஆடித்துண்டு பொருத்தப்பட்டுள்ளது.



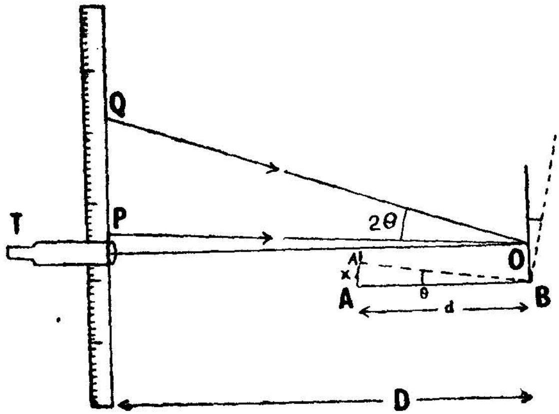
படம் 10,

ஏறத்தாழ 50 செ. மீ. நீளமுள்ள ஒரு தண்டு செங்குத்தான நீராவி உறைக்குள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. அதன் தொடக்க நீளத்தை ∠ எனக் கொள்வோம். தண்டின் அடிமுனை ஒரு நிலையான தளத்தின்மேல் இருக்குமாறும் அதன் மேல்முனை நீராவி உறையின் உச்சியிலுள்ள ஒரு துவாரத்தின் வழியே சிறிது நீட்டிக் கொண்டிருக்குமாறும் பொருத்தப்படுகிறது. ஓர் ஒற்றை ஒளியியல் நெம்புகோலை அதன் முன்கால் தண்டின் முனை மேலும், அதன் பின் கால்கள் ஒரு நிலையான மேடை மேலும் அமையும் படியாகப் பொருத்தி வைக்கவேண்டும். ஒளி நெம்புகோலின் ஆடிக்கு முன் சுமார் ஒரு மீட்டர் தொலைவில் ஒரு செங்குத்தான அளவுகோலையும் தொலைநோக்கி ஒன்றையும் பொருத்தி ஆடியில் உருவாகும் அளவுகோலின் பிம்பம் தொலைநோக்கியில் தெளிவாகத் தெரியுமாறு அவற்றைச் சரி செய்யவேண்டும்.

தொலைநோக்கியில் குறுக்குக் கம்பிகளின் சந்தியுடன் இணைந்த அளவீட்டைப் பதிவு செய்து அதை s_1 எனக் கொள்வோம். தொடக்க வெப்பநிலையைக் (θ_1) குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். பிறகு நீராவி உறைக்குள் நீராவியைச் செலுத்தித்



படம் 11.



படம் 12.

தண்டின் பெருக்கம் முற்றுப் பெற்றதும் தொலைநோக்கியின் நிலையான அளவீட்டைக் (s_2) குறித்துக்கொள்ள வேண்டும், இறுதி வெப்ப நிலையையும் (θ_2) குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். ஆடிக்கும் அளவுகோலுக்குமிடையே உள்ள தூரத்தை அளந்து D எனக் கொள்வோம். ஒளி நெம்புகோலின் முன் காலுக்கும் பின் கால்களுக்குமிடையே உள்ள நேர்குத்துத் தொலைவைக் (d) கண்டுகொள்ளவேண்டும்.

தண்டின் நீட்சிப் பெருக்கம் x எனக் கொள்வோமாயின், ஒளி நெம்புகோலின் சட்டம் திரும்பும் கோணம் $= \phi = \frac{x}{d}$.

இதன் காரணமாக ஆடியும் ϕ கோண அளவு திரும்பும். ஆகையால், ஆடியில் பிரதிபலிக்கப்படும் மீள்கதிர் 2ϕ கோண அளவு சுற்றும். இப்பொழுது மீள் கதிரால் சுற்றப்பட்ட கோணம் $\frac{s_2 - s_1}{D}$ என்பதால் கொடுக்கப்படும்.

எனவே $$2\phi = \frac{s_2 - s_1}{D}$$

ஆனால் $$\phi = \frac{x}{d}$$

ஆகையால் $$\frac{2x}{d} = \frac{s_2 - s_1}{D}$$

அதாவது $$x = \frac{(s_2 - s_1)\, d}{2D}$$

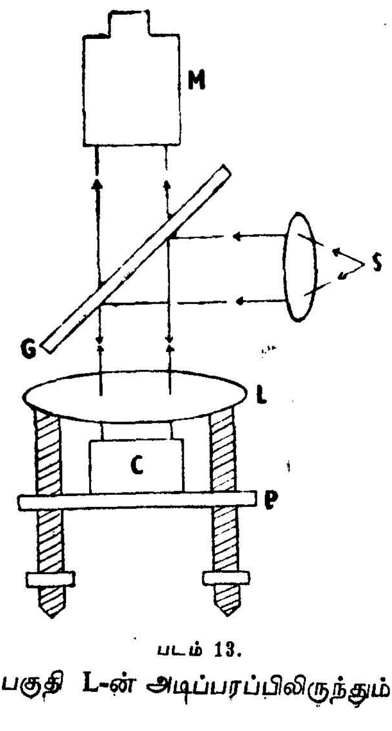
இப்பொழுது

$$\text{நீட்சிப் பெருக்க எண்} = \alpha = \frac{x}{L\,(\theta_2 - \theta_1)}$$

$$= \frac{(s_2 - s_1)\, d}{2\,D\,L\,(\theta_2 - \theta_1)}$$

(ii) ஃபீஸோ முறை (Fizeau's method): இம் முறையில் ஒளிக் குறுக்கீட்டு விளைவு (interference) பயன்படுத்தப்படுகிறது. எனவே, இம்முறை ஒளிக்குறுக்கீட்டு விளைவுமுறை எனவும் அழைக்கப்படுகிறது. இம்முறை குறைந்த நீளத்தையுடைய படிகங்களின் நீட்சிப்பெருக்க எண்களைக் காண்பதற்கு மிகவும் சிறந்தது.

படிகத்தின் எத்திசையில் நீட்சிப் பெருக்க எண் தேவையோ அத்திசைக்கு நேர்குத்தான சமதளப் பரப்புகளையுடைய C என்ற படிகத்துண்டு ஒன்று P என்ற சமதளமேடை மீது வைக்கப்படுகிறது. சமதள மேடை மூன்று சரிமட்டத் திருகாணிகளால் தாங்கப் படுகிறது. இத் திருகாணிகள் மேடைக்கு மேலே நீண்டிருக்கின்றன. அதிகக் குவிய தூரத்தை யுடைய L என்ற குவிலென்ஸ் ஒன்று திருகாணிகளின்மேல் வைக்கப்படுகிறது. S என்ற சோடிய ஆவி விளக்கிலிருந்து வரும் ஓர் இணைக்கற்றை G என்ற கண்ணாடித் தகட்டின் உதவியால் குவிலென்ஸின்மீது விழும்படி செய்யப்படுகிறது. இதில் ஒரு பகுதி L-ன் அடிப்பரப்பிலிருந்தும்,



படம் 13.

மற்றொரு பகுதி C-ன் மேற்பரப்பிலிருந்தும் பிரதிபலிக்கப் படுகிறது. இவ்விரு பகுதிக்குள்ளேயே குறுக்கீடு ஏற்படுவதால் நியூட்டன் வளையங்கள் தென்படும். இந்த வளையங்களில் ஒன்று விட்டு ஒன்றாக அமைந்தவை ஒளியுள்ளவையாகவும் மற்றவை ஒளியற்றவையாகவும் இருக்கும். G-க்கு மேலே வைக்கப்பட்டுள்ள M என்ற நுண்ணோக்கி மூலம் இவ் வளையங்களைத் தெளிவாகக் காணலாம்.

வெப்பநிலை உயர்த்தப்படும்பொழுது L-க்கும் C-க்கும் இடையே அமைந்துள்ள காற்றுத் தகட்டின் தடிப்பு மாறும். சோடிய ஒளியின் அலைநீளம் λ எனக் கொள்வோமானல் காற்றுத் தகட்டின் தடிப்பு $\frac{\lambda}{2}$ அளவு மாறும்பொழுது ஒரு நியூட்டன் ஒளி வளையம் அடுத்துள்ள ஒளிவளையத்தின் நிலையை அடையும். ஆகையால் வெப்பநிலையை மெதுவாக உயர்த்தும்பொழுது எவ்வளவு ஒளிவளையங்கள் நுண்ணோக்கியின் குறுக்குக் கம்பியைத் தாண்டிச் செல்கின்றன எனத் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும். அவ்விதம் தெரிந்துகொள்ளும் எண்ணிக்கை n_1 எனவும், வெப்ப நிலை உயர்வு θ°C எனவும் கொள்வோம். C-ன் நீட்சிப் பெருக்கம் x என்றும் P-க்கு மேலேயுள்ள திருகாணிப் பகுதியின் பெருக்கம் y என்றும் இருக்குமாயின்,

காற்றுத் தகட்டின் தடிப்பிலேற்பட்ட குறைவு $= x - y = n_1 \frac{\lambda}{2}$.
இப்பொழுது C-ஐ நீக்கிவிட்டு முன்போன்ற அளவே வெப்பநிலை உயர்வு ஏற்படுமாறு சோதனையைத் திருப்பிச் செய்யவேண்டும். இந்த இரண்டாவது சோதனையின்போது நகரும் ஒளி வளையங்களின் எண்ணிக்கை n_2 எனில், காற்றுத் தகட்டின் தடிப்பிலேற்படும் அதிகரிப்பு, அதாவது, திருகாணிப் பகுதியின் பெருக்கம் $= y = n_2 \frac{\lambda}{2}$

$$\text{எனவே, } x - n_2\frac{\lambda}{2} = n_1 \frac{\lambda}{2}$$

$$\therefore \quad x = (n_1 + n_2)\frac{\lambda}{2}$$

C-ன் தொடக்க நீளம் l எனவும், நீட்சிப் பெருக்க எண் α எனவும் கொள்வோமாயின்,

$$\alpha = \frac{x}{l\theta}$$

$$= \frac{(n_1 + n_2)}{l\theta} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

4. பரப்புப் பெருக்கம் (Areal Expansion)

ஒரு பரப்பளவில் ஏற்படும் பெருக்கம் அதன் தொடக்கப் பரப்பளவு, வெப்பநிலை உயர்வு, பொருளின் தன்மை ஆகிய மூன்றையும் பொறுத்தது. A_1, A_2 என்பவை முறையே தொடக்கப் பரப்பளவு, இறுதிப் பரப்பளவு எனவும், θ என்பது வெப்பநிலை உயர்வு எனவும் கொள்வோமாயின்,

$$A_2 - A_1 = A_1 \beta\theta \text{ அல்லது } A_2 = A_1 (1 + \beta\theta)$$

இதில் β என்பது ஒரு மாறிலி. அது பொருளின் தன்மையைப் பொறுத்தது. **அது பரப்புப் பெருக்க எண்** (Coefficient of Areal Expansion) எனப்பெறும். $A_1 = 1$, $\theta = 1$ எனில், $\beta = A_2 - A_1$ ஆகும்.

ஆகையால் ஒரு பொருளின் பரப்புப் பெருக்க எண் என்பது ஓரலகுப் பரப்பளவைக் கொண்ட தகட்டின் வெப்பநிலை ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் உயரும்பொழுது அதன் பரப்பளவில் ஏற்படும் மிகுதிப் பாடாகும்.

திசையொப்புப் பண்புள்ள (isotropic) பொருட்களின் பரப்புப் பெருக்க எண் நீட்சிப் பெருக்க எண்ணைப்போல் இரு மடங்காகும் என்பதைக் கீழ்க் கண்டவாறு நிறுவலாம்.

ஒரு மீட்டர் பக்கம் கொண்ட சதுரத் தகடு ஒன்றின் வெப்ப நிலையை ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் உயர்த்துவதாகக் கொள்வோம். அதன் நீட்சிப் பெருக்க எண் α எனக் கொள்வோம்.

$$\text{தொடக்கப் பரப்பளவு} = A_1 = 1 \times 1 = 1 \text{ ச. மீ.}$$

$$\text{இறுதிப் பரப்பளவு} = A_2 = (1+\alpha)(1+\alpha) = 1 + 2\alpha + \alpha^2 \text{ ச. மீ.}$$

இதில் α^2 என்பது புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு மிகச் சிறியது. எனவே இறுதிப் பரப்பளவு $= 1 + 2\alpha$.

$$\therefore \text{ பரப்புப் பெருக்க எண்} = \beta = \frac{A_2 - A_1}{A_1 \theta} = \frac{(1+2\alpha) - 1}{1 \times 1} = 2\alpha.$$

5. பருமப் பெருக்கம் (Volume Expansion)

ஒரு பொருளின் பருமனில் ஏற்படும் பெருக்கமானது அதன் தொடக்கப் பருமன், வெப்பநிலை உயர்வு, பொருளின் தன்மை ஆகிய மூன்றையும் பொறுத்தது. V_1, V_2 என்பவை முறையே ஒரு பொருளின் தொடக்கப் பருமன், இறுதிப் பருமன் எனவும், θ என்பது வெப்பநிலை உயர்வு எனவும் கொள்வோமாயின்,

$$V_2 - V_1 = V_1 r\theta \text{ அல்லது } V_2 = V_1(1 + r\theta)$$

இதில் r என்பது பொருளின் தன்மையைப் பொறுத்த ஒரு மாறிலி. அது பொருளின் **பருமப் பெருக்க எண்** (Coefficient of Volume Expansion) எனப்பெறும். $V_1 = 1, \theta = 1$ எனில் $r = V_2 - V_1$ ஆகும்.

எனவே, ஒரு பொருளின் பருமப் பெருக்க எண் என்பது **ஓரலகு பருமனைக்கொண்ட பொருளின் வெப்பநிலை ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் உயரும்பொழுது அதன் பருமனிலேற்படும் மிகுதிப் பாடாகும்.**

ஒரு பொருளின் பருமப் பெருக்க எண் அதன் நீட்சிப்பெருக்க எண்களுடன் கீழ்க்கண்டவாறு தொடர்புள்ளது.

ஒரு மீட்டர் பக்கமுள்ள ஒரு கனசதுரப் பொருளின் வெப்ப நிலையை ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் உயர்த்துவதாகக் கொள்வோம். ஒன்றுக்கொன்று நேர்குத்தான மூன்று திசைகளில் (நீள, அகல, உயரத் திசைகளில்) பொருளின் நீட்சிப் பெருக்க எண்கள் முறையே α_1, α_2, α_3 எனக் கொள்வோம்.

பொருளின் தொடக்கப் பருமன் $= V_1 = 1 \times 1 \times 1 = 1$ க. மீ.

பொருளின் இறுதிப் பருமன்

$$= V_2 = (1 + \alpha_1)(1 + \alpha_2)(1 + \alpha_3)$$
$$= 1 + (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + (\alpha_1\alpha_2 + \alpha_2\alpha_3 + \alpha_3\alpha_1) + \alpha_1\alpha_2\alpha_3.$$

இதில் $\alpha_1\alpha_2$, $\alpha_2\alpha_3$, $\alpha_3\alpha_1$, $\alpha_1\alpha_2\alpha_3$ ஆகியவை புறக்கணிக்கக் கூடிய அளவு மிகச் சிறியவை.

$$\therefore \quad V_2 = 1 + (\alpha_1 + \alpha_1 + \alpha_3)$$

$$\text{எனவே பருமப் பெருக்க எண்} = r = \frac{V_2 - V_1}{V_1\,\theta}$$
$$= \frac{(1 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) - 1}{1 \times 1}$$
$$= \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$$

திசையொப்புப் பண்புள்ள பொருட்களில் $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha$.

$$\therefore \quad r = \alpha + \alpha + \alpha = 3\alpha.$$

6. பொருளின் அடர்த்தியும் வெப்பநிலையும்

ஒரு பொருள் தொடக்க வெப்பநிலையில் v_1 பருமனையும் d_1 அடர்த்தியையும் கொண்டுள்ளது என்போம். பொருளின் நிறை M எனில்,

$$d_1 = \frac{M}{v_1} \qquad (1)$$

பொருளின் வெப்பநிலையை θ°C உயர்த்தும்பொழுது அதன் பருமன் v_2 ஆகவும், அடர்த்தி d_2 ஆகவும் இருக்கட்டும்.

$$d_2 = \frac{M}{v_2} \qquad (2)$$

எனவே, $\frac{d_2}{d_1} = \frac{M}{v_2} \times \frac{v_1}{M} = \frac{v_1}{v_2}$

ஆனல், r என்பது பொருளின் பருமப் பெருக்க எண் எனில் $v_2 = v_1 (1 + r\theta)$

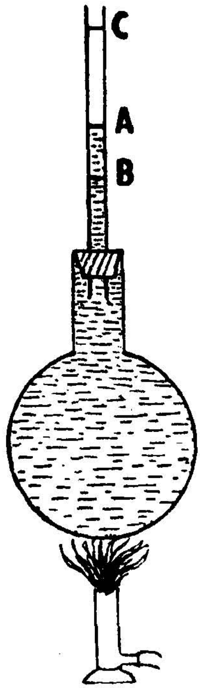
$$\therefore \quad \frac{d_2}{d_1} = \frac{v_1}{v_1 (1 + r\theta)} = 1 - r\theta$$

ஆகவே, $d_2 = d_1 (1 - r\theta)$

இதிலிருந்து ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை உயரும்பொழுது அதன் அடர்த்தி குறையும் என்பது தெளிவாகும்.

7. தோற்றப் பெருக்கமும் தனிப் பெருக்கமும் (Apparent and Absolute Expansion)

ஒரு திரவம் வைக்கப்படுவதற்கு ஒரு பாத்திரம் தேவை. ஆகையால், ஒரு திரவம் சூடாக்கப்படும்பொழுது அதைக் கொண்டுள்ள பாத்திரமும் சூடாக்கப்படும். இதனல் திரவம், பாத்திரம் இரண்டும் பெருக்கமடையும். நமக்குச் சாதாரணமாகப் புலப்படுவது பாத்திரத்தைவிடத் திரவம் எவ்வளவு அதிகம் பெருக்கமடைகிறது என்பதே. இது தோற்றப் பெருக்கம் (apparent expansion) எனப்படும். இந்தத் தோற்றப் பெருக்கம் திரவத்தின் சார்பிலா அல்லது தனிப் பெருக்கத்துடனும் (absolute expansion) பாத்திரத்தின் பெருக்கத்துடனுமா எவ்வாறு தொடர்பு கொண்டுள்ளது என்பதைக் கீழ்க்கண்டவாறு தெரிந்துகொள்ளலாம். நீண்ட கழுத்தையுடைய ஒரு கொள்கலத்தில் திரவம் இருப்பதாகவும் அதன் திரவமட்டம் கழுத்தில் A என்ற நிலையில் இருப்பதாகவும் கொள்வோம். வெப்பம் கொடுக்கப்படும்பொழுது முதலில்



படம் 14.

பாத்திரம் மட்டும் பெருக்கமடைவதாகக் கொள்வோமாயின் திரவ மட்டம் A என்ற நிலையிலிருந்து B என்ற நிலைக்கு இறங்கும். ஆகையால், AB என்பது பாத்திரத்தின் பெருக்கத்தைக் குறிக்கும். இப்பொழுது திரவம் வெப்பத்தை ஏற்றுப் பாத்திரத்தின் வெப்பநிலையை அடைவதாகக் கொள்வோமானல் திரவமட்டம் B என்ற நிலையிலிருந்து C என்ற நிலைக்கு உயரும். ஆகையால் BC என்பது திரவத்தின் தனிப் பெருக்கத்தைக் குறிக்கும். திரவத்தின் பெருக்கம் பாத்திரத்தின் பெருக்கத்தைவிட அதிகமாக இருப்பதால் C என்ற நிலை A நிலைக்குமேல் உள்ளது. நடைமுறையில் பாத்திரமும் திரவமும் ஒரே சமயத்தில் சூடடைவதால் திரவமட்டம் A நிலையிலிருந்து B நிலைக்கு வராது. அது A நிலையிலிருந்து நேரடியாக C நிலைக்கு வருவதுபோல் தோன்றும். ஆகையால், AC என்பது தோற்றப் பெருக்கமாகும். படம் 14-ல் இருந்து BC=AC+AB என்பது தெளிவு. எனவே, ஒரு திரவத்தின் தனிப் பெருக்கம்=திரவத்தின் தோற்றப் பெருக்கம்+பாத்திரத்தின் பெருக்கம்.

8. தனிப் பெருக்க எண்ணும் தோற்றப் பெருக்க எண்ணும் (Coefficient of Absolute Expansion and Coefficient of Apparent Expansion)

ஓரலகுப் பரும அளவுள்ள திரவத்தின் வெப்பநிலை ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் உயரும்பொழுது அதன் பருமனில் ஏற்படும் உண்மையான மிகுதிப்பாடு அந்தத் திரவத்தின் தனிப் பெருக்க எண் எனப்படும்.

V_1 என்பது தொடக்கப் பருமனுகவும் V_2 என்பது உண்மையான இறுதிப் பருமனுகவும் θ°C என்பது வெப்பநிலை உயர்வாகவும் இருக்குமாயின்,

$$\text{தனிப் பெருக்க எண்} = m = \frac{V_2 - V_1}{V_1 \theta}$$

$$\text{எனவே, } V_2 = V_1 (1 + m\theta)$$

ஓரலகுப் பருமனுள்ள திரவத்தின் வெப்பநிலை ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் உயரும்பொழுது கொள்கலத்தில் அதன் பருமனில் ஏற்படுவதாகத் தோன்றும் மிருதிப்பாடு தோற்றப் பெருக்க எண் ஆகும்.

தொடக்கப்பருமன் V_1 ஆகவும், தோற்றப் பெருக்கம் x ஆகவும் வெப்பநிலை உயர்வு θ°C ஆகவும் இருந்தால்,

திரவத்தின் தோற்றப் பெருக்க எண் $= m' = \frac{x}{V_1 \theta}$. எனவே,

தோற்ற இறுதிப் பருமன் $= V_2 = V_1 + x = V_1 (1 + m' \theta)$

9. தனிப் பெருக்க எண்ணுக்கும் தோற்றப் பெருக்க எண்ணுக்கு மிடையே உள்ள தொடர்பு

ஒரு கலத்திலுள்ள திரவத்தின் தொடக்கப் பருமன் V_1 எனக் கொள்வோம். வெப்பநிலை θ°C உருகும்பொழுது திரவத்தின் பருமன் V_2 எனத் தோன்றுவதாகக் கொள்வோம்.

$\therefore$ தோற்றப் பெருக்க எண் $= m' = \frac{V_2 - V_1}{V_1 \theta}$

கலத்தின் பருமப் பெருக்கம் g எனில், திரவத்தின் உண்மையான இறுதிப் பருமன் $= V_2 (1 + g\theta)$. எனவே, திரவத்தின் தனிப் பெருக்க எண் $= m = \frac{V_2 (1 + g\theta) - V_1}{V_1 \theta}$

$$= \frac{V_2 - V_1}{V_1 \theta} + \frac{V_2 g}{V_1}$$

$$= m' + \frac{V_2}{V_1} g$$

V_2-ன் மதிப்பு V_1-ன் மதிப்பிலிருந்து அதிகமாக மாறுபட்டிருப்ப தில்லை. ஆகவே, தோராயமாக $\frac{V_2}{V_1} g$ என்பதை g எனக் கொள்ள லாம்.

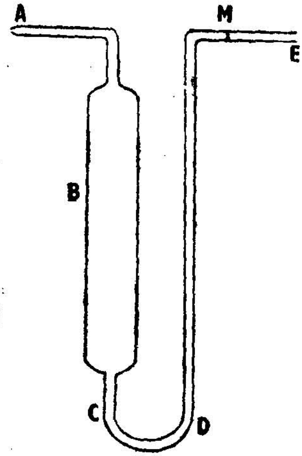
ஆகையால், $m = m' + g$.

அதாவது தனிப் பெருக்க எண் = தோற்றப் பெருக்க எண் + கலத்தின் பருமப் பெருக்க எண்.

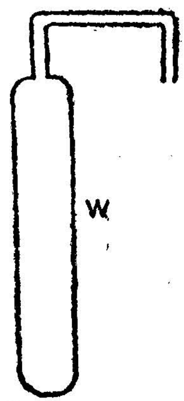
10. தோற்றப் பெருக்க எண்ணைக் காண்பதற்கான பரிசோதனைகள்.

(i) **அடர்த்திக் குப்பி, பைக்னமீட்டர் அல்லது எடை வெப்ப நிலைமானி முறை:** அடர்த்திக் குப்பி, பைக்னமீட்டர் வெப்ப நிலைமானி ஆகியவற்றுள் எக்கருவியை வேண்டுமானாலும் எடுத்துக்கொள்ளலாம். இவற்றில் உள்ள வேறுபாடு உருவத்திலும், அவற்றை எவ்வாறு திரவத்தால் நிரப்புவது என்பதிலும் தான்.

படம் 15.



படம் 16.



படம் 17.

அடர்த்திக் குப்பிக்கு (S. G.) நீண்டு குறுகிய வாய் உள்ளது. அதை மூட நுண்ணிய துளையுள்ள மூடி உள்ளது. குப்பிக்குள் திரவத்தை நேரிடையாக ஊற்ற முடியும். அவ்விதம் ஊற்றி மூடியைப் பொருத்தியதும் குப்பியினுள்ளிருக்கும் திரவத்தின் பருமன் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு இருக்கும்.

பைக்னமீட்டரில் B என்ற நீண்ட குமிழ் உண்டு. அதன் ஒரு முனையில் A என்ற நுண் துளைக்குழாயும், மறுமுனையில் CDE என்ற நுண் துளைக்குழாயும் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. CDE-ல் M என்ற ஒரு குறியிடு உள்ளது. இக் கருவியில் திரவத்தை நிரப்பு வதற்கு A-ன் முனையைத் திரவத்தில் வைத்து E மூலம் உறிஞ்ச வேண்டும். திரவமட்டம் M என்ற குறியீட்டை அடைந்ததும் முனைகளைக் கைவிரல்களால் அடைத்து பைக்னமீட்டரை முனைகள் B குமிழுக்கு மேலே ஒரே கிடைத்தளத்திலிருக்குமாறு தொங்க

விட்டுக்கொள்ள வேண்டும். இப்பொழுது பைக்னுமீட்டரிலுள்ள திரவம் ஒரு குறிப்பிட்ட பருமனைக் கொண்டது ஆகும்.

எடை வெப்பநிலைமானியில் ஒரு முனை மூடப்பெற்ற நீண்ட குமிழ் ஒன்று உண்டு. அதன் மறு முனையில் ஒரு நுண் துளைக் குழாய் உண்டு. இந்தக் குழாய் ஒரு முறையோ அல்லது இரு முறையோ செங்கோணமாக வளைக்கப்பட்டுள்ளது. குழாயின் முனையைத் திரவத்தில் வைத்துக் குமிழை மாறி மாறிச் சூடேற்றி யும் குளிர்வித்தும் எடை வெப்பநிலைமானியைத் திரவத்தால் நிரப்பலாம். குமிழையும் குழாயையும் முழுதும் நிரப்பியிருக்கும் திரவத்தின் பருமன் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை உடையதாக இருக்கும்.

மேற்கூறியவற்றுள் ஏதோ ஒரு கருவியை ஈரமற்றதாக எடுத்து அதன் நிறையைக் (w_1) காண வேண்டும், பிறகு கருவியைத் திரவத்தால் நிரப்பி வெளியில் நன்ருகத் துடைத்துத் திரவத்துடன் கூடிய கருவியின் நிறையைக் காணவேண்டும். அதனை w_2 எனக் கொள்வோம். திரவத்தின் தொடக்க வெப்பநிலையைக் (θ_1) குறித்துக் கொள்ள வேண்டும்.

கருவியின் வாய் மட்டும் வெளியிலிருக்குமாறு அதனை ஒரு நீர்த்தொட்டியில் வைத்துச் சூடேற்ற வேண்டும். அப்பொழுது பெருக்கமடைவதனுல் கசிந்து வெளியேறும் திரவத்தை மை யொற்றுத் தாளால் நீக்கவேண்டும். கசிவு நின்ற பிறகு தொட்டியின் வெப்பநிலையைக் (θ_2) குறித்துக் கொண்டு கருவியைத் தொட்டியிலிருந்து வெளியே எடுத்துத் துடைத்து ஆறிய பின் எஞ்சிய திரவத்துடன்கூடிய கருவியின் நிறையைக் காண வேண்டும். இதனை w_3 எனக் கொள்வோம்.

θ_1°C வெப்ப நிலையில் கருவியை நிரப்பும் திரவத்தின் நிறை $= w_2 - w_1$. இதனை m_1 எனக் குறிப்பிடுவோம். இவ்வாறே θ_2°C வெப்ப நிலையில் கருவியை நிரப்பும் திரவத்தின் நிறையை $(= w_3 - w_1)$ m_2 எனக் குறிப்பிடுவோம். கருவியின் கொள்ள ளவு V எனில் θ_1°C வெப்ப நிலையில் ஒரு கிராம் திரவத்தின் பருமன் $= \frac{V}{m_1}$. இதனை V_1 எனக் குறிப்பிடுவோம். நாம் தோற்றப் பெருக்க எண்ணைக் காணும்பொழுது கருவியின் பருமன் மாரு மலிருக்கிறது எனக் கொள்கிரேம். எனவே, θ_2°C வெப்பநிலையில் ஒரு கிராம் நிறையுள்ள திரவத்தின் பருமன் $= \frac{V}{m_2}$. இதனை V_2

எனக் குறிப்பிடுவோமாயின்,

$$\left.\begin{array}{r}\text{திரவத்தின் தோற்றப்} \\ \text{பெருக்க எண் } m'\end{array}\right\} = \frac{V_2 - V_1}{V_1(\theta_2 - \theta_1)}$$

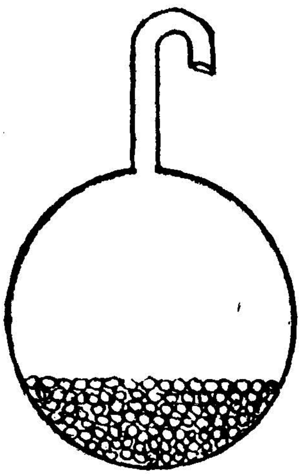
$$= \frac{\frac{V}{m_2} - \frac{V}{m_1}}{\frac{V}{m_1}(\theta_2 - \theta_1)}$$

$$= \frac{m_1 - m_2}{m_2(\theta_2 - \theta_1)}$$

$$= \frac{w_2 - w_3}{(w_3 - w_1)(\theta_2 - \theta_1)}$$

$$= \frac{\text{வெளியேற்றப்பட்ட திரவத்தின் நிறை}}{\text{எஞ்சியுள்ள திரவத்தின் நிறை} \times \text{வெப்ப நிலை உயர்வு}}$$

(ii) மத்தீஸன் அமிழ்த்தி முறை (Mathiessen's Sinker Method) : கனமான பாதரஸம் அல்லது ஈய ரவைகளை உள்ளடக்கி மூடப் பெற்றதும் கொக்கியை உடையதுமான குமிழ் ஒன்றினை அமிழ்த்தியாகப் பயன்படுத்தலாம்.



படம் 18.

தொடக்கத்தில் காற்றில் அமிழ்த்தியின் நிறையைக் (w_1) காண வேண்டும். பிறகு θ_1°C வெப்ப நிலையிலுள்ள திரவத்தில் அமிழ்த்தி முழுவதும் மூழ்கியிருக்குமாறு செய்து அந்த நிலையில் அதன் நிறையைக் (w_2) காணவேண்டும். இவ்வாறே θ_2°C வெப்ப நிலையிலுள்ள அதே திரவத்தில் அமிழ்த்தியின் நிறையைத் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும். இதனை w_3 எனக் கொள்வோம். θ_1°C வெப்ப நிலையில் அமித்தியின் பருமன் V_1 எனவும் திரவத்தின் அடர்த்தி d_1 எனவும் கொள்வோம். இவ்வாறே θ_2°C வெப்ப நிலையில் அமிழ்த்தியின் பருமன் V_2 எனவும், திரவத்தின் அடர்த்தி d_2 எனவும் கொள்வோம். $(\theta_2 - \theta_1)$ என்பதை θ எனக் குறிப்பிடுவோம். கண்ணாடியின் பருமப் பெருக்க எண் g எனில், $V_2 = V_1(1 - g\theta)$.

இப்பொழுது ஒரு திரவத்தில் மூழ்கியிருக்கும் அமிழ்த்தியின் எடை இழப்பு அதனால் இடம் பெயர்க்கப்பட்ட திரவத்தின் எடைக்குச் சமம்.

எனவே, $w_1 - w_2 = V_1 d_1$

$$w_1 - w_3 = V_2 d_2 = V_1 (1 + g\theta) d_2$$

இப்பொழுது $(w_1 - w_2)$ என்பதை m_1 ஆலும், $(w_1 - w_3)$ என்பதை m_2 ஆலும் குறிப்பிடுவோமாயின்,

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{d_1}{d_2 (1 + g\theta)}.$$

திரவத்தின் தனிப் பெருக்க எண் m எனில், $d_2 = \frac{d_1}{(1 + m\theta)}$

$$\text{எனவே, } \frac{m_1}{m_2} = \frac{1 + m\theta}{1 + g\theta}$$

$$\therefore 1 + m\theta = \frac{m_1}{m_2}(1 + g\theta)$$

$$= \frac{m_1}{m_2} + \frac{m_1}{m_2} g\theta$$

$$\therefore m\theta = \frac{m_1 - m_2}{m_2} + \frac{m_1}{m_2} g\theta$$

$$\therefore m = \frac{m_1 - m_2}{m_2\theta} + \frac{m_1}{m_2} g \qquad (1)$$

அமிழ்த்தியின் பெருக்கத்தைப் புறக்கணிக்கையில் ($g = o$ எனில்) 1ஆவது சமன்பாட்டிலிருந்து தோற்றப் பெருக்க எண்ணைப் (m') பெறலாம்.

$$\therefore m' = \frac{m_1 - m_2}{m_2\theta}$$

இதனை 1 ஆவது சமன்பாட்டில் இப்பொழுது பதலீடு செய்வோமாயின்,

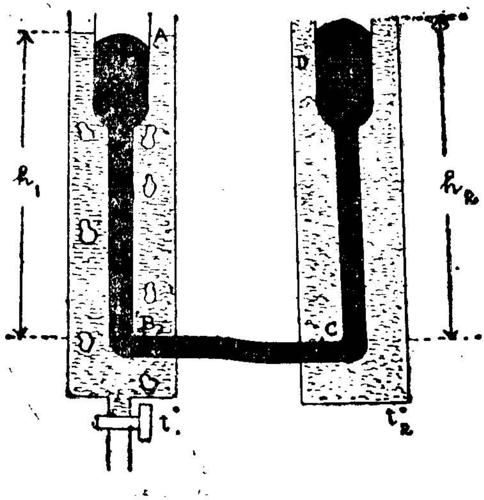
$$m = m' + \frac{m'}{m_2} g$$

m_2-ன் மதிப்பு m_1-ன் மதிப்பிலிருந்து அதிகமாக மாறுபட்டிருப்பதில்லை. எனவே, $\frac{m_1}{m_2} g$ என்பதைத் தோராயமாக g எனக் கொள்வோமாயின், $m = m' + g$.

இம்முறையிலுள்ள சிறப்பு யாதெனில் வெவ்வேறு வெப்பநிலைப் பகுதிகளில் பெருக்க எண்ணைக் காண்பதற்கு இந்த முறை உகந்தது.

11. திரவத்தின் தனிப் பெருக்க எண்ணைக் காணல் (Determination of Absolute Expansion of Liquid)

இதனைக் காண்பதற்குச் சரியீட்டுத் தம்பங்களின் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்துகிறோம். டியூலாங், பெட்டிட் என்பவர்களும் ரெனால்டும் இந்தத் தத்துவத்தைப் பயன்படுத்திப் பாதரசத்தின் தனிப் பெருக்க எண்ணைக் கண்டனர்.



படம் 19.

(i) டியூலாங் - பெட்டிட் முறை (Dulong and Petit's Method): இவர்களது கருவி U வடிவ அமைப்பைக் கொண்ட ஒரு குழாயாகும். கருவியின் இரு செங்குத்துப் புயங்கள் சற்றுப் பெரிய துளையையுடைய குழாய்கள். அடிப்பாகத்திலுள்ள இணைப்புக் குழாய் கிடைத்தளத்தில் அமைந்து சிறு துவாரத்தைக் கொண்டதாக இருக்கிறது. கருவியைத் திரவத்தால் நிரப்பி அதன் ஒரு புயத்தை ஒரு குளிர் தொட்டியிலும், மற்றப் புயத்தைச் சூடான ஒரு எண்ணெய்த் தொட்டியிலும் வைக்கவேண்டும். திரவமட்டங்கள் மாறாத நிலைகளை அடைந்த பிறகு குளிர்த்தம்பத்தின் உயரத்தையும் வெப்பநிலையையும் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். அவை முறையே h_1, θ_1 எனக் கொள்வோம். இவ்வாறே சுடுதம்பத்தின் உயரத்தையும் வெப்ப நிலையையும் அளந்து அவற்றை முறையே h_2, θ_2 எனக் கொள்வோம். குளிர்த்தம்பம், சுடுதம்பம் இவற்றின் அடர்த்திகள் முறையே ρ_1, ρ_2 எனில், சரியீட்டுத் தம்பங்களின் தத்துவத்தின்படி,

$$h_1 \rho_1 g = h_2 \rho_2 g$$

$$\therefore \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$

இப்பொழுது திரவத்தின் தனிப் பெருக்க எண் 'm' எனக் கொள்வோம். $(\theta_2 - \theta_1)$ என்பதை θ ஆல் குறிப்பிடுவோமாயின்,

$$\rho_2 = \frac{\rho_1}{1 + m\theta}$$

$$\text{எனவே, } \frac{\rho_1}{\rho_2} = 1 + m\theta = \frac{h_2}{h_1}$$

$$\therefore m = \frac{h_2 - h_1}{h_1 \theta}$$

$$= \frac{h_2 - h_1}{h_1(\theta_2 - \theta_1)}$$

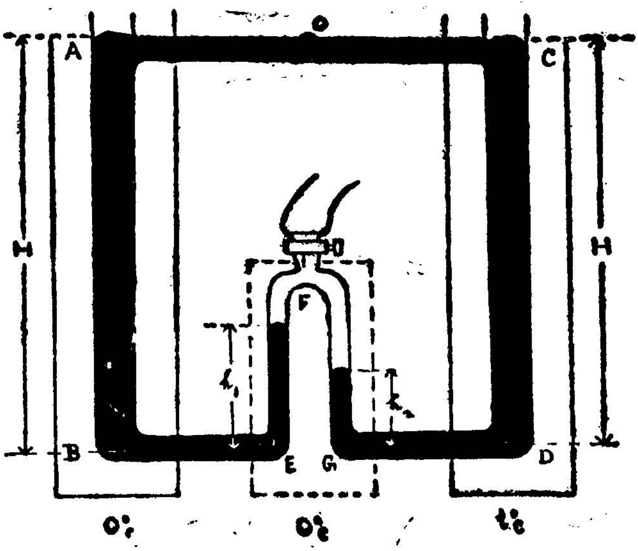
எனவே, m-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுத் தெரிந்துகொள்ளலாம். இம் முறையிலுள்ள சில குறைபாடுகள்: (i) இரு புயங்களிலுள்ள திரவமட்டங்கள் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் இருக்கின்றன. இதனால் அவற்றின் பரப்பு இழுவிசைகள் (surface tensions) வேறுபடுவதால் திரவமட்டங்கள் சரியான நிலைகளிலிருந்து சற்று மாறுபட்ட நிலைகளில் இருக்கும். (ii) திரவத்தம்பங்களின் மேற்பகுதிகள் சிறிதளவு தொட்டிகளுக்கு வெளியே இருப்பதால் அப் பகுதிகளின் வெப்பநிலைகள் தொட்டிகளின் வெப்பநிலைகளிலிருந்து சற்று மாறுபட்டிருக்கும். (iii) இரு புயங்களுக்கிடையே உள்ள தூரம் அதிகமாக இருப்பதால் $(h_2 - h_1)$-ன் மதிப்பைத் துல்லியமாக அறிய முடிவதில்லை.

இம் முறையிலுள்ள குறைபாடுகளை நீக்க ரெனால்டு இரு விதக் கருவிகளைப் பயன்படுத்தினர்.

(ii) **ரெனால்டின் முதல் முறை (Regnault's first method):** இதில் AB, CD என்ற இரு செங்குத்தான அகன்ற குழாய்கள் அவைகளின் உச்சிகளுக்குச் சற்றுக் கீழே AC என்ற ஒரு கிடைத்தளக் குழாயால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. ACயின் நடுவில் மேற்புறமாக O என்ற ஒரு சிறு துவாரம் இருக்கிறது. AB, CD இவற்றின் அடிப்பாகங்கள் BEFGD என்ற ஒரு வளைவுக் குழாயால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இக்குழாயின் EFG என்ற பகுதி தலைகீழாகத் திருப்பப்பட்ட U வடிவத்தை உடையது. இதன் வளைவு உச்சியில் S என்ற ஒரு பக்கக் குழாயுள்ளது. இது ஓர் அழுத்தும் பம்புடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

AB குழாயும் EFG குழாயும் தூய பனிக்கட்டியுடன் கூடிய குளிர் நீர் உறைகளில் வைக்கப்பட்டு 0°C வெப்பநிலையில் இருக்கின்றன. CD குழாய் நீராவி உறையினுள் வைக்கப்படுகிறது. கருவியைத் திரவத்தால் நிரப்பியபின் அழுத்தும்

பம்பினுல் வேண்டிய அழுத்தத்தை உண்டாக்கி EFGயின் மேற் பகுதியில் அழுத்தப்பட்ட காற்றும், மற்றப் பகுதிகளில் திரவமும்



படம் 20.

இருக்குமாறு செய்யப்படுகிறது. மிகுதிப்படும் திரவம் O என்ற துவாரத்தின் வழியாக வெளியேறிவிடும். நீராவி உறைக்குள் நீராவியைச் செலுத்தித் திரவத்தின் பெருக்கம் முற்றுப்பெறும் வரை காத்திருக்க வேண்டும். பெருக்கத்திஞல் மிகுதிப்படும் திரவமும் O வழியே வெளியேறிவிடும். CD குழாயின் வெப்பநிலையைக் (θ) குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். AB, CD ஆகிய குழாய்களில் திரவத் தம்பங்கள் ஒரே உயரத்தையுடையனவாக இருக்கும். இவைகளின் உயரம் H எனக் கொள்வோம். EF, GF புயங்களிலுள்ள திரவத் தம்பங்களின் உயரங்கள் வேறுபட்டவையாக இருக்கும். இவற்றின் உயரங்கள் முறையே h_1, h_2 எனக் கொள்வோம். 0°C, θ°C வெப்ப நிலைகளில் திரவத்தின் அடர்த்திகள் முறையே ρ_0, ρ என இருக்கட்டும்.

EFG யின் மேற்பகுதியிலுள்ள அடைபட்ட காற்றின் அழுத்தம் P எனவும், வெளியிலுள்ள வளியமுத்தம் π எனவும் கொள்வோம். ஒரே கிடைத்தளத்தில் உள்ள B, E புள்ளிகளில் அழுத்தம் சமமானதால்,

$$\pi + H\rho_0 g = P + h_1 \rho_0 g$$

$$\therefore (H - h_1)\rho_0 g = P - \pi \quad \ldots 1$$

இவ்வறே ஒரே கிடைத்தளத்திலுள்ள G, D புள்ளிகளில் அழுத்தம் சமமானதால்,

$$\pi + H\rho g = P + h_2 \rho_0 g$$

$$\therefore H\rho g - h_2 \rho_0 g = P - \pi \quad \ldots 2$$

1, 2 சமன்பாடுகளிலிருந்து

$$(H - h_1)\rho_0 g = H\rho g - h_2 \rho_0 g$$

$$(H - h_1 + h_2)\rho_0 = H\rho$$

ஆனல், $\rho = \rho_0(1 - m\theta)$

$$\therefore (H - h_1 + h_2)\rho_0 = H\rho_0(1 - m\theta)$$

$$\therefore 1 - m\theta = \frac{H - h_1 + h_2}{H}$$

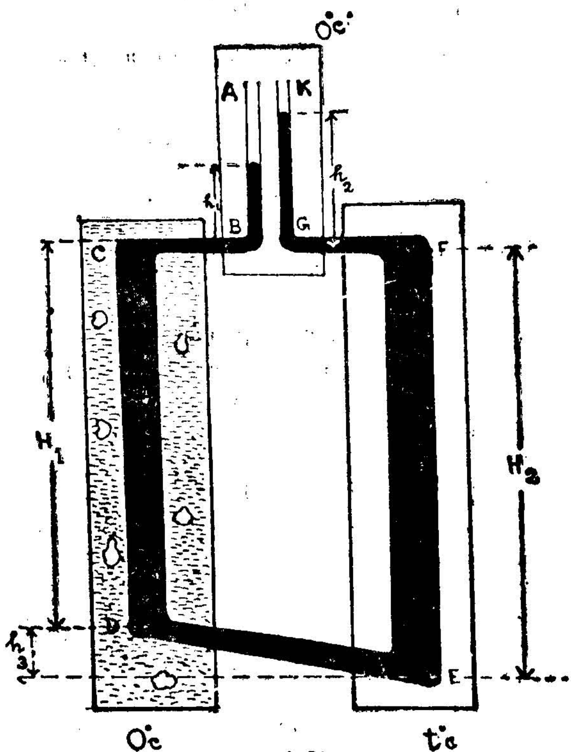
$$\therefore m\theta = 1 - \frac{H - h_1 + h_2}{H}$$

$$\therefore m = \frac{h_1 - h_2}{H\theta}$$

(iii) **ரெனல்டின் இரண்டாம் முறை:** இக் கருவியில் படத்தில் காட்டியவாறு A B C D, E F G K என்ற இரு கண்ணுடிக் குழாய்கள் செங்குத்தான தாங்கியில் பொருத்தப்பட்டு அடியில் நெகிழக்கூடிய DE என்ற இரும்புக் குழாயால் இணைக்கப் பட்டுள்ளன. ஏறத்தாழ ஒரு மீட்டர் நீளமுள்ள CD, EF பகுதிகள் முறையே குளிர்நீர்த் தொட்டியிலும், சுடு எண்ணெய்த் தொட்டியி லும் வைக்கப்பட்டுள்ளன. குழாயின் AB, GK ஆகிய மேற் பகுதிகள் குளிர்நீர்த் தொட்டியில் வைக்கப்பட்டுள்ளன. BC, GF பகுதிகள் ஒரே கிடைத்தளத்தில் இருக்குமாறு அமைக்கப் பட்டிருக்கின்றன.

AB, GK ஆகிய மேற்பகுதிகளில் போதிய உயரம்வரை நிற்குமாறு கருவியைத் திரவத்தால் நிரப்பி EF பகுதியின் வெப்ப நிலையைத் தேவையான அளவுக்கு உயர்த்த வேண்டும். இதனுல் EF குழாய் பெருக்கமடைந்து DE-ஐ கிடைத்தளத்திலிருந்து சற்றுச் சாய்ந்திருக்மாறு செய்யும். பெருக்கம் முற்றுப்பெற்றதும் AB, GK பகுதிகளிலுள்ள திரவத் தம்பங்களின் உயரங்களை முறையே h_1, h_1 எனவும் CD, EF பகுதிகளிலுள்ள திரவத்தம்பங்களின் உயரங்களை முறையே H_1, H_2 எனவும், DE பகுதியில் உள்ள திரவத்தின் செங்குத்து உயரத்தை h_3 எனவும் கொள்வோம். AB,

GK, CD ஆகியவைகளின் வெப்பநிலை θ_1°C எனவும், EF-ன் வெப்பநிலை θ_2°C எனவும், DE யின் சராசரி வெப்பநிலை θ_3°C



படம் 21.

எனவும் இருப்பதாகக் கொள்வோம். θ_1°, θ_2°, θ_3°C வெப்ப நிலைகளில் திரவத்தின் அடர்த்திகள் முறையே ρ_1, ρ_2, ρ_3 என்றிருக்கட்டும்.

ACDE பகுதியில் உள்ள திரவத்தினுல் E-ல் விளையும் அழுத்தம் $= h_1 \rho_1 g + H_1 \rho_1 g + h_3 \rho_3 g$.

இவ்வாறே, EFGK பகுதியிலுள்ள திரவத்தினுல் E-ல் விளையும் அழுத்தம் $= h_2 \rho_1 g + H_2 \rho_2 g$.

ஒரே புள்ளியில் விளையும் இவ்விரு அழுத்தங்களும் சமமாகும் எனவே,

$$h_1 \rho_1 g + H_1 \rho_1 g + h_3 \rho_3 g = h_2 \rho_1 g + H_2 \rho_2 g.$$

$$\therefore \; (H_1 + h_1 - h_2)\, \rho_1 + h_3 \rho_3 = H_2 \rho_2.$$

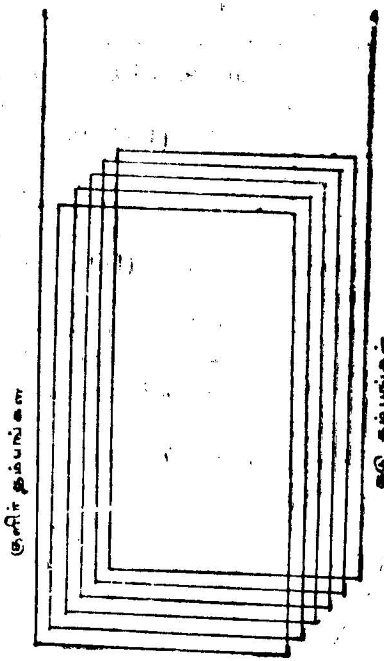
இப்பொழுது திரவத்தின் தனிப் பெருக்க எண் m எனில்,

$$\rho_1 = \frac{\rho_0}{1 + m\theta_1};\ \rho_2 = \frac{\rho_0}{1 + m\theta_2};\ \rho_3 = \frac{\rho_0}{1 + m\theta_3}.$$

ஆகையால், $$\frac{(H_1 + h_1 - h_2)}{1 + m\theta_1} + \frac{h_3}{1 + m\theta_3} = \frac{H_2}{1 + m\theta_2}.$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து m-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். இங்கு θ_3-ன் அளவீடு மாத்திரம் சற்று உறுதிப்பாடு குறைந்ததாக உள்ளது. ஆனால், இதனாலேற்படக்கூடிய பிழை மிகவும் சிறியது. இம் முறையில் AB, GH ஆகிய மேற்பகுதிகள் அருகருகே வைக்கப் பட்டு ஒரே வெப்பநிலையில் இருப்பதால் $(h_1 - h_2)$-ன் மதிப்பை நேரிடையாகத் தெரிந்துகொள்வதற்கும், பரப்பு இழுவிசையால் ஏற்படக்கூடிய பிழையைத் தவிர்ப்பதற்கும் முடிகிறது. இவ்விதம் ட்யூலாங், பெட்டிட் இவர்களின் முறையிலேற்படும் பிழைகள் அனைத்தும் இம்முறையில் நீக்கப்பட்டுள்ளன.

(iv) **காலண்டர்-மாஸ் முறை** (Callendar and Moss's method): இவர்கள் ரெனுல்டின் இரண்டாம் முறையைச் சற்று மாற்றி யமைத்து அதிக நுட்ப மான மதிப்பைக் கண்ட னர். இவர்கள் ஆறு குளிர் தம்பங்களையும், ஆறு சுடு தம்பங்களையும் தொடரி ணைப்பு முறையில் பொருத் திப் பயன்படுத்தினர். குளிர தம்பங்கள் ஒன்றன் பின் ஒன்ருக ஒரு குளிர் நீர்த்தொட்டியில் வைக்கப் பட்டன. அவ்வாறே சுடுதம்பங்கள் ஆறும் ஒன்றன்பின் ஒன்ருக எண்ணெய்த் தொட்டி ஒன்றில் வைக்கப்பட்டு மின் சூடேற்றியினுல் சூடு படுத்தப்பட்டன. தொட்டி களின் வெப்பநிலைகளை அளக்கப் பிளாட்டின மின் தடை வெப்பநிலைமானி களைப் பயன்படுத்தினர். தம்பங்களின் உயரம் H எனவும், குளிர்- சுடுதம்பங்களின் அடர்த்திகள் முறையே d_1, d_2 எனவும் இருக்குமாயின், ஒரு இரட்



படம் 22.

டைத்தம்பங்களின் அடியில் உள்ள அழுத்த வேறுபாடு = H $(d_1 - d_2) g$. ஆகையால், ஆறு இரட்டைத் தம்பங்களும் சேர்ந்து 6 H $(d_1 - d_2)$ g அழுத்த வேறுபாட்டை உண்டாக்குகின்றன. இதனுல் முதல் குளிர் தம்பத்தின் உயரத்துக்கும் கடைசியிலுள்ள சுடுதம்பத்தின் உயரத்துக்கும் இடையேயுள்ள வேறுபாடு ஒரு இரட்டைத் தம்பங்களினிடையே உள்ள வேறுபாட்டைப்போல் ஆறு மடங்காக இருக்கும். காலண்டர், மாஸ் இவர்களால் பயன் படுத்தப்பட்ட தம்பங்கள் ஒவ்வொன்றும் இரண்டு மீட்டராகும். ஆனுல், ரெனுல்ட் பயன்படுத்திய தம்பங்களின் உயரம் $1\frac{1}{2}$ மீடடர் தான் இருந்தது. ஆகையால் காலண்டர்-மாஸ் முறையிலுள்ள அள வீட்டு நுட்பம் ரெனுல்டின் முறையிலிருந்ததைவிட அதிகமாக வுள்ளது.

12. நீரின் முரணியப் பெருக்கம் (Anomalous expansion of water)

நீரின் வெப்பநிலை 0°C யிலிருந்து 4°C வரை உயரும்பொழுது அதன் பருமன் குறைகிறது. இது பொதுநிலையிலிருந்து மாறு பட்டதாகும். 4°C வெப்பநிலைக்குமேல் நீரின் வெப்பநிலை உயரும் பொழுது பருமன் அதிகமாகிறது. ஆகையால், 4°C வெப்பநிலை யில் நீர் பெரும் அடர்த்தியையும் சிறுமப் பருமனையும் பெற்றிருக் கிறது. இவ்வுண்மைகளை ஹோப் (Hope), டெஸ்ப்ரே (Despretz), ஜுல்-ப்ளேஃபேர் (Joule-Playfair) ஆகியோர் நன்கு காட்டி யுள்ளனர்.

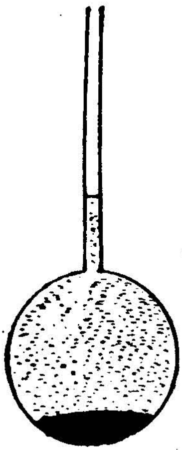
நீரின் விரிவை ஆராயத் தகுந்த அளவு பாதரசத்தை உள்ளே கொண்ட விரிவுமானி (Dilatometer) என்னும் கருவியைப் பயன் படுத்தலாம். விரிவுமானி என்பது நுண்துளைக்குழாய் பொருத்தப் பெற்ற ஒரு கண்ணுடிக் குமிழ் ஆகும். கண்ணுடிக் குமிழின் பெருக்கத்தை ஈடு செய்வதற்குக் குமிழில் தேவையான அளவு பாதரசத்தை எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும். குமிழின் கொள்ளளவு v எனவும், அதன் பருமப் பெருக்க எண் g எனவும் கொள்வோம். பாதரசத்தின் தனிப் பெருக்க எண் m எனில் ஈடு செய்வதற்குத் தேவையான பாதரசத்தின் பருமனைக் (v) கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டி லிருந்து தெரிந்துகொள்ளலாம்.

$$V \times g = v \times m$$

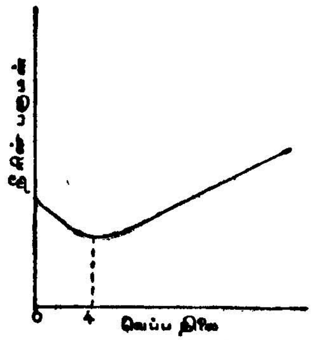
$$\text{எனவே } \frac{v}{V} = \frac{g}{m} = \frac{.000026}{.000182} = \frac{1}{7}$$

ஆதலால், குமிழின் கொள்ளளவில் ஏழில் ஒரு பங்கு பருமன் கொண்ட பாதரசத்தைக் குமிழினுள் எடுத்துக் குமிழின் எஞ்சிய

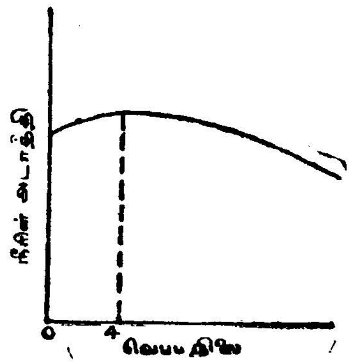
பாகத்தையும், தண்டின் ஒரு பகுதியையும் நீரால் நிரப்பிச் சூடேற்றும்பொழுது நீர்மட்டத்திலேற்படும் மாறுதலிலிருந்து நீரின்



படம் 23.



படம் 24.



படம் 25.

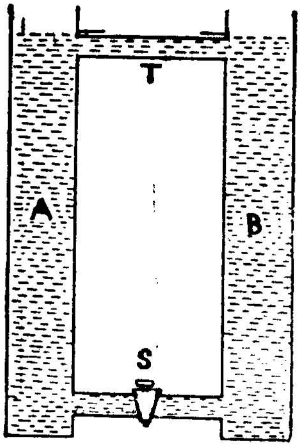
பருமனிலேற்படும் மாறுதலை நேரிடையாகத் தெரிந்துகொள்ளலாம். நீரின் பருமன், அடர்த்தி ஆகியவை வெப்பநிலையைப் பொறுத்து எவ்விதம் மாறுகின்றன என்பதை வரைபடங்களிலிருந்து தெளிவாகக் காணலாம்.

நீர் எந்த வெப்பநிலையில் பெரும் அடர்த்தியைக் கொண்டுள்ளது என்று அறிய ஹோப்பின் ஆய்கருவியையோ அல்லது ஜூல்-ப்ளேஃபேர் ஆய்கருவியையோ பயன்படுத்தலாம். இங்கு ஜூல்-ப்ளேஃபேர் முறையைப் பற்றிக் கவனிப்போம்.

ஜூல்-ப்ளேஃபேர் ஆய்கருவியில் உயரமான A, B என்ற இரு சாடிகள் உள்ளன. இவைகளின் அடிப்பாகங்கள் ஒரு குழாயால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இந்தக் குழாயில் S என்ற ஓர் அடைதிறப்பான் (stop-cock) உண்டு. சாடிகளின் மேற்பாகங்கள் U வடிவ வெட்டு முகத்தைக் கொண்ட T என்ற ஒரு குழாயால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன.

இம்முறை நீரின் பெரும் அடர்த்திக்குரிய வெப்ப நிலையிலிருந்து இரு புறமும் சம அளவுக்குச் சிறிது மாறுபட்ட வெப்ப நிலைகளில் அதன் அடர்த்திகள் சமமாக இருக்கும் என்ற தத்துவத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டது. இச் சோதனையில் ஒரு சாடியை 4°C-க்குச் சற்றுக் குறைந்த வெப்பநிலையிலுள்ள நீராலும் மற்றச்

சாடியை 4°C-க்குச் சற்று அதிகமான வெப்ப நிலையிலுள்ள நீராலும் நிரப்பி T குழாயின் நடுவில் ஒரு சிறு கண்ணாடி மிதவையை வைக்க வேண்டும். சாடிகளில் உள்ள நீர்களின் அடர்த்திகள் சமமாக இல்லாவிட்டால் S என்ற அடைதிறப்பான் திறக்கப்பட்டதும் நீர்ச்சலனம் ஏற்பட்டு T குழாயிலுள்ள மிதவை நகரும். அவ்விதம் நகராதபடி வெப்ப நிலைகளின் வேறுபாடு சரி செய்யப்படுகிறது. இந்நிலையில் சாடிகளின் வெப்ப நிலைகள் நீரின் பெரும்அடர்த்திக்குரிய வெப்பநிலையிலிருந்து சம அளவு மாறுபட்டவையாக இருக்கும். ஆகையால் அவைகளின் சராசரி வெப்ப நிலையானது நீரின் பெரும் அடர்த்திக்குரிய வெப்ப நிலையைக் கொடுக்கும். இந்த வெப்ப நிலை 3·98°C என நிர்ணயிக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 26.

நீரின் முரண்பட்ட பெருக்கத்திஞல் சில நன்மைகள் ஏற்படுகின்றன. குளிர் மிகுந்த நாடுகளில் குளிர்காலத்தில் வெப்பநிலை 0°C-ஐ விடக் குறையும்பொழுது நீர்நிலைகளின் மேற்பாகம் பனிக்கட்டியாக மாறினுலும் அடியில் 4°C வெப்பநிலையிலுள்ள பெரும் அடர்த்தியைக் கொண்ட நீர் இருந்து நீர்வாழ் உயிரினங்களின் வாழ்வுக்கு உறுதுணை செய்கிறது.

நீரின் முரண்பட்ட பெருக்கத்திற்குப் பின்வரும் காரணத்தைக் கூறலாம். நீரில் H_2O, $(H_2O)_2$, $(H_2O)_3$ என்ற மூவகை மூலக்கூறுகளைக் கொண்ட பகுதிகள் இருக்கின்றன. இவைகளின் அடர்த்திகள் வேறுபட்டவை. வெப்பநிலை மாறுபடும்பொழுது இவைகளின் கலப்பு விகிதங்கள் மாறுபடுவதின் பயனுய் நீரின் பருமஅளவு 0° – 4°C வெப்பநிலைப் பகுதியில் குறைகிறது. மேற்கூறிய விளைவினுலேற்படும் சுருக்கத்தின் அளவு வெப்பத்தாலேற்படும் பொதுவான பெருக்கத்தைவிட அதிகமாக இருப்பதால் 0°—4°C வெப்பநிலைப் பகுதியில் பருமன் குறைகிறது எனலாம்.

13. திரவங்களின் பெருக்கத்திஞல் ஏற்படும் விளைவுகளும் பயன்களும்

(i) பாரமானியின் அளவீட்டில் செய்யப்பட வேண்டிய திருத்தம்: வளி அழுத்தத்தைப் பாரமானியின் பாதரசத் தம்ப

உயரத்தால் குறிப்பது வழக்கம். ஆனால், அழுத்தத்தின் உண்மையான மதிப்பானது பாதரசத்தம்பத்தின் உயரம், அதன் அடர்த்தி, புவியீர்ப்பு முடுக்கம் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலனால் தரப்படுகிறது. ஆனால், வெப்பநிலையைப் பொறுத்துப் பாதரசத்தின் அடர்த்தி மாறுவதாலும், இடத்தைப் பொறுத்து gயின் மதிப்பு மாறுவதாலும் அழுத்தத்தைப் பாதரசத்தம்பத்தின் உயரத்தால் குறிப்பிடும் பொழுது ஒரு நியதி தேவை. அது கீழ்வருமாறு உள்ளது. (a) கொடுக்கப்பட்ட இடத்தில் g-ன் மதிப்பு புவியின் 45° குறுக்குக் கோட்டில் கடல் மட்டத்திலுள்ள gயின் மதிப்புக்குச் சமமாக இருந்திருக்குமாயின் பாதரசத்தம்பத்தின் உயரம் என்ன மதிப்பை உடையதாக இருக்குமோ அதையே குறிப்பிட வேண்டும். (b) பாரமானித் திரவத்தின் அடர்த்தி அதன் 0°C வெப்பநிலையிலுள்ள அடர்த்தியைப் பெற்றிருந்தால் பாதரசத்தம்பத்தின் உயரம் என்னவாக இருந்திருக்குமோ அதையே குறிப்பிட வேண்டும்.

இப்பொழுது வெப்பநிலைக்கான திருத்தத்தை எவ்வாறு கணக்கிடுவது என்று கவனிப்போம். இதில் இரு திருத்தங்கள் தேவை. ஒன்று அளவுகோலின் பெருக்கத்துக்காகவும் மற்றது பாதரச அடர்த்தி வேறுபாட்டிற்காகவும் செய்யப்படவேண்டும். பாரமானியில் கிடைக்கும் தோற்ற அளவீடு H செ. மீ. எனவும், வெப்பநிலை θ°C எனவும், அளவுகோலின் நீட்சிப் பெருக்க எண் α எனவும் கொள்வோம். பாரமானி அளவுகோலின் அளவுக் கூறுகள் 0°C வெப்பநிலையில் குறிக்கப்பட்டவை எனில், பாதரசத்தம்பத்தின் உண்மையான உயரம் $= H(1+\alpha\theta)$ ஆகும். ஆனால், இது θ°C வெப்பநிலையிலுள்ள பாதரசத்தைக் கொண்டது. 0°, θ°C வெப்பநிலைகளில் பாதரசத்தின் அடர்த்திகள் முறையே ρ_0, ρ_θ எனவும் பாதரசத்தின் தனிப் பெருக்க எண் m எனவும் இருக்கட்டும். இப்பொழுது பாதரசத்தின் அடர்த்தி ρ_0 ஆக இருந்திருக்குமாயின் அந்த இடத்தில் பாரமானியின் பாதரசத்தம்ப உயரம் H_0 எனக் கொள்வோம். இம் முறையிலும் குறிப்பிடப் படும் அழுத்தம் ஒன்றே.

எனவே, $H_0\,\rho_0 = H\,(1+\alpha\theta)\,\rho_\theta$.

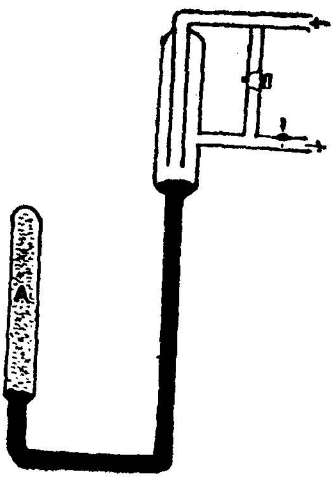
ஆனால், $\rho_\theta = \rho_0\,(1-m\theta)$

$$\therefore\ H_0 = H\,(1+\alpha\theta)\,(1-m\theta)$$
$$= H\,[1-(m-\alpha)\,\theta]$$

குறிப்பு: அளவுகோல் θ_1°C வெப்பநிலையில் அளவுக் கூறுகளைச் சரியாகக் குறிக்கப் பெற்றிருக்குமாயின்,

$$H_0 = H[1 + \alpha(\theta-\theta_1)][1-m\theta]$$
$$= H[1-m\theta + \alpha(\theta-\theta_1)]$$

(ii) **வெப்பநிலைக் காப்பான்கள்** (Thermostats) : இவை ஒரு திரவத்தையோ அறையையோ தேவையான ஒரு நிலையான வெப்ப நிலையில் வைப்பதற்குப் பயன்படும். தேவையான வெப்ப நிலைகளுக் கேற்றவாறும், சூடுபடுத்தும் சாதனங்களுக்குத் தக்க வாறும் பலவகை வெப்பநிலைக் காப்பான்கள் உள்ளன. அவை யாவும் வெப்பநிலையால் ஏற்படும் பெருக்கத்தைப் பயன்படுத்து கின்றன. சில வகைகளில் டொலின் (Toliene), ஆல்கஹால் போன்ற திரவத்தின் பெருக்கத்தால் ஒரு பாதரசத்தம்பம் நகர்த்தப் பட்டு புன்ஸன் எரி சூடேற்றிக்குச் செல்லும் எரிவாயுப் பாதையைத் தக்கவாறு அடைக்கும். இதனால் சூடாக்குதலை உரிய அளவுக்குக் கட்டுப்படுத்த முடிகிறது.



படம் 27.

வேறு சிலவகை வெப்பநிலைக் காப்பான்களில் பித்தளை, இரும்பு ஆகிய உலோகங்களாலான ஒரு சிறு கூட்டுப்பட்டை (bi-metallic strip) பயன்படுகிறது. இந்தக் கூட்டுப் பட்டை ஒரு முனையில் பொருத்தப்பட்டு மறுமுனை ஒரு திருகைத் தொட்டு இருக்கும். பட்டை, திருகுமுனை ஆகிய வற்றின் வழியே ஏற்படுத்தக் கூடிய மின்னோட்டம் ஒரு மின் அடுப்பை இயக்குமாறு உள்ளது. வெப்பநிலை தேவையான அளவு உயர்ந்ததும் கூட்டுப் பட்டையி லேற்படும் வளைவினால் பட்டைக் கும் திருகுமுனைக்கும் இடையே ஒரு இடைவெளி ஏற்பட்டு மின் னோட்டம் தடைபடும். இவ்விதம் மின்னடுப்பினால் சூடேற்றுதலைத் தக்கவாறு கட்டுப்படுத்தலாம்.

14. வாயுவின் பருமப் பெருக்க எண்ணும் அழுத்தப் பெருக்க எண்ணும் (Volume coefficient and Pressure coefficient)

வெப்பநிலை, அழுத்தம் ஆகிய இரண்டுமே ஒரு வாயுவின் பருமனை மாற்றும். பாயிலின் விதிப்படி வெப்பநிலை மாறாதிருக்கும் பொழுது ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய வாயுவின் பருமன்

அதன் அழுத்தத்திற்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும். ஆகையால் வெப்பநிலை மாறும்பொழுது வாயுவின் பருமன் எவ்விதம் மாறு கிறது என்று ஆராய அழுத்தத்தை ஒரே அளவாக வைத்துக் கொள்ள வேண்டும். வாயுவை அதன் பருமன் மாறு நிலையிலும் வைத்துச் சூடேற்றலாம். அப்பொழுது அதன் அழுத்தம் உயரும்.

அழுத்தம் மாறுநிலையில் ஒரு வாயுவைச் சூடேற்றும்பொழுது அதன் பருமனிலேற்படும் பெருக்கமானது அதன் வெப்பநிலை உயர்வுக்கு நேர் விகிதத்திலும், 0°C வெப்பநிலையில் அதன் பரும னுக்கு நேர் விகிதத்திலும் இருக்கும். எனவே, ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய வாயு 0°, θ°C வெப்ப நிலைகளில் முறையே V_o, $V\theta$ என்ற பருமன்களைக் கொண்டிருக்குமாயின்,

$$V\theta - V_o \propto V_o\theta$$

$\therefore$ $V\theta - V_o = V_o\alpha\theta$. இங்கு α என்பது ஒரு மாறிலி. இது வாயுவின் பருமப் பெருக்க எண் எனப்படுகிறது. இந்தச் சமன் பாட்டிலிருந்து

$$\alpha = \frac{V\theta - V_o}{V_o\,\theta};\ \text{மேலும்}\ V\theta = V_o(1+\alpha\theta)$$

ஒரு வாயுவின் பருமப் பெருக்க எண் (Volume coefficient) என்பது அழுத்தம் மாறு நிலையில் ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையை யுடைய வாயுவின் வெப்பநிலை ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் உயரும் பொழுது அதன் பருமனிலேற்படும் மிகுதிப்பாட்டிற்கும் 0°C வெப்ப நிலையில் அதன் பருமனுக்குமுள்ள தகவாகும்.

இவ்வாறே பருமன் மாறு நிலையில் ஒரு வாயுவைச் சூடேற்றும் பொழுது அதன் அழுத்தத்திலேற்படும் பெருக்கமானது அதன் வெப்பநிலை உயர்வுக்கு நேர் விகிதத்திலும், 0°C வெப்பநிலையில் அதன் அழுத்தத்திற்கு நேர் விகிதத்திலும் இருக்கும். எனவே, ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய வாயு 0°, θ°C வெப்பநிலைகளில் முறையே P_o, $P\theta$ என்ற அழுத்தங்களைக் கொண்டிருக்குமாயின்

$$P\theta - P_o \propto P_o\theta$$

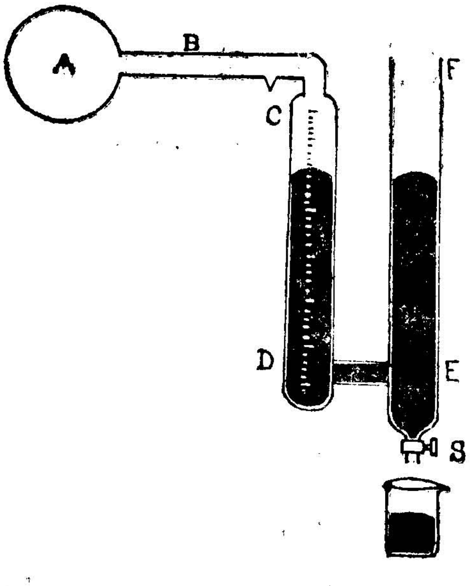
$\therefore$ $P\theta - P_o = P_o\,\beta\theta$. இங்கு β என்பது ஒரு மாறிலி. இது வாயுவின் அழுத்தப் பெருக்க எண் எனப்படுகிறது. மேலே கூறப் பட்ட சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$\beta - \frac{P\theta - P_o}{P_o\,\theta};\ \text{மேலும்}\ P\theta = P_o\,(1 + \beta\theta)$$

ஒரு வாயுவின் அழுத்தப் பெருக்க எண் (Pressure coefficient) என்பது பருமன் மாறு நிலையில் ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையை யுடைய வாயுவின் வெப்பநிலை ஒரு டிகிரி செல்ஷியஸ் உயரும் பொழுது அதன் அழுத்தத்திலேற்படும் மிகுதிப்பாட்டிற்கும் 0°C வெப்பநிலையில் அதன் அழுத்தத்திற்குமுள்ள தகவாகும்.

15. ஒரு வாயுவின் பருமப் பெருக்க எண்ணைக் காணல்

இதற்கு ரெனுல்டின் கருவியைப் பயன்படுத்தலாம். இக் கருவியில் ஏறத்தாழ ஒரு லிட்டர் கொள்ளளவுள்ள A என்ற குமிழ் B என்ற ஒரு நுண்துளைக்குழாயால் CD என்ற செங்குத்துக் குழா யுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. CD குழாயின் அடிப்பாகம் EF என்ற மற்றொரு செங்குத்துக் குழாயுடன் இணைக்கப்பட் டுள்ளது. EF குழாய் மேலே திறந்ததாகவும் அடியில் அடை திறப்பானைக் (stopcock) கொண்டதாகவும் உள்ளது. CD குழாயில் பரும அளவுக் கூறுகள் வரையப்பட்டுள்ளன.



படம் 28.

A குமிழில் ஈர மற்ற வாயுவும், CD, EF குழாய்களில் பாத ரசமும் இருக்கின்றன. A குமிழைத் தொடக் கத்தில் 0°C வெப்ப நிலையில் வைத்து EF குழாயில் பாதரசத் தைப் போதிய அளவு சேர்த்து அல்லது நீக்கி CD, EF ஆகிய இரு குழாய்களிலும் பாதரச மட்டங்கள் ஒரே கிடைத்தளத்தி லிருக்குமாறு சரி செய்யவேண்டும். இப் பொழுது A குமிழி லுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் வெளியி லுள்ள வளி அழுத் தத்திற்குச் சமமாகும். CD குழாயிலுள்ள வாயுவின் பருமனுடன் A குமிழ் B குழாய் இவைகளின் பருமனையும் சேர்த்து 0°C வெப்ப நிலையில் எடுத்துக்கொண்ட வாயுவின் மொத்தப் பருமனைக் (V_0) காணவேண்டும்.

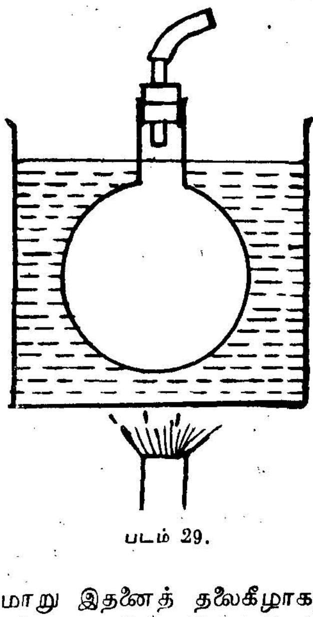
இப்பொழுது தெரிந்த ஒரு வெப்பநிலைக்குக் (θ°C) குமிழைச் சூடேற்றிப் பெருக்கம் முற்றுப்பெற்ற பிறகு EF-லிருந்து போதிய பாதரசத்தை நீக்கி CD, EF ஆகியவைகளில் திரவமட்டங்கள் ஒரே கிடைத்தளத்திலிருக்குமாறு மீண்டும் சரி செய்யப்படுகிறது. சரிசெய்யப்பட்ட பாதரச மட்டங்களின் தொடக்க நிலை, இறுதி நிலைகளிலிருந்து வாயுவின் பருமனிலேற்பட்ட பெருக்கத்தை (v) அறியலாம். வாயுவின் பருமப் பெருக்க எண் α எனில்,

$$\alpha = \frac{v}{V_0 \theta}$$

எனவே αயின் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். இந்த முறையில் வாயு முழுவதும் ஒரே வெப்ப நிலையில் இல்லாதது ஒரு பெருங் குறையாகும். இதற்கும் குமிழின் பெருக்கத்திற்கும் திருத்தங்கள் செய்யப்படுகின்றன.

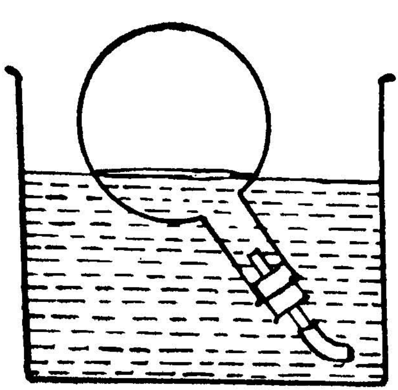
16. காற்றின் பருமப் பெருக்க எண்ணைக் காண்பதற்கான எளிய முறை

சுமார் அரை லிட்டர் கொள்ளளவுள்ள ஈரமற்ற குடுவை ஒன்றிற்கு ஒற்றைத் துவாரமுள்ள இரப்பர் அடைப்பானைப் பொருத்தி துவாரத்தின் வழியாக ஒரு குட்டையான கண்ணாடிக் குழாயைச் செலுத்திக் கண்ணாடிக் குழாயுடன் ஒரு இரப்பர்க் குழாயை இணைக்க வேண்டும். குடுவையின் வாய், இரப்பர்க் குழாய் ஆகியவை சற்று மேலே வெளியில் இருக்குமாறு இந்த அமைப்பு ஒரு நீர்த்தொட்டியில் வைத்து சூடேற்றப்பட வேண்டும். நீர்த்தொட்டியில் நீர் 10, 15 நிமிடங்கள் கொதிக்கும் வரை குடுவை சூடேற்றப்பட்ட பின்பு இரப்பர்க் குழாயை ஒரு இறுக்கியின் (clip) உதவியால் நன்கு மூடி விட்டுக் குடுவையை வெப்ப நீர்த் தொட்டியிலிருந்து வெளியே எடுத்துச் சற்றுக் குளிர விடவேண்டும்.


படம் 29.

குடுவையின் வாய் கீழே இருக்குமாறு இதனைத் தலைகீழாகத் திருப்பி ஒரு குளிர் நீர்த்தொட்டியில் மூழ்கியவாறு பிடிக்க

வேண்டும். இறுக்கியைத் தளர்த்தியதும் சிறிது நீர் குடுவைக்குள் நுழைவது தென்படும். குடுவைக்குள் நீர் நுழைவது நின்றபின் குடுவைக் குள்ளிருக்கும் நீரின் மட்டமும் தொட்டியில் உள்ள நீரின் மட்டமும் ஒரே கிடைமட்டத்தில் இருக்குமாறு குடுவையின் நிலையைச் சரிசெய்து இரப்பர்க் குழாயை மூடிக் குடுவையை வெளியே எடுத்து ஓர் அளவு ஜாடியின் உதவியால் குடுவைக்குள் நுழைந்துள்ள நீரின் பருமன் காணப்பட வேண்டும். இதன் மதிப்பு v என்க.



படம் 30.

குடுவையை முழுவதுமாக நீரால் நிரப்பி அந்த நீரின் பருமனையும் அளவு ஜாடியின் உதவியால் காணவேண்டும். இது V என்க. குளிர் நீர்த் தொட்டியின் வெப்ப நிலையையும் சுடு நீர்த் தொட்டியின் (கொதி நீரின்) வெப்ப நிலையையும் அளந்து இவை முறையே t_1, t_2 எனக் கொள்வோம்.

t_1 வெப்ப நிலையில் குடுவையிலுள்ள காற்றுத் தெவிட்டிய நீராவியுடன் கலந்ததாகவும் t_2 வெப்ப நிலையில் குடுவை முழுவதையும் நிரப்பும் காற்று உலர்ந்ததாகவும் இருக்கிறது. அழுத்தம் மாறு நிலையில் பருமனை அளக்கவேண்டுமெனில், நீராவியுடன் கலந்திருப்பதில் உள்ள வேறுபாட்டிற்கு ஒரு திருத்தம் தேவை. பாரமானியினால் கொடுக்கப்படும் வளி மண்டல அழுத்தம் P எனவும், t_1 வெப்பநிலையில் தெவிட்டிய நீராவியின் அழுத்தம் p எனவும் இருக்குமானால் இந்த வெப்ப நிலையில் குடுவையில் உள்ள உலர்ந்த காற்றின் அழுத்தம், பருமன் ஆகியவை முறையே $(P-p)$, $(V-v)$ எனக் கொள்ளவேண்டும். இந்த உலர்ந்த காற்றுக்கு P அழுத்தத்திலும், t_1 வெப்ப நிலையிலும் ஏற்படும் பருமன் $= \frac{(V-v)\ (P-p)}{P}$. இதனை V_1 என்போம்.

இந்தக் காற்று t_2 வெப்பநிலையில் P அழுத்தத்துடன் குடுவை முழுவதையும் நிரப்புகிறது ; அதாவது V என்ற பருமனைப் பெறுகிறது. கருத்தில் கொள்ளப்பட்ட காற்று $0°C$ வெப்பநிலையில் P அழுத்தத்தில் V_0 பருமனைக் கொண்டுள்ளது எனவும், காற்றின் பருமப் பெருக்க எண் α எனவும் கொள்வோமானால்,

$$V = V_0 (1 + \alpha t_2)$$

$$V_1 = V_0 (1 + \alpha t_1)$$

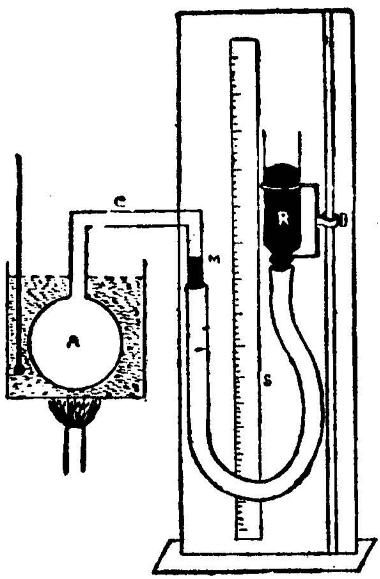
எனவே $$\frac{V}{V_1} = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1}$$

இதிலிருந்து $$\alpha = \frac{V - V_1}{V_1 t_2 - V t_1}$$

V, V_1, t_1, t_2 ஆகிய மதிப்புகளை இதில் பதிலீடு செய்து பருமப் பெருக்க எண்ணின் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுத் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

17. வாயுவின் அழுத்தப் பெருக்க எண்ணைக் காணல்

ஜாலியின் ஆய்கருவியைக் கொண்டு ஒரு வாயுவின் அழுத்தப் பெருக்க எண்ணைக் காணலாம். இக் கருவியில் A என்ற ஒரு கண்ணுடிக் குமிழ் C என்ற சிறு துளைக்குழாயுடன் கூடியதாக இருக்கிறது. இந்தக் குழாய் தலைகீழான ப-வடிவத்தில் வளைக்கப் பெற்றதாகவும் ஒரு செங்குத்தான தாங்கியில் பொருத்தப்பட்டதாகவும் உள்ளது. இந்தக் குழாயின் முனை ஒரு கெட்டியான இரப்பர்க் குழாயால் R என்னும் சேமக் குழாயுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. சேமக் குழாயை மேலும் கீழும் நகர்த்தவோ அல்லது தேவையான இடத்தில் ஒரு திருகால் பிணைத்து நிறுத்தவோ முடியும். தாங்கியில் செங்குத்தாக ஓர் அளவு கோல் உள்ளது. C குழாயின் முனைக்குச் சற்று மேலே M என்ற குறியீடு இருக்கிறது. சேமக் குழாயிலும் இரப்பர்க் குழாயிலும் பாதரசம் உள்ளது. பாதரசத்திற்குமேல் குமிழிலும், C குழாயிலும் சோதனைக்கான வாயு எடுக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 31.

சோதனையின் தொடக்கத்தில் பாரமானியிலிருந்து வளி அழுத்தத்தைக் (H) குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். குமிழை 0°C வெப்ப நிலையில் வைத்து C-ல் உள்ள பாதரசமட்டம் M உடன் இணையுமாறு R-ன் நிலையைச் சரிசெய்ய வேண்டும். R-ல் உள்ள பாதரச மட்டத்திற்கும் M உடன் இணைந்த பாதரச மட்டத்திற்கு மிடையே உள்ள உயர வேறுபாட்டை (h) அளந்துகொள்ள வேண்டும். இப்பொழுது R-ல் உள்ள பாதரச மட்டம் M-க்கு மேலே இருக்குமாயின் குமிழிலுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் $H + h$ எனவும், அது M-க்குக் கீழே இருக்குமாயின் அழுத்தம் $H - h$ எனவும் கணக்கிட்டுக் கொள்ளவேண்டும். இவ்விதம் வாயு 0°C வெப்பநிலையிலிருக்கும்பொழுது அதன் அழுத்தம் P_0 எனக் கொள்வோம். பிறகு வாயு 20°C வெப்பநிலைக்கு உயர்த்தப் படுகிறது. மறுபடியும் Cயில் உள்ள பாதரச மட்டம் M-உடன் இணையுமாறு R என்ற சேமக்குழாயைச் சரிசெய்து வாயுவின் அழுத்தத்தைத் (P_{20}) தெரிந்துகொள்ள வேண்டும். இவ்வாறே வாயுவின் வெப்பநிலையை 40°C, 60°C, 80°C, 100°C-க்கு உயர்த்தி ஒவ்வொரு வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்தைக் காண வேண்டும். P_1, P_2 என்பவை முறையே θ_1°, θ_2°C வெப்பநிலை களிலான அழுத்தங்கள் எனில்,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{P_0(1 + \beta\theta_1)}{P_0(1 + \beta\theta_2)}$$

$$\therefore \quad \beta = \frac{P_2 - P_1}{P_1\theta_2 - P_2\theta_1}$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து β-ன் மதிப்பைக் காணலாம்.

18. பருமப் பெருக்க எண்ணும் அழுத்தப் பெருக்க எண்ணும் சமமாக இருத்தல்

சோதனை மூலம் ஒரு வாயுவின் பருமப் பெருக்க எண்ணும் அழுத்தப் பெருக்க எண்ணும் ஏறத்தாழ ஒரே மதிப்பை உடையன வாக இருப்பது காணப்பட்டது. எல்லா வெப்பநிலைகளிலும் பாயிலின் விதிக்குட்படும் இலட்சிய வாயுவிற்கு (ideal gas) பருமப் பெருக்க எண்ணும் அழுத்தப் பெருக்க எண்ணும் சமம் என்பதை மெய்ப்பிக்கலாம்.

ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய வாயு 0°C வெப்பநிலையில் P_0 என்ற அழுத்தத்தையும், V_0 என்ற பருமனையும் உடையதாக இருக்கட்டும். அழுத்தம் மாறா நிலையில் வெப்பநிலையை θ°C-க்கு உயர்த்தும்பொழுது அதன் பருமன் $V\theta$ என ஆகட்டும். அதன் பருமப் பெருக்க எண் α எனில்,

$$V\theta = V_0 (1 + \alpha\theta)$$

எனவே θ°C வெப்ப நிலையில் வாயுவின் அழுத்தம், பருமன் ஆகிய வற்றின் பெருக்கற்பலன் $= P_0 V_0 (1 + \alpha\theta)$ ... (1)

மாறாக, வாயுவின் பருமனை V_0 என்ற மதிப்பிலேயே வைத்து வெப்பநிலையை θ°C க்கு உயர்த்துவதாகவும் இதனால் விளையும் அழுத்தம் $P\theta$ எனவும், அழுத்தப் பெருக்க எண் β எனவும் கொள்வோமாயின்,

$$P\theta = P_0 (1 + \beta\theta)$$

இப்பொழுது θ°C வெப்பநிலையில் வாயுவின் அழுத்தம், பருமன் ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலன்

$$= P_0 (1 + \beta\theta) V_0 \quad \text{... (2)}$$

(1), (2) சமன்பாடுகளிலிருந்து பாயிலின் விதிப்படி

$$P_0 V_0 (1 + \alpha\theta) = P_0 V_0 (1 + \beta\theta)$$

$$\therefore \; 1 + \alpha\theta = 1 + \beta\theta$$

ஆகையால் $\alpha = \beta$.

19. சார்லஸ் விதி (Charles' Law)

சோதனைகளிலிருந்து எல்லா வாயுக்களின் பருமப் பெருக்க எண்களும் ஒரே மதிப்புடையன என்று சார்லஸ் முதலில் கண்டார். இதன் மதிப்பு $\frac{1}{273}$ என்று ரெனல்ட் நுட்பமான முறையில் காண்பித்தார்.

எனவே, **அழுத்தம் மாறு நிலையில் குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய வாயுவின் வெப்பநிலை ஒரு டிகிரி செல்ஷியஸ் உயரும்பொழுது அதன் பருமனிலேற்படும் மிகுதிப்பாடானது 0°C வெப்ப நிலையில் அதன் பருமன் எந்த அளவைக் கொண்டிருக்குமோ அந்த அளவின் $\frac{1}{273}$ பங்கு ஆகும். இது சார்லஸ் விதி** எனப்படுகிறது.

ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வாயு 0°C வெப்பநிலையில் V_0 என்ற பருமனையும், θ°C என்ற வெப்பநிலையில் $V\theta$ என்ற பருமனையும் கொண்டிருக்குமாயின்,

$$V\theta = V_0 + \frac{V_0}{273}\theta$$

$$= V_0\left(1 + \frac{\theta}{273}\right)$$

வாயுவின் பருமப் பெருக்க எண்ணும் அழுத்தப் பெருக்க எண்ணும் சமமானதால் சார்லஸ் விதியைக் கீழ்க்கண்டவாறும் கூறலாம்.

மாறாப் பருமனைக் கொண்ட ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையையுடைய வாயுவின் வெப்பநிலை ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் உயரும்பொழுது அதன் அழுத்தத்திலேற்படும் மிகுதிப்பாடானது 0°C வெப்பநிலையில் அதற்குள்ள அழுத்தத்தின் $\frac{1}{273}$ பங்கு ஆகும்.

எனவே, ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையைக் கொண்ட வாயு 0°C, θ°C. வெப்பநிலைகளில் முறையே P_0, $P\theta$ என்ற அழுத்தங்களைக் கொண்டிருக்குமாயின்,

$$P\theta = P_0\left(1 + \frac{\theta}{273}\right).$$

20. தனிச் சுழியும் தனி வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையும் (Absolute Zero and Absolute Scale of Temperature.)

சார்லஸ் விதிப்படி அழுத்தம் மாறா நிலையிலுள்ள எல்லா வாயுக்களுக்கும்

$$V\theta = V_0\left(1 + \frac{\theta}{273}\right)$$

எனவே, —273°C வெப்பநிலையில் ஒரு வாயுவின் பருமன்

$$V_{-273} = V_0\left(1 - \frac{273}{273}\right) = 0.$$

இவ்வாறே பருமன் மாறா நிலையிலுள்ள ஒரு வாயுவின் அழுத்தம் —273°C வெப்ப நிலையில்

$$P_{-273} = P_0\left(1 - \frac{273}{273}\right) = 0.$$

* தற்காலத்திய திருத்திய அளவீட்டின்படி இது — 273·15°C-ல் ஏற்படுகிறது.

ஆகையால் அழுத்தம் மாறா நிலையில் ஒரு வாயுவை வாயு நிலையிலேயே $-273°C$ வெப்பநிலைக்குக் கொண்டுசெல்ல முடியு மானால் அதன் பருமன் சுழியாகும். $-273°C$-க்குக் கீழ்க் கொண்டு செல்வதானால் அதன் பருமன் எதிர்க் குறியுடையதாகும். இவ்வாறே பருமன் மாறா நிலையில் ஒரு வாயுவை வாயுநிலையிலேயே $-273°C$. வெப்பநிலைக்குக் கொண்டு செல்ல முடியுமானால் அதன் அழுத்தம் சுழியாகும். $-273°C$-க்குக் கீழ் அதன் அழுத்தம் எதிர்க்குறியுடையதாகும். ஒரு பொருளின் பருமனும் அழுத்தமும் எதிர்க்குறியுடையனவாக இருப்பது கற்பனைக்கு அப்பாற்பட்டது. ஆகையால், வாயு அடையக்கூடிய கீழ் வரம்பு வெப்பநிலை ($-273 \cdot 15°C \approx$) $-273°C$ ஆகும். அந்த வெப்பநிலையை வெப்ப நிலை அளவீட்டின் **தனிச்சுழி** (அல்லது மெய்ச்சுழி — absolute zero) என்று குறிப்பிடுகிறோம்.

இந்த தனிச் சுழியைத் தொடக்கமாகக் கொண்டு ஒரு வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை உள்ளது. அது **தனி வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை** (absolute scale of temperature) எனப்படுகிறது. இம் முறையில் ஒரு டிகிரியின் அளவு செல்ஸியஸ் அளவீட்டு முறையிலுள்ள ஒரு டிகிரியின் அளவுக்குச் சமம். இம்முறையில் வெப்ப நிலைகளை $T°A$ அல்லது $T°K$ என்று வழக்கில் குறிப்பிடு கிறோம். செல்ஸியஸ் முறை அளவீட்டிற்கும், தனி வெப்பநிலை முறை அளவீட்டிற்குமிடையே உள்ள தொடர்பு பின்வருமாறு :

$-273°C = 0°\,A$	$-273{\cdot}15°C = 0°K$
$0°C = 273°\,A = T_0°A$	$0°C = 273{\cdot}15°K$
$100°C = 373°\,A$	$100°C = 373{\cdot}15°K$
$\theta°C = (273 + \theta)°A = T°A$	$\theta°C = (273{\cdot}15 + \theta)°K$

இப்பொழுது சார்லஸ் விதிப்படி மாறா அழுத்த நிலையிலுள்ள வாயுவின் பருமன்

$$V = V_0\left(1 + \frac{\theta}{273}\right)$$

$$= V_0\left(\frac{273 + \theta}{273}\right)$$

$$= V_0\,\frac{T}{T_0}$$

$$\therefore\ V \propto T.$$

ஆகையால் சார்லஸ் விதியைக் கீழ்க்கண்டவாறும்கூறலாம்.

மாரு அழுத்த நிலையிலுள்ள ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையைக் கொண்ட வாயுவின் பருமன் அதன் தனி வெப்ப நிலைக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது.

மேலும், மாருப் பருமனைக் கொண்ட ஒரு வாயுவின் அழுத்தம்

$$P = P_0 \left(1 + \frac{\theta}{273}\right)$$

$$= P_0 \left(\frac{273 + \theta}{273}\right)$$

$$= P_0 \frac{T}{T_0}$$

$$\therefore \quad P \propto T.$$

எனவே சார்லஸ் விதியைக் கீழ்க்கண்டவாறும் கூறலாம் :

மாருப் பருமனையுடைய ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையைக்கொண்ட வாயுவின் அழுத்தம் அதன் தனி வெப்பநிலைக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது.

21. இலட்சிய வாயுச் சமன்பாடு (Perfect Gas Equation)

ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையை உடைய வாயுவின் தொடக்க வெப்பநிலை, பருமன், அழுத்தம் ஆகியவை முறையே T_1, V_1, P_1 எனக் கொள்வோம்.

மாரு வெப்பநிலையில் அழுத்தம் P_2 ஆக மாற்றப்படுவதாகவும், அதனால் பருமன் v என்ற மதிப்பை அடைவதாகவும் கொள்வோம். பாயிலின் விதிப்படி,

$$P_2 v = P_1 V_1$$

$$\therefore \quad v = \frac{P_1 V_1}{P_2} \qquad \ldots (1)$$

இனி அழுத்தம் மாருமல் (P_2 என்ற மதிப்பை உடையதாக) இருக்கும்பொழுது அதன் வெப்பநிலை T_1-லிருந்து T_2-க்கு உயருவதாகக் கொள்வோம். இதனால் அதன் பருமன் v-லிருந்து V_2 ஆக மாறும்.

சார்லஸ் விதிப்படி $\frac{v}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

$$\therefore \quad v = \frac{V_2}{T_2} T_1 \qquad \ldots (2)$$

(1), (2) சமன்பாடுகளிலிருந்து,

$$\frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{V_2 T_1}{T_2}$$

$$\therefore \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\therefore \frac{PV}{T} = R.$$

இங்கு R என்பது ஒரு மாறிலி. இது **வாயு மாறிலி** என்று அழைக்கப்படுகிறது. R-ன் மதிப்பு வாயுவின் நிறையையும் அதன் தன்மையையும் பொறுத்தது. ஒரு கி. கிராம் வாயுவிற்கு R-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டால் அது ஒவ்வொரு வாயுவிற்கும் வெவ்வேறு மதிப்பைப் பெறும். அந்த மதிப்புகளை **வாயுக்களின் சிறப்பு மாறிலிகள்** (Characteristic gas constants) என்று கூறலாம். இவை ஜூல்/டிகிரி/கி. கிராம் என்ற அலகால் குறிக்கப்படுகின்றன. ஒரு கிராம் மூலக் கூறு நிறையுள்ள எந்த வாயுவும் படித்தர வெப்ப நிலையிலும் அழுத்தத்திலும் (Normal temperature and pressure) ஒரே பருமனைக் (22.4 லிட்டர்) கொண்டிருக்கும். எனவே, ஒரு கிராம் மூலக்கூறு நிறையுள்ள வாயுவிற்கு R-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டால் அது ஒரே மதிப்பை உடையதாக இருக்கும். அம் மதிப்பு **பொது வாயு மாறிலி** (Universal gas constant) எனப் பெறும். இதன் மதிப்பு 8.313 ஜூல்/டிகிரி/கிராம் மூலக்கூறு ஆகும்.

மாதிரி 4 :

படித்தர வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் ஒரு லிட்டர் ஹைட்ரஜனின் நிறை 0·896 கிராம் எனில், ஹைட்ரஜனின் வாயு மாறிலியைக் காண்க.

$$R = \frac{PV}{T}$$

இப்பொழுது .0896 கிராம் ஹைட்ரஜனின் பருமன் $= 10^{-3}$ க.மீ.

.0896 கி. கிராம் ——,,——,,——,,— = 1 க.மீ.

$\therefore$ 1 கி. கிராம் ஹைட்ரஜனின் பருமன் $= \frac{1}{\cdot 0896}$ க.மீ.

$P = \cdot 76 \times 13\cdot 6 \times 10^3 \times 9\cdot 81$ நியூட்டன்/ச.மீ.

$T = 273°A$

$$\therefore R = \frac{PV}{T} = \frac{\cdot 76 \times 13\cdot 6 \times 10^3 \times 9\cdot 81}{273} \times \frac{1}{\cdot 0896}$$

ஜூல்/டிகிரி/கி. கிராம்.

$= 4.17 \times 10^3$ ஜூல்/டிகிரி/கி. கிராம்.

வினுக்கள்

1. ஒரு பொருளின் 'நீட்சிப் பெருக்க எண்' என்பது என்ன? அதனைக் காண்பதற்கான நுட்பமான சோதனை ஒன்றினை விவரிக்கவும்.

2. ஒளிக்குறுக்கீட்டு விளைவைப் பயன்படுத்தி ஒரு பொருளின் நீட்சிப் பெருக்க எண்ணைக் காண்பதற்கான சோதனையை விளக்குக.

3. ஒளியியல் நெம்புகோல் முறையில் ஒரு பொருளின் நீட்சிப் பெருக்கத்தைக் காண்பதெப்படி என்று விளக்கிக் கூறுக.

4. தனிப்பெருக்க எண், தோற்றப் பெருக்க எண் என்பவற்றை வரையறுத்து இவற்றிற்கிடையே உள்ள தொடர்பை நிறுவுக.

5. ரெஞல்ட் முறையில் பாதரசத்தின் தனிப் பெருக்க எண்ணைக் காண்பதற்கான சோதனையை விளக்குக.

6. இலட்சிய வாயுக்கான சமன்பாட்டினை பாயில் சார்லஸ் விதிகளிலிருந்து பெறுக.

7. N. T. P. நிலையில் ஒரு லிட்டர் காற்றின் நிறை ·001293 கி. கிராம் எனில், ஒரு கி.கிராம் நிறையுள்ள காற்றுக்கு வாயுமாறிலி யின் மதிப்பைக் கணக்கிடுக. (287 ஜூல்/டிகிரி/கி. கிராம்)

8. ஒரு குவார்ட்ஸ் கட்டி காற்றில் ·0135 கி. கிராம் நிறையை யும் 0°C வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு திரவத்தில் ·00895 கி. கிராம் நிறையையும் 100°C வெப்பநிலையிலுள்ள அதே திரவத்தில் ·00929 கி. கிராம் நிறையையும் பெற்றிருக்கிறது. குவார்ட்ஸ் கட்டியின் பருமப் பெருக்கம் புறக்கணிக்கத்தக்கது எனில் திரவத்தின் பருமப் பெருக்க எண்ணைக் காண்க. (விடை: ·00096)

9. ஒரு திரவத்தின் தனி வெப்பப் பெருக்க எண்ணை மெத் தீசன் முறையில் எவ்வாறு காணலாம் என்று விவரமாய் விளக்கு.

3. வெப்ப அளவியல்

(Calorimetry)

1. வெப்ப அலகுகள்

வெப்பத்தை அளப்பதற்கு மெட்ரிக் முறையில் கேலரி (Calorie), கிலோ கேலரி என்ற அலகுகளும் பிரிட்டன் முறையில் பிரிட்டிஷ் வெப்ப அலகு (British thermal unit) என்ற அலகும் வழக்கில் உள்ளன.

ஒரு கிராம் நீரின் வெப்ப நிலையை ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் அளவு உயர்த்துவதற்குத் தேவையான வெப்பம் கேலரி எனப் படும்.

இதன் மதிப்பு எந்த வெப்பநிலையில் அளக்கப்படுகிறது என்பதைப் பொறுத்துச் சிறிது மாறுபடும். ஆகையால் பொதுவாக ஒரு கிராம் நிறையுள்ள நீரை 14·5°C-லிருந்து 15·5°C-க்கு உயர்த்துவதற்குத் தேவையான வெப்பம் ஒரு கேலரி என்று ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது.

ஒரு கிலோ கிராம் நீரின் வெப்பநிலையை ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் அளவு உயர்த்துவதற்குத் தேவையான வெப்பம் கிலோ கேலரி எனப்படும்.

ஒரு பவுண்டு நீரின் வெப்பநிலையை ஒரு டிகிரி ஃபாரன்ஹைட் அளவு உயர்த்துவதற்குத் தேவையான வெப்பம் பிரிட்டன் வெப்ப அலகு எனப்படும்.

ஒரு பொருளைச் சூடேற்றும்பொழுது அதனுல் எடுத்துக் கொள்ளப்படும் வெப்பம் (i) பொருளின் தன்மையைப் பொறுத் திருக்கிறது; (ii) நிறையைப் பொறுத்திருக்கிறது; (iii) வெப்ப நிலை உயர்வைப் பொறுத்திருக்கிறது.

மேற்கூறிய காரணங்களாலேற்படும் வேறுபாடுகளைக் குறிப் பிடக் கீழ்க்கண்ட சொற் கூறுகளைப் (terms) பயன்படுத்துகிறோம்.

(i) வெப்ப எண் (Specific heat): **ஒரு கிலோ கிராம் நிறை யுள்ள பொருளின் வெப்ப நிலையை ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் அளவு உயர்த்துவதற்குத் தேவைப்படும் வெப்பம் அந்தப் பொருளின் வெப்ப எண் எனப்படுகிறது.**

(ii) வெப்ப ஏற்புத்திறன் (Thermal capacity) : **ஒரு பொருளின் வெப்பநிலையை ஒரு டிகிரி செல்சியஸ் உயர்த்துவதற்குத் தேவையான வெப்பம் அந்தப் பொருளின் வெப்ப ஏற்புத்திறன் எனப்படும்.**

ஒரு பொருளின் நிறை m கிலோ கிராம் எனவும், வெப்ப எண் s எனவும் இருக்குமாயின் அதன் வெப்ப ஏற்புத்திறன் $= ms$ கிலோ கேலரிகளாகும்.

(iii) வெப்பச் சமநீர் (Water Equivalent) : **ஒரு பொருளின் வெப்பச் சமநீர் என்பது அதன் வெப்ப ஏற்புத் திறனுக்குச் சமமான வெப்ப ஏற்புத் திறனைக்கொண்ட நீரின் நிறையாகும்.**

m கிலோ கிராம் நிறையுள்ளதும், s என்ற வெப்ப எண்ணைக் கொண்டதுமான ஒரு பொருளின் வெப்பச் சமநீர் x கிலோ கிராம் எனில்

$$x \times 1 = ms \text{ ஆகும்}$$

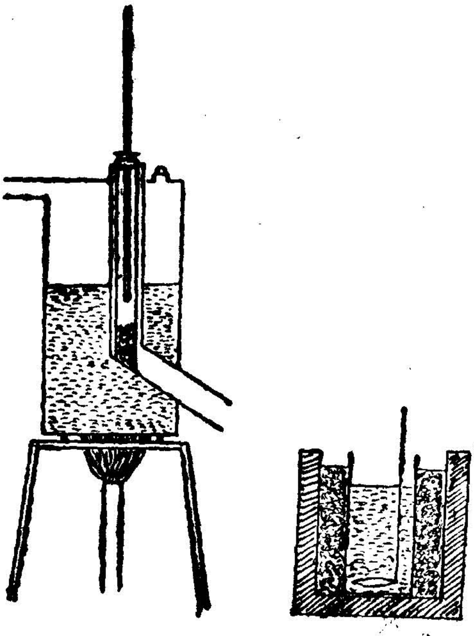
$$\text{அதாவது } x = ms \text{ கிலோகிராம்.}$$

2. திடப்பொருளின் வெப்ப எண்ணைக் காணல்

(i) **கலவை முறை** (Method of mixtures): இம் முறையில் உயர் வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு பொருள் குறைந்த வெப்பநிலையிலுள்ள பொருள் அல்லது பொருட்களுடன் சேர்க்கப்படுகிறது. இப் பொருட்கள் சுற்றுப்புறத்திலிருந்து வெப்பத்தை ஏற்கவோ அல்லது சுற்றுப்புறத்திற்கு வெப்பத்தை இழக்கவோ இல்லையெனில் மொத்த வெப்ப ஏற்பு = மொத்த வெப்ப இழப்பு.

இம் முறையில் பொருளைச் சூடேற்ற ஒரு சூடேற்றியும் பொருட்களைக் கலப்பதற்குக் கேலரி மீட்டர் என்ற ஒரு கருவியும் தேவைப்படுகின்றன. கொடுக்கப்பட்ட திடப்பொருளைப் படத்தில் காட்டிய வாறுன அமைப்புக் கொண்ட ஒரு சூடேற்றியில் வைத்து ஒரு நிலையான வெப்பநிலைக்குச் சூடேற்ற வேண்டும். இச் சமயத்தில் கேலரி மீட்டரின் (கலக்கியுடன் கூடிய உலோகக் கலத்தின்) நிறையக் (w_1) காணவேண்டும். பிறகு கேலரி மீட்டரில் சிறிது நீர் எடுத்து மீண்டும் அதன் நிறையைக் காணவேண்டும். எனவே, எடுத்துக்கொள்ளப்பட்ட நீரின் நிறையைத் (w) தெரிந்து கொள்ளலாம். கேலரி மீட்டர் எந்த உலோகத்தால் செய்யப்பட்டுள்ளது என்று தெரிந்து அதன் வெப்ப எண்ணைக் (s_1) குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். கேலரி மீட்டரின் தொடக்க வெப்பநிலையையும் (θ_1) திடப்பொருளின் நிலையான உயர்ந்த வெப்பநிலையையும் (θ_2) குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். திடப்பொருளைக் கேலரி

மீட்டருக்கு விரைவாக மாற்றி நன்றாகக் கலக்கிக் கலவை பெறும் பொது வெப்ப நிலையைக் (θ_3) குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். இறுதியில் திடப்பொருள், நீர் ஆகியவற்றுடன் கூடிய கேலரி



படம் 32.

மீட்டரின் நிறையைத் தெரிந்து திடப்பொருளின் நிறையைக் (M கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். கொடுக்கப்பட்ட திடப்பொருளின் வெப்ப எண் S எனில்,

திடப்பொருளின் வெப்ப இழப்பு $= MS(\theta_2 - \theta_3)$.

கேலரி மீட்டர், நீர் இவைகளின் மொத்த வெப்ப ஏற்பு $\Big\} = (w_1 s_1 + w)(\theta_3 - \theta_1)$

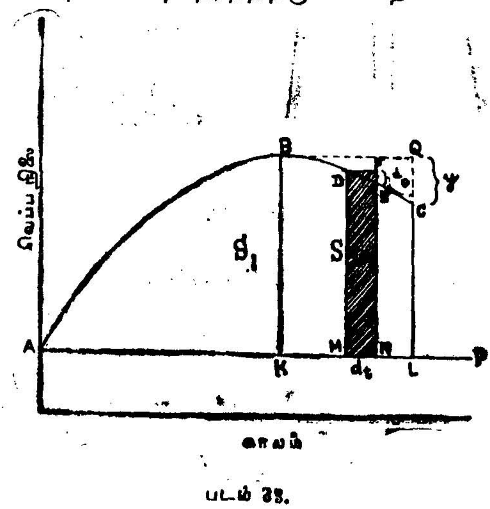
இங்கு மொத்த வெப்ப இழப்பு = மொத்த வெப்ப ஏற்பு

$$\therefore \quad MS(\theta_2 - \theta_3) = (w_1 s_1 + w)(\theta_3 - \theta_1)$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து S-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

சோதனையின்போது கேலரி மீட்டரிலிருந்து சுற்றுப்புறத்திற்கு வெப்பம் பரவுதல் காரணமாகப் பிழை உண்டாகும். அதைக் கூடியவரை தடுப்பதற்குக் கேலரி மீட்டரின் பரப்பைப் பளபளப் புள்ளதாகச் செய்யவேண்டும். மேலும் கேலரி மீட்டரை மூடியுடன் கூடிய ஒரு மரப்பெட்டிக்குள் வைத்து, இவைகளுக்கிடையே உள்ள இடைவெளியைத் தக்கை, பஞ்சு ஆகிய அரிதிற் கடத்திகளால் நிரப்ப வேண்டும். இதன் பின்னரும் சிறிது வெப்பம் கதிர் வீச்சு மூலம் சுற்றுப் புறத்திற்குப் பரவுகிறது. இதற்கு ஒரு திருத்தம் தேவை.

(i) a. **கதிர் வீச்சினால் ஏற்படும் பிழைக்கான திருத்தம்—பார்ட்டன் முறை** (Radiation correction by Barton's Method): சூடான திடப்பொருளைக் கேலரி மீட்டரில் போட்ட அக்கணமே ஒரு நிறுத்து கடிகாரத்தை இயக்கிக் கலவையைக் கலக்கிக்கொண்டு அரை நிமிடத்திற்கு ஒரு முறை வெப்பநிலையைக் குறித்து வரவேண்டும். கேலரி மீட்டரின் வெப்பநிலை பெரும மதிப்பை அடைந்து ஏறத்தாழ ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு குறையும்வரை இவ்விதம் செய்ய வேண்டும். அல்லது கலவை பெரும வெப்ப நிலையை அடைய எவ்வளவு நேரம் எடுத்துக் கொண்டதோ ஏறத்தாழ மேலும் அதே அளவு நேரத்திற்கு வெப்பநிலைகளைக் குறித்துக்



படம் 33.

கொள்ளவேண்டும். காலத்தை X அச்சிலும், வெப்ப நிலையை Y அச்சிலும் குறித்து ஒரு வரைபடம் (ABC) வரையவேண்டும். A, B, C ஆகியவை முறையே தொடக்க வெப்நிலை, பெரும வெப்ப நிலை, இறுதி வெப்பநிலை ஆகியவற்றைக் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். அறையின் வெப்பநிலையைக் குறிக்கும் புள்ளி வழியே X அச்சுக்கு

இணையாக ஒரு கோடு வரைய வேண்டும். பொதுவாக A புள்ளி அறையின் வெப்பநிலையையும் குறிக்குமாதலால், AP என்பது மேற்கூறியபடி வரையப்பட்ட கோடு எனக் கொள்வோம். BK, CL ஆகியவை AP-க்கு வரையப்பட்ட குத்துக்கோடுகள். B வழியே X அச்சுக்கு இணையாக வரையப்பட்ட கோடு LC என்ற கோட்டின் நீட்டிவிட்ட பகுதியை Q என்ற புள்ளியில் சந்திக்கட்டும். KLஆல் குறிக்கப்படும் காலத்தில் ஏற்பட்ட வெப்பநிலை வீழ்ச்சியை QC குறிக்கிறது. இதன் மதிப்பை y எனக் கொள்வோம். இந்த வெப்பநிலை வீழ்ச்சியானது KBCL என்ற பரப்பளவிற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது என்று கீழ்க்கண்டவாறு நிறுவலாம்.

D, E என்பவை BC என்ற பகுதியில் அருகருகே உள்ள புள்ளிகள் எனக் கொள்வோம். இப் புள்ளிகள் குறிக்கும் வெப்ப நிலைகளுக் கிடையே உள்ள வேறுபாட்டை $d\theta$ எனவும், அவைகள் குறிக்கும் காலங்களுக்கிடையே உள்ள வேறுபாட்டை dt எனவும் கொள்வோம். படத்தில் DM, EN என்பவை PQ-க்கு வரையப் பட்ட குத்துக்கோடுகள். DF என்பது EN கோட்டின் நீட்டிவிட்ட பகுதிக்கு வரையப்பட்ட நேர் குத்துக்கோடு. எனவே, FE, MN ஆகியவை முறையே $d\theta$, dt ஆகியவற்றைக் குறிக்கின்றன.

