

## UNIT - III

## வெப்பம் (Heat)

டேனியல் பெர்னெளலி என்ற அறிஞர் 1738ஆம் ஆண்டு மூலக்கூறு இயக்கங்களின் அடிப்படையில் பாயில் விதியை விளக்கினார். இயக்கவியல் கொள்கையையும் உருவாக்கினார். இயக்கவியற் கொள்கையின் கணிதவியல் அடிப்படையில் மாக்ஸ்வெல், வாண்டர்வால்ஸ் போன்றோரால் உருவாக்கப்பட்டன. இயக்கவியற் கொள்கை பின்வரும் கொள்கைகளை அடிப்படையாக கொண்டது.

1. ஒரு வாயுவாவானது மிகப்பெரும் எண்ணிக்கையிலமைந்த மூலக்கூறுகள் எனப்படும் திண் துகள்களால் ஆனது.
2. மூலக்கூறுகள் முழு மீட்சித் திறன் கொண்ட கோளங்களாகும்.
3. மூலக்கூறுகள் எல்லா வகையிலும் ஒத்தவை.
4. மூலக்கூறுகள் எல்லா திசைகளிலும், வெவ்வேறு திசைவேகங்களில் இயங்கும்.
5. இயக்கத்தின் போது மூலக்கூறுகள் ஒன்றோடொன்றும் கலத்தின் சுவர்களுடனும் மோதிக் கொள்ளும்.
6. மோதல்களுக்கிடையே மூலக்கூறுகள் சீரான திசைவேகத்தில் நேர் கோட்டில் இயங்கும்.
7. மோதலுறும் நேரம் புறக்கமிக்கத் தக்கது.
8. அடுத்தடுத்த இரு மோதல்களுக்கிடையே கடக்கும் சராசரி தூரம் சராசரி மோதலிடை தூரம் (mean free path) எனப்படும்.

9. மூலக்கூறுகளுக்கிடையே ஆன ஈர்ப்பு விசை புறக்கணிக்கத்தக்கது.
10. மூலக்கூறுகளின் பருமன் புறக்கணிக்கத்தக்கது.

### வாண்டர் - வால் சமன்பாடு (Van der Waals Equation of State)

$PV = RT$  எனும் சமன்பாடு இயக்கவியல் கொள்கையை அடிப்படையாகக் கொண்டு வருவிக்கப்பட்டது. இக்கொள்கையை மூலக்கூறுகள் புள்ளி நிறைகளாகவும் (Point Mass) மூலக்கூறுகளுக்கிடையே எந்தவிதமான ஈர்ப்பு விசையும் செயற்படுவதில்லை எனவும் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டுள்ளது. இவ்விரு எடுகோள்களும் ஏற்றுக்கொள்ளத்தக்கதல்ல என வாண்டர் - வால் கூறினார். ஆகவே, இவற்றை அடிப்படையாகக் கொண்டு  $PV = RT$  எனும் சமன்பாட்டிற்கு தகுந்த திருத்தம் செய்ய வேண்டும். வாண்டர் வால்  $P, V$  ஆகியவற்றிற்கு தகுந்த திருத்தம் செய்து, இச்சமன்பாட்டினைத் திருத்தி அமைத்தார். இச்சமன்பாட்டினை வாண்டர் - வால் சமன்பாடு என்பார்.

### மூலக்கூறின் பருமனுக்கான திருத்தம் (Correction for size of molecules)

மூலக்கூறுகளின் பருமனற்றதாக எடுத்துக் கொண்டால் கொள்கலத்தின் முழுப்பருமன்  $V$ லும் மூலக்கூறுகள் தடையின்றி இயங்கும். ஆனால், மூலக்கூறுகள் ஒரு குறிப்பிட்ட பருமன் கொண்டிருப்பதால் அவை இயங்கும் உண்மையான பருமன், கொள்கலத்தின் பருமனை விடக்குறைவாக இருக்கும். மூலக்கூறு ஒன்று, கொள்கலத்தின் சுவரினைத் தொட்டுக் கொண்டிருக்கும் போது, அதன் நிறை மையமானது சுவரிலிருந்து அதன் ஆரத் தொலைவு தள்ளியிருக்கும். எனவே, இலட்சியப் பருமன் உண்மையான பருமனை விடக் குறைவாக

இருக்கும். இயக்கத்திற்குக் கிடைக்கும் உண்மையான பருமன்  $(V - b)$  என வாண்டர் வால் கூறினார்.  $b$  என்பது ஒரு மாறிலி. இது மூலக்கூறின் பருமனைச் சார்ந்தது.  $b$ ன் மதிப்பு மூலக்கூறின் உண்மையான பருமனின் நான்கு மடங்கு எனக் கணக்கிடப்படுகிறது.

$$\text{திருத்தப்பட்ட பருமன்} = (V - b)$$

### மூலக்கூறுக்கிடையே செயற்படும் ஈர்ப்பு விசைக்கான திருத்தம் (Correction for intermolecular force attraction)

ஒவ்வொரு மூலக்கூறும், அதனைச் சுற்றி ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவுக்குள் உள்ள மற்ற மூலக்கூறுகளால் ஈர்க்கப்படுகின்றன. கொள்கலத்தினுள் மூலக்கூறு அமைந்திருக்கும் போது, எல்லாத் திசைகளிலிருந்தும் செயற்படும் விசையால் ஈர்க்கப்படுகிறது. ஆகவே, கொள்கலத்தினுள் அமைந்திருக்கும் மூலக்கூறின் மீது செயற்படும் தொகுபயன் விசை சுழியாகும். எனவே, மூலக்கூறின் இயக்கம் பாதிக்கப்படுவதில்லை. ஆனால், கொள்கலத்தின் சுவரின் அருகில் செல்லும் போது, மூலக்கூறின் நிலை மாறுபட்டதாகும். அவருடன் மோதும் தருவாயில் மூலக்கூறு உள்நோக்கி ஈர்க்கப்படும் விசையை மட்டும் உணரும். ஆகவே, இவற்றின் திசைவேகம் குறைகிறது. எனவே, உந்த மாறுபாடுவீதம் குறைகிறது. ஆகவே, ஈர்ப்பு விசையினைக் கணக்கில் கொள்ளும்போது உண்மையான ஆழுத்தம் இலட்சிய அழுத்தத்தைவிடக் குறைவாகும்.

