

ஆற்றலியக்கம்

- 12.1 அறிமுகம்
- 12.2 வெப்பச்சமநிலை
- 12.3 ஆற்றலியக்கத்தின் சுழியாம் விதி
- 12.4 வெப்பம், அகவாற்றல், வேலை
- 12.5 ஆற்றலியக்கத்தின் முதலாம் விதி
- 12.6 வெப்பக்கொண்மை
- 12.7 ஆற்றலியக்க நிலைமாறிகளும் நிலைச்சமன்பாடும்
- 12.8 ஆற்றலியக்க நிகழ்முறைகள்
- 12.9 வெப்பப்பொறிகள்
- 12.10 குளிரூட்டிகளும் வெப்பமெக்கிகளும்
- 12.11 ஆற்றலியக்கத்தின் இரண்டாம் விதி
- 12.12 மீட்டிருப்பத்தகு நிகழ்முறைகளும் மீட்டிருப்பத்தாகா நிகழ்முறைகளும்
- 12.13 கார்னோவின் பொறி
- சுருக்கவுரை
- உங்கள் சிந்தனைக்கு
- பயிற்சிகள்

12.1 அறிமுகம்

சென்ற படலத்தில் பருப்பொருளின் வெப்பப்பண்புகளை கற்றோம். இந்த படலத்தில் வெப்பவாற்றலைப்பற்றிய விதிகளை கற்போம். வெப்பத்தை வேலையாகவும் திருப்பியவாறும் மாற்றும் நிகழ்முறைகளை படிப்போம். குளிர் காலத்தில் நம் உள்ளங்கைகளை தேய்க்கும் போது நாம் சூடாக உணர்கிறோம். இங்கு தேய்க்கும்போது செய்யும் வேலை வெப்பத்தை உண்டாக்குகிறது. திருப்புக்கூற்றாக, நீராவிப் பொறியில் நீராவிவின் வெப்பம் உந்துதண்டு களை அசைத்து வண்டியுருளிகளை சுற்றுவ தான பயனுள்ள வேலைக்கு பயன்படுகிறது.

இயற்பியலில், வெப்பம், வெப்பநிலை, வேலை போன்ற கருத்துருக்களை கவனமாக வரையறுக்க வேண்டும். வரலாற்றில், வெப்பம்

என்பதன் சரியான கருத்துருவை வந்தடைய வெகுகாலம் ஆனது. நமது இக்காலச்சித்திரத் துக்குமுன், வெப்பத்தை பொருள்களின் புரைகளை நிரப்பிய ஒரு கண்தோன்றாத பாய்மமாகவும், சூடான பொருளும் குளிரான பொருளும் தொடும்போது வெப்பம் எனப்படும் பாய்மம் சூடான பொருளிலிருந்து குளிர்ந்த பொருளுக்கு பாய்வதாகவும் எண்ணினார்கள். இது வெவ்வேறு நீர்மட்டங்களுள்ள இரண்டு தொட்டிகளை ஒரு கிடைமட்ட குழாய் இணைக்கும்போது நிகழ் வதைப்போன்றது. இரண்டு தொட்டிகளிலுமுள்ள நீர்மட்டங்கள் சமமாகும்வரை பாய்வு தொடர்கிறது. இதைப் போலவே, வெப்பத்தின் பாய்மச்சித்திரத்தில் வெப்பமட்டங்கள் (வெப்பநிலைகள்) சமமாகும் வரை வெப்பப்பாய்வு தொடர்கிறது.

பின்னர் வெப்பத்தின் பாய்மச்சித்திரத்தை கைவிட்டு இக்காலத்தில் வெப்பத்தை ஆற்றலின்

ஒரு வடிவமாக கருதுகிறோம். இதன் தொடர்பான ஒரு முக்கியமான பரிசோதனையை பெஞ்சமின் தாமிசன் (இரம்போடிள் எரில் என்றும் அழைக்கப் படுபவர்) 1798இல் மேற்கொண்டார். ஒரு பித்தளைப்பீரங்கியை துளையிடும்போது அதிகளவான வெப்பம் உண்டாவதை இவர் கண்டறிந்தார்; உண்மையில் நீரை கொதிக்க வைக்க போதுமான வெப்பம் உண்டானது. அதைவிட முக்கியமாக, உண்டான வெப்பத்தின் அளவு குதிரைகள் துளையிடுவியை திருப்பும் போது செய்த வேலையை சார்ந்திருந்தது; ஆனால் துளையிடுவியின் கூர்மையை சார்ந்திருக்கவில்லை. வெப்பத்தின் பாய்மச் சித்திரத்தில், கூர்மையான துளையிடுவி புரைகளிலிருந்து அதிகமான பாய்மத்தை அள்ளிக்கொண்டு வரவேண்டும்; ஆனால் கண்டறிந்தது இதுவன்று. இதன் இயல்பான விளக்கம் என்னவென்றால், வெப்பம் ஆற்றலின் ஒரு வடிவம் என்பதே. ஆற்றல் ஒரு வடிவத்திலிருந்து மற்றொரு வடிவத்துக்கு மாறுவதையே பரிசோதனை காட்டுகிறது; அதாவது, வேலையிலிருந்து (உழைப்பிலிருந்து) வெப்பத்துக்கு.

ஆற்றலியக்கம் என்பது இயற்பியலில் ஆற்றல் ஒரு வடிவத்திலிருந்து மற்ற வடிவங்களுக்கு மாறுவதை விவரிக்கும் பகுதி. ஆற்றலியக்கம் ஒரு பருமளவு அறிவியல். இது மொத்த அமைப்பைப்பற்றியது; பருப்பொருளின் உள்ளமைவிகள் மூலக்கூறுகள் என்பதை கருதவேண்டியதில்லை. உண்மையில் அதன் கருத்துருகளும் விதிகளும் பருப்பொருளின் மூலக்கூற்றுச்சித்திரம் நிலையாக நிறுவப்படு முன்பு பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டிலே வாய்ப்பாடாக்கப்பட்டன. ஆற்றலியக்க விவரிப்பில் அமைப்பின் சில மாறிகளே பயன்படுகின்றன. இந்த மாறிகளை நம் பொது அறிவால் அறிந்து நேரடியாக அளக்கலாம். சான்றாக, ஒரு வளிமத்தின் நுண்ணளவு விவரிப்பில் மிகப்பேரளவான மூலக்கூறுகளின் இடநிலைகளும் திசைவேகங்களும் இடம்பெறு கின்றன. வளிமங்களின் இயங்கியற்கோட்பாட்டில் விவரிப்பு அவ்வளவு விவரமானதன்று; எனினும், திசைவேகங்களின் மூலக்கூறுபரவல் இடம்பெறுகிறது. இதன் மறுபக்கமாக, பருமளவு ஆற்றலியக்க விவரிப்பு, மூலக்கூறுவிவரிப்பை முற்றிலும் தவிர்க்கிறது. ஆற்றலியக்கத்தில் வளிமத்தின் நிலையை அழுத்தம், பருமன், வெப்பநிலை, நிறை, கூறடக்கம் போன்ற பருமளவுமாறிகளால் குறிக்கிறோம். இந்த

மாறிகளை நம் புலன்களால் உணர்ந்து அளவிடலாம்.¹

எந்திரவியலுக்கும் ஆற்றலியக்கத்துக்கு முள்ள வேறுபாட்டை மனத்தில் கொள்வது நன்று. எந்திரவியலில், நம் ஆர்வம் விசைகளும் கோணவிசைகளும் செயலாற்றும்போது துகள்களோ பொருள்களோ அசைவதில் உள்ளது. ஆற்றலியக்கம் அமைப்பு முழுவதுமாக அசைவதைப்பற்றியதன்று. அது பொருளின் பருமளவு நிலையைப்பற்றியது. ஒரு எய்வியிலிருந்து ஒரு எய்விக்குண்டை எய்யும் போது மாறுவது எய்விக்குண்டின் எந்திரவிய நிலை (குறிப்பாக, அதன் இயக்கவாற்றல்); அதன் வெப்பநிலை மாறவில்லை. குண்டு மரக்கட்டையின் ஒரு துண்டை துளைத்து நிற்கும்போது அதன் இயக்கவாற்றல் வெப்பவாற்றலாக மாறுகிறது. அப்போது குண்டின் வெப்பநிலையும் அதைச்சூழ் துள்ள மரக்கட்டைப்படலத்தின் வெப்பநிலையும் மாறுகின்றன. வெப்பநிலை குண்டின் உட்பகுதிகளிடையான (முறைமையற்ற) அசைவுகளுடன் தொடர்புள்ளது; குண்டின் மொத்த அசைவுடன் தொடர்பானதன்று.

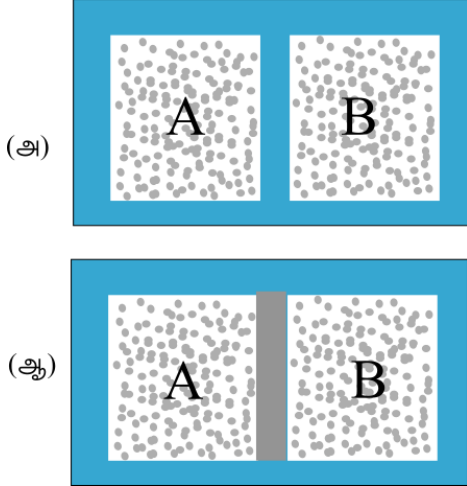
12.2 வெப்பச்சமநிலை

எந்திரவியலில் சமநிலை என்பது நிகர புறவிசையும் புறக்கோணவிசையும் சுழிய மாவதை குறிக்கிறது. ஆற்றலியக்கத்தில் சமநிலை என்ற சொல் வேறொரு சூழ்மையில் வருகிறது. அதாவது, அமைப்பின் சிறப்பியல்புகளை காட்டும் பருமளவு மாறிகள் நேரத்துடன் மாறாமலிருந்தால், அமைப்பு சமநிலையிலுள்ளது என்கிறோம். சான்றாக, சூழ்மையிலிருந்து முற்றிலும் கடத்தற்காப்பிடப்பட்ட ஒரு மூடிய நெளியாக்கலத்திலுள்ள வளிமத்துக்கு அழுத்தம், பருமன், வெப்பநிலை, நிறை, கூறடக்கம் ஆகியவற்றுக்கு நேரத்துடன் மாறாத நிலையான மதிப்புகள் இருந்தால், அது ஆற்றலியக்கச் சமநிலையில் உள்ளது.

பொதுவாக, ஒரு அமைப்பு சமநிலையில் இருக்கிறதா இல்லையா என்பது சூழிடத்தையும் அமைப்பை சூழிடத்திலிருந்து பிரிக்கும் சுவரையும் சார்ந்திருக்கிறது. வெவ்வேறு கொள்கலன்களிலுள்ள A , B என்ற இரண்டு வளிமங்களை கருதுக. ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வளிமத்தின் அழுத்தத்தையும் பருமனையும் அதன் இரண்டு சாராமாறிகளாக தேர்ந்தெடுக்கலாம் என்பதை பரிசோதனைகளிலிருந்து அறிகிறோம். வளிமங்களின் அழுத்தமும்

¹ ஆற்றலியக்கத்தில் சீர்குலைவு, அகவெப்பம் போன்ற புலன்களுக்கு தெளிவாகாத மாறிகளும் இடம்பெறலாம். இவையும் பருமளவு மாறிகளே. ஆனால், ஒரு ஆற்றலியக்க நிலையை அழுத்தம், பருமன், வெப்பநிலை, அகவாற்றல், சீர்குலைவு ஆகிய ஐந்து நிலைமாறிகளே விவரிக்கின்றன. சீர்குலைவு அமைப்பில் சீரின்மையின் ஒரு அளவீடு. அகவெப்பம் என்பது அமைப்பிலுள்ள மொத்த வெப்பத்தின் ஒரு அளவீடு.

