அலகு 9

# வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கை (KINETIC THEORY OF GASES)

*"வெப்ப இயக்கவியலைக் கொண்டு ஒருவரால் கிட்டத்தட்ட அனைத்தையும் மேலோட்டமாகக் கணக்கிட இயலும்; வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கையைக் கொண்டு நம்மால் துல்லியமாக சிலவற்றைக் கணக்கிட இயலும்."* – யூஜின் விக்னர் (Eugene Wigner)

**கற்றலின் நோக்கங்கள்:**

**இந்த அலகில் மாணவர்கள் அறிந்து கொள்ள இருப்பது**

- வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கையின் அவசியம்
- அழுத்தம் மற்றும் வெப்பநிலையின் தோற்றம் பற்றிய ஓர் நுட்பமான அறிமுகம்
- வாயு ஒன்றின் அகஆற்றல் மற்றும் வாயு மூலக்கூறுகளின் இடப்பெயர்வு இயக்க ஆற்றல் ஆகியவற்றை ஒன்றுடன் ஒன்று தொடர்புபடுத்துதல்
- சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளின் (Degree of freedom) உட்பொருள்
- ஓரணு, ஈரணு மற்றும் மூவணு மூலக்கூறுகளின் சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையை கணக்கிடல்
- ஆற்றல் சமபங்கீட்டு விதி
- $C_P$ மற்றும் $C_V$ க்கு இடையேயான விகிதத்தைக் கணக்கிடல்
- சராசரி மோதலிடைத்தூரம் (mean free path), மற்றும் அழுத்தம், வெப்பநிலை, எண் அடர்த்தியுடன் சராசரி மோதலிடைத்தூரத்தின் தொடர்பு
- பிரௌனியன் இயக்கம் மற்றும் அதன் தோற்றம் பற்றிய ஓர் நுட்பமான அறிமுகம்.

## 9.1 இயக்கவியற் கொள்கை

### 9.1.1 அறிமுகம்

வெப்ப இயக்கவியல், அடிப்படையில் ஒரு பேரளவான அறிவியலாகும். அலகு 8 இல் அழுத்தம், வெப்பநிலை மற்றும் பருமன் போன்ற வெப்ப இயக்கவியல் அமைப்பின் பேரளவான கூறுகளைப் பற்றி பயின்றோம். இந்த அலகில் வெப்ப இயக்கவியல் அமைப்பு ஒன்றை துகள்கள் அல்லது மூலக்கூறுகளின் தொகுப்பாகக் கருதி அழுத்தம் மற்றும் வெப்பநிலையின் தோற்றத்தைப் பற்றி நுட்பமாக விவாதிக்கலாம். இயக்கவியற்கொள்கையானது, வாயு ஒன்றின் அழுத்தம் மற்றும் வெப்பநிலையை அதன் மூலக்கூறு இயக்கத்துடன் தொடர்புபடுத்துகிறது. மேலும் நியூட்டனின் இயந்திரவியலுடன் வெப்ப இயக்கவியலை இணைக்கிறது. இந்த அலகு வாயுமூலக்கூறுகளின் இயக்கப்பண்பையும் நமக்கு அறிமுகப்படுத்துகிறது.

### 9.1.2 வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கையின் எடுகோள்கள்

இயக்கவியற்கொள்கை சில அனுமானங்களை அடிப்படையாகக் கொண்டது. ஏனெனில் இவ்வனுமானங்கள் கணக்கீடுகளை எளிமைப்படுத்தும். இந்த அனுமானங்கள் மிகச் சரியாக இல்லையென்றாலும் இதன் அடிப்படையில் அமைந்த இயக்கவியற்கொள்கையை நாம் அனைத்து வாயுக்களுக்கும் பயன்படுத்த முடியும்.

1. வாயு மூலக்கூறுகள் அனைத்தும் முழுவதும் ஒரே மாதிரியான, முழு மீட்சியுறும் கோளங்களாகும்.
2. வெவ்வேறு வாயுக்களின் மூலக்கூறுகள் வெவ்வேறானவை.
3. வாயுவில் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை மிகவும் அதிகம். ஒவ்வொரு மூலக்கூறின் அளவுடன் ஒப்பிடும்போது, மூலக்கூறுகளுக்கு இடையே உள்ள சராசரித் தொலைவு மிக அதிகமாகும்.

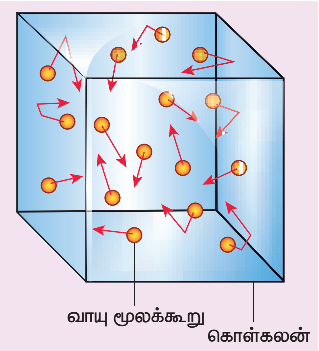
4. வாயு மூலக்கூறுகள் அனைத்தும் தொடர்ச்சியான ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தில் (Random motion) உள்ளன.
5. வாயு மூலக்கூறுகள் ஒன்றின்மீது மற்றொன்றும் மற்றும் அடைத்து வைக்கப்பட்டுள்ள கொள்கலனின் சுவருடனும் மோதலை ஏற்படுத்துகின்றன.
6. இம்மோதல்கள் முழுமீட்சியுறும் மோதல்கள் (elastic collisions) எனவே மோதலின்போது மூலக்கூறுகளின் இயக்க ஆற்றலில் எவ்விதமான இழப்பும் ஏற்படுவதில்லை.
7. இரு அடுத்தடுத்த மோதல்களுக்கு இடையே, ஒரு வாயு மூலக்கூறு சீரான திசைவேகத்தில் இயங்குகிறது.
8. வாயு மூலக்கூறுகள் ஒன்றுடன் ஒன்று மோதும் நேரம் தவிர மற்ற நேரங்களில் ஒன்றின்மீது மற்றொன்று எவ்விதமான கவர்ச்சி விசையையோ அல்லது விலக்குவிசையையோ செலுத்துவதில்லை. வாயு மூலக்கூறுகள் எவ்விதமான நிலையாற்றலையும் பெற்றிருக்கவில்லை. அவற்றின் ஆற்றல் முழுவதும் இயக்க ஆற்றல் வடிவில் மட்டும் உள்ளது.
9. மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயான மோதல் ஒரு கணநேர நிகழ்வாகும். இரு அடுத்தடுத்த மோதல்களுக்கிடைப்பட்ட நேரத்துடன் ஒப்பிடும்போது மோதலுறும் நேரம் மிகக் குறைவானதாகும்.
10. வாயு மூலக்கூறுகள் ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தில் உள்ளபோதும் அவை நியூட்டனின் இயக்கவிதிகளுக்கு உட்படுகின்றன.

## 9.2 வாயு ஒன்றினால் ஏற்படும் அழுத்தம்

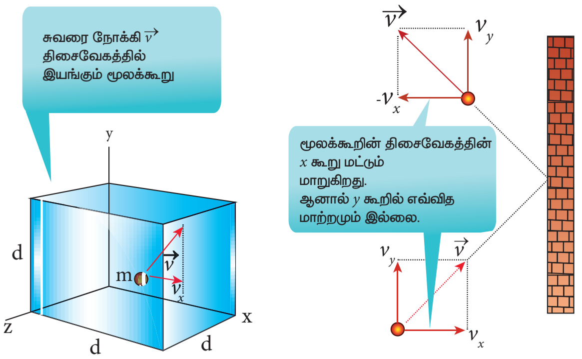
### 9.2.1 வாயு ஒன்றினால் ஏற்படும் அழுத்தத்திற்கான கோவை

படம் 9.1 (a) இல் காட்டியுள்ளவாறு $l$ பக்க அளவு கொண்ட கனசதுரக் கொள்கலன் ஒன்றினுள் N எண்ணிக்கையுடைய ஓரணுவாயு மூலக்கூறுகள் உள்ளன. ஒவ்வொரு மூலக்கூறின் நிறையும் m என்க.

வாயு மூலக்கூறுகள் ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தில் உள்ளதால், அவை ஒன்றுடன் ஒன்று மோதுவது மட்டுமின்றி, அடைத்துவைக்கப்பட்டுள்ள




படம் 9.1 (a) வாயுமூலக்கூறுகள் அடைத்து வைக்கப்பட்டுள்ள கனசதுரக் கொள்கலன்




படம் 9.1 (b) கொள்கலனின் சுவரின் மீது மோதும் வாயு மூலக்கூறு

கொள்கலனின் சுவருடனும் மோதுகின்றன. இம்மோதல்கள் அனைத்தும் முழுமீட்சியுறும் மோதல்கள். எனவே, அவற்றின் இயக்க ஆற்றலில் எவ்விதமான இழப்பும் ஏற்படுவதில்லை, ஆனால் அவற்றின் உந்தத்தில் மாற்றம் ஏற்படுகின்றது. வாயு மூலக்கூறுகள் கொள்கலனின் சுவருடன் மோதலை ஏற்படுத்துவதால் அச்சுவரின் மீது ஒரு அழுத்தத்தைக் கொடுக்கிறது. இவ்வாறு வாயு மூலக்கூறு சுவரின்மீது மோதும்போது, ஒரு உந்தத்தை சுவரின் மீது செலுத்துகிறது. இந்த உந்த மாற்றத்தினால். கொள்கலனின் சுவர் ஓரலகு பரப்பில் உணரும் விசை, சுவரின் மீது வாயுவால் ஏற்படும் அழுத்தத்தை நிர்ணயிக்கிறது. ஒரு சிறிய நேர இடைவெளியில் வாயு மூலக்கூறுகளால் சுவரின் மீது மாற்றம் செய்யப்பட்ட மொத்த உந்தத்தை பின்வருமாறு கணக்கிடலாம்.

m நிறையும், $\vec{v}$ திசைவேகமும் கொண்ட வாயுமூலக்கூறு ஒன்று வலதுபக்கச் சுவரின் மீது மோதுகிறது, அதன் திசைவேகக்கூறுகள் $(v_x, v_y, v_z)$ ஆகும். முழு மீட்சியுறும் மோதல் என



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 170 26-03-2022 17:44:16

நாம் கருதுவதால், வாயு மூலக்கூறுகள் அதே வேகத்துடன் பின்னோக்கி வரும். அதன் $x$ கூறு மட்டும் எதிர்குறி மதிப்பினைப்பெறும் இது படம் 9.1 (b) யில் காட்டப்பட்டுள்ளது. மோதலுக்குப் பின்பு வாயு மூலக்கூறின் திசைவேகக்கூறுகள் $(-v_x, v_y, v_z)$ ஆகும்.

மோதலுக்கு முன்பு வாயு மூலக்கூறின் உந்தத்தின் x – கூறு = $mv_x$

மோதலுக்குப் பின்பு வாயு மூலக்கூறின் உந்தத்தின் x – கூறு = $-mv_x$

x – திசையில் வாயுமூலக்கூறின் உந்த மாறுபாடு = இறுதி உந்தம் – ஆரம்ப உந்தம் = $-mv_x - mv_x = -2mv_x$

உந்தமாறா விதியின்படி, சுவரின் உந்தமாறுபாடு = $+2mv_x$.

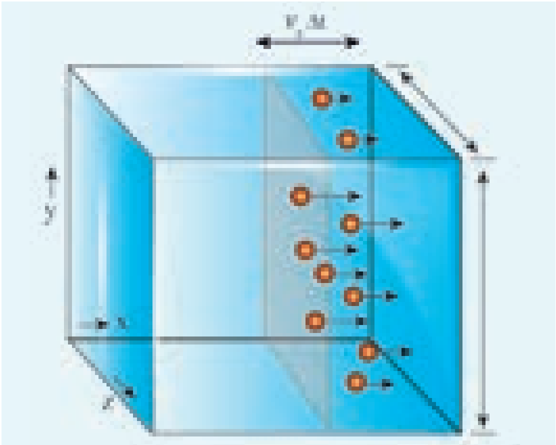
**குறிப்பு**

$x$ திசையில் மோதலுக்கு முன்பு அமைப்பின் மொத்த உந்தம், மூலக்கூறின் உந்தத்திற்குச் சமமாகும் $(mv_x)$. ஏனெனில் சுவரின் உந்தம் சுழியாகும். உந்த மாறாவிதியின்படி மோதலுக்குப்பின்பு அமைப்பின் மொத்த உந்தம், மோதலுக்கு முன்பு அமைப்பின் மொத்த உந்தத்திற்குச் சமமாகும். $x$ திசையில் மோதலுக்குப்பின்பு வாயுமூலக்கூறின் உந்தம் $-mv_x$. மேலும் மோதலுக்குப்பின்பு சுவரின் உந்தம் $2mv_x$. எனவே மோதலுக்குப்பின்பு அமைப்பின் மொத்த உந்தம் $(2mv_x - mv_x) = mv_x$. இது மோதலுக்கு முன்பு அமைப்பின் மொத்த உந்தத்திற்குச் சமமாகும்.

$\Delta t$ என்ற சிறிய நேர இடைவெளியில் வலதுபக்கச் சுவரின்மீது மோதும் வாயு மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை பின்வருமாறு கணக்கிடப்படுகிறது.

வலது பக்கச் சுவரிலிருந்து $v_x\Delta t$ தொலைவிலுள்ள வாயு மூலக்கூறுகள், வலது பக்கமாகச் சென்று $\Delta t$ என்ற நேர இடைவெளியில் படம் 9.2 இல் காட்டப்பட்டுள்ளவாறு சுவரின் மீது மோதும். $\Delta t$ என்ற நேர இடைவெளியில் வலதுபக்கச் சுவரின் மீது மோதும் வாயு மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையானது, பருமன் $(Av_x\Delta t)$ மற்றும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணடர்த்தி $(n)$ ஆகியவற்றின் பெருக்கல்பலனுக்குச் சமமாகும்.

இங்கு A என்பது சுவரின் பரப்பாகும் மற்றும் n என்பது ஓரலகு பருமனிலுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையாகும் $\left(\frac{N}{V}\right)$. கனசதுரக் கொள்கலன் முழுமைக்கும் வாயு மூலக்கூறுகளின் எண்ணடர்த்தி மாறிலியாக உள்ளது எனக் கருதுவோம்.



**படம் 9.2** கொள்கலனின் சுவரின் மீது மோதும் மூலக்கூறுகள்

அனைத்து n மூலக்கூறுகளும் வலது பக்கச் சுவரினை நோக்கியே செல்வதில்லை. சராசரியாக பாதி மூலக்கூறுகள் வலது பக்கச் சுவரினை நோக்கியும், மறுபாதி மூலக்கூறுகள் இடதுபக்கச் சுவரினை நோக்கியும் செல்கின்றன.