எனவே, வாண்டர் வால் அழுத்தத்திற்கு திருத்தம் செய்தார். இது கீழ்க்கண்டவற்றைச் சார்ந்தது.

1. கொடுக்கப்பட்ட பருமனில் உள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை.
2. கொள்கலத்தின் சுவின் ஓரலகுப் பரப்பில் ஒரு வினாடியில் மோதுகின்ற மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை.

கொடுக்கப்பட்ட பருமன் கொண்ட வாயுவிற்கு மேற்கண்ட இரண்டும் வாயுவின் அடர்த்திக்கு நேர்விகிதத்தில் அமையும். வாயுவின் அடர்த்தி  $p$  எனின்,

அழுத்தத்திற்கான திருத்தம்  $p \propto p^2 \propto 1/v^2$

$$P = a/v^2$$

இங்கு 'a' என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட வாயுவிற்கு மாறிலியாகும்.

$$\text{திருத்தப்பட்ட அழுத்தம்} = \left[ p + \frac{a}{V^2} \right]$$

இவ்விரு திருத்தங்களையும்  $PV = RT$  எனும் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்ய

$$\left[ P + \frac{a}{V^2} \right] (V - b) = RT \quad - (i)$$

மாறுநிலை மாறிலிகள் (Critical Constants)

மாறுநிலை வெப்பநிலை ( $T_c$ ) (Critical Temperature)

ஒரு வாயு ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைக்கு கீழ் இருக்கும் போது மட்டுமே, அதனை பெருமளவு அழுத்தத்திற்கு உட்படுத்தி, அதனைத் திரவமாக்கலாம். அந்தக் குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையை மாறுநிலை வெப்பநிலை என்பர். வாயு மாறுநிலை வெப்ப

நிலைக்குமேல் இருக்கும் போது, அழுத்தத்தை மட்டும் பயன்படுத்தி திரவமாக்க முடியும்.

மாறுநிலை அழுத்தம் ( $P_c$ ) (Critical Pressure)

மாறுநிலை வெப்பநிலையில் உள்ள வாயுவைத் திரவமாக்குவதற்குத் தேவைப்படும் குறைந்த அழுத்தத்தை மாறுநிலை அழுத்தம் என்பர்.

மாறுநிலைப் பருமன் ( $V_c$ ) (Critical Volume)

மாறுநிலை வெப்பநிலை மாறுநிலை அழுத்தத்திலுள்ள ஓரலகு நிறை கொண்ட வாயுவின் பருமன், மாறுநிலை பருமன் என்பர்.

இம்மூன்றினையும் மாறுநிலை மாறிலிகள் என்பர்.

வாண்டர் - வால் சமன்பாட்டிலிருந்து மாறுநிலை மாறிலிகள் கணக்கிடல் வாண்டர் - வால் சமன்பாட்டின் படி

$$\left[ P + \frac{a}{V^2 T} \right] (V - b) = RT$$

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2} \quad - (1)$$

சமன்பாடு டிஐப் பெருக்க

$$\frac{dP}{dV} = \frac{-RT}{(V - b)^2} + \frac{2a}{V^3} \quad - (2)$$

மாறுநிலைப் புள்ளியில்  $dP/dV = 0$

மேலும்

$$\begin{aligned} P &= P_c \\ T &= T_c \\ V &= V_c \end{aligned}$$

$$\frac{-RT_c}{(V_c - b)^2} + \frac{2a}{V_c^3} = 0$$

$$\text{Or } \frac{2a}{V_c^3} = \frac{RT_c}{(V_c - b)^2} \quad - (3)$$

சமன்பாடு (2)ஐ மீண்டும் பகுக்க,

$$\frac{d^2P}{dV^2} = \frac{2RT}{(V - b)^3} = \frac{6a}{V^4}$$

மேலும் மாறுநிலைப் புள்ளியில்,

$$\frac{d^2P}{dV^2} = 0$$

$$\begin{aligned} T &= T_c \\ V &= V_c \end{aligned}$$

$$\frac{2RT_c}{(V_c - b)^3} + \frac{6a}{V_c^4} = 0$$

$$\begin{aligned} T &= T_c \\ V &= V_c \end{aligned}$$

$$\frac{6a}{V_c^4} = \frac{2RT_c}{(V_c - b)^3} \quad - (4)$$

சமன்பாடு (3)ஐ (4)ல் வகுக்க

$$\frac{V_c}{3} = \frac{V_c - b}{2}$$

$$\text{Or } 2V_c = 3V_c - 3b$$

$$V_c = 3b \quad - (5)$$

சமன்பாடு (5)ஐ சமன்பாடு (3)ல் பதிலீடு செய்ய

$$\frac{2a}{27b^3} = \frac{RT_c}{4b^2}$$

$$T_c = \frac{8a}{27Rb} \quad - (6)$$

மாறுநிலை புள்ளியில் சமன்பாடு (1) கீழ்க்கண்டவாறு அமைகிறது.

$$P_c = \frac{RT_c}{(V_c - b)} - \frac{a}{V_c^2} \quad - (7)$$

சமன்பாடு (7)ல் சமன்பாடு (5) மற்றும் (6) ஆகியவற்றைப் பதிலீடு செய்ய

$$P_c = \frac{R \times 8a}{27Rb(2b)} - \frac{a}{9b^2}$$

$$P_c = \frac{4a}{27b^2} - \frac{a}{9b^2}$$

$$P_c = \frac{a}{27b^2} \quad - (8)$$

எனவே, வாண்டர் - வால் மாறிலி கொண்டு மாறுநிலை மாறிலிகளைக் கணக்கிடலாம்.