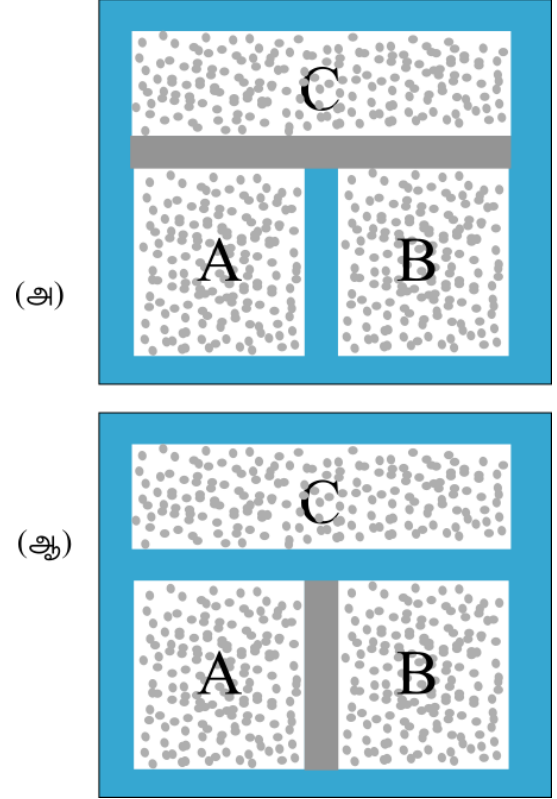
பருமனும் முறையே (P_A, V_A) , (P_B, V_B) என்க. இந்த இரண்டு அமைப்புகளையும் அருகில் வைத்து ஒரு வெப்பமாற்றாத சுவரால் (நகரக்கூடியதாயிருக்கலாம்) பிரிப்பதாக கொள்க. இந்த சுவர் ஆற்றலை (வெப்பத்தை) ஒரு பக்கத்திலிருந்து மறு பக்கத்துக்கு கடக்க விடாதது. அமைப்புகளை சூழிடத்திலிருந்தும் வெப்பமாற்றாச் சுவர்கள் பிரிக்கின்றன. இந்த நிலைமையை படம் 12.1(அ) படவரைவாக காட்டுகிறது. இந்த வேற்றுமையில் (P_A, V_A) என்ற எந்த சாத்தியமான மதிப்புகளும் (P_B, V_B) என்ற எந்த சாத்தியமான மதிப்புகளுடனும் சமநிலையில் இருக்கலாம். அடுத்ததாக, வெப்பமாற்றாத சுவருக்குப்பதிலாக, ஒரு வெப்பமாற்றும் சுவரை வைப்பதாக கொள்வோம். அப்போது A, B ஆகிய இரண்டு அமைப்புகளும் சமநிலைக்கு வரும்வரை அவற்றின் பருமளவ மாறிகள் தாமாகவே மாறுவதை காண்கிறோம். அதன்பின் அவற்றின் நிலைகளில் மாற்றம் இல்லை. இந்த நிலைமையை படம் 12.1(ஆ) காட்டுகிறது. இரண்டு வளிமங்களின் நிலைகளும் சமநிலையில் இருக்குமாறு அவற்றின் அழுத்தமும் பருமனும் (P'_A, V'_A) , (P'_B, V'_B) என்ற மதிப்புகளுக்கு மாறுகின்றன². பிறகு ஒன்றிலிருந்து மற்றதற்கு ஆற்றல் மாற்றலாகவில்லை. A யமைப்பு B யமைப்பும் சமநிலையில் இருப்பதாக சொல்கிறோம்.



படம் 12.1 (அ) A, B என்ற (இரண்டு வளிம) அமைப்புகளை ஒரு வெப்பமாற்றாத (வெப்பத்தை பாயவிடாமல்) கடத்தற்காப்பிட்ட) சுவர் பிரிக்கிறது (ஆ) அதே அமைப்புகள் ஒரு வெப்பங்கடத்தும் (ஒரு பக்கத்திலிருந்து மறு பக்கத்துக்கு வெப்பத்தை கடக்கவிடும்) சுவர் பிரிக்கிறது.

இந்த வேற்றுமையில் அமைப்பு வெப்பச்சமநிலையை அடைகிறது.

இரண்டு அமைப்புகளிடையான வெப்பச்சமநிலையின் சிறப்பியல்புகள் யாவை? உங்கள் பட்டறிவிலிருந்து விடையை ஊகிக்கலாம். வெப்பச்சமநிலையில் இரண்டு அமைப்புகளின் வெப்பநிலைகள் சமம். இனி, ஆற்றலியக்கத்தில் வெப்பநிலை என்ற கருத்துருவை எவ்வாறு வந்தடைகிறோம் என்று காண்போம். ஆற்றலியக்கத்தின் சுழியாம் விதி இதற்கு உதவுகிறது.



படம் 12.2 (அ) A, B என்ற அமைப்புகளை வெப்பமாற்றாச்சுவர் பிரிக்கிறது; ஒவ்வொன்றும் வெப்பமாற்றும்சுவரின்வழி C என்ற அமைப்புடன் தொடுகையிலுள்ளது. (ஆ) A, B என்ற அமைப்புகளிடையுள்ள வெப்பமாற்றாச்சுவரின்மீட்டத்தில் வெப்பமாற்றும்சுவர் உள்ளது; A யிலிருந்தும் B யிலிருந்தும் C யை வெப்பமாற்றாச்சுவர் பிரிக்கிறது.

12.3 ஆற்றலியக்கத்தின் சுழியாம் விதி

ஒரு வெப்பமாற்றாச்சுவரால் பிரிக்கப்பட்ட A, B என்ற இரண்டு அமைப்புகளை கருதுக.

² இரண்டு மாறிகளும் மாறவேண்டியதில்லை. இது கட்டுறுத்தங்களையும் சார்ந்திருக்கிறது. சான்றாக, வளிமங்கள் நிலையான பருமனுள்ள கொள்கலன்களில் இருந்தால் அவற்றின் அழுத்தங்கள் மட்டுமே சமநிலையேநோக்கி மாறுகின்றன.

ஒவ்வொன்றும் C என்ற மற்றொரு அமைப்புடன் கடத்தும் சுவரின்வழியாக தொடுகையிலிருப்பதாகவும் கொள்க (படம் 12.2(அ)). A யும் B யும் C யுடன் வெப்பச்சமநிலைக்கு வரும்வரை அமைப்புகளின் நிலைகள் (அவற்றின் பருமளவ மாறிகள்) மாறுகின்றன. இதை அடைந்தபின் A க்கும் B க்குமிடையிலுள்ள வெப்பமாற்றாச்சுவரினிடத்தில் வெப்பமாற்றுச்சுவரை வைத்து, C யை A யிலிருந்தும் B யிலிருந்தும் வெப்பமாற்றாச்சுவரால் கடத்தற்காப்பிடுவதாக கொள்க (படம் 12.2(ஆ)). A யும் B யும் அதன்பின் மாறாததை காண்கிறோம். அதாவது அவை **ஒன்றுடனொன்று வெப்பச்சமநிலையில் இருப்பதாக காண்கிறோம்.** இந்த கண்டறிதல் **ஆற்றலியக்கத்தின் சுழியாம் விதியின்** அடிப்படையாகிறது. இது ஒரு அமைப்புடன் **வெப்பச்சமநிலையிலுள்ள இரண்டு அமைப்புகள் ஒன்றுடனொன்று வெப்பச்சமநிலையில் இருக்கின்றன** என்று உரைக்கிறது. இந்த விதியை ஆற்றலியக்கத்தின் முதல் விதியும் இரண்டாம் விதியும் உரைக்கப்பட்டு எண்களிடப்பட்டபின் இ. ஆ. பவுலர் 1931இல் உரைத்தார்.

A , B என்ற இரண்டு அமைப்புகள் வெப்பச்சமநிலையில் இருக்கும்போது, இரண்டுக்கும் ஒரே மதிப்பான ஒரு இயலளவு இருக்கவேண்டும் என்பதை உணர்த்துகிறது. வெப்பச்சமநிலையிலுள்ள இரண்டு அமைப்புகளுக்கும் சமமான மதிப்புடைய இந்த ஆற்றலியக்கமாறியை வெப்பநிலை (T) என்று அழைக்கிறோம். A யும் B யும் தனித்தனியாக C யுடன் வெப்பச்சமநிலையில் இருந்தால், $T_A = T_C$, $T_B = T_C$. இது $T_A = T_B$ என்பதை உள்ளூரைக்கிறது. அதாவது A யும் B யும் வெப்பச்சமநிலையிலுள்ளன.

சுழியாம் விதியிலிருந்து வெப்பநிலை என்ற கருத்துருவை முறையாக வந்தடைந்திருக்கிறோம். வெவ்வேறு பொருள்களின் வெப்பநிலைகளுக்கு எண்கணிப்ப மதிப்புகளை எவ்வாறு ஒப்படைப்பது என்பது அடுத்த கேள்வி. அதாவது, ஒரு வெப்பநிலையளவத்தை எவ்வாறு கட்டுமானிப்பது? வெப்பளவியல் இந்த அடிப்படைக்கேள்வியை கையாள்கிறது என்பதை அடுத்த பகுதியில் காண்போம்.

12.4 வெப்பம், அகவாற்றல், வேலை

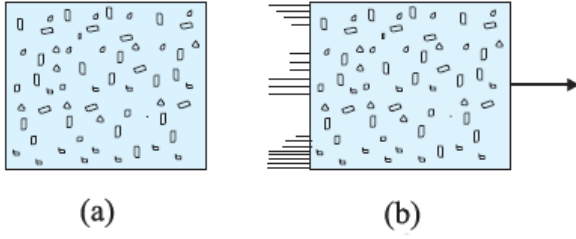
ஆற்றலியக்கத்தின் சுழியாம் விதியிலிருந்து நம் அன்றாட வாழ்வின் எண்ணங்களுடன் ஒத்துப்போகும் வெப்பநிலை என்ற கருத்துருவை பெற்றோம். வெப்பநிலை என்பது பொருள் எவ்வளவு சூடாக இருக்கிறது என்பதற்கான ஒரு குறிப்பி. பொருள்கள் தொடும்போது வெப்பப்பாய்வின் திசையை இது தீர்மானிக்கிறது. வெப்பம் உயர்வெப்பநிலையிலுள்ள பொருளிலிருந்து தாழ்வெப்பநிலையிலுள்ள பொருளுக்கு

பாய்கிறது. வெப்பநிலைகள் சமமாகும்போது பாய்வு நின்றுவிடுகிறது; இரண்டு பொருள்களும் சமநிலையில் இருக்கின்றன. வெப்பநிலையளவங்களை கட்டுமானிப்பதைப்பற்றி நாம் விவரமாக அறிந்தோம். இப்போது வெப்பத்தையும் அதனுடன் தொடர்பான அகவாற்றல், வேலை போன்ற மற்ற அளவுகளையும் பார்ப்போம்.

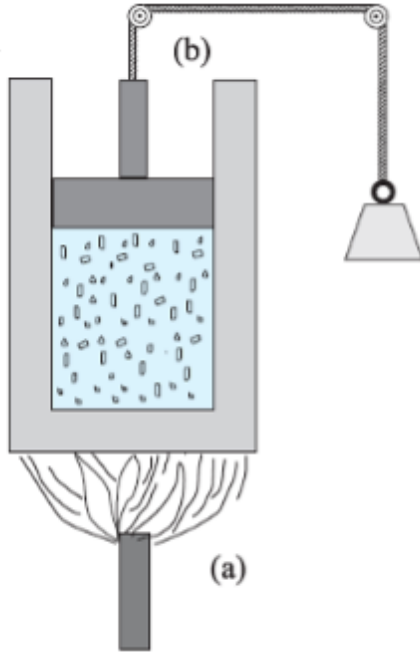
ஒரு அமைப்பின் அகவாற்றல் என்ற கருத்துருவை புரிந்துகொள்வது கடினமன்று. ஒவ்வொரு பருமப்பொருளிலும் மிகப்பல எண்ணிக்கையான மூலக்கூறுகள் உள்ளன என்பதை அறிவோம். அகவாற்றல் என்பது இந்த எல்லா மூலக்கூறுகளின் இயக்கவாற்றலும் இயன்மவாற்றலும் சேர்ந்த மொத்த ஆற்றல். ஆற்றலியக்கத்தில் ஒரு முழு அமைப்பின் இயக்கவாற்றல் இங்கு தொடர்பில்லாதது என்பதை முன்பே சொல்லியிருக்கிறோம். எனவே, அகவாற்றல் என்பது அமைப்பின் நிறைமையம் நிலையாயிருக்கும் நோக்கீட்டுச்சட்டத்தில் மூலக்கூறுகளின் இயக்கவாற்றலும் இயன்மவாற்றலும் சேர்ந்த கூட்டல். இதில் அமைப்பின் மூலக்கூறுகளின் நேர்ந்தவாறான (முறைமையற்ற) அசைவுகளுடன் தொடர்பான ஆற்றலே அடங்குகிறது. அமைப்பின் அகவாற்றலை நாம் U என்று குறிக்கிறோம்.

அகவாற்றலின் பொருளை அறிய மூலக்கூறு சித்திரத்தை நாம் கொண்டுவந்தாலும், ஆற்றலியக்கத்தில் U வெறுமனே அமைப்பின் ஒரு பருமளவ மாறி. அகவாற்றலைப்பற்றிய முக்கியமான பண்பு என்னவென்றால், அது அமைப்பின் நிலையை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது; அந்த நிலையை அமைப்பு எப்படி வந்தடைந்தது என்பதை சார்ந்திருக்கவில்லை. அமைப்பின் U என்ற அகவாற்றல் ஆற்றலியக்க நிலைமாறியின் ஒரு சான்று. ஒரு நிலைமாறியின் மதிப்பு அமைப்பின் நிலையை மட்டும் சார்ந்தது; அந்த நிலையை வந்தடைந்த பாதையை சாராதது. ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையான வளிமத்தின் அகவாற்றல் அதன் அழுத்தம், பருமன், வெப்பநிலை ஆகியவற்றின் குறிப்பிட்ட மதிப்புகள் விவரிக்கும் நிலையை சார்ந்திருக்கிறது. அது வளிமத்தின் இந்த நிலை எவ்வாறு வந்தது என்பதை சாராதது. அழுத்தம், பருமன், வெப்பநிலை, அகவாற்றல் ஆகியவை அமைப்பின் (வளிமத்தின்) ஆற்றலியக்க நிலைமாறிகள் (12.7ஆம் பகுதியை காண்க). ஒரு வளிமத்திலுள்ள சிறு மூலக்கூறிடைவிசைகளை புறக்கணித்தால், வளிமத்தின் அகவாற்றல் அதன் மூலக்கூறுகளின் பலவிதமான நேர்ந்தவாறான அசைவுகளாலான இயக்கவாற்றலின் கூட்டலே. வளிமத்தில், இந்த அசைவில் நகர்வசைவு (கொள்கலத்தின் பருமனுள் ஒரு புள்ளியிலிருந்து மற்றொன்றுக்கான அசைவு) மட்டுமல்லாமல் சுழற்சியசைவும் அதிர்வசைவும்

அடங்குகின்றன (படம் 12.3) என்பதை அடுத்த படலத்தில் காண்போம்.