இப்பொழுது நியூட்டனின் குளிர்வு விதிப்படி (law of cooling) ஒரு பொருள் வெப்பத்தை இழக்கும் வீதமானது அப் பொருளின் வெப்பநிலைக்கும், சுற்றுப்புற வெப்பநிலைக்குமிடையே உள்ள வேறு பாட்டுக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். ஆனல், வெப்ப இழப்பு வீதமானது வெப்பநிலை வீழ்ச்சி வீதத்திற்கு நேர்விகிதத்தி லிருக்கும். படத்தில் DM, EN ஆகியவை முறையே DE பகுதியின் தொடக்கத்திலும் இறுதியிலும் கேலரி மீட்டரின் வெப்பநிலைகள் சுற்றுப்புற வெப்பநிலையிலிருந்து எவ்வளவு அதிகமாக உள்ளன என்பதைக் குறிக்கின்றன. ஆகையால் $\frac{DM + EN}{2}$ என்பது அவற்றின் சராசரி மதிப்பைக் **கொடுக்கிறது.**

எனவே, $\frac{d\theta}{dt} \propto \frac{DM + EN}{2}$

$$\therefore \; d\theta \propto \left(\frac{DM + EN}{2}\right) dt$$

$$\propto \left(\frac{DM + EN}{2}\right) MN$$

$$\propto MDEN.$$

எனவே, MDEN-ன் பரப்பளவு MN கால இடைவெளியில் ஏற்பட்ட வெப்பநிலை வீழ்ச்சியைக் குறிக்கிறது. இவ்விதம் ஒவ்வொரு சிறு கால இடைவெளியிலேற்பட்ட வெப்பநிலை வீழ்ச்சிகளை ஒன்றுசேர்த்துக் காணும்பொழுது KL குறிக்கும் கால இடைவெளியிலேற்பட்ட வெப்பநிலை வீழ்ச்சியை KBCL-ன் பரப்பளவு குறிக்குமென்பது தெளிவாகும். இவ்வாறே AK குறிக்கும் கால இடைவெளியிலேற்பட்ட வெப்பநிலை வீழ்ச்சியை ABK-ன் பரப்பளவு குறிக்கும். இந்த வெப்பநிலை வீழ்ச்சியின் மதிப்பு x என்றும், ABK, KBCL ஆகியவற்றின் பரப்பளவுகள் முறையே S_1, S_2 என்றும் கொள்வோமாயின்,

$$\frac{x}{y} = \frac{S_1}{S_2}$$

$$\text{எனவே, } x = \frac{S_1}{S_2}\, y.$$

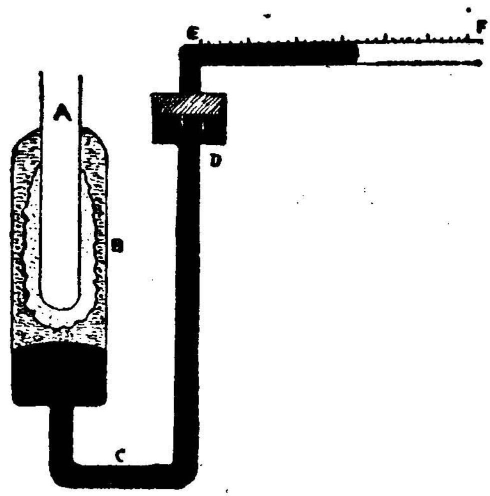
இந்த x நமக்குத் தேவைப்படும் திருத்தத்தைக் கொடுக்கிறது. இதை நமக்குக் கிடைத்த பெரும வெப்பநிலையுடன் சேர்த்துக் கொள்ள வேண்டும்.

(i) b **கதிர் வீச்சினுல் ஏற்படும் பிழைக்கான தோராயத் திருத்தம்** (Approximate radiation correction): சூடான திடப் பொருள் கேலரி மீட்டருக்குள் மாற்றப்பட்டவுடனே ஒரு நிறுத்து கடிகாரத்தை இயக்கிக் கலவையைக் கலக்கிக்கொண்டு பெரும வெப்பநிலை அடைவதற்கான காலத்தைக் கணக்கிட வேண்டும். தொடர்ந்து அதே அளவு காலத்திலேற்படும் வெப்பநிலை வீழ்ச்சியைக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். இந்த வீழ்ச்சியின் மதிப்பு y எனில் $\frac{y}{2}$ என்பது தோராயத் திருத்தமாகும். இதைப் பெரும வெப்ப நிலையுடன் கூட்டிக்கொள்ள வேண்டும்.

(ii) **புன்ஸன் பனிக்கட்டிக் கேலரி மீட்டர் முறை** (Bunsen's Ice Calorimeter Method): இம் முறை கீழ்க்கண்ட தத்துவங்களை அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளது. (a) ஒரு கிராம் நிறையுள்ள பனிக்கட்டியை அதன் உருகுநிலையில் நீராக மாற்றுவதற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு வெப்பம் (உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம்) தேவை. (b) ஒரு கிராம் நிறையுள்ள பனிக்கட்டி உருகும்பொழுது ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு பருமக் குறைவு ஏற்படும்.

இக் கேலரி மீட்டரில் ஒரு மெல்லிய கண்ணாடிக் குழாய் (A) சற்று அகலமான குழாய்க்குள் (B) இருக்குமாறு இணைக்கப்பட்டுள்ளது. B-ன் அடிப்பாகம் இருமுறை செங்கோணத்தில்

வளைக்கப்பட்ட C என்ற குழாயுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. C-ன் முனையில் D என்ற ஒரு கிண்ணம் உள்ளது. இக் கிண்ணத்தை ஓர் இரப்பர் அடைப்பானுல் மூடி அடைப்பானிலுள்ள ஒரு துவாரத்தில் EF என்ற ஒரு நுண்துளைக் குழாய் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இந்தக் குழாய் கிண்ணத்திற்குச் சற்று மேல் ஒரு முறை செங்கோணத்தில் வளைக்கப்பட்டு அதன் பெரும் பாகம் கிடைத்தளத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. கிடைத்தளத்திலுள்ள பகுதியில் அளவுக் கூறுகள் குறிக்கப்பட்டுள்ளன.



படம் 34.

A-க்கும் B-க்குமிடையே உள்ள பகுதி தூய்மையானதும் காற்றுக் குமிழிகள் அற்றதுமான நீரால் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. B-ன் கீழுள்ள பகுதி, C குழாய், D கிண்ணம், E F-ன் ஒரு பகுதி ஆகியவை பாதரசத்தால் நிரப்பப்பட்டுள்ளன.

A குழாயில் சிறிது ஈதர் அல்லது குளிர்ந்த ஆல்கஹாலை விட்டு அதற்குள் காற்றை ஊதி ஆவியாக்குதலின் மூலம் A-ஐச் சுற்றி B-ல் உள்ள நீரின் ஒரு பகுதியைப் பனிக்கட்டியாக மாற்ற வேண்டும். A-ல் எஞ்சியுள்ள ஈதர் அல்லது ஆல்கஹாலை நீக்கி விட்டு அதன் அடியில் பாதுகாப்பிற்காகச் சிறிது கண்ணுடிப் பஞ்சை வைக்கவேண்டும். ABC ஆகிய குழாய்ப் பகுதிகளை 0°C வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு உறைக்குள் வைத்து அதன் வெப்ப நிலை 0°C ஆகும்படி செய்ய வேண்டும்,

EF நுண்துளைக் குழாயில் பாதரச மட்டத்தைக் குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். இப்பொழுது தெரிந்த வெப்பநிலை (θ), தெரிந்த நிறை (w) ஆகியவற்றைக் கொண்ட நீரை A-யினுள் விடவேண்டும். இதன் வெப்பநிலை θ°C-யிலிருந்து 0°C-க்குத் தாழ்வடையும். இதனால் $w\theta$ கேலரிகள் வெப்பம் பனிக்கட்டிக்குக் கொடுக்கப்படுகிறது. இதன் காரணமாகப் பனிக்கட்டியின் ஒரு பகுதி உருகி EF குழாயிலுள்ள பாதரச மட்டத்தைப் பின்னடையச் செய்யும். இந்தச் சோதனையின்போது பாதரச மட்டம் EF குழாயில் n பிரிவுகள் (divisions) பின்னடைந்ததாகக் கொள்வோமாயின் பாதரச மட்டத்தை ஒரு பிரிவு அளவுக்குப் பின்னடையச் செய்வதற்குத் தேவைப்படும் வெப்பம் $= \frac{w\theta}{n}$ கேலரிகளாகும்.

அடுத்து எந்தத் திடப்பொருளின் வெப்ப எண் தேவையோ அதன் நிறையைத் (m) தெரிந்துகொண்டு அதைத் தெரிந்த ஒரு வெப்ப நிலைக்குச் (θ_1) சூடேற்றி A குழாயினுள் போடவேண்டும். இதன் பயனாய் நுண்துளைக் குழாயில் பாதரச மட்டம் எவ்வளவு பிரிவுகள் பின்னடைகிறது என்று குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். அது n_1 பிரிவுகள் எனக் கொள்வோம். திடப்பொருளின் வெப்ப எண் S எனில்,

$$m\,S\,\theta_1 = n_1\left(\frac{w\theta}{n}\right)$$

$$\therefore\ S = n_1\left(\frac{w\theta}{n}\right)\frac{1}{m\,\theta_1}$$

இம் முறை சிறு அளவில் கிடைக்கக்கூடிய பொருட்களின் வெப்ப எண்ணைக் காண்பதற்கு மிகவும் ஏற்றதாகும். இம் முறையில் கருவியிலிருந்து சுற்றுப்புறத்துக்கு வெப்பம் பரவுவது தடுக்கப்படுகிறது. ஆனால், இம் முறைக்கான கருவியைத் தயாரிப்பதில் மிகுந்த இடர்ப்பாடுகளும் காலதாமதமும் ஏற்படுகின்றன. மேலும் உறைந்திருக்கும் பனிக்கட்டிப் பகுதிகள் வெவ்வேறு அடர்த்திகளை உடையனவாக இருப்பதன் மூலம் சிறு பிழையை உண்டாக்கக் கூடும்.

(iii) **ஜாலி நீராவிக் கேலரி மீட்டர்** (Joly's Steam Calorimeter) : உலோகத்தாலானதும் கம்பளியால் மூடப்பெற்றதுமான ஒரு நீராவி உறை (C) ஒரு நுட்பமான தராசின் அடியில் வைக்கப் பட்டுள்ளது. தராசின் ஒரு தட்டு (P) உறைக்குள் இருக்குமாறு உறையின் உச்சியிலுள்ள துவாரத்தின் (O) வழியே செல்லும் ஒரு நீண்ட கம்பியால் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. உறைக்குள் நீராவி

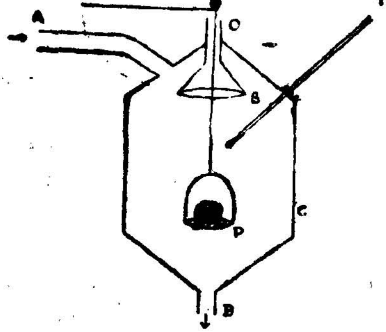
செல்வத்திற்கு A என்ற அகன்ற குழாயும் உறையிலிருந்து நீராவி வெளியேறுவதற்கு B என்ற குறுகிய வழியும் உள்ளன. உச்சியி லுள்ள துவாரத்திற்குச் சற்று மேல் தட்டைத் தாங்குகின்ற கம்பி யைச் சுற்றியவாறு மின்னேட்டத்தைக் கொண்டுள்ள F என்ற பிளாட்டினச் சுருள் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. நீராவி குளிர்வதால் ஏற்படும் நீர்த்திவலைகள் துவாரத்தில் படிவதை இந்த பிளாட் டினச் சுருள் தடுக்கும். எனவே, கம்பி தடையின்றி நகர முடிகிறது. தட்டுக்கு மேல் ஒரு நீர் தடுப்பான் (SH) (Shield) பொருத்தப்பட்டுள்ளது. உறையின் வெப்ப நிலையைக் காட்ட ஒரு வெப்ப நிலைமானி பொருத்தப்பட்டுள்ளது.

எப்பொருளுக்கு வெப்ப எண் தேவையோ அதை உறைக்குள் இருக்கும் தட்டில் வைத்து அதன் நிறையைத் (M) தெரிந்து கொள்ளவேண்டும். உறையின் தொடக்க வெப்பநிலையை (θ_1) குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். உறைக்குள் நீராவி விரைவாகச் செலுத்தப்பட்டதும் திடப்பொருளும் அதைத் தாங்கும் தட்டும் θ_1°C வெப்பநிலையிலிருந்து நீராவியின் வெப்ப நிலைக்கு (θ_2°C-க்கு) உயர்த்தப்படும். இதன் காரணமாகச் சிறிது நீராவி நீராக மாறி அவற்றின்மேல் படியும். இவ்வாறு படிந்த நீராவியின் நிறையைக் (w) காணவேண்டும்.

தட்டின் நிறை m_1 எனவும், அதன் வெப்ப எண் s_1 எனவும் கொள்வோம். திடப்பொருளின் வெப்ப எண் S என்றும், நீராவி யின் உள்ளுறை வெப்பம் L என்றும் இருக்குமாயின்,

$$w\,L = (m_1 s_1 + MS)(\theta_2 - \theta_1)$$

திடப்பொருள் இல்லாமல் சோதனையைத் திருப்பிச் செய்து $m_1 s_1$-ன் மதிப்பைத் தெரிந்துகொள்ளலாம். ஆகை யால் S-ன் மதிப்பைக் கணக் கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

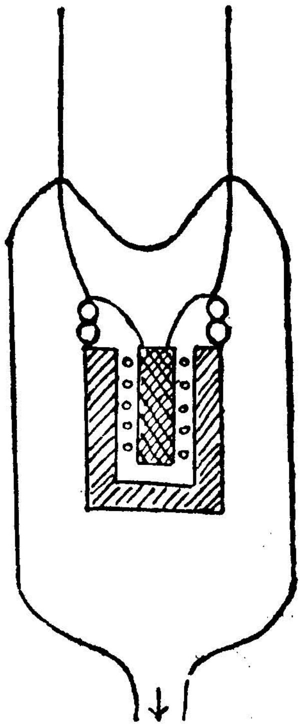


படம் 35.

தொடக்கத்தில் நிறை காணும்பொழுது பொருள் காற்றிலும், இறுதியில் நிறை காணும்பொழுது அது நீராவி யிலும் இருப்பதால் மிதவைத் திறனின் காரணமாகச் சிறிது பிழை ஏற்படும். இதற்கான திருத்தத்தைச் செய்துகொள்ள வேண்டும். இம் முறையில் பொருளின் இறுதி வெப்பநிலையும் அதைச் சூழ்ந்துள்ள நீராவியின்

வெப்பநிலையும் ஒன்றாகிவிடுவதால் குளிர்வுக்கான திருத்தம் தேவையில்லை.

(iv) **நெர்ன்ஸ் வெற்றிடக் கேலரி மீட்டர்:** இம் முறையில் உலோகங்கள் போன்ற நற்கடத்திகளின் வெப்ப எண்ணைக் காண்பதற்கு அந்த உலோகத்தாலான ஒரு கட்டைக் கேலரி மீட்டர் (block calorimeter) பயன்படுத்தப்படுகிறது.



படம் 36.

இதில் உருளை வடிவத் துவாரத்தைக் கொண்ட ஒரு நீள் உருளையும் அதற்குள் பொருந்தியவாறு ஒரு முளையும் (Plug) உள்ளன. முளைக்கும் உருளைக்குமிடையே காப்பிடப்பட்ட பிளாட்டினக் கம்பிச் சுருள் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இவ்வித அமைப்பைக் கொண்ட கேலரி மீட்டர் பிளாட்டினச் சுருளுக்குச் செல்லும் இணைப்புக் கம்பிகளால் ஒரு கண்ணாடி அறைக்குள் தொங்கவிடப்பட்டு வெப்பக்கடத்தல், வெப்பச் சலனம் ஆகிய முறைகளில் வெப்பம் பரவுதலைத் தடுக்கக் கண்ணாடி அறையிலிருந்து காற்று நீக்கப்படுகிறது. மின்கல அடுக்கு (battery), மின் தடைமாற்றி, அம்மீட்டர் இவற்றுடன் பிளாட்டினச் சுருளைத் தொடரிணைப்பு முறையில் சேர்க்கவேண்டும். சுருளுக்கு இணையாக ஒரு வோல்ட் மீட்டரைச் சேர்த்துக்கொள்ள வேண்டும். சுருளில் t விநாடிகள் மின்சாரத்தைச் செலுத்தி, சோதனையின் போது வோல்ட் மீட்டரின் அளவீடு மாறாமல் (E ஆக) இருக்குமாறு மின்தடை மாற்றிச் சரி செய்துகொள்ள வேண்டும். அம்மீட்டரின் தொடக்க அளவீட்டையும் (I_1), இறுதி அளவீட்டையும் குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். பிளாட்டினச் சுருளின் தொடக்க, இறுதி மின்தடைகள் **முறையே R_1, R_2 எனில்,**

$$R_1 = \frac{E}{i_1} \; ; \quad R_2 = \frac{E}{i_2}$$

மின்னேட்டத்தின் சராசரி மதிப்பு $= (i) = \frac{i_1 + i_2}{2}$. எனவே,

கம்பிச் சுருளினுல் கொடுக்கப்படும் வெப்பம் $= \frac{E\,i\,t}{J}$. பிளாட்டினச் சுருளின் மின்தடைகளி (R_1, R_2) லிருந்து தொடக்க, இறுதி வெப்பநிலைகளைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். இவை முறையே θ_1, θ_2 என்றும், கட்டைக் கேலரி மீட்டரின் நிறை, வெப்ப எண் ஆகியவை முறையே M, S என்றும் கொள்வோமாயின்,

$$\frac{E\,i\,t}{J} = M\,S\,(\theta_2 - \theta_1)$$

இதிலிருந்து S-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். வெப்ப இழப்பினுல் ஏற்படும் பிழைக்குத் திருத்தம் தேவை.

(3) திரவப் பொருட்களின் வெப்ப எண்ணைக் காணல்

(i) **கலவை முறை:** வெப்ப எண் (S) தெரியப்பெற்ற திடப் பொருளைப் பயன்படுத்தி ஒரு திரவத்தின் வெப்ப எண்ணைக் (x) காணலாம்.

M நிறையுள்ளதும், θ_2 வெப்பநிலையிலுள்ளதுமான திடப் பொருளை θ_1 வெப்ப நிலையிலுள்ளதும், m நிறையுள்ள திரவத்தைக் கொண்டதுமான ஒரு கேலரி மீட்டரில் சேர்த்தபொழுது பொது வெப்பநிலையை θ_3 என்று காண்பதாகக் கொள்வோம். கேலரி மீட்டரின் வெப்ப ஏற்புத்திறன் K எனக் கொள்வோமாயின்,

$$MS\;(\theta_2 - \theta_3) = (mx + K)\;(\theta_3 - \theta_1)$$

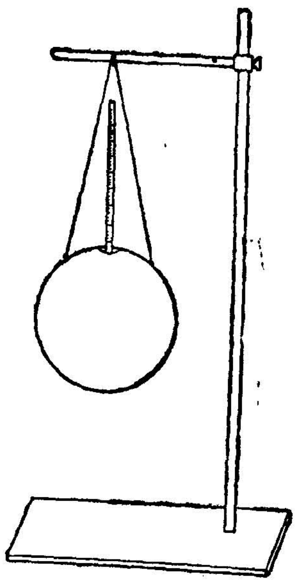
எனவே, திரவத்தின் வெப்ப எண்ணைக் (x) கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

(ii) **குளிர்தல் முறை** (Method of cooling): இது நியூட்டனின் குளிர்தல் விதியை அடிப்படையாகக்கொண்டது. நியூட்டனின் குளிர்வு விதிப்படி ஒரு சூடான பொருளினுல் வெப்பம் இழக்கப்படும் வீதமானது பொருளின் வெப்பநிலைக்கும் சுற்றுப்புற வெப்ப நிலைக்குமிடையே உள்ள வேறுபாட்டிற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது.

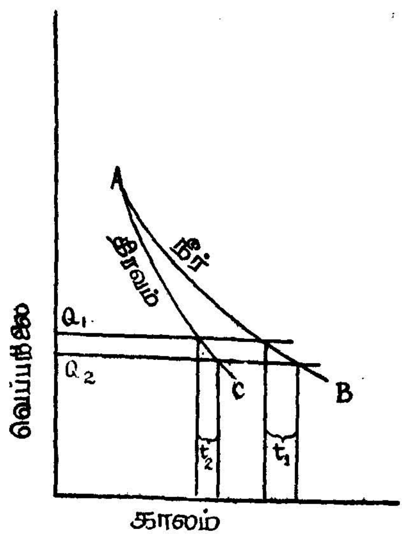
ஒரு கேலரி மீட்டரின் நிறையைக் (w_1) கண்டபின் ஏறத்தாழ 80°C வெப்பநிலையிலுள்ள நீரை அதற்குள் விட்டு நிரப்பி அதை

ஒரு வெளிப்பாத்திரத்திற்குள் இருக்குமாறு ஒரு தாங்கியிலிருந்து கயிற்ருல் தொங்கவிட வேண்டும். அதற்குள் ஒரு வெப்ப நிலை மானியை வைத்து, நிறுத்து கடிகாரத்தின் உதவியைக் கொண்டு அரை நிமிடத்துக்கு ஒரு முறை வெப்ப நிலையைக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். வெப்பநிலை கிட்டத்தட்ட 20°C அளவு குறையும் வரை இவ்விதம் செய்யவேண்டும். மேலும் குளிர்வடைந்த பிறகு நீருடன் கூடியகேலரி மீட்டரின் நிறையைக் (w) காணவேண்டும்.

கேலரி மீட்டரிலுள்ள நீரை நீக்கிவிட்டு அதனைக் கிட்டத்தட்ட 80°C வெப்பநிலையிலுள்ள திரவத்தால் நிரப்பி வெளிப் பாத்திரத் திற்குள் தொங்கவிட்டு முன்போலவே அரை நிமிடத்திற்கு ஒரு முறை வெப்ப நிலையைக் குறித்து வரவேண்டும். நன்கு குளிர்ந்ததும் திரவத்துடன் கூடிய கேலரி மீட்டரின் நிறையைத் (w_2) தெரிந்து கொள்ள வேண்டும்.



படம் 37.



படம் 38.

குறிப்பிட்ட ஒரு வெப்பநிலை(θ_1) யிலிருந்து குறிப்பிட்ட மற்றொரு வெப்ப நிலை (θ_2) வரை குளிர்வதற்கு நீரும் திரவமும் எடுத்துக் கொண்ட காலங்களைக் கணக்கிட வேண்டும். இவற்றை முறையே t_1, t_2 என்போம். குளிர்வுக் கோடுகளை வரைந்து

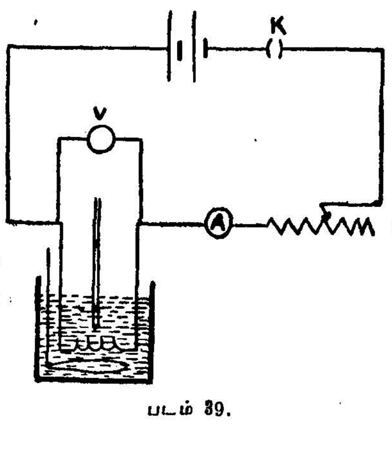
அவைகளிலிருந்து இந்தக் காலங்களைக் கணக்கிடுதல் நுட்பமான விரும்பத்தக்க முறையாகும்.

குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைப் பகுதியைக் கவனிக்கும்பொழுது நீர், திரவம் ஆகிய இரண்டும் ஒரே மதிப்பையுடைய சராசரி வெப்ப நிலையைக் கொண்டிருக்கின்றன. எனவே, அவைகளின் சராசரி வெப்பநிலைகள் சுற்றுப்புற வெப்பநிலையிலிருந்து ஒரே அளவு மாறு பட்டவையாகும். எனவே, இந்தப் பகுதியில் நீர், திரவம் ஆகிய இரண்டும் சமமான வீதத்தில் வெப்பத்தை இழக்கும். கேலரி மீட்டரின் வெப்ப எண் s_1 எனவும், திரவத்தின் வெப்ப எண் x எனவும் கொள்வோமாயின்,

$$\frac{[w_1 s_1 + w_2 - w_1](\theta_1 - \theta_2)}{t_1} = \frac{[w_1 s_1 + (w_3 - w_1)x]\,(\theta_1 - \theta_2)}{t_2}$$

$$\therefore \frac{w_1 s_1 + (w_3 - w_2)x}{w_1 s_1 + w_2 - w_1} = \frac{t_2}{t_1}$$

s_1ன் மதிப்பை அட்டவணைகளிலிருந்து தெரிந்துகொள்ளலாம். எனவே, மேலே கொடுக்கப்பட்ட சமன்பாட்டிலிருந்து x-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக்கொள்ளலாம்.



படம் 39.

(iii) ஜூல்கேலரி மீட்டர் முறை (Joule's Calorimeter Method): ஜூல் கேலரி மீட்டர் என்பது எபொனைட் (Ebonite) மூடியைக் கொண்ட ஒரு சிறு உலோகக் கலமாகும். மூடியில் இரு திருகுகளும் அவற்றுடன் இணைக்கப்பட்டவாறு இரு குட்டையான செப்புத் தண்டுகளும் உள்ளன. மின் தடையையுடைய ஒரு கம்பிச்சுருள் செப்புத் தண்டுகளின் முனைகளுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. கலக்கியை இயக்குவதற்கும் வெப்ப நிலைமானியை வைப்பதற்கும் ஆக மூடியில் இரு துளைகள் உள்ளன.

தொடக்கத்தில் கேலரி மீட்டரின் நிறையைத் (w_1) தெரிந்து கொண்டு அதில் கிட்டத்தட்டப் பாதியளவு திரவத்தை எடுத்து

நிறையைக் (w_2) காணவேண்டும். திரவத்திற்குள் கம்பிச்சுருள் முழுவதும் மூழ்கியிருக்குமாறு எபொனைட் மூடியைச் சரியாகப் பொருத்திக் கம்பிச்சுருளை ஒரு மின்கல அடுக்கு, மின்தடை மாற்றி, அம்மீட்டர், முனைச்சாவி ஆகியவற்றுடன் தொடரிணைப்பு முறையில் இணைக்கவேண்டும். ஒரு வோல்ட் மீட்டரைக் கம்பிச் சுருளுடன் பக்க இணைப்பு முறையில் சேர்த்துக்கொள்ள வேண்டும்.

முனைச்சாவியை இயக்கி மின் சுற்றில் ஏறத்தாழ ஓர் ஆம்பியர் மின்னோட்டம் ஏற்படுமாறு மின்தடையைச் சரிசெய்துகொள்ள வேண்டும். மின்னோட்டத்தை நிறுத்தி கேலரிமீட்டரின் வெப்ப நிலையைக் (θ_1) குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். பின்பு மின்னோட்டத்தைத் துவக்கி அத்துடன் ஒரு நிறுத்து கடிகாரத்தையும் இயக்கிக் கொள்ளவேண்டும். அம்மீட்டர், வோல்ட் மீட்டர் இவைகளின் அளவீடுகளைத் தகுந்த கால இடைவெளிகளில் கவனித்து அவைகளின் சராசரி மதிப்புகளைத் தெரிந்துகொள்ளவேண்டும். இவை முறையே C ஆம்பியர், E வோல்ட் எனக் கொள்வோம். வெப்பநிலை ஏறத்தாழ 5 டிகிரி சென்டிகிரேடு உயர்ந்ததும் மின்னோட்டத்தை நிறுத்திக் கேலரி மீட்டரை நன்கு கலக்கி அதன் வெப்பநிலையைக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். மின்னோட்டம் நிகழ்ந்த கால அளவை t விநாடிகள் எனக் கொள்வோம். கதிர் வீச்சினாலேற்பட்ட வெப்ப இழப்புக்கான திருத்தத்தைக் கணக்கிட்டு, கேலரி மீட்டரின் இறுதி வெப்ப நிலையுடன் சேர்த்துக் கொள்ளவேண்டும். இவ்விதம் திருத்தப்பட்ட வெப்பநிலை θ_2 என்போம். திரவத்தின் வெப்ப எண் x எனவும், கேலரிமீட்டரின் வெப்ப எண் s_1 எனவும் கொள்வோமாயின்,

$$\frac{E\,c\,t}{J}[w_1 s_1 + (w_2 - w_1)\,x]\,(\theta_2 - \theta_1)$$

J, s_1 ஆகியவற்றின் தெரிந்த மதிப்புகளை இந்தச் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்து x-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

(iv) **காலண்டர்—பார்ன்ஸ் தொடர் பாய்தல் முறை** (Callendar and Barnes' Continuous flow method) : இம்முறை வெப்ப இயக்க இயல் முதல் விதிப் பகுதியில் (First law of Thermodynamics) விவரிக்கப்படும். வெப்ப நிலை மாறும்பொழுது நீரின் வெப்ப எண் மாறுகிறது என்பதை இம் முறைமூலம் காலண்டர், பார்ன்ஸ் ஆகியவர்கள் கண்டனர். நீரின் வெப்பஎண் 0°C-யிலிருந்து 37·5°C வரை தொடர்ச்சியாகக் குறைகிறது. 37·5°C-யிலிருந்து 100°C வரை இது தொடர்ச்சியாக அதிகமாகிறது. ஆகையால் 37·5°C வெப்பநிலையில் நீரின் வெப்பஎண் சிறும மதிப்பைக் கொண்டுள்ளது.

4. வாயுக்களின் இரு வெப்ப எண்கள்

ஒரு வாயுவைப் பருமன் மாரு நிலையில் வைத்துச் சூடேற்றலாம், அல்லது அழுத்தம் மாருநிலையில் வைத்துச் சூடேற்றலாம் என்று முன்பு கூறப்பட்டது. ஒரு குறிப்பிட்ட வாயுவின் வெப்ப நிலையை மேற்கூறிய இரு முறைகளில் ஒரே அளவுக்கு உயர்த்தும்பொழுது அதற்கு வெவ்வேறு அளவு வெப்பம் தேவைப்படுகிறது. எனவே, ஒரு வாயுவிற்கு இரண்டு வெப்ப எண்கள் உள்ளன. அவை யாவன: (i) **பருமன் மாரு வெப்ப எண்** (Specific heat at constant volume). இது வழக்கத்தில் Cv என்னும் எழுத்தால் குறிப்பிடப் படுகிறது. (ii) **அழுத்தம் மாரு வெப்ப எண்** (Specific heat at constant pressure). இது வழக்கத்தில் *Cp* என்னும் எழுத்தால் குறிப்பிடப்படுகிறது.

ஒரு வாயுவின் பருமன் மாரு வெப்ப எண் என்பது ஒரு கிலோ கிராம் நிறையுள்ள வாயுவின் வெப்ப நிலையைப் பருமன் மாரு நிலையில் ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் உயர்த்துவதற்குத் தேவைப்படும் வெப்பமாகும்.

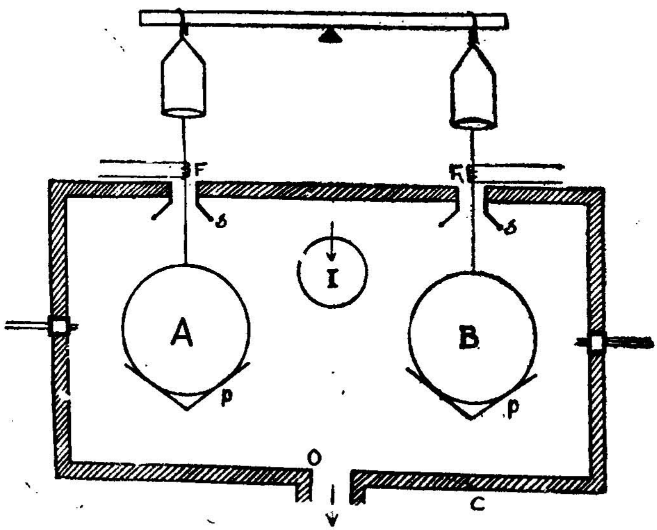
ஒரு வாயுவின் அழுத்தம் மாரு வெப்ப எண் என்பது ஒரு கிலோ கிராம் நிறையுள்ள வாயுவின் லெப்பநிலையை அழுத்தம் மாரு நிலையில் ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் உயர்த்துவதற்குத் தேவைப்படும் வெப்பமாகும்.

பருமன் மாரு நிலையில் எடுத்துக்கொள்ளப்படும் வெப்பம் வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலை அதிகரிக்கப் பயன்படுகிறது. ஆனல், அழுத்தம் மாரு நிலையில் எடுத்துக்கொள்ளப்படும் வெப்பம் வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலை அதிகரிப்பதற்கும், வெளி அழுத்தத்தை எதிர்த்துப் பெருக்கமடைவதில் செய்யப்படவேண்டிய வேலைக்கும் பயன்படுகிறது. எனவே, *Cp*-ன் மதிப்பும் Cv-ன் மதிப்பைவிட அதிகமானது. இவற்றிற் கிடையே உள்ள தொடர்பு பின்னல் நிறுவப்படும். இப்பொழுது இவற்றைச் சோதனை மூலம் காணும் முறைகளைக் கவனிப்போம்.

5. (i) ஜாலியின் பகு நீராவிக் கேலரி மீட்டர் முறையில் Cvயின் மதிப்பைக் காணல் (Cv by Joly's Differential Steam Calorimeter)

ஏறத்தாழ 7 செ.மீ. விட்டத்தை யுடையனவாயும், பருமன், நிறை முதலிய எல்லா அளவுகளிலும் ஒரே மாதிரியானவையாயும் உள்ள A, B என்ற இரு செப்புக் கோளங்கள் ஒரு நீராவி

அறைக்குள் இருக்கும்படியாக ஒரு நுட்பமான தராசின் புயங்களி லிருந்து இரு கம்பிகளால் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளன. கம்பிகள் நீராவி அறைக்குள் செல்வதற்கான துவாரங்களில் நீர்த்திவலைகள் படிவதைத் தடுப்பதற்காக அத்துவாரங்களுக்குச் சற்று மேலே மின்னோட்டத்தைக் கொண்டுள்ள F F என்ற இரு பிளாட்டினச் சுருள்கள் உள்ளன. அறைக்குள் நீராவி செல்வதற்கு I என்ற அகன்ற குழாயும் அறையிலிருந்து நீராவி வெளியேறுவதற்கு O என்ற சிறு குழாயும் உள்ளன. கோளங்களுக்கு நேர் மேலே



படம் 40.

அறையுடன் பொருத்தப்பட்டவாறு *s s* என்ற நீர்த்தடுப்பான்களும் (shields) கோளங்களுக்குக் கீழ் அவற்றுடன் பொருத்தப்பட்டவாறு சம நிறையுள்ள *p p* என்ற நீர்ப்பிடிப்பான்களும் (catch-waters) உள்ளன. அறையின் வெப்பநிலையைக் காட்ட ஒரு வெப்பநிலை மானி பொருத்தப்பட்டுள்ளது.

இரு கோளங்களிலிருந்து காற்றை நீக்கித் தராசுக்கோலைச் சரியீடு செய்து கொள்ளவேண்டும். கொடுக்கப்பட்ட வாயுவை ஒரு கோளத்தில் அதிக அழுத்தத்தில் அடைத்து மறுபடியும் தராசுக்கோலைச் சமன்செய்ய வேண்டும். இதனால் அடைக்கப் பட்ட வாயுவின் நிறையைத் (M) தெரிந்து கொள்ளலாம். தொடக்க வெப்ப நிலையைக் (θ_1) குறித்தபின் நீராவியை அறைக்

குள் வேகமாகச் செலுத்த வேண்டும். இதனுல் கோளங்களும் வாயுவும் நீராவியின் வெப்பநிலைக்கு (θ_2) உயருகின்றன. கோளங்களின் மேல் படியும் நீர் அவற்றுடன் பொருத்தப்பட்டுள்ள நீர்ப் பிடிப்பான்களில் சேகரிக்கப்படுகிறது. வாயு உள்ள கோளத்தில் படியும் நீரின் அளவு மற்றக் கோளத்தில் படிவதைவிட அதிகமாக இருக்கும். ஆகையால் தராசுக் கோலின் சமநிலை கெட்டுவிடும். தக்கவாறு நிறையைக் கூட்டி, தராசுக் கோலை மீண்டும் சமன் செய்வதன்மூலம் இரு கோளங்களில் படிந்த நீர்களின் நிறை வேறுபாட்டைத் தெரிந்து கொள்ளலாம். இந்த நிறை வேறுபாடு வாயுவின் வெப்ப நிலையை உயர்த்துவதற்குத் தேவைப்பட்ட நீராவியின் நிறையைக் கொடுக்கும். இதன் மதிப்பு m கி.கிராம் என்போம். நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் L எனவும், வாயுவின் பருமன் மாரு வெப்ப எண் C_v எனவும் கொள்வோமாயின்,

$$M\,C_v\,(\theta_2 - \theta_1) = m\,L.$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து C_v–ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

கோளங்களின் வெப்ப ஏற்புத் திறன்கள் சமமாக இல்லாதிருக்குமாளுல் சிறு பிழை ஏற்படும். ஆகையால் வாயு மற்றக் கோளத்திலிருக்குமாறு சோதனையைத் திருப்பிச் செய்ய வேண்டும். இரு சோதனைகளிலிருந்து கிடைக்கும் மதிப்புகளின் சராசரியை C_v–ன் சரியான மதிப்பு எனக் கொள்ளலாம். வெப்பநிலை உயர்வினுலும் அழுத்த உயர்வினுலும் கோளங்கள் சற்றுப் பெருக்கமடையும். இதற்கான திருத்தத்தையும் கணக்கிட்டுச் சேர்த்துக் கொள்ளவேண்டும்.

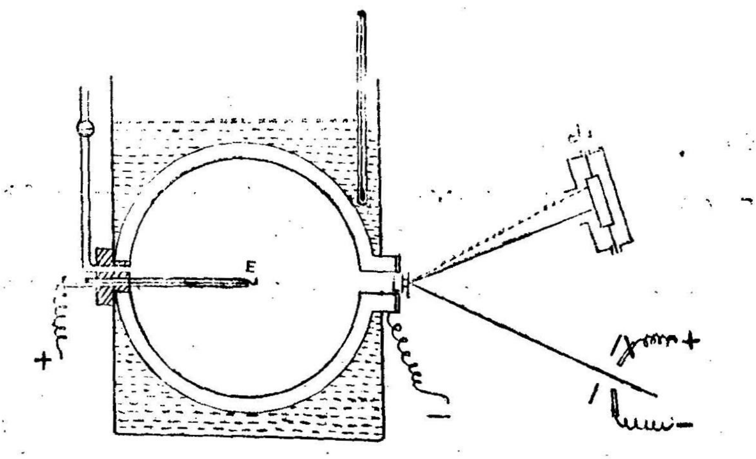
5. (ii) குண்டு கேலரி மீட்டர் (Bomb calorimeter) முறையில் ஒரு வாயுவின் C_v-யைக் காணல்.

கெட்டியான இரும்புக் கலன் ஒன்றில் வெடிப்பை ஏற்படுத்தி அதன் விளைவால் உண்டாகும் அழுத்தத்தை அளப்பதன்மூலம் வெப்பநிலை வேறுபாடுகளைக் கணக்கிட்டு வாயுக்களின் பருமன் மாரு வெப்ப எண்களைக் காணலாம் என்பதை முதலில் விளக்கிக் காட்டியவர் பைர் (Pier) என்பவராவர். இவ்வாருன முறையில் பயன்படுத்தப்படும் கேலரிமீட்டர் 'குண்டு கேலரிமீட்டர்' எனப் படுகிறது. இந்தக் கேலரிமீட்டர் பொதுவாக இரும்பால் செய்யப் பட்டதாகவும், கோளக வடிவை உடையதாகவும் இருக்கிறது. இதற்கு ஏற்பு வாய்க்குழாய் (inlet tube) ஒன்றும், நெளிவுள்ள

(corrugated) இரும்புத் தட்டால் மூடப்பட்ட துவாரம் ஒன்றும் உள்ளன. நெளிவரன இரும்புத் தட்டின்மேல் ஒரு சிறு சமதள ஆடித்துண்டு பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது.

ஓர் ஒளிமூலத்திலிருந்து வரும் ஒளிக்கற்றை ஆடியால் எதிரொளிக்கப்பட்டுச் சுற்றும் உருளை ஒன்றின்மீது பொருத்தப் பட்டுள்ள ஒளிப்படத் தட்டின்மேல் விழுமாறு அமைப்பு இருக் கிறது. அழுத்தம் மாறும்பொழுது நெளிதட்டில் வளைவு ஏற்பட்டு ஆடியின் நிலைமாறுதலால் எதிரொளிக்கப்பட்ட ஒளிக் கற்றையின் நிலையும் மாறும். கேலரிமீட்டரினுள் E என்ற ஒரு மின் முனை பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. கேலரிமீட்டர் ஒரு நீர்த் தொட்டிக்குள் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

கேலரிமீட்டரில் கொடுக்கப்பட்ட வாயுவும், வெடிப்பை உண் டாக்குவதற்குத் தேவையான எரிவாயுக்களின் கலவையும் எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றன. வாயுக்களின் தொடக்க வெப்ப நிலை நீர்த்தொட்டியின் வெப்பநிலையாகவே அமையும். எனவே, இதனை அளந்து θ_1 எனக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். கேலரி மீட்டரில் மின் பொறியை ஏற்படுத்தி வெடிப்பை உண்டாக்க வேண்டும். இதனால் வெப்பநிலை உயர்ந்து அழுத்தம் அதிகமாகும். இதன் காரணமாக ஒளிப்படத் தட்டின்மீது படும் ஒளிக் கற்றையின் நிலை மாறும். ஒளிப்படத் தட்டின் உதவியால்



படம் 41.

எதிரொளிப்பு ஒளிக்கற்றையின் தொடக்க நிலையையும், வெடிப்பை அடுத்து ஏற்படும் நிலையையும் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

தெரிந்த நிலையான அழுத்தங்களைக் கேலரிமீட்டரில் அமைத்து, எதிரொளிப்புக் கற்றையில் ஏற்படும் விலக்கங்களைக் குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். அழுத்தத்தையும் விலக்கத்தையும் தொடர்பு படுத்தும் வரைபடத்தின் உதவியால் சோதனையின் தொடக்க, இறுதி அழுத்தங்களைத் தெரிந்துகொள்ளலாம். அவை முறையே P_1, P_2 என்க. வெடித்தல் விரைவில் ஏற்படுவதால், வெடித்தலை அடுத்த கணத்தில் வெடித்தலில் ஏற்பட்ட வெப்பம் முழுவதையும் வாயுக்கள் மாத்திரம் எடுத்துக்கொண்டன என்றும், கேலரி மீட்டரோ, நீர்த்தொட்டியோ வெப்பத்தை எடுத்துக்கொண்டிருக்க முடியாது என்றும் பாவிக்கலாம். எனவே, கேலரிமீட்டரின் பரும அளவும் வேறுபடவில்லை எனக் கொள்ளலாம். இதன் அடிப் படையில் வாயுக்களின் இறுதி வெப்பநிலையைக் கணக்கிடமுடியும். இவ்வாறு கணக்கீடு செய்யும்பொழுது வெடித்தலினுல் மூலக்கூறு களின் எண்ணிக்கை மாறுபடுகிறது என்பதையும், அதனுலும் அழுத்தம் மாறுபடுகிறது என்பதையும் கருத்தில் கொள்ள வேண்டும். வெடித்தலுக்குமுன் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை N_1 எனவும், வெடித்தலுக்குப்பின் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை N_2 எனவும் கொள்வோம். P_2 என்ற இறுதி அழுத்தம் N_2 மூலக் கூறுகளைப் பொறுத்ததாகும். எனவே, மூலக்கூறுகளின் எண் ணிக்கை மாருமல் N_1 ஆகவே இருந்திருக்குமானுல், ஏற்பட்டிருக்கக் கூடிய இறுதி அழுத்தம் $= N_1 P_2 / N_2$.

எனவே இறுதி வெப்பநிலை θ_2 எனில்,

சார்லஸ் விதிப்படி

$$(N_1 P_2 / N_2) : P_1 = (273 + \theta_2) : (273 + \theta_1)$$

அதாவது $$\frac{N_1 P_2}{N_2 P_1} = \frac{273 + \theta_2}{273 + \theta_1}$$

எனவே $$\frac{P_2/P_1}{N_2/N_1} = \frac{273 + \theta_2}{273 + \theta_1}$$

$P_2/P_1 = P$ எனவும், $N_2 / N_1 = e$ எனவும்

கொள்வோமானுல்,

$$\frac{P}{e} = \frac{273 + \theta_2}{273 + \theta_1}$$

$$\therefore \quad \theta_2 = (273 + \theta_1)\frac{P}{e} - 273$$

$$\therefore \quad \theta_2 - \theta_1 = (273 + \theta_1)\frac{P}{e} - 273 - \theta_1$$

$$= (273 + \theta_1)\frac{P}{e} - (273 + \theta_1)$$

$$= (273 + \theta_1)\left(\frac{P}{e} - 1\right)$$

எனவே, $(\theta_2 - \theta_1)$-ன் மதிப்பைக் காணமுடியும். எடுத்துக் கொண்ட வாயுவின் நிறை m_1 எனவும், எரிவாயு-ஆக்ஸிஜன் கலவையின் நிறை m_2 எனவும், வாயுவின் பருமன் மாறு வெப்ப எண், எரிகலவையின் பருமன் மாறு வெப்ப எண் ஆகியவை முறையே C_1, C_2, எனவும் கொள்வோமானால், வாயு எரிகலவை இவற்றால் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்ட மொத்த வெப்பம்

$$= m_1 C_1 (\theta_2 - \theta_1) + m_2 C_2 (\theta_2 - \theta_1)$$

வெப்பம் வேதியியல் புள்ளிகளிலிருந்து கலவையின் ஒவ்வொரு அலகு நிறைக்கும் வெடித்தல் வினையினால் θ_2 வெப்பநிலையில் எவ்வளவு வெப்பம் வெளியிடப்படுகிறது எனத் தெரியவரும். இதன் மதிப்பு H எனில்,

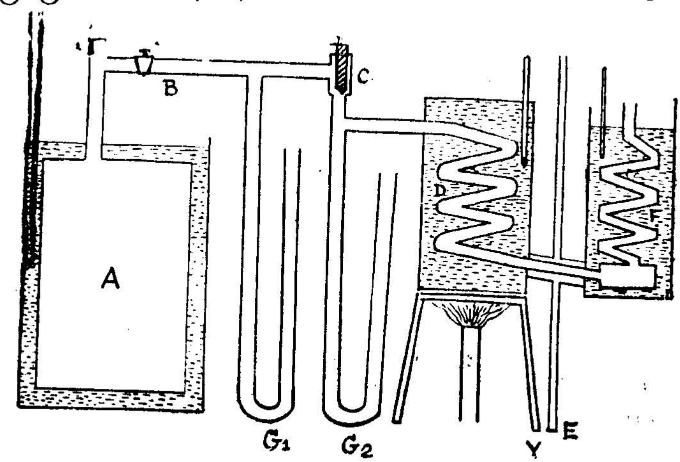
$$(m_1 C_1 + m_2 C_2)(\theta_2 - \theta_1) = m_2 H.$$

இதில் C_1, C_2 ஆகியவை தெரியாதவை. இரு வெவ்வேறு நிறைகளுள்ள எரிகலவைகளைக் கொண்டு சோதனை நடத்துவதன் மூலம் இரு சமன்பாடுகளைப் பெறலாம். இவற்றிலிருந்து C_1, C_2 ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைக் காணமுடியும்.

இந்தச் சோதனையில் சுற்றுப்புறத்துக்கு வெப்பம் செல்வதனால் ஏற்படும் வெப்ப இழப்புக்கும், எரிகலவை முழுவதும் எரியாமல் போவதற்கும், வாயுவில் ஏற்படும் இயல்பான பிணைப்புப்பிரிவுக்கும் (dissociation) திருத்தம் செய்யப்படல் வேண்டும். இம் முறையில் கிடைக்கும் C_1-ன் மதிப்பு, $(\theta_2 - \theta_1)$ வெப்பநிலை நெடுக்கத்தில் வாயுவிற்கு உள்ள பருமன் மாறு வெப்ப எண்ணின் சராசரி மதிப்பு என்பதைக் குறிப்பிடவேண்டும்.

6. Cp-ன் மதிப்பைக் காண்பதற்கான ரெனல்ட் முறை (Regnault's method for Cp).

இம் முறையில், கொடுக்கப்பட்ட வாயுவை ஒரு பெரிய சேமக் கலத்தில் (A) அதிக அழுத்தத்தில் எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும் இந்தச் சேமக்கலத்தின் வெப்பநிலை மாறுமலிருப்பதற்காக அதனை ஒரு நீர்த்தொட்டியில் வைக்கவேண்டும். A-ல் உள்ள வாயுவின் அழுத்தத்தைக் காண G_1 என்ற அழுத்தமானி A-உடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. A-யிலிருந்து C என்ற சீரமைப்பான் (Regulator) மூலம் D என்ற உலோகச் சுருள் குழாய்க்கு வாயு ஒரு சீரான அழுத்தத்தில் அனுப்பப்படுகிறது. D குழாய்க்குச் செல்லும் வாயுவின் அழுத்தத்தை அளக்க G_2 என்ற அழுத்தமானி பொருத்தப்பட்டுள்ளது. D குழாய் ஒரு சூடான எண்ணெய்த் தொட்டியில் வைக்கப்பட்டிருப்பதால் வாயுவின் வெப்ப நிலை எண்ணெய்த்தொட்டியின் வெப்பநிலைக்கு (θ_1) உயர்த்தப் படுகிறது. சூடுபடுத்தப்பட்ட வாயு பின்பு F என்ற வேறொரு உலோகச் சுருள் குழாய்க்குச் செலுத்தப்படுகிறது. இந்த F குழாய் ஒரு கேலரி மீட்டரிலுள்ள நீரினுள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. F வழியாகச் செல்லும் வாயு கேலரி மீட்டருக்கும் அதிலுள்ள நீருக்கும் வெப்பத்தைக் கொடுத்துவிட்டு வெளியேறுகிறது.



படம் 42.

எண்ணெய்த் தொட்டியிலிருந்து கேலரி மீட்டருக்கு நேரிடையாக வெப்பம் செல்லாதிருக்க இவைகளுக் கிடையே ஒரு பலகை (E) வைக்கப்பட்டுள்ளது.

கேலரி மீட்டரின் தொடக்க வெப்ப நிலையையும் (θ_2), A-ல் உள்ள தொடக்க அழுத்தத்தையும் (P_1) குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். சோதனையின் இறுதியில் கேலரி மீட்டரின் வெப்ப நிலையையும் (θ_3), A-ல் உள்ள அழுத்தத்தையும் (P_2) குறித்துக் கொள்ள வேண்டும்.

கேலரி மீட்டர், F சுருள் குழாய் இவற்றின் மொத்த வெப்ப ஏற்புத்திறன் w எனவும், கேலரி மீட்டரிலுள்ள நீரின் நிறை M எனவும் கொள்வோமாயின்,

மொத்த வெப்ப ஏற்பு $= (w + M)\ (\theta_1 - \theta_2)$. F வழியே செலுத்தப்பட்ட வாயுவின் நிறை m கிராம் எனவும், அதன் அழுத்தம் மாரு வெப்ப எண் Cp எனவும் கொள்வோம். இந்த வாயுவால் இழக்கப்பட்ட வெப்பம் $= m\,Cp \left(\theta_1 - \frac{\theta_2 + \theta_3}{2}\right)$

$$\therefore\quad m\,Cp\left(\theta_1 - \frac{\theta_2 + \theta_3}{2}\right) = (w + M)\ (\theta_1 - \theta_2)$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் தேவைப்படும் m கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடப்படுகிறது :

A-ல் உள்ள வாயுவின் தொடக்க நிறை m_1 எனவும், இறுதி நிறை m_2 எனவும் கொள்வோமாயின் வெளியேறிய வாயுவின் நிறை $= (m_1 - m_2)$ ஆகும்.

A-ன் பருமன் V எனவும் அதிலுள்ள வாயுவின் தொடக்க, இறுதி அடர்த்திகள் முறையே ρ_1, ρ_2 எனவும், கொள்வோமாயின்

$$m_1 - m_2 = V\,\rho_1 - V\,\rho_2.$$

இப்பொழுது ஒரு கிலோ கிராம் வாயுவிற்கான வாயுச் சமன்பாட்டைக் கவனிப்போம். A-ன் தனி வெப்பநிலை T எனவும், சோதனையின் தொடக்கத்திலும் இறுதியிலும் A-ல் வாயுவின் சுட்டுப் பருமன் (specific volume) முறையே v_1, v_2 எனவும் கொள்வோமாயின்,

$$\frac{p_1 v_1}{T} = \frac{p_2 v_2}{T} = \text{மாறிலி.}$$

ஆனல் $v_1 = \dfrac{1}{\rho_1}$; $v_2 = \dfrac{1}{\rho_2}$.

எனவே, $\dfrac{p_1}{\rho_1 T} = \dfrac{p_2}{\rho_2 T} =$ மாறிலி.

இப்பொழுது படித்தர வெப்பநிலையிலும், அழுத்தத்திலும் வாயுவின் அடர்த்தி p_0 எனில்,

$$\frac{p_1}{p_1 T} = \frac{p_2}{p_2 T} = \frac{p_0}{p_0 T_0}.$$

எனவே $p_1 = \frac{p_0 T_0 p_1}{p_0 T}$; $p_2 = \frac{p_0 T_0 p_2}{p_0 T}$

ஆகையால், $m = m_1 - m_2 = V[p_1 - p_2]$

$$= \frac{V p_0 T_0}{p_0 T} [p_1 - p_2]$$

$$= \frac{V p_0 \, 273}{76 \times T} (p_1 - p_2)$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் V, p_0, T ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்து m-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். எனவே, Cp-ன் மதிப்பையும் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

இம் முறையில் எண்ணெய்த் தொட்டியிலிருந்து கேலரி மீட்டருக்கு நேரிடையாகச் செல்லக்கூடிய வெப்பத்தினு லேற்படும் பிழையையும் அதற்கான திருத்தத்தையும் பின்வருமாறு கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

F வழியே வாயு பத்து நிமிடங்களுக்குச் செலுத்தப்படுவதாகக் கொள்வோமாயின் கேலரி மீட்டருக்குள் வாயுவைச் செலுத்துவதற்கு முன்பு ஐந்து நிமிடங்களிலும் வாயுவைச் செலுத்திய பிறகு ஐந்து நிமிடங்களிலும கேலரி மீட்டரில் ஏற்படும் வெப்பநிலை உயர்வுகளை முறையே $d\theta_1$, $d\theta_2$ எனக் காணுவோமாயின், சோதனையின்போது ஏற்படும் பிழை

$$= (x) = d\theta_1 + d\theta_2 \text{ ஆகும்.}$$

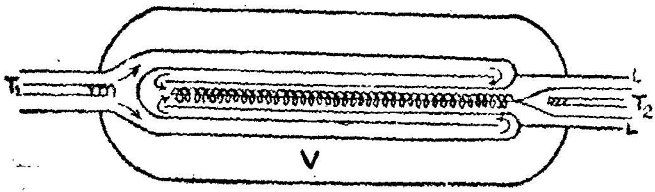
எனவே, திருத்தப்பட்ட இறுதி வெப்பநிலை

$$= (\theta_2 - x) \text{ எனக் கொள்ளவேண்டும்.}$$

7. காலண்டர்-சுவான் முறையில் Cp-ன் மதிப்பைக் காணல் (Callendar and Swann Method)

ஒரு பெரிய சேமக்கலத்திலிருக்கும் வாயு ஒரு சீரமைப்பானின் (Regulator) உதவியால் ஒரு குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில் படத்தில்

காட்டியவாறுள்ள குழாய்களுக்குள் செலுத்தப்படுகிறது. குழாய்களின் உட்பாகத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு மின் சூடேட்டும் கம்பிச் சுருளினுல் வாயு சூடேற்றப்படுகிறது. உட்செல்லும்



படம் 43.

வாயுவின் பாதை சூடேட்டும் சுருள் வைக்கப்பட்டுள்ள இடத்தைச் சூழ்ந்தவாறு இருக்கிறது. இதனுல் வெளியே பரவக்கூடிய வெப்பம் உட்செல்லும் வாயுவினுலேயே ஏற்கப்படுகிறது. எனவே, வெப்ப இழப்பு மிகவும் குறைக்கப்படுகிறது. மேலும் குழாய்கள் ஒரு வெற்றிட உறைக்குள் அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. உட்செல்லும் வாயுவின் வெப்ப நிலையும் (θ_1), வெளியேறும் வாயுவின் வெப்ப நிலையும் (θ_2) பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானிகளால் அளவிடப்படுகின்றன. மின் சூடேட்டும் கம்பிச்சுருளிலுள்ள மின்னேட்டம் மின்னழுத்தம் ஆகியவை முறையே C ஆம்பியர், E வோல்ட் எனக் கொள்வோம். t விநாடி கால அளவில் வெளியேறும் வாயுவின் நிறை m கிலோகிராம் எனில்,

$$\frac{Ect}{J} = m\,C_p\,(\theta_2 - \theta_1)$$

ரெஞல்டின் முறையில் கணக்கிடுவது போலவே இம் முறையிலும் கணக்கிட்டு m-ன் நிறையைத் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

$$m = \frac{Vp_0\,273}{76T}\,(p_1 - p_2)$$

8. வெப்ப எண் மாறுபாட்டிற்கான காரணக் கூறுகள் (Variation of Specific heat)

ஒரு பொருளின் வெப்ப எண் கீழ்க்கண்ட காரணங்களால் மாறுபடும் :

(i) பொருள் திண்மை நிலையில் இருக்கிறதா திரவ நிலையிலிருக்கிறதா அல்லது வாயு நிலையி லிருக்கிறதா என்பதைப்

பொறுத்து அதன் வெப்ப எண் மாறுபடும். பொதுவாகத் திரவ நிலையில் அதன் வெப்ப எண் மற்ற இரண்டு நிலைகளில் உள்ளதை விட அதிகமாக இருக்கும்.

(ii) வெப்பநிலையைப் பொறுத்து வெப்ப எண்ணின் மதிப்பு மாறும். பொதுவாக, திடப்பொருட்கள், திரவங்கள் ஆகியவற்றின் வெப்பநிலை உயரும்பொழுது அவற்றின் வெப்ப எண்கள் அதிகமாகின்றன. மிகக் குறைந்த வெப்பநிலைகளில் வெப்ப எண் கணிசமான அளவு குறைந்ததாக இருக்கிறது.

(iii) பொருளின் தூய்மையைப் பொறுத்து வெப்ப எண் மாறுபடும்.

(iv) பொருள் படிகத் தன்மையைக் கொண்டுள்ளதா, இல்லையா என்பதைப் பொறுத்தும் அதன் வெப்ப எண் மாறுபடும்.

9. ட்யூலாங்-பெட்டிட் விதி (Dulong and Petit's Law)

திண்மைநிலையிலுள்ள (solid state) சாதாரணப் பொருட்களின் வெப்ப எண்கள் அவைகளின் அணு நிறைகளுக்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கின்றன என்றும். வெப்பஎண், அணுநிறை ஆகியவற்றின் பெருக்கற்பலன் மாறிலியாக இருக்கிறது என்றும் ட்யூலாங், பெட்டிட் என்பவர்கள் 1813ஆம் ஆண்டு கண்டனர். இந்தப் பெருக்கற்பலன் **அணு வெப்பம்** (Atomic heat) எனப்படுகிறது. கார்பன், போரன், சிலிகன் இவற்றைத் தவிர மற்றத் திடப் பொருட்களுக்கு அணு வெப்பத்தின் மதிப்பு 6·4 ஆகும். ஆனால், கார்பன், போரன், சிலிகன் ஆகியவற்றின் அணுவெப்பம் சாதாரண வெப்பநிலைகளில் 5·6 ஆகவும் உயர்ந்த வெப்பநிலைகளில் 6 ஆகவும் இருக்கிறது.

திரவப்பொருட்களுக்கு ட்யூலாங்-பெட்டிட் விதி பொருந்துவதில்லை. வாயுப் பொருட்களுக்கும் அணுவெப்பம் மாறிலி என்பது உண்மை. ஆனால், அதன் மதிப்பு 3·4 ஆக இருக்கிறது.

ஒரு பொருளின் **மூலக்கூறு வெப்பம்** (Molecular heat) என்பது அந்தப் பொருளின் வெப்ப எண், மூலக்கூறு நிறை ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலன் ஆகும். ஒரே மாதிரியான அமைப்பைக் கொண்ட கூட்டுப் பொருட்களின் மூலக்கூறு வெப்பமானது மூலக்கூறில் உள்ள அணுக்களின் அணுவெப்பங்களைக் கூட்டிக் கிடைக்கும் தொகைக்குச் சமம் என்று நியூமன் (Neumann) ஏன்பவர் காண்பித்தார். சான்றாக Xcl அமைப்பைக் கொண்ட

கூட்டுப் பொருளின் மூலக்கூறு வெப்பம் = 12·8 ஆகும். இவ்வாறே Xcl_2 அமைப்பைக் கொண்ட கூட்டுப் பொருளின் மூலக்கூறு வெப்பம் = 18·7 ஆகும்.

10. வெப்ப எண்பற்றி டிபையின் தத்துவம் (Debye's Theory of Specific heats)

மீட்சியல் பண்புள்ள திடப்பொருளின் ஓரலகுப் பருமனில் அதிர்வுகள் ஏற்படுவதின் தத்துவப்படி γ முதல் $(\gamma+d\gamma)$ வரை அதிர்வெண் உள்ளவாறு அதிரும் வகையின் எண்ணிக்கை

$$= 4\pi\left[\frac{1}{Cl^3}+\frac{2}{Ct^3}\right]\gamma^2\,d\gamma \qquad \dots (1)$$

இங்கு Cl= நெட்டதிர்வின் (longitudinal vibration) திசை வேகம்.

Ct= குறுக்கதிர்வின் (transverse vibration) திசைவேகம்.

டிபை என்பவர் அதிர்வெண்ணுக்கு ஒரு பெரும வரம்பு இருக்குமெனக் கருதினர். அவர் கருத்துப்படி அதிர்வெண் 0 முதல் γm என்னும் ஒரு பெரும வரம்பு வரை மாறக்கூடியது எனக் கொள்வோமானல், V பருமனைக்கொண்ட ஓரணு நிறை பொருளில் ஏற்படும் அதிர்வு வகைகளின் மொத்த எண்ணிக்கை

$$= 4\pi V\left[\frac{1}{Cl^3}+\frac{2}{Ct^3}\right]\int_0^{\gamma_m}\gamma^2 d\gamma$$

$$=4\pi V\left[\frac{1}{Cl^3}+\frac{2}{Ct^3}\right]\frac{\gamma_m^3}{3} \qquad \dots (2)$$

பொருள் ஓரணு வகை (monoatomic) மூலக் கூறுகளைக் கொண்டது எனில், V பருமனில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை

$= N_0$ = அவகாட்ரோ எண்.

ஒவ்வோர் அணுவுக்கும் மூவகை அதிர்வுகள் ஏற்படக்கூடும் என்பதால், V பருமனிலுள்ள அதிர்வு வகைகளின் மொத்த எண்ணிக்கை $= 3\ N_0$ ... (3)

எனவே (2) (3)–லிருந்து

$$4\pi V\left[\frac{1}{C_l^3}+\frac{2}{C_t^3}\right]\frac{\gamma^3_m}{3}= 3\ N_0$$

இதிலிருந்து,

$$4\pi V\left[\frac{1}{C_l^3}+\frac{2}{C_t^3}\right]=\frac{9N_0}{\gamma^3_m} \qquad \ldots\ (4)$$

ப்ளான்க் கதிர்வீச்சு விதியைத் தருவிக்கும்பொழுது காட்டியதுபோல் γ அதிர்வெண்ணுள்ள ஒரு சீரிசை அலையியற்றியின் சராசரி ஆற்றல்

$$= \bar{e} = \frac{h\gamma}{\left(e^{h\gamma/kT}-1\right)} \qquad \ldots\ (5)$$

எனவே, பொருளில் உள்ள மொத்த ஆற்றல்

$$=4\pi V\left[\frac{1}{C_1^3}+\frac{2}{C_2^3}\right]\int_0^{\gamma_m}\gamma^2\,d\gamma\,\frac{h\gamma}{\left(e^{h\gamma/kT}-1\right)}$$

$$=\frac{9N_0h}{\gamma_m^3}\int_0^{\gamma_m}\frac{\gamma^3\,d\gamma}{\left(e^{-h\gamma/kT}-1\right)} \qquad \ldots\ (6)$$

Tஐப் பொறுத்து இதனைப் பகுப்போமானால், மாறாத பருமநிலையில் அணு வெப்ப எண்ணின் மதிப்பு (Atomic heat) கிடைக்கும். இதனை C_v எனக் குறிப்பிடுவோமானால்,

$$C_v=\frac{9N_0h}{\gamma_m^3}\int_0^{\gamma_m}\frac{\gamma^3\,d\gamma\,e^{h\gamma/kT}}{\left(e^{h\gamma/kT}-1\right)^2}\;\frac{h\gamma}{KT^2}$$

$$= \frac{9N_0h^2}{\gamma_m{}^3} \int_0^{\gamma_m} \frac{\gamma^4 e^{h\gamma/kT} d\gamma}{kT^2\left(e^{h\gamma/kT} - 1\right)^2} \qquad \ldots \quad (7)$$

$\frac{h\gamma}{KT} = x$ என்க.

$\frac{h\gamma_m}{KT} = x_m$ என்க.

$$\therefore \; d\gamma = \frac{KTdx}{h}$$

இந்த மதிப்புகளைச் சமன்பாடு (7)-ல் பதிலீடு செய்தால்

$$C_v = \frac{9N_0h^5}{K^3T^3x_m} \int_0^{x_m} \frac{K^4T^4x^4\, e^x\, KTdx}{KT^2\,(e^x - 1)^2 h^5}$$

$$= \frac{9N_0k}{x_m{}^3} \int_0^{x_m} \frac{x^4\, e^x\, dx}{(e^x - 1)^2} \qquad \ldots \quad (8)$$

(8)-ல் உள்ள தொகுதியைச் சினைகள் பிரித்துத் தொகை காணும் முறையில் (Integration by parts) கீழ்க்கண்டவாறு சுருக்கலாம்:

$$\int_0^{x_m} \frac{x^4\, e^x dx}{(e^x - 1)^2} = - \int_0^{x_m} x^4\, \frac{d}{dx}\left(\frac{1}{e^x - 1}\right) dx$$

$$= - \left[x^4\left(\frac{1}{e^x - 1}\right) \right]_0^{x_m} + \int_0^{x_m} \frac{1}{(e^x - 1)}\, \frac{d\,(x^4)}{dx}$$

$$= -\frac{x_m^4}{(e^{x_m}-1)} + 4\int_0^{x_m} \frac{x^3 dx}{e^x - 1}$$

இதனையும், $N_0 K = R$ என்பதையும் 8-ல் பதிலீடு செய்தால்,

$$C_v = \frac{9R}{m^3}\left[4\int_0^{x_m} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} - \frac{x_m^4}{(e^{x_m}-1)} \right]$$

$$= 9R\left[\frac{4}{x_m^3} \int_0^{x_m} \frac{x^3 dx}{(e^x - 1)} - \frac{x_m}{(e^{x_m}-1)} \right] \quad (9)$$

இது χ_m ஐப் பொறுத்த ஒரு கோவையாகிறது.

ஆனால், $\chi_m = \frac{h\gamma_m}{KT}$.

இதில் டீபை வெப்பநிலை என்னும் θ ஆல் $\frac{h\gamma_m}{K}$ ஐக் குறிப்பது வழக்கம்.

$\therefore \quad \chi_m = \frac{\theta}{T}$.

(9) ஆவது சமன்பாட்டால் கொடுக்கப்படும் C_v-ன் மதிப்பு χ_mஐப் பொறுத்து இருப்பதால், ஒரே χ_m மதிப்புள்ளபொழுது எல்லாப் பொருட்களின் C_v மதிப்பும் சமமாக இருக்கு மென்பது தெளிவு.

(4) ஆவது சமன்பாட்டிலிருந்து γ_m-ன் மதிப்பைத் தெரிந்து $\theta = \frac{h\gamma_m}{K}$ என்பதைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ள முடியும். எனவே, χ_m-ன் மதிப்பையும் அறிந்து கொள்ளலாம்.

$\chi_m = \frac{\theta}{T}$-ன் மதிப்பு மிகக் குறைந்தபொழுது அதாவது வெப்பநிலை (T) அதிகமானபொழுது C_v-ன் மதிப்பு ட்யூலாங், பெட்டிட் விதியால் கொடுக்கப்படும் மதிப்பான 6·4-க்கு அருகில் இருக்கிறது. ஆனால் T குறையும்பொழுது, அதாவது $\chi_m = \frac{\theta}{T}$ அதிகமாகும்பொழுது, C_v-ன் மதிப்பு மிக வேகமாகக் குறைகிறது.

xm-ன் மதிப்பு ஈறிலி (infinity) யாகும் பொழுது,

$$\int_0^{xm} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \frac{\pi^4}{15}.$$

இத்துடன் ஒப்பிடும்பொழுது (9) ஆவது சமன்பாட்டிலுள்ள இரண்டாவது உறுப்பான (Term)

$$\left(\frac{xm}{e^{x}m-1}\right)\text{-ன்}$$

மதிப்புப் புறக்கணிக்கத் தக்கது.

$$\text{எனவே (9) - லிருந்து } Cv = 9R\left(\frac{4}{xm^3}\right)\frac{\pi^4}{15}$$

$$= \frac{12}{5}\pi^4 R \frac{T^3}{\theta^3}$$

எனவே, குறைந்த வெப்பநிலைகளில் வெப்ப எண் தனி வெப்ப நிலையின் மும்மடிக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது என்று விளங்கும். இதுவே டீபையின் T^3 விதி எனப்படுகிறது. சோதனைகளிலிருந்து கிடைக்கும் முடிவுகள் டீபையின் தத்துவத்தால் கொடுக்கும் மதிப்புகளுடன் ஓரளவுதான் ஒத்திருக்கின்றன.

மாதிரிக் கணக்குகள்

மாதிரி 1

·4 கிலோ கிராம் நிறையுள்ள ஒரு செப்புக் கோளத்தில் 6 லிட்டர் காற்று 0°C வெப்பநிலையிலும் படித்தர அழுத்தத்திலும் இருக்கிறது. 100°C வெப்பநிலையிலுள்ள உலர்ந்த நீராவியினுள் வைக்கப்பட்டதும் இதன்மேல் 7·71 கிராம் நீர் படிகிறது, N.T.P.-ல் காற்றின் அடர்த்தி = ·00129 கி. கிராம்/லிட்டர் என்றும் செம்பின் வெம்பஎண் = ·1 என்றும், நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் = 538 கி. கேலரி/கிராம் என்றும் எடுத்துக்கொண்டு காற்றின் பருமமாறு வெப்ப எண்ணைக் கணக்கிடுக.

காற்றின் நிறை = 6 × ·00129 கி. கிராம்.

வாயுவின் வெப்ப ஏற்பு = 6 × ·00129 × 100 C_V கி. கேலரி.

கோளத்தின் வெப்ப ஏற்பு = ·4 × ·1 × 100 கி. கேலரி.

நீராவியின் வெப்ப இழப்பு = 7.71 × 538 × 10^{-3} கி. கேலரி.

மொத்த வெப்ப ஏற்பு = மொத்த வெப்ப இழப்பு

$$\therefore 6 \times \cdot 00129 \times 100\, C_v + 4 = 7{\cdot}71 \times 538 \times 10^{-3}$$

$$= 4{\cdot}148$$

$$\therefore \quad C_v = \frac{\cdot 148}{6 \times \cdot 00129}$$

$$= \cdot 191 \text{ கி. கேலரி/கி. கிராம்.}$$

வினாக்கள்

1. கலவை முறையில் ஒரு பொருளின் வெப்ப எண்ணைக் காண்பதற்கான சோதனையை விவரித்துக் கூறுக. அதில் குளிர்வுத் திருத்தத்தைக் காண்பதற்கான முறையை விளக்குக.

2. நியூட்டன் குளிர்வு விதியைப் பயன்படுத்தி ஒரு திரவத்தின் வெப்ப எண்ணைக் காணும் முறையை விளக்குக.

3. புன்ஸன் பனிக்கட்டிக் கேலரி மீட்டரின் அமைப்பையும் பயனையும் விவரித்துக் கூறுக.

4. ஒரு திடப்பொருளின் வெப்ப எண்ணை நீராவிக் கேலரி மீட்டர் முறையில் காண்பதற்கான சோதனையை விளக்கிக் கூறுக.

5. ஒரு வாயுவின் இரு வெப்ப எண்களை வரையறுக்கவும், அதன் அழுத்தமாறு வெப்ப எண்ணைக் காண்பதற்கான சோதனையை விவரிக்கவும்.

6. ஜாலி பகு நீராவிக் கேலரி மீட்டரின் அமைப்பை விளக்குக. அதைப் பயன்படுத்தி ஒரு வாயுவின் பருமன் மாறு வெப்ப எண்ணைக் காண்பதெப்படி என்று விளக்கிக் கூறுக.

7. திடப்பொருளின் வெப்ப எண் பற்றிய கொள்கைகளைச் சுருக்கமாகக் கூறுக.

8. 0·01 கிலோ கிராம் நிறையுள்ள காற்றுக்கு அதன் வெப்ப நிலை 0°C யிலிருந்து 5°C வரை உயருமாறு வெப்பமூட்டப் படுகிறது. இதனால் அதற்கு ஏற்படும் அக ஆற்றலின் மாறு தலைக் கணக்கிடுக. (பருமன் மாறுக் காற்றின் வெப்ப எண் = 170 கேலரி / கி. கிராம் / C.) [8·5 கேலரி]

9. டியூலாங்க்பெடிட் விதியைக் கூறுக. திடப்பொருளின் வெப்ப எண்ணுக்கான டிபை கொள்கையைத் தருக.

நெர்ன்ஸ்ட் வெற்றிடக் கேலரி மீட்டரை விவரித்து அது எவ்வாறு குறைந்த வெப்பநிலேயில் வெப்ப எண் ணைக் காணப் பயன்படுத்தப்படுகிறது என்பதைச் சுருங்கக் குறிப்பிடுக.

10. ஒரு பொருள் 50°C வெப்பநிலேயிலிருந்து 40°C வெப்ப நிலேக்குக் குளிர 3 நிமிடம் எடுத்துக் கொள்கிறது. 40°C வெப்பநிலேயை அடைந்த காலத்திலிருந்து 2 நிமிடத் திற்குப் பின் அதன் வெப்ப நிலே என்ன என்று கணக் கிடுக. [33·3°C]

4. நிலை மாற்றம்

(Change of State)

(A) உருகுதல் (Fusion)

1. உருகு நிலை

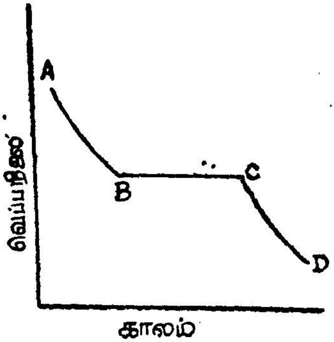
ஒரு திடப்பொருளைச் சூடேற்றும்பொழுது ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைவரை அதன் வெப்பநிலை உயரும். குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையை அடைந்ததும் அந்தப் பொருள் உருகும். ஆகையால் அந்த வெப்பநிலை உருகுநிலை (melting point) எனப்படுகிறது. மாறாக ஒரு திரவம் குளிர்விக்கப்பட்டால் ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலைவரை அதன் வெப்பநிலை குறையும். குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையை அடைந்ததும் திரவப் பொருள் திடப்பொருளாக மாறும். எனவே, இந்த வெப்பநிலை **உறைநிலை** (freezing point) எனப் படுகிறது.

படிகத்தன்மை கொண்ட (பனிக்கட்டி போன்ற) ஒரு பொருளின் உருகுநிலையும் உறைநிலையும் ஒன்றாக இருக்கும். உருகுதல் அல்லது உறைதல் பூர்த்தியடையும் வரை அதன் வெப்ப நிலை சற்றும் மாறுவதில்லை. அதன் குளிர்வுக்கோடு படம் 44-ல் காட்டியபடி இருக்கும். இப் படத்தில் BC என்ற கிடைக்கோடு உருகுநிலை, உறைநிலை இரண்டும் ஒரே மதிப்பை உடையன என்பதைக் காட்டுகிறது.

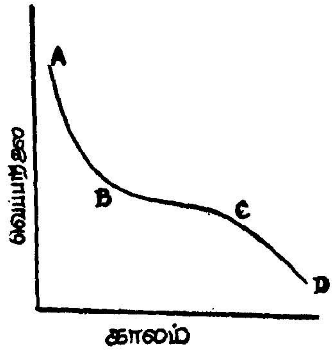
படிகத்தன்மையற்ற (மெழுகு, கண்ணாடி போன்ற) பொருளின் குளிர்வுக்கோடு வரைபடம் 45-ல் காட்டியவாறு இருக்கும். இதில் BC பகுதி கிடைக்கோடாக இல்லாமல் சற்றுச் சரிந்து வளைந்துள்ளது. உறைதல் அல்லது உருகுதல் முழுவதும் ஒரே வெப்ப நிலையில் ஏற்படுவதில்லை என்பதை இது காட்டுகிறது. மேலும உறைநிலை உருகுநிலையைவிடச் சற்று அதிகமான மதிப்பை உடையது என்பதையும் படம் காட்டுகிறது. உருகும்பொழுது வெப்பநிலை சற்று ஏறும். அதைப்போல் உறையும்பொழுது வெப்பநிலை சற்று இறங்கும்.

கற்பூரம் போன்ற சில திடப்பொருட்களைச் சூடேற்றும் பொழுது அவை திரவப்பொருள்களாக மாறாமல் நேரிடையாக

வாயுப் பொருட்களாக மாறிவிடுகின்றன. இதைப் **பதங்கமாதல்** **(sublimation)** என்று அழைக்கிறோம். இத் தன்மையுள்ள



படம் 44.



படம் 45.

பொருள் தகுந்த அதிக அழுத்தத்தில் சூடேற்றப்பட்டால் திரவமாக மாறும்.

2. உருகு நிலையைக் காணல்

(i) **குளிர்வுக் கோட்டு முறை :** கொடுக்கப்பட்ட பொருளை ஒரு சோதனைக் குழாயில் எடுத்துத் திரவமாக மாற்றி அதன் வெப்ப நிலையை உயர்த்த வேண்டும். பின்பு அதற்குள் ஒரு வெப்பநிலை மானியை வைத்து அதைக் குளிர விடவேண்டும். அப்பொழுது அரை நிமிடத்துக்கு ஒரு முறை அதன் வெப்பநிலையைக் குறிக்க வேண்டும். பொருள் முழுதும் திடப்பொருளாக மாறி வெப்பநிலை சற்றுக் குறையும்வரை இவ்விதம் செய்ய வேண்டும். குளிர்வுக் கோடு வரைந்தால் அதில் காணும் கிடைக் கோட்டுப் பகுதிக்குரிய வெப்பநிலையே உருகுநிலையாகும்.

(ii) **ஒளி புகு தன்மைமாறுதல் முறை** (Change of transparency method): பொதுவாக ஒரு பொருளுக்குத் திடப்பொருள் நிலையில் ஒளி புகாத் தன்மையும், திரவ நிலையில் ஒளி புகும் தன்மையும் ஏற்படும். ஆகையால், கொடுக்கப்பட்ட பொருளை ஒரு சோதனைக் குழாயிலோ, நுண்துளைக் குழாயிலோ எடுத்து அதற்கு அருகில் ஒரு வெப்பநிலைமானியை வைத்துச் சூடேற்றிக்கொண்டு அதன் ஒளி புகாத தன்மையைக் கவனித்து வரவேண்டும். ஒளி புகாத் தன்மை மறைந்து ஒளி புகும் தன்மை ஏற்படும் பொழுது அதன் வெப்ப நிலையைக் குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். இவ்விதமே திரவ நிலையிலுள்ள அப் பொருளைக் குளிரவிட்டு அதன் ஒளி புகும்

தன்மை மறைந்து ஒளி புகாத் தன்மை ஏற்படும்பொழுது வெப்ப நிலையைக் குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். இவ்விதம் குறிக்கப்பட்ட இரு வெப்ப நிலைகளின் சராசரி மதிப்புப் பொருளின் உருகு நிலையைக் கொடுக்கும்.

3. உருகும்பொழுது ஏற்படும் மாறுதல்கள்

(i) **பருமன் மாறுதல்:** மெழுகும் சில உலோகங்களும் உருகும் பொழுது அவற்றின் பருமன் அதிகமாகும். பனிக்கட்டி, பிஸ்மத், ஆன்டிமனி, டைப் உலோகம் ஆகிய பொருள்கள் உருகும்பொழுது அவற்றின் பருமன் குறையும்.

(ii) **ஆவி அழுத்தம் மாறுதல்:** ஆவி அழுத்தம் வெப்ப நிலையைப் பொறுத்துத் தொடர்ச்சியாக மெதுவாக மாறும். ஆனால், உருகு நிலையில் அது தொடர்ச்சியற்றவாறு விரைவாக மாறுகிறது.

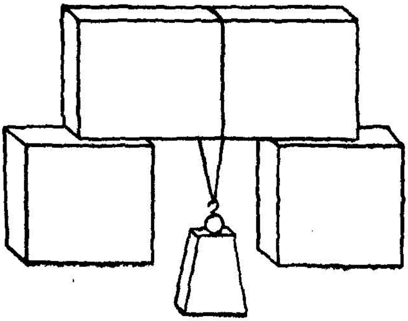
(iii) **மின்தடை மாறுதல்:** ஒரு பொருள் உருகும்பொழுது அதன் மின்தடை மாறுகிறது. அதனால் அதன் மின் கடத்துத் திறன் மாறுகிறது. பொதுவாக, உருகும்பொழுது பெருக்க மடையும் பொருள்களின் மின் கடத்துத் திறன் உருகுதலினால் குறைவுபடும். அதுபோல! உருகும்பொழுது சுருங்கும் பொருள் களின் மின் கடத்துத் திறன் உருகுதலினால் அதிகமாகும்.

(iv) **கரைக்கும் திறன் மாறுதல்:** ஒரு பொருள் உருகும் பொழுது அதன் கரைக்கும் திறன் மிகவும் மாறுகிறது.

4. உருகு நிலையும் அழுத்தமும்—உருகி உறைதல் (Regelation)

அழுத்தம் மாறும்பொழுது ஒரு பொருளின் உருகு நிலையும் மாறும். வெப்ப இயக்கவியல் விதிகளைக் (Laws of Thermodynamics) கொண்டு அழுத்த மாறுபாட்டினால் உருகு நிலையிலேற்படும் மாறுதலைக் கணக்கிட முடியும். உருகும்பொழுது பெருக்க மடையக்கூடிய மெழுகு போன்ற பொருள்களின் உருகுநிலை அழுத்த உயர்வால் உயர்த்தப்படுகிறது. உருகும்பொழுது சுருங்கக்கூடிய பனிக்கட்டி போன்ற பொருள்களின் உருகுநிலை அழுத்த உயர்வால் குறையும். இப் பொருள்களில் அழுத்த உயர்வு பரும அளவைக் குறைப்பதில் உதவி செய்வதால் சற்றுக் குறைந்த வெப்ப நிலையிலேயே பொருள் உருகிவிடுகிறது. அழுத்தம் ஒரு வளி அழுத்த அளவு உயரும்பொழுது பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை ·0072°C அளவு குறைகிறது.

பனிக்கட்டியின் உருகி உறைதல் (Regelation) என்னும் சோதனை அழுத்த மாறுபாட்டால் பனிக்கட்டியின் உருகு நிலையில் ஏற்படும் மாறுதலை நன்கு விளக்குகிறது. ஒரு பெரிய பனிக் கட்டியை ஒரு முறை சுற்றியுள்ள உலோகக் கம்பியில் ஒரு பெரிய பளு தொங்கவிடப்படுமாயின் கம்பி பனிக்கட்டியின் வழியே இறங்கும். ஆனால், பனிக்கட்டி ஒரே கட்டியாக இருக்கும். இதனைக் கீழ்க் கண்டவாறு விளக்கலாம். கம்பிக்கு அடியில் உள்ள பாகத்தில் அழுத்த மிகுதிப்பாட்டினால் உருகு நிலை 0°C-க்குக் கீழ்க் குறைகிறது. ஆகையால், உருகு நிலையை விட அதிக வெப்ப நிலையில் உள்ள பனிக்கட்டி நீராக மாறுகிறது. இந்த நீரில் கம்பி இறங்கியவுடன் நீரிலிருந்து அதிக அழுத்தம் நீங்கிவிடுகிறது. இதனால் அதன் உருகுநிலை இயல்பான மதிப்புக்கு (0°C-க்கு) உயர்த்தப்படுகிறது. மேலும் இதிலுள்ள வெப்பம் கம்பியினால் கடத்தப்பட்டுக் கம்பிக்குக் கீழுள்ள பனிக்கட்டியை உருக்கப் பயன் படுகிறது. ஆகையால், கம்பிக்கு மேலே உள்ள நீர் உடனே உறைந்துவிடுகிறது. இவ்விதம் கம்பி முழுவதும் கீழே இறங்கிய பின்பும் பனிக்கட்டி ஒரே கட்டியாக இருப்பதைப் பார்க்கிறோம்.



படம் 46.

இவ்வாறே பனிக்கட்டி மலை (glacier) நகருவதற்கான காரணத்தை விளக்கலாம். இரு பனிக்கட்டிகளை ஒன்றோடொன்று வைத்து அழுத்தினால் அவை ஒட்டிக்கொள்கின்றன என்று இந்தத் தத்துவத்தின் அடிப்படையில் காண்பிக்கலாம்.

5. கரைசலின் உறைநிலை (Freezing point of a solution)

ஒரு கரைசலின் உறைநிலையானது தூய கரைப்பானின் உறைநிலையைவிடக் குறைவாக இருக்கிறது. இவ்விதம் உறை நிலையிலேற்படும் தாழ்வு கரைசலின் அடர்த்திக்கு நேர் விகிதத்தி லிருக்கிறது. ஒரு கிராம் மூலக்கூறு நிறையுள்ள கரைபொருள் 100 கிராம் நீரில் கரைக்கப்படும்பொழுது ஏற்படும் உறைநிலைத் தாழ்வானது எல்லா மின்பகாப் (non-electrolyte) பொருள்களுக்கும் ஒரே அளவாக வுள்ளது. இது மூலக் கூறு உறைநிலைத் தாழ்வு (Molar depression of Freezing point) எனப்படுகிறது. இதன்

மதிப்பு ஏறத்தாழ 18·3°C ஆகும். மின்பகு பொருள்களின் கரைசலிலும் உறைநிலைத் தாழ்வு ஏற்படுகிறது. இவற்றிலேற்படும் உறைநிலைத் தாழ்வு மின்பகாப் பொருள்களின் கரைசலில் ஏற்படுவதைவிட அதிகமாக இருக்கிறது, மின்பகு பொருள்களுக்கு மூலக்கூறு உறைநிலைத் தாழ்வு ஏறத்தாழ 36·2°C ஆகும்.

சோடியம் குளோரைடு (சமையல் உப்பு) கரைசலின் வெப்ப நிலையைக் குறைக்கும்பொழுது அதன் செறிவுக்குத் தக்கவாறு ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையை எய்தியதும் ஒரு பகுதி நீர் பனிக் கட்டியாக மாறிப் பிரிந்துவிடும். இதனால் மிகுதியுள்ள கரைசலின் அடர்த்தி அதிகமாகும். இவ்வாறு வெப்பநிலை படிப்படியாகக் குறையும்பொழுது கரைசலின் அடர்த்தி அதிகமாகிறது. ஆனால், -23^{0} செ. கி. வெப்பநிலையை அடைந்ததும் பனிக்கட்டி உப்புடன் சேர்ந்து பிரியும். இவ்விதம் கூட்டாகப் பிரியும் பொருள் **கிரையோ ஹைட்ரேட்** (Cryohydrate) எனப்படுகிறது. இதில் உப்பின் சத விகிதம் ஏறத்தாழ 23·6 ஆகும். வெப்பநிலை -23^{0}C-க்குக் கீழ்க் குறைக்கப்பட்டால் கரைசல் முழுவதும் உறைந்துவிடுகிறது. இந்த வெப்பநிலை **கூறமைதி வெப்ப நிலை** (Eutectic temperature) எனப்படும்.

6. உருகுதலின் விதிகள் (Laws of fusion)

ஒரு பொருள் உருகும்பொழுது அது கீழ்க்கண்ட விதிகளுக் குட்படுகிறது.

(i) ஒவ்வொரு திடப்பொருளும் அழுத்தத்திற்குத் தகுந்தவாறு ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்ப நிலையில் உருகுகிறது. அழுத்தம் மாறாதிருக்கும்பொழுது உருகுநிலை ஒரே மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும்.

(ii) உருகுநிலையை எய்தியதும் திடப்பொருள் முழுவதும் உருகும்வரை வெப்பநிலை மாறுவதில்லை.

(iii) ஒரு கிலோ-கிராம் திடப்பொருளை அதன் உருகுநிலையில் வெப்ப நிலை மாறாமல் திரவமாக மாற்றுவதற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பம் தேவை. அந்த வெப்பம் **உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம்** (Latent heat of fusion) எனப்படுகிறது.

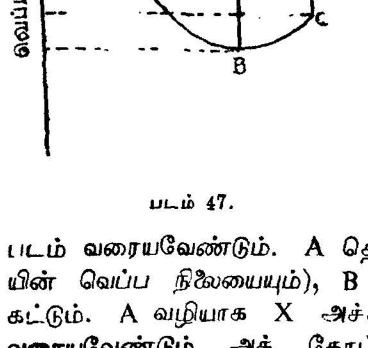
(iv) உருகும்பொழுது பெருக்கமடையும் மெழுகு போன்ற பொருள்களின் உருகுநிலை அழுத்த உயர்வால் அதிகமாகும். உருகும்பொழுது சுருங்கக்கூடிய பனிக்கட்டி போன்ற பொருள் களின் உருகுநிலை அழுத்த உயர்வால் தாழ்வுறும்.

7. உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பத்தைக் காணல்

(i) கலவை முறையில் பனிக்கட்டியின் உள்ளுறை வெப்பத்தைக் காணல் : கம்பி வலைக் கலக்கியுடன் கூடிய ஒரு கேலரி மீட்டரின் நிறையை (w_1) முதலில் தெரிந்துகொள்ளவேண்டும். அதில் சிறிது நீர் எடுத்து மீண்டும் நிறையைக் (w_2) காணவேண்டும். தொடக்க வெப்பநிலையைக் (θ_1) குறித்தபின் துணி அல்லது மையொற்று தாளால் உலர்த்தப்பட்ட சிறு பனிக்கட்டித் துண்டுகளைக் கேலரி மீட்டருக்குள் போட்டு நன்ருகக் கலக்கி ஏற்படும் சிறும வெப்பநிலையைக் (θ_2) குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். இறுதியில் உருகிய பனிக்கட்டி நீர் ஆகியவற்றுடன் கூடிய கேலரி மீட்டரின் நிறையைக் (w_3) காணவேண்டும். கேலரி மீட்டரின் வெப்ப எண் s_1 எனவும், பனிக்கட்டியின் உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம் L எனவும் கொள்வோமாயின்,

$$(w_3-w_2)\,L + (w_3-w_2)\,\theta_2 = (w_1s_1 + w_2-w_1)\,(\theta_1-\theta_2)$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து L-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். சுற்றுப்புற வெப்பநிலையைவிடக் கேலரி மீட்டரின் இறுதி வெப்பநிலை குறைந்ததாக இருப்பதால் சுற்றுப்புறத்திலிருந்து கேலரி மீட்டர் வெப்பத்தை ஏற்கும். இதனுல் ஏற்படும் பிழைக்குக் கீழ்க் கண்டவாறு திருத்தத்தைச் சேர்த்துக்கொள்ளவேண்டும்.



படம் 47.

கேலரி மீட்டருக்குள் பனிக்கட்டித் துண்டுகளைப் போட்ட அத்தருணத்திலேயே ஒரு நிறுத்து கடிகாரத்தை இயக்கி அரை நிமிடத்திற்கு ஒரு முறை வெப்ப நிலையைக் குறித்துவர வேண்டும். சிறும வெப்பநிலையை யடைந்து அதன் பின் கிட்டத்தட்ட ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு வெப்பநிலை உயரும்வரை இவ்விதம் வெப்பநிலைகளைக் குறிக்க வேண்டும். காலத்தை X அச்சிலும், வெப்பநிலையை Y அச்சிலும் குறித்து ABC என்ற ஒரு வரைபடம் வரையவேண்டும். A தொடக்க வெப்பநிலையையும் (அறையின் வெப்ப நிலையையும்), B சிறும வெப்ப நிலைமையும் குறிக்கட்டும். A வழியாக X அச்சுக்கு இணையாக ஒரு கோட்டை வரையவேண்டும். அக் கோட்டிற்குக் குத்தாக B, C என்ற

புள்ளிகளிலிருந்து BM, CN என்ற கோடுகள் வரையவேண்டும். ABM, MBCN ஆகியவற்றின் பரப்பளவுகளை அளந்து முறையே S_1, S_2 எனக் கொள்வோம். MN காலத்திலேற்பட்ட வெப்பநிலை உயர்வு y என்றும், AM காலத்திலேற்பட்ட வெப்பநிலை உயர்வு x என்றும் கொள்வோமாயின்.

$$\frac{x}{y} = \frac{S_1}{S_2}$$

$$\therefore \quad x = \frac{S_1}{S_2} y.$$

y-ன் மதிப்புத் தெரியுமாதலால் x-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம். இப்பொழுது திருத்தப்பட்ட வெப்பநிலையை $(\theta_2 - x)$ எனக் கொள்ளவேண்டும். இச் சோதனையில் கிடைக்கும் சிறும வெப்ப நிலையானது பனி நிலைக்குக் (dew point) கீழ்க் குறையாமல் இருக்க வேண்டும். அவ்வாறு குறையுமாயின் காற்றிலுள்ள நீராவி கேலரி மீட்டரின் மேல் நீர்த்திவலைகளாகப் படியும். இதனால் வெளிவிடப் படும் வெப்பத்தைக் கேலரி மீட்டர் ஏற்குமாதலால் பிழை உண்டாகும்.

8. மீக்குளிர் தன்மை (Super cooling)

தூய திரவப்பொருள் மாசற்ற பாத்திரம் ஒன்றில் வைக்கப் பட்டு அசைக்கப்படாமல் குளிர்விக்கப்பட்டால் உறைதல் ஏற்படாம லேயே அது அதன் இயல்பான உறைநிலைக்குச் சற்றுக் கீழே குளிர்வடையும். இப் பண்பு **மீக்குளிர் தன்மை** எனப்படும். ஏதாவது அசைவோ, தூசு படிதலோ ஏற்படின் திரவம் விரைவாக உறைய ஆரம்பிக்கும். இதனால் வெளிப்படும் உள்ளுறை வெப்பத்தின் ஒரு பகுதி திரவத்தின் வெப்பநிலையை இயல்பான உறைநிலைக்கு உயர்த்தும்.

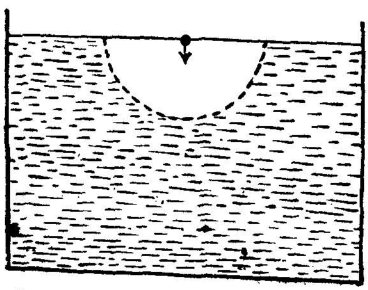
(B) ஆவியாதல் — (Vaporisation)

9. ஆவியாதலும் கொதித்தலும் (Evaporation and Boiling)

ஒரு பொருள் திரவநிலையிலிருந்து வாயுநிலைக்கு மாறுவது இரு முறைகளில் நடைபெறுகின்றன. அவையாவன : (i) தானாகவே ஆவியாதல் முறை (Evaporation,), (ii) கொதித்தல் முறை (Boiling). தானாகவே ஆவியாதல் எல்லா வெப்பநிலைகளிலும் நிகழ் கிறது. இது திரவத்தின் மேற்பரப்பில் மட்டுமே நடைபெறுகிறது. வெப்பநிலை உயர்வு, காற்று வீசுதல், பரப்பை அதிகரித்தல் முதலியன ஆவியாதலின் வீதத்தை அதிகப்படுத்தும். ஆவி

யாதலின்பொழுது ஆவியாவதற்குத் தேவையான உள்ளுறை வெப்பம் திரவத்திலிருந்தே எடுத்துக்கொள்ளப்படுவதால் திரவம் குளிர்ச்சியடைகிறது. இவ்வாறு திரவம் குளிர்ச்சியடைவதை இயக்கவியற் கொள்கையின் (Kinetic theory) அடிப்படையில் கீழ்க்கண்டவாறு விளக்கலாம்.

திரவநிலையிலுள்ள பொருளின் மூலக்கூறுகள் அங்குமிங்குமாகப் பல்வேறு வேகங்களுடன் இயங்கி ஒன்றுக்கொன்று மோதிக்கொள்கின்றன. அவற்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் வெப்பநிலைக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் அதனைச் சுற்றி ஒரு குறிப்பிட்ட தூரம்வரையுள்ள மற்ற மூலக் கூறுகளால் ஈர்க்கப்படுகிறது. திரவத்தின் உட்பகுதியிலுள்ள மூலக்கூறுகள் எல்லாத் திசைகளிலும் சமமாக ஈர்க்கப்படுகின்றன. ஆனால் திரவத்தின் பரப்பிலுள்ள மூலக் கூறுகள் திரவத்திற்குள் ஈர்க்கப்படுகின்றன. இருப்பினும் ஆற்றல் மிகுந்த மூலக்கூறுகள் இந்த விசையை மீறி திரவத்திலிருந்து வெளியேறக் கூடும். இவ்விதம் ஆற்றல் மிகுந்த மூலக்கூறுகள் திரவத்திலிருந்து வெளியேறுவதே ஆவியாதலாகும். எனவே, ஆவியாதலின் பொழுது திரவத்தில் எஞ்சியிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் சராசரி ஆற்றல் படிப்படியாகக் குறையும். இதன் காரணமாக திரவம் குளிர்ச்சியடைகிறது.



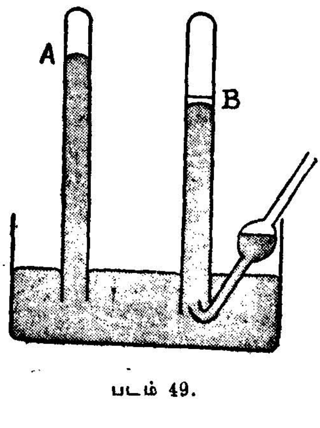
படம் 48.

ஒரு திரவத்தைச் சூடேற்றும்பொழுது அதன் வெப்பநிலை ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பை அடைந்ததும் ஆவிக்குமிழிகள் திரவத்திற்குள்ளிருந்து கிளம்பி வெளிவந்து மறைகின்றன. இதனால் திரவம் மிக விரைவாக ஆவியாகும். இம்முறையில் திரவம் ஆவியாதலைக் கொதித்தல் என்று கூறுகிறோம். திரவம் கொதிக்க ஆரம்பித்ததும் திரவம் முழுவதும் ஆவியாகும்வரை அதன் வெப்பநிலை உயர்வதில்லை. திரவத்தில் கொதித்தல் ஏற்படும் வெப்பநிலை அதன் **கொதிநிலை** (boiling point) எனப்படும்.

10. ஆவி அழுத்தம் (Vapour pressure)

ஒரு மூடிய இடத்திலேற்படும் ஆவி அழுத்தத்தின் பண்புகளைப் பற்றி ஆராய்வோம். இதற்குக் கீழ்க்கண்ட சோதனையைச்

செய்யலாம் A, B ஆகிய இரு பாரமானிகள் ஒரு கிண்ணத்தி லுள்ள பாதரசத்தில் பொருத்தப்பட்டுள்ளனவாகக் கொள்வோம். ஒரு வளைகுழாயின் உதவியால் B பாரமானிக்குள் சிறிது திரவத் தைச் செலுத்துவோமாயின் அது முழுவதும் ஆவியாகி அந்தப் பாரமானியின் பாதரச மட்டத்தைச் சற்றுக் கீழே தள்ளும். இரு பாதரசத் தம்பங்களின் உயர வேறுபாடு ஆவியின் அழுத்தத்தைக் காட்டும். மேலும் சிறிது திரவத்தை B-யினுள் செலுத்தும்பொழுது ஆவி அழுத்தம் அதிகமாவதைக் காணலாம். இவ்விதம் திரவத்தைச் சிறிது சிறிதாக B-யினுள் செலுத்தும்பொழுது ஆவி யழுத்தம் அதிகமாகி ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பை அடைந்த பிறகு அது மாறுமலிருப்பது காணப்பெறும். இந்த நிலையில் பாதரச மட்டத்திற்குமேல் சிறிது திரவம் ஆவியாக மாருமல் திரவமாகவே இருப்பதும் தென்படும். இந்த நிலையில் திரவத்துக்கும் ஆவிக்கு மிடையே இயக்கச் சமநிலை (dynamical equilibrium) இருக்கிறது. ஏனெனில், உண்மையில் திரவத்திலிருந்து ஒவ்வொரு விநாடியும் சில மூலக்கூறுகள் ஆவியுள்ள பகுதிக்குச் செல்கின்றன. ஆனால், அந்தக் கால இடைவெளிகளில் சம எண்ணிக்கையுள்ள மூலக் கூறுகள் ஆவியிலிருந்து திரவத்துக்குச் செல்கின்றன. எனவே, ஆவியின் அடர்த்தி அல்லது செறிவு மாருமல் ஒரே மதிப்பைப் பெற்றிருக்கிறது. இந்த நிலையிலுள்ள ஆவியை **தெவிட்டிய ஆவி** (saturated vapour) அல்லது நிறை செறிவு பெற்ற ஆவி என்றழைக் கிரோம். இந்த நிலையிலுள்ள ஆவி விளைவிக்கும் அழுத்தம் **தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம்** (saturated vapour pressure) எனப்படும். ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் தெவிட் டிய ஆவி அழுத்தத்தைவிடக் குறைந்த ஆவி அழுத்தத்தைக் கொடுக்கும் ஆவி **தெவிட்டா ஆவி** (unsaturated vopour) எனப்படும். தெவிட்டா ஆவி விளைவிக்கும் அழுத்தம் **தெவிட்டா ஆவி அழுத்தம்** (unsaturated vapour pressure) என்று கூறப்படும்.



படம் 49.

11. தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தின் பண்புகள்

(i) ஒரு மூடிய கலத்தினுள் திரவம் இருக்கும்பொழுது திரவத்திற்கு மேலேயுள்ள ஆவி தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தைக் கொடுக்கிறது. கலத்தின் கொள்ளளவை அதிகப்படுத்தினுல்

மேலும் சிறிது திரவம் ஆவியாகி முன்பு இருந்த அழுத்தத்தையே கொடுக்குமாறு செய்யும். இவ்வாறே கலத்தின் கொள்ளளவைக் குறைக்கும்பொழுது ஆவியின் ஒரு பகுதி திரவமாக மாறிவிடும். இதனுல் ஆவி விளைவிக்கும் அழுத்தம் அதிகமாவதில்லை. எனவே, தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் பருமனைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை. அதாவது தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் பாயிலின் விதிக்குட்படுவதில்லை.

(ii) வெப்பநிலை அதிகமாகும்பொழுது தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் சற்று வேகமாக அதிகமாகிறது. இது அதிகமாகும் வீதம் சார்லஸ் விதிப்படி இருப்பதில்லை

(iii) ஒரு மூடிய இடத்திலுள்ள ஆவி அழுத்தம் மற்ற ஆவிகளோ, வாயுக்களோ அந்த இடத்தில் இருப்பதனுல் பாதிக்கப்படுவதில்லை.

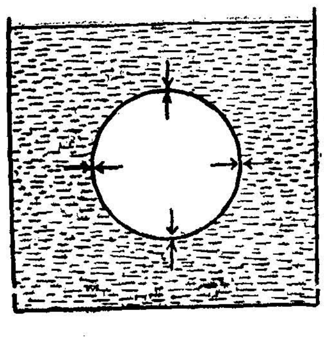
ஆனுல் தெவிட்டா ஆவி அழுத்தம் ஏறத்தாழ பாயிலின் விதிக்கும், சார்லஸ் விதிக்கும் உட்படுகிறது. ஆகையால் தெவிட்டா ஆவி பெரும்பாலும் வாயுவின் பண்புகளைக் கொண்டிருக்கிறது.

12. தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தமும் கொதி நிலையும்

கொதிநிலையில் திரவத்திற்குள் ஆவிக் குமிழிகள் உண்டாகி திரவத்தின் மேற்பரப்பை அடைகின்றன. அவ்விதம் உண்டான ஒரு குமிழிக்குள்ளும் வெளியிலும் செயற்படும் அழுத்தங்களைக் கவனிப்போம். குமிழிக்குள் அதன் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் செயற்பட்டுக் குமிழின் பருமனைப் பெருக்குமாறு உள்ளது. இந்த அழுத்தத்தை p எனக் கொள்வோம். வளி அழுத்தத்தை A எனக் கொள்வோம். குமிழி திரவத்திற்குள் h செ. மீ. ஆழத்தில் இருப்பதாகவும் திரவத்தின் அடர்த்தி d எனவும் கொள்வோமாயின், குமிழியின் வெளிப்புற அழுத்தம் $= A + hdg$. இந்த அழுத்தம் குமிழியைச் சுருங்கச் செய்யுமாறுள்ளது. இதைத் தவிரப் பரப்பு இழுவிசையும் குமிழியைச் சுருங்கச் செய்யும் தன்மை கொண்டது. குமிழியின் ஆரம் r எனவும், திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை (surface tension) T எனவும் கொள்வோமாயின் பரப்பு இழுவிசையினுல் ஏற்படும் பயனுனது குமிழுக்கு வெளிப்புறம் $\frac{2T}{r}$ அழுத்தம் இருப்பதற்குச் சமமாகும். ஆகையால், குமிழி சுருங்கி அழிந்துவிடாமலிருக்க வேண்டுமானுல்,

$$p = \frac{2T}{r} + hdg + A.$$

குமிழி திரவ மட்டத்திலிருந்த அதிக ஆழத்திலில்லாதிருப்பின் A உடன் ஒப்பிடும்பொழுது hdg-ன் மதிப்பு புறக்கணிக்கத்தக்க தாகும். அதேபோல் குமிழியின் ஆரம் சற்றுப் பெரியதாயிருப்பின் $\frac{2T}{r}$-ன் மதிப்பும் புறக்கணிக்கக் கூடியதாகும். எனவே, $p=A$ என்ற நிலையில் குமிழி உருவாகி வெளிவர முடியும். ஆனால் p என்பது Aஐவிடக் குறைவாக இருப்பின் குமிழி உருவாகாது. ஆகையால் ஒரு திரவத்தின் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் திரவத் திற்கு மேலுள்ள அழுத்தத்திற்குச் சமமாகக்கூடிய வெப்பநிலையில் அந்தத் திரவம் கொதிக்கும். அதாவது, கொதிநிலையில் திரவத் தின் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் வெளி அழுத்தத்திற்கு, அதாவது, திரவத்தின் மேலுள்ள அழுத்தத்திற்குச் சமமாகும். இதன் காரணமாக வெளி அழுத்தம் அதிகரிக்கப்படுமாயின் கொதிநிலை உயரும். மேலும் திரவத்தில் தூசுகளோ காற்றோ இல்லாதிருக்கு மாயின், பரப்பு இழுவிசையின் பயனை ஈடுசெய்வதற்காக இயல் பான கொதிநிலைக்குச் சற்று அதிகமான வெப்பநிலையில்தான் ஆவிக்குமிழிகள் உண்டாகும். இது மீசூட்டுத் தன்மை (superheating) எனப்படும். இந் நிலையில் உண்டாகும் ஆவிக்குமிழியின் ஆரம் ஆரம்பத்தில் சிறியதாகத்தான் இருக்க முடியும். குமிழியின் பருமன் சற்றுப் பெரியதானதும் பரப்பு இழுவிசையின் பயன் குறையு மாதலால் அது மேலும் பெரியதாகும். இவ்விதத் தொடர்முறைப் பயனால் குமிழி திடீரென்று பெரிய தாகி வெடிக்கும். இதன் காரண மாக திரவத்தின் ஒரு பகுதி சற்று மேலே தூக்கி எறியப்படுவதும் பின்பு அது கீழே விழுவதுமான நிகழ்ச்சி ஏற்படும். இவ்வித நிகழ்ச்சி **எகிறிக் கொதித்தல்** (boiling with bumping) என்று கூறப்படுகிறது. திரவத்திற்குள் மணலையோ, பீங்கான் துண்டு களையோ வைத்துச் சூடேற்றினால் இவ்வித எகிறிக் கொதித்தல் ஏற் படாது. இவற்றிலுள்ள காற்றுக்

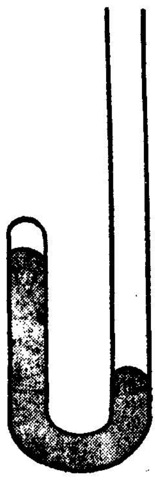


படம் 50.

குமிழிகளை ஆதாரமாகக் கொண்டு உண்டாகும் ஆவிக் குமிழிகள் சற்று அதிகப் பருமனைக் கொண்டிருப்பதால் பரப்பு இழுவிசையின் பயன் அதிகமாக இருப்பதில்லை. ஆகையால் திரவம் இயல்பான கொதிநிலையிலேயே சற்று அமைதியாய்க் கொதிக்கும்.

13. ஒரு திரவத்தின் கொதிநிலையைக் காணல்

படத்தில் காட்டியவாறுள்ள ஒரு J வடிவக் கண்ணுடிக் குழாயை எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும். அதன் சிறு புயத்தின் முனை மூடப் பெற்றதாயுள்ளது. இந்தச் சிறு புயத்தையும் நீண்ட புயத்தின் ஒரு சிறு பகுதியையும் பாதரசத்தால் நிரப்ப வேண்டும். பின்பு J குழாயின் சிறு புயத்திற்குள் சிறிதளவு திரவம் செலுத்தப் படவேண்டும். சிறு புயத்திலுள்ள பாதரச மட்டம் மற்றப் புயத்தி லுள்ள பாதரச மட்டத்தைவிட உயரமான நிலையில் இருக்க வேண்டும். மேலும் மூடப்பட்டுள்ள புயத்தினுள் காற்றுக் குமிழிகள் இருக்கக்கூடாது. பின்பு குழாயை ஒரு நீர்த்தொட்டியில் வைத்து மெதுவாகச் சூடேற்ற வேண்டும். சிறு புயத்திலுள்ள திரவம் மெல்ல ஆவியாகி அப்புயத்திலுள்ள பாதரசமட்டத்தைக் கீழே தள்ளும். இதனுல் மற்றதிலுள்ள பாதரசமட்டம் ஏறும். இரு மட்டங்களும் ஒரே கிடைத்தளத்துக்கு வரும்பொழுது வெப்ப நிலையைக் குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். சிறிய புயத்திலுள்ள பாதரச மட்டம் மற்ற மட்டத்தைவிடச் சற்றுக் கீழே சென்ற பின் சூடேற்றுதலை நிறுத்திவிட்டு மெதுவாகக் குளிர விடவேண்டும். இப்பொழுது நீண்ட புயத்திலுள்ள பாதரச மட்டம் கீழே இறங்கும். மற்றது மேலேறும். மீண்டும் பாதரச மட்டங்கள் ஒரே தளத்திலிருக்கும் பொழுது வெப்பநிலையைக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். பாதரச மட்டங்கள் சமமாக இருக்கும் நிலையில மூடிய புயத்திலுள்ள தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் வெளி அழுத்தத்திற்குச் சமமாகும். ஒரு திரவத்தின் கொதிநிலையில் அதன் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் வெளி அழுத்தத்திற்குச் சமமாக இருக்குமென்று முன்பே விளக்கப்பட்டுள்ளது. எனவே, குறித்துக் கொள்ளப்பட்ட இரு வெப்பநிலைகளின் சராசரி மதிப்புத் திரவத்தின் கொதிநிலையைக் கொடுக்கும்.

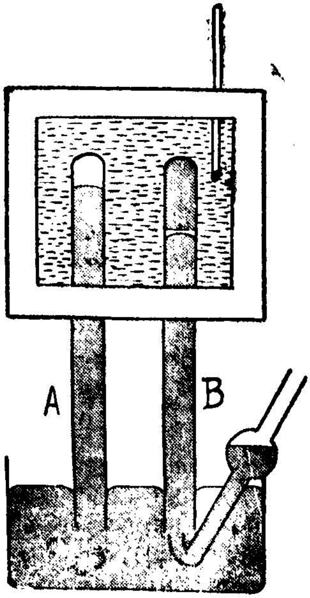


படம் 51.

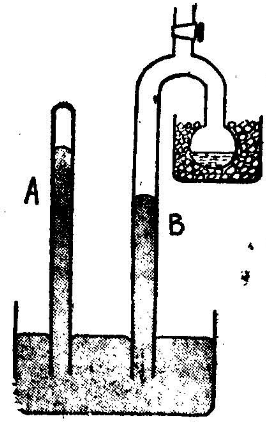
14. வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தைக் காணல்

(i) 0° — 50°C வெப்பநிலைப் பகுதியில் ரேனல்டின் முறையில் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தைக் காணல்: A, B என்ற இரு பாரமானிகள் அருகருகே அமைந்தவாறு ஒரே கிண்ணத்திலுள்ள பாதரசத்தில் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. பாரமானிகளின் மேற்

பகுதிகளைச் சூழ்ந்திருக்குமாறு கண்ணாடிச் சன்னலைக் கொண்ட ஒரு நீர்த்தொட்டி பொருத்தப்பட்டுள்ளது. B பாரமானிக்குள் சிறிது திரவம் செலுத்தப்படுகிறது, செலுத்தப்பட்ட திரவத்தின்



படம் 52.



படம் 53.