### Problem

கீழே கொடுக்கப்பட்ட தகவலின் படி காற்றின் வாண்டர்-வால்ஸ் மாறிலிகளை கணக்கீடுக.

$$T_c = 132K,$$

$$P_c = 37.2 \text{ atmosphere,}$$

$$R \text{ per mole} = 82.07 \text{ cm}^3 \text{ atmos K}^{-1}$$

Here

$$P_c = 37.2 \text{ atmospheres}$$

$$T_c = 132F$$

$$R = 82.07 \text{ cm}^3 \text{ atmos K}^{-1}$$

$$(i) \quad a = \frac{27}{64} \frac{R^2 T_c^2}{P_c}$$

$$a = \frac{27}{64} \frac{(82.07)^2 (132)^2}{37.2}$$

$$\text{Or} \quad a = 13.31 \times 10^6 \text{ atmos cm}^6$$

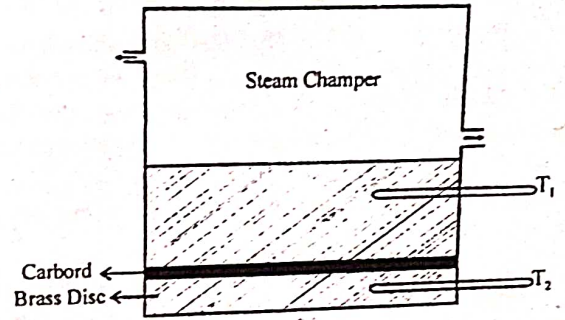
$$(ii) \quad b = \frac{RT_c}{8P_c}$$

$$b = \frac{82.07 \times 132}{8 \times 37.2}$$

$$b = 36.41 \text{ cm}^3$$

அரிதிற்கடத்தியின் வெப்பக்கடத்துதிறன் லீ வட்டு முறை (Thermal conductivity of a bad conductor - Lee's Disc Method)

லீ வட்ட முறைப்படி ரப்பர், கண்ணாடி, எபோனைட் போன்ற அரிதிற்கடத்திப் பொருட்களின் வெப்பக் கடத்துத்திறன் காணலாம். சோதனை அமைப்பு படம் காட்டப்பட்டுள்ளது.



A என்பது தடிமனான வட்ட வடிவ பித்தளை வட்டு இதனை மூன்று நூல்களைப் பயன்படுத்தி ஒரு தாங்கியில் தொங்கவிடலாம். இதன் மீது வட்ட வடிவமான அரிதிற்கடத்திப் பொருள் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனுடைய ஆரமானது பித்தளை தட்டின் ஆரத்திற்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும். அரிதிற்கடத்தியின் மேல் உருளை வடிவமான நீராவி அறை B வைக்கப்பட்டுள்ளது. இதன் அடிப்பகுதி தடிப்பானதாக இருக்கும். இதில் இரு திறப்புகள் உள்ளன. மேற்பகுதியில் உள்ள திறப்பு வழியாக அறைக்குள் நீராவி செலுத்தப்படுகிறது. கீழ் பகுதியில் உள்ள திறப்பு வழியாக நீராவி வெளியேறுகிறது. நீராவி அறையிலும் பித்தளை வட்டிலும் உள்ள துளைகளிலும்  $T_1$ ,  $T_2$  எனும் இரு வெப்பநிலைமானிகள் சொருகப்பட்டுள்ளன.

### சோதனை

நீராவி, நீராவி அறை வழியாகச் செலுத்தப்படுகிறது. இதனால் தோன்றுகின்ற வெப்பமானது அரிதிற் கடத்தியின் வழியாக பித்தளை வட்டிற்குக் கடத்தப்படுகிறது. இதன் காரணத்தால் வெப்பநிலைமானிகள்  $T_1, T_2$  காட்டும் அளவீடுகள் அதிகரிக்கிறது. நீராவி தொடர்ந்து செலுத்தப்படும் போது ஒரு குறிப்பிட்ட காலத்திற்குப் பின் வெப்பநிலைமானிகள் காட்டும் வெப்பநிலை மாறாமல் நிலையாக அமைகிறது. இந்த நிலையை நிலையான நிலை என்பர். நிலையான நிலையில் வெப்பநிலைமானிகள் காட்டும் வெப்பநிலையைக் குறித்துக் கொள்ளவேண்டும். முறையே இவை  $\theta_1, \theta_2$  எனக்கொள்வோம்.

அரிதிற் கடத்தியின் தடிமன்  $d$  எனின் வெப்பநிலை வாட்டம் =  $(\theta_1 - \theta_2)/d$

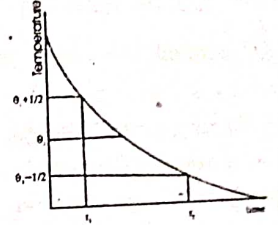
அரிதிற் கடத்தியின்  $r$  ஆரம் எனின் அதன் பரப்பளவு =  $\pi r^2$ . நிலையான நிலையில் அரிதிற் கடத்தியின் வழியாகக் கடத்தப்படும் வெப்பம்  $Q = K. \pi r^2 (\theta_1 - \theta_2)/d$  Joule.

இங்கு  $K$  என்பது அரிதிற் கடத்தியின் வெப்பக் கடத்துத் திறனாகும். நாம்  $K$ ஐக் கணக்கிட வேண்டும்.