(a) ஒரு வளிமத்தின் அகவாற்றலான U கொள்கலன் நிலையாயிருக்கும்போது வளிமமூலக்கூறுகளின் இயக்கவாற்றலும் இயன்மவாற்றலும் சேர்ந்த மொத்தக்கூட்டல். நகர்வு, சுழற்சி, அதிர்வு ஆகிய பலவிதமான அசைவுகளால் ஏற்படும் இயக்கவாற்றல் கூட்டலில் சேர்கிறது. (b) இந்த கொள்கலன் முழுவதும் ஒரு திசைவேகத்துடன் அசைந்தால், கொள்கலனின் இயக்கவாற்றல் U வில் சேரவில்லை.



படம் 12.4 வெப்பமும் வேலையும் ஓரமைப்பின் அகவாற்றலை மாற்றும் இரண்டு நிலைமைகள். (a) வெப்பம் அமைப்புக்கும் சூழிடத்துக்குமிடையான வெப்பநிலைவேறுபாட்டால் ஏற்படும் ஆற்றன்மாற்றல். (b) வேலை இவ்வாறான வெப்பநிலை வேறுபாடின்றி (சான்றாக ஒரு உந்துதண்டுடன் இணைந்த எடையை உயர்த்துவதாலோ தாழ்த்துவதாலோ

உந்துதண்டை அசைப்பது) உண்டாகும் ஆற்றன்மாற்றல்.

ஓரமைப்பின் அகவாற்றலை மாற்றும் வழிகள் யாவை? எளிமைக்காக மீண்டும் ஒரு வளிம அமைப்பை கருதுவோம். ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வளிமம் படம் 12.4இல் காட்டியபடி ஒரு உந்துதண்டு பொருத்திய உருளையில் இருப்பதாக கொள்வோம். வளிமத்தின் நிலையை (அதனால் அதன் அகவாற்றலை) மாற்ற இரண்டு வழிகள் இருப்பதை நாம் பட்டறிவால் அறிகிறோம். ஒரு வழி வளிமத்தைவிட அதிக வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு பொருளுடன் உருளையை தொடவைத்து வளிமத்தின் அகவாற்றலை அதிகரிப்பது. வெப்பநிலைவேறுபாடு சூடான பொருளிலிருந்து வளிமத்துக்கு வெப்பப்பாய்வை உண்டாக்கி வளிமத்தின் அகவாற்றலை அதிகரிக்கிறது. மற்றொரு வழி உந்துதண்டை கீழே தள்ளுவது; அதாவது அமைப்பின்மீது வேலையை செய்வது. இதுவும் வளிமத்தின் அகவாற்றலை அதிகரிக்கிறது. இந்த இரண்டு வழிகளும் மறுதிசையிலும் நடைபெறலாம். சூழிடம் குறைந்த வெப்பநிலையில் இருக்கும்போது, வெப்பம் வளிமத்திலிருந்து சூழிடத்துக்கு பாய்கிறது. இதைப்போலவே வளிமம் உந்துதண்டை மேலே தள்ளும்போது அது சூழமைவின்மீது வேலையை செலுத்துகிறது. சுருக்கமாக, வெப்பமும் வேலையும் ஒரு ஆற்றலியக்க அமைப்பின் நிலையையும் அதனால் அதன் அகவாற்றலையும் மாற்றுவதற்கான இரண்டு வழிகள்.

வெப்பம் என்ற எண்ணத்தை அகவாற்றல் என்ற எண்ணத்திலிருந்து வேறுபடுத்தி அறியவேண்டும். வெப்பம் நிச்சயமாக ஆற்றலே; ஆனால் அது மாற்றத்திலிருக்கும் ஆற்றல். இது வெறும் சொல்விளையாட்டன்று. இந்த வேறுபாடு அடிப்படையில் முக்கியமானது. அகவாற்றல் ஆற்றலியக்க அமைப்பின் நிலையின் சிறப்பியல்பு; வெப்பம் அவ்வாறானதன்று. 'ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையிலுள்ள வளிமத்தில் இவ்வளவு வெப்பம் இருக்கிறது' என்பதுபோன்ற கூற்றுகள் பொருளற்றவை. ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையிலுள்ள வளிமத்தில் இவ்வளவு வேலை இருக்கிறது' என்பதும் பொருளற்றதே. மாறாக, ஒரு குறிப்பிட்ட நிலையிலுள்ள வளிமத்தில் இவ்வளவு அகவாற்றல் இருக்கிறது' என்பது முற்றிலும் பொருளுள்ள ஒரு கூற்று. இதைப்போலவே, 'ஒரு குறிப்பிட்ட அளவான வெப்பம் அமைப்புக்கு வழங்கப்பட்டது' என்பதும் 'ஒரு குறிப்பிட்ட அளவான வேலையை அமைப்பு செய்தது' என்பதும் பொருளுள்ளவை.

சுருக்கவுரையாக, வெப்பமும் வேலையும் ஆற்றலியக்கத்தில் நிலைமாறிகள் அல்ல. இவை ஒரு அமைப்புக்கு ஆற்றலை மாற்றலாக்கி அதன்

அகவாற்றலை (இது நிலைமாறி என்று முன்பே குறிப்பிட்டிருக்கிறோம்) மாற்றும் நிலமங்கள்.

இயன்மொழியில் பலநேரங்களில் வெப்பத்தையும் அகவாற்றலையும் சூழப்பிக்கொள்கிறோம். சிலநேரங்களில் தொடக்க இயற்பிய நூல்களில் இந்த வேறுபாட்டை புறக்கணிக்கிறார்கள். ஆனால், ஆற்றலியக்கத்தை முறையாக அறிந்துகொள்ள இந்த வேறுபாடு முக்கியமானது.

12.5 ஆற்றலியக்கத்தின் முதலாம் விதி

ஒரமைப்பின் அகவாற்றலான U வெப்பம், வேலை ஆகிய இரண்டுவிதமான ஆற்றன்மாற்றல்களால் மாறலாம் என்று பார்த்தோம்.

$\Delta Q =$ அமைப்பு சூழிடத்துக்கு வழங்கும் வெப்பம்

$\Delta W =$ அமைப்பு சூழிடத்தின்மீது செய்யும் வேலை

$\Delta U =$ அமைப்பின் அகவாற்றலில் ஏற்படும் மாற்றம்

என்க. அப்படியெனில், ஆற்றலின் ஆழியாக் காப்பு என்ற பொதுவிதியால்

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W \quad (12.1)$$

என்று பெறுகிறோம். அதாவது, அமைப்புக்கு வழங்கப்பட்ட ΔQ என்ற ஆற்றலின் ஒரு பகுதி அமைப்பின் அகவாற்றலை அதிகரிக்கவும் (ΔU) மறு பகுதி சூழமைவின்மீது வேலைசெய்யவும் (ΔW) பயனாகிறது ((12.1)ஆம் சமன்பாடு). இதை ஆற்றலியக்கத்தின் முதல் விதி என்கிறோம். இது ஆற்றலின் அழியாக்காப்பு என்ற பொதுவான விதியே; ஆனால் அமைப்புக்கும் சூழமைவுக்குமிடையான ஆற்றன்மாற்றலை கணக்கிலெடுக்கிறது.

(12.1)ஆம் சமன்பாட்டை

$$\Delta Q - \Delta W = \Delta U \quad (12.2)$$

என்று எழுதுவோம். அமைப்பு தொடக்கநிலையிலிருந்து இறுதிநிலைக்கு பல வழிகளில் செல்லலாம். சான்றாக, ஒரு வளிமத்தின் நிலையை (P_1, V_1) இலிருந்து (P_2, V_2)க்கு மாற்ற முதலில் வளிமத்தின் அழுத்தத்தை மாறாமல் வைத்து பருமனை V_1 இலிருந்து V_2 க்கு மாற்றி (P_1, V_2)ஐ அடைந்து பிறகு பருமனை மாறாமல் வைத்து அழுத்தத்தை P_1 இலிருந்து P_2 க்கு மாற்றி (P_2, V_2)ஐ வந்தடையலாம். மறுவழியாக, முதலில் அழுத்தத்தை மட்டும் மாற்றி பிறகு பருமனை மட்டும் மாற்றலாம். U நிலைமாறி என்பதால் ΔU தொடக்கநிலையையும் இறுதிநிலையையும் மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது; வளிமம் அந்த நிலைக்கு செல்ல எடுக்கும் பாதையை சாரவில்லை. ஆனால், ΔQ வும் ΔW வும் பொதுவாக பாதையை சார்ந்தவை. ஆற்றலியக்கத்தின் முதல்விதியான (12.2)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து

$\Delta Q - \Delta W$ என்ற சேர்க்கை பாதைசாராதது என்பது தெளிவாகிறது. ஒரு அமைப்பு $\Delta U = 0$ என்றிருக்கும் ஒரு நிகழ்முறைக்கு உட்படும் போது (சான்றாக, ஒரு நல்லியல்புவளிமத்தின் சமவெப்ப விரிவாக்கம், 12.8ஆம் பகுதியை காண்க)

$$\Delta Q = \Delta W$$

என்பதை இது காட்டுகிறது. அதாவது அமைப்புக்கு வழங்கப்படும் வெப்பம் முற்றிலும் சூழமைவின்மீது வேலை செய்ய பயன்படுகிறது.

அமைப்பு அசையும் உந்துதல்களில் ஒரு உருளையிலுள்ள வளிமம் எனில், வளிமம் உந்துதல்களை அசைக்கும்போது வேலைசெய்கிறது. விசை அழுத்தத்தையும் பரப்பளவையும் பெருக்கியது; பருமன் பரப்பளவையும் இடப்பெயர்ச்சியையும் பெருக்கியது. எனவே மாறா அழுத்தத்தில் அமைப்பு செய்யும் வேலை

$$\Delta W = P\Delta V$$

இங்கு, ΔV வளிமத்தின் பருமன்மாற்றம். எனவே இந்த வேற்றுமத்தில் (12.1)ஆம் சமன்பாடு

$$\Delta Q = \Delta U + P\Delta V \quad (12.3)$$

என்பதை தருகிறது.

(12.3)ஆம் சமன்பாட்டின் ஒரு பயன்பாடாக, 1 g நீர் நீர்மத்திலிருந்து ஆவிமுகநிலைக்கு செல்லும் போது அகவாற்றலில் உண்டாகும் மாற்றத்தை கருதுவோம். நீரின் அளவிட்ட துலங்காவெப்பம் 2256 J g^{-1} . அதாவது, 1 g நீருக்கு $\Delta Q = 2256 \text{ J}$. வளிக்கோள அழுத்தத்தில் 1 g நீரின் பருமன் நீர்மமுகநிலையில் 1 cm^3 ; ஆவிமுகநிலையில் 1671 cm^3 . எனவே,

$$\begin{aligned} \Delta W &= P(V_{\text{வ}} - V_{\text{நீ}}) \\ &= 1.013 \times 10^5 \\ &\quad \times (1670 \times 10^{-6}) \text{ J} = 169.2 \text{ J} \end{aligned}$$

அப்படியெனில், (12.3)இலிருந்து

$$\Delta U = 2256 - 169.2 = 2086.8 \text{ J}$$

என்று பெறுகிறோம். வெப்பத்தின் பெரும்பகுதி நீர் நீர்மத்திலிருந்து ஆவியாகும்போது ஏற்படும் அகவாற்றன்மாற்றத்துக்கே செலவாகிறது என்று காண்கிறோம்.

12.6 வெப்பக்கொண்மை

ஒரு பொருளுக்கு வழங்கப்பட்ட ΔQ அளவான வெப்பம் அதன் வெப்பநிலையை T யிலிருந்து $T + \Delta T$ க்கு மாற்றுவதாக கொள்வோம். பொருளின் வெப்பக்கொண்மத்தை (படலம் 11ஐ காண்க)

$$S = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (12.4)$$

என்று வரையறுக்கிறோம். எனவே ΔQ வும் அதனால் வெப்பக்கொண்மமும் பொருளின் நிறையின் விழுக்காட்டில் இருக்கவேண்டும்

என்று எதிர்பார்ப்போம். மேலும், அது வெப்ப நிலையையும் சார்ந்திருக்கலாம். அதாவது, வெப்பநிலையை ஒரு அலகால் உயர்த்த வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் வெவ்வேறு அளவான வெப்பம் தேவைப்படலாம். ஒரு பொருளின் தனிச்சிறப்பாகவும் அதன் அளவை சாராததுமான ஒரு மாறிலியை வரையறுக்க S பொருளின் நிறையான m ஆல் (கிலோகிராமில்) வகுக்கிறோம்.

$$s = \frac{S}{m} = \frac{1}{m} \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (12.5)$$

s பொருளின் வெப்பக்கொண்மை. இது பொருளின் இயல்பையும் வெப்பநிலையையும் சார்ந்திருக்கிறது. வெப்பக்கொண்மையின் அலகு $J kg^{-1} K^{-1}$.

பொருளின் அளவான m என்று kg இல் குறிப்பி டாமல் μ என்று மோலில் குறிப்பிட்டால் பொருளின் ஒரு மோலுக்கான வெப்பக் கொண்மையை

$$C = \frac{S}{\mu} = \frac{1}{\mu} \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (12.6)$$

என்று எழுதலாம். C யை பொருளின் மோலிர வெப்பக்கொண்மை என்கிறோம். S ஐப்போலவே C யும் பொருளின் அளவை சாராதது. C பொருளின் இயல்பையும் வெப்பநிலையையும் வெப்பம் வழங்கப்படும்போதுள்ள நிலைமையையும் சார்ந்தது. C யின் அலகு $J mol^{-1} K^{-1}$. C யையும் S ஐயும் வரையறுக்க மேலும் நிலைமைகளை குறிப்பிடவேண்டியதிருக்கலாம் என்பதை பின்பு காண்போம் (வளிமங்களின் வெப்பக்கொண்மை களின் தொடர்பாக). C யை வரையறுப்பதன்மூலம், மோலிர வெப்பக்கொண்மைகளைப்பற்றி எளிய முன்னறிதல்களை பெறலாம்.

அட்டவணை 12.1 அறைவெப்பநிலையிலும் வளிக்கோள அழுத்தத்திலும் சில திண்மங்களின் வெப்பக்கொண்மையும் மோலிர வெப்பக்கொண்மையும்

பொருள்	வெப்பக் கொண்மை ($J kg^{-1} K^{-1}$)	மோலிர வெப்பக் கொண்மை ($J mol^{-1} K^{-1}$)
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

அட்டவணை 12.1 இயல்பான அறைவெப்ப நிலையிலும் வளிக்கோள அழுத்தத்திலும் சில

திண்மங்களின் அளவிட்ட வெப்பக்கொண்மைகளையும் மோலிர வெப்பக்கொண்மைகளையும் பட்டியலிடுகிறது.

படலம் 13இல் வளிமங்களுக்கான வெப்பக் கொண்மையின் முன்னறிந்த மதிப்புகள் பரிசோதனைகளுடன் பொதுவாக ஒத்துப் போவதை காண்போம். அங்கு பயன்படுத்தும் ஆற்றலின் சமப்பங்கீட்டுவிதியை திண்மங்களின் மோலிர வெப்பக்கொண்மைகளை முன்னறிய பயன்படுத்தலாம் (13.5, 13.6 ஆகிய பகுதிகளை காண்க). ஒரு திண்மத்திலுள்ள N அணுக்களுள் ஒவ்வொன்றும் தன் சராசரி இடத்தைப்பற்றி அதிர்வதை கருதுக. ஒற்றப்பருமானத்தில் ஒரு அலைவியின் சராசரி ஆற்றல் $2 \times \frac{1}{2} k_B T = k_B T$. முப்பருமானத்தில் சராசரி ஆற்றல் $3 k_B T$. ஒரு மோல் திண்மத்துக்கு மொத்த ஆற்றல்

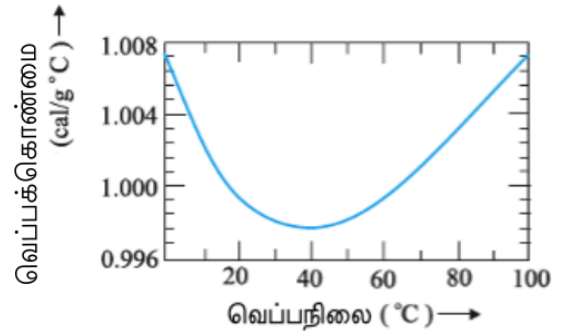
$$U = 3 k_B T \times N_A = 3 R T$$

ஏனெனில், $k_B \times N_A = R$

இப்போது, மாறா அழுத்தத்தில் $\Delta Q = \Delta U + P \Delta V = \Delta U$; ஏனெனில் திண்மத்துக்கு ΔV புறக்கணிக்கத் தக்கது. எனவே,

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta U}{\Delta T} = 3R \quad (12.7)$$

இயல்பான வெப்பநிலைகளில் அட்டவணை 12.1 காட்டும் பரிசோதனைமதிப்புகள் முன்னறிந்த மதிப்புகளான $3R$ உடன் ஒத்திருக்கின்றன (கரிமம் ஒரு விதிவிலக்கு). குறைந்த வெப்பநிலைகளில் இந்த உறவு நிறைவேறவில்லை.



படம் 12.5 நீரின் வெப்பக்கொண்மை வெப்பநிலையுடன் மாறுபடல்

நீரின் வெப்பக்கொண்மை

வெப்பத்தின் பழைய அலகு கலோரி. முன்பு ஒரு கலோரியை $1 g$ நீரின் வெப்பநிலையை $1^\circ C$ ஆல் உயர்த்த தேவையான வெப்பத்தின் அளவு என்று வரையறுத்திருந்தார்கள். மேலும் துல்லியமான அளவீடுகளால் நீரின் வெப்பக்கொண்மை வெப்பநிலையுடன் சற்று மாறுபடுவதை அறிந்தார்கள். இந்த மாறுபாட்டை $0^\circ C$ இலிருந்து $100^\circ C$ வரையான வீச்சில் படம் 12.5 காட்டுகிறது.

எனவே, கலோரியின் ஒரு துல்லியமான வரையறைக்கு அலகு வெப்பநிலையின் இடைவெளியை குறிப்பிடவேண்டும். இப்போது, ஒரு கலோரி 1g நீரை 14.5°Cயிலிருந்து 15.5°Cக்கு உயர்த்த தேவையான வெப்பத்தின் அளவு என்று வரையறுக்கிறோம். வெப்பம் ஆற்றலின் ஒரு வடிவமே என்பதால், சூல் என்ற அலகு விரும்பத்தக்கது. அவ அலகில் நீரின் வெப்பக் கொண்மை $4186 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, அதாவது $4.186 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$. வெப்பத்தின் எந்திரவியச் சமாளி என்பதை 1 கலோரி வெப்பத்தை உண்டாக்க தேவைப்படும் வேலை என்று வரையறுக்கிறோம். உண்மையில் இது கலோரி, சூல் ஆகிய இரு ஆற்றல்வடிவங்களிடை ஒரு மாற்றமைத்தற்காரணி. அவ அலகுகளில் வெப்பத்துக்கும் வேலைக்கும் வேறு எந்த வடிவமான ஆற்றலுக்கும் சூலை அலகாக பயன்படுத்துவதால் எந்திரவியச்சமாளி என்ற சொல் இப்போது தேவையில்லாத ஒன்று.

வெப்பக்கொண்மை நிகழ்முறையையும் வெப்ப மாற்றம் நிகழும் சூழ்நிலைகளையும் சார்ந்தது என்று முன்பே குறிப்பிட்டிருக்கிறோம். சான்றாக, வளிமங்க ளுக்கு மாறாப்பருமனில் வெப்பக்கொண்மை, மாறாவழுத்தத்தில் வெப்பக்கொண்மை ஆகிய இரண்டு வெப்பக் கொண்மைகளை நாம் வரையறுக்கலாம். ஒரு நல்லியல்புவளிமத்துக்கு

$$C_p - C_v = R \quad (12.8)$$

என்ற உறவு இருக்கிறது; இங்கு C_p , C_v ஆகியவை முறையே மாறாவழுத்தத்திலும் மாறாப்பருமனிலும் மோலிர வெப்பக்கொண்மைகள்; R அனைத்துவ வளிமமாறிலி. இந்த உறவை நிறுவ, (12.3)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து தொடங்குவோம்.

$$\Delta Q = \Delta U + P\Delta V$$

என்ற அந்த சமன்பாட்டை 1 மோல் வளிமத்துக்கு பயனாக்குவோம். ΔQ மாறாப்பருமனில் உட்கவரப்பட்டால், $\Delta V = 0$:

$$C_v = \left(\frac{\Delta Q}{\Delta T}\right)_v = \left(\frac{\Delta U}{\Delta T}\right)_v = \left(\frac{\Delta U}{\Delta T}\right) \quad (12.9)$$

இங்கு கடைசிப்படியில் V என்ற அடியொட்டை விட்டுவிட்டோம்; ஏனெனில் நல்லியல்புவளிமத்தின் U வெப்பநிலையை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது (அடியொட்டு மாறாமலிருக்கும் மாறியை குறிக்கிறது). இதன் மறுபக்கமாக, ΔQ மாறாவழுத்தத்தில் உட்கவரப்பட்டால்

$$C_p = \left(\frac{\Delta Q}{\Delta T}\right)_p = \left(\frac{\Delta U}{\Delta T}\right)_p + P \left(\frac{\Delta V}{\Delta T}\right)_p \quad (12.10)$$

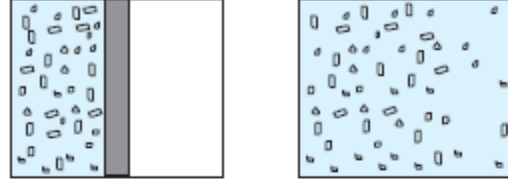
முதலுருபிலிருந்து P என்ற அடியொட்டை விட்டு விடலாம்; ஏனெனில், நல்லியல்புவளிமத்தின் U T யை மட்டுமே சார்ந்திருக்கிறது. இப்போது, நல்லியல்புவளிமத்தின் ஒரு மோலுக்கு

$$PV = RT$$

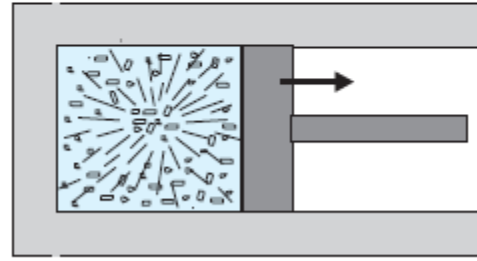
என்பது உண்மை. இதிலிருந்து

$$P \left(\frac{\Delta V}{\Delta T}\right)_p = R \quad (12.11)$$

என்பதை பெறுகிறோம். (12.9), (12.11) ஆகிய சமன்பாடுகள் நாம் விரும்பிய (12.8) ஆம் சமன்பாட்டை தருகின்றன.



(a)



(b)

படம் 12.6 (a) பெட்டியிலுள்ள தட்டியை திடீரென்று எடுத்து வளிமத்தை கட்டின்றி விரிவடையச்செய்கிறோம். (b) ஒரு வளிமக்கலவை வெடிக்கும் வேதிவினைக்குள்ளாகிறது. இரண்டு நிலைமைகளிலும் வளிமம் சமநிலையில் இல்லை. இவற்றை நிலைமாறிகளால் விவரிக்க இயலாது.

12.7 ஆற்றலியக்க நிலைமாறிகளும் நிலைச்சமன்பாடும்

ஒரு ஆற்றலியக்க அமைப்பின் ஒவ்வொரு சமநிலையையும் நிலைமாறிகள் எனப்படும் சில பருமளவ மாறிகள் விவரிக்கின்றன. சான்றாக, ஒரு வளிமத்தின் சமநிலையை அழுத்தம், பருமன், வெப்பநிலை, நிறை (வளிமக்கலவைக்கு கூறடக்கம்) ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் முற்றிலும் குறிக்கின்றன. ஒரு ஆற்றலியக்க அமைப்பு எப்போதும் சமநிலையில் இல்லை. சான்றாக, வெற்றிடத்தைநோக்கி கட்டின்றி விரிவடையும் ஒரு வளிமம் சமநிலையில் இல்லை (படம் 12.6(அ)). விரைவான விரிவடைதலின் போது வளிமத்தின் அழுத்தம் சீரற்றதாக இருக்கலாம். வெடிக்கும் வேதிவினைக்குள்ளாகும் ஒரு வளிமக் கலவை (சான்றாக, எரிசலின் ஆவியும் வளியும் கலந்த கலவையில் தீப்பொறியூட்டும்போது) சமநிலையில் இல்லை; அங்கும் வெப்பநிலையும்

அழுத்தமும் சீராக இல்லை (படம் 12.6(ஆ)). இறுதியில் வளிமம் சீரான வெப்பநிலையையும் அழுத்தத்தையும் அடைந்து அதன் சூழமைவுடன் எந்திரவியச் சமநிலைக்கும் வெப்பச்சமநிலைக்கும் வருகிறது.

சுருக்கமாக, ஆற்றலியக்க நிலைமாறிகள் அமைப்புகளின் சமநிலைகளை குறிக்கின்றன. வெவ்வேறு நிலைமாறிகள் ஒன்றையொன்று சாராதவையாக இருக்கவேண்டியதில்லை. நிலைமாறிகளிடையான தொடர்பை நிலைச் சமன்பாடு என்கிறோம். சான்றாக, ஒரு நல்லியல்புவளிமத்துக்கு நிலைச்சமன்பாடு

$$PV = \mu RT$$

என்ற நல்லியல்புவளிமச்சமன்பாடு. ஒரு குறிப்பிட்ட μ அளவுள்ள வளிமத்துக்கு இரண்டு சாராமாறிகளே உள்ளன. அவற்றை P யும் V யும் என்றோ T யும் V யும் என்றோ எடுக்கலாம். நிலையான வெப்பநிலைக்கு அழுத்தத்துக்கும் பருமனுக்குமான வளைவரையை சமவெப்பக் கோடு என்கிறோம். இயல்வளிமங் களுக்கு மேலும் உட்சிக்கலான நிலைச்சமன்பாடுகள் இருக்கலாம்.

ஆற்றலியக்க நிலைமாறிகள் **பரந்தவை, உரப்பானவை** ஆகிய இருவகையானவை. பரந்த மாறிகள் அமைப்பின் அளவை சார்ந்தவை; உரப்பான மாறிகள் அளவை சாராதவை. எவை பரந்தவை, எவை உரப்பானவை என்று முடிவுசெய்ய, பொருத்தமான அமைப்பை சமநிலையில் கருதுக. அது இரு சமப்பகுதிகளாக பிரிந்திருப்பதாக கருதுக. ஒவ்வொரு பகுதிக்கும் மதிப்பு மாறாமலிருக்கும் மாறிகள் உரப்பானவை; மதிப்பு பாதிக்காத குறையும் மாறிகள் பரந்தவை. சான்றாக, அகவாற்றல் (U), பருமன் (V), மொத்த நிறை (M) ஆகியவை பரந்த மாறிகள்; அழுத்தம் (P), வெப்பநிலை (T), அடர்வு (ρ) ஆகியவை உரப்பான மாறிகள். ஆற்றலியக்கச்சமன்பாடுகளின் இயைபுமையை மாறிகளின் இந்த பாகுபாட்டை பயன்படுத்தி சரிபார்ப்பது நல்ல பழக்கம். சான்றாக,

$$\Delta Q = \Delta U + P\Delta V$$

என்ற சமன்பாட்டில் இரண்டு பக்கமுள்ள அளவுகள் பரந்தவை.³ P போன்ற ஒரு உரப்பான அளவையும் ΔV போன்ற ஒரு பரந்த அளவையும் பெருக்கிக் கிடைப்பது பரந்த அளவு.

12.8 ஆற்றலியக்க நிகழ்முறைகள்

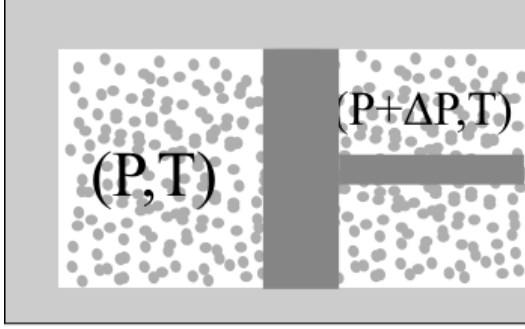
12.8.1 போன்மநிலைம நிகழ்முறை

சூழமைவுடன் வெப்பச்சமநிலையிலும் எந்திரவியச்சமநிலையிலுமுள்ள ஒரு வளிமத்தை கருதுக. இவ்வாறிருக்கும்போது வளிமத்தின் அழுத்தம் புறவழுத்தத்துக்கு சமமானது; அதன் வெப்பநிலை சூழமைவின் வெப்பநிலையே. கொள்கலனின் மீதுள்ள உந்துதண்டில் வைத்த எடையை நீக்குவதன்மூலம் புறவழுத்தத்தை திடீரென்று குறைப்பதாக கொள்வோம். உந்துதண்டு வெளி நோக்கி முடுக்கமடைகிறது. இந்த நிகழ்முறையின்போது வளிமம் கடந்துசெல்லும் நிலைகள் சமநிலைகள்ல்ல. சமநிலையற்ற நிலைகளுக்கு குறிப்பிட்ட அழுத்தமும் வெப்பநிலையும் இல்லை. வளிமத்துக்கும் சூழமைவுக்குமிடையில் வெப்பநிலையில் வேறுபாடு இருக்கும்போதும் இதனால் ஏற்படும் வெப்பப்பாய்வின்போது வளிமம் சமநிலையற்ற நிலைகளை கடந்து செல்கிறது. இறுதியில் வளிமம் சமநிலையை வந்தடைகிறது. அப்போது அதன் வெப்பநிலையும் அழுத்தமும் சூழமைவின் மதிப்புகளுக்கு சமமாகின்றன. வெற்றிடத்தில் கட்டினறி விரிவடையும் வளிமத்தையும் வெடிக்கும் வேதிவினையை மேற்கொள்ளும் வளிமக்கலவையையும் 12.7ஆம் பகுதியில் குறிப்பிட்டோம். இவையும் சமநிலையற்ற நிலைகளை கடந்துசெல்லும் அமைப்புகளுக்கு சான்றுகள்.

ஒரு அமைப்பின் சமநிலையற்ற நிலைகளை கையாள்வது கடினம். எனவே, ஒவ்வொரு கட்டத்திலும் அமைப்பு சமநிலையிலிருக்கும் ஒரு நல்லியல்பு பாக்கிய நிகழ்முறையை கற்பனைசெய்வது வசதியானது. இவ்வாறான நிகழ்முறை கொள்கையளவில் முடிவிலா நேரத்தில் (மிகமிக மெதுவாக) நடைபெறக் கூடியது. இதனால் இதை போன்மநிலைம (கிட்டத்தட்ட நிலைம) நிகழ்முறை என்கிறோம். அமைப்பு எப்போதும் சூழிடத்துடன் வெப்பச்சமநிலையிலும் எந்திரவியச்சமநிலையிலும் இருக்குமளவுக்கு தன் மாறிகளை (P, T, V) மிக மெதுவாக மாற்றுகிறது. ஒரு போன்மநிலைம நிகழ்முறையில் ஒவ்வொரு கட்டத்திலும் அமைப்பின் அழுத்தத்துக்கும் வெளியழுத்தத்துக்குமான வேறுபாடு சுழியெல்லைச்சிறியது. அமைப்புக்கும் சூழிடத்துக்குமான வெப்பநிலைவேறுபாடும் இவ்வாறே (படம் 12.7). ஒரு வளிமத்தை (P, T) என்ற நிலையிலிருந்து (P', T') என்ற மற்றொரு நிலைக்கு போன்மநிலைம நிகழ்முறையால் கொண்டுசெல்ல புறவழுத்தத்தை மிகச்சிறிதளவு மாற்றி அமைப்பின் அழுத்தம் சூழிடத்தின் அழுத்தத்துடன் சமத்துவத்தை அடையவிடுகிறோம். இந்த நிகழ்முறையை அமைப்பு P' என்ற அழுத்தத்தை அடையும்வரை சுழியெல்லை வேகத்தில் தொடர்

³ முன்பே சொன்னபடி, Q நிலைமாறியன்று. ΔQ அமைப்பின் மொத்த நிறையின் விழுக்காட்டிலிருப்பது தெளிவு. எனவே அது பரந்தது.

கிறோம். இதைப்போலவே, வெப்பநிலையை மாற்ற அமைப்புக்கும் சூழ்ந்துள்ள தேக்கிக்கு மிடையில் சுழியெல்லையான வெப்பநிலை வேறுபாட்டை புகுத்துகிறோம். இவ்வாறு தேக்கிகளின் வெப்பநிலையை படிப்படியாக T யிலிருந்து T' வரை மாற்றியபின் அமைப்பு T' ஐ அடைகிறது.



படம் 12.7 ஒரு போன்மநிலைம நிகழ்முறையில் தேக்கியின் வெளியழுத்தமும் வெப்பநிலையும் அமைப்பின் அழுத்தத்திலிருந்தும் வெப்பநிலையிலிருந்தும் சுழியெல்லையளவே வேறுபடுகின்றன.

போன்மநிலைம நிகழ்முறை ஒரு கருதுகோளான கட்டுமானம் என்பது தெளிவு. நடைமுறையில் போதுமான அளவுக்கு மெதுவாக நடைபெறும் நிகழ்முறைகளும் முடுக்கமுள்ள அசைவோ பெரும் வெப்பநிலைச்சாய்வோ இல்லாத நிகழ்முறைகளும் போன்மநிலைம நிகழ்முறைகளுக்கு தோராயங்கள். இனி, வேறுவிதமாக சொல்லாவிட்டால், நாம் போன்மநிலைம நிகழ்முறைகளையே கருதுவோம்.

அட்டவணை 12.2 இயக்கவாற்றலில் சில தனித்துவமான நிகழ்முறைகள்

நிகழ்முறைகளின் வகை	பண்புக்கூறு
சமவெப்ப	வெப்பநிலை மாறிலி
சமவழுத்த	அழுத்தம் மாறிலி
சமப்பரும	பருமன் மாறிலி
வெப்பமாற்றாத	அமைப்புக்கும் சூழிடத்துக்குமிடையில் வெப்பம் பாயவில்லை; $\Delta Q = 0$

ஒரு நிகழ்முறையின்போது வெப்பநிலையை நிலையாக வைத்திருந்தால் அதை சமவெப்ப நிகழ்முறை என்று அழைக்கிறோம். நிலையான வெப்பநிலையுள்ள ஒரு பெரிய தேக்கியில் வைத்த ஒரு மாழையுருளையில் வளிமம் விரிவடைவது சமவெப்ப நிகழ்முறையின் ஒரு சான்று. (தேக்கியின் பெரிய வெப்பக்கொண்மத்தால், தேக்கியிலிருந்து அமைப்புக்கு மாற்றலாகும் வெப்பம் தேக்கியின் வெப்பநிலையை

மாற்றவில்லை.) சமவழுத்த நிகழ்முறையில் அழுத்தம் மாறாமலிருக்கிறது; சமப்பரும நிகழ்முறையில் பருமன் மாறிலி. இறுதியாக, அமைப்பு சூழிடத்திலிருந்து கடத்தற் காப்பிடப்பட்டு அமைப்புக்கும் சூழிடத்துக்குமிடையில் வெப்பம் மாற்றலாகாமலிருந்தால் இந்த நிகழ்முறையை வெப்பமாற்றாத நிகழ்முறை என்கிறோம். இந்த தனித்துவமான நிகழ்முறைகளின் வரையறைகளை அட்டவணை 12.2 சுருங்கவுரைக்கிறது. இந்த நிகழ்முறைகளை சற்று விரிவாக காண்போம்.

12.8.2 சமவெப்ப நிகழ்முறை

ஒரு சமவெப்ப நிகழ்முறைக்கு (T மாறாதது) நல்லியல்புவளிமச்சமன்பாடு

$$PV = \text{மாறிலி}$$

என்று தருகிறது. அதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட நிறையுள்ள வளிமத்தின் அழுத்தம் அதன் பருமனுக்கு எதிர்விழுக்காட்டில் மாறுகிறது. இது பாயிலின் விதியேயன்றி வேறன்று.

ஒரு நல்லியல்புவளிமம் சமவெப்பமாக (T யில்) P_1, V_1 என்ற தொடக்கநிலையிலிருந்து P_2, V_2 என்ற இறுதிநிலைக்கு செல்வதாக கொள்வோம். எந்த இடைக்கட்டத்திலும் P என்ற அழுத்தத்தில் பருமன் V யிலிருந்து $V + \Delta V$ க்கு (ΔV சிறிது) மாறும்போது

$$\Delta W = P \Delta V$$

$\Delta V \rightarrow 0$ என்ற எல்லையை எடுத்து முழுநிகழ்முறைக்கும் கூட்டுமபோது

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \Delta V = \mu RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \mu RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (12.12)$$

இரண்டாம் படியில் நல்லியல்புவளிமச்சமன்பாட்டை பயன்படுத்தியிருக்கிறோம்; மாறிலிகளை தொகையீட்டுக்கு வெளியில் எடுத்திருக்கிறோம். ஒரு நல்லியல்புவளிமத்துக்கு, அகவாற்றல் வெப்பநிலையை மட்டுமே சார்ந்தது. எனவே நல்லியல்புவளிமத்துக்கு சமவெப்ப நிகழ்முறையில் அகவாற்றலில் மாற்றமில்லை. ஆற்றலியக்கத்தின் முதல் விதி வளிமத்துக்கு வழங்கப்பட்ட வெப்பம் வளிமம் செய்யும் வேலைக்கு சமம் என்பதை உள்ளூரைக்கிறது. அதாவது $Q = W$. (12.12)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து $V_2 > V_1$ என்றபோது $W > 0$ என்றும் $V_2 < V_1$ என்றபோது $W < 0$ என்றும் காண்கிறோம். அதாவது, சமவெப்ப விரிவாக்கத்தில் வளிமம் வெப்பத்தை உட்கவர்ந்து வேலையை செய்கிறது; சமவெப்ப அமுக்கத்தில் வளிமத்தின்மீது சூழிடம் வேலையை செய்வதால் வெப்பம் வெளியாகிறது.

12.8.3 வெப்பமாற்றாத நிகழ்முறை

ஒரு வெப்பமாற்றாத நிகழ்முறையில் அமைப்பு சூழிடத்திலிருந்து காப்பிடப்படுவதால் வெப்ப மாற்றல் சுழியம். (12.1)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து வளிமம் செய்யும் வேலையால் அதன் அகவாற்றல் குறைகிறது (நல்லியல்பு வளிமத்தில் வெப்பநிலை குறைகிறது) என்று காண்கிறோம். ஒரு நல்லியல்பு வளிமத்தின் வெப்பமாற்றாத நிகழ்முறையில்

$$PV^\gamma = \text{மாறிலி} \quad (12.13)$$

என்ற விளைவை (மேல் வகுப்புகளில் விவரமாக படிப்பீர்கள்) இங்கு நிறுவலின்றி உரைக்கிறோம்; இங்கு γ மாறாவழுத்தத்திலும் மாறாப்பருமனிலுமான வெப்பக்கொண்மைகளின் விகிதம்.

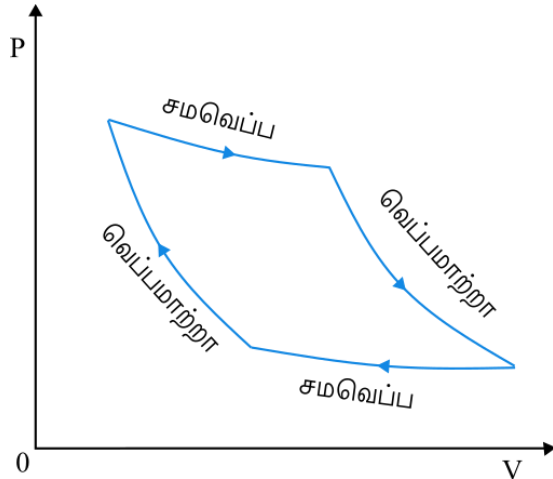
$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

இதுவே மோலிர வெப்பக்கொண்மைகளின் விகிதமும் என்பதை நோக்குக.

ஒரு நல்லியல்புவளிமம் வெப்பமாற்றமின்றி P_1, V_1 இலிருந்து P_2, V_2 க்கு ஒரு நிலைமாற்றத்தை மேற்கொள்ளும்போது

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \quad (12.14)$$

படம் 12.8 ஒரு நல்லியல்புவளிமத்தின் இரண்டு சமவெப்பக்கோடுகளை இணைக்கும் இரண்டு வெப்பமாற்றா நிகழ்முறைகளுக்கான PV வளை வரைகளை காட்டுகிறது.



படம் 12.8 ஒரு நல்லியல்புவளிமத்தின் சமவெப்ப நிகழ்முறைகளுக்கும் வெப்பமாற்றா நிகழ்முறைகளுக்கான PV வளைவரைகள்

முன்புபோலவே, நல்லியல்புவளிமம் (P_1, V_1, T_1) என்ற நிலையிலிருந்து (P_2, V_2, T_2) என்ற நிலைக்கு வெப்பமாற்றா நிலைமாற்றமடையும்போது செய்யும் வேலையை கணக்கிடலாம்.

$$\begin{aligned} W &= \int_{V_1}^{V_2} P dV = \text{மாறிலி} \times \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma} \\ &= \text{மாறிலி} \times \left. \frac{V^{-\gamma+1}}{1-\gamma} \right|_{V_1}^{V_2} \\ &= \frac{\text{மாறிலி}}{1-\gamma} \times \left[\frac{1}{V_2^{\gamma-1}} - \frac{1}{V_1^{\gamma-1}} \right] \quad (12.15) \end{aligned}$$

(12.14) ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து மாறிலியை $P_1 V_1^\gamma$ என்றோ $P_2 V_2^\gamma$ என்றோ எழுதலாம் என்பதை அறிகிறோம். எனவே

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{1-\gamma} \left[\frac{P_2 V_2^\gamma}{V_2^{\gamma-1}} - \frac{P_1 V_1^\gamma}{V_1^{\gamma-1}} \right] = \frac{1}{1-\gamma} [P_2 V_2 - P_1 V_1] \\ &= \frac{\mu R (T_1 - T_2)}{\gamma - 1} \quad (12.16) \end{aligned}$$

எதிர்பார்த்தபடியே, வளிமம் வெப்பமாற்றா நிகழ்முறையில் வேலையை செய்தால் ($W > 0$), (12.16)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து $T_2 < T_1$. இதன் மறுபக்கமாக, வளிமத்தினமீது வேலை செய்யப்பட்டால் ($W < 0$), நாம் பெறுவது $T_2 > T_1$; அதாவது வளிமத்தின் வெப்பநிலை அதிகரிக்கிறது.

12.8.4 சமப்பரும நிகழ்முறை

ஒரு சமப்பரும நிகழ்முறையில் V மாறிலி. வளிமத்தினமீது எந்த வேலையையும் செய்யப்படவில்லை; வளிமமும் வேலைசெய்யவில்லை. (12.1)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து வளிமம் உட்கவரும் வெப்பம் முற்றிலும் அகவாற்றலையும் வெப்பநிலையையும் மாற்றவே செல்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட அளவான வெப்பத்துக்கு நிகரான வெப்பநிலைமாற்றத்தை வளிமத்தின் மாறாப்பரும வெப்பக்கொண்மை தீர்மானிக்கிறது.

12.8.5 சமவழுத்த நிகழ்முறை

ஒரு சமவழுத்த நிகழ்முறையில் P நிலையானது. வளிமம் செய்யும் வேலை

$$W = P(V_2 - V_1) = \mu R(T_2 - T_1) \quad (12.17)$$

வெப்பநிலை மாறுவதால் அகவாற்றலும் மாறுகிறது. உட்கவரப்பட்ட வெப்பத்தின் ஒரு பகுதி அகவாற்றலை அதிகரிக்கவும் மறு பகுதி வேலையை செய்யவும் செல்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட அளவான வெப்பத்துக்கு வெப்பநிலையின் மாற்றத்தை வளிமத்தின் மாறாவழுத்த வெப்பக்கொண்மை தீர்மானிக்கிறது.

12.8.6 சுழனிகழ்முறை

ஒரு சுழற்சியான நிகழ்முறையில் அமைப்பு அதன் தொடக்கநிலைக்கு திரும்புகிறது. ஒரு சுழனிகழ்முறைக்கு $\Delta U = 0$. (12.1)ஆம் சமன்பாட்டிலிருந்து உட்கவரந்த மொத்த

ஆற்றல் அமைப்பு செய்யும் வேலைக்கு சமமாவதை காண்கிறோம்.

12.9 வெப்பப்பொறிகள்

வெப்பப்பொறி என்பது ஒரு அமைப்பை சுழனிகழ்முறைக்குட்படுத்தி வெப்பத்தை வேலையாக மாற்றும் ஒரு அமைகருவி.

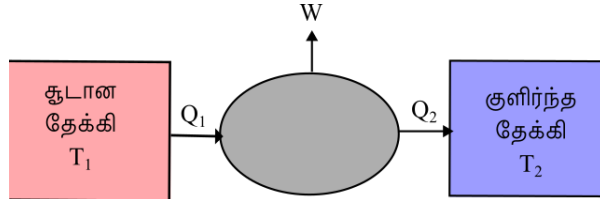
(அ) இதில் ஒரு **பணிப்பொருள்** என்ற அமைப்பு இருக்கிறது. சான்றாக, ஒரு எரிசற்பொறியிலோ தீசற்பொறியிலோ எரிமமும் வளியும் கலந்த கலவை பணிப்பொருள். நீராவிப்பொறியில் நீராவி பணிப்பொருள்.

(ஆ) பணிப்பொருள் பல நிகழ்முறைகள் அடங்கிய ஒரு சுழற்சிக்குள்ளாகிறது. இவற்றுள் சில நிகழ்முறைகளால் T_1 என்ற உயர்வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு புறத்தேக்கியிலிருந்து Q_1 அளவான மொத்த வெப்பத்தை உட்கவர்கிறது.

(இ) சுழற்சியின் மற்ற சில நிகழ்முறைகளில் பணிப்பொருள் T_2 என்ற தாழ்வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு புறத்தேக்கிக்கு Q_2 அளவான மொத்த வெப்பத்தை வழங்குகிறது.

(ஈ) சுழற்சியில் அமைப்பு செய்யும் வேலையான W சூழிடத்துக்கு ஒரு ஏற்பாட்டால் மாற்றலாகிறது. சான்றாக பணிப்பொருள் ஒரு உந்துதண்டுள்ள உருளையில் இருக்கலாம். இந்த உந்துதண்டு வண்டியின் சக்கரங்களுக்கு எந்திரவாற்றலை அனுப்புகிறது.

வெப்பப்பொறியின் அடிப்படைப்பண்புக் கூறுகளை படம் 12.9 திட்டப்படமாக குறிப்பிடுகிறது.



படம் 12.9 ஒரு வெப்பப்பொறியை

திட்டப்படமாக குறித்தல். பொறி T_1

வெப்பநிலையிலுள்ள சூடான

தேக்கியிலிருந்து Q_1 வெப்பத்தை எடுத்து, T_2 வெப்பநிலையிலுள்ள குளிர்ந்த தேக்கிக்கு Q_2 வெப்பத்தை விடுவித்து, சூழிடத்தில் W என்ற வேலையை செலுத்துகிறது.

இந்த சுழற்சி மீண்டும் மீண்டும் நடைபெற்று ஒரு நோக்கத்துக்கான பயனுள்ள வேலையை தருகிறது. ஆற்றலியக்கவியல் வெப்பப்பொறிகளின் ஆய்ந்தறிதலிலே தொடங்கியது. அடிப்படைக்கேள்வி வெப்பப்பொறியின் பயன்றினைப்பற்றியது. ஒரு வெப்பப்பொறியின் பயன்றினை (η)

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \quad (12.18)$$

என்று வரையறுக்கிறோம். இங்கு Q_1 வெப்பவுள்ளீடு; அதாவது ஒரு முழுச்சுழற்சியில் அமைப்பு உட்கவரும் வெப்பம்; W ஒரு சுழற்சியில் சூழிடத்தில் செய்த வேலை. ஒரு சுழற்சியில் ஓரளவான வெப்பம் (Q_2) சூழிடத்துக்கு நிராகரிக்கப்படலாம். அப்படியெனில், ஆற்றலியக்கத்தின் முதல்விதிப்படி

$$W = Q_1 - Q_2 \quad (12.19)$$

அதாவது

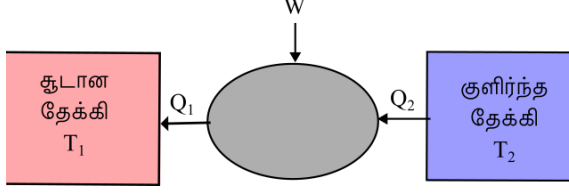
$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (12.20)$$

என்றாகிறது. $Q_2 = 0$ எனில், $\eta = 1$ ஆகும். அதாவது பொறி 100% பயன்றினைவெப்பத்தை வேலையாக மாற்றும். இவ்வாறான ஒரு பொறி இருப்பதன் சாத்தியம் ஆற்றலியக்கத்தின் முதல் விதியுடன் முரணாகவில்லை என்பதை நோக்குக. ஆனால், நடைமுறையான வெப்பப்பொறிகளில் நாம் வழக்கமாக எதிர்கொள்ளும் உராய்வு போன்ற பலவிதமான ஆற்றலிழப்புகளை நீக்கினாலும், $\eta = 1$ என்றிருக்கும் ஒரு நல்லியல்பான பொறி சாத்தியமேயில்லை என்பதை நம் பட்டறிவு காட்டுகிறது. இயற்கையின் மற்றொரு கொள்கை வெப்பப்பொறிகளின் பயன்றினைக்கு ஒரு அடிப்படையான எல்லையை புகுத்துகிறது. இந்த கொள்கையை ஆற்றலியக்கத்தின் இரண்டாம் விதி (12.11ஆம் பகுதி) என்கிறோம்.

வெப்பத்தை வேலையாக மாற்றும் இயங்குமுறை வெவ்வேறு வெப்பப்பொறிகளில் மாறுபடுகிறது. அடிப்படையில் இரண்டுவிதமான வழிகள் உள்ளன. நீராவிப்பொறிபோன்ற வற்றில் வளிமமோ வளிமக்கலவையோவான ஒரு அமைப்பு வெளியுலையில் சூடாக்கப்படுகிறது. அகவெரிப்புப் பொறிகளில் அமைப்பே ஒரு வெப்பமுயிழ்வேதிவினையால் எரிதலுக்குள்ளாகிறது. ஒரு சுழற்சியில் இடம்பெறும் வெவ்வேறு படிகளும் பொறிக்குப்பொறி மாறுபடுகின்றன.

12.10 குளிரூட்டிகளும் வெப்பமெக்கிகளும்

குளிரூட்டி வெப்பப்பொறியின் திருப்பு. இங்கு பணிப்பொருள் T_2 வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு குளிர்ந்த தேக்கியிலிருந்து Q_2 வெப்பத்தை எடுத்து T_1 வெப்பநிலையிலுள்ள ஒரு சூடான தேக்கிக்கு Q_1 வெப்பத்தை வெளியிடுகிறது. இதற்கு அமைப்பின் மீது சூழிடம் வேலையை செய்யவேண்டும் (படம் 12.10).



படம் 12.10 வெப்பப்பொறியின் திருப்பான வெப்பமெக்கியின் (குளிரூட்டியின்) திட்டப்படம்.

வெப்பமெக்கி என்பதும் குளிரூட்டியே. எந்தச்சொல்லை பயன்படுத்துகிறோம் என்பது அமைகருவியின் நோக்கத்தை சார்ந்தது. சூழிடம் அதிக வெப்பநிலையிலிருக்கும்போது அறை போன்ற ஓரிடத்தை குளிரவைப்பது நோக்கம் எனில், அமைகருவியை குளிரூட்டி என்கிறோம். சூழிடம் குறைந்த வெப்பநிலையிலிருக்கும் போது அறை போன்ற ஓரிடத்தை சூடாக்குவது நோக்கம் எனில் அமைகருவியை வெப்பமெக்கி என்கிறோம்.

குளிரூட்டியில் பணிப்பொருள் (வளிமமாயிருப்பது வழக்கம்) கீழ்க்காணும் படிகளின்வழி செல்கிறது. (அ) வளிமம் உயரழுத்தத்திலிருந்து தாழ்முத்தத்துக்கு திடீரென்று விரிவடைகிறது. இது வளிமத்தை குளிர வைத்து ஒரு வளிமநீர்மக்கலவையை உண்டாக்கு கிறது. (ஆ) குளிர்ந்த பாய்மம் குளிர்விக்கவேண்டிய இடத்திலிருந்து வெப்பத்தை உட்கவர்ந்து ஆவியாகிறது. (இ) அமைப்பின்மீது வெளியிலிருந்து வேலை செய்யப்படுவதால் ஆவி சூடாகிறது. (ஈ) ஆவி வெப்பத்தை சூழிடத்துக்கு வெளியிடுவதால் அமைப்பு தொடக்கநிலைக்கு வந்து சுழற்சி முழுமையடைகிறது.

குளிரூட்டியின் செயற்றிறக்கெழு

$$\alpha = \frac{Q_2}{W} \quad (12.21)$$

இங்கு Q_2 குளிர்நேக்கியிலிருந்து எடுத்த வெப்பம்; W குளிரூட்டியான அமைப்பின்மீது செய்த வேலை. (வெப்பமெக்கியின் செயற்றிறக்கெழுவை $\alpha = Q_1/W$ என்று வரையறுத்தோம்.) வரையறையின்படி η ஒன்றுக்குமேல் இருக்கவியலாது; ஆனால் α வுக்கு 1ஐவிட அதிகமான மதிப்பு இருக்கலாம். ஆற்றலின் அழியாக்காப்பினால், சூடான தேக்கிக்கு விடுவிக்கப்படும் வெப்பம்

$$Q_1 = W + Q_2$$

அதாவது

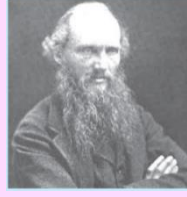
$$\alpha = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} \quad (12.22)$$

ஒரு வெப்பமெக்கி வெப்பத்தை முற்றிலும் வேலையாக மாற்றவியலாது. அதைப்போலவே, ஒரு குளிரூட்டி அமைப்பின்மீது வெளியிலிருந்து வேலை செய்யாமால் இயங்கவியலாது. அதாவது

(12.21) ஆம் சமன்பாட்டில் செயற்றிறக்கெழு முடிவிலியாக இயலாது என அறியலாம்.

ஆற்றலியக்கத்தின் முன்னோடிகள்

அயர்லாந்திலுள்ள பெல்பாசுட்டில் பிறந்த கெல்வின் பிரபு (வில்லியம் தாமிசன்) (1824-1907) பத்தொன்பதாம் நூற்றாண்டின் மிகச்சிறந்த பிரித்தானிய அறிவியலர்களுள் ஒருவர். இயேமசு சூல் (1818-1894), இயூலியசு மேயர் (1814-1878), எர்மன் எலுமோட்டு (1821-1894) ஆகியோரது பணிகளின் அடிப்படையில் ஆற்றலின் அழியாக்காப்புவிதியை



வளராக்குவதில் தாமிசன் முக்கியப்பங்கை வகித்தார். ஒரு வளிமம் வெற்றிடத்தில் விரிவாகும் போது அது குளிர்வதான குற்றாமிசனின் விளைவில் சூலுடன் கூட்டுழைத்தார். வெப்பநிலையின் ஒப்புறாச்

சூழியம் என்ற கருத்து வத்தை அறிமுகமாக்கி ஒப்புறா வெப்பநிலையளவத்தை முன் மொழிந்தார். இது அவரை பெருமைப்படுத்தும் வகையில் இன்று கெல்வினளவம் என்று வழங்குகிறது. சாடி கார்னோ (1796-1832) ஆற்றிய பணிகளிலிருந்து தாமிசன் ஆற்றலியக்கத் தின் இரண்டாம் விதியின் ஒரு வடிவத்தை வந்தடைந்தார். தாமிசன் இயற்பியலில் மின்காந்தக்கோட்பாடு, பாய்மவியங்கியல் போன்ற பல புலங்களிலும் குறிப்பிடத்தக்க வகையில் பங்களித்திருக்கிறார்.

போலந்தில் பிறந்த உருடால்பு கிளாசியசு (1822-1888)



ஆற்றலியக்கத்தின் இரண்டாம் விதியை கண்டு பிடித்தவராக பொதுவாக கருதப்படுகிறார். கார்னோ, தாமிசன் ஆகியோரது பணிகளின் அடிப்படையில் கிளாசியசு சீர்குலைவு என்ற முக்கியமான கருத்துவத்தை வந்தடைந்தார். இது ஒரு தனியமைப்பின் சீர்குலைவு ஒருபோதும் குறையவியலாது என்ற ஆற்றலியக்கத்தின் இரண்டாம் விதியின் அடிப்படையான வேற்றத்துக்கு அவரை அழைத்துச்சென்றது. கிளாசியசு வளிமங்களின் இயங்கியற்கோட்பாட்டிலும் பணியாற்றி, மூலக்கூறுகளின் அளவு, வேகம், இடைமத்தடங்கிலாப்பாதை, இன்ன பிறவற்றின் நம்பத்தகு மதிப்பறிதல்களை பெற்றார்.

12.11 ஆற்றலியக்கத்தின் இரண்டாம் விதி

ஆற்றலியக்கத்தின் முதலாம் விதி ஆற்றலின் அழியாக்காப்புக்கொள்கை. பொதுவான பட்டறிவு முதல்விதி அனுமதிக்கும் பல நிகழ்முறைகள் நிகழாததை காட்டுகிறது. சான்றாக, ஒரு மேசையில் கிடக்கும் புத்தகம் ஒரு உயரத்துக்கு தானாகவே குதிப்பதை யாரும் காண்பதில்லை. ஆனால் இவ்வாறான நிகழ்முறை முதல்விதியை மீறவில்லை. மேசை தானாகவே குளிர்ந்து தன் அகவாற்றலின் ஒரு பகுதியை சம அளவான எந்திரவிய ஆற்றலாக புத்தகத்துக்கு வழங்கலாம். ஆனால் இது நிகழ்வதேயில்லை. இந்த நிகழ்வு ஆற்றலை அழியாக்காப்பினும், இதை இயற்கையின் வேறொரு கொள்கை தடுப்பது தெளிவு. ஆற்றலியக்கத்தின் முதல்விதியுடன் ஒவ்வமை யான பல தோற்றப்பாடுகளை தடுக்கும் இந்த கொள்கையை ஆற்றலியக்கத்தின் இரண்டாம் விதி என்று அழைக்கிறோம்.

ஆற்றலியக்கத்தின் இரண்டாம் விதி வெப்பப்பொறியின் பயன்றிறனுக்கும் குளிர்நீரின் செயற்றிறக்கெழுவுக்கும் ஒரு அடிப்படையான செல்வரம்பை வழங்குகிறது. எளிய சொற்களில், இது ஒரு வெப்பப்பொறியின் பயன்றிறன் ஒருபோதும் ஒன்றுக்கு சமமாகாது என்று உரைக்கிறது. அதாவது, (12.20)ஆம் சமன்பாட்டில் குளிர்ந்தேக்கிக்கு வெளியிடும் வெப்பம் ஒருபோதும் சுழியமாகாது. ஒரு குளிர்நீரின் செயற்றிறக்கெழு ஒருபோதும் முடிவிலியாகாது என்றும் இரண்டாம் விதி உரைக்கிறது. அதாவது, (12.21)ஆம் சமன்பாட்டில் புறவேலை ஒருபோதும் சுழியமாகாது. கீழ்க்காணும் இரண்டு கூற்றுகளும் மேற்கண்ட கண்டறிதல்களின் பொருட்பொதிவான சுருக்க வரைகள். கெல்வினும் பிளாங்கும் சொன்னது கச்சிதமான வெப்பப்பொறியின் சாத்தியத்தை மறுக்கிறது. கிளாசியசு சொன்னது கச்சிதமான குளிர்நீரையோ வெப்பவெக்கியோ இருக்கும் சாத்தியத்தை மறுக்கிறது.

கெல்வின்பிளாங்கின் கூற்று

ஒரு தேக்கத்திலிருந்து வெப்பத்தை உட்கவர்ந்து அந்த வெப்பத்தை முழுவதுமாக வேலையாக மாற்றுவது மட்டுமே விளைவாக வுள்ள நிகழ்முறை சாத்தியமன்று.

கிளாசியசின் கூற்று

குளிர்ந்த பொருளிலிருந்து சூடான பொருளுக்கு வெப்பத்தை மாற்றுவது மட்டுமே விளைவாகவுள்ள நிகழ்முறை சாத்தியமன்று.

மேற்கண்ட இரண்டு கூற்றுகளும் ஒன்றுக்கொன்று சமானமானவை என்பது நிறுவக்கூடியது.

12.12 மீட்டிருப்பத்தகு நிகழ்முறைகளும்

மீட்டிருப்பத்தகு நிகழ்முறைகளும்

ஒரு ஆற்றலியக்க அமைப்பு i என்ற தொடக்க நிலையிலிருந்து f என்ற இறுதிநிலைக்கு மாறும் ஒரு நிகழ்முறையை கருதுக. நிகழ்முறையின்போது அமைப்பு சூழிடத்திலிருந்து Q என்ற வெப்பத்தை உட்கவர்ந்து அதன்மீது W என்ற வேலையை செய்கிறது. இந்த நிகழ்முறையை மீட்டிருப்பி வேறெங்கும் வேறெந்த விளைவும் இல்லாமல் அமைப்பையும் சூழிடத்தையும் அவற்றின் தொடக்கநிலைகளுக்கு கொண்டுவர இயலுமா? இயற்கையில் கிட்டத்தட்ட எல்லா நிகழ்வுகளுக்கும் இது சாத்தியமில்லை என்பதை நம் பட்டறிவு காட்டுகிறது. இயற்கையின் தானிகமும் நிகழ்முறைகள் மீட்டிருப்பத்தகாதவை. பல சான்றுகளை காட்டலாம். அடுப்பிலுள்ள ஒரு பாத்திரத்தின் அடிப்பாகம் மற்றப்பாகங்களைவிட சூடானது. அதை அடுப்பிலிருந்து எடுத்தபின் பாத்திரத்தின் அடிப்பாகத்திலிருந்து மற்றப்பாகங்களுக்கு வெப்பம் மாற்றலாகிறது. (இறுதியில் பாத்திரம் குளிர்ந்து சூழிடத்தின் வெப்பநிலையை அடைகிறது.) இந்த நிகழ்முறையை மீட்டிருப்ப இயலாது. பாத்திரத்தின் ஒரு பகுதி தானாகவே குளிர்ந்து அடிப்பாகத்தை சூடாக்காது. அவ்வாறு நேர்ந்தால், அது ஆற்றலியக்கத்தின் இரண்டாம் விதியை மீறும். ஒரு வளிமம் கட்டினறி விரிவாவது மீட்டிருப்பத்தகாதது. எரிசலும் வளிமமுமான கலவையை மின்வில்லால் எரிமூட்டும்போது உண்டாகும் எரிதல்வினையை மீட்டிருப்பவியலாது. சமையலறையில் வளிம வுருளையிலிருந்து கசியும் சமையல்வளிமம் அறை முழுவதுக்கும் விரவுகிறது. இந்த விரவனிகழ்முறை தானாக மீட்டிருப்பி வளிமத்தை உருளைக்குள் கொண்டுவராது. ஒரு வெப்பத்தேக்கியுடன் தொடுகையிலுள்ள ஒரு நீர்மத்தை கலக்கும்போது அந்த வேலை வெப்பமாக மாறி தேக்கியின் அகவாற்றலை உயர்த்துகிறது. இந்த நிகழ்முறையை முழுச்சரியாக மீட்டிருப்பவியலாது. அவ்வாறு இயன்றால் அது வெப்பத்தை முற்றிலுமாக வேலை யாக்குவதாக பொருள்படும். இது ஆற்றலியக்கத்தின் இரண்டாம்விதியை மீறும். இயற்கையில் மீட்டிருப்பத்தகாமை ஒரு விதி; விதிவிலக்கன்று.

மீட்டிருப்பத்தகாமை பொதுவாக இரண்டு காரணங்களால் எழுகிறது. முதலாவதாக, கட்டிலா விரிவாதல், வெடிப்புவேதிவினை போன்ற பல நிகழ்முறைகள் அமைப்பை சமநிலையற்ற நிலைகளுக்கு எடுத்துச் செல்கின்றன. இரண்டாவதாக, பெரும்பான்மை யான நிகழ்முறைகளில் உராய்வு, பாகுமை போன்ற வெளிக்கசிவுவிளைவுகள் இடம்பெறு

கின்றன. அசையும் பொருள் எந்திரவிய ஆற்றலை தரைக்கும் பொருளுக்கும் வெப்பமாக இழந்து நின்றதுவிடுவதும், ஒரு நீர்மத்தில் சுழலும் தகடு பாகுமையால் எந்திரவிய ஆற்றலை இழந்து நீர்மத்தின் அகவாற்றலை அதிகரித்து இறுதியில் நின்றதுவிடுவதும் சான்றுகள். வெளிக்கசிவு விளைவுகள் எல்லாவிடங்களிலும் இருப்பதாலும் அவற்றை குறைக்கலாமெனினும் நீக்கவியலாது என்பதாலும் நாம் எதிர்கொள்ளும் கிட்டத்தட்ட எல்லா நிகழ்முறைகளும் மீட்டிருப்பத்தகாதவை.

i நிலையிலிருந்து f நிலைக்கு மாறும் ஒரு ஆற்றலியக்க நிகழ்முறை மீட்டிருப்பத்தக்கது என்பதன் பொருள் புடவியின் வேறெந்தப் பகுதியிலும் எந்த விளைவுகளையும் ஏற்படுத்தாமல் அமைப்பும் சூழிடமும் தங்கள் தொடக்க நிலைக்கு திரும்பும்படி நிகழ்முறையை திருப்பிச்செலுத்த இயலும் என்பது. மேற்கண்ட உரையளிப்பிலிருந்து மீட்டிருப்பத்தகு நிகழ்முறை என்பது ஒரு நல்லியபாக்கப்பட்ட கருத்துவம் என்று அறிகிறோம். ஒரு நிகழ்முறை போன்மநிலைமமானதாகவும் (ஒவ்வொரு கட்டத்திலும் அமைப்பு சூழிடத்துடன் சமநிலையில் உள்ளது) வெளிக்கசிவுவிளைவுகள் இல்லாமலும் இருந்தால் மட்டுமே மீட்டிருப்பத்தக்கது. சான்றாக, ஒரு நல்லியல்புவளிமம் உராய்வற்ற அசையும் உந்துதண்டு பொருந்திய உருளையில் போன்ம நிலைமமாக சமவெப்ப விரிவாக்க மடைவது ஒரு மீட்டிருப்பத்தகு நிகழ்முறை.

ஆற்றலியக்கத்தில் மீட்டிருப்புமை இவ்வாறான அடிப்படைக்கருத்துருவாக இருப்பது ஏன்? நாம் முன்பே கண்டபடி, ஆற்றலியக்கத்தின் ஒரு ஆர்வம் வெப்பத்தை எவ்வளவு பயன்றிறனுடன் வேலையாக மாற்றலாம் என்பது. 100% பயன்றிறனான கச்சிதமான வெப்பப்பொறியின் சாத்தியத்தை ஆற்றலியக்கத்தின் இரண்டாம் விதி முற்றிலும் விலக்குகிறது. ஆனால் T_1 , T_2 ஆகிய வெப்பநிலைகளிலுள்ள இரண்டு தேக்கிகளுக்கிடையில் பணியாற்றும் வெப்பப் பொறிக்கு சாத்தியமான மீப்பெரும பயன்றிறன் என்ன? நல்லியல்பாக்கிய மீட்டிருப்பத்தகு நிகழ்முறைகளின் அடிப்படையிலான வெப்பப் பொறிகளே சாத்தியமான மீப்பெரும பயன்றிறனை அடைகின்றன என்பது உண்மை. ஏதோவொரு விதத்தில் மீட்டிருப்பத்தகாமை இடம்பெறும் மற்றெல்லா பொறிகளும் (எல்லா நடைமுறையான பொறிகளும்) இந்த எல்லையைவிட குறைந்த பயன்றிறனுள்ளவை.

12.13 கார்னோவின் பொறி

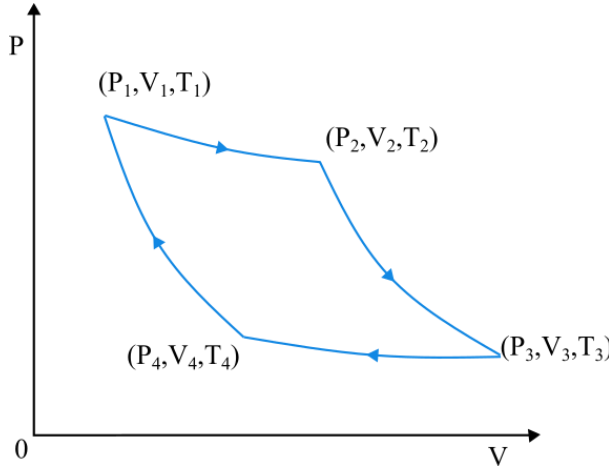
T_1 என்ற வெப்பநிலையில் ஒரு சூடான தேக்கியும் T_2 என்ற வெப்பநிலையில் ஒரு குளிர்ந்த தேக்கியும் இருப்பதாக கொள்வோம். இந்த இரண்டு தேக்கிகளிடையில் செயலாற்றும் வெப்பப்பொறிக்கு சாத்தியமான மீப்பெருமப்

பயன்றிறன் என்ன? இந்த மீப்பெரும பயன்றிறனை அடைய எவ்விதமான நிகழ்முறைகள் அடங்கிய சுழற்சியை மேற்கொள்ளவேண்டும்? சாடி கார்னோ என்ற பிரான்சிய பொறியியலர் 1824இல் முதன்முதலாக இந்த கேள்வியை கருதினார். அப்போது வெப்பம் ஆற்றலியக்கம் போன்றவற்றின் அடிப்படையான கருத்துருக்கள் உறுதியாக நிறுவப்பட்டிருக்கா விடினும், கார்னோ சரியான விடையை வந்தடைந்தது மிகவும் ஆர்வமானது.

இரண்டு வெப்பநிலைகளுக்கிடையில் செயலாற்றும் நல்லியல்பான பொறி மீட்டிருப்பத்தக்கது என்று எதிர்பார்ப்போம். முந்தைய பகுதியில் சொன்னபடி, மீட்டிருப்பத்தகாமை வெளிக்கசிவுவிளைவுகளுடன் தொடர்புள்ளது; அது பயன்றிறனை குறைக்கிறது. ஒரு நிகழ்முறை போன்மநிலைமமானதும் வெளிக்கசிவுகள் இல்லாததும் எனில் அது மீட்டிருப்பத்தக்கது. அமைப்புக்கும் சூழிடத்துக்குமிடையில் ஒரு முடிவுறு வெப்பநிலைவேறுபாடு இருந்தால் நிகழ்முறை போன்மநிலைமமானதன்று என்று முன்பு கண்டோம். இதனால், இரண்டு வெப்பநிலைகளுக்கிடையில் செயலாற்றும் ஒரு மீட்டிருப்பத்தகு வெப்பப்பொறியில் வெப்பத்தை சூடான தேக்கத்திலிருந்து சமவெப்பமாக உட்கவர்ந்து குளிர்ந்த தேக்கத்துக்கு சமவெப்பமாக வெளியிடவேண்டும் என்று பொருளாகிறது. இவ்வாறு மீட்டிருப்பத்தகு வெப்பப்பொறியின் இரண்டு படிக்களை இனங்கண்டிருக்கிறோம். அவை சூடான தேக்கியிலிருந்து T_1 வெப்பநிலையில் Q_1 வெப்பத்தை உட்கவரும் சமவெப்ப நிகழ்முறை, குளிர்ந்த தேக்கிக்கு T_2 வெப்பநிலையில் Q_2 வெப்பத்தை வழங்கும் சமவெப்ப நிகழ்முறை ஆகியவை. சுழற்சியை முழுமையாக்க அமைப்பை T_1 இலிருந்து T_2 க்கும் பிறகு T_2 இலிருந்து T_1 க்கும் எடுத்துச்செல்லவேண்டும். இந்த நோக்கத்துக்காக எவ்விதமான மீட்டிருப்பத்தகு நிகழ்முறைகளை பயன்படுத்தலாம்? சற்று சிந்திக்கும்போது, இந்த நிகழ்முறைகளின்போது எந்த தேக்கத்திலிருந்தும் வெப்பம் பாய வேண்டாம் என்று நாம் விரும்புவதால், இதற்காக மீட்டிருப்பத்தகு வெப்பமாற்றா நிகழ்முறைகளையே பயன்படுத்தலாம் என்று அறிகிறோம். அமைப்பை ஒரு வெப்பநிலையிலிருந்து மற்றொரு வெப்பநிலைக்கு எடுத்துச்செல்ல (சமப்பெரும நிகழ்முறை போன்ற) வேறெந்த நிகழ்முறையை பயன்படுத்தினாலும், ஒவ்வொரு கட்டத்திலும் நிகழ்முறையை போன்மநிலைமமாக வைத்திருக்க T_1 க்கும் T_2 க்குமிடையிலுள்ள பல தேக்கிகளின் தொடரை பயன்படுத்த வேண்டும். (ஒரு நிகழ்முறை போன்மநிலைமமானதும் மீட்டிருப்பத்தக்கதுமாக இருக்க வேண்டுமெனில், அமைப்புக்கும் தேக்கிக்குமிடையில் வெப்பநிலைவேறுபாடு இருக்கக்

கூடாது என்பதை மீண்டும் நினைவுகொள்க.) ஆனால் இரண்டு வெப்பநிலைகளுக்கிடையில் மட்டுமே செயலாற்றும் ஒரு வெப்பப்பொறியை நாம் கருத்தில் கொண்டிருக்கிறோம். இவ்வாறு, இந்தப்பொறியில் அமைப்பை T_1 இலிருந்து T_2 க்கும் T_2 இலிருந்து T_1 க்கும் கொண்டுசெல்லும் நிகழ்முறைகள் வெப்பமாறா நிகழ்முறைகளாக இருக்கவேண்டும்.

இரண்டு வெப்பநிலைகளுக்கிடையில் செயலாற்றும் ஒரு மீட்டிருப்பத்தக்க வெப்பப் பொறியை கார்னோவின் பொறி என்கிறோம். படம் 12.11இல் காட்டிய இவ்வாறான பொறியின் (கார்னோவின் சுழற்சி என்று அழைக்கப்படும்) ஒரு சுழற்சியில் கீழ்க்காணும் படிகள் இருக்கவேண்டும் என்று மேல் கண்டோம். நாம் கார்னோப்பொறியின் பணிப் பொருளை நல்லியல்புவளிமமாக எடுக்கிறோம்.



படம் 12.11 ஒரு நல்லியல்புவளிமம் பணிப்பொருளாக செயலாற்றும் வெப்பப்பொறிக்கான கார்னோவின் சுழற்சி

(அ) 1→2 (1இலிருந்து 2க்கான படி): (P_1, V_1, T_1) இலிருந்து (P_2, V_2, T_1) க்கு வளிமத்தின் சமவெப்ப விரிவாக்கம்.

T_1 வெப்பநிலையிலுள்ள தேக்கத்திலிருந்து வளிமம் உட்கவரும் Q_1 என்ற வெப்பத்தை (12.12)ஆம் சமன்பாடு தருகிறது. இதுவே வளிமம் சூழிடத்தில் செய்யும் வேலையான $W_{1→2}$ உம்.

$$W_{1→2} = Q_1 = \mu RT \text{ இமட } \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \quad (12.23)$$

(ஆ) 2→3: (P_2, V_2, T_1) இலிருந்து (P_3, V_3, T_2) க்கு வளிமத்தின் வெப்பமாற்றா விரிவாக்கம். (12.16) ஆம் சமன்பாட்டின்படி, வளிமம் செய்யும் வேலை

$$W_{2→3} = \frac{\mu R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1} \quad (12.24)$$

(இ) 3→4: (P_3, V_3, T_2) இலிருந்து (P_4, V_4, T_2) க்கு வளிமத்தின் சமவெப்ப அழுக்கம்

வளிமம் T_2 வெப்பநிலையில் தேக்கத்துக்கு விடுவிக்கும் வெப்பமான Q_2 ஐ (12.12)ஆம் சமன்பாடு தருகிறது. இதுவே வளிமத்தில் சூழிடம் செய்யும் வேலையும் ஆகிறது.

$$W_{3→4} = Q_2 = \mu RT_2 \text{ இமட } \left(\frac{V_3}{V_4} \right) \quad (12.25)$$

(ஈ) 4→1: (P_4, V_4, T_2) இலிருந்து (P_1, V_1, T_1) க்கு வளிமத்தின் வெப்பமாற்றா அழுக்கம்

வளிமத்தில் செய்த வேலை ((12.16) ஆம் சமன்பாட்டை பயன்படுத்தி)

$$W_{4→1} = \mu R \left(\frac{T_1 - T_2}{\gamma - 1} \right) \quad (12.26)$$

என்று பெறுகிறோம். (12.23)முதல் (12.26)வரை யான சமன்பாடுகளிலிருந்து ஒரு முழுச்சுற்றில் வளிமம் செய்யும் வேலையை

$$W = W_{1→2} + W_{2→3} - W_{3→4} - W_{4→1} \\ = \mu RT_1 \text{ மட } \left(\frac{V_2}{V_1} \right) - \mu RT_2 \text{ மட } \left(\frac{V_3}{V_4} \right) \quad (12.27)$$

என்று பெறுகிறோம். கார்னோப்பொறியின் பயன்றிறன்

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \left(\frac{T_1}{T_2} \right) \frac{\text{மட} \left(\frac{V_3}{V_4} \right)}{\text{மட} \left(\frac{V_2}{V_1} \right)} \quad (12.28)$$

2→3 படி வெப்பமாற்றா நிகழ்முறை என்பதால்

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$$

அதாவது

$$\frac{V_2}{V_3} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \quad (12.29)$$

4→1 படி வெப்பமாற்றா நிகழ்முறை என்பதால்

$$T_2 V_4^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1}$$

அதாவது

$$\frac{V_1}{V_4} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \quad (12.30)$$

(12.29), (12.30)ஆகிய சமன்பாடுகளிலிருந்து

$$\frac{V_3}{V_4} = \frac{V_2}{V_1} \quad (12.31)$$

என்பதை பெறுகிறோம். (12.31) ஆம் சமன்பாட்டