# படலம் 13

# இயங்கியற்கோட்பாடு



## 13.1 அறிமுகம்

பாயில் 1661இல் அவர் பெயரால் வழங்கும் பாயிலின் விதியை கண்டுபிடித்தார். நியூட்டனும் மற்றும் பலரும் வளிமங்கள் சிறிய அணுக்களால் ஆனவை என்று கருதி வளிமங்களின் இயங்கியலை விளக்க முயன்றனர். 150 ஆண்டுகள் கழித்து தெளிவான அணுக் கோட்பாடு மேலும் சிறப்பாக நிறுவப்பட்டது. வளிமங்களில் வேகமாக அசையக்கூடிய அணுக்களோ மூலக்கூறுகளோ உள்ளன என்ற கருத்தின் அடிப்படையில் இயங்கியற்கோட்பாடு வளிமங்களின் இயக்கத்தை விளக்குகிறது. அணுக்களுக்கிடையான விசைகளால் இத்தகைய அசைவு சாத்தியமாகிறது. திண்மப் பொருள்களிலுள்ள குறுந்தொலைவ விசைகள் நீர்மங்களிலும் வளிமங்களிலும் புறக்கணிக்கத் தக்க அளவிலே உள்ளன. இயங்கியற் கோட்பாட்டை பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டில் மேக்குவல், போட்சுமன் போன்றோர் உருவாக் கினர். இக்கோட்பாடு குறிப்பிடத்தக்கவகையில் வெற்றியடைந்துள்ளது. இது வளிமத்தின் அழுத்தத்தையும் வெப்பநிலையையும் மூலக்கூறுகளின் அடிப்படையில் விளக்குகிறது. மேலும், இந்த கோட்பாடு வளிமவிதிகளுடனும் அவகாடிரோவின் கோட்பாட்டுடனும் ஒவ்வுமை யானது. இது வளிமங்களின் வெப்பக்கொண்மை களை சரியாக விளக்குகிறது. வளிமங்களின் பாகுமை, கடத்தல், பரவல் போன்ற அளவிடக் கூடிய பண்புகளை மூலக்கூறளவுருக் களுடன் தொடர்பாக்கி மூலக்கூறுகளின் அளவுகளுக்கும் நிறைகளுக்கும் மதிப்பீடுகளை தருகிறது. இந்த படலம் இயங்கியற்கோட்பாட்டின் அறிமுகத்தை அளிக்கிறது.

## 13.2 பருப்பொருளின் மூலக்கூறியல்பு

20ஆம் நூற்றாண்டின் சிறந்த இயற்பிய லர்களுள் ஒருவரான இரிச்சருடு பைன்மன், "பருப்பொருள் அணுக்களால் ஆனது" என்ற கண்டுபிடிப்பை மிகச்சிறந்த ஒன்றாக கருதுகிறார். நாம் அறிவியன்மையுடன் செயலாற்றாவிட்டால் மனித இனத்துக்கு அணுத்திறனால் பேரழிவோ சுற்றுச்சூழலின் மாறுபாட்டால் மறைவுமையோ நேரலாம். இது நிகழ்ந்து எல்லா அறிவியலறிவும் அழிந்துபோயி னும் அண்டத்திலுள்ள வாழுயிரிகளின் அடுத்த தலைமுறைக்கு 'அணுவின் கருதுகோள்' மட்டுமா வது கடத்தப்படவேண்டும் என இரிச்சருடு

பைன்மன் விரும்புகிறார். அணுக்கருதுகோளை பின்வருமாறு வரையறுக்கிறோம். அனைத்துப் பொருள்களும் அணுக்களால் ஆனவை. இந்த அணுக்கள் எப்போதும் அசைவிலிருக்கின்றன; சற்றுத்தொலைவிலிருக்கும்போது இவை ஒன்றை யொன்று கவர்கின்றன; மிக அருகில் வரும்போது விலக்குகின்றன.

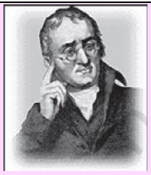
பல இடங்களிலும் பல பண்பாடுகளிலும் பருப்பொருள் தொடர்ச்சியானதல்லாமல் இருக்க லாம் என்ற கருத்து இருந்திருக்கிறது. இந்தியாவில் கணாதரும் கிரேக்கத்தில் தெமாக்கிரிடசும் பருப்பொருள் பிரிக்கவியலாத உளடங்கிகளால் ஆனவையாயிருக்கலாம் என்று மொழிவுரைத்தனர். அறிவியலின் அணுக்கோட் பாட்டை இயோவான் தாற்றன் முன்வைத்ததாக சொல்கிறார்கள். அவர் வேதித்தனிமங்கள் சேர்மங்களை உண்டாக்கும்போது பின்பற்றும் திட்டவட்டக்கூறடக்கம், விழுக்காட்டுக்காரணி ஆகிய விதிகளை விளக்க அணுக்கோட்பாட்டை முன்வைத்தார். திட்டவட்டக்கூறடக்க விதி ஒரு குறிப்பிட்ட சேர்மத்தில் அதன் உள்ளடங்கிகள் நிறையின் திட்டவட்டமான விழுக்காட்டில் இருப்பதை உரைக்கிறது. விழுக்காட்டுக்காரணி விதி இரண்டு தனிமங்கள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட சேர்மங்களை உண்டாக்கும்போது ஒரு தனிமத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட நிறை மற்றதன் நிறைகளுடன் சேரும் விகிதம் ஒரு சிறு முழுவெண் என்று உரைக்கிறது.

இந்த விதிகளை விளக்க, தாற்றன் சுமார் 200 ஆண்டுகளுக்குமுன் ஒரு தனிமத்தின் மீச்சிறும உள்ளடங்கிகள் அணுக்கள் என்று மொழிவுரைத் தார். ஒரு தனிமத்தின் அணுக்கள் முற்றொருமை யானவை; ஆனால் மற்றத்தனிமங்களின் அணுக்களிலிருந்து வேறுபடுகின்றன. ஒவ்வொரு தனிமத்தின் சிற்றெண்ணிக்கையான அணுக்க ளும் சேர்ந்து ஒரு சேர்மத்தின் மூலக்கூறை உண்டாக்குகின்றன. பத்தொன்பதாம் நூற்றாண் டின் முற்பகுதியில் வெளிவந்த கேலாசிக்கின் விதியின்படி, பல வளிமங்கள் சேர்ந்து புது வளிமங்களை உருவாக்கும் போது அவற்றின் பருமன்கள் சிறு முழுவெண்களின் விகிதத்தில் இருக்கின்றன. அவகாடிரோவிதியின்படி சம வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் சமபருமன் களில் இருக்கும் வளிமங்களில் ஒரே எண்ணிக்கையான மூலக்கூறுகள் இருக்கின்றன. அவகாடிரோ விதியை தாற்றனின் விதியுடன் இணைக்கும்போது கேலாசிக்கின் விதி வருகிறது. தனிமங்கள் மூலக்கூறுவடிவிலே பெரும்பாலும் இருப்பதால் தாற்றனின் விதி பருப்பொருள்களின் மூலக்கூறுவிதி எனவும் அழைக்கப்படுகிறது. இந்த கோட்பாட்டை அறிவியலர்கள் நன்கு ஏற்றுக்கொண்டிருக் கின்றனர். எனினும் இந்த கோட்பாட்டை ஏற்காத பல புகழ்பெற்ற அளிவியலர்கள் பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் இறுதியிலும் இருந்தனர்!

அண்மைக்காலத்தில் பெற்ற பல்வேறு கண்டறிதல்களிலிருந்து பருப்பொருள் ஒன்றோ பலவோவான அணுக்களுள்ள மூலக்கூறுகளால் ஆனது என்பதை அறிகிறோம். எதிர்மின்னிநுண் ணோக்கிகளும் வரியோடுதுளைவாயுறுநுண் ணோக்கிகளும் இத்தகைய மூலக்கூறுகளை நாம் கண்ணால் காணும் அளவுக்கு பெருக்கிக்காட்டுகின்றன. ஒரு அணுவின் அளவு சுமார் ஒரு ஆங்குதிரம் $(10^{-10}\, m)$. திண்மப் பொருள்களில் அணுக்கள் இறுக்கமாக பிணை யுண்டிருப்பதால் அணுவிடைத்தொலைவுகள் ஒருசில ஆங்குதிரங்களே. நீர்மங்களிலும் அணுவிடைத்தொலைவுகள் இதைப்போன் றவையே; ஆனால் மூலக்கூறுகள் திண்மங்களில் போல் நெளியா வகையில் பிணைவுறாமல் அசையக்கூடியவை. இதனால் நீர்மம் பாயக் கூடியது. வளிமத்தில் அணுவிடைத்தொலைவு கள் பத்துக்கணக்கான ஆங்குதிரம். ஒரு மூலக்கூறு மோதலின்றி பயணிக்கும் சராசரித் தொலைவை **இடைமத் தடங்கிலாப்பாதை** என்கிறோம். வளிமத்தில் இடைமத்தடங்கிலாப் பாதை ஆயிரக்கணக்கான ஆங்குதிரம். வளிமத்தில் மூலக்கூறுகள் மேலும் கட்டற்றவையாயிருந்து மோதும்முன் வெகு தொலைவுக்கு பயணிக்கின்றன. மூடிய கொள் கலனில் இல்லாவிட்டால் வளிமங்கள் தப்பிச்சென்று விடுகின்றன. திண்மங்களிலும் வளிமங்களிலுமுள்ள நெருக்கத்தால் மூலக்கூறிடைவிசைகள் முக்கியமாகின்றன. இந்த விசைகள் நெடுந்தொலைவ ஈர்ப்பினாலும் குறுந்தொலைவ விலக்கலாலும் ஆனவை. அணுக்களும் மூலக்கூறுகளும் ஒரு சில ஆங்குதிர இடைவெளிகளில் ஈர்க்கின்றன; ஆனால் அருகில் வரும்போது விலக்குகின்றன. வளிமம் அசையாமல் இருப்பதுபோல் தோன்றுவது தவறான எண்ணத்தை தரலாம். உண்மையில் வளிமத்தில் மிகுந்த அசைவுகள் உள்ளன. அதன் சமநிலை ஒரு இயக்கச்சமநிலை. இயக்கச்சமநிலையில் மூலக்கூறு கள் மோதுகின்றன; மோதலின்போது அவற்றின் வேகங்கள் மாறுகின்றன. ஆனால் வளிமத்தின் சராசரிப்பண்புகள் மாறிலிகள்.

அணுக்கோட்பாடு நம் தேடலின் முடிவன்று; அது ஒரு தொடக்கமே. இப்போது அணுக்கள் பிரிக்கவியலாத அடிப்படைத்துகள்கள் *அல்ல* என்பதை அறிகிறோம். அவை எதிர்மின்னிக ளாலும் அணுக்கருக்களாலும் ஆனவை. அணுக்கருக்களில் நேர்மின்னிகளும் நொதுமிக ளும் உள்ளன. நேர்மின்னிகளும் நொதுமிகளும் குவார்க்குகளால் ஆனவை. குவார்க்குகளிலும் கதை முடியாமலிருக்கலாம். சரம்போன்ற அடிப்படைத்தனியுருக்கள் இருக்கலாம். இயற்கை எப்போதும் நமக்கு வியப்பூட்டுகிறது. ஆனால் உண்மையின் தேடல் எப்போதும் மகிழ்ச்சிதருகிறது; கண்டுபிடிப்புகள் அழகா னவை. இந்த படலத்தில் நாம் வளிமங்களின்

நடத்தையை (சற்று திண்மங்களைப்பற்றியும்) இடைவிடாமல் அசைந்துகொண்டிருக்கும் மூலக்கூறுகளின் தொகுதியாக புரிந்துகொள்வதில் மட்டும் கவனஞ்செலுத்துவோம்.



இயோவான் தாற்றன் (1766-1844) ஒரு ஆங்கிலேய வேதியியலர். வெவ்வேறு வகையான அணுக்கள் சேரும் போது அவை சில எளிய விதிகளுக்கு கீழ்ப்படிகின்றன. தாற்றனின் அணுக்கோட்பாடு இந்த விதிகளை ஒரு எளிய வழியில் விளக்குகிறது. இவர் நிறக்குருட்டின் ஒரு கோட்பாட்டையும் வழங்கினார்.

அமிடேயோ அவகாடிரோ (1776-1856) ஒரே வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் சமப் பருமனுள்ள வளிமங்களில் சம எண்ணிக்கையான மூலக்கூறுகள் இருப்பதை ஊகித்தார். இது வெவ்வேறு வளிமங்கள் சேர்வதை ஒரு மிக எளிய வழியில் புரிந்துகொள்ள உதவியது. இதை இப்போது அவகாடிரோவின் கருதுகோள் (விதி) என்று அழைக்கிறோம். இவர் ஐதரசன், ஆக்குசிசன், நைற்றசன் போன்ற வளிமங்களின் மீச்சிறு உள்ளடங்கிகள் அணுக்களல்ல என்றும் அவை ஈரணுவ மூலக்கூறுகள் என்றும் மொழியுரைத்தார்.

## 13.3 வளிமங்களின் நடத்தை

திண்மநீர்ம ஒப்பீட்டில் வளிமங்களின் பண்புகள் புரிந்து கொள்ள எளிதானவை. வளிமங்களின் மூலக்கூறுகள் அதிக தொலைவில் இருப்பதாலும் அவற்றுக்கிடையில் நடைபெறும் வினைகள் குறைவாக இருப்பதாலும் இவ்வாறான எளிய புரிதல் கிடைக்கிறது. வளிமங்கள் குறைந்த அழுத்தத்திலும் அதிக வெப்பத்திலும் இருக்கும் போது அவற்றின் அழுத்தம் வெப்பநிலை, பருமன் ஆகியவற்றை

$$PV = KT \qquad (13.1)$$

என்ற சமன்பாட்டால் இணைக்கலாம்; இங்கு $T$ கெல்வின் அலகில் வெப்ப நிலையை குறிக்கிறது. $K$ மாறிலி; ஆனால் அது வளிமத்தின் நிறையைப் பொறுத்து மாறுகிறது. இப்போது நாம் அணுவும் மூலக்கூறுமான சித்திரத்தை கொண்டுவரும் போது இந்த மாறிலி மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கைக்கு நேர்த்தகவானது. எனவே இதை $K = Nk$ என்று எழுதலாம். கண்டறிதல்கள் அனைத்து வளிமங்களுக்கும் $k$ ஒரே அளவானதாக இருப்பதை தெரிவிக்கின்றன. இந்த மாறிலியை போட்சுமனின் மாறிலி என்றழைத்து $k_B$ என்று குறிக்கிறோம்.

$$\frac{P_1V_1}{N_1T_1} = \frac{P_2V_2}{N_2T_2} = \text{மாறிலி} = k_B \qquad (13.2)$$

$P, V, T$ ஆகியவை சமமாகும் போது $N$உம் அனைத்து வளிமங்களுக்கும் சமமாகிறது. அவகாடிரோவிதியின்படி மாறாத வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் ஒரு குறிப்பிட்ட பருமனில் இருக்கும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை அனைத்து வளிமங்களுக்கும் சமம். 22.4 இலிட்டர் பருமனில் இந்த எண் அனைத்து வளிமங்களுக்கும் $6.02 \times 10^{23}$ என்ற மதிப்புள்ளது. இதை அவகாடிரோவின் எண் $(N_a)$ என அழைக்கிறோம். செவெவவில் (செந்தர வெப்பநிலையான $273\ K$யிலும் செந்தர அழுத்தமான 1 வளிக்கோளத்திலும்) 22.4 இலிட்டர் பருமனுள்ள எந்த வளிமத்தின் நிறையும் கிராமில் அதன் மூலக்கூறுநிறைக்கு சமம். இந்த அளவான பொருளை ஒரு மோல் என்கிறோம் (இரண்டாம் படலத்தில் மேலும் துல்லியமான வரையறையை காண்க).

ஒரே வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் சமப்பருமனுள்ள வளிமங்களில் மூலக்கூறெண்ணிக்கை சமமாயிருப்பதை அவகாடிரோ வேதிவினைகளிலி ருந்து ஊகித்திருந்தார். வளிமங்களின் இயங்கியற்கொள்கை இந்த கருதுகோளுக்கு உறுதியளிக்கிறது.

நல்லியல்புவளிமச்சமன்பாட்டை

$$PV = \mu RT \qquad (13.3)$$

என்று எழுதலாம்; இங்கு $\mu$ மோல்களின் எண்ணிக்கை, $R = N_a k_b$ ஒரு அனைத்துவ மாறிலி; $T$ ஒப்பிலா வெப்பநிலை. ஒப்பிலா வெப்பநிலைக்கு கெல்வின் அலகை எடுக்கும்போது $R = 8.314\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$ என்ற மதிப்புள்ளது. மோல்களின் எண்ணிக்கையை

$$\mu = \frac{M}{M_0} = \frac{N}{N_A} \qquad (13.4)$$

என்று எழுதலாம்; இங்கு $M$ என்பது $N$ மூலக்கூறுகளுள்ள வளிமத்தின் நிறை, $M_0$ மோலிர நிறை, $N_A$ அவகாடிரோவெண். (13.4)ஆம் சமன் பாட்டை பயன்படுத்தி (13.3)ஆம் சமன்பாட்டை

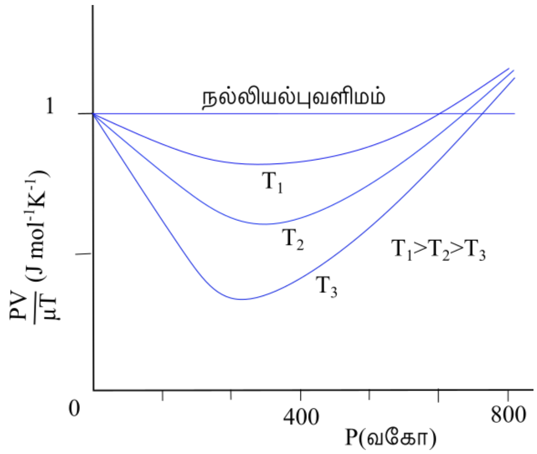
$$PV = k_B NT\ ;\ \text{அதாவது}\ P = k_B nT$$

என்று எழுதலாம்; இங்கு $n$ எண்ணடர்வு, அதாவது ஒரு அலகு பருமனிலுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை; $k_b$ போட்சுமன்மாறிலி; அதன் மதிப்பு அவ அலகுகளில் $1.38 \times 10^{-23}\ J\ K^{-1}$.

(13.3) ஆம் சமன்பாட்டின் மற்றொரு பயனுள்ள வடிவம்

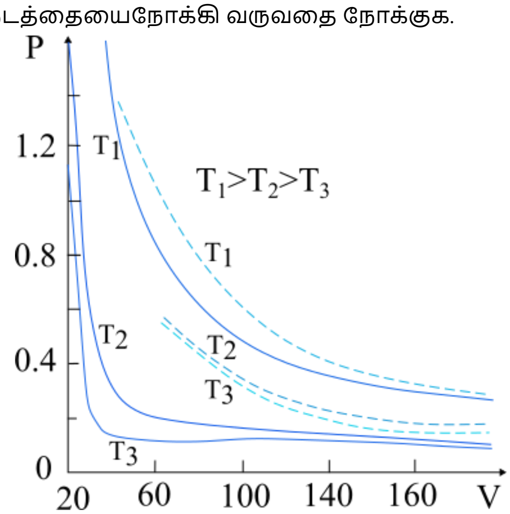
$$P = \frac{\rho RT}{M_0} \qquad (13.5)$$

என்பது; இங்கு $\rho$ நிறையடர்வு.




**படம் 13.1 இயல்வளிமங்கள் குறைந்த அழுத்தத்திலும் அதிக வெப்பநிலையிலும் நல்லியல்புவளிமங்களின் நடத்தையை அணுகுகின்றன.**

எல்லா அழுத்தங்களிலும் வெப்பநிலைக ளிலும் (13.3)ஆம் சமன்பாட்டை பின்பற்றும் வளிமத்தை **நல்லியல்புவளிமம்** என்கிறோம். நல்லியல்புவளி மம் என்பது வளிமங்களின் ஒரு கோட்பாட்டு ஒப்புரு. உண்மையில் எந்த ஒரு வளிமமும் முழு நல்லியல்பாக இருப்பதில்லை. படம் 13.1 ஒரு மெய்வளிமம் நல்லியல்புநடத்தை யிலிருந்து விலகுவதை மூன்று வெப்பநிலை களில் காட்டுகிறது. இந்த மூன்று வளைவரை களும் குறைந்த அழுத்தத்திலும் அதிக வெப்பநிலையிலும் நல்லியல்புவளிமத்தின் நடத்தையைநோக்கி வருவதை நோக்குக.



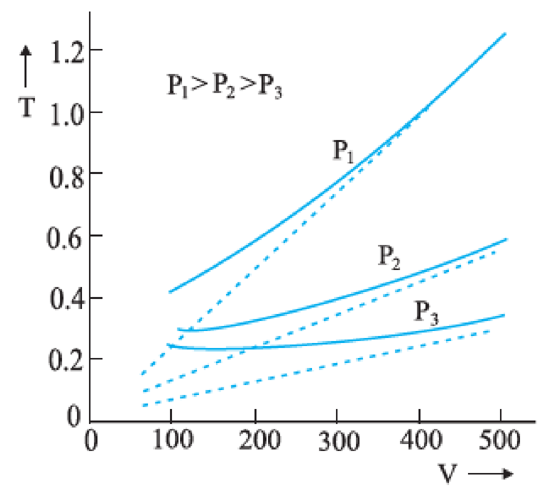

**படம் 13.2 நீராவிக்காக மூன்று வெப்பநிலைகளில் பரிசோதனைகளால் பெற்ற $p, V$ வளைவரைகளை (திண்மக்கோடுகள்) பாயிலின் விதியிலிருந்து பெற்றவற்றுடன் (புள்ளிக்கோடுகள்) ஒப்பிடல். $P$ 22 $atm$ அலகிலும் $V$ 0.09 இலிட்டர் அலகிலும் உள்ளன.**

குறைந்த அழுத்தத்திலோ அதிக வெப்பநிலை யிலோ வளிமமூலக்கூறுகள் அதிக தொலைவுகளில் இருப்பதால் அவற்றின் இடைவினைகள் புறக்கணிக் கத்தக்கவை. இடைவினைகள் இல்லாததால் இத்த கைய வளிமங்கள் நல்லியல்பாக செயல்படுகின்றன.

(13.3)ஆம் சமன்பாட்டில் $T$யையும் $\mu$வையும் மாறாமல் வைத்தால்

$$PV = \text{மாறிலி} \qquad (13.6)$$

என்பது கிடைக்கிறது. வெப்பநிலையை மாறாமல் வைத்துக்கொண்டால் அழுத்தம் பருமனுக்கு புரட்டுவிழுக்காட்டில் மாறுகிறது. இது **பாயிலின் விதி.** படம் 13.2 $PV$ வளைவரை களின் பரிசோதனைமதிப்புகளை பாயிலின் விதி தரும் கோட்பாட்டுமதிப்புகளுடன் ஒப்பிட்டுக்காட்டுகிறது. இங்கும் உயர் வெப்ப நிலைகளிலும் குறைந்த அழுத்தங்களிலும் இரண்டு மதிப்புகளும் உடன்படுவதை காண்கிறோம்.




**படம் 13.3 $CO_2$க்கு மூன்று வெப்பநிலைகளில் பரிசோதனைகளால் பெற்ற $T, V$ வளைவரைகளை (திண்மக்கோடுகள்) சார்லசின் விதியுடன் (புள்ளிக்கோடுகள்) ஒப்பிடல். $T$ 300$K$ அலகிலும் $V$ 0.13 இலிட்டர் அலகிலும் உள்ளன.**

இறுதியாக, இடைவினையற்ற நல்லியல்பு வளிமங்களின் கலவையை கருதுக. $V$ பருமனுள்ள கொள்கலனில் $T$ வெப்பநிலையிலும் $P$ அழுத்தத் திலும் முதல் வளிமத்தின $\mu_1$ மோல்களும் இரண்டாம் வளிமத்தின் $\mu_2$ மோல்களும் என்றிவ்வாறே இருப்ப தாக கொள்வோம். இந்த கலவையில் சமன்பாடு

$$PV = (\mu_1 + \mu_2 + \cdots)RT \qquad (13.7)$$

$$P = \mu_1 \frac{RT}{V} + \mu_2 \frac{RT}{V} + \cdots \qquad (13.8)$$

$$= P_1 + P_2 + \cdots \qquad (13.9)$$

$P_1 = \mu_1 \frac{RT}{P}$ என்பது வேறு எந்த வளிமமும் இல்லாதபோது அதே வெப்பநிலையிலும் பருமனிலும் முதல் வளிமம் உணரும் அழுத்தம் என்பது தெரிகிறது. இதை வளிமத்தின் பகுதியழுத்தம் என்கிறோம். எனவே மொத்த அழுத்தம் பகுதியழுத்தங்களின் கூட்டுத்தொகை. இது தாற்றனின் பகுதியழுத்த விதி.

இப்போது மூலக்கூறுகள் எடுக்கும் பருமனையும் ஒரு மூலக்கூறின் பருமனையும் பற்றிய தகவல்களை தரும் சில சான்றுகளை காண்போம்.

**சிக்கல் 13.1**

நீரின் அடர்வு $1000\ kg\ m^{-3}$. $100°C$யிலும் 1 வளிக்கோள அழுத்தத்திலும் நீராவியின் அடர்வு $0.6\ kg\ m^{-3}$. ஒரு மூலக்கூறின் பருமனையும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை யையும் பெருக்கிய தொகையை மூலக்கூறு பருமன் என்கிறோம். மூலக்கூறுபருமனுக்கும் மேற்கூறிய அழுத்தவெப்பநிலையில் நீராவி எடுக்கும் பருமனுக்குமான விகிதத்தை மதிப்பிடுக.

**தீர்வு**

நீர்மூலக்கூறுகளின் ஒரு குறிப்பிட்ட நிறைக்கு, பருமன் அதிகமெனில் அடர்வு குறைவு. ஆவியின் அடர்வு நீரின் அடர்வைப்போல் $1000/0.6 = 1/(6 \times 10^{-4})$ மடங்கு. பரும நீரின் அடர்வும் நீர்மூலக்கூறின் அடர்வும் சமம் எனில், மூலக்கூறுபருமனுக்கும் மொத்தப்பருமனுக்கு முள்ள விகிதம் 1. ஆவிநிலையில் பருமன் அதிகரிப்பதால் பருமவிகிதம் அதே அளவுக்கு சிறியது. அதாவது, $6 \times 10^{-4}$ என்ற அதே அளவுக்கு சிறியது.

**சிக்கல் 13.2**

13.1ஆம் பயிற்சியிலுள்ள தரவுகளை பயன்படுத்தி ஒரு நீர்மூலக்கூறின் பருமனை மதிப்பிடுக.

**தீர்வு**

நீர்ம நிலையிலும் திண்ம நிலையிலும் நீரின் மூலக்கூறுகள் மிக நெருக்கமாக பொதிந்துள்ளன. எனவே, நீர்மூலக்கூறுகளின் அடர்வை தோராய மாக பருமநீரின் அடர்வுக்கு சமமாக கொள்ளலாம்; அதாவது, $1000\ kg\ m^{-3}$. நீர்மூலக்கூறின் பருமனை மதிப்பிட ஒரு மூலக்கூறின் நிறை தெரியவேண்டும். ஒரு மோல் நீரின் நிறை சுமார் $(2+16)g = 18\ g = 0.018\ kg$ என்பது நமக்கு தெரிந்ததே. ஒரு மோலில் சுமார் $6 \times 10^{23}$ (அவகாடிரோவின் எண்) மூலக்கூறுகள் இருப்ப தால் ஒரு நீர்மூலக்கூறின் நிறை

$$\frac{(0.018)}{6 \times 10^{23}} kg = 3 \times 10^{-26}\ kg$$

எனவே, நீர்மூலக்கூறின் பருமனின் ஒரு மதிப்பீடு

$$= \frac{3 \times 10^{-26}\ kg}{1000\ kg\ m^{-3}} = 3 \times 10^{-29}\ m^3$$

$$= \left(\frac{4}{3}\right)\pi(\text{ஆரம்})^3$$

எனவே, ஆரம்$= 2 \times 10^{-10}\ m = 2Å$.

**சிக்கல் 13.3**

நீராவியில் சராசரி மூலக்கூறிடைத் தொலைவு என்ன? 13.1, 13.2 ஆகிய பயிற்சிக ளிலுள்ள தரவுகளை பயடன்படுத்துக.

**தீர்வு**

குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள நீராவியில் அதே நிறையான நீரிலுள்ளதுபோல் $1.67 \times 10^3$ மடங்கு பருமன் உள்ளது (பயிற்சி 13.1) ஒவ்வொரு மூலக்கூறுக்கும் கிடைக்கும் பருமனும் இதே மடங்கில் அதிகம். பருமன் $10^3$ மடங்கால் அதிகரிக்கும்போது ஆரம் $V^{\frac{1}{3}}$ மடங்கால் அதிகரிக்கிறது. அதாவது 10 மடங்கு. எனவே ஒரு மூலக்கூறுக்கு கிடைக்கும் பருமனின் ஆரம் $10 \times 2\ Å = 20Å$ . இரண்டு மூலக்கூறுகளுக்கிடையான தொலைவு $2 \times 20Å = 40Å$.

**சிக்கல் 13.4**

ஒரு கொள்கலனில் நியான் என்ற ஓரணுவ வளிமமும் ஆக்குசிசன் என்ற இரட்டையணுவ வளிமமும் இருக்கின்றன. இவை ஒன்றுட னொன்று வினைபுரியாதவை. இவற்றின் பகுதியழுத்தங்களின் விகிதம் $3:2$. (அ) மூலக்கூறெண்ணிக்கையிலும் (ஆ) நிறையடர் விலும் நியானுக்கும் ஆக்குசிசனுக்குமுள்ள விகிதங்களை காண்க. நியானின் அணுநிறை $20.2\ u$, ஆக்குசிசனுடையது $32.0\ u$.

**தீர்வு**

கலவையிலுள்ள ஒரு வளிமத்தின் பகுதிய ழுத்தம் அதே பருமனிலும் வெப்பநிலையிலும் கொள்கலனில் தனியாக இருக்கும்போது செலுத்தும் அழுத்தம். (வினைபுரியாத வளிமங்களின் ஒரு கலவையின் மொத்த அழுத்தம் அதன் உள்ளடங்கிகளின் பகுதி யழுத்தங்களின் கூட்டுத்தொகை.) ஒவ்வொரு (நல்லியல்பு) வளிமமும் வளிமவிதிக்கு கீழ்ப்படிகிறது. $V$யும் $T$யும் இரண்டு வளிமங்களுக்கும் பொதுவானவை என்பதால் $P_1V = \mu_1 RT$, $P_2V = \mu_2 RT$; அதாவது, $P_1/P_2 = \mu_1/\mu_2$. இங்கு 1உம் 2உம் முறையே நியானையும் ஆக்குசிசனையும் குறிக்கின் றன. $P_1/P_2 = 3/2$ என்று கொடுத்திருப்பதால், $\mu_1/\mu_2 = 3/2$ .

(அ) வரையறையின்படி $\mu_1 = (N_1/N_A)$, $\mu_2 = N_2/N_A$; இங்கு, $N_1$, $N_2$ ஆகியவை முறையே 1, 2 ஆகிய மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கைகள்; $N_A$ அவகாடிரோவின் எண். எனவே, $N_1/N_2 = \mu_1/\mu_2 = 3/2$.

(ஆ) $\mu_1 = (m_1/M_1)$, $\mu_2 = (m_2/M_2)$ என்றும் எழுதலாம்; இங்கு, $m_1$, $m_2$ ஆகியவை

முறையே 1, 2இன் நிறைகள்; $M_1$, $M_2$ மூலக்கூறுநிறைகள். $m_1, M_1$ ஆகிய இரண்டும் ஒரே அலகில் இருக்கவேண்டும்; $m_2$, $M_2$உம் ஒரே அலகில் இருக்கவேண்டும். $\rho_1$, $\rho_2$ நிறையடர்வுகள் எனில்,

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{m_1/V}{m_2/V} = \frac{m_1}{m_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \times \left(\frac{M_1}{M_2}\right) = \frac{3}{2} \times \frac{20.2}{32.0} = 0.947$$

## 13.4 நல்லியல்புவளிமத்தின் இயங்கியற்கோட்பாடு

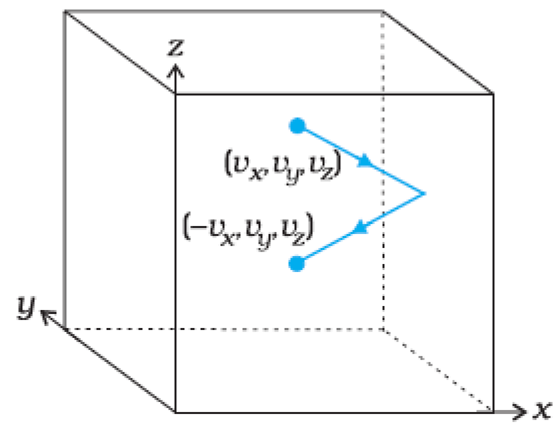
வளிமங்களின் இயங்கியற்கோட்பாடு பருப் பொருளின் மூலக்கூறுசித்திரத்தின் அடிப்படை யிலானது. குறிப்பிட்ட அளவான ஒரு வளிமம் ஒரு பேரெண்ணிக்கையான (பொதுவாக, அவகாடிரோ எண்ணிக்கையான) மூலக்கூறுக ளின் தொகுதி; இந்த மூலக்கூறுகள் இடைவிடாத நேர்ந்தவாறான அசைவில் இருக்கின்றன. இயல்பான அழுத்தத்திலும் வெப்பநிலையிலும், மூலக்கூறுகளிடையான சராசரித்தொலைவு மூலக்கூறுகளின் சராசரியளவான 2Åத்தைவிட சுமார் பத்துமடங்கு அதிகம். இதனால் மூலக்கூறிடைவினையை புறக்கணித்து ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் நியூட்டனின் முதல்விதி யின்படி நேர்க்கோட்டில் அசைவதாக கொள்ளலாம். ஆனால், எப்போதாவது அவை அருகில் வரும்போது மூலக்கூறிடை விசைகளால் அவற்றின் திசைவேகங் கள் மாறுகின்றன. இந்த இடைவினைகளை நாம் மோதல்கள் என்று அழைக்கிறோம். இவ்வாறு மூலக்கூறுகள் ஒன்றுடனொன்றும் கொள்கலனின் சுவர்களிலும் மோதி திசைவேகங்கள் மாறுவதும் இடைவிடாது நிகழ்கிறது. இந்த மோதல்களை மீண்மமோதல்க ளாக நாம் கருதுகிறோம். இயங்கியற் கோட்பாட்டின் அடிப்படையில் வளிமத்தின் அழுத்தத்துக்கு ஒரு கோவையை வருவிக்கலாம்.

ஒரு வளிமத்தின் மூலக்கூறுகள் இடைவிடாத நேர்ந்தவாறான அசைவிலிருக்கின்றன என்பதும் ஒன்றுடனொன்றும் கொள்கலச்சுவர்களுடனும் மோதுகின்றன என்பதுமான எண்ணத்தில் தொடங்குகிறோம். இந்த எல்லா மோதல்களும் மீண்மமானவை. இது மொத்த இயக்கவாற்றல் மாறிலி என்பதை உள்ளுரைக்கிறது. மொத்த உந்தம் வழக்கம்போல் அழியாக்காப்புள்ளது.

### 13.4.1 நல்லியல்புவளிமத்தின் அழுத்தம்

$l$ பக்கமுள்ள ஒரு கனச்சதுர கொள்கலனில் அடங்கிய ஒரு வளிமத்தை கருதுவோம். ஒருங்களவச்சுகளை கனச்சதுரத்தின் விளிம்புக ளுக்கு நேராக படம் 13.4இல் காட்டியபடி எடுப்போம்.

$(v_x, v_y, v_z)$ என்ற திசைவேகமுள்ள ஒரு மூலக்கூறு $yz$தளத்துக்கு இணையானதும் $A = l^2$ என்ற பரப்பளவுள்ளதுமான தளச்சுவரில் மோதுகிறது. மோதல் மீண்மமானது என்பதால் மூலக்கூறு அதே திசைவேகத்துடன் பின்றெறிக்கிறது. திசைவேகத் தின் $y, z$ யகைகள் மாறாமல் $x$ அகை குறிமாறுகிறது. அதாவது மோதலுக்குப்பின் திசைவேகம் $(-v_x, v_y, v_z)$. மூலக்கூறின் உந்தத்தில் மாற்றம் $-mv_x - (mv_x) = -2mv_x$. உந்தத்தின் அழியாக் காப்புக்கொள்கையால், சுவர் $2mv_x$ உந்தத்தை பெறுகிறது.




படம் 13.4 கொள்கலச்சுவரில் ஒரு மூலக்கூறின் மீண்மமோதல்

சுவரின்மீதான விசையை (அழுத்தத்தை) கணக்கிட, ஓரலகு நேரத்தில் சுவரில் வளிமம் செலுத்தும் விசையை கணக்கிடவேண்டும். $\Delta t$ என்ற சிறு நேர இடைவெளியில் திசைவேகத்தின் $v_x$ என்ற $x$ அகையுள்ள ஒரு மூலக்கூறு சுவரில் மோதவேண்டுமெனில், அது சுவரிலிருந்து $v_x \Delta x$ என்ற தொலைவுக்குள் இருக்கவேண்டும். அதாவது, $Av_x\Delta t$ என்ற பருமனிலுள்ள எல்லா மூலக்கூறுகளும் $\Delta t$ என்ற நேரத்துக்குள் $A$ பரப்பளவுள்ள சுவரில் மோதுகின்றன. ஆனால், சராசரியாக பாதி மூலக்கூறுகள் சுவரைநோக்கியும் மறுபாதி சுவரிலிருந்து விலகியும் அசைகின்றன. எனவே, $\Delta t$ என்ற நேரத்தில் இந்தச்சுவரில் மோதும் $(v_x, v_y, v_z)$ திசைவேகமுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை $\frac{1}{2}Av_x\Delta tn$; இங்கு $n$ அலகுப்பருமனிலுள்ள மூலக்கூறு களின் எண்ணிக்கை. இந்த மூலக்கூறுகள் $\Delta t$யில் சுவருக்கு மாற்றலாக்கும் மொத்த உந்தம்

$$Q = (2mv_x)\left(\frac{1}{2}n\, A\, v_x\, \Delta t\right) \qquad (13.10)$$

சுவரின்மீதான விசை உந்தமாற்றல்வீதமான $Q/\Delta t$; அழுத்தம் அலகுப்பரப்பில் விசை.

$$P = \frac{Q}{A\Delta t} = n\, m\, v_x^2 \qquad (13.11)$$

உண்மையில் ஒரு வளிமத்திலுள்ள எல்லா மூலக்கூறுகளுக்கும் ஒரே திசைவேகம் இருப்பதில்லை. திசைவேகங்களின் ஒரு பரவல் இருக்கிறது. மேற்கண்ட சமன்பாடு $x$ திசையில் $v_x$ வேகமுள்ள மூலக்கூறுகளால் ஏற்படும் அழுத்தத்தை தருகிறது. $n$ அந்த மூலக்கூறு களின் எண்ணடர்வு. மொத்த அழுத்தத்தை பெற, இவ்வாறான எல்லாத்தொகுதிகளின் பங்களிப் பையும் கூட்டவேண்டும்.

$$P = n\, m\, \overline{v_x^2} \qquad (13.12)$$

இங்கு $\overline{v_x^2}$ என்பது $v_x^2$ இன் சராசரி. வளிமம் சமதிசையானது; அதாவது மூலக்கூறுகளின் திசைவேகத்துக்கு விரும்பத்தக்க திசை என்பது இல்லை. எனவே, சமச்சீர்மையால்

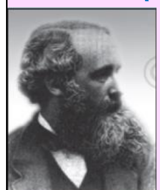
$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3}\left(\overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}\right) = \frac{1}{3}\overline{v^2} \qquad (13.13)$$

இங்கு $v$ வேகம்; $\overline{v^2}$ வேகத்தின் வர்க்கச்சராசரி. இவ்வாறு

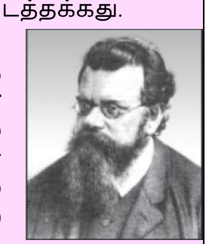
$$P = \frac{1}{3} n\, m\, \overline{v^2} \qquad (13.14)$$

இந்த வருவித்தல்களில் சில குறிப்புரைகளை கூறுவோம். முதலாவதாக, கொள்கலனை நாம் கனச்சதுரமாக எடுத்திருப்பினும், அதன் வடிவம் விளைவற்றது. ஒரு குறிப்பற்ற வடிவமுள்ள கொள்கலனுக்கு, நாம் சுழியெல்லைச்சிறிதான ஒரு தட்டைப்பரப்பை எடுத்து அதற்கு மேற்கண்ட படிகளை நிறைவேற்றலாம்.. மேலும் பரப்பளவான $A$யும் $\Delta t$யும் இறுதிச்சமன்பாட்டில் வராததையும் காண்கிறோம். **Error! Reference source not found.**இல் படித்த பாசுக்கல் விதியின்படி சமநிலையிலுள்ள ஒரு வளிமத்தின் ஒரு பகுதியிலுள்ள அழுத்தம் மற்றப்பகுதிகளின் அழுத்தத்துக்கு சமம். இரண்டாவதாக, நம் கணக்கீடுகளில் மோதல்களை புறக்கணித்தோம். இந்த கருதுகோளை இறுக்கமாக நிறுவுவது கடினம்; எனினும், இது இறுதியில் எந்த பிழையையும் புகுத்தவில்லை என்பதை பண்பியமாக காண்போம். $\Delta t$ என்ற நேரத்தில் ஒரு சுவரில் மோதும் மூலக்கூறு களின் எண்ணிக்கை $\frac{1}{2}\, n\, A\, v_x\, \Delta t$ என்று கண்டோம். $(v_x, v_y, v_z)$ என்ற திசைவேகத்திலுள்ள ஒரு மூலக்கூறு மற்றொரு மூலக்கூறுடன் மோதுவதால் அதன் திசைவேகம் மாறுவதை கருதுவோம். மோதல்கள் நேர்ந்தவாறானவை என்பதாலும் வளிமம் சீருறுதி நிலையில் இருப்பதாலும், வளிமத்தில் வேறொரு தொடக்கத்திசைவேகமும் மோதலுக் குப்பின் $(v_x, v_y, v_z)$ திசைவேகமுமுள்ள ஒரு மூலக்கூறை நாம் எப்போதும் காணலாம். அவ்வாறில்லாவிட்டால், திசைவேகங்களின் பரவல் சீருறுதியாக இருக்காது. எவ்வாறாயினும், நாம் $\overline{v_x^2}$ என்ற சராசரியையே காண விரும்புகிறோம். எனவே, ஆக மொத்தத்தில் மூலக்கூறுகளின் மோதல்கள் (மிகவும் அடிக்கடி நிகழாமலும் மோதலுக்கிடையான நேரத்தின் ஒப்பளவில் மோதலுக்கு ஆகும் நேரம் மிக்ககுறை வாகவும் இருக்கும்போது) மேற்கண்ட நம் கணக்கீட்டில் மாற்றங்களை ஏற்படுத்தவில்லை.

## வளிமங்களின் இயங்கியற்கோட்பாட்டை நிறுவியவர்கள்



சுகாலாந்திலுள்ள எடின்பராவில் பிறந்த **இயேமசு கிளார்க்கு மேக்குவல்** (1831-1879) பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் மாபெரும் இயற்பியலருள் ஒருவர். இவர் வளிமத்திலுள்ள மூலக்கூறு களின் வெப்பத்திசைவேகப் பரவலை வருவித்தார்; பாகுமை போன்ற அளக்கத்தகு அளவுகளிலிருந்து மூலக்கூறளவுருக் களின் நம்பகமான மதிப்பீடுகளை முதன்முதலில் பெற்றார். கூலும், அருசுட்டடு, ஆம்பியர், பாரடே ஆகியோர் கண்டுபிடித்த மின்சாரவிதிகளையும் காந்தவிதிகளையும் இப்போது நாம் மேக்குவல் லின் சமன்பாடுகள் என்றழைக்கும் ஒரு இயைபான சமன்பாட்டுக் கணமாக ஒன்றாக்கியது மேக்குவலின் மாபெரும் சாதனை. இந்த சமன்பாடுகளி லிருந்து ஒளி ஒரு மின்காந்த அலை என்ற மிகமுக்கியமான முடிவை வந்தடைந்தார். பாரடேயின் மின்னாற்பகுப்புவிதிகள் மின்சாரத்தின் துகளியல்பை வலிமையாக மொழிவுரைப்பினும் மேக்குவல் அதை ஏற்கவில்லை என்பது குறிப்பிடத்தக்கது.



ஆசுத்திரியாவிலுள்ள வியன்னாவில் பிறந்த **இலூடுவிகு போட்சுமன்** (1844-1906) மேக்குவல்லை சாராமல் வளிமங்களின் இயங்கியற் கோட்பாட்டில் பணியாற்றினார். இயங்கியற் கோட்பாட்டின் அடிப்படை யான அணுவியத்தை திடமாக வலிந்துரைத்த இவர் ஆற்றலியக்கத்தின் இரண்டாம் விதிக்கும் சீர்குலைவு எனும் கருத்துரு வுக்குமான புள்ளியியப்பொருளுணர்வை வழங்கினார். இவர் தொன்மைப்புள்ளியிய வெந்திரவியலின் நிறுவுநருள் ஒருவராக கருதப்படுகிறார். இவரது மேதகுமைக்காக இயங்கியற்கோட்பாட்டில் ஆற்றலையும் வெப்பநிலையையும் இணைக்கும் விழுக்காட்டுமாறிலியை போட்சுமன்மாறிலி என்றழைக்கிறோம்.

### 13.4.2 வெப்பநிலையை இயக்கத்தால் பொருளுணர்தல்

(13.14)ஆம் சமன்பாட்டை

$$PV = \frac{1}{3} nV\, m\, \overline{v^2}$$

$$PV = \frac{2}{3} N \times \left(\frac{1}{2} m\overline{v^2}\right) \qquad (13.15)$$

என்று எழுதலாம்; இங்கு $N = nV$ என்பது மாதிரிக்கூறிலுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை. அடைப்புக்குறிக்குள்ளிருப்பது நகர்வின் சராசரி யான இயக்கவாற்றல். நல்லியல்பு வளிமத்தில் அகவாற்றல் முற்றிலும் இயக்கவாற்றல் என்பதால்

$$E = N \times \frac{1}{2} m\overline{v^2} \qquad (13.16)$$

இதனால், (13.15)ஆம் சமன்பாடு

$$PV = \frac{2}{3} E \qquad (13.17)$$

என்றாகிறது.

இப்போது நாம் வெப்பத்தின் இயக்கப் பொருளுணர்வை புரிந்துகொள்ளலாம். (13.17)ஆம் சமன்பாட்டை நல்லியல்புச் சமன்பாடான (13.3)உடன் சேர்த்து

$$E = \frac{3}{2} k_B NT \qquad (13.18)$$

$$E/N = \frac{1}{2} m\overline{v^2} = \frac{3}{2} k_B T \qquad (13.19)$$

என்று பெறுகிறோம். அதாவது ஒரு மூலக்கூறின் சராசரி இயக்கவாற்றல் வளிமத்தின் ஒப்பிலா வெப்பநிலையின் நேர்விழுக்காட்டில் இருக்கிறது. இது நல்லியல்பு வளிமத்தின் அழுத்தத்தையும் பருமனையும் சாராதது; வளிமத்தின் அளக்கக் கூடிய பரும அளவுருவான வெப்பநிலையை (ஒரு ஆற்றலியக்க மாறி) சராசரி இயக்கவாற்றல் எனும் மூலக்கூறளவுடன் உறவாக்கும் ஒரு அடிப்படை விளைவு. இந்த இரண்டு ஆட்களங் களையும் போட்சுமன்மாறிலி இணைக்கிறது. (13.18)ஆம் சமன்பாடு ஒரு நல்லியல்பு வளிமத்தின் அகவாற்றல் வெப்பநிலையை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது என்றும் அது அழுத்தத்தையோ பருமனையோ சார்ந்திருக்க வில்லை என்றும் சொல்வதை போகிறபோக்கில் நோக்குகிறோம். வெப்பநிலையின் இந்த பொருளு ணர்வால், நல்லியல்புவளிமத்தின் இயக்கவாற்றல் நல்லியல்புவளிமச்சமன்பாட்டு டனும் அதன் அடிப்படையிலான பல்வேறு வளிமவிதிகளுடனும் முற்றிலும் ஒவ்வுகிறது.

நல்லியல்புவளிமங்களின் வேதிவினையற்ற கலவையின் மொத்த அழுத்தத்துக்கு ஒவ்வொரு வளிமமும் பங்களிக்கிறது. (13.14) ஆம் சமன்பாடு

$$P = \frac{1}{3}\left[n_1 m_1 \overline{v^2} + n_2 m_2 \overline{v_2^2} + \cdots\right] \qquad (13.20)$$

என்றாகிறது.

சமநிலையில் வெவ்வேறு வளிமங்களின் சராசரி இயக்கவாற்றல் சமம். அதாவது

$$\frac{1}{2} m_1 \overline{v_1^2} = \frac{1}{2} m_2 \overline{v_2^2} = \cdots = \frac{3}{2} k_B T$$

எனவே

$$P = (n_1 + n_2 + \cdots) k_B T \qquad (13.21)$$

இது தாற்றனின் பகுதியமுத்தவிதி.

(13.19)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து ஒரு வளிமத்தி லுள்ள மூலக்கூறுகளின் வகைநிற்ப வேகத்தைப் பற்றி அறிந்துகொள்ளலாம். வெப்பநிலை $T = 300K$ என இருக்கும்போது நைற்றசவளிமத்திலுள்ள மூலக்கூறின் வேகத்தின் சராசரி வர்க்கம்

$$m = \frac{M_{N_2}}{N_A} = \frac{28 \times 10^{-3}\ kg}{6.02 \times 10^{23}} = 4.65 \times 10^{-26}\ kg$$

$$\overline{v^2} = \frac{3k_B T}{m} = (516)^2\ m^2\ s^{-2}$$

$\overline{v^2}$இன் வர்க்கமூலத்தை வேகத்தின் வர்க்கவிடைமமூலம் என்றழைத்து $v_{\text{வவிமூ}}$ என்று குறிக்கிறோம். ($\overline{v^2}$ஐ $\langle v^2\rangle$ என்றும் எழுதுவதுண்டு).

$$v_{\text{வவிமூ}} = 516\ m\ s^{-1}$$

இந்த வேகம் வளியில் ஒலியின் வேகத்தைப் போன்ற முறைமையுள்ளது (13.19)ஆம் சமன்பாட்டி லிருந்து ஒரே வெப்பநிலையில் நிறைகுறைந்த மூலக்கூறுகளுக்கு அதிக வவிமூ வேகம் இருப்பதை அறிகிறோம்.

**சிக்கல் 13.5**

ஒரு வெப்பக்குடுவையில் 2:1 என்ற நிறை விகிதத்தில் ஆர்கானும் குளோரினும் உள்ளன. இந்த கலவையின் வெப்பநிலை $27°C$. இருவிதமான வளிமங்களிடையில் (அ) ஒரு மூலக்கூறின் சராசரி இயக்கவாற்றலின் (ஆ) மூலக்கூறுகளின் வர்க்கவிடைமமூலத்திசை வேகத்தின் விகிதத்தை கணக்கிடுக. ஆர்கானின் அணுநிறை 39.9 $u$ குளோரினின் மூலக்கூறுநிறை 70.9 $u$.

**தீர்வு**

இங்கு முக்கியமாக கவனிக்கவேண்டியது என்னவென்றால், எந்த நல்லியல்பு வளிமத்துக்கும் (அது ஆர்கானைப்போன்ற ஓரணுவ வளிம மெனினும் குளோரினைப்போன்ற இரட்டை யணுவ வளிமமெனினும்) ஒரு மூலக்கூறின் சராசரி இயக்கவாற்றல் எப்போதும் ${}^{3}/_{2}\, K_b T$. இது வெப்பநிலையை சார்ந்தது; வளிமத்தின் இயல்பை சாராதது.

(அ) ஆர்கானும் குளோரினும் குடுவையில் ஒரே வெப்ப நிலையில் இருப்பதால் சராசரி வெப்ப ஆற்றலின் விகிதம் 1:1.

(ஆ) ஒற்றை மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்கவாற்றல்களின் விகிதம்

$$\frac{\left(v^2_{\text{வவிமு}}\right)_{\text{ஆர்}}}{\left(v^2_{\text{வவிமு}}\right)_{\text{குளோ}}} = \frac{m_{\text{குளோ}}}{m_{\text{ஆர்}}} = \frac{M_{\text{குளோ}}}{M_{\text{ஆர்}}} = \frac{70.9}{39.9}$$
$$= 1.77$$

இங்கு $m$ வளிமத்தின் மூலக்கூறுநிறை. இருபுறமும் வர்க்கமூலம் எடுக்க

$$\frac{\left(v_{\text{வவிமு}}\right)_{\text{ஆர்}}}{\left(v_{\text{வவிமு}}\right)_{\text{குளோ}}} = 1.33$$

கலவையின் நிறைக்கூறடக்கம் மேற்கண்ட கணக்கீட்டுக்கு தொடர்பில்லா ததை நோக்குக. வெப்பநிலை மாறாமலிருக் கும்வரை, ஆர்கான், குளோரின் ஆகியவற்றின் வேறெந்தக்கூறடக்கமும் (அ)வுக்கும் (ஆ)வுக்கும் இதே விகிதங்களை தரும்.

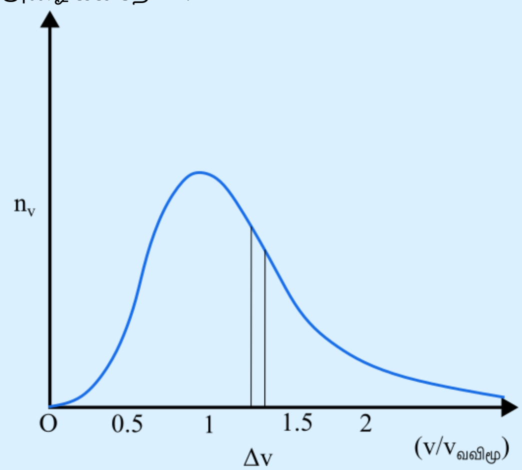
## மேக்குவல்லின் பரவற்சார்பன்

குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வளிமத்தில், அழுத்தம், அளவு, வெப்பநிலை போன்ற பரும அளவுருக்கள் நிலையாக இருந்தாலும், அனைத்து மூலக்கூறுகளின் வேகங்களும் சமமல்ல. மோதல்கள் மூலக்கூறுகளின் வேகத்தையும் திசையையும் மாற்றுகின்றன. இருப்பினும் சமநிலையில் வேகங்களின் பரவல் நிலையானது.

பேரெண்ணிக்கையான பொருள்கள் அடங் கிய அமைப்புகளை கையாளும்போது பரவல்கள் மிகவும் முக்கியமானவையும் பயனுள்ளவையு மாகின்றன. சான்றாக, ஒரு நகரத்திலுள்ள வெவ்வேறு மனிதர்களின் வயதுகளை கருதுக. ஒவ்வொரு தனியாளின் வயதையும் கையாள்வது நடைமுறையன்று. நாம் மக்களை குழுக்களாக பிரிக்கலாம். சான்றாக, குழந்தைகளிலிருந்து 20 வயதானவர்கள்வரை, 20முதல் 60வயதுவரை யான பெரியவர்கள், 60 வயதுக்கு மேற்பட்ட முதியவர்கள் என்று பிரிக்கலாம். மேலும் விவரமான தகவல்கள் வேண்டுமெனில், 0-1, 2-3, ... 99-100 வயதுள்ளவர்கள் போன்ற சிறிய இடைவெளிகளை நாம் தேரலாம். இடைவெளியின் அளவு குறையும்போது அந்த இடைவெளியிலுள்ள தனியாட்களின் எண்ணிக்கையும் குறைகிறது. அதாவது அரையாண்டு இடைவெளியிலுள்ளவர் களின் எண்ணிக்கை ஓராண்டு இடைவெளியி லுள்ளவர்களின் எண்ணிக்கையில் சுமார் பாதியாகலாம். $x$ க்கும் $x + dx$ க்கும் இடையிலான வயதுள்ளவர்களின் எண்ணிக்கையை $dN(x)$ என்று குறித்தால், அது $dx$ க்கு நேர்விழுக்காடானது. அதாவது, $dN(x) = n_x\,dx$. இங்கு, $x$இன் மதிப்பி லுள்ள தனியாட்களின் எண்ணிக்கையை $n_x$ என்று குறிக்கிறோம். இதைப்போல் $v$, $v + dv$ ஆகிய வேகங்களுக்கிடையிலுள்ள மூலக்கூறு களின் எண்ணிக்கையை

$$dN(v) = 4p\,N\,a^3\,e^{-bv^2}v^2dv = n_v dv$$

என்ற மூலக்கூறுவேகப்பரவல் தருகிறது. இதை மேக்குவலின் பரவல் என்று அழைக்கிறோம்.




மூலக்கூறுவேகங்களுக்கான மேக்குவல்லின் பரவல்

$\boldsymbol{v}$க்கு எதிராக $n_v$யின் வரைகோட்டை படம் காட்டுகிறது. $\boldsymbol{v}$க்கும் $\boldsymbol{v + dv}$க்கு மிடையில் வேகமுள்ள மூலக்கூறுகளின் பின்னம் நிழலிட்டுக்காட்டிய பட்டையின் பரப்பளவுக்கு சமம். $\boldsymbol{v^2}$ போன்ற எந்த அளவின் சராசரியையும்

$$\langle v^2\rangle = \frac{1}{N}\int v^2\;dN(v)$$

போன்ற தொகையீடுகள் வரையறுக்கின்றன. இந்த வேகத்தொகையீட்டின் மதிப்பு $v_{\text{வவிமு}} = \sqrt{\langle v^2\rangle} = \sqrt{3k_BT/m}$. இது மேலும் அடிப்படை யான கருத்துகளிலிருந்து பெற்ற மதிப்புடன் ஒத்திருக்கிறது.

**சிக்கல் 13.6**

உரேனியத்துக்கு 235, 238 ஆகிய நிறைகளுள்ள இரண்டு சமவிடத்தான்கள் உள்ளன. உரேனியவறுபுளோரைட்டின் வளிமத்தில் இவை இரண்டும் இருந்தால், எதற்கு அதிகமான சராசரிவேகம் இருக்கும்? புளோரினின் அணுநிறை 19 அலகுகள் எனில், எந்த வெப்பநிலையிலும் வேகவேறுபாட்டின் நூற்றுவீதத்தை மதிப்பிடுக.

**தீர்வு**

மாறா வெப்பநிலையில் சராசரியாற்ற லான $^1/_2\,m\langle v^2\rangle$ மாறிலி. எனவே மூலக்கூறின் நிறை சிறியதாக இருக்கும்போது அதன் வேகம் அதிகம். வேகங்களின் வீதம் நிறைகளின் வர்க்கமூலத்தின் புரட்டு

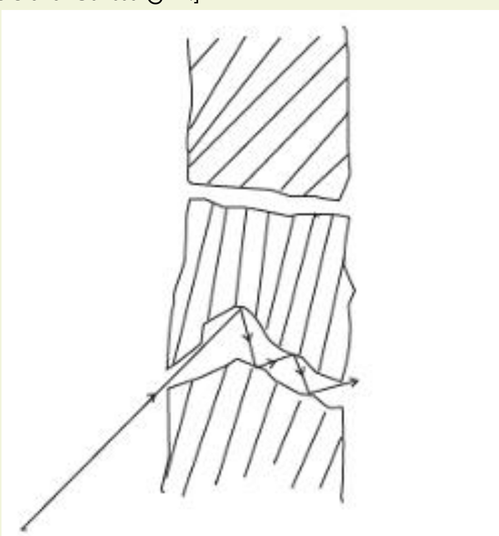
விழுக்காட்டில் இருக்கிறது. இங்கு நிறைகள் $349, 352$ ஆகிய அலகுகள்.

$$\frac{v_{349}}{v_{352}} = \left(\frac{352}{349}\right)^{\frac{1}{2}} = 1.0044$$

எனவே, வேறுபாடு

$$\frac{\Delta V}{V} = 0.44\ \%$$

[அணுக்கருப்பிளவுக்கு தேவைப்படும் சமவிடத்தான் $^{235}U$ . இதனை அதிக மலின முள்ள $^{238}U$இலிருந்து பிரிக்க, புரையுள்ள ஒரு உருளையினுள் கலவையை வைக்கிறார்கள். மூலக்கூறுகள் தனித்தனியாக அலைந்து திரிந்து இந்த புரையுள்ள உருளையின் சுவர்களில் மோத வசதியாக உருளை கடினமாகவும் நீளமாகவும் இருக்கவேண்டும். வேகமான மூலக்கூறுகள் வேகங்குறைந்த மூலக்கூறுகளைவிட அதிகமாக வெளிக்கசிவ தால் புரையுள்ள உருளைக்கு வெளியில் நிறைகுறைந்த மூலக்கூறுகள் அதிகரிக்கின் றன (வளமூட்டல், படம் 13.5). இந்த முறை மிகவும் பயன்றிறனானதன்று. போதுமான வளமூட்டலுக்கு இதை பலமுறை மீண்டும் செய்யவேண்டும்.]



படம் 13.5 புரைகளுள்ள சுவரின்வழி செல்லும் துகள்

வளிமங்கள் விரவும்போது இவற்றின் விரவல்வீதங்கள் நிறைகளின் வர்க்கமூலத் துக்கு புரட்டுவிழுக்காட்டில் இருக்கின்றன. (சிக்கல் 13.12ஐ காண்க.) இதன் விளக்கத்தை மேற்கண்ட விடையிலிருந்து ஊகிக்க இயலுமா?

**சிக்கல் 13.7**

(அ) ஒரு மூலக்கூறு ஒரு சுவரில் மோதும்போது அது (மீண்மப்பந்தைப்போல்) அதே வேகத்துடன் பின்றெறிக்கிறது. ஒரு பந்து உறுதியுடன் நிலையாக வைத்திருக்கும் ஒரு மட்டையுடன் போதும்போதும் இதே விளைவு நிகழ்கிறது. ஆனால், பந்தைநோக்கி நகரும் மட்டையுடன் மோதும் பந்து வேறு வேகத்தில் பின்றெறிக்கிறது. அது வேகமாக நகருமா மெதுவாக நகருமா? (மீண்ம மோதல்களை ஆறாம் படலத்தில் கற்றோம்.)

(ஆ) ஒரு உருளையிலுள்ள வளிமத்தை ஒரு உந்துதண்டால் அமுக்கும்போது அதன் வெப்பநிலை உயர்கிறது. மேலுள்ள (அ)வை பயன்படுத்தி இயங்கியற்கோட்பாட்டின் வழியான இதன் விளக்கத்தை ஊகிக்க.

(இ) அமுக்கிய வளிமம் உந்துதண்டை வெளித்தள்ளி விரியும்போது என்ன நிகழ்கிறது? நாம் என்ன கண்டறியலாம்?

(ஈ) சச்சின் தெண்டுல்கர் விளையாடும் போது நிறைமிகுந்த மட்டையை பயன்படுத்தி னார். இது அவருக்கு எவ்விதத்திலும் உதவியதா?

**தீர்வு**

(அ) மட்டையின் ஒப்பளவில் பந்தின் வேகம் $u$ எனக்கொள்க. மட்டை பந்தை நோக்கி $V$ என்ற திசைவேகத்தில் நகரும் போது மட்டையின் ஒப்பளவில் பந்தின் வேகம் மட்டையைநோக்கி $u + V$ . பந்து மட்டையில் மோதி பின்றெறிக்கும்போது மட்டையை விட்டு $V + u$ என்ற திசைவேகத்தில் நகர்கிறது. திட்டியின் ஒப்பளவில் பந்தின் பின்றெறிப்புவேகம் திட்டியைவிட்டு $V + (V + u) = 2V + u$. ஆகையால் மட்டையில் மோதியபின் பந்தின் வேகம் அதிகரிக்கிறது. மட்டை நிறைமிகுந்தது எனில், பந்தின் வேகமும் அதற்குத்தகுந்தாற்போல் அதிகரிக்கிறது. ஒரு மூலக்கூறுக்கு இது வெப்பநிலையை உயர்த்தும்.

இதன் அடிப்படையில் மற்ற மூன்று கேள்விகளுக்கும் நீங்கள் விடையளிக்கலாம். (உதவி: உந்துதண்டு → மட்டை, உருளை → திட்டி, மூலக்கூறு → பந்து என்ற தொடர்பை நோக்குக.)

## 13.5 ஆற்றலின் சமப்பங்கீட்டு விதி

ஒரு மூலக்கூறின் இயக்கவாற்றல்

$$\varepsilon_t = \frac{1}{2}mv_x^2 + \frac{1}{2}mv_y^2 + \frac{1}{2}mv_z^2 \qquad (13.22)$$

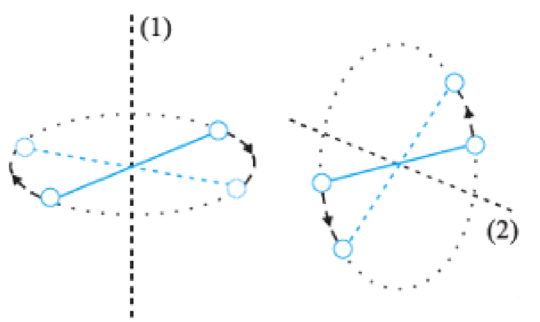
ஒரு வளிமம் T என்ற வெப்பநிலையில் வெப்பச் சமநிலையில் இருக்கும்போது சராசரி ஆற்றலை $\langle\varepsilon_t\rangle$ என்று குறிக்கிறோம்.

$$\langle\varepsilon_t\rangle = \left\langle\frac{1}{2}mv_x^2\right\rangle + \left\langle\frac{1}{2}mv_y^2\right\rangle + \left\langle\frac{1}{2}mv_z^2\right\rangle = \frac{3}{2}k_BT \qquad (13.23)$$

(13.23)ஆம் சமன்பாட்டில் முன்விருப்பத்திசை இல்லாததால்

$$\langle\frac{1}{2}mv_x^2\rangle = \langle\frac{1}{2}mv_y^2\rangle = \langle\frac{1}{2}mv_z^2\rangle = \frac{1}{2}k_BT \quad (13.24)$$

வெளியில் கட்டின்றி அசையும் ஒரு மூலக்கூறின் இடநிலையை குறிப்பிட மூன்று ஒருங்களவுகள் தேவைப்படுகிறன. அது ஒரு தளத்தில் அசையுமாறு கட்டுற்றிருந்தால் இரண்டு ஒருங்களவுகள் தேவை; ஒரு கோட்டில் கட்டுற்றால் ஒரு ஒருங்களவு தேவை. இதை வேறு வழியிலும் சொல்லலாம். அசைவின் ஒவ்வொரு அகையையும் *அசைவகை* (அசைவின் அகை) என்ற சொல்லால் குறிப்பிட்டு, மூலக்கூறுக்கு கோட்டில் ஒரு அசைவகையும் தளத்தில் இரண்டு அசைவகைகளும் வெளியில் மூன்று அசைவகை களும் இருப்பதாக சொல்கிறோம். ஒரு பொருள் மொத்தமாக ஒரு இடத்திலிருந்து மற்றொரு இடத்துக்கு அசைவதை நகர்வு என்கிறோம். ஆகையால் வெளியில் கட்டின்றி அசையும் ஒரு மூலக்கூறுக்கு மூன்று நகர்வகைகள் இருக்கின்றன. ஒவ்வொரு நகர்வகையும் ஒரு அசைவுமாறியின் வர்க்கமான உருபை இயக்கவாற்றலுக்கு பங்களிக் கிறது. $\frac{1}{2}mv_x^2$உம் $v_y$யிலும் $v_z$யிலும் நிகரான உருபுகளும் சான்றுகள். $(13.24)$ஆம் சமன்பாட்டி லிருந்து வெப்பச்சமநிலையில் இவ்வாறான ஒவ்வொரு உருபின் சராசரியும் ${}^{1}/_{2}\,k_BT$ஆக இருப்பதை காண்கிறோம்.




படம் 13.6 **ஒரு ஈரணுமூலக்கூறின் இரண்டு சாராச்சுழற்சியச்சுகள்**

ஆர்கான் போன்ற ஓரணுவளிமத்தின் மூலக்கூறு களில் நகர்வகைகள் மட்டுமே இருக்கின்றன. ஆனால் $O_2$, $N_2$ போன்ற ஈரணுவளிமங்ளின் மூலக்கூறுகளில்? ஒரு $O_2$ மூலக்கூறில் மூன்று நகர்வகைகள் உள்ளன; ஆனால் அதில் நிறைமையத்தைப்பற்றிய சுழற்சியும் இருக்கிறது. படம் 13.6 ஒன்றையொன்று சாராத இரண்டு சுழற்சியச்சுகளை காட்டுகிறது.[1] இவ்வாறு இந்த மூலக்கூறுக்கு இரண்டு சுழலகைகள் இருக்கின்றன. ஒவ்வொரு அசைவகையும் மொத்த ஆற்றலுக்கு ஒரு உருபை பங்களிப்பதால்

$$\varepsilon_{\text{ந}} + \varepsilon_{\text{சு}} = \frac{1}{2}mv_x^2 + \frac{1}{2}mv_y^2 + \frac{1}{2}mv_z^2 + \frac{1}{2}I_1\omega_1^2 + \frac{1}{2}I_2\omega_2^2 \qquad (13.25)$$

இங்கு $\omega_1, \omega_2$ ஆகியவை $1, 2$ ஆகிய அச்சுகளைப் பற்றிய கோணத்திசைவேகங்கள்; $I_1$உம் $I_2$உம் அவற்றுக்கு நிகரான கோணநிறைகள். ஒவ்வொரு சுழலகையும் சுழற்சியசைவின் மாறியின் வர்க்கமுள்ள ஒரு உருபை ஆற்றலுக்கு பங்களிப்பதை நோக்குக.

மேற்கண்டதில் $O_2$மூலக்கூறை நெளியாச் சுழலியாக எடுத்துக்கொண்டோம். அதாவது இந்த மூலக்கூறு அதிர்வதில்லை எனக்கொண்டோம். இந்த எடுகோள் $O_2$க்கு (மிதமான வெப்பநிலைகளில்) சரியாயினும் அது எப்போதும் சரியாவதில்லை. $CO$ போன்ற மூலக்கூறுகளுக்கு மிதமான வெப்பநிலை களிலும் ஒரு அதிர்வுநிலமம் உள்ளது. அதாவது அதன் அணுக்கள் அணுவிடையச்சுக்குநேராக ஒரு ஒற்றைப்பருமான அலைவியைப்போல் அலைவுறுகின்றன. இது மொத்த ஆற்றலுக்கு $\varepsilon_{\text{அ}}$ என்ற ஒரு அதிர்வாற்ற லுருபை வழங்குகிறது.

$$\varepsilon_{\text{அ}} = \frac{1}{2}m\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \frac{1}{2}ky^2$$
$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{ந}} + \varepsilon_{\text{சு}} + \varepsilon_{\text{அ}} \qquad (13.26)$$

இங்கு $k$ அலைவியின் விசைமாறிலி; $y$ அதிர்வின் ஒருங்களவு.

மீண்டும் $(13.26)$ஆம் சமன்பாட்டிலுள்ள அதிர் வாற்றலின் உருபுகளில் அதிர்வின் $y$, $dy/dt$ ஆகிய மாறிகளின் வர்க்கங்கள் இருப்பதை காண்கிறோம்.

இப்போது, $(13.26)$ஆம் சமன்பாட்டின் ஒரு முக்கியமான பண்புக்கூறை நோக்குக. ஒவ்வொரு நகர்வகையும் சுழலகையும் ஒரு வர்க்கவுருபை பங்களிக்கும்போது, ஒரு அதிர்வகை இரண்டு வர்க்கவுருபுகளை வழங்குகிறது. அவற்றுளொன்று இயக்கவாற்றல்; மற்றது இயன்மவாற்றல்.

ஆற்றலின் சமன்பாட்டில் வரும் ஒவ்வொரு வர்க்க உருபும் மூலக்கூறு ஆற்றலை உட்கவரும் ஒரு நிலமமாக இருக்கிறது. ஒப்பிலா வெப்ப நிலையில் வெப்பச்சமநிலையில் நகர்வசைவின் ஒவ்வொரு நிலமத்துக்கும் சராசரியாற்றல் ${}^{1}/_{2}\,k_BT$ என்று கண்டிருக்கிறோம். ஆற்றலின் நிலமங்களான நகர்வு, சுழற்சி, அதிர்வு ஆகிய ஒவ்வொன்றுக்கும் இவ்வாறே இருப்பது

[1] *அணுக்களை இணைக்கும் அச்சைப்பற்றிய சுழற்சிக்கு கோணநிறை மிகச்சிறிது. துணுக்கவெந்திரவியலின் காரணங்களால் இதற்கு விளைவுகள் இல்லை.* 13.6*ஆம் பகுதியின் இறுதியை காண்க.*

தொன்மைப்புள்ளியியவெந்திரவியலின் ஒரு அழகான கொள்கை (முதலில் மேக்குவல் நிறுவினார்). அதாவது, சமநிலையில் மொத்த ஆற்றல் சாத்தியமான எல்லா ஆற்றனிலமங்க ளிலும் சமமாக பரவியுள்ளது. ஒவ்வொரு நிலமத்திலும் சராசரியாக $1/2\, k_B T$ இருக்கிறது. இதை **ஆற்றலின் சமப்பங்கீட்டு விதி** என்று அழைக்கிறோம். இதன்படி மொத்த ஆற்றலுக்கு மூலக்கூறின் ஒவ்வொரு நகர்வகையும் சுழலகையும் $\frac{1}{2}k_B T$ யையும் ஒவ்வொரு அதிர் வகையும் $2\times\frac{1}{2}k_B T = k_B T$யையும் பங்களிக் கின்றன; ஏனெனில் அதிர்வுநிலமத்தில் இயக்க வாற்றலும் இயன்மவாற்றலும் உள்ளன.

ஆற்றலின் சமப்பங்கீட்டு விதியின் நிறுவல் இந்த நூலின் நோக்கவீச்சுக்கு அப்பாற்பட்டது. இங்கு, இந்த விதியை வளிமங்களின் வெப்பக்கொண்மைகளை கோட்பாட்டால் முன்னறிய பயன்படுத்துவோம். பிறகு, திண்மங்களின் வெப்பக்கொண்மைக்கான பயன்மையையும் சுருக்கமாக விளக்குவோம்.

## 13.6 வெப்பக்கொண்மை

### 13.6.1 ஓரணுவளிமங்கள்

ஓரணுவளிமங்களில் மூன்று நகர்வகைகள் மட்டுமே உள்ளன. எனவே, $T$ என்ற வெப்பநிலையில் மூலக்கூறின் சராசரி ஆற்றல் $3/2\, k_B T$. இவ்வாறான வளிமத்தின் ஒரு மோலின் அகவாற்றல்

$$U = \frac{3}{2}k_B T \times N_A = \frac{3}{2}RT \qquad (13.27)$$

மாறாத பருமனில் மோலிரவெப்பக்கொண்மை

$$C_v(\text{ஓரணுவளிமம்}) = \frac{dU}{dT} = \frac{3}{2}R \qquad (13.28)$$

நல்லியல்பு வளிமத்திற்கு

$$C_p - C_v = R \qquad (13.29)$$

இங்கு $C_P$ மாறாத அழுத்தத்தில் மோலிர வெப்பக் கொண்மை. ஆகவே

$$C_p = \frac{5}{2}R \qquad (13.30)$$

வெப்பக்கொண்மைகளின் விகிதம்

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3} \qquad (13.31)$$

### 13.6.2 ஈரணுவளிமங்கள்

முன்பே விளக்கியபடி, ஈரணுவளிமங்களை இருகோள அமைப்புபோன்ற ஒரு நெளியாச்சு ழலியாக கருதினால், ஐந்து அசைவகைகள் உள்ளன. இவற்றுள் 3 நகர்வகைகள், 2 சுழலகைகள். ஆற்றலின் சமப்பங்கீட்டு விதியை பயன்படுத்தி இவ்வாறான மூலக்கூறின் மொத்த ஆற்றல்

$$U = \frac{5}{2k_B T} \times N_A = \frac{5}{2}RT \qquad (13.32)$$

என்று காண்கிறோம். அப்படியெனில், வெப்பக் கொண்மைகள்

$$C_v(\text{நெளியா ஈரணு}) = \frac{5}{2}R, \qquad C_P = \frac{7}{2}R \quad (13.33)$$

$$\gamma(\text{நெளியா ஈரணு}) = \frac{7}{5} \qquad (13.34)$$

என்றாகின்றன.

ஒரு ஈரணுமூலக்கூறு நெளியாததாக இல்லாமல் அதிர்வுநிலமத்துடன் இருந்தால்

$$U = \left(\frac{5}{2}k_B T + k_B T\right) N_A = \frac{7}{2}RT$$

$$C_v = \frac{7}{2}R, \qquad C_p = \frac{9}{2}R, \qquad \gamma = \frac{9}{7}R \quad (13.35)$$

### 13.6.3 பலவணுவளிமங்கள்

பலவணுமூலக்கூறுகளில் 3 நகர்வகைகளும் 3 சுழலகைகளும் ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கை யான $(f)$ அதிர்வகைகளும் உள்ளன. ஆற்றலின் சமப்பங்கீட்டு விதியிலிருந்து இவ்வாறான வளிமத்தின் ஒரு மோலுக்கு

$$U = \left(\frac{3}{2}k_B T + \frac{3}{2}k_B T + f k_B T\right) N_a$$

$$C_v = (3+f)R,$$

$$C_p = (4+f)R, \qquad \gamma = \frac{4+f}{3+f} \qquad (13.36)$$

என்பதை எளிதில் காண்கிறோம். $C_P - C_V = R$ என்பது எந்த நல்லியல்புவளிமத்துக்கும் மெய் என்பதை நோக்குக. அதன் மூலக்கூறில் ஓரணுவோ இரட்டையணுவோ பலவணுவோ இருப்பினும் இது மெய்.

அட்டவணை 13.1 வளிமங்களின் அதிர்வசைவு நிலமங்களை புறக்கணித்து முன்னறிந்த வெப்பக் கொண்மைகளின் கோட்பாட்டு மதிப்புகளை சுருங்கவுரைக்கிறது. பல வளிமங்களுக்கு இவை அட்டவணை 13.2இல் காட்டிய பரிசோதனை மதிப்புகளுடன் ஒத்திருக்கின்றன. அட்டவணையில் காட்டாத $Cl_2$, $C_2H_6$, பல பலவணுவளிமங்கள் போன்ற வேறு பல வளிமங்களுக்கு வெப்பக்கொண்மையின் முன்னறிந்த மதிப்புக்கும் உண்மையான மதிப்புக்கு மிடையிலான ஒப்பிசைவின்மைகள் இருக்கின்றன. வழக்கமாக, இந்த வளிமங்களின் வெப்பக்கொண்மைகளின் பரிசோதனை மதிப்புகள் அட்டவணை 13.1 காட்டும் முன்னறிந்த மதிப்புகளைவிட அதிகமா னவை. இது கணக்கீடுகளில் அசைவின் அதிர்வு நிலமங்களை சேர்த்துக்கொள்வதன்மூலம் உடன் பாட்டை மேம்படுத்தலாம் என்று மொழிவுரைக் கிறது. இவ்வாறு, ஆற்றலின் சமப்பங்கீட்டுவிதி இயல்பான வெப்பநிலைகளில் பரிசோதனைக ளால் நன்கு சரிபார்க்கப்பட்டது.

**அட்டவணை 13.1 வளிமங்களின் வெப்பக்கொண்மைகளின் முன்னறிந்த மதிப்புகள் ($J\ mol^{-1}\ K^{-1}$இல்) (அதிர்வுநிலமங்களை புறக்கணித்து)**

| வளிமத்தின் வகை | $C_v$ | $C_p$ | $C_p - C_c$ | $\gamma$ |
|---|---|---|---|---|
| ஓரணு | 12.5 | 20.8 | 8.31 | 1.67 |
| ஈரணு | 20.8 | 29.1 | 8.31 | 1.40 |
| மூவணு | 24.93 | 33.24 | 8.31 | 1.33 |

**அட்டவணை 13.2 வளிமங்களின் வெப்பக்கொண்மைகளின் அளவிட்ட மதிப்புகள் ($J\ mol^{-1}\ K^{-1}$இல்)**

| வளிமம் | | $C_v$ | $C_p$ | $C_p - C_c$ | $\gamma$ |
|---|---|---|---|---|---|
| ஓரணு | $He$ | 12.5 | 20.8 | 8.30 | 1.66 |
| | $Ne$ | 12.7 | 20.8 | 8.12 | 1.64 |
| | $Ar$ | 12.5 | 20.8 | 8.30 | 1.67 |
| ஈரணு | $H_2$ | 20.4 | 28.8 | 8.45 | 1.41 |
| | $O_2$ | 21.0 | 29.3 | 8.32 | 1.40 |
| | $N_2$ | 20.8 | 29.1 | 8.32 | 1.40 |
| மூவணு | $H_2O$ | 27.0 | 35.4 | 8.35 | 1.31 |
| பலவணு | $CH_4$ | 27.1 | 35.4 | 8.36 | 1.31 |

**சிக்கல் 13.8**

44.8 இலிட்டர் கொள்ளளவுள்ள ஒரு உருளை யில் செந்தர அழுத்தத்திலும் வெப்பநிலையிலும் ஈலியவளிமம் உள்ளது. இந்த உருளையிலுள்ள வளிமத்தை $15°C$ வெப்பநிலைக்கு உயர்த்த எவ்வளவு வெப்பம் தேவைப்படும்? ($R = 8.31\ J\ mol^{-1}K^{-1}$)

**தீர்வு**

$PV = \mu RT$ என்ற வளிமவிதியின்படி ஒரு மோல் வளிமத்தின் பருமன் செந்தர வெப்பநிலையிலும் ($273\ K$) அழுத்தத்திலும் (1 வகோ) 22.4 இலிட்டர் என அறியலாம். இந்த அனைத்தவப்பருமனை மோலிரப்பருமன் என அழைக்கிறோம். இந்த சான்றிலுள்ள உருளையில் 2 மோல் ஈலியவளிமம் இருக்கிறது. ஈலியம் ஓரணுமூலக்கூறு என்பதால், மாறாப்பருமனில் அதன் முன்னறிந்த (பரிசோதனையால் கண்டறிந்ததும்) மோலிர வெப்பக்கொண்மை $C_V = {}^3/_2 R$; மாறாவழுத்தத்தில் $C_P = {}^3/_2 R + R = {}^5/_2 R$ . உருளையின் பருமன் நிலையானது என்பதால் தேவையான வெப்பத்தை $C_V$ தீர்மானிக்கிறது. எனவே,

தேவைப்படும் வெப்பம் = மோல்களின் எண்ணிக்கை × மோலிர வெப்பக்கொண்மை × வெப்பநிலையில் உயர்வு

$$= 2 \times 1.5\ R \times 15.0 = 45\ R = 45 \times 8.31 = 374\ J$$

### 13.6.4 திண்மங்களின் வெப்பக்கொண்மை

ஆற்றலின் சமப்பங்கீட்டு விதியை பயன்படுத்தி திண்மப்பொருள்களின் வெப்பக் கொண்மையையும் கணக்கிடலாம். ஒரு திண்மப்பொருளில் $N$ எண்ணிக்கையான அணுக்கள் இருப்பதாகவும் அவை தம் சராசரி இருப்பிடத்தைப்பற்றி அதிர்வதாகவும் கொள்க. ஒற்றைப்பருமானத்தில் ஒவ்வொரு அதிர்வும் சராசரியாக $2 \times {}^1/_2\, k_B T = k_B T$ ஆற்றலுள்ளது. முப்பருமானத்தில் சராசரி ஆற்றல் $3k_B T$ என மதிப்பிடப்படுகிறது. ஒரு மோல் திண்மப் பொருளில் மொத்த ஆற்றல்

$$U = 3k_B\, T \times N_A = 3\ RT$$

மாறா அழுத்தத்தில் $\Delta Q = \Delta U + P\Delta V = \Delta U$; ஏனெனில், திண்மத்துக்கு $\Delta V$ புறக்கணிக் கத்தக்கது. எனவே

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U}{\Delta T} = 3R \qquad (13.37)$$

**அட்டவணை 13.3 அறைவெப்பநிலையிலும் வளிக்கோள அழுத்தத்திலும் சில திண்மங்களின் வெப்பக்கொண்மைகள் ($c$ வெப்பக்கொண்மை, $C$ மோலிரவெப்பக்கொண்மை)**

| பொருள் | $c$ | $C$ |
|---|---|---|
| அலுமினியம் | 900.0 | 24.4 |
| கரிமம் | 506.5 | 6.1 |
| செம்பு | 386.4 | 24.5 |
| ஈயம் | 127.7 | 26.5 |
| வெள்ளி | 236.1 | 25.5 |
| தங்குசிட்டன் | 134.4 | 24.9 |

### 13.6.5 நீரின் வெப்பக்கொண்மை

இதற்காக நீரை திண்மப்பொருளைப்போல் கையாளலாம். ஒவ்வொரு அணுவுக்கும் சராசரி ஆற்றல் $3k_B T$ . ஒரு நீர்மூலக்கூறில் மூன்று அணுக்கள் இருக்கின்றன. எனவே

$$U = 3 \times 3k_B T \times N_A = 9RT$$

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U}{\Delta T} = 9R$$

இது கண்டறிந்த மதிப்புடன் நன்கு ஒத்திருக்கிறது. கிராமுக்கு பாகைக்கு கலோரி என்ற அலகில் நீரின் வெப்பக்கொண்மை 1 என்று

வரையறுக்கப்படுகிறது. ஒரு கலோரி 4.179 சூலுக்கு சமம் என்பதாலும், ஒரு மோல் நீர் என்பது 18 கிராம் என்பதாலும், ஒரு மோலுக்கு வெப்பக்கொண்மை $\sim 75\,J\,mol^{-1}\,K^{-1} \sim 9\,R$. ஆனால் ஆல்ககால், அசிற்றோன் போன்ற மேலும் உட்சிக்கலான மூலக்கூறுகளுக்கு அசைவகையின் அடிப்படையிலான விவாதவுரை மிகவும் சிக்கலாகிறது.

இறுதியில், ஆற்றலின் சமப்பங்கீடு எனும் தொன்மைவிதியின் அடிப்படையில் வெப்பக் கொண்மைகளை முன்னறிவதன் ஒரு முக்கியமான பண்புக்கூறை குறிப்பிடவேண்டும். முன்னறிந்த வெப்பக்கொண்மைகள் வெப்ப நிலையை சாராதவை. ஆனால் தாழ்வெப்ப நிலைகளுக்கு செல்லும்போது இந்த முன்னறிதலிலிருந்து குறிப்பிடத்தக்க விலகல் இருக்கிறது. $T \to 0$ என்றபோது எல்லாப்பொருள்களின் வெப்பக்கொண்மையும் சுழியத்தை அணுகுகிறது. இது குறைந்த வெப்பநிலைகளில் அசைவகைகள் உறைந்து பயனற்றதாகிவிடுகின்றன என்ற உண்மையுடன் தொடர்புள்ளது. தொன்மையியற்பியலின்படி அசைவகைகள் எப்போதும் மாறாமலிருக்கின்றன. குறைந்த வெப்பநிலைகளில் வெப்பக்கொண்மையின் நடத்தை தொன்மையியற்பியலின் போதாமையை காட்டுகிறது. இந்த நடத்தையை விளக்க துணுக்கவெந்திரவியலை கருதவேண்டும் என்பதை ஐன்சுடைன் முதலில் காட்டினார். துணுக்கவெந்திரவியலில் ஒரு அசைவகை செயலாற்றத்தொடங்குமுன் ஒரு சுழியற்ற மீச்சிறும ஆற்றல் தேவையாகிறது. இதுவே அதிர்வகை சில வேற்றுவங்களில் மட்டும் செயலாற்றுவதற்கும் காரணம்.

## 13.7 இடைமத்தடங்கிலாப் பாதை

ஒரு வளிமத்திலுள்ள மூலக்கூறுகள் ஒலியின் வேகத்துடன் ஒப்பிடத்தகுந்த வேகங்களுள்ளவை. எனினும் ஒரு சமையலறையிலுள்ள உருளையிலிருந்து கசியும் எரிவளிமம் சமையலறையின் முழுவதுக்கும் பரவ சிறிது நேரம் ஆகிறது. காரணம் என்னவெனில், வளிமத்தின் மூலக்கூறுகள் சிறியனவாயினும் அவற்றுக்கு சுழியமற்ற அளவு இருப்பதால் அவை மோதலுக்குள்ளாகின்றன. இதன் விளைவாக அவை தடையின்றி நேர்கோட்டில் செல்வதில்லை. அவற்றின் பாதைகள் முடிவில்லாமல் விலக்கலடைகின்றன.

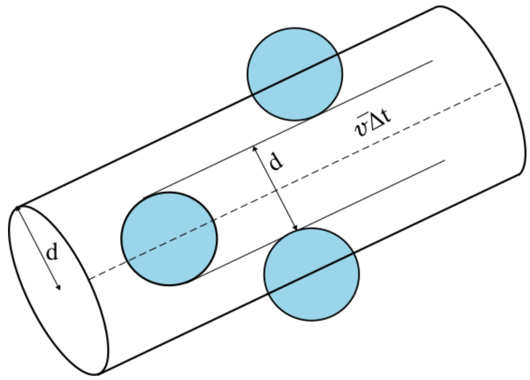
### கண்ணால் காண்பதே மெய்

அலைந்து திரியும் அணுக்களை நம்மால் பார்க்கவியலுமா? கிட்டத்தட்ட! பூந்தூளின் துகள்கள் (மகரந்தத்துகள்கள்) நீர் மூலக்கூறுகளால் தள்ளப்பட்டு அலைக்கழிவதை நாம் காணலாம். மகரந்தத்துகளின் அளவு $\sim 10^{-5}\,m$. இராபட்டு பிரவுன் என்ற சுகாலாந்திய தாவரவியலர் 1827இல் நீரில் தொங்கலிட்ட மகரந்தத்துகள்களை நுண்ணோக்கியால் ஆராய்ந்துகொண்டிருந்த போது அவை நேர்ந்தாவாறாக (சீரின்றி) குறுக்குமறுக்காக அலைவதை கண்டார்.

இயங்கியற்கோட்பாடு இந்த தோற்றப்பாட்டின் ஒரு எளிய விளக்கத்தை தருகிறது. நீரில் தொங்கலிட்ட எந்தப்பொருளையும் எல்லாப்பக்கங்களிலிருந்தும் நீர்மூலக்கூறுகள் எப்போதும் தொடர்தாக்குகின்றன. மூலக்கூறுகளின் அசைவுகள் நேர்ந்தவாறாக இருப்பதால், ஒரு திசையில் பொருளின்மீது மோதும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை எதிர்த்திசையிலிருந்து மோதும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கைக்கு கிட்டத்தட்ட சமம். இயல்பான அளவுள்ள ஒரு பொருளுக்கு மோதல்களின் இந்த எண்ணிக்கையிலுள்ள சிறு வேறுபாடு மொத்த மோதல்களின் எண்ணிக்கையின் ஒப்பீட்டில் புறக்கணிக்கத்தக்கது. இதனால் பொருளில் எந்த அசைவையும் நாம் காண்பதில்லை.

ஆனால் பொருள் போதுமான அளவுக்கு சிறிதாகவும் நுண்ணோக்கியில் காணக்கூடிய அளவுக்கு பெரிதாகவும் இருக்கும்போது வெவ்வேறு திசைகளிலிருந்து வரும் மூலக்கூறுமோதல்களின் எண்ணிக்கையிலுள்ள வேறுபாடு முற்றிலும் புறக்கணிக்கத்தக்க*தன்று*. அதாவது, தொங்கலிட்ட பொருளின்மீது ஊடகத்தின் (நீரோ வெறெந்த பாய்மமோ) மூலக்கூறுகளின் தொடர்தாக்குதல் உண்டாக்கும் கணத்தாக்கங்களோ கோணவிசைகளோ கூட்டும் போது சுழியமாகவில்லை. இந்தத்திசையிலோ அந்தத்திசையிலோ ஒரு நிகர கணத்தாக்கமோ கோணவிசையோ எஞ்சுகிறது. இதனால் தொங்கலான பொருள் நேர்ந்தவாறாக இங்குமங்கும் அசைகிறது. இப்போது பிரவுனிய அசைவு எனப்படும் இந்த அசைவு மூலக்கூறுகளின் செயல்களுக்கு நாம் கண்ணால் காணக்கூடிய ஒரு நிறுவல். கடந்த சுமார் 50 ஆண்டுகளாக வரியோடுதுளை வாயுறுநுண்ணோக்கியாலும் மற்ற நுண்ணோக்கிகளாலும் மூலக்கூறுகளை நாம் நேரடியாக பார்க்கலாம்.

1987இல் அகமது சுவைல் என்ற எகிப்திய அறிவியலர் அமெரிக்காவில் பணியாற்றிய போது மூலக்கூறுகளை மட்டுமல்லாமல் அவற்றின் விவரமான இடைவினைகளையும் பார்க்கலாம் என்று காட்டினார். அவற்றை சீரொளியின் பளீரிடலால் மிகச்சிறு கால அளவான ஒரு சில பெமிடோநொடிகளுக்கு ஒளியூட்டுவதன்மூலம் அவர் இதை சாதித்தார். (1 பெமிடோநொடி $= 10^{-15}\,s$) . வேதிப் பிணைப்புகள் உருவாவதையும் உடைவதையுங்கூட காணலாம். இது உண்மையிலே கண்ணால் காண்பது!




**படம் 13.7 $\Delta t$ என்ற நேரத்தில் ஒரு மூலக்கூறு கடக்கும் பருமன். இந்த நேரத்தில் மற்ற மூலக்கூறுகளுடன் மோதலாம்**

வளிமத்தின் மூலக்கூறுகளை $d$ விட்டமுள்ள கோள வடிவமாக கொள்க. $\langle v \rangle$ என்ற சராசரி வேகமுள்ள ஒரு மூலக்கூறை கருதுவோம். மையத்திலிருந்து மையத்துக்கான தொலைவு $d$ க்கு குறைவாகும்படி வரும் எந்த மூலக்கூறுடனும் இந்த மூலக்கூறு மோதுகிறது. $\Delta t$ நேரத்தில் அது கடக்கும் $\pi d^2 \langle v \rangle \Delta t$ என்ற பருமனுக்குள் வரும் எந்த மூலக்கூறுடனும் மோதுகிறது (படம் 13.7ஐ காண்க). ஓரலகு பருமனிலுள்ள மூலக்கூறுகளின எண்ணிக்கை $n$ எனில், $\Delta t$ நேரத்தில் மூலக்கூறு $n\pi d^2 \langle v \rangle \Delta t$ மோதல்களில் ஈடுபடுகிறது. அதாவது மோதல்வீதம் $n\pi d^2 \langle v \rangle$. இதையே அடுத்தடுத்த இரண்டு மோதல்களுக்கிடையான சராசரி நேரம்

$$\tau = \frac{1}{n\pi \langle v \rangle d^2} \qquad (13.38)$$

என்றும் சொல்லலாம்.

இரண்டு அடுத்தடுத்த மோதல்களுக்கிடையான சராசரித்தொலைவை இடைமத்தடங்கிலாப்பாதை என்றழைத்து $l$ என்று குறிக்கிறோம்.

$$l = \langle v \rangle \tau = \frac{1}{n\pi d^2} \qquad (13.39)$$

இந்த வருவித்தலின்போது மற்ற மூலக்கூறுகள் ஓய்வில் இருப்பதாக கொண்டோம். ஆனால் உண்மையில் எல்லா மூலக்கூறுகளும் அசைவிலுள்ளன. அவற்றின் மோதல்வீதத்தை சராசரி ஒப்பளவத்திசைவேகத்தால் கணக்கிடவேண்டும். அதாவது $\langle v \rangle$க்குப்பதிலாக $\langle v_r \rangle$ஐ பயன்படுத்த வேண்டும். மேலும் சரியான வருவித்தலால் இடைமத்தடங்கிலாப்பாதையை

$$l = \frac{1}{\sqrt{2}\, n\, \pi d^2} \qquad (13.40)$$

என்று பெறலாம்.

வளிமூலக்கூறுகளுக்கு சராசரிவேகம் $\langle v \rangle = 486\, m/s$. அவற்றுக்கு $l$ஐயும் $\tau$வையும் மதிப்பிடுவோம். செவெவவில்

$$n = \frac{6.02 \times 10^{23}}{22.4 \times 10^{-3}\, m^3} = 2.7 \times 10^{25}\, m^{-3}$$

$d = 2 \times\ 10^{-10}\, m$ என்று எடுத்தால்,

$$\tau = 6.1 \times 10^{-10}\, s,$$

$$l = 2.9 \times 10^{-7}\, m \approx 1500\, d \qquad (13.41)$$

எதிர்பார்த்தபடியே, $(13.40)$ஆம் சமன்பாடு தரும் இடைமக்கட்டிலாப்பாதை எண்ணடர்வையும் மூலக்கூறளவையும் புரட்டுவிழுக்காட்டில் சார்ந் திருக்கிறது. மிகவும் வெற்றிடமாக்கப்பட்ட ஒரு குழலில், $n$ மிகச்சிறிது என்பதால் இடைமக்கட்டிலாப் பாதை குழலின் நீளத்தின் அளவுக்கு பெரிதாக இருக்கலாம்.

**சிக்கல் 13.9**

$373\, K$ இலுள்ள நீராவியில் நீர்மூலக் கூறுகளின் இடைமக்கட்டிலாப்பாதையை மதிப்பிடுக. சான்று 13.1இலும் (13.41)ஆம் சமன்பாட்டிலுமுள்ள தகவல்களை பயன்படுத்துக.

**தீர்வு**

நீராவியின் $d$ வளியினதற்கு சமம் எனக்கொள் வோம். எண்ணடர்வு ஒப்பிலா வெப்பநிலைக்கு புரட்டுவிழுக்காட்டில் இருக்கிறது. எனவே

$$n = 2.7 \times 10^{25} \times \frac{273}{373} = 2 \times 10^{25}\, m^{-3}$$

எனவே, $(13.39)$ஆம் சமன்பாட்டின்படி, இடைமக் கட்டிலாப்பாதை

$$= l\ =\ 4 \times 10^{-7} m$$

இடைமக்கட்டிலாப்பாதை முன்பு கணக்கிட்ட அணுவிடைத்தொலைவான 40 Åத்தைப்போல் ($4 \times 10^{-9}\, m$ ஐப்போல்) 100 மடங்கு என்பதை நோக்குக. இடைமக்கட்டிலாப் பாதையின் இந்த பெரிய மதிப்பே வழக்கமான வளிம நடத்தைக்கு காரணமாகிறது. வளிமத்தை ஒரு கொள்கலனின்றி கட்டுப்படுத்த வியலாது.

வளிமங்களின் இயங்கியற்கோட்பாட்டை பயன்படுத்தி பாகுமை, வெப்பக்கடத்தல், விரவல் போன்ற அளக்கத்தகு பருமளவப்பண்புகளை மூலக்கூறளவு போன்ற நுண்ணளவ அளவுருகளுடன் தொடர்புறுத்தலாம். இந்த உறவுகளின்மூலமே மூலக்கூறுகளின் அளவுகளை முதலில் மதிப்பிட்டனர்.

## சுருக்கவுரை

1. நல்லியல்புவளிமச்சமன்பாடு அழுத்தம், பருமன், ஒப்பிலா வெப்பநிலை ஆகியவற்றை

$$PV = \mu RT = k_B NT$$

என்றவாறு இணைக்கிறது; இங்கு $\mu$ மோல்களின் எண்ணிக்கை; $N$ மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை; $R$உம் $k_B$யும் அனைத்துவ மாறிலிகள்

$$R = 8.314\ J\ mol^{-1}K^{-1}, \qquad k_B = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23}\ J\ K^{-1}$$

இயல்வளிமங்கள் நல்லியல்புச்சமன்பாட்டுக்கு குறைந்த அழுத்தத்திலும் அதிக வெப்பநிலையிலும் தோராயமாக கீழ்ப்படிகின்றன.

2. நல்லியல்பு வளிமத்தின் இயங்கியற்கோட்பாட்டை

$$P = \frac{1}{3} n\, m\, \overline{v^2}$$

என்ற சமன்பாடு அளிக்கிறது; இங்கு $n$ மூலக்கூறுகளில் எண்ணடர்வு; $m$ மூலக்கூறுகளில் நிறை, $\overline{v^2}$ வவிமூவேகம். இது நல்லியல்புவளிமமச்சமன்பாட்டுடன் சேர்ந்து வெப்பத்தின் இயங்கியற்பொருளுணர்வை தருகிறது.

$$\frac{1}{2} m\overline{v^2} = \frac{3}{2} k_B T\ , \qquad v_{\text{வவிமூ}} = \left(\overline{v^2}\right)^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{3k_BT}{m}}$$

ஒரு வளிமத்தில் மூலக்கூறுகளின் சராசரி இயக்கவாற்றலே அதன் வெப்பநிலை என இந்த சமன்பாடு தெரிவிக்கிறது. இது *வளிமத்தையோ மூலக்கூறின் இயல்பையோ சாராதது*. ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையிலுள்ள வளிமக்கலவையில் நிறைமிகுந்த மூலக்கூறுகளுக்கு குறைந்த சராசரிவேகம் இருக்கிறது.

3. நகர்வின் இயக்கவாற்றல் $E = {}^{3}/_{2}\, k_B N T$ இது பின்வரும் சமன்பாட்டை தருகிறது.

$$PV = \frac{2}{3} E$$

ஒரு அமைப்பு $T$ என்ற ஒப்பிலா வெப்பநிலையில் வெப்பச்சமநிலையில் இருக்கும்போது மொத்த ஆற்றல் ஆற்றலுட்கவர்வுக்கான அதன் வெவ்வேறு நிலமங்களில் சமமாக பரவியிருக்கிறது என்றும் ஒவ்வொரு நிலமத்திலுமுள்ள ஆற்றல் ${}^{1}/_{2}\, k_B T$ என்றும் ஆற்றலின் சமப்பங்கீட்டு விதி உரைக்கிறது. ஒவ்வொரு நகர்வகையும் ஒவ்வொரு சுழலகையும் ஆற்றலுட்கவர்வின் ${}^{1}/_{2}\, k_B T$ என்ற ஒரு நிலமத்துக்கும் ஒவ்வொரு அதிர்வகையும் இயக்கவாற்றலும் இயன்மவாற்றலுமாகிய இரண்டு நிலமங்களுக்கும் $(2 \times {}^{1}/_{2}\, k_B T = k_B T)$ நிகராகின்றன.

4. ஆற்றலின் சமப்பங்கீட்டு விதியை பயன்படுத்தி வளிமமூலக்கூறுகளின் வெப்பக்கொண்மையை கணிக்கவியலும். இந்த மதிப்புகள் பல வளிமங்களின் வெப்பக்கொண்மைகளுடன் உடன்படுகின்றன. அசைவின் அதிர்வுநிலமங்களை சேர்ப்பதன்மூலம் இந்த உடன்பாடுகளை மேம்படுத்தலாம்.

5. இடைமக்கட்டிலாப்பாதை என்பது மூலக்கூறுகள் இரண்டு அடுத்தடுத்த மோதல்களுக்கிடையில் கடக்கும் சராசரித்தொலைவு

$$l = \frac{1}{\sqrt{2} n \pi d^2}$$

இங்கு $n$ எண்ணடர்வு $d$ மூலக்கூறின் விட்டம்.

## உங்கள் சிந்தனைக்கு

1. ஒரு பாய்மத்தின் அழுத்தம் சுவரில் மட்டுமல்லாமல் பாய்மத்தின் எல்லாவிடங்களிலும் செயலாற்றுகிறது. கொள்கலனின் பருமனில் எந்தவிடத்திலுமுள்ள ஒரு படலமும் ஒரு சமநிலையில் இருக்கிறது; படலத்தின் இருபக்கங்களிலும் அழுத்தம் சமம்.
2. ஒரு வளிமத்தில் மூலக்கூறுகளிடையான தொலைவை நாம் மிகையாக புரிந்துகொள்ளக்கூடாது. இயல்பான அழுத்தங்களிலும் வெப்பநிலைகளிலும் இது திண்மத்திலும் நீர்மத்திலும் இருப்பதைப்போல் சுமார் 10 மடங்கே. மிகவும் வேறுபடுவது இடைமத்தடங்கிலாப்பாதை. வளிமத்தில் இது மூலக்கூறிடைத்தொலைவைப்போல் 100 மடங்கு; அதாவது, மூலக்கூறின் அளவுகளைப்போல் 1000 மடங்கு.
3. ஆற்றலின் சமப்பங்கீட்டுவிதி: வெப்பச்சமநிலையில் ஒவ்வொரு அசைவகையும் ஆற்றலுக்கு ${}^{1}/_{2}\, k_B T$ யை பங்களிக்கிறது. ஒரு மூலக்கூறின் ஆற்றலுக்கான கோவையிலுள்ள ஒவ்வொரு வர்க்கவுருபும் ஒரு அசைவகை. இவ்வாறு, ஒவ்வொரு அதிர்வுநிலமமும் இயக்கவாற்றலுக்கொன்றும் இயன்மவாற்றலுக் கொன்றுமாக இரண்டு அசைவகைகளை தருகிறது $2 \times {}^{1}/_{2}\, k_B T = k_B T$
4. வளியின் மூலக்கூறுகள் புவியீர்ப்புவிசையால் கீழ்விழுந்து தரையில் படியாமலிருப்பதன் காரணம் அவற்றின் அதிவேகமும் இடைவிடாத மோதல்களும். சமநிலையில், குறைந்த உயரத்தில் (சான்று வளிமண்டலம்) அடர்வு மிகச்சிறிதளவில் அதிகமாகிறது. இயல்பான உயரங்களில்

இயன்மவாற்றலான $mgh$ மூலக்கூறுகளின் சராசரியியக்கவாற்றலான $^1/_2\, mv^2$ஐவிட மிகக்குறைந்தது என்பதால் இந்த விளைவு மிகச்சிறிது.

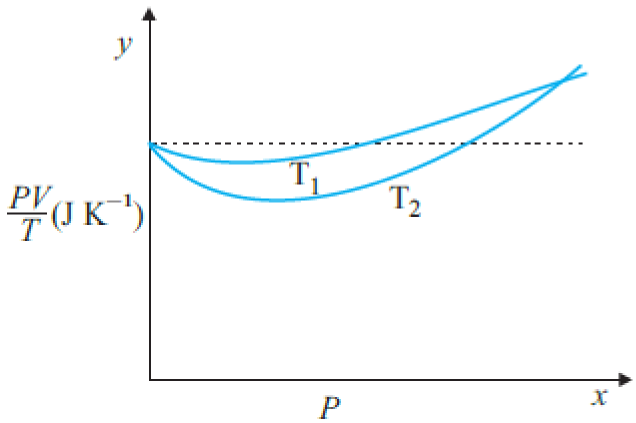
5. $\langle v^2 \rangle$ எப்போதும் $\langle v \rangle^2$க்கு சமமன்று. அதாவது, வர்க்கங்களின் இடைமம் இடைமத்தின் வர்க்கத்துக்கு சமமாயிருப்பது கட்டாயமன்று. இந்த கூற்றுக்கு சான்றுகளை நீங்கள் சிந்திக்கலாம்.

## பயிற்சிகள்

13.1 ஆக்குசிசவளிமம் செவெவவில் இருக்கும்போது அதன் பருமனுக்கும் மூலக்கூறுபருமனுக்குமான விகிதத்தை மதிப்பிடுக. ஆக்குசிசமூலக்கூறின் விட்டம் 3 Å எனக்கொள்க.

13.2 மோலிரப்பருமன் என்பது ஒரு மோல் அளவுள்ள வளிமம் செந்தர வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் எடுக்கும் பருமன். இது 22.4 இலிட்டர் எனக்காட்டுக.

13.3 படம் 13.8 $1.00 \times 10^{-3}\ kg$ ஆக்குசிசவளிமத்தின் இருவேறு வெப்பநிலைகளில் $P$ க்கு எதிரான $PV/T$யின் வரைகோட்டை காட்டுகிறது.




படம் 13.8

a. புள்ளிக்கோடு எதைக் குறிக்கிறது?

b. $T_1 > T_2, T_2 > T_1$ ஆகியவற்றுள் எது. மெய்?

c. வரைகோடுகள் $y$அச்சை சந்திக்குமிடத்தில் $PV/T$இன் மதிப்பு என்ன?

d. $1 \times 10^{-3}$ கிலோகிராம் ஐதரசனுக்கு இதைப்போன்ற வரைகோடுகளை வரைந்தால், $y$யச்சை வரைகோடுகள் சந்திக்குமிடத்தில் இதே $PV/T$ மதிப்புகளை பெறுவோமா? அவ்வாறு இல்லையெனில், ஐதரசனின் எவ்வளவு நிறை (வரைகோட்டின் குறைந்த அழுத்தமும் அதிக வெப்பநிலையுமான வட்டாரத்தில்) அதே $PV/T$ மதிப்பை தரும்? (மூலக்கூறு நிறைகள் $H_2$க்கு $2.02\, u$, $O_2$க்கு $32.0\, u$; $R = 8.31\, J\, mol^{-1}K^{-1}$).

13.4 30 இலிட்டர் பருமனுள்ள ஒரு ஆக்குசிசனுருளை தொடக்கத்தில் $27°C$ வெப்பநிலையிலும் $15\, atm$ அழுத்தத்திலும் உள்ளது. அதிலிருந்து சிறிதளவு ஆக்குசிசனை எடுத்தபிறகு உருளையின் அழுத்தம் $11\, atm$ ஆகவும் வெப்பநிலை $17°C$ ஆகவும் குறைகின்றன. எடுக்கப்பட்ட ஆக்குசிசனின் நிறையை கணக்கிடுக.

13.5 $12°C$ வெப்பநிலையும்40 மீட்டர் ஆழமுமுள்ள ஒரு ஏரியின் அடிப்பாகத்திலிருந்து $1.0\, cm^3$ பருமனுள்ள வளிக்குமிழ் வெளிவருகிறது. $35°\, C$ வெப்பநிலையிலுள்ள ஏரியின் பரப்புக்கு வரும்போது அந்த வளிக்குமிழின் பருமன் என்னவாக இருக்கும்?

13.6 25 கனமீட்டர் பருமனும் $27°C$ வெப்பநிலையும் $1\, atm$ அழுத்தமும் கொண்ட ஒரு அறையிலுள்ள மொத்த வளிமூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கையை கணக்கிடுக. (வளியில் ஆக்குசிசன், நைற்றசன், நீராவி, இன்ன பிற மூலக்கூறுகள் இருப்பதாக கொள்க).

13.7 ஈலியவணுவின் சராசரி வெப்ப ஆற்றலை பின்வரும் வெப்பநிலைகளில் கணக்கிடுக.

a. அறை வெப்பநிலை ($27°\, C$)

b. கதிரவனின் பரப்பு (6000 கெல்வின்)

c. உடுமையம் (10 இருமடியாயிரம் கெல்வின்)

13.8 சமக்கொள்ளளவுள்ள மூன்று கலங்களில் ஒரே வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் வளிமங்கள் உள்ளன. முதற்கலனில் நியான் (ஓரணு மூலக்கூறு) உள்ளது. இரண்டாவது கலனில் குளோரின் (ஈரணு மூலக்கூறு) உள்ளது. மூன்றாவது கலனில் உரேனியவறுபுளோரைடு (பலவணு மூலக்கூறு) உள்ளது. (அ) இந்த கொள்கலன்களிலுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கைகள் சமமா? (ஆ) இந்த மூலக்கூறுகளின் வவிமூவேகம் மூன்றிலும் சமமா? (இ) இல்லையெனில், எதன் வவிமூவேகம் மீப்பெரிது?

13.9 எந்த வெப்பநிலையில் ஆர்கானுருளையிலுள்ள அணுவின் வவிமூவேகம் $-20°C$ வெப்பநிலையிலுள்ள ஈலியவளிமத்தின் வவிமூவேத்துக்கு சமமாகும்? (ஆர்கானின் அணுநிறை $39.9\ u$, ஈலியம் $4.0\ u$).

13.10 2.0 வளிக்கோள அழுத்த்ததிலும் $17°C$ வெப்பநிலையிலுமுள்ள ஒரு நைற்றசவுருளையில் நைற்றச மூலக்கூறுகளின் இடைமத்தடங்கிலாப்பாதையையும் மோதலின் நிகழ்வீதத்தையும் மதிப்பிடுக. ஒரு நைற்றச மூலக்கூறின் ஆரத்தை தோராயமாக $1.0$ Å என எடுகொள்க. மோதலுக்கு ஆகும் நேரத்தை மூலக்கூறு அடுத்தடுத்த மோதல்களுக்கிடையில் தடங்கலின்றி அசையும் நேரத்துடன் ஒப்பிடுக. நைற்றசனின் மூலக்கூறுநிறை $28.0\ u$.

## மேலும் பயிற்சிகள்

13.11 ஒரு நுனியில் மூடிய ஒரு மீட்டர் நீளமான குறுகலான துளை கிடைமட்டமாக இருக்கும்போது அதிலுள்ள 76 செண்டிமீட்டர் பாதரசத்தில் 15 செண்டிமீட்டர் வளி சிக்கிக்கொண்டிருக்கிறது. திறந்த நுனி கீழ்வரும்படி துளையை நெடுநிற்பமாக பிடித்தால் என்ன நிகழும்?

13.12 ஒரு செயற்கருவியிலிருந்து ஐதரசனின் சராசரி பரவல்வீதம் $28.7\ cm^3\ s^{-1}$ . இதே நிலைமைகளில் மற்றொரு வளிமத்தின் சராசரி பரவல்வீதம் $7.2\ cm^3\ s^{-1}$ என அளவிடப்படுகிறது. அது என்ன வளிமம் எனக்காண்க. (உதவி: $R_1/R_2 = (M_2/M_1)^{1/2}$ என்ற கிரகாமின் பரவல்விதியை பயன்படுத்துக. இங்கு $R_1, R_2$ ஆகியவை வளிமம் 1, வளிமம் 2 ஆகியவற்றின் பரவல்வீதங்கள்; $M_1$ , $M_2$ அவற்றின் மூலக்கூறுநிறைகள். இந்த விதி இயங்கியற்கோட்பாட்டின் எளிய பின்விளைவு.)

13.13 இயற்சமநிலையிலுள்ள ஒரு வளிமத்தின் எல்லாப்பகுதிகளிலும் ஒரே அடர்வும் அழுத்தமும் இருக்கின்றன. வெளித்தூண்டல் இல்லாதவரை இது உண்மை. இந்த வளிமம் புவியீர்ப்புவிசையின்கீழ் வரும்போது அடர்வும் அழுத்தமும் சீராக இல்லாமல், அடர்வு உயரத்துடன் குறைகிறது. இதை வளிக்கோளவிதி என்றழைக்கிறோம்.

$$n_2 = n_1\, exp\left(-\frac{mg(h_2 - h_1)}{k_B T}\right)$$

இங்கு $n_1, n_2$ ஆகியவை $h_1, h_2$ ஆகிய உயரங்களில் அடர்வுகள். இதை பயன்படுத்தி, ஒரு நீர்மத்தின் வீழ்படிவுச்சமநிலைக்கான

$$n_2 = n_1\, exp\left(-\frac{mgN_A(\rho - \rho')(h_2 - h_1)}{\rho RT}\right)$$

என்ற சமன்பாட்டை வருவிக்க. இங்கு $\rho$ தொங்கலிலுள்ள துகளின் அடர்வு, $\rho'$ சுற்றியுள்ள ஊடகத்தின் அடர்வு. ($N_A$ அவகாடிரோவெண், $R$ வளிமமாறிலி). (உதவி: ஆர்க்கிமீடிசின் கொள்கையை பயன்படுத்தி துகளின் தோற்றநிறையை கணக்கிடுக.)

13.14 சில திண்மங்களுக்கும் நீர்மங்களுக்குமான அடர்வுகளை அட்டவணை தருகிறது. அவற்றின் அணுவளவுகளின் தோராயமான மதிப்பீடுகளை தருக. (உதவி: திண்மங்களிலும் நீர்மங்களிலும் அணுக்கள் நெருக்கமாக பொதிந்துள்ளதாக எடுகொள்க. அவகாடிரோவெண்ணின் மதிப்பை பயன்படுத்துக. எனினும், பலவிதமான அணுக்களுக்கு நீங்கள் பெறும் மதிப்புகளை மிகவும் பொருளுள்ளதாக எடுக்கவேண்டாம். நெருக்கப்பொதிவெடுகோளின் கரட்டுத்தன்மையால், விளைவுகள் ஒரு சில ஆங்கிதத்துக்கே துல்லியமானவை.)

| பொருள் | அணுநிறை ($u$) | அடர்வு ($10^3\ kg\ m^{-3}$) |
|---|---|---|
| கரிமம் (வைரம்) | 12.01 | 2.22 |

| | | |
|---|---|---|
| தங்கம் | 197.0 | 19.32 |
| நைற்றசன் (நீர்மம்) | 14.01 | 1.00 |
| இலித்தியம் | 6.94 | 0.53 |
| புளோரின் (நீர்மம்) | 19.00 | 1.14 |