சோதனை அமைப்பில் நீராவி அறைக்கும் பித்தளை வட்டிற்கும் இடையே உள்ள அரிதிற் கடத்திப் பொருளை எடுத்து விட்டு பித்தளை வட்டை நேரடியாக வெப்பப் படுத்த வேண்டும். இப்போது  $T_2$  காட்டும் வெப்பநிலை அதிகரிக்கும். பித்தளை வட்டின் வெப்பநிலை  $(\theta_2 - 10)^\circ\text{C}$ ஐ அடைந்தவுடன், நீராவி அறையை அகற்றி பித்தளை வட்டின் மீது அரிதிற் கடத்தியை வைத்து குளிர்வடையச் செய்ய வேண்டும். வட்டின் வெப்பநிலை

$(\theta_2 - 5)^\circ\text{C}$  அடைந்தவுடன் நிறுத்து கடிகாரத்தை ஓடச் செய்ய வேண்டும். ஒவ்வொரு டிகிரி வெப்பநிலையையும் குறைவதற்கான நேரத்தைத் தொடர்ந்து குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். வெப்பநிலை  $(\theta_2 - 5)^\circ\text{C}$ ஐ அடையும் வரை காலத்தைத் தொடர்ந்து குறித்துக் கொள்ள வேண்டும்.

X-அச்சில் நேரத்தையும் Y-அச்சில் வெப்ப நிலையையும் எடுத்து வரைபடம் வரையலாம். குளிர்வு வளைகோடு படத்தில் காட்டியுள்ளவாறு அமையும்.



நிலையான வெப்பநிலை வளைகோட்டை வெட்டும் புள்ளியில் வாட்டம் காண வேண்டும். இது குளிர்வு வீதமாகும்.

$$\text{குளிர்வு வீதம் } R = d\theta/dt$$

(3)

M என்பது பித்தளை தட்டின் நிறை எனவும்,  $t$  அதன் தடிமன் எனவும், S பித்தளையின் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் எனவும் கொள்வோம்.

நிலையான நிலையில் பித்தளை வட்டின் வழியாகவும் பக்கப் பரப்பு வழியாகவும் ஓரலகு நேரத்தில் கதிர்வீச்சின் காரணத்தால் இழந்த வெப்பம் = MSR ஜூல்.

$$\begin{aligned} \text{ஒரு தட்டையான பரப்பாலும் பக்கப் பரப்பாலும் இழந்த வெப்பம்} &= MSR (\pi r^2 + 2\pi r t) / (2\pi r^2 + 2\pi r t) \\ &= MSR (r + 2t) / 2(r + t) \end{aligned}$$

(2)

நிலையான நிலையில் அரிதிற் கடத்தியின் வழியாகக் கடத்தப்படும் வெப்பத்தின் அளவு, பித்தளை வட்டால் ஓரலை நேரத்தில் கதிர்வீச்சால் இழக்கப்படும் வெப்பத்திற்குச் சமமாகும்.

$$K \cdot \pi r^2 (\theta_1 - \theta_2) / d = MSR (r + 2t) / 2(r + t)$$

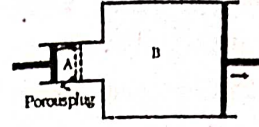
$$K = \frac{MSRd (r + 2t)}{2\pi r^2 (\theta_1 - \theta_2) (r + t)} \quad - (3)$$

திருகுமானி கொண்டு அரிதிற் கடத்தியின் தடிமன்  $d$ -ம் பித்தளை வட்டின் தடிமன்  $t$ -ம் அளவிடலாம். வெர்னியர் அளவுகோல் கொண்டு அரிதிற் கடத்தியின் விட்டம் அளவிடலாம். எனவே சமன்பாடு (3)ஐ பயன்படுத்தி அரிதிற் கடத்தியின் வெப்பக் கடத்துத்திறன்  $K$  கணக்கிடலாம்.

### சோதனைக்கு கொள்கை விளக்கம் (Theory of Experiment)

வெப்பக் காப்பிடப்பட்ட உருளையைக் கருதுவோம். படத்தில் இது இரு பிரிவாகப் பிரிக்கப்பட்டு மையத்தில் ஓர் நுண்துளை (O) அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இடது பக்க அறையில் வாயு அடைக்கப்பட்டு, உந்து தண்டு அழுத்தப்படும்போது, வாயுவானது O- வழியாக விரிவடைகிறது. வலது பக்க அறையை அடைந்து, உந்து தண்டு Bஐ தள்ளுகிறது.

$P_1, V_1$  என்பதை இடப்பக்க அறையிலுள்ள அழுத்தம், பருமன் எனவும்  $P_2, V_2$  என்பவை வலப்பக்க அறையிலுள்ள வாயுவின் அழுத்தம், பருமன் எனவும் கொள்வோம். A, B அறையிலுள்ள வாயுக்களின் உள்ளாற்றலைகள் முறையே  $U_1, U_2$  எனக்கொள்வோம்.



வாயுவின் மீது உந்து தண்டு Aஆல் செய்யப்பட்ட வேலை =  $P_1 V_1$   
வாயுவின் மீது உந்து தண்டு Bன் மீது செய்யப்பட்ட வேலை =  $P_2 V_2$

$$\text{செய்யப்பட்ட நிகர வேலை} = P_2 V_2 - P_1 V_1$$

இதற்கு தேவையான ஆற்றல் வாயுவின் உள்ளாற்றலிருந்து எடுக்கப்படுகிறது. எனவே உள்ளாற்றல் குறைகிறது.

$$\text{உள்ளாற்றல் குறைவு} = U_1 - U_2$$

$$P_2 V_2 - P_1 V_1 = U_1 - U_2 \quad - (1)$$

$$\text{அல்லது} \quad U_1 + P_1 V_1 = U_2 + P_2 V_2 \quad - (2)$$

வாயு விரிவடையும் போது செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை சார்பலன்  $U + PV$  ஒரு மாறிலியாக அமைகிறது. இந்த நிகழ்வினை சம என்தால்பிக் (isoenthalpic) என்பர்.