எனவே $\Delta t$ நேர இடைவெளியில் வலதுபக்கச் சுவரின் மீது மோதும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை

$$\frac{n}{2} Av_x \Delta t \qquad (9.1)$$

இதே $\Delta t$ நேர இடைவெளியில் மூலக்கூறுகளால் சுவருக்கு மாற்றம் செய்யப்பட்ட மொத்த உந்தம்

$$\Delta p = \left(\frac{n}{2} Av_x \Delta t\right) \times 2mv_x = Av_x^2 mn\Delta t \qquad (9.2)$$

நியூட்டனின் இரண்டாம் இயக்க விதியின்படி, ஒரு சிறு நேர இடைவெளியில் உந்தத்தில் ஏற்பட்ட மாற்றம் விசையைக் கொடுக்கும். எனவே மூலக்கூறுகளால், சுவரின்மீது செலுத்தப்பட்ட விசையின் எண்மதிப்பு

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = nmAv_x^2 \qquad (9.3)$$



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 171 26-03-2022 17:44:18

இவ்வாறே அழுத்தம் $P = \frac{\text{விசை}}{\text{சுவரின் பரப்பு}}$

$$P = \frac{F}{A} = nmv_x^2 \qquad (9.4)$$

இங்கு மூலக்கூறுகள் அனைத்தும் ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தில் உள்ளதால், அவை அனைத்தும் ஒரே வேகத்தில் இயங்க இயலாது. எனவே சமன்பாடு (9.4) இல் உள்ள $v_x^2$ என்ற பதத்தை சராசரி $\overline{v_x^2}$ என மாற்றியமைக்க வேண்டும்.

$$P = nm\overline{v_x^2} \qquad (9.5)$$

இங்கு வாயு ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தில் உள்ளது எனக் கருதுவதால் அதன் இயக்கத்திசையையும் வரையறுக்க இயலாது. (வாயு மூலக்கூறுகளின் மீது செயல்படும் புவி ஈர்ப்புவிசை இங்கு புறக்கணிக்கப்படுகிறது) இதிலிருந்து நாம் அறிவது என்னவெனில், மூன்று திசைகளிலும் வாயு மூலக்கூறுகளின் சராசரி வேகம் சமமாகும். எனவே, $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$. இதுபோன்றே $\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} = 3\overline{v_x^2}$ ஆகும். எனவே வாயு மூலக்கூறுகளின் சராசரி இருமடி வேகத்தை பின்வருமாறு குறிப்பிடலாம்.

$$\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$$

சமன்பாடு (9.5) ஐப் பயன்படுத்தி பின்வரும் சமன்பாட்டைப் பெறலாம்

$$P = \frac{1}{3}nm\overline{v^2} \text{ அல்லது } P = \frac{1}{3}\frac{N}{V}m\overline{v^2}$$

$$\text{ஏனெனில் } \left[n = \frac{N}{V}\right] \qquad (9.6)$$

வாயு மூலக்கூறுகளால் ஏற்படும் அழுத்தம் சார்ந்திருக்கும் காரணிகளை மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து அறிந்து கொள்ளலாம்.

**i. எண்ணடர்த்தி $\left(n = \frac{N}{V}\right)$**

எண்ணடர்த்தி அதிகரிக்கும்போது, வாயுவின் அழுத்தமும் அதிகரிக்கும். எடுத்துக்காட்டாக சைக்கிள் அல்லது காரின் சக்கரத்திற்கு காற்றை நிரப்பும்போது நாம் எண்ணடர்த்தியை அதிகரிக்கிறோம். அதனைத் தொடர்ந்து அழுத்தமும் அதிகரிக்கிறது.

**ii. வாயு மூலக்கூறின் நிறை:**

வாயு மூலக்கூறு சுவரின் மீது செலுத்தும் உந்தத்தின் விளைவாக அழுத்தம் ஏற்படுகிறது. ஒரு நிலையான வேகத்தில், அதிக நிறையுள்ள மூலக்கூறு அதிக உந்தத்தைத் கொடுக்கும். எனவே வாயு மூலக்கூறின் நிறை அதிகரிக்கும்போது அழுத்தமும் அதிகரிக்கும்.

**iii. சராசரி இருமடி வேகம்**

நிறையை மாறிலியாக எடுத்துக்கொண்டு, வாயு மூலக்கூறின் வேகத்தை அதிகரித்தால் அதன் சராசரி வேகமும் அதிகரிக்கும். இதன் பயனாக அழுத்தமும் அதிகரிக்கும்.

கணக்கீடுகளை எளிமையாக்கவே நாம் கனசதுர கொள்கலனைக் கருதினோம். ஆனால் உண்மையில் இறுதிச் சமன்பாடு (9.6) கொள்கலனின் வடிவத்தைச் சார்ந்ததல்ல ஏனெனில் இறுதிச்சமன்பாடு (9.6) இல் கொள்கலனின் பரப்பு (A) இடம்பெறவில்லை என்பதை கவனிக்க வேண்டும்.

## 9.2.2 இயக்கத்தின் அடிப்படையில் வெப்பநிலையின் உட்கருத்தை விளக்குதல்

வாயு மூலக்கூறுகள் ஏற்படுத்தும் அழுத்தத்தைப் போன்றே, வெப்பநிலையின் உட்கருத்தை நுட்பமாக உணர்வதற்கு சமன்பாடு (9.6) ஐப் பின்வருமாறு மாற்றியமைக்க வேண்டும்.

$$P = \frac{1}{3}\frac{N}{V}m\overline{v^2}$$

$$PV = \frac{1}{3}Nm\overline{v^2} \qquad (9.7)$$

நல்லியல்பு வாயுச் சமன்பாடு $PV=NkT$, யுடன் சமன்பாடு (9.7) ஐ ஒப்பிடும்போது பின்வரும் சமன்பாடு கிடைக்கும்.

$$NkT = \frac{1}{3}Nm\overline{v^2}$$

$$kT = \frac{1}{3}m\overline{v^2} \qquad (9.8)$$

மேலே உள்ள சமன்பாட்டின் இருபுறமும் $\frac{3}{2}$ ஆல் பெருக்கும்போது

பின்வரும் சமன்பாடு கிடைக்கும்

$$\frac{3}{2}kT = \frac{1}{2}m\overline{v^2} \qquad (9.9)$$

சமன்பாடு (9.9) இன் வலதுப்பக்கமுள்ள பதம், மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றலைக் $(\overline{KE})$ குறிக்கிறது.

மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல்

$$\overline{KE} = \epsilon = \frac{3}{2}kT \qquad (9.10)$$

வாயு மூலக்கூறு ஒன்றின் வெப்ப நிலையை தீர்மானிப்பது, அவ்வாயுவின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் என்பதை சமன்பாடு (9.9) அல்லது (9.10) லிருந்து அறிந்து கொள்ளலாம்.

**குறிப்பு** வெப்பநிலை என்பது பொருளொன்றின் சூடான தன்மை அல்லது குளிர்த்தன்மையைக் குறிக்கும் என்ற கீழ்வகுப்பில் படித்த வரையறையுடன் மேலே சொன்னவற்றை ஒப்பிட்டுப் பாருங்கள்!

சமன்பாடு (9.10) என்பது வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கையிலிருந்து பெறப்பட்ட அதிமுக்கியத்துவம் வாய்ந்த ஒரு முடிவாகும். இச்சமன்பாட்டிலிருந்து நாம் பின்வருவனவற்றை அறிந்து கொள்ளலாம்.

i. வாயு மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல், அவ்வாயுவின் கெல்வின் வெப்பநிலைக்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும். சமன்பாடு (9.9) பேரளவான உலகத்துடன், (வெப்பநிலை) மீநுண் உலகத்தை (வாயுமூலக்கூறுகளின் இயக்கம்) தொடர்புபடுத்துகிறது.

ii. ஒவ்வொரு மூலக்கூறின் சராசரி இயக்க ஆற்றல், வாயுவின் கெல்வின் வெப்பநிலையை மட்டுமே சார்ந்ததாகும். மூலக்கூறின் நிறையைச் சார்ந்ததல்ல. வேறு வகையில் கூறுவோமாயின்

நல்லியல்பு வாயு ஒன்றின் வெப்பநிலையை, வெப்பநிலை மானியைக் கொண்டு அளவீடு செய்யும் அதே வேளையில், ஒவ்வொரு மூலக்கூறின் சராசரி இயக்க ஆற்றலையும் அம்மூலக்கூறுகளை நாம் கண்களால் பார்க்காமலேயே நம்மால் கணக்கீடு செய்ய இயலும்.

ஒவ்வொரு மூலக்கூறின் சராசரி இயக்க ஆற்றலையும், வாயு மூலக்கூறுகளின் மொத்த எண்ணிக்கையால் பெருக்கும்போது, வாயுவின் அகஆற்றல் கிடைக்கும்.

எனவே நல்லியல்பு வாயுவின் அகஆற்றல்

$$U = N\left(\frac{1}{2}m\overline{v^2}\right)$$

சமன்பாடு (9.9) ஐப் பயன்படுத்தி பின்வரும் சமன்பாட்டைப் பெறலாம்

$$U = \frac{3}{2}NkT \qquad (9.11)$$

நல்லியல்பு வாயுவின் அகஆற்றல், அதன் கெல்வின் வெப்பநிலையை மட்டுமே சார்ந்தது. அதன் அழுத்தம் மற்றும் பருமனைச் சார்ந்ததல்ல என்பதை சமன்பாடு (9.11) லிருந்து நாம் புரிந்து கொள்ளலாம்.

### எடுத்துக்காட்டு 9.1

27°C வெப்பநிலையில் உள்ள கால்பந்து ஒன்றினுள் 0.5 மோல் காற்று மூலக்கூறுகள் உள்ளன. கால்பந்தின் உள்ளே உள்ள காற்றின் அக ஆற்றலைக் கண்டுபிடி.

**தீர்வு:**

நல்லியல்பு வாயுவின் அகஆற்றல் $= \frac{3}{2}NkT$. காற்று மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை மோல்களின் எண்ணிக்கையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. எனவே சமன்பாட்டை பின்வரும் வடிவில் எழுத வேண்டும்.

$$U = \frac{3}{2}\mu RT$$

இங்கு $Nk = \mu R$ ($\mu$ என்பது மோல்களின் எண்ணிக்கையாகும்)

வாயு மாறிலி $R = 8.31 \frac{J}{mol\,K}$

கெல்வின் வெப்பநிலை $T = 273 + 27°C = 300\ K$

$$U = \frac{3}{2} \times 0.5 \times 8.31 \times 300 = 1869.75\ J$$

இம்மதிப்பு, 57 kg நிறையுள்ள மனிதரொருவர் 8 m s$^{-1}$ வேகத்தில் ஓடும்போது அவர் பெற்றிருக்கும் இயக்க ஆற்றலுக்குச் சமமானதாகும்.

## 9.2.3 அழுத்தம் மற்றும் சராசரி இயக்க ஆற்றல் இவற்றிற்கிடையேயான தொடர்பு

முற்பகுதியில் கூறப்பட்டபடி, வாயுவின் அகஆற்றல்

$$U = \frac{3}{2}NkT$$



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 173 26-03-2022 17:44:28

இச்சமன்பாட்டினை $U = \frac{3}{2}\ PV$ எனவும் எழுதலாம்.

ஏனெனில் $PV = NkT$

$$P = \frac{2}{3}\frac{U}{V} = \frac{2}{3}u \qquad (9.12)$$

சமன்பாடு (9.12), லிருந்து வாயுவின் அழுத்தமானது ஓரலகு பருமனுள்ள வாயுவின் அகஆற்றலின் $\left(\frac{U}{V}\right)$ மூன்றில் இரண்டு பங்கிற்குச் சமமாகும் அல்லது அகஆற்றல் அடர்த்தியின் மூன்றில் இரண்டு பங்கிற்குச் (internal energy density) சமமாகும் $(u = \frac{U}{V})$.

சமன்பாடு (9.6) ஐப் பயன்படுத்தி சராசரி இயக்க ஆற்றல் அடர்த்தியின் அடிப்படையில் வாயுவின் அழுத்தத்தை பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$P = \frac{1}{3}nm\overline{v^2} = \frac{1}{3}\rho\overline{v^2} \qquad (9.13)$$

இங்கு $\rho = nm =$ நிறை அடர்த்தி (n என்பது எண்ணடர்த்தி என்பதை நினைவில் கொள்ளவும்.)

சமன்பாடு (9.13) இன் வலது பக்கமுள்ள பதத்தை மட்டும் 2 ஆல் பெருக்கி வகுக்கும்போது, $P = \frac{2}{3}\left(\frac{\rho}{2}\overline{v^2}\right)$

$$P = \frac{2}{3}\left(\overline{KE}\right) \qquad (9.14)$$

சமன்பாடு (9.14) இல் இருந்து, அழுத்தம் என்பது ஓரலகு பருமனுள்ள வாயுவின் சராசரி இயக்க ஆற்றலின் மூன்றில் இரண்டு பங்கிற்குச் சமம் என அறியலாம்.

## 9.2.4 வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கையிலிருந்து பெறப்பட்ட சில அடிப்படை விதிகள்

**பாயில் விதி:**

சமன்பாடு (9.12) இல் இருந்து நாம் அறிவது $PV = \frac{2}{3}U.$

ஆனால் நல்லியல்பு வாயு ஒன்றின் அகஆற்றல், அதன் ஒவ்வொரு மூலக்கூறின் சராசரி இயக்க ஆற்றலின் $(\in)$, N மடங்கிற்குச் சமமாகும்.

$$U = N\in$$

$$PV = \frac{2}{3}\ N\in$$

மாறா வெப்பநிலையில், சராசரி இடப்பெயர்வு இயக்கஆற்றல் ஒரு மாறிலியாகும். இதிலிருந்து PV = மாறிலி என அறியலாம்.

எனவே, மாறா வெப்பநிலையில், கொடுக்கப்பட்ட வாயு ஒன்றின் அழுத்தம் அதன் பருமனுக்கு எதிர்த்தகவில் இருக்கும். இதுவே பாயில் விதியாகும்.

**சார்லஸ் விதி:**

சமன்பாடு (9.12) இல் இருந்து நாம் அறிவது $PV = \frac{2}{3}U.$

*ஒரு குறிப்பிட்ட அழுத்தத்தில், வாயு ஒன்றின் பருமன் அதன் அகஆற்றலுக்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும் அல்லது வாயுவின் சராசரி இயக்க ஆற்றலுக்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும். மேலும் வாயுவின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் அதன் கெல்வின் வெப்பநிலைக்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும்.*

*இதிலிருந்து நாம் அறிவது என்னவென்றால்*

$$V \propto T \text{ அல்லது } \frac{V}{T} = \text{மாறிலி}$$

இதுவே சார்லஸ் விதியாகும்.