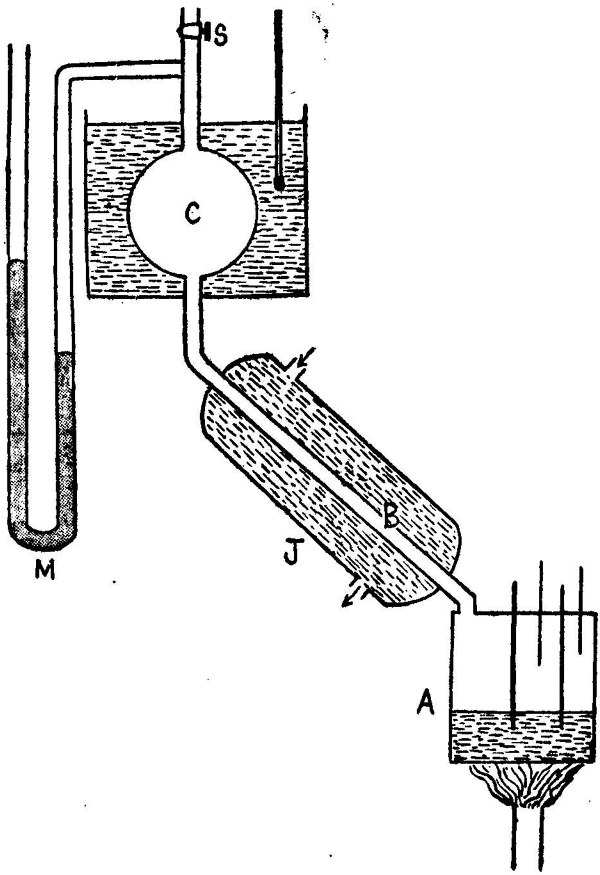
ஒரு பகுதி B-ன் பாதரசத் தம்பத்தின் மேல் ஆவியாகாமல் நிற்கும் அளவிற்குத் திரவம் செலுத்தப்பட வேண்டும். இப்பொழுது A, B இவற்றின் பாதரசத் தம்பங்களின் உயர வேறுபாடு நேரிடையாகத் தெவிட்டிய ஆவி அமுத்தத்தைக் கொடுக்கும். இந்த உயர வேறுபாட்டை ஒரு சிற்றுயர மானியின் (Cathetometer) உதவியால் நுட்பமாக அளந்து கொள்ளலாம். நீர்த்தொட்டியில் உள்ள நீருடன் பனிக்கட்டியையோ நீராவியையோ தேவையான அளவு சேர்த்துத் தொட்டியைக் குறிப்பிட்ட வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் வைத்து அந்த வெப்பநிலைகளுக்கான தெவிட்டிய ஆவி அமுத்தங்களை அளந்து கொள்ளலாம்.

(ii) **0°C-க்குக் குறைந்த வெப்பநிலைப் பகுதியில் தெவிட்டிய ஆவி அமுத்தத்தைக் காணல்-ரெனல்டினால் திருத்தியமைக்கப்பட்ட கே-லூசக்** (Gay Lusac) முறை: இம்முறையில் (படம் 53) A என்ற நேர்குழாய் பாரமானியும், உச்சியில் வளைந்து ஒரு குமிழைக் (C) கொண்ட B என்ற பாரமானியும் அருகருகே ஒரே கிண்ணத்திலுள்ள

பாதரசத்தில் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. B குழாயில் காற்று நீக்கப் பட்டபின் Bயுடன் இணைந்த C-க்குள் சிறிது திரவம் செலுத்தப்படு கிறது. இதன் காரணமாக B குழாயில் பாதரசத் தம்பமும் அதற்கு மேல் ஆவியும் உள்ளன. C குமிழ் தேவையான ஒரு குறைந்த வெப்பநிலையில் வைக்கப்படுகிறது. C-ல் உள்ள ஆவி அழுத்தம் C-ன் வெப்பநிலைக்குரிய தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தமாகும். B-ன் மேற் பகுதி C-ன் வெப்பநிலையில் இல்லை என்பது தெளிவு. இருப்பினும் அதில் உள்ள ஆவி அழுத்தம் C-ல் உள்ள ஆவி அழுத்தத்திற்குச் சமமாகும். அவ்வாறின்றி B-ல் அழுத்தம் அதிகமாயிருக்குமாயின் B-யிலிருந்து C-க்கு ஆவி செல்லும். இதனால் B-ல் அழுத்தம் குறையும். ஆனால் Cக்குச் செல்லும் ஆவி, அங்கு ஆவி அழுத்தம் தெவிட்டிய நிலையிலிருப்பதால், அந்த அழுத்தத்தை அதிகரிக் காமல் திரவமாக மாறிவிடும். இவ்வாறு B-ல் அழுத்தம் தொடர்ச்சியாகக் குறைந்து C-ன் அழுத்தத்திற்குச் சமமாக வந்ததும் Bயிலிருந்து C-க்கு ஆவி செல்லுதல் நின்றுவிடும். எனவே, B-ல் உள்ள ஆவி அழுத்தம் C-ல் உள்ள தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்திற்குச் சமம். இதனால் A, B ஆகிய பாரமானிகளின் அளவீடுகளில் உள்ள வேறுபாடு C-ல் உள்ள தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தைக் கொடுக்கும்.

(iii) **50° C-க்கு மேல் உயர்ந்த வெப்பநிலைப்பகுதியில் தெவிட் டிய ஆவி அழுத்தத்தைக் காணல்—ரெனுல்டின் முறை:** ஒரு திரவத் தின் கொதிநிலையில் அதன் தெவிட்டிய ஆவிஅழுத்தம் வெளி அழுத் தத்திற்குச் சமமாக இருக்கிறது என்ற தத்துவம் இம் முறையில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. கொடுக்கப்பட்ட திரவம் A என்ற ஒரு கொதிகலத்தில் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. கொதித்தல் அமைதி யாக இருப்பதற்காக கொதிகலத்தினுள் சிறு பீங்கான் துண்டுகளை யும் எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். இந்தக் கொதிகலம் B என்ற ஒரு சாய்ந்த குழாயால் மேல்மட்டத்திலுள்ள C என்ற ஒரு பெரிய காற்று அறையுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இக் காற்று அறை கொதிகலத்தில் ஏற்படக்கூடிய அழுத்த அலைவுகளைக் குறைக்க உதவுகிறது. சாய்ந்த B குழாய் J என்ற ஒரு குளிர் நீர் உறையி னுல் சூழப்பட்டுள்ளது. C என்ற காற்று அறையின் வெப்பநிலை மாறாதிருக்கும்பொருட்டு அது தகுந்த நீர்த்தொட்டியில் வைக்கப்பட் டிருக்கிறது, C-ன் அழுத்தத்தைக் காண்பதற்கு அத்துடன் M என்ற அழுத்தமானி இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒரு காற்று அழுத்தும் பம்பின் உதவியால் C-ன் அழுத்தத்தைத் தேவையான அளவுக்கு உயர்த்திக்கொள்ளலாம். A என்ற கொதிகலத்தில் நான்கு வெப்பநிலைமானிகள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. அவை களுள் இரண்டின் குமிழ்கள் திரவத்திற்குள்ளும், மற்ற இரண்டின்

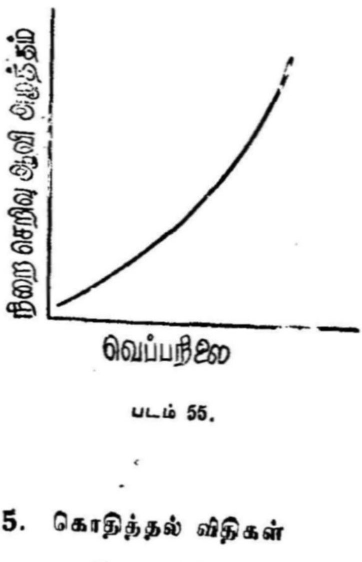
குமிழ்கள் திரவமட்டத்திற்குச் சற்று மேலேயும் இருக்குமாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளன.



படம் 54.

C-ல் தேவையான அழுத்தத்தை ஏற்படுத்தியபின் கொதி கலத்தைச் சூடேற்ற வேண்டும். கொதிகலத்தின் வெப்பநிலை உயர்ந்து ஒரு மாருத மதிப்பை அடையும். இப்பொழுது கொதி கலத்திலுள்ள திரவம் கொதிநிலையை அடைந்துவிட்டது எனலாம். இந்த நிலையில் கொதிகலத்திலிருந்து கிளம்பி B வழியே மேலே செல்லும் ஆவி J என்ற நீர் உறையால் குளிர்விக்கப்பட்டுத் திரவமாக மாறி மீண்டும் கொதிகலத்தை அடைகிறது. இதனுல்

அழுத்தம் அதிகரிக்காமல் ஒரே அளவுடையதாக இருக்கிறது. வெப்பநிலைமானிகளின் நிலையான அளவீடுகளின் சராசரி மதிப்பைக் காணவேண்டும். இதனை θ எனக் கொள்வோம்; M என்ற அழுத்தமானியால் கொடுக்கப்படும் அளவீட்டைக் குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். இந்த அளவீடு P என்போம்; இப்பொழுது P அழுத்தத்திற்குரிய கொதிநிலை θ ஆகும். ஆனால், கொதிநிலையில் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் வெளி அழுத்தத்திற்குச் சமமாக இருப்பதால், θ வெப்பநிலைக்குரிய தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் P ஆகும். இவ்வாறே அழுத்தத்தை மாற்றியமைத்து வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளுக்கான தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தங்களைக் காணலாம். ரெனால்ட் என்பவர் 28 வளி அழுத்தங்கள் வரை வெவ்வேறு அழுத்தங்களைத் தோற்றுவித்து 200°C வெப்பநிலை வரை நீரின் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தைக் கண்டார். வெப்பநிலையை X அச்சிலும், தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தை Y அச்சிலும் குறித்து வரையும் பொழுது கிடைக்கும் கோடு நேர்கோடாக இருப்பதில்லை. இதிலிருந்து தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் சார்லஸ் விதிக்குட்படுவதில்லை என்று தெரிந்து கொள்ளலாம்.



படம் 55.

15. கொதித்தல் விதிகள்

ஒரு திரவம் கீழ்க்கண்ட விதிகளுக் குட்பட்டுக் கொதிக்கிறது.

(i) ஒரு திரவத்தின் வெப்பநிலையை உயர்த்தினால் குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில் அது ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் கொதிக்கும். அந்த வெப்பநிலை கொதிநிலை எனப்படும்.

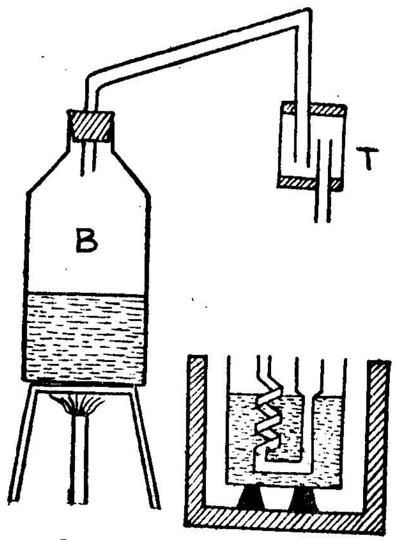
(ii) ஒரு திரவத்தின் மேலுள்ள அழுத்தம் அதிகமாகும் பொழுது அதன் கொதிநிலை உயருகிறது. கொதிநிலையில் திரவத்தின் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் வெளி அழுத்தத்திற்குச் சமமாகும்,

(iii) திரவம் கொதிக்க ஆரம்பித்தபின் திரவம் முழுவதும் ஆவியாகும் வரை அதன் வெப்பநிலை உயருவதில்லை.

(iv) திரவத்தின் கொதிநிலையில் வெப்பநிலை மாறாமல் ஒரு கிலோகிராம் திரவம் ஆவியாக மாறுவதற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பம் தேவைப்படுகிறது. இது ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் எனப்படுகிறது.

16. நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பத்தைக் காணல்

(i) **கலவை முறை:** தெரிந்த வெப்ப ஏற்புத் திறனைக் (w_1) கொண்ட ஒரு கேலரி மீட்டரில் குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள (M) நீரை எடுத்து அதற்குள் தெரிந்த வெப்ப ஏற்புத்திறனைக் (w_2) கொண்ட ஒரு சிறு வடிகலத்தை (condenser) வைத்துக்கொள்ள வேண்டும். கேலரி மீட்டரின் தொடக்க வெப்பநிலையைக் (θ_1) குறித்துக் கொண்ட பின் ஒரு கொதி கலத்தில் உற்பத்தியாகி மேல்நோக்கிச் சரிந்த குழாய் ஒன்றின் வழியாகவும் நீர்நீக்கி (water trap) ஒன்றின் வழியாகவும் செலுத்தப் பட்டதினால் உலர்ந்ததாகக் கிடைக்கும் நீராவியை வடிகலத்திற்குள் செலுத்த வேண்டும். கேலரிமீட்டரின் வெப்பநிலை ஏறத்தாழ 5°C உயர்ந்ததும் நீராவியை நிறுத்திவிட்டு கேலரி மீட்டரை நன்கு கலக்கி அதிலேற்படும் பெரும வெப்ப நிலையைக் (θ_2) குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். நீராவியின் வெப்பநிலையையும் அளந்து அதை θ எனக் கொள்வோம். வடிகலத்தை வெளியில் எடுத்து நன்றாகத் துடைத்துவிட்டு எடை காண்பதன்மூலம் அதில் நீராக மாறியிருக்கும் நீராவியின் நிறையைத் தெரிந்து கொள்ளவேண்டும். இந்த நிறையை m எனவும் நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பத்தை L எனவும் கொள்வோமாயின்,

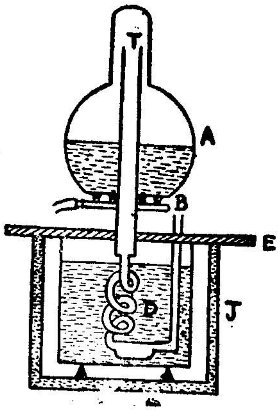


படம் 56.

$$mL + m(\theta - \theta_2) = (w_1 + w_2 + M)(\theta_2 - \theta_1)$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து L-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். இந்த முறையில் கதிர் வீச்சினால் ஏற்படும் வெப்ப இழப்புக்கு உரிய திருத்தத்தைச் செய்துகொள்ள வேண்டும்.

(ii) **பெர்த்தலாட் (Berthelot) முறை :** இந்த முறையில் ஒரு சிறப்பு அமைப்பைக் கொண்ட கொதிகலம் பயன்படுத்தப் படுகிறது. இந்தக் கொதிகலத்தின் வெளியேற்றுக் குழாய் (T) கொதிகலத்தின் அடித்தளம் வழியாகச் செல்லுகிறது. இந்தக் கொதிகலத்தைச் சூடேற்றுவதற்கு ஒரு வளைய எரிசூடேற்றியையோ (Ring burner) அல்லது மின் அடுப்பையோ பயன்படுத்த வேண்டும். ஒரு வடிகலத்தைக் (condenser) கொண்ட கேலரிமீட்டர் கொதிகலத்துக்கு நேர் கீழே வைக்கப்படுகிறது. கொதிகலத்திலிருந்து கேலரி மீட்டருக்கு நேரிடையாக வெப்பம் செல்வதைத் தடுப்பதற்காக இவற்றினிடையே ஒரு எபொனைட் பலகை (E) வைக்கப்படுகிறது. மேலும் கேலரி மீட்டர் ஒரு நீர் உறைக்குள் அரிதிற் கடத்திகளின் மேல் வைக்கப் பட்டுள்ளது.



படம் 57.

கேலரி மீட்டரின் வெப்ப ஏற்புத் திறனையும் (w_1), வடிகலத்தின் வெப்ப ஏற்புத் திறனையும் (w_2) தெரிந்து கொண்டபின் கேலரி மீட்டரில் M கி. கிராம் நீர் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. கேலரி மீட்டரின் தொடக்க வெப்பநிலையைக் (θ_1) குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். பின்பு கொதிகலத்திலே உற்பத்தியாகி T வழியாகக் கீழே வரும் உலர்ந்த நீராவியை வடிகலத்துக்குள் செலுத்த வேண்டும். வெப்பநிலை ஏறத்தாழ 5°C உயர்ந்தபின் நீராவியை நிறுத்திவிட்டுக் கேலரி மீட்டரை நன்றாகக் கலக்கி அதிலேற்படும் பெரும வெப்பநிலையைக் (θ_2) காணவேண்டும். சோதனைக்கு முன்னும் பின்னும் வடிகலத்தில் நிறையைக் காணுவதன் மூலம் அதில் நீராக மாறிய நீராவியின் நிறையைத் (m) தெரிந்து கொள்ளலாம். நீராவியின் வெப்பநிலை θ எனவும், அதன் உள்ளுறை வெப்பம் L எனவும் கொள்வோமாயின்,

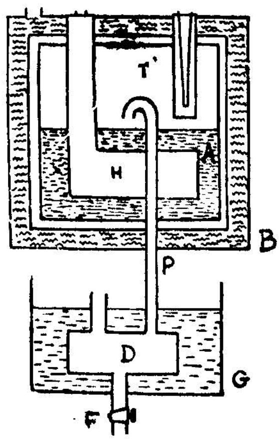
$$mL + m(\theta - \theta_2) = (w_1 + w_2 + M)(\theta_2 - \theta_1)$$

இம் முறையில் ஏற்படக்கூடிய மீசூடேற்றுதலைத் தடுக்க வெளியேற்றுக் குழாய் எரிசூடேற்றி வழியே செல்லும் இடத்தில் அவற்றிற்கிடையே கல்நாரைப் (asbestos) பொருத்தவேண்டும்.

(iii) **ஹென்னிங் மின்சார முறை** (Henning's Electrical Method) : இங்கு A என்ற ஓர் உலோகக் கலத்திலுள்ள நீர் H

என்ற மின் சூடுட்டியினுல் சூடேற்றப்படுகிறது. H-ல் உள்ள மின்னேட்டம், மின்னழுத்தம் ஆகியவற்றை அளக்க ஓர் அம் மீட்டரும், ஒரு வோல்ட் மீட்டரும் அத்துடன் தக்கவாறு இணைக்கப் பட்டிருக்கின்றன. A-ல் உண்டாகும் நீராவி P குழாய் வழியாக D என்ற ஒரு வடிகலத்துக்கு எடுத்துச் செல்லப்படுகிறது. இந்த வடிகலம் ஒரு நிலையான வெப்ப நிலையிலுள்ள நீர் உறைக்குள் (G) வைக்கப்பட்டுள்ளது. D வடிகலத்தால் திரட்டப்படும் நீரை F குழாய் மூலம் வெளியே எடுத்துக் கொள்ளலாம்.

A-யிலிருந்து வெப்ப இழப்பைத் தடுக்க A-ன் வெப்பநிலையிலேயே உள்ள B என்ற ஒரு எண்ணெய்த் தொட்டிக்குள் அது வைக்கப்படு கிறது. A-யின் வெப்பநிலையை அளக்க T என்ற வெப்பமின் வெப்ப நிலைமானி பயன்படுத்தப்படுகிறது. Aயில் நீராவி உண்டாகும் விதம் ஒரு சீரான நிலைக்கு வந்தபின் t விஞடியில் நீராக மாறும் நீராவியின் நிறையைக் காண வேண்டும். இதன் மதிப்பு m கிராம் எனக் கொள்வோம். அம்மீட்டர், வோல்ட் மீட்டர் இவைகளின் அளவீடுகள் முறையே C ஆம்பியர், E வோல்ட் என்போம்.



படம் 58.

t விஞடியில் கொடுக்கப்படும் மின்ஆற்றல் $= Ect$ ஜூல் ஆகும். இந்த ஆற்றல் நீரின் கொதி நிலையில் m கி. கிராம் நீரை நீராவியாக மாற்றுகிறது. எனவே, நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் L எனில்,

$$\frac{Ect}{J} = mL.$$

இந்த t விஞடியில் சிறிதளவு வெப்ப இழப்பு ஏற்பட்டிருக்கலாம். அவ்விதம் இழக்கப்பட்ட வெப்பம் h எனில்,

$$\frac{Ect}{J} = mL + h.$$

மின்னேட்டம், மின்னழுத்தம் இவைகளின் அளவுகளை மாற்றிச் சோதனையைத் திருப்பிச் செய்யவேண்டும்.

மறு சோதனையின்பொழுது அம்மீட்டர், வோல்ட் மீட்டர் இவைகளின் அளவீடுகள் முறையே C_1, E_1 எனவும், t விநாடியில் உண்டாக்கப்படும் நீராவியின் நிறை m_1 கி. கிராம் எனவும் கொள்வோம்.

$$\therefore \frac{E_1 C_1 t}{J} = m_1 L + h.$$

எனவே, $$\frac{(EC - E_1 C_1) t}{J} = (m - m_1) L.$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து L-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

17. நீராவியின் அக உள்ளுறை வெப்பமும் புற உள்ளுறை வெப்பமும் (Internal and External Latent Heats of Steam)

ஒரு கி. கிராம் நீர் அதன் கொதிநிலையில் ஆவியாக மாறும் பொழுது எடுத்துக்கொள்ளும் வெப்பத்தைக் கீழ்க்கண்டவாறு பயன்படுத்திக்கொள்கிறது.

(i) ஒரு பகுதி வெப்பத்தைக் கொண்டு அஃது அதனுடைய உள்ளார்ந்த ஆற்றலை அதிகரித்துக்கொள்கிறது. இப் பகுதி வெப்பம், நீராவியின் **அக உள்ளுறை** வெப்பம் எனப்படும்.

(ii) எஞ்சிய பகுதி வெப்பத்தைத் கொண்டு அது வெளி அழுத்தத்திற்கு எதிராக வேலை செய்து, அதன் பருமனை அதிகரித்துக்கொள்கிறது. இப் பகுதி வெப்பம் நீராவியின் புற உள்ளுறை வெப்பம் எனப்படுகிறது.

படித்தர அழுத்தத்தில் 100°C வெப்பநிலையில் 1 கி. கிராம் நீராவியின் பருமன் 1·674 க. மீ. ஆகும். ஆனால், அதே வெப்பநிலையில் 1 கி கிராம் நீரின் பருமன் ·001 க. மீ. எனவே, பரும விரிவு = 1·674 − ·001 = 1·673 க. மீ.

∴ பரும விரிவிற்காகச் செய்யப்படும் வேலை

= அழுத்தம் × பரும விரிவு

$= \cdot 76 \times 13\cdot 6 \times 10^3 \times 9\cdot 81 \times 1\cdot 673.$

$= 1\cdot 69 \times 10^5$ ஜுல்.

இந்த வேலையைச் செய்வதற்குத் தேவைப்படும் வெப்பம்

$$= \frac{1\cdot 69 \times 10^5}{4\cdot 2} = 40\cdot 4 \times 10^3 \text{ கேலரி / கி. கிராம்}$$

$$= 40\cdot 4 \text{ கி. கேலரி / கி. கிராம்.}$$

எனவே 100°C-ல் நீராவியின் புற உள்ளுறை வெப்பம் $\} = 40 \cdot 4 \times 10^3$ கேலரிகள்/கிலோ கிராம்.

100°C-ல்நீராவியின்உள்ளுறைவெப்பம் $= 537 \times 10^3$கேலரி/கி.கிராம்.

∴ 100°C-ல் நீராவியின் அக உள்ளுறை வெப்பம்

$$= (537 - 40 \cdot 4)\ 10^3$$

$$= 496 \cdot 6 \times 10^3 \text{ கேலரி / கி. கிராம்.}$$

18. நீராவியின் முழு வெப்பம் (Total heat of Steam)

ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் நீராவியின் முழு வெப்பம் என்பது ஒரு கி. கிராம் நீரை 0°C வெப்ப நிலையிலிருந்து குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைக்கு உயர்த்தி அந்த வெப்பநிலையில் அதனை ஆவியாக மாற்றுவதற்குத் தேவைப்படும் மொத்த வெப்பமாகும்.

θ°C வெப்பநிலையில் நீராவியின் முழு வெப்பம் $Q\theta$ எனவும், உள்ளுறை வெப்பம் $L\theta$ எனவும் கொள்வோமாயின்,

$$Q\theta = \theta + L\theta$$

ரெனால்டின் சோதனைகளுக்கு முன்பு நீராவியின் முழு வெப்பத்தைப் பற்றி இருவிதமான கருத்துரைகள் நிலவிவந்தன.

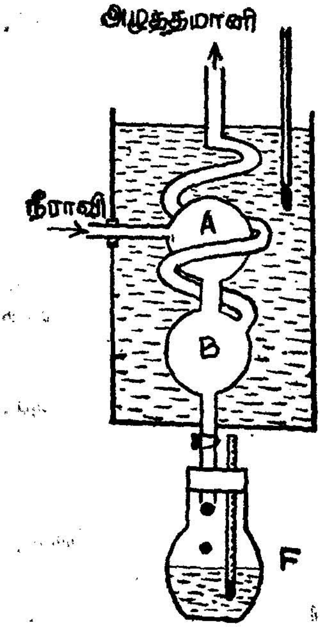
(i) நீராவியின் முழு வெப்பம் வெப்பநிலையைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை என்ற கருத்தை வாட் (Watt) என்ற விஞ்ஞானி தெரிவித்தார்.

(ii) நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் வெப்பநிலையைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை என்ற கருத்தை கிரெய்ட்டன், சதர்ன் (Creighton and Southern) என்பவர்கள் வெளியிட்டனர். நீராவியின் முழு வெப்பம் மாறும் என்பதை இந்தக் கருத்து குறிக்கிறது.

ரெனால்ட் என்பவர் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் நீராவியின் முழு வெப்பத்தைக் கணக்கிட்டு மேற்கூறிய இரு கருத்துகளும் சரியல்ல என்று காட்டினார்.

அவருடைய சோதனையில் ஒரு காற்று அறையோடு இணைக்கப்பட்ட ஒரு கொதிகலத்தில் நீராவி உண்டாக்கப்பட்டது. இதனால் கொதிகலத்திலுள்ள காற்று அழுத்தத்தைத் தேவைப்பட்டவாறு மாற்றிக் குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் நீராவியை உண்டாக்க முடிந்தது. அவ்விதம் உண்டாக்கப்பட்ட நீராவியை ஒரு பெரிய

கேலரி மீட்டரில் வைக்கப்பட்டிருந்த A என்ற செப்புக் குமிழுக்குள் செலுத்தினர். இந்தக் குமிழ் அதற்குக் கீழே வைக்கப்பட்டிருந்த B என்ற வேறொரு குமிழுடன் இணைக்கப்பட்டிருந்தது. B குமிழின் அடியில் அடைப்பானுடன் (stopper) கூடிய ஒரு வெளியேற்றுக் குழாயும் மேலே ஒரு செப்புச் சுருள் குழாயும் (spiral tube) பொருத்தப்பட்டிருந்தன. இந்தச் சுருள் குழாய் ஒரு அழுத்தமானியுடன் இணைக்கப்பட்டிருந்தது.



படம் 59.

A குமிழுக்குச் செலுத்தப்பட்ட நீராவி A, B ஆகிய குமிழ்களின் அல்லது சுருள் குழாயில் நீராக மாறி கேலரி மீட்டருக்கு வெப்பத்தைக் கொடுத்தது. கேலரி மீட்டரின் தொடக்க, இறுதி வெப்ப நிலைகளிலிருந்தும் அதன் வெப்ப ஏற்புத் திறனிலிருந்தும் கேலரி மீட்டருக்குக் கிடைத்த வெப்பத்தைக் கணக்கிட்டார். B-ல் திரட்டப்பட்ட நீரை வெளியேற்றுக் குழாயின் வழியாக F என்ற குடுவையில் எடுத்து நிறையைக் கண்டார். இந்த அளவீடுகளிலிருந்து நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பத்தையும் முழு வெப்பத்தையும் கணக்கிட்டுக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டைத் தெரிவித்தார்

$$Q_{\theta} = 606{\cdot}5 + {\cdot}305\,\theta \text{ கி. கேலரி / கி. கிராம்.}$$

எனவே, நீராவியின் முழு வெப்பம் வெப்பநிலையைப் பொறுத்து உயருகிறது. ஆகையால், வாட்டின் கருத்துச் சரியல்ல என்று தெரிகிறது.

மேலும்,

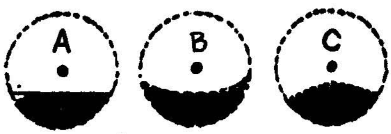
$$Q_{\theta} = \theta + L_{\theta} = 606{\cdot}5 + {\cdot}305\,\theta \text{ கி. கேலரி / கி. கிராம்,}$$

ஆகையால், $L_{\theta} = 606{\cdot}5 - {\cdot}695\,\theta$. கி. கேலரி / கி. கிராம்.

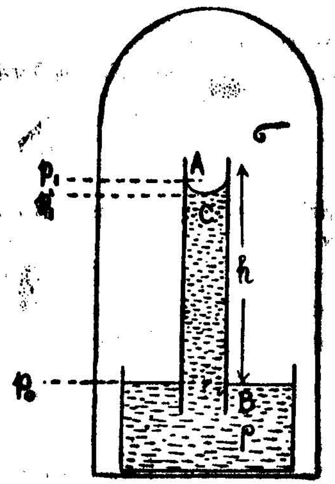
எனவே, வெப்பநிலை உயரும்பொழுது நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் குறைகிறது. இதிலிருந்து கிரெய்ட்டன், சதர்ன் ஆகியவர்களின் கருத்தும் சரியல்ல என்று தெரிகிறது.

19. வளைந்த பரப்பின் மீதுள்ள ஆவி அழுத்தம் (Vapour pressure Curved Surface)

A, B, C என்ற மூலக் கூறுகள் முறையே சமதளப் பரப்பு, குழிவான பரப்பு, குவிந்த பரப்பு ஆகியவற்றிலிருந்து சிறிய சம அளவுத் தொலைவுகளில் இருப்பதாகக் கொண்டு, ஒவ்வொன்றின் மூலக்கூறு ஈர்ப்புவிசை எல்லைக்குள் (range of molecular attraction) உள்ள திரவ அளவைக் கவனிப்போம். A-ஐ ஈர்க்கும் திரவத்தின் அளவு B-ஐ ஈர்க்கும் திரவத்தின் அளவைவிடக் குறைவாயும், C-ஐ ஈர்க்கும் திரவத்தின் அளவைவிட அதிக மாகவும் உள்ளது. எனவே, குழிவான (concave) பரப்பை யுடைய திரவத்திலிருந்து வெளியேறக்கூடிய மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை சமதளப் பரப்பையுடைய திரவத்திலிருந்து வெளி யேறக் கூடியதைவிடக் குறைவாக இருக்கும். எனவே, குழிவான



படம் 60.



படம் 61.

பரப்பின் மேலுள்ள தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் சமதளப் பரப்பின் மீதுள்ள தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தைவிடக் குறைவாக இருக்கும். இவ்வாறே குவிந்த பரப்பின் மீதுள்ள தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் சமதளப் பரப்பின் மீதுள்ளதைவிட அதிகமாக இருக்கும். இந்த விளைவினால் ஏற்படும் வேறுபாட்டைக் கீழ்க்கண்டவாறு பெறலாம்:

காற்று நீக்கப்பட்ட அறையினுள் ஒரு பாத்திரத்தில் திரவத்தை எடுத்து 61ஆம் படத்தில் காட்டியவாறு அந்தத் திரவத்தில் ஒரு நுண் துளைக்குழாய் பொருத்தப்பட்டிருப்பதாகக்

கொள்வோம். குழாயிலுள்ள பரப்புக் குழிவான பரப்பாக இருக்குமாயின் பரப்பு இழுவிசையின் (surface tension) காரணமாக நுண் துளைக் குழாயில் திரவம் ஏறி நிற்கும். இவ்விதம் ஏறியுள்ள திரவத் தம்பத்தின் உயரம் h எனக் கொள்வோம். வளைந்த பரப்புக்குச் சற்றே மேலுள்ள A என்ற புள்ளியையும் பாத்திரத்தின் திரவமட்டத்திலுள்ள B என்ற புள்ளியையும் கவனிப்போம். அறையினுள் திரவத்திற்குமேல் ஆவி மாத்திரம் உள்ளது. இதன் அடர்த்தியை σ எனக்கொள்வோம். A, B ஆகிய புள்ளிகளில் நிலவும் அழுத்தங்கள் முறையே p_1, p_0 எனில்,

$$p_0 = p_1 + h\sigma g \qquad \dots \quad (1)$$

பரப்பு இழு விசையை T எனவும், நுண்துளைக் குழாயின் ஆரத்தை r எனவும் கொள்வோம். இப்பொழுது c என்பது நுண்துளைக் குழாயில் வளைந்த பரப்புக்குச் சற்றே கீழுள்ள புள்ளி எனவும், அந்தப் புள்ளியில் நிலவும் அழுத்தம் p_1' எனவும் கொள்வோம். பரப்பு இழுவிசையின் பயனைக் கவனிக்கையில்,

$$p_1 - p_1' = \frac{2T}{r} \qquad \dots \quad (2)$$

நுண்துளைக் குழாயினுள் B மட்டத்திலேயே உள்ள ஒரு புள்ளியில் அழுத்தம் p_0 ஆகும். இந்தப் புள்ளியின் அழுத்தத்திற்கும் இந்தப் புள்ளிக்கு நேர் மேலே h உயரத்திலுள்ள c-ன் அழுத்தத்திற்கும் இடையே உள்ள வேறுபாட்டைக் கவனிக்கையில், p என்பது திரவத்தின் அடர்த்தியானல்,

$$p_0 = p_1' + h\rho g \qquad \dots \quad (3)$$

இந்த மூன்று சமன்பாடுகளிலிருந்து h, p_1, p_1' ஆகிய மூன்றின் மதிப்புகளைத் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

சமன்பாடுகள் (1), (3) ஆகியவற்றிலிருந்து

$$p_1 + h\sigma g = p_1' + h\rho g$$

அதாவது $p_1 - p_1' = h(\rho - \sigma) g \qquad \dots \quad (4)$

இப்பொழுது (2), (4) சமன்பாடுகளிலிருந்து

$$h(\rho - \sigma) g = \frac{2T}{r}$$

எனவே, $h = \dfrac{2T}{r} \cdot \dfrac{1}{(\rho - \sigma) g}$

இந்த மதிப்பை (1)ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமாயின்,

$$p_1 = P_0 - h\sigma g$$
$$= P_0 - \frac{2T}{r} \cdot \frac{\sigma}{\rho - \sigma}.$$

ஆகையால், குழிவான பரப்பின் மேலுள்ள தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் சமதளப் பரப்பின் மேலுள்ளதைவிடக் குறைவு. இரண்டிற்கு மிடையே உள்ள வேறுபாடு $= \frac{2T}{r} \cdot \frac{\sigma}{\rho - \sigma}$

இவ்வாறே குவிந்த பரப்பின் மேலுள்ள ஆவி அழுத்தம் சமதளப் பரப்பின் மேலுள்ளதைவிட அதிகம்.

$$\text{அதன மதிப்பு} = (p_2) = p_0 + \frac{2T}{r} \cdot \frac{\sigma}{\rho - \sigma}$$

மேற்கூறிய விளைவைக் கருத்திற் கொண்டு இயற்கையில் தோன்றும் சில நிகழ்வுகளுக்குத் தகுந்த காரணம் கூற முடியும்.

(i) **முகில் தோன்றுதல்:** வெப்பநிலை குறையும்பொழுது காற்றிலுள்ள நீராவி நீர்த்திவலைகளாக மாறுவதுதான் முகில் உண்டாவது எனப்படும். காற்றிலுள்ள நீராவி அழுத்தம் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தைவிடக் குறைவாக இருக்கும் பொழுது அது ஆவியாகவே இருக்கும். ஆனல், வெப்பநிலை படிப்படியாகக் குறையும்பொழுது ஒரு நிலையில் அதன் ஆவி அழுத்தம் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தமாக மாறும். இந் நிலைக்குப் பின்பு குளிர்வடையும்பொழுது ஆவி நீர்த்திவலைகளாக மாறத் தொடங்கும். தூசு துகளற்ற காற்றில் மிகச் சிறு நீர்த் துளிகள் தான் முதலில் தோன்ற முடியும். ஒரு நீர்த்துளி தோன்றிய நிலையில் அதன் வெளியே உள்ள ஆவி அழுத்தம் அந்த வெப்ப நிலைக்கேற்ற தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தைவிட $\frac{2T}{r} \cdot \frac{\sigma}{\rho - \sigma}$ அளவு அதிக மதிப்பையுடையதாக இருக்க வேண்டும். இல்லாவிடின் அது தோன்றிய மறுகணமே ஆவியாகிவிடும். r சிறியதாக இருக்கும்பொழுது இதன் மதிப்பு அதிகம். எனவே, காற்றில் தூசு துகளற்றபொழுது முகில் உண்டாக மீதெவிட்டியநிலை (supersaturation) தேவை. ஆனல், காற்றில் தூசுகளோ அயனிகளோ இருக்கும்பொழுது இவை நீர்த்துளிகளுக்குக் கருவாக அமைந்து பெரிய நீர்த்திவலைகளை எளிதில் உண்டாக்க வழி வகுக்கும். எனவே, காற்றில் தூசுகளும் துகள்களும் இருக்கும் பொழுது முகில் எளிதில் தோன்றும்,

(ii) எகிறிக் கொதித்தல் (Boiling with bumping): ஒரு திரவத்தினுள் உண்டாகும் குமிழுக்குள்ளே நிலவும் ஆவி அழுத்தமானது அந்த வெப்ப நிலைக்குரிய தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தை விட $\frac{2T}{r} \cdot \frac{\sigma}{\rho-\sigma}$ அளவு குறைவாக இருக்கும். அந்தக் குமிழி சமநிலையில் (equilibrium) இருக்க வேண்டுமாயின் உள்ளே நிலவும் ஆவி அழுத்தம் வெளி அழுத்தத்தையும் பரப்பு இழுவிசையினால் ஏற்படும் பயனையும் சரிக்கட்டக்கூடியதாக இருக்கவேண்டும். எனவே, p_0 என்பது அந்த வெப்பநிலைக்கேற்ற தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் எனவும், H என்பது வெளி அழுத்தம் எனவும் கொள்வோமாயின்,

$$p_0 - \frac{2T}{r}\frac{\sigma}{\rho-\sigma} = H + \frac{2T}{r}$$

$$\therefore \quad p_0 = H + \frac{2T}{r} + \frac{2T}{r}\left(\frac{\sigma}{\rho-\sigma}\right)$$

$$= H + \frac{2T}{r} \cdot \frac{\rho}{\rho-\sigma}$$

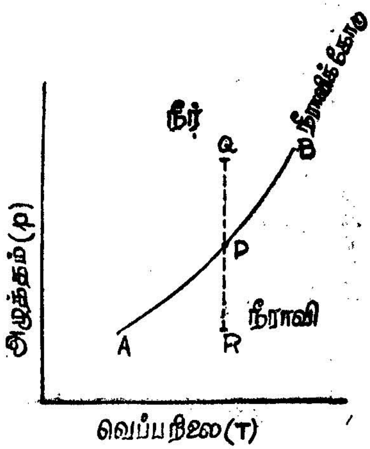
திரவம் தூயதாக இருக்குமாயின் முதலில் தோன்றக்கூடிய ஆவிக் குமிழிகள் மிகவும் சிறியதாகத்தான் இருக்கமுடியும். அப்பொழுது p_0 ஆனது Hஐ விடக் கணிசமான அளவு உயர்ந்ததாக இருக்கவேண்டும். இதற்கு மீச்சூடேற்றுதல் (super heating) தேவை. இந்த நிலையில் உருவான ஆவிக்குமிழிகள் பெரியதாகும் பொழுது வேகத்துடன் வெடிக்கும் தன்மை வாய்ந்தவை. இதனால் எகிறிக் கொதித்தல் ஏற்படுகிறது என்று முன்னமேயே விளக்கப் பட்டுள்ளது. இதைத் தடுப்பதற்குத் திரவத்தினுள் பீங்கான் துண்டுகளை வைக்கலாம் எனறு கூறப்பட்டது. அந்தப் பீங்கான் துண்டுகளிலுள்ள காற்றுக்குமிழிகள் ஆவிக்குமிழிகளைத் தோற்றுவிப்பதற்கு மிகவும் பயன்படுகின்றன. இதனால் கொதித்தல் அமைதியாக ஏற்படும்.

மேற்கூறிய விளக்கத்தில் $\left(\frac{2T}{r} \cdot \frac{\sigma}{\rho-\sigma}\right.$ ன் மதிப்பை $\left(\frac{2T}{r}\right)$-ன் மதிப்புடன் ஒப்பிடும்பொழுது அது புறக்கணிக்கத் தக்கதாகும்.

20. மும்மைப் புள்ளி (Triple point)

(i) ஆவியாதல் கோடு (Vaporisation line): ஒரு திரவத்தின் கொதிநிலை அதன் மேலுள்ள அழுத்தத்தைப் பொறுத்து

மாறுகிறது. மேலும் அதன் கொதிநிலையில் அதன் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் திரவத்தின் மேலுள்ள அழுத்தத்திற்குச் சமமாக வுள்ளது. கொதி நிலையை X அச்சிலும், அழுத்தத்தை Y அச்சிலும் குறித்து வரையப்படும் கோடு வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் உள்ள தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தைக் குறிக்கும் கோடாக அமையும். எனவே, அஃது ஆவியாதல் கோடு (vaporisation curve) எனப் படுகிறது. நீரின் இக் கோடு நீராவிக் கோடு (steam line) எனப் படுகிறது. படம் 62-ல் AB என்பது நீராவிக் கோடாகும். இந்தக் கோட்டிலுள்ள P என்ற புள்ளியைக் கவனிப்போம். அதற்குரிய வெப்ப நிலையிலும் அழுத்தத்திலும் நீரும் ஆவியும் சமநிலையில் இருக்கும். Q என்பது P-க்கு நேர் மேலே உள்ள ஒரு புள்ளி எனில், அது P-ன் வெப்பநிலையிலேயே P-ன் அழுத்தத்தைவிட அதிக அழுத்தத்தைக் குறிக்கிறது. இந்த அழுத்தத்திற்கான கொதிநிலை பொருளின் வெப்பநிலையைவிட உயர்ந்ததாக இருக்கிறது. எனவே Q குறிப்பிடும் நிலையில் பொருள் திரவமாக, அதாவது நீராக இருக்கிறது. இவ்வாறே AB கோட்டுக்கு மேலே உள்ள எல்லாப் புள்ளிகளும் பொருள் நீராக இருப்பதைக் குறிக்கின்றன.

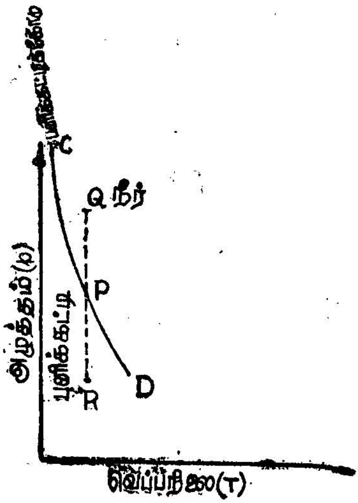


படம் 62.

இப்பொழுது P-க்கு நேர் கீழேயுள்ள R என்ற புள்ளியைக் கவனிப்போம். இது P-ன் வெப்பநிலையிலேயே P-ன் அழுத்தத்தை விடக் குறைந்த அழுத்தத்தைக் குறிக்கிறது. இந்த அழுத்தத்திற்கான கொதிநிலை பொருளின் வெப்பநிலையைவிடக் குறைவாக இருக்கிறது. அதாவது, பொருளின் வெப்பநிலை அதன் கொதிநிலையைவிட உயர்ந்ததாக இருக்கிறது. எனவே, பொருள் ஆவியாகத்தான் இருக்க முடியும். இவ்வாறே AB கோட்டுக்குக் கீழே உள்ள எல்லாப் புள்ளிகளும் பொருள் ஆவியாக இருப்பதைக் குறிக்கின்றன.

(ii) **உருகுதல் கோடு** (Fusion curve) : ஒரு பொருளின் உருகுநிலை அதன் மேலுள்ள அழுத்தத்தைப் பொறுத்து மாறுகிறது. உருகு நிலையை X அச்சிலும், அழுத்தத்தை Y அச்சிலும் குறித்து வரையும் கோடு உருகுதல் கோடு எனப்படும். நீரில் உருகுதல்

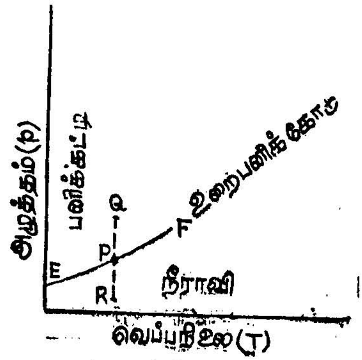
கோட்டைப் **பனிக்கட்டிக் கோடு** (Ice line) என்றழைக்கிறோம். அழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை குறைகிறது. ஆகையால் பனிக்கட்டிக் கோடு படம் 63-ல் காட்டியவாறு எதிர் சரிவுடையதாக இருக்கிறது. CD என்ற பனிக்கட்டிக் கோட்டிலுள்ள P என்ற புள்ளியைக் கவனிப்போம். அதற்குரிய வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் நீரும் பனிக்கட்டியும் சமநிலையில் இருக்கும். இப்பொழுது P-க்கு நேர் மேலே உள்ள Q என்ற புள்ளியைக் கவனிப்போம். அது Pஐவிட அதிக அழுத்தத்தைக் கொண்டிருப்பதால் அதற்குரிய உருகுநிலை பொருளின் வெப்பநிலையைவிடக் குறைவாக இருக்கிறது. எனவே பொருள் நீராகத்தான் இருக்க முடியும். இவ்வாறே CD-க்கு மேலே இருக்கும் எல்லாப் புள்ளிகளும் பொருள் நீராக இருப்பதைக் குறிக்கின்றன. இனி P-க்கு நேர் கீழே உள்ள R என்ற புள்ளியைக் கவனிப்போம். இதன் அழுத்தம் P-ன் அழுத்தத்தைவிடக் குறைவு. எனவே, இந்த அழுத்தத்திற்கான உருகுநிலை பொருளின் வெப்ப நிலையைவிட உயர்ந்ததாக இருக்கிறது. இதனால் பொருள் பனிக்கட்டியாகத்தான் இருக்க முடியும். இவ்விதமே CD-க்குக் கீழே உள்ள புள்ளிகள் எல்லாம் பொருள் பனிக்கட்டியாக இருப்பதைக் குறிக்கின்றன.



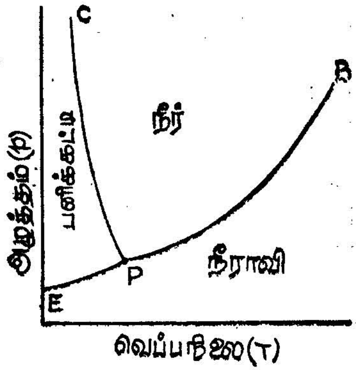
படம் 63.

(iii) **பதங்கமாதல் கோடு** (Sublimation curve) : வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் திடப்பொருளுக்கு மேலே உள்ள ஆவி அழுத்தத்தை அளந்து வெப்பநிலையை X அச்சிலும், அழுத்தத்தை Y அச்சிலும் குறித்து வரையும் கோடு **பதங்கமாதல் கோடு** எனப்படும். நீரின் பதங்கமாதல் கோடு **உறைபனிக் கோடு** (Hoar frost-line) எனப்படுகிறது. படம் 64-ல் EF என்பது உறைபனிக் கோடாகும். நீராவிக் கோட்டுக்கும், பனிக்கட்டிக் கோட்டுக்கும் விளக்கியவாறே இந்தக் கோட்டிற்கு மேலே உள்ள புள்ளிகள், பொருள் பனிக்கட்டியாக இருப்பதையும், இக் கோட்டிற்குக் கீழே உள்ள புள்ளிகள் பொருள் நீராவியாக இருப்பதையும் குறிக்கின்றன என்று நிறுவலாம்.

(iv) **மூன்று கோடுகளும் ஒரு புள்ளியில் சந்தித்தல் :** மேலே கூறப்பட்ட மூன்று கோடுகளும் ஒரே வரைபடத்தில் வரையப்



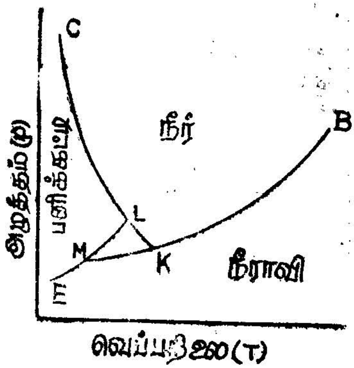
படம் 64.



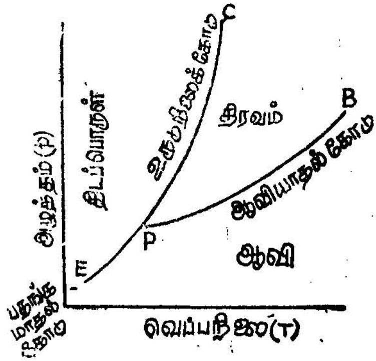
படம் 65.

பட்டால் அவை மூன்றும் ஒரு புள்ளியில் சந்திக்கும். இதைக் கீழ்க் கண்டவாறு நிரூபிக்கலாம். மூன்று கோடுகளும் ஒரு புள்ளியில் சந்திக்காமல் K, L, M என்ற மூன்று புள்ளிகளில் படம் 65-ல் காட்டியவாறு சந்திப்பதாகக் கொள்வோம். KLM என்ற பகுதியி லுள்ள ஒரு புள்ளி நீராவிக் கோட்டுக்கு மேலே இருப்பதால் பொருள் நீராகத்தான் இருக்க முடியும் என்பதை அது குறிக்கிறது. அதே புள்ளி பனிக்கட்டிக் கோட்டுக்குக் கீழே இருப்பதால் பொருள் பனிக்கட்டியாகத்தான் இருக்கமுடியும் என்பதை அது காட்டுகிறது. இவ்வாறே அந்தப் புள்ளி உறைபனிக் கோட்டிற்குக் கீழே இருப்பதனுல் பொருள் ஆவியாகத்தான் இருக்கமுடியும் என்ற முடிவு கிடைக்கிறது. இவ்விதம் KLM என்ற பகுதி இருக்குமாயின் ஒன்றுக்கொன்று முரண்பாடான முடிவுகள் கொடுக்கப்படுகின்றன. எனவே மூன்று கோடுகளும் ஒரே புள்ளியில் சந்திக்கவேண்டும். இவ்வாறு மூன்று கோடுகளும் சந்திக்கும் புள்ளி **மும்மைப் புள்ளி** (triple point) எனப்படுகிறது. அந்தப் புள்ளி குறிக்கும் வெப்பநிலையிலும், அழுத்தத்திலும் பொருள் ஒரே காலத்தில் கொதிக்கவும் உறையவும் செய்கிறது. அப்பொழுது பொருள் திடப்பொருளாகவும், திரவமாகவும் ஆவியாகவும் சேர்ந்தாற்போல் சமநிலையில் இருக்கும். நீரின் மும்மைப் புள்ளி நிலையைக் கீழ்க்கண்டவாறு அடையலாம். காற்று நீக்கப்பெற்றதும், கந்தக அமிலத்தைக் கொண்டதுமான உலர்த்து கருவி (desiccator) ஒன்றினுள் ஒரு தட்டில் நீர் வைக்கப் படுமாயின் அழுத்தக் குறைவு காரணமாக நீர் விரைவாக ஆவியாகும். இவ்விதம் உண்டாகும் நீராவி கந்தக அமிலத்தால்

உட்கவரப்படுவதால் ஆவியாதல் தொடர்ச்சியாக நடைபெறும். இதனால் நீர் விரைவில் குளிரவடையும். இவ்வாறு குளிர்வடையும் பொழுது ஒரு கட்டத்தில் நீர் உறைவதும் அதே சமயத்தில் அஃது ஆவியாவதும் தென்படும்.



படம் 66.



படம் 67.

உருகும்பொழுது பெருக்கமடையக்கூடிய மெழுகு போன்ற பொருள்களின் உருகுதல் கோடுகள் நேர்வாட்டத்தை யுடையன. எனவே, அத்தகைய பொருளின் மும்மைப் புள்ளியைக் கொடுக்கும் கோடுகள் படம் 67-ல் காட்டியவாறு இருக்கும்.

21. நீரின் மும்மைப் புள்ளியின் மதிப்புகள்

நீரின் மும்மைப் புள்ளியின் அழுத்தம் p எனவும், வெப்பநிலை θ எனவும் கொள்வோம். அட்டவணைகளிலிருந்து கீழ்க்கண்ட மதிப்புகள் கிடைக்கும்.

0°C-ல் தெவிட்டிய நீராவி அழுத்தம் = 4·58 மி. மீ.

1°C-ல் „ „ = 4·92 „

எனவே, 1°C வெப்பநிலை உயர்வுக்கு ஏற்படும் அழுத்த உயர்வு

= ·34 மி. மீ.

∴ θ°C „ „ = ·34 θ மி. மீ.

ஆகையால் θ°C-ல் தெவிட்டிய நீராவி அழுத்தம்

= 4·58 + ·34 θ மி. மீ.

இந்த மதிப்பை p எனக் கொண்டுள்ளோம்.

$$\therefore\ p = 4{\cdot}58 + {\cdot}34\,\theta \qquad \ldots (1)$$

சோதனைகளிலிருந்து அழுத்தம் ஒரு வளி அழுத்த அளவு அதிகமாகும்பொழுது பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை $\cdot 0072^\circ C$ அளவு தாழ்வுறுகிறது என்று கண்டுள்ளனர்.

இப்பொழுது படித்தர அழுத்தத்தில் உருகுநிலை $= 0^\circ C$

$\therefore$ சுழி அழுத்தத்தில் உருகுநிலை $= \cdot 0072^\circ C$

$\therefore$ p அழுத்தத்தில் உருகுநிலை $= \cdot 0072^\circ C - \frac{\cdot 0072}{760} p.$

ஆனல், இதன் மதிப்பு θ எனக் கொண்டுள்ளோம்.

$$\therefore \quad \theta = \cdot 0072 - \frac{\cdot 0972\ p}{760}. \qquad (2)$$

சமன்பாடுகள் (1), (2)-ல் இருந்து p, θ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். அவ்விதம் கணக்கிட்டால் கீழ்க் கண்ட மதிப்புகள் கிடைக்கும்.

$p = 4{\cdot}6$ மி.மீ. பாதரசம்

$\theta = \cdot 007158^\circ C.$

22. வானிலை யாய்வு (Meteorology)

பல்வேறு இடங்களில் வளிமண்டலத்தின் வெப்பநிலை, அடர்த்தி, காற்றின் வேகம், ஒப்பு ஈரப்பதன் இவற்றைக் குறித்து ஆராய்வதன் மூலம் பயனுள்ள வானிலை அறிக்கைகள் கிடைக்கின்றன. மழை, புயல் முதலியவை பற்றி முன்கூட்டிய அறிக்கை கிடைப்பதனல் தகுந்த பாதுகாப்பு ஏற்படுத்திக் கொள்ளவும் சூழ்நிலையைப் பயன் படுத்திக் கொள்ளவும் முடியும்.

ஓர் இடத்தின் வெப்பநிலை, இடத்தின் உயரத்தைப் பொறுத்தும், இடம் நில நடுவரைக் கோட்டிலிருந்து எவ்வளவு தொலைவில் இருக்கிறது என்பதைப் பொறுத்தும் மாறுபடும். ட்ரபோஸ் பியர் (Traposphere) என்னும் சுமார் 15 கிலோ மீட்டர் உயரமுள்ள அடிப்பகுதி வளிமண்டலத்தில் உயரம் அதிகமாகும் பொழுது வெப்பநிலை குறைகிறது. இந்த அடிப்பகுதிக்குமேலே சுமார் 35 கிலோ மீட்டர் உயரமுள்ள பகுதியில் உயரம் அதிகமாகும் பொழுது வெப்பநிலையும் அதிகமாகிறது. இந்தப் பகுதி ஸ்ட்ராட் டோஸ் பியர் (Stratosphere) எனப்படுகிறது. நிலமட்டத்திலிருந்து 50 கிலோ மீட்டர் முதல் 80 கிலோ மீட்டர் வரையுள்ள பகுதியில் வெப்பநிலை கிரமப்படி குறைகிறது. 80 கிலோ மீட்டர் உயரத்துக்கு மேலே வெப்பநிலை மீண்டும் உயரத்துடன் அதிகமாவதாகக் காணப்படு கிறது. இவ்வாறு உயரத்தைப் பொறுத்து வெப்பநிலை மாறி மாறிக் குறைந்தும் அதிகமாகியும் தென்படுகிறது. ஆனல் நில நடுவரைக்

கோட்டிலிருந்து துருவங்களை நோக்கிச் செல்லும் பொழுது வெப்ப நிலை குறைகிறது. இதுவும் எப்பகுதிக்கு மேலே சூரியன் உச்சி யிலிருக்கிறது என்பதைப் பொறுத்துச் சற்று மாறுபடும். வெப்ப நிலையைப் பொறுத்துக் காற்றின் அடர்த்தியும் அழுத்தமும் மாறு படும். அழுத்த மாறுபாட்டினால் காற்று வீசுதல் ஏற்படுகிறது.

23. வானிலைப் படம் (Weather Map)

ஒரு விசாலமான பகுதியின் பல இடங்களிலுள்ள வானிலைப் பதிவீடுகளை ஒரே படத்தில் குறித்துச் சம வெப்பநிலைக் கோடுகள், சம அழுத்தக் கோடுகள் இவைகளையும் சம உயரக் கோடுகளையும் வரைவோமானால் வானிலையில் ஏற்படக்கூடிய மாறுதல்களையும் நிகழ்வுகளையும் முன்கூட்டியே அறிவது எளிதாகும். எனவே வானிலையாய்வுக்கு வானிலைப் படங்கள் மிகவும் பயன்படுகின்றன. இப்படங்களில் காற்று வீசும் திசைகளும் குறிக்கப்படுகின்றன.

24. காற்றின் தூய்மைக்கேடு (Air Pollution)

காற்றில் தூசு, புகை, வாயுக்கள், மூடுபனி துர்நாற்றம் முதலியன கலந்து விடும் பொழுது காற்றின் தூய்மை கெடுகிறது. இது அளவுக்கு மீறி ஏற்படின் மனிதர்களுக்கும் தாவர விலங்கினங் களுக்கும் தீங்கு விளையும். எனவே காற்று மாசுபடுவதை நாம் நீக்க வேண்டும்; அல்லது குறைக்க வேண்டும்.

காற்று மாசுபடுவது இயற்கையின் காரணத்தாலோ செயற்கை யாலோ ஏற்படலாம். புயல்காற்றினாலும் எரிநட்சத்திரத்தினாலும் காற்றில் தூசு பரவலாம். இதனை நாம் தடுக்கமுடியாது. வளரக்கூடிய மரம் செடி கொடிகளின் பூக்களிலிருந்து மகரந்தத்தூள்கள் சிதறிக் காற்றில் பரவுதலினால் சிறிது மாசுபடுதல் ஏற்படும். இதனையும் நாம் நீக்க முடியாது. தொழிற்சாலைகள் செயல்படும் பொழுது பெருமள வில் தூசுகளும், புகைகளும், கழிவு நீர்களும் வெளியேறிக் காற்றின் தூய்மையைக் கெடுக்கின்றன. நகர்ந்து செல்லும் வாகனங்களும் ஊர்திகளும் புகையை எழுப்புவதனால் காற்று மாசுபடுகிறது. பொருள்கள் எரியும் பொழுது புகை தோன்றிக் காற்றில் பரவும். நகரத்தில் சேகரிக்கப்படும் குப்பை குவியல்களும் வேறு பொருள் களும் அழுகுவதனால் துர்நாற்றம் ஏற்படும். துர்நாற்றமுள்ள இடத்தில் வசிப்பது கடினமானதல்லாமல் தீங்கு விளைவிப்பதாகும். அணு சோதனைகளாலும் அணு நிலையங்கள் செயல்படுதலாலும் கதிரியக்கக்கதிர்கள் தோன்றி மனித வாழ்க்கைக்கு இன்னல் ஏற்பட லாம். தூசுகள் சுகாதாரத்தைப் பாதிப்பதுடன் குளிர் பிரதேசங் களில் மூடுபனியைத் தோற்றுவிப்பதற்கு ஆதாரமாய் அமை கின்றன. இந்த மூடுபனி போக்குவரத்துக்கு இடையூறுகிறது.

இயற்கையில் ஏற்படக்கூடிய காரணங்களைத் தவிர்க்க முடியா விட்டாலும் செயற்கையால் ஏற்படக்கூடிய மாசுபடுதலை இயன்ற அளவுக்குக் குறைக்க வேண்டும். எனவே தொழிற்சாலைகளில் புகை போக்கிகள் தக்க முறையில் அமைக்கப்பட வேண்டும். புகை போக்கிகள் உயரமானவையாக இருக்க வேண்டும். புகையும் சுற்றுப் பாதையில் குறைந்த வேகத்தில் செல்லுமாறு அமைக்கப்படின் தூசுகள் குழாயின் ஓரங்களிலேயே படிந்துவிட வாய்ப்பு ஏற்படும். படியும் செயல் திறனை அதிகமாக்குவதற்கு குழாயின் ஓரங்களில் பாகியல் தன்மை பொருந்திய திரவப் பூச்சுக் கொடுக்கப்படலாம். துணிச் சல்லடைகளைப் பொருத்தி தூசு பரவுதலைச் சற்றுக் குறைக் கலாம். நீர்த்திவலைகளைத் தெளித்தும் எதிர் திசையில் நீரோட்டத்தை ஏற்படுத்தியும் தூசு பரவுதலைச் சற்றுக் கட்டுப்படுத்தலாம். கரித் துண்டுகளின் உதவியால் புகைகள் ஓரளவு உட்கவரப்படுமாறு செய்யலாம். காற்று அடிக்கும் திசையைக் கருத்தில் கொண்டு தொழிற்சாலைகள் தகுந்த இடங்களில் அமைக்கப்படின் மக்களுக்கு ஏற்படக் கூடிய தீங்கு மிகவும் குறைந்ததாக இருக்கும்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

மாதிரி 1

ஒரு சிறுவன் 0°C வெப்ப நிலையிலுள்ள ·0·3 கி. கிராம் பனிக் கட்டியை 10 நிமிடங்களில் சாப்பிடுகிறான் எனில் அவன் செல விடும் திறனைக் கணக்கிடுக. (மனித தேகத்தின் வெப்ப நிலை 98·4° F; L = 80 கி. கேலரி / கி. கிராம்.)

தேகத்தின் வெப்பநிலை $= 98{\cdot}4°F = (98{\cdot}4 - 32)\,\frac{5°C}{9}$

$= 36.9°C.$

0·3 கி. கிராம் பனிக்கட்டியை நீராக்கு வதற்கும், அந்த நீரை 0°C-யிலிருந்து 36·9° C-க்கு உயர்த்து வதற்கும் தேவைப்படும் வெப்பம் $\} = {\cdot}3 \times 80 + {\cdot}3 \times 36{\cdot}9$

$= {\cdot}3 + 116.9$ கி. கேலரி

∴ 1 வினாடியில் சிறுவன் செல விடும் வெப்பம் $\} = \frac{{\cdot}3 \times 116{\cdot}9}{10 \times 60}$ கி. கேலரி

$= 58{\cdot}45$ கேலரி

வெப்ப ஆற்றலின் எந்திர ஆற்றல் இணை மாற்றுப்படி

1 கேலரி = 4.2 ஜூல்.

ஆகையால் 1 விநாடியில் சிறுவன் செலவிடும் ஆற்றல் } = 58·45 × 4·2 ஜூல்.

∴ சிறுவன் செலவிடும் திறன் } = 58·45 × 4·2 வாட்டுகள்.

மாதிரி 2

உராய்வற்ற உந்து தண்டைக் கொண்டை உருளை ஒன்றில் காற்றும் சிறிது நீரும் உள்ளன. வெப்பநிலை 7°C–யிலிருந்து 47°C-க்கு உயரும்பொழுது உருளையின் மூடிய முனைக்கும் உந்து தண்டுக்குமிடையே உள்ள தொலைவு 25% அதிகமாகிறது. 7°C வெப்பநிலையில் நீரின் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் ·01 மீ. பாதரசம் என்றும், வளி அழுத்தம் ·76 மீ. பாதரசம் என்றும் எடுத்துக்கொண்டு 47°C-ல் நீரின் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தைக் கணக்கிடுக.

47°C-ல் நீரின் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் p என்போம்.

p_1 = 7°C-ல் காற்றின் அழுத்தம் = 76 – ·01 = ·75 மீ.

p_2 = 47°C-ல் காற்றின் அழுத்தம் = (·76 – p).

v_1 = 7°C-ல் காற்றின் பருமன் = v என்போம்.

v_2 = 47°C-ல் காற்றின் பருமன் $= \frac{125\,v}{100} = \frac{5\,v}{4}$.

காற்றின் அளவுகளை மாத்திரம் கவனிக்கையில்

$$\frac{p_1\,v_1}{T_1} = \frac{p_2\,v_2}{T_2}$$

எனவே, $\frac{.75 \times v}{280} = \frac{(.76 - p)\,5\,v}{4 \times 320}$

$$\therefore\ (.76 - p) = \frac{4 \times 320 \times \cdot 75}{280 \times 5} = \cdot 6857 \text{ மீ.}$$

$\therefore p = \cdot 76 - \cdot 6857$ மீ.

$= \cdot 0743$ மீ. பாதரசம்

வினாக்கள்

1. தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்திற்கும் தெவிட்டா ஆவி அழுத்தத்திற்குமிடையே உள்ள வேறுபாடுகள் யாவை? வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்தைக் காண்பதற்கான சோதனைகளை விளக்கிக் கூறுக.

2. பெர்த்தலாட் கருவியின் அமைப்பையும் அதன் உதவியால் நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பத்தைக் காணும் முறையையும் விளக்குக.

3. நீராவியின் முழு வெப்பம் என்பது யாது? ரெனால்ட் முறையில் அதைக் காண்பதற்கான சோதனையை விவரிக்கவும்.

4. பரப்பின் வளைவைப் பொறுத்துத் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் எவ்வாறு மாறுகிறது என்று காட்டுக. இதைக் கொண்டு முகில் உண்டாவதற்கான சூழ்நிலைகளை ஆராய்க.

5. மும்மைப் புள்ளி என்பது யாது? நீரின் நீராவிக்கோடு, பனிக்கட்டிக் கோடு, உறைபனிக் கோடு ஆகியவற்றை வரைந்து அவை ஒரு புள்ளியில் சந்திக்கின்றன என்று காட்டுக.

6. கீழ்க்கண்டவற்றிற்குச் சிறு குறிப்புகள் எழுதுக :

(i) உருகி உறைதல்

(ii) எகிறிக் கொதித்தல்

(iii) நீராவியின் அக உள்ளுறை வெப்பமும், புற உள்ளுறை வெப்பமும்.

(iv) பதங்கமாதல்.

5. இயக்கவியற் கொள்கை

(Kinetic Theory)

1. பருப்பொருளின் இயக்கவியற் கொள்கை

இயக்கவியற் கொள்கையை முதன் முதலில் பயன்படுத்தியவர் பெர்னேலி (Bernouilli) ஆகும். அவர் 1730ஆம் ஆண்டு இக் கொள்கையின் அடிப்படையில் வாயுக்கள் பாயிலின் விதிக்கு உட்படுகின்றன என்று விளக்கிக் காட்டினர். 18ஆவது நூற்ருண்டில் க்ளாஷியஸ் (Clausius), மேக்ஸ்வெல் (Maxwell), போல்ட்ஸ்மன் (Boltzmann), ஜீன்ஸ் ((Jeans), வான்டெர் வால்ஸ் (Vander Waals), லொரண்ஸ் (Lorentz), ராலே (Rayleigh) ஆகிய விஞ்ஞானிகள் இக் கொள்கையைப் பெரிதும் வளர்த்து விரிவாக்கினர்கள். வாயுக்களின் தன்மையை விளக்குவதற்கு முதலில் உருவாக்கப்பட்ட இக் கொள்கை பின்பு திரவங்கள், திடப் பொருட்கள் ஆகியவற்றின் பண்புகளையும் விளக்கப் பயன்படுத்தப் பட்டது. ஆகையால் இதனைப் பருப்பொருளின் இயக்கவியற் கொள்கை எனக் கூறலாம்.

இக் கொள்கையின்படி ஒவ்வொரு பொருளிலும் எண்ணற்ற மூலக்கூறுகள் இருக்கின்றன. ஒரு பொருளின் மூலக்கூறு என்பது பொருளின் பண்புகளைக் கொண்டுள்ள மீச்சிறு துகளாகும். ஒரு பொருளின் மூலக்கூறுகள் எப்பொழுதும் இயங்குகின்றன என்றும் அவைகளின் இயக்க ஆற்றலே வெப்ப ஆற்றலாகும் என்றும் கூறப்படுகிறது.

திண்மநிலையில் மூலக்கூறுகள் மிகவும் நெருங்கியிருந்து ஒன்றுக்கொன்று பலமான ஈர்ப்பு விசைகளால் பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. ஆகையால் அவைகள் குறிப்பிட்ட நிலைகளிலேயே இருந்து அலைவினைக் கொண்டிருக்கின்றன. இதனுல் திடப் பொருட்களுக்குத் தனி உருவமும் பருமனும் அமையும். திடப் பொருளின் வெப்பநிலை அதிகமாகும்பொழுது மூலக்கூறுகளின் அலைவு வீச்சு அதிகமாகிறது. ஒரு கட்டத்தில் மூலக்கூறுகள் ஈர்ப்பு விசைகளை மீறித் தங்கள் நிலைகளிலிருந்து நகர்ந்து செல்லும். இதுவே உருகுதல் எனப்படும்.

திரவநிலையில் மூலக்கூறுகள் அங்குமிங்கும் வெவ்வேறு வேகங்களில் நகருகின்றன. இதனுல் திரவத்திற்குத் தனி உருவம்

கிடையாது. இருப்பினும் ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் அதைச்சுற்றி ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவுக்குள்ளிருக்கும் மற்ற மூலக்கூறுகளால் ஈர்க்கப்படுகிறது. அந்தத் தொலைவு மூலக்கூறு ஈர்ப்பு எல்லை (Range of molecular attraction) எனப்படுகிறது. ஆகையால் திரவத்திற்குத் தனிப்பருமனும் திரவமட்டமும் உண்டு. திரவ மட்டத்திலிருக்கும் மூலக்கூறுகள் திரவத்திற்குள் ஈர்க்கப்படு கின்றன. திரவத்தின் வெப்பநிலை உயரும்பொழுது மூலக்கூறு களின் இயக்க ஆற்றல் அதிகமாகிறது. ஒரு கட்டத்தில் மூலக் கூறுகள் அவற்றிற்கிடையே உள்ள ஈர்ப்பு விசையிலிருந்து முழு வதும் விடுபட்டுத் தன்னிச்சையாக இங்குமங்கும் மிகுந்த வேகங்க ளுடன் இயங்கும். இந்த நிலையில் திரவம் வாயுவாக மாறுகிறது என்று சொல்லுகிறோம்.

2. மூலக்கூறுகளின் இயக்கப் பண்பைப் புலப்படுத்தும் சில சோதனைகள்

1827ஆம் ஆண்டு பிரௌன் (Brown) என்ற தாவரவியல் விஞ்ஞானி ஒரு திரவத்தில் மகரந்தப்பொடி போன்று கரையாது நிற்கும் சிறு துகள்கள் அங்குமிங்குமாக அலைவதை ஒரு திறன் மிகுந்த நுண்ணோக்கியின் மூலம் கண்டார். இது பிரௌன் இயக் கம் (Brownian motion) என்றழைக்கப்படுகிறது. இந்த இயக் கத்தை நன்கு ஆராய்ந்து இவ்வித இயக்கம், திரவத்திலுள்ள மூலக் கூறுகள் துகள்கள்மீது மோதுவதால் உண்டாகிறது என்று பெர்ரின் (Perrin) என்பவர் கூறினர்.

3. வாயுவின் இயக்கவியற் கொள்கை—எடுகோள்கள் (Kinetic Theory of Gases—Postulates)

வாயுவின் இயக்கவியற் கொள்கையில் கீழ்க்கண்ட எடு கோள்கள் உள்ளன:

(i) ஒவ்வொரு வாயுவிலும் மிகுந்த எண்ணிக்கையுள்ள முழு மீட்சித்திறம் கொண்ட கோளகவடிவ மூலக்கூறுகள் உள்ளன.

(ii) மூலக்கூறுகள் பல்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு வேகங் களுடன் ஓயாது இயங்கி ஒன்றோடொன்றும் கொள்கலத்தின் சுவர்களுடனும் மோதிக்கொள்கின்றன.

(iii) மூலக்கூறுகளுக்கிடையே கணிசமான ஈர்ப்பு விசையோ விலக்கு விசையோ இல்லை.

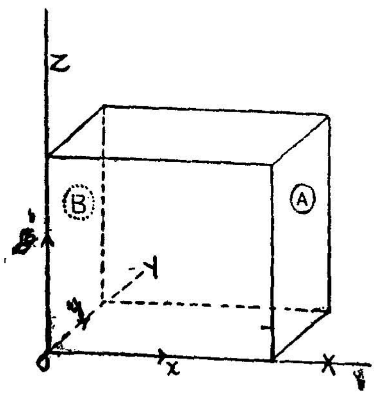
(iv) சராசரி மோதலிடைத்தூரத்துடன் (Mean Free Path) ஒப்பிடும்பொழுது மூலக்கூறின் பருமானம் புறக்கணிக்கத் தக்க தாகும்.

(v) மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் தனி வெப்ப நிலைக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும்.

4. வாயுவின் அழுத்தத்திற்கான எண்ணுருக் கோவை (Expression for pressure of a gas)

மூலக்கூறுகள் கொள்கலத்தின் சுவர்களில் ஓயாது மோதுவதால் சுவர்களில் உந்த மாறுதல் (Change of momentum) ஏற்படும். சுவர்களின் ஓரலகு பரப்பளவிலேற்படும் உந்தமாறுதல் வீதமே வாயுவின் அழுத்தம் எனப்படும்.

1 மீ. நீளமுள்ள பக்கத்தைக் கொண்ட ஒரு கன சதுரக் கொள்கலத்தில் வாயு இருப்பதாகக் கொள்வோம். வாயுவின் மூலக்கூறுகளும் கொள்கலத்தின் சுவர்களும் முழு மீட்சித் திறமுள்ளவை எனக் கொள்வோம். கனசதுரத்தின் பக்கங்களுக்கு இணையாக X Y Z அச்சுகளை எடுத்துக்கொள்வோம். மூலக்கூறுகளின் திசை வேகங்கள் C_1, C_2, C_3 எனக் கொள்வோம். இப்பொழுது C_1 திசைவேகத்தின் X Y Z அச்சுக்களுக்கு இணையான ஆக்கக் கூறுகள் முறையே u_1, v_1, w_1 எனக் கொள்வோம். இவ்வாறே C_2, C_3, C_4 .... ஆகியவற்றின் ஆக்கக் கூறுகள் முறையே $(u_2\ v_2\ w_2)$, $(u_3\ v_3\ w_3)$, $(u_4\ v_4\ w_4)$...... என்ற தொகுதிகளால் கொடுக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம்.



படம் 68.

எனவே, $c_1^2 = u_1^2 + v_1^2 + w_1^2$

$$c_2^2 = u_2^2 + v_2^2 + w_2^2$$

.... ஆகும்.

இனி X அச்சுக்கு இணையான திசை வேக ஆக்கக் கூறுகளினுலேற்படும் விளைவைக் கவனிப்போம். இந்த அச்சுக்குச்

செங்குத்தான சுவர்கள் A, B எனக் கொள்வோம். u_1 ஆக்கக் கூறைக்கொண்ட மூலக்கூறு, A, B சுவர்களில் மாறி மாறி மோதுகிறது. மூலக்கூறின் நிறை m எனில் அது A சுவரில் மோதுவதற்கு முன்னுல் அதன் உந்தம் $= mu_1$. மூலக்கூறும் சுவரும் முழு மீட்சித் திறமுள்ளவையாதலால் மோதலின்போது மூலக் கூறின் திசைவேக ஆக்கக்கூறு u_1 என்ற மதிப்பிலிருந்து $-u_1$ என்ற மதிப்புக்கு மாற்றப்படும். எனவே மோதலுக்குப்பின் மூலக் கூறின் உந்தம் $= -mu_1$ ஆகும். ஆகையால், மூலக்கூறில் ஏற்பட்ட உந்த மாற்றம் $= mu - (-mu_1) = 2mu_1$. நியூட்டனின் 3ஆவது விதியின் பயனுய் இந்த மோதலினுல் சுவரிலேற்பட்ட உந்த மாறுதலும் $2mu_1$ ஆகும். A சுவரில் மோதிப் பின் னடையும் மூலக்கூறு எதிராக உள்ள சுவரில் (B) மோதியபின் திரும்பவும் A சுவரை நோக்கி வரும். எனவே, இது மீண்டும் A சுவரில் மோதும். இவ்வாறு ஒரு குறிப்பிட்ட மூலக்கூறு ஒரு குறிப் பிட்ட சுவரில் ஒரு முறை மோதியபின் மீண்டும் மோதுவதற்குள் 2l தொலைவைக் கடக்கிறது. குறிப்பிட்ட மூலக்கூறு இதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் $= \frac{2l}{u_1}$. எனவே இந்த மூலக்கூறு $\frac{2l}{u_1}$ நேரத்துக்கு ஒரு தடவை A சுவரில் மோதுகிறது எனலாம்.

ஆகையால் ஒரு விஞடியில் இந்த மூலக்கூறு $\frac{1}{\left(\frac{2l}{u_1}\right)} = \frac{u_1}{2l}$ முறை A சுவரில் மோதும். எனவே இந்த மூலக்கூறினுல் A சுவருக்கு ஒரு விஞடியில் ஏற்படும் உந்தமாறுதல்

$$= 2mu_1 \times \frac{u_1}{2l} = \frac{mu_1^2}{l}.$$

இவ்வாறு எல்லா மூலக் கூறுகளின் விளைவுகளையும் கவனிக்கை யில் A சுவருக்கு ஒரு விஞடியிலேற்படும் உந்தமாறுதல்

$$= \frac{mu_1^2}{l} + \frac{mu_2^2}{l} + \frac{mu_3^2}{l} + \ldots\ldots$$

ஆனுல் A சுவரின் பரப்பளவு l^2 ஆகும். எனவே, அதன் ஓரலகு பரப்பளவில் ஏற்படும் உந்த மாறுதல் வீதம் $= \frac{m}{l^3}(u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \ldots\ldots)$. இதுவே அந்தச் சுவரில் விளையும் அழுத்தமாகும். இதனை P_x என்போம். இவ்வாறே Y, Z அச்சுகளுக்குச் செங்குத்தான சுவர்களில் விளையும் அழுத்தங் களை முறையே P_y, P_z எனக் குறிப்பிடுவோமாயின்,

$$Py = \frac{m}{l^3}\ (v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \ldots\ldots)$$

$$Pz = \frac{m}{l^3}\ (w_1^2 + w_2^2 + w_3^2 + \ldots\ldots)$$

எடுத்துக் கொள்ளப்பட்ட கொள்கலம் சிறியதாக இருக்குமானுல் Px, Py, Pz ஆகியவை சமமாகும். எனவே, வாயுவின் அழுத்தம் பொதுவாக P என்பதால் குறிக்கப்படுமாயின்,

$$P = Px = Py = Pz$$

$$= \frac{Px + Py + Pz}{3}$$

$$= \frac{1}{3}\frac{m}{l^3}\left[\ (u_1^2 + v_1^2 + w_1^2) + (u_2^2 + v_2^2 + w_2^2) + \ldots\right]$$

$$= \frac{1}{3}\frac{m}{l^3}\left[\ c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\right]$$

கொள்கலத்தின் பருமன் V எனில்

$$P = \frac{1}{3}\frac{m}{V}\left[\ c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\right]$$

கொள்கலத்திலுள்ள மூலக்கூறுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை N எனவும், அவற்றின் நிசை வேக சராசரி இருமடி (Mean square velocity) $\overline{c^2}$ எனவும் கொள்வோமாஞல்,

$$\overline{c^2} = \left(\frac{c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \ldots\ldots}{N}\right)$$

$$\therefore N\overline{c^2} = c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \ldots\ldots$$

ஆகையால், $P = \frac{1}{3}\ \frac{Nm\overline{c^2}}{V}$.

இதில் Nm என்பது மூலக்கூறுகளின் மொத்த நிறையை அதாவது, வாயுவின் நிறையைக் கொடுக்கும். இந்த நிறை M எனில்,

$$P = \frac{1}{3}\frac{M\overline{c^2}}{V}$$

ஆனுல், $\frac{M}{V} = \rho =$ வாயுவின் அடர்த்தி.

எனவே $P = \frac{1}{3}\ \rho\ \overline{c^2}$

5. அழுத்தத்திற்கான எண்ணுருக் கோவையிலிருந்து வாயுக்களின் விதிகளைப் பெறுதல்

(i) **பாயிலி விதி** (Boyle's law): $p = \frac{1}{3}\frac{M}{V}\overline{c^2}$ என்பது அழுத்தத்திற்கான எண்ணுருக் கோவையாகும்.

எனவே, $pV = \frac{1}{3}M\overline{c^2}$

ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் ஒரு வாயுவின் $\overline{c^2}$ மாறிலியாகும்.

எனவே, ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையைக் கொண்ட வாயுவிற்கு,

pV = மாறிலி.

இதுவே பாயிலின் விதியாகும்.

(ii) **சார்லஸ் விதி** (Charles' Law): இயக்கவியற் கொள்கைப் படி ஒரு வாயுவின் மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் வாயுவின் தனி வெப்பநிலைக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது.

எனவே, $\frac{1}{2}m\overline{c^2} \propto T$

அதாவது $\frac{1}{2}m\overline{c^2} = \propto T$ (இங்கு $\propto$ ஒரு மாறிலி)

$\therefore m\overline{c^2} = 2\propto T.$

இப்பொழுது அழுத்தத்திற்கான எண்ணுருக் கோவையின்படி

$$p = \frac{1}{3}\frac{Nm}{V}\overline{c^2}$$

$$= \frac{1}{3}\frac{N}{V}(2\propto T)$$

$$\therefore pV = (\tfrac{2}{3}N\propto)T$$

$$= RT \text{ (இங்கு R ஒரு மாறிலி)}$$

எனவே பருமன் மாரு நிலையில் ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையைக் கொண்ட வாயுவின் அழுத்தம் அதன் தனி வெப்பநிலைக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது இதுவே சார்லஸ் விதியாகும்.

இப்பகுதியில் தருவிக்கப்பட்ட $PV = RT$ என்பது இலட்சிய வாயுச் சமன்பாடு ஆகும்.

(iii) அவகேட்ரோ விதி (Avagadro's Law) ஒரே வெப்பநிலையிலுள்ள இரு வாயுக்களைக் கவனிப்போம். ஒரு வாயுவின் அழுத்தம், பருமன், ஒரு மூலக்கூறின் நிறை, மூலக்கூறுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை ஆகியவை முறையே p_1, V_1, m_1, N_1 எனக்கொள்வோம். மற்ற வாயுவிற்கு அவை முறையே p_2, V_2, m_2, N_2 எனக் கொள்வோம். கொடுக்கப்பட்ட வெப்பநிலையில் முதல் வாயு மூலக்கூறுகளின் திசைவேக சராசரி இருமடியின் மதிப்பு $\overline{c_1^2}$ எனவும், இரண்டாவது வாயு மூலக்கூறுகளின் திசைவேக சராசரி இருமடியின் மதிப்பு $\overline{c_2^2}$ எனவும் கொள்வோம். வெப்பநிலைகள் சமமாக இருக்குமானால் முதல் வாயு மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் இரண்டாவது வாயு மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றலுக்குச் சமமாக இருக்கும்.

அதாவது $\frac{1}{2} m_1 \overline{c_1^2} = \frac{1}{2} m_2 \overline{c_2^2}$ ... (1)

இப்பொழுது அழுத்தத்திற்கான எண்ணுருக் கோவையின்படி

$$p_1 = \frac{1}{3} \frac{N_1 m_1}{V_1} \overline{c_1^2}$$

$$p_2 = \frac{1}{3} \frac{N_2 m_2}{V_2} \overline{c_2^2}$$

எனவே, அழுத்தங்கள் சமமாகவும், பருமன்கள் சமமாகவும் இருப்பின், அதாவது $p_1 = p_2$, $V_1 = V_2$ எனில்,

$$\frac{1}{3} N_1 m_1 \overline{c_1^2} = \frac{1}{3} N_2 m_2 \overline{c^2} \quad \text{... (2)}$$

(1) ஆவது சமன்பாட்டை (2) ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$N_1 = N_2.$$

ஆகையால், ஒரே வெப்பநிலையில் சம அழுத்தங்களைக் கொண்ட இரு வாயுக்களின் சம பருமன்களில் உள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கைகள் சமமாகும். இதுவே அவகேட்ரோ விதியாகும்.

(iv) விரவல் பற்றிய கிரஹம் விதி (Graham's law of diffusion): ஒரே வெப்பநிலையிலுள்ள இரு வாயு மூலக்கூறுகளின் திசைவேக சராசரி இருமடிகளின் மதிப்புகள் முறையே $\overline{c_1^2}$, $\overline{c_2^2}$ என இருக்கட்டும். அந்த வாயுக்கள் சம அளவு அழுத்தத்தில் இருப்பதாகவும், இந்த நிலையில் அவைகளின் அடர்த்திகள் முறையே ρ_1, ρ_2 என்றிருப்பதாகவும் கொள்வோம். இப்பொழுது அழுத்தத்திற்கான சமன்பாட்டைக் கவனிக்கையில்

$$p = \frac{1}{3}\rho_1 \overline{c_1^2} = \frac{1}{3}\rho_2 \overline{c_2^2}$$

$$\therefore \frac{\overline{c_1^2}}{\overline{c_2^2}} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

$$\therefore \frac{\sqrt{\overline{c_1^2}}}{\sqrt{\overline{c_2^2}}} = \frac{\sqrt{\rho_2}}{\sqrt{\rho_1}}$$

$\sqrt{\overline{c_1^2}}$, $\sqrt{\overline{c_2^2}}$ ஆகியவை **திசைவேகச் சராசரி இருமடிகளின் இருமடி மூலங்கள்** (Root Mean square velocities) ஆகும். இவைகளின் தகவும் மூலக்கூறுகளின் சராசரித் திசை வேகங்களின் (Mean velocities) தகவும் ஒன்றுகும். வாயுக்கள் விரவிப் பரவும் வீதங்கள் வாயு மூலக்கூறுகளின் திசை வேகங்களுக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். எனவே, வாயுக்கள் விரவிப்பரவும் வீதங்கள் அவைகளின் அடர்த்திகளின் இருமடி மூலங்களுக்கு எதிர் விகிதத்தி லிருக்கும். இதுவே கிரஹம் விதியாகும்.

(v) **பகுதி அழுத்தங்கள் பற்றிய டால்ட்டன் விதி** (Dalton's law of partial pressures): V பருமன் உள்ள கொள்கலத்தில் N_1, N_2, N_3...... எண்ணிக்கையுள்ள மூலக்கூறுகளைக் கொண்ட வெவ்வேறு வாயுக்கள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். வெவ்வேறு வகை மூலக்கூறுகள் ஒவ்வொன்றின் நிறைகள் m_1, m_2, m_3...... எனவும், அவைகளின் திசைவேகச் சராசரி இருமடிகளின் மதிப்புகள் $\overline{c_1^2}, \overline{c_2^2}, \overline{c_3^2}$...... எனவும் கொள்வோம்.

முதல்வகை மூலக்கூறுகள் விளைவிக்கும்

$$\text{அழுத்தம்} = \frac{1}{3}\frac{N_1 m_1 \overline{c_1^2}}{V} = p_1$$

இரண்டாவது வகை ,, ,, $= \frac{1}{3}\frac{N_2 m_2 \overline{c_2^2}}{V} = p_2$

மூன்றாவது வகை ,, ,, $= \frac{1}{3}\frac{N_3 m_3 \overline{c_3^2}}{V} = p_3$

ஆதலால் எல்லா வகை வாயு மூலக்கூறுகளும் சேர்ந்து உண்டாக்கும் அழுத்தம்

$$= \frac{1}{3}\frac{N_1 m_1 \overline{c_1^2}}{V} + \frac{1}{3}\frac{N_2 m_2 \overline{c_2^2}}{V} + \dots$$

$$= p_1 + p_2 + p_3 +$$

எனவே, வெவ்வேறு வாயுக்கள் ஒரு கொள்கலத்திலிருக்கும் பொழுது அவற்றினுலேற்படும் மொத்த அழுத்தமானது ஒவ்வொரு வாயுவும் தனித்து அந்தக் கொள்கலத்தில் இருக்கும்போது என்ன அழுத்தங்கள் ஏற்படுமோ அந்த அழுத்தங்களின் கூட்டுத்தொகை யாகும். இதுதான் பகுதி அழுத்தங்களுக்கான டால்ட்டன் விதி.

6. மூலக்கூறுகளின் திசை வேகச் சராசரி இருமடியின் இருமடி மூலம் (Root Mean Square Velocity—RMS Velocity)

இயக்கவியற் கொள்கைப்படி

$$p = \frac{1}{3} \rho \overline{c^2}$$

$$\therefore \overline{c^2} = \frac{3p}{\rho}$$

$$\therefore \sqrt{\overline{c^2}} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}$$

$\sqrt{\overline{c^2}}$ என்பது RMS திசை வேகமாகும். அதாவது திசை வேகச் சராசரி இருமடியின் இருமடி மூலமாகும். இது $\sqrt{\frac{3p}{\rho}}$ என்பதால் கொடுக்கப்படும். காட்டாக, படித்தர வெப்ப அழுத்த நிலைகளில் ஹைட்ரஜனின் அடர்த்தி = ·089 கி. கிராம் / க. மீ.

$$\therefore \sqrt{\overline{C^2}_s} = 0°C \text{ வெப்பநிலையில் RMS திசைவேகம்}$$

$$= \sqrt{\frac{3 \times \cdot 76 \times 13 \cdot 6 \times 1000 \times 9 \cdot 81}{\cdot 089}}$$

$$= 1 \cdot 84 \times 10^3 \text{ மீ. / விநாடி.}$$

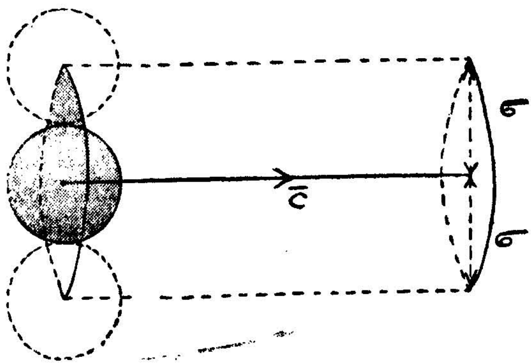
வேறு எந்த வெப்பநிலையிலும் RMS திசை வேகம் வேண்டி யிருப்பின் அது தனி வெப்பநிலையின் இருமடி மூலத்துக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது என்ற கோட்பாட்டைப் பயன்படுத்தி அதன் மதிப்பைப் பெறலாம்.

$$\frac{\overline{c^2 \theta}}{\overline{c^2_0}} = \frac{T\theta}{T_0}$$

$$\therefore \sqrt{\frac{\overline{c^2\theta}}{\overline{c^2_0}}} = \sqrt{\frac{T\theta}{T_0}} = \frac{\theta°C\text{-ல் RMS திசைவேகம்}}{0°C\text{-ல் RMS திசைவேகம்}}$$

7. சராசரி மோதலிடைத் தூரம் (Mean Free Path)

சராசரி மோதலிடைத் தூரம் என்பது அடுத்தடுத்து ஏற்படும் இரு மோதல்களுக்கு இடையே ஒரு மூலக்கூறு செல்லும் சராசரித் தொலைவாகும். ஒரு வாயு மூலக்கூறுகளின் சராசரித் திசை வேகம் $\overline{C}$ என்போம். வாயுவின் ஓரலகு பருமனில் a மூலக்கூறுகள் இருப்பதாகவும், ஒவ்வொரு மூலக்கூறின் விட்டம் σ எனவும் கொள்வோம். ஒரு மூலக்கூறின் மையம் AB என்ற ஒரு நேர்கோட்டில் செல்வதாகவும், மற்ற மூலக்கூறுகளின் மையங்கள் நிலைமாறுமல் இருப்பதாகவும் கற்பனையாகக் கொள்வோம். AB கோட்டின் நீளம் $\overline{C}$ எனக் கொள்வோம். AB கோட்டை



படம் 69.

அச்சாகவும், σ என்பதை குறுக்குப் பரப்பளவின் ஆரமாகவும் கொண்டு வரையப்பட்ட ஒரு நீள் உருளை வடிவப் பருமனைக் கவனிப்போம். ஒரு விளுடியில் குறிப்பிட்ட மூலக்கூறு AB கோட்டில் $\overline{C}$ தொலைவைக் கடக்கிறது. இப்பொழுது மேலே குறிப்பிட்ட உருளை வடிவப் பருமனுக்குள் எவ்வளவு மூலக்கூறுகளின் மையங்கள் இருக்கின்றனவோ அவை ஒவ்வொன்றுடனும் குறிப்பிட்ட மூலக்கூறு மோதும்.

$\therefore$ ஒரு விளுடியில் குறிப்பிட்ட மூலக்கூறின் மோதல்கள் $= \pi\sigma^2 \overline{C}\, n.$

ஒரு விளுடியில் குறிப்பிட்ட மூலக்கூறு செல்லும் தூரம் $= \overline{C}.$

$\therefore$ அடுத்தடுத்த இரு மோதல்களுக்கிடையே மூலக்கூறு செல்லும் தூரம் $= \dfrac{\overline{C}}{\pi\sigma^2\overline{C}n}$

$\therefore$ சராசரி மோதலிடைத் தூரம் $= (\lambda) = \dfrac{1}{\pi\sigma^2 n}$

அழுத்தம் அதிசமாகும்பொழுது n அதிகமாகும். ஆகவே, சராசரி மோதலிடைத் தூரமானது அழுத்தத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கிறது. மேலும் இது மூலக்கூறு விட்டத்தின் இருமடிக்கு (σ^2) எதிர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

மேலே கூறப்பட்ட முறையில் ஒரு மூலக்கூறைத் தவிர மற்றவை நிலைமாறும விருக்கின்றன என்ற கற்பனையைக் கொண்டோம். ஆனல், மேக்ஸ்வெல் (Maxwell) என்பவர் எல்லா மூலக்கூறுகளையுமே இயங்குவதாகக் கொண்டு சராசரி மோதலிடைத் தூரத்துக்குக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டை நிறுவினர்.

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\,\pi\,\sigma^2\,n}$$

8. உரிமைப் படிகள் (Degrees of Freedom)

ஒரு பொருளின் நிலை, வடிவமைதி (configuration) ஆகியவற்றை முழுமையாகக் குறிப்பதற்கு இன்றியமையாத அளவுகளின் எண்ணிக்கை அப் பொருளின் உரிமைப்படிகள் எனப்படும். இடப்பெயர்ச்சி மட்டுமே உடைய துகளிற்கு மூன்றே உரிமைப் படிகள் உண்டு. மாறுக, எந்தத் திண்பொருளுக்கும் இடப் பெயர்ச்சியைத் தவிர ஒரு சுழற்சியும் இருக்கும். அச் சுழற்சி காரணமாக இன்னும் மூன்று படிகள் அமையும். ஆனல் இரு முனைகளையுடைய நீட்டுருக்கொண்ட ஈரணு மூலக்கூறுக்கு இடப் பெயர்ச்சியைப் பொறுத்து மூன்றும், சுழற்சியைப் பொறுத்து இரண்டுமாக மொத்தம் ஐந்து படிகள்தான் இருக்க முடியும்.

ஒரு பொருளின் ஆற்றல் அந்தப் பொருளின் பல்வேறு படிகளிடையே சமமாகப் பகிர்ந்தமைகிறது என்று 1859 ஆம் ஆண்டு மேக்ஸ்வெல் என்பவர் கூறினர். ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் ஒவ்வொரு படிக்கும் ஆற்றல் மாறிலியாகும் என்று போல்ட்ஸ்மேன் என்பவர் 1861ஆம் ஆண்டு கூறினர்.

இயக்கவியற் கொள்கைப்படி,

$$p = \frac{1}{3}\,\frac{Nm}{V}\,\overline{c^2}$$

அதாவது, $pV = \frac{1}{3}\,Nm\,\overline{c^2}$

ஒரு மூலக் கூறின் இயக்க ஆற்றல் அதன் தனி வெப்பநிலைக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது.

$$\therefore\ \frac{1}{2}\,m\,\overline{c^2} = \propto t \text{ (இங்கு } \propto \text{ ஒரு மாறிலி)}$$

$$\therefore\ \frac{1}{2}\,Nm\,\overline{c^2} = N \propto T$$

$$\text{எனவே,}\quad pV = \tfrac{1}{3}(2N \propto T)$$
$$= \tfrac{2}{3} N \propto T$$

இலட்சிய வாயுச் சமன்பாட்டின்படி

$$pV = RT$$

$$\text{எனவே,}\ \tfrac{2}{3} N \propto T = RT$$

$$\therefore \quad \propto T = \tfrac{3}{2}\left(\frac{R}{N}\right)T$$

ஒரு கிராம் மூலக்கூறு வாயுவைக் கவனிப்பதாகக் கொள்வோமாயின்

$$\propto T = \tfrac{3}{2}\left(\frac{Ru}{Nu}\right)T$$

$$\text{எனவே}\ \frac{R}{N} = \frac{Ru}{Nu} = k.$$

இங்கு k என்பது ஒரு மாறிலி. இது போல்ட்ஸ்மேன் மாறிலி எனப்படுகிறது.

$$\therefore \quad \propto T = \tfrac{1}{2} m\, \overline{c^2} = \tfrac{3}{2} kT.$$

இது 3 படிகளுக்கான ஆற்றலாகும். எனவே ஒரு மூலக்கூறின் ஒரு படிக்கான ஆற்றல் = $\frac{1}{2} kT$.

இங்கு ஒரு மூலக்கூறின் ஆற்றலானது அதன் உரிமைப் படிகளுக்கிடையே சமமாகப் பங்கிட்டு ஓர் உரிமைப்படிக்கான ஆற்றல் $\frac{1}{2} kT$ எனக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இதுவே ஆற்றல் சமப்பங்கீட்டு விதியாகும்.

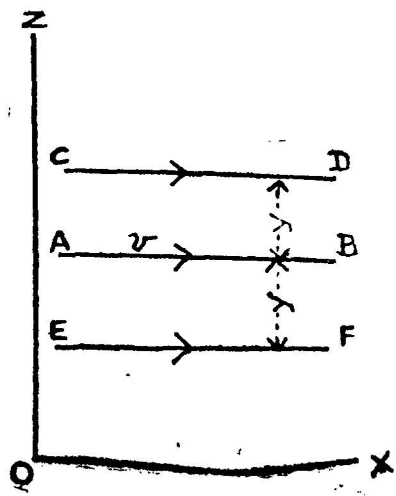
9. இயக்கவியற் கொள்கையில் வாயுக்களின் பாகுநிலைக்கு விளக்கம் (Explanation for Viscosity of gases on Kinetic Theory)

ஒரு திடப்பொருளின் கிடைமட்டத் தளத்தின்மேல் ஒரு வாயு நகர்ந்து செல்வதாகப் பாவிப்போம். திடப்பொருளின் தளத்தை ஒட்டிய வாயுவின் படலம் (layer) நகராமல் இருக்கும். ஆனால், அந்தப் படலத்திலிருந்து தொலைவு அதிகமாகும்பொழுது. நகருதலின் திசைவேகம் அதிகமாகும். இந்தத் திசைவேகம் மூலக்கூறுகளின் இயக்கத் திசைவேகத்துடன் ஒப்பிடும்பொழுது மிகச் சிறியது ஆகும். நகரும் திசை X அச்சுக்கு இணையானது எனவும்,

கிடைமட்டம் X-y தளத்துக்கு இணையானது எனவும் கொள்வோமானால், இந்தத் தளத்திற்குச் செங்குத்தான திசை Z அச்சுக்கு இணையானதாகும். AB என்பது ஒரு கிடைமட்டத் தளத்தைக் குறிப்பதாகவும், அந்தத் தளத்தில் வாயுவின் நகர்தல் திசைவேகம் v எனவும் கொள்வோம்.

வாயுவின் வெவ்வேறு படலங்கள் வெவ்வேறு திசைவேகங்களுடன் நகரும்பொழுது வாயு மூலக்கூறுகள் எல்லாத் திசைகளிலும் சென்று மோதிக் கொள்கின்றன. ஒரு கன சதுர மீ. பருமனில் உள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை n எனில், இவற்றில் மூன்றில் ஒரு பாகம் Z அச்சுக்கு இணையாகச் செல்கின்றன எனக் கொள்ளலாம். இதிலும் பாதி Z அச்சின் மேல் நோக்கிய திசையிலும், மற்றப்பாதி அதன் கீழ்நோக்கிய திசையிலும் செல்கின்றன எனலாம். எனவே AB-ன் ஓரலகுக் குறுக்குப் பரப்பு வழியாக 1 விநாடியில் மேல்நோக்கிச் செல்லும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை $= \frac{1}{6} n \bar{c}$. இங்கு $\bar{c}$ என்பது மூலக்கூறுகளின் சராசரித் திசைவேகம் ஆகும்.

அதே காலத்தில் அப் பரப்பு வழியாகக் கீழ்நோக்கிச் செல்லும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையும் $\frac{1}{6} n \bar{c}$ ஆகும்.



படம் 70.

வாயு நகருவதால் மூலக்கூறுகளின் இயக்கத் திசைவேகத்துடன் நகர்தல் திசைவேகம் பொருந்தி இருக்கும். ஆனால் இந்த

நகர்தல் திசைவேகம் அடுக்குக்கு அடுக்கு மாறுபடும். சராசரி மோதலிடைத் தூரம் λ எனில், அடுத்தடுத்துள்ள இரு மோதல் களால் ஒரு குறிப்பிட்ட அடுக்கில் உள்ள நகர்தல் திசை வேகம் அதற்கு λ தொலேவிலுள்ள அடுக்குக்கு மாற்றப்படும். *AB*-க்கு மேலே λ தொலேவில் உள்ள *CD* என்ற அடுக்கையும், *AB*-க்குக் கீழே λ தொலேவில் உள்ள *EF* என்ற அடுக்கையும் கவனிப்போம். இவற்றில் உள்ள வாயுவின் நகர்தல் திசைவேகங்கள் முறையே

$$\left(v + \lambda \frac{dv}{dz}\right)$$

$$\left(v - \lambda \frac{du}{dz}\right)$$

என ஆகும்.

CD-ல் ஏற்பட்ட மோதலுக்குப் பிறகு *AB*-ல் நடக்கும் மோத லினுல் *CD*-ன் நகர்தல் திசைவேகம் *AB*-க்குச் சற்றே கீழுள்ள மூலக்கூறுகளுக்கு மாற்றப்படுகிறது. இவ்வாறே *EF*-ல் ஏற்பட்ட மோதலுக்குப் பிறகு *AB*-ல் நடக்கும் மோதலினுல் *EF*-ன் நகர்தல் திசைவேகம் *AB*-க்குச் சற்றே மேலுள்ள மூலக்கூறுகளுக்கு மாற்றப்படுகிறது.

எனவே ஓரலகுப் பரப்பு வழியாகக் கீழ்நோக்கிச் செல்லும் மூலக்கூறுகளினுல் *AB*-க்குச் சற்றே கீழுள்ள மூலக்கூறுகளுக்கு ஒரு விணுடியில் மாற்றப்படும் *X* அச்சுக்கு இணையான உந்தம்

$$= \frac{n\bar{c}}{6} m \left(v + \lambda \frac{dv}{dz}\right)$$

(இங்கு *m* என்பது மூலக்கூறின் நிறை). இவ்வாறே ஓரலகுப் பரப்பு வழியாக மேல் நோக்கிச் செல்லும் மூலக்கூறுகளினுல் *AB*-க்குச் சற்றே மேலுள்ள மூலக்கூறுகளுக்கு ஒரு விணுடியில் மாற்றப்படும் *X* அச்சுக்கு இணையான உந்தம்

$$= \frac{n\bar{c}}{6} m \left(v - \lambda \frac{dv}{dz}\right)$$

எனவே, *AB* தளத்தில் ஓரலகுப் பரப்பில் ஏற்படும் மோதல்களால் *ABCD* பகுதிக்கு ஒரு விணுடியில் ஏற்படும் நிகர உந்த இழப்பு

$$= \frac{n\bar{c}}{6} m \left(v + \lambda \frac{dv}{dz}\right) - \frac{n\bar{c}}{6} m \left(v - \lambda \frac{dv}{dz}\right)$$

$$= \frac{n\bar{c}}{6} m \left(2\lambda \frac{dv}{dz}\right)$$

$$= \frac{1}{3}\, n\, m\, \bar{c}\, \lambda\, \frac{dv}{dz}$$

$$= \frac{1}{3}\, \rho\, \bar{c}\, \lambda\, \frac{dv}{dz}$$ (இங்கு $\rho = n\,m$ = அடர்த்தி)

இவ்வாறே *ABEF* பகுதிக்கு ஓரலகுப் பரப்பு வழியாக ஒரு வினாடியில் கிடைக்கும் உந்த ஏற்பு

$$= \frac{1}{3}\, \rho\, \bar{c}\, \lambda\, \frac{dv}{dz}$$

இதன் காரணமாக *ABEF* பகுதி *ABCD* பகுதியைப் பின் இழுப்பது போலவும். *ABCD* பகுதி *ABEF* பகுதியை முன் இழுப்பது போலவும் தோன்றும். இவ்வாறு இவற்றினிடையே ஓரலகுப் பரப்பில் செயற்படும் விசை

= F = உந்தம் மாறும் வீதம்

$$= \frac{1}{3} \rho\, \bar{c}\, \lambda\, \frac{dv}{dz} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (1)$$

பாகுநிலை இயல்படி η என்பது வாயுவின் பாகியல் எண் (coefficient of viscosity) எனில், ஓரலகுக் குறுக்குப் பரப்பில் செயற்படுத்தப் படும் வீசை

$$= F = \eta\, \frac{dv}{dz} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (2)$$

எனவே (1), (2) சமன்பாடுகளிலிருந்து

$$\eta\, \frac{dv}{dz} = \frac{1}{3}\, \rho\, \bar{c}\, \lambda\, \frac{dv}{dz}$$

அதாவது $\eta = \frac{1}{3}\, \rho\, \bar{c}\, \lambda$

ஆனல் மூலக்கூறின் விட்டம் = σ எனில், சராசரி மோதலிடைத்

தூரம் $= \lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\, \pi \sigma^2 n}$

எனவே $\eta = \frac{1}{3}\, \rho\, \bar{c} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}\, \pi \sigma^2 n}$

$$= \frac{n\, m\, \bar{c}}{3 \sqrt{2}\, \pi \sigma^2 n}$$

$$= \frac{m\bar{c}}{3\sqrt{2}\,\pi\sigma^2}$$

இதில் m, σ ஆகியவை மாறிலிகள். ஆனால், $\bar{c}$ வெப்பநிலையைப் பொறுத்து மாறக்கூடியது. எனவே η-ன் மதிப்பு வெப்பநிலையைப் பொறுத்து மாறும். இது பொதுவாக அழுத்தத்தைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை. ஆனால் மிகக் குறைந்த அழுத்தத்தில் இது அழுத்தத்தைப் பொறுத்து மாறுகிறது. ஏனெனில், பொதுவாக அழுத்தம் குறையும்பொழுது (அதாவது n குறையும்பொழுது) λ-ன் மதிப்பு அதிகமானாலும், λ-ன் மதிப்பு கொள்கலத்தின் அளவை அடைந்ததும் மாறாமல் இருப்பது தெரியும். இந்நிலையில் மூலக்கூறுகள் கொள்கலத்தின் சுவர்களில் நேரிடையாக மோதிக் கொள்கின்றன என்பதை இது குறிக்கும். எனவே, இந்த நிலையில் η-ன் மதிப்பு ρ-க்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும்; அதாவது அழுத் தத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். அழுத்தம் குறையும் பொழுது η-ன் மதிப்பும் குறையும்.

வினாக்கள்

1. வாயுவின் இயக்கவியற் கொள்கையில் உள்ள எடு கோள்கள் யாவை? இக் கொள்கையைக் கொண்டு ஒரு வாயுவின் அழுத்தத்திற்கான எண்ணுருக் கோவையைப் பெறுக.

2. படித்தர வெப்ப அழுத்த நிலையில் ஹீலியத்தின் அடர்த்தி = .178 கி.கிராம் / க.மீ. எனில், அந்த வெப்பநிலையில் மூலக்கூறுகளின் RMS திசைவேகத்தை (திசைவேகச் சராசரி இருமடியின் இருமடிமூலத்தை) கணக்கிடுக. இதை 200° C-யில் உள்ள மதிப்புடன் ஒப்பிடுக.

   [விடை: $1{\cdot}36 \times 10^3$ மீ/வினாடி: 1 : 1·316]

3. சராசரி மோதலிடைத் தூரம் என்பது யாது? இயக்க வியற் கொள்கையைப் பயன்படுத்தி இதன் மதிப்பைக் காண்க.

4. இயக்கவியற் கொள்கையின் அடிப்படையில் பாயில்விதி, சார்லஸ்விதி, அவகேட்ரோ விதி இவற்றை நிறுவுக.

5. போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி என்பது யாது? அதன் பயனை விளக்குக.

6. வாயுவின் திசைவேகச் சராசரி இருமடியின் இருமடிமூலம் தனது NTP-ன் மதிப்பிலிருந்து மூன்றில் ஒரு பங்காக எந்த வெப்பநிலையில் குறையும் என்பதைக் கணக்கிடுக.

[−242·7°C]

7. NTP நிலையில் நைட்ரஜனின் அடர்த்தி = 1·15 கி.கிராம் மீட்டர்^{3} எனில் 0°C வெப்பநிலையில் நைட்ரஜன் மூலக் கூறுகளின் RMS திசைவேகத்தைக் கணக்கிடுக.

[$5·1 \times 10^2$ மீ/விநாடி]

6. நிலைத் தொடர்ச்சி

(Continuity of State)

1. வாயுக்களின் இறுகு திறன் (Compressibility of gases)

ஒரு வாயுவின்மேல் தொழில்படும் அழுத்தத்தை அதிக மாக்கும்பொழுது அதன் பருமன் மிகவும் குறைகிறது. ஆகையால் வாயுக்கள் மிகவும் இறுகும் தன்மை வாய்ந்தவை. அழுத்தத் திற்கும் பருமனுக்கு மிடையே உள்ள தொடர்பை முதன் முதலில் எடுத்துக்காட்டியவர் பாயிலாகும். வெப்பநிலை மாருத பொழுது ஒரு குறிப்பிட்ட திறமையுடைய வாயுவின் அழுத்தம் அதன் பருமனுக்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கிறது என்று அவர் கூறினர். இது பாயில் விதி எனப்படுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையை யுடைய ஒரு வாயுவின் அழுத்தம், பருமன் ஆகியவற்றை முறையே p, v என்று குறிப்பிடுவோமாயின் $pv=$ மாறிலி. எனவே p,v ஆகியவற்றின் மதிப்புக்களை Y, X அச்சுக்களில் குறித்து வரையும் கோடு ஓர் அதிபரவளைய (hyperbola) வடிவத்தைக் கொண் டிருக்கும். மாறுக pv-ன் மதிப்பை Y அச்சிலும் p-ன் மதிப்பை X அச்சிலும் குறித்து வரையும் கோடு X அச்சுக்கு இணையான ஒரு நேர்கோடாக இருக்கும்.

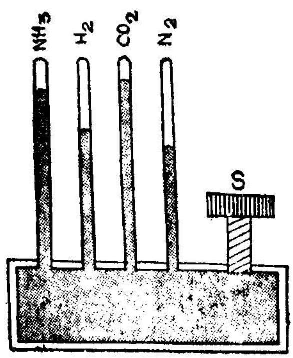
2. டெஸ்ப்ரே சோதனை (Despretz)

எல்லா வாயுக்களும் பாயிலின் விதிக்குச் சரியாக உட்படுவ தில்லை என்பதை முதன் முதலில் காட்டியவர் டெஸ்ப்ரே என்னும் விஞ்ஞானியாவார். வெவ்வேறு வாயுக்களைத் தொடக்கத்தில் சம அளவு பருமனுள்ளவாறு வெவ்வேறு பாரமானிக் குழாய்களில் எடுத்து (படம் 71) அவைகளின் அழுத்தத்தைச் சேர்ந்தார்போல் அதிகரிக்கச் செய்தார். அப்பொழுது வாயுக்களின் பருமன்கள் வெவ்வேறு அளவுக்குக் குறைந்தன. எளிதில் திரவமாகும் கார்பன்டை ஆக்ஸைடு, அம்மோனியா போன்ற வாயுக்கள் மற்றவைகளைவிட அதிகமாக இறுகுவதைக் கண்டார்.

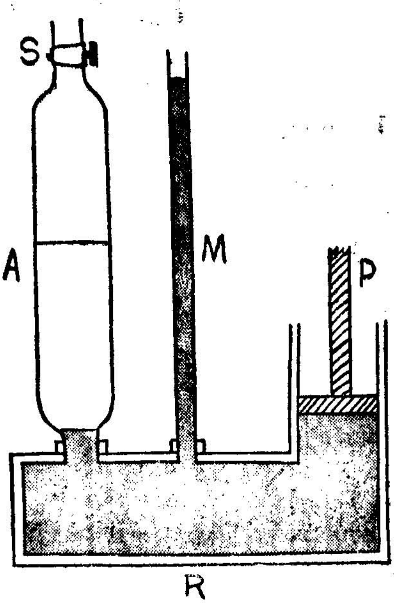
3. ரெனல்ட் சோதனை (Regnault's experiment)

இவர் பயன்படுத்திய கருவியில் (படம் 72) S என்ற ஒரு அடைதிறப்பானைக் (stop-cork) கொண்ட A என்ற ஒரு குழாய் R

என்ற பாதரசக் கலத்துடன் செங்குத்தாக இணைக்கப்பட்டுள்ளது. M என்பது R உடன் இணைக்கப்பட்டு அழுத்தமானியாகப் பயன் படும் திறந்த குழாய். P என்பது R உடன் இணைந்த ஒரு பம்பு. A-யின் கொள்ளளவை இரு சம பாகங்களாகப் பிரிக்கும் கோடு



படம் 71.

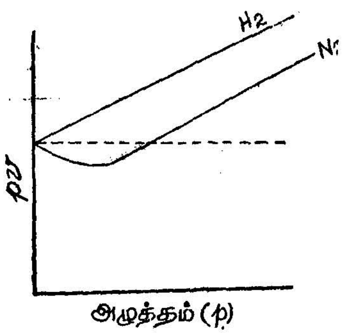


படம் 72.

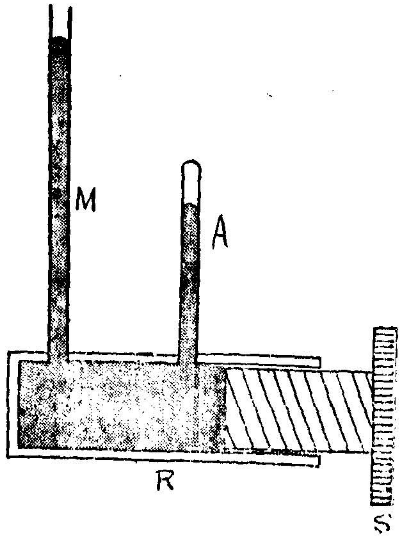
ஒன்று அதில் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. A குழாய் முழுவதையும் ஒரு குறிப்பிட்ட வாயு நிரம்பியிருக்கும்பொழுது அதன் அழுத்தத்தை (p_1) குறித்துவிட்டு வாயுவின் பருமன் சரிபாதியளவுக்குக் குறையும்படியாகப் பம்பின் உதவியால் அழுத்தம் அதிகரிக்கப் பட்டது. இந்த நிலையில் அழுத்தம் (p_2) குறிக்கப்பட்டுள்ளது. வாயு பாயிலின் விதிக்குச் சரியாக உட்படுமாயின் p_2வானது p_1ஐப் போல் இரு மடங்கு இருக்கவேண்டும். ஆனால், சோதனையில் p_2-ன் மதிப்பு $2p_1$-ன் மதிப்பிலிருந்து சற்று மாறுபட்டிருந்தது. தொடக்க அழுத்தம் வெவ்வேறு மதிப்புடையதாக அமைத்துச் சோதனையைத் திருப்பிச் செய்தார். வழக்கமான வெப்பநிலையில், ஹைட்ரஜனுக்கு அழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது pv-ன் மதிப்பு அதிகமாவதையும், மற்ற வாயுக்களுக்கு அழுத்தம் அதிகமாகும் பொழுது pv-ன் மதிப்பு முதலில் குறைந்து சிறுமத்தையடைந்து பின்பு அதிகமாவதையும் ரெனால்ட் கண்டார்.

4. அமகாட் (Amagat's) சோதனை

வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் வெவ்வேறு வாயுக்கள் பாயிலின் விதியிலிருந்து எவ்வாறு மாறுபடுகின்றன என்பதை இவர்



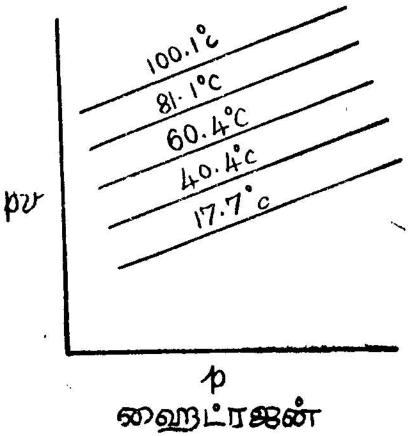
படம் 73.



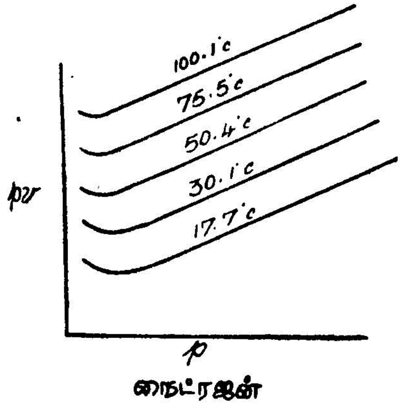
படம் 74.

ஆராய்ந்தார். ஒரு நிலக்கரிச் சுரங்கத்தின் அடியில் R என்ற ஒரு பாதரசக் கலத்தை வைத்து (படம் 74) அத்துடன் சுரங்க வாயிலில் செங்குத்தாக வைக்கப்பட்டதும் எஃகினால் செய்யப்பட்டதுமான M என்ற ஒரு அழுத்தமானியைப் பொருத்தினார். பாதரசக் கலத்துடன் ஒரு முனை மூடிய A என்ற குழாயை இணைத்து அதில் வாயுவை எடுத்துக்கொண்டார். A குழாயில் பரும அளவுகள் குறிக்கப்பட்டிருந்தன. குழாயின் வெப்ப நிலையைத் தேவையான அளவில் வைத்துக்கொள்வதற்காக அதற்கு ஓர் உறையைப் பொருத்தினார். S என்ற ஒரு பெரிய திருகின் உதவியால் பாதரசக் கலத்தின் அழுத்தம் வேண்டிய அளவுக்கு உயர்த்தப்பட்டது. அழுத்தத்தையும் பருமனையும் அளந்து ஒவ்வொரு வாயுவிற்கும் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் அழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது *pv*-ன் மதிப்பு எவ்வாறு மாறுகிறது என்பதைக் காட்டுகின்ற வரை

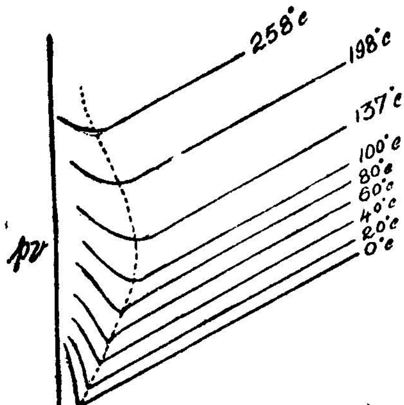
படங்களை வரைந்தார். அவருடைய சோதனைகளிலிருந்து கீழ்க் கண்ட உண்மைகள் விளங்கின.



படம் 75.



படம் 76.



படம் 77.

(i) ஹைட்ரஜனைப் பொறுத்தவரை பயன்படுத்தப் பட்ட எல்லா வெப்பநிலை களிலுமே அழுத்தம் அதிக மாகும்பொழுது *pv*-ன் மதிப்பு தொடர்ச்சியாக அதிக மாகிறது.

(ii) மற்ற எல்லா வாயுக் களுக்கும் *pv*-ன் மதிப்பு முதலில் குறைந்து சிறுமத்தை அடைந்த பின்பு அதிக மாகிறது.

(iii) எளிதில் திரவமாகும் CO_2, SO_2 போன்ற வாயுக் களுக்கு *pv*-ன் மதிப்புக் கணிச மான அளவுக்குக் குறைகிறது.

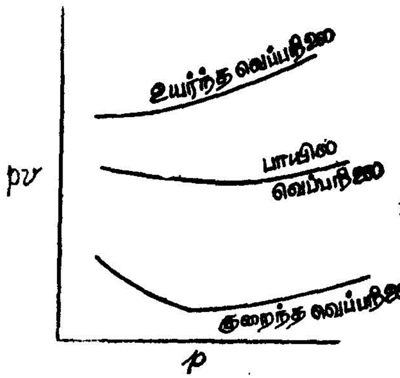
(iv) CO_2, SO_2 போன்ற வாயுக்களின் உயர்ந்த வெப்பநிலைக் கோடுகள் நைட்ரஜன் போன்ற வாயுக்களின் தாழ்ந்த வெப்பநிலைக் கோடுகள் போல் இருக்கின்றன.

(v) உயர்ந்த அழுத்தங்களில் எல்லா வாயுக்களுக்குமே அழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது pv-ன் மதிப்பு அதிகமாகிறது.

பொதுவாக வாயுக்கள் எல்லாமே பாயிலின் விதிக்குச் சரியாக உட்படுவதில்லை என்பது தெளிவாகிறது.

5. பாயில் வெப்பநிலை (Boyle temperature)

ஒவ்வொரு வாயுவும் ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் அழுத்த மாறுபாடு மிகுந்த அளவு ஏற்படினும் ஏறத்தாழ மாருத pv-ன் மதிப்பைப் பெறுகிறது. அதாவது, அந்த வெப்பநிலையில் அது பாயிலின் விதிக்கு உட்படுகிறது. அந்த வெப்பநிலையை **பாயில் வெப்பநிலை** என்றழைக்கிறோம். ஒரு வாயு அதன் பாயில் வெப்பநிலையைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலையிலிருக்குமாயின் அழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது அதன் pv-ன் மதிப்பு தொடர்ச்சியாக அதிகமாகும். அதேபோல் வாயு அதன் பாயில் வெப்பநிலையைவிடத் தாழ்ந்த வெப்பநிலையிலிருக்குமாயின் அழுத்தம் அதிகமாகும் பொழுது pv-ன் மதிப்பு முதலில் குறைந்து சிறுமத்தை அடைந்த பின்பு அதிகமாகிறது.

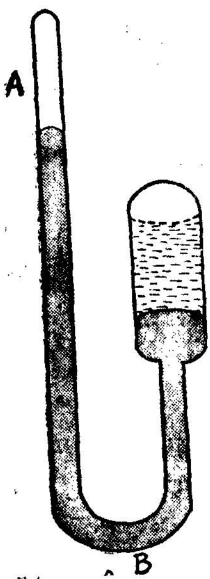


படம்78.

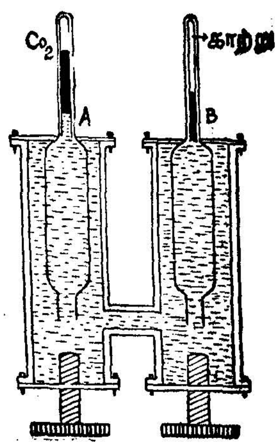
6. காக்னியார்டு-டிலா-டூர் (Cagniard dela Tour) சோதனை

காக்னியார்டு டிலா டூர் கருவியில் ஒரு J வடிவக்குழாய் (AB) (படம் 79) உள்ளது. அதன் சிறு புயம் சற்று அகன்ற பரப்பளவை உடையதும் குட்டையானதுமான ஒரு முனை மூடிய குழாயுடன் (C) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. J குழாயின் வளைந்த பகுதியில் பாதரசத் தம்பமும், C குழாயில் பாதரச மட்டத்திற்கு மேல் திரவமும் அதன் ஆவியும் மட்டும் இருக்கின்றன. J குழாயின் நீண்ட புயத்தில் பாதரசத் தம்பத்தின் மேல் காற்றுள்ளவாறு அதன் முனை மூடப்பட்டிருக்கிறது. இதனால் நீண்ட புயம் ஒரு மூடிய அழுத்த மானியாகப் பயன்படுகிறது.

கருவி முழுவதையும் ஒரு தகுந்த எண்ணெய்த் தொட்டியில் வைத்து மெதுவாகச் சூடேற்றினுல் C குழாயிலுள்ள திரவப் பரப்பின் வளைவு குறைந்து அது தட்டையானதாக மாறும். பின்பு ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலேயில் திரவத்துக்கும் ஆவிக்குமிடையே யுள்ள பரப்பு திடீரென மறைந்து திரவமும் ஆவியும் ஒரேமாதிரி யான நிலேயில் இருப்பது போன்ற காட்சி தென்படும் அவை பார்வைக்கு மூடுபனிபோல் இருக்கும். எந்த வெப்பநிலேயில் இந்த நிகழ்ச்சி ஏற்படுகிறதோ அந்த வெப்பநிலே **மாறுநிலே வெப்பநிலே** **(Critical temperature)** அல்லது அவதி வெப்பநிலே எனப்படும். இந்த வெப்பநிலேயைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலேகளில் திரவத் திற்கும் ஆவிக்குமிடையே உள்ள வேறுபாடு மறைந்துவிடுகிறது.



படம் 79.

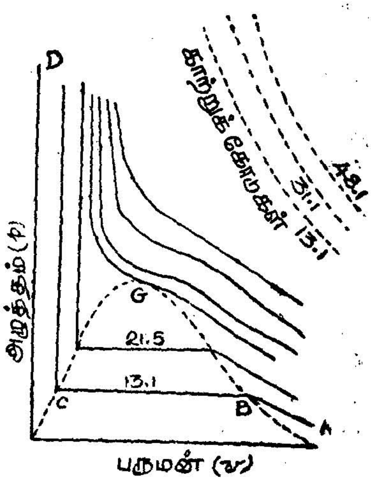


படம் 80.

7. ஆண்ட்ரூஸ் (Andrews') சோதனை

எளிதில் திரவமாகக்கூடிய கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு வாயுவை எடுத்துப் பல்வேறு வெப்பநிலேகளில் அதன் அழுத்தத்தை மிகுந்த அளவுக்கு மாற்றி அதன் பருமனில் ஏற்படும் மாறுதலே நுட்பமாக ஆராய்ந்தார். படம்-80-ல் காட்டியது போன்று நடுப்பகுதியில் சற்று அகலமான பரப்பளவைக் கொண்டதும், பரும அளவுக் கூறுகள் குறிக்கப்பெற்றதும், மேல்முனே மூடப்பட்டதுமான

தடித்த சுவரையுடைய இரு கண்ணாடிக் குழாய்கள் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டன. ஒரு குழாயில் மூடிய முனைக்கும் ஒரு சிறு பாதரசத் தம்பத்துக்குமிடையே ஈரமற்ற, தூய கார்பன்-டை-ஆக் ஸைடு எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டது. அவ்வாறே மற்றக் குழாயில் மூடிய முனைக்கும் ஒரு சிறு பாதரசத் தம்பத்துக்குமிடையே ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள காற்று எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டது. ஒன்றோடொன்று இணைந்ததும், அடியில் திருகுகள் பொருத்தப் பெற்று நீரால் நிரப்பப்பட்டதுமான இரு செப்பு உருளைக் கலங் களுக்குள் மேற்கூறிய கண்ணாடிக் குழாய்களின் திறந்த முனை களும் நடுப் பகுதிகளும் இருக்குமாறு அவை உறுதியாகப் பொருத் தப்பட்டன. திருகுகளைத் தக்கவாறு திருகி ஆண்ட்ரூஸ் தேவை யான அமுத்தங்களை ஏற்படுத்திக் கொண்டார். பாதரசத் தம்பங் களின் நிலைகளிலிருந்து கார் பன்-டை-ஆக்ஸைடு, காற்று ஆகியவற்றின் பருமன் களைத் தெரிந்து கொண்டார். காற்று பாயிலின் விதிக்குட் படுகிறது என்றெடுத்துக் கொண்டு காற்றின் பருமனி லிருந்து அமுத்தத்தைக் கணக் கிட்டார். கார்பன்-டை-ஆக் ஸைடைக் கொண்ட குழா யைத் தகுந்த நீர் உறை ஒன்றி னுள் வைத்து அதன் வெப்ப நிலையைத் தேவையான அள வுக்கு மாற்றிக்கொண்டார். இவ்வாறு வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில் கார்பன்-டை-ஆக் ஸைடின் அமுத்தத்தையும் பருமனையும் அளந்து வரைபடங்களில் குறித்தார். அவரால் வரையப்பட்ட அமுத்தம், பருமன் இவற்றைக் குறிக்கும் சம வெப்பநிலைக் கோடுகள் (isothermals) படத்தில் காட்டியவா றுள்ளன.



படம் 81.

13·1°C சம வெப்பநிலைக் கோட்டைக் கவனிப்போமாயின் அதில் AB, BC, CD என்ற மூன்று பகுதிகள் இருப்பது தெரியும். AB பகுதி அதிபரவளைய (Hyperbola) வடிவத்தைக் கொண்டிருக் கிறது. பொருள் வாயு நிலையிலிருப்பதை இது குறிக்கிறது. இந்த நிலையில் அமுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது பருமன் குறைகிறது. BC பகுதி கிடையாக, அதாவது பரும அச்சுக்கு இணையாக

இருக்கிறது. இது அழுத்தம் மாறு நிலையில் பருமன் குறைவதைக் காட்டுகிறது. இந்த நிலையில் வாயு திரவமாக்கப்படுகிறது. B புள்ளி பொருள் முழுவதும் தெவிட்டிய ஆவி நிலையிலிருப்பதையும் C புள்ளி பொருள் முழுவதும் சற்றே திரவமாகிவிட்ட நிலையையும் குறிக்கின்றன. CD பகுதி ஏறத்தாழ செங்குத்தாக இருக்கிறது. திரவத்தின் அழுத்தம் மிகுந்த அளவு உயர்த்தப்படினும் அதன் பருமன் மிகச் சிறிய அளவே குறைகிறது என்பதை இப்பகுதி காட்டுகிறது.

13·1°C வெப்பநிலைக்கு மேல், ஆனால், 31·1°C வெப்பநிலைக்குக் கீழுள்ள சம வெப்பநிலைக் கோடுகள் ABCD-ன் அமைப்பையே கொண்டுள்ளன. அவற்றிற்கான கிடைக்கோட்டுப் பகுதிகளின் நீளங்கள் வெப்பநிலை உயரும்பொழுது படிப்படியாகக் குறைகின்றன. மேலும், வெப்பநிலை உயரும்பொழுது பொருள் முழுவதும் தெவிட்டிய ஆவியாக இருப்பதின் பருமன் படிப்படியாகக் குறைகிறது. இவ்வாறே பொருள் முழுவதும் சற்றே திரவமாகிவிட்ட நிலைக்கான பருமன் படிப்படியாகச் சிறிதளவு அதிகமாகிறது.

31·°1C சம வெப்பநிலைக் கோட்டில் கிடைக்கோட்டுப் பகுதி சற்றே மறைந்துவிடுகிறது. இந்த நிலையில் வாயுவிலிருந்து திரவத்தைப் பிரித்துக் கூற முடியாதவாறு அவற்றின் பண்புகள் சற்றே ஒன்றுகிவிடுகின்றன. இந்த வெப்பநிலை **மாறுநிலை வெப்பநிலை** (critical temperature) எனப்படுகிறது. இந்த வெப்பநிலைக்கான சம வெப்பநிலைக் கோட்டை **மாறுநிலை சம வெப்பநிலைக் கோடு** (critical isothermal) என்றும், இந்தச் சம வெப்பநிலைக் கோட்டில் கிடைக்கோட்டுப் பகுதியாக அமையும் புள்ளியை (G) **மாறுநிலைப் புள்ளி** (critical point) என்றும், மாறுநிலைப் புள்ளியில் அழுத்தம், சுட்டுப் பருமன் (specific volume) ஆகியவற்றை முறையே **மாறுநிலை அழுத்தம்** (critical pressure), **மாறுநிலைப் பருமன்** (critical volume) என்றும் அழைக்கிறோம்.

மாறு வெப்பநிலையைவிட அதிகமான வெப்பநிலையிலிருக்கும் பொழுது எவ்வளவு அழுத்தம் ஏற்படுத்தினாலும் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு திரவமாக மாறுவதில்லை. கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் 48·1°C சம வெப்பநிலைக்கோடு காற்றின் சம வெப்பநிலைக் கோடுகள் போன்று இருக்கின்றன.

எனவே, ஆண்ட்ரூஸின் பரிசோதனையிலிருந்து கீழ்க்கண்ட உண்மைகள் தெளிவாகின்றன :

(i) நிரந்தர வாயுக்கள் என்று கருதப்பட்ட வாயுக்களுக்கும் எளிதில் திரவமாகக்கூடிய வாயுக்களுக்கும் உண்மையான வேறுபாடு இல்லை.

(ii) ஒவ்வொரு வாயுவுக்கும் மாறுநிலை வெப்பநிலை (critical temperature) ஒன்று உண்டு.

(iii) ஒரு வாயு அதன் மாறுநிலை வெப்பநிலையைவிட உயர்ந்திருக்கும் பொழுது அழுத்தத்தை எவ்வளவு அதிகப்படுத்தினாலும் வாயு திரவமாவதைக் காணமுடியாது.

(iv) எந்த ஒரு வாயுவும் அதன் மாறுநிலை வெப்பநிலையை விடக் குறைந்த வெப்ப நிலையிலிருக்கும் பொழுது அழுத்தத்தினால் திரவமாகும் பண்பைக் கொண்டுள்ளது. மாறு வெப்பநிலைகளுக்குக் குறைந்த வெப்ப நிலைகளிலுள்ள எல்லா வாயுக்களையுமே ஆவிகள் என்று அழைக்கலாம்.

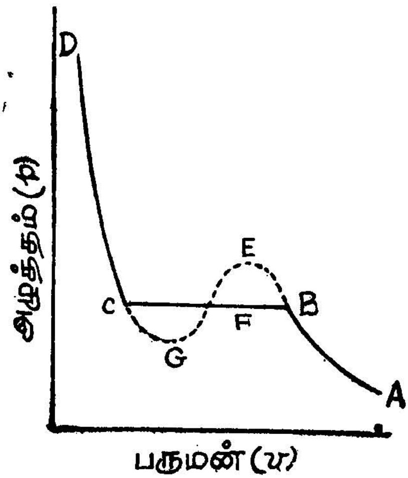
(v) பொருள் மாறுநிலை வெப்பநிலையைவிட உயர்ந்த வெப்ப நிலையிலிருக்கும் பொழுது அதன் திரவ வாயு நிலைகளுக்கிடையே வேறுபட்ட பண்புகளைக் காண முடிவதில்லை. எனவே, அந்த வெவ்வேறு நிலைகள் ஒரு தொடர்ச்சியான மாறுதலின் வெவ்வேறு கட்டங்கள் எனக் கொள்ளலாம்.

(vi) வாயுக்கள் அவற்றின் மாறுநிலை வெப்பநிலைகளிலிருந்து சம தொலைவிலிருக்கும்பொழுது ஒரே மாதிரியாக நடந்து கொள்கின்றன.

8. ஜேம்ஸ் தாம்ஸன் புனைவுகோள் (James Thomson's Hypothesis)

ஆண்ட்ரூஸின் சோதனையிலிருந்து கிடைத்த சம வெப்பநிலைக் கோடுகளை ஆராய்ந்து மாறுநிலை வெப்பநிலையைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலைக்குரிய சம வெப்பநிலைக் கோடுகள் ஏறத்தாழத் தொடர்ச்சியாக இருப்பதையும், அந்த வெப்பநிலைக்குக் கீழே உள்ள சம வெப்பநிலைக் கோடுகள் ஒவ்வொன்றும் மூன்று பகுதிகளைக் கொண்டிருப்பதையும், அந்த மூன்று பகுதிகளில் இடையாகவுள்ள பகுதி திரவத்துக்கும் ஆவிக்குமிடையே உள்ள தொடர்பைக் குறிக்கிறது என்பதையும் கருத்திற் கொண்டு ஜேம்ஸ் தாம்ஸன் என்பவர் கீழ்க்கண்ட புனைவுகோளை வெளியிட்டார்:

BC என்ற கிடைக்கோட்டுப் பகுதி ஒரு தொடர்ச்சியற்ற மாறுதலைக் குறிக்கிறது என்றும், அதற்குப் பதிலாகப் படத்தில் காட்டியவாறுள்ள BEFGC என்ற ஒரு வளைவான பகுதியிருக்க வேண்டுமென்றும், அவ்விதம் இருக்கும்பொழுது அது ஒரு தொடர்ச்சியான மாறுதலைக்குறிக்குமென்றும் அவர் கூறினார். பொருள் முழுவதும் சேர்ந்தாற்போல் வாயு நிலையிலிருந்து திரவ நிலைக்குத் தொடர்ச்சியாக மாற வேண்டுமென்பது இதன் அர்த்தமாகும். இதனால் ஒரு பகுதி திரவமாகவும் ஒரு பகுதி ஆவியாகவும் இருக்க வேண்டிய அவசியமில்லை. ஜேம்ஸ் தாம்ஸன் குறிப்பிட்ட புனைவுக் கோட்டில் BE என்ற பகுதி மீக்குளிர்வுத் (supercooling) தன்மையையும், CG என்ற பகுதி மீச்சூடேற்றுத் (super heating) தன்மையையும் குறிக்கின்றன. ஆனால், EFG என்ற பகுதிக்கு எவ்விதச் சோதனைச் சான்றும் கிடையாது. மேலும் BE, CG பகுதிகள் உறுதியற்ற நிலைகளைத்தான் குறிக்கின்றன. எனவே, ஜேம்ஸ் தாம்ஸன் கருத்து ஒரு புனைவு கோளாகத்தான் இருக்கிறது.

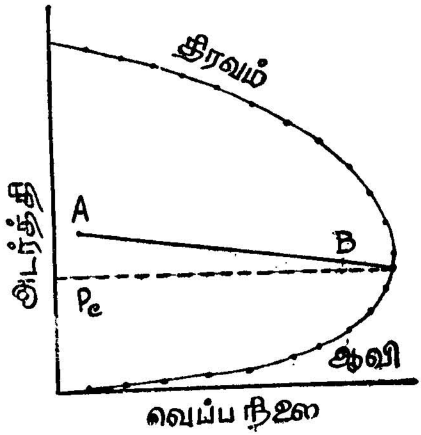


படம் 82.

9. மாறுநிலை மாறிலிகளின் மதிப்புகளை (Critical constants) சோதனை மூலம் காணல்

காக்னியார்டு-டிலா-டூர் முறையைப் பின்பற்றிப் பொருளின் மாறுநிலை வெப்பநிலையையும், மாறுநிலை அழுத்தத்தையும் காணலாம். ஆனால், மாறுநிலைப் பருமனை நேரிடையாகத் தெரிந்து கொள்வது அவ்வளவு எளிதாக இல்லை. ஏனெனில், வெப்பநிலையில் ·1°C வேறுபாடு ஏற்பட்டால்கூடப் பருமன் மிகுந்த அளவு மாறுபடுகிறது. கைலட்டே, மத்தியஸ் (Cailletet and Mathias) ஆகியவர்கள் பயன்படுத்திய சராசரி அடர்த்தி (Mean densities) அல்லது நேர்கோட்டு விட்டங்கள் (Rectilinear diameters) என்ற முறை இதனை நுட்பமாகக் காணப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. மாறு வெப்பநிலைக்கு அருகில் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் திரவத்தின் அடர்த்தியையும் தெவிட்டிய ஆவியின் அடர்த்தியையும் அளந்து

ஒரு வரைபடம் வரையப்படின் இரு கோடுகள் கிடைக்கும். இவை இரண்டும் ஒரு பரவளையத்தின் இரு பகுதிகள் போலவும், மாறுநிலை வெப்பநிலையில் சந்திப்பன போலவும் தோன்றும். ஒவ்வொரு வெப்பநிலையிலும் திரவம், தெவிட்டிய ஆவி ஆகியவற்றின் சராசரி அடர்த்தியைக் குறித்து ஒரு வரைபடம் (AB) வரைவோமானல் அது நேர்கோடாக அமையும். இது நேர்கோட்டு விட்டம் எனப்படுகிறது. இந்த நேர்கோட்டு விட்டமும் மாறுநிலை வெப்ப நிலையில் வரையப்படும் நிலை ஆயமும் (ordinate) ஒரு புள்ளியில் சந்திக்கும். அந்தப் புள்ளிக்கான அடர்த்தியை ρc எனக் கொள்வோமாயின், மாறுநிலைப் பருமன் $\frac{1}{\rho c}$ ஆகும்.



படம் 83

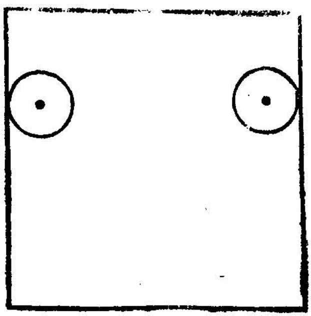
10. வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாடு (Van der Waals Equation)

அமகாட், ஆண்ட்ரூஸ் ஆகியவர்களின் சோதனைகளிலிருந்து எல்லா வாயுக்களுமே இலட்சிய வாயுச் சமன்பாட்டிலிருந்து முரண்படுகின்றன என்று தெரிகிறது. எனவே, இந்தக் குறைபாட்டை நீக்கி ஒரு சமன்பாட்டை ஏற்படுத்தப் பல விஞ்ஞானிகள் தனித்தனியே முயன்றனர். இதன் பயனாகப் பலச் சமன்பாடுகள் கருதப்பட்டன. அவற்றில் மிகவும் எளிதானதும் பயன்படுவதுமான சமன்பாடு வான் டெர் வால்ஸ் என்பவரால் உருவாக்கப்பட்டது.

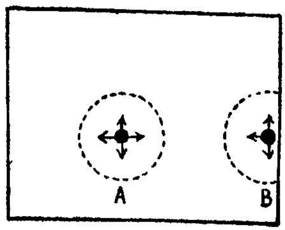
இலட்சிய நிலையில் மூலக்கூறுகள் புள்ளிகளாகக் கருதப்பட்டன. ஆனால், இயற்கையில் வழங்கும் வாயுக்களில் மூலக்கூறுகள் அவ்விதம் இருப்பதில்லை. அவைகள் குறிப்பிட்ட ஆரம் கொண்ட கோளங்களாக இருக்கின்றன. ஒரு கொள்கலத்தில் வாயு இருக்கும்போது மூலக்கூறுகள் அங்கும் இங்கும் அலையும் நிலையில் அவைகளுக்குக் கிடைக்கும் பயனுறு பருமஇடம் கொள்கலத்தின் பருமனைவிடக் குறைந்ததாகும். எனவே, கொள்கலத்தின் பருமன் V என்றால் மூலக்கூறுகளின் இயக்கத்திற்குக்

கிடைக்கும் பருமன் (V-b) என்று வான் டெர் வால்ஸ் கூறினர். இங்கு b என்பது ஒரு மாறிலியாகும். இதன் மதிப்பு மூலக்கூறுகள் எல்லாவற்றின் மொத்தப் பருமனைப்போல் நான்கு மடங்காகும் என்று வான்டெர் வால்ஸ், ஜீன்ஸ் ஆகியவர்கள் காட்டியுள்ளனர்.

இலட்சிய நிலையில் மூலக்கூறுகளுக்கிடையே ஈர்ப்புவிசை யில்லை என்று கருதப்பட்டது. ஆனல், இயற்கையில் உள்ள வாயு மூலக்கூறுகளிடையே ஈர்ப்புவிசை உள்ளது. இதற்கான திருத்தத்தை வான் டெர் வால்ஸ் என்பவர் வாயுச் சமன்பாட்டில் சேர்த்தார்,



படம் 84.



படம் 85.

ஒவ்வொரு வாயு மூலக்கூறும் அதைச் சுற்றி ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவுக்குள் இருக்கும் மற்ற மூலக்கூறுகளால் ஈர்க்கப்படும். எனவே, கொள்கலத்தின் உட்பாகத்திலுள்ள வாயு மூலக்கூறு அதைச் சுற்றியுள்ள மற்ற வாயு மூலக்கூறுகளால் எல்லாத் திசைகளிலும் சமமாக ஈர்க்கப்படும் எனக் கொள்ளலாம். ஆகையால் அதன் இயக்கம் ஈர்ப்பு விசைகளால் பாதிக்கப்படுவ தில்லை. ஆனல், கொள்கலத்தின் சுவருக்கு அருகிலுள்ள வாயு மூலக்கூறு உட்பாகத்திலுள்ள மற்ற வாயு மூலக்கூறுகளால் ஈர்க்கப்படுகிறது. இதனல் சுவரில் மோதுவதற்குள் அதன் திசை வேகத்தின் மதிப்பு சற்றுக் குறைகிறது. எனவே, சுவருக்குக் கிடைக்கக்கூடிய உந்த மாறும் வீதம் குறைகிறது. இதன் காரணமாக இயற்கையில் உள்ள வாயு மூலக்கூறுகள் சுவரின் மேல் விளைவிக்கும் அழுத்தமானது அதே நிலையிலுள்ள இலட்சிய வாயு மூலக்கூறுகள் விளைவிக்கும் அழுத்தத்தைவிடக் குறைவாக இருக்கிறது. இயற்கையிலுள்ள வாயு மூலக்கூறுகள் விளைவிக்கும் அழுத்தத்தை p எனவும், அதே நிலையிலுள்ள (ஈர்ப்பு விசையற்ற) இலட்சிய வாயு மூலக்கூறுகள் விளைவிக்கும் அழுத்தத்தை

pi எனவும் குறிப்பிடுவோமாயின் இவ்விரண்டிற்கு மிடையேயுள்ள வேறுபாடு $(pi - p)$, சுவருக்கு அருகில் ஈர்க்கப்படும் மூலக் கூறுகளின் எண்ணிக்கைக்கு நேர்விகிதத்திலும், அவற்றை ஈர்க்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கைக்கு நேர் விகிதத்திலும் இருக்கும். இந்த இரு எண்ணிக்கைகளுமே அடர்த்திக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளன. எனவே ρ என்பது அடர்த்தியானால்,

$$(pi - p) \propto \rho^2$$

ஆனால் அடர்த்தியானது பருமனுக்கு எதிர் விகிதத்திலுள்ளது.

$$\text{ஆகவே, } (pi - p) \propto \frac{1}{v^2}$$

$$= \frac{a}{v^2} \text{ (இங்கு } a \text{ என்பது ஒரு மாறிலி)}$$

$$\therefore pi = p + \frac{a}{v^2}.$$

எனவே, இலட்சிய வாயுச் சமன்பாட்டிலுள்ள அழுத்தத்திற்கு $\left(p + \frac{a}{v^2}\right)$ என்பதையும், பருமனுக்கு $(v - b)$ என்பதையும் பதிலீடு செய்வோமாயின் இயற்கையிலுள்ள வாயுவிற்கான சமன் பாடு நமக்குக் கிடைக்கும்.

$$\therefore \left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

இதுவே வான் டெர் வால்ஸ் அவர்களால் உருவாக்கப்பட்ட வாயுச் சமன்பாடாகும்.

11. வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாட்டின் நற்பண்புகள் (Merits of the Equation of Van der Waals)

வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாட்டைக்கொண்டு கீழ்க்கண்டவற் றிற்கு விளக்கம் கூறமுடியும்:

(i) அமகாட்டின் கோடுகளுக்கு விளக்கம் கொடுத்தல்: அமகாட் சோதனையில் சாதாரணமான வெப்பநிலைகளில் அழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது ஹைட்ரஜனைத் தவிர மற்ற வாயுக்களுக்கு *pv*-ன் மதிப்பு முதலில் குறைந்து சிறுமத்தை அடைந்தபிறகு உயரு கிறது என்றும், உயர்ந்த வெப்பநிலைகளில் அது தொடர்ச்சியாகவே அதிகமாகிறது என்றும் கூறப்பட்டது.

இப்பொழுது இயற்கையான வாயுக்களுக்கான வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாட்டின்படி,

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = \text{RT}$$

அதாவது, $pv - pb + \frac{a}{v} - \frac{ab}{v^2} = \text{RT}$

$$\therefore\ pv = \text{RT} + p\,(b) - \frac{a}{v} + \frac{ab}{v^2} \qquad (1)$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் pb, $\frac{a}{v}$, $\frac{ab}{v^2}$ என்பவை திருத்தத்திற்கான எண்ணுருக் கூறுகள் (terms) ஆகும். எனவே, இலட்சியவாயுச் சமன்பாட்டிலிருந்து கிடைக்கும் $v = \frac{\text{RT}}{p}$ என்ற மதிப்பை இவைகளில் பதிலீடு செய்யலாம். அவ்விதம் செய்யும்பொழுது,

$$pv = \text{RT} + pb - \frac{ap}{\text{RT}} + \frac{ab\,p^2}{\text{R}^2\,\text{T}^2}$$

$$= \text{RT} + p\left(b - \frac{a}{\text{RT}}\right) + \frac{ab\,p^2}{\text{R}^2\text{T}^2}$$

a, b ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் சிறியவையாதலால் குறைவான அழுத்தத்தில் $\frac{ab\,p^2}{\text{R}^2\text{T}^2}$ என்ற எண்ணுருக் கூறைப் புறக்கணிக்கலாம்.

மேலும் வெப்பநிலை குறைவாக இருக்கும்பொழுது $\frac{a}{\text{RT}}$-ன் மதிப்பு b-ன் மதிப்பைவிட அதிகமாக இருந்து $\left(b - \frac{a}{\text{RT}}\right)$ என்பதை எதிர்க்குறியுடையதாகச் செய்யும். இதனால் அழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது pv-ன் மதிப்புக் குறைகிறது.

ஆனால் அழுத்தம் கணிசமான அளவுக்கு உயர்ந்ததும் $\frac{ab\,p^2}{\text{R}^2\text{T}^2}$-ன் மதிப்பு வேகமாக உயர்ந்து $\left(b - \frac{a}{\text{RT}}\right)$ என்பதால் ஏற்படக்கூடிய குறைவை ஈடுசெய்வது மாத்திரமன்றி pv-ன் மதிப்பை அதிகமாகும்படி செய்கிறது.

வெப்பநிலை உயர்ந்ததாக இருக்கும்பொழுது $\frac{a}{\text{RT}}$-ன் மதிப்பு குறைவானதாக இருக்கும். எனவே, $\left(b - \frac{a}{\text{RT}}\right)$ என்பது நேர்க்குறியுடையதாக இருக்கும். இந்த நிலையில் அழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது pv-ன் மதிப்புத் தொடர்ச்சியாக அதிகமாகிறது.

$\frac{a}{RT} = b$ என இருக்கும்பொழுது $\frac{ab\,p^2}{R^2 T^2}$-ன் மதிப்பு குறிப்பிடத்தக்க அளவு உயரும்வரை pv-ன் மதிப்பு ஏறத்தாழ மாறுமலிருந்து வாயு பாயிலின் விதிக்கு உட்படுகிறது என்பதைக் காட்டும்.

இவ்வாறு வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாடு அமகாட்டின் கோடுகளுக்கு ஏற்ற வகையில் விளக்கம் கொடுக்கிறது.

(ii) **ஆண்ட்ரூஸ் கோடுகளுக்கு விளக்கம் தருதல்:** வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாட்டிலிருந்து

$$p + \frac{a}{v^2} = \frac{RT}{v-b}$$

$$\therefore\ p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2}$$

v-ன் மதிப்பு அதிகமாக இருக்கும்பொழுது p-ன் மதிப்பு குறைந்ததாக இருக்கிறது. ஆனல் v-ன் மதிப்பு மிகக் குறைந்ததாக இருந்து b-ன் மதிப்புக்குச் சமமாகும்பொழுது p-ன் மதிப்பு முடிவிலியாகிறது. இவ்வாறு இது சமவெப்பநிலைக் கோடுகளின் இருமுனைப் பகுதிகளை விளக்குகிறது. மேலும் வான்டெர்வால்ஸ் சமன்பாட்டைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்:

$$(pv^2 + a)(v - b) = RTv^2$$

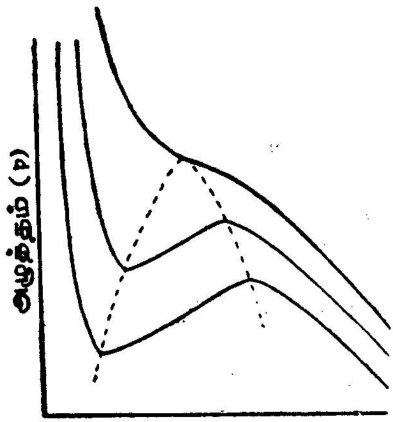
$$\text{அதாவது } pv^3 - pv^2 b + av - ab = RTv^2$$

$$\therefore\ pv^3 - (bp + RT)\,v^2 + av - ab = 0$$

இந்த சமன்பாட்டில் v மும்மடியை யுடையதாக இருப்பதால் ஒரு குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில் v-க்கு மூன்று மதிப்புகள் கிடைக்கும். இது ஜேம்ஸ்தாம்ஸன் புனைவுகோள்படி மாற்றியமைக்க வேண்டிய சமவெப்பநிலைக் கோட்டின் இடைப்பகுதிக்கு விளக்கம் கொடுக்கிறது. எனவே வான்டெர்வால்ஸ் சமன்பாடு ஆண்ட்ரூஸின் கோடுகளையும் ஓரளவு விளக்குகிறது.

(iii) **மாறு நிலையை** (critical state) **விளக்குதல்:** வான்டெர் வால்ஸ் சமன்பாடு ஜேம்ஸ்தாம்ஸன் புனைவுகோளின்படி மாற்றியமைக்கப்பட்ட ஆண்ட்ரூஸின் கோடுகளைக் கொடுக்குமென்று மேலே கூறியுள்ள பகுதியில் விளக்கப்பட்டிருக்கிறது. அவ்வீதக் கோடுகள் ஒவ்வொன்றிலும் p-ன் மதிப்பு பெருமத்தையும்

சிறுமத்தையும் கொண்டுள்ளது என்பது படம் 86-லிருந்து தெளிவாகும். ஆனால் மாறுநிலே வெப்பநிலேக்கேற்ற சமவெப்பநிலேக்



படம் 86.

கோட்டில் மாறுநிலேப் புள்ளியில் பெரும மதிப்பும் சிறும மதிப்பும் ஒன்றுகின்றன. இவ்விதம் அவை ஒன்றுகும் புள்ளி **வளைவடிவ மாறும் புள்ளி** (Point of inflection) எனப்படும். இப் புள்ளியில் $\frac{dp}{dv}$ சுழியாவதல்லாமல் $\frac{d^2 p}{dv^2}$-ம் சுழியாகும்.

இப்பொழுது வான்டெர்வால்ஸ் சமன்பாட்டின்படி

$$p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2} \qquad \ldots \quad (1)$$

இதன் பகுதி (differential coefficient) காணில்,

$$\frac{dp}{dv} = -\frac{RT}{(v-b)^2} + \frac{2a}{v^3} \qquad \ldots \quad (2)$$

மீண்டும் பகுதி காணில்,

$$\frac{d^2 p}{dv^2} = \frac{2\,RT}{(v-b)^3} - \frac{6a}{v^4} \qquad \ldots \quad (3)$$

மாறுநிலேப் புள்ளி வளைவடிவ மாறுபுள்ளியாக இருப்பதால் அங்கு $\frac{dp}{dv} = 0$, $\frac{d^2 p}{dv^2} = 0$. மேலும் மாறுநிலேப் புள்ளியில்

$p = p_c$ = மாறுநிலை அழுத்தம்

$v = v_c$ = மாறுநிலைப் பருமன்

$T = T_c$ = மாறுநிலை வெப்பநிலை.

இந்த மதிப்புகளை (2), (3) சமன்பாடுகளில பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$\frac{RT_c}{(v-b)^2} = \frac{2a}{v_c^3} \qquad \ldots (4)$$

$$\frac{2\,RT_c}{(v_c-b)^3} = \frac{6a}{v_c^4} \qquad \ldots (5)$$

(4) ஆவது சமன்பாட்டை (5) ஆவது சமன்பாட்டால் வகுக்கும் பொழுது

$$\frac{(v_c-b)}{2} = \frac{v_c}{3}$$

$$\therefore \quad v_c = 3b \qquad \ldots (6)$$

இந்த மதிப்பை (4) ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வதன் மூலம்

$$T_c = \frac{4b^2}{R} \cdot \frac{2a}{27b^3}$$

$$\text{அதாவது } T_c = \frac{8a}{27Rb} \qquad \ldots (7)$$

(1) ஆவது சமன்பாட்டிலுள்ள b, v, T ஆகியவற்றை b_c, v_c, T_c என்று குறிப்பிட்டு அதில் v_c, T_c இவற்றின் மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்வோமாயின்,

$$p_c \quad \frac{R\,8a}{27\,Rb \times 2b} - \frac{a}{9b^2}$$

$$\text{அதாவது, } p_c = \frac{a}{27\,b^2} \qquad \ldots (8)$$

எனவே, வான் டெர் வால்ஸ் மாறிலிகளைக்கொண்டு மாறுநிலை மாறிலிகளின் மதிப்புகளைக் கணக்கிட முடியும்.

இவ்விதம் கணக்கிட்டதில் கார்பன் - டை - ஆக்ஸைடுவிற்கு $T_c = 32{\cdot}5°C$ எனக் கிடைத்தது. ஆனால் ஆண்ட்ரூஸ் சோதனையிலிருந்து இதன் மதிப்பு 30.9°C என்றிருந்தது. எனவே, வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாடு மாறு நிலையை ஏறத்தாழச் சரியானபடி காட்டுகிறது எனக் கொள்ளலாம்.

(iv) **ஒப்புமை நிலைகளுக்கான சுருக்கச் சமன்பாட்டைப் பெறுதல்** (Reduced Equation of State for corresponding States): வெவ்வேறு வாயுக்கள் அவற்றின் மாறுநிலை மாறிலிகளி லிருந்து சமத் தொலைவுகளிலிருக்கும்பொழுது அவை ஒரேமாதிரி யான பண்புகளைக் கொண்டிருக்கின்றன. இவ்விதம் இருக்கும் பொழுது அவை ஒப்புமை நிலைகளில் (Corresponding states) இருக்கின்றன எனப்படுகிறது. மேலே கூறப்பட்ட தொலைவு என்பது விகிதத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. வாயுவின் அழுத்தம் p என்றும் அதன் மாறுநிலை அழுத்தம் p_c என்றும் இருக்குமாயின் குறிப்பிட்ட நிலையில் வாயுவின் அழுத்தம் அதன் மாறுநிலை அழுத் தத்திலிருந்து $\frac{p}{p_c}$ தொலைவில் இருப்பதாகக் கூறப்படுகிறது.

இப்பொழுது மாறுநிலைப் புள்ளிகளிலிருந்து அழுத்தம், பருமன், வெப்பநிலை ஆகியவற்றில் முறையே l, m, n தொலைவி லுள்ள வாயுக்களைக் கவனிப்போமாயின்,

$$\frac{p}{p_c} = l, \quad \frac{v}{v_c} = m, \quad \frac{T}{T_c} = n.$$

இங்கு l, m, n என்பவை முறையே சுருக்க அழுத்தம், சுருக்கப் பருமன், சுருக்க வெப்பநிலை எனப்படுகின்றன. வான்டெர்வால்ஸ் மாறிலிகளைக்கொண்டு மாறுநிலை மாறிலிகளைக் குறிப்போமாயின்,

$$p = l\,p_c = l \times \frac{a}{27b^2}$$

$$v = m\,v_c = m \times 3b$$

$$T = n\,T_c = n\,\frac{8a}{27Rb}$$

இனி இந்த மதிப்புகளை வான்டெர்வால்ஸ் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்யும்பொழுது

$$\left(l\,\frac{a}{27b^2} + \frac{a}{m^2 9b^2} \right) \left(m\,3\,b - b \right) = R \times \frac{n8a}{27\,Rb}$$

$$\left(\frac{a}{27b}\right) \left(l + \frac{3}{m^2}\right) \left(3\,m - 1 \right) = \frac{8an}{27b}$$

அதாவது $\left(l + \frac{3}{m^2}\right) \left(3\,m - 1 \right) = 8\,n$

இந்தச் சமன்பாட்டில் a, b, R என்ற சிறப்பு மாறிலிகள் கிடையாது. எனவே, இது எல்லா வாயுக்களுக்கும் பொருந்தும். இது வான் டெர் வால்ஸ் **சுருக்கச் சமன்பாடு** (Reduced Equation) எனப் படுகிறது.

இதிலிருந்து ஒப்புமை நிலைகளுக்கான கீழ்க்கண்ட விதியைப் பெறுகிறோம்.

'இரு வாயுக்கள் ஒரே சுருக்க அழுத்தத்தையும் ஒரே சுருக்க வெப்ப நிலையையும் கொண்டிருக்கும்பொழுது அவை ஒரே சுருக்கப் பருமனைக் கொண்டிருக்கும்.'

இது **ஒப்புமை நிலைகள் விதி** (Law of corresponding states) எனப்படுகிறது.

12. வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாட்டின் குறைபாடுகள்

(i) வான்டெர் வால்ஸ் மாறிலிகளின் மதிப்புகளை வெவ்வேறு முறைகளில் காணும்பொழுது அவை ஒத்திருப்பதில்லை. மேலும் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் ஒரே முறையைப் பயன்படுத்தி மாறிலி களின் மதிப்புகளைக் காணும்பொழுதும் அவை ஒத்திருப்பதில்லை.

(ii) $\frac{RT_c}{p_c v_c}$ என்பது மாறுநிலை எண் (critical coefficient) எனப்படுகிறது. வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாட்டிலிருந்து எல்லா வாயுக்களுக்கும் இதன் மதிப்பு 2.67 எனக் கிடைக்கிறது. ஆனால், சோதனையின் மூலம் இது வெவ்வேறு வாயுக்களுக்கு வெவ்வேறாக இருக்கிறது என்றும், இந்த மதிப்பு 3 முதல் 4.99 வரை வேறுபடு கிறது என்றும் தெரிகிறது.

(iii) வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாட்டின்படி $\frac{v_c}{b} = 3$. ஆனால் சோதனையிலிருந்து இதன் மதிப்பு 1·4 முதல் 2·8 வரை மாறுகிறது.

இதனால் மாறுநிலைப் புள்ளிக்கு அருகில் எந்த வாயுவும் வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாட்டுக்குச் சரியாக உட்படுவதில்லை.

மாதிரிக் கணக்கு

கார்பன் டை ஆக்ஸைடுக்கு வான் டெர் வால்ஸ் மாறிலிகளின் மதிப்புகள் கீழ்வருமாறுள்ளன :

a = ·00874 வளிமண்டல அழுத்தம்; b = ·0023 அதன் மாறுநிலை வெப்ப நிலையைக் கணக்கிடுக.

$$\text{இப்பொழுது } T_c = \frac{8a}{27Rb}\ .$$

இங்கு நமக்கு R–ன் மதிப்புத் தேவை. இதை வான்டெர்வால்ஸ் சமன்பாட்டில் $p = 1$, $v = 1$, $T = 273$ என்ற மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்து பெற்றுக் கொள்ளவேண்டும்.

ஆகையால்

$$\left(1 + \frac{\cdot00874}{1 \times 1}\right)\left(1 - \cdot0023\right) = R \times 273$$

$$(1 + \cdot00874 - \cdot0023) = R \times 273$$

$$\therefore\ R = \frac{1\cdot00644}{273}$$

$$\text{எனவே, } T_c = \frac{8a}{27Rb}$$

$$= \frac{8 \times \cdot00874 \times 273}{27 \times 1\cdot00644 \times \cdot0023}$$

$$= 305\cdot5^{\circ}A$$

$$= 32\cdot5^{\circ}C.$$

வினாக்கள்

1. இயக்கவியற் கொள்கையிலிருந்து வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாட்டைப் பெறுக. இந்தச் சமன்பாட்டிலுள்ள மாறிலிகளின் மதிப்புகளைக் காண்பதெப்படி என்று கூறுக. இந்தச் சமன்பாடு கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடில் ஏற்படக் கூடிய மாறுதல்களை எவ்வளவு தூரம் உண்மையாகக் காட்டுகிறது என்று ஆராய்க.

   [குறிப்பு : ஒரு வாயுவின் p, v, T மதிப்புகளை இரு நிலைகளில் அளந்து வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்து a, b ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைக் கணக்கிட்டுத் தெரிந்து கொள்ளலாம். அல்லது மாறுநிலை மாறிலிகளின் மதிப்புகளைச் சோதனைகளிலிருந்து தெரிந்து அவற்றிலிருந்து a, b ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைக் காணலாம்.]

2. வாயுக்களின் இறுக்கத்தைப் பற்றிய அமகாட்டின் சோதனையை விவரித்துக் கூறுக. அமகாட்டின் சோதனை முடிவுகளை வான் டெர் வால்ஸ் சமன்பாடு எவ்வாறு விளக்குகிறது என்று காட்டுக.

3. கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடைப் பற்றி ஆண்ட்ரூஸ் செய்த சோதனையை விவரமாக எடுத்துக் கூறுக. வாயுக்களின் திரவமாக்கத்தைப் பற்றி ஆண்ட்ரூஸ் சோதனையிலிருந்து தெரிந்துகொள்வ தென்ன ?

4. வான் டெர் வால்ஸ் மாறிலிகளுக்கும் மாறுநிலை மாறிலி களுக்கும் இடையே உள்ள தொடர்புகளைக் காண்க.

5. கீழ்க்கண்டவற்றிற்குச் சிறு குறிப்புகள் வரைக :
   (i) ஜேம்ஸ் தாம்ஸன் புனைவுகோள்
   (ii) காக்னியார்டு டிலா டூர் சோதனை
   (iii) ஒப்புமை நிலைகளுக்கான சுருக்கச் சமன்பாடு.

6. கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடின் வான் டெர் வால்ஸ் மாறிலி களான a, b இவற்றின் மதிப்புகள் முறையே ·00717 வளி அழுத்தம், ·00191 எனில் அதன் மாறுநிலை வெப்ப நிலையைக் கணக்கிடுக.

[விடை 29:1°C]

7. கீழ் வெப்பநிலைகளும் வாயுக்களின் திரவமாக்கமும்

(Low Temperatures and Liquefaction of gases)

1. முன்னுரை

பனிக்கட்டியின் சாதாரண வெப்பநிலையைக் கீழ்வரம்பாகக் கொண்டு சென்டிகிரேடு வெப்பநிலை அளவீட்டு முறைஉருவாகியது. தவிர அதனைவிடக் குறைந்த வெப்பநிலையான – 18°C வெப்ப நிலையைக் கீழ்வரம்பாகக் கொண்டு ஃபாரன்ஹீட் அளவீட்டு முறை நிறுவப்பட்டது. இத்தகைய அமைப்புகளை நோக்கும்போது மிகக் குறைந்த கீழ்வரம்பு வெப்பநிலை எது என்ற கேள்வி எழுவதில் வியப் பில்லை. முன் பகுதியிலிருந்து – 273°C-ஐ விடக் குறைந்த வெப்ப நிலையை அடைய முடியாதென்று கண்டோம். [எனவே, அந்த மிகக் குறைந்த வெப்பநிலையை ஆதாரமாகக் கொண்ட வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை இன்று விஞ்ஞானத் துறையில் பெருவழக்கிலுள் ளது. இதன் அடிப்படையில் சென்டிகிரேடு முறை, ஃபாரன்ஹீட்டு முறை இவைகளைப் பெயர்த்து வெப்ப நிலைகளை உணருகிறோம்.] இனி இத்தகைய குறைந்த வெப்பநிலைகளை எவ்வாறு உருவாக்குவது என்பதுபற்றி இங்கு விரிவாகக் கருதுவோம். குறைந்த வெப்பநிலை களைத் தோற்றுவிப்பதற்குப் பயன்படுத்தப்படும் முறைகள் கீழ்வரு மாறு ஆகும்:

(i) உறை கலவை முறை

(ii) குறைந்த அழுத்தத்தில் ஆவியாதல் முறை

(iii) வெப்ப மாற்றீடற்ற விரிவு முறை (Adiabatic expansion)

(iv) ஜுல்-கெல்வின் விளைவு (Joule-Kelvin effect) முறை

(v) வெப்ப மாற்றீடற்ற காந்த நீக்க (Adiabatic demagnetisation) முறை

(vi) பெல்ட்டியர் விளைவு (Peltier effect) முறை

(vii) உட்கவர்ந்து வெளிவிடல் முறை (desorption method)

2. உறை கலவைகள்

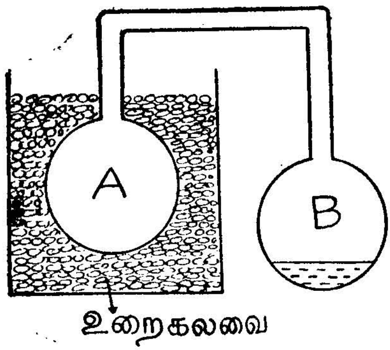
0°C வெப்பநிலையைவிடக் குறைந்த வெப்பநிலைகளைத் தோற்றுவிப்பதற்கான ஓர் எளிய முறை பனிக்கட்டியுடன் நீரில் கரையக்கூடிய தகுந்த உப்புகளைச் சேர்ப்பதாகும். உப்பு தொடக்கத்தில் 0°C வெப்பநிலையைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலையில் இருக்குமாயின் அதை 0°C வெப்பநிலை வரை குளிர்விப்பதற்கு வெப்பம் நீக்கப்பட வேண்டும். சிறு அளவு பனிக்கட்டி உருகுதலின் மூலம் இது சரிசெய்யப்படுகிறது. இப்பொழுது உப்பு நீரில் கரைவதால் ஏற்படும் நிறைசெறிவுக் கரைசல் பனிக்கட்டியின் உருகுநிலையைக் குறைக்கிறது. ஆதலால் பனிக்கட்டி உருக ஆரம்பிக்கிறது. இதற்குத் தேவையான வெப்பம் பனிக்கட்டியிலிருந்தே எடுத்துக் கொள்ளப்படுவதால் அதன் வெப்பநிலை குறைகிறது. இவ்விதம் அடையக்கூடிய குறைந்த வெப்பநிலைக்கு உப்பின் தன்மையைப் பொறுத்து ஒரு வரம்பு உண்டு. இந்த வரம்பு வெப்பநிலை **கூறமைதி வெப்ப நிலை** (Eutectic temperature) எனப்படுகிறது. இந்த வெப்பநிலையில் **கிரையோஹைட்ரேட்** (cryohydrate) என்னும் பனிக்கட்டியுடன் கூடிய உப்பு வெளியேறும். வெவ்வேறு உப்புக் கலவைகளினால் கிடைக்கும் குறைந்த வெப்ப நிலைகளைக் கீழ்க்கண்ட அட்டவணை காட்டுகிறது.

உப்பு	100 கிராம் கலவையில் இருக்கும் உப்பின் நிறை	குறைந்த வெப்பநிலை (கூறமைதி வெப்பநிலை)
Mg So_4	19.0 கிராம்	– 3.9°C
Zn SO_4	27.4 ,,	– 6.5°C
K cl	19.7 ,,	–11.1°C
NH_4 cl	18.6 ,,	–15.8°C
Na No_3	37.0 ,,	–18.5°C
Na cl	22.4 ,,	–21.2°C
Mg cl_2	21.6 ,,	–33.6°C
Ca cl_2	29.8 ,,	–55.0°C

3. குறைந்த அழுத்தத்தில் ஆவியாதல்

ஒரு திரவம் ஆவியாகும்பொழுது அதற்குத் தேவைப்படும் உள்ளுறை வெப்பம் திரவத்திலிருந்தே எடுத்துக் கொள்ளப்படும். இதனால் அது குளிர்வடையும். திரவத்தின் மேலுள்ள அழுத்தம் தகுந்தவாறு குறைக்கப்படின் குறைந்த வெப்பநிலையிலேயே

திரவம் கொதிக்கும். இதனால் ஆவியாதலும் குளிர்தலும் மிகவும் துரிதமாக நிகழும். இம் முறையைப் பயன்படுத்திய பழங்காலக் கருவி கிரையோ ஃபோரஸ் (Cryophorus) என்றழைக்கப்படுகிறது. இந்தக் கருவியில் A, B என்ற இரு குமிழ்கள் ஒரு வளைந்த குழாயால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு குமிழில் (B) எளிதில் ஆவியாகக்கூடிய திரவம் உள்ளது. மற்றப் பகுதியிலிருந்து காற்று நீக்கப்பட்டுள்ளது. ஆதலால் அந்தப் பகுதியில் திரவத்தின் ஆவி மாத்திரமுள்ளது. இப்பொழுது A குமிழ் ஓர் உறை கலவையில் வைக்கப்படுமாயின் அந்தக் குமிழிலிருக்கும் ஆவி திரவமாக உறையும். இதனால் அழுத்தம் மிகக் குறைந்து B-ல் உள்ள திரவம் கொதி



படம் 87.

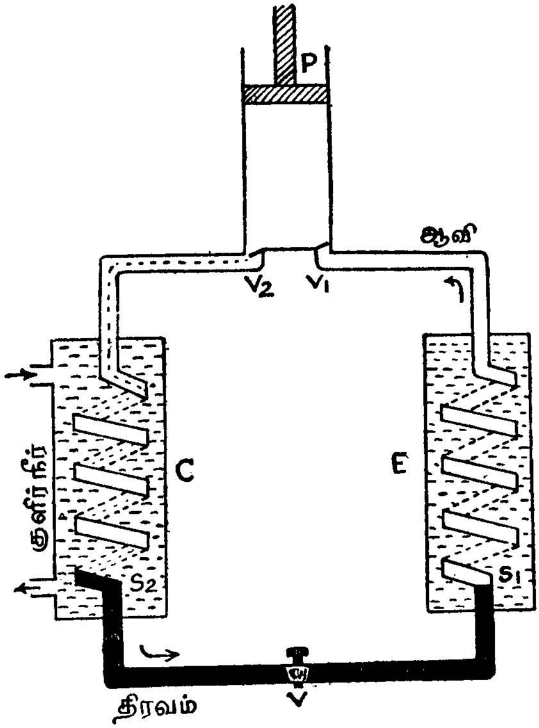
முறையில் விரைவாக ஆவியாக வழி வகுக்கும். B-யிலிருந்து மிக வேகமாக வெப்பம் நீக்கப்படுவதால் அதில் உள்ள திரவம் உறையும் அளவுக்கு அது குளிர்ந்துவிடுகிறது.

3 a. குளிர்பதனேற்றிகள்

ஆவியாதல்மூலம் குளிர்வடைதல் என்பதன் அடிப்படையில் தான் தற்காலத்திய குளிர்பதனேற்றிகள் (Refrigerators) செயலாற்றுகின்றன. அவைகளில் பொதுவாக அம்மோனியா, சல்ஃபர் டை ஆக்ஸைடு, ஃபிரியான் (CCl_2F_2) முதலிய திரவங்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. குளிர்பதனேற்றிகளில் இருவகை உண்டு. அவையாவன: (i) இறுக்கும் இயந்திரங்கள் (compression machines), (ii) உட்கவரும் இயந்திரங்கள் (absorption machines).

முதல் வகை (இறுக்கும்) இயந்திரங்களில் P என்ற ஒரு இறுக்கப் பம்பு (compression pump) உள்ளது. அதன் உந்து தண்டு மேலேறும்பொழுது V_1 என்ற வால்வு திறந்து S_1-ல் அழுத்தத்தைக் குறைக்கிறது. இதனால் அங்கு அம்மோனியா திரவம் ஆவியாகி E-ஐயும் அதில் உள்ள பிரைன் (brine) திரவத்தையும் குளிர்விக்கிறது. குளிர்ந்த பிரைன் திரவத்தைக் கொண்டு வேறு பொருள்களைக் குளிர்விக்கலாம். இனி P-ன் உந்து தண்டு கீழ் நோக்கி வரும்பொழுது V_1 வால்வு மூடிக்

கொள்ளும். ஆனல் V_2 வால்வு திறந்து இறுக்கப்பட்ட ஆவியை S_2க்குச் செலுத்தும். அங்கு ஆவி திரவமாக மாறும். இந்த

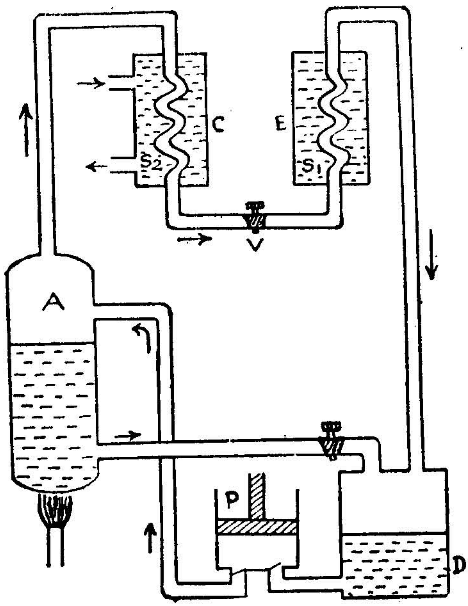


படம் 88.

மாறுதலில் விடப்படும் வெப்பம் C என்ற உறை வழியே செல்லும் குளிர் நீரால் நீக்கப்படுகிறது. மாருகக் கதிர்வீச்சுத்தகடுகளால் (Radiating fins) வெப்பம் நீக்கப்படுகிறது. S_2-ல் உண்டாக்கப்பட்ட திரவம் V என்ற சீரமைப்பான் (regulator) வழியே S_1-க்குச் செல்லுகிறது.

இரண்டாவது வகை (உட்கவரும்) இயந்திரங்களில் S_1 என்ற ஒரு சுருள் குழாயில் அம்மோனியா திரவம் இருக்கிறது. இதில் உண்டாகும் அம்மோனியா ஆவி D என்ற கலத்திலுள்ள நீரில் கரைகிறது. இவ்விதம் S_1-ல் ஆவியாதலினுல் அதனைச் சூழ்ந்துள்ள E உறையும், அதிலுள்ள பிரைன் திரவமும் குளிர்விக்கப்படுகின்றன. D-ல் நிறைசெறிவடையும் நீர் P என்ற பம்பினுல் A என்ற கலத்துக்கு மாற்றப்படுகிறது. A தக்கபடி சூடேற்றப் படுவதால் அம்மோனியா ஆவி A-யிலிருந்து பிரிந்து அழுத்தத்தில்

S_2 என்ற சுருள் குழாய்க்குச் செல்லுகிறது. அங்கு C-ஆல் குளிர் விக்கப்படுவதினுலும் ஆவி அழுத்தத்திலிருப்பதாலும் அது திரவமாக மாறுகிறது. இவ்விதம் திரவமாகிய அம்மோனியா V



படம் 89.

என்ற சீரமைப்பான் வழியாக S_1க்குச் செல்லுகிறது. A-ல் அம்மோனியா வாயுவை இழந்து செறிவு குறைந்த கரைசல் D-க்குச் சென்று மேலும் அம்மோனியா வாயுவை ஏற்கிறது.

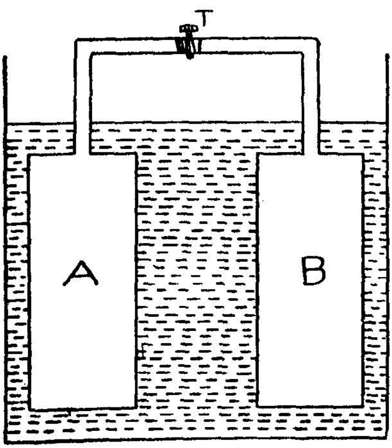
4. வெப்ப மாற்றீடற்ற விரிவினல் (Adiabatic expansion) குளிர்வடைதல்

ஒரு வாயு விரிவடையும்பொழுது அந்த வாயு வெளி அழுத்தத்தை எதிர்த்து வேலே செய்யவேண்டியிருக்கிறது. எனவே, மிகுந்த அழுத்தத்திலுள்ள ஒரு வாயு திடீரென விரிவடையுமாயின் வேலே செய்வதற்குத் தேவையான ஆற்றலேத் தனது வெப்ப ஆற்றலிலிருந்தே பெறும். இதனல் அந்த வாயு குளிர்வடையும். இந்த முறையில் 1877ஆம் ஆண்டு கைலட்டே (Cailletet) ஆக்ஸிஜனேத் திரவமாக்கினர். இதே முறையில் பிக்டே (Pictet) என்பவர் ஆக்ஸிஜனைத் திடப்பொருளாக மாற்றினர். ஆனல் இம் முறையைத் தொடர்ச்சியாகப் பயன்படுத்துவதில் பல இடர்ப்பாடுகள்

உள்ளன. எனவே, இம்முறை அதிகமாகப் பயன்படாமலிருந்தது. சமீப காலத்தில் கிளாடு, ஹெய்லாண்ட் (Claude and Heylandt) என்பவரகள் காற்றைத் திரவமாக்குவதற்கு இதை மற்ற முறைகளுடன் சேர்த்துப் பயன்படுத்தினர்.

5. ஜூல்-கெல்வின் முறையில் குளிர்வித்தல்

வாயு மூலக்கூறுகளுக்கிடையே ஈர்ப்புவிசை இருக்குமாயின் வாயு விரிவடையும்பொழுது ஈர்ப்பு விசைக்கெதிராக வேலைசெய்ய வேண்டும் என்றும், அதனால் குளிர்வடைதல் ஏற்படவேண்டும் என்றும் ஜூல் கருதினர். இதனைச் சோதிப்பதற்காக அவர் இரு பெரிய உலோகக் கலங்களை (A, B) ஒரு சிறு குழாயால் இணைத்து அந்தக் குழாயில் ஓர் அடைதிறப்பானைப் (T) பொருத்தினர். இரு கலங்களும் ஒரு நீர்த்தொட்டியில் வைக்கப் பட்டன. தொடக்கத்தில் A கலத்தில் உரவளி அழுத்த முள்ள காற்று அடைக்கப் பட்டது. B-யிலிருந்து காற்று நீக்கப்பட்டிருந்தது. ஏனெனில், B-ல் தொடக்கத்தில் காற்று இருக்குமாயின் A-யிலிருந்து B க்குக் காற்று விரிவடையும்பொழுது B-ல் உள்ள அழுத்தத்தை எதிர்த்துப் புறவினை (external work) செய்ய வேண்டியிருக்கும்.

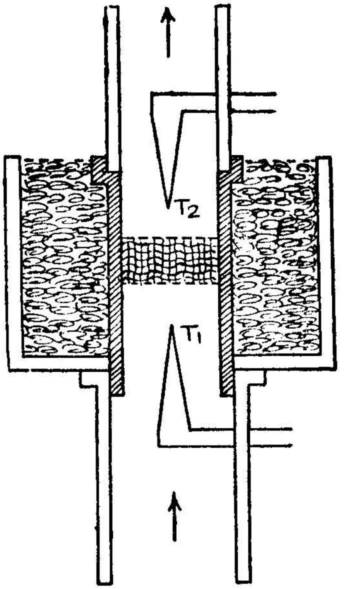


படம் 90.

$\frac{1}{200}$ °C வரை நுட்பமாக அளக்கக்கூடிய ஒரு வெப்பநிலைமானியால் நீர்த்தொட்டியின் வெப்பநிலையை அளந்தபிறகு அடைதிறப்பானைத் திறந்து A யிலிருந்து B-க்குக் காற்று விரைவாக விரிவடையுமாறு செய்யப்பட்டது. இதனுல் நீர்த்தொட்டியின் வெப்பநிலை குறையுமென்று ஜூல் எதிர்பார்த்தார். ஆனுல், அவ்விதம் குளிர்வடைதல் தென்படவில்லை.

1852 ஆம் ஆண்டு ஜூல், கெல்வின் ஆகிய இருவரும் நுண்துளைகளை உடைய ஓர் அடைப்பு வழியாக இறுக்கிய வாயுவைச் செலுத்தி விரிவடையும்படி செய்ததில் வெப்பநிலை மாறுவதைக் கண்டனர். இதற்கு ஜூல்-கெல்வின் விளைவு (Joule-Kelvin Effect)

(அல்லது ஜூல்-தாம்ஸன் விளைவு) என்று பெயர். அவர்களுடைய சோதனை **நுண்துளை அடைப்புச் சோதனை** (Porous Plug expcriment) எனப்படுகிறது. அவர்கள் பயன்படுத்திய அடைப்பு, பஞ்சு, கம்பளி, பட்டு ஆகிய பொருள்களாலானது. இது இரு கம்பி வலைகளுக்கிடையில் வெப்பங் கடத்தா உறைக்குள் வைக்கப்பட்டிருந்தது. அடைப்புக்கு ஒரு பக்கத்தில் நிலையாக அதிக அழுத்தமும், மறு பக்கத்தில் நிலையான குறைந்த அழுத்தமும் இருக்குமாறு பம்புகள் மூலம் தேவையான அமைப்பு செய்யப்பட்டிருந்தது. அழுத்தத்திலுள்ள வாயு அடைப்பானை அடைவதற்கு முன் நிலையான வெப்பநிலையிலுள்ள திரவத்திற்குள் வைக்கப்பட்ட ஒரு சுருள் குழாய் வழியாகச் செலுத்தப்படுவதன் மூலம் அதன் தொடக்க வெப்பநிலையைத் தேவையான மதிப்பில் வைத்துக்கொண்டனர். வாயு விரிவடைவதற்கு முன்பிருந்த வெப்ப நிலையையும், வாயு விரிவடைந்த பிறகு ஏற்பட்ட வெப்பநிலையையும் இரு பிளாட்டின வெப்பநிலைமானிகளைக் கொண்டு அளந்தனர். வாயுவின் தொடக்க வெப்பநிலையை வெவ்வேறாக அமைத்து இந்த விரிவால் கிடைக்கும் வெப்பநிலை மாறுதலை ஆராய்ந்தனர். அவர்களுடைய சோதனைகளிலிருந்து கீழ்க்கண்ட உண்மைகள் தெரியலாயின.



படம் 91.

(i) சாதாரணமான வெப்பநிலைகளில் ஹைட்ரஜனைத் தவிர மற்ற வாயுக்கள் எல்லாம் குளிர்வடைகின்றன. ஆனால் ஹைட்ரஜன் சூடு அடைகிறது. போதிய குறைந்த வெப்பநிலைகளில் எல்லா வாயுக்களுமே நுண்துளை அடைப்பான் வழியாகச் சென்று விரிவடைதல் மூலம் குளிர்வடைகின்றன.

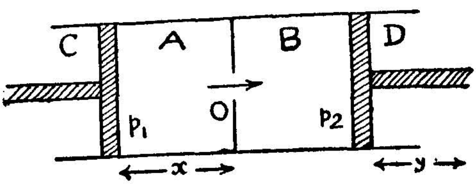
(ii) இந்த விளைவிலேற்படும் வெப்பநிலை வீழ்ச்சியானது நுண்துளை அடைப்பின் இரு பக்கங்களிலுமுள்ள அழுத்த வேறுபாட்டிற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

(iii) ஒரு வாயுவின் தொடக்க வெப்பநிலை உயர்த்தப்படும் பொழுது 1 வளி அழுத்த வேறுபாட்டிற்கு ஜூல் - கெல்வின் விளைவினுலேற்படும் வெப்பநிலை வீழ்ச்சி படிப்படியாகக் குறைந்து ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில், வெப்பநிலை மாற்றமில்லாமல் போய்விடுகிறது. அந்தக் குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலையில் ஜூல் - கெல்வின் விளைவினுல் வெப்பநிலை ஏற்றம் உண்டாகிறது.

ஒரு வாயுவிற்கு எந்த வெப்பநிலைக்கு மேலே ஜூல் - கெல்வின் விளைவினுல் குளிர்வடைதலுக்குப் பதிலாக சூடடைதல் ஏற்படுகிறதோ அந்த வெப்பநிலை அந்த வாயுவின் புரட்டு வெப்பநிலை (temperature of inversion) எனப்படுகிறது.

ஒரு வாயுவின் புரட்டு வெப்பநிலையானது அதன் மாறுநிலை வெப்பநிலையை (critical temperature) விட உயர்ந்த மதிப்பைக் கொண்டதாகும்.

ஜூல் - கெல்வின் விளைவிற்கான காரணம்: ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயு A என்ற அறையிலிருந்து O என்ற துளையின் வழியாக B என்ற அறைக்குள் விரிவடைவதாகக் கொள்வோம். A



படம் 92.

அறையில் அழுத்தம் p_1 என்ற மதிப்பிலிருந்து மாருமலிருப்பதற்காக C என்ற உந்துதண்டு O-ஐ நோக்கி x தூரம் தள்ளப்பட வேண்டும். B அறையில் அழுத்தம் p_2 மதிப்பில் மாருமலிருப்பதற்கு D என்ற உந்துதண்டு O-விலிருந்து விலகியவாறு y தூரம் தள்ளப்பட வேண்டும். சுற்றுப்புறத்திற்கும் வாயுவுக்குமிடையே வெப்பமாற்றீடு இல்லையெனக் கொள்வோம். A, B அறைகளில் வாயுவின் வெப்பநிலைகள் முறையே T_1, T_2 எனவும், வாயுவின் சுட்டுப் பருமன்கள் (specific volumes) முறையே v_1, v_2 எனவும் கொள்வோம். C, D உந்து தண்டுகளின் பரப்பளவு s எனில்,

C உந்து தண்டினுல் வாயுவின் மேல் செய்யப்பட்ட வேலை $= p_1 sx$
$= p_1 v_1$

D உந்து தண்டின்மேல் வாயுவினுல் செய்யப்பட்ட வேலை $= p_2 sy$
$= p_2 v_2$

வாயுவின் மூலக்கூறுகளுக்கு இயக்கத்தால் இயக்க ஆற்றலும் ஈர்ப்பு விசையால் நிலையாற்றலும் ஏற்படுகிறது. A அறையில் ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயுவின் இயக்க ஆற்றல் k_1 எனவும் நிலை யாற்றல் l_1 எனவும் கொள்வோம். இவ்வாறே B அறையில் ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயுவின் இயக்க ஆற்றல் k_2 எனவும் நிலையாற்றல் l_2 எனவும் கொள்வோம்.

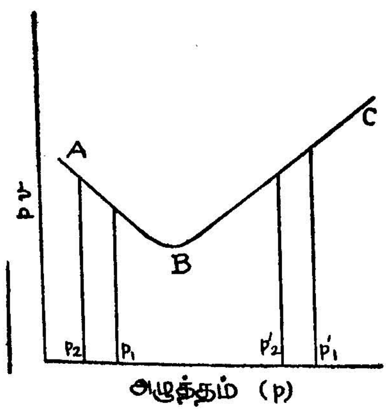
ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயு A அறையில் இருக்கும்பொழுது அதன் மொத்த உள்ளார்ந்த ஆற்றல், வாயுவின்மேல் செய்யப்பட்ட வேலை ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகை $= k_1 + l_1 + p_1 v_1$

ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயு B அறைக்கு வந்ததும் அதன் மொத்த உள்ளார்ந்த ஆற்றல், அதனுல் செய்யப்பட்ட வேலை ஆகிய வற்றின் கூட்டுத்தொகை $= k_2 + l_2 + p_2 v_2$. இந்த இரு கூட்டுத் தொகைகளும் சமமாகும்.

எனவே, $k_1 + l_1 + p_1 v_1 = k_2 + l_2 + p_2 v_2$

$$\therefore \quad k_1 - k_2 = (p_2 v_2 - p_1 v_1) + (l_2 - l_1) \quad \dots \quad (1)$$

வாயுமூலக்கூறுகளின் நிலையாற்றல், அவைகளுக்கிடையே உள்ள ஈர்ப்பு விசையால் ஏற்படுகிறது என்று கூறினேம். குறைந்த



படம் 93.

அழுத்தத்தில் வாயுமூலக்கூறுகள் ஒன்றைவிட்டு ஒன்று அதிக அளவுக்கு விலகியிருக்கின்றன. எனவே, குறைந்த அழுத்தத்தில் நிலையாற்றலின் மதிப்பு அதிகமெனக் கொள்ளலாம். ஆகையால்

$(l_2 - l_1)$-ன் மதிப்பு எப்பொழுதும் நேர்க்குறியை யுடையது. வாயு பாயிலின் விதிக்கு உட்படுகிறது என்றும், வெப்பநிலை ஏறத்தாழ மாருமலிருக்கிறது என்றும் கொள்வோமாயின்,

$$p_1 v_1 = p_2 v_2$$

$\therefore \quad (k_1 - k_2) =$ நேர்க்குறியுடையது. அதாவது $k_1 > k_2$.

ஒரு வாயுவின் வெப்பநிலைகள் வாயுமூலக் கூறுகளின் இயக்க ஆற்றலுக்கு நேர்விகிதத்திலிருப்பதால்

$$T_1 > T_2.$$

எனவே வாயு குளிர்வடைகிறது.

வாயு பாயிலின் விதிக்கு உட்படாமல், அழுத்தம் அதிகமாகும் பொழுது pv-ன் மதிப்புக் குறைகிறது எனக் கொள்வோம் (வரை படத்தில் இது AB போன்ற பகுதியால் குறிப்பிடப்படுகிறது).

ஆகையால் $p_1 v_1 < p_2 v_2$

அதாவது $(p_2 v_2 - p_1 v_1)$ நேர்க்குறியுடையது.

இதனுல் $k_1 - k_2$ நேர்க்குறியுடையதாகவே இருக்கிறது.

அதாவது $k_1 > k_2$

எனவே $T_1 > T_2$

இந்த நிலையிலும் வாயு குளிர்வடைகிறது.

இப்பொழுது வாயு, பாயிலின் விதிக்குட்படாமல் p-ன் மதிப்பு அதிகமாகும்பொழுது pv-ன் மதிப்பும் அதிகமாகிறது எனக் கொள் வோம்.

$$\therefore \quad p_1 v_1 > p_2 v_2$$

எனவே, $(p_2 v_2 - (p_1 v_1)$ எதிர்க்குறியுடையது.

ஆனுல் $(l_2 - l_1)$ நேர்க்குறியுடையது.

எனவே $(k_1 - k_2)$ என்பது நேர்க்குறியுடையதாகவோ, எதிர்க் குறியுடையதாகவோ அல்லது சுழியாகவோ இருக்கலாம்.

$$\therefore \quad k_1 \gtrless k_2$$

ஆகையால் $T_1 \gtrless T_2$.

எனவே, ஜூல் - கெல்வின் விளைவாக வாயு குளிர்வடையலாம், அல்லது சூடடையலாம், அல்லது வெப்பநிலையில் மாறுமல் இருக்கலாம்.

இப்பகுதியின் தொடக்கத்தில் கொடுக்கப்பட்ட சமன்பாட்டின் படி,

$$k_1 - k_2 = (p_2 v_2 - p_1 v_1) + (l_2 - l_1)$$

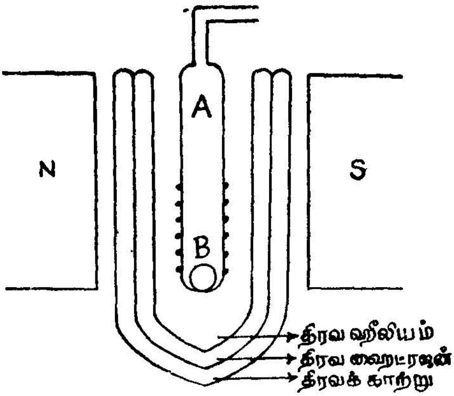
இதில் $(l_2 - l_1)$ என்பது மூலக்கூறு ஈர்ப்பு விசையாலேற்படும் பயனைக் குறிக்கிறது. இந்தப் பயனுலேற்படும் வெப்பநிலை வீழ்ச்சியை அளப்பதற்குத்தான் ஜூல் முதலில் முயன்ருர். எனவே இது ஜூல் விளைவு என்றழைக்கப்படுகிறது: ஆகவே ஜூல்-கெல்வின் விளைவு என்பது ஜூல் விளைவாலும், பாயில் விதியிலிருந்து வாயு பிறழ்பட்டிருப்பதன் பயனுலுமாகிய கூட்டு விளைவாகும்.

6. வெப்ப மாற்றீடற்ற காந்த நீக்கத்தினல் குளிர்வித்தல்

1925ஆம் ஆண்டுவரை 4° தனிவெப்பநிலைக்குக் கீழான வெப்பநிலையை அடைவதற்குத் திரவநிலையிலுள்ள ஹீலியத்தை ஆவியாக்கும் முறையைத்தான் விஞ்ஞானிகள் பயன்படுத்தினர். வெப்ப மாற்றீடற்ற நிலையில் காந்தத்தை நீக்குவதன்மூலம் குளிர்விக்கலாம் என்ற தத்துவத்தை டீபை (Debye) என்பவர் 1926ஆம் ஆண்டு விளக்கினுர். இந்தத் தத்துவத்தின்படி ஒரு பொருளுக்குக் காந்தமூட்டும்பொழுது அதன் மூலக்கூறு காந்தங்களை ஒழுங்கு படுத்துவதற்காகப் பொருளின்மேல் வேலை செய்யப்படுகிறது. இவ்வாறே காந்தத்தையுடைய ஒரு பொருள் அதன் காந்தத்தை இழக்கும்பொழுது காந்த மூலக்கூறுகள் ஒழுங்கு நிலையிலிருந்து குலைந்த நிலையாவதற்கு ஆற்றல் அளித்தல் வேண்டும். எனவே, காந்தத்தை இழக்கும் பொருளுக்கு சுற்றுப்புறத்திலிருந்து வெப்பம் கிடைக்காதிருக்குமாயின், பொருள் தனது வெப்பத்தை இதற்குப் பயன்படுத்தும். இதன் காரணமாக அது குளிர் வடையும்.

பரா காந்தப் பொருள் (Para magnetic substance) ஒன்றின் காந்த ஏற்புத்திறன் (magnetic susceptibility) அதன் தனி வெப்ப நிலைக்கு எதிர் விகிதத்திலுள்ளது $\left(X = \dfrac{C}{T}\right)$ என்று கியூரி விதி (Curies law) தெரிவிக்கிறது. இதனுல் குறைந்த வெப்ப நிலையில் அவ்விதப் பொருளில் ஏற்படக்கூடிய காந்தம் மிகுந்த அளவில் இருக்கும். அவ்விதம் மிகுந்த காந்தத்தைக்கொண்டுள்ள ஒரு பொருள் திடீரென்று காந்தத்தை இழக்கும்பொழுது

அது மிகவும் குளிர்வடையும். இம்முறையில் பொருளில் திரவ ஹீலியத்தால் சூழ்ந்து இருக்குமாறு வைக்கப்பட்டு மின்காந்தத்தால் காந்தமூட்டப்படுகிறது. காந்தமூட்டும்பொழுது உண்டாகும் வெப்பத்தை நீக்குவதற்கு அதன் உறைக்குள் ஹைட்ரஜனைச் செலுத்திப் பின்பு அந்த ஹைட்ரஜனை நீக்கிவிட வேண்டும். பொருள் திரவ ஹீலியத்தின் வெப்பநிலையை அடைந்த பின்பு



படம் 94.

காந்தப்புலம் நீக்கப்படுகிறது. ஆகையால் பொருளில் ஏற்பட்டிருந்த காந்தம் திடீரென்று குறைகிறது. இதனால் பொருள் குளிர்வடைகிறது. பொருளைச் சுற்றி வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு கம்பிச் சுருளின் உதவியால் பொருளில் இப்பொழுது இருக்கும் காந்த ஏற்புத்திறனை அளந்து பொருளின் வெப்பநிலையைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

இவ்விதம் கடோலினியம் சல்பேட்டில் (gadolinium sulphate) காந்த நீக்குதலை உண்டாக்கி கியாக்கே, மக்டகால் (Giauque, McDougall) ஆகியவர்கள் 0·25° தனி வெப்பநிலையை ஏற்படுத்தினார்கள். பொட்டாசியம் அலுமினியம் இரட்டை சல்பேட்டைப் பயன்படுத்தி இம்முறையில் ஹாஸ் (Haas) என்பவர் 0·002° தனி வெப்பநிலையை உண்டாக்கினர்.

7. பெல்ட்டியர் விளைவைக் கொண்டு குளிர்வித்தல்

ஒரு வெப்ப மின் இரட்டையில் (Thermocouple) மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தினால் ஒரு சந்தியில் குளிர்வடைதலும் மற்ற சந்தியில் சூடடைதலும் ஏற்படும். காட்டாக, பிஸ்மத்-ஆண்டிமனி வெப்பமின் இரட்டையின் சந்தி ஒன்றில் பிஸ்மத்திலிருந்து ஆண்டி

மனிக்கு மின்சாரம் செல்லுமாறு மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தினுல் அந்தச் சந்தியில் குளிர்ச்சி ஏற்படுகிறது. இது பெல்ட்டியர் விளைவு எனப்படுகிறது. இதனுல் ஏற்படும் குளிர்வடைதல் மிகுந்ததாக இல்லை. எனவே, குளிர்ந்த வெப்பநிலைகளை உண்டாக்குவதற்கு இந்த விளைவு அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்படவில்லை.

8· உட்கவர்ந்து வெளியிடல் முறை (Desorption Method)

கரித்துண்டுகள் சில வாயுக்களை உட்கவர்ந்து அழுத்தம் குறைந்த நிலையில் அந்த வாயுக்களை வெளிவிடுகின்றன. அவ்விதம் வாயுக்கள் கரித்துண்டுகளிலிருந்து வெளியேறும்பொழுது (திரவத்தில் ஆவியாகும்பொழுது ஏற்படுவதுபோல்) குளிர்ச்சி ஏற்படுகிறது. இவ்வாறு 10°A தனி வெப்பநிலையில் உள்ள கரித்துண்டுகள் 5 வளி மண்டல அழுத்தத்திலுள்ள ஹீலியத்தை உட்கவர்ந்த பிறகு அழுத்தம் 0·1 மி. மீ. அளவுக்குக் குறைக்கப் படும்பொழுது கரித்துண்டுகள் 4°A தனிவெப்பநிலைக்குக் குளிர் கின்றன.

9. மிகக் குறைந்த வெப்பநிலைகளில் பொருள்களின் பண்புகள்

−180°C வெப்பநிலையைவிடக் குறைந்த வெப்பநிலையில் வேதியல் மாறுபாடுகள் நிகழ்வதில்லை. தாவரப் பொருள்களும் விலங்கினப் பொருள்களும் அழுகாமல் இருக்கும். −190°C வெப்ப நிலையில் காரீயம் குழைம (plastic) இயல்பையும், இரப்பர் நொறுங்கும் (brittle) இயல்பையும் பெறுகின்றன. உலோகக் கடத்திகளின் மின்தடைகள் தனிச் சுழி வெப்பநிலையை அடைவதற்கு முன்பே அடியோடு மறைந்துவிடுகின்றன. இதனுல் கடத்திகளுக்கு மீக்கடத்துத் திறன் (super conductivity) உண்டா கிறது.

25 வளி அழுத்தத்திற்குக் குறைந்த அழுத்தத்தில் எல்லா மிகக் குறைந்த வெப்பநிலைகளிலும் ஹீலியம் திரவமாகவே இருக்கிறது. இது ஹீலியம் I எனப்படுகிறது. 2°A தனி வெப்பநிலைக்கு அருகில் ஹீலியம் I என்ற திரவம் திடீரென்று ஹீலியம் II என்ற திரவமாக மாறுகிறது. இந்த ஹீலியம் II என்ற திரவத்திற்கு மீபாய் தன்மை (super fluidity) ஏற்படுகிறது. இதன் அடர்த்தியும் வெப்ப எண்ணும் ஹீலியம் I-ன் மதிப்புகளிலிருந்து வேறுபட்டவை.

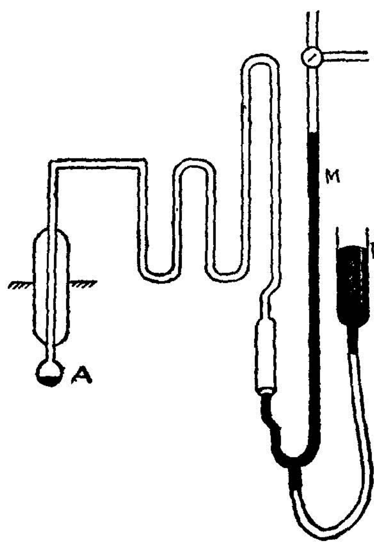
10. மிகக் குறைந்த வெப்பநிலைகளின் அளவீடு

ஆல்கஹால் வெப்பநிலை மானியை −111°C வெப்பநிலை வரையில் பயன்படுத்தலாம்.

— 190°C வெப்பநிலைவரை பிளாட்டின மின்தடை வெப்ப நிலைமானி பயன்படுகிறது. ஆனால், மின்தடையிலிருந்து வெப்ப நிலையைக் கணக்கிடுவதற்குத் தனிப்பட்ட வாய்பாட்டைப் பயன் படுத்தவேண்டும். — 190°C வெப்பநிலையை விடக் குறைந்த வெப்ப நிலைக்குக் காரீயம் அல்லது தங்க மின்தடை வெப்பநிலைமானியை உபயோகிக்கலாம். — 250°C வெப்பநிலைக்குக் கீழ் பாஸ்பர்-பிரான்ஸ் (Phosphor bronze) அல்லது கான்ஸ்ட்டன்டன் மின் தடை வெப்பநிலைமானியைப் பயன்படுத்தலாம்.

மிகக் குறைந்த வெப்பநிலைகளை அளப்பதற்கு வெப்பமின் இரட்டைகள் மிகவும் ஏற்றவை. செப்பு-கான்ஸ்ட்டன்டன் வெப்ப மின் இரட்டையும், இரும்பு-கான்ஸ்ட்டன்டன் வெப்பமின் இரட்டையும் — 255°C வெப்பநிலை வரை அளப்பதற்குச் சிறந்தவை யாக இருக்கின்றன. — 270.5°C வரை அளப்பதற்குத் தங்கம்-வெள்ளி இரட்டையைப் பயன்படுத்த வேண்டும்.

— 254°C முதல் — 272°C வெப்பநிலைவரை அளப்பதற்கு ஆவி அமுத்த வெப்பநிலைமானிகள் மிகவும் சிறந்தவை. — 253°C முதல் — 262°C வரை திரவ ஹைட்ரஜன் ஆவியும், — 268°C முதல் — 272°C வரை திரவ ஹீலிய ஆவியும் பயன்படுத்தப்படு கின்றன. ஆவி அமுத்த வெப்ப நிலைமானியின் அமைப்பு படத் தில் காட்டியவாறுள்ளது. A என்ற சிறிய குமிழ் ஒன்றில் திரவ ஹீலியமும், அதன் ஆவி யும் உள்ளன. நுண் துளைக் குழாய்களால் M என்ற அமுத்த மானியுடன் குமிழ் இணைக்கப் பட்டுள்ளது. R என்ற சேமக் குழாயை உயர்த்தியோ, தாழ்த்தியோ M-ல் உள்ள பாதரச மட்டத்தை வேண்டிய வாறு சரி செய்து கொள்ள முடியும். எந்தப் பொருளின் வெப்பநிலை தேவையோ அந்தப் பொருளில் A குமிழ் வைக்கப்படுகிறது. ஆவியின் அமுத்தத்திலிருந்து வெப்ப நிலையை அறிந்துகொள்ளலாம்.



படம் 95.

1° தனி வெப்பநிலைக்குக் கீழ் கியூரி விதியைப் பயன்படுத்தியும் பராகாந்தப் பொருளின் காந்த ஏற்புத் திறனை அளந்தும் வெப்ப நிலையைக் கணக்கிடலாம்.

11. மிகக் குறைந்த வெப்பநிலைகளின் பயன்கள்

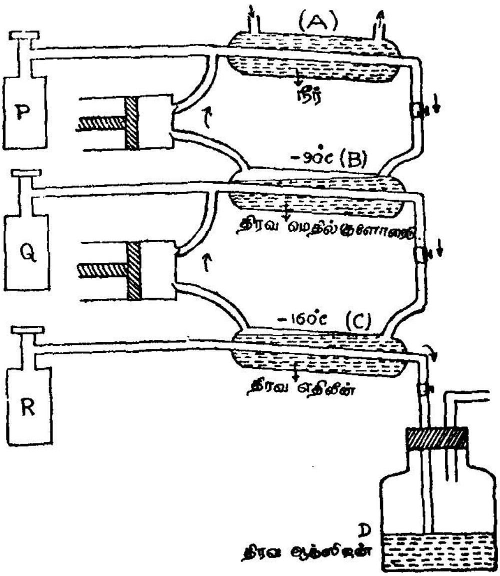
குறைந்த வெப்பநிலையில் காற்றுப் போன்ற கலவைப் பொருளிலிருந்து பின்னக் காய்ச்சி வடித்தல் (fractional distillation) முறையில் அதன் கூறுகளைப் பிரிக்கலாம். இம்முறையில் ஆக்ஸிஜன் மிகுந்த அளவு தயாரிக்கப்படுகிறது. திரவ ஆக்ஸிஜன் பல துறைகளில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. மருத்துவமனைகள், ஆலைகள், ஆராய்ச்சிக்கூடங்கள் எல்லாவற்றிலும் பயன்படுகிறது. ஏவுகணைகள், வானவெளிக்கப்பல்கள் இவற்றிலும் திரவ ஆக்ஸிஜன் இன்றியமையாததாக இருக்கிறது.

உயர் வெற்றிடம் உண்டாக்கத் திரவக் காற்று பயன்படுத்தப் படுகிறது. வாயுக்களைத் தூயதாக்கவும் உலர்ந்ததாகச் செய்யவும் திரவக்காற்று உபயோகிக்கப்படுகிறது. மிகக் குறைந்த வெப்ப நிலைகளில் பொருள்களின் பலவகைப்பட்ட பண்புகளை ஆராயத் திரவக்காற்று முதலியன மிகுந்த அளவு பயன்படுகின்றன. பொருள்களின் பண்புகள் குளிர் வெப்ப நிலைகளில் மிகவும் மாறுபடுகின்றன என்று முன்பே கூறப்பட்டுவிட்டது.

12. பிக்டேயின் படிப்படி (Cascade) முறையில் வாயுவைத் திரவமாக்கல்

இம் முறைக்கான கருவி படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. படிப்படியாகக் குறைந்த கொதி நிலைகளையுள்ள திரவங்கள் வரிசையாய் ஒன்றை ஒன்று குளிர்விக்கப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. படத்தில் A குழாயைச் சூழ்ந்துள்ள உறையில் குளிர் நீர் செலுத்தப்படுகிறது. A குழாயில் மெதில் குளோரைடு (Methyl chloride) உள்ளது. அதன் மாறுநிலை வெப்பநிலை (critical temperature)) 143°C. ஆகையால் அது அழுத்தப்படும்பொழுது திரவமாகி B குழாயைச் சூழ்ந்துள்ள உறைக்குச் செல்லுகிறது. அது அங்குக் குறைந்த அழுத்தத்தில் ஆவியாகி B குழாயை – 90°C வெப்பநிலைக்குக் குளிர்விக்கிறது. B குழாயில் எதிலின் (Ethylene) உள்ளது. அதன் மாறுநிலை வெப்பநிலை 11°C ஆகும். எனவே, அது அழுத்தப்படும்பொழுது திரவமாக மாறி C குழாயைச் சூழ்ந்துள்ள உறைக்குச் செல்கிறது. அங்குக் குறைந்த அழுத்தத்தில் அது ஆவியாக மாறுவதால் C குழாய் – 160°C வெப்பநிலையை

அடைகிறது. C குழாயில் ஆக்ஸிஜன் உள்ளது. அதன் மாறுநிலை வெப்பநிலை —118°C ஆகும். எனவே, C குழாயில் அழுத்தப்படும் ஆக்ஸிஜன் திரவமாக மாறி D என்ற டீவார் குடுவையில் (Dewar's flask) விழுகிறது.



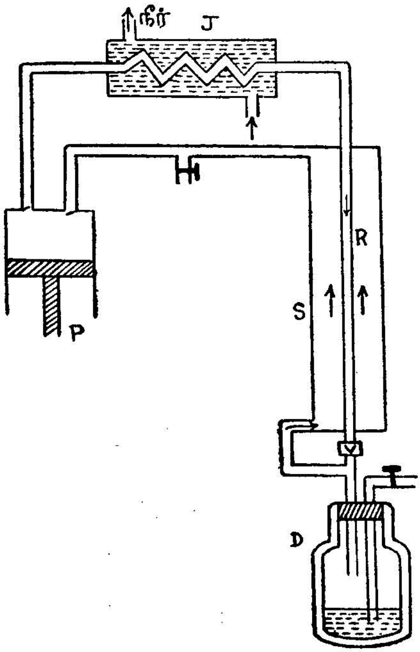
படம் 96.

இம் முறையைப் பயன்படுத்தி நைட்ரஜனையும் திரவமாக்க முடியும். ஆனால், நியான், ஹைட்ரஜன், ஹீலியம் ஆகிய வாயுக்களை இம் முறையில் திரவமாக்க முடிவதில்லை. ஏனெனில், அவற்றின் மாறுநிலை வெப்பநிலைகளுக்குக் (முறையே – 228.7°C, – 240°C, – 268°C) கீழ் அவற்றைக் குளிர்விப்பதற்குத் தகுந்த திரவங்கள் இல்லை.

13. லிண்டேயின் முறையில் காற்றைத் திரவமாக்கல்

இதற்கான கருவியின் அமைப்பைப் படம் 97-ல் காணலாம். P என்ற அழுத்தும் பம்பினால் அழுத்தப்பட்ட காற்று J என்ற உறையின் வழியே செலுத்தப்படுவதினால் அது உறையின் வெப்பநிலையை அடைகிறது. பின்பு அது R குழாய் வழியாக V என்ற ஒரு நுண்துளை அடைப்புக்குச் செல்லுகிறது. அங்கு அது நுண்துளை வழியாக விரிவடைவதால் குளிர்கிறது. குளிர்ந்த

காற்று R-ஐச் சூழ்ந்துள்ள S என்ற வெளிக்குழாய் வழியாக மேலேறுகிறது. இந்தக் குளிர்ந்த காற்று R வழியாக V-ஐ நோக்கி வரும் காற்றைக் குளிர்விக்கிறது. ஆதலால் இப்பொழுது V-ஐ அடையும் காற்று விரிவடையும் பொழுது மேலும் தாழ்ந்த வெப்பநிலையை அடைகிறது. இவ்வாறு குளிர்ச்சியடைந்த காற்றும் S வழியே சென்று V-ஐ நோக்கி R வழியே வரும் காற்றை மிகவும் குளிர்விக்கிறது. இவ்வாறு படிப்படியாகக் குளிர்விக்கப்படும் காற்று தக்க வெப்பநிலையை அடைந்ததும் திரவமாக மாறி டீவார் குடுவையில் விழுகிறது. இம்முறையை வேறு வாயுக்களுக்கும் பயன்படுத்தலாம். ஆனால், J-ன் வெப்பநிலை வாயுவின் புரட்டு வெப்பநிலையை (Temperature of inversion) விடக் குறைவாக இருக்க வேண்டும்.



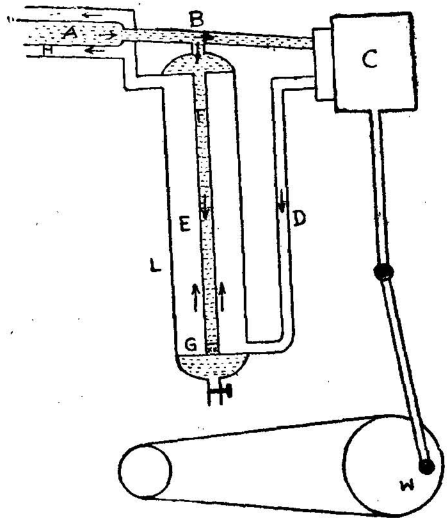
படம் 97.

14. கிளாடு (Claude) கருவியின் மூலம் காற்றைத் திரவமாக்குதல்

ஓர் அழுத்தும் பம்பினால் அழுத்தப்பட்ட காற்று A என்ற ஒரு குழாயினுள் (படம் 98) செலுத்தப்படுகிறது. B என்ற இடத்தில் இது இரு பகுதிகளாகப் பிரிகிறது. ஒரு பகுதி C என்ற விரிவுக் குழாய்க்குச் சென்று திடீரென்று வெப்ப மாற்றீடற்ற நிலையில் விரிவடைகிறது. இவ்விதம் விரிவடைவதால் செய்யப்படும் வேலை அழுத்தும் பம்பை இயக்குவதற்குக் கூடிய அளவு பயன்படுத்தப் படுகிறது. C குழாயில் திடீரென்று விரிவடைவதால் குளிரும் காற்று D குழாய் வழியாக L என்ற அறைக்குள் வருகிறது. இந்த அறை F என்ற உட்குழாயையும் அதைச் சூழ்ந்துள்ள E என்ற வெளிக்குழாயையும் கொண்டுள்ளது. D-யிலிருந்து வரும் குளிர்ந்த காற்று E வழியே மேலேறுகிறது. இச்சமயத்தில் B-யிலிருந்து

பிரிந்து F வழியாகக் கீழிறங்கும் மற்றப் பகுதிக் காற்றை இது குளிர்விக்கிறது. அவ்வாறு F-ல் குளிர்வடைந்து கீழிறங்கும் காற்று G என்ற இடத்திலுள்ள ஊசிவாய் வால்வு (throttle valve) வழியாக விரிவடைந்து மேலும் குளிர்வடைந்து திரவமாக மாறுகிறது.

E-ல் வெளியேறும் காற்று அழுத்தும் பம்புக்குச் சென்று அழுத்தப்பட்டு மீண்டும் A-க்குள் செலுத்தப்படுகிறது.



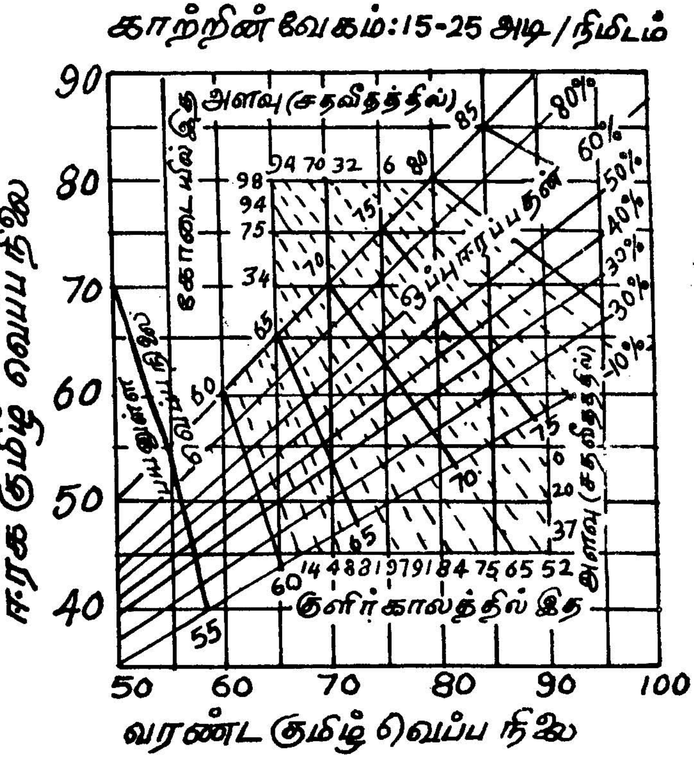
படம் 98.

15. காற்றை நன்னிலைப் படுத்தல் (Air conditioning)

அனுபவத்திலிருந்தும் சோதனைகளிலிருந்தும் காற்று மனிதனுடைய உடம்பிற்கு இன்பமளிக்கக் கூடியதாகவும், புத்துணர்ச்சியூட்டி நல்ல பயனைக் கொடுக்கக் கூடியதாகவும் இருப்பதற்கு அதனுடைய வெப்பநிலை, ஒப்பு ஈரப்பதன், அசைவு ஆகியவை சில குறிபிட்ட நிலைகளில் இருக்கவேண்டும் என்று தெரிந்தது. அவ்விதச் சூழ்நிலைகளை ஏற்படுத்தித் தொழில் முதலிய துறைகளில் நல்ல பயனுறு திறனையும், உற்பத்திப் பெருக்கத்தையும் அடைய முடியும். இவ்வாறுன சூழ்நிலைகளை ஏற்படுத்துவது காற்றை நன்னிலைப் படுத்தல் எனப்படுகிறது.

பல சோதனைகளைச் செய்து இதமான உணர்ச்சியளிக்கக் கூடிய வெப்பநிலை, ஒப்பு ஈரப்பதன் (relative humidity), காற்றின் வேகம் ஆகியவற்றைப் படங்களில் குறித்திருக்கிறுர்கள். அவ்வாறுன படங்கள் இத விவர விளக்கப் படக்கள் (Comfort charts) எனப்படுகின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் ஒப்பு ஈரப்பதனை மாற்றியமைத்து இதமான நிலையை உண்டாக்கலாம், அல்லது ஒரு குறிப்பிட்ட ஒப்பு ஈரப்பதனில் வெப்பநிலையைத் தக்கபடி மாற்றியமைத்து இதமான நிலையை உண்டாக்கலாம். ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் ஒப்பு ஈரப்பதனை அதிகரிக்கும்பொழுது, தேகத்திலிருந்து ஆவியால் குறைவதன்

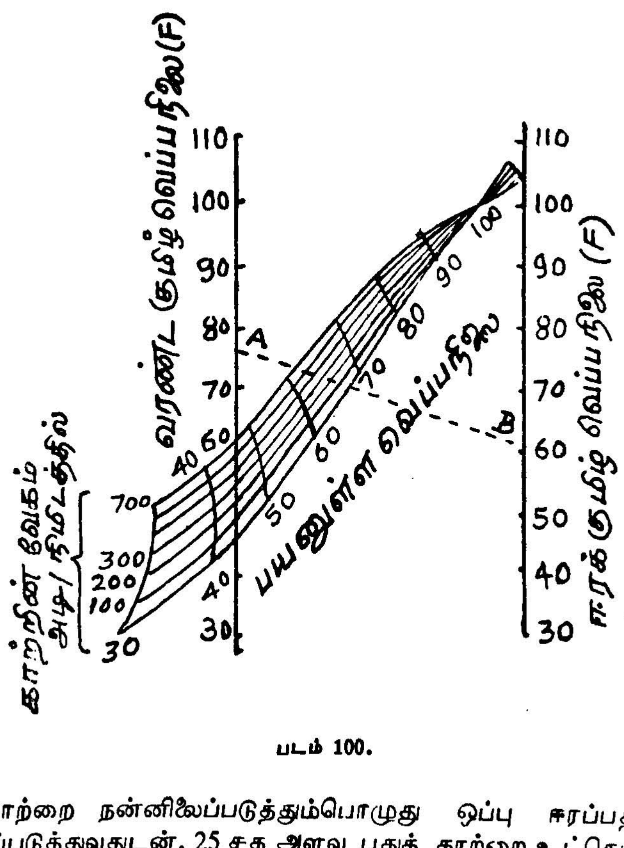
காரணமாகக் காற்று மிகப் புழுக்கமானதாகத் தோன்றும். மாருக ஒப்பு ஈரப்பதனைக் குறைக்கும் பொழுது, ஆவியாதல் அதிகமாகிக் குளிர்ச்சியானது போன்ற தோற்றத்தைக் காற்றுக்குக் கொடுக்கும். காற்று அசையாதிருக்கும் பொழுதும் புழுக்கமுள்ள உணர்வு உண்டாகும். காற்று அசையும் பொழுது ஆவியாதல் அதிகமாகிக் குளிர்ச்சியான உணர்வு உண்டாகும். ஆனல், காற்றின் வேகம் ஓரளவுக்குமேல் மிகுந்திருப்பது விரும்பத்தக்கதல்ல. இதமான உணர்ச்சியைக் கொடுக்கக் காற்றின் வேகம் நிமிடத்திற்கு 25 முதல் 75 அடி வரை இருக்க வேண்டும் என்று கணக்கிட்டிருக்கிருர்கள்.



படம் 99.

இதமான தன்மையின் வெவ்வேறு மதிப்புகளைக் குறிக்கப் பயனுள்ள வெப்பநிலை (effective temperature) என்ற சொல்வழங்கி வருகிறது. ஒரே பயனுள்ள வெப்பநிலையில், ஒரே மாதிரியான உணர்ச்சி ஏற்படும். இது தெவிட்டிய நீராவி அழுத்தத்திலும்,

காற்று அசையாத நிலையிலும் உண்மையான வெப்பநிலை குறிப்பிட்ட மதிப்பை உடையதற்குச் சமம். இதன் மதிப்பு, காற்றின் வேகத்தாலும் ஒப்பு ஈரப்பத மதிப்பாலும் உண்மையான வெப்ப நிலையை அனுசரித்து மாறுபடும். இதனைக் காண்பதற்குப் **பயனுள்ள வெப்பநிலை விவர விளக்கப்படங்கள்** (effective temperature charts) உள்ளன. ஒரு குறிப்பிட்ட பயனுள்ள வெப்பநிலையில் இதமான தன்மை குறைவாக இருக்குமானால், ஒப்பு ஈரப்பதனின் மதிப்பைத் தக்கபடி மாற்றியமைத்து இதமான தன்மை மிகுந்த வேறு பயனுள்ள வெப்பநிலையை ஏற்படுத்திக்கொள்ளலாம். கோடையிலும் குளிர்காலத்திலும் மிகுந்த இதமான நிலையைக் கொடுக்கும் பயனுள்ள வெப்பநிலைகள் வெவ்வேறாக அமைகின்றன என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.



படம் 100.

காற்றை நன்னிலைப்படுத்தும்பொழுது ஒப்பு ஈரப்பதனைக் கட்டுப்படுத்துவதுடன், 25 சத அளவு புதுக் காற்றை உட்கொணரு வதும் விரும்பத்தக்கது. குளிர் பிரதேசங்களில் காற்றின் வெப்ப

நிலையைப் பொதுவாக உயர்த்தவேண்டியிருக்கும். ஆனல், உஷ்ணப் பிரதேசங்களிலும், கோடை காலத்திலும் பொதுவாக வெப்பநிலையைக் குறைக்கவேண்டி இருக்கும். அத்துடன் காற்றில் உள்ள நீராவியை அகற்றுதலும் விரும்பத்தக்கதாக இருக்கும். இதற்குக் குளிர்பதனேற்றியின் (refrigerating machine) ஆவி யாக்கும் பாகம் அநேக செப்புத் தகடுகளைக் கொண்ட குழாய் வடிவத்தில் இருக்கிறது. குழாயினுள் ஃப்ரியான் அல்லது சல்பர் டை ஆக்ஸைடு திரவம் ஆவியாதலினல் குளிர்ச்சி ஏற்படுகிறது. விசிறிகளின் உதவியால் அறையின் காற்று இந்தச் செப்புத் தகடுகள் இருக்கும் பாகத்தை நோக்கி வீசப்படுகிறது. அங்கு அந்தக் காற்றுக் குளிரும்பொழுது அதில் உள்ள சிறிது நீராவி நீராக மாறுகிறது. இவ்வாறு நீராக மாறிய பகுதி விரைவில் அகற்றப் படுகிறது. இவ்வாறு தொடர்ச்சியான நிகழ்ச்சி ஏற்படும்பொழுது அறையின் காற்றுக் குளிர்வதுடன் வறண்டதாகவும் ஆகிறது.

மேலும், வெளியிலிருந்து வெப்பம் உள்ளே கடத்தப்படுவதை யும் தடுக்கவேண்டும். இதற்காகச் சுவர், மாடியின் உள்தளம் ஆகியவை செலோடெக்ஸ் (celotex), மாசனைட் (masonite) ஆகிய பொருள்களால் மூடப்படுகின்றன. மேலும், தரையில் விரிப்புகள் போடுதல் நன்மையளிக்கும். அறையிலிருந்து நீக்கப்படவேண்டிய வெப்பத்தின் அளவைப் பொறுத்தும், அறையில் இருக்கக்கூடிய ஆட்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்தும் வெவ்வேறு திறனுள்ள குளிர்பதனேற்றியைப் பயன்படுத்தவேண்டும்.

வினக்கள்

1. நுண்துளை வாய்ச் சோதனையை விளக்கிக் கூறுக. இத் தத்துவத்தின் அடிப்படையில் காற்றின் திரவ மாக்கத்தைப் பற்றி விவரித்துக் கூறுக.

2. ஹைட்ரஜனைத் திரவமாக்குவதற்கான முறையை விவரிக்கவும்.

3. சிறு குறிப்புகள் வரைக :
   (i) ஜூல் - தாம்ஸன் விளைவு
   (ii) குளிர்பதனேற்றம்
   (iii) புரட்டு வெப்பநிலை
   (iv) தனிச்சுழி வெப்பநிலைக் கருகில் பொருளின் பண்புகள்.
   (v) வெப்ப மாற்றீடற்ற காந்த நீக்கம்.

4. ஜூல் - தாம்ஸன் விளைவின் கொள்கையை விளக்குக. 'பாயில் வெப்பநிலை', 'புரட்டு வெப்பநிலை' என்பவைகளை விளக்குக. வாயுக்களைத் திரவமாக்குதலில் ஜூல்-தாம்ஸன் விளைவின் முக்கியத்துவத்தைச் சுருக்கமாகக் கூறுக.

5. தாழ்ந்த வெப்பநிலைகளின் உபயோகங்கள் பற்றிக் குறிப்பு வரைக.

8. சம வெப்பநிலை நிகழ்வுகளும் வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுகளும்
(Isothermal and Adiabatic Operations)

1. ஒரு வாயுவின் இரு வெப்ப எண்களுக்கிடையே உள்ள வேறுபாடு—மேயரின் சமன்பாடு

ஒரு வாயுவிற்கு மாருப் பரும வெப்ப எண் (c_v), மாரு அழுத்த வெப்ப எண் (c_p) என்று இரு வெப்ப எண்கள் இருப்பதைப் பற்றி முன்பே கவனித்தோம். இலட்சிய வாயுவின் இரு வெப்ப எண்களுக்கிடையே உள்ள வேறுபாட்டைக் கீழ்க்கண்டவாறு காணலாம் :

ஒரு முனை மூடிய உருளை வடிவக் கலம் ஒன்றில் ஓர் உந்து தண்டு இருப்பதாகவும், உந்து தண்டுக்கும் மூடிய முனைக்கும் இடையே ஓர் அலகு நிறையுள்ள ஓர் இலட்சிய வாயு இருப்பதாகவும் கொள்வோம். இதன் பருமன் மாருதபொழுது இதன் வெப்ப நிலையை dT°C உயர்த்துவதற்குத் தேவைப்படும் வெப்பம் = C*v* dT. இந்த வெப்பம் வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலை அதிகரிக்கிறது.

இனி அது மாரு அழுத்த நிலையில் எடுத்துக்கொள்ளும் வெப்பத்தைப்பற்றிக் கவனிப்போம். இந்த நிலையில் அதன் வெப்பநிலை dT°C உயரும்பொழுது அதனுல் எடுத்துக் கொள்ளப்படும் வெப்பம் C_p dT ஆகும். இந்த வெப்பத்தில் ஒரு பகுதி உள்ளார்ந்த ஆற்றலை அதிகரிப்பதற்கும், எஞ்சிய பகுதி வெளி அழுத்தத்தை எதிர்த்து வாயுவின் பருமனை அதிகப்படுத்துவதற்காகச் செய்யப்படவேண்டிய வேலைக்கும் பயன்படுகிறது. இலட்சிய வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றலை அதிகப்படுத்துவதற்கு எடுத்துக் கொள்ளப்படும் C*v* dT ஆகத்தான் இருக்கும்.

இப்பொழுது வெளி அழுத்தம் p என்றும், உந்து தண்டின் குறுக்குப் பரப்பு A என்றும் கொள்வோமாயின், அதன்மேல் செயற்படும் விசை = pA ஆகும். எனவே, அழுத்தம் மாருமல் இருப்பதற்காக உந்து தண்டு dx தூரம் நகருவதாகக் கொள்வோமாயின், வெளி அழுத்தத்தை எதிர்த்துச் செய்யப்படும் வேலை $= p$A dx. இதில்

Adx என்பது வாயுவின் பருமப் பெருக்கத்தைக் (dv) குறிக்கிறது. எனவே, செய்யப்படும் வேலை = pdv. வெப்பத்தின் எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று J எனில், இந்த வேலை $\frac{pdv}{J}$ என்ற வெப்பத்துக்குச் சமமாகும்.

$$\text{எனவே, } C_p dT = C_v dT + \frac{pdv}{J} \qquad \ldots \quad (1)$$

இப்பொழுது ஓர் இலட்சிய வாயுவிற்கு

$$pv = RT.$$

எனவே, அழுத்தம் மாறுநிலையிலில் பகுநி காணில்,

$$pdv = RdT.$$

இதன் மதிப்பை (1) ஆவது சமன்பாட்டில் பதிவீடு செய்யும் பொழுது,

$$C_p dT = CvdT + \frac{RdT}{J}$$

$$\text{எனவே } Cp = C_v + \frac{R}{J}$$

$$\text{அல்லது } C_p - C_v = \frac{R}{J} \qquad \ldots \quad (2)$$

இதனை மேயர் என்பவர் முதன் முதலில் தருவித்தார். எனவே இது மேயர் சமன்பாடு எனப்படுகிறது.

2. இயக்கவியற் கொள்கைப்படி வெப்ப எண்களின் தகவு (Ratio of Specific heats)

ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயுவில் N மூலக்கூறுகள் இருப்பதாகவும், ஒவ்வொரு மூலக்கூறுக்கும் χ உரிமைப்படிகள் இருக்கின்றன எனவும் கொள்வோம். அப்பொழுது ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயுவின் மொத்த உரிமைப்படிகள் Nχ ஆகும். இயக்கவியற் கொள்கையில் போல்ட்ஸ்மன் (Boltzman) தத்துவத்தின்படி T தனி வெப்பநிலையிலுள்ள வாயுவின் ஓர் உரிமைப்படிக்கான ஆற்றல் = $\frac{1}{2}k$T. இதில் k என்பது போல்ட்ஸ்மன் மாறிலியாகும். இதன் மதிப்பு $\frac{R}{N}$ ஆகும்.

எனவே, T வெப்பநிலையில் ஓர் உரிமைப்படிக்கான

$$\text{ஆற்றல்} = \frac{1}{2}\left(\frac{R}{N}\right)T$$

ஆகையால், T வெப்பநிலையில் Nx உரிமைப்படிகளுக்கான

$$\text{ஆற்றல்} = \frac{1}{2} Nx \frac{R}{N} T$$

$$= \frac{1}{2} x R T.$$

இவ்வாறே, (T + 1) வெப்ப நிலையில் Nχ உரிமைப்படிகளுக்கான ஆற்றல் $= \frac{1}{2} x R (T + 1)$

ஆகையால், ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயுவின் வெப்பநிலையை ஒரு டிகிரி சென்டிகிரேடு உயர்த்தும்போது அதன் உள்ளார்ந்த ஆற்றலில் ஏற்படும் உயர்வு $= \frac{1}{2} \chi R$. இதற்குத் தேவைப்படும் வெப்பம் C_v. வெப்ப ஆற்றலின் எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்றையும் கவனத்தில் கொள்வோமாயின்,

$$C_v = \frac{1}{2} \frac{xR}{J}$$

மேயர் சமன்பாட்டின்படி

$$C_p = C_v + \frac{R}{J}$$

$$= \frac{1}{2} \frac{\chi R}{J} + \frac{R}{J}$$

$$= \frac{1}{2} \frac{R}{J} (x + 2)$$

$$\therefore \frac{C_p}{C_v} = \frac{R(\chi + 2)}{2J} \cdot \frac{2J}{xR}$$

$$= \frac{x + 2}{x}.$$

$\frac{C_p}{C_v}$ என்பது இரு வெப்ப எண்களின் தகவாகும். இது நடைமுறையில் γ என்ற எழுத்தால் குறிப்பிடப்படுகிறது.

$$\therefore \gamma = \frac{x + 2}{x}.$$

வாயுவின் மூலக்கூறுகள் ஒவ்வொன்றும் ஓரணுவை மாத்திரம் கொண்டிருக்குமாயின், அதாவது ஓரணு மூலக்கூறு வாயுவுக்கு (Mono atomic gas).

மூலக்கூறின் உரிமைப்படிகள் $= x = 3$ ஆகும்.

$$\text{எனவே } \gamma = \frac{3+2}{3} = 1{\cdot}67.$$

ஆனால், ஈரணு மூலக்கூறு வாயுவுக்கு $x = 5$

$$\therefore \quad \gamma = \frac{5+2}{5} = 1{\cdot}4$$

3. சம வெப்பநிலை நிகழ்வுகள்

இலட்சிய வாயுவின் சமவெப்பநிலை நிகழ்வுகளைக் கட்டுப்படுத்துவது பாயிலின் விதியேயாகும். எனவே, இந்த நிகழ்வுகளுக்கான சமன்பாடு $pv =$ மாறிலி என்பதாகும்.

4. வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வும் அதற்கான சமன்பாடும் (Equation for Adiabatic change)

ஒரு வாயுவின் பருமன் மிக விரைவில் அதிகரிக்கப்படுமானால் வாயுப்பொருள் சூழ்நிலையிலிருந்து வெப்பம் பெறுவதற்கு வாய்ப்பில்லை. இத்தகைய பெருக்கத்திற்கு வெப்ப மாற்றீடற்ற பெருக்கம் (Adiabatic expansion) என்று பெயர். இந்தச் செயலுக்குரிய சமன்பாட்டை நிறுவுவோம்.

ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயுவிற்கு dQ அளவுள்ள வெப்பம் கொடுக்கப்படுகிறது என்று கற்பனையாகக் கொள்வோம். அதன் வெப்பநிலை dT அளவு உயருகிறது என்றும், அதன் பருமன் dv அளவு அதிகப்படுகிறது என்றும் கொள்வோம். அதன் தொடக்க அழுத்தம் p என்றும், பருமமாறு வெப்ப எண் Cv என்றும் இருக்கட்டும்,

வாயுவினால் செய்யப்படும் புறவேலை $= pdv.$

வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றல் அதிகரிப்பு $= \mathrm{C}v d\mathrm{T}.$

இந்த இரண்டிற்கும் தேவைப்படும் வெப்பம் $= \dfrac{pdv}{\mathrm{J}} + \mathrm{C}v\, d\,\mathrm{J}.$

(இங்கு J என்பது வெப்ப ஆற்றலின் எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று)

கொடுக்கப்பட்ட வெப்பம் இதற்காகப் புயன்படுத்தப்படும்,

எனவே, $dQ = \frac{pdv}{J} + CvdT.$

இப்பொழுது நிகழ்வு வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் ஏற்படு மாயின் $dQ = 0.$

$$\text{எனவே, } \frac{pdv}{J} + C_v dT = 0. \quad \dots (2)$$

இலட்சிய வாயுவுக்கு எல்லா நிலைகளிலும் பொருந்தும் சமன்பாடு

$pv + RT$ ஆகும்.

இதன் பகுதி காணில்,

$$p\,dv + v\,dp = R\,dT$$

$$\text{ஆகையால், } dT = \frac{pdv + vdp}{R}$$

மேலும், மேயர் சமன்பாட்டின்படி

$$R = (C_p - C_v)\,J$$

$$\therefore \quad dT = \frac{pdv - vdp}{(C_p - C_v)\,J}$$

இந்த மதிப்பை (2) ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோ மானல்

$$\frac{p\,dv}{J} + \frac{C_v\,(p\,dv + v\,dp)}{(C_p - C_v)\,J} = 0.$$

$$\text{அதாவது, } pdv\,(C_p - C_v) + C_v\,(pdv + vdp) = 0.$$

$$\therefore \quad C_p\,pdv + C_v\,vdp = 0.$$

$$\therefore \quad C_p\,pdv = -\,C_v\,vdp$$

$$\text{அதாவது, } \frac{C_p}{C_r}\,\frac{dv}{v} = -\,\frac{dp}{p}$$

$$\text{அல்லது } \frac{dp}{p} + \gamma\,\frac{dv}{v} = 0.$$

தொகுநி காணில்

$$\log p + \log v^{r} = \text{மாறிலி}$$

$$\text{அல்லது } \log pv^{r} = \text{மாறிலி.}$$

$$= \log K \text{ (இங்கு K ஒரு மாறிலி)}$$

$$\therefore \quad pv^{r} = K_1 \quad \dots (3)$$

இந்தச் சமன்பாடு வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்குப் பெரிதும் பயன்படுகிறது. இந்தச் சமன்பாட்டில் p, v ஆகியவற்றிற்கான தொடர்பு மாத்திரம் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. இதைக்கொண்டு வாயுவின் வெப்ப நிலையுடனும் கீழ்க்கண்டவாறு தொடர்பு படுத்தலாம்.

இலட்சிய வாயுச் சமன்பாட்டிலிருந்து $p = \frac{RT}{v}$.

இதை (3) ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமானால்,

$$\left(\frac{RT}{v}\right)(v^r) = K$$

$$\therefore \quad Tv^{r-1} = K_1 \qquad \ldots (4)$$

(இங்கு K_1 மற்றொரு மாறிலி)

மேலும் இலட்சிய வாயுச் சமன்பாட்டிலிருந்து $v = \frac{RT}{p}$.

இந்த மதிப்பை (3) ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமானால்

$$p\left(\frac{RT}{P}\right)^r = K$$

$$\therefore \quad T\,p^{1-r} = K_2 \qquad \ldots (5)$$

(இங்கு K_2 மற்றொரு மாறிலி.)

5 இலட்சிய வாயுவால் செய்யப்படும் மொத்த வேலை

(i) **சம வெப்பநிலை நிகழ்வின்பொழுது செய்யப்படும் மொத்த வேலை :** ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயுவின் தொடக்க அழுத்தம், பருமன் ஆகியவை முறையே p_1, v_1 எனக்கொள்வோம். அதன் இறுதி அழுத்தம், பருமன் ஆகியவை முறையே p_2, v_2 எனக் கொள்வோம் வாயுவின் மாறாத தனி வெப்பநிலை T எனக் கொள் வோம்.

இடைநிலையில் அதன் அழுத்தம் p என்றிருக்கும்பொழுது பருமன் dv அளவு மாறுமானால்,

செய்யப்படும் சிறு அளவு வேலை $= dw = pdv$

ஆனால், $p = \frac{RT}{v}$

$$\therefore dw = \frac{RT}{v}\,dv.$$

∴ செய்யப்படும் மொத்த வேலை $= \int pdv$

$$= \int_{v_1}^{v_2} \frac{RT}{v}\, dv$$

$$= [RT\, log\, v]_{v_1}^{v_2}$$

$$= RT\, log_e\, \frac{v_2}{v_1}$$

$$= RT \times 2{\cdot}3026 \times log_{10} \left(\frac{v_2}{v_1}\right)$$

(ii) **வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வின்போது செய்யப்படும் மொத்த வேலை :** ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயு வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் v_1 பருமனிலிருந்து v_2 பருமனுக்கு மாறுவதாகக் கொள்வோம். இடைநிலையில் அழுத்தம் p ஆக இருக்குபொழுது பருமன் dv அளவு மாறுவதாகக் கொள்வோம். இந்தச் சிறு மாறுதலில் செய்யப்படும் வேலை $= dw = pdv$.

எனவே, செய்யப்படும் மொத்த வேலை $= w = \int dw = \int pdv$

வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கு $pv^r = k$

$$\therefore p = \frac{k}{v^r}$$

$$\therefore w = \int \frac{k\, dv}{v^r}$$

$$= k \left[\frac{v^{-r+1}}{-r+1}\right]_{v_1}^{v_2}$$

$$= \frac{k}{1-r}\,(v_2^{\,1-r} - v_1^{\,1-r})$$

ஆனல், $k = p_1 v_1^r = p_2 v_2^r$

$$\therefore w = \frac{1}{1-r}\,[p_2 v_2^r v_2^{\,1-r} - p_1 v_1^r v_1^{\,1-r}]$$

$$= \frac{1}{1-r}\,[p_2 v_2 - p_1 v_1] \qquad \dots (1)$$

தொடக்க வெப்பநிலை T_1 எனவும், இறுதி வெப்பநிலை T_2 எனவும் இருக்குமாயின்,

$$p_1 v_1 = RT_1$$

$$p_2 v_2 = RT_2$$

$$\therefore \quad W = \frac{R}{1-r}[T_2 - T_1] = \frac{R}{r-1}[T_1 - T_2] \quad (2)$$

6. சம வெப்பநிலை மீட்சிக் குணகமும் வெப்ப மாற்றீடற்ற மீட்சிக் குணகமும் (Isothermal and Adiabatic Elasticity)

(i) **சம வெப்பநிலை மீட்சிக் குணம்:** ஒரு வாயுவின் அழுத்தம் dp அளவு மாறும்பொழுது அதன் பருவன் dv அளவு மாறுவதாகக் கொள்வோம். வாயுவின் தொடக்கப் பருமன் v எனில் $\left(\frac{dv}{v}\right)$ என்பது வாயுவின் திரிபு (strain) எனப்படும் இதற்கான தகைவு (stress) dp ஆகும். ஒரு பொருளின் மீட்சிக் குணகம் (Modulus of Elasticity) என்பது தகைவுக்கும் திரிபுக்குமிடையே உள்ள தகவு ஆகும்.

எனவே, வாயுவின் பரும மீட்சிக்குக் குணகம் (Volume Elasticity)

$$(E) = \frac{dp}{\left(\frac{dv}{v}\right)} = \frac{vdp}{dv}.$$

சம வெப்பநிலையில் $pv = RT =$ மாறிலி.

பகுதி காணில்,

$$pdv + vdp = 0$$

$$\therefore \quad vdp = -pdv.$$

$$\therefore \quad \frac{vdp}{dv} = -p$$

$\therefore$ மீட்சிக் குணகம் $= (E_1) = -p.$

(ii) **வெப்ப மாற்றீடற்ற மீட்சிக் குணகம்:** இந்த நிகழ்வில் $pv^r =$ மாறிலி.

எனவே, பகுதி காணின், $dp\, v^r + prv^{r-1} dv = 0$

அதாவது $vdp + r\, pdv = 0$

$$\therefore \quad vdp = -r\, pdv$$

$$\text{அதாவது, } \frac{vdp}{dv} = -rp$$

$$\therefore \text{ மீட்சிக் குணகம் } = (E_2) = -rp.$$

$$\text{இங்கு } \frac{E_2}{E_1} = r.$$

எனவே, வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்விலுள்ள மீட்சிக் குணக மானது சம வெப்பநிலையிலுள்ள மீட்சிக் குணகத்தைப்போல் r மடங்காகும்.

7. வெப்ப மாற்றீட்ட கோட்டின் வாட்டம் (slope) சம வெப்பநிலைக் கோட்டின் வாட்டத்தைப் போல் r மடங்காகும்.

சம வெப்பநிலை நிகழ்வில்

$$pv = \text{மாறிலி}$$

$\therefore$ பகுதி காணும்பொழுது

$$pdv + vdp = 0$$

$$\therefore \frac{dp}{dv} = -\frac{p}{v}$$

$$\therefore \text{ சம வெப்பநிலைக் கோட்டின் வாட்டம் } = \left(\frac{dp}{dv}\right)_1 = -\frac{p}{v} \quad (1)$$

வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வில்,

$$pv^r = \text{மாறிலி}$$

$\therefore$ பகுதி காணில்,

$$v^r dp + prv^{r-1} dv = 0$$

$$\text{அதாவது } vdp + rpdv = 0$$

$$\therefore \left(\frac{dp}{dv}\right) = -\frac{rp}{v}.$$

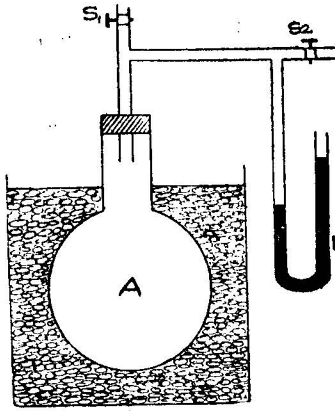
$$\therefore \text{ வெப்ப மாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டம் } = \left(\frac{dp}{dv}\right)_2 = -\frac{rp}{v} \quad (2)$$

$$\therefore \frac{\text{வெப்ப மாற்றீடற்ற கோட்டின் வாட்டம்}}{\text{சம வெப்பநிலைக் கோட்டின் வாட்டம்}} = \frac{-rp/v}{-p/v} = r$$

8. சோதனை மூலம் வெப்ப எண்களின் தகவைக் காணல்

(i) **கிலெமென்ட்-டிசார்மிஸ் முறை** (Clement and Desorme's method): இந்த முறைக்கான கருவியின் முக்கிய பாகம் ஒரு

பெரிய கண்ணுடிக் குடுவை (A) யாகும். இது ஒரு மரப் பெட்டிக்குள் வைக்கப்பட்டு பஞ்சு, கம்பளி முதலியவற்ருல் சூழப் பட்டிருக்கிறது. குடுவையில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் இரப்பர் அடைப்பான் வழியாகச் செல்லும் சற்று அகன்ற குழாயின் மேல் பாகத்தில் S_x என்ற அடைப்பான் (stop-cork)-ம் அதற்குச் சற்றுக் கீழே பக்கக் குழாய்கள் இரண்டும் உள்ளன. ஒரு பக்கக் குழாய் S_2 என்ற அடைப்பான் வழியாக ஓர் அழுத்தும் பம்புடன் இணைக் கப்பட்டிருக்கிறது. மற்றப் பக்கக் குழாய் M என்ற ஓர் அழுத்த மானியுடன் இணைக்கப்பட்டிருக் கிறது. அழுத்தமானியில் உள்ள திரவத்திற்கு ஆவியழுத்தம் மிகக் குறைந்ததாகவும், அடர்த்தி அதிகம் இல்லாததாகவும் இருப் பது விரும்பத்தக்கது. எனவே, எண்ணெய் அல்லது கந்தக அமிலம் அழுத்தமானித் திரவமாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. இத் திரவத்தின் அடர்த்தி d என்போம்.



படம் 101.

அழுத்தும் பம்பின் உதவியால் குடுவையில் உள்ள தொடக்க அழுத்தம் வெளி அழுத்தத்தைவிடச் சற்று அதிகமாக இருக்குமாறு அமைக்கவேண்டும். அழுத்தமானியின் திரவ மட்டங்கள் நிலையானபிறகு திரவ மட்டங்களின் உயர வேறுபாட்டை (h_1) அளவிட்ட பின்னர் S_1 அடைப்பானைச் சுமார் ஒரு விநாடி திறந்து உடனே மூடிவிடவேண்டும். S_1 திறந்திருக்கும்பொழுது காற்றுத் திடீரென்று விரிவடைந்து வெளி அழுத்தத்தை அடையும். இந்த விரிவு வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் ஏற்படுவதால் காற்றுக் குளிர் வடையும். S_1ஐ மூடி, போதிய நேரம் வைத்திருந்தால் குடுவையில் உள்ள காற்று சுற்றுப்புறத்திலிருந்து வெப்பத்தை ஏற்றுத் தொடக்க வெப்பநிலையை அடையும். இதனுல் குடுவையில் எஞ்சியுள்ள காற்றின் அழுத்தம் அதிகமாகிறது. அழுத்தமானியின் திரவ மட்டங்கள் நிலையான பின்பு அவைகளின் உயர வேறுபாட்டைக் (h_2) குறித்துக்கொள்ள வேண்டும்.

வெளி அழுத்தம் p_0 எனக் கொள்வோம். குடுவையில் உள்ள தொடக்க, இறுதி அழுத்தங்கள் முறையே p_1, p_2 என்போமாயின்,

$$p_1 = p_0 + h_1 dg$$
$$p_2 = p_0 + h_2 dg$$

ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயுவின் தொடக்க, இறுதிப் பருமன்கள் v_1, v_2 எனக் கொள்வோம். S_1 திறக்கப்பட்டவுடனே ஏற்பட்ட p_0 அழுத்தத்தில் ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயுவின் பருமனும் v_2 ஆகும்.

எனவே S_1 திறந்தவுடனே ஏற்படும் வெப்ப மாற்றீடற்ற விரிவைக் கருதுவோமாயின்,

$$p_1 v_1' = p_0 v_2' \qquad \ldots (1)$$

தொடக்க வெப்பநிலையும் இறுதி வெப்ப நிலையும் ஒரே அளவாயிருப்பதால் பாயிலின் விதிப்படி,

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 \qquad \ldots (2)$$

1 ஆவது 2 ஆவது சமன்பாடுகளிலிருந்து

$$\frac{p_1}{p_0} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{\gamma} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\gamma}$$

ஆகவே,

$$\log p_1 - \log p_0 = \gamma (\log p_1 - \log p_2) \qquad \ldots (3)$$

இப்பொழுது $\log p_1 = \log (p_0 + h_1 dg)$

$$= \log p_0 \left(1 + \frac{h_1 dg}{p_0}\right)$$

$$= \log p_0 + \log \left(1 + \frac{h_1 dg}{p_0}\right)$$

இதில் $\frac{h_1 dg}{p_0}$ என்பது சிறு மதிப்பை உடையதாகையால்

$$\log \left(1 + \frac{h_1 dg}{p_0}\right) = \frac{h_1 dg}{p_0}$$

எனவே $\log p_1 = (\log p_0) + \frac{h_1 dg}{p_0}$

இவ்வாறே $\log p_2 = (\log p_0) + \frac{h_2 dg}{p_0}$

இந்த மதிப்புகளை 3-ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செயவோமாயின்

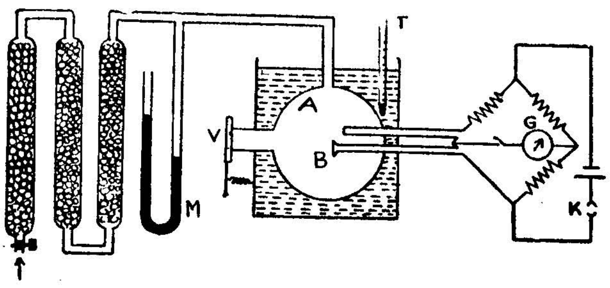
$$\log p_0 + \frac{h_1 dg}{p_0} - \log p_0 = \gamma \left(\log p_0 + \frac{h_1 dg}{p_0} - \log p_0 - \frac{h_2 dg}{p_0}\right)$$

$$\frac{h_1\, dg}{p_0} = \gamma \left(\frac{h_1 - h_2}{p_0}\right) dg$$

$$\therefore \gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$$

இம் முறையில் கீழ்க்கண்ட முக்கிய குறைபாடு உள்ளது. S_1 அடைதிறவு திறக்கப்பட்டவுடனே ஏற்படும் விரிவை அடுத்து எஞ்சிய காற்றின் அழுத்தம் சற்று ஊசலாடும். இந்த ஊசலாடுதல் நிற்பதற்குச் சற்று நேரம் வேண்டும். நாம் அதிக நேரம் தாமதித்தாலோ எஞ்சிய வாயு வெளியிலிருந்து வெப்பத்தை ஏற்றுவிடும். ஆகையால் அழுத்த ஊசலாடுதல் நிற்பதற்கு முன்பே S_1-ஐமூடிவிட வேண்டும். இவ்விதம் மூடும் சமயத்தில் உள்ளடங்கிய காற்றின் அழுத்தம் p_0 ஆக இல்லாதிருப்பின் பிழை உண்டாகும்.

(ii) **லம்மர் - பிரிங்ஷீம் முறை** (Lummer and Pringsheim's method): கிளெமென்ட்-டிசார்மிஸ் ஆகியவர்களின் முறையில் இருந்த குறையைத் தவிர்ப்பதற்காக வெப்ப மாற்றீடற்ற விரிவின் தொடக்கத்திலும், இறுதியிலும் உள்ள வெப்பநிலைகளை அளக்கும் முறையைப் பல விஞ்ஞானிகள் கையாண்டனர். லம்மர் - பிரிங்ஷீம் (Lummer and Pringsheim) ஆகியவர்கள் செப்புக் குடுவையின் மையத்தில் வைக்கப்பட்டிருந்த போலோமீட்டர் (Bolometer) கம்பியின் மின்தடையைக் கண்டுபிடிப்பதன் மூலம் வெப்பநிலைகளைக் கணக்கிட்டார்கள்.



படம் 102.

ஒரு நீர்த் தொட்டியில் வைக்கப்பட்ட 90 லிட்டர் கொள்ளளவுள்ள A என்ற ஒரு பெரிய குடுவைக்கு V என்ற வால்வு (valve) பொருத்தப்பட்டுள்ளது. வால்வின் குறுக்குப் பரப்பளவு வேண்டியவாறு மாற்றப்படக்கூடியதாக உள்ளது. குடுவையின் மையத்தில் போலோமீட்டரின் மெல்லிய பிளாட்டினக் கம்பி

வைக்கப்பட்டு அது வீட்ஸ்டன் இணைப்பின் ஒரு புயத்துடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. அதை இணைக்கும் இணைப்புக் கம்பிகளுக்கு இணையாக ஈடு செய்யும் இணைப்புக் கம்பிகள் வைக்கப்பட்டு அவை அடுத்த புயத்துடன் சேர்க்கப்பட்டுள்ளன. வீட்ஸ்டன் இணைப்பில் தாம்ஸன் கால்வனுமீட்டர் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஈரமற்ற தூய காற்று குடுவையில் செலுத்தப்படுகிறது. காற்றின் அழுத்தத்தை M என்ற எண்ணெய் அழுத்தமானியைக் கொண்டு அளவிட வேண்டும். நீர்த் தொட்டியின் வெப்ப நிலையை ·01°C அளவு நுட்ப மாக அளக்கும் வெப்பநிலைமானியைக் கொண்டு குறித்துக்கொள்ள வேண்டும்.

வெப்ப மாற்றீடற்ற விரிவின் தொடக்கத்தில் அழுத்தம் P_1 வெப்நிலை J_1 எனவும் அந்த விரிவின் இறுதியில் அழுத்தம் P_0, வெப்பநிலை T_2 எனவும் கொள்வோம்.

வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கான சமன்பாட்டின்படி

$$T_1{}^r P_1{}^{1-r} = T_2{}^r p_0{}^{1-r}$$

$$\therefore \quad r \log T_1 + (1-r) \log p_1 = r \log T_2 + (1-r) \log p_0$$

$$r (\log T_1 - \log T_2) + (\log p_1 - \log p_0) = r (\log p_1 - \log p_0)$$

$$\therefore \quad r = \frac{\log p_1 - \log p_0}{(\log p_1 - \log p_0) - (\log T_1 - \log T_2)}$$

எனவே r-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

லம்மர் - பிரிங்ஷீம் முறையில் உள்ள குறைபாடுகள் :

(i) குடுவையின் சுவரிலிருந்து வெப்பக்கடத்தல், வெப்பச் சலனம், கதிர்வீச்சு மூலம் போலோ மீட்டருக்கு வெப்பம் கிடைக் கிறது.

(ii) குடுவையின் சுவரிலிருந்து இணைப்புக் கம்பிகள் மூலம் போலோ மீட்டருக்கு வெப்பம் கிடைக்கிறது.

(iii) போலோ மீட்டரின் தாமதத்தினுல் வெப்பநிலை அளவீட்டில் சிறிது ஐயப்பாடு ஏற்படுகிறது.

மேலே குறிப்பிட்ட குறைபாடுகளை நீக்க **பார்டிங்டன்** என்பவர் இம்முறையைச் சிறிது மாற்றியமைத்தார்.

பார்டிங்டன் முறையில் எந்தோவன் கம்பிக் கால்வனுமீட்டர் (Einthoven's string galvanometer) பயன்படுத்தப்பட்டது. தொடக் கத்தில் கால்வனுமீட்டரில் தகுந்த அளவு விலகல் இருக்குமாறு

வீட்ஸ்டன் இணைப்பின் ஒரு புயத்தில் மின்தடை சரி செய்யப்படுகிறது. வெப்ப மாற்றீடற்ற விரிவு ஏற்பட்டதும் விலகல் சுழியாகுமாறு இந்தத் தொடக்க விலகல் பூர்வாங்க சோதனை மூலம் சரி செய்யப்படுகிறது. பின்பு நீர்த்தொட்டியில் வேண்டிய அளவு பனிக்கட்டியைச் சேர்த்து கால்வனுமீட்டரில் விலகல் சுழியாகும் பொழுது நீர்த்தொட்டியின் வெப்பநிலை அளவிடப்படுகிறது. இதுவே வெப்ப மாற்றீடற்ற விரிவின் இறுதியில் குடுவையினுள் ஏற்பட்ட வெப்பநிலை எனக் கொள்ளலாம். தொடக்க அழுத்தம், வெப்பநிலை முறையே P_1, T_1 எனவும் வெப்பமாற்றீடற்ற விரிவின் இறுதியில் அழுத்தம், வெப்பநிலை முறையே P_0, T_2 எனில்

$$\gamma = \frac{\log P_1 - \log P_0}{(\log P_1 - \log P_0) - (\log T_1 - \log T_2)}$$

(iii) **குண்ட் குழாய் முறை** (Kundt's Tube Method): ஒரு வாயுவில் ஒலியின் திசை வேகம் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் தொடுக்கப்படுகிறது.

$$\text{ஒலியின் திசை வேகம்} = V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

இதில் E என்பது வாயுவின் மீட்சிக் குணகம், ρ என்பது வாயுவின் அடர்த்தி.

ஒலி ஒரு வாயுவில் செல்லும்பொழுது வாயுவில் ஏற்படும் இறுக்கங்களும், விரிவுகளும் மாறி மாறி மிக விரைவில் நடப்பதால் மேற்கூறிய சமன்பாட்டில் வெப்ப மாற்றீடற்ற பருமமீட்சிக் குணகம் பயன்படுத்தப்பட வேண்டும்.

$$\text{எனவே,}\ E = v\frac{dp}{dv} = -rp$$

(இங்கு p என்பது வாயுவின் அழுத்தம். எதிர்க்குறி $\frac{dp}{dv}$ —ன் மதிப்பு எதிர்க்குறி உடையது என்பதைக் காட்டுகிறது).

ஆகவே E-ன் மதிப்பு rp ஆகும்.

$$\therefore V = \sqrt{\frac{rp}{\rho}} \qquad \ldots (1)$$

எனவே வாயுவின் அழுத்தம், அடர்த்தி, வாயுவில் ஒலியின் திசை, வேகம் ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைக் கொண்டு r-ஐக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

வாயுவில் ஒலியின் திசைவேகத்தைக் காண்பதற்கு குண்ட் குழாயைப் பயன்படுத்தலாம். இந்தச் சோதனையில் சுமார் ஒரு

மீட்டர் நீளமுள்ளதும் கிடைத்தளத்தில் வைக்கப்பட்டதுமான கண்ணடிக் குழாய்க்குள் ஈரமற்ற மரத்தூள் தூவப்படுகிறது. குழாயின் ஒரு முனை Q என்ற உந்து தண்டால் மூடப்பட்டுள்ளது. மற்ற முனைக்குள்ளே A என்ற ஒரு நீண்ட தண்டின் முனையில் பொருத்தப்பட்டவாறும், கண்ணடிக் குழாயின் குறுக்குப் பரப்பளவைவிடச் சற்றுக் குறைந்த குறுக்குப் பரப்பைக் கொண்டது

படம் 103.

மான P என்ற தக்கை அடைப்பான் உள்ளது. A தண்டு அதன் மையப் புள்ளியில் (O) இறுக்கிப் பிடித்தவாறு பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. குழாய்க்குள் சோதனைக்கான வாயு செலுத்தப்படுவதற்குத் தகுந்த அமைப்பும் உண்டு.

குழாய்க்குள் வேண்டிய வாயு செலுத்தப்பட்டவுடன் மரப் பிசினூட்டப்பட்ட தோலைக்கொண்டு A தண்டு நீளவாக்கில் அதிர்வூட்டப்படுகிறது. Q-ன் நிலையைத் தக்கவாறு சரிசெய்து A தண்டில் அதிர்வு ஏற்படுத்திவந்தால் குழாய்க்குள் நிலை அலைகள் (stationary waves) ஏற்பட்டு மரத்தூள்கள் அதிர்வை ஏற்கும். இப்பொழுது அவை வரிசையான சம தூரங்களில் குவிந்து நிற்பது தென்படும். இவை குவிந்து நிற்கும் புள்ளிகள் கணுக்கள் (Nodes) என்றழைக்கப்படுகின்றன. அடுத்தடுத்துள்ள இரு கணுக்களுக்கிடையே உள்ள தூரத்தை (l_1) அளந்துகொள்ளவேண்டும். குழாயில் வாயுவிற்குப் பதிலாகக் காற்று இருக்குமாறு சோதனையைத் திருப்பிச் செய்து அடுத்தடுத்துள்ள இரு கணுக்களுக்கிடையே உள்ள தூரத்தை (l_2) அளந்துகொள்ள வேண்டும். V_1, V_2 என்பவை முறையே வாயுவிலும், காற்றிலும் ஒலியின் திசை வேகங்கள் எனின்,

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{l_1}{l_2} \qquad \ldots(2)$$

V_2-ன் மதிப்பு தெரிந்ததெனில் V_1-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். இதை 1ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்து r-ன் மதிப்பைப் பெற்றுக்கொள்ளலாம்.

மாதிரிக் கணக்குகள்

மாதிரி 1

படித்தர வெப்ப அழுத்த நிலையில் ஹைட்ரஜன் வாயுவின் அடர்த்தி ·0896 கி. கிராம்/க.மீ. ஒரு கி. கிராம் ஹைட்ரஜனின் C_p, C_v ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் முறையே 3·409, 2·411 கி. கேலரிகள் எனின் J-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

ஒரு கி. கிராம் வாயுவைக் கவனிக்கையில்

$$C_p - C_v = \frac{R}{J} \qquad \dots (1)$$

ஆனல் $R = \frac{PV}{T} = \frac{\cdot 76 \times 13\cdot 6 \times 10^3 \times 9\cdot 81}{273} = \frac{1}{\cdot 0896}$

$= 4145$ ஜூல்

$\therefore 3\cdot 409 - 2\cdot 411 = \frac{4145}{J}$

$\therefore J = \frac{4145}{\cdot 998}$ ஜூல்/கி. கேலரி

$= \frac{4\cdot 145}{\cdot 998}$ ஜூல்/கேலரி $= 4\cdot 154$ ஜூல்/கேலரி

மாதிரி 2

76 செ.மீ. அழுத்தத்திலும், 30°C வெப்பநிலையிலுமுள்ள ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையைக் கொண்ட காற்றின் பருமன் வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் நான்கில் ஒரு பங்காகக் குறைக்கப்படுகிறது. இந்த நிகழ்வின் இறுதியில் ஏற்படும் வெப்ப நிலையையும் அழுத்தத்தையும் கணக்கிடுக. (r-ன் மதிப்பு 1·4 எனக் கொள்க.)

$p_1 = 76 \qquad T_1 = 303°A$

$v_1 =$ தொடக்கப் பருமன் என்போம்.

$v_2 =$ இறுதிப் பருமன் $= \frac{v_1}{4}$

எனவே, $\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_1}{v_1/4} = 4$

$T v^{r-1} =$ மாறிலி

$\therefore T_1 v_1^{r-1} = T_2 v_2^{r-1}$

$$\therefore \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\gamma-1} = (4)^{\gamma-1} = 4^{\cdot 4}$$

$$\therefore \quad T_2 = 303 \times 4^{\cdot 4}$$

$$= 527{\cdot}4^\circ A$$

எனவே இறுதி வெப்பநிலை $\theta_2 = (527{\cdot}4 - 273)$

$$= 254{\cdot}4^\circ C$$

$$p_1 v_1^{\gamma} = p_2 v_2^{\gamma}$$

$$\therefore \quad \frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\gamma}$$

$$= 4^{\gamma}$$

$$\therefore \quad p_2 = 76 \times 4^{1{\cdot}4}$$

$= 530{\cdot}6$ செ.மீ. (பாதரசம்)

வினுக்கள்

1. சமவெப்பநிலை நிகழ்வுக்கும் வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுக்கு மிடையே உள்ள வேறுபாட்டை எடுத்துக் கூறுக. வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வில் அழுத்தத்திற்கும் பருமனுக்கு மிடையே உள்ள தொடர்பைப் பெறுக.

2. இலட்சிய வாயுவுக்கு $C_p - C_v = R/J$ என்று காண்பிக்பிக்கவும்.

3. வெப்ப மாற்றீடற்ற மீட்சிக்குணகம் சமவெப்பநிலை மீட்சிக் குணகத்தைப்போல் r மடங்கு உள்ளதெனக் காட்டுக.

4. கிலெமென்ட் - டிஸார்மிஸ் முறைப்படி வெப்ப எண்களின் தகவைக் காணும் சோதனையை விளக்கிக் கூறுக. இம் முறையில் உள்ள குறைபாடுகள் என்ன ?

5. ஹைட்ரஜனின் $C_p = 3{\cdot}42$ கி. கேலரி / கி. கிராம் எனின் அதன் C_v-ஐக் கணக்கிடுக. $J = 4{\cdot}18 \times$ ஜுல்/கேலரி எனவும், படித்தர வெப்ப அழுத்தத்தில் ஹைட்ரஜனின் அடர்த்தி $= {\cdot}0899$ கி. கிராம்/க.மீ. எனவும் கொள்க.

(2.43 கி. கேலரி/கி. கிராம்)

6. 2 வளி அழுத்தக் காற்றை உள்ளடக்கிய ஓர் உந்து வண்டிச் சக்கரத்தின் இரப்பர் டயர் திடீரென்று வெடிக்கிறது, அதன் தொடக்க வெப்பநிலை 15°C எனில்

விரிவடைதலினுல் ஏற்படும் வெப்பநிலை வீழ்ச்சியைக் கணக்கிடுக. ($r=1{\cdot}44$). (67·4°C)

7. 76 செ.மீ. அழுத்தத்திலும், 30° C வெப்பநிலையிலுமுள்ள ஒரு லிட்டர் காற்றின் அழுத்தம் வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் 120 செ.மீ. அளவுக்கு உயர்த்தப்படுகிறது. இப்பொழுது உண்டாகும் காற்றின் பருமனையும் வெப்பநிலை உயர்வையும் காண்க. (·7197 லிட்டர்; 14·2°C)

8. ஒரு லிட்டர் பருமனுள்ள வாயு 2 லிட்டர் பருமனுக்குத் திடீரென விரிவடைகிறது. இப்பொழுது அதன் அழுத்தம் தொடக்க அழுத்தத்தைப்போல் ·38 மடங்கு இருக்குமாயின் வாயுவின் r-ஐக் கணக்கிடுக. தொடக்க வெப்பநிலை 30°C எனில் விரிவடைந்தவுடனே ஏற்படும் வெப்பநிலை என்ன? (1·39; 230·7°A)

9. ஒரு வாயு, சமவெப்பநிலை முறையில் விரிவடையும் பொழுது அதனுல் செய்யப்படும் வேலையைக் காண்பதெப்படி? 183°C வெப்பநிலையில் ஒரு கிராம் மூலக்கூறு வாயு அதன் பருமன் இரு மடங்காகும் வரை விரிவடையும் பொழுது அதனுல் செய்யப்படும் வேலையைக் கணக்கிடுக. (628 கேலரிகள்)

10. 0°C வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு கிராம் மூலக்கூறு ஹீலியம் திடீரென அதன் அழுத்தம் 20 மடங்கு ஆகுமாறு இறுக்கப்படுகிறது. இதில் செய்யப்பட்ட வேலையின் அளவு என்ன? (1883 கேலரிகள்)

11. இயக்கவியற் கொள்கையின் அடிப்படையில் வாயுக்களின் வெப்ப எண்கள் தகவைக் காண்பதெப்படி என்று கூறுக.

12. 15°C வெப்பநிலையிலுள்ள காற்று வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் நான்கில் ஒரு பங்கு பருமனுக்கு இறுக்கப்பட்டது. இதனுல் ஏற்பட்ட வெப்பநிலையையும் அழுத்தத்தையும் கணக்கிடுக. தொடக்க அழுத்தம் ·76 மீ. பாதரஸம் எனவும், வெப்ப எண்களின் தகவு = 1·4 எனவும் கொள்க. (5·29 மீ.; 228·4°C)

13. ஹைட்ரஜனின் $C_p=3{\cdot}42$ கி. கேலரி/கி. கிராம் எனவும் $r=1{\cdot}408$ எனவும் கொண்டு J-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடுக. N. T. P. நிலையில் ஹைட்ரஜனின் அடர்த்தி = ·089 கிலோ கிராம்/கன மீட்டர். (4212 ஜூல்/கிலோ கேலரி)

9. வெப்ப இயக்கவியல் முதலாம் விதி
(First law of Thermodynamics)

1. வெப்பத்தின் கேலரிக் கொள்கை

18ஆம் நூற்றுண்டின் இறுதிவரை வெப்பமானது கண்ணுக்குப் புலப்படாத நெகிழ்திறம் கொண்ட இலேசான ஒரு பாய்பொருள் என்று பொதுவாக நம்பப்பட்டது. அந்தப் பொருள் **கேலரிக்** என்றழைக்கப்பட்டது. ஒரு பொருளுடன் கேலரிக் சேர்க்கப்படும் பொழுது அதன் வெப்பநிலை உயர்கின்றது என்றும், ஒரு பொருளில் இருந்து கேலரிக் நீக்கப்படும்பொழுது அதன் வெப்பநிலை குறை கிறது என்றும் கருதப்பட்டது. கேலரிக் சுய விலக்குத் தன்மை யுடையது என்றும் கருதப்பட்டது. இந்தத் தன்மையின் அடிப் படையில ஒரு பொருள் வெப்பத்தால் விரிவடைகின்றது என்றும், அது உயர்ந்த வெப்பநிலையிலிருக்கும் பொழுது வெப்பத்தைக் கதிர் வீச்சு மூலம் கொடுக்கிறது என் றும் விளக்கிக் கூறப்பட்டது.

ஆனல், இரு பொருட்கள் ஒன்றேடொன்று தேய்க்கப்படும் பொழுது உண்டாகும் வெப்பத்திற்குக் கேலரிக் கொள்கை திருப்தி யான விளக்கம் கூறவில்லை. பொருட்கள் ஒன்றேடொன்று உராயும்பொழுது கிடைக்கப்பெறும் துகள்களின் வெப்ப எண் கட்டிகளாகவுள்ள பொருட்களின் வெப்ப எண்களைவிடக் குறைந்த தாக இருக்கும் என்றும், இதனல் உராய்வின்போது வெப்பம் ஏற்படு கின்றது என்றும் கேலரிக் கொள்கையில் கூறப்பட்டது. ஆனல், ரம்ஃபோர்டு என்பவர் துப்பாக்கிக் குழாய்களில் துவாரம் செய்யும்பொழுது வெப்பம் கிடைப்பதில் ஒரு வரம்பு இல்லாம லிருப்பதை எடுத்துக்காட்டினர். மேலும் டேவி என்பவர் இரு பனிக்கட்டித் துண்டுகளை ஒன்றேடொன்று தேய்ப்பதன் மூலம் உருகவைத்தார். பனிக்கட்டி உருகுதலினல் கிடைக்கும் நீரின் வெப்ப எண் பனிக்கட்டிகளின் வெப்ப எண்ணைவிட அதிகமாக வுள்ளது. எனவே, கேலரிக் கொள்கையால் கொடுக்கப்படும் விளக்கம் டேவியின் பரிசோதனைக்கு நேர்முரணனது. இதன்பிறகு கேலரிக் கொள்கையைப் புறக்கணித்து வெப்பம் ஒருவித ஆற்றல் என்றும், வேலை செய்வதன்மூலம் இதை உண்டாக்கமுடியும் என்றும் கூறினர்கள். ஜுல் என்பவர் இதைக் கூர்ந்து ஆராய்ந்து, செய்யப்படும் வேலை, அதனல் உண்டாக்கப்படும் வெப்பம் ஆகிய

வற்றை அளந்து அவற்றினிடையே ஒரு மாறிலியான தகவு இருப்பதைக் கண்டார். இதனால் வெப்பம் ஒருவகை ஆற்றல் என்பது ஐயமற நிரூபிக்கப்பட்டது. இயக்கவியற் கொள்கைப்படி ஒரு பொருளிலுள்ள வெப்பம் அந்தப் பொருளின் மூலக்கூறுகள் இயங்குவதால் ஏற்படும் ஆற்றலைக் குறிக்கிறது.

2. இயக்கவியல் முதல் விதி

வெப்பம் ஒருவகை ஆற்றல் என்றும் வேலை செய்வதன் மூலம் வெப்பத்தை உண்டாக்க முடியும் என்றும் ரம்ஃபோர்டு (Rumford), ஜூல் (Joule), ரௌலண்டு (Rowland) முதலியவர்களின் சோதனைகளில் இருந்து தெரியவந்தது. மேலும் நீராவி எந்திரம் போன்ற வெப்ப எந்திரங்களில் வெப்பம் எந்திர ஆற்றலாக மாற்றப்படுவது புலனாகும். எந்திர ஆற்றல் வெப்ப ஆற்றலாக மாற்றப்படும் பொழுதும், வெப்ப ஆற்றல் வேலையாக மாற்றப்படும்பொழுதும், வெப்பத்துக்கும் வேலைக்குமிடையே ஒரு சமன்பாடு இருக்கிறது என்பது ஆராய்ந்து நிறுவப்பட்டது. இந்தச் சமன்பாடு கீழ்க் கண்டவாறு கூறப்படுகிறது. **‘W அலகு வேலை செய்யப்படுவதன் மூலம் H அலகு வெப்பம் உண்டாகுமாயின் $\frac{W}{H} = J =$ மாறிலி’**

இந்தச் சமன்பாடு இயக்கவியல் முதல் விதி என்றழைக்கப்படுகிறது. மேற்கூறிய சமன்பாட்டிலுள்ள J என்ற மாறிலியின் மதிப்பு முதன் முதலில் ஜூல் என்ற விஞ்ஞானியால் கண்டறியப்பட்டது. எனவே, அதனை ஜூல் மாறிலி (Joule's constant) அல்லது வெப்பத்தின் இயந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று (Mechanical Equivalent of Heat) என்று அழைக்கிறோம்.

[குறிப்பு: $H = \frac{W}{J}$ என்பது ஒரு பொருள் மற்றப் பொருட்களுடன் தொடர்பு கொள்ளாத நிலையில் அதன்மேல் செய்யப்பட்ட வேலைக்கும் அதில் ஏற்படும் வெப்ப உயர்வுக்குமிடையே உள்ள தொடர்பைக் (அல்லது பொருளால் செய்யப்பட்ட வேலைக்கும் அதன் வெப்பக் குறைவுக்குமிடையே உள்ள தொடர்பை) குறிக்கிறது. பொருள் மற்றப் பொருள்களுடன் வெப்பத் தொடர்பு கொண்டிருக்கும்பொழுது இயக்கவியல் முதல் விதியைக் (அதாவது வெப்பம் ஆற்றல் என்னும் கொள்கையை) கீழ்க்கண்ட சமன் பாட்டால் குறிப்பிடலாம்.

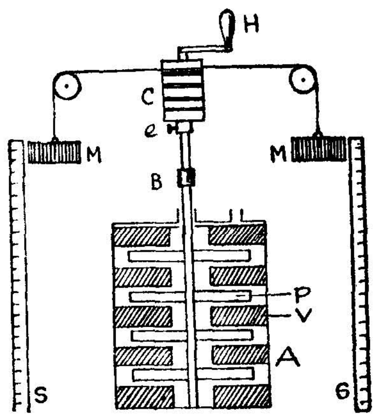
$$dQ = du + \frac{dw}{J}$$

இங்கு dQ என்பது ஒரு பொருளுக்குச் சூழல்களிலிருந்து கிடைக்கும் வெப்பம், du என்பது அதன் உள்ளார்ந்த வெப்ப ஆற்றலில் ஏற்படும் அதிகரிப்பு, dw என்பது பொருளினால் செய்யப் படும் வேலை. எனவே, dQ சுழியாகும்பொழுது,

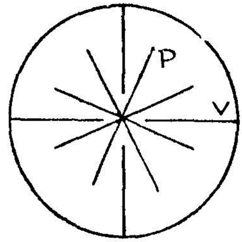
$$du = -\frac{dw}{J}$$

3. ஜூல் பரிசோதனை

ஜூல் பயன்படுத்திய கருவியில் A என்ற பெரிய செப்புக் கேலரிமானி உள்ளது. அதன் உள்ளே சுவரில் ஒழுங்கான இடைவெளிகளில் நிலைத்தகடுகள் (Vanes) பொருத்தப்பட்டிருக் கின்றன. தகுந்த பகுதிகளில் பித்தளைத் துடுப்புகளைக் கொண்ட



படம் 104.



படம் 105.

ஓர் அச்சுத் தண்டு கேலரி மீட்டருக்குள் சுழலக்கூடியவாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்த அச்சுத்தண்டு B என்ற ஒரு மரச்சுற்றுப்பட்டை (Collar) யால் C என்ற உருளையின் அச்சுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதனால் கேலரி மீட்டரிலிருந்து உருளைக்கு வெப்பம் கடத்தல் தடுக்கப்படுகிறது. e என்ற பிணைப்பூசியின் உதவியால் C உருளையை அதன் அச்சுடன் கட்டுப் படுத்தவோ அல்லது இரண்டினுக்குமிடையே உள்ள கட்டுப் பாட்டை நீக்கவோ முடியும். உருளையின்மேல் சுற்றப்பட்டுள்ள இரு கயிறுகள் இரு கப்பிகளின்மேல் செலுத்தப்பட்டு MM என்ற இரு நிறைகளுடன் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. தொடக்க வெப்பநிலையை (θ_1) குறிக்கவேண்டும். MM நிறைகள் தரையி லிருந்து h உயரத்தில் இருக்கும்பொழுது உருளை அதன் அச்சுடன்

இணைக்கப்பட்டு நிறைகள் இறங்குமாறு செய்யப்படுகின்றன. அவை தரையை அடைந்தவுடன் உருளைக்கும் அதன் அச்சிற்கும் இடையே உள்ள பிணைப்பு நீக்கப்பட்டு MM நிறைகள் பழைய நிலைக்கு வருமாறு உருளை எதிர்திசையில் சுற்றப்படுகிறது. திரும்பவும் பிணைப்பை ஏற்படுத்தி நிறைகள் கீழே இறங்குமாறு செய்யப்படுகின்றன. இவ்வாறு நிறைகள் n முறை கீழே இறங்குமாறு விடப்பட்டபின் கேலரி மீட்டரின் வெப்பநிலை (θ_2) குறிக்கப்படுகிறது. கேலரி மீட்டர், துடுப்புகளுடன் கூடிய தண்டு ஆகியவற்றின் வெப்பச் சமநீர் (water equivalent) w எனில், உண்டாக்கப்பட்ட வெப்பத்தின் அளவு $H = (w + m)\ (\theta_2 - \theta_1)$ கேலரிகள். செய்யப்பட்ட வேலையின் அளவு $W = 2\ Mg\ hn$.

$$\text{எனவே ஜூல் மாறிலி } J = \frac{W}{H} = \frac{2\ Mg\ hn}{(w+m)\ (\theta_2 - \theta_1)}\ \frac{\text{ஜூல்}}{\text{கேலரி}}$$

ஜூலின் பரிசோதனையில் J-க்கு 4·16 × ஜூல்/கேலரி என மதிப்புக் கிடைத்தது.

ஜூலின் சோதனையில் வெப்பநிலை உயர்வு அதிகமாக இல்லை. மேலும் இம் முறையில் சிரமம் அதிகம். ஜூலினல் பயன்படுத்தப்பட்ட பாதரஸ வெப்பநிலைமானியின் அளவீடுகள் திட்ட அளவீடுகளாக இல்லையென்பதும் ஒரு குறைபாடாகும்.

இம் முறையில் கீழ்க்கண்ட பிழைளுக்குத் திருத்தங்கள் செய்யப்படவேண்டும்.

(i) MM நிறைகள் தரையை அடையும்பொழுது அவைகள் சிறிதளவு இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கின்றன. இதற்குச் செலவழிக்கப்பட்ட வேலையின் அளவைக் கணக்கிட்டு அதை மொத்த வேலையிலிருந்து கழித்துக்கொள்ள வேண்டும். தரையை அடையும்பொழுது MM நிறைகளின் திசைவேகம் v எனில்,

$$\left.\begin{array}{l}\text{வெப்பம் உண்டாவதற்குப்}\\ \text{பயன்பட்ட வேலை}\end{array}\right\} = (2\ Mgh - 2 \times \tfrac{1}{2}\ Mv^2)n$$

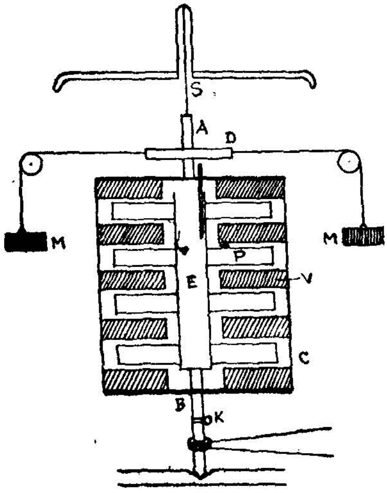
$$= 2\ M\left(gh - \frac{v^2}{2}\right)n$$

(ii) கப்பிகளில் உள்ள உராய்வு விசையை எதிர்த்துச் செய்யப்படும் வேலையின் அளவையும் கணக்கிட்டு அதை மொத்த வேலையிலிருந்து கழித்துக் கொள்ளவேண்டும்,

(iii) சுற்றுப்புறத்திற்கும் கேலரிமானிக்கும் இடையே ஏற்படக்கூடிய வெப்ப ஏற்பு அல்லது வெப்ப இழப்புக்கான திருத்தமும் செய்யப்படவேண்டும்.

4. ரௌலண்டின் சோதனை (Rowland's Experiment)

இவருடைய கருவியில் நிலைத்தகடுகள் (V) உள்ளே பொருத்தப்பட்டதும், வட்டுடன் (D) கூடிய ஒரு தண்டு (A) மேலே பொருத்தப்பட்டதுமான ஒரு கேலரிமீட்டர் உள்ளது. இந்தக் கேலரி மீட்டர் S என்ற முறுக்குக் கம்பியால் தொங்கவிடப்பட்டுள்ளது. D என்ற வட்டத்தட்டில் சுற்றப்பட்டுள்ள இரு கயிறுகள் இரு கப்பிகளின்மேல் செலுத்தப்பட்டு MM என்ற இரு நிறைகளுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. கேலரி மீட்டருக்குள் நிலைத்தகடுகளுக்கிடையே சுற்றக்கூடிய துடுப்புகளைக் (P) கொண்ட உள்ளீடற்ற E என்ற ஓர் உருளை கேலரி மீட்டரின் அடிவழியாகச் செல்லும் B என்ற அச்சுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. B என்ற அச்சுடன் இணைந்துள்ள கப்பியைச் சுற்றிச்செல்லும் பட்டைவாரின் (belt) உதவியால் துடுப்புகளைச் சுற்ற முடியும். சுற்றுகளின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிட K என்ற எண்ணற்கருவி (Counter) B என்ற அச்சுடன் பற்சக்கரங்களால் இணைகக்ப் பட்டிருக்கிறது. E உருளைக்குள் குமிழ் இருக்குமாறு வைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு வெப்ப நிலைமானியால் வெப்பநிலைகளை அளக்கமுடியும்.



படம் 106.

கேலரி மீட்டரின் நிறையையும் அதற்குள் எடுக்கப்படும் நீரின் நிறையையும் (m) தெரிந்து கொண்டபின் அவைகளின் தொடக்க வெப்பநிலை (θ_1) குறிக்கப்படுகிறது. எண்ணற்கருவியின் தொடக்க அளவீட்டையும் (n_1) குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். MM என்ற நிறைகள் கேலரி மீட்டரைச் சுற்றக்கூடிய திசைக்கு எதிர் திசையில் துடுப்புகள் சுற்றப்படுகின்றன. கேலரிமீட்டர் சுற்றுமலும், அதைத் தாங்கும் கம்பியில் முறுக்கேறுமலும் இருக்கும்படி துடுப்புகளைச் சுற்றும் வேகமும், MM நிறைகளின் மதிப்பும் சரி

செய்யப்பட வேண்டும். போதிய வெப்பநிலை உயர்வு ஏற்பட்டதும் சுற்றுவதை நிறுத்திவிட்டு இறுதி வெப்பநிலையையும் (θ_2), எண்ணற்கருவியின் இறுதி அளவீட்டையும் (n_2) குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். சுற்றுகளின் எண்ணிக்கை $= n = n_2 - n_1$. வட்டின் விட்டம் d எனின்,

கேலரி மீட்டரின் மேல் செயற்படும் சுழற்று விளைவு $\Big\} = \text{Mgd}$

இதை எதிர்த்துச் சுற்றப்படும் கோணத்தின் அளவு $= 2\pi n$. எனவே, இரட்டையை எதிர்த்துச் செய்யப்படும் வேலையின் அளவு $W = 2\pi n \text{Mg}d$.

கேலரி மீட்டரின் வெப்பச்சமநீர் w எனில், உண்டாக்கப்படும் வெப்பம் $(\text{H}) = (w + m)(\theta_2 - \theta_1)$.

∴ வெப்பத்தின் இயந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று

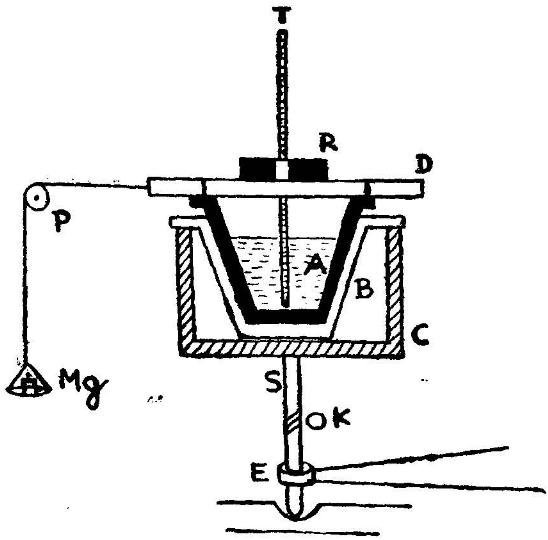
$$(\text{J}) = \frac{\text{W}}{\text{H}} = \frac{2\pi n \text{Mg}d}{(w + m)(\theta_2 - \theta_1)}.$$

இந்தப் பரிசோதனையில் குளிர்வுக்கான திருத்தத்தைச் சேர்த்துக் கொள்ளவேண்டும். மேலும் கேலரிமீடடரைத் தாங்கும் கம்பியில் முறுக்கம் இருக்குமானல் அதற்கான சுழற்றுவிளைவைக் கணக்கிட்டு உரிய திருத்தத்தைச் சேர்த்துக்கொள்ளவேண்டும். நிறைகள் காற்றில் இருப்பதனல் மிதவைத்திறனல் ஏற்படும் எடை இழப்புக்குத் தகுந்த திருத்தமும் தேவை. ரௌலண்டு தாம் பயன்படுத்திய வெப்பநிலைமானியின் அளவீடுகளை வாயுவெப்பநிலை மானியின் அளவீடுகளுடன் ஒப்பிட்டுச் சரி செய்தார். மேலும் நீரின் வெப்பஎண் வெப்பநிலையைப் பொறுத்து மாறுகிறது என்பதையும் கருத்திற்கொண்டு J-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டார் அவருக்குக் கிடைத்த மதிப்பு $J = 4.188 \times$ ஜூல்/கேலரி.

5. சேர்ள் உராய்வுக் கூம்பு முறை (Searl's Friction Cone Methcd)

சேர்ளின் ஆய்கருவியில் A என்ற ஒரு பித்தளைக் கூம்புக் கிண்ணம் B என்ற ஒரு பித்தளைக் கூம்புக் கிண்ணத்திற்குள் பொருந்துமாறு உள்ளது. A, B கிண்ணங்கள் இரண்டும் சேர்ந்து கேலரி மீட்டராகப் பயன்படுகின்றன. B கிண்ணம் C என்ற உருளை உறைக்குள் பொருத்தப்படக்கூடியது. B கிண்ணத்தி லிருந்து C உறைக்கு வெப்பம் செல்லாதவாறு C-ன் உட்பாகத் திலும் மேல் விளிம்பிலும் எபோனைட் சுற்றுப்பட்டைகள் (collars)

வைக்கப்பட்டுள்ளன. C உருளை S என்ற தண்டின் உச்சியில் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. தண்டுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள E என்ற கப்பியைச் சுற்றி ஒரு பட்டைவார் செல்கிறது. இதன் உதவியால் C உறையையும் அதற்குள் இருக்கும் B கிண்ணத்தையும் சுற்ற



படம் 107.

முடியும். சுற்றுகளின் எண்ணிகையைக் கணக்கிடுவதற்கு K என்ற எண்ணி பற்சக்கரங்களால் S உடன் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. A என்ற (உட்) கிண்ணத்தின் மேல் விளிம்பில் உள்ள இரு முனைகளைப் பற்றிக்கொள்ளுமாறு A-ன் மேல் D என்ற மரத்தாலான வட்டு ஒன்று வைக்கப்படுகிறது. A, B கிண்ணங்களுக்கிடையே போதிய அழுத்தத்தை உண்டாக்க D-ன் மேல் R என்ற ஒரு வளைய எடை வைக்கப்படுகிறது. D-ன் விளிம்பில் சுற்றப்பட்டுள்ள கயிறு ஒன்று P என்ற கப்பியின்மேல் எடுத்துச் செல்லப்பட்டு M என்ற ஒரு நிறையுடன் இணைக்கப்படுகிறது.

A, B ஆகிய இரு கிண்ணங்களின் நிறையைக் கண்டபின் A கிண்ணத்தில் சிறிது நீரை எடுத்து அந்த நீரின் நிறையைக் (m) காணவேண்டும். கிண்ணங்களையும், வட்டு, எடை ஆகியவற்றையும் தக்கவாறு பொருத்தி வைக்கவேண்டும். நீரின் தொடக்க வெப்பநிலை (θ_1), கணிப்பானின் தொடக்க அளவீடு (n_1) ஆகியவற்றைக் குறித்துக்கொள்ளவேண்டும். நிறையின் எடை வட்டைச் சுற்றக்கூடிய திசைக்கு எதிர்த்திசையில் B

கிண்ணத்தைச் சுற்றவேண்டும். இப்பொழுது M நிறை ஒரே நிலையில் இருக்குமாறு B சுற்றப்படும் வேகத்தைச் சரி செய்து கொள்ளவேண்டும். வெப்பநிலை சுமார் 5°C உயர்ந்ததும் சுற்று வதை நிறுத்திவிட்டுக் கிண்ணத்திலுள்ள நீரைக் கலக்கியபின் நீரின் பெரும வெப்பநிலையைக் (θ_2) குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். எண்ணியின் இறுதி அளவீட்டைத் (n_2) தெரிந்து கொள்வதி லிருந்து ஏற்படுத்திய சுற்றுகளின் எண்ணிக்கை [$n = (n_2 - n_1)$] யைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம். வட்டின் ஆரத்தை (r) அளந்துகொள்ள வேண்டும்.

Mg விசையால் வட்டத்தட்டுக்குக் கொடுக்கப்படும் சுழற்று விசை = Mgr. இரு கிண்ணங்களுக்கிடையே ஏற்படுத்தப்படும் உராய்வு விசையின் சுழற்று விளைவு மேற்கூறிய சுழற்று விளைவை (Mgr) ஈடு செய்கிறது. B கிண்ணம் n சுற்றுகள் சுற்றப்படுவதால் உராய்வு விசையை எதிர்த்துச் செய்யப்படும் வேலையின் அளவு (W) = Mgr × $2\pi n$ எர்க்குகள்.

AB கிண்ணங்களின் வெப்பச் சமநீர் w எனில், உண்டாக்கப் பட்ட வெப்பம் (H) = $(w+m)(\theta_2 - \theta_1)$ கேலரிகள். எனவே, வெப்பத்தின் இயக்க ஆற்றல் இணைமாற்று

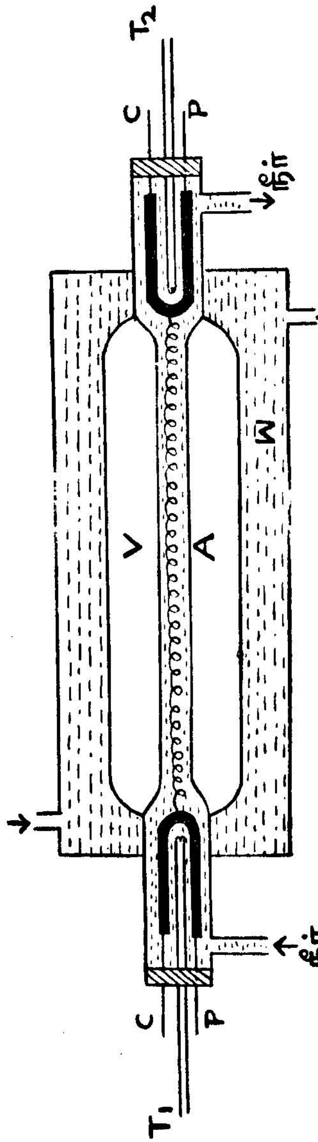
$$J = \frac{W}{H} = \frac{2\pi n \, Mgr}{(w + m)(\theta_2 - \theta_1)} \text{ ஜூல் / கேலரி.}$$

இம் முறையில் குளிர்விறல் ஏற்படும் வெப்ப இழப்புக்குரிய திருத்தத்தைக் கணக்கிட்டுச் சேர்த்துக்கொள்ள வேண்டும்.

6. காலெண்டர், பார்ன்ஸ் இவர்களின் (தொடர்பாய்) முறை

இம் முறையில் பிளாட்டினக் கம்பிச்சுருளை உள்ளே கொண் டுள்ள சிறு துளைக் கண்ணாடிக் குழாய் (A) ஒன்றுள்ளது (படம் 108). கம்பிச் சுருளின் இரு முனைகள் இரு செப்புக் குழாய் களுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. ஒரு குறிப்பிட்டஅழுத்தத்தில் வரும் நீர் ஒரே சீரான வேகத்தில் A குழாய் வழியாகச் செலுத்தப் படுகிறது. C, C என்ற இணைப்புகளின் உதவியால் A குழாய்க் குள்ளிருக்கும் பிளாட்டினக் கம்பிச் சுருளில் மின்சாரம் செலுத்தப் படுகிறது. அந்தக் கம்பிச் சுருளின் முனைகளில் P, P என்ற வேறு இரு இணைப்புகளும் உள்ளன. இவற்றை ஒரு மின் அழுத்தமானியுடன் இணைத்துக் கம்பிச் சுருளின் முனைகளுக் கிடையே உள்ள மின் அழுத்த வேறுபாட்டை அளவிடலாம். A குழாயில் உட்புகும் நீரின் வெப்ப நிலையையும் அதிலிருந்து வெளி

யேறும் நீரின் வெப்ப நிலையையும் அளவிட முறையே T_1, T_2 என்ற பிளாட்டின மின்தடை வெப்ப நிலைமானிகள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. A குழாயிலிருந்து ஏற்படக் கூடிய வெப்ப இழப்பைக் குறைப்பதற்காக அக் குழாய் V என்ற வெற்றிட உறையினுள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. மேலும், V-ஐச் சுற்றி ஒரே வெப்ப நிலையிலுள்ள W என்ற நீர் உறையிலுள்ளது.



படம் 106.

வெவ்வேறு அளவீடுகள் நிலையான மதிப்புகளை அடைந்தவுடன் காலண்டர் கிரிஃப்பித்ஸ் இணைப்பைப் பயன்படுத்தி A குழாயினுள் புகும் நீரின் வெப்ப நிலையையும் (θ_1), அதிலிருந்து வெளியேறும் நீரின் வெப்பநிலையையும் (θ_2) கணக்கிட்டுக் கொள்ள வேண்டும். கிளார்க் மின் கலத்துடன் ஒப்பிடப்பட்ட மின் அழுத்தமானியின் உதவியால் வெப்பமூட்டும் கம்பிச்சுருளின் முனைகளுக்கிடையே உள்ள மின் அழுத்த வேறுபாடு (E) நுட்பமாகக் காணப்படுகிறது. கம்பிச் சுருளுடன் தொடரிணைப்பிலுள்ள தெரிந்த திட்ட மின்தடை ஒன்றில் நிலவும் மின் அழுத்த வேறுபாட்டையும் அதே மின் அழுத்தமானியின் உதவியால் அளவிட்டு மின்சாரத்தின் மதிப்பை (I) அறிந்து கொள்ளலாம். t வினாடியில் வெளியேறும் நீரின் நிறையைத் (m) தெரிந்து கொள்ள வேண்டும். இந்தக் கால அளவில் A குழாயிலிருந்து ஏற்படும் வெப்ப இழப்பு h எனவும், நீரின் சராசரி வெப்ப நிலையில் அதன் வெப்ப எண் s எனவும் கொள்வோமாயின்,

$$\frac{EIt}{J} = ms(\theta_2 - \theta_1) + h \qquad \ldots (1)$$

மின்சாரத்தின் அளவு, கம்பிச்சுருளின் முனைகளுக்கிடையே உள்ள மின் அழுத்த வேறுபாட்டின் அளவு, செலுத்தப்படும் நீரின் வேகம் ஆகியவற்றைத் தகுந்தவாறு மாற்றி முன்பு இருந்த வெப்ப நிலைகளே உண்டாகுமாறு செய்யவேண்டும். இப்பொழுது t விநாடியில் வெளியேறும் நீரின் நிறையைக் (m_1) கண்டு கொள்ளவேண்டும். மின்சாரத்தின் அளவு I_1 எனவும், மின் அழுத்த வேறுபாட்டின் அளவு E_1 எனவும் அளந்து கொள்ளப்படுகிறது.

$$\frac{E_1 I_1 t}{J} = m_1 s(\theta_2 - \theta_1) + h \qquad \ldots (2)$$

எனவே, சமன்பாடுகள் (1), (2)-லிருந்து

$$\frac{(EI - E_1 I_1)t}{J} = (m - m_1) s (\theta_2 - \theta_1).$$

இதிலிருந்து J-ன் மதிப்பைத் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

இம் முறையின் நற்பண்புகள்

(i) வெப்பநிலைகள் நிலையான மதிப்புகளில் இருப்பதால் அவைகளைப் பிழையின்றி மிகவும் நுட்பமாகத் தெரிந்துகொள்ள முடியும்.

(ii) கருவியின் வெப்ப ஏற்புத்திறனைத் தெரிந்துகொள்ள வேண்டிய அவசியமில்லை.

(iii) வெப்ப இழப்பு கழித்தல் முறையில் நீக்கப்படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்குகள்

மாதிரி 1

கிடைத்தளத்தில் செல்லும் ஒரு துப்பாக்கி ரவை ஒரு பொருளில் மோதி நின்றுவிடுகிறது. அதன் தொடக்க வெப்பநிலை 25° செ. கி., உருகுநிலை 475° செ. கி., வெப்ப எண் 0·05, உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம் 61·5 கி. கேலரிகள்/கி. கிராம் எனில், எந்தக் குறைந்த வேகத்தில் மோதினால் அது முழுவதும் உருகி விடும் என்று கணக்கிடுக. (J = 4200 ஜூல்/கிலோ கேலரி)

ரவையின் நிறை m எனவும், வேகம் v எனவும் கொள்வோம்.
இயக்க ஆற்றல் $= \frac{1}{2} mv^2$

இது முழுவதும் வெப்பமாக மாறும்பொழுது கிடைக்கும் வெப்பம்

$$= \frac{mv^2}{2 \times 4200} \text{ கி. கேலரி}$$

ரவையின் வெப்பநிலை உருகு நிலைமை அடைவதற்குத் தேவைப்படும் வெப்பம் $\Big\}$ $= m \times 0{\cdot}05 \times 450$ கி. கேலரி

உருகுநிலையில் உருகுவதற்குத் தேவைப்படும் வெப்பம் $\Big\}$ $= m \times 61{\cdot}5$

எனவே தேவைப்படும் மொத்த வெப்பம் $\Big\}$ $= m\,[450 \times {\cdot}05 + 61{\cdot}5]$

$$= m\,[22{\cdot}5 + 61{\cdot}5]$$

$= 84\,m$ கிலோ கேலரிகள்

$$\therefore \quad 84\,m = \frac{mv^2}{8400}$$

$$\therefore \quad v = \sqrt{84 \times 8400}$$

$= 840$ மீ/ விநாடி

மாதிரி 2

காலண்டர் - பார்ன்ஸ் முறை சோதனை ஒன்றில் 1 வோல்ட் மின் அழுத்த வேறுபாட்டில் 2 ஆம்பியர் மின்சாரம் நிமிடத்துக்கு ·011 கி. கிராம் வீதம் செல்லும் நீரின் வெப்பநிலையை 2·5 செ. அளவு உயர்த்துகிறது. நீரின் வேகம் நிமிடத்துக்கு ·0254 கி. கிராமாக உயரும்பொழுது அதே 2·5 செ. அளவு வெப்பநிலையை உயர்த்த 1·51 வோல்ட் மின் அழுத்த வேறுபாட்டில் 3 ஆம்பியர் மின்சாரம் தேவைப்படுகிறது. ஜூல் மாறிலியின் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

$$\frac{(EI - E_1 I_1)t}{J} = (m-m_1)\,(\theta_2-\theta_1)$$

$$\frac{(1.51 \times 3 - 1 \times 2) \times 60}{J} = (.0254 - .011) \times (2.5)$$

$$(4.53-2) \times 60 = J \times .014 \times 2.5$$

$$\therefore \quad J = \frac{2.53 \times 60}{.014 \times 2.5}$$

$= 4217$ ஜூல் / கிலோ கேலரி

வினாக்கள்

1. ரௌலண்ட் முறையில் வெப்பத்தின் இயக்க ஆற்றல் இணைமாற்றுக் கண்டுபிடிக்கப்படுவதைக் கோட்பாட்டுடன் விளக்கிக் கூறுக.

2. வெப்பத்தின் இயக்க ஆற்றல் இணைமாற்றைக் காண்பதற்குக் காலண்டர் செய்த சோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

3. காலண்டர் - பார்ன்ஸின் தொடர்பாய் முறைப்படி வெப்ப ஆற்றலின் இயக்க ஆற்றல் இணைமாற்றுக் கண்டுபிடிக்கப் பட்டத்தைப் பற்றி விரிவாகக் கூறுக. 10°C முதல் 90°C வரை நீரின் வெப்ப எண்ணைக் காண்பதற்கு எவ்விதம் இம் முறையைப் பயன்படுத்தலாம் என்பதையும் விளக்குக.

4. ஈயத்துண்டு ஒன்று 100 மீட்டர் உயரத்திலிருந்து வெப்பங் கடத்தாத் தரையில் விழுந்து நின்றுவிடுகிறது. அதன் வெப்ப எண் 0·03 எனின் அதன் வெப்பநிலை எவ்வளவு உயரும் ? [7·7° செ.கி.]

5. காலண்டர்-பார்ன்ஸ் சோதனை ஒன்றில் வினாடிக்கு ·005 கிலோகிராம் நீர் செல்லுகையில் 100 வோல்ட் மின் அழுத்த வேறுபாட்டில் 0·75 ஆம்பியர் மின்சாரம் 3° செ. அளவு வெப்பநிலையை உயர்த்துகிறது. நீர் செல்லும் வேகத்தை மூன்றில் ஒரு பாகத்துக்குக் குறைக்கும் பொழுது 66·6 வோல்ட் மின் அழுத்த வேறுபாட்டில் ·5 ஆம்பியர் மின்சாரம் அதே 3° செ. அளவு வெப்பநிலையை உயர்த்துகிறது. ஜூலின் மாறிலியைக் கணக்கிடுக. [4·175]

6. வெப்ப இயக்கவியல் முதல் விதியைக் கூறுக. வெப்பத்தின் இயந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று எண்ணைக் காண்பதற்கான ஜூலின் சோதனையை விவரிக்குக.

7. 100 ஓம் மின் தடையுள்ள கம்பியை 220 வோல்ட் மூலத்தில் இணைத்து உபயோகித்து 5 கிலோ கிராம் நீரை 30°C யிலிருந்து 100°C வெப்பநிலைக்கு உயர்த்த எவ்வளவு நேரம் ஆகும் எனக் காண்க. [50 நிமிடம் 47 வினாடி]

8. வெப்ப இயக்கவியல் முதல் விதியைக் கூறுக. காலண்டர்-பார்ன்ஸ் தொடர் பாய்ச்சு முறையை விவரித்து அதைக் கொண்டு J-ன் மதிப்பைக் காண்பது எப்படி என்று விளக்குக. இம்முறையின் மேன்மைகள் யாவை?

10. வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதி
(Second law of Thermodynamics)

1. வெப்ப எஞ்சின்கள் (Heat Engines)

வெப்பத்தைத் தொடர்ச்சியாக வேலை செய்யப் பயன்படுத்தும் கருவி வெப்ப எஞ்சின் என்று கூறப்படுகின்றது. ஒரு வெப்ப எஞ்சினுக்குக் கீழ்க்கண்ட அமைப்புகள் இன்றியமையாதனவாக இருக்கின்றன.

(i) வெப்ப மூலம் (Source) எனப்படும் உயர்வெப்பநிலையிலுள்ள பொருள்.

(ii) வெப்ப வாங்கி (Sink) எனப்படும் குறைந்த வெப்பநிலையிலுள்ள பொருள்.

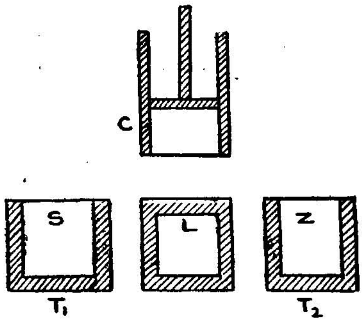
(iii) தொழில்படு பொருள் (Working substance)

தொழில்படுபொருள் மூலத்திலிருந்து வெப்பத்தை ஏற்று, அதில் ஒரு பகுதியை விரிவடைதலின்மூலம் வேலை செய்வதற்குப் பயன் படுத்திவிட்டு எஞ்சிய பகுதியை வாங்கிக்குக் கொடுத்துவிடுகிறது. மூலத்திலிருந்து ஏற்ற வெப்பம் முழுவதையும் வேலையாக மாற்றுவதற்குத் தொடர்ச்சியாக வேலை செய்யக்கூடிய எந்த ஒரு வெப்ப எஞ்சினும் முடிவதில்லை. வேலை செய்யப் பயன்படுத்தப்பட்ட வெப்பத்திற்கும், மூலத்திலிருந்து ஏற்ற வெப்பத்திற்குமிடையே உள்ள தகவு வெப்ப எஞ்சினின் பயனுறுதிறன் (Efficiency) எனப்படுகிறது. நீண்டகாலமாக வெப்ப எஞ்சினின் பயனுறு திறனை அதிகரிப்பதற்கான வழிகள் ஆராயப்பட்டுவந்தன. இவ்வித ஆராய்ச்சிகளில் முக்கியத்துவம் வாய்ந்தது கார்னோ (Carnot's) எஞ்சினுகும். இது ஒரு இலட்சிய வெப்ப இயந்திரம் ஆகும்.

2. கார்னோ இலட்சிய வெப்ப எஞ்சின் (Carnot's Ideal Heat Engine)

கார்னோ எஞ்சின் அமைப்புக் கீழ்கண்டவாறு உள்ளது:

(i) வெப்பங்கடத்தாச் சுவர்களையும் வெப்பத்தை நன்கு கடத்தும் அடிப்பாகத்தையும் கொண்ட ஓர் உருளைக்குள் (C) வெப்பங் கடத்தாததும் உராய்வு இல்லாததுமான ஓர் உந்து தண்டு இயங்குகிறது. உருளையின் அடிப்பாகத்துக்கும் உந்து தண்டுக்கும் இடையே இலட்சிய வாயு இருந்து தொழில்படு பொருளாகச் செயலாற்றுகிறது.



படம் 109

(ii) மாருத உயர்ந்த வெப்ப நிலையில் (T_1° A) உள்ளதும், மிகுந்த வெப்ப ஏற்புத்திறனைக் கொண்டதுமான வெப்ப மூலம் (S).

(iii) வெப்பங்கடத்தா மேடை (L)

(iv) மாருத குறைந்த வெப்பநிலையில் (T_2° A) உள்ளதும் மிகுந்த வெப்ப ஏற்புத்திறனைக் கொண்டதுமான வெப்ப வாங்கி (Z)

மேலே கூறப்பட்ட எஞ்சின் அமைப்பு நடைமுறையில் கிடைப்பதரிது. எனவே இதை இலட்சிய இயந்திரம் என்றழைக்கின்ரோம்.

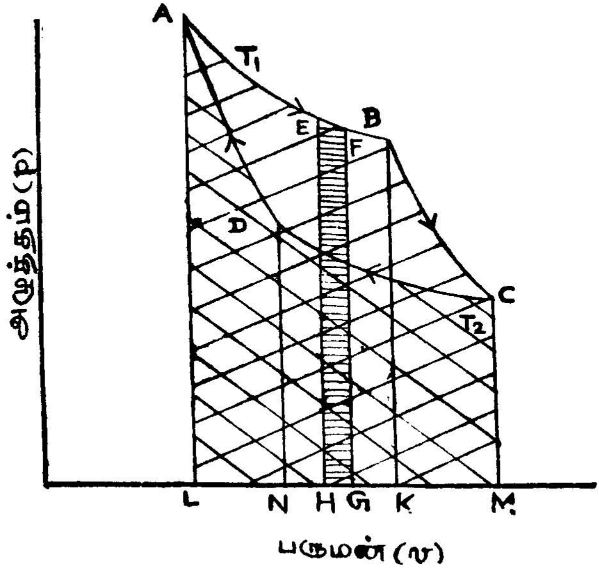
3. கார்னே சுற்று (Carnot's cycle)

கார்னே எஞ்சின் செயல்படுவதற்குக் கீழ்க்கண்ட சுற்று வரிசையைக் கார்னே ஏற்படுத்தினர். அதனுல் கிடைக்கப்பெறும் பயனுறு வேலையை p — v வரைபடம் (Indicator diagram) மூலம் காணலாம்.

(i) உருளையில் உள்ள வாயுவின் தொடக்க வெப்பநிலை வெப்ப மூலத்தின் வெப்பநிலைக்குச் (T_1) சமமாக இருக்கிறது எனக் கொள்வோம். இப்பொழுது உருளை மூலத்தின்மேல் வைக்கப்பட்டு சமவெப்பநிலை முறையில் வாயு விரிவடையுமாறு செய்யப்படுகிறது. *pv* வரைபடத்தில் இந்த நிகழ்வு AB என்ற கோட்டால் குறிக்கப் பட்டும். இந்த நிகழ்வின்பொழுது வாயு மூலத்திலிருந்து வெப்பத்தை எடுத்துக்கொள்ளும். அவ்விதம் எடுத்துக் கொள்ளப் படும் வெப்பம் Q_1 என்போம்.

AB கோட்டில் EF என்பது ஒரு சிறு பகுதி எனக் கொள்வோம். EF புள்ளிகளிலிருந்து பருமஅச்சுக்கு நேர்குத்தாக வரையப்பட்ட

கோடுகள் முறையே EH, FG என இருக்கட்டும். HG என்பது பருமனில் ஏற்பட்ட சிறு விரிவைக் (dv) குறிக்கிறது. இந்தச் சிறு மாறுதலில் அழுத்தம் மாறாமல் இருக்கிறது எனக் கருதலாம். EH அல்லது FG என்பது இந்த நிலையில் வாயுவின் அழுத்தத்தைக் (p) குறிக்கிறது. எனவே EFGH என்ற பகுதியின் பரப்பு = pdv-ஐக்



படம் 110.

குறிக்கிறது. அதாவது, இந்தச் சிறு மாறுதலின்போது செய்யப் பட்ட வேலையைக் குறிக்கிறது. இவ்விதம் எல்லாச் சிறு விரிவு களையும் கவனிக்கையில் AL, BK என்பவை முறையே A, B புள்ளி களிலிருந்து பரும அச்சுக்கு வரையப்பட்ட நேர்குத்துக்கோடுகள் எனின் AB விரிவின்பொழுது வாயுவினால் செய்யப்படும் வேலை ABKL என்ற பரப்பளவால் குறிக்கப்படும் என்பது தெளிவு.

(ii) உருளையை மூலத்திலிருந்து எடுத்து வெப்பங் கடத்தா மேடையின்மேல் வைத்து வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் வாயு மேலும் விரிவடைய விடப்படுகிறது. இந்த நிகழ்வில் வாயு தனது வெப்ப ஆற்றலைப் பயன்படுத்தி வேலை செய்கிறது. எனவே அதன் வெப்பநிலை குறைகிறது. வெப்பநிலை T_2 மதிப்பை அடையுமாறு இந்த விரிவு அமைக்கப்படுகிறது. இந்த விரிவு BC என்ற கோட்டால் குறிக்கப்படுவதாகவும், CM என்பது C என்ற புள்ளியிலிருந்து பரும அச்சுக்கு வரையப்பட்ட நேர்குத்துக்கோடு

எனவும் கொள்வோம். இந்த வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வில் வாயுவினால் செய்யப்படும் வேலையை BCMK என்ற பரப்பளவு குறிக்கிறது.

(iii) உருளையை மேடையிலிருந்து நீக்கி வாங்கியுடன் தொடர்பு கொள்ளுமாறு வைத்து வாயுவை அழுத்தவேண்டும். இந்த மாறுதல் CD என்ற கோட்டால் குறிக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இந்த நிகழ்வின்பொழுது வாயு வாங்கிக்கு வெப்பத்தைக் கொடுக்கும். இவ்விதம் கொடுக்கப்படும் வெப்பத்தின் அளவு Q_2 என்க. DN என்பது D-யிலிருந்து பரும அச்சுக்கு வரையப்பட்ட நேர்குத்துக்கோடு எனில் இந் நிகழ்வில் வாயுவின் மேல் செய்யப்பட்ட வேலை CDNM என்ற பரப்பளவால் குறிக்கப்படும்.

(iv) கடைசியாக உருளையை மேடையின்மேல் வைத்து வாயுவை வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் இறுக்கி, தொடக்கநிலைக்கே கொண்டுவரவேண்டும். இந்த மாறுதல் DA என்ற கோட்டால் குறிக்கப்படுகிறது. இப்பொழுது வாயுவின்மேல் செய்யப்பட்ட வேலை DALN பரப்பளவால் கொடுக்கப்படுகிறது. வாயுவும் T_2 வெப்பநிலையிலிருந்து T_1 வெப்ப நிலைக்கு உயருகிறது.

மேற்கூறிய சுற்றில் வாயுவினால் செய்யப்பட்ட பயனுறு வேலை ABCD என்ற பரப்பளவால் குறிக்கப்படும். ஒரு சுற்றில் வாயுவினால் எடுத்துக்கொள்ளப்படும் நிகர வெப்பம் $Q_1 - Q_2$ ஆகும். வெப்ப இயக்கவியல் முதலாம் விதியைக் கருத்திற் கொள்வோமாயின், எடுத்துக் கொள்ளப்படும் நிகர வெப்பமானது செய்யப்படும் பயனுறு வேலைக்குச் சமமாக இருக்கும். எனவே, எஞ்சினின் பயனுறு திறன்.

$$(\eta) = \frac{\text{பயனுறு வேலைக்குச் செலவாகும் வெப்பம்}}{\text{மூலத்திலிருந்து எடுக்கப்படும் வெப்பம்}}$$

$$= \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$= 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

4. கார்னோ எஞ்சினின் பயனுறு திறனுக்கும் வெப்ப நிலைகளுக்கு மிடையே உள்ள தொடர்பு

கார்னோ இயந்திரத்தில் எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டுள்ள இலட்சிய வாயுவின் நிறை ஒரு கி. கிராம் எனக் கொள்வோம். கார்னோ

சுற்றைக் குறிக்கும் p-v வரைபடத்தில் ABCD ஆகிய புள்ளிகளால் குறிக்கப்படும் பருமன்கள் முறையே v_1, v_2, v_3, v_4 எனக் கொள்வோம். AB நிகழ்வு T_1°C வெப்ப நிலையிலும், CD நிகழ்வு T_2°C வெப்பநிலையிலும் ஏற்படுகின்றன. AB நிகழ்வின்போது

$$\text{செய்யப்படும் வேலை} = \int_{v_1}^{v_2} p\,dv = \int_{v_1}^{v_2} \frac{RT_1}{v}\,dv = RT_1 \log \frac{v_2}{v_1}.$$

எனவே, $JQ_1 = RT_1 \log \dfrac{v_2}{v_1}$ ... (1)

இவ்வாறே CD நிகழ்வைக் கவனிக்கையில்

$$JQ_2 = RT_2 \log \frac{v_3}{v_4} \qquad \text{... (2)}$$

$$\therefore \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1 \log \frac{v_2}{v_1}}{T_2 \log \frac{v_3}{v_4}} \qquad \text{... (3)}$$

B, C புள்ளிகள் ஒரு வெப்ப மாற்றீடற்ற கோட்டில் (adiabatic) இருக்கின்றன.

$$\therefore \quad T_1 v_2^{r-1} = T_2 v_3^{r-1}$$

$$\therefore \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_3}{v_2}\right)^{r-1} \qquad \text{... (4)}$$

இவ்வாறே D, A புள்ளிகள் ஒரு வெப்ப மாற்றீடற்ற கோட்டில் இருப்பதன் காரணமாக,

$$T_1 v_1^{r-1} = T_2 v_4^{r-1}$$

$$\therefore \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_4}{v_1}\right)^{r-1} \qquad \text{... (5)}$$

4ஆவது, 5ஆவது சமன்பாடுகளிலிருந்து,

$$\frac{v_3}{v_2} = \frac{v_4}{v_1}$$

$$\text{அதாவது,} \quad \frac{v_2}{v_1} = \frac{v_3}{v_4}$$

இந்த மதிப்பை (3) ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்யும் பொழுது,

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

அல்லது, $$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\therefore \quad 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

எனவே, $$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$\therefore$ பயனுறு திறன் $\eta = \dfrac{T_1 - T_2}{T_1}$

5. கார்னோ எஞ்சினின் நேர் எதிர்ப்பண்பு (Reversibility of Carnot's Engine)

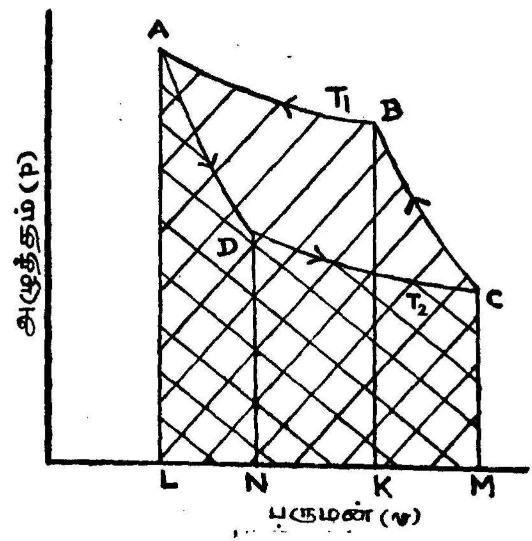
ஒரு நிகழ்ச்சியில் குறிப்பிட்ட அளவு இயக்க மாறுதல்களுக்குக் குறிப்பிட்ட அளவு வெப்ப மாறுதல்கள் இருக்கின்றன எனக் கொள்வோம். இயக்க மாறுதல்கள் முழுவதும் எதிர்திசையில் நடைபெறுமாறு அமைக்கப்படும்பொழுது வெப்ப மாறுதல்கள் முழுவதும் எதிர்திசையில் கிடைக்குமாயின் அந்த நிகழ்ச்சி நேர் எதிர்ப்பண்புள்ள நிகழ்ச்சி எனப்படும். காட்டாக, ஒரு வாயுவை வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் குறிப்பிட்ட அளவு இறுக்கும்பொழுது அதன்மேல் வேலை செய்யப்பட்டுக் குறிப்பிட்ட அளவு வெப்பநிலை உயர்வு உண்டாகிறது. இறுக்கப்பட்ட வாயுவை வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் முன்பிருந்த பருமனுக்கு விரிவடையச் செய்யும் பொழுது வெப்பநிலை குறைந்து முன்பிருந்த மதிப்பை அடையுமாயின் நிகழ்வு நேர் எதிர்ப் பண்புள்ள நிகழ்வு எனலாம். இவ்வாறு சமவெப்பநிலை முறையில் மெதுவாக ஏற்படும் நிகழ்வும் நேர்எதிர்ப் பண்புள்ளது. ஆனால், ஒரு நிகழ்வின்பொழுது உராய்வை எதிர்த்து வேலை செய்ய வேண்டியிருக்குமாயின் அந்த நிகழ்வு நேர்எதிர்ப் பண்புடையதாகாது. ஏனெனில், பின்னோக்கிய இயக்கத்தின் பொழுதும் உராய்வை எதிர்த்து வேலை செய்யப்பட வேண்டும். இவ்வாறே ஒரு நிகழ்வின்பொழுது வெப்பங்கடத்தல், கதிர்வீச்சு முறைகளின் வெப்பும் இழக்கப்படுமாயின் அந்த நிகழ்வும் நேர் எதிர்ப் பண்புடையதாகாது.

கார்னோ எஞ்சினில் வெப்பங்கடத்தல், கதிர்வீச்சு முறைகளில் வெப்ப இழப்பு இல்லை. உந்து தண்டுக்கும் உருளைக்குமிடையே உராய்வு இல்லை. சம வெப்பநிலை நிகழ்வுகள் மெதுவாக நடைபெறுகின்றன. மூலத்திலிருந்து தொழிற்படுபொருள் வெப்பத்தை

எடுக்கும்பொழுது அது மூலத்தின் வெப்பநிலையில் இருக்கிறது. இந்தக் காரணங்களால் கார்னோ சுற்றின் ஒவ்வொரு பகுதியும் நேர்எதிர்ப் பண்புள்ளதாய் இருக்கிறது. எனவே, கார்னோ இயந்திரம் நேர்எதிர்ப் பண்புள்ள எஞ்சின் எனப்படுகிறது.

6. கார்னோவின் எதிர்முகச் சுற்று (Cornot's reverse cycle)

(i) கார்னோ எஞ்சினில் உள்ள வாயுவின் தொடக்க நிலை P—v வரைபடத்தில் A என்ற புள்ளியால் குறிக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இயந்திரம் (உருளை வெப்பங்கடத்தா மேடையின்



படம் 111.

மேல் வைக்கப்பட்டு) வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் விரிவடைந்து T_2° செ. கி. வெப்ப நிலையை அடையுமாறு விடப்படுகிறது. இந்த நிகழ்வு AD கோட்டால் குறிக்கப்படுகிறது. வாயுவினால் செய்யப் படும் வேலை ADNL பரப்பளவால் குறிக்கப்படுகிறது.

(ii) உருளை வாங்கியின் மேல் வைக்கப்பட்டு வாயு விரிவடையு மாறு விடப்படுகிறது. இந்த நிகழ்வு DC-ஆல் குறிக்கப்படுகிறது. வாயுவினால் செய்யப்படும் வேலையை DCMN பரப்பளவு குறிக்கிறது. வாங்கியிலிருந்து எடுக்கப்படும் வெப்பம் Q_2 என்போம்.

(iii) உருளை வெப்பங்கடத்தா மேடையின்மேல் வைக்கப் பட்டு வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் வாயுவின் வெப்பநிலை T_1

ஆகுமாறு வாயு அமுக்கப்படுகிறது. இந்த நிலை CB கோட்டால் குறிக்கப்படுகிறது. வாயுவின்மேல் செய்யப்படும் வேலை CBKM பரப்பளவால் கொடுக்கப்படுகிறது.

(iv) உருளை மூலத்தின்மேல் வைக்கப்படுகிறது. சம வெப்ப நிலை முறையில் அமுக்கப்படுவதன் மூலம் வாயு அதன் தொடக்கநிலைக்கு வருகிறது. இந்த நிகழ்ச்சி BA கோட்டாலும், இப்பொழுது வாயுவின்மேல் செய்யப்படும் வேலை BALK பரப் பளவாலும் குறிக்கப்படுகின்றன. இந்த நிகழ்வில் வாயு மூலத்திற்குக் கொடுக்கும் வெப்பம் Q_1 என்போம் (Q_1-ன் மதிப்பு Q_2-ன் மதிப்பை விட அதிகமாக உள்ளது).

எனவே, இந்த எதிர்முகச்சுற்றில் A B C D பரப்பளவால் குறிக்கப்படும் நிகரவேலை வாயுவின்மேல் செய்யப்படுகிறது. வாயு குறைந்த வெப்ப நிலையிலுள்ள வாங்கியிலிருந்து Q_2 வெப்பத்தை ஏற்று உயர்ந்த வெப்ப நிலையிலுள்ள மூலத்திற்கு Q_1 வெப்பத்தைக் கொடுக்கிறது. எனவே, வாயு கொடுக்கும் நிகர வெப்பம் $Q_1 - Q_2$ ஆகும். இந் நிலையில் எஞ்சின் குளிர்பதனேற்றியாக (Refrigerator) வேலை செய்கிறது எனக் கூறுகிறோம்.

7. வெப்ப இயக்கவியல் இண்டாவது விதி—உரைகள் (Statements of the Second Law of Thermodynamics)

நடைமுறையில் வெப்ப எஞ்சின்கள் தொழில்படும் முறையைக் கவனித்து அதிலுள்ள அடிப்படையான கருத்தைக் கெல்வினும் கிளாஸியஸும் கீழே காட்டியுள்ள இரு வடிவங்களில் கூறினர்கள். அவர்கள் கூறிய அடிப்படையான கருத்தே வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாவது விதி எனப்படுகிறது.

கெல்வின் உரை (Kelvin's Statement): ஒரு பொருளை அதன் சுற்றுச் சூழல்களிலுள்ள மிகக் குளிர்ந்ததன் வெப்ப நிலைக்குக் கீழாகக் குளிர்வித்துத் தொடர்ச்சியாக வேலை செய்வதைப் பெற முடியாது.

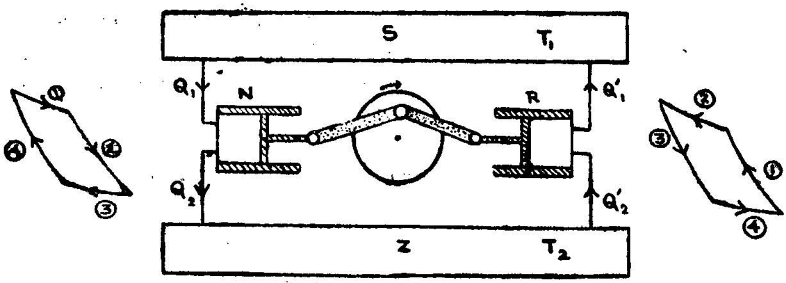
கிளாஸியஸ் உரை (Clausius's Statement): புறவியலான உதவியில்லாமல் தானே இயங்கும் ஒர் எஞ்சினல் குறைந்த வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு பொருளிலிருந்து உயர்ந்த வெப்ப நிலையிலுள்ள மற்றொரு பொருளுக்கு வெப்பத்தை மாற்ற இயலாது. அதாவது, வெப்பம் தானகவே குளிர்ந்த பொருளிலிருந்து அதைவிட உயர்ந்த வெப்ப நிலையிலுள்ள வேறொரு பொருளுக்குச் செல்லாது.

வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாவது விதியை நேரிடையாக நிரூபிக்க முடியாது. இருப்பினும் இது ஒரு முக்கியமான

விதியாகும். நிலை மாறுதல் (change of state), கரைசல்கள் (solutions), சவ்வூடு பரவுகை அழுத்தம். (osmotic pressure), வோல்டா மின்கலம் (Voltaic cell), வெப்ப மின்னோட்டம் (Thermo-electric current) முதலிய பல்வேறு நிகழ்ச்சிகளில் இந்த விதியைப் பயன்படுத்திக் கிடைக்கும் முடிவுகள் சோதனைகளால் மெய்ப்பிக்கப்படுகின்றன. இதுவே அந்த விதியை நிலைநிறுத்த உதவுகிறது.

8. கார்னோ தேற்றம் (Carnot's Theorem)

(a) குறிப்பிட்ட இரு வெப்பநிலைகளுக்கிடையே செயற்படுகின்ற வெப்ப எஞ்சின்களுள் நேர்-எதிர்ப் பண்புள்ள எஞ்சினின் பயனுறு திறனைவிட அதிகமான பயனுறு திறனை வேறு எந்த எஞ்சினும் கொண்டிருக்க முடியாது.



படம் 112.

(b) நேர் - எதிர்ப் பண்புள்ள வெப்ப எஞ்சின்கள் எல்லாம் குறிப்பிட்ட இரு வெப்ப நிலைகளுக்கிடையே செயற்படும்பொழுது ஒரே பயனுறு திறனைக் கொண்டிருக்கின்றன.

T_1 வெப்பநிலையில் உள்ள மூலத்திற்கும் T_2 வெப்ப நிலையில் உள்ள வாங்கிக்கும் இடையே N, R என்ற இரு வெப்ப எஞ்சின்கள் செயற்படுவதாகவும், இவற்றில் R என்பது நேர் - எதிர்ப் பண்புள்ளது என்றும், மற்றது அவ்வாறு இல்லை என்றும் கொள்வோம். N-ன் பயனுறு திறன் R-ன் பயனுறு திறனைவிட அதிகமாக இருக்க முடியாது என நிரூபிக்கவேண்டும்.

N-ன் பயனுறு திறன் R-ன் பயனுறு திறனைவிட அதிகமாக இருக்கிறது என்று கற்பனை செய்து அதனாலுண்டாகும் முடிவைப் பார்ப்போம். N, R எஞ்சின்களைத் தக்கபடி இணைத்து N எஞ்சின் நேர்முகமாக இயங்கும்பொழுது அதனால் செய்யப்படும் வேலையைப் பயன்படுத்தி R எஞ்சினை நேர் எதிர்முகமாக இயங்கும்படிச்

செய்வதாகக் கொள்வோம். N எஞ்சின் மூலத்திலிருந்து Q_1 வெப்பத்தை எடுத்து வாங்கிக்கு Q_2 வெப்பத்தைக் கொடுக்கிறது எனின் N-ஆல் செய்யப்படும் நிகர வேலையின் அளவு $Q_1 - Q_2$-க்குச் சமமாகும். இந்த வேலை R-ன்மேல் செய்யப்படுவதால் இது R-ஆல் கொடுக்கப்படும் நிகர வெப்பத்திற்குச் சமமாகும். எனவே R எஞ்சின் வாங்கியிலிருந்து $Q^1{}_2$ வெப்பத்தை ஏற்று மூலத்துக்கு $Q^1{}_1$ வெப்பத்தைக் கொடுக்கிறது எனின்,

$$Q^1{}_1 - Q^1{}_2 = Q_1 - Q_2 \qquad \ldots \quad (1)$$

நாம் இப்பொழுது N-ன் பயனுறு திறன் R-ன் பயனுறு திறனைவிட அதிகமென்று கற்பனை செய்துகொண்டிருப்பதால்

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} > \frac{Q^1{}_1 - Q^1{}_2}{Q^1{}_1}$$

எனவே, $$\frac{1}{Q_1} > \frac{1}{Q^1{}_1}$$

அதாவது $$Q^1{}_1 > Q_1 \qquad \ldots \quad (2)$$

இதன் காரணமாக (1) ஆவது சமன்பாட்டிலிருந்து

$$Q^1{}_2 > Q_2$$

மேலும் (1) ஆவது சமன்பாட்டிலிருந்து

$$Q^1{}_1 - Q_1 = Q^1{}_2 - Q_2$$

$Q^1{}_1 - Q_1$ என்பது மூலத்துக்குக் கிடைக்கும் நிகர வெப்ப ஏற்பையும், $Q^1{}_2 - Q_2$ என்பது வாங்கிக்கு உண்டாகும் நிகரவெப்ப இழப்பையும் குறிக்கின்றன. எனவே, N, R ஆகியவை கூட்டாக, பிற உதவியின்றிச் செயற்படும்பொழுது குறைந்த வெப்பநிலையிலுள்ள வாங்கியிலிருந்து உயர்ந்த வெப்பநிலையிலுள்ள மூலத்திற்கு வெப்பம் மாற்றப்படுகிறது. இது வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாவது விதிக்கு முரணானது. இந்த முரண்பாடு நாம் தொடக்கத்தில் செய்து கொண்ட கற்பனை தவறு என்பதைக் குறிக்கிறது. ஆகையால் N-ன் பயனுறு திறன் R-ன் பயனுறு திறனைவிட அதிகமாக இருக்க முடியாது என்று கொள்ளவேண்டும்.

இப்பொழுது R_1, R_2 என்பவை நேர்-எதிர்ப் பண்புள்ள இரு வெப்ப எஞ்சின்கள் எனக் கொள்வோம். R_1 நேர்முகமாகவும், R_2 எதிர்முகமாகவும் கூட்டாகப் பிற உதவியின்றிச் செயற்படுவதைக் கவனித்து R_1-ன் பயனுறுதிறன் R_2-ன் பயனுறுதிறனைவிட அதிகமாக இருக்க முடியாது என நிரூபிக்கலாம். இவ்வாறே, R_2 நேர்முகமாகவும், R_1 எதிர்முகமாகவும் கூட்டாகப் பிற உதவியின்றிச்

செயற்படுவதை நோக்கி R_2-ன் பயனுறுதிறன் R_1-ன் பயனுறு திறனைவிட அதிகமாக இருக்கமுடியாது என அறிந்துகொள்ள லாம். எனவே, R_1-ன் பயனுறுதிறன் R_2-ன் பயனுறுதிறனுக்குச் சமம் என்பது விளங்கும். இதனால் குறிப்பிட்ட இரு வெப்ப நிலைகளுக்கிடையே செயற்படும்பொழுது நேர்-எதிர்ப் பண்புள்ள எல்லா வெப்ப எஞ்சின்களும் சமமான பயனுறு திறன்களைக் கொண்டுள்ளன.

9. கெல்வினின் சார்பிலா வெப்பநிலை அளவீட்டுமுறை (Kelvin's Absolute Scale of temperature) அல்லது வெப்ப இயக்கவியல் வெப்பநிலை அளவீட்டுமுறை (Thermodynamic Scale of temperature)

நேர்-எதிர்ப் பண்புள்ள வெப்ப எஞ்சினின் பயனுறு திறன் தொழில்படு பொருளின் தன்மையைப் பொறுத்திராமல் எஞ்சின் எந்த இரு வெப்பநிலைகளுக்கிடையே செயற்படுகிறதோ அந்த வெப்பநிலைகளை மட்டும் பொறுத்திருக்கிறது. எனவே, இந்தப் பண்பைப் பயன்படுத்தி வெப்பநிலைகளை எவ்வாறு அளக்கலாம் என்பதை ஆராய்ந்து கெல்வின் என்பவர் கீழ்க்கண்ட வழி முறையைத் தெரிவித்தார். இந்த முறை எந்தப் பொருளின் தன்மையையும் பொறுத்திராமல் இருப்பதால் இது சார்பற்ற வெப்பநிலை அளவீட்டுமுறை எனப்படுகிறது. இரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைகளுக்கிடையே நேர்-எதிர்ப்பண்புள்ள ஒரு வெப்ப எஞ்சினின் பயனுறுதிறனை η எனக் குறிப்பிடுவோமாயின் η அந்த வெப்பநிலைகளை மட்டும் பொறுத்திருக்கிறது. ஏதேனும் ஒரு வெப்பநிலை அளவீட்டுமுறையில் அந்த வெப்ப நிலைகள் முறையே θ_1, θ_2 எனின்,

$\eta = f(\theta_1\ \theta_2)$. இங்கு f என்பது சார்புமுறை எண் (function) ஆகும். இப்பொழுது உயர்ந்த வெப்பநிலையான θ_1-ல் எஞ்சினால் எடுத்துக்கொள்ளப்பட்ட வெப்பம் Q_1 எனவும் குறைந்த வெப்ப நிலையான θ_2-ல் கொடுக்கப்பட்ட வெப்பம் Q_2 எனவும் கொள்வோமாயின்,

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

எனவே $$1 - \frac{Q_1}{Q_2} = f(\theta_1\ \theta_2)$$

$$\therefore \frac{Q_1}{Q_2} = F(\theta_1\ \theta_2) \qquad \dots (1)$$

இங்கு F என்பது மற்ெருரு சார்புமுறை எண். இவ்வாறே அந்த எஞ்சின் θ_2, θ_3 வெப்பநிலைகளுக்கிடையே செயற்படும்பொழுது,

$$\frac{Q_2}{Q_3} = F\ (\theta_2\ \theta_3) \qquad \ldots \qquad (2)$$

மேலும் அந்த எஞ்சின் θ_1, θ_3 வெப்பநிலைகளுக்கிடையே செயற்படும்பொழுது,

$$\frac{Q_1}{Q_3} = F\ (\theta_1\ \theta_3) \qquad \ldots \qquad (3)$$

சமன்பாடுகள் (1), (2) ஆகியவற்றின் பெருக்கற் பலனைக் காணின்,

$$\frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{Q_2}{Q_3} = \frac{Q_1}{Q_3} = F\ (\theta_1\ \theta_2) \times F\ (\theta_2\ \theta_3) \quad \ldots \quad (4)$$

3 ஆவது சமன்பாட்டையும் 4 ஆவது சமன்பாட்டையும் ஒப்பிடும் பொழுது,

$$F\ (\theta_1\ \theta_2) \times F\ (\theta_2\ \theta_3) = F\ (\theta_1\ \theta_3) \qquad \ldots \qquad (5)$$

இவ்விதத் தொடர்பு மெய்யானதாக இருப்பதற்கு,

$F\ (\theta_1\ \theta_2)$ என்பது $\dfrac{\psi\,(\theta_1)}{\psi\,(\theta_2)}$ என்ற வடிவத்தில் இருக்க வேண்டும். இங்கு ψ என்பது ஒரு சார்பு முறை எண்ணும்.

$$\text{எனவே } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\psi\,(\theta_1)}{\psi\,(\theta_2)} \qquad \ldots \qquad (6)$$

எடுத்துக்கொள்ளப்படும் வெப்பம் வெப்பநிலைக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும்படியான ஒரு புதிய வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையைக் கொள்ளலாம் என்று கெல்வின் கூறினர். எனவெ, இந்தப் புதிய வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையில் K_1, K_2 என்பவை வெப்ப மூலம், வெப்ப வாங்கி இவைகளின் வெப்பநிலைகள் எனில்,

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{Q_1}{Q_2} \qquad \ldots \qquad (7)$$

இந்த வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையை வெப்ப இயக்கவியல் அளவீட்டுமுறை அல்லது வேலை அளவீட்டுமுறை (Work Scale) என்றழைக்கிறேம்.

7 ஆவது சமன்பாட்டிலிருந்து கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு கிடைக்கப் பெறும்:

$$\frac{K_1 - K_2}{K_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$= \eta =$ வெப்ப எஞ்சினின் பயனுறுதிறன்.

$Q_2 = 0$ எனின், $K_2 = 0$ ஆகும். அப்பொழுது $\eta = 1$ ஆகும். எனவே, கெல்வின் அளவீட்டுமுறையில் வாங்கியின் எந்த வெப்ப நிலையில் இலட்சிய வெப்ப எஞ்சின் வாங்கிக்குச் சிறிதேனும் வெப்பத்தைச் கொடுக்காமல் மூலத்திலிருந்து எடுத்த முழு அளவு வெப்பத்தையும் வேலையாக மாற்றுகிறதோ அந்த வெப்பநிலையே சுழி டிகிரியாகும்.

இந்த வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையிலும் ஒரு டிகிரியின் அளவு பொதுவான முறைப்படி கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கப் படுகிறது. (படித்தர அழுத்தத்தில்) நீரின் உறைநிலை, கொதிநிலை இவற்றிற்கிடையே 100 டிகிரிகள் உள்ளன என்ற கொள்கையைக் கொண்டு ஒரு டிகிரியின் அளவைத் தெரிந்துகொள்ளலாம். K_{100}, K_0 என்பவை கெல்வினின் அளவீட்டு முறையில் நீரின் கொதிநிலை, உறைநிலை ஆகியவற்றின் அளவீடுகள் எனின்,

$$K_{100} = K_0 + 100.$$

10. கெல்வினின் சார்பிலா வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையை வரைபடத்தில் குறித்தல்

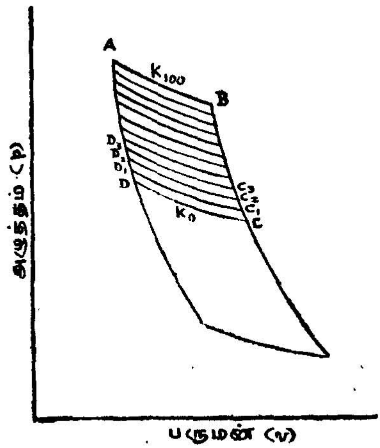
நீரின் கொதிநிலை, உறைநிலைகளுக் கிடையேயும் இரு குறிப் பிட்ட வெப்ப மாற்றீடற்ற நிலைகளுக்கிடையேயும் (Adiabatics) ஒரு இலட்சிய எஞ்சின் செயற்படுகிறது என்றும், இதற்கான கார்னோ சுற்று P-v வரைபடத்தில் ABCD என்பதால் குறிக்கப்படுகிறது எனவும் கொள்வோம். ABCD-ன் பரப்பளவு ஒரு சுற்றில் செய்யப் படும் வேலையைக் குறிக்கிறது. AB என்பது நீரின் கொதிநிலையில் சம வெப்பநிலைக்கோடு (isothermal). இவ்வாறே CD என்பது நீரின் உறை நிலையில் சம வெப்பநிலைக் கோடு. AB, CD - களுக்கு இணையாக C_1D_1, C_2D_2, C_3D_3 என்ற கோடுகளை வரைந்து ABCD-ன் பரப்பளவு 100 சம பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படுமாயின் இந்தக் கோடுகள் வெவ்வேறு சம வெப்பநிலைக் கோடுகளாகும். மேலும் அடுத்தடுத்துள்ள இரு கோடுகள் கெல்வின் அளவீட்டு முறையில் 1° வேறுபாட்டைக் கொண்ட வெப்பநிலைகளைக் குறிக்கும்.

எனவே, CD, C_1D_1, C_2D_2, C_3D_3... .....கோடுகளால் குறிக்கப் படும் வெப்பநிலைகள் கெல்வின் அளவீட்டு முறையில் முறையே K_0, K_1, K_2, K_3, K_4 .... எனக் குறிக்கப் படுமாயின்,

$$K_1 - K_0 = K_2 - K_1 = K_3 - K_2 = K_4 - K_3 = \ldots\ldots = 1^\circ$$

$$\therefore \quad K_2 - K_0 = 2^\circ$$

$$\therefore \quad K_{100} - K_0 = 100^\circ.$$



படம் 113.

இவ்வாறே CD-க்குக் கீழேயும், CD-க்கு இணையாக வெப்பநிலை மாறுக் கோடுகளை வரைந்துசெல்வோமாயின் கெல்வின் அளவீட்டு முறையில் 0° வெப்பநிலையைக் குறிக்கும் கோட்டை அடையலாம். வாங்கி 0°K வெப்பநிலையில் இருக்குமாயின் வெப்ப இயந்திரம் வாங்கிக்கு சிறிதேனும் வெப்பத்தைக் கொடுக்காது. அந்த நிலையில் தொழில்படும் பொருளில் சற்றேனும் வெப்பமில்லை என்பதை இந்தத் தன்மை குறிக்கிறது.

11. கெல்வினின் சார்பிலா வெப்பநிலை அளவீட்டு முறைக்கும் தனி வெப்பநிலை அளவீட்டு முறைக்கும் (அதாவது இலட்சிய வாயு வெப்பநிலை அளவீட்டு முறைக்கும்) உள்ள தொடர்பு

இந்த அத்தியாயத்தின் 4ஆவது பகுதியில் காட்டியபடி கார்னோ இயந்திரத்தில் இலட்சிய வாயு தொழில்படு பொருளாக இருக்குமாயின்,

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \ldots \quad (1)$$

இங்கு Q_1, Q_2 என்பவை முறையே மூலத்திலிருந்து எடுத்துக் கொள்ளப்பட்ட வெப்பத்தையும் வாங்கிக்குக் கொடுத்த வெப்பத்

தையும் குறிக்கின்றன. T_1, T_2 என்பவை முறையே மூலம், வாங்கி இவைகளின் தனி வெப்ப நிலைகள்.

இப்பொழுது கெல்வினின் அளவீட்டு முறையில் K_1, K_2 என்பவை முறையே மூலம், வாங்கி இவைகளின் வெப்பநிலைகள் எனின்,

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{K_1}{K_2} \qquad \ldots (2)$$

(1) ஆவது, (2)ஆவது சமன்பாடுகளிலிருந்து,

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{T_1}{T_2} \qquad \ldots (3)$$

எனவே, $K_2 = 0$ ஆயின் $T_2 = 0$ ஆகும்.

அதாவது, இரு அளவீட்டு முறைகளும் ஒரே வெப்பநிலையைச் சுழியாகக் கொண்டுள்ளன. மேலும் நீரின் கொதிநிலை, உறைநிலை இவைகளுக்கிடையே இரு அளவீட்டு முறைகளிலும் 100° இருப்பதால் உறைநிலையை இரு அளவீட்டு முறைகளிலும் முறையே K_0, T_0 எனக் குறிப்பிடுவோமாயின்,

$$\frac{K_0 + 100}{K_0} = \frac{T_0 + 100}{T_0}$$

அதாவது $K_0 = T_0$.

வேறு எந்த வெப்பநிலையும் இரு அளவீட்டு முறைகளில் முறையே K, T என்பவைகளால் குறிக்கப்படுமாயின்,

$$\frac{K}{K_0} = \frac{T}{T_0}$$

இங்கு $K_0 = T_0$ ஆதலால் $K = T$ ஆகும். இவ்வாறு கெல்வினின் சார்பிலா வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை இலட்சிய வாயுவின் மெய் வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையுடன் முழுதொத்ததாகிறது.

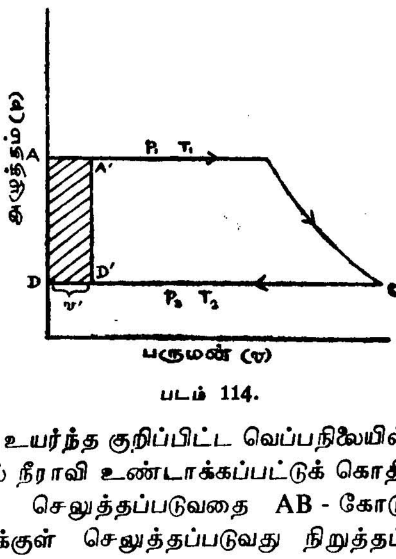
நடைமுறையில் உள்ள வெப்ப எஞ்சின்கள்

12. நீராவி எஞ்சின் (Steam Engine)

நடைமுறையில் உள்ள வெப்ப எஞ்சின்களை மூன்று பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். அவையாவன: (i) நீராவி எஞ்சின்; (ii) உள்ளெரி எஞ்சின் (Internal Combustion-engine); (iii) சுழலி (Turbine),

நீராவியைத் தொழில்படு பொருளாகக் கொண்டு உயர்ந்த வெப்பநிலையில் சமவெப்பநிலை முறையில் விரிவை உண்டாக்குவது என்பது நீரை நீராவியாக்குவது என்று பொருள்படும். அவ்வாறே குறைந்த வெப்பநிலையில் சமவெப்பநிலை முறையில் அமுக்குவது என்பது பெரும்பகுதி நீராவியை நீராக மாற்றுவது என்று பொருள்படும். வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் அமுக்குவது என்பது எஞ்சியுள்ள சிற்றளவு நீராவியை நீராக மாற்றுவதையும் நீரின் வெப்பநிலையை உயர்ந்த வெப்பநிலைக்கு உயர்த்துவதையும் குறிக்கும்.

நீராவியைத் தொழில்படு பொருளாகக் கொண்டு இயந்திரம் இயங்குவதற்குப் பொதுவாக கார்னோ சுற்றை முழுவதுமாக உபயோகப்படுத்துவதில்லை. அதற்கான முக்கிய காரணம் என்னவெனில், வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் அமுக்கி நீரின் வெப்பநிலையை உயர்த்துவது நடைமுறையில் எளிதாக இல்லை.



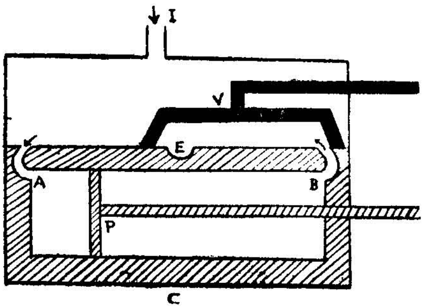
படம் 114.

திரவமாக்கப்பட்ட நீர் ஒரு பம்பின் உதவியால் கொதிகலத்துக்கு மாற்றப் பட்டு அங்கு சூடாக்கப் பட்ட பின் உருளைக்குத் திரும்பவும் அனுப்பப்படு கிறது. இவ்வாறு கார்னோ சுற்றின் ஒரு பகுதியை மாற்றியமைத்து உண்டாக் கப்பட்ட சுற்று **ரான்கின் சுற்று** (Rankine cycle) எனப்படுகிறது. இது PV வரை படத்தில் ABCD என்பதால் குறிக்கப்பட்டிருக்கிறது. உயர்ந்த குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் (T_1) குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில் நீராவி உண்டாக்கப்பட்டுக் கொதி கலத்திலிருந்து உருளைக்குள் செலுத்தப்படுவதை AB - கோடு குறிக்கிறது. நீராவி உருளைக்குள் செலுத்தப்படுவது நிறுத்தப் பட்ட பின் வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் விரிவடைதலை BC குறிக்கிறது. இறுக்குதலினால் நீராவி திரவமாகுதலையும், அது வெளியேற்றப்படுவதையும் CD கோடு குறிக்கிறது. திரவமாக்கப் பட்ட நீர் பம்பின் உதவியால் கொதிகலத்திற்கு மாற்றப்பட்டு அங்கு அது சூடேற்றப்படுவதை DA கோடு குறிக்கிறது. இந்தச் சுற்றில் ABCD-ன் பரப்பளவு இயந்திரத்தால் செய்யப்படும் நிகர

வேலையைக் குறிக்காது. ஏனெனில், திரவமாக்கப்பட்ட நீரைப் பம்பினுல் கொதிகலத்திற்குச் செலுத்திச் சூடேற்றுவதில் இயந்திரத்தின்மேல் வேலை செய்யப்படுகிறது. நீரின் பருமன் v^1 என்றும், AB, CD-க்களில் நிலவும் அழுத்தங்கள் முறையே p_1, p_2 எனவும் இருக்குமாயின்,

$$\text{மேலே கூறப்பட்ட வேலையின் அளவு} = (p_1 - p_2)\, v^1$$

இதை வரைபடத்தில் $D^1D\,AA^1$ என்ற பரப்பளவால் குறிப்பிடலாம். எனவே A^1BCD^1 ($= ABCD - D^1D\,AA^1$)-ன் பரப்பளவு இயந்திரத்தால் செய்யப்படும் நிகர வேலையைக் குறிக்கிறது.



படம் 115.

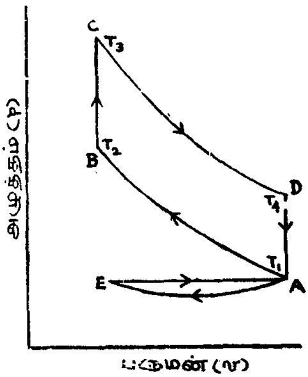
ஜேம்ஸ்வாட் என்ற விஞ்ஞானி தனிப்பட்ட திரவமாக்கியையும் (Seperate condenser), இரட்டைச் செயல் (double acting இயந்திர அமைப்பையும் ஏற்படுத்தி நீராவி இயந்திரத்தின் பயனை அதிகப்படுத்தினர். அவருடைய அமைப்புதான் நற்காலத்தில் நீராவி இயந்திரங்களில் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

13. உள்ளெரி எஞ்சின்—ஆட்டோ சுற்று (Otto cycle)

உள்ளெரி எஞ்சினில் பெட்ரோல், ஆவி போன்ற எளிதில் எரியக்கூடிய பொருளுடன் கலந்துள்ள காற்று தொழில்படு பொருளாகச் செயலாற்றுகிறது. எரிபொருள் உருளைக்குள் எரிக்கப்படுவதன்மூலம் வெப்பம் உண்டாக்கப்படுகிறது. உருளைக்கு வெளியிலுள்ள வளிமண்டலம் வாங்கியாகப் பணியாற்றுகிறது. உள்ளெரி எஞ்சின்களை ஆட்டோ எஞ்சின்கள், டீசல் எஞ்சின்கள் என இருவகையாகப் பிரிக்கலாம். ஆட்டோ எஞ்சின்களில் பெட்ரோல் வாயு பயன்படுத்தப்படுகிறது. மேலும் இங்கு வாயு எரிந்து வெப்பம் உண்டாக்கப்படுவது மாருப் பரும நிலையில் நடக்கிறது. ஆனல் டீசல் எஞ்சின்களில் டீசல் போன்ற தூய்மைப்படுத்தாத எண்ணெய் பயன்படுத்தப்படுகிறது. மாரு அழுத்தநிலையில் வெப்பமுண்டாக்கப்படுகிறது. எனவே, இருவகை இயந்திரங்களில் சுற்றுகள் கீழ்க்காட்டியுள்ளவாறு வேறுபட்ட அமைப்புகளைக் கொண்டுள்ளன,

ஆட்டோ சுற்று : இந்தச் சுற்றில் நான்கு தாக்குகள் (strokes) உள்ளன. அவையாவன :

(i) **ஏற்புத் தாக்கு** (Charging Stroke): உந்துதண்டு முன்னேக்கி நகரும்பொழுது நுழைவிட வால்வு (inlet valve) திறக்கப்பட்டுக் காற்றும் பெட்ரோல் வாயுவும் உருளேக்குள்ளே இழுக்கப்படுகின்றன. இந்த நிகழ்வு, மாரு அழுத்தத்திலும் (p_1), சுற்றுப்புறத்தை விடச் சற்று உயர்ந்த வெப்பநிலேயிலும் (T_1) நடப்பதாகக் கொள்ளலாம். வரைபடத்தில் இது EA என்ற கோட்டால் குறிக்கப்படுகிறது. இந்தத் தாக்கின் இறுதியில் வால்வு (V_1) மூடப்படுகிறது.



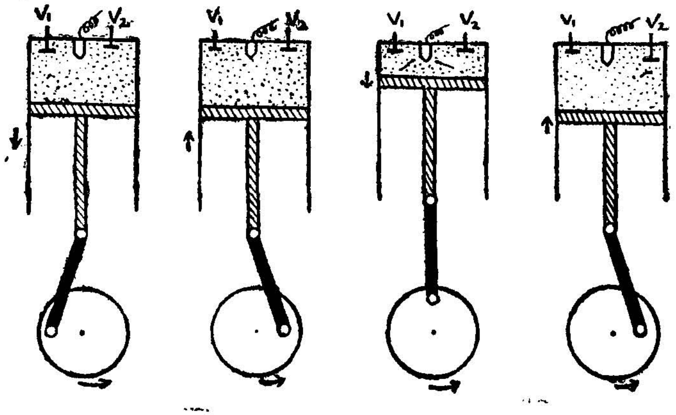
படம் 116.

(ii) **இறுக்குத் தாக்கு** (Compression Stroke): பின்னேக்கி இயங்கும் உந்து தண்டினுல் வாயுக்கலவை அதன் தொடக்கப் பருமனில் 5-ல் 1 பாக அளவுக்குக் குறையுமாறு வெப்பமாரு முறையில் அமுக்கப்படுகிறது. இதனுல் கலவையின் வெப்பநிலே (சுமார் 600°C அளவுக்கு) T_2-க்கு உயருகிறது. இதனே வரைபடத்தில் AB என்ற கோடு காட்டுகிறது. இந்தத் தாக்கின் இறுதியில் மின்விசைப் பொறிகள் (sparks) உண்டாக்கப்படுகின்றன. இதனுல் கலவை வெடித்து வெப்பநிலேயையும் அழுத்தத்தையும் திடீரென அதிகப்படுத்துகிறது. வெப்பநிலே T_2-லிருந்து T_3-க்கு (சுமார் 2000°Cக்கு) உயருகிறது.

(iii) **செயல் தாக்கு** (Working Stroke): வெடித்ததனுல் ஏற்படும் அதிக அழுத்தத்தின் காரணமாக உந்துதண்டு மிகுந்த விசையுடன் வெளியே தள்ளப்படுகிறது. இப்பொழுது வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் வாயு விரிவடைவதை CD குறிப்பிடுகிறது. வெப்பநிலே T_4-க்குக் குறைகிறது. இந்தத் தாக்கின் இறுதியில் வெளிப்போக்கி அடைப்பிதழ் திறக்கப்படுகிறது. இதனுல் மிகுதியான அளவு காற்று உருளேயிலிருந்து விடுவித்துக்கொண்டு வெளியேறுகிறது. இந்த நிகழ்வு DA கோட்டால் குறிக்கப்படுகிறது.

(iv) **வெளியேற்றுத் தாக்கு** (Exhaust Stroke): உந்துதண்டு பின்னேக்கி வரும்பொழுது எஞ்சியுள்ள காற்றும், எரிந்துபோன

பொருளும் வெளியே தள்ளப்படுகின்றன. AE கோடு இந்தத் தாக்கைக் குறிக்கிறது. இவ்வாறு ஒரு சுற்று முடிவடைந்து



படம் 117.

அடுத்த சுற்றுத் தொடங்குவதற்கு இயந்திரம் ஆயத்தமாகிறது. ஆட்டோ இயந்திரத்தின் பயனுறு திறனைக் கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடலாம்.

ஓர் அலகு நிறையுள்ள தொழில்படு பொருளினல் ஏற்கப்பட்ட வெப்பம், செய்யப்பட்ட வேலை ஆகியவற்றைக் கவனிப்போம்.

வெடித்தலின்போது ஏற்கப்பட்ட வெப்பம் $= c_v (T_3 - T_2) = Q_1$

விடுவித்தலின்போது இழக்கப்பட்ட வெப்பம் $= c_v (T_4 - T_1) = Q_2$

எனவே, பயனுறுதிறன் $= \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$ (1)

ஓர் அலகு நிறையுள்ள தொழிற்படு பொருளுக்கு வரைபடத்தில் A, D புள்ளிகளால் குறிக்கப்படும் நிலைகளில் பருமன் v_1 எனவும், BC புள்ளிகளால் குறிக்கப்படும் நிலைகளில் பருமன் v_2 எனவும் கொள்வோம்.

AB வெப்ப மாற்றீடற்ற கோடாகும்.

எனவே, $T_1 v_1^{r-1} = T_2 v_2^{r-1}$. அதாவது $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{r-1}$ (2)

இவ்வாறே CD கோடு வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வைக் குறிப்பதால்

$$T_4 v_1^{r-1} = T_3 v_2^{r-1}. \text{ அதவாது } \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{r-1} \qquad (3)$$

2-ஆவது, 3-ஆவது சமன்பாடுகளிலிருந்து

$$\frac{T_4}{T^3} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{r-1}$$

இதை (1)ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்யும்பொழுது

$$\eta = 1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{r-1}$$

இதில் $\left(\frac{v_1}{v_2}\right)$ என்பது வெப்ப மாற்றீடற்ற பெருக்கத் தகவு (adiabatic expansion ratio) எனப்படுகிறது. இதை ρ என்பதால் குறிப்போமாயின்,

$$\eta = 1 - \left(\frac{1}{\rho}\right)^{r-1}$$

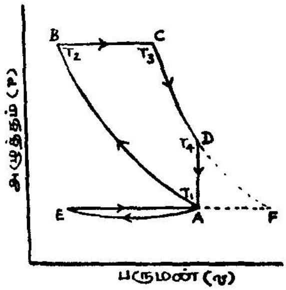
$\frac{1}{\rho} = \frac{v_2}{v_1}$ என்பது வெப்ப மாற்றீடற்ற இறுக்கத்தகவு எனப் படுகிறது. எனவே, பெருக்கத்தகவை அதிகமாக்குவதன் மூலம் பயனுறு திறனை அதிகமாக்கலாம். ஆட்டோ எஞ்சினின் பயனுறு திறன், கார்னோ, ரான்கின் ஆகிய எஞ்சின்களின் பயனுறு திறனை விடக் குறைவாக இருந்தபோதிலும் ஆட்டோ எஞ்சின் பளுவற்ற தாயும் சிறியதாயும் இருக்கும் நற்பண்பைக் கொண்டுள்ளது.

14. டீசல் எஞ்சின் (Diesel Engine)

ஆட்டோ எஞ்சினின் பயனுறுதிறன் பெருக்கத் தகவைப் பொறுத்திருக்கிறது என்று பார்த்தோம். இதற்குத் தொழில்படும் பொருள் மிகவும் குறைந்த பரும அளவிற்கு இறுக்கப்பட வேண்டும். ஆனல், ஆட்டோ எஞ்சினில் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுக்குமேல் இறுக்கப்படின், இறுக்குத்தாக்கு முடிவதற்கு முன்பே வெடித்தல் ஏற்பட்டுவிடும். அப்படி வெடித்தல் ஆபத்தை விளைவிக்கும்.

எனவே டீசல் என்பவர் அதிக அளவு இறுக்குவதற்கான அமைப்பைக் கொண்ட இயந்திரத்தை உண்டாக்கினர்.

இந்த இயந்திரத்திலும் நான்கு தாக்குகள் உள்ளன. **ஏற்புத் தாக்கில்** காற்று மாத்திரம் உருளைக்குள்ளே எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. **இறுக்குத் தாக்கில்** காற்று அதன் தொடக்கப் பருமனிலிருந்து 17-ல் ஒரு பாக அளவிற்குக் குறையுமாறு இறுக்கப்படுகிறது. இப்பொழுது வெப்பநிலை சுமார் 1000°C அளவிற்கு உயருகிறது. இந்த வெப்பநிலை டீசல் போன்ற பொருட்களின் எரிநிலையைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலையாகும். உந்துதண்டு முன்னேக்கி இயங்க ஆரம்பிக்கும் தருணத்தில் (வேலைசெய்யும் வீச்சின் தொடக்கத்தில்) ஒரு வால்வு திறக்கப்பட்டு, டீசல் போன்ற எண்ணெ அல்லது அதன் ஆவி ஒரு பம்பின் உதவியால் வலிந்து உட்புகுத்தப்படுகிறது. இவ்விதம் உட்செலுத்தப்படும் எரிபொருள் தானுகவே எரிந்து வெப்பத்தை உண்டாக்குகிறது.



படம் 118

உந்துதண்டு குறிப்பிட்ட தூரம் முன்னேக்கி நகரும்வரை அழுத்தம் ஒரே அளவை உடையதாக இருக்குமாறு எரிபொருள் உட்செலுத்தப்படும் வீதம் கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது. பின்பு வெப்பநிலை சுமார் 2000°C இருக்கும்பொழுது எரிபொருள் உட்செலுத்தப்படுவது நிறுத்தப்பட்டு வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் தொழில்படுபொருள் பெருக்கமடைய விடப்படுகிறது. இந்தத் தாக்கின் இறுதியில் வெளிப்போக்கியின் வால்வு திறந்து, காற்றை அழுத்த மிகுதியிலிருந்து விடுவிக்கிறது. அடுத்து, உந்துதண்டின் பின்னேக்கிய **வெளியேற்றுத் தாக்கு** எரிந்துபோன எஞ்சியுள்ள கழிவுப் பொருள்களை வெளியேற்றுகிறது. வரைபடத்தில் EA, AB, BC, CD, DA கோடுகள் முறையே ஏற்குதல், இறுக்குதல், எரிதல், பெருக்கம், விடுவித்தல், போக்குதல் ஆகிய நிகழ்ச்சிகளைக் காட்டுகின்றன.

இந்த இயந்திரத்தின் பயனுறு திறனைக் கணக்கிடுவதற்கு ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயுவைக் கவனிப்போம். A, B, C, D புள்ளிகளால் குறிக்கப்படும் வெப்பநிலைகள் முறையே T_1, T_2, T_3, T_4 எனக் கொள்வோம்.

BC யால் குறிக்கப்படும் எரிதலின் போது வாயுவால் எடுத்துக் கொள்ளப்படும் வெப்பம் $\Big\} = Q_1 = C_p (T_3 - T_2)$

DA யால் குறிக்கப்படும் விடுவித்தலின்பொழுது வாயு கொடுக்கும் வெப்பம் $\Big\}$ $= Q_2 = C_v (T_4 - T_1)$

எனவே η = இயந்திரத்தின் பயனுறுதிறன் $\Big\}$ $= 1 - \dfrac{Q_2}{Q_1}$

$$= 1 - \frac{C_v (T_4 - T_1)}{C_p (T_3 - T_2)}$$

$$= 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{\gamma (T_3 - T_2)} \qquad (1)$$

இங்கு γ என்பது வாயுவின் வெப்ப எண்களின் தகவு ஆகும்.

'A' புள்ளியால் குறிக்கப்படும் அழுத்தம் p_1 எனவும், B, C புள்ளிகளால் குறிக்கப்படும் அழுத்தம் p_2 எனவும் கொள்வோம். மேலும் CD விரிவு p_1 அழுத்த அளவுக்குக் குறைக்கப்படுமாறு F என்ற புள்ளிவரை நீடித்து இருப்பதாகக் கற்பனை செய்வோம். F-ன் வெப்பநிலை D-ன் வெப்பநிலையிலிருந்து அதிகம் மாறுபட்டிருக்காது எனக் கொள்வோம்.

இப்பொழுது AB ஒரு வெப்ப மாற்றீடற்ற கோடு.

எனவே, $T_1^{-r} p_1^{r-1} = T_2^{-r} p_2^{r-1}$

$$\therefore \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{r-1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{r} \qquad (2)$$

இவ்வாறே CF ஒரு வெப்ப மாற்றீடற்ற கோடாயிருப்பதால்

$$T_4^{-r} p_1^{r-1} = T_3^{-r} p_2^{r-1}$$

$$\therefore \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{r-1} = \left(\frac{T_4}{T_3}\right)^{r} \qquad (3)$$

2ஆவது 3ஆவது சமன்பாடுகளிலிருந்து

$$\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{r-1}{r}} = \frac{T_4}{T_3} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \qquad (4)$$

இதன் மதிப்பை 1ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$\eta = 1 - \frac{1}{r}\left[\frac{p_1}{p_2}\right]^{\frac{r-1}{r}} \qquad (5)$$

இப்பொழுது A, B வெப்ப மாற்றீடற்ற கோட்டை மீண்டும் கவனித்து, A, B ஆகிய புள்ளிகளால் குறிப்பிடப்படும் ஓர் அலகு நிறையுள்ள வாயுவிற்கான பருமன்கள் v_1, v_2 எனக் கொள்வோமாயின்

$$p_1 v_1^{r} = p_2 v_2^{r}$$

அதாவது, $$\left(\frac{p_1}{p_2}\right) = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{r} = \left(\frac{1}{\rho}\right)^{r}$$

இங்கு ρ என்பது பெருக்கத் தகவு ஆகும். இதன் மதிப்பை 5ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வதன் மூலம் கீழ்வரும் சமன்பாடு கிடைக்கிறது.

$$\eta = 1 - \frac{1}{r}\left(\frac{1}{p}\right)^{r-1}$$

டீசல் இயந்திரத்தின் பயனுறு திறன் ஆட்டோ இயந்திரத்தின் பயனுறு திறனைவிட அதிகம். மேலும் இதில் மலிவான தூய்மை குறைந்த எரிபொருள் பயன்படுத்தப்படுவதால், இயந்திரத்தை ஓட்டுவதற்கான செலவு குறைவு. ஆனல் ஆட்டோ இயந்திரத்தில் உள்ள அழுத்தத்தைவிட அதிக அழுத்தத்தை இது தாங்க வேண்டியிருப்பதால் இயந்திரம் உறுதியானதாக அமைக்கப்படவேண்டும். இதனல் இதன் தொடக்கச் செலவு, அதாவது விலை அதிகம்.

15. குளிர்பதனேற்றம் (Refrigeration) — அதன் செயல்திறன்.

ஒரு பொருளிலிருந்து வெப்பத்தை நீக்கும் கருவி குளிர்பதனேற்றி எனப்படுகிறது. ஒரு வெப்ப இயந்திரம் எதிர்முகமாகச் செயல்படும்பொழுது (reverse cycle) அது குளிர்பதனேற்றியாகப் பணியாற்றும். வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாவது விதிப்படி குளிர்பதனேற்றி செயல்படுவதற்கு அதன்மேல் வேலை செய்யப்பட வேண்டும். அப்பொழுது அது உயர்ந்த வெப்பநிலையிலுள்ள மற்றொரு பொருளுக்கு வெப்பத்தைக் கொடுக்கும். T_2 வெப்பநிலையிலுள்ள குளிர்ந்த பொருளிலிருந்து Q_2 வெப்பம் நீக்கப்பட்டு, T_1 வெப்ப நிலையிலுள்ள சூடான பொருளுக்கு Q_1 வெப்பம் கொடுக்கப்படுவதாக இருக்குமாயின், கருவியின்மேல் செய்யப்படவேண்டிய வேலை $= Q_1 - Q_2$.

குளிர்ந்த பொருளிலிருந்து நீக்கப்பட்ட வெப்பத்திற்கும், கருவியின்மேல் செய்யப்படும் வேலைக்குமிடையே உள்ள தகவு குளிர்பதனேற்றியின் செயல்திறன் (Co-efficient of Performance) எனப்படுகிறது.

எனவே, செயல் திறன் $= e = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$

$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$ என்பது இலட்சிய வெப்ப இயந்திரத்தின் திறனை ஆராயும்பொழுது நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளது.

எனவே, $e = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$

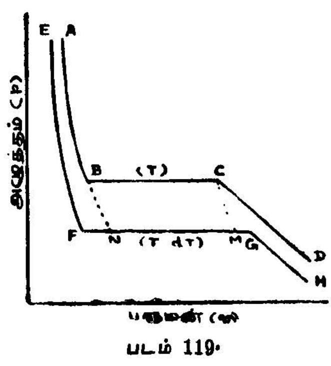
ஆகையினால், $T_1 - T_2$ மிகுந்த அளவு குறைவாக இருக்குமாயின், குளிர்பதனேற்றியின் செயல்திறன் அதிகமாக இருக்கும்.

16. முதலாவது உள்ளுறை வெப்பச் சமன்பாடு (கிளாசியஸ்-கிலாபெய்ரான் சமன்பாடு) (First Latent Heat Equation or Clausius-Clapeyran Equation)

ஒரு பொருளின்மேல் செயற்படும் அழுத்த வேறுபாட்டிற்கும் அதனால் பொருளின் உறைநிலை, கொதிநிலை ஆகியவற்றில் உண்டாகும் வேறுபாட்டிற்குமிடையே உள்ள தொடர்பைக் காட்டும் சமன்பாடு முதலாவது உள்ளுறை வெப்பச் சமன்பாடு எனப்படுகிறது.

வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாவது விதியைப் பயன்படுத்தி அந்தச் சமன்பாட்டைக், கீழ்க்கண்டவாறு தருவிக்கலாம்.

P அழுத்தத்தில் ஒரு பொருளின் இயல்பான கொதிநிலை T எனக் கொள்வோம். $(P - dp)$ அழுத்தத்தில் கொதிநிலை $(T - dt)$ என்போம். P-v வரைபடத்தில் ABCD என்பது ஓர் அலகு நிறையுள்ள பொருளின் T வெப்பநிலைக்கான சமவெப்பநிலைக் கோடாகவும், E F G H என்பது அதன் $(T - dT)$ வெப்பநிலைக் கான சம வெப்பநிலைக்கோடாக வும் இருக்கட்டும். BC பகுதியும், FG பகுதியும் முறையே T, $(T - dT)$ வெப்பநிலைகளில் திரவம் ஆவியாக மாறுவதைக் குறிக்கின்றன. மேலும் அப்பகுதிகளில் வெளி அழுத்தம் அல்லது தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் முறையே P, $(P - dp)$ ஆகும்.



படம் 119.

B புள்ளியால் குறிக்கப்படும் நிலையில் பொருள் திரவமாகவும், C புள்ளியால் குறிக்கப்படும் நிலையில் அது தெவிட்டிய ஆவியாகவும் இருக்கிறது. BC புள்ளிகளின் நிலைகளிலிருந்து வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் ஏற்படும் நிகழ்வுகளைக் குறிக்கும் கோடுகள் FG கோட்டை முறையே N, M என்ற புள்ளிகளால் சந்திக்கட்டும். கொடுக்கப்பட்ட பொருளைத் தொழில்படு பொருளாகக் கொண்ட ஒரு கார்னோ இயந்திரம் BCMN என்பதால் குறிக்கப்படும் கார்னோ சுற்றில் இயங்குவதாகக் கொள்வோம்.

BC என்ற சம வெப்பநிலை நிகழ்வில் திரவம் ஆவியாக மாறுகிறது. பொருளின் ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் L எனில், BC நிகழ்வில் பொருள் உட்கொள்ளும் வெப்பம் $= Q_1 = L$. CM என்ற வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வில் பொருளின் வெப்பநிலை dT அளவு குறைவதுடன், சிறிதளவு ஆவி திரவமாகவும் மாறலாம். MN என்ற சம வெப்பநிலை அமுக்கத்தில் மிகுதியளவு ஆவி திரவமாக மாறுகிறது. இப்பொழுது பொருளால் கொடுக்கப்பட்ட வெப்பம் Q_2 என்போம். NB என்ற வெப்ப மாற்றீடற்ற அமுத்தத்தில் வெப்பநிலை dT அளவு உயருவதுடன் எஞ்சிய ஆவி திரவமாக மாறிப் பொருள் தொடக்க நிலையை அடைகிறது. இந்தச் சுற்று நேர் எதிர் பண்புள்ளது. எனவே, வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாவது விதிப்படி,

$$\frac{Q_1}{T} = \frac{Q_2}{T - dT} = \frac{Q_1 - Q_2}{dT} \quad \ldots (1)$$

இந்தச் சுற்றில் இயந்திரத்தினுல் செய்யப்படும் வேலை BCMN என்ற பரப்பளவால் குறிக்கப்படுகிறது. ஓர் அலகு நிறையுள்ள பொருள் T வெப்பநிலையில் திரவநிலையில் v_1 பருமனையும், தெவிட்டிய ஆவி நிலையில் v_2 பருமனையும் கொண்டுள்ளது எனில், செய்யப்படும் வேலை $= dp\,(v_2 - v_1)$.

இது பயன்படுத்தப்பட்ட வெப்ப ஆற்றலுக்குச் சமமாக இருக்கும்.

$$\text{எனவே, } (Q_1 - Q_2) = \frac{dp(v_2 - v_1)}{J} \quad \ldots (2)$$

ஆனல் $Q_1 = L$

இதன் மதிப்புகளை 1ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$\frac{L}{T} = \frac{dp\,(v_2 - v_1)}{J\,dT}$$

$$\therefore\ dT = \frac{T\,dp\,(v_2 - v_1)}{LJ}; \quad \frac{dp}{dt} = \frac{LJ}{T\,(v_2 - v_1)}$$

dT என்பது dP அழுத்த உயர்வினால் கொதி நிலையில் ஏற்படும் உயர்வைக் குறிக்கிறது.

$\frac{dp}{d\mathrm{T}}$ என்பது வெப்பநிலை மாறுபாட்டுடன் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் மாறும் விகிதத்தைக் குறிக்கிறது. இங்கு $(v_2 - v_1)$ நேர் குறியுடையது. அதனால் $\frac{dp}{d\mathrm{T}}$ யும் நேர்குறியுடையது.

படித்தர அழுத்தத்தில் நீரின் கொதிநிலை 100°C ; நிராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் 540 கி. கலோரிகள்/கிலோ கிராம். 1 கி. கிராம் நிராவியின் பருமன் 1·677 க. மீ. எனவே, ஒரு வெளிமண்டல அழுத்த அளவு அழுத்தம் உயரும்பொழுது கொதிநிலையில் ஏற்படும் உயர்வு

$$= d\mathrm{T} = \frac{\mathrm{T}dp\,(v_2 - v_1)}{\mathrm{L\,J}}$$

$$= \frac{373 \times {\cdot}76 \times 13{\cdot}6 \times 1000 \times 9{\cdot}81 \times (1{\cdot}677 - {\cdot}001)}{540 \times 4200}$$

$$= 27{\cdot}92^\circ\mathrm{C}$$

இந்த மதிப்பு பரிசோதனை மூலம் ஹால்போர்ன் — ஹென்னிங் ஆகியவர்களுக்குக் கிடைத்த மதிப்பான 27·98°C உடன் நெருங்கி ஒத்திருக்கிறது. எனவே, அழுத்தம் 1 செ.மீ. பாதரஸ அளவு உயரும்பொழுது கொதிநிலை 0·36°C அளவு உயருகிறது. பொருள் திண்ம நிலையிலிருந்து திரவநிலைக்கு மாறும் நிகழ்வுக்கும், மேற் கண்டவாறே இரண்டாவது வெப்ப இயக்கவியல் விதியைப் பின் பற்றி உறைநிலையில் அழுத்த வேறுபாட்டினால் ஏற்படும் மாறுதலுக் கான தொடர்பைத் தருவிக்கலாம். v_1, v_2 என்பவை முறையே திண்ம திரவநிலைகளில் 1 அலகு நிறையுள்ள பொருளின் பருமன்கள் என்றும், T பொருளின் உறைநிலை என்றும் கொள்வோமாயின் உறைநிலையில் மாறுதல் $= d\mathrm{T} = \frac{\mathrm{T}dp\,(v_2 - v_1)}{\mathrm{L\,J}}$. நீர் திரவநிலையில் குறைந்த பருமனையும், திண்மநிலையில் அதிகப் பருமனையும் கொண்டுள்ளதால் $v_2 - v_1$ எதிர்க்குறியுடையது. எனவே, dT எதிர்க் குறியுடையது. அழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது உறைநிலை குறைகிறது என்பதை இது காட்டுகிறது. ஆனால், மெழுகு போன்ற பொருள்களுக்கு $(v_2 - v_1)$ நேர் குறியுடையது. எனவே, அவ் வகைப்பட்ட பொருள்களின் உறைநிலை அழுத்த உயர்வினால் உயர்த்தப்படுகிறது.

பனிக்கட்டியின் உருகுநிலை = 0°C

பனிக்கட்டியின் உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம் = 80 கி. கேலரி/கி. கிராம். 1 கி. கிராம் நீரின் பருமன் ·001 க. மீ.; 1 கி. கிராம் பனிக்கட்டியின் பருமன் = ·001091 க. மீ. எனவே ஒரு வளிமண்டல அளவு அழுத்தம் அதிகமாகும்பொழுது உருகுநிலையில் ஏற்படும் மாறுதல்,

$$= dT = \frac{T\,dp\,(v_2 - v_1)}{LJ}$$

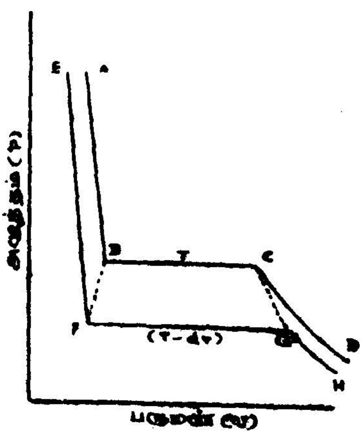
$$= \frac{273 \times \cdot 76 \times 13{\cdot}6 \times 1000 \times 9{\cdot}81 \times (\cdot 001 - \cdot 001091)}{80 \times 4200}$$

$$= -\cdot 0074\ C$$

இந்த மதிப்பு டீவாரால் (Dewar) பரிசோதனை மூலம் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட மதிப்புடன் (– 0·0072 C) நெருங்கி ஒத்திருக்கின்றது.

17. இரண்டாவது உள்ளுறை வெப்பச் சமன்பாடு — கிளாஸியஸின் சமன்பாடு

இரண்டாவது உள்ளுறை வெப்பச் சமன்பாடு ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை மாறும்பொழுது அதன் உள்ளுறை வெப்பம் மாறும் வீதம், அந்தப் பொருளுக்கு இரு நிலைகளிலுமுள்ள வெப்ப எண்கள் ஆகியவற்றினிடையே உள்ள தொடர்பைத் தெரிவிக்கிறது. அது கீழ்க்கண்டவாறு தருவிக்கப்படுகிறது.



படம் 120.

ஓர் அலகு நிறையுள்ள பொருளுக்கு T வெப்பநிலைக்கான சம வெப்பநிலைக் கோட்டை P — v வரைபடத்தில் வரைந்து ABCD எனக் குறிப்பிடப்பட்டும். அந்தப் பொருளுக்கு (T — dT) வெப்ப நிலைக்கான சம வெப்பநிலைக் கோடு E F G H என்போம். B, F புள்ளிகள் பொருள் முழுவதும் திரவமாக இருப்பதையும், C, G புள்ளிகள் பொருள் தெவிட்டிய ஆவியாக இருப்பதையும் குறிக்கின்றன. BC, FG பகுதிகளுக்கான அழுத்தங்கள் முறையே P, (P — dp) எனக் கொள்வோம்.

பொருள் ஒரு கார்னோ இயந்திரத்தில் எடுக்கப்பட்டு BCGF என்ற சுற்றில் தொழில்படுவதாகக் கொள்வோம். BC நிகழ்வு T வெப்பநிலையில் திரவம் ஆவியாக மாறுவதைக் குறிக்கிறது. எனவே, T வெப்பநிலையில் உள்ளுறை வெப்பம் L எனின், பொருள் இந்த நிகழ்வில் எடுத்துக்கொள்ளும் வெப்பம் L ஆகும். CG நிகழ்வில் தெவிட்டிய ஆவியின் வெப்ப எண் s_2 எனின், CG நிகழ்வில் பொருள் கொடுக்கும் வெப்பம் = $s_2\ dT$. GF கோடு, பொருள் $(T - dT)$ வெப்பநிலையில் திரவமாக மாறுவதைக் காட்டுகிறது. இந்த நிலையில் உள்ளுறை வெப்பம்

$$= \left(L - \frac{dL}{dT}\ dT\right).$$

இதுவே இந்த நிகழ்வில் பொருள் வெளியிடும் வெப்பமாகும். FB குறிக்கும் நிகழ்வில் திரவத்தின் வெப்பநிலை dT அளவு உயருகிறது. எனவே, திரவநிலையில் பொருளின் வெப்பம் எண் s_1 எனில், F B நிகழ்வின்பொழுது பொருள் ஏற்றுக்கொள்ளும் வெப்பம் = $s_1\ dT$. எனவே, பொருள் பயன்படுத்திக்கொள்ளும் வெப்பம்,

$$(dQ) = L - s_2\ dT - \left(L - \frac{dL}{dT}\ dT\right) + s_1\ dT$$

$$= \frac{dL}{dT}\ dT - (s_2 - s_1)\ dT.$$

வெப்ப இயக்கவியல் முதல் விதிப்படி, இது இயந்திரத்தால் செய்யப்படும் வேலைக்குச் சமமாகும். BC, FG கோடுகள் ஒன்றுக்கொன்று அருகில் இருப்பதால் BF, CG கோடுகள் B, C புள்ளிகள் வழியாகச் செல்லும் வெப்ப மாற்றீடற்ற கோடுகளுடன் (adiabatics) ஏறத்தாழ ஒத்திருப்பதாகக் கொள்ளலாம். அதாவது, BCGF சுற்றை ஒரு கார்னோ சுற்று எனக் கொள்ளலாம்.

$$\text{எனவே, } \frac{dQ}{Q} = \frac{dT}{T}$$

$$\text{அதாவது, } dQ = Q\left(\frac{dT}{T}\right)$$

dQ, Q இவைகளுக்கான மதிப்புகளைப் பதிலீடு செய்வோமாயின்,

$$\left(\frac{dL}{dT} + s_1 - s_2\right) dT = L = \frac{dT}{T}$$

$$\therefore \quad \frac{dL}{dT} + s_1 - s_2 = \frac{L}{T}$$

எனவே, $s_2 = s_1 + \frac{dL}{dT} - \frac{L}{T}$.

இது கிளாஸியஸ் சமன்பாடு எனப்படுகிறது. இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து நீராவியின் வெப்ப எண் எதிர்க்குறி உடையது எனக் காணலாம்.

ரெனுல்டின் சோதனைகளிலிருந்து நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் = L = 606·5 − 0·695θ கி. கேலரி/கி. கிராம்.

பகுதி காணில், $\frac{dL}{d\theta} = -\cdot 695 = \frac{dL}{dT}$

$$\therefore \quad s_2 = s_1 + \frac{dL}{dT} - \frac{L}{T}$$

நீராவியின் வெப்ப எண் $= 1 - \cdot 695 - \frac{540}{373}$

$= \quad -1\cdot 14$ கி. கேலரி/கி. கிராம்.

எனவே, நீராவியின் வெப்பஎண் எதிர்க்குறியுடையது எனத் தெரியவருகிறது. இங்கு s_2 என்பது மாரு அமுத்தநிலையிலோ மாருப் பருமநிலையிலோ ஓர் அலகு நிறையுள்ள நீராவி 1°C வெப்ப நிலையில் உயருவதற்கு எடுத்துக்கொள்ளும் வெப்பத்தைக் குறிப்பதன்று. நீராவி தெவிட்டிய நிலையில் இருக்கும்பொழுது 1°C அளவு வெப்பநிலையில் உயருவதற்கு அது எடுத்துக் கொள்ளும் வெப்பத்தைக் காட்டுகிறது.

தெவிட்டிய நிலையில் நீராவியை 1°C அளவு உயர்ந்த வெப்ப நிலைக்கு எடுத்துச்செல்லப் பருமன் குறைக்கப்படவேண்டியிருக்கிறது. அதாவது, நீராவியை அமுக்கவேண்டியிருக்கிறது இவ்விதம் அமுக்குவதில் நீராவியின்மேல் வேலை செய்யப்படுகிறது. இதனுல் அதற்கு வெப்பம் கொடுக்கப்படுகிறது. இந்த வெப்பம் அதனை 1°C அளவு வெப்பநிலையில் உயர்த்துவதற்குத் தேவைப்படும் வெப்பத்தைவிட அதிகமாக இருக்கிறது. எனவே, வெப்பநிலை 1°C அளவு உயர்ந்ததாக இருக்க நீராவியிலிருந்து வெப்பம் நீக்கப்படவேண்டும். அவ்விதம் வெப்பம் நீக்கப்படாவிடின், வெப்பநிலை தேவையான அளவைவிட அதிகம் உயர்ந்து நீராவியைத் தெவிட்டாத தாக்கிவிடும்.

18. என்ட்ரப்பி (Entropy)

என்ட்ரப்பி என்ற கருத்தை முதன்முதல் கிளாஸியஸ் என்பவர் வெளியிட்டார். ஒரு பொருளின் என்ட்ரப்பி என்பது அந்தப் பொருளின் ஒருவகையான பண்பைக் குறிக்கிறது. ஒரு பொருளுக்கு அழுத்தம், பருமன், வெப்பநிலை, ஆற்றல் போன்ற வெவ்வேறு பண்புகள் இருப்பதுபோல் என்ட்ரப்பி என்ற ஒரு பண்பும் உள்ளது. இது வெப்பத்தைப் பொறுத்த ஒரு பண்பாகும். ஒரு பொருள் அதன் சுற்றுச் சூழ்நிலைகளிலிருந்து வெப்பத்தை ஏற்காமலும், அவைகளுக்கு வெப்பத்தைக் கொடுக்காமலும் இருக்கும்பொழுது அதன் என்ட்ரப்பி மாறுமல் உள்ளது எனப் படுகிறது. அது மற்றப் பொருளிலிருந்து T தனி வெப்பநிலையில், dQ அளவு வெப்பத்தை ஏற்கும்பொழுது அதன் என்ட்ரப்பி

$(ds) = \frac{dQ}{T}$ அளவு உயருவதாகக் கொள்ளப்படுகிறது.

$dQ = (d\,s)\,T$ என்ற சமன்பாட்டை, E = நிலையாற்றல் $= mgh$ என்ற சமன்பாட்டுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கையில் என்ட்ரப்பி என்பதை வெப்ப சமத்துவமாகக் கருதலாம்.

இவ்விதம் ஒரு புதிய பண்புபற்றிய கருத்தைக் கிளாஸியஸ் வெளியிடுவதற்குக் கீழ்க்கண்ட நோக்கங்கள் இருந்தன.

(i) வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் ஏற்படும் நிகழ்வுகளின் பொழுது பொருளின் நிலையைக் குறிப்பதற்கு என்ட்ரப்பி ஒரு உகந்த பண்பாகிறது.

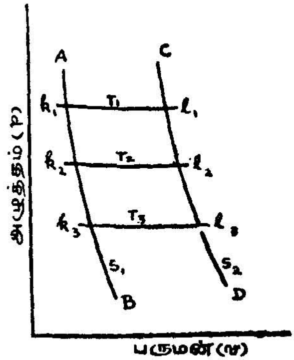
(ii) தொடர்ச்சியாக வெப்பத்தை வேலையாக மாற்றும் பணியில் தொடர்புள்ள பொருள்களின் தொகுதியில் ஏற்படும் மாறுதல்கள் ஒரு திசையிலேயே இருப்பதைக் கவனித்து, இரண்டாவது வெப்ப இயக்கவியல் விதியைத் திறம்பட வேறு வடிவத்தில் கூறுவதற்கு என்ட்ரப்பி மிகவும் பயனுள்ளது.

(iii) வெப்ப இயந்திரங்கள் செய்யும் வேலையைக் காண்பதற்கு எளிய வடிவ வரைபடங்களை வரைவதற்கு என்ரப்பியைப் பயன் படுத்தலாம்.

19. என்ட்ரப்பியும் வெப்ப-மாற்றீடற்ற கோடுகளும்

$p - v$ வரைபடத்தில் AB, CD என்ற இரு வெப்ப மாற்றீடற்ற கோடுகளையும், அவைகளைச் சந்திக்கும் $k_1 l_1$, $k_2 l_2$, $k_3 l_3$ என்ற சம வெப்பநிலைக் கோடுகளையும் கவனிப்போம். சம வெப்பநிலைக் கோடுகளை அவைகளின் வெப்பநிலைகளைக் கொண்டு குறிட்பிட்டு வேறுபடுத்திக் காட்டலாம்.

காட்டாக, $k_1\ l_1$ கோட்டை T_1 சம வெப்பநிலைக்கோடு எனலாம். இவ்வாறு வெப்ப மாற்றீடற்ற கோடுகளை (Adiabatics) வேறுபடுத்திக் காட்டுவதை எப்படி என்று பார்ப்போம். $k_1\ l_1\ l_2\ k_2$ஆல் குறிக்கப்படும்படியாக ஒரு கார்னோ சுற்றில் பொருள் எடுத்துச் செல்வதாகவும், அப்பொழுது AB யிலிருந்து CD-க்கு $k_1 l_1$ வழியே செல்லும் நிகழ்வில் Q_1 வெப்பம் ஏற்கப்படுகிறது என்றும், CD-யிலிருந்து AB-க்கு $l_2\ k_2$ வழியே செல்லும் நிகழ்வில் Q_2 வெப்பம் இழக்கப்படுகிறது எனவும் கொள்வோம். ஆகையால், $k_2\ l_2$ வழியாக AB யிலிருந்து CD க்குச் செல்லும் பொழுது Q_2 வெப்பம் எடுத்துக் கொள்ளப்படும். இவ்வாறே $k_3\ l_3$ வழியாக AB யிலிருந்து CD க்குச் செல்லும்பொழுது Q_3 வெப்பத்தைப் பொருள் எடுத்துக் கொள்ளும்.



படம் 121.

$$\text{இங்கு } \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_3}{T_3} = \text{மாறிலி} = ds.$$

எனவே AB வெப்பமாற்றீடற்ற கோட்டிற்கும், CD வெப்பமாற்றீடற்ற கோட்டிற்கும் இடையே உள்ள வேறுபாட்டை இந்த மாறிலியால் குறிப்பிடலாம். இந்த வேறுபாடு என்ட்ரப்பி வேறுபாடு (ds) எனப் படுகிறது.

$$ds = \text{என்ட்ரப்பி மாறுபாடு} = \frac{dQ}{T} = \frac{\text{வெப்ப ஏற்பு அல்லது இழப்பு}}{\text{தனி வெப்பநிலை}}$$

இப்பொழுது ஒரு வெப்ப மாற்றீடற்ற கோட்டில் என்ட்ரப்பி மாறுமல் இருக்கிறது. ஏனெனில், அந்தக் கோட்டில் வெப்ப ஏற்போ இழப்போ இல்லை. எனவே, வெப்ப மாற்றீடற்ற கோடுகள் (adiabatics) **சம என்ட்ரப்பி கோடுகள்** (Iso-entropics) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன.

இப்பொழுது $s_2 - s_1 = \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} = \ldots\ldots$ எனில் AB-ன் என்ட்ரப்பி s_1 எனவும், CD-ன் என்ட்ரப்பி s_2 எனவும் கூறலாம். வெப்ப இயக்கவியலில் நமக்கு என்ட்ரப்பியின் அடிப்படையான மதிப்பு தேவையில்லை, என்ட்ரப்பியில் ஏற்படும் வேறுபாடுகளின் மதிப்பு நமக்குத் தெரிந்தால் போதும்.

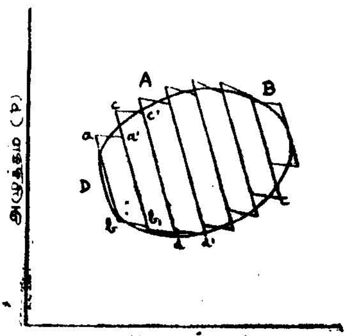
20. நேர் எதிர் பண்புள்ள சுற்றில் என்ட்ரப்பியின் மாறுதல்

இரு சம வெப்பநிலை நிகழ்வுகளையும் இரு வெப்ப மாற்றீடற்ற நிகழ்வுகளையும் கொண்ட ஒரு கார்னோ சுற்றை முதலில் கவனிப் போம். T_1 சம வெப்பநிலைப் பெருக்கத்தில் Q_1 வெப்பம் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டு T_2 சம வெப்பநிலை இறுக்கத்தில் Q_2 வெப்பம் இழக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாவது விதிப்படி, $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$.

வெப்பமாற்றீடற்ற நிகழ்வுகளில் என்ட்ரப்பி மாறுவதில்லை. எனவே, இந்தச் சுற்றில் ஏற்படும் மொத்த என்ட்ரப்பி மாறுதல்

$$= \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0.$$

ஆகையால் நேர் எதிர் பண்புள்ள கார்னோ சுற்றில் என்ட்ரப்பியின் மதிப்பு மாறுவதில்லை.



படம் 122.

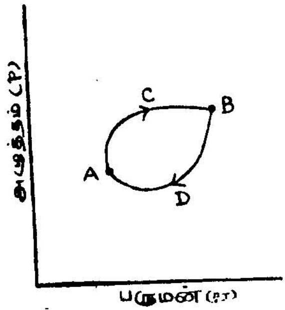
இப்பொழுது படத்தில் காட்டியவாறுள்ள ABCD என்ற ஏதோ ஒரு சுற்றைக் கவனிப்போம். இதில் ஏற்படும் நிகழ்வுகள் நேர் எதிர் பண்புள்ளவை எனக் கொள்வோம். கொடுக்கப்பட்ட சுற்றைச் சிறு சிறு சம வெப்ப நிலைக் கோடுகளையும், நீண்ட வெப்ப மாற்றீடற்ற கோடுகளையும் கொண்டவாறு பல சிறு கார்னோ சுற்றுகளாகப் பிரிக்கலாம்.

இப்பொழுது ஒவ்வொரு கார்னோ சுற்றிலும் ஏற்படும் என்ட்ரப்பி மாறுதல் சுழியாகும். எனவே, எல்லாச் சுற்றிலும் சேர்ந்து ஏற்படும் என்ட்ரப்பி மாறுதல் சுழியாகும்; அதாவது $\oint \frac{dQ}{T} = 0.$

அடுத்தடுத்துள்ள கார்னோ சுற்றுகளை கவனிக்கையில் இடையே உள்ள கோட்டில் ஒரு முறை ஒரு திசையிலும், மறு முறை எதிர் திசையிலும் நிகழ்வு ஏற்படுவது தென்படும். இது அந்தக் கோட்டில் நிகழ்வு ஏற்படாததற்குச் சமமாகும். எனவே, எல்லாச் சுற்றுகளையும் கவனிக்கையில் நிகழ்வு, கொடுக்கப்பட்ட ABCD கோட்டில் மட்டும் நிகழ்ந்ததாகக் கருதலாம்.

21. என்ட்ரப்பி ஒரு பொருளின் நிலையைக் குறித்தல்

p-v வரை படத்தில் A என்ற புள்ளி ஒரு பொருளின் ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையைக் (அதாவது குறிப்பிட்ட அழுத்தம், பருமன், வெப்பநிலை ஆகியவற்றைக் கொண்ட நிலையை) குறிக்கட்டும். அவ்வாறே B என்ற புள்ளி அந்தப் பொருளின் வேறொரு நிலையைக் குறிக்கட்டும். A புள்ளியிலிருந்து B புள்ளிக்கு A C B என்ற நேர் எதிர்பண்புள்ள பாதை வழியே பொருள் எடுத்துச் செல்வதாகக் கருதுவோமாயின் என்ட்ரப்பியில் ஏற்படும்



படம் 123.

$$\text{மாறுதல்} = S_B - S_A = \int_{\substack{C\\ \uparrow\\ A}}^{B} \frac{dQ}{T} \text{ ஆகும்.}$$

இவ்வாறே A புள்ளியிலிருந்து B புள்ளிக்கு A D B என்ற நேர் எதிர்பண்புள்ள பாதை வழியாகப் பொருள் எடுத்துச் செல்லும்பொழுது என்ட்ரப்பியில் ஏற்படும் மாறுதல் =

$$S'_B - S_A \int_{\substack{C\\ \uparrow\\ A}}^{B} \frac{dQ}{T} \text{ ஆகும்.}$$

எனவே B D A வழியாக B-யிலிருந்து A-க்கு வரும்பொழுது

$$\text{என்ட்ரப்பி மாறுதல்} = -\int_{\substack{D\\ \uparrow\\ A}}^{B} \frac{dQ}{T}$$

ஆனால் ACBDA என்ற சுற்றில் பொருள் எடுத்துச் செல்லும் பொழுது மொத்த என்ட்ரப்பி மாறுதல் $= 0$.

$$\therefore \quad \int_{\substack{C\\ \uparrow\\ A}}^{B} \frac{dQ}{T} - \int_{\substack{D\\ \uparrow\\ A}}^{B} \frac{dQ}{T} = 0.$$

அதாவது, $\int_{C}^{B} \frac{dQ}{T} = \int_{D}^{B} \frac{dQ}{T} = 0.$
$\uparrow_A \qquad \uparrow_A$

எனவே, A நிலையிலிருந்து B நிலைக்குச் செல்வதில் ஏற்படும் என்ட்ரப்பி மாறுதல் எந்த முறையில் ஏற்பட்டதென்பதைப் பொறுத் திருப்பதில்லை. அதாவது, பொருளுக்கு A நிலையில் ஒரு குறிப்பிட்ட என்ட்ரப்பியும், B நிலையில் வேறு ஒரு குறிப்பிட்ட என்ட்ரப்பியும் உள்ளன.

22. நேர் எதிர் பண்பற்ற நிகழ்வில் ஏற்படும் என்ட்ரப்பி மாறுதல் - என்ட்ரப்பி உயரும் தத்துவம்

வெப்பங்கடத்தல், வெப்பக் கதிர்வீச்சு மூலம் உயர்ந்த வெப்ப நிலையிலிருந்து குறைந்த வெப்பநிலையிலுள்ள பொருளுக்கு வெப்பம் செல்லுதல், உராய்வினல் வெப்பமேற்படுதல் முதலியன நேர் எதிர்பண்பற்ற நிகழ்ச்சிகளாகும். வெப்பக் கதிர்வீச்சு முறையில் T_1 வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு பொருளிலிருந்து T_2 வெப்பநிலையி லுள்ள மற்றெரு பொருளுக்கு Q அளவு வெப்பம் செல்லுவதாகக் கொள்வோம். குறிப்பிட்ட இரு பொருள்களின் தொகுதியில் (system)

என்ட்ரப்பியில் ஏற்படும் மிகுதிப்பாடு $= \frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1}$

இங்கு $T_2 < T_1$ ஆனதால் $Q\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) > 0.$

எனவே, பிரபஞ்சத்தில் எல்லா பௌதிக, இரசாயன நிகழ்ச்சி களும் என்ட்ரப்பியை உயர்த்துமாறு உள்ளன. இது வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டாவது விதியை வேறு வடிவத்தில் கூறுவ தாகும்.

23. பயன்படக்கூடிய வெப்பம்—வெப்பச் சாவு (Heat death)

நேர் எதிர் பண்புள்ள கார்னே சுற்றில் இயந்திரம் T_1 வெப்ப நிலையிலுள்ள பொருளிலிருந்து Q_1 வெப்பத்தை எடுத்துக்கொண்டு T_2 வெப்பநிலையிலுள்ள பொருளுக்கு Q_2 வெப்பம் கொடுப்பதை நாம் பார்த்தோம்.

இந்த நிகழ்ச்சியில் பயன்படும் வெப்பம் $= (Q_1 - Q_2)$

இப்பொழுது $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_1 - Q_2}{T_1 - T_2}$

$$\therefore \quad Q_1 - Q_2 = \frac{Q_1 (T_1 - T_2)}{T_1}$$

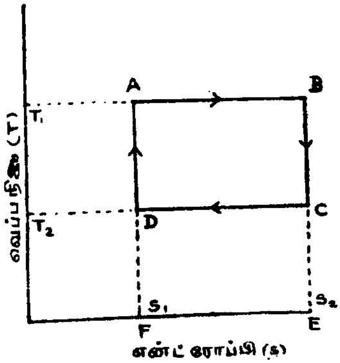
எனவே, பயன்படும் வெப்பம் வெப்பநிலை வேறுபாடுகளைப் பொருத்திருக்கிறது. வெப்பங்கடத்தல், வெப்பக் கதிர்வீச்சு முதலிய ஒரு திசைப் பண்புடைய நிகழ்வுகளால் தொடர்ச்சியாக வெப்பநிலை வேறுபாடுகள் குறைந்து வருகின்றன. எனவே, பிரபஞ்சத்தில் மொத்த வெப்ப ஆற்றல் அழியாமலிருந்தாலும் காலக்கிரமத்தில் வேலை செய்வதற்குப் பயன்படக்கூடிய வெப்பம் குறைந்துவிடும். இறுதியில் வெப்பநிலைகள் எல்லாம் சமமாகி விடும்பொழுது பிரபஞ்சத்தில் உள்ள வெப்பம் முழுவதும் வேலைக்குப் பயன்படாது போய்விடும். இவ்வித நிலையில் **வெப்பச்சாவு** ஏற்படும் என்று கூறப்படுகிறது. இந்த வெப்பச்சாவு ஏற்படுவதற்குக் காரணம் நேர் எதிர் பண்பற்ற நிகழ்வுகள். இவ்வித நிகழ்வுகள் பிரபஞ்சத்தில் உள்ள என்ட்ரப்பியின் மதிப்பை உயர்த்துகின்றன என்று பார்த்தோம். இவ்வித என்ட்ரப்பி உயர்வைப் பயன்படாது போகும் வெப்ப ஆற்றலுடன் தொடர்புபடுத்திக் காட்டலாம். Q அளவுள்ள வெப்பம் T_1 வெப்பநிலையிலுள்ள பொருளிலிருந்து T_2 வெப்பநிலையிலுள்ள பொருளுக்குச் செல்வதாகவும், சுற்றுச் சூழ்நிலைகளிலுள்ள மிகக் குறைந்த வெப்பநிலை T_0 எனவும் கொள்வோம். நிகழ்வின் தொடக்கத்தில் பயன்படக்கூடிய வெப்பம் $= Q \frac{(T_1 - T_0)}{T_1} = Q\left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right)$. இறுதியில் பயன் படக்கூடிய வெப்பம் $= Q\left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right)$. எனவே, பயன்படும் தன்மையை இழந்துவிடும் வெப்பம் =

$$Q\left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right) - Q\left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right) = T_0\left(\frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1}\right) = T_0 \times ds.$$

இங்கு *ds* என்பது என்ட்ரப்பியில் ஏற்படும் உயர்வு. எனவே, என்ட்ரப்பியின் மதிப்பு வெப்ப ஆற்றல் பயன்படாதுபோய்விடும் அளவைக் குறிக்கிறது எனக் கருதலாம். வெப்ப ஆற்றல் பயன் படாது போய்விடும் தன்மையை **ஆற்றலின் இழிவுத்தன்மை** (degradation of energy) என்று கூறுகிறோம். என்ட்ரப்பி பெரு மதிப்பை அடையும்பொழுது ஆற்றல் முழுவதும் இழிவுத் தன்மையை அடைகிறது அல்லது வெப்பச்சாவு ஏற்படுகிறது என்று கூறலாம்.

24. வெப்பநிலை - என்ட்ரப்பி வரைபடம் (Temperature - entropy diagram)

ஒரு பொருளின் நிலையை P–v வரைபடத்தில் குறிப்பிடலாம் என்று பார்த்தோம். அந்த நிலையைத் திறம்பட வெப்பநிலை என்ட்ரப்பி வரைபடத்திலும் குறிப்பிடலாம். இதை T–S வரைபடம் எனலாம். இந்த வரைபடத்தில் வழக்கமான கார்னோ சுற்று, எளிய நீண்ட சதுர வடிவத்தை உடைய ABCD என்ற படத்தால் குறிப்பிடப்படுகிறது. AB என்பது T_1 வெப்பநிலையில் சம வெப்பநிலை முறையில் ஏற்படும் விரிவைக் குறிக்கிறது. இந்த



படம் 124.

நிகழ்வில் ஏற்படும் என்ட்ரப்பி உயர்வு $= S_2 - S_1 = \frac{Q_1}{T_1}$. BC என்பது வெப்ப மாற்றீடற்ற முறை விரிவைக் காட்டுகிறது. இந்த நிகழ்வின்பொழுது என்ட்ரப்பி மாறுவதில்லை. ஆனால், வெப்பநிலை T_1லிருந்து T_2க்குக் குறைகிறது. CD கோடு T_2 வெப்பநிலையில் ஏற்படுத்தப்படும் இறுக்கத்தைக் குறிக்கிறது. தொழில்படும் பொருளுக்கு ஏற்படும் என்ட்ரப்பி குறைவு $= \frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_1}{T_1} = S_2 - S_1$. சுற்றின் இறுதிக் கட்டமான வெப்ப மாற்றீடற்ற முறை இறுக்கம் D A பகுதியால் குறிக்கப்படுகிறது. இப்பொழுது வெப்பநிலை T_2-விருந்து T_1க்கு உயருகிறது.

P — v வரைபடத்தில் பரப்பளவு, செய்யப்பட்ட வேலையின் அளவைக் காட்டுவதுபோல் T — S வரைபடத்திலும் ABCD-ன் பரப்பளவு தொழில்படு பொருளால் செய்யப்படும் நிகர வேலையைக் குறிப்பிடும் என்பதைக் கீழ்கண்டவாறு நிருபிக்கலாம்.

$S_2 - S_1 = \frac{Q_1}{T_1}$. எனவே, $Q_1 = T_1 (S_2 - S_1)$

இவ்வாறே $Q_2 = T_2 (S_2 - S_1)$

ஆகையால் $Q_1 - Q_2 = (S_2 - S_1)(T_1 - T_2)$

இப்பொழுது $(Q_1 - Q_2)$ J செய்யப்படும் வேலையின் அளவைக் குறிக்கும் (இங்கு J என்பது வெப்ப ஆற்றலின் இயக்க ஆற்றல்

இணைமாற்று). எனவே, செய்யப்படும் வேலையின் அளவு = $(S_2 - S_1)(T_1 - T_2) J$ என்பதால் குறிக்கப்படும். T—S வரை படத்தில் $(S_2 - S_1)$ என்பது AB-யாலும் $(T_1 - T_2)$ என்பது AD யாலும் குறிக்கப்படுகின்றன. எனவே, $(S_1 - S_2)(T_1 - T_2) J = (AB \times AD) J =$ ABCD வரைபடத்தின் பரப்பளவு $\times J$.

T — S வரைபடம் பொறியியல் துறையிலும் வானிலை ஆய்வுத் துறையிலும் மிகவும் பயன்படுகிறது.

25. ஓர் இலட்சிய வாயுவின் என்ட்ரப்பியில் ஏற்படும் மாறுதலைக் கணக்கிடல்

ஓர் அலகு நிறையுள்ள இலட்சிய வாயு $P_1 V_1 T_1$ நிலையிலிருந்து $P_2 V_2 T_2$ நிலைக்குச் செல்லும்பொழுது அதன் என்ட்ரப்பியில் ஏற்படும் மாறுதலைக் கவனிப்போம். வாயுவின் அழுத்தமாறு, பருமன் மாறு வெப்ப எண்கள் முறையே C_p, C_v என்போம் இடைநிலையில் அழுத்தம், பருமன், வெப்பநிலை ஆகியவை முறையே P, V, T என்று இருக்கும்பொழுது அதன் வெப்பநிலை dT அளவும், பருமன் dv அளவும் உயர்வதாகக் கொள்வோம். இந்தச் சிறு அளவு மாறுதலுக்குத் தேவைப்படும் வெப்பம் dQ ஆயின்,

$$dQ = C_v \, dT + \frac{P\,dv}{J}$$

எனவே, இந்த மாறுதலில் ஏற்படும் என்ட்ரப்பி உயர்வு =

$$dS = \frac{dQ}{T} = C_v \frac{dT}{T} + \frac{P\,dv}{TJ}$$

எனவே தொகுதி காணில், மொத்த என்ட்ரப்பி மாறுதல் =

$$(S_2 - S_1) = \int dS = \int \frac{dQ}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_v\, dT}{T} + \int_{V_1}^{V_2} \frac{P\,dv}{TJ} \qquad (1)$$

இப்பொழுது $\quad PV = RT \qquad (2)$

$$\therefore \; P = \frac{RT}{V}$$

எனவே, $$(S_2 - S_1) = \int_{T_1}^{T_2} C_v \frac{dT}{T} + \int_{V_1}^{V_2} \frac{R\,dv}{J\,v}$$

$$= C_v \log_e \left(\frac{T_2}{T_1}\right) + \frac{R}{J} \log_e \left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

ஆனல், $R/J = C_p - C_v$

எனவே, $(S_2 - S_1) = C_v \log_e \left(\frac{T_2}{T_1}\right) + (C_p - C_v) \log_e \left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

$$= 2{\cdot}302 \left[C_v \log_{10} \left(\frac{T_2}{T_1}\right) + (C_p - C_v) \log_{10} \left(\frac{V_2}{V_1}\right) \right] \quad (3)$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் வெப்பநிலை, பருமன் ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் மாத்திரம் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளன. மாற்ருக வெப்பநிலை, அழுத்தம் ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைக் கொண்டோ, அழுத்தம், பருமன் இவைகளைக் கொண்டோ என்ட்ரப்பியில் ஏற்படும் மாறுதலைக் கணக்கிடலாம். அவைகளுக்கான சமன்பாடுகளைக் கீழ்வருமாறு தருவிக்கலாம்.

(2)ஆவது சமன்பாட்டிலிருந்து $V = \frac{RT}{P}$; $Pdv + Vdp = RdT$

இந்த மதிப்புகளை 1ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$S_2 - S_1 = \int C_v \frac{dT}{T} + \int \frac{R\,dT - V\,dp}{JT} = \int C_v \frac{dT}{T} + \int \left(\frac{RdT - \frac{RT}{p} dp}{JT} \right)$$

$$= \int C_v \frac{dT}{T} + \int \frac{R}{J} \left[\frac{dT}{T} - \frac{dp}{P} \right]$$

$$= \int C_v \frac{dT}{T} + \int (C_p - C_v) \left[\frac{dT}{T} - \frac{dp}{P} \right]$$

$$= \int C_p \frac{dT}{T} - (C_p - C_v) \int \frac{dp}{P}$$

$$= C_p \log \frac{T_2}{T_1} - (C_p - C_v) \log \left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad \ldots (4)$$

மேலும் 2ஆவது சமன்பாட்டிலிருந்து $\frac{PV}{R} = T$; $\frac{Pdv + Vdp}{T} = dT$ எனக் கிடைக்கின்றன.

இந்த மதிப்புகளை (1)ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$S_2 - S_1 = \int C_v \frac{Pdv + Vdp}{RT} + \frac{Pdv}{JT}$$

$$= \int C_v \left(\frac{Pdv + Vdp}{PV} \right) + \int \frac{PdvR}{J\,PV})$$

$$= \int C_v\left(\frac{Pdv + Vdp}{PV} \right) + \int \frac{(cp - cv)\,Pdv}{PV}$$

$$= \int C_v \frac{VdP}{PV} + \int cp \frac{Pdv}{PV}$$

$$= C_v \, log \frac{P_2}{P_1} + C_p \, log \frac{V_2}{V_1} \quad \ldots \quad (5)$$

26. பனிக்கட்டி நீராவியாக மாறும்பொழுது என்ட்ரப்பியில் ஏற்படும் மாறுதலைக் கணக்கிடல்

ஓர் அலகு நிறையுள்ள பனிக்கட்டி அதன் உருகுநிலையான T_1-லிருந்து அதன் கொதிநிலையான T_2-க்கு எடுத்துச் செல்லப் பட்டு நீராவியாக மாற்றப்படுவதற்கான என்ட்ரப்பி மாறுதலைக் கணக்கிடுவோம். உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம் L_1 எனவும், ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் L_2 எனவும், நீரின் வெப்ப எண் s எனவும் கொள்வோம்.

பனிக்கட்டி உருகுதலின்போது ஏற்றமும் என்ட்ரப்பி

$$\text{உயர்வு} = \frac{L_1}{T_1}$$

நீரின் வெப்பநிலை T_1–லிருந்து T_2-க்கு உயரும்பொழுது என்ட்

$$\text{ரப்பியில் ஏற்படும் உயர்வு} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{Q}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{sdT}{T}$$

$$= s \, log_e \frac{T_2}{T_1}$$

$$= 2{\cdot}302 \, s \, log_{10}\left(\frac{T_1}{T_2} \right)$$

நீர் ஆவியாதலின் பொழுது ஏற்படும் என்ட்ரப்பி உயர்வு $= \dfrac{L_2}{T_2}$

எனவே, மொத்த என்ட்ரப்பி உயர்வு

$$= \frac{L_1}{T_1} + 2{\cdot}302 \, s \, log_{10}\left(\frac{T_2}{T_1} \right) + \frac{L_2}{T_2}$$

27. மேக்ஸ்வெல்லின் வெப்ப இயக்கச் சமன்பாடுகள் (Maxwell's Thermodynamic Relations)

வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டு விதிகளையும் கொண்டு மேக்ஸ் வெல் என்பவர் பொதுப்படையானதும், பல நிகழ்வுகளை விளக்கக் கூடியதுமான ஆறு இயக்கவியல் சமன்பாடுகளைத் தருவித்தார், இவற்றைக் கீழ்க்கண்டவாறு தருவிக்கலாம்:

ஒரு பொருளின் பருமன் p அழுத்தத்தில் dv அளவு மாறுகிறது எனில், அதனால் செய்யப்படும் வேலை pdv ஆகும். பொருளின் உள் ஆற்றல் dU அளவு அதிகமாகிறது என்றும், அது சுற்றுப்புறத்திலிருந்து dQ அளவு வெப்பத்தை ஏற்கிறது என்றும் கொள்வோமானால் வெப்ப இயக்கவியல் முதலாம் விதிப்படி

$$dQ = dU + pdv \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (1)$$

பொருளின் தனி வெப்பநிலை T என்றும், அந்த வெப்பநிலையில் பொருள் dQ வெப்பத்தை ஏற்கும்பொழுது அதன் என்ட்ரப்பி dS அளவு மாறுகிறது எனவும் கொள்வோமானால், வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதியிலிருந்து

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

அதாவது $dQ = TdS \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2)$

எனவே, (1), (2) சமன்பாடுகளிலிருந்து,

$$TdS = dU + pdv$$

அதாவது $dU = TdS - pdv \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3)$

இது வெப்ப இயக்கவியல் இரு விதிகளையும் இணைக்கும் சமன்பாடாகும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள பொருளை எடுத்துக்கொள்வோமானால், அதற்கு அழுத்தம் (p), பருமன் (v), வெப்பநிலை (T), என்ட்ரப்பி (S) என்ற நான்கு முக்கிய அளவுகள் இருக்கின்றன. இவற்றில் எந்த இரு அளவுகள் தெரிந்தாலும் மற்றவைகளைக் கணக்கிட்டுக்கொள்ள முடியும். அதாவது இவற்றில் எந்த இரு அளவுகளும் தனிப்பட்ட முறையில் மாறலாம் என்றும், மற்றவை அவற்றைச் சார்ந்து மாறும் எனவும் கொள்ளலாம். இவ்வாறு தனிப்பட்ட முறையில் மாறும் அளவுகள் சார்பற்ற மாறிகள் (independent variables) எனப்படுகின்றன. அவற்றைச் சார்ந்து மாறும் அளவுகள் சார்ந்த மாறிகள் (dependent variables) எனப்படுகின்றன. எந்த இரு அளவுகளும் சார்பற்ற மாறிகளாகக் கருதப்படலாம். ஆகையால், அவற்றைப் பொதுப்படையாக x, y என்று குறிப்பிடுவோம். x, y அளவுகள் சிறிது மாறும்பொழுது, v, S ஆகியவற்றின் மதிப்பும், உள் ஆற்றலின் மதிப்பும் U மாறுபடும். இந்த மாறுபாடுகளுக்கிடையே உள்ள தொடர்புகளைக் கீழ்க் கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்:

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)_y dx + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)_x dy$$

$$dv = \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_y dx + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)_x dy$$

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)_y dx + \left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)_x dy$$

இவற்றை (3)-ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்யும்பொழுது,

$$\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)_y dx + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)_x dy = T\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)_y dx$$

$$+ T\left(\frac{\partial S}{dy}\right)_x dy - p\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_y dx - p\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)_x dy$$

$$= \left[T\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)_y - p\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_y\right] dx + \left[T\left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)_x - p\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)_x\right] dy$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் dx, dy இவற்றின் குணகங்களை ஒப்பிடும் பொழுது,

$$\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)_y = T\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)_y - p\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_y \quad \ldots \quad (4)$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)_x = T\left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)_x - p\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)_x \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

இங்கு dU, dv, dS ஆகியவை **நிறை வகையீடுகள்** (Perfect differentials) ஆகும். அதாவது இவற்றின் மதிப்புத் தொடக்க இறுதி நிலைகளைப் பொறுத்ததே அன்றி எந்த முறையில் மாறுபாடு ஏற்பட்டது என்பதைப் பொறுத்து இருப்பதில்லை. காட்டாக T, v ஆகியவை குறிப்பிட்ட அளவு மாறும்பொழுது U-ல் ஏற்படும் மாறுதல் T முதலில் மாறிப் பின் v மாறுகிறதா அல்லது v முதலில் மாறிப் பின் T மாறுகிறதா என்பதைப் பொறுத்து இருப்பதில்லை. இவ்வாறு dU நிறை வகையீடாக இருக்கும்பொழுது,

$$\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)$$

அதாவது $\dfrac{\partial^2 U}{\partial y\,\partial x} = \dfrac{\partial^2 U}{\partial x\,\partial y}$ ... ... 6 (i)

இவ்வாறே $\dfrac{\partial^2 S}{\partial y\,\partial x} = \dfrac{\partial^2 S}{\partial x\,\partial y}$ ... ... 6 (ii)

$\dfrac{\partial^2 v}{\partial y\,\partial x} = \dfrac{\partial^2 v}{\partial x\,\partial y}$ ... ... 6 (iii)

இப்பொழுது (4)ஆவது சமன்பாடு y ஐப் பொறுத்துப் பகுக்கப் படுமானல்,

$$\frac{\partial^2 U}{\partial y\,\partial x} = T\frac{\partial^2 S}{\partial y\,\partial x} + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_x \left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)_y - p\frac{\partial^2 v}{\partial y\,\partial x} - \left(\frac{\partial p}{\partial y}\right)_x \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_y \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

இவ்வாறே (5)ஆவது சமன்பாடு x ஐப் பொறுத்துப் பகுக்கப் படும்பொழுது,

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x\,\partial y} = T\frac{\partial^2 S}{\partial x\,\partial y} + \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_y \left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)_x - p\frac{\partial^2 v}{\partial x\,\partial y} - \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)_y \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)_x \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

சமன்பாடுகள் 6 (i) (ii) (iii) இவற்றைச் சமன்பாடுகள் 7, 8-ல் பதிலீடு செய்வோமானல்,

$$\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_x \left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)_y - \left(\frac{\partial p}{\partial y}\right)_x \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_y = \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_y \left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)_x = \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)_y \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)_x$$

அதாவது,

$$\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_x \left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)_y - \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_y \left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)_x = \left(\frac{\partial p}{\partial y}\right)_x \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)_y - \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)_y \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)_x \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

இந்த அடிப்படைச் சமன்பாட்டில் x, y என்பதற்குப் பதிலாக T, v, p, S ஆகியவற்றிலிருந்து எந்த இரு மாறிகளேயும் பதிலீடு செய்யலாம். இவ்வாறு செய்து பெறப்படும் சமன்பாடுகள் மேக்ஸ் வெல் வெப்ப இயக்கச் சமன்பாடுகள் எனப்படுகின்றன.

முதல் வெப்ப இயக்கச் சமன்பாடு :

$x = T, \qquad y = v$ என்க.

$$\therefore \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 1 \qquad \frac{\partial v}{\partial y} = 1.$$

மேலும் $T\ v$ என்பவை இங்குச் சார்பற்ற மாறிகளாதல்,

$$\frac{\partial T}{\partial v} = \frac{\partial T}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial T} = \frac{\partial v}{\partial x} = 0$$

இந்த மதிப்புகளை 9-ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால்,

$$-\left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T = -\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$$

அதாவது, $\left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T = -\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v.$

இரு பக்கங்களையும் Tஆல் பெருக்குவோமானால்,

$$T\left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T = T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$$

அதாவது,

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial v}\right)_T = T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v \qquad \ldots \quad (I)$$

இரண்டாவது வெப்ப இயக்கச் சமன்பாடு :

$x = T, \qquad y = p$ என்க.

$$\frac{\partial T}{\partial p} = 1. \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 1$$

மேலும் T, p என்பவை, சார்பற்ற மாறிகளாதலால்,

$$\frac{\partial T}{\partial p} = \frac{\partial T}{\partial y} = 0.$$

$$\frac{\partial p}{\partial T} = \frac{\partial p}{\partial x} = O.$$

இந்த மதிப்புகளை 9-ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமானால்,

$$-\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$$

எனவே,

$$T\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$$

அதாவது,

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial p}\right)_T = -T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \qquad \ldots \text{(II)}$$

மூன்ருவது வெப்ப இயக்கச் சமன்பாடு :

$x = S, \qquad y = v$ என்க.

$$\therefore \quad \frac{\partial S}{\partial x} = 1 \qquad \frac{\partial v}{\partial y} = 1$$

ஆனுல் S, v என்பவை சார்பற்ற மாறிகள் ஆகையால்,

$$\frac{\partial S}{\partial v} = \frac{\partial S}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial S} = \frac{\partial v}{\partial x} = 0.$$

இந்த மதிப்புகளை 9ஆம் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்யும்பொழுது,

$$\left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_S = -\left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)_v$$

எனவே,

$$\left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_S = -\left(\frac{T\partial P}{T\partial S}\right)_v$$

அதாவது,

$$\left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_S = -T\left(\frac{\partial P}{\partial Q}\right)_v \qquad \ldots \text{(III)}$$

நான்காவது வெப்ப இயக்கச் சமன்பாடு :

$x = S, \qquad y = p$ என்க.

முன்போலவே

$$\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right) = 1; \quad \left(\frac{\partial p}{\partial y}\right) = 1.$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial y}\right) = 0; \quad \left(\frac{\partial p}{\partial x}\right) = 0.$$

இந்த மதிப்புகளை 9 ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்யும் பொழுது,

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_S = \left(\frac{\partial v}{\partial S}\right)_p$$

அதாவது $\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_S = T\left(\frac{\partial v}{\partial Q}\right)_p$ ... (IV)

ஐந்தாவது வெப்ப இயக்கச் சமன்பாடு :

$x = p$ $y, = v$ என்க.

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 1, \quad \frac{\partial v}{\partial y} = 1, \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial x} = 0.$$

இவற்றை 9 ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால்,

$$\left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_p \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_v - \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_v \left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_p = -1.$$

அதாவது $\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_v \left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_p - \left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_p \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_v$

$= 1$ ... ... (V)

ஆறாவது வெப்ப இயக்கச் சமன்பாடு :

$x = T$ $y = S$ என்க.

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 1, \quad \frac{\partial S}{\partial y} = 1, \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial x} = 0.$$

இவற்றை 9 ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால்,

$$-1 = \left(\frac{\partial p}{\partial S}\right)_T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_S - \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_S \left(\frac{\partial v}{\partial S}\right)_T$$

அதாவது $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_S \left(\frac{\partial v}{\partial S}\right)_T - \left(\frac{\partial p}{\partial S}\right)_T \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_S = 1$

... ... (VI)

மேலே தருவிக்கப்பட்டுள்ள ஆறு வெப்ப இயக்கச் சமன்பாடுகளில் முதல் நான்கும் மிகவும் பயன்படுபவை ஆகும்.

28. வெப்ப இயக்கச் சமன்பாடுகளின் பயன்கள் (Applications of Thermodynamic Relations)

(1) கிளாஸியஸ் கிளாபெய்ரான் சமன்பாடு (முதலாவது உள்ளுறை வெப்பச் சமன்பாடு)

மேக்ஸ்வெல்லின் முதலாவது வெப்ப இயக்கச் சமன்பாட்டிலிருந்து

$$\left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$$

அதாவது $T \left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T = T \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$

$$\therefore \left(\frac{\partial Q}{\partial v}\right)_T = T \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$$

இந்தச் சமன்பாட்டின் இடப்பக்கமுள்ள கோவைக் குறிப்பது என்னவென்றால், வெப்பநிலை மாறாத பொழுது பொருள் வெப்பத்தை எடுத்துக்கொள்கிறது என்பதாகும். இது உருகுதல் அல்லது ஆவியாதல் என்ற நிலை மாற்ற நிகழ்ச்சியைக் குறிப்பதாகும்.

ஓர் அலகு நிறையுள்ள பொருளைப்பற்றி கவனிக்கையில், L என்பது உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம் அல்லது ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் என்றும், J என்பது வெப்பத்தின் எந்திர ஆற்றல் இணைமாற்று என்றும் கொள்வோமானால்,

$$dQ = LJ.$$

மேலும் v_1, v_2 என்பவை முறையே முதல் நிலையிலும் இரண்டாவது நிலையிலும் ஓரலகு நிறையின் பருமன் எனக் கொள்வோமானால்,

$$dv = v_2 - v_1$$

எனவே $\dfrac{LJ}{v_2 - v_1} = T\dfrac{dp}{dT}$

$$\therefore \ dT = \frac{Tdp\,(v_2 - v_1)}{LJ}.$$

இது அழுத்த மாறுபாட்டால் உருகுநிலை அல்லது கொதிநிலையில் ஏற்படும் மாறுதலைக் கணிக்க உதவக் கூடியது.

(2) வெப்ப எண் சமன்பாடு (Specific heat Equation)

C_p என்பது அழுத்தமாறா வெப்ப எண் எனில்,

$$C_p = \left(\frac{dQ}{pT}\right)_p$$

$$= T\left(\frac{dS}{dT}\right)_p \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (1)$$

அழுத்தம் மாறாத நிலையானதால், dS என்பது v, T இவற்றைப் பொறுத்து மாறக் கூடியது.

எனவே,

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T dv + \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_v dT$$

$$\therefore \left(\frac{dS}{dT}\right)_p = \left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T \left(\frac{\partial v}{dT}\right)_p + \left(\frac{\partial S}{dT}\right)_v$$

இதை (1)ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால்,

$$C_p = T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p + T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_v \quad \dots \quad \dots \quad (2)$$

இதில் $T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_v$ என்பது பருமமாறா வெப்ப எண்ணைக் (C_v) குறிக்கிறது.

$$\therefore C_p = C_v + T\left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \quad \dots \quad \dots \quad (3)$$

மேக்ஸ்வெல்லின் முதலாவது வெப்ப இயக்கச் சமன்பாட்டின்படி,

$$\left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$$

இதனை (3)ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால்,

$$C_p = C_v + T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \quad \dots \quad \dots \quad (4)$$

இப்பொழுது p என்பது vT ஆகியவற்றைச் சார்ந்தது.

அதாவது $p = f(v, T)$.

எனவே, $dp = \left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T dv + \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v dT$

$$\therefore \quad \left(\frac{dp}{dT}\right)_v = \left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P + \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$$

அழுத்த மாறா நிலையில் $dp = 0$.

$$\therefore \quad \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v = -\left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P$$

இதனை (4)ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால்,

$$C_p = C_v - T \left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

ஆனால் E என்பது பரும மீட்சிக் குணகம் (Modulus of volume elasticity) எனவும், $\propto$ என்பது பருமப் பெருக்க எண் (volume coefficient) என வும் கொள்வோமானால்,

$$E = -\frac{v\partial p}{\partial v}$$

$$\propto = \frac{1}{v}\frac{\partial v}{\partial T}.$$

எனவே,

$$\frac{\partial p}{\partial v} = -\frac{E}{v}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \propto v$$

இந்த மதிப்புகளை (5)ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமானால்,

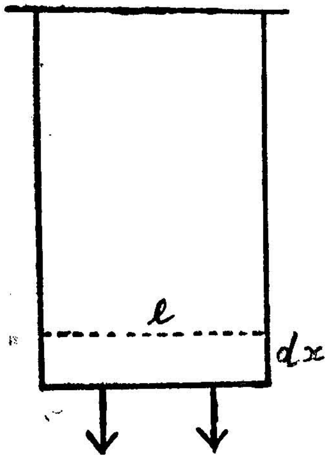
$$C_p - Cv + T\left(\frac{E}{v}\right)(\propto v)^2$$

$$= Cv + TE\propto^2 v$$

(3) திரவ மென்படலம் (Liquid film)

ஒரு திரவ மென்படலத்தைப் படத்தில் காட்டியதுபோல் இழுத்து விரிவாக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். திரவத்தின் பரப்பு

இழு விசை σ எனவும், மென்படலத்தின் நீளம் l எனவும், அது இழுக்கப்பட்ட தொலைவு dx எனவும் கொள்வோமானால்,



படம் 125.

$$\left.\begin{array}{r}\text{மென்படலத்தின் மேல்}\\ \text{செய்யப்பட்ட வேலை}\end{array}\right\} = 2\sigma\, l dx$$

$$= 2\sigma\, dA.$$

இங்கு dA என்பது பரப்பளவில் ஏற்பட்ட அதிகரிப்பு.

$$\left.\begin{array}{r}\text{எனவே மென்படலத்தால்}\\ \text{செய்யப்பட்ட வேலை}\end{array}\right\} = -\,2\sigma\, dA$$

பொதுவாகப் பொருளால் செய்யப்படும் வேலையை pdv என்பதால் குறிப்பிடுகிறோம். எனவே, மென்படலத்தைப் பொறுத்து p என்பதற்குப் பதிலாக $-\,2\sigma$ என்பதையும், dv என்பதற்குப் பதிலாக dA என்பதையும் பயன்படுத்தவேண்டும் என்று புலப்படும்.

இப்பொழுது மேக்ஸ்வெல்லின் முதலாவது வெப்ப இயக்கச் சமன்பாட்டின்படி,

$$\left(\frac{dQ}{dv}\right)_T = T\left(\frac{dp}{dT}\right)_v$$

இதில் $p = -\,2\sigma$, $dv = dA$ எனில்,

$$\left(\frac{dQ}{dA}\right)_T = -\,T\left(\frac{2d\sigma}{dT}\right)_A$$

$$\therefore \quad dQ = -2T\left(\frac{d\sigma}{dT}\right)dA.$$

ஒரு திரவத்தின் வெப்பநிலை உயரும்பொழுது அதன் பரப்பு இழுவிசை குறைகிறது. எனவே $\frac{d\sigma}{dT}$ எதிர்க் குறியுயையுடையது எனவே, dQ நேர்க்குறியை உடைத்ததாகும். இதன் விளக்கம் யாதெனில் ஒரு திரவ மென்படலம் இழுத்து விரிவாக்கப்படும் பொழுது அதன் வெப்பநிலை மாருதிருக்க வேண்டுமானல், அதற்கு வெப்பம் கொடுக்கப்படவேண்டும். எனவே, வெப்பப் பரிமாற்ற மில்லா நிலையில் திரவ மென்படலம் விரிவாக்கப்படுமானல், அது dT அளவு வெப்ப நிலையில் குளிர்வடைவதன் மூலம் வேண்டிய வெப்பத்தை ஈடு செய்து கொள்ளும். இப்பொழுது திரவத்தின் வெப்ப எண் s எனவும், திரவத்தின் நிறை m எனவும் கொள்ளப்படு மாறல்,

$$dQ = ms\,dT = -2T\left(\frac{d\sigma}{dT}\right)dA$$

$$\therefore \quad dT = -\frac{2T}{ms}\left(\frac{d\sigma}{dT}\right)dA.$$

(4) ஜூல்-கெல்வின் விளைவு (Joule Kelvin effect)

ஒரு வாயு துவாரத்தின் வழியே சென்று விரிவடைவதால் ஏற்படும் வெப்பநிலை வேறுபாட்டை ஜூல்-கெல்வின் விளைவு என் கிரேம். இச் சோதனையில் வாயுவின் உள்ளார்ந்த ஆற்றல். அதன் மேல் செய்யப்படும் வேலை அல்லது அதனல் செய்யப்படும் வேலை இவற்றின் கூட்டுத் தொகை மாறிலியாக அமைகிறது. இந்தக் கூட்டுத் தொகையை **எந்தால்பி** (enthalpy) என்ற சொல்லால் குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

ஓரலகு நிறையுள்ள பொருளின் உள்ளார்ந்த ஆற்றல் U என்றும் p அழுத்தத்தில் அதன் பருமன் v எனவும் கொள்வோ மானல், இச் சோதனையில் அடிப்படைத் தத்துவம்

$$U + pv = \text{மாறிலி}$$

என்பதால் குறிக்கப்படும்.

இந்தச் சமன்பாட்டைப் பகுக்கும் பொழுது,

$$dU + pdv + vdp = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

ஆனல், $dU + pdv = dQ = Tds$

இதை (1)-ல் பதிலீடு செய்யும்பொழுது,

$$Tds + vdp = 0. \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2)$$

இங்கு T, p என்பவற்றைச் சார்பற்ற மாறிகள் (independent variables) எனக் கொள்ளுவோமானால், பகுதி வகைக்கெழு முறையில் (by partial differentiation)

$$ds = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T dp$$

இதனை (2) ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால்

$$T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T dp + vdp = 0 \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3)$$

இதில் $T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_P = C_p$ = அழுத்தமாரு வெப்ப எண். ... ... (4)

மேக்ஸ்வெல்லின் இரண்டாவது வெப்ப இயக்கச் சமன்பாட்டின்படி

$$T\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (5)$$

(4), (5)-ல் உள்ள மதிப்புகளை (3)-ல் பதிலீடு செய்வதனால்,

$$C_p\, dT - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P dp + vdp = 0$$

$$\therefore \quad C_p\, dT = \left[T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P - v \right] dp$$

$$\therefore \quad \frac{dT}{dp} = \frac{1}{C_p}\left[T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P - v \right] \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6)$$

இந்த $\left(\frac{dT}{dp}\right)$-ன் மதிப்பு பகு-ஜூல்-கெல்வின் விளைவு (differential Joule-Kelvin effect) எனப்படுகிறது. இது $U+pv=H$ எந்தால்பி, மாருத நிலையில் ஏற்படுவதால் இதை $\left(\frac{dT}{dp}\right)_H$ என்று குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

நல்லியல்புள்ள வாயுவிற்கு (for a perfect gas)

$$pv = RT$$

v T இவற்றைப் பொறுத்துப் பகுக்கும்பொழுது,

$$p\partial v = R\partial T$$

$$\therefore \quad \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right) = \frac{R}{P}$$

$$\therefore \quad T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right) = \frac{RT}{P} = \frac{Pv}{P} = v$$

இந்த மதிப்பை (6)-ல் பதிலீடு செய்யும்பொழுது,

$$\left(\frac{dT}{dp}\right)_H = \frac{1}{C_p}(v - v) = 0.$$

எனவே நல்லியல்புள்ள வாயுவிற்கு ஜுல்-கெல்வின் விளைவு சுழியாகும். வாயு வான்-டெர்-வால்ஸ் சமன்பாட்டிற்குட்படுகிறது. எனில்,

$$p + \frac{a}{v^2} = \frac{RT}{v-b}$$

v, T இவற்றைப் பொறுத்து இதனைப் பகுக்கும் பொழுது,

$$-\frac{2a}{v^3}dv = \frac{R}{v-b}\,dT - \frac{RT}{(v-b)^2}\,dv$$

$$\therefore \left[\frac{RT}{(v-b)^2} - \frac{2a}{v^3}\right] dv = \frac{RdT}{v-b}$$

$$\therefore \left(\frac{dv}{dT}\right)_v = \frac{R}{(v-b)\left\{\frac{RT}{(v-b)^2} - \frac{2a}{v^3}\right\}}$$

$$= \frac{R}{\frac{RT}{(v-b)} - \frac{2a\,(v-b)}{v^3}}$$

$$= \frac{R\,v^3\,(v-d)}{RTv^3 - 2a\,(v-b)^2}$$

எனவே $$T\left(\frac{dv}{dT}\right)_P = \frac{RTv^3\,(v-b)}{\kappa Tv^3 - 2a\,(v-b)^2}$$

$$\therefore \quad T\left(\frac{dv}{dT}\right)_P - v = \frac{RTv^3(v-b) - v\left[RTv^3 - 2a(v-b)^2\right]}{RTv^3 - 2a(v-b)^2}$$

$$= \frac{RTv^4 - RTv^3 b - RTv^4 + 2av(v-b)^2}{RTv^3 - 2a(v-b)^2}$$

$$= \frac{2av(v-b)^2 - RTv^3 b}{RTv^3 - 2a(v-b)^2}$$

இதனை 6-ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்யும்பொழுது,

$$\left(\frac{dT}{dp}\right)_H = \frac{1}{C_p}\left\{\frac{2av(v-b)^2 - RTv^3 b}{RTv^3 - 2a(v-b)^2}\right\} \quad \cdots \quad (7)$$

RTv^3 உடன் ஒப்பிடும் பொழுது $2a(v-b)^2$ தோராயமாகப் புறக்கணிக்கப்படலாம் என்றும், $2av(v-b)^2 \approx 2av^3$ எனவும் கொள்வோமானல், (7)-லிருந்து

$$\left(\frac{dT}{dp}\right)_H = \frac{1}{C_p}\left\{\frac{2av^3}{RTv^3} - \frac{RTv^3 b}{RTv^3}\right\}$$

$$= \frac{1}{C_p}\left(\frac{2a}{RT} - b\right)$$

எனவே $\frac{2a}{RT} > b$ என்ற நிலையில், அதாவது $T < \frac{2a}{Rb}$ என்ற நிலையில் $\frac{dT}{dp}$ நேர்க்குறியுடையதாக இருந்து அழுத்தக் குறைவின் போது வெப்பநிலைக் குறைவை ஏற்படுத்தும். ஆனல் $\frac{2a}{RT} < b$ என்ற நிலையில், அதாவது $T > \frac{2a}{Rb}$ என்ற நிலையில். $\frac{dT}{dp}$ எதிர்க்குறியுடையதாக இருந்து அழுத்தக் குறைவின் பொழுது வெப்பநிலை உயர்வை ஏற்படுத்தும்.

$T = \frac{2a}{Rb}$ என்பது புரட்டு வெப்பநிலையைக் (Temperature of inversion) குறிக்கும்.

ஜூல்-கெல்வின் விளைவிற்கான உள் இயக்கவாதம் (Inner mechanism of Joule-Kelvin effect)

மேலே (6) ஆவது சமன்பாட்டில் காட்டியபடி

$$\left(\frac{dT}{dp}\right)_H = \frac{1}{Cp}\left[T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right) - v\right] \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

இப்பொழுது மேக்ஸ்வெல்லின் இரண்டாவது சமன்பாட்டின்படி.

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P = -\left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T$$

$$\therefore \quad T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P = -\left(\frac{T\,\partial s}{\partial p}\right)_T$$

$T\partial s = \partial U + p\partial v$ என்பதனுல்,

$$T\left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T = \left(\frac{\partial U}{\partial p}\right)_T + p\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T$$

எனவே, $T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p = -\left(\frac{\partial U}{\partial p}\right)_T - p\left(\frac{dv}{\partial p}\right)_T$

இந்த மதிப்பை (6)-ல் பதிலீடு செய்தால்,

$$\left(\frac{dT}{dp}\right)_H = \frac{1}{Cp}\left[-\left(\frac{\partial U}{\partial p}\right)_T - p\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T - v\right]$$

$$= \frac{1}{C_p}\left[-\left(\frac{\partial u}{\partial p}\right)_T - \frac{\partial}{\partial p}(pv)\right]$$

இதில் $\left(\frac{\partial u}{\partial p}\right)$ என்பது ஜூல் விதியிலிருந்து (அதாவது மாரு வெப்ப நிலையில் உள்ளார்ந்த ஆற்றல், அழுத்தம் அல்லது பருமனைச் சார்ந்ததில்லை என்ற விதியிலிருந்து) மாறுபடுதலையும், $\frac{\partial (pv)}{\partial p}$ என்பது பாயிலின் விதியிலிருந்து மாறுபடுதலையும் குறிக்கின்றன.

(5) கிளாஸியஸ் சமன்பாடு (இரண்டாவது உள்ளுறை வெப்பச் சமன்பாடு)

ஓரலகு நிறையுள்ள பொருள் T வெப்பநிலையில் இருக்கையில், திரவ நிலையிலிருந்து ஆவி நிலைக்கு மாற்றப்படுவதாகக் கொள்வோம். இதற்குத் தேவைப்படும் உள்ளுறை வெப்பம் L என்றும் திரவ நிலையில் அதனுடைய என்ட்ரப்பி S_1 என்றும், ஆவி நிலையில் அதனுடைய என்ட்ரப்பி S_2 என்றும் கொள்வோமானுல்,

$$S_2 - S_1 = \frac{L}{T} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

T ஐப் பொறுத்து இந்தச் சமன்பாட்டைப் பகுக்கும்பொழுது,

$$\frac{\partial S_2}{\partial T} - \frac{\partial S_1}{\partial T} = \frac{dL}{T\,dT} - \frac{L}{T^2}$$

$$\therefore \quad T\frac{\partial S_2}{\partial T} - T\frac{\partial S_1}{\partial T} = \frac{\partial L}{\partial T} - \frac{L}{T}.$$

இங்கு $T\frac{\partial S_2}{\partial T} = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_2 = C_2 =$ ஆவியின் வெப்ப எண்.

$T\frac{\partial S_1}{\partial T} = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_1 = C_1 =$ திரவத்தின் வெப்ப எண்.

எனவே $C_2 - C_1 = \frac{\partial L}{\partial T} - \frac{L}{T}$.

இதுவே கிளாஸியஸ் சமன்பாடு ஆகும்.

(6) ஸ்டீஃபன் போல்ட்ஸ்மான் கதிர்வீச்சு விதி (Stefan Boltzmann law of radiation)

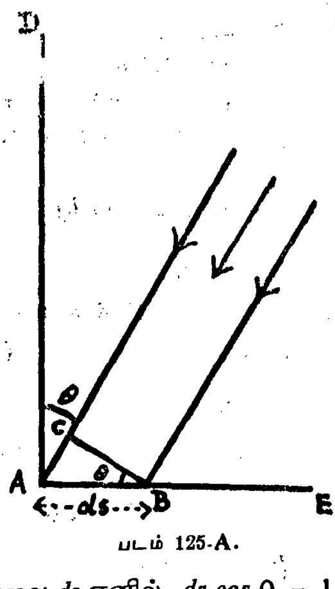
இவ்விதியைத் தருவிப்பதற்கு முன் வீசு வெப்பம் ஒளியைப் போல் அழுத்தத்தைத் தோற்றுவிக்கிறது என்றும், வீசு வெப்பம் ஒரு பரப்பின் மேல் நேர்குத்தாக விழும்பொழுது பரப்பின்மேல் செயற்படுத்தப்படும் அழுத்தம் எண் மதிப்பில் வீசு வெப்பத்தின் ஆற்றல் செறிவுக்குச் சமம் என்றும் காட்டலாம். ஏனெனில், ஆற்றல் செறிவு அதாவது ஓரலகு பருமனில் உள்ள ஆற்றல் ρ எனில், ஐன்ஸ்டைன் கோட்பாட்டுப்படி இது, $\frac{\rho}{C^2}$ நிறையைக் (இங்கு C என்பது ஒளியின் திசை வேகம்) கொண்டதாகவும், $\frac{\rho}{C}$ உந்தத்தைக் கொண்டதாகவும் பாவிக்கப்படலாம்.

ஓரலகு பரப்பின்மேல் நேர்குத்தாகப்படும் வீசு வெப்பத்தைக் கவனிக்கும்பொழுது, ஒவ்வொரு விநாடியும் C பருமனில் உள்ள வெப்பம், பரப்பின்மேல் படும் என்பது தெளிவு. எனவே, ஓரலகு பரப்பிற்கு ஒவ்வொரு விநாடியும் கிடைக்கும் உந்தம் $= \frac{\rho}{C} \times C = \rho$ இது அழுத்தத்திற்குச் சமமாகும். வீசு வெப்பம் பரப்பால் உட்கவரப்படாமல் எதிரொலிக்கப்படும் நிலையிலும் இது பொருந்தும். ஏனெனில் இந்த நிலையில் $\frac{\rho}{2}$ செறிவு படும் கதிர்

களாலும், $\frac{\rho}{2}$ செறிவு எதிரொலிக்கப்பட்ட கதிர்களாலும் ஆனது எனக் கொள்ளலாம். படும் கதிராலும், எதிரொலிக்கப்பட்ட கதிராலும் சேர்ந்து ஓரலகு பரப்புக்கு ஏற்படும் உந்த மாறுபாடு வீதம் $= \frac{\rho}{2C} \times C + \frac{\rho}{2C} \times C = \frac{\rho}{2} + \frac{\rho}{2} = \rho$.

வீசுவெப்பம் பரப்பின்மேல் நேர்குத்தாகப்படாமல் எல்லாத் திசைகளிலும் படுகிறது எனில், பரப்பின்மேல் ஏற்படும் அழுத்தம் ஆற்றல் செறிவின் மூன்றில் ஒரு பங்குக்குச் சமம் என்று காட்டலாம்.

மொத்த ஆற்றல் செறிவு ψ எனவும், இது N கதிர்களால் ஆனது எனவும் கொள்வோமானல், ஒவ்வொரு கதிரிலும் உள்ள ஆற்றல் செறிவு $= \frac{\psi}{N} = \rho$ என்க. ஒரு கதிரின் குறுக்குப் பரப்பு ஓரலகு என்றும், இது AB என்ற பரப்பின்மீது θ கோணத்தில் விழுகிறது எனவும் கொள்வோம்.



படம் 125-A.

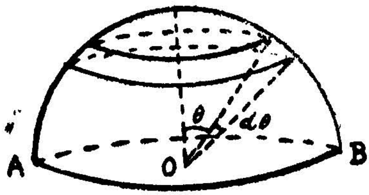
AB-ன் பரப்பளவு ds எனில், $ds \cos\theta = 1$.

AB பரப்பின் மீது கதிரின் திசையில் ஏற்படும் உந்தப்பாடு மாறும் வீதம் $=$ விசை $= \rho$. எனவே AB-ன் ஓரலகுப் பரப்பின் கதிரின் திசையில் ஏற்படும் விசை $= \frac{\rho}{ds} = \rho\cos\theta$. இந்த விசையை AB

பரப்புக்கு நேர்குத்தாகப் பிரிக்கும் பொழுது *AB*-ன் மேல் ஏற்படும் அழுத்தம் $= (\rho \cos\theta)\cos\theta = \rho \cos^2\theta$.

AB-ல் உள்ள O என்ற புள்ளியை மையமாகவும், *r* என்பதை ஆரமாகவும் கொண்டு ஓர் அரைக் கோளம் வரைவதாகப் பாவிப் போமானல், இந்த அரைக் கோளத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட பரப்பு வழியாக O மேல் படும் கதிர்களின் எண்ணிக்கை பரப்புக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும் எனக் கொள்ளலாம். கதிர்களின் மொத்த எண்ணிக்கை *N* எனக் கொண்டதால், அரைக் கோளத்தின் ஓரலகுப் பரப்பு வழியாக O-க்கு வரும் கதிர்களின் எண்ணிக்கை

$$= \frac{N}{2\pi r^2}$$



படம் 125-B.

எனவே, θ முதல் $(\theta + d\theta)$ கோணம் வரை சாய்ந்தவாறு O புள்ளிக்கு வரக்கூடிய கதிர்களின் எண்ணிக்கை.

$$= \frac{N}{2\pi r^2}(2\pi r \sin\theta)\, r d\theta$$

$$= N \sin\theta\, d\theta.$$

இவ்வாறன கதிர் ஒவ்வொன்றுலும் *AB*-க்கு ஏற்படும்

$$\text{அழுத்தம்} = \rho \cos^2\theta$$

எனவே, இந்தக் கதிர்கள் எல்லாவற்றுலும் *AB*-க்கு

$$\text{ஏற்படும் அழுத்தம்} = N\rho \cos^2\theta \sin\theta\, d\theta$$

$$= N \frac{\psi}{N} \cos^2\theta \sin\theta\, d\theta$$

$$= \psi \cos^2\theta \sin\theta\, d\theta$$

எல்லாக் கோணங்களிலும் விழும் கதிர்களால் *AB*-க்கு ஏற்படும்

$$\text{அழுத்தம்} = \psi \int_0^{\pi/2} \cos^2\theta \sin\theta\, d\theta$$

$$= \psi \int_0^{\pi/2} - \cos^2\theta d(\cos\theta)$$

$$= \frac{\psi}{3} [\cos^3 \theta]^0_{\pi/2}$$

$$= \frac{\psi}{3}$$

இவ்வாறு வீசுவெப்பம் அழுத்தத்தை உண்டாக்குவதாலும், உள் ஆற்றலைக் கொண்டிருப்பதாலும், ஒரு வாயுவைப் போல் செயல்படுகிறது. எனவே வெப்ப இயக்கவியல் விதிகளை இதற்கும் பொருத்தலாம். T தனி வெப்பநிலையில் உள்ளதும், முழுவதும் எதிரொளிக்கக் கூடிய சுவர்களைக் கொண்டதுமான கொள்கலம் ஒன்றில் ψ செறிவுள்ள வீசுவெப்பம் உள்ளது எனக் கொள்வோம். இதனல் செயற்படுத்தப்படும் அழுத்தம் $= p = \frac{\psi}{3}$.

கொள்கலத்தின் பருமன் ψ எனில், வீசு வெப்பத்தின் மொத்த உள் ஆற்றல் $= U = \psi v$ ... ... (1)

xஐப் பொறுத்து இதனைப் பகுத்தால்,

$$dU = \psi dv$$

அல்லது $\frac{dU}{dv} = \psi$ ... ... (2)

இப்பொழுது வீசுவெப்பத்திற்குச் சுற்றுப்புறத்திலிருந்து dQ அளவு வெப்பம் கிடைக்கிறது என்றும், கொள்கலத்தின் பருமன் dv அளவு மாற்றப்படுவதன்மூலம் அதன் வெப்பநிலை மாருமல் வைக்கப் படுகிறது எனவும் கொள்வோம்.

வெப்ப இயக்கவியல் முதல் விதிப்படி

$$dQ = dU + pdv$$

vஐப் பொறுத்து இதனைப் பகுக்கும்பொழுது,

$$\left(\frac{dQ}{dv}\right)_T = \left(\frac{dU}{dv}\right)_T + p$$

$$= \psi + \frac{\psi}{3}$$

$$= \frac{4}{3}\psi \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (3)$$

ஆனால் $dQ = Tds$

$$\therefore \left(\frac{dQ}{dv}\right)_T = T \left(\frac{ds}{dv}\right)_T$$

மேக்ஸ்வெல்லின் முதல் சமன்பாட்டின்படி

$$T\left(\frac{\partial s}{dv}\right)_T = T \left(\frac{dp}{dT}\right)_v$$

$$\therefore \left(\frac{dQ}{dv}\right)_T = T\left(\frac{dp}{dT}\right)_v$$

ஆனால் $p = \frac{\psi}{3}$ என்பதால்,

$$\left(\frac{dQ}{dv}\right)_T = T \frac{d}{dT} \left(\frac{\psi}{3}\right)$$

$$= \frac{T}{3} \frac{d\psi}{dT}.$$

இந்த மதிப்பை (3)ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமானால்,

$$\frac{T}{3} \frac{p\psi}{pT} = \frac{4}{3}\psi$$

$$\therefore \frac{d\psi}{\psi} = 4 \frac{dT}{T}$$

இதற்குத் தொகுநி காணில்,

$$\log \psi = 4 \log T + \text{மாறிலி}$$

அதாவது $\log \psi - 4 \log T = \text{மாறிலி}$

$$\therefore \log \psi - \log T^4 = \text{மாறிலி}$$

அதாவது $\log \frac{\psi}{T^4}$ = மாறிலி

எனவே, $\frac{\psi}{T^4}$ = வேறு ஒரு மாறிலி $= K$ என்க.

$\therefore \quad \psi = KT^4$.

ஒரு கரும்பொருளின் ஓரலகு பரப்பிலிருந்து ஒரு வினாடியில் கொடுக்கப்படும் வீசுவெப்பம் அதன் ஆற்றல் செறிவுக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். எனவே ஓரலகு பரப்பிலிருந்து ஒரு வினாடியில் கொடுக்கப்படும் வீசுவெப்பம் E எனில்,

$$E = \sigma T^4$$

இங்கு σ ஸ்டீபன் மாறிலி எனப்படுகிறது.

29. வெப்ப இயக்கவியலின் மூன்றாவது விதி (Third Law of Thermodynamics)

சோதனைகளிலிருந்து நெர்ன்ஸ்ட் (Nernst) என்பவர் கீழ்க் கண்ட விதியைக் கூறினார் :

'மெய்ச்சுழி வெப்பநிலையை நெருங்கும்பொழுது எல்லாப் பொருட்களின் வெப்ப ஏற்புத் திறனும் சுழியாவதற்கு முனைகிறது.' அதாவது 'சுழி வெப்பநிலையில் பொருட்களின் வெப்ப ஏற்புத் திறன்கள் சுழியாகிச் சமமாகின்றன ; அவைகளின் என்ட்ரப்பியும் சுழியாகிச் சமமாகிறது.'

இதுவே நெர்ன்ஸ்ட் வெப்பத்தேற்றம் (Nernst Heat Theorem) அல்லது வெப்ப இயக்கவியலின் மூன்றாவது விதி எனப்படுகிறது.

மாறாக இதனை இவ்வாறும் கூறலாம்: 'ஓர் அமைப்பின் வெப்ப நிலையைக் குறைப்பதற்கான முறை எத்துணைச் சிறப்புடையதாக (ideal) இருப்பினும் அம்முறையின் எண்ணிலடங்கும் செயற்பாடு களின் (Finite number of operations) மூலம் மெய்சுழி வெப்ப நிலையை அடையமுடியாது.'

மாதிரிக் கணக்குகள்

மாதிரி 1

ஒரு கார்னோ எஞ்சினின் வெப்ப மூலம், வெப்ப வாங்கி இவை களின் வெப்பநிலைகள் முறையே 300°C, 30°C-ல் இருக்கும் பொழுது எஞ்சினின் பயனுறு திறனைக் காண்க.

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{573 - 303}{573}$$

$$= \frac{270}{573} = 0{\cdot}47$$

மாதிரி 2

இரு வெப்ப நிலைகளுக்கிடையே தொழில்படும் ஒரு வெப்ப எஞ்சின் அதற்குக் கொடுக்கப்படும் வெப்பத்தில் 6-ல் ஒரு பகுதியை மட்டும் பயனுறு வேலையாக மாற்றுகிறது. இரு வெப்ப நிலைகளில் குறைந்ததின் மதிப்பு 35°C அளவு குறைக்கப்படுமாயின், அதன் பயனுறுதிறன் 0·25 ஆக மாறும். இந்த நிலையில் குறிப்பிட்ட இரு வெப்பநிலைகளையும் கணக்கிடுக.

இரு வெப்பநிலைகளை T_1°A, T_2°A எனக் கொள்வோம்.

η_1 = முதலில் எஞ்சினின் பயனுறுதிறன் $\Big\} = \dfrac{T_1 - T_2}{T_1} = \dfrac{1}{6}$

$$\therefore \quad 6T_1 - 6T_2 = T_1$$

அதாவது $5T_1 = 6T_2$ (1)

$$\therefore \quad T_1 = \frac{6}{5} T_2$$

η_2 ... கற்பனை நிலையில் எஞ்சினின் பயனுறுதிறன் $\Big\} = \dfrac{T_1 - (T_2 - 35)}{T_1} = \dfrac{1}{4}$

$$4T_1 - 4T_2 + 140 = T_1$$

அதாவது $3T_1 + 140 = 4T_2$

$$140 = 4T_2 - \left(\frac{3 \times 6}{5}\right) T_2$$

$$= 0{\cdot}4T_2$$

$$\therefore \quad T_2 = \frac{140}{\cdot 4} = \frac{1400}{4} = 350$$

$$\therefore \quad \theta_2 = 350 - 273 = 77°C$$

$$\therefore \quad T_1 = \frac{6}{5} T_2 = \frac{6 \times 350}{5} = 420$$

$$\therefore \quad \theta_1 = 420 - 273$$

$$= 147°C$$

மாதிரி 3

1 கிலோ கிராம் நீர் பனிக்கட்டியாக மாறும்பொழுது அதன் பருமனில் ஏற்படும் மாறுதல் / ·000091 க.மீ. எனில் பனிக்கட்டி – 1°C வெப்பநிலையில் உருகுவதற்குத் தேவையான அழுத்தத்தைக் கணக்கிடுக.

(L = 80 கி. கேலரி/கி. கிராம்)

$$dT - \frac{(v_2 - v_1)\, T\, dp}{L.J}$$

$$1 = \frac{·000091 \times 273 \times dp}{80 \times 4200}$$

$$dp = \frac{80 \times 4200}{273 \times ·000091}$$

$$= 1·352 \times 10^7 \text{ நியூட்டன்/ச.மீ.}$$

மாதிரி 4

100°C வெப்பநிலையில் ஒரு கி. கிராம் நீராவி 1·640 க. மீ. பருமனைக் கொண்டிருக்கிறது. அதன் ஆவியாதலின் உள்ளுறை வெப்பம் 536 கி.கேலரி/கி.கிராம் எனில், 99°C வெப்பநிலையில் அதன் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம் 733 *m. m.* பாதரஸம் என்று காண்பிக்கவும். (J=4200 ஜூல்/கிலோ கேலரி.)

$$dT = \frac{T\,(v_2 - v_1)\, dp}{L.J}$$

$$1 = \frac{373 \times (1·640 - ·001)\, dp}{536 \times 4200}$$

$$\therefore\ dp = \frac{536 \times 4200}{373 \times 1.639} \text{ நியூட்டன்/ச.மீ.}$$

$$= \frac{536 + 4200}{373 \times 1·639 \times 13·6 \times 1000 \times 9·81} \text{ மீ.பாதரசம்.}$$

$$= ·0276 \text{ மீட்டர்} = 27·6 \text{ மி. மீட்டர்.}$$

வெப்பநிலை 100°C எனில் P = 76 செ.மீ. பாதரஸம் = 760 மி.மீட்டர்.

வெப்பநிலை 99°C எனில் P = 760 – 27.6 மி.மீட்டர்

= 732·4 மி.மீ. பாதரஸம்.

18

மாதிரி 5

100°C வெப்பநிலையில் உள்ள ·05 கி. கிராம் நீராவி அதே வெப்பநிலையில் நீராக மாற்றப்படுவதனால் ஏற்படும் என்ட்ரப்பி மாறுதலைக் கணக்கிடுக.

L = 533 கி. கேலரி/கி.கிராம்.

$$ds = \frac{Q}{T} = \frac{\cdot 05 \times 536}{373}$$

= ·0718 கி. கேலரி/டிகிரி.

வினுக்கள்

1. வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதியைக் கூறுக. கார்னே சுற்றை விவரித்து கார்னே தேற்றத்தை மெய்ப்பிக்கவும்.

2. வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதியிலிருந்து வெப்ப இயக்கவியல் வெப்பநிலை அளவீட்டு முறையை (Thermo-dynamical scale of temperature) வருவித்து உருவாக்குக. இந்த அளவீட்டு முறை, இலட்சிய வாயு அளவீட்டு முறையுடன் எவ்வாறு தொடர்புற்றிருக்கிறது என்று ஆராய்க.

3. என்ட்ரப்பியை வரையறுத்துக் கூறுக. சம என்ட்ரப்பிக் கோடுகள் என்பவை யாவை? பொருட்களின் ஒரு தொகுதியில் (system of bodies) என்ட்ரப்பி பெருமத்தை அடைய முனைகிறது என்று காட்டுக. வெப்பநிலை என்ட்ரப்பி வரைபடத்தில் கார்னே சுற்றைக் குறிப்பது பற்றியும், அதனுதவியால் சுற்றில் கிடைக்கும் பயனுறு வேலையைக் காண்பது பற்றியும் விளக்கிக் கூறுக.

4. ஆட்டோ சுற்றை விவரித்துக் கூறி அதன் பயனுறு திறனைக் காண்க.

5. முதலாம் உள்ளுறை வெப்பச் சமன்பாட்டினை நிறுவுக. ஒரு செ.மீ. பாதரஸ அளவு அழுத்தம் மாறும்பொழுது நீரின் கொதிநிலையில் ஏற்படும் மாறுதலைக் காண்க. (L = 536 கி. கேலரி/கி. கிராம்; 100°C-ல் 1 கி. கிராம் நீரின் பருமன் = ·001 க. மீ. 1 கி. கிராம் நீராவியின் பருமன் = 1·600 க.மீ.) (·36°C)

6. இரண்டாம் உள்ளுறை வெப்பச் சமன்பாட்டினைப் பெறுக. தெவிட்டிய நீராவியின் வெப்ப எண் எதிர்க் குறியுடையதாக இருக்கிறது என்பதன் விளக்கம் யாது?

7. வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதியை உபயோகித்து தெவிட்டிய ஆவியின் வெப்ப எண்ணைக் குறித்துள்ள இரண்டாவது உள்ளுறை வெப்பச் சமன்பாட்டை நிரூபி.

8. கீழ்க்காணும் வெப்ப இயக்கவியல் சமன்பாடுகளை நிரூபிக்குக.

(i) $\left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_s = -T\left(\frac{\partial p}{\partial Q}\right)_v$

(ii) $\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_s = T\left(\frac{\partial v}{\partial Q}\right)_p$

9. 100°C வெப்பநிலையிலுள்ள 0.01 கிலோ கிராம் நீரை அதே வெப்பநிலையில் நீராவியாக்கும்பொழுது ஏற்படும் என்ட்ரப்பி மாறுதலைக் கணக்கிடுக. [·0145 கி. கேலரி/டிகிரி]

10. ஒரு வெப்ப எஞ்சினின் பயனுறு திறன் 1/5. வெப்ப வாங்கியின் வெப்பநிலையை 20°C குறைத்தால் அதன் பயனுறு திறன் $\frac{1}{4}$ ஆகும். வெப்பமூலம், வெப்ப வாங்கி இவைகளின் வெப்பநிலைகளைக் கணக்கிடுக. [127°C, 47°C]

11. ஒரு குளிர் பதனப் பொறி நேர் எதிர்ப் பண்புடன் 0°C, 25°C வெப்பநிலைகளுக்கிடையே செயல்படுகிறது. 0·5 கிலோ கிராம் நீர் உறைவதற்கு எவ்வளவு செயல் தேவை எனக் கணக்கிடுக. நீரின் உள்ளுறை வெப்பம் = 80 கிலோ கேலரி/கிலோ கிராம். [15385 ஜூல்]

12. 0·001 கிலோ கிராம் ஆல்கஹால் ஆவியின் பருமனை கொதிநிலையில் (ஒரு வளி மண்டல அழுத்தத்தில்) கணக்கிடுக. ஆல்கஹாலின் அடர்த்தி = 800 கிலோ கிராம்/மீ³ 76,75 செ.மீ. பாதரஸ அழுத்தங்களில் கொதிநிலை முறையே 78·3°C, 78°C ஆகும். L = 204 கே/கிராம். [·555 லி]

13. ஒரு கார்னோ இயந்திரம் 27°C வெப்பநிலைக்கும் 77°C வெப்பநிலைக்குமிடையே குளிர்பதனப் பெட்டியாக எதிர் திசையில் இயங்குகிறது. இது 27°C வெப்பநிலையிலுள்ள பொருளிலிருந்து 1200 கேலரி வெப்பம் ஏற்றால் மற்ற வெப்பநிலையிலுள்ள பொருளில் வெளிப்படுத்தும் வெப்பத்தைக் கணக்கிடுக. [1400 கேலரி]

14. என்ட்ரப்பியின் பௌதிகச் சிறப்புத் தன்மையை விளக்குக. ஒரு தொகுப்பின் மொத்த என்ட்ரப்பி நேர் எதிர்

மாற்றத்தில் மாறிலி என்றும், நேர் எதிர்வுரு மாற்றத்தில் அதிகப்படும் என்றும் காண்பி.

15. 100°C வெப்பநிலையிலுள்ள நீரின் என்ட்ரப்பியும் அதே வெப்பநிலையிலுள்ள தெவிட்டிய நீராயின் என்ட்ரப்பியும் முறையே 0·35 · கிலோ கேலரி / கிலோகிராம்/°C, 1·8 கிலோ கேலரி/கிலோ கிராம்/°C எனில் நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பத்தைக் கணக்கிடுக.
[540·9 கி. கேலரி/கி. கிராம்]

16. 0°C வெப்பநிலையில் பனிக்கட்டியின் உள்ளுறை வெப்பம் = 80 கிலோ கேலரி/கிலோ கிராம் எனவும் அடர்த்தி = 920 கிலோ கிராம்/மீட்டர்³ எனவும் கொண்டு ஒரு வளி மண்டல அழுத்த உயர்வினுல் உருகுநிலையில் ஏற்படும் குறைவைக் கணக்கிடுக, [·0072°C]

17. கீழ்க்காணும் வெப்ப இயக்கவியல் சமன்பாடுகளைக் கொணர்க.

(i) $\left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$

(ii) $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_s \left(\frac{\partial v}{\partial S}\right)_T - \left(\frac{\partial P}{\partial s}\right)_T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_s = 1.$

18. $\frac{\partial P}{\partial T} = \frac{L}{T\,(v_2 - v_1)}$ என்ற கிளாபெய்ரானின் உள்ளுறை வெப்பச் சமன்பாட்டை மாக்ஸ் வெல்லின் வெப்ப இயக்கவியல் சமன்பாடுகளிலிருந்து நிரூபிக்குக.

19. ஓர் அமைப்பின் என்ட்ரப்பிக்கும் அதனிடமிருந்து கிடைக்கக்கூடிய ஆற்றலுக்கும் (available energy) இடையே உள்ள இணைப்பு யாது ?

20. ஒரு வளி அழுத்தத்திற்கு நீரின் உறைநிலை 0·008°C அளவு இறங்குகிறது எனில் பனிக்கட்டியின் உள்ளுறை வெப்பத்தைக் கணக்கிடுக. 0°C-ல் நீர், பனிக்கட்டி இவற்றின் அடர்த்திகள் முறையே 1000 கிலோ கிராம்/மீட்டர்³, 910 கிலோ கிராம்/மீட்டர்³. [81·6 கி. கேலரி/கி. கிராம்]

11. வெப்பம் பரவுதல்
(Transference of Heat)

1. வெப்பம் பரவும் முறைகள் (Methods of Heat Transference)

வெப்பம் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்திற்கு மூன்று முறைகளில் பரவலாம். அவையாவன: (i) வெப்பங் கடத்தல் (conduction), (ii) வெப்பச் சலனம் (convection), (iii) வெப்பக் கதிர்வீசல் (radiation).

ஒரு பொருளின் உயர்ந்த வெப்பநிலையிலுள்ள பகுதியிலிருந்து குறைந்த வெப்பநிலையுள்ள பகுதிக்குப் பொருளினூடே வெப்பம் செல்லுதலை **வெப்பங்கடத்தல்** என்று கூறுகிறோம். இந்த முறையில் பொருளின் துகள்கள் அசைவதாகத் தென்படாது. உண்மையில் கட்டுப்பாடற்ற எலக்டிரான்களின் இயக்கத்தால் வெப்பங் கடத்தல் ஏற்படுகிறது என்று கருதப்படுகிறது. திண்ம, திரவ, வாயு நிலைகளிலுள்ள எல்லாப் பொருட்களுமே வெவ்வேறு அளவுக்கு வெப்பங்கடத்தும் திறனைப் பெற்றிருக்கின்றன. ஆயினும், திண்மப் பொருட்களில் அதுவும் குறிப்பாக உலோகங்களில் வெப்பம் கடத்தும் திறன் அதிகம்.

திரவ, வாயு நிலையிலுள்ள பொருட்களில் அதிக வெப்பமுள்ள பகுதிகள் வெப்பத்தை எடுத்துக்கொண்டு அவற்றின் அடர்த்தி குறைவதன் காரணமாக மேல் கிளம்பிச் செல்வதன்மூலம் ஓரிடத்தில் இருந்து மற்றோரிடத்திற்கு வெப்பம் பரவும் முறைக்கு **வெப்பச் சலனம்** என்று பெயர்.

சூடான பொருளுக்கும் குளிர்ந்த பொருளுக்கும் இடையே உள்ள ஊடகத்தில் ஏற்படும் ஒருவகையான வழிமுறையில் ஊடகத்தைச் சூடேற்றாமல் சூடான பொருளிலிருந்து குளிர்ந்த பொருளுக்கு வெப்பம் செல்லுதலுக்கு **வெப்பக்கதிர்வீசல்** என்று பெயர்.

2. வெப்பங் கடத்து திறன் (Thermal Conductivity)

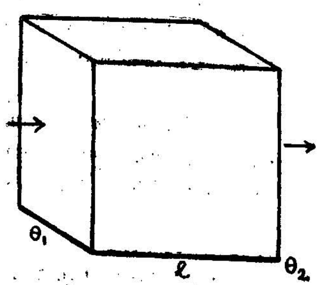
வெவ்வேறு பொருட்கள் வெவ்வேறு விகிதத்தில் வெப்பத்தைக் கடத்துவதை நாம் அன்றாட வாழ்க்கையில் காண்கிறோம். ஒரு சிறு கண்ணாடித் துண்டின் ஒரு முனையைக் கையால் பிடித்துக்

கொண்டு, மற்ற முனையை ஒரு சுவாலையில் வைத்து உருக்க முடியும். அவ்வாறு ஓர் உலோகத் துண்டை வைத்துக்கொண்டு செய்ய முடியாது. பொருட்களின் வெப்பங்கடத்து தன்மையின் அளவை வெப்பங்கடத்து திறன் என்பதனால் குறிப்பிடுகிறோம்.

'A' அலகு குறுக்குப் பரப்பளவும், 'l' நீளமும் கொண்ட ஒரு சிறு தண்டைக் கவனிப்போம். அதன் ஒரு முனை, மாறாத θ_1 வெப்பநிலையிலும், மற்றமுனை மாறாத θ_2 வெப்பநிலையிலும் வைக்கப் பட்டிருக்கின்றன எனக் கொள்வோம். பக்கப் பரப்பிலிருந்து வெப்ப இழப்பு இல்லாமலும் ஒவ்வொரு பகுதியின் வெப்பநிலை மாறாமலும் இருக்கும் நிலையில் உயர் வெப்பநிலை முனையிலிருந்து மற்ற முனைக்குச் செல்லும் வெப்பத்தின் அளவு (H) கீழ்க் கண்டவாறு சார்புற்றிருக்கிறது.

(i) குறுக்குப் பரப்பளவிற்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளது.

(ii) இரு முனைகளின் வெப்பநிலை வேறுபாட்டிற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது.



படம் 126.

(iii) கால அளவிற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது.

(iv) இரு முனைகளுக்கிடையே உள்ள தொலைவுக்கு எதிர்விகிதத் தில் இருக்கிறது.

(v) பொருளின் தன்மையைப் பொறுத்திருக்கிறது.

$$\therefore \quad H = KA\left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{l}\right)t$$

இங்கு K என்பது பொருளின் தன்மையைப் பொறுத்த ஒரு மாறிலி யாகும். அதற்கு வெப்பங்கடத்து திறன் (Co-efficient of Thermal conductivity) என்று பெயர். மேற்கூறிய சமன்பாட்டில் $A = 1$, $\theta_1 - \theta_2 = 1$, $l = 1$, $t = 1$ எனில், $H = K$.

எனவே, ஒரு சதுர மீ. குறுக்குப் பரப்பளவும் ஒரு மீ. நீளமும் கொண்ட ஒரு பொருளின் இரு முனைகள் ஒரு செல்ஸியஸ் வெப்ப நிலை வேறுபாட்டில் வைக்கப்பட்டிருக்கையில் ஒரு வினாடியில் அதனூடே பரவும் வெப்பத்தின் அளவு அப்பொருளின் வெப்பங் கடத்து திறன் எனப்படும்.

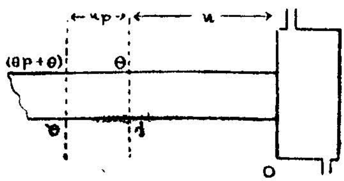
$\frac{\theta_1 - \theta_2}{d}$ என்பதை வெப்பநிலை வாட்டம் (temperature gradient) என்கிறோம். இது ஒரே சீராக இல்லாவிடில் ஒரு பகுதியி

லுள்ள வெப்பநிலே வாட்டத்தை $\left(-\frac{d\theta}{dx}\right)$ என்பதால் குறிப்பிடலாம் x அதிகமாகும்பொழுது (அதாவது வெப்பம் பரவும் திசையில்) θ குறைகிறது என்பதை எதிர்க்குறி காட்டுகிறது.

எனவே அந்தப் பகுதியில் பரவும் வெப்பத்தின் அளவு $= H = -kA\frac{d\theta}{dx}t$

3. ஒரு நீண்ட தண்டில் வெப்பங்கடத்து முறையில் வெப்பம் பரவுதலுக்கான தத்துவம்.

ஒரு சீரான குறுக்குப் பரப்பளவுள்ள (A) நீண்ட தண்டு ஒன்று ஒரு முனையில் (O) சூடுபடுத்தப்படுவதாகக் கருதுவோம். அதன் மற்ற முனை அறையின் வெப்பநிலேயிலேயே இருக்குமள விற்குத் தண்டு நீண்டதாக உள்ளது என்று கொள்வோம். தண்டின்



படம் 127.

வெப்பங்கடத்து திறன் K எனக் கொள்வோம். சூடான முனையி லிருந்து முறையே x, $(x+\delta x)$ தூரங்களில் நீளத்திற்குக் குறுக்கான P, Q என்ற இரு தளங்களேக் கவனிப்போம். ஒரு குறிப்பிட்ட கணத் தில் P-ல் உள்ள வெப்பநிலே அறையின் வெப்பநிலேயைவிட θ°C உயர்ந்தது எனக் கொள்வோம். P தளத்தில் அப்பொழுது நிலவும் வெப்பநிலே வாட்டத்தை $\frac{d\theta}{dx}$ எனக் கொள்வோமாயின், P தளத்தை 1 வினடியில் கடந்து P Q கூறுக்குச் செல்லும் வெப்பம் $= H_1 = -KA\frac{d\theta}{dx}$ (இங்கு வெப்பநிலே அதிகாரிக்கும் திசைக்கு எதிர் திசையில் வெப்பம் செல்லும் என்பதை எதிர்க்குறி காட்டு கிறது). இப்பொழுது அறையின் வெப்பநிலேயைவிட Q தளத்தில் உள்ள வெப்பநிலேயின் உயர்வு

$$= \left(\theta + \frac{d\theta}{dx}\delta x\right)$$

Q தளத்தில் நிலவும் வெப்பநிலே வாட்டம் $= \frac{d}{dx}\left(\theta + \frac{d\theta}{dx}\delta x\right)$

எனவே ஒரு வினாடியில் Q தளத்தைக் கடந்து PQ கூறுக்கு அப்பால் செல்லும் வெப்பம்

$$= H_2 = -KA \frac{d}{dx}\left(\theta + \frac{d\theta}{dx}\delta x\right)$$

$$= -KA\frac{d\theta}{dx} - KA\frac{d^2\theta}{dx^2}\delta x.$$

எனவே, PQ பயன்படுத்தப்படும் வெப்பம்

$$= H_1 - H_2 = KA\frac{d^2\theta}{dx^2}\delta x \qquad \ldots \quad (1)$$

இவ்விதம் PQ ஆல் எடுத்துக்கொள்ளப்படும் வெப்பம் எவ்விதம் பயன்படுத்தப்படுகிறது என்று பார்ப்போம். இந்த வெப்பத்தின் ஒரு பகுதி PQ-ன் வெப்பநிலையை உயர்த்துவதற்குப் பயன்படுத்தப் பட்ட பின்பு எஞ்சிய பகுதி PQ-ன் சுற்றுப் பரப்பிலிருந்து வெப்பக் கதிர்வீசல் மூலம் இழக்கப்படுகிறது. PQ கூறின் வெப்பநிலை $\frac{d\theta}{dt}$ என்ற விகிதத்தில் உயருகிறது என்றும், PQ-ன் அடர்த்தி, வெப்ப எண் ஆகியவை முறையே ρ, s என்றும் கொள்வோமாயின் PQ-ன் வெப்பநிலையை உயர்த்துவதற்கு ஒரு வினாடியில் எடுத்துக் கொள்ளப்படும் வெப்பம்

$$= A\,\delta x\,\rho s\,\frac{d\theta}{dt}$$

PQ கூறின் சுற்றளவு p என்றும், பரப்பின் (surface) கதிர்வீச்சு எண் (emissivity) E என்றும் கொள்வோமாயின், ஒரு வினாடியில் PQ-விலிருந்து கதிர்வீச்சு மூலம் இழக்கப்படும் வெப்பம் $= E\,p\,\delta_x\,\theta$.

$$\text{எனவே, } KA\frac{d^2\theta}{dx^2}\delta x = A\,\delta x\,\rho s\frac{d\theta}{dt} + E_p\,\delta x\theta$$

இதை $KA\delta x$ ஆல் வகுக்கையில்,

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} = \frac{\rho s}{K}\frac{d\theta}{dt} + \frac{Ep}{KA}\theta \qquad \ldots \quad (2)$$

இது தண்டில் வெப்பம் பரவுவதற்கான அடிப்படைச் சமன்பாடாகும். இதிலிருந்து பல்வேறு நிலைகளுக்கான தீர்வுகளைக் காணலாம். நாம் கீழ்க்கண்ட மூன்று நிலைகளுக்கான தீர்வுகளைக் காண்போம்,

(i) கதிர்வீசல் மூலம் இழக்கப்படும் வெப்பம் புறக்கணிக்கத் தத்தது என்றும் வெப்பநிலைகள் மாறிவரும் எனவும் கொள்வோம். இங்கு $E = 0$ எனக் கொள்ளப்படுகிறது. எனவே, 2 ஆவது சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$\frac{\partial^2\theta}{dx^2} = \frac{\rho s}{K}\frac{d\theta}{dt}$$

அதாவது $$\frac{d\theta}{dt} = \frac{K}{\rho s}\frac{\partial^2\theta}{dx^2} = h\frac{d^2\theta}{dx^2} \qquad (3)$$

இங்கு $h = \frac{K}{\rho s}$. இதில் ρs என்பது ஓரலகு பருமனின் வெப்ப ஏற்புத்திறனைக் குறிக்கிறது. எனவே h என்பது K அளவு வெப்பத்தினால் ஓரலகு பருமனுள்ள பொருளில் ஏற்படும் வெப்பநிலை மாறுதலைக் குறிக்கும். K-க்கு உண்டான வரையறையும் சேர்த்துப் பார்க்கும்பொழுது h என்பது ஒவ்வொரு வினாடியும் 1°C வெப்பநிலை வேறுபாடுகளை அதன் முனைகளில் கொண்ட ஒரு மீ. நீளமுள்ள பகுதியினால் கடத்தப்படும் வெப்பத்தைக் கொண்டு அதை அடுத்துள்ள அதே ஒரு மீ. நீளமுள்ள பகுதியில் ஏற்படும் வெப்பநிலை உயர்வைக் குறிக்கிறது. வெப்பநிலைகள் மாறாத நிலையில் ஒரு பொருளில் வெப்பம் கடத்தப்படும் வீதம் அதன் வெப்பங்கடத்து திறனைப் பொறுத்துள்ளது. ஆனால் வெப்பநிலைகள் மாறிவரும் நிலையில் ஒரு தண்டில் வெப்பநிலை அலை பரவும் வீதம் அதன் வெப்பங்கடத்து திறன், அடர்த்தி, வெப்ப எண் ஆகிய மூன்றையும் பொறுத்திருக்கிறது. எனவே, இந்த நிலையில் $h = \frac{K}{\rho s}$ முக்கியத்துவம் வாய்ந்தது. இது கரைசல்களின் பொருள் விரவுதலுக்கு ஒப்பாக இருக்கிறது என்று இதை **வெப்ப விரவுத் திறன்** (Thermal diffusivity) எனக் கெல்வின் அழைத்தார்.

ஆனால் மேக்ஸ்வெல் இதை, **வெப்பநிலை கடத்துதிறன்** (Thermometric conductivity) என்று அழைத்தார்.

(ii) வெப்பநிலைகள் மாறாத நிலையை அடைந்துள்ளதாயும், வெப்பக் கதிர்வீசல்மூலம் வெப்ப இழப்பு உள்ளது எனவும் கொள்வோம்.

இதனால் $$\frac{d\theta}{dt} = 0.$$

எனவே, 2ஆவது சமன்பாட்டிலிருந்து

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} = \frac{Ed}{KA}\theta = \mu^2\theta. \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

இங்கு $\mu^2 = \frac{Ep}{KA}$ = மாறிலி எனக் கொள்வோம். 4ஆவது சமன்பாட்டின் தீர்வைக் கீழ்க்கண்ட வடிவத்தில் இருப்பதாகக் கொள்வோம்.

$$\theta = Ae^{mx} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

இங்கு A, m என்பவை மாறிலிகள்.

அப்பொழுது பகுநி காணில் $\frac{d\theta}{dx}$ Ame^{mx}

மீண்டும் பகுநி காணில்

$$\frac{d_2\theta}{dx^2} = Am^2e^{mx}$$

இவைகளை 4ஆவ்து சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$Am^2e^{mx} = \mu^2 Ae^{mx}$$

$$\therefore \quad m^2 = \mu^2$$

அதாவது, $m = +\mu$ அல்லது $-\mu$.

எனவே, 4ஆவது சமன்பாட்டிற்கான முழுத்தீர்வு கீழ்க்கண்டவாறு ஆகும்.

$$\theta = Ae^{-\mu x} + Be^{-\mu x} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

இங்கு A, B என்பவை மாறிலிகள்.

எல்லை நிலைகளைக்கொண்டு இந்த மாறிலிகளின் மதிப்புகளைக் கணக்கிட்டுக்கொள்ளலாம். சூடான முனையின் வெப்பநிலை θ_0 எனவும், அதிக தூரத்திலுள்ள மற்ற முனையின் வெப்பநிலை 0 எனவும் கொள்ளலாம். அதாவது

$x = 0$ என்ற நிலையில் $\theta = \theta_0$;

$x = \propto$ என்ற நிலையில் $\theta = 0$.

இந்த மதிப்புகளை (6)ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்யும் பொழுது

$$\theta_0 = A + B$$

$$0 = A^{e\propto} + Be^{-\propto}$$

இங்கு $Be^{-\propto}$ என்பது சுழியாகும். எனவே $A = 0$ ஆகும்

இதனால் $B = \theta_0$

A, B-க்களின் மதிப்புகளை 6ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வதால் நமக்குக் கீழ்க்கண்ட இறுதித் தீர்வு கிடைக்கிறது.

$$\theta = \theta^\circ e^{-\mu x} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (7)$$

இந்தச் சமன்பாட்டைக் கொண்டு மாறு வெப்பநிலைகளை அடைந்த நிலையில் குறிப்பிட்ட ஏதோ ஒரு புள்ளியில் நிலவும் வெப்ப நிலை அறையின் வெப்பநிலையை விட எவ்வளவு உயர்ந்ததாக இருக்கிறது என்பதைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

(iii) மாறு வெப்பநிலைகளைக் கொண்ட நிலையில் தண்டு மூடப்பட்டு வெப்பக் கதிர்வீசல் மூலம் வெப்ப இழப்பு இல்லை எனக் கொள்வோம். அதாவது $E = 0$ எனவும், $d\theta/dt = 0$ எனவும் கொள்வோம்.

இவைகளை 2ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வதன் மூலம்

$$d^2\theta/dx^2 = 0.$$

எனவே, தொகுநி காணில் $d\theta/dx =$ மாறிலி

மீண்டும் தொகுநி காணில் $\theta = \propto x + \beta \quad \dots \quad \dots \quad (8)$

இங்கு $\propto$, β ஆகியவை மாறிலிகள்.

$x = 0$ என்ற நிலையில், $\theta = \theta_0$ ஆகும்.

$x = l$ என்ற நிலையில் θ வின் மதிப்பு θ_1 என்றிருக்கட்டும்.

இவைகளை (8)ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$\theta^\circ = \beta$$
$$\theta_1 = \propto l + \beta$$
$$\theta_1 = \propto l + \theta_0$$

எனவே $\propto = \dfrac{\theta_1 - \theta_0}{l} = -\dfrac{\theta_0 - \theta_1}{l}$

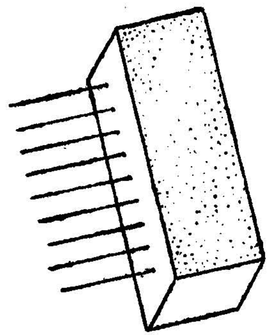
ஆகையால் A, B ஆகியவற்றின் மதிப்புகளை 8ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமாயின்

$$\theta = -\left(\frac{\theta_0 - \theta_1}{l}\right) x + \theta_0$$

$$= \theta_0 - \left(\frac{\theta_0 - \theta_1}{l}\right) x \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (9)$$

4. வெவ்வேறு உலோகங்களின் வெப்பங்கடத்து திறனை ஒப்பிடுதல்—இங்கன்ஹாஸ்முறை (Ingen Hausz's method)

ஒரே அளவான விட்டமுள்ளவையாகவும், ஒரே மாதிரியாக மெருகேற்றப்பட்டவையாகவும் உள்ள உலோகத்தண்டுகள் ஒரு நீர்த் தொட்டியுடன் படத்தில் காட்டியவாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இந்தத் தண்டுகளின்மேல் சீரான தடிப்புள்ளவாறு மெழுகு பூசப்பட்டபின் நீர்த் தொட்டிக்குள் கொதிநீர் ஊற்றப் படுகிறது. தொட்டிநீரின் வெப்பநிலை மாறாமல் கொதிநிலையிலேயே இருக்கு மாறு அதனுள் நீராவியைச் செலுத்தி சரிசெய்துகொள்ள வேண்டும்.



படம் 128.

தண்டுகளில் வெவ்வேறு நீள அளவுக்கு மெழுகு உருகியபிறகு ஒரு மாறுத நிலை உண்டாவது தென்படும். இவ்விதம் மாறுத நிலை ஏற்பட்டபிறகு மெழுகு உருகிய பகுதிகளின் நீளங்களை அளந்து l_1, l_2, l_3 எனக் குறித்துக்கொள்ளவேண்டும்.

சுற்றுப்புற வெப்பநிலையைவிட நீர்த்தொட்டியின் வெப்பநிலை, மெழுகின் உருகுநிலை ஆகியவை முறையே $\theta°_0$, $\theta°C$ அளவு உயர்ந்தவை எனக்கொள்வோம். தண்டுகளின் வெப்பங்கடத்து திறன்கள் முறையே K_1, K_2, K_3 ... எனக் கொள்வோம். தண்டு களின் கதிர் வீச்சு எண் (emissivity), சுற்றளவு, குறுக்குப் பரப்பளவு ஆகியவை முறையே E, p, A என்றிருக்கட்டும்.

இப்பொழுது $\theta = \theta_0 e^{-m_1 l_1}$. இங்கு, $m_1 = \sqrt{\dfrac{Ep}{K_1 A}}$

$$\text{எனவே } \log\left(\frac{\theta_0}{\theta}\right) = m_1 l_1$$

$$\text{இவ்வாறு } \log\left(\frac{\theta_0}{\theta}\right) = m_2 l_2 = m_3 l_3 = \ldots$$

$$\text{எனவே } m_1^2 l_1^2 = m_2^2 l_2^2 = m_3^2 l_3^2 = \ldots\ldots$$

$$\text{அதாவது } \frac{Ep}{K_1 A} l_1^2 = \frac{Ep}{K_2 A} l_2^2 = \frac{Ep}{K_3 A} l_3^2 = \ldots\ldots$$

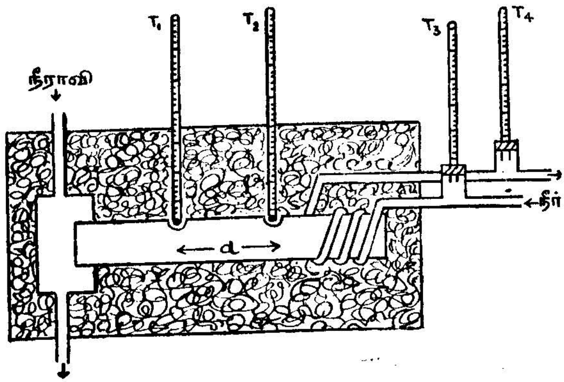
$$\textbf{ஆகையால் } \frac{l_1^2}{K_1} = \frac{l_2^2}{K_2} = \frac{l_3^2}{K_3} \ldots\ldots$$

$$\text{அதாவது } K_1 : K_2 : K_3 = l_1^2 : l_2^2 : l_3^2$$

தண்டுகளின் வெபபங்கடத்து திறன்கள் தண்டுகளில் மெழுகு உருகிய நீள அளவுகளின் இருமடிகளுக்கு நேர் விகிதத்திலிருக் கின்றன.

5. செர்ல்ஸ் முறையில் நற்கடத்தியின் வெப்பங் கடத்து திறனைக் காணல் (Searl's method)

சுமார் 0·30 மீ. நீளமும், 0·04 மீ. விட்டமும் கொண்ட நீள் உருளை வடிவ உலோகத் தண்டின் ஒரு முனையில் ஒரு நீராவி



படம் 129.

அறை பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இந்தத் தண்டின் மற்ற முனை யில் ஒரு சுருள் குழாய் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இந்தச் சுருள் குழாய் வழியாக மாறுத அழுத்த முகட்டிலிருந்து (constant pressure head) கிடைக்கும் நீர் ஒரு சீரான வேகத்தில் செலுத்தப்படுகிறது. தண்டின் இரு முனைகளுக்கிடையில் சுமார் 0·10 மீ. இடைத் தொலைவில் இரு சிறு குழிகள் உண்டாக்கப்பட்டுள்ளன. இவை களில் சிறிது பாதரசம் விடப்பட்டு இரு வெப்பநிலைமானிகள் (T_1, T_2) பொருத்தப்படுகின்றன. தண்டிலிருந்து வெப்பக்கதிர் வீச்சு மூலம் வெப்பமிழக்கப்படாமலிருப்பதற்காகத் தண்டு கம்பளி யால் மூடப்பட்டு ஒரு மரப் பெட்டிக்குள் வைக்கப்படுகிறது.

சுருள் குழாய் வழியாக ஒரு சீரான வேகத்தில் குளிர்நீர் செலுத்தப்படும்பொழுது நீராவி அறைக்குள் போதிய நெடு நேரத்திற்கு நீராவி செலுத்தப்படுகிறது. சுருள் குழாய்க்குள் நுழையும் நீரின் வெப்பநிலையையும், அதிலிருந்து வெளியேறும் நீரின் வெப்பநிலையையும் இரு நுட்ப வெப்பநிலைமானிகளைக் (T_3, T_4) கொண்டு அளந்து கொள்ளலாம். இந்த வெப்பநிலைமானிகளின் அளவீடுகளும் தண்டின் குழிகளில் வைக்கப்பட்டுள்ள வெப்பநிலை

மானிகளின் அளவீடுகளும் மாருத மதிப்புகளை அடைந்த பின்பு அவைகளின் அளவீடுகளைக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். தண்டின் குழிகளுள் வைக்கப்பட்டுள்ள வெப்பநிலைமானிகளின் அளவீடுகள் முறையே θ_1, θ_2 எனவும், சுருள்குழாயில் உட்புகும் நீரின் வெப்பநிலை θ_3 எனவும், வெளியேறும் நீரின் வெப்பநிலை θ_4 எனவும் கொள்வோம். சுருள் குழாயிலிருந்து t விஞடியில் வெளியேறும் நீரின் நிறை(m)யைக் காணவேண்டும். T_1, T_2 இவைகளுக்கிடையே (அதாவது தண்டின் குழிகளுக்கிடையே) உள்ள தொலைவை(d)யும், தண்டின் ஆரத்தை(r)யும் அளந்து கொள்ளவேண்டும்.

தண்டின் வெப்பங்கடத்து திறன் K எனவும், அதன் குறுக்குப் பரப்பளவு A எனவும் கொள்வோமாயின், t விஞடிகளில் தண்டிஞல் கடத்தப்படும் வெப்பம்

$$= K A \left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{d} \right) t.$$

இந்த வெப்பம் m அலகு நிறையுள்ள நீரின் வெபபநிலையை θ_3°C-யிலிருந்து θ_4°C-க்கு உயர்த்துகிறது.

$$\text{எனவே,} \quad K A \frac{\theta_1 - \theta_2}{d} t = m (\theta_4 - \theta_3)$$

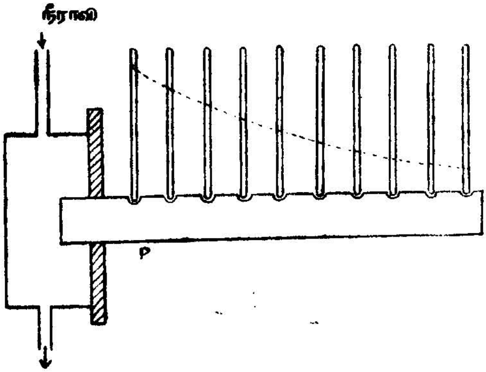
$$\text{அதாவது} \quad K (\pi r^2) \frac{(\theta_1 - \theta_2) t}{d} = m (\theta_4 - \theta_3)$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து K-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

6 ஃபோர்ப் முறையில் ஒரு கடத்தியின் வெப்பங்கடத்து திறனைக் காணல் (Forbe's method)

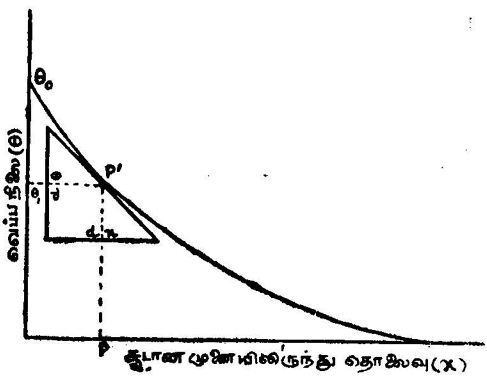
சீரான குறுக்குப் பரப்பைக் கொண்ட ஒரு நீண்ட உலோகத் தண்டை எடுத்துக்கொண்டு அதன் ஒரு முனையை ஒரு நீராவி அறையுடன் இணைத்து அதற்குள் நீராவியைச் செலுத்துவதன் மூலம் அந்த முனையை ஒரு மாரு வெப்பநிலைக்கு உயர்த்த வேண்டும். தண்டின்மேல் ஒழுங்கான இடைவெளிகளில் சிறு குழிகள் உள்ளன. அவற்றினுள் சிறிது பாதரசம் விட்டு வெப்பநிலை மானிகளைப் பொருத்தவேண்டும். நீராவி அறையிலிருந்து கதிர் வீச்சு மூலம் தண்டுக்கு வெப்பம் பரவுவதைத் தடுக்க எபொனைட் அல்லது மரத்தாலான ஒரு திரையை வைக்கவேண்டும்.

நீண்ட நேரத்திற்குப்பிக் வெப்பநிலைகள் மாறாத மதிப்புகளை அடைந்த பின்பு வெப்பநிலைமானிகளின் அளவீடுகளையும் சுடு



படம் 130.

முனையிலிருந்து அவைகளின் தொலைவுகளையும் பதிவு செய்து கொள்ளவேண்டும். சூடான முனையிலிருந்து உள்ள தொலைவை X அச்சிலும், வெப்பநிலையை Y அச்சிலும் குறித்து ஒரு வரைபடம் வரையவேண்டும் (படம் 131). சூடான முனையிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவில் (x_1) உள்ள P என்ற புள்ளிக்கான வெப்ப



படம் 131.

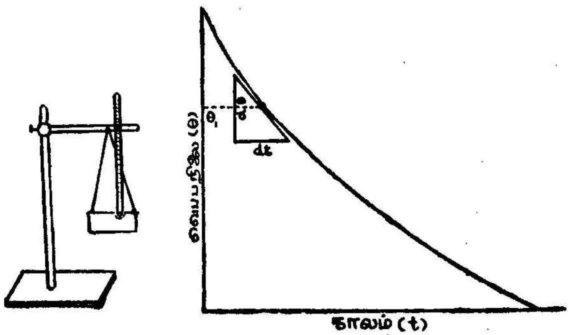
நிலையையும் (θ_1) அந்தப் புள்ளியிலுள்ள வெப்பநிலை வாட்டத்தையும் $\left(\frac{d\theta}{dx}\right)_P$ வரைபடத்திலிருந்து தெரிந்துகொள்ள வேண்டும். தண்டின் வெப்பங்கடத்து திறன் K எனவும், அதன் குறுக்குப்

பரப்பளவு A எனவும் கொள்வோமாயின், ஒரு விநாடியில் P பகுதியில் தண்டினால் கடத்தப்படும் வெப்பம்

$$= (Q) = KA \left(\frac{d\theta}{dx}\right)_p \qquad \ldots (1)$$

இந்த வெப்பம் P-க்கு அப்பால் உள்ள பகுதிகளின் பக்கங்களிலிருந்து கதிர்வீச்சு மூலம் ஒரு விநாடியில் இழக்கப்படுகிறது. மேலே கூறப்பட்ட சோதனை நிலையான அளவீடுகளைத் தெரிந்து கொள்ளும் சோதனையாகும்.

இப்பொழுது நீண்ட தண்டின் குறுக்குப் பரப்பளவையும் மெருகுத் தன்மையையும் கொண்ட அதே உலோகத்தால் செய்யப்பட்ட ஒரு சிறு பகுதியை P-ன் வெப்பநிலைக்கு மேலாக சூடேற்றிய பின்பு காற்றில் குளிர்வடையுமாறு தொங்கவிட வேண்டும். இது குளிர்வடையும்பொழுது ஒரு நிறுத்து கடிகாரத்தை இயக்கி, அரை நிமிடத்துக்கு ஒரு முறை இதன் வெப்பநிலையைக் குறித்துவரவேண்டும். அதன் வெப்பநிலை

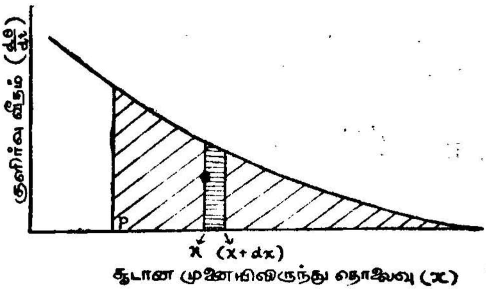


படம் 132.

அறையின் வெப்பநிலையை அடையும் வரை இந்தச் சோதனையைச் செய்யவேண்டும். வெப்பநிலையை Y அச்சிலும் காலத்தை X அச்சிலும் குறித்து ஒரு வரைபடம் (படம் 132) வரைந்து கொள்ள வேண்டும். இறுதியில் இந்தச் சிறு பகுதியின் நிறையைக் (m) காணவேண்டும். இந்தச் சோதனை மாறும் அளவீடுகளைக் கொண்ட சோதனையாகும்.

வெப்பநிலை-கால வரைபடத்திலிருந்து வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் வெப்பநிலை மாறும் வீதம் $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)$ கணக்கிடப்படுகிறது.

இப்பொழுது சூடான முனையிலிருந்து உள்ள தொலைவை X அச்சிலும் அந்தத் தொலைவுக்குரிய வெப்பநிலையிலேற்படும் வெப்பநிலை மாறும் வீதத்தை $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)$ Y அச்சிலும் குறித்து மற்றுமொரு வரைபடம் (படம் 133) வரைந்து கொள்ளவேண்டும். இந்தப் படம் X



படம் 133

ஆயத்தைத் தொடும் வரையில் நீண்டுள்ளதாக இருக்கவேண்டும். P-ன் நிலையைக் குறிக்கும் புள்ளியில் ஒரு குத்து ஆயம் வரைந்து கொள்ளவேண்டும். இந்தக் குத்து ஆயத்துக்கும், வரைபடத்துக்கும், X அச்சுக்குமிடையே உள்ள பகுதியின் பரப்பளவைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளவேண்டும். இதன் மதிப்பு S எனக் கொள்வோம். எடுத்துக்கொண்ட உலோகத்தின் வெப்ப எண்ணையும் அடர்த்தியையும் முறையே s, ρ என்று குறித்துக் கொள்ளவேண்டும்.

இப்பொழுது தண்டில் x என்ற பகுதிக்கு வெப்பநிலை மாறும் வீதம் $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)$ எனில் இந்தப் பகுதியில் δx நீளமுள்ள சிறு கூறிலிருந்து ஒரு விநாடியில் இழக்கப்படும் வெப்பம்,

$$= \left(A\delta x\, \rho s\right)\frac{d\theta}{dt} = A\rho s\left(\frac{d\theta}{dt}\,\delta x\right) \text{ ஆகும்.}$$

படம் 133-ல் (தொலைவு-வெப்பநிலை மாறும் வீத வரைபடத்தில்) $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)\delta x$ என்பது x, $(x+dx)$ நிலைகளில் வரையப்பட்ட குத்தாயங்களுக்கும், வரைபடத்துக்கும் X அச்சுக்கும் இடையே உள்ள பகுதியின் பரப்பளவைக் குறிக்கிறது.

எனவே நீண்ட தண்டின் P-க்கு அப்பால் உள்ள பகுதிகளி லிருந்து ஒரு வினாடியில் இழக்கப்படும் வெப்பம்,

$$= A\rho s \int \frac{d\theta}{dt} \delta x$$

$$= A\rho s\, S. \qquad \ldots (2)$$

இந்த வெப்பமானது 1ஆவது சமன்பாட்டினால் கொடுக்கப்படும் வெப்பத்துக்குச் சமமாகும்.

$$\text{எனவே,}\ KA \left(\frac{d\theta}{dx}\right)_p = A\rho s\, S. \qquad \ldots (3)$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து K-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

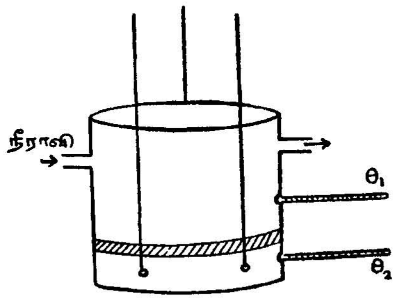
இம்முறைக்கு நீண்ட நேரம் தேவைப்படுகிறது. மேலும் மூன்று வரைபடங்கள் வரையவேண்டி யிருப்பதாலும் அதிக அளவீடுகளைச் செய்யவேண்டி யிருப்பதாலும் தொல்லைகள் அதிகம். இம் முறையிலுள்ள ஒரே நற்பண்பு என்னவெனில் இங்கு அடிப்படைக் கருத்தைப் பயன்படுத்தி வெப்பங்கடத்து திறன் காணப்படுகிறது. அதாவது, நியூட்டன் குளிர்வு விதியைப் பயன் படுத்தாமலும் வெப்பம் இழப்பதைத் தவிர்ப்பதற்கான அமைப்பை ஏற்படுத்தாமலும் இந்தச் சோதனையைச் செய்கிறோம்.

7. லீ-வட்டு முறையில் ஓர் அரிதிற் கடத்தியின் வெப்பங்கடத்து திறனைக் காணல் (Lee's Disc method)

இம் முறையில் A என்ற உருளை வடிவ உலோக நீராவி அறையும், B என்ற உருளை வடிவ உலோகப் பாளமும் (slab) உள்ளன. அவை ஒரே ஆர அளவைக் கொண்டவை A-ன் வளைவுப் பரப்பில் ஒன்றும், B-ன் வளைவுப் பரப்பில் ஒன்றுமாக இரு சிறு துவாரங்கள் உள்ளன. இவை வெப்பநிலைமானிகளின் குமிழ்களை வைப்பதற்காக ஏற்படுத்தப்பட்டிருக்கின்றன. B-ன் விளிம்பில் மூன்று கொக்கிகளும் உள்ளன.

B என்ற பாளத்தின் தட்டையான பக்கங்கள் கிடைத் தளத்தில் இருக்குமாறு அதன் கொக்கிகளுடன் இணைக்கப்பட்ட மூன்று கயிறுகளால் ஒரு தாங்கியிலிருந்து அது தொங்கவிடப்

படுகிறது. A, B இவைகளின் ஆர அளவை உடைய அரிதிற் கடத்தியின் (அட்டை அல்லது எபொனைட்டின் வட்டு ஒன்றை B-ன் மேல் வைக்கவேண்டும். வட்டின்மேல் A என்ற நீராவி அறையை வைத்து அதனுள் நீராவியைச் செலுத்தவேண்டும். A, B ஆகியவற்றிலுள்ள துவாரங்களில் இரு வெப்பநிலை மானிகளின் குமிழ்கள் வைக்கப் பட்டு வெப்பநிலைகள் கவனிக்கப்படுகின்றன. A, B இவைகளின் வெப்பநிலைகள் மாறுத மதிப்புகளை



படம் 134.

அடைந்த பின்பு அந்த மதிப்புகளை முறையே θ_1, θ_2 எனக் குறித்துக்கொள்ள வேண்டும். திருகுமானி ஒன்றின் உதவியால் வட்டின் தடிப்பையும் (d) ஒரு வெர்னியர் காலிபரின் உதவியால் வட்டின் ஆரத்தையும் (r) காணவேண்டும். வட்டின் வெப்பங் கடத்து திறன் K எனக் கொள்வோமாயின் ஒரு விநாடியில் வட்டினால் கடத்தப்படும் வெப்பம்

$$= K\pi x^2\left(\frac{\theta_1-\theta_2}{d}\right) \text{ ஆகும்.}$$

இப்பொழுது வட்டை நீக்கிவிட்டு B-ன் மேல் A-ஐ நேரடியாக வைத்து B-ன் வெப்பநிலை θ_2ஐவிட ஏறத்தாழ 10°C உயருமாறு அதனைச் சூடேற்ற வேண்டும். பின்பு A-ஐ நீக்கிவிட்டு B-ஐக் குளிரவிட வேண்டும். ஒரு நிறுத்து கடிகாரத்தை இயக்கி அரை நிமிடத்துக்கு ஒரு முறை B-ன் வெப்பநிலையைக் குறித்து அது θ_2ஐவிடக் கிட்டத்தட்ட 10°C தாழ்வுறும் வரை இவ்வாறு செய்ய வேண்டும். இந்தப் பதிவீடுகளைக் கொண்டு ஒரு குளிர்வுக் கோடு (cooling curve) வரைந்து அதன் உதவியால் θ_2 வெப்பநிலையில் வெப்பநிலை மாறும் வீதம் $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)$ தெரிந்துகொள்ளப் படுகிறது. B பாளத்தின் நிறையையும் (m), உயரத்தையும் (h) அளந்து கொள்ளவேண்டும். குளிர்வு வீதத்தை அளப்பதற்கான சோதனையில் கதிர் வீச்சால் வெப்பத்தை இழக்கும் பரப்பின் அளவு $= (2\pi r^2 + 2\pi rh)$ இந்த நிலையில்தான் $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)$ன் மதிப்பைக் கண்டுள்ளோம். ஆனால் B-க்கு வட்டினால் வெப்பங்கடத்து நிலையில் கதிர் வீச்சால் வெப்பத்தை இழக்கும் B-ன் பரப்பளவு

$= (\pi r^2 + 2\pi rh)$ ஆகும். எனவே இந்த நிலையில் B-யினால் ஒரு விநாடியில் இழக்கப்படும் வெப்பம்,

$$= ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)\left(\frac{\pi r^2 + 2\pi rh}{2\pi r^2 + 2\pi rh}\right)$$

$$= ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)\left(\frac{r + 2h}{2r + 2h}\right)$$

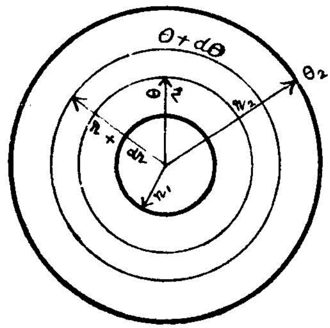
இது வட்டினால் ஒரு விநாடியில் கடத்தப்படும் வெப்பத்திற்குச் சமம்.

எனவே, $K\pi r^2 \left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{d}\right) = ms\left(\frac{d\theta}{dt}\right)\left(\frac{r + 2h}{2r + 2h}\right)$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து K-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

8. நீள் உருளை வடிவக் குழாயின் சுவரில் ஆர வகையான வெப்பங் கடத்தல் (Radial flow of heat)

l நீளமுள்ள ஒரு நீள் உருளை வடிவக் குழாயின் உட்புற வெப்பநிலை θ_1 ஆகவும், வெளிப்புற வெப்பநிலை θ_2 ஆகவும் மாறாமல் வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். இந்தக் குழாயின் உள், வெளி ஆரங்கள் முறையே r_1, r_2 எனக் கொள்வோம். கொடுக்கப் பட்ட குழாய், ஒரச்சைக் கொண்ட, மெல்லிய சுவரை யுடைய பல நீள் உருளைக் கூடு களாலானது எனக் கருதலாம். அவ்வாறான கூடுகளில் ஒன்றின் உள், வெளி ஆரங்கள் முறையே r, $(r + dr)$ எனவும் அதன் உள், வெளி வெப்ப நிலைகள் முறையே θ, $(\theta + d\theta)$ எனவும் கொள் வோம்.



படம் 135.

இந்தக் கூட்டின் வழியாக ஒரு விநாடியில் கடத்தப்படும் வெப்பம் $= (Q) = -K\,(2\pi rl)\,\frac{d\theta}{dr} =$ மாறிலி. இதிலுள்ள எதிர்க் குறி, மையத்திலிருந்து தூரம் அதிகம் ஆக ஆக வெப்பநிலை குறைகிறது என்பதைக் காட்டுகிறது.

எனவே, $2\pi lk\, d\theta = -Q\,\frac{dr}{r}$

தொகுதி காணில், $\int_{\theta_1}^{\theta_2} 2\pi lk\, d\theta = -Q\int_{r_1}^{r_2}\left(\frac{dr}{r}\right)$

அதாவது $2\pi lk(\theta_2 - \theta_1) = -Q \log_e\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$

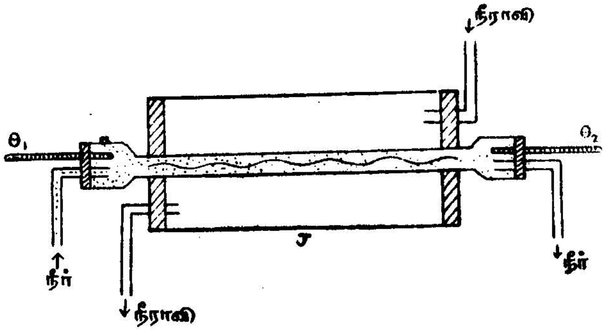
அல்லது $2\pi lk(\theta_1 - \theta_2) = Q \log_e\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$

எனவே, $K = \frac{Q \log_e\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi l(\theta_1 - \theta_2)}$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து K-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

9. கண்ணுடியின் வெப்பங்கடத்து திறனைக் காண்பதற்கான சோதனை

ஒரு கண்ணுடிக் குழாயைச் சூழ்ந்தவாறு ஒரு நீராவி உறை அத்துடன் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. மாருத அழுத்த முகட்டி லிருந்து நீர் ஒரு சீரான வேகத்தில் கண்ணுடிக்குழாய் வழியாகச்



படம் 136.

செலுத்தப்படுகிறது. குழாய் சற்றுச் சாய்வாக வைக்கப்பட்டுத் தாழ்ந்த முனையில் நீர் உட்புகுமாறும், உயர்ந்த முனையிலிருந்து அது வெளியேறுமாறும் அமைப்பு ஏற்படுத்தப்படுகிறது. குழாய்க் குள் ஒரு சுருள்கம்பி வைக்கப்பட்டுள்ளதன் காரணமாக கண்ணுடிக் குழாயினுள் செல்லும் நீர் நன்கு கலங்கிக் குழாயின் சுவருடன் தொடர்புகொள்ள வாய்ப்புண்டாகிறது. உட்புகும் நீரின் வெப்பநிலையையும் வெளியேறும் நீரின் வெப்பநிலையையும் அளவிட நுட்பமாக அளக்கக்கூடிய வெப்பநிலைமானிகள் தகுந்த வாறு பொருத்தப்படுகின்றன. கண்ணுடிக்குழாய் வழியே சீரான வேகத்தில் நீர் செலுத்தப்படும்பொழுது அதைச் சூழ்ந்துள்ள

நீராவி அறைக்குள் நீராவி தொடர்ந்து செலுத்தப்படுகிறது. நீரின் வெப்ப நிலைகள் மாருத மதிப்புகளை அடைந்த பின்பு அவைகளைக் குறிக்கவேண்டும். t விநாடியில் வெளியேறும் நீரை, நிறை தெரிந்த ஒரு கண்ணாடி முகவையில் சேகரித்து எடை காண்பதன் மூலம் அந்த நீரின் நிறையைக் (m) காண வேண்டும். உட்புகும் நீரின் வெப்பநிலையை θ_1 எனவும், வெளியேறும் நீரின் வெப்ப நிலையை θ_2 எனவும் கொள்வோமாயின், ஒரு விநாடியில் கண்ணாடிச் சுவரின் வழியே கடத்தப்படும் வெப்பம்

$$= (Q) = \frac{m}{t} (\theta_2 - \theta_1).$$

இப்பொழுது கண்ணாடிக் குழாயின் உட்புறத்திலுள்ள சராசரி வெப்பநிலை $= (\theta) = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$. அதன் வெளிப்புறமுள்ள வெப்ப நிலை (அதாவது நீராவியின் வெப்பநிலை) θ_0 எனக் கொள்வோம். கண்ணாடிக் குழாயின் உள், வெளி ஆரங்களை அளந்து, அவற்றை முறையே r_1, r_2 எனக் கொள்வோம். நீராவி உறைக்குள் உள்ள கண்ணாடிக்குழாய்ப் பகுதியின் நீளத்தைக் (l) குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். கண்ணாடியின் வெப்பங்கடத்து திறன் K எனில்,

$$K = \frac{Q \log_e \left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi l (\theta_0 - \theta)}$$

$$= \frac{m (\theta_2 - \theta_1) \log_e \left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi l t \left(\theta^0 - \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right)}$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து Kஐக் கணக்கிட்டுத் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

(10) கோளகக் கூடுகள் (Spherical Shells)

முப்பரிமாண முறையில் வெப்பம் கடத்தப்படுவதன் எளிய எடுத்துக்காட்டு ஒரு கோளகம் ஆகும். வெப்பமூலம் (Heat source) ஒன்று ஒரு கோளகத்தின் மையத்தில் வைக்கப்படுமாயின், மையத்திலிருந்து வெளிப்பரப்பை நோக்கி ஆர வகையாக வெப்பம் கடத்தப்படும். சமச்சீர் (Symmetry) முறையை நோக்கும் பொழுது, மையத்திலிருந்து சம அளவு தூரங்களில் வெப்பநிலைகள் சமமாக இருக்க வேண்டுமென்பது தெளிவு.

r ஆரமுள்ளதும் dr தடிப்புள்ளதுமான ஒரு கோளகக் கூட்டினைக் கவனிக்கும்பொழுது, அதன் வழியாக ஒரு வினாடியில் கடத்தப்படும் வெப்பம்

$$= Q = -K\,4\pi r^2 \frac{d\theta}{dr}.$$

இங்கு K என்பது வெப்பக்கடத்து திறனையும், $\frac{d\theta}{dr}$ என்பது நிலை வாட்டத்தையும் குறிக்கும். வெப்பநிலை அதிகரிக்கும் திசைக்கு எதிர் திசையில் வெப்பம் கடத்தப்படுகிறது என்பதை எதிர்க்குறி காட்டுகிறது.

$$\therefore\ d\theta = -\frac{Q}{4\pi K}\frac{dr}{r^2}$$

இதன் தொகுநி காணில்,

$$\theta = -\frac{Q}{4\pi K}\int_0^r \frac{dr}{r^2}$$

$$= \frac{Q}{4\pi K}\left(\frac{1}{r}\right) + C$$

இங்கு C என்பது ஒரு தொகுப்பியல் மாறிலியாகும்.

r-ன் மதிப்பு r_1, r_2 என்றுள்ள இடங்களில் வெப்பநிலைகள் முறையே θ_1, θ_2 எனில்,

$$\theta_1 = \frac{Q}{4\pi K}\ \frac{1}{r_1} + C$$

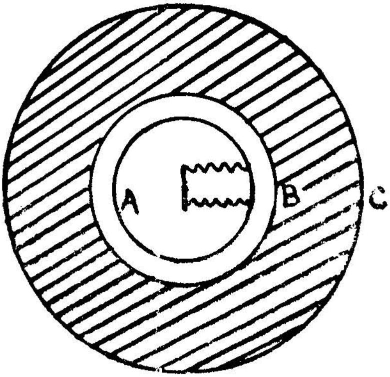
$$\theta_2 = \frac{Q}{4\pi K}\ \frac{1}{r_2} + C$$

$$\therefore\ \theta_1 - \theta_2 = \frac{Q}{4\pi K}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \frac{Q}{4\pi K}\ \frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2}$$

$$\therefore\ Q = \frac{4\pi K(\theta_1 - \theta_2)\,r_1 r_2}{r_2 - r_1}$$

எனவே, θ_1, θ_2, r_1, r_2, Q ஆகியவற்றின் மதிப்புகளை அளந்து *K*-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடமுடியும்.



படம் 137.

இம்முறையில் நஸ்ஸெல்ட் (Nusselt) என்பவர் அலுமினியம் போன்ற பொருட்களின் வெப்பக்கடத்து திறனைக் கணித்தார். மையத்தில் மின்ஆற்றலால் வெப்பப் படுத்தப்படும் A என்ற கோளகம் வைக்கப்பட்டு அதனைச்சுற்றி B, C என்ற ஒரு மைய (Concentric) உலோகக் கோளங்கள் வைக்கப்படுகின்றன. B, C ஆகியவை இரண்டாகப் பிரித்து ஒன்றுசேர்க்கக் கூடியவை. எந்தப் பொருளின் வெப்பக் கடத்துதிறன் தேவையோ, அந்தப் பொருளால் B, C இவற்றின் இடைவெளி நிரப்பப்படுகிறது. சீரான வீதத்தில் A-க்கு மின்ஆற்றல் கொடுக்கப்படும்பொழுது, மையத்திலிருந்து வெவ்வேறு தொலைவுகளில் உள்ள வெப்பநிலைகள் தகுந்த வெப்பமின் இரட்டைகளால் (Thermo couples) அளக்கப்படுகின்றன. மாறுபாடற்ற நிலையில் வெப்பநிலைகளை அளவிட்டு ஆற்றல் கொடுக்கப்படும் வீதத்திலிருந்து K-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

11. நீர்நிலைகளில் உறைதல் வேகம்

குளிர்காலங்களில் காற்றின் வெப்பநிலை 0°C-க்குக் கீழ் குறையும்பொழுது நீர் நிலைகளில் முதலில் மேல்பரப்புகளில் பனிக்கட்டி உண்டாகிறது. பின்பு பனிக்கட்டி வழியே அதன் கீழுள்ள நீரிலிருந்து காற்றுக்கு வெப்பம் கடத்தப்படுவதால் படிப்படியாக நீர் பனிக்கட்டியாக மாறும். இதனால் பனிக்கட்டிப் பாளத்தின் தடிப்பு காலக்கிரமத்தில் அதிகமாகும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட தருணத்தில் ஏற்பட்டுள்ள பனிக்கட்டிப் பாளத்தின் தடிப்பு x எனவும், காற்றின் வெப்பநிலை $-\theta$°C எனவும்

கொள்வோம். பனிக்கட்டிக்குச் சற்றே கீழ் உள்ள நீரின் வெப்பநிலை 0°C ஆகும். எனவே, பனிக்கட்டியின் வெப்பங்கடத்துதிறன் K எனில், ஓரலகு குறுக்குப் பரப்பளவில் பனிக்கட்டி வழியே dt என்ற சிறு காலத்தில் கடத்தப்படும் வெப்பம்

$$= K \frac{\theta}{x} dt$$

இதனால் dx தடிப்புள்ள பனிக்கட்டி உருவாகிறது எனக் கொள்வோம். பனிக்கட்டியின் அடர்த்தி ρ எனவும், அதன் உருகுதலின் உள்ளுறை வெப்பம் L எனவும் கொள்வோமாயின் நீக்கப்பட்ட வெப்பத்தின் அளவு

$$= L\rho\, dx$$

எனவே $L\rho\, dx = K \frac{\theta}{x} dt$

ஆகையால் $dx = \frac{K\theta}{L\rho} dt$

எனவே தொகுநி காணில் $\int_{x_1}^{x_2} x\,dx = \frac{K\theta}{L\rho} \int_{0}^{t} dt$

அதாவது $\left[\frac{x^2}{2}\right]_{x_1}^{x_2} = \frac{K\theta}{L\rho} t$

அதாவது $\frac{x_2^2 - x_1^2}{2} = \frac{K\theta}{L\rho} t.$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து குறிப்பிட்ட தொடக்கநிலையைத் தெரிந்து குறிப்பிட்ட அளவு பனிக்கட்டிப் பாளத்தின் தடிப்பு அதிகமாவதற்கான காலத்தைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

12. வெப்பச்சலனம் (Convection)

திரவங்களிலும் வாயுக்களிலும் இம் முறையில் வெப்பம் பரவுகிறது. பாய் பொருளின் (fluids) ஒரு பகுதியில் வெப்பநிலை உயரும்பொழுது அப்பகுதி பெருக்கமடையும். எனவே, அதன் அடர்த்தி குறையும். இதன் காரணமாக அப்பகுதி மேல் நோக்கிச்

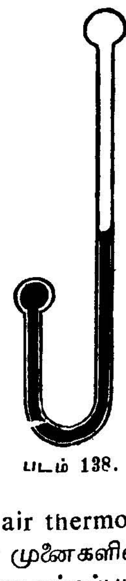
செல்லும். அது முன்பு இருந்த இடத்திற்கு குளிர்ந்த பாய் பொருள் செல்லும். இவ்விதம் பாய்பொருளில் தொடர்ச்சியாக சலனம் ஏற்படுகிறது. இந்த நிகழ்ச்சியில் சூடேற்றப்பட்ட பகுதிகள் ஒரிடத்திலிருந்து மற்ற இடத்துக்கு வெப்பத்தை எடுத்துச் செல்கின்றன.

வெப்பச்சலனத்தின் காரணத்தால்தான் காற்று வீசுதலும் காற்றோட்டமும் உண்டாகின்றன. கடற்கரைப் பகுதிகளில் பகல் நேரத்தில் தரையில் உள்ள காற்று சூடேறி மேல் கிளம்புவதால் கடலிலிருந்து தரையை நோக்கிக் காற்று வீசும். இது கடற் காற்று எனப்படுகிறது. இவ்வாறே இரவு நேரத்தில் நிலம் விரை வாகக் குளிர்ந்துவிடுவதால் கடலின் மேலுள்ள வெப்பநிலை தரை வெப்பநிலையை விட உயர்ந்ததாக இருக்கும். இதனுல் கடலிலுள்ள காற்று சற்று மேலே கிளம்புகிறது. எனவே, தரையிலிருந்து கடலை நோக்கிக் காற்று வீசுகிறது. இதை நிலக்காற்று என் கிறோம்.

கதிர் வீச்சு (Radiation)

13. வீசு வெப்பத்தை அளப்பதற்கான கருவிகள் (Instruments for Measurement of Thermal Radiation)

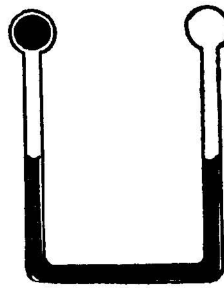
(i) **ஈதர் தெர்மாஸ்கோப்** (Ether thermoscope): ஒரு J வடிவக் குழாயின் இரு முனைகளில் குமிழ் களைப் பொருத்தி இக் கருவி உண்டாக்கப்பட் டிருக்கிறது. கீழ் மட்டத்தில் உள்ள குமிழிலும், குழாயின் ஒரு பகுதியிலும் ஈதர் திரவம் நிரப்பப் பட்டிருக்கிறது. மற்றப் பகுதியில் ஈதர் ஆவிமட்டும் உள்ளது. கீழ் மட்டத்திலுள்ள குமிழ் கருமை யாக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதன்மீது வீசு வெப்பம் படும்பொழுது அந்த வெப்பம் உட்கவரப்படுகிறது. இதனுல் ஈதர் திரவம் பெருக்கமடைந்து மற்றக் குமிழை நோக்கி நகருகிறது. அதன் திரவ மட்டம் எவ்வளவு தூரம் மேலேறுகிறது என்பதிலிருந்து வீசு வெப்பத்தின் செறிவை ஒரளவு அறியலாம்.



படம் 138.

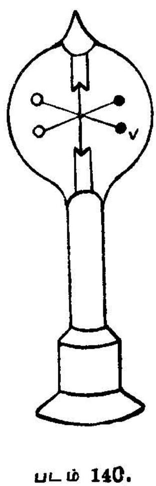
(ii) **பகு காற்று வெப்ப நிலைமானி** (Differential air thermo- meter): **இக் கருவி** ஒரு U வடிவக் குழாயையும் அதன் முனைகளில் குமிழ்களையும் கொண்டுள்ளது. ஒரு குமிழ் கருமையாக்கப்பட்

டிருக்கிறது. குழாயில் கந்தக அமிலம் அழுத்தமானித் திரவமாக எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது. திரவத்திற்கு மேலே இரு குமிழ்களிலும் காற்று இருக்கிறது. கருமை யாக்கப்பட்ட குமிழின் மேல் வெப்பக் கதிர் படும்பொழுது அதனுள்ளிருக்கும் காற்று பெருக்கமடைந்து அழுந்தமானித் திரவத்தைத் தள்ளும். அழுத்தமானித் திரவ மட்டங்களின் உயர வேறுபாடு வீசு வெப்பத்தின் செறிவுக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும்.



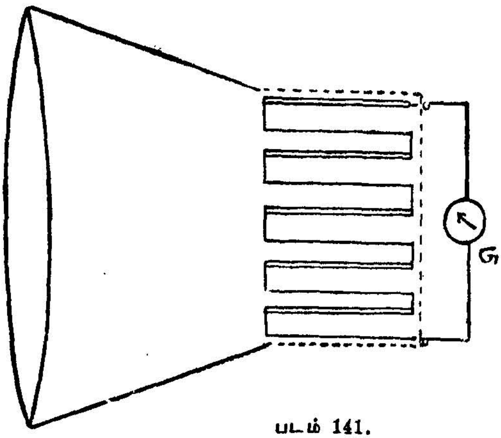
படம் 139.

(iii) குரூக் ரேடியோ மீட்டர் (Crrooke's Radiometer): ஒரு தாங்கியுடன் இணைக்கப்பட்டதும், காற்று நீக்கப்பெற்றதுமான குமிழ் ஒன்றினுள் செங்குத்தாக நின்று சுழலக் கூடியவாறு ஒரு அச்சு பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. அந்த அச்சுடன் குறுக்காக இரு மெல்லிப அலுமினியத் தண்டுகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. இத் தண்டுகளின் முனைகளில் மைக்கா அல்லது தகரத்தாலான நான்கு மெல்லிய தகடுகள், அவைகளின் தளங்கள் செங்குத்தாக இருக்குமாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளன. மைக்காத் தகடுகளை, சுற்று வரிசையில் கவனிக்கும்பொழுது அவைகளின் முன்பக்கங்கள் பளபளப்பாகவும் பின்பக்கங்கள் கருமையானதாகவும் உள்ளன. எனவே, ஒரு திசையிலிருந்து வீசுவெப்பம் கருவியின்மேல் படும்பொழுது தண்டின் ஒரு முனையிலுள்ள தகட்டின் கருமைப் பரப்பிலும், மற்ற முனையிலுள்ள தகட்டின் பளபளப்பான பரப்பிலும் அந்த வெப்பம் ஏற்கப்படும். கருமைப் பரப்பு மற்றதைவிட அதிகமான வெப்பத்தை ஏற்று, சற்று உயர்ந்த வெப்பநிலையை அடைகிறது. இதனால் கருமைப்பரப்பின்மேல் மோதும் மூலக்கூறுகள் பளபளப்பான பரப்பின்மேல் மோதும் மூலக்கூறுகளை விட அதிக ஆற்றலைப் பெற்று அதிகமாக்கப்பட்ட வேகத்துடன் மீள்கின்றன. எனவே, கருமைப் பரப்பின்மேல் செயலாற்றப்படும் அழுத்தம் மற்றதன் மேல் செயலாற்றப்படும் அழுத்தத்தைவிட அதிகமாக உள்ளது. இதன் காரணமாகச் சுழற்றுவிளைவு ஏற்பட்டுத் தண்டு அச்சைப்பற்றி சுழற்றப்படுகிறது. தண்டுகளும் தகடுகளும் சுற்றும் வேகத்திலிருந்து வீசு வெப்பத்தின் செறிவை ஓரளவு தெரிந்து கொள்ளலாம்.



படம் 140.

(iv) **வெப்பமின் இரட்டை அடுக்கு** (Thermopile): வேறுபட்ட இரு உலோகங்களாலான சுற்றின் இரு சந்திகள் வெவ்வேறு வெப்ப நிலையிலிருக்கும்பொழுது அதில் மின் இயக்குவிசை ஏற்படுகிறது என்பதை சீபெக் (Seebeck) கண்டுபிடித்தார் என்று முன்பே கூறப் பட்டது. இந்தத் தத்துவத்தை அடிப்படையாகக்கொண்டு பல வெப்பமின் இரட்டைகளைத் தொடரிணைப்பு முறையில் சேர்த்து வெப்பமின் இரட்டை அடுக்கு என்னும் கருவியை முதன்முதலில் உருவாக்கி வீசுவெப்பத்தை அளக்கப் பயன்படுத்தியவர் மெல்லோனி (Melloni) என்னும் விஞ்ஞானி. இவ்வித அடுக்கில்

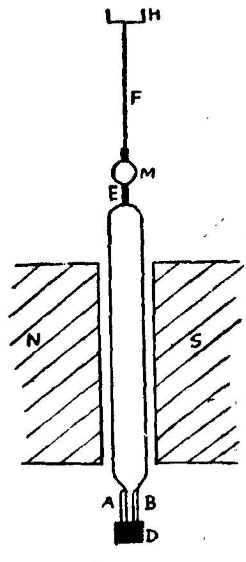


படம் 141.

பொதுவாக ஆன்ட்டிமனி - பிஸ்மத் ஆகிய உலோகங்கள் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. அவைகள் தக்கபடி மைக்காவால் காப்பிடப் பட்டுள்ளன. ஒன்றுவிட்ட சந்திகள் ஒரு தளத்தில் இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டு கருமையாக்கப்பட்டிருக்கின்றன. வீசுவெப்பம் இவைகளின்மேல் விழும்படி செய்வதற்கும், வேண்டாத வெப்பத் தைத் தவிர்ப்பதற்கும் கருமையாக்கப்பட்ட சந்திகளின் தளத்திற்கு ஒரு புனல் வடிவக் குழாய் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. மற்றச் சந்தி களின்மேல் வெப்பம் விழாதிருப்பதற்காக அவைகளின்மேல் ஒரு மூடி பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. வெப்பமின் இரட்டை அடுக்கின் முனைகள் ஒரு நுட்பம் வாய்ந்த கால்வனுமீட்டருடன் இணைக்கப் பட்டிருக்கும்பொழுது கருமையாக்கப்பட்ட சந்திகளின்மேல் விழும் வீசுவெப்பத்தின் செறிவுக்குத் தக்கவாறு கால்வனுமீட்டரில் விலகல் இருக்கும்.

(v) பாய்ஸ் ரேடியோ மைக்ரோமீட்டர் (Boys' Radio Micro meter): இதில் வெப்பமின் இரட்டையின் தத்துவமும், இயங்கு

சுருள் (moving coil) கால்வனமீட்டரின் தத்துவமும் பயன்படுத்தப் பட்டிருக்கின்றன. உள்ளீடற்ற நீள் உருளை வடிவக் காந்தத்தின் முனைகளுக்கிடையில் ஒரே சுற்றைக் கொண்ட செப்புக்கம்பிச் சுருள் (C) ஒன்று குவார்ட்ஸ் இழை (F) ஒன்றினால் தொங்க விடப்பட்டுள்ளது. குவார்ட்ஸ் இழை கம்பிச் சுருளுடன் நேரிடையாக இணைக்கப்படாமல் ஒரு சிறு கண்ணாடித் துண்டின் (E) மூலம் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்தக் கண்ணாடித் துண்டின் மேல் ஒரு சிறு ஆடி (M) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. M-ன் மேல் விழுந்து எதிரொளிக்கப்படுகின்ற ஒளிக்கற்றை ஓர் அளவுகோலின் மேல் விழுமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. கீழ் முனை ஒன்று ஆன்ட்டிமனி உலோகத் துண்டுடனும், மற்றக் கீழ்முனை பிஸ்மத் உலோகத் துண்டுடனும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. ஆன்ட்டிமனி பிஸ்மத் துண்டுகளின் கீழ்முனைகள் கருமையாக்கப்பட்ட ஒரு செப்புத் தகட்டுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளன.

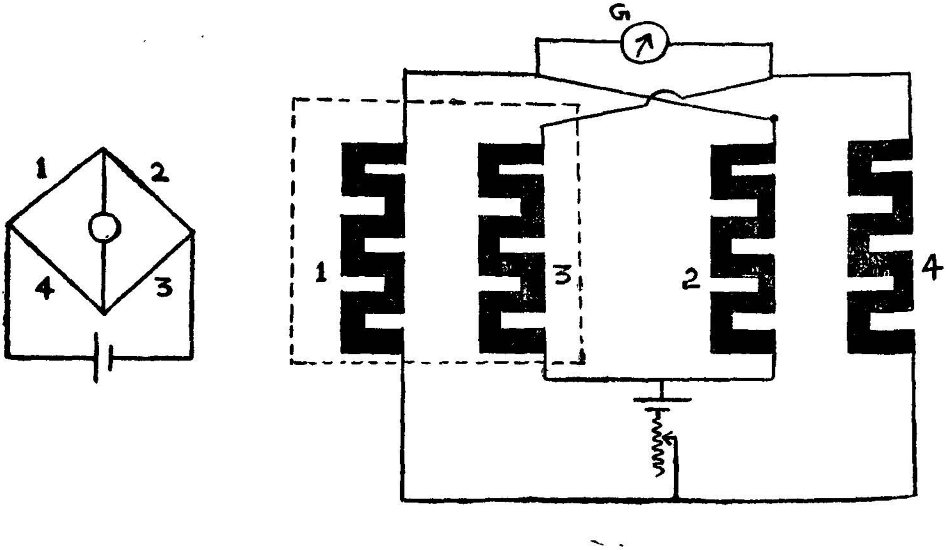


படம் 142.

கருமையாக்கப்பட்ட தகட்டின்மேல் வீசு வெப்பம் விழும் பொழுது அதன் வெப்பநிலை உயருகிறது. இதன் காரணமாக செப்புக் கம்பியில் மின்னோட்டம் ஏற்படுகிறது. இந்த மின்னோட்டம் காந்தப்புலத்தில் ஏற்படுவதால் கம்பிச்சுருளின் தளம் சுற்றப்படுகிறது. ஆனால் இவ்விதம் சுற்றுவதை குவார்ட்ஸ் இழையில் ஏற்படும் முறுக்கம் எதிர்க்கிறது. எனவே, மின்னோட்டத்தின் அளவைப் பொறுத்து, அதாவது வீசுவெப்பத்தின் செறிவைப் பொறுத்து இயல்பான நிலையிலிருந்து விலகல் ஏற்படுகிறது. இந்த விலகலை M-ல் எதிரொளிக்கப்பட்டு அளவுகோலின்மேல் படும் ஒளிக்கற்றையின் நிலையிலிருந்து நுட்பமாக அளந்துகொள்ள முடியும்.

(vi) **போலா மீட்டர் (Bolo meter):** இந்தக் கருவியில் பிளாட்டினத்தாலாகிய நான்கு மிக மெல்லிய வலைத் தகடுகள் (grids) ஒரு வீட்ஸ்டன் சுற்றமைப்பின் புயங்களில் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. எதிர்ப்புயங்களிலுள்ள இரு வலைத்தகடுகள் கருமையாக்கப்பட்டு ஒன்றின் இடைவெளிகளை மற்றொன்று அடைக்குமாறு ஒன்று

மற்றதிற்குச் சற்றுப் பின்பு பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இவைகளின் மேல் வீசுவெப்பம் விழுமாறு செய்யப்படுகிறது. மற்ற இரு எதிர்ப் புயங்களிலுள்ள வலைத்தகடுகளின்மேல் வெப்பம் விழாதவாறு அவைகள் மூடப்பட்டிருக்கின்றன. கருமையாக்கப்பட்ட வலைத்



படம் 143.

தகடுகளில் வீசுவெப்பம் ஒன்றும் விழாதபொழுது கால்வனு மீட்டரில் விலகல் சுழியாக இருக்கிறது. ஆனல் அவைகளின்மேல் வீசுவெப்பம் விழுமாயின் அவைகளின் மின்தடை உயர்ந்து, கால்வனு மீட்டரில் விலகலை உண்டாக்குகிறது. விலகலின் மதிப்பைக் கொண்டு வீசுவெப்பத்தின் செறிவை அளவிடமுடியும்.

14. வீசுவெப்பத்தின் தன்மைகள்

வீசுவெப்பம் பல பண்புகளில் ஒளியின் தன்மையைப் பெற்றிருக் கிறது. சூரியகிரகணம் ஏற்படும்பொழுது ஒளியும் வெப்பமும் ஒரே காலத்தில் நீக்கப்படுகின்றன. எனவே, வெப்பம் ஒளியின் வேகத்தைக்கொண்டு வெற்றிடத்திலும் செல்கிறது என்பது தெளிவு. வீசுவெப்பம் நேர்க்கோட்டில் செல்கிறது. எனவே அதன் செறிவு எதிர்விகித இருமடி விதிப்படி குறைகிறது. ஒளியைப்போல் வீசுவெப்பமும் எதிரொளிக்கும் தன்மையைக் கொண்டது. ஒரு ஊடகத்திலிருந்து வேருேர் ஊடகத்திற்கு செல்லும்பொழுது அது விலகலை அடைகிறது. ஒளியைப்போல்

வீசுவெப்பமும் அலை வடிவத்தில் பரவுகிறது என்றும், அதன் காரணமாக தகுந்த சூழ்நிலைகளில் குறுக்கீட்டு விளைவு (interference), தளவிளைவு (polerisation) ஆகியவற்றைத் தோற்றுவிக்கிறது என்றும் பரிசோதனைகள் மூலம் தெரிந்துகொள்ளலாம். வீசுவெப்பத்திற்கும் ஒளிக்கும் இடையே உள்ள வேறுபாடு அவைகளின் அலை நீளத்திலும், அவைகள் உண்டாக்கும் விளைவுகளிலும்தான் உள்ளது. ஒளியின் அலைநீளம் சுமார் 4000 முதல் 8000 ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு வரை உள்ளது. ஆனால் வீசுவெப்பத்தின் அலை நீளம் 8000 ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு முதல் 0.4 மி.மீ. வரை உள்ளது. எனவே, வீசு வெப்பமும் புரசிவப்பும் (Infra-red) ஒன்றேயாகும்.

15. கதிர்வீச்சுத் திறனும் உட்கவர் திறனும் (Emissive Power and Absorptive power)

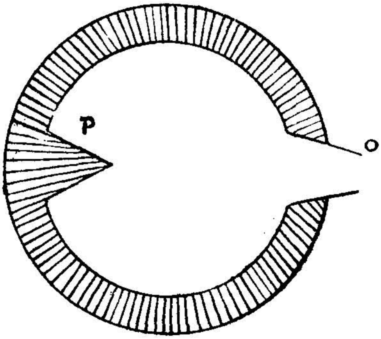
ஒரு பரப்பின் (ஒப்புமை) கதிர்வீச்சுத் திறன் (Comparative Emissive power) என்பது ஒரு வினாடியில் குறிப்பிட்ட பரப்பின் ஓரலகு பரப்பளவால் கதிர்வீச்சுமூலம் கொடுக்கப்படும் வெப்பத்திற்கும் அதே சூழ்நிலைகளில் ஒரு வினாடியில் முழு கரும்பொருளின் ஓரலகு பரப்பளவால் கதிர்வீச்சுமூலம் கொடுக்கப்படும் வெப்பத்திற்கும் இடையே உள்ள தகவாகும்.

ஒரு பரப்பின் உட்கவர் திறன் (Absorptive power) என்பது ஒரு வினாடியில் குறிப்பிட்ட பரப்பின் ஓரலகு பரப்பளவால் உட்கவரப்படும் வெப்பத்திற்கும் அந்தப் பரப்பளவின்மேல் ஒரு வினாடியில் விழும் வெப்பத்திற்கும் இடையே உள்ள தகவு ஆகும்.

ஒரு பரப்பின் கதிர்வீச்சு எண் (Emissivity) என்பது குறிப்பிட்ட பரப்பின் வெப்பநிலை சுற்றுப்புற வெப்பநிலையைவிட ஒரு டிகிரி செல்ஸியஸ் அதிகமாக இருக்கும்பொழுது அதன் ஓரலகு பரப்பளவால் ஒரு வினாடியில் கதிர்வீச்சுமூலம் கொடுக்கப்படும் வெப்பமாகும்.

கதிர்வீச்சுத் திறனும் உட்கவர் திறனும் பொதுவாக முழுவீசு வெப்பத்தைப் பொறுத்து வரையறுக்கப்படுகின்றன. ஆனால் λ முதல் $(\lambda + d\lambda)$ வரை அலைநீளமுள்ள கதிர்களை மாத்திரம் குறிக்குமாறு கதிர்வீச்சுத் திறனும் உட்கவர் திறனும் வரையறுக்கப்படுவதுண்டு. **ஓரலகு பரப்பளவால் ஒரு வினாடியில் வீசப்படும் கதிர்களில் λ முதல் $(\lambda + d\lambda)$ வரை அலைநீளமுள்ள வீசுகதிர்களின் வெப்ப அளவு $e_\lambda d\lambda$ எனில் λ அலை நீளத்திற்கு அந்தப் பரப்பின் கதிர் வீச்சுத்திறன் e_λ எனப்படுகிறது.**

16. கரும்பொருள் (Black body)



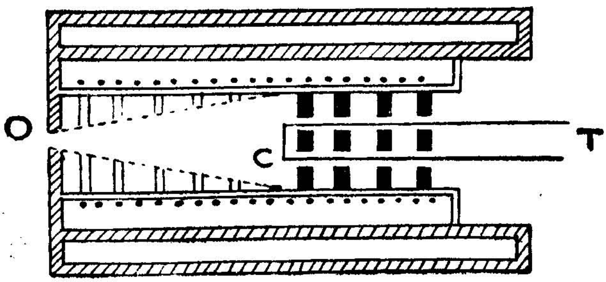
படம் 144.

எந்த ஒரு பொருள் அதன் மேல் விழும் வீசுவெப்பம் முழுவதையும் உட்கவருகிறதோ அதை முழுக் கரும்பொருள் என்று கூறுகிறோம். கருமையாக்கப்பட்ட தளம் சிறந்த கரும்பொருளல்ல. நடைமுறையில் முழு கரும்பொருளை எவ்விதம் அமைப்பது என்று ஃபெர்ரியும் (Fery), வியன்னும் (Wien) காட்டியுள்ளனர்.

ஃபெர்ரி என்பவர் ஒரு சிறு துவாரத்தை உடையதும் இரட்டைச் சுவரைக் கொண்டதுமான உள்ளீடற்ற ஓர் உலோகக் கோளத்தின் உட்புறத்தில் புகைக்கரியைக் கொண்டு கருமையாக்கி உள்ளே துவாரத்திற்கு எதிராக ஒரு கூம்பு வடிவக் குமிழையும் பொருத்தி முழு கரும்பொருளை உண்டாக்கினர். துவாரத்தின்மேல் விழுந்து உட்செல்லும் வீசுவெப்பத்தின் பெரும் பகுதி அது முதன் முதலில் படும் இடத்திலேயே கருமையான உட்பரப்பினுல் உட்கவரப்படுகிறது. எஞ்சியுள்ள பகுதி உள்ளேயே தொடர்ந்து எதிரொளிக்கப்படுவதாலும் ஒவ்வோர் எதிரொளிப் பின்பொழுதும் உட்கவருதல் ஏற்படுவதாலும் அது வெகு விரைவில் முழுவதும் உட்கவரப்படுகிறது. குமிழின் காரணமாக துவாரத்திற்கு எதிரிலுள்ள பாகத்தில் நேர்குத்தாக விழுவது தவிர்க்கப்படுகிறது. எனவே, துவாரத்தின் வழியே உட்செல்லும் வெப்பம் வெளியே வருவதற்கான சாத்தியக் கூறு அறவே நீக்கப்படுகிறது.

வியன் என்பவர் பித்தளை அல்லது பிளாட்டினத்தாலான நீள் உருளை வடிவக் கரும்பொருளை அமைத்தார். அதன் ஒரு முனையில் சிறு துவாரம் விடப்பட்டிருக்கிறது. அறையினுள் குழி வடிவ இடைத்திறைகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கின்றன. அவைகள் உள்ளே நோக்கியவாறும் கிரமப்படி சற்றுப் பெரிய துவாரங்களை உடையனவாகவும் இருக்கின்றன. உட்புறம் கருமையும் ஆக்கப் பட்டிருக்கிறது. தேவைப்படும்பொழுது மின்சாரத்தின்மூலம் அதைச் சூடேற்றுவதற்கு அதன் மேல் ஒரு பிளாட்டினக் கம்பி சுற்றப்பட்டிருக்கிறது. அதன் வெப்பநிலையை அளப்பதற்கு அதனுள் ஒரு வெப்பமின் இரட்டை பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது.

இந்த அமைப்பு முழுவதும் ஓரச்சைக் கொண்ட (co-axial) பீங்கான் நீள் உருளைக் கலங்களால் சூழப்பட்டுள்ளது.



படம் 145.

17. ப்ரிவோஸ்ட் பரிமாற்றுக் கொள்கை (Prevost's Theory of Exchanges)

ஒரு சூடான பொருள் சுற்றுப்புற வெப்பநிலையைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலையிலிருக்கும்பொழுது கதிர்வீச்சுமூலம் வெப்பத்தை இழக்கிறது என்பது தெளிவு. ஆனல், அது சுற்றுப்புற வெப்ப நிலையை அடைந்ததும், அது அதன் கதிர்வீசுதலை நிறுத்திக் கொள்கிறதா என்பதுபற்றிய தெளிவான கருத்தை முதன் முதலில் 1792ஆம் ஆண்டு பிரிவோஸ்ட் என்பவர் எடுத்துக் கூறினர். **தனிச் சுழிவெப்பநிலையைவிட உயர்ந்த வெப்பநிலையி லுள்ள எல்லாப் பொருட்களும் வீசுவெப்பத்தைக் கொடுக்கின்றன என்றும், ஒரு பொருளில் ஏற்படும் வெப்பநிலை உயர்வோ தாழ்வோ அப் பொருளுக்கும் சுற்றுப்புறப் பொருட்களுக்கும் இடையே உண்டாகும் வீசுவெப்பப் பரிமாற்றுதலின் விளைவினல்** ஏற்படுகிறது என்றும் அவர் கூறினர். இது ப்ரிவோஸ்ட் பரிமாற்றுக் கொள்கை எனப்படுகிறது.

கிர்காஃப் விதி (Kirchoff's law): 1859ஆம் ஆண்டு கிர்காஃப் என்பவரால் நிரூபிக்கப்பட்ட இவ் விதி கூறுவதாவது: **எந்த ஒரு வெப்பநிலையிலும் ஒரு பொருளின் கதிர்வீச்சுத் திற னுக்கும் உட்கவர் திறனுக்கும் இடையே உள்ள தகவு மாறிலியாக இருக்கிறது. அந்த மாறிலி அந்த வெப்பநிலையில் முழுக் கரும் பொருளின் கதிர்வீச்சுத் திறனுக்கு ஒப்பாக இருக்கிறது.**

இந்த விதியைக் கீழ்க்கண்டவாறு நிறுவலாம்: ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையிலுள்ள அறைக்குள் அதே வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு பொருள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். λ முதல் $(\lambda + d\lambda)$

வரை அலைநீளத்தைக் கொண்ட கதிர்களைப் பொறுத்துப் பொருளின் கதிர்வீச்சுத் திறனும், உட்கவர்திறனும் முறையே e_λ a_λ எனக் கொள்வோம். ஒரு வினடியில் பொருளின் ஓரலகு பரப்பின்மேல் படும் இந்த அலைநீளக் கதிர்களின் வெப்ப அளவு dQ என்போம். அதனுல் ஒரு வினடியில் உட்கவரப்படும் வெப்பம் $= a_\lambda\ dQ$. இப்பொழுது அதனுல் கதிர்வீச்சுமூலம் ஒரு வினடியில் கொடுக்கப்படும் வெப்பம் $= e_\lambda\ d_\lambda$. பொருளின் வெப்பநிலை மாருதிருப்பதால்

$$e_\lambda\ d_\lambda = a_\lambda\ dQ. \qquad \ldots \quad (1)$$

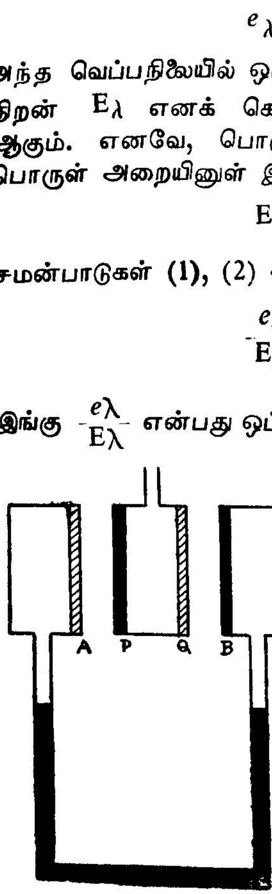
அந்த வெப்பநிலையில் ஒரு முழுக் கரும்பொருளின் கதிர்வீச்சுத் திறன் E_λ எனக் கொள்வோம். அதன் உட்கவர்திறன் 1 ஆகும். எனவே, பொருளுக்குப் பதிலாக ஒரு முழுக் கரும் பொருள் அறையினுள் இருப்பதாகக் கொள்வோமாயின்,

$$E_\lambda\ d\lambda = 1.\ dQ \qquad \ldots \quad (2)$$

சமன்பாடுகள் (1), (2) ஆகியவற்றிலிருந்து

$$\frac{e_\lambda}{E_\lambda} = a_\lambda \text{ அதாவது } \frac{e_\lambda}{a_\lambda} = E\ .$$

இங்கு $\frac{e\lambda}{E\lambda}$ என்பது ஒப்புமைக் கதிர்வீச்சுத்திறன் எனப்படும். இது உட்கவர்திறனுக்குச் சமமாக இருக்கிறது. எனவே உயர்ந்த கதிர் வீச்சுத்திறனைக் கொண்டுள்ள பொருள் உயர்ந்த உட்கவர் திறனையும் கொண்டுள்ளது. இதை ரிட்ச்சி (Ritchie) என்பவர் பரிசோதனை மூலம் காட்டியுள்ளார். ஒரு பகு காற்று அழுத்தமானியின் புயங்களின் உச்சியில் உள்ளீடற்ற இரு சமமான கனசதுரக் குமிழ்கள் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. படத்தில் AB என்ற பரப்புகள் ஒன்றையொன்று நோக்குவனவாக இருக்கின்றன. இவற்றில் ஒன்று (A) எந்தப் பொருளின் கதிர்வீச்சுத் திறனை ஆராய்கிறேமோ அதன் பூச்சுக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. மற்றது (B) கருமையாக்கப்பட்டுள்ளது. இப்பொழுது உள்ளீடற்ற கன சதுரக் கலமொன்று சுடுநீரால் நிரப்பப்பட்டு A, B-க்கு இடையே



படம் 146.

வைக்கப்படுகிறது. A-ஐ நோக்கிய அதன் பரப்பு (P) கருமை யாக்கப்பட்டிருப்பதாகவும், B-ஐ நோக்கிய அதன் பரப்பு (Q) பொருளின் பூச்சுக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளதாகவும் உள்ளன. PQ பரப்புகளின் பரப்பளவுகள் A, B இவைகளின் பரப்பளவுகளுக்குச் சமம். கனசதுரக் கலம் வைக்கப்படுவதால் பகுகாற்று வெப்பநிலை மானியில் திரவமட்டங்களின் நிலைகள் மாறுவதில்லை. எனவே, A, B ஆகிய பரப்புகளினுல் உட்கவரப்படும் வெப்பங்கள் சம அளவை உடையன எனத் தெரிகிறது. P என்ற கருமைப் பரப்பால் ஒரு விஞடியில் கொடுக்கப்படும் வெப்பம் q என்போம். A, Q பரப்புகளில் பூசப்பட்ட பொருளின் ஒப்புமை கதிர்வீச்சுத் திறன் e எனவும், உட்கவர்திறன் a எனவும் கொள்வோம். கருமையாக்கப்பட்ட பரப்பின் கதிர்வீச்சுத் திறன் E எனக் கொள்வோம். அதன் உட்கவர் திறன் 1 எனக் கொள்வோம். ஆகையால் ஒரு விஞடியில் Q-ஆல் கொடுக்கப்படும் வெப்பம் $= e\,q$. இப்பொழுது A-ஆல் ஒரு விஞடியில் உட்கவரப்படும் வெப்பம் $= a\,q$. இந்த ஒரு விஞடியில் B-ஆல் உட்கவரப்படும் வெப்பம் $= e\,q$. இவை இரண்டும் சமம்.

$$\text{ஆகையால்} \quad a\,q = e\,q. \qquad \therefore\ a = e.$$

18. கிர்கா∴ப் விதிக்கான எடுத்துக்காட்டுகள்

(i) படங்கள் வரையப்பட்ட பீங்கான் துண்டு ஒன்றை உலையில் வைத்து சுமார் 1000°C வெப்பநிலைவரை காய்ச்சிய பிறகு வெளியே எடுத்து உடனே ஒர் இருட்டறையில் நோக்கினுல் கருமையான கோடுகள் வெண்மையான பகுதிகளைவிடப் பொலிவு மிகுந்தவையாக இருப்பது தெரியும். கருப்புக் கோடுகள் குறைந்த வெப்பநிலையில் வெண்மையான பகுதிகளைவிட வெப்பத்தை அதிகம் உட்கவருகின்றன. உயர்ந்த வெப்பநிலையில் இவை வெண்மையான பகுதிகளைவிட அதிக வெப்பத்தைக் கதிர்வீச்சுமூலம் கொடுக்கின்றன.

(ii) பச்சைக்கண்ணுடி சாதாரண வெப்பநிலையில் வெள்ளை ஒளியிலுள்ள சிவப்புக்கதிர்களை உட்கவர்ந்துவிடுவதால்தான் அது அவ்விதம் பச்சையாகத் தெரிகிறது. அத்தகைய கண்ணுடித்துண்டு ஒன்றினை ஒர் உலையில் வைத்துக் காய்ச்சிய பிறகு எடுத்து உடனே ஒர் இருட்டறைக்குள் நோக்கினுல் அது சிவப்பாகத் தென்படும்.

(iii) சூரிய ஒளியின் நிறமாலையில் **∴ப்ரான் ஹோ∴பர்** வரிகள் என்றழைக்கப்படும் பல கருப்புக் கோடுகள் இருப்பதற்கான காரணத்தைக் கிர்கா∴ப் விதிமூலம் விளக்கலாம். சூரிய ஒளி

சூரியனின் உட்பாகமாகிய 'போட்டோஸ்பியர்' (photosphere) என்ற பகுதியில் உற்பத்தியாகிறது. இந்த ஒளி போட்டோஸ் பியரைச் சூழ்ந்துள்ளதும் அதைவிடக் குறைந்த வெப்பநிலையி லுள்ளதுமான 'குரோமோஸ்பியர்' (chromosphere) என்ற பகுதி வழியே வெளிவருகிறது. வெளிப்பகுதியான குரோமோஸ்பியர் பல வாயுக்களாலானது. இந்த வாயுக்கள் உயர்ந்த வெப்பநிலையில் இருக்கும்பொழுது எந்த அலைநீளக் கதிர்களைக் கொடுக்குமோ அதே அலைநீளக் கதிர்களைக் குறைந்த வெப்ப நிலையிலிருக்கும் பொழுது உட்கவருகின்றன. எனவே, சூரிய ஒளியின் நிறமாலையில் கறுப்புக்கோடுகள் தெரிகின்றன.

19. ஸ்டீஃபன்-போல்ட்ஸ்மன் விதி (Stefan-Boltzmann Law)

டின்டால் (Tyndall) என்பவர் பிளாட்டினக் கம்பியினால் கதிர்வீச்சுமூலம் கொடுக்கப்படும் வெப்பம் அதன் வெப்பநிலைக் கேற்றவாறு எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதை ஆராயப் பரிசோ தனைகள் செய்தார். டியுலாங்-பெட்டிட் (Dulong , Petit) ஆகிய வர்களும் ஒரு வெப்பநிலைமானியின் குளிரும் வீதத்தைப்பற்றிப் பரிசோதனைகள் செய்திருந்தனர். மேற்கூறிய பரிசோதனைகளின் முடிவுகளை ஆராய்ந்து ஸ்டீஃபன் என்பவர் ஒரு பொருளினால் கொடுக்கப்படும் மொத்த வீசுவெப்பம் அதன் தனிவெப்ப நிலையின் நான்காவது மடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது என்று கூறினார். போல்ட்ஸ்மன் (Boltzmann) என்பவர் வெப்ப இயக்கத் தத்துவங்களைக் கொண்டு இந்த விதியைத் தருவித்து இந்த விதி கரும்பொருளின் கதிர்வீச்சுக்கு மாத்திரம் பொருந்தும் எனக் கூறினார். எனவே, ஸ்டீஃபன் - போல்ட்ஸ்மன் விதி என்றழைக் கப்படும் விதி கீழ்க்கண்டவாறு கூறப்படுகிறது :

ஒரு முழுக் கரும்பொருளின் ஓரலகு பரப்பளவினால் ஒரு வினாடியில் கொடுக்கப்படும் மொத்த வீசுவெப்பம் அதன் தனி வெப்பநிலையின் நான்காவது மடிக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

இதை $E = \sigma T^4$ என்ற வாய்பாட்டால் குறிக்கலாம். இங்கு E என்பது ஓரலகு பரப்பளவினால் ஒரு வினாடியில் கொடுக்கப்படும் மொத்த வீசுவெப்பம்; T என்பது தனி வெப்பநிலை; σ என்பது ஸ்டீஃபன் மாறிலி.

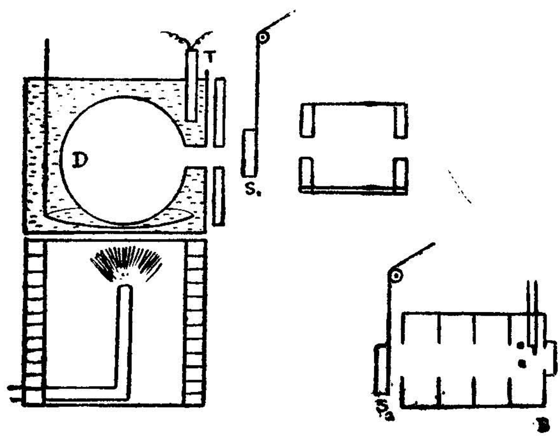
ஒரு பொருள் சுற்றுச் சுழல்களிலிருந்து ஏற்கக்கூடிய வெப்பத்தையும் கவனிப்போமாயின் அதன் ஓரலகு பரப்பளவால் ஒரு வினாடியில் இழக்கப்படும் மொத்த வீசுவெப்பம் (அதாவது குளிர்வுறும் வீதம்) கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டினால் கொடுக்கப்படும்,

$$E = \sigma (T^4 - T_0^4)$$

இங்கு T_0 என்பது சுற்றுச் சுழல்களின் தனி வெப்பநிலை யாகும்.

20. ஸ்டீஃபன் - போல்ட்ஸ்மன் விதியைச் சோதனை மூலம் மெய்ப்பித்தல்

இந்த விதியை மெய்ப்பிப்பதற்கான சோதனையை முதன் முதலில் லம்மர் - பிரிங்ஷீம் (Lummer and Pringsheim) என்பவர்கள் செய்தார்கள். அவர்கள் 100°C முதல் 1300°C வரையான வெப்ப நிலைகளுக்குச் சோதனைகளை நடத்தி ஸ்டீஃபன்-போல்ட்ஸ்மன் விதி உண்மை என்பதைக் கண்டனர். 100°C முதல் 600°C வெப்பநிலை



படம் 147.

களில் உள்ளே பிளாட்டினக் கருமை பூசப்பெற்ற செப்புக் கோளத்தைக் கரும்பொருளாகப் பயன்படுத்தினார்கள். இப் பொருளை உருவாக்கப்பட்ட சோடியம், பொட்டாசியம் நைட்ரேட்டு களின் கலவையைக் கொண்ட தொட்டியில் வைத்துச் சூடேற் றினார்கள். மேலே கூறிய வெப்பநிலைகளுக்கும் அதிகமான வெப்ப நிலைகளில் (குறிப்பாக 900°C முதல் 1300°C வெப்பநிலை வரையில்) இரும்பினால் செய்யப்பட்டதும் உள்ளே பிளாட்டினக் கருமை பூசப்பெற்றதுமான ஒரு நீள் உருளைக் கலத்தைக் கரும்பொருளாகப் பயன்படுத்தினார்கள். இதை இரட்டைச் சுவரையுடைய வாயு உலையில் வைத்துச் சூடேற்றினார்கள். கரும் பொருளின் வெப்ப நிலையை வெப்பமின் - வெப்பநிலைமானியால் அளந்தனர். வீசு

வெப்பத்தின் செறிவை அளப்பதற்கு **லம்மர், குர்ள்பாம்** (Lummer and Kurlbaum) என்பவர்களால் உருவாக்கப்பட்ட போலா மீட்டரைப் பயன்படுத்தினர்கள். தேவையில்லாதபொழுது வீசு வெப்பத்தைத் தடுப்பதற்கு நீரால் குளிர்விக்கப்பட்ட திரைகளைப் பயன்படுத்தினர்கள்.

போலா மீட்டரின் அளவீடுகளைக் கவனித்து உரிய திருத்தங்களைச் சேர்த்துக்கொள்வதற்காகக் கொதிநீரில் வைக்கப்பட்ட ஃபெர்ரி கரும்பொருள் (A) ஒன்று பயன்படுத்தப்பட்டது. இந்தக் கரும் பொருளிலிருந்து வெவ்வேறு தொலைவுகளில் போலா மீட்டரை வைத்து அதில் ஏற்படும் விலகல் தொலைவின் இருமடிக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கிறதா என்று சரிபார்த்தனர். அப்படி சரியாயிருப்பின் போலா மீட்டரின் விலகல் அதன்மேல் விழும் வீசு வெப்பத்தின் செறிவுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது எனக் கொள்ளலாம். பின்பு உயர் வெப்பநிலையிலுள்ள கரும்பொருளைப் போலா மீட்டரிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவில் வைத்து அது வெவ்வேறு நிலையான வெப்பநிலைகளிலிருக்கும்பொழுது போலா மீட்டரிலேற்படும் பெரும விலகல்களைக் குறித்தனர். கரும் பொருளின் தனி வெப்பநிலை T எனவும், போலா மீட்டரில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் திரையின் தனி வெப்பநிலை T_0 எனவும் இருக்கும் பொழுது போலா மீட்டரில் கிடைக்கும் விலகல் (d) கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டிற்கு உட்படுவதைக் கண்டனர்.

$$d = k\,(T^4 - T_0^4)$$

இங்கு k-ன் மதிப்பு ஒரு மாறிலியாக இருக்கிறது என்று காண்பிப்பதன் மூலம் ஸ்டீஃபன் - போல்ட்ஸ்மன் விதி மெய்ப்பிக்கப்படுகிறது.

21. ஸ்டீஃபன் - போல்ட்ஸ்மன் விதியிலிருந்து நியூட்டன் குளிர்வு விதியைத் தருவித்தல்

ஒரு பொருள் குளிரும்பொழுது அதனுல் ஒரு விஞடியில் கொடுக்கப்படும் வெப்பம் அதன் வெப்ப நிலைக்கும் சுற்றுச் சூழல்களின் வெப்பநிலைக்குமிடையே உள்ள வேறுபாட்டிற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது என்று நியூட்டன் கூறினர். இந்த விதி குறைந்த வெப்பநிலை வேறுபாடுகளுக்கு மாத்திரம் பொருந்துகிறது. இந்தக் கட்டுப்பாட்டு நிலையில் நியூட்டன் விதியை ஸ்டீஃபன்-போல்ட்ஸ்மன் விதியிலிருந்து கீழ்க்கண்டவாறு தருவிக்கலாம்:

T என்ற தனி வெப்பநிலையைக் கொண்ட சுற்றுச் சூழல்களில் $(T + \theta)$ என்ற தனி வெப்பநிலையைக் கொண்ட ஒரு பொருள்

வைக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். பொருளினால் ஒரு விநாடியில் இழக்கப்படும் வெப்பம் ஸ்டீஃபன் போல்ட்ஸ்மன் விதிப்படி கீழ்க் கண்ட சமன்பாட்டால் கொடுக்கப்படும் :

$$\frac{dQ}{dt} = k\left[(T + \theta)^4 - T^4 \right]$$

$$= k\left[T^4\left(1 + \frac{\theta}{T}\right)^4 - T^4 \right]$$

$$= k\left[T^4\left(1 + \frac{4\theta}{T}\right) - T^4 \right]$$

$$= k\,[T^4 + 4T^3\theta - T^4]$$

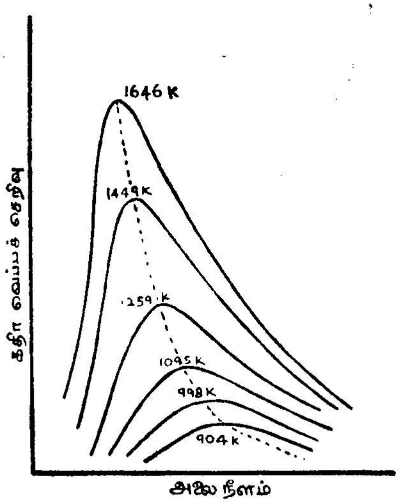
$$= 4kT^3\theta$$

எனவே, T மாறா மதிப்பைக் கொண்டுள்ளபொழுது வெப்ப இழப்பு வீதம் θ-க்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது. இதுவே நியூட்டன் குளிர்வு விதியாகும்.

22. கரும் பொருளினால் கொடுக்கப்படும் வீசு வெப்பத்தின் நிறமாலையில் ஆற்றல் பரப்பீடு (Energy distribution in the spectrum of a black body)

ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை உயர்த்தப்படும்பொழுது அதனால் கொடுக்கப்படும் ஒளியின் நிறம் மாறுகிறது. இவ்வாறே அதனால் கொடுக்கப்படும் வீசுவெப்பத்தின் வெவ்வேறு அலை நீளங்களி லுள்ள ஆற்றல் செறிவு மாறும். இதைப்பற்றிய சோதனை லம்மர், பிரிங்ஷீம் இவர்களால் செய்யப்பட்டது. ஒரே சீராகச் சூடேற்றப்பட்ட நீள் உருளை வடிவக் கரும்பொருளிலிருந்து கிடைக்கும் வீசு வெப்பக் கதிர்கள் ஒரு சிறு பிளவுத்துளை (slit) வழியாகச் செலுத்தப்பட்டபின் இணையாக்கப்பட்டு ஃப்ளோரர்ஸ்பார் (Flourspar) என்ற படிக முப்பட்டகத்தின்மேல் விழும்படி செய்யப் படுகின்றன. முப்பட்டகத்தினின்று வரும் விடுகதிர்கள் ஒரு வரி வடிவப் போலாமீட்டர் (Linear Bolometer) மேல் குவிக்கப் படுகின்றன. வெப்பக் கதிர்களை இணையாக்குவதற்கும் குவிப்பதற் கும் லென்ஸ்களுக்குப் பதிலாகக் குழி ஆடிகள் பயன்படுத்தப்படு கின்றன. வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் வெவ்வேறு அலைநீளங் களில் வீசுவெப்பத்தின் ஆற்றல் செறிவுகளை அளந்து வரைபடங் களில் குறிக்கலாம். இவ்வாறு வரையப்படும் கோடுகள் படம் 148-ல் காட்டியவாறிருக்கும். இந்தக் கோடுகளிலிருந்து இரண்டு உண்மைகள் தெளிவாகும்: (i) வெப்பநிலை உயரும்பொழுது ஒவ்

வொரு அலை நீளத்திற்குமான கதிர்வீச்சுத் திறன் அதிகமாகிறது. (ii) ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் ஒரு குறிப்பிட்ட அலைநீள



படம் 148.

வெப்பக் கதிர் பெரும ஆற்றல் செறிவைக் கொண்டிருக்கிறது. கரும்பொருளின் வெப்பநிலை அதிகமாகும்பொழுது பெரும ஆற்றல் செறிவு குறைந்த அலைநீளமுள்ள கதிரில் அமைகிறது.

ஆற்றல் பரப்பீட்டைப் பற்றிக் கீழ்க்கண்ட விதிகள் வெவ்வேறு விஞ்ஞானிகளால் தெரிவிக்கப்பட்டுப் பயன்படுகின்றன :

(i) **வியன் இடப்பெயர்ச்சி விதி** (Wien's displacement law) :

$\lambda m \, T$ = மாறிலி

(இங்கு λm = பெரும ஆற்றல் செறிவைக் கொண்டுள்ள வெப்பக்கதிரின் அலைநீளம்.

T = தனி வெப்பநிலை).

(ii) **வியன் ஐந்து மடி விதி** (Wien's Fifth Power Law) :

$E_m = KT^5$

(இங்கு E_m = பெரும வீசு வெப்பச் செறிவு

K = மாறிலி

T = தனி வெப்பநிலை)

(iii) **வியன் பரப்பீட்டு வாய்பாடு** (Wien's distribution formula):

$$E\lambda = C_1 \lambda^{-5} e^{-C_2/\lambda T}$$

(இங்கு $E\lambda$ = λ அலை நீளத்தைக் கொண்ட வீசு வெப்பக் கதிரின் ஆற்றல் செறிவு.

C_1, C_2 = மாறிலிகள்

T = தனி வெப்பநிலை).

(iv) **ராலே - ஜீன்ஸ் பரப்பீட்டு வாய்பாடு** (Raleigh - Jeans' distribution formula) :

$$E\lambda = 8\pi k T \lambda^{-4}$$

(இங்கு $E\lambda$ = λ அலை நீளத்தைக் கொண்ட வீசு வெப்பக் கதிரின் ஆற்றல் செறிவு

k = போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி

T = தனி வெப்பநிலை).

(v) **பிளாங்க் பரப்பீட்டு வாய்பாடு** (Planck's distribution formula) :

$$E\lambda = \frac{8\pi hc \lambda^{-5}}{(e^{hc/k\lambda T} - 1)}$$

(இங்கு $E\lambda$ = λ அலை நீளத்தைக் கொண்ட வீசு வெப்பக் கதிரின் ஆற்றல் செறிவு

h = பிளாங்க் மாறிலி

C = மின்காந்த அலையின் திசைவேகம்

k = போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி

T = தனி வெப்பநிலை)

மேலே கூறப்பட்டுள்ள பரப்பீட்டு வாய்பாடுகளில் பிளாங்க் வாய்பாடு மற்றவைகளைவிடச் சிறப்புப் பெற்றது. அது குவாண்டம் கொள்கையை (Quantum Theory) அடிப்படையாகக் கொண்டது.

23. வியன் இடப்பெயர்ச்சி விதி (Wiens' Displacement Law)

வெப்பத்தை உட்கவராததும், வெளியில் கடத்தாததுமான சுவர்களைக் கொண்ட கோளக வடிவமுள்ள ஒரு கலத்தினுள் கரும் வீசுவெப்பம் (Black radiation) உள்ளது எனக் கொள்வோம். கலத்தின் சுவர்கள் வெளிநோக்கி *u* திசை வேகத்துடன் நகருகின்றன எனப் பாவனை செய்வோமானால், இரு விளைவுகள் ஏற்படும்:

(i) டாப்ளர் விளைவினால் அலை நீளம் மாறும்.

(ii) பரும மாறுதலினால் வெப்பநிலை மாறுபாடும், ஆற்றல் செறிவு மாறுபாடும் ஏற்படும்.

இப்பொழுது டாப்ளர் விளைவின் மதிப்பை இவ்வாறு கணக்கிடலாம். λ அலை நீளமுள்ள கதிர் சுவரின்மேல் நேர்க்குத்தாகப் படுவதாகவும், சுவர் PQ நிலையிலிருக்கும்போது அலையின் ஒரு முகடு A என்ற புள்ளியில் படுவதாகவும், அந்தச் சமயத்தில் அலையின் அடுத்த முகடு B புள்ளியில் இருப்பதாகவும் கொள்வோம். B முகடு சுவரை அடைவதற்குள் சுவர் $P_1\ Q_1$ நிலைக்குச் சென்று விடுகிறது என்க. சுவரின் இரு நிலைகளுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு Z என்க. அலையின் இரண்டாவது முகடு $P_1\ Q_1$-ல் படும் இடத்தை B_1 என்போம். இரண்டாவது முகடு B_1 புள்ளியை அடையும் பொழுது, A புள்ளியில் எதிரொளிக்கப்பட்ட முதல் முகடு A_1 என்ற புள்ளியை அடைகிறது என்போம். எனவே, சுவர் நகருவதால் எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிரின் அலைநீளம் $A_1\ B_1$-க்குச் சமம். இரண்டாவது முகடு, BB_1 தொலைவைக் கடப்பதற்கு எடுத்துக் கொள்ளும் காலம் $t = \frac{\lambda + z}{C}$ (இங்கு C என்பது கதிரின் வேகம், அதாவது ஒளியின் வேகம்). இந்தக் காலத்தில் முதல் முகடு AA_1 தொலைவைக் கடக்கிறது. எனவே,

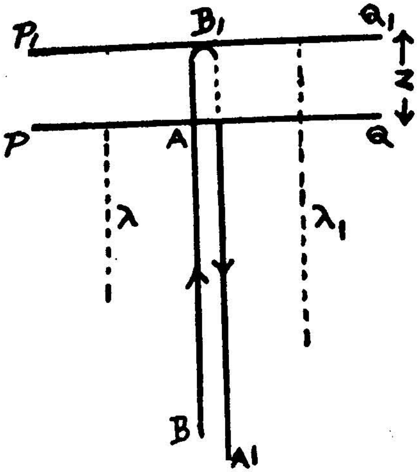
$$AA_1 = Ct = C\left(\frac{\lambda + Z}{C}\right) = \lambda + Z.$$

எனவே, $B_1\ A_1 = Z + AA_1$

$$= Z + \lambda + Z$$

$$= \lambda + 2Z$$

ஆனல் $Z = ut = u\left(\frac{\lambda + Z}{C}\right)$



படம் 149.

அதாவது $CZ = u\lambda + uZ$

$\therefore \quad Z(C-u) = u\lambda$

$$\therefore \quad Z = \frac{u\lambda}{C-u}$$

எனவே, λ_1 = புதிய அலைநீளம்

$$= B_1 A_1$$

$$= \lambda + 2Z$$

$$= \lambda + \frac{2u\lambda}{C-u}$$

$$= \lambda + \frac{2u\lambda}{C}$$

எனவே, $\Delta\lambda$ = பாதை நீளத்தில் ஏற்பட்ட மாறுபாடு

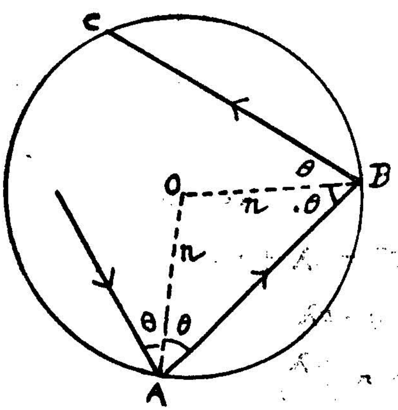
$$= \lambda_1 - \lambda$$

$$= \frac{2u\lambda}{C}.$$

கதிரானது சுவரின் மேல் நேர்க்குத்தாகப் படாமல் θ கோணத்தில் படுமானால், அலை நீளத்தில் ஏற்படும் மாறுபாடு, சுவரின் திசைவேகம் கதிரின் திசையில் என்ன ஆக்கக் கூறைக் கொண்டுள்ளதோ அந்த மதிப்பைப் பொறுத்ததாக இருக்கும்.

எனவே, $$\Delta \lambda = \lambda_1 - \lambda = \frac{2u \lambda \cos \theta}{C}$$

இந்த மாறுபாடு ஓர் எதிரொளிப்பினால் ஏற்படும் மாறுபாடாகும். கொள்கலத்தினுள் பலமுறை எதிரொளிப்பு ஏற்படுமாகையால், ஒரு குறிப்பிட்ட கால அளவுக்குள் ஏற்படும் எதிரொளிப்புகளின் எண்ணிக்கையைக் கவனிக்கவேண்டும்.



படம் 150.

கலத்தின் ஆரம் r என்றிருக்கும்பொழுது, θ கோணத்தில்பட்டு எதிரொளிக்கப்படும் கதிர் அடுத்தடுத்த இரு எதிரொளிப்புகளுக்கிடையே செல்லும் தொலைவு $= 2r \cos\theta$. ஆனால் dt கால அளவில் அது செல்லும் மொத்தத் தொலைவு $= Cdt$.

இதற்குள் அந்தக் கதிர் எதிரொளிக்கப்படுவதன் எண்ணிக்கை

$$= \frac{Cdt}{2r \cos\theta}$$

ஒவ்வோர் எதிரொளிப்பிலும் ஏற்படும் அலைநீள மாறுபாடு

$$= \frac{2u\lambda \cos\theta}{C}$$

எனவே, dt காலத்தில் ஏற்படும் மொத்த அலைநீளமாறுபாடு

$$= \frac{2u\lambda \cos\theta}{C} \cdot \frac{Cdt}{2r \cos\theta}$$

$$= \frac{u\lambda\, dt}{r}$$

$= d\lambda$ என்க.

இதில் $u = \frac{dr}{dt}$ என்று பதிலீடு செய்தால்,

$$\frac{\lambda}{r} \frac{dr}{dt}\, dt = d\lambda$$

அதாவது $\frac{dr}{r} = \frac{d\lambda}{\lambda}$

இதன் தொகுதி காணில்,

$$\log r = \log\lambda + \text{மாறிலி}$$

அதாவது $\log r - \log\lambda = $ மாறிலி

$\therefore \log \frac{r}{\lambda}$ மாறிலி

$\therefore \frac{\lambda}{r} = $ வேறு ஒரு மாறிலி $= K_1$ என்க. ... (I)

இப்பொழுது வெப்பமாற்றீடற்ற முறையில் விரிவடைதலினல், ஏற்படும் வெப்பநிலை வேறுபாட்டையும், அதன் விளைவையும் கவனிப்போம். இந்த நிலையில் dU என்பது உள் ஆற்றலில் ஏற்படும் மாறுபாடு எனவும், dv என்பது p அழுத்தத்தில் ஏற்படும் பருமமாறுபாடு எனவும் கொள்வோமாஞல்,

$$dU + pdv = 0 \qquad \text{... (1)}$$

ஆற்றல் செறிவு ψ எனில்

$$U = \psi v$$

$$\therefore dU = \psi\, dv + v d\psi \qquad (2)$$

மேலும் $p = \frac{\psi}{3}$.

இந்த மதிப்புகளை (1) ஆவது சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால்,

$$\psi\, dv + v d\psi + \frac{\psi}{3}\, dv = 0.$$

$$\therefore\quad 4\frac{\psi}{3}\, dv = -v d\psi$$

அதாவது $\frac{4}{3}\frac{dv}{v} = -\frac{d\psi}{\psi}$.

இதனைத் தொகுநி காணில், $\log v^{\frac{4}{3}} + \log \psi$ = மாறிலி

அதாவது $\psi v^{\frac{4}{3}}$ = மாறிலி ... (3)

ஆனால், வெப்ப இயக்கச் சமன்பாடுகளிலிருந்து ஸ்டீஃபன் போல்ட்ஸ்மன் கதிர்வீச்சு விதியைத் தருவிக்கும்பொழுது,

$\psi = KT^4$ எனக் காட்டப்பட்டது. ... (4)

இதனை (3)-ல் பதிலீடு செய்தால்,

$KT^4\ v^{\frac{4}{3}}$ = மாறிலி

அதாவது $T^4\ v^{\frac{4}{3}}$ = மாறிலி

எனவே $Tv^{\frac{1}{3}}$ = மாறிலி

ஆனால் $v = \frac{4}{3}\pi r^3$

எனவே $T\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)^{\frac{1}{3}}$ = மாறிலி

$\therefore$ Tr = மாறிலி = K_2 என்க. ... (II)

I-ல் கிடைக்கும் r-ன் மதிப்பை II-ல் பதிலீடு செய்வோமானால்,

$$T\frac{\lambda}{K_1} = K_2$$

அதாவது $\lambda T = K_1 K_2$ = மாறிலி ... (III)

T_1 வெப்பநிலையில் λ_1 முதல் $(\lambda_1 + d\lambda_1)$ வரையுள்ள அலைநீளக் கதிர்களின் செறிவை $\psi_{\lambda_1}\, d\lambda_1$ என்பதால் குறிப்பிடுவோம்,

வெப்ப மாற்றீடற்ற விரிவினுல் (adiabatic expansion) T_1 வெப்ப நிலை T_2 வெப்பநிலையாக மாறுகிறது என்றும், λ_1 $(\lambda_1 + d\lambda_1)$ அலை நீளங்கள் முறையே λ_2. $(\lambda_2 + d\lambda_2)$ அலை நீளங்களாக மாறுகின்றன எனவும், $\psi_{\lambda_1}\, d\lambda_1$ என்ற செறிவு $\psi_{\lambda_2}\, d\lambda_2$ என்ற செறிவாக மாறுகிறது எனவும் கொள்வோம்.

I-ன் காரணமாக $\lambda_1 T_1 = \lambda_2 T_2$

$$(\lambda_1 + d\lambda_1)\, T_1 = (\lambda_2 + d\lambda_2)\, T_2$$

$$\therefore \quad T_1\, d\lambda_1 = T_2\, d\lambda_3$$

$$\text{அதாவது} \quad \frac{d\lambda_1}{d\lambda_2} = \frac{T_2}{T_1} \qquad \ldots \quad (5)$$

ψ_1, ψ_2 என்பவை முறையே T_1, T_2 வெப்ப நிலைகளில் உள்ள மொத்த ஆற்றல் செறிவுகள் எனக் கொள்வோமாஞல்,

$$\psi_1 = \Sigma\, \psi_{\lambda_1}\, d\lambda_1$$

$$\psi_2 = \Sigma\, \psi_{\lambda_2}\, d\lambda_2$$

$$\therefore \quad \frac{\psi_1}{\psi_2} = \frac{\psi_{\lambda_1}\, d\lambda_1}{\psi_{\lambda_2}\, d\lambda_2}$$

ஆனுல் (4)ஆவது சமன்பாட்டின்படி,

$$\frac{\psi_1}{\psi_2} = \frac{T_1^4}{T_2^4}.$$

$$\text{எனவே,} \quad \frac{\psi_{\lambda_1}\, d\lambda_1}{\psi_{\lambda_2}\, d\lambda_2} = \frac{T_1^4}{T_2^4}.$$

5ஆவது சமன்பாட்டிலுள்ள மதிப்பை இதில் பதிலீடு செய்தால்,

$$\frac{\psi_{\lambda_1}}{\psi_{\lambda_2}} \cdot \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_1^4}{T_2^4}$$

$$\text{அதாவது} \quad \frac{\psi_{\lambda^1}}{\psi_{\lambda_2}} = \frac{T_1^5}{T_2^5}$$

E_{λ_1} என்பது λ_1 அலைநீளத்தைப் பொறுத்த கதிர்வீச்சுத் திறன் (Emissive power) என்றும், E_{λ_2} என்பது λ_2 அலை நீளத்தைப் பொறுத்த கதிர்வீச்சுத் திறன் என்றும் கொள்வோமாஞல்,

$$E_{\lambda_1} \propto \psi_{\lambda_1}$$

$$E_{\lambda_2} \propto \psi_{\lambda_2}$$

எனவே $\dfrac{E_{\lambda_1}}{E_{\lambda_2}} = \dfrac{\psi_{\lambda_1}}{\psi_{\lambda_2}} = \dfrac{T_1^5}{T_2^5}$

எனவே $E_\lambda \propto T^5$ எனலாம்.

அதாவது $E_\lambda = CT^5$ ... (6)

இங்கு C என்பது ஒரு மாறிலி. இப்பொழுது E_λ என்பது வெப்பநிலையைப் பொறுத்து மாறுவதல்லாமல், அலைநீளத்தையும் பொறுத்து மாறும் என்பதைக் கருத்தில் கொள்வோமானால், C என்ற மாறிலியின் மதிப்பு λ-வுடன் சம்பந்தப்பட்டதாக இருக்க வேண்டும் என்று புலப்படும். இதற்கு Iஆல் கொடுக்கப்படும் λT = மாறிலி என்பது மிக ஏற்றதாக அமைகிறது.

எனவே, $E_\lambda = T^5 f(\lambda T)$

அல்லது III-லிருந்து $E_\lambda = C_1\lambda^{-5} e^{-C_2/\lambda T}$ ... (7)

(இங்கு C_1, C_2 என்பவை மாறிலிகள்.)

இதுவே வியனின் பரப்பீட்டு வாய்பாடு (Distribution Formula) எனப்படுகிறது.

1-லிருந்து $\lambda_m T$ = மாறிலி

(இங்கு λ_m என்பது பெரும ஆற்றல் செறிவைக் கொண்ட வெப்பக்கதிரின் அலை நீளம்.)

இது வியன் இடப்பெயர்ச்சி விதி எனப்படுகிறது.

(6)-லிருந்து $E_m = CT^5$

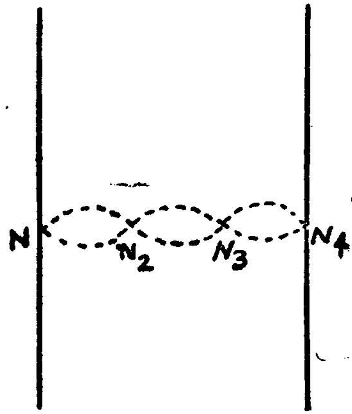
(இங்கு E_m என்பது பெருமச் செறிவை உடைய கதிரைப் பொறுத்த கதிர் வீச்சுத்திறன் அல்லது ஆற்றல் செறிவு.)

இது வியனின் ஐந்துமடி விதி எனப்படுகிறது.

24. ராலே - ஜீன்ஸ் விதி (Rayleigh - Jeans' Law)

உட்கவராமல் முழுவதும் எதிரொளிக்கக்கூடிய சுவர்களை உடைய உள்வீடற்ற கனசதுரக் கலத்தினுள் உள்ள வீசு வெப்பக் கதிர்களை ராலே, ஜீன்ஸ் என்பவர்கள் ஆராய்ந்து பார்த்தனர்.

கதிர்கள் பல்வேறு திசைகளிலும் சென்று எதிரொளிக்கப் படுகின்றன என்றும், அவ்வாறு எதிரொளிக்கப்படும் கதிர்களும், படு கதிர்களும் நிலை அலைகளை ஏற்படுத்தும் என்றும் கருதினர்கள். அவ்வாறுன நிலை அலைகள் கணுக்களையும் எதிர் கணுக்களையும்



படம் 151.

கொண்டிருக்கும் என்பது தெளிவு. மேலும், சுவர்களில் மோதும் இடங்கள் கணுக்களாக அமையும். அடுத்தடுத்து ஒரு கதிர் நேர்க்குத்தாக எந்த இரு புள்ளிகளில் எதிரொளிக்கப்படுகிறதோ அந்தப் புள்ளிகளுக்கிடைப்பட்ட தொலைவு l எனில், அந்த நீளம் 1, 2, 3......வளையங்களைக் (loops) கொண்டதாக இருக்கும். இதற்கான அலை நீளங்கள் $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$......எனில்,

$$l = \frac{\lambda_1}{2} = \frac{2\lambda_2}{2} = \frac{3\lambda_3}{2} = \quad \ldots \quad \ldots$$

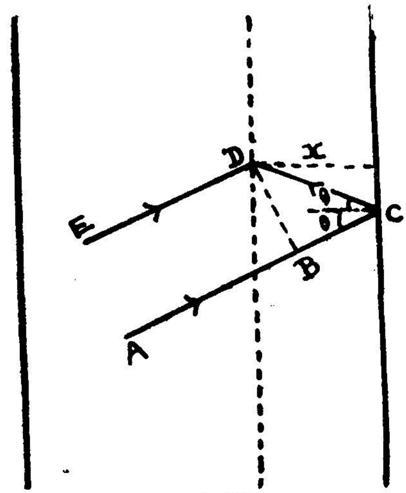
$$\text{அதாவது } \lambda_1 = 2l, \lambda_2 = \frac{2l}{2}, \lambda_3 = \frac{2l}{3} \quad \ldots \quad \ldots$$

எனவே $\lambda = \frac{2l}{n}$ எனப் பொதுவாகக் குறிப்பிடலாம்.

இங்கு $n = 1, 2, 3 \ldots\ldots \infty$ என்ற முழு எண்.

படும் கதிர் சுவருக்கு நேர்க்குத்தாக இல்லாமல் θ கோணத்தில் சாய்ந்துள்ளது எனக் கொள்வோம். *ABC*, *ED* என்ற இரு இணையான படுகதிர்களைக் கவனிப்போம். *ABC*-ன் எதிரொளிப்புக் கதிரான *CD*, *ED*ஐ *D* புள்ளியில் சந்தித்துக் கணுவை உண்டாக்குகிறது எனக் கொள்வோம். கணு உள்ள இடத்தில் படுகதிரும்,

எதிரொளிப்புக்கதிரும் ஒன்றை ஒன்று அழித்துக் கொள்கின்றன. எனவே, படுகதிருக்கும் எதிரொளிக்கப்பட்ட கதிருக்கும் இடைப்



படம் 152.

பட்ட பயனுறு பாதை நீளவேறுபாடு $(2\,m + 1)\ \lambda/2$ (இங்கு m ஒரு முழு எண்).

தோற்றப்பாதை நீளவேறுபாடு $= BC + CD$. சுவருக்கும் கணுவிற்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு $= x$ என்க.

$$\therefore\quad CD \cos\theta = x$$

$$\text{எனவே, } CD = \frac{x}{\cos\theta}$$

$$\text{இப்பொழுது } BC = CD \cos 2\theta$$

$$= \frac{x}{\cos\theta} \cos 2\theta$$

$$\text{தோற்றப்பாதை நீளவேறுபாடு} = BC + CD$$

$$= \frac{x}{\cos\theta} [\cos 2\theta + 1]$$

$$= \frac{x}{\cos\theta} (2\cos^2\theta)$$

$$= 2x\cos\theta.$$

சுவரில் கணு இருப்பதால், எதிரொளிப்பில் $\frac{\lambda}{2}$ பாதை நீள வேறுபாடு புகுத்தப்படுகிறது.

$\therefore$ B-யிலிருந்து D வரையுள்ள பயனுறு பாதை நீளம்

$$= 2x \cos \theta + \frac{\lambda}{2}$$

D-ல் கணு உண்டாவதால்

$$2x \cos \theta + \frac{\lambda}{2} = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$$

அதாவது $2x \cos \theta = 2m \frac{\lambda}{2}$

$$= m\lambda$$

$$\therefore \quad x = \frac{m\lambda}{2 \cos \theta}$$

இவ்வாறு சுவரிலிருந்து x தொலைவில் உள்ள தொலைவில் பல கணுக்கள் இருக்குமாதலால், அதை ஒரு கணுத்தளம் எனலாம். m-ன் பல்வேறு மதிப்புகளுக்கு ஏற்றுற்போல் பல கணுத்தளங்கள் உள்ளன. சுவருக்கும் முதல் கணுத் தளத்திற்கும் இடைப்பட்ட தொலைவு $= \frac{\lambda}{2 \cos \theta}$. இணையான இரு சுவர்களுக்கிடையே உள்ள தொலைவு 'a' என்றும், இதில் n வளையங்கள் ஏற்படுகின்றன என்றும் கொள்வோமானல்,

$$n \frac{\lambda}{2 \cos \theta} = a$$

$$\text{அதாவது} \quad = \frac{2a \cos \theta}{n}$$

இவ்வாறு λ அலைநீளமுள்ள கதிர் a பக்கமுள்ள கன சதுரத்தின் மூன்று ஜோடி சுவர்களில் முறையே θ_1, θ_2, θ_3 கோணங்களில் படுகிறது என்றும் முதல், இரண்டாவது, மூன்ருவது ஜோடி சுவர்களுக்கிடையில் முறையே n_1, n_2, n_3 வளையங்கள் உள்ளன எனவும் கொள்வோமானல்,

$$\lambda = \frac{2a \cos \theta_1}{n} = \frac{2a \cos \theta_2}{n} = \frac{2a \cos \theta_3}{n}$$

ஆனால், $\cos^2\theta_1 + \cos^2\theta_2 + \cos^2\theta_3 = 1.$

எனவே, $\frac{\lambda^2}{4a^2}(n_1^2 + n_2^2 + n_3^2) = 1.$

அதாவது $n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 = \frac{4a^2}{\lambda^2}$ ... ... (1)

கதிரின் அதிர்வெண் $= \gamma$ எனில்

$$\gamma = \frac{C}{\lambda}$$

அதாவது $\frac{\gamma}{C} = \frac{1}{\lambda}$

இதனை (1)-ல் பதிலீடு செய்யும்பொழுது,

$$n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 = \frac{4a^2\gamma^2}{C^2} = \left(\frac{2a\gamma}{C}\right)^2 \quad \dots \quad \dots \quad (2)$$

இதில் n_1, n_2, n_3 ஆகியவை முழு எண்ணாக இருக்கக் கூடிய வாறுதான் λ-ன் மதிப்பும், γ-ன் மதிப்பும் அமையும். n_1, n_2, n_3 இவற்றிற்கு நேர்க்குறி முழு எண்கள் மதிப்புள்ள ஒவ்வொரு தொகுதியும் (set) ஓர் அதிர்வு வகையைக் (Mode of vibration) கொடுக்கும்; இவ்வாறு ஏற்படக்கூடிய அதிர்வு வகைகளின் எண்ணிக்கையைக் கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடலாம்:

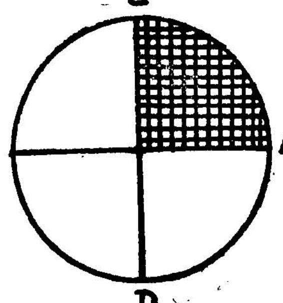
(2) ஆவது சமன்பாடு முப்பரிமாணத்தைக் கொண்ட ஒரு கோளகப் பரப்பைக் குறிப்பதாகும். இதிலிருந்து அதிர்வு வகை களின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடுவதற்குமுன் இரு பரிமாணத் தில் அதிர்வு வகைகளின் எண்ணிக்கையை எவ்வாறு கணக்கிட லாம் என்று பார்ப்போம். (2) ஆவது சமன்பாட்டை இரு பரிமாணத் துக்குரியதாக மாற்றியமைக்கும்பொழுது,

$$n_1^2 + n_2^2 = \left(\frac{2a\gamma}{C}\right)^2$$

இது ஒரு வட்டத்திற்கான சமன்பாடாகும். இதன் ஆர மதிப்பு $\frac{2a\gamma}{C}$. இதில் அடங்கியுள்ள முழு எண்கள் மதிப்புகளை x, y ஆயங் களில் முறையே n_1, n_2 எனக் குறித்து, அந்தப் புள்ளிகள் வழி யாக நிலை ஆயங்களையும், கிடை ஆயங்களையும் வரையவேண்டும்.

n_1, n_2 நேர்க்குறி மதிப்புகளை மட்டும் பெறுமாதலால், இந்தக் கோடுகள் முதல் கால் வட்டத்தில் மாத்திரம் அமையும். வட்டத் தின் பரிதியில் அமைந்து n_1, n_2-க்கு முழு எண்கள் மதிப்புள்ள புள்ளிகள் ஒவ்வொன்றும் γ அதிர்வெண் கொண்ட கதிரின் அதிர்வு வகையைக் குறிக்கும். ஆனல் வட்டத்திற்குள் உள்ள புள்ளி γஐ விடக் குறைந்த அதிர்வெண்ணுக்குரியதாகும். எனவே, முதல் கால் வட்டத்தில் வரையப்பட்ட கோடுகளின் வெட்டுப் புள்ளிகள் n_1, n_2-களுக்கு முழு எண் மதிப்புகளை உடையனவாயிருந்து, 0 முதல் γ வரை அதிர்வெண் உடைய கதிர்களின் அதிர்வு வகைகளைக் குறிக்கின்றன. வெட்டுப் புள்ளிகளின் மொத்த எண்ணிக்கை அதிர்வு வகைகளின் மொத்த எண்ணிக்கையைக் கொடுக்கும். வரையப்பட்ட கோடுகள் முதல் கால் வட்டத்தின் பரப்பை ஓரலகுப் பரப்புள்ள சம சதுரங்களாகப் பிரிப்பதாலும், ஒவ்வொரு சம சதுரமும் ஒரு வெட்டுப் புள்ளியுடன் தொடர்பு படுத்தக்கூடியதாக இருப்பதாலும், கால் வட்டத்தின் பரப்பளவு வெட்டுப் புள்ளிகளின் எண்ணிக்கையை — எனவே — அதிர்வு வகைகளின் எண்ணிக்கையைக் கொடுக்கும்.

இவ்வாறே முப்பரிமாணத்தில் O முதல் γ வரை அதிர்வெண் உடைய கதிர்களின் மொத்த அதிர்வு வகை எண்ணிக்கை $\frac{2a\gamma}{C}$ என்பதை ஆரமாகக்கொண்டு வரையப்பட்ட கோளத்தின் 8-ல் ஒரு பங்குப் பருமனுல் கொடுக்கப்படும். எனவே, γ முதல் $\gamma + d\gamma$



படம் 153.

வரை அதிர்வெண் உடைய கதிர்களின் அதிர்வு வகை எண் ணிக்கை $\frac{2a\gamma}{C}$, $\frac{2a(\gamma + \partial\gamma)}{C}$ என்ற ஆரங்கள் உள்ள ஒரு மைய இரு கோளங்களுக்கிடைப்பட்ட பருமனின் 8-ல் ஒரு பங்கு மதிப் பால் கொடுக்கப்படும்.

$$\frac{2a\gamma}{C} = r \text{ எனில்,}$$

மேலே குறிப்பிடப்பட்ட அதிர்வு வகைகளின் எண்ணிக்கை $\Big\} = \frac{1}{8}(4\pi r^2)\, dr$

$$= \frac{1}{8} 4\pi \left(\frac{2a\gamma}{C}\right)^2 \frac{2a\,d\gamma}{C}$$

$$= \frac{4\pi a^3 \gamma^2 d\gamma}{C^3}$$

இதில் $a^3 = v =$ கன சதுரக்கலத்தின் பருமன். மேலும் வெப்பக்கதிர்கள் குறுக்கதிர்வு (Transverse) மின்காந்த அலைகளாதலினால், ஒவ்வோர் அதிர்வு வகையிலும் இருவகையில் தளவிளைவுற்ற அலைகள் இருக்கக்கூடும்.

இவ்வாறு தளவிளைவுறுதலையும் கருத்தில் கொள்வோமானால், γ முதல் $(\gamma + \partial\gamma)$ வரை அதிர்வெண்ணுள்ள கதிர்களின் மொத்த அதிர்வு வகைகள்

$$= \frac{8\pi V \gamma^2\, d\gamma}{C^3} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

வீசுவெப்பம் பல வகைகளில் வாயுவை ஒத்திருக்கிறது. இது வாயுவைப்போல் அழுத்தத்தைத் தோற்றுவிக்கிறது. வெப்பநிலை உயரும்பொழுது வாயுவின் ஆற்றல் அதிகமாவதுபோல், வீசு வெப்பத்தின் ஆற்றல் செறிவும் அதிகமாகிறது. இதைக் கருத்தில் கொண்டு கதிர்வீச்சின் ஒவ்வோர் அதிர்வு வகைக்கும் kT ஆற்றல் இருக்குமென்று ராலே, ஜீன்ஸ் என்பவர்கள் கூறினர்கள். எனவே, γ முதல் $(\gamma + d\gamma)$ வரை அதிர்வெண்ணுள்ள கதிர்களின் ஆற்றல்

$$= \frac{8\pi V \gamma^2\, d\gamma}{C^3} kT.$$

இந்த அதிர்வெண் கதிரின் ஆற்றல் செறிவு

$$= \psi_\lambda \text{ எனில்,}$$

$$V\psi_\gamma\, d\gamma = \frac{8\pi V \gamma^2 d\gamma}{C^3} kT$$

$$\therefore \psi_\gamma\, d\gamma = \frac{8\pi kT \gamma^2\, d\gamma}{C^3}$$

இப்பொழுது $\gamma = \frac{C}{\lambda}$

எனவே, $d\gamma = -\frac{C}{\lambda^2}d\lambda$ ... ... (4)

$d\gamma$ நேர்க்குறியை உடையபொழுது $d\lambda$ எதிர்க் குறியை உடையதாக இருக்கும் என்பதை (4)-ல் உள்ள எதிர்க் குறி காட்டுகிறது.

எனவே, λ முதல் $(\lambda + d\lambda)$ வரை அலைநீளமுள்ள கதிர்களின் ஆற்றல் செறிவு $\psi_\lambda d\lambda$ என்பதால் குறிப்பிடப்படுமாஞல்,

$$\psi_\lambda d\lambda = \frac{8\pi kT}{C^3} \quad \frac{C^2}{\lambda^2} \quad \frac{Cd\lambda}{\lambda^2}$$

$$= \frac{8\pi kT}{\lambda^4}d\lambda$$

$$\therefore \quad \psi_\lambda = 8\pi kT\lambda^{-4}$$

இதுவே ராலே-ஜீன்ஸ் சமன்பாடு ஆகும். அலை நீளம் அதிகமாகவுள்ள கதிர்களுக்கு இது பொருந்துகிறது. ஆனல், அலைநீளம் குறைந்த கதிர்களுக்கு இது பொருந்துவதில்லை.

25. பிளான்கின் குவாண்டம் கொள்கை (Planck's Quantum Theory)

ஒரு சீரிசை அலையியற்றியின் (Harmonic oscillator) அதிர்வெண் γ எனில், அந்தச் சீரிசை அலையியற்றியால் கொடுக்கப்படும் ஆற்றல் $h\gamma$ என்பதின் மடங்காகத்தான் இருக்க வேண்டும் என்று பிளான்க் கூறினர். இங்கு h என்பது ஒரு மாறிலி. அது பிளான்க் மாறிலி எனப்படுகிறது. இதிலிருந்து ஆற்றல் தொடர்ச்சியாக மாறுவதில்லையென்றும், தாண்டல் முறையில்தான் மாறுகிறது என்பதும் புலப்படும்.

இப்பொழுது $h\gamma = \varepsilon$ என்க. இதனல் γ அதிர்வெண்ணைக் கொண்ட ஒரு சீரிசை அலையியற்றியின் ஆற்றல் ε, 2ε, 3ε... ... எனத்தான் இருக்க முடியும்.

பொதுவாக E முதல் $(E + dE)$ வரை ஆற்றலை உடைய சீரிசை அலையியற்றிகளின் எண்ணிக்கை

$$= Ae^{-E/kT} dE \quad ... \quad ... \quad ... \quad (1)$$

இங்கு A என்பது γ அதிர்வெண்ணை உடைய சீரிசை அலை யியற்றிகளின் மொத்த எண்ணிக்கையைப் பொறுத்த ஒரு மாறிலி. $E = O, E = \varepsilon, E = 2\varepsilon$ ... என்ற மதிப்புகளின் அருகில் சம அளவுள்ள dE நெடுக்கங்களைக் கவனிக்கிறோம் எனவும், இவ்வாறு நெடுக்கங்களைக் கொண்டு $E = O, E = \varepsilon, E = 2\varepsilon$ ... என்ற மதிப்புகளைக் கொண்ட சீரிய அலையியற்றிகளின் எண்ணிக்கைகள் N_0, N_1, N_2, N_3 ... எனவும் கொள்வோமானால்,

$$N_0 : N_1 : N_2 : N_3 \ldots = e^0 : e^{-\varepsilon/kT} : e^{-2\varepsilon/kT} : e^{-3\varepsilon/kT} \ldots$$

$$= 1 : e^{-\varepsilon/kT} : e^{-2\varepsilon/kT} : e^{-3\varepsilon/kT}$$

$$\therefore \quad N_1 = N_0 e^{-\varepsilon/kT}$$

$$N_2 = N_0 e^{-2\varepsilon/kT}$$

$$N_3 = N_0 e^{-3\varepsilon/kT} \ldots$$

$\therefore$ γ அதிர்வெண்ணை உடைய எல்லாச் சீரிசை அலையியற்றி களின் மொத்த எண்ணிக்கை

$$= N = N_0 + N_1 + N_2 + N_3 \ldots$$

$$= N_0 \left(1 + e^{-\varepsilon/kT} + e^{-2\varepsilon/kT} + e^{-3\varepsilon/kT} \ldots\right)$$

$$= \frac{N_0}{1 - e^{-\varepsilon kT}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

N_1 சீரிசை அலையியற்றிகளின் ஆற்றல்

$$= N_1 \varepsilon = N_0 \varepsilon e^{-\varepsilon/kT}$$

N_2 ... ... $= N_2 2\varepsilon = 2N_0 \varepsilon e^{-2\varepsilon/kT}$

N_3 ... ... $= N_3 3\varepsilon = 3N_0 \varepsilon e^{-3\varepsilon/kT}$

எனவே γ அதிர்வெண்ணை உடைய எல்லாச் சீரிசை அலையியற்றி களின் மொத்த ஆற்றல்

$$= N_0 \varepsilon e^{-\varepsilon/kT} \left(1 + 2e^{-\varepsilon/kT} + 3e^{-2\varepsilon/kT} \ldots \ldots\right)$$

$$=N_0\, \varepsilon c^{-\varepsilon/kT} \left\{ \left(\frac{1}{1-e^{-\varepsilon/kT}}\right) \left(1+e^{-\varepsilon/kT}+e^{-2\varepsilon/kT}+\cdots\right) \right\}$$

$$=N_0\, \varepsilon e^{-\varepsilon/kT} \left(\frac{1}{1-e^{-\varepsilon/kT}}\right)^2$$

$$=\frac{N_0\, \varepsilon}{e^{+\varepsilon/kT}\left(1-e^{-\varepsilon/kT}\right)^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

மொத்த ஆற்றலைச் சீரிசை அலையியற்றிகளின் மொத்த எண்ணிக்கையால் வகுக்கும்பொழுது நமக்கு γ அதிர்வெண்ணை உடைய ஒரு சீரிசை அலையியற்றியின் சராசரி ஆற்றல் கிடைக்கும். இந்த மதிப்பை ε என்பதால் குறிப்போமானால்,

$$\overline{\varepsilon} = \frac{N_0 \varepsilon}{e^{\varepsilon/kT}\left(1-e^{-\varepsilon/kT}\right)^2} \times \frac{\left(1-e^{-\varepsilon/kT}\right)}{N_0}$$

$$= \frac{\varepsilon}{e^{\varepsilon/kT} \times \left(1-e^{-\varepsilon/kT}\right)}$$

$$= \frac{\varepsilon}{e^{\varepsilon/kT}-1}$$

பிளான்க் கொள்கைப்படி

$$\varepsilon = h\gamma = \frac{hC}{\lambda} \text{ என்பதால்,}$$

$$\overline{\varepsilon} = \frac{hC/\lambda}{e^{hC/\lambda T}-1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

ராலே-ஜீன்ஸ் வாய்பாட்டைத் தருவிக்கும்பொழுது காட்டியபடி ஓரலகுப் பரும அளவில் γ முதல் $(\gamma+\partial\gamma)$ வரை அதிர்வெண் கொண்ட கதிர்களின் மொத்த அதிர்வு வகைகள் $= \frac{8\pi\, \gamma^2\, d\gamma}{C^3}$

அதாவது λ முதல் $(\lambda + d\lambda)$ வரை அலைநீளமுள்ள கதிர்களின் மொத்த அதிர்வு வகைகள் $= \frac{8\pi}{C^3} \cdot \frac{C^3}{\lambda^2} \cdot \frac{C d\lambda}{\lambda^2}$

$$= 8\pi\lambda^{-4}\, d\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

எனவே $\psi\lambda$ என்பது λ அலைநீளத்தைப் பொறுத்த ஆற்றல் செறிவு எனில்,

$$\psi_\lambda d\lambda = (8\pi\lambda^{-4}\lambda)\frac{hC/\lambda}{\left(c^{hC/k\lambda T}-1\right)}$$

$$= \frac{8\pi\ hC\lambda^{-5}\ d\lambda}{\left(e^{hC/\lambda T}-1\right)} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

இதுவே பிளான்க் பரப்பீட்டு வாய்பாடு ஆகும்.

λ-ன் மதிப்பு சிறியதாக இருக்கும்பொழுது $e^{hC/h\lambda T}$-ன் மதிப்பு அதிகமாக இருக்கும். எனவே, இதன் அருகில் 1ஐப் புறக்கணிக்க லாம். இதன் காரணமாக (6) ஆவது சமன்பாட்டால் கொடுக்கப் பட்ட பிளான்க் வாய்பாட்டைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம் :

$$\psi_\lambda d\lambda = \frac{8\pi hC\lambda^{-5}d\lambda}{e^{hC/k\lambda T}}$$

$$= 8\pi hC\lambda^{-5}e^{-hC/k\lambda T}\ d\lambda$$

$$= C_1\ \lambda^{-5}e^{-\ C_2/\lambda T}d\lambda$$

இது வியன் சமன்பாடு ஆகும். இந்தச் சமன்பாடு குறைந்த அலைநீளக் கதிர்களுக்கு நன்கு பொருந்துகிறது.

இப்பொழுது λ-ன் மதிப்பு அதிகம் எனக் கொள்வோம். இந்த நிலையில் $\frac{hC}{K\lambda T}$-ன் மதிப்பு சுழியாக முனைகிறது.

$$\text{எனவே } e^{hC/k\lambda T} = 1 + \frac{hC}{K\lambda T}$$

இதனை (6) ஆவது சமன்பாடான பிளான்க் வாய்பாட்டில் பதிலீடு செய்வோமானல்,

$$\psi_\lambda\ d\lambda = \frac{8\pi\ hC\lambda^{-5}\ d\lambda}{\left(1+\frac{hC}{k\lambda T}-1\right)}$$

$$= \frac{8\pi\ hC\lambda^{-5}\ d\lambda}{\left(\frac{hC}{K\lambda T}\right)}$$

$$= 8\pi\ KT\lambda^{-4}\ d\lambda$$

இது ராலே-ஜீன்ஸ் வாய்பாடு ஆகும். இது அலைநீளம் அதிகமாகவுள்ள கதிர்களுக்கு நன்கு பொருந்துகிறது என்று முன்பே கூறப்பட்டது. எனவே, பிளான்க் வாய்பாடு எல்லா அலைநீளக் கதிர்களுக்கும் பொருந்துகிறது என்பது தெளிவாகும்.

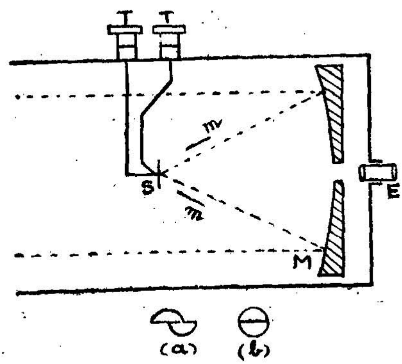
இதன் குறைபாடுகள் (i) இதனுல் அளக்கப்படும் வெப்ப நிலைகள் கரும் பொருளுக்கான வெப்பநிலையைக் காட்டும். (ii) 600°C-க்குக் குறைந்த வெப்பநிலைகளுக்கு இது பயன்படுவதில்லை.

பைரோ மீட்டர்களில் இருவகை உண்டு. அவையாவன: (i) முழு வீசு வெப்பப் பைரோ மீட்டர் (Total Radiation Pyrometer) (ii) ஒளியியல் பைரோமீட்டர் (Optical Pyrometer).

முதல் வகையில் வீசு வெப்பத்தின் மொத்த ஆற்றல் செறிவு அளக்கப்படுகிறது. இவ்வித பைரோமீட்டர் ஒன்று ஃபெர்ரி என்பவரால் அமைக்கப்பட்டது. இரண்டாவது வகையில் ஒரு குறிப்பிட்ட அலை நீளத்தைக் கொண்ட வீசுவெப்பக் கதிரின் ஆற்றல் செறிவு அளக்கப்படுகிறது. இந்த வகையைச் சேர்ந்த பைரோ மீட்டர் ஒன்று **மறையும் மின்னிழைப் பைரோமீட்டர்** (Disappearing Filament Pyrometer) எனப்படுகிறது.

மேற்கூறிய இரு பைரோமீட்டர்களின் அமைப்பையும் பயன் படும் விதத்தையும் பற்றிச் சிறிது ஆராய்வோம்.

(a) **ஃபெர்ரி முழு வீசு வெப்பப் பைரோமீட்டர்:** செம்பினுல் செய்யப்பட்டதும், நிக்கல் பூச்சுக் கொடுக்கப்பட்டதுமான M என்ற



படம் 154.

குழி ஆடி ஒன்று குட்டையான குழாயின் ஒரு முனையில் பொருத்தப் பட்டிருக்கிறது. ஆடியின் மையத்தில் உள்ள ஒரு துளையில்

E என்ற ஒரு கண்ணருகுக் கருவி (Eyepiece) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. உயர்ந்த வெப்பநிலையிலுள்ள பொருளிலிருந்து வரும் வீசு வெப்பக் கதிர்கள் கருமையாக்கப்பட்ட S என்ற ஒரு தகட்டின் மேல் M-ஆல் குவிக்கப்படுகின்றன. T T என்ற திருகுகளுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள வெப்பமின் இரட்டையின் சந்தி ஒன்று S-உடன் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. T T திருகுகள் ஒரு மில்லிவோல்ட் மீட்டருடன் இணைக்கப்படுகின்றன. *m*, *m* என்ற இரு சிறு சமதள ஆடிகள் ஒன்று மற்றொன்றுடன் சற்றுச் சாய்ந்தவாறு S-க்கு முன்னால் பொருத்தப்பட்டுள்ளன. அவைகளில் இரு அரை வட்டத் துளைகள் அருகருகே அமைந்து ஒரு முழு வட்டத் துவாரத்தை உண்டாக்குமாறு உள்ளன. இந்தத் துவாரத்தின் வழியே செல்லக்கூடிய வீசு கதிர்கள்மட்டும் S-ன் மேல் விழுமாறு உள்ளது.

உயர் வெப்பநிலையிலுள்ள பொருளிலிருந்து வரும் வீசு கதிர்கள் S-ன் மேல் சரியானபாடி குவிக்கபபட்டுள்ளனவா என்பதைக் காண *m*, *m* ஆடிகளும், E-ம் பயன்படுகின்றன. சுடு பொருளின் பிம்பம் S-ன் மேல் சரியானபடி உருவானநிலையில் *m*,*m* இவைகளில் பிரதிபலிப்பினுல் ஏற்படும் பிம்பங்கள் ஒரு முழு வட்டத்தை (b-ல் காட்டியுள்ளதுபோல்) உண்டாக்குபவையாக இருக்கும். ஆனல் சுடு பொருளின் பிம்பம் S-ன் மேல் சரியானபடி உருவாகாமல் இருக்குமாயின் *m*, *m* இவைகளால் உண்டாக்கப் படும் அரை வட்டப் பிம்பங்கள் (*a*-ல் காட்டியவாறு) ஒன்று மற்றதிலிருந்து விலகியிருக்கும். S-ன் மேல் பிம்பம் சரியாக உண்டாக்குவதற்கு S-லிருந்து M-ன் தூரத்தை வேண்டியவாறு சரிசெய்து கொள்ளலாம்.

இப்பொழுது சுடு பொருளின் பிம்பத்தின் அளவு S-க்கு முன்னுலுள்ள துவாரத்தின் அளவைவிடப் பெரியதாக இருக்குமாயின் S-ன்மேல் படும் வீசுவெப்பத்தின் மொத்த ஆற்றல் பைரோ மீட்டரிலிருந்து சுடுபொருளின் தொலைவைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை. ஏனெனில், தொலைவு இரட்டிப்பாகும்பொழுது M-ஆல் குவிக்கப்படும் வீசுவெப்பத்தின் அளவு நான்கில் ஒரு பாகமாக்கப் பட்டாலும் பிம்பத்தின் பரப்பளவும் நான்கில் ஒரு பாகமாகச் சுருங்குகிறது. எனவே, துவாரத்தின் வழியே செல்லும் ஆற்றல் செறிவு மாறுமலிருக்கிறது. இந்த வீசுவெப்பம் S-ன் மேல் படும் பொழுது அதன் வெப்பநிலை உயரும். இதனுல் மில்லிவோல்ட் மீட்டரில் விலக்கம் உண்டாகும். இந்த விலக்கம் சுடுபொருளினுல் கொடுக்கப்படும் மொத்த வீசுவெப்பத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். சுடுபொருளின் வெப்பநிலை T_1 எனவும், *S*-ன் வெப்பநிலை T_0 எனவும் இருக்கும்பொழுது மில்லிவோல்ட் மீட்டரின்

விலக்கம் V_1 எனக் கொள்வோம். அப்பொழுது ஸ்டீஃபன் விதிப்படி

$$V_1 = a\ (T_1^4 - T_0^4)$$

இங்கு a ஒரு மாறிலியாகும். இப்பொழுது T_1 வெப்பநிலையில் உள்ள பொருளை நீக்கிவிட்டு அதற்குப் பதிலாகத் தெரிந்த வெப்பநிலையில் (T_2) உள்ள வேறு பொருள் ஒன்றை வைத்து, சோதனையைத் திருப்பிச் செய்யும்பொழுது கிடைக்கப்பெறும் விலக்கம் V_2 எனில்,

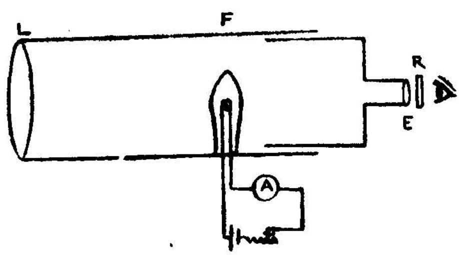
$$V_2 = a\ (T_2^4 - T_0^4)$$

$$\text{எனவே,}\quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1^4 - T_0^4}{T_2^4 - T_0^4}$$

இதிலிருந்து T_1-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

(b) **மறையும் மின்னிழை பைரோமீட்டர்** (Disappearing Filament Pyrometer): இந்தக் கருவியில் ஒரு தொலைநோக்கி யுள்ளது. இதன் குறுக்கிணைக் கம்பி இருக்குமிடத்தில் ஒரு மின் விளக்கின் மின்னிழை (F) இருக்குமாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. விளக்கின் மின்னிழை வழியே வேண்டிய மின்னோட்டத்தை ஏற் படுத்துவதற்காக அது ஒரு மின்கலத் தொகுப்பு (battery), மின் தடைமாற்றி, அம்மீட்டர் ஆகியவற்றுடன் தொடரிணைப்புமுறை யில் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. தொலைநோக்கியின் கண்ணருகுக் கருவிக்கு ஒரு சிவப்புக் கண்ணுடி வடிகட்டியாக (filter) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது.

எந்தப் பொருளின் வெப்பநிலை அளக்கப்பட வேண்டுமோ அந்தப் பொருளின் பிம்பத்தை மின்னிழையுடன் இணையுமாறு



படம் 155.

செய்தபின் மின்னிழை வழியே போதுமான மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தி அதைப் பிம்பத்தினின்று வேறுபடுத்தி அடையாளம்

கண்டு கொள்ளாதவாறு செய்யவேண்டும். இந்த நிலையில் பிம்பமும் மின்னிழையும் ஓரலகு பரப்பளவிலிருந்து ஒரு வினாடியில் ஒத்த அலைநீளக் கதிர்களில் சம அளவு ஆற்றல் செறிவு இருக்குமாறு வீசுவெப்பத்தைக் கொடுக்கின்றன. எனவே, இவை ஒரே வெப்பநிலையிலிருக்குமென்பது ஆற்றல் பரப்பீட்டு வாய்பாடுகளிலிருந்து (Energy distribution formulae) தெளிவாகும். தெரிந்த வெப்பநிலைகளிலுள்ள பொருட்களை வைத்துச் சோதனை செய்வதன் மூலம் அம்மீட்டரின் வெவ்வேறு அளவீடுகளுக்கான வெப்பநிலைகளைத் தெரிந்துகொள்ளலாம். எனவே, கொடுக்கப்பட்ட பொருளுக்குரிய அம்மீட்டர் அளவீடு என்ன என்று அளவிட்டு வெப்பநிலையைத் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

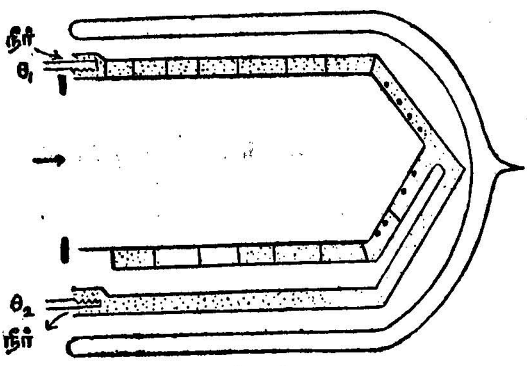
26. சூரியனின் வெப்பநிலை (Temperature of the Sun)

(i) **சூரிய மாறிலி (Solar constant):** ஸ்டீஃபன் கதிர் வீச்சு விதியைப் பயன்படுத்தி சூரியனின் வெப்பநிலையைக் கணக்கிடலாம். இதற்காகச் சூரிய மாறிலி என்பதைச் சோதனைமூலம் காண வேண்டும். சூரிய மாறிலி என்பது சராசரிச் சூரியநாளின் உச்சி வேளையில் சூரியனிடமிருந்து புவியின் சராசரித் தொலைவில் புவியின் வளிமண்டலத்துக்கு வெளியே சூரியன் கதிர்களுக்கு நேர்க்குத்தாக வைக்கப்பட்ட ஓரலகுப் பரப்பளவு மேல் ஒரு நிமிடத்தில் படும் சூரியனின் வீசுவெப்ப ஆற்றலாகும்.

சூரிய மாறிலியைக் காண்பதற்கு **பைர் ஹீலியாமீட்டர்** (Pyrheliometer) என்னும் கருவியைப் பயன்படுத்துகிறோம். பைர் ஹீலியா மீட்டரில் பல வகை இருக்கின்றன. அவற்றில் ஒன்று நீர்ப்பாய்ச்சுப் பைர் ஹீலியா மீட்டர் (Water Flow Pyrheliometer) ஆகும். இதன் அமைப்பையும் இதன் மூலம் சூரிய மாறிலியைக் காணும் முறையையும் கவனிப்போம்.

ஒரு முனையில் கூம்பு வடிவத்தைக் கொண்டதும், இரட்டைச் சுவரை உடையதுமான ஒரு நீள் உருளை வடிவக் கலத்தின் உட்பரப்புக் கருமையாக்கப்பட்டுள்ளது. இந்தக் கலம் டீவார் குடுவை ஒன்றினுள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. கூம்பு வடிவப் பகுதியில் சுவர்களுக்கிடையில் ஒரு மாங்கனின் கம்பிச்சுருள் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. சுவர்களுக்கிடையே உள்ள இடைவெளியில் சீரான வேகத்தில் நீர் செலுத்தப்படுகிறது. நீர் சரியானபடி கலக்கப்படுவதற்காக அது சுருள்பாதையில் (spiral path) செலுத்தப்படுகிறது. உட்புகும் நீரின் வெப்பநிலையும், வெளியேறும் நீரின் வெப்ப நிலையும் பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானிகளால் அளக்கப்படுகின்றன. சூரியனின் வீசுவெப்புக் கதிர்கள் ஒரு

இடைத் திரையிலுள்ள துளை வழியே அனுமதிக்கப்பட்டு பைர் ஹீலியாமீட்டரின் கருமையான உட்பரப்பின்மேல் விழுமாறு செய்யப்படுகிறது. வெப்பநிலைமானிகளின் அளவீடுகளைக் குறித்த பின் சூரியனின் வீசுவெப்பக் கதிர்களைத் தடுத்துவிட்டு மாங்கனின் கம்பிச்சுருளில் தக்க அளவு மின்னோட்டத்தை ஏற்படுத்தி நீர் பாய்ச்சுதலின் வேகம் மாறாத நிலையில் வெப்பநிலைமானிகளின் அளவீடுகள் முன்பிருந்த மதிப்புகளையே பெறுமாறு செய்ய வேண்டும். மாங்கனின் கம்பிச்சுருளில் உள்ள மின்னோட்டம், மின்



படம் 156

அழுத்த வேறுபாடு ஆகியவை முறையே C ஆம்பியர், E வோல்ட் எனில், சூரியனின் வீசுவெப்பக் கதிர்களிலிருந்து ஒரு நிமிடத்தில் கிடைத்த வெப்பம்

$$= \frac{Ect}{J}$$

$$= \frac{Ec \times 60}{J} \text{ கேலரிகள் ஆகும்.}$$

துளையின் பரப்பளவால் இதை வகுத்து ஒரு நிமிடத்தில் ஓரலகு பரப்பளவு மூலம் சூரியனிடமிருந்து கிடைக்கும் வெப்பத்தைக் கணக்கிடலாம். இவ்விதம் கிடைக்கும் மதிப்பு தோற்றச்சூரிய மாறிலியாகும். இதை S என்போம்.

இந்தத் தோற்றச் சூரிய மாறிலி, சூரியன் உச்சியிலிருந்து எவ்வளவு கோண அளவு விலகியிருக்கிறது என்பதைப் பொறுத்து மாறுபடும். சூரியனின் உச்சிக்கோணம் (Zenith angle) 'Z' என்றும், வளி மண்டலத்தின் செலுத்துகை எண் (transmission

coefficient) 'a' என்றும் உண்மையான சூரிய மாறிலியின் மதிப்பு 'S_0' என்றும் கொள்வோமாயின்

$$S = S_0 \, a^{sec\, Z}$$

ஆகையால் $$log\, S = log\, S_0 + sec\, Z\, log\, a$$

சோதனை மூலம் சூரியன் வெவ்வேறு உச்சிக் கோணங்களில் இருக்கும்பொழுது தோற்றச் சூரிய மாறிலியின் மதிப்பு (S) காணப் படுகிறது. பின்பு *log* S-ன் மதிப்புகளை Y அச்சிலும், *sec* Z-ன் மதிப்புகளை X அச்சிலும் குறித்து ஒரு வரைபடம் வரையும்பொழுது அது ஒரு நேர்க் கோடாக அமையும். வரைபடம் Y அச்சை எந்தப் புள்ளியில் சந்திக்குமோ அதன் *y* ஆயம் *log* S_0 என்பதைக் கொடுக்கும். இதிலிருந்து S_0-ன் மதிப்பைத் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

(ii) சூரிய மாறிலியைப் பயன்படுத்திச் சூரியனின் வெப்பநிலையைக் கணக்கிடல் : சூரியனின் ஆரம் *r* எனவும், அதன் தனி வெப்பநிலை T எனவும் கொள்வோமானல் ஸ்டீஃபன் விதிப்படி ஒரு நிமிடத்தில் சூரியனுல் கொடுக்கப்படும் மொத்த விசுவெப்பம்

$$= 4\pi r^2 \sigma T^4 \times 60$$

(இங்கு σ என்பது ஸ்டீஃபன் மாறிலி)

சூரியனிடமிருந்து புவியின் சராசரித் தொலைவு R என்றும், சூரிய மாறிலி S_0 என்றும் கொள்வோமாயின், ஒரு நிமிடத்தில் புவியின் தொலைவில் ஓரலகுப் பரப்பளவுக்குச் சூரியனிடமிருந்து கிடைக்கும் வெப்பம்

$$= (S_0) = \frac{4\pi r^2 \sigma T^4 \times 60}{4\pi R^2}$$

அதாவது, $$S_0 = \frac{r^2 \sigma T^4}{R^2} \times 60$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து T-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கொள்ளலாம்.

28. நட்சத்திரங்களின் வெப்பநிலைகள் (Temperatures of Stars)

நட்சத்திரங்கள் எல்லாம் மிகத் தொலைவில் இருப்பதால், அவை சிறியவைகளாகத் தோன்றுகின்றன. ஆனுல் உண்மையில் அவை சூரியனைப் போன்று பெரியவையாயும், மிகுந்த வெப்பநிலையில் உள்ளவையாயும் இருக்கின்றன. சூரியனின் வெப்பநிலையைக் காண்பது போன்று சில நட்சத்திரங்களின் வெப்பநிலையைக்

காணலாம் என்றாலும், பொதுவாக இம்முறை பயன்படுவதில்லை. ஏனெனில், பல நட்சத்திரங்களின் விட்டங்கள் இன்னும் துல்லிய மாகத் தெரியாமல் இருக்கின்றன. மேலும் முழுக் கதிர்வீச்சைப் பொறுத்த ஸ்டீஃபன் விதி சாதாரணமாக நட்சத்திரங்களுக்கும் பொருந்தும் என்பது சரியில்லை. ஏனெனில், சில நட்சத்திரங்கள் வெள்ளை நிற ஒளியைக் கொடுப்பதற்குப் பதிலாக ஒற்றை நிற ஒளியைக் கொடுப்பது போன்று தோன்றுகின்றன. எனவே நட்சத்திரங்களின் வெப்பநிலையைக் காண்பதற்கு வியனின் இடப் பெயர்ச்சி விதி பயன்படுத்தப்படுகிறது. நட்சத்திரங்களிலிருந்து வரும் ஒளியின் நிறமாலையில் உள்ள ஆற்றல் பரப்பீட்டை அளவிட்டு வியனின் இடப்பெயர்ச்சி விதிமூலம் வெப்பநிலையைக் கணக்கிட லாம். இவ்வாறு கணக்கிட்டதில் சிவப்பு நிற நட்சத்திரங்களின் வெப்பநிலை சுமார் 2000°K என்றும், வெண்ணிற ஊதா நட்சத்திரங் களின் வெப்பநிலை சுமார் 30,000°K என்றும் தெரியவருகிறது. இந்த மதிப்பீடுகள் நட்சத்திரங்களின் வெளிப் பரப்பைப் பொறுத் தவையாகும். அவற்றின் உட் பாகங்களிலுள்ள வெப்பநிலைகள் பல இலட்சம் டிகிரிகள் இருக்கலாமெனக் கருதப்படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்குகள்

மாதிரி 1

ஒரு கொதிகலத்தின் சுவர் ·02 மீ. தடிப்பைக் கொண்டிருக் கிறது. அதனுடைய 1 சதுரமீட்டர் பரப்பளவில் ஒரு மணியில் கடத்தப்படும் வெப்பம் 40 கிலோகிராம் நீரை நீராவியாக்க வல்லது. சுவரின் வெப்பங்கடத்துதிறன் ·011 கி. கேலரி/மீ. எனில், அதன் இரு புறமும் உள்ள வெப்பநிலை வேறுபாட்டைக் கணக்கிடுக. நீராவியின் உள்ளுறை வெப்பம் = 540 கி. கேலரி / கி. கிராம் எனக் கொள்க

$$Q = K A \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{d} t$$

$$\therefore \ (\theta_2 - \theta_1) = \frac{Q d}{KAt}.$$

$$= \frac{40 \times 540 \times \cdot 02}{\cdot 011 \times 1 \times 60 \times 60}$$

$$= 10{\cdot}9°C,$$

மாதிரி 2

ஓர் ஏரியில் ·03 மீ. தடிப்புள்ள பனிக்கட்டி உருவாகி யுள்ளது. மேலே உள்ள வெப்பநிலை —20°C எனில் அதன் தடிப்பு ·001 மீ. அதிகமாவதற்குத் தேவைப்படும் நேரத்தைக் கணக்கிடுக. (பனிக்கட்டியின் உள்ளுறை வெப்பம் 80 கி. கேலரி/கி. கிராம் எனவும், அடர்த்தி 910 kg/cm எனவும், வெபபங்கடத்து திறன் = ·0005 கி. கேலரி/மீ. எனவும் கொள்க). பனிக்கட்டியின் தடிப்பு இரட்டிப்படைவதற்கான காலத்தையும் கணக்கிடுக.

(i) தடிப்பு ·001 மீ. அதிகமாவதற்குத் தேவைப்படும் நேரம்:

நாம் ஒரு ச. மீ. பரப்பளவைக் கவனிப்போம்.

தடிப்பில் ·001 மீ. அதிகமாகும்பொழுது உருவாகும் பனிக்கட்டியின் நிறை

$$= 1 \times \cdot 001 \times 910 \text{ கி. கிராம்.}$$

இதற்கு நீக்கப்பட்ட வெப்பம் = Q

$$= Q = (1 \times \cdot 001 \times 910) \times 80 \text{ கி. கேலரி.}$$

இந்த வெப்பம் t வினாடியில் ·03 மீ. தடிப்புள்ள பனிக்கட்டி வழியே கடத்தப்படுகிறது:

$$\frac{KA(\theta_2 - \theta_1)t}{d} = Q$$

$$\therefore \quad t = \frac{Q\,d}{KA(\theta_2 - \theta_1)}$$

$$\therefore \quad t = \frac{1 \times .001 \times 910 \times 80 \times \cdot 03}{\cdot 0005 \times 1 \times 20}$$

$$= 218 \text{ வினாடி}$$

$$= \mathbf{3} \text{ நிமிடம் } \mathbf{18} \text{ வினாடி.}$$

(ii) தடிப்பு இரட்டிப்படைவதற்குத் தேவைப்படும் காலம் :

தடிப்பு x_1 மதிப்பிலிருந்து x_2 மதிப்புக்கு மாறுவதற்குத் தேவைப்படும் நேரம் t எனில்,

$$\frac{x_2{}^2 - x_1{}^2}{2} = \frac{K\theta}{L\rho} t$$

இங்கு $x_1 = .03$; $x_2 = \cdot 06$.

$$\frac{.06^2 - .03^2}{2} = \frac{\cdot 0005 \times 20}{80 \times 910} t$$

$$\therefore \quad t = \frac{\cdot 09 \times \cdot 03 \times 80 \times 910}{2 \times \cdot 0005 \times 20}$$

$= 9828$ விநாடி

$=$ **2 மணி, 43 நிமிடம், 48 விநாடி.**

மாதிரி 3

கீழ்க்கண்ட மதிப்புகளிலிருந்து சூரியனின் வெப்பநிலையைக் கணக்கிடு.

r = சூரியனின் ஆரம் = 4.3×10^5 மைல்கள்

R = சூரியனுக்கும் புவிக்குமிடையே உள்ள தொலைவு $= 9.28 \times 10^7$ மைல்கள்

S_0 = சூரிய மாறிலி = $19 \cdot 37$ கிலோ கேலரி/ச.மீ./நிமிடம்.

σ = ஸ்டீஃபன் மாறிலி = $13 \cdot 7 \times 10^{-12}$ கி.கே./ச.மீ//விநாடி.

இப்பொழுது $S_0 = \frac{r^2}{R^2} \sigma T^4 \times 60$

$$\therefore \quad T^4 = \frac{R^2}{r^2} \quad \frac{S^0}{\sigma\, 60}$$

$$= \left(\frac{9 \cdot 28 \times 10^7}{4 \cdot 3 \times 10^5}\right)^2 \times \frac{19 \cdot 37 + 10^{12}}{13 \cdot 7 + 60}$$

$$\therefore \quad T = 5780° \text{ A.}$$

வினாக்கள்

1. வெப்பங்கடத்து திறன், வெப்பவிரவுத் திறன் இவற்றை வரையறுத்து இவற்றிற்கிடையே உள்ள வேறுபாட்டையும் தொடர்பையும் கூறுக. செர்ள் முறையில் ஒரு பொருளின் வெப்பங்கடத்து திறனைக் காண்பதற்கான சோதனையை விவரிக்கவும்,

2. ஓர் உலோகத் தண்டின் வெப்பங் கடத்து திறனை ஃபோர்ப் முறையில் காண்பதற்கான சோதனையை விளக்கிக் கூறுக.

3. வெவ்வேறு உலோகங்களின் வெப்பங் கடத்து திறனை ஒப்பிடுவதற்கான சோதனையை விவரி, இதில் பயன் படுத்தப்படும் வாய்பாட்டைத் தருவிக்க.

4. அரிதிற் கடத்தி ஒன்றின் வெப்பங்கடத்து திறனைக் காண்பதற்கான வீ-வட்டுச் சோதனையை விவரித்துக் கூறுக.

5. ஒரு நீர்நிலையில் — 10 மீ. தடிப்புள்ள பனிக்கட்டிப் பாளம் ஏற்பட்டிருக்கும்பொழுது காற்றின் வெப்பநிலை $-20°C$ ஆக இருக்கிறது. பனிக்கட்டியின் $K = -\cdot 0004$, $L = 80$ கி. கேலரி/கி. கி; $d = 920$ கி. கி./க. மீ. எனில் 1 மணியில் அதன் தடிப்பு எவ்வளவு அதிகமாகிறது எனக் கணக்கிடுக.

[விடை ·0039 மீ.]

6. ·04 மீ. தடிப்பும், ·054 வெப்பங் கடத்து திறனும் கொண்ட ஒரு பட்டை ·02 மீ. தடிப்பும், ·036 வெப்பங்கடத்து திறனும் கொண்ட மற்றொரு பட்டையுடன் சேர்த்து வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்தக் கூட்டுப்பட்டையின் ஒரு பரப்பு $100°C$ வெப்பநிலையிலும் மற்றது $0°C$ வெப்ப நிலையிலும் இருக்கும்பொழுது இவைகளைப் பிரிக்கும் தளத்தில் உள்ள வெப்பநிலையைக் கணக்கிடுக.

[விடை 43°C]

7. பாய்ஸ் ரேடியோ மைக்ரா மீட்டரின் அமைப்பையும் தத்துவத்தையும் விளக்குக.

8. ஒரு பொருளின் கதிர்வீச்சுத் திறன், உட்கவர் திறன் இவற்றை வரையறுக்கவும். ஒரு போலா மீட்டரின் அமைப்பை விளக்கி அது செயற்படும் முறையை விவரித்துக் கூறுக.

9. முழுக் கரும்பொருள் என்பது என்ன? நடைமுறையில் முழுக் கரும்பொருளாகப் பயன்படுத்தப்படும் ஒரு கருவியின் அமைப்பை விளக்குக. பிரிவோஸ்டின் பரிமாற்றுக் கொள்கை யாது?

10. கதிர்வீச்சுத் திறன், உட்கவர் திறன் இவற்றைப் பற்றிய கிர்காஃபின் விதியைக் கூறி, அதை மெய்ப்பிப்பதற்கான சோதனை ஒன்றை விவரித்துக் கூறுக. இந்த விதிக்கான எடுத்துக் காட்டுகளையும் கூறுக.

11. ஸ்டீஃபன் விதியைக் கூறவும். அதை மெய்ப்பிப்பதற்கான சோதனையை விவரி. ஸ்டீஃபன் விதியிலிருந்து நியூட்டன் குளிர்வு விதியைப் பெறுக.

12. பைரோ மீட்டர் என்பது யாது? ஒளியியல் பைரோ மீட்டர் ஒன்றின் அமைப்பையும், அதனைப் பயன்படுத்தும் முறையையும் விவரித்துக் கூறுக.

13. சூரிய மாறிலியை வரையறுத்துக் கூறுக. அதனைக் காண்பதற்கான சோதனையை விளக்குக.

14. சூரிய மாறிலியைப் பயன்படுத்திச் சூரியனின் வெப்ப நிலையை எவ்வாறு கணக்கிடலாம் என்று காட்டுக.

15. 0·018 கி.கிராம் வெப்பச் சமநீர் கொண்ட கேலரி மீட்டரில் 0·142 கி. கிராம் நீர் உள்ளது. இந்நீர் 82°C யிலிருந்து 78°Cக்கு 1 நிமிடத்தில் குளிர்கிறது. சுற்றியுள்ள வெப்ப நிலை 30°C, கோளத்தின் ஆரம் = ·04 மீட்டர் எனில், கேலரி மீட்டரின் கதிர்வீச்சு எண்ணைக் கணக்கிடுக.

[·01059 கி. கேலரி/வினாடி/ச.மீ./டிகிரி]

16. 0·01 கி. கிராம் வெப்பச் சமநீர் கொண்ட கேலரிமீட்டர் ஒன்றில் 0·90 கி. கிராம் நீர் இருக்கும்பொழுது ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை நெடுக்கத்தில் குளிர 10 நிமிடம் ஆகிறது. 0·80 கி. கிராம் நிறையும் 0·5 வெப்ப எண்ணும் கொண்ட எண்ணெய் அதில் இருக்கும்பொழுது அதே வெப்பநிலை நெடுக்கத்தில் குளிர எவ்வளவு காலம் வேண்டும்? [4 நிமிடம் 30 வினாடி

17. வியனின் இடப் பெயர்ச்சி விதி பற்றிக் குறிப்பு எழுதுக.

18. 27°C வெப்பநிலை கொண்ட சூழ்நிலையில் வைக்கப்பட்ட 127°C வெப்பநிலையிலிருக்கும் 0·20 மீட்டர் விட்டமுள்ள கோளமொன்று கதிர்வீச்சினால் இழக்கும் வெப்ப அளவு வீதத்தைக் கணக்கிடுக. [124 வாட்]

(ஸ்டீஃபன் மாறிலி = $5{\cdot}61 \times 10^{-8}$ வாட்/ச.மீ./C^4

19. கரும்பொருள் கதிர்வீச்சு என்றால் என்ன? அதன் நிறமாலையைக் காணும் முறையை விவரி.

பிளாங்க் கதிர்வீச்சு வாய்பாட்டைக் கூறி ராலே-ஜீன்ஸ் விதியும், வியன் விதியும் தனித்தன்மை வாய்ந்த பிளாங்க் விதியாகும் எனக் காண்பி.

20. முறையே 0·20 மீ., 0·30 மீ. விட்டமுள்ள இரண்டு ஒரு மைய மென் கோள ஓடுகளின் வளைவடிவ இடைவெளி அரிதிற்கடத்தியொன்றால் நிரப்பப்படுகிறது. அதன் மையத்தில் 5·5 வாட் வீதம் வெப்ப ஆற்றல் தரும் அமைப்பு இருக்கும்பொழுது ஓடுகளிடையேயுள்ள வெப்பநிலை வேறுபாடு 20°C ஆகும். அரிதிற்கடத்தியின் வெப்பங் கடத்து திறனைக் கணக்கிடுக. (J = 4·2 ஜூல்/காலரி)
[·07297 வாட்/மீட்டர்/டிகிரி].

21. ஓர் அரிதிற்கடத்தியின் வெப்பக்கடத்து திறனைக் காணும் லீஸ் சார்லஸ் முறையைத் தக்க கொள்கையுடன் விவரி.

சுற்றியுள்ள காற்றின் வெப்பநிலை −20°C ஆக இருக்கும்பொழுது எவ்வளவு காலத்தில் ஒரு குட்டையின் மேற்பரப்பிலுள்ள 0·03 மீட்டர் தடிப்புள்ள பனிக்கட்டி அதன் தடிப்பை 1 மி.மீ. அளவு அதிகரிக்கமுடியும் எனக் கணக்கிடுக. (K = 2·1 வாட்/மீட்டர் டிகிரி; L = 336 × 10^8 ஜூல்/கி.கிராம்; பனிக்கட்டியின் அடர்த்தி = 910 கி.கி./மீட்டர்^{8}) [1 நிமிடம் 53 விநாடி]

22. அடியிற்காணும் விவரங்களைக்கொண்டு சூரியனின் வெப்ப நிலையைக் கணக்கிடுக.

சூரியனின் ஆரத்திற்கும் சூரியனைச் சுற்றிவரும் புவியின் சுற்றுப்பாதையின் ஆரத்திற்கும் உள்ள விகிதம் = 4·65 × 10^{-3}; சூரியமாறிலி = 1·9 × 10^4 கேலரி/நிமிடம்/மீட்டர்^{2}; ஸ்டீஃபன் மாறிலி = 5·75 × 10^{-8} ஜூல்/மீட்டர்^{2}/விநாடி/டிகிரி^{4}. [5719°K]

23. ஓர் உருளைக்குழாய் வடிவில் இருக்கும் கண்ணாடியின் வெப்பங்கடத்துத் திறனை எவ்வாறு சோதனை மூலம் காண்பாய் என்பதைத் தக்க கொள்கையுடன் விவரி.

24. ஏதேனும் ஒரு வெப்பநிலையில் மேற்பரப்பு ஒன்றின் கதிர் வீச்சுத்திறன், உட்கவர் திறன் இவைகளின் தகவு மாறிலி

என்றும் இந்தத் தகவு ஒரு கரும் பொருளின் கதிர்வீச்சுத் திறனுக்குச் சமம் என்றும் நிறுவுக.

25. ஞாயிற்று மாறிலி $=1{\cdot}4\times10^{8}$ ஜுல்/ச.மீ./விநாடி என்றும், சூரியனைச் சுற்றிப் பூமியின் பாதையின் அரைவிட்டம் சூரியனின் அரை விட்டத்தைப்போல் 216 மடங்கு ஆனது என்றும், ஸ்டீஃபன் மாறிலி $=5{\cdot}75\times10^{-8}$ ஜுல்/மீட்டர்^{2}/ விநாடி/டிகிரி^{4} என்றும் கொண்டு சூரியனின் பரப்பு வெப்ப நிலையைக் கணக்கிடுக. [5798°K]

26. கரும் பொருளின் கதிர்வீச்சில் ஆற்றல் பிரிவினை செய்யப் பட்டிருக்கும் அமைப்பின் முக்கிய விவரங்களைக் கூறுக.

கரும்பொருள் கதிர்வீச்சின் ஆற்றல் பிரிவினை செய்யப்பட்டிருக்கும் முறையை விவரிக்க. மாக்ஸ் பிளாங்க் கொடுத்த சூத்திரத்தை விளக்குக. அலைநீளம் அதிகமாகவுள்ளபோது மாக்ஸ் - பிளான்கின் சூத்திரம் ராலே-ஜீன்ஸ் சூத்திரமாக மாறுகிறதென்பதை நிரூபிக்க.

27. 100°C வெப்ப நிலையிலுள்ள நீராவி 0·15 மீட்டர் நீளம் 0·01 மீட்டர் வெளிவிட்டம் 0·0095 மீட்டர் உள்விட்டம் கொண்ட ஓர் இரப்பர்க் குழாயினுள் செலுத்தப்படுகிறது. மிகவும் குறைந்த வெப்ப ஏற்புத் திறனுள்ள கலோரிமானி ஒன்றில் 20°C வெப்ப நிலையிலுள்ள 0·5 கிலோ கிராம் நீரில் அந்தக் குழாய் அமிழ்த்தப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு நிமிடத்தில் வெப்பநிலை 6°C அளவு உயர்ந்தால் இரப்பர்க் குழாயின் வெப்பங்கடத்து திறனைக் கணக்கிடுக.

[·000041 கி. கேலரி/மீட்டர்/விநாடி]

28. 1 மீட்டர் நீளம், 0·01 மீ. உள் ஆரம், 0·001 மீட்டர் தடிப்புள்ள ஒரு கண்ணாடிக் குழாயினுள் 100°C வெப்பநிலையிலுள்ள நீராவி செலுத்தப்படுகிறது. அந்தக் குழாயைச் சுற்றிலும் பனிக்கட்டி உருகுநிலையில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு நிமிடத்தில் எவ்வளவு பனிக்கட்டி உருகும் என்பதைக் கணக்கிடுக. (கண்ணாடியின் வெப்பக்கடத்து திறன் = ·0002 கிலோ கேலரி/மீட்டர்/விநாடி; பனிக்கட்டியின் உள்ளுறை வெப்பம் = 80 கிலோ கேலரி/கிலோ கிராம்). [0·9883 கிலோ கிராம்.]

விடையைத் தேர்ந்தெடுக்கும் முறைக்கேற்ற வினாக்கள்

கீழ்க்கண்ட வினாக்கள் ஒவ்வொன்றிலும் கொடுக்கப்பட்டுள்ள நான்கு சொற்றொடர்களில் எது உண்மையான பதிலாக அமைகிறது என்று குறிப்பிடுக:

1. குளிர்காலத்தில் இரும்பு நாற்காலி மர நாற்காலியை விடக் குளிர்ந்ததாகத் தோன்றுவதற்குக் காரணம்:

   (i) இரும்பு நாற்காலியின் வெப்பநிலை மர நாற்காலியின் வெப்பநிலையை விடக் குறைவு.

   (ii) இரும்பின் வெப்ப எண் மரத்தின் வெப்ப எண்ணை விடக் குறைவு.

   (iii) இரும்பின் அடர்த்தி மரத்தின் அடர்த்தியை விட அதிகம்.

   (iv) இரும்பின் வெப்பங்கடத்து திறன் மரத்தின் வெப்பங் கடத்து திறனைவிட அதிகம்.

2. ஒரு திரவத்தின் தொடக்க இறுதித் தோற்றப் பருமன்கள் v_1, v_2 எனவும் தோற்றப் பெருக்க எண் தனிப் பெருக்க எண், கொள்கலத்தின் பெருக்க எண் ஆகியவை முறையே m', m, g எனவும் இரும்பின்

   (i) $m = m' + g$

   (ii) $m = m' - g$

   (iii) $m = m' + \frac{v_1}{v_2} g$

   (iv) $m = m' + \frac{v_2}{v_1} g$

3. 3.98°C வெப்பநிலையில் நீருக்கு

   (i) அடர்த்தி சிறுமம்
   (ii) பருமன் சிறுமம்
   (iii) வெப்ப எண் சிறுமம்
   (iv) வெப்பங்கடத்து எண் சிறுமம்

4. நீரின் வெப்பநிலை உயரும் பொழுது நீரின் வெப்ப எண்

   (i) அதிகமாகிறது
   (ii) குறைகிறது
   (iii) மாறுவதில்லை
   (iv) குறைந்து சிறுமமாகிப் பின் உயருகிறது.

5. ஒரு பொருளின் நிறை, வெப்ப எண் இவற்றின் பெருக்கற்பலன் :

(i) அதன் வெப்பச்சமநீர் ஆகும்
(ii) அதன் வெப்ப ஏற்புத்திறன் ஆகும்
(iii) அதன் அணு வெப்பம் ஆகும்
(iv) அதன் உள்ளுறை வெப்பம் ஆகும்.

6. பனிக்கட்டிமலை சறுக்கி நகருவதற்குக் காரணம்

(i) அது வழுவழுப்பாக இருக்கிறது
(ii) அது வெப்பத்தால் உருகுகிறது
(iii) அழுத்தத்தால் அதன் உருகு நிலை குறைகிறது
(iv) காற்று மோதி அதனை நகர்த்துகிறது.

7. நீருடன் உப்புச்சேர்க்கப்படும் பொழுது அதன் கொதிநிலை

(i) குறையும்
(ii) அதிகமாகும்
(iii) மாருது
(iv) மறைந்துவிடும்

8. நீருடன் உப்புச் சேர்க்கப்படின் அதன் உறை நிலை

(i) குறையும்
(il) அதிகமாகும்
(iii) மாருது
(iv) மறைந்து விடும்

9. உயர் அழுத்த சமையற் கருவியில் உணவு விரைவில் சமைக்கப்படுவதற்குக் காரணம்

(i) வெப்பம் உள்ளடக்கப்படுவது
(ii) நீராவி உள்ளே இருப்பது
(iil) அழுத்தம் கொதிநிலையை உயர்த்துவது
(iv) வெப்பம் நன்கு கடத்தப்படுவது.

10. பனிக்கட்டித்துண்டுகள் ஒன்றுடன் ஒன்று அழுத்தப்படும் பொழுது ஒட்டிக்கொள்வதற்குக் காரணம்

(i) பிணைப்புத் தன்மை
(ii) பரப்பு இழுவிசை
(iii) பாகியல் தன்மை
(iv) அழுத்தத்தினுல் உருகுதல் ஏற்படல்

11. கொதிக்கும் நீரைவிட நீராவி விரைவில் தீக்கொப்புளத்தை ஏற்படுத்துவதற்குக் காரணம், நீராவி

(i) அதிக வெப்பநிலையில் இருப்பது
(ii) அதிக அழுத்தத்தில் இருப்பது
(iii) உள்ளுறை வெப்பத்தைக் கொண்டிருப்பது
(iv) வேகத்துடன் மோதுவது

12. ஒரு திரவத்தின் கொதிநிலையில் அதன் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தமானது

(i) வெளி அழுத்தத்திற்குச் சமம்
(ii) வெளி அழுத்தத்தை விட அதிகம்
(iii) வெளி அழுத்தத்தை விடக் குறைவு
(iv) அறை வெப்பநிலையின் தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தத்திற்குச் சமம்

13. ஆண்ட்ரூஸ் சமவெப்பநிலைக் கோடுகளிலிருந்து

(i) பாயில் வெப்பநிலையை அளக்கலாம்
(ii) மாறுநிலை வெப்பநிலையை அளக்கலாம்
(iii) புரட்டு வெப்பநிலையை அளக்கலாம்
(iv) திரவத்தின் கொதிநிலையை அளக்கலாம்

14. வாண்டெர் வால்ஸ் சமன்பாட்டிலிருந்து மாறுநிலை அழுத்தத்தின் மதிப்பு

(i) $3b$ க்குச் சமம்

(ii) $\frac{8a}{27\,Rb}$ க்குச் சமம்

(iii) $\frac{a}{27\,b^2}$ க்குச் சமம்

(iv) $\frac{27\,b}{8a^2}$ க்குச் சமம்

15. வான்டெர்வால்ஸ் சமன்பாட்டிலிருந்து மாறுநிலை வெப்பநிலைக்கான கோவை

(i) $\frac{8a}{27\,Rb}$

(ii) $\frac{a}{27b^2}$

(iii) $\frac{27b}{8a^2}$

(iv) $\frac{8b}{27a^2}$

16. வான்டெர்வால்ஸ் சமன்பாட்டிலிருந்து புரட்டு வெப்ப நிலைக்கான கோவை

(i) $\frac{Rb}{a}$

(ii) $\frac{2a}{Rb}$

(iii) $\frac{8a}{27Rb}$

(iv) $\frac{a}{Rb}$

17. மாறுநிலை வெப்பநிலைக்கு அதிகமான வெப்பநிலையிலுள்ள பொருள்

(i) திடப் பொருளாக இருக்கிறது
(ii) திரவமாக இருக்கிறது
(iii) வாயுவாக இருக்கிறது
(iv) ஆவியாக இருக்கிறது

18. ஹைட்ரஜனின் மாறுநிலை வெப்பநிலை

(i) $-268^\circ C$
(ii) $-240^\circ C$
(iii) $-228^\circ 7^\circ C$
(iv) $-118^\circ C$

19. ஜூல்-தாம்ஸன் விளைவுக்குக் காரணம்

(i) மூலக்கூறுகளிடையே உள்ள ஈர்ப்பு விசையை எதிர்த்து வேலை செய்தல்
(ii) புறவேலை செய்வது
(iii) வாயு பாயில் விதியிலிருந்து மாறுபட்டிருப்பது
(iv) ஈர்ப்பு விசையின் விளைவாலும் பாயில் விதியிலிருந்து மாறுபட்டிருப்பதன் விளைவாலும் ஏற்படுவது

20. குளிர்பதனேற்றி செயல்படும் பொழுது குளிர்விக்கப்படும் பொருளிலிருந்து அது நீக்கும் வெப்பம்

(i) வெளியிடும் வெப்பத்திற்குச் சமம்
(ii) வெளியிடும் வெப்பத்தைவிட அதிகம்
(iii) வெளியிடும் வெப்பத்தை விடக் குறைவு
(iv) பொறியின் மேல் செய்யப்படும் வேலைக்குச் சமம்

21. பெருமப்பயனுறுதிறன் கொண்ட எஞ்சின்

(i) டீஸல் எஞ்சின்
(ii) ஆட்டோ எஞ்சின்
(iii) கார்னோ எஞ்சின்
(iv) நீராவி எஞ்சின்

22. குளிர்பதனேற்றியின் செயல்திறன் அதிகமாக இருப்பதற்கு

(i) அதனை இயக்கும் மின் மோட்டாரின் இயக்குதிறன் அதிகமாக இருக்கவேண்டும்
(ii) ஒரு மின் விசிறி அருகில் இருக்கவேண்டும்
(iii) குளிர்விக்கப்படவேண்டிய பொருளின் வெப்பநிலை குறைவாக இருக்கவேண்டும்
(iv) வெப்பமூலம், வெப்பவாங்கி இவற்றின் வெப்பநிலைகளிடையே உள்ள வேறுபாடு குறைவாக இருக்க வேண்டும்.

23. குளிர்பதனேற்றி செயல்படும் பொழுது என்ட்ரப்பி

(i) அதிகமாகிறது
(ii) குறைகிறது
(iii) மாறுவதில்லை
(iv) எந்தால்பிக்குச்சமம்

24. என்ட்ரப்பி என்பதை
(i) வெப்பம் எனலாம்
(ii) வெப்பநிலை எனலாம்
(iii) வெப்பச் சடத்துவம் எனலாம்
(iv) நிலையாற்றல் எனலாம்.

25. எந்தால்பி என்பது

(i) என்ட்ரப்பியாகும்
(ii) உள்ளார்ந்த ஆற்றலாகும்
(iii) புறவினையாகும்
(iv) உள்ளார்ந்த ஆற்றல், புறவினை இவற்றின் கூட்டுத் தொகையாகும்.

26. சம என்ட்ரப்பிக் கோடுகள் என்பவை

(i) வெப்ப மாற்றீடற்ற கோடுகள்
(ii) சம வெப்பநிலைக் கோடுகள்
(iii) சம அழுத்தக் கோடுகள்
(iv) சமப் பருமக் கோடுகள்.

27. தனிச்சுழி வெப்பநிலையின் மதிப்பு

(i) − 273°C
(ii) − 273.15°C
(iii) − 273.18°C
(iv) − 273.12°C

28. கதிர்வீச்சு முறையில் வெப்பம் ஒரு பொருளிலிருந்து மற்றொரு பொருளுக்குச் செல்லும் பொழுது, என்ட்ரப்பி

(i) உயருகிறது
(ii) குறைகிறது
(iii) மாறுவதில்லை
(iv) எந்த ஊடகத்தின் வழியே கதிர்வீச்சு ஏற்படுகிறது என்பதைப் பொறுத்து மாறும்.

29. தெவிட்டிய நீராவியின் வெப்ப நிலையை உயர்த்த

(i) அதற்கு வெப்பம் கொடுக்கப்படவேண்டும்
(ii) அது அமுக்கப்படவேண்டும்
(iii) அதற்கு வெப்பம் கொடுப்பதுடன் அதன் பருமனை அதிகமாக்க வேண்டும்
(iv) வெப்பம் நீக்குவதுடன் அதன் பருமனைக் குறைக்க வேண்டும்.

30. பனிக்கட்டிக் கோட்டில் உள்ள புள்ளிக்குகந்த அழுத்தத்தை விட அதிக அழுத்தம் இருக்கும் பொழுது பொருள்

(i) நீராகத்தான் இருக்கும்
(ii) பனிக்கட்டியாகத்தான் இருக்கும்
(iii) நீராவியாகத்தான் இருக்கும்
(iv) நீரும் பனிக்கட்டியும் சேர்ந்த சம நிலையில் இருக்கும்.

31. குளிர்தல் விரைவில் ஏற்படுவதற்குப் பொருளின் பரப்பு

(i) பளபளப்பாக இருக்கவேண்டும்
(ii) சொர சொரப்பாக இருக்கவேண்டும்
(iii) கருமையானதாக இருக்கவேண்டும்
(iv) வெண்மையானதாக இருக்கவேண்டும்,

32. மறையும் மின்னிழை பைரோமீட்டரின் உதவியால்

(i) வெப்பத்தை அளக்கலாம்
(ii) வெப்ப நிலையை அளக்கலாம்
(iii) தூரத்தை அளக்கலாம்
(iv) பருமனை அளக்கலாம்.

33. போலா மீட்டரின் உதவியால்

(i) வீசு வெப்பத்தை அளக்கலாம்
(ii) வெப்பங்கடத்து திறனை அளக்கலாம்
(iii) வெப்ப எண்ணைக் காணலாம்
(iv) வெப்பமின் இயக்கு விசையை அளக்கலாம்.

34. உயர்ந்த வெப்ப நிலையில் ஒரு பொருளால் வெப்பம் இழக்கப்படும் வீதம்

(i) வெப்ப நிலை வேறுபாட்டிற்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது
(ii) தனி வெப்பநிலைக்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது
(iii) தனி வெப்ப நிலையின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்திலுள்ளது
(iv) தனி வெப்ப நிலையின் நான்கு மடிக்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது.

35. பரிமாற்றுக் கொள்கையைக் கூறியவர்

(i) கிர்காஃப்
(ii) பிரிவோஸ்ட்
(iii) ஸ்டீஃபன்
(iv) போல்ட்ஸ்மன்

36. வீசு வெப்பத்தின் அலை நீளம் சுமார்

(i) ஒரு மீட்டர்
(ii) ஒரு கிலோ மீட்டர்
(iii) ஒரு சென்டி மீட்டர்
(iv) 0.1 மில்லி மீட்டர்

37. சூரிய மாறிலியை அளக்கப் பயன்படுத்தப்படும் கருவி

(i) பைரோ மீட்டர்
(ii) பைர்ஹிலியா மீட்டர்
(iii) ரேடியா மீட்டர்
(iv) ரேடியோ மைக்ரா மீட்டர்

38. சூரியப் பரப்பின் வெப்பநிலை

(i) $3000^{\circ}\ k$
(ii) $6000^{\circ}\ k$
(iii) $10000^{\circ}\ k$
(iv) $20000^{\circ}\ k$

39. பச்சைக் கண்ணாடித் துண்டு உலையில் வைத்துக் காய்ச்சப்பட்டபின் இருட்டறையில் நோக்கப்பட்டால் அது

(i) பசுமையாகவே இருக்கும்
(ii) கருமையாக இருக்கும்
(iii) வெண்மையானதாக இருக்கும்
(iv) சிவப்பாகத் தென்படும்

40. ஆற்றல் சமப்பங்கீட்டு விதியைக் கூறியவர்

(i) மேக்ஸ்வெல்
(ii) போல்ட்ஸ்மன்
(iii) பிளாங்க்
(iv) வியன்

41. ஈரணு மூலக்கூறின் உரிமைப்படிகள்

(i) 3
(ii) 6
(iii) 5
(iv) 2

42. ஈரணு மூலக்கூறு வாயுவின் வெபப எண்கள் தகவு

(i) 1.67
(ii) 1.40
(iii) 2.05
(iv) 1.56

43. வாயுப் பொருட்களின அணு வெப்பம்

(i) 6.4
(ii) 6.0
(iii) 3.4
(iv) 5.6

44. குறைந்த வெப்பநிலையில் பொருளின் வெப்ப எண்

(i) மாறுதிருக்கிறது
(ii) தனி வெப்பநிலைக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது
(iii) தனி வெப்ப நிலையின் இருமடிக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது
(iv) தனி வெப்ப நிலையின் மும்மடிக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது.

45. மிக உயர்ந்த வெப்பநிலை அளவீட்டுக்குப் பயன்படுத்தப் படும் கருவி

(i) ஹைட்ரஜன் வெப்பநிலைமானி
(ii) பிளாட்டின வெப்பநிலைமானி
(iii) வெப்பமின் வெப்பநிலைமானி
(iv) பைரா மீட்டர்

அளவீடுகளின் C. G. S. - M. K. S. அலகுகள்

அளவு	C. G. S. அலகு	M. K. S. அலகு	அலகுகளிடையே உள்ள தொடர்பு
நீளம்	சென்டி மீட்டர்	மீட்டர்	1 மீ. = 100 செ. மீ.
நிறை	கிராம்	கிலோ கிராம்	1 கி.கி = 1000 கிராம்.
பரப்பு	சதுர செ.மீ	சதுர மீட்டர்	1 ச.மீ. = 10^4 ச.செ.மீ.
பருமன்	கன செ.மீ	கன மீட்டர்	1 க மீ. = 10^6 க.செ.மீ.
அடர்த்தி	கிராம் க.செ.மீ.	கி. கி./க.மீ.	1 கி.கி/க.மீ. = 10^{-3} கி./க.செ.மீ.
திசை வேகம்	செ.மீ/ விநாடி	மீட்டர்/ விநாடி	1 மீ. / வி. = 100 செ.மீ /வி.
முடுக்கம்	செ.மீ / விநாடி^{2}	மீட்டர்/ விநாடி^{2}	1 மீ. (வி)^2 = 100 செ. மீ./ (வி)^2.
விசை	டைன்	நியூட்டன்	1 நியூட்டன் = 10^5 டைன்
அழுத்தம்	டைன்/ச. செ.மீ.	நியூட்டன்/ ச.மீட்டர்	1 நி./ச.மீ. = 10 டைன்/ச.செ.மீ.
வேலை, ஆற்றல்	எர்க்	ஜூல் (அல்லது நியூட்டன் மீட்டர்)	1 ஜூல் = 10^7 எர்க்.
வெப்பம்	கேலரி	கிலோ கேலரி	1 கி.கேலரி = 1000 கேலரி.
திறன்	எர்க்/ விநாடி	வாட்	1 வாட் = 10^7 எர்க்/விநாடி.

கலைச்சொற்கள்

A

Absolute — தனி, சார்பிலா
Absolute expansion — சார்பிலா விரிவு
Absolute scale of temperature (gas) — தனி வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை
Absolute thermodynamical scale of temperature — சார்பிலா வெப்ப இயக்கவியல் வெப்பநிலை அளவீட்டு முறை
Absolute zero — தனிச்சுழி
Absorption — உட்கவர்தல்
Absorptive power — உட்கவர் திறன்
Accuracy — துல்லியம்
Adiabatic change — வெப்ப மாற்றீடற்ற மாறுதல்
Anomalous expansion — முரணியப் பெருக்கம்
Apparent expansion — தோற்றப் பெருக்கம்
Areal expansion — பரப்புப் பெருக்கம்
Asbestos — கல்நார்
Aspirator — காற்றிழுப்பி
Atomic heat — அணு வெப்பம்
Axis — அச்சு

B

Bad conductor — அரிதிற் கடத்தி
Balancing column — சரியீட்டுத் தம்பம்
Barometer — பாரமானி
Bath — தொட்டி (நீர்)
Battery — மின்கல அடுக்கு
Boiling — கொதித்தல்
Boiling point — கொதிநிலை

Boiling with bumping — எகிறிக் கொதித்தல்
Bolometer — போலா மீட்டர்
Boltzman's constant — போல்ட்ஸ்மன் மாறிலி
Boyle's law — பாயில் விதி
Boyle temperature — பாயில் வெப்பநிலை
Black body — கரும் பொருள்
Brownian movement — பிரௌனியன் இயக்கம்
Bubble — குமிழி
Burner — எரிசூடேற்றி

C

Calibration — அளவீடு செய்தல்
Caloric theory — கேலரிக் கொள்கை
Calorie — கேலரி
Calorimeter — கேலரி மீட்டர்
Calorimetry — வெப்ப அளவியல்
Capillary tube — நுண் (துளைக்) குழாய்
Cascade process — படிப்படி செய்முறை
Catch water — நீர்ப்பிடிப்பான்
Cathetometer — சிற்றுயரமானி
Celsius scale — செல்ஸியஸ் அளவீட்டுமுறை
Charles' law — சார்லஸ் விதி
Charging stroke — ஏற்புத் தாக்கு
Chemical hygrometer — வேதியல் ஈரமானி
Clinical thermometer — மருத்துவ வெப்பநிலைமானி
Coaxial — ஓரச்சான
Coefficient of absolute expansion — தனிப்பெருக்க எண்
Coefficient of apparent expansion — தோற்றப்பெருக்க எண்
Coefficient of cubical expansion — பருமப்பெருக்க எண்
Coefficient of linear expansion — நீட்டப்பெருக்க எண்; நீட்சிப் பெருக்க எண்
Cold junction — குளிர்சந்தி
Comparator — காம்பரட்டர்
Compensated balance wheel — ஈடுசெய்த சமனச்சக்கரம்
Compensated pendulum — ஈட்டு ஊசல்
Compression — இறுக்கம்

Compression pump	—	இறுக்கப் பம்பு
Compression stroke	—	இறுக்குத் தாக்கு
Concave surface	—	குழிவான பரப்பு
Condenser (for steam)		வடிகலம், திரவமாக்கி
Constant pressure air thermometer	—	அழுத்தம் மாறாக் காற்று வெப்ப நிலைமானி
Constant volume air thermometer	—	பருமன் மாறாக் காற்று வெப்ப நிலைமானி
Constriction	—	இடுக்கு
Continuous flow method	—	தொடர்பாய் முறை
Contraction	—	சுருக்கம்
Convection	—	சலனம்
Convex surface	—	குவிந்த பரப்பு
Cooling correction	—	குளிர்வுத் திருத்தம்
Cooling curve	—	குளிர்வுக்கோடு
Corresponding states	—	ஒப்புமை நிலைகள்
Counter	—	எண்ணி
Counterpoise	—	சமன்செய்
Critical constants	—	மாறுநிலை மாறிலிகள்
Critical point	—	மாறு நிலைப் புள்ளி
Critical pressure	—	மாறுநிலை அழுத்தம்
Critical temperature	—	மாறுநிலை வெப்பநிலை
Critical volume	—	மாறுநிலைப் பருமன்
Crook's radiometer	—	குருக் ரேடியாமீட்டர்
Croos wire	—	குறுக்கிணைக் கம்பி
Cryohydrate	—	கிரையொ ஹைட்ரேட்
Curvature	—	வளைவு
Curie's law	—	கியூரி விதி
Cycle	—	சுற்று

D

Dalton's law of partial pressure	—	டால்ட்டனின் பகுதியழுத்த விதி
Defect	—	குறைபாடு
Deflection	—	விலக்கம், விலகல்
Degrees of freedom	—	உரிமைப் படிகள்
Demagnetisation	—	காந்தநீக்கம்
Density	—	அடர்த்தி
Dew point	—	பனிநிலை
Diesel engine	—	டீஸல் எஞ்சின்

Differential air thermometer — பகுகாற்று வெப்பநிலைமானி
Differentiation — பகுதி காணல்
Diffusion — விரவல்
Diffusivity — விரவல்திறன்
Dilatometer — விரிவுமானி
Disc — வட்டு
Displacement law — இடப்பெயர்ச்சி விதி
Division — பிரிவு
Dynamic equilibrium — இயக்கச் சமநிலை
Dynamical theory — இயக்கக் கொள்கை

E

Ebonite — எபொனைட்
Ebullition — கொதிப்பு
Efficiency — பயனுறுதிறன்
Elastic collision — மீட்சி மோதுகை
Elastic modulus — மீட்சிக் குணகம்
Electric heater — மின்னடுப்பு, மின்சூடேட்டி
Electric spark — மின் பொறி
Electrolyte — மின்பகு பொருள்
Electromagnetic wave — மின்காந்த அலை
Element — தனிமம்
Elevation of boiling point — கொதிநிலை ஏற்றம்
Emissive power — கதிர்வீச்சுத் திறன்
Emissivity — கதிர்வீச்சு எண்
Energy intensity — ஆற்றல் செறிவு
Entropy — என்ட்ரப்பி
Ether thermoscope — ஈதர் தெர்மாஸ்கோப்
Entectic temperature — கூறமைதி வெப்பநிலை
Evaporation — ஆவியாதல்
Exchange theory — பரிமாற்றுக் கொள்கை
Exhaust stroke — வெளியேற்றுத்தாக்கு
Expansion ratio — பெருக்கத் தகவு
Explosion — வெடித்தல்
External latent heat — புற உள்ளுறை வெப்பம்
External work — புறவினை, புறவேலை
Eyepiece — கண்ணருகு கருவி

F

Fahrenheit scale — ஃபாரன்ஹைட் அளவை
Filament — மின்னிழை
Fixed point — திட்டவரை
Fluid — பாய்பொருள்
Fraunhofer lines — ஃபிரான் ஹோஃபர் வரிகள்
Freezing point — உறைநிலை
Freezing mixture — உறை கலவை
Friction — உராய்வு
Fundamental interval — அடிப்படை இடைவெளி
Fusion — உருகுதல்

G

Galvanometer — கால்வனு மீட்டர்
Gas equation — வாயு (நிலை)ச் சமன்பாடு
Gaseous state — வாயுநிலை
Good conductor — நற்கடத்தி
Gradient — வாட்டம்
Gram molecule — கிராம் மூலக்கூறு
Gram weight — கிராம் எடை
Graph — வரைபடம்
Grid — கிரிடு

H

Heat — வெப்பம்
Heat engine — வெப்ப எஞ்சின், வெப்ப எந்திரம்
Hoarfrost line — உறைபனிக் கோடு
Horizontal — கிடைமட்டம்
Hot junction — சுடுசந்தி
Humidity — ஈரப்பதன்
Hygrometer — ஈரமானி
Hypothesis — புனைவு கோள்
Hypsometer — ஹிப்சாமீட்டர்

I

Ice line — பனிக்கோடு
Ideal gas — இலட்சிய வாயு
Indicator diagram — சுட்டுப்படம் (*p-v* அல்லது T-S வரைபடம்)

Infra red	—	புறச்சிவப்பு
Inlet	—	ஏற்புவாய்
Intensity	—	செறிவு
Interferance	—	குறுக்கீட்டு விளைவு
Integration	—	தொகுநி காணல்
Internal combustion engine	—	உள்ளெரி எஞ்சின்
Internal energy	—	உள்ளார்ந்த ஆற்றல்
Internal latent heat	—	அக உள்ளுறை வெப்பம்
Isentropics	—	சம என்ட்ரப்பிக் கோடுகள்
Isothermal	—	சம வெப்பநிலைக் கோடு
Isothermal change	—	சம வெப்பநிலை மாறுதல்

J

Jacket	—	உறை
Jockey	—	தொடுகோல்
Joule effect	—	ஜூல் விளைவு
Joule Kelvin effect	—	ஜூல் கெல்வின் விளைவு
J tube	—	J குழாய்
Junction	—	சந்தி

K

Kinetic energy	—	இயக்க ஆற்றல்
Kinetic theory of gases	—	வாயுக்களின் இயக்கவியல் கொள்கை
Kirchoff's law	—	கிர்க்காஃப் விதி
Kundt's tube	—	குண்ட் குழாய்

L

Lag	—	பின் தங்கல்
Latent heat	—	உள்ளுறை வெப்பம்
Law of cooling	—	குளிர்வு விதி
Law of corresponding state	—	ஒப்புமை நிலைகள் விதி
Linear expansion	—	நீட்சிப் பெருக்கம்
Liquefier	—	திரவமாக்கி
Low temperature measurement	—	கீழ் வெப்பநிலை அளவை
Lower fixed point	—	கீழ்த்திட்டவரை

M

Magnetic susceptibility — காந்த ஏற்புத் திறன்
Mass — நிறை
Maximum and minimum thermometer — பெரும சிறும வெப்பநிலைமானி
Mean free path — சராசரி மோதலிடைத் தூரம்
Mechanical equivalent of heat — வெப்ப-எந்திர ஆற்றல் இணை மாற்று
Melting point — உருகுநிலை
Method of cooling — குளிர்வு முறை
Method of mixtures — கலவை முறை
Mercurial pendulum — பாதரச ஊசலி
Mica — மைக்கா
Micrometer — மைக்ராமீட்டர் (நுண்ணளவி)
Minute — நிமிடம்
Molecular depression — மூலக்கூறு இறக்கம்
Molecular heat — மூலக்கூறு வெப்பம்
Momentum — உந்தம்
Monatomic gas — ஒற்றையணு வாயு

N

Netural temperature — திருப்பு வெப்பநிலை
Node — கணு
Normal — நேர்குத்துக் கோடு, இயல்பான
Normal temperature and pressure — படித்தர வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும்

O

Opaque — ஒளி புகா
Optic lever — ஒளியியல் நெம்புகோல்
Ordinate — நிலை ஆயம்
Osmotic pressure — சவ்வூடு பரவுகை அழுத்தம்
Otto cycle — ஆட்டோச் சுற்று

P

Paddle — துடுப்பு
Parabola — பரவளையம்
Paramagnetic — பராகாந்தவியல்
Peltier effect — பெல்ட்டியர் விளைவு
Perfect gas — இலட்சிய வாயு
Perfectly black body — முழுக் கரும்பொருள்

Permanent gas — நிலைவாயு, நிரந்தரவாயு
Piston — உந்து தண்டு
Platform — மேடை
Platinum resistance thermometer — பிளாட்டின மின் தடை வெப்ப நிலைமானி
Porous plug — நுண்துளை அடைப்பு
Potentiometer — மின்னழுத்தமானி
Postulate — எடுகோள்
Pressure coefficient — அழுத்தப் பெருக்க எண்
Pressure head — அழுத்த முகடு
Pyknometer — பைக்னமீட்டர்
Pyrheliometer — பைர் ஹீலியாமீட்டர்
Pyrometer — பைரோ மீட்டர்

Q

Quadratic equation — இருபடிச் சமன்பாடு
Quantum theory — குவாண்டம் கொள்கை
Quartz fibre — குவார்ட்ஸ் இழை

R

Radiant energy — வீசுகதிர் ஆற்றல், வீசு வெப்ப ஆற்றல்
Radiation — வீசுகதிர், கதிர்வீச்சு
Radiation correction — குளிர்வுத் திருத்தம்
Range of temperature — வெப்பநிலை நெடுக்கம்
Rankine cycle — ரேன்கின் சுற்று
Reaumer scale — ராய்மர் அளவீட்டு முறை
Reduced equation — சுருக்கச் சமன்பாடு
Reflected beam — எதிரொளிப்புக் கற்றை
Refrigeration — குளிர்பதனேற்றம்
Refrigerator — குளிர்பதனேற்றி
Regulator — சீரமைப்பான்
Relative humidity — ஒப்பு ஈரப்பதன்
Reservoir — சேமக்கலம்
Reverse Carnot cycle — எதிர்முக கார்னேச் சுற்று
Reversibility — நேர் எதிர்ப் பண்பு
Reversible engine — நேர் எதிர்ப் பண்புள்ள எஞ்சின்
Root mean square velocity — திசைவேக சராசரி இருமடியின் இருமடிமூலம் (RMS திசை வேகம்)

S

Saturated vapour pressure	—	தெவிட்டிய ஆவி அழுத்தம்
Seebeck effect	—	சீபெக் விளைவு
Sensitiveness	—	உணர்வு நுட்பம்
Shell	—	கூடு
Shield	—	கேடயம், தடுப்பான்
Sink	—	வெப்ப வாங்கி
Slab	—	பாளம்
Sodium vapour lamp	—	சோடிய ஆவி விளக்கு
Solar constant	—	சூரிய மாறிலி (ஞாயிற்று மாறிலி)
Solid state	—	திண்மை நிலை
Solution	—	கரைசல்
Source	—	வெப்ப மூலம்
Spark	—	பொறி
Specific heat	—	வெப்ப எண்
Specific resistance	—	மின்தடை எண்
Specific volume	—	சுட்டுப் பருமன்
Steam calorimeter	—	நீராவிக் கேலரி மீட்டர்
Steam line	—	நீராவிக் கோடு
Stem	—	தண்டு
Stop clock	—	நிறுத்து கடிகாரம்
Strain	—	திரிபு
Stress	—	தகைவு
Stroke	—	தாக்கு
Sublimation		பதங்கமாதல்
Substitute	—	பதிலீடு செய்
Super conductivity	—	மீகடத்துத் திறன்
Super cooling	—	மீக்குளிர்வு
Super fluidity	—	மீபாய்த் தன்மை
Super heating	—	மீசூடேற்றுதல்
Super saturation	—	மீதெவிட்டிய நிலை
Surface tension	—	பரப்பு இழுவிசை

T

Telescope	—	தொலைநோக்கி
Temperature coefficient of resistance	—	மின்தடை-வெப்பநிலை எண்
Temperature gradient	—	வெப்பநிலை வாட்டம்
Temperature of inversion	—	புரட்டு வெப்பநிலை
Theory of exchanges	—	பரிமாற்றுக் கொள்கை

Thermal capacity — வெப்ப ஏற்புத் திறன்
Thermal conductivity — வெப்பங் கடத்து திறன்
Thermal diffusivity — வெப்ப விரவுத் திறன்
Thermo couple — வெப்ப மின் இரட்டை
Thermo dynamics — வெப்ப இயக்கவியல்
Thermo electric thermometer — வெப்ப மின் வெப்ப நிலைமானி
Thermometer — வெப்பநிலைமானி
Thermometric conductivity — வெப்பநிலை கடத்துதிறன்
Thermopile — வெப்ப மின் இரட்டை அடுக்கு
Thermostat — வெப்பநிலை காப்பான்
Throttle expansion — ஊசிவாய்ப் பெருக்கம்
Torsion fibre — முறுக்கு இழை
Total heat — முழு வெப்பம்
Triple point — மும்மைப் புள்ளி

U

Universal constant — பொது மாறிலி
Universal gas constant — பொது வாயு மாறிலி
Unsaturated vapour — தெவிட்டா ஆவி
Upper fixed point — மேல் திட்ட வரை

V

Vanderwaal's equation — வாண்டர் வால் சமன்பாடு
Vane — தகடு, தட்டு
Vapourisation — ஆவியாக்கம்
Vapour pressure thermometer — ஆவியமுத்த வெப்பநிலைமானி
Volume coefficient — பருமப் பெருக்க எண்
Valve — வால்வு

W

Warm — மென்சூடான
Water equivalent — வெப்பச் சமநீர்
Wave length — அலைநீளம்
Weight thermometer — எடை வெப்பநிலைமானி
Wien's displacement law — வியன் பெயர்ச்சி விதி
Wheatstone bridge — வீட்ஸ்டன் சுற்றமைப்பு
Work — வினை, செயல், வேலை
Working stroke — செயல்தாக்கு
Working substance — செயல்படு பொருள்