உள்ளாற்றலின் ஒரு பகுதி இயக்க ஆற்றலாகவும், மறு பகுதி நிலையாற்றலாகவும் இருக்கும்.

$$U_1 = k_1 + P_1$$

$$U_2 = k_2 + P_2$$

இங்கு  $k_1, p_1$  என்பவை அறை Aயினுள்ள வாயுவின் இயக்க ஆற்றலும், நிலையாற்றலும் ஆகும். இதே போன்று அறை Bயிலுள்ள இயக்க ஆற்றல் நிலையாற்றல் முறையே  $k_2, p_2$  ஆகும்.

$$\text{மேலும் } T_1 \propto k_1 ; T_2 \propto k_2$$

$$T_1 > T_2 \text{ எனின் } k_1 > k_2$$

$$T_1 < T_2 \text{ எனின் } k_1 < k_2$$

அடுத்த பல வெப்பநிலைகளில் வாயுவின் தன்மை பற்றி ஆராயலாம்.

**பாயிலின் வெப்பநிலையில்**

பாயிலின் வெப்பநிலையில் PV ஓர் மாறிலியாகும்.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$U_1 = U_2$$

$$\text{அல்லது } k_1 + p_1 = k_2 + p_2$$

மூலக்கூறுகட்கிடையே எந்த ஈர்ப்பு விசையும் இல்லை எனக் கொள்ளப்படுகிறது.

$$p_1 = p_2 = 0$$

$$k_1 = k_2$$

$$T_1 = T_2$$

எனவே கொள்கை அடிப்படையில் நுண்ணுளை வழியாக வாயு விரிவடையும் போது வெப்பமாற்றம் ஏற்படுவதற்கை மூலக்கூறுகட்கிடையே ஈர்ப்பு விசை செயற்படுவதால், விரிவடையும் போது வாயுக்கள் குளிர்வு அடைய வேண்டும். பாயில் வெப்பநிலையில் வாயுக்கள் குளிர்வடைகிறது என்பது சோதனை மூலம் கண்ட உண்மையாகும். ஆகவே மூலக்கூறுகட்கிடையே ஈர்ப்பு விசை செயற்படுகிறது என்பது நிரூபணமாகிறது.

**பாயிலின் வெப்பநிலைக்குத் தாழ்ந்த வெப்பநிலையில்**

CO<sub>2</sub> போன்ற வாயு சாதாரண வெப்பநிலையில் ஆரம்பக் கட்டத்தில் அழுத்தம் P குறைய PV அதிகரிக்கிறது.

$$P_1 V_1 < P_2 V_2$$

அல்லது  $P_2 V_2 - P_1 V_1 =$  நேர்க்குறி ஆளவு (Positive Quantity)

$$U_1 - U_2 = \text{நேர்க்குறி அளவு}$$

$$U_1 > U_2$$

$$\text{அல்லது } k_1 + p_1 > k_2 + p_2$$

மூலக்கூறுகட்கிடையே ஈர்ப்பு விசை செயற்படுவதால், மூலக்கூறுகளின் நிலையாற்றல் அதிகரிக்கிறது.

$$p_2 > p_1$$

$$k_1 > k_2 \text{ அல்லது } T_1 > T_2$$

அதாவது வாயு குளிர்ச்சி அடைகிறது.



பாயிலின் வெப்பநிலையைவிட உயர்த்த வெப்பநிலையில்

ஹைட்ரஜன் போன்ற வாயுக்கள் சாதாரண வெப்பநிலையில் P அதிகமாகும் போது, PV அதிகரிக்கிறது.

$$P_1 V_1 > P_2 V_2$$

$$P_2 V_2 - P_1 V_1 = \text{எதிர்குறி அளவு}$$

$$U_1 - U_2 = \text{எதிர்குறி அளவு}$$

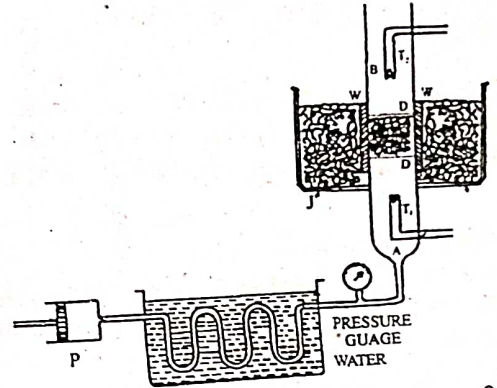
$$U_2 > U_1 \text{ அல்லது } U_1 < U_2$$

$$k_1 + p_1 < k_2 + p_2$$

மூலக்கூறுகட்கிடையே ஈர்ப்பு விசை உண்டெனில் வாயு விரிவடையும் போது, நிலைமாற்றல் அதிகரிக்க, இயக்க ஆற்றல் குறைகிறது. எனவே,  $p_1 > p_2$ ,  $k_2 < k_1$  அல்லது  $T_2 < T_1$ . எனவே வாயு குளிர்ச்சி அடைகிறது. மேலும்  $P_2 V_2 > P_1 V_1$  ஆக உள்ளபோது, வாயுவின் மீது வேலை செய்யப்படுகிறது. இதனால் வாயுவின் வெப்பநிலை உயர்கிறது. இந்த இரு நிகழ்வுகளும் எதிரிடையாக இருப்பதால், நிகழ்வினைச் சார்ந்து வெப்பநிலை அதிகரிப்போ அல்லது குறைவோ இருக்கலாம். இரு நிகழ்வுகளும் சமமாக உள்ள போது, வெப்பநிலையில் எவ்வித மாற்றமும் இருக்காது. அதாவது  $k_1 - k_2$  நேர்குறி அல்லது எதிர்குறி அல்லது சுழியாக்கவோ இருக்கலாம். எனவே ஜீல் கெல்வின் விளைவால் குளிர்ச்சியடைதலோ அல்லது வெப்பமடைதலோ அல்லது மாறாக வெப்பநிலையிலோ இருக்கலாம்.

நுண்துளை செருகி சோதனை அல்லது ஜீல் தாம்சன் சோதனை

நுண்துளைகள் கொண்ட இரு பித்தளைத் தட்டுகள் (D) ஒரு குழாயினுள், அமைத்து, அவற்றின் இடைவெளி கம்பளி, பருத்தி போன்ற பொருட்களால் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. இது நுண்துளையாகச் செயற்படுகிறது. இவ்வமைப்பை ஒரு மரப்பெட்டியில் அமைத்து, இடைவெளி பருத்தி, கம்பளி போன்ற வெப்பக் கடத்தாப் பொருள் கொண்டு நிரப்பப்பட்டுள்ளது.



$T_1$ ,  $T_2$  என்பவை இரு பிளாட்டின மின்தடை வெப்பநிலைமானிகள். இதனைப் பயன்படுத்தி வாயுவின் வெப்பநிலைகளைத் துல்லியமாக அளவிடலாம்.

நன்றாக அழுத்தப்பட்ட வாயு, நுண்துளை வழியாக அனுப்பப்படுகிறது. இதன் வெப்பநிலை, வெப்பநிலைமானி  $T_1$  கொண்டு அளவிடப்படுகிறது. நுண்துளையில் வாயு விரிவடைவதால் இதன் வெப்பநிலை மாறுகிறது. இதனை வெப்பநிலைமானி  $T_2$  கொண்டு அளவிடலாம். பல மாறுபட்ட

ബാലിഷതണ പതി പാസില- അളത്ത്, മീറ്റിംഗ് വില വിലയ്ക്കൊപ്പം  
അടയ്ക്കുന്നു. ഇത് വിലയ്ക്കൊപ്പം പൊതുവെ വിലയിലുണ്ട്. ഇതിലൂടെ  
പുറം, കടം, എടുക്കാൻ വിലയിലുണ്ട്.

- (i) വിലയ്ക്കൊപ്പം വിലയ്ക്കൊപ്പം വിലയിലുണ്ട്. കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്  
കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്. കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്.
- (ii) വിലയ്ക്കൊപ്പം വിലയിലുണ്ട്. കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്.  
കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്. കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്.
- (iii) വിലയിലുണ്ട്. വിലയിലുണ്ട്. കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്.  
കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്. കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്.

മൂലവില വിലയിലുണ്ട് : (Temperature of inversion)

കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്. കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്.  
കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്. കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്.

$$w_1 = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

കടം, കടം  $P = \frac{a}{V^2}$   

$$\therefore w_1 = \int_{V_1}^{V_2} \frac{a}{V^2} dV = a \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right)$$

$$= \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) = \left( \frac{a}{V_1} - \frac{a}{V_2} \right) \tag{1}$$

പതി പതിയ്ക്കും പതി അളത്ത്, കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്.  
കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്. കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്.

$$w_2 = (P_2 V_2 - P_1 V_1) \tag{2}$$

കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്. കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്.

$$\begin{aligned} w &= \text{കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്} + \text{കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്} \\ &= w_2 + w_1 \\ &= P_2 V_2 - P_1 V_1 + a \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) \end{aligned} \tag{3}$$

കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്. കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്.

$$\left( P - \frac{a}{V^2} \right) (V-b) = KI$$

$$PV + \frac{a}{V} - bP - \frac{ab}{V^2} = KI$$

$$PV = KI + bP - \frac{a}{V}$$

കടം, കടം  $\left( \frac{ab}{V^2} \right)$  കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്. കടം, കടം വിലയിലുണ്ട്.

$$\begin{aligned} w &= \left( KI + bP_2 - \frac{a}{V_2} \right) - \left( KI + bP_1 - \frac{a}{V_1} \right) + \frac{a}{V_1} - \frac{a}{V_2} \\ &= b(P_2 - P_1) + KI \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) \end{aligned}$$

$$\text{കടം, കടം } V_1 = \frac{KI}{P_1} \text{ കടം, കടം } V_2 = \frac{KI}{P_2}$$

$$\text{எனவே } w = b(P_2 - P_1) + 2a \left( \frac{P_1}{RT} - \frac{P_2}{RT} \right)$$

$$w = -b(P_1 - P_2) + \left( \frac{2a}{RT} \right) (P_1 - P_2)$$

$$w = (P_1 - P_2) \left( \frac{2a}{RT} - b \right)$$

(4)

$\delta T$  வெப்பநிலை வீழ்ச்சியில்

$$w = JH$$

$$= J[M C_p \delta T]$$

M- வாயுவின் மூலக்கூறு எடை

(5)

4 மற்றும் 5லிருந்து

$$J M C_p \delta T = P_1 - P_2 \left( \frac{2a}{RT} - b \right)$$

$$\delta T = \frac{P_1 - P_2}{J M C_p} \left( \frac{2a}{RT} - b \right)$$

(6)

நேர்வுகள் :

i.  $(P_1 - P_2)$  நேர்க்குறி எனில்

$$\frac{2a}{RT} - b$$

நேர்க்குறியாக இருக்கையில்  $\delta T$ யும் நேர்க்குறியாக அமையும்.

i.e.  $\frac{2a}{RT} > b$  அல்லது  $T < \frac{2a}{Rb}$  என குறையும் போது வாயு குளிர்வடையும்.