**அவகாட்ரோ விதி:**

இவ்விதியின்படி, *மாறா வெப்பநிலை மற்றும் அழுத்தத்தில் சம பருமனுள்ள அனைத்து வாயுக்களும் ஒரே எண்ணிக்கையில் வாயுமூலக்கூறுகளைப் பெற்றிருக்கும்.* ஒரே வெப்பநிலை மற்றும் அழுத்தத்தில் உள்ள இரண்டு வெவ்வேறு வாயுக்களுக்கு, வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கையைப் பயன்படுத்தி சமன்பாடு (9.6) ஐப் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$P = \frac{1}{3}\frac{N_1}{V}m_1\overline{v_1^2} = \frac{1}{3}\frac{N_2}{V}m_2\overline{v_2^2} \qquad (9.15)$$

இங்கு $\overline{v_1^2}$ மற்றும் $\overline{v_2^2}$ என்பவை இரண்டு வெவ்வேறு வாயுக்களின் சராசரி இருமடி வேகங்களாகும். மேலும் $N_1$ மற்றும் $N_2$ என்பவை அவ்விரு வாயுக்களில் உள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையாகும்.

இவ்விரண்டு வாயுக்களிலும் உள்ள வாயு மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல், ஒரே வெப்பநிலையில் சமமதிப்பைப் பெற்றிருக்கும்.

$$\frac{1}{2}m_1\overline{v_1^2} = \frac{1}{2}m_2\overline{v_2^2} \qquad (9.16)$$



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 174 26-03-2022 17:44:34

சமன்பாடு (9.15) ஐ சமன்பாடு (9.16) ஆல் வகுக்கும்போது $N_1 = N_2$ எனக்கிடைக்கும்.

இதுவே அவகாட்ரோ விதியாகும். சில நேரங்களில் அவகாட்ரோவின் எடுகோள் அல்லது அவகாட்ரோவின் தத்துவம் எனவும் இது அழைக்கப்படும்.

## 9.2.5 சராசரி இருமடி மூல வேகம் ($v_{rms}$)

அனைத்து மூலக்கூறுகளின் இருமடி வேகங்களின் சராசரியின் இருமடிமூல மதிப்பு என இதனை வரையறுக்கலாம். இதை பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\overline{v^2}}$$

சமன்பாடு (9.8) ஐ மாற்றியமைக்கும்போது

சராசரி இருமடி வேகம் $\overline{v^2} = \dfrac{3kT}{m}$ (9.17)

சராசரி இருமடிமூல வேகம்

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 1.73\sqrt{\frac{kT}{m}} \quad (9.18)$$

சமன்பாடு (9.18) இல் இருந்து பின்வருவனவற்றை நாம் அறிந்து கொள்ளலாம்.

i. சராசரி இருமடி மூல வேகமானது கெல்வின் வெப்பநிலையின் இருமடி மூலத்திற்கு நேர்த்தகவிலும், மூலக்கூறு நிறையின் இருமடி மூலத்திற்கு எதிர்த்தகவிலும் இருக்கும். எனவே கொடுக்கப்பட்ட வெப்பநிலையில் குறைந்த நிறைகொண்ட மூலக்கூறுகளின் சராசரி வேகம், அதிக நிறை கொண்ட மூலக்கூறுகளின் சராசரி வேகத்தைவிட அதிகமாக இருக்கும்.

    **எடுத்துக்காட்டு:** ஒரே வெப்பநிலையில் இலேசான மூலக்கூறுகளான ஹைட்ரஜன் மற்றும் ஹீலியம் போன்றவற்றின் சராசரி இருமடி மூலத்திசைவேகம் ($v_{\text{rms}}$) கனமான மூலக்கூறுகளான ஆக்ஸிஜன் மற்றும் நைட்ரஜன் போன்றவற்றின் ($v_{\text{rms}}$) மதிப்பைவிட அதிகமாக இருக்கும்.

ii. வெப்பநிலை உயரும்போது வாயுமூலக்கூறுகளின் சராசரி இருமடிமூல வேகமும் ($v_{\text{rms}}$) அதிகரிக்கும்.

    வாயு மாறிலி R ஐப் பயன்படுத்தி $v_{\text{rms}}$ சமன்பாட்டினை பின்வருமாறு அமைக்கலாம். சமன்பாடு (9.18) லிருந்து

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3N_A kT}{N_A m}}.$$ இங்கு $N_A$ என்பது அவகாட்ரோ எண் ஆகும்.

இங்கு $N_A k = R$ மற்றும் $N_A m = M$ (மூலக்கூறு நிறை) ஆகும்

எனவே, சராசரி இருமடி மூலவேகம் அல்லது *rms* வேகம் என்பது

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (9.19)$$

சமன்பாடு (9.6) ஐ சராசரி இருமடி மூல வேகத்தின் அடிப்படையில் பின்ருமாறு எழுதலாம்.

$$P = \frac{1}{3}nmv^2_{rms} \quad \text{ஏனெனில்} \quad v^2_{rms} = \overline{v^2}$$

**குறிப்பு**

சராசரி இருமடி மூல வேகமானது, சராசரி வேகத்திற்குச் சமமானதல்ல. சராசரி வேகமானது, இருமடி மூல வேகத்தைப் போன்று 0.92 மடங்காகும்.

### சராசரி இருமடி மூல வேகம் ($v_{rms}$) இயற்கையில் ஏற்படுத்தும் விளைவுகள்:

1. **நிலவில் வளிமண்டலம் அற்ற நிலை.**

   நிலவின் குறைந்த ஈர்ப்புவிசையின் காரணமாக, நிலவுப் பரப்பில் உள்ள வாயுக்களின் சராசரி இருமடி மூல வேகமானது அதன் விடுபடு வேகத்தைவிட அதிகமாக உள்ளது. இதன் காரணமாக நிலவுப்பரப்பில் உள்ள அனைத்து வாயுக்களும் நிலவிலிருந்து வெளியேறி விடுகின்றன.

2. **புவியின் வளிமண்டலத்தில் ஹைட்ரஜன் வாயுவற்ற நிலை.**

   ஹைட்ரஜன் வாயுவின் சராசரி இருமடி மூல வேகமானது, நைட்ரஜனைவிட மிகவும் அதிகமானது. எனவே ஹைட்ரஜன் புவியின் வளிமண்டலத்திலிருந்து எளிதாகத் தப்பிச்சென்றுவிடும். உண்மையில், தீங்கு விளைவிக்காத நைட்ரஜன் வாயுவிற்குப் பதிலாக, புவியின் வளிமண்டலத்தில் ஹைட்ரஜன் வாயு நிறைந்திருந்தால், அது பல்வேறு வகையான பேராபத்துக்களை ஏற்படுத்தியிருக்கும்.



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 175 26-03-2022 17:44:38

## எடுத்துக்காட்டு 9.2

அறை ஒன்றினுள் 3:1 என்ற விகிதத்தில் ஆக்ஸிஜன் மற்றும் ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறுகள் உள்ளன. அறையின் வெப்பநிலை 27°C ஆக்ஸிஜன் ($O_2$) மற்றும் ஹைட்ரஜன் ($H_2$) இவற்றின் மூலக்கூறு நிறைகள் முறையே 32 g $mol^{-1}$ மற்றும் 2 g $mol^{-1}$ ஆகும். வாயு மாறிலி R = 8.32 J $mol^{-1}$ $K^{-1}$ எனில் பின்வருவனவற்றைக் கணக்கிடுக.

(a) ஆக்ஸிஜன் மற்றும் ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறுகளின் சராசரி இருமடி மூலவேகம்.

(b) ஆக்ஸிஜன் மற்றும் ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல்.

(c) ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகள் மற்றும் ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றலின் விகிதம்.

**தீர்வு:**

(a) கெல்வின் வெப்பநிலை

T=27°C =27+273=300 K.

வாயு மாறிலி R=8.32 J $mol^{-1}$ $K^{-1}$

ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறின் $v_{rms}$ :

மூலக்கூறு நிறை M = 32 g = 32 x $10^{-3}$ kg $mol^{-1}$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3\times 8.32\times 300}{32\times 10^{-3}}}$$
$$= 483.73\ m\ s^{-1} \approx 484\ m\ s^{-1}$$

ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறின் $v_{rms}$:

மூலக்கூறு நிறை M = 2 x $10^{-3}$ kg $mol^{-1}$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3\times 8.32\times 300}{2\times 10^{-3}}}$$
$$= 1934\ m\,s^{-1} = 1.93\ km\ s^{-1}$$

சராசரி இருமடி மூல வேகம் $v_{rms}$, ஆனது $\sqrt{M}$ க்கு எதிர்விகிதத்தில் உள்ளதை இங்கு கவனிக்கவேண்டும். ஆக்ஸிஜனின் மூலக்கூறு நிறை ஹைட்ரஜனின் மூலக்கூறு நிறையை விட 16 மடங்கு அதிகம். இதிலிருந்து நாம் அறிவது என்னவென்றால் ஒரே வெப்பநிலையில் ஹைட்ரஜனின் சராசரி இருமடி மூல வேகம் ($v_{rms}$), ஆக்ஸிஜனைவிட 4 மடங்கு அதிகமாகும். கணக்கீட்டிலிருந்து $\frac{1934}{484} \approx 4$ ஆகும்.

(b) மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் $\frac{3}{2}kT$. இது வாயுவின் கெல்வின் வெப்பநிலையை மட்டுமே சார்ந்துள்ளது. மேலும் வாயுவின் தன்மையைச் சார்ந்ததல்ல. இரண்டு வாயுக்களின் மூலக்கூறுகளும் ஒரே கெல்வின் வெப்பநிலையில் உள்ளதால் அவற்றின் ஒவ்வொரு மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்கஆற்றலும் ஒரே மதிப்பைப் பெற்றிருக்கும். இங்கு $k$ என்பது போல்ட்ஸ்மென் மாறிலியாகும்.

$$\frac{3}{2}kT = \frac{3}{2}\times 1.38\times 10^{-23}\times 300 = 6.21\times 10^{-21} J$$

(c) அனைத்து ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் = $\frac{3}{2}N_O kT$. இங்கு $N_o$ என்பது அறையில் உள்ள ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகளின் மொத்த எண்ணிக்கையாகும்.

அனைத்து ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் = $\frac{3}{2}N_H kT$. இங்கு $N_H$ என்பது அறையில் உள்ள ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறுகளின் மொத்த எண்ணிக்கையாகும்.

கொடுக்கப்பட்ட கணக்கிலிருந்து, அறையிலுள்ள ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறுகளின்மொத்தஎண்ணிக்கையைவிட 3 மடங்கு அதிகம். எனவே ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகளின் மொத்த சராசரி இயக்க ஆற்றலுக்கும் ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறுகளின் மொத்த சராசரி இயக்க ஆற்றலுக்கும் உள்ள விகிதம் 3:1 ஆகும்.

## 9.2.6 சராசரி வேகம் ($\bar{v}$) [Average speed (or) Mean speed]

சராசரி வேகம் என்பது அனைத்து மூலக்கூறுகளையுடைய வேகங்களின் சராசரி என வரையறுக்கப்படுகிறது. $v_1$, $v_2$, $v_3$.....$v_N$ என்பவை ஒவ்வொரு மூலக்கூறின் வேகம் எனக்கொண்டால்

$$\bar{v} = \frac{v_1+v_2+v_3........+v_n}{N} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \quad (9.20)$$



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 176 26-03-2022 17:44:43

இங்கு M என்பது வாயு மூலக்கூறின் மோலார் நிறையையும், m என்பது வாயு மூலக்கூறின் நிறையையும் குறிக்கிறது.

$$\bar{v} = 1.60\sqrt{\frac{kT}{m}} \qquad (9.21)$$

## 9.2.7 மிகவும் சாத்தியமான வேகம் [Most probable speed ($v_{mp}$)]

வாயுவிலுள்ள பெரும்பான்மையான மூலக்கூறுகள் பெற்றுள்ள வேகம் என இது வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$v_{mp} = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \qquad (9.22)$$

$$v_{mp} = 1.41\sqrt{\frac{kT}{m}} \qquad (9.23)$$

சமன்பாடு (9.20) மற்றும் (9.22) ஆகியவைகளை தருவிக்கும் முறையை நாம் உயர் வகுப்புகளில் கற்போம்.

### $v_{rms}$, $\bar{v}$ மற்றும் $v_{mp}$ ஓர் ஒப்பீடு:

கொடுக்கப்பட்ட இம்மூன்று வேகங்களிலும் $v_{rms}$ பெரும மதிப்பையும் $v_{mp}$ சிறும மதிப்பையும் பெற்றிருக்கும்.

$$v_{\text{rms}} > \bar{v} > v_{\text{mp}}$$

விகித அடிப்படையில்

$$v_{\text{rms}} : \bar{v} : v_{\text{mp}} = \sqrt{3} : \sqrt{8/\pi} : \sqrt{2} = 1.732 : 1.6 : 1.414$$

### எடுத்துக்காட்டு 9.3

அறை ஒன்றில் இயக்கத்திலுள்ள பத்து வாயு மூலக்கூறுகளின் வேகங்கள் முறையே 2, 3, 4, 5, 5, 5, 6, 6, 7 மற்றும் 9 m s$^{-1}$ ஆகும். இவற்றின் சராசரி இருமடி மூல வேகம், சராசரி வேகம் ($\bar{v}$) மற்றும் மிகவும் சாத்தியமான வேகம் ($v_{mp}$) இவற்றைக் காண்க.

**தீர்வு:**

**சராசரி வேகம்**

$$\bar{v} = \frac{2+3+4+5+5+5+6+6+7+9}{10} = 5.2\, m\, s^{-1}$$

சராசரி இருமடி மூல வேகத்தைக் கணக்கிட முதலில் வேகங்களின் இருமடியின் சராசரியைக் $\overline{v^2}$ கணக்கிட வேண்டும்.

$$\overline{v^2} = \frac{2^2+3^2+4^2+5^2+5^2+5^2+6^2+6^2+7^2+9^2}{10}$$

$$= 30.6\, m^2 s^{-2}$$

சராசரி இருமடிமூல வேகம்

$$v_{rms} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{30.6} = 5.53\, m\, s^{-1}$$

மிகவும் சாத்தியமான வேகம் $v_{mp}$ என்பது 5 m s$^{-1}$. ஏனெனில் கொடுக்கப்பட்டவற்றுள் மூன்று மூலக்கூறுகள் இவ்வேகத்தைப் பெற்றுள்ளன.

### எடுத்துக்காட்டு 9.4

300 K வெப்பநிலையிலுள்ள 1 மோல் ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறுகளின் சராசரி இருமடிமூல வேகம் ($v_{rms}$) சராசரி வேகம் ($\bar{v}$) மற்றும் சாத்தியமான வேகம் ($v_{mp}$) ஆகியவற்றைக் காண்க. இங்கு எலக்ட்ரானின் நிறையை புறக்கணிக்கவும்.

**தீர்வு:**

ஹைட்ரஜன் அணு ஒரு புரோட்டானையும் ஒரு எலக்ட்ரானையும் பெற்றுள்ளது, புரோட்டானின் நிறையுடன் ஒப்பிடும்போது எலக்ட்ரானின் நிறையை புறக்கணிக்கலாம்.

புரோட்டானின் நிறை = $1.67 \times 10^{-27}\, kg$.

ஒரு ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறு = 2 ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் = $2 \times 1.67 \times 10^{-27}\, kg$.

சராசரி வேகம்

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = 1.60\sqrt{\frac{kT}{m}} =$$

$$= 1.60\sqrt{\frac{(1.38\times10^{-23})\times(300)}{2(1.67\times10^{-27})}} = 1.78\times10^{3}\, m\, s^{-1}$$

(போல்ட்ஸ்மென் மாறிலி $k = 1.38 \times 10^{-23}\, J\, K^{-1}$)

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 1.73\sqrt{\frac{kT}{m}}$$

$$= 1.73\sqrt{\frac{(1.38\times10^{-23})\times(300)}{2(1.67\times10^{-27})}} = 1.93\times10^{3}\, m\, s^{-1}$$

மிகவும் சாத்தியமான வேகம்

$$v_{mp} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = 1.41\sqrt{\frac{kT}{m}}$$

$$= 1.41\sqrt{\frac{(1.38\times10^{-23})\times(300)}{2(1.67\times10^{-27})}} = 1.57\times10^{3}\, m\, s^{-1}$$

இங்கு $v_{\text{rms}} > \bar{v} > v_{\text{mp}}$ என்பதைக் கவனிக்கவும்.



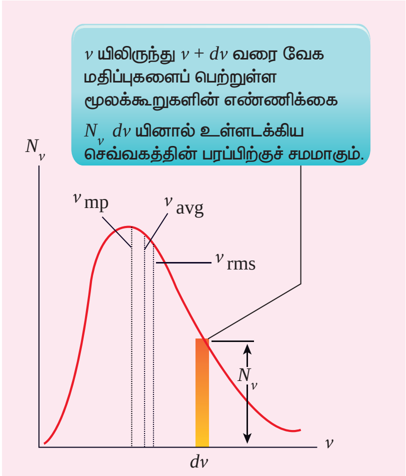
UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 177 26-03-2022 17:44:50

## 9.2.8 மேக்ஸ்வெல் – போல்ட்ஸ்மென் வேகப்பகிர்வுச் சார்பு (Maxwell – Boltzmann speed distribution function)

அறை ஒன்றில் உள்ள வாயு மூலக்கூறுகள் ஒழுங்கற்ற முறையில் எல்லா திசைகளிலும் இயங்கிக் கொண்டிருக்கின்றன. பேரளவான இயற்பியல் அளவுகளான வெப்பநிலை, அழுத்தம் போன்றவை ஒரு நிலையான மதிப்பாக இருப்பினும் எல்லா மூலக்கூறின் வேகமும் சமமாக இருப்பதில்லை. ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் மற்ற மூலக்கூறுகளுடன் மோதலுற்று அவற்றின் வேகங்களைப் பரிமாறிக் கொள்கின்றன. முந்தைய பகுதியில் நாம் ஒவ்வொரு மூலக்கூறின் வேகத்தைத் தனித்தனியாகக் கணக்கிடாமல், அவற்றின் சராசரி இருமடிமூல வேகத்தையே ($v_{rms}$) கணக்கிட்டோம். மேலும் ஒவ்வொரு மூலக்கூறின் வேகத்தைத் தனித்தனியே கணக்கிடுவது என்பது மிகவும் கடினமான செயலாகும். இத்தகையச் சூழ்நிலையில் 5 m s$^{-1}$ முதல் 10 m s$^{-1}$ அல்லது 10 m s$^{-1}$ முதல் 15 m s$^{-1}$ போன்ற வேக எல்லைக்குள் உள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையை கணக்கிடுவது சாத்தியமாகும். எனவே பொதுவாக $v$ முதல் $v + dv$ என்ற வேக எல்லைக்குள் உள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையை **கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள மற்ற மேக்ஸ்வெல் – போல்ட்ஸ்மென் வேகப்பகிர்வுச் சார்பினைப் பயன்படுத்தி கணக்கிடலாம்.**

$$N_v = 4\pi N\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} \qquad (9.24)$$

வேகப்பகிர்வுச் சார்பின் வரைபடம் படம் (9.3) இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




**படம் 9.3:** மேக்ஸ்வெல்லின் வேகப்பகிர்வு வரைபடம்

படம் 9.3 இல் இருந்து, கொடுக்கப்பட்ட கெல்வின் வெப்பநிலையில் குறைந்த வேகத்தைப் பெற்றுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை பரவளைய வடிவில் ($v^2$) அதிகரித்து, மிகவும் சாத்தியமான வேகத்தை அடைந்தவுடன் அடுக்குகுறியீட்டு (exponentially $e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$) மதிப்பில் குறையும் என்பதைத் தெளிவாக அறியலாம். மேலும் படம் 9.3 இல் சராசரி இருமடிமூல வேகம் $v_{rms}$ சராசரி வேகம் $\overline{v}$ மற்றும் மிகவும் சாத்தியமான வேகம் $v_{mp}$ ஆகியவை சுட்டிக்காட்டப்பட்டுள்ளன. இவற்றிலிருந்து கொடுக்கப்பட்ட மூன்று வேகங்களில் $v_{rms}$ பெரும மதிப்பைப் பெற்றுள்ளதையும் அறியலாம். உதாரணமாக 50 m s$^{-1}$ முதல் 60 m s$^{-1}$ வரை வேகமதிப்புகளைப் பெற்றுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையைக் காண்பதற்கு

$$\int_{50}^{60} 4\pi N\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv = N(50 \text{ முதல் } 60 \text{ m s}^{-1})$$

எனத் தொகைப்படுத்த வேண்டும். பொதுவாக $v$ யிலிருந்து $v + dv$ வரை வேக மதிப்புகளைப் பெற்றுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையை பின்வருமாறு வரையறை செய்யலாம்.

$$\int_{v}^{v+dv} 4\pi N\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv = N(v \text{ to } v + dv).$$

இச்சமன்பாட்டினைத் தொகையீடு செய்யும் முறையை நாம் உயர் வகுப்புகளில் கற்கலாம். ஆனால் வாயு மூலக்கூறுகளின் செயல்பாட்டை இவ்வரைபடத்தின் அடிப்படையில் நம்மால் அனுமானிக்க இயலும்.

i. வரைபடத்திற்குக் கீழே உள்ள பரப்பு, அமைப்பிலுள்ள வாயு மூலக்கூறுகளின் மொத்த எண்ணிக்கையைக் கொடுக்கும்.

ii. படம் 9.4 இல் இருவேறு வெப்பநிலைகளில் உள்ள வாயு மூலக்கூறுகளின் வேகப்பகிர்வு, வரைபட வடிவில் காட்டப்பட்டுள்ளது. கெல்வின் வெப்பநிலை அதிகரிக்கும்போது வளைகோட்டின் உச்சி வலதுபக்கத்தை நோக்கி நகர்கின்றது. இது ஒவ்வொரு மூலக்கூறின் சராசரி வேகமும் அதிகரிப்பதைக் காட்டுகின்றது. ஆனால் வரைபடத்தின் பரப்பில் எவ்வித மாற்றமும் இல்லை. ஏனெனில் வரைபடத்தின் பரப்பு வாயு மூலக்கூறுகளின் மொத்த எண்ணிக்கைக்குச் சமமாகும்.



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 178 26-03-2022 17:44:51

**குறிப்பு**

ஆச்சரியமூட்டும் ஓர் உண்மை என்னவென்றால், வாயு மூலக்கூறுகள் ஒருமுறை சமநிலையை (equilibrum) அடைந்துவிட்டால் கொடுக்கப்பட்ட வேக எல்லைக்குள் உள்ள மொத்த மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை மாறாது. எடுத்துக்காட்டாக மூலக்கூறு ஒன்று தொடக்கத்தில் $12\,m\,s^{-1}$, என்ற வேகத்தில் இயங்கி மற்றொரு மூலக்கூறுடன் மோதலுற்று தனது வேகத்தை $9\,m\,s^{-1}$ என மாற்றிக் கொண்டால், அந்த மற்றொரு மூலக்கூறு தொடக்கத்தில் வேறு வேகத்தில் இயங்கி வேறு ஒரு மூலக்கூறுடன் மோதலுற்று தனது வேகத்தை $12\ m\,s^{-1}$ என மாற்றிக்கொள்ளும். இவ்வாறு வாயு மூலக்கூறுகள் ஒருமுறை சமநிலையை அடைந்துவிட்டால் கொடுக்கப்பட்ட வேக எல்லைக்குள் (அதாவது $v$ லிருந்து $v + dv$ என்ற வேக எல்லைக்குள்) உள்ள வாயு மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை மாறாது.

## 9.3 சுதந்திர இயக்கக்கூறுகள் (Degrees of Freedom)

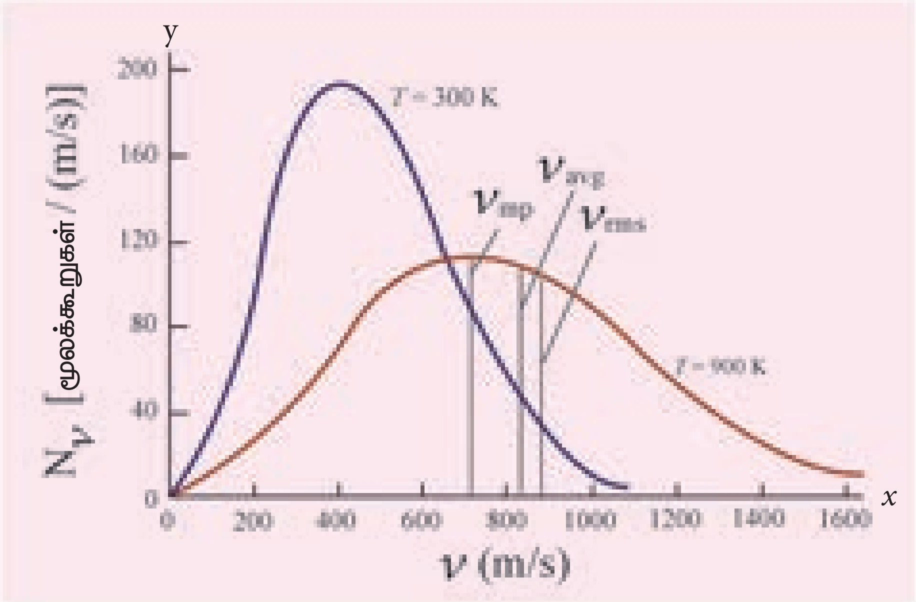
### 9.3.1. வரையறை

*முப்பரிமாண வெளியிலுள்ள வெப்ப இயக்கவியல் அமைப்பு ஒன்றின் நிலை மற்றும் அமைப்பினை விவரிக்கத் தேவைப்படும் குறைந்தபட்ச சார்பற்ற ஆய அச்சுக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையே சுதந்திர இயக்கக்கூறுகள் என அழைக்கப்படுகிறது.*

**எடுத்துக்காட்டு:**

1. x – அச்சுத்திசையில் இயங்கும் தனித்தத்துகளொன்றின் இயக்கத்தினை முழுமையாக விளக்க, ஒரே ஒரு ஆயஅச்சுக்கூறு மட்டுமே போதுமானது. எனவே அத்துகளின் சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை ஒன்று ஆகும்.
2. தளம் ஒன்றில் இயங்கும் துகளினை முழுமையாக விளக்க இரு ஆய அச்சுக்கூறுகள் தேவைப்படும். எனவே அத்துகளின் சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை இரண்டு ஆகும்.
3. இதேபோன்று வெளியில் (Space) இயங்கும் துகளொன்றின் சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை மூன்று ஆகும்.

கொள்கலன் ஒன்றில் N வாயு மூலக்கூறுகள் உள்ளன எனக்கருதினால், அவற்றின் மொத்த சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை $f = 3N$ ஆகும்.




**படம் 9.4:** இருவேறு வெப்பநிலைகளில் உள்ள வாயு மூலக்கூறுகளின் மேல்ஸ்வெல் போல்ட்ஸ்மென் வேகப்பகிர்வு வரைபடம்



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 179 26-03-2022 17:44:51

ஆனால், அமைப்பு ஒன்றிற்கு $q$ எண்ணிக்கையில் அமைந்த இயக்கத்தடைகள் (Constraints) இருப்பின், அவ்வமைப்பின் சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை $f$ = 3N–q. இங்கு N என்பது துகள்களின் எண்ணிக்கையாகும்.

## 9.3.2 ஓரணு மூலக்கூறு

ஓரணு மூலக்கூறு ஒன்று அதன் இயல்பின் காரணமாக மூன்று இடப்பெயர்வு சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளைப் (Translational degrees of freedom) பெற்றிருக்கும்.

எனவே $f = 3$

**எடுத்துக்காட்டு :** ஹீலியம், நியான் மற்றும் ஆர்கான்

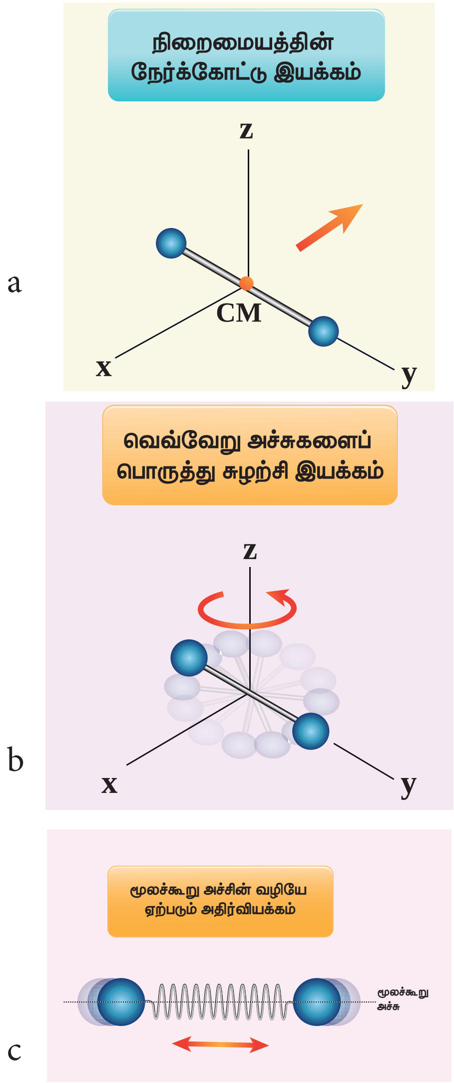
## 9.3.3 ஈரணு மூலக்கூறு

ஈரணு மூலக்கூறுகளைப் பொருத்தவரையில் இரண்டு நேர்வுகள் உள்ளன. அவை

1. **சாதாரண வெப்பநிலையில்**

ஈரணு மூலக்கூறானது, கவர்ச்சி விசையினால் ஒன்றுடன் ஒன்று பிணைக்கப்பட்ட இரண்டு அணுக்களைப் பெற்றிருக்கும். நிறையற்ற மீட்சியுறும் சுருள்வில்லின் இரு முனைகளில் பொருத்தப்பட்டுள்ள புள்ளிநிறைகளைப்போன்று இவ்வமைப்பினைக் கருதலாம். இவ்வமைப்பின் நிறைமையம் ஈரணு மூலக்கூறின் மையத்தில் அமையும். எனவே நிறைமையம் இயங்குவதற்கு மூன்று இடப்பெயர்வு சுதந்திர இயக்கக்கூறுகள் (Translational degrees of free–dom) தேவைப்படுகிறது. இது படம் (9.5 a) இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

மேலும் ஈரணு மூலக்கூறானது, ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக உள்ள மூன்று ஆய அச்சுக்கூறுகளைப்பொருத்தும் சுழலும் இது படம் 9.5 (b) இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஆனால் தன் அச்சைப்பொருத்து ஏற்படும் சுழற்சியின் நிலைமத்திருப்புத்திறன் புறக்கணிக்கத்தக்கதாகும். (படம் 9.5 இல் y அச்சைப்பொருத்த நிலைமத்திருப்புத்திறன் புறக்கணிக்கப்பட்டுள்ளது). எனவே, இவ்வமைப்பு இரண்டு சுழற்சி சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளை (rotational degrees of freedom) மட்டுமே பெற்றுள்ளது ($z$ அச்சைப்பொருத்து ஒரு சுழற்சி, $x$ அச்சைப்பொருத்து மற்றொரு சுழற்சி) எனவே ஈரணு மூலக்கூறு அமைப்பானது மொத்தம் ஐந்து சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளைப் பெற்றுள்ளது.




**படம் 9.5** ஈரணு மூலக்கூறின் சுதந்திர இயக்கக்கூறுகள்

$$f = 5$$

2. **உயர் வெப்பநிலையில்**

உயர் வெப்பநிலையில் அதாவது 5000 K வெப்பநிலையில் ஈரணு மூலக்கூறு கூடுதலாக இரண்டு சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளை அதன் அதிர்வியக்கத்தினால் பெற்றுள்ளது. [அதன் இயக்க ஆற்றலினால் ஒன்று, மற்றொன்று அதன் நிலையாற்றலினால்]. இது



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 180 26-03-2022 17:44:52

படம் 9.5 (c) இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. எனவே உயர் வெப்பநிலையில் ஈரணு மூலக்கூறானது மொத்தம் ஏழு சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளைப் பெற்றுள்ளது.

$$f = 7$$

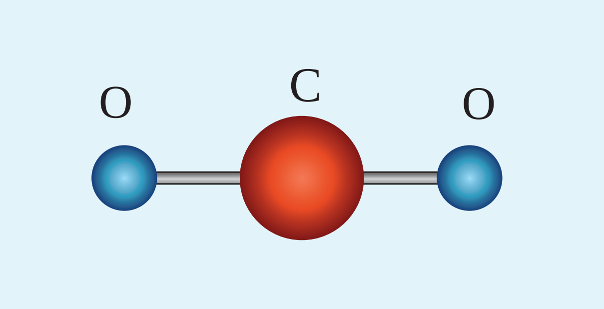
**எடுத்துக்காட்டு:** ஹைட்ரஜன், நைட்ரஜன் மற்றும் ஆக்ஸிஜன்

## 9.3.4 மூவணு மூலக்கூறுகள் (Triatomic molecules)

மூவணு மூலக்கூறுகளிலும் இரண்டு நேர்வுகள் உள்ளன.

நேர்க்கோட்டில் அமைந்த மூவணு மூலக்கூறு (Linear Triatomic molecule)

இவ்வமைப்பின் மைய அணுவின் இரண்டு பக்கங்களிலும் இரண்டு அணுக்கள் படம் 9.6 இல் காட்டியுள்ளவாறு அமைந்துள்ளன.




படம் : 9.6 மூவணு மூலக்கூறு

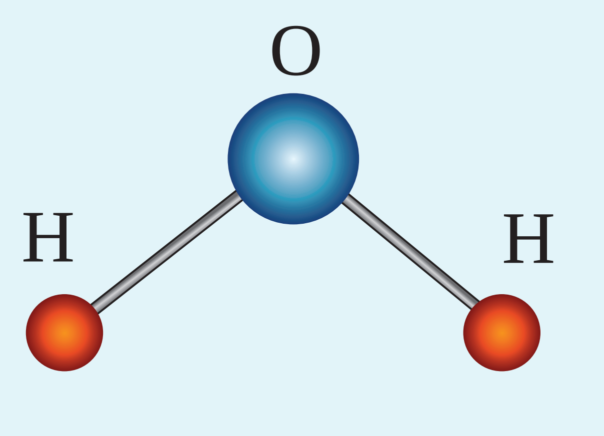
நேர்க்கோட்டு மூவணு மூலக்கூறு மூன்று இடப்பெயர்வு சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளையும், இரண்டு சுழற்சி இயக்கக் கூறுகளையும் பெற்றுள்ளது. ஏனெனில் மையத்தில் அமைந்துள்ள கூடுதல் அணுவைத்தவிர்த்து, அனைத்து வகையிலும் இது ஈரணு மூலக்கூறை ஒத்துள்ளது.

சாதாரண வெப்பநிலையில் நேர்க்கோட்டு மூவணு மூலக்கூறு ஐந்து சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளையும், உயர் வெப்பநிலையில் கூடுதலாக இரண்டு அதிர்வு சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளையும் பெற்று, மொத்தம் ஏழு சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளைப் பெற்றுள்ளது.

**எடுத்துக்காட்டு:** கார்பன்–டைஆக்ஸைடு

**நேர்க்கோட்டில் அமையாத மூவணு மூலக்கூறு** (Non–linear triatomic molecule)

இவ்வகை மூவணு மூலக்கூறுகளில், மூன்று அணுக்களும் முக்கோணமொன்றின் மூன்று உச்சியில் அமைந்திருப்பது போன்று காணப்படும். இது படம் 9.7 இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம் 9.7 நேர்க்கோட்டில் அமையாத மூவணு மூலக்கூறு

இவ்வமைப்பு மூன்று நேர்க்கோட்டு சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளையும், ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக அமைந்த மூன்று செங்குத்து அச்சுகளைப் பொருத்து சுழலும் சுழற்சி சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளையும் பெற்றுள்ளது. இவ்வமைப்பின் மொத்தச் சுதந்திர இயக்கக் கூறுகளின் எண்ணிக்கை ஆறு ஆகும்.

$$f = 6$$

**எடுத்துக்காட்டு:** நீர், சல்பர்–டைஆக்ஸைடு.

## 9.4 ஆற்றல் சமபங்கீட்டு விதி (Law of Equipartition of Energy)

பிரிவு 9.2.1 இல் நாம் பயின்றவாறு, $x$ அச்சில் இயங்கும் மூலக்கூறு ஒன்றின் இயக்க ஆற்றல்

$$\frac{1}{2}m\overline{v_x^2} = \frac{1}{2}kT.$$

இதேபோன்று,



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 181 26-03-2022 17:44:53

y அச்சில் இயங்கும்போது $\frac{1}{2}m\overline{v_y^2} = \frac{1}{2}kT$ மற்றும்

z அச்சில் இயங்கும்போது $\frac{1}{2}m\overline{v_z^2} = \frac{1}{2}kT$ ஆகும்.

*இயக்கவியல் கொள்கையின்படி, T என்ற கெல்வின் வெப்பநிலையிலுள்ள, வெப்பச்சமநிலை அமைப்பு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல், அவ்வமைப்பின் அனைத்து சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளுக்கும் சமமாக பகிர்ந்தளிக்கப்படும். எனவே ஒவ்வொரு சுதந்திர இயக்கக்கூறும் $\frac{1}{2}kT$ ஆற்றலைப்பெறும். இதுவே ஆற்றல் சமபங்கீட்டு விதி என்று அழைக்கப்படுகிறது.*

ஓரணு மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல்

$$(f=3) = 3\times\frac{1}{2}kT = \frac{3}{2}kT$$

தாழ் வெப்பநிலையிலுள்ள ஈரணு மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல்

$$(f = 5) = 5\times\frac{1}{2}kT = \frac{5}{2}kT$$

உயர் வெப்பநிலையிலுள்ள ஈரணு மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல்

$$(f = 7) = 7\times\frac{1}{2}kT = \frac{7}{2}kT$$

நேர்க்கோட்டு மூவணு மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல்

$$(f = 7) = 7\times\frac{1}{2}kT = \frac{7}{2}kT$$

நேர்க்கோட்டில் அமையாத மூவணு மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல்

$$(f = 6) = 6\times\frac{1}{2}kT = 3kT$$

## 9.4.1 வாயுக்களின் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறனில் ஆற்றல் சமபங்கீட்டு விதியின் பயன்பாடு

ஒரு மோல் அளவுள்ள நல்லியல்பு வாயு ஒன்றின் மோலார் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன்களுக்கிடையே உள்ள தொடர்பை, மேயர் தொடர்பு $C_P - C_V = R$ கொடுக்கிறது.

ஆற்றல் சமபங்கீட்டு விதியைப் பயன்படுத்தி $C_P - C_V$ மதிப்பையும் மேலும் அவற்றிற்கிடையேயான விகிதம் $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ யையும் கணக்கிடலாம். இங்கு $\gamma$ என்பது வெப்பப்பரிமாற்றமில்லா அடுக்குக்குறியீடு.

**i. ஓரணு மூலக்கூறு**

மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல்

$$= \left[\frac{3}{2}kT\right]$$

ஒரு மோல் வாயுவின் மொத்த ஆற்றல்

$$= \frac{3}{2}kT\times N_A = \frac{3}{2}RT$$

நாம் அறிந்தபடி ஒரு மோல் வாயுவின், பருமன் மாறா மோலார் தன் வெப்ப ஏற்புத்திறன்

$$C_V = \frac{dU}{dT} = \frac{d}{dT}\left[\frac{3}{2}RT\right]$$

$$C_V = \left[\frac{3}{2}R\right]$$

$$C_P = C_V + R = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R$$

எனவே மோலார் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன்களின் தகவு

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{\frac{5}{2}R}{\frac{3}{2}R} = \frac{5}{3} = 1.67$$

**ii. ஈரணு மூலக்கூறு**

தாழ் வெப்பநிலையில் உள்ள ஈரணு மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் $= \frac{5}{2}kT$

ஒரு மோல் வாயுவின் மொத்த ஆற்றல்

$$= \frac{5}{2}kT\times N_A = \frac{5}{2}RT$$

(இங்கு, மொத்த அகஆற்றல் முழுவதும் இயக்க ஆற்றல் வடிவில் உள்ளது)

ஒரு மோல் வாயுவின், பருமன் மாறா மோலார் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன்

$$C_V = \frac{dU}{dT} = \left[\frac{5}{2}RT\right] = \frac{5}{2}R$$

ஆனால் $C_P = C_V + R = \frac{5}{2}R + R = \frac{7}{2}R$

$$\therefore \gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{\frac{7}{2}R}{\frac{5}{2}R} = 7/5 = 1.40$$

உயர் வெப்பநிலையிலுள்ள ஈரணு மூலக்கூறு ஒன்றின் அகஆற்றல் $\frac{7}{2}RT$.

$$C_V = \frac{dU}{dT} = \left[\frac{7}{2}RT\right] = \frac{7}{2}R$$



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 182 26-03-2022 17:45:09

$$\therefore C_P = C_V + R = \frac{7}{2}R + R$$

$$C_P = \frac{9}{2}R$$

$C_V$ மற்றும் $C_P$ இன் மதிப்பானது ஓரணு மூலக்கூறுகளைவிட, ஈரணு மூலக்கூறுகளுக்கு அதிகமாக உள்ளதை இங்கு கவனிக்க வேண்டும். இதிலிருந்து நாம் அறிவது என்னவென்றால் ஓரணு வாயு மூலக்கூறுகளின் வெப்பநிலையை 1°C உயர்த்துவதற்குத் தேவைப்படும் வெப்பத்தைவிட ஈரணு வாயு மூலக்கூறுகளுக்கு அதிக வெப்பம் தேவைப்படும்.

$$\therefore \gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{\frac{9}{2}R}{\frac{7}{2}R} = \frac{9}{7} = 1.28$$

iii. **மூவணு மூலக்கூறு**

(a) **நேர்க்கோட்டிலமைந்த மூவணு மூலக்கூறு**

ஒரு மோல் மூவணு மூலக்கூறின் அகஆற்றல்

$$= \frac{7}{2}kT \times N_A = \frac{7}{2}RT$$

$$C_V = \frac{dU}{dT} = \frac{d}{dT}\left[\frac{7}{2}RT\right]$$

$$C_V = \frac{7}{2}R$$

$$C_P = C_V + R = \frac{7}{2}R + R = \frac{9R}{2}$$

$$\therefore \gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{\frac{9}{2}R}{\frac{7}{2}R} = \frac{9}{7} = 1.28$$

(b) **நேர்க்கோட்டில் அமையாத மூவணு மூலக்கூறு**

ஒரு மோல் மூவணு மூலக்கூறின் அகஆற்றல்

$$= \frac{6}{2}kT \times N_A = \frac{6}{2}RT = 3RT$$

$$C_V = \frac{dU}{dT} = 3R$$

$$C_P = C_V + R = 3R + R = 4R$$

$$\therefore \gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{4R}{3R} = \frac{4}{3} = 1.33$$

வாயுக்களின் இயக்கவியல் கொள்கையின் மாதிரியின் அடிப்படையில், பருமன் மாறா தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் மற்றும் அழுத்தம் மாறா தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் இவை இரண்டும் வெப்பநிலையைச் சார்ந்ததல்ல என்பதைக் கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும். ஆனால் நடைமுறையில் இக்கூற்று முற்றிலும் சரி எனக் கருத இயலாது. உண்மையில் வெப்ப ஏற்புத்திறன்கள் வெப்ப நிலையைப் பொருத்து மாற்றமடையும் தன்மையுடையவை ஆகும்.