ii. " $\delta T$ " புஜ்ய நிலையில்

$$\frac{2a}{RT} - b = 0$$

$$T = \frac{2a}{Rb} \quad (7)$$

இவ்வெப்பநிலை திருப்பு வெப்பநிலை அல்லது புரட்டு வெப்பநிலை எனப்படும். மேலும் இது, " $T_i$ " என குறிக்கப்படும்.

$$\text{i.e. } T_i = \frac{2a}{Rb}$$

iii. " $\delta T$ " எதிர்குறி நிலையில்

$$\frac{2a}{RT} - b$$

ஆனது எதிர்க்குறியாக அமையும் பொழுது

" $\delta T$ "யும் எதிர்குறியாய் அமையும்.

$$\frac{2a}{RT}$$

$$\text{அதாவது } b > \frac{2a}{RT}$$

$$T > \frac{2a}{Rb}$$

$$T > T_i$$

(8)

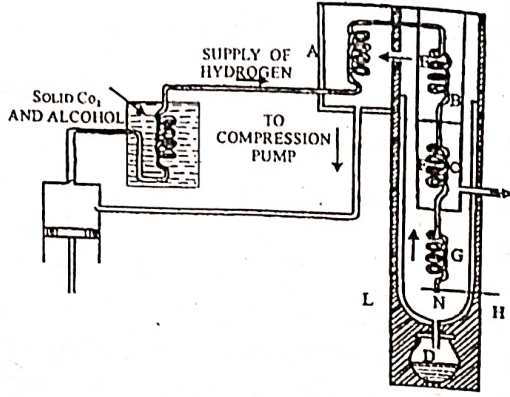
இதிலிருந்து, வாயுவின் வெப்பநிலை புரட்டு வெப்பநிலையை விட அதிகரிக்கும் பொழுது வாயுவில் வெப்பமடைதல் நிகழ்வதை உணரலாம்.

**ஹைட்ரஜனை நீர்மமாக்கல் (Liquefaction of Hydrogen)**

ஹைட்ரஜனை வாயுவின் தொடர் செய்முறைப்படி (Cascade process) திரவமாக்க முடியாது. ஏனெனில் இதை மாறுநிலை வெப்பநிலை  $-240^\circ\text{C}$  ஆகும். மேலும் இதன் புரட்டு வெப்பநிலை  $-83^\circ\text{C}$  ஆகும். ஆகவே விண்டே முறைப்படியும் ஹைட்ரஜன் வாயுவினைத் திரவமாக்க முடியாது.

ஜூல் - கெல்வின் முறையைப் பயன்படுத்தி இதனைத் திரவமாக்க முதலில் இதனை புரட்டு வெப்பநிலைக்குக் கீழ்

குளிர்ச் செய்ய வேண்டும். முதன் முதலில் 1898 லேவார், ஹைட்ரஜனைத் திரவமாக்குவதற்கான உபகரணத்தை அமைத்தார். பின் இது திருத்தி அமைக்கப்பட்டது. இவ்வமைப்பு படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது.



முதலில் ஹைட்ரஜன் வாயு 200 வளி அழுத்தத்திற்கு இறுக்கப்பட்டு, தட கார்பன் டை ஆக்ஸைடு, ஆல்கஹால் கலவையில் அமைக்கப்பட்டுள்ள கம்பிச்சுருள் வழியாகச் செலுத்தி குளிர்விக்கப்படுகிறது. இது அறை Aஐ அடைகிறது. இங்கு வெளிச்செல்லும் ஹைட்ரஜனால் மேலும் குளிர்வடைகிறது. அறை Cல் திரவமாக்கப்பட்ட காற்று, அறை அழுத்தத்தில் கொதிக்கிறது. இந்த அறையில் அமைக்கப்பட்டுள்ள F வழியாக ஹைட்ரஜன் செல்லும் போது - 200°Cக்கு குளிர்வடைகிறது. குளிர்வடைந்த ஹைட்ரஜன் சுருள் Gன் முனையிலுள்ள நுண்துளை N வழியாகச் செல்கிறது. J-K விளைவு காரணமாக மேலும் குளிர்வடைகிறது. நுண் துளையிலிருந்து வருகின்ற

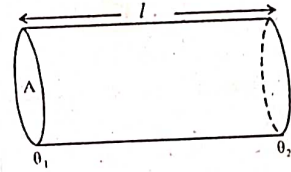
ஹைட்ரஜனை மீண்டும் அழுத்தம் பம்பிற்குக் கொண்டு செல்லப்படுகிறது. இந்தச் செயற்பாடு திரும்பத் திரும்ப நிகழ, ஹைட்ரஜன் மேலும் மேலும் குளிர்வடைந்து திரவமாகிறது. இந்தத் திரவம் டீவார் குடுவையில் சேர்த்து வைக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு ஹைட்ரஜன் நீர்மமாக்கப்படுகிறது.

### வெப்பக்கடத்தல் (Conduction)

ஒரு பொருளினால் ஒரு முனையில் சூடேற்றும் போது துகள்களின் இயக்கம் எதுவுமின்றி, வெப்பம் மறு பகுதிக்குப் பரவும் முறையே வெப்பக் கடத்தல் என்பர்.

ஒரு கம்பியின் ஒரு முனையை சூடேற்றும் போது அதிலுள்ள துகள்கள் நகராமல் வெப்பம் மட்டும் மறுமுனைக்கு கடத்துவது வெப்பக் கடத்தலுக்கு எடுத்துக்காட்டாகும். திண்பொருட்களில் வெப்பம், வெப்பக் கடத்தல் முறையில் பரவுகிறது.

### a. வெப்பக் கடத்துத்திறன் (Thermal conductivity)



சீரான குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பளவு Aம் நீளம் lம் கொண்ட தண்டிணைக் கருதுவோம். இத்தண்டின் இரு முனைகளில் உள்ள வெப்ப நிலைகள் முறையே  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  எனக் கொள்வோம். வெப்ப நிலை  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  ஐ விட அதிகம்.

எனவே வெப்பமானது வெப்பநிலை அதிகமாக உள்ள பகுதியிலிருந்து குறைவான பகுதிக்குக் கடத்தப்படுகிறது. தண்டின் வழியே  $t$  வினாடி நேரத்திற்கு வெப்பம் கடத்தப்படுவதாகக் கொள்வோம். தண்டின் வழியே கடத்தப்படக்கூடிய வெப்பத்தின் அளவு  $Q$ .

1. தண்டின் குறுக்கு வெட்டுப்பரப்பளவிற்கு நேர் விகிதத்திலும் ( $Q \propto A$ ).
2. தண்டின் இரு முனைகட்கிடையே உள்ள வெப்பநிலை வேறுபாட்டிற்கு நேர்விகிதத்திலும் ( $Q \propto (\theta_1 - \theta_2)$ )
3. தண்டின் நீளத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலும் ( $Q \propto 1/l$ ) மற்றும்
4. வெப்பம் கடத்தப்படும் நேரத்திற்கு நேர்விகிதத்திலும் ( $Q \propto t$ ) அமையும்.

கடத்தப்படும் வெப்பத்தின் அளவு

$$Q \propto A(\theta_1 - \theta_2) t/l$$

அல்லது  $Q = K \cdot A(\theta_1 - \theta_2) t/l$

இங்கு,  $K$  ஒரு மாறிலி, இதனை பொருளின் வெப்பக் கடத்துத்திறன் (Co-efficient of thermal conductivity) அல்லது வெப்பக் கடத்து எண் என்பர். இது பொருளின் தன்மையைச் சார்ந்தது.

$(\theta_1 - \theta_2)/l$  என்பது வெப்பநிலை வாட்டம் (temperature gradient) எனப்படுகிறது. வெப்பநிலை வாட்டம் என்பது ஓரலகு நீளத்தில் வெப்பநிலையில் ஏற்படும் மாற்றமாகும்.  $A = 1 \text{ m}^2$ ,  $(\theta_1 - \theta_2)/l = 1$  மற்றும்  $t = 1$  வினாடி எனக் கொண்டால்,

$Q = K$  ஐ அடிப்படையாகக் கொண்டு வெப்பக் கடத்துதிறனை வரையறுக்கலாம்.

ஓரலகு குறுக்குப் பரப்பளவும், ஓரலகு வெப்பநிலை வாட்டமும் கொண்ட திண்மத்தில் ஓரலகு காலத்தில் கடத்தும் வெப்பத்தின் அளவு அப்பொருளின் வெப்பக் கடத்துதிறன் என வரையறுக்கப்படுகிறது. வெப்பக் கடத்துதிறன்  $\text{J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  or  $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  என்ற அலகில் அளவிடப்படுகிறது.

**நற்கடத்திகளும், அரிதிற் கடத்திகளும்**  
(Good conductors and bad conductors)

பொருட்களின் வெப்பக் கடத்துத்திறன் அடிப்படையாகக் கொண்டு இரு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். அவை :

1. நற்கடத்தி
2. அரிதிற்கடத்தி

**நற்கடத்தி (Good Conductors)**

வெப்பக் கடத்துத்திறன் அதிகம் கொண்ட பொருட்கள் நற்கடத்தி எனப்படும். இவற்றின் வழியாக வெப்பம் வேகமாகக் கடத்தப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டு : உலோகங்கள்

**அரிதிற் கடத்தி (Bad or poor conductor)**

வெப்பக் கடத்துத்திறன் குறைவாக உள்ள பொருட்களை அரிதிற் கடத்தி என்பர். இவற்றின் வழியாக வெப்பம் மிக மெதுவாகக் கடத்தப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டு : மரம், கண்ணாடி, மைக்கா, எபோனைட்.

## பல்கலைக்கழக வினாக்கள்

### 2 மதிப்பெண் வினாக்கள்

1. வாண்டர் வால்ஸ் சமன்பாட்டை எழுதுக.
2. மாறுநிலை மாறிலிகள் யாவை?
3. ஜீல் - தாம்சன் வளைவு என்றால் என்ன?
4. வாயுக்களின் தன்மை யாது?
5. திருப்பு வெப்ப நிலையின் முடிவுகள் யாவை?
6. பாய்ஸ் வெப்பநிலை என்றால் என்ன?
7. பாய்ஸ் வெப்பநிலை, திருப்பு வெப்பநிலை, மாறுநிலை வெப்பநிலை தொடர்பை எழுதுக.
8. வாயுக்களை நீர்மமாக்கல் என்றால் என்ன?
9. தனிச்சுழி வெப்பநிலை என்றால் என்ன?
10. திருப்பு வெப்பநிலை என்றால் என்ன?

### 5 மதிப்பெண் வினாக்கள்

1. மாறுநிலை மாறிலிகளை வருவி.
2. லீவட்டு முறை அரிதிற்கடத்திகளின் வெப்ப கடத்து திறன் காணுதலை விவரி.
3. நுண்துளை அடைப்பான் சோதனை விவரி.
4. பாய்ஸ் வெப்பநிலையை விவரி.
5. ஹைட்ரஜன் நீர்மமாக்குதலை விவரி.

### 10 மதிப்பெண் வினாக்கள்

1. வாண்டர் வால்ஸ் சமன்பாட்டை விவரி.
2. ஜீல் - தாம்சன் விளைவு விவரி.
3. ஜீல் - தாம்சன் விளைவு மூலம் வெப்பம் குறைதலை விவரி.