## எடுத்துக்காட்டு 9.5

இயல்பு வெப்பநிலையிலுள்ள (27°C) ஓரணு வாயு மூலக்கூறுகள் மற்றும் ஈரணு வாயு மூலக்கூறுகளின் அளவுகள் முறையே $\mu_1$ மோல் மற்றும் $\mu_2$ மோல் ஆகும். இவ்வாயுக்கலவையின் வெப்பபரிமாற்றமில்லா அடுக்குக்குறியீடு $\gamma$ வின் மதிப்பைக் கணக்கிடுக.

### தீர்வு

ஒரு மோல் ஓரணுவாயு மூலக்கூறின் பருமன் மாறா மோலார் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் $C_V = \frac{3}{2}R$

$\mu_1$ மோல் வாயுவிற்கு,

$$C_V = \frac{3}{2}\mu_1 R \quad C_P = \frac{5}{2}\mu_1 R$$

ஒரு மோல் ஈரணு வாயு மூலக்கூறின் பருமன் மாறா மோலார் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் $C_V = \frac{5}{2}R$

$\mu_2$ மோல் வாயுவிற்கு,

$$C_V = \frac{5}{2}\mu_2 R\,;\, C_P = \frac{7}{2}\mu_2 R$$

வாயுக்கலவையின் பருமன் மாறா மோலார் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன்

$$C_V = \frac{3}{2}\mu_1 R + \frac{5}{2}\mu_2 R$$

வாயுக்கலவையின் அழுத்தம் மாறா மோலார் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன்

$$C_P = \frac{5}{2}\mu_1 R + \frac{7}{2}\mu_2 R$$

வெப்பபரிமாற்றமில்லா அடுக்குக்குறியீடு

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{5\mu_1 + 7\mu_2}{3\mu_1 + 5\mu_2}$$



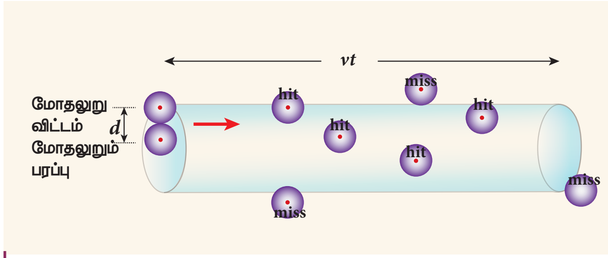
UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 183 26-03-2022 17:45:14

## 9.5 சராசரி மோதலிடைத்தூரம் (Mean Free Path)

*சாதாரணமாக, அறை வெப்பநிலையிலுள்ள (27°C) வாயு மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி வேகம் ஒரு வினாடிக்கு சில நூறு மீட்டர்கள் ஆகும். இருப்பினும் அறை ஒன்றினுள் திறந்த நிலையிலுள்ள வாசனை திரவத்தின் வாசமானது நம்மை உடனடியாக வந்தடையாது. இந்தத் தாமதத்திற்குக் காரணம் வாசனை மூலக்கூறுகள் நேர்க்கோட்டுப்பாதையில் நம்மை வந்தடையாமல் அருகில் உள்ள பல்வேறு காற்று மூலக்கூறுகளுடன் மோதலுற்று குறுக்கு – நெடுக்கான பாதையில் (Zig – zag) பயணித்து நம்மை வந்தடைவதாகும். இவ்வாறு இரண்டு அடுத்தடுத்த மோதல்களுக்கு இடையே மூலக்கூறு கடக்கும் சராசரி தொலைவு சராசரி மோதலிடைத்தூரம் (mean free path) என அழைக்கப்படுகிறது. இயக்கவியற் கொள்கையின் அடிப்படையில் சராசரி மோதலிடைத்தூரத்தை நாம் கணக்கிடலாம்.*

### சராசரி மோதலிடைத்தூரத்திற்கான கோவை

வாயுக்களின் இயக்கவியற்கொள்கையின் எடுகோள்களின்படி வாயு மூலக்கூறுகள் அனைத்தும் ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தில் உள்ளன. மேலும் அவை ஒன்றுடன் ஒன்று மோதுகின்றன என்பதை நாம் அறிவோம். இரண்டு அடுத்தடுத்த மோதல்களுக்கு இடையே இந்த வாயுமூலக்கூறுகள் சீரான திசைவேகத்துடன் நேர்க்கோட்டுப் பாதையில் செல்கின்றன. இப்பாதையே சராசரி மோதலிடைத்தூரம் என அழைக்கப்படுகிறது. $d$ விட்டமுடைய மூலக்கூறுகளால் ஆன அமைப்பு ஒன்றைக் கருதுவோம். அதில் ஓரலகு பருமனில் $n$ மூலக்கூறுகள் உள்ளன என்க. படம் (9.8) இல் காட்டியுள்ளவாறு ஒரே ஒரு மூலக்கூறு மட்டும் இயக்கத்தில் உள்ளது எனவும் மற்ற அனைத்து மூலக்கூறுகளும் ஓய்வுநிலையில் உள்ளன என்றும் கருதுக.




படம் 9.8 சராசரி மோதலிடைத்தூரம்

$v$ என்ற சராசரி வேகத்தில் இயங்கும் மூலக்கூறு, $t$ நேரத்தில் கடக்கும் தொலைவு $vt$ ஆகும். இந்த $t$ நேரத்தில் $\pi d^2 vt$ பருமனுள்ள கற்பனை உருளை ஒன்றினுள் இம்மூலக்கூறு இயங்குகிறது என்க. இவ் உருளையினுள் அமைந்திருக்கும் அனைத்து மூலக்கூறுகளின் மீதும் இம்மூலக்கூறு மோதலை ஏற்படுத்தும். எனவே மோதல்களின் எண்ணிக்கை கற்பனை உருளையின் பருமனில் அடங்கியுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாகும். இது $\pi d^2 vtn$ க்குச் சமமாகும். மொத்தப்பாதையின் நீளத்தை $t$ நேரத்தில் ஏற்படும் மோதல்களின் எண்ணிக்கையால் வகுக்கக்கிடைக்கும் மதிப்பு சராசரி மோதலிடைத்தூரமாகும்.

சராசரி மோதலிடைத்தூரம்,

$$\lambda = \frac{\text{கடந்த தொலைவு}}{\text{மோதல்களின் எண்ணிக்கை}}$$

$$\lambda = \frac{vt}{n\pi d^2 vt} = \frac{1}{n\pi d^2} \qquad (9.25)$$

ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் ஒரே ஒரு மூலக்கூறு மட்டும் இயக்கத்தில் உள்ளது எனவும் மற்ற அனைத்து மூலகூறுகளும் ஓய்வு நிலையில் உள்ளன எனவும் நாம் கருதியிருந்தோம். ஆனால் நடைமுறையில் அனைத்து மூலக்கூறுகளும் ஒழுங்கற்ற இயக்க நிலையில் உள்ளன. எனவே ஒரு மூலக்கூறின் சராசரி சார்பு வேகத்தினை (average relative speed) இங்கு கருத வேண்டியது அவசியமாகும்.

விரிவான கணக்கீடுகளுக்குப் பின்பு (மேல்வகுப்பில் நீங்கள் இக்கணக்கீடுகளைச் செய்யலாம்) சராசரி மோதலிடைத்தூரத்திற்கான சரியான கணிதச் சமன்பாடு

$$\therefore \lambda = \frac{1}{\sqrt{2} n\pi d^2} \qquad (9.26)$$

சமன்பாடு (9.26) இல் இருந்து நாம் அறிந்து கொள்வது என்னவென்றால், சராசரி மோதலிடைத்தூரமானது, எண் அடர்த்திக்கு எதிர்விகிதத்தில் இருக்கும். எண் அடர்த்தி அதிகரிக்கும்போது மூலக்கூறுகளின் மோதலும் அதிகரிக்கும்.



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 184 26-03-2022 17:45:15

**நேர்வு 1:** மூலக்கூறின் நிறை 'm' ஐப் பொருத்து சமன்பாடு (9.26) ஐ மாற்றியமைக்கவும்.

$$\therefore \lambda = \frac{m}{\sqrt{2}\pi d^2 mn}$$

ஆனால் mn = ஓரலகு பருமனுக்கான நிறை = $\rho$ (வாயுவின் அடர்த்தி)

$$\therefore \lambda = \frac{m}{\sqrt{2}\,\pi d^2 \rho} \qquad (9.27)$$

மேலும் நாம் அறிந்தபடி $PV = NkT$

$$P = \frac{N}{V}kT = nkT$$

$$\therefore n = \frac{P}{kT}$$

சமன்பாடு (9.26) இல் $n = \frac{P}{kT}$ எனப் பிரதியிடுக

$$\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P} \qquad (9.28)$$

சமன்பாடு (9.28) இல் இருந்து பின்வருவனவற்றை அறியலாம்.

1. வெப்பநிலை உயரும்போது, சராசரி மோதலிடைத்தூரமும் அதிகரிக்கும். ஏனெனில் வெப்பநிலை உயரும்போது ஒவ்வொரு மூலக்கூறின் சராசரி வேகமும் அதிகரிக்கும். இதன் காரணமாகத்தான் குளிர்ந்த நிலையிலுள்ள உணவுப்பொருளின் வாசனையைவிட, சூடாக சமைக்கப்பட்ட உணவுப் பொருளின் வாசனை நீண்ட தொலைவிற்கு வீசுகிறது.
2. சராசரி மோதலிடைத்தூரம் வாயுவின் அழுத்தம் குறையும்போதும் மற்றும் வாயு மூலக்கூறின் விட்டம் குறையும்போதும் அதிகரிக்கும்.

### எடுத்துக்காட்டு 9.6

300 K வெப்பநிலை மற்றும் 1 வளி மண்டல அழுத்தத்தில் உள்ள ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறு ஒன்று காற்றில் பயணிக்கிறது. ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறின் விட்டம் $1.2 \times 10^{-10}$ m எனில் அதன் சராசரி மோதலிடைத்தூரத்தைக் காண்க.

**தீர்வு**

சமன்பாடு (9.26) இலிருந்து $\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi n d^2}$

நல்லியல்பு வாயுச் சமன்பாட்டிலிருந்து நாம் எண் அடர்த்தி $n$ ஐக் கணக்கிட வேண்டும்.

$$n = \frac{N}{V} = \frac{P}{kT} = \frac{101.3 \times 10^3}{1.381 \times 10^{-23} \times 300}$$

$$= 2.449 \times 10^{25} \text{ மூலக்கூறுகள்/மீ}^3$$

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \times \pi \times 2.449 \times 10^{25} \times (1.2 \times 10^{-10})^2}$$

$$= \frac{1}{15.65 \times 10^5}$$

$$\lambda = 0.63 \times 10^{-6}\, m$$

## 9.6 பிரௌனியன் இயக்கம்

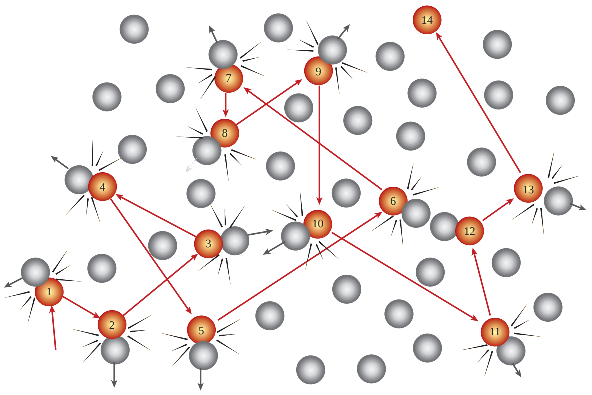
1827ஆம் ஆண்டு இராபர்ட் பிரௌன் என்ற தாவரவியல் அறிஞர் திரவப்பரப்பிலுள்ள மகரந்தத்துகள்கள் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றொரு இடத்திற்கு ஒழுங்கற்று இயங்குகின்றன எனக் கண்டறிந்தார். திரவப்பரப்பிலுள்ள இந்த மகரந்தத் துகள்களின் ஒழுங்கற்ற (குறுக்கு – நெடுக்கான) இயக்கம் பிரௌனியன் இயக்கம் எனப்படும். நீர்ப்பரப்பிலுள்ள தூசுத்துகள்களின் ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தை நாம் சாதாரணமாகக் காணலாம். இக்கண்டுபிடிப்பு நெடுங்காலமாக ஆராய்ச்சியாளர்களுக்கு ஒரு புரியாத புதிராகவே இருந்து வந்தது. மகரந்தத்துகள்களின் ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தை விளக்குவதற்கு பல்வேறு விளக்கங்களை அறிவியல் அறிஞர்கள் எடுத்துரைத்தாலும், எந்த ஒரு விளக்கமும் இதனை முழுமையாக விளக்கவில்லை. முறையான ஆய்வுகளுக்குப் பின்பு, வீனர் மற்றும் ஃகோய் (Wiener and Gouy) என்ற இரு அறிஞர்கள் பிரௌனியன் இயக்கத்திற்கான உரிய விளக்கத்தினை கொடுத்தனர். இவ்விளக்கத்தின்படி திரவப்பரப்பிலுள்ள துகள்களின்மீது, அதனைச் சூழ்ந்துள்ள திரவ மூலக்கூறுகள் தொடர்ந்து மோதுவதால் அத்துகள்கள் ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தை மேற்கொள்கின்றன. ஆனால் 19ஆம் நூற்றாண்டு



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 185 26-03-2022 17:45:18

மக்களால் அனைத்து பொருட்களும் அணுக்களால் அல்லது மூலக்கூறுகளால் ஆக்கப்பட்டுள்ளது என்பதை ஏற்றுக்கொள்ள முடியவில்லை. 1905 ஆம் ஆண்டு ஐன்ஸ்டீன் வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கையின் அடிப்படையில் பிரௌனியன் இயக்கத்திற்கான முறையான கொள்கை விளக்கத்தைக் கொடுத்தார். இக்கொள்கையிலிருந்து மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி அளவினைக் கணக்கிட்டார்.

இயக்கவியல் கொள்கையின்படி, திரவம் அல்லது வாயுவில் மிதந்து கொண்டிருக்கும் எந்த ஒரு துகளும் அனைத்து திசைகளிலிருந்தும் தொடர்ந்து தாக்கப்படும். எனவே சராசரி மோதலிடைத்தூரம் கிட்டத்தட்ட புறக்கணிக்கப்படும். இதன் விளைவாக படம் (9.9) இல் காட்டியுள்ளவாறு துகள்கள் ஒழுங்கற்ற மற்றும் குறுக்கு நெடுக்கான இயக்கத்தை மேற்கொள்ளும். ஆனால் நம் விரல்களை நீர்ப்பரப்பில் வைக்கும்போது இவ்வகையான இயக்கம் ஏற்படுவதில்லை ஏனெனில், நமது விரல்களின் நிறை நீர் மூலக்கூறுகளுடன் ஒப்பிடும்போது மிக அதிகம். எனவே மூலக்கூறு மோதல்களில் ஏற்படும் உந்தப்பரிமாற்றம் விரல்களை நகர்த்துவதற்கு போதுமானதல்ல.




படம் 9.9 பிரௌனியன் இயக்கத்திலுள்ள துகள்கள்

## பிரௌனியன் இயக்கத்தைப் பாதிக்கும் காரணிகள்

1. வெப்பநிலை உயரும்போது பிரௌனியன் இயக்கமும் அதிகரிக்கும்.
2. திரவம் அல்லது வாயுத் துகள்களின் பருமன் அதிகரிக்கும்போதும், உயர் பாகியல் தன்மை மற்றும் அடர்த்தி காரணமாகவும் பிரௌனியன் இயக்கம் குறையும்.

**குறிப்பு**

பிரௌனியன் இயக்கம் பற்றிய ஐன்ஸ்டீனின் கொள்கை விளக்கத்திற்கான சோதனை முடிவுகளை 1908 ஆம் ஆண்டு ஜீன் பெரின் (Jean Perrin) என்ற அறிவியல் அறிஞர் வெளியிட்டார். பிரௌனியன் இயக்கம் பற்றிய ஐன்ஸ்டீனின் கொள்கை விளக்கங்கள் மற்றும் ஜீன் பெரினின் சோதனை முடிவுகளும் இயற்பியல் முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவையாகும். ஏனெனில், அணுக்கள் மற்றும் மூலக்கூறுகள் இருப்பதற்கான நேரடிச் சான்றாக இவைகள் உள்ளன.



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 186 26-03-2022 17:45:19

## பாடச்சுருக்கம்:

- வெப்பநிலை, அழுத்தம் போன்ற பேரளவான இயற்பியல் அளவுகளின் தோற்றம் பற்றிய நுட்பமான கருத்துக்களை வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கை விளக்குகிறது.
- கொள்கலனில் அடைத்துவைக்கப்பட்டுள்ள வாயு மூலக்கூறுகள் கொள்கலனின் சுவரின்மீது உந்தத்தினைக் கொடுப்பதால் அச்சுவரின்மீது அழுத்தம் ஏற்படுகிறது.
- அழுத்தம் $P = \frac{1}{3} n m \overline{v^2}$. வாயுவின் அழுத்தமானது, எண்அடர்த்தி, வாயு மூலக்கூறின் நிறை மற்றும் இருமடிவேகத்தின் சராசரி ஆகியவற்றுடன் நேர்விகிதத்தொடர்பைப் பெற்றுள்ளது.
- வாயு மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இடப்பெயர்வு இயக்க ஆற்றலைத் தீர்மானிப்பது வாயுவின் கெல்வின் வெப்பநிலையாகும். வாயு மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் அவ்வாயுவின் கெல்வின் வெப்பநிலைக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். இது வாயு மூலக்கூறின் தன்மையைச் சார்ந்ததல்ல.
- வாயுவின் அழுத்தம், ஓரலகு பருமனுள்ள வாயுவின் அக ஆற்றலைப்போன்று மூன்றில் இரண்டு பங்காகும்.
- வாயு மூலக்கூறுகளின் சராசரி இருமடி மூல வேகம் = $v_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = 1.73\sqrt{\frac{kT}{m}}$
- வாயு மூலக்கூறுகளின் சராசரி வேகம் $\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{m}} = 1.60\sqrt{\frac{kT}{m}}$
- வாயு மூலக்கூறுகளின் மிகவும் சாத்தியமான வேகம் $v_{mp} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = 1.41\sqrt{\frac{kT}{m}}$
- மூன்று வேகங்களில் $v_{rms}$ பெருமமதிப்பையும் $v_{mp}$ சிறுமமதிப்பையும் பெற்றுள்ளன.

$$v_{rms} > \bar{v} > v_{mp}$$

- v யிலிருந்து v + dv என்ற வேக எல்லைக்குள் உள்ள வாயு மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையை மேக்ஸ்வெல் – போல்ட்ஸ்மென் வேகப்பகிர்வு அளிக்கிறது.

$$N_v dv = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv$$

- முப்பரிமாண வெளியிலுள்ள வெப்ப இயக்கவியல் அமைப்பு ஒன்றின் நிலை மற்றும் அமைப்பை விளக்குவதற்குத் தேவைப்படும் குறைந்தபட்ச சார்பற்ற ஆய அச்சுக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையே சுதந்திர இயக்கக்கூறுகள் எனப்படும். வாயு ஒன்றின் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை N எனில், அதன் மொத்த சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை $f$ = 3N ஆகும்.
- வாயு மூலக்கூறின் இயக்கத்திற்கு q கட்டுப்பாடுகள் இருப்பின், அதன் சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை $f$ = 3N–q ஆகும்.
- ஓரணு வாயு மூலக்கூறுக்கு, $f$ = 5



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 187 26-03-2022 17:45:22

- சாதாரண வெப்பநிலையில் உள்ள ஈரணு மூலக்கூறுக்கு, $f = 5$
- உயர் வெப்ப நிலையில் உள்ள ஈரணு மூலக்கூறுக்கு, $f = 7$
- நேர்க்கோட்டில் அமைந்த மூவணு மூலக்கூறுக்கு $f = 7$
- நேர்க்கோட்டில் அமையாத மூவணு மூலக்கூறுக்கு, $f = 6$
- வாயு ஒன்றின் சராசரி இயக்க ஆற்றல் அதன் அனைத்து சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளுக்கும் சரிசமமாக பகிர்ந்தளிக்கப்படும். இதற்கு ஆற்றல் சமபங்கீட்டுவிதி என்று பெயர். ஒவ்வொரு சுதந்திர இயக்கக்கூறும் $\frac{1}{2}kT$ ஆற்றலைப்பெறும்.
- அழுத்தம் மாறா மோலார் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறனுக்கு $(C_p)$ மற்றும் பருமன் மாறா மோலார் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறனுக்கும் $(C_v)$ உள்ள விகிதம் $\left[\gamma = \frac{C_p}{Cv}\right]$ ஆகும்.

  ஓரணு மூலக்கூறுக்கு: 1.67

  சாதாரண வெப்பநிலையிலுள்ள ஈரணு மூலக்கூறுக்கு : 1.40

  உயர் வெப்பநிலையிலுள்ள ஈரணு மூலக்கூறுக்கு: 1.28

  நேர்க்கோட்டில் அமைந்த மூவணு மூலக்கூறுக்கு: 1.28.

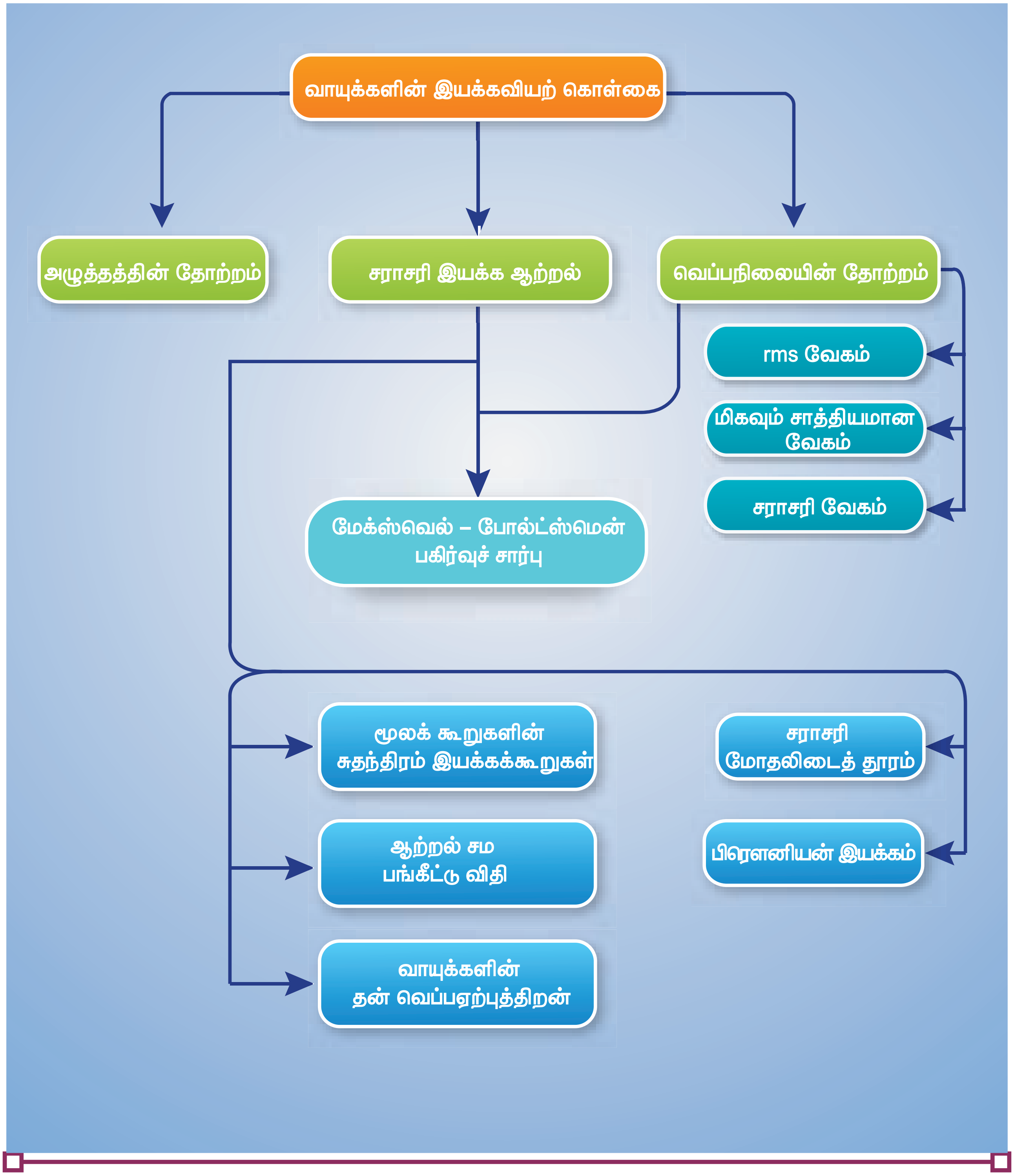
  நேர்க்கோட்டில் அமையாத மூவணு மூலக்கூறுக்கு: 1.33

- சராசரி மோதலிடைத்தூரம் $\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 P}$
- சராசரி மோதலிடைத்தூரம், வெப்பநிலைக்கு நேர்த்தகவிலும், மூலக்கூறின் அளவு மற்றும் அழுத்தத்திற்கு எதிர்விகிதத்திலும் இருக்கும்.
- வாயுக்களின் இயக்கவியற்கொள்கையின் அடிப்படையில் பிரௌனியன் இயக்கத்திற்கான ஆல்பிரட் ஐன்ஸ்டீனின் விளக்கமானது அணுக்கள் மற்றும் மூலக்கூறுகளின் இருப்பிற்கான சாட்சியாக உள்ளது என்றால் அது மிகையாகாது.



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 188 26-03-2022 17:45:24

## கருத்து வரைபடம்

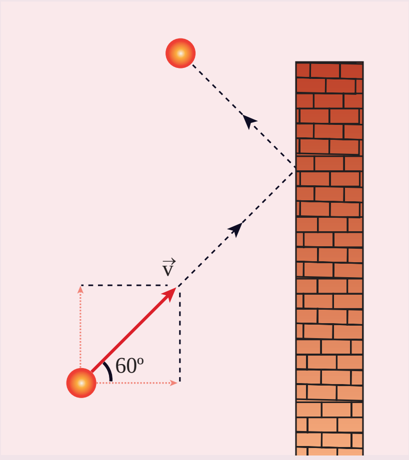





UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 189 26-03-2022 17:45:24

## I. பொருத்தமான விடையைத் தேர்ந்தெடுத்து எழுதுக

1. m நிறைகொண்ட பந்து ஒன்று u வேகத்துடன் x அச்சைப்பொருத்து 60° கோணத்தில் சென்று சுவரொன்றின் மீது மீட்சி மோதலை ஏற்படுத்துகிறது. x மற்றும் y திசையில் அப்பந்தின் உந்தமாறுபாடு என்ன?




(a) $\Delta p_x = -mu$, $\Delta p_y = 0$

(b) $\Delta p_x = -2mu$, $\Delta p_y = 0$

(c) $\Delta p_x = 0$, $\Delta p_y = mu$

(d) $\Delta p_x = mu$, $\Delta p_y = 0$

2. நல்லியல்பு வாயு ஒன்று சமநிலையில் உள்ளபோது பின்வரும் அளவுகளில் எதன் மதிப்பு சுழியாகும்?

(a) rms வேகம்

(b) சராசரி வேகம்

(c) சராசரித் திசைவேகம்

(d) மிகவும் சாத்தியமான வேகம்.

3. மாறா அழுத்தத்திலுள்ள நல்லியல்பு வாயு ஒன்றின் வெப்பநிலையை 100 K லிருந்து 10000 K க்கு உயர்த்தும்போது, அதன் சராசரி இருமடிமூல வேகம் $v_{rms}$ எவ்வாறு மாறுபடும்?

(a) 5 மடங்கு அதிகரிக்கும்

(b) 10 மடங்கு அதிகரிக்கும்

(c) மாறாது

(d) 7 மடங்கு அதிகரிக்கும்

4. ஒரு திறந்த கதவின் மூலம் இணைக்கப்பட்ட, முழுவதும் ஒத்த அளவுள்ள A மற்றும் B என்ற இரண்டு அறைகள் உள்ளன. குளிர் சாதன வசதியுள்ள A அறையின் வெப்பநிலை B அறையைவிட 4°C (குறைவாக உள்ளது. எந்த அறையிலுள்ள காற்றின் அளவு அதிகமாக இருக்கும்?

(a) அறை A

(b) அறை B

(c) இரண்டு அறைகளிலும் ஒரே அளவுள்ள காற்று இருக்கும்

(d) கண்டறிய இயலாது

5. வாயு மூலக்கூறுகளின் சராசரி இடப்பெயர்வு இயக்க ஆற்றல் பின்வருவனவற்றுள் எதனைச் சார்ந்தது?

(a) மோல்களின் எண்ணிக்கை மற்றும் வெப்பநிலை

(b) வெப்பநிலையை மட்டும்

(c) அழுத்தம் மற்றும் வெப்பநிலை

(d) அழுத்தத்தை மட்டும்.

6. நல்லியல்பு வாயு ஒன்றின் அகஆற்றல் U மற்றும் பருமன் V ஆகியவை இருமடங்காக்கப்பட்டால், அவ்வாயுவின் அழுத்தம் என்னவாகும்?.

(a) இருமடங்காகும்

(b) மாறாது

(c) பாதியாகக் குறையும்

(d) நான்கு மடங்கு அதிகரிக்கும்

7. 8 g ஹீலியம் மற்றும் 16 g ஆக்ஸிஜன் உள்ள வாயுக்கலவையின் $\gamma = \frac{Cp}{Cv}$ மதிப்பு என்ன?

(Physics Olympiad –2005)

(a) 23/15

(b) 15/23

(c) 27/17

(d) 17/27

8. கொள்கலம் ஒன்றில் ஒரு மோல் அளவுள்ள நல்லியல்பு வாயு உள்ளது. ஒவ்வொரு



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 190 26-03-2022 17:45:25

மூலக்கூறின் சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையும் $f$ எனில், $\gamma = \frac{Cp}{Cv}$ யின் மதிப்பு என்ன?

(a) $f$ (b) $\frac{f}{2}$

(c) $\frac{f}{f+2}$ (d) $\frac{f+2}{f}$

9. வாயு ஒன்றின் வெப்பநிலை மற்றும் அழுத்தத்தை இருமடங்காக்கும்போது, அவ்வாயு மூலக்கூறுகளின் சராசரி மோதலிடைத்தூரம் எவ்வாறு மாறுபடும்?

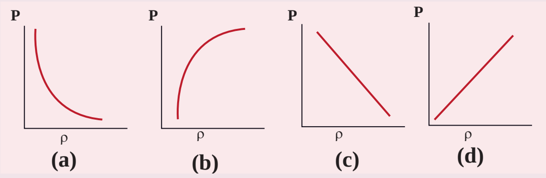
(a) மாறாது

(b) இருமடங்காகும்

(c) மும்மடங்காகும்

(d) நான்கு மடங்காகும்.

10. பின்வருவனவற்றுள் எந்த வரைபடம் மாறா வெப்பநிலையிலுள்ள நல்லியல்பு வாயுவின் அழுத்தம் மற்றும் அடர்த்தியின் சரியானத் தொடர்பைக் காட்டுகிறது?




11. வாயுக்கலவை ஒன்று, $\mu_1$ மோல்கள் ஓரணு மூலக்கூறுகளையும் $\mu_2$ மோல்கள் ஈரணு மூலக்கூறுகளையும் மற்றும் $\mu_3$ மோல்கள் நேர்க்கோட்டில் அமைந்த மூவணு மூலக்கூறுகளையும் கொண்டுள்ளது. இவ்வாயுக்கலவை உயர் வெப்பநிலையில் உள்ளபோது அதன் மொத்த சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை யாது?

(a) $[3\mu_1 + 7(\mu_2 + \mu_3)]\, N_A$

(b) $[3\mu_1 + 7\mu_2 + 6\mu_3]\, N_A$

(c) $[7\mu_1 + 3(\mu_2 + \mu_3)]\, N_A$

(d) $[3\mu_1 + 6(\mu_2 + \mu_3)]\, N_A$

12. ஓரலகு நிறையுள்ள நைட்ரஜனின் அழுத்தம் மாறாத் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன் மற்றும் பருமன் மாறாத் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன்கள் முறையே $s_P$ மற்றும் $s_V$ எனில் பின்வருவனவற்றுள் எது மிகப் பொருத்தமானது?

(JEE 2007)

(a) $s_P - s_V = 28R$

(b) $s_P - s_V = R/28$

(c) $s_P - s_V = R/14$

(d) $s_P - s_V = R$

13. பின்வரும் வாயுக்களில், எவ்வாயு கொடுக்கப்பட்ட வெப்பநிலையில் குறைந்த சராசரி இருமடிமூல வேகத்தைப் ($v_{rms}$) பெற்றுள்ளது?

(a) ஹைட்ரஜன்

(b) நைட்ரஜன்

(c) ஆக்ஸிஜன்

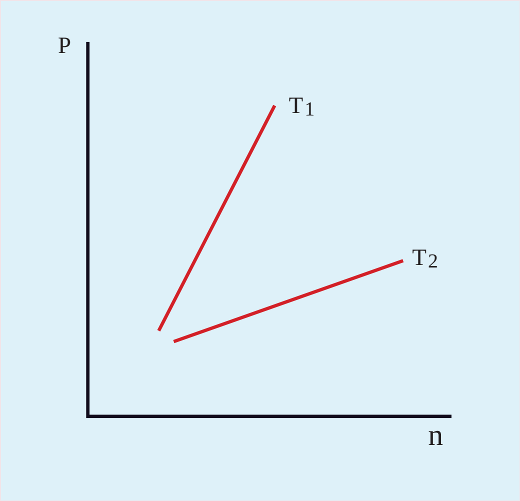
(d) கார்பன் – டை– ஆக்ஸைடு

14. மாறா வெப்பநிலையில், கொடுக்கப்பட்ட வாயு மூலக்கூறின் மேக்ஸ்வெல் – போல்ட்ஸ்மென் வேகப்பகிர்வு வளைகோட்டின் பரப்பு பின்வருவனவற்றுள் எதற்குச் சமமாகும்.

(a) $\frac{PV}{kT}$ (b) $\frac{kT}{PV}$

(c) $\frac{P}{NkT}$ (d) $PV$

15. $T_1$ மற்றும் $T_2$ என்ற இருவேறு வெப்பநிலைகளில் உள்ள நல்லியல்பு வாயு ஒன்றின் அழுத்தத்துடன் எண்அடர்த்தியின் தொடர்பு பின்வரும் வரைபடத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. இவ்வரைபடத்திலிருந்து நாம் அறிவது.




(a) $T_1 = T_2$

(b) $T_1 > T_2$

(c) $T_1 < T_2$

(d) எதனையும் அறிய இயலாது.



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 191 26-03-2022 17:45:27

## விடைகள்:

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

## II. சிறு வினாக்கள்

1. அழுத்தத்தின் நுட்பமான தோற்றம் பற்றி விளக்குக?
2. வெப்பநிலையின் நுட்பமான தோற்றம் பற்றி விளக்குக?
3. நிலவிற்கு ஏன் வளிமண்டலம் இல்லை?
4. வாயு மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி இருமடி மூல வேகம் ($v_{rms}$), சராசரி வேகம் $\bar{v}$ மற்றும் மிகவும் சாத்தியமான வேகம் ($v_{mp}$), இவற்றுக்கான கணிதச் சமன்பாடுகளை எழுதுக.
5. சராசரி இயக்க ஆற்றல் மற்றும் அழுத்தத்திற்கும் இடையேயான தொடர்பு யாது?
6. சுதந்திர இயக்கக்கூறுகள் வரையறு.
7. ஆற்றல் சமபங்கீட்டு விதியைக் கூறுக.
8. சராசரி மோதலிடைத்தூரத்திற்கான கோவையை எழுதி அதனை வரையறு.
9. இயக்கவியற் கொள்கையின் அடிப்படையில் சார்லஸ் விதியினை வருவி.
10. இயக்கவியற் கொள்கையின் அடிப்படையில் பாயில் விதியினை வருவி.
11. இயக்கவியற் கொள்கையின் அடிப்படையில் அவகாட்ரோ விதியினை வருவி.
12. சராசரி மோதலிடைத்தூரத்தை பாதிக்கும் காரணிகள் யாவை?
13. பிரௌனியன் இயக்கத்திற்கான காரணம் யாது?

## III. நெடு வினாக்கள்

1. வாயுக்களின் இயக்கவியற் கொள்கைக்கான எடுகோள்கள் யாவை?
2. வாயு மூலக்கூறுகள், அவற்றை அடைத்து வைக்கப்பட்டிருக்கும் கொள்கலனின் சுவரின்மீது ஏற்படுத்தும் அழுத்தத்திற்கான கோவையைப் பெறுக.
3. இயக்கவியற் கொள்கையின் அடிப்படையில் வெப்பநிலையைப் பற்றி விரிவாக விளக்கவும்
4. ஓரணு மூலக்கூறு, ஈரணு மூலக்கூறு மற்றும் மூவணு மூலக்கூறுகளின் சுதந்திர இயக்கக்கூறுகளைப்பற்றி விரிவாக விளக்கவும்.
5. ஓரணு மூலக்கூறு, ஈரணு மூலக்கூறு மற்றும் மூவணு மூலக்கூறுகளின் மோலார் தன்வெப்ப ஏற்புத்திறன்களின் விகிதத்திற்கான கோவையை வருவி.
6. மேக்ஸ்வெல்–போல்ட்ஸ்மென் பகிர்வுச் சார்பினை விரிவாக விளக்கவும்
7. வாயுக்களின் சராசரி மோதலிடைத்தூரத்திற்கான கோவையை வருவி
8. பிரௌனியன் இயக்கத்தினை விளக்குக.

## பயிற்சிக் கணக்குகள்:

1. தூயக்காற்றில் (78%) நைட்ரஜனும் ($N_2$), (21%) ஆக்ஸிஜனும் ($O_2$) உள்ளன. 20℃ வெப்பநிலையில் $N_2$ மற்றும் $O_2$ வின் சராசரி இருமடி மூல வேகத்தைக் ($v_{rms}$) காண்க.

   **விடை:** $N_2$ **வின்** $v_{rms} = 511\ m\ s^{-1}$

   $O_2$ **வின்** $v_{rms} = 478\ m\ s^{-1}$

2. வியாழன் கோளின் வளிமண்டலத்திலுள்ள மீத்தேன் வாயுவின் சராசரி இருமடி மூல வேகம் 471.8 m s⁻¹ ஆகும். இம்மதிப்பின் அடிப்படையில் வியாழன் கோளின் பரப்பு வெப்பநிலை செல்சியஸ் அளவில் சுழிக்கு கீழே உள்ளது எனக்காட்டுக.

   **விடை:** -130°C

3. படித்தர வெப்பநிலை மற்றும் அழுத்தத்தில், எந்த வெப்பநிலையில் வாயு ஒன்றின் சராசரி இருமடிமூல வேகம் அவ்வாயுவின் படித்தர வெப்பநிலை மற்றும் அழுத்தத்தில் உள்ள மதிப்பை போன்று மும்மடங்காக அதிகரிக்கும்? [படித்தர வெப்பநிலை $T_1$=273 K]

   **விடை:** $T_2$=2457 K



UNIT-9(XI-Physics_Vol-2)_Tamil.indd 192 26-03-2022 17:45:27

4. $80^\circ C$ வெப்பநிலை மற்றும் $5 \times 10^{-10} N\,m^{-2}$ அழுத்தத்திலும் உள்ள வாயு ஒன்றின் ஓரலகு பருமனில் ($1\ m^3$) உள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையைக் காண்க. (இங்கு போல்ஸ்ட்மென் மாறிலியின் மதிப்பு $1.38 \times 10^{-23} J\,K^{-1}$)

**விடை: $1.02 \times 10^{11}$**

5. $2 \times 10^3\ m\,s^{-1}$ வேகத்தில் இயங்கும் ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகள் கொள்கலன் ஒன்றில் அடைத்துவைக்கப்பட்டுள்ளன. $4\ cm^2$ சுவரின் பரப்பை ஒரு வினாடிக்கு $10^{20}$ முறை இந்த ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுகள் செங்குத்துத்தளத்துடன் $30^\circ$ கோணத்தில் தாக்குகின்றன எனில், அம்மூலக்கூறுகள் சுவற்றில் ஏற்படுத்தும் அழுத்தத்தினைக் காண்க. (ஒரு அணுவின் நிறை = $2.67 \times 10^{-26}$ kg)

**விடை: $46.2\ N\,m^{-2}$**

6. வெப்ப பரிமாற்றமில்லா நிகழ்வு ஒன்றில், ஓரணு மற்றும் ஈரணு வாயுக்கலவையின் அழுத்தம் அதன் வெப்பநிலையின் மும்மடிக்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளது எனில் $\gamma = (C_p/C_V)$ இன் மதிப்பைக் காண்க.

**விடை: 3/2**

7. படித்தர வெப்பநிலை மற்றும் அழுத்தத்தில் உள்ள காற்று மூலக்கூறு ஒன்றின் சராசரி மோதலிடைத்தூரத்தைக் காண்க. $N_2$ மற்றும் $O_2$ மூலக்கூறுகளின் சராசரி விட்டம் கிட்டத்தட்ட $3 \times 10^{-10}\ m$ ஆகும்.

**விடை:** $\lambda \approx 9.3 \times 10^{-8}\ m$

8. 2 மோல் ஆக்ஸிஜனும் 4 மோல் ஆர்கானும் சேர்ந்த வாயுக்கலவையின் கெல்வின் வெப்பநிலை T என்க. RT யின் மதிப்பில் அவ்வாயுக்கலவையின் அகஆற்றலைக் காண்க. (இங்கு வாயு மூலக்கூறுகளின் அதிர்வை புறக்கணிக்கவும்)

**விடை:** 11RT

9. $25\ m^3$ பருமனுள்ள ஒன்றின் வெப்ப நிலை $27^\circ C$ மற்றும் ஒரு வளிமண்டல அழுத்தத்தில் அடைக்கப்பட்டால் இவ்வறையினுள் உள்ள காற்று மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையை காண்க.

**விடை:** $6.1 \times 10^{26}$ **மூலக்கூறுகள்.**

## மேற்கோள் நூல்கள் (BOOKS FOR REFERENCE)


1. Serway and Jewett, Physics for scientist and Engineers with modern physics, Brook/Coole publishers, Eighth edition
2. Paul Tipler and Gene Mosca, Physics for scientist and engineers with modern physics,
3. Sixth edition, W.H.Freeman and Company
4. H.C.Verma, Concepts of physics -Volume 2, Bharati Bhawan Publishers
5. Douglas C. Giancoli, Physics for scientist & Engineers, Pearson Publications, Fourth Edition
6. James Walker, Physics, Addison Wesley, Fourth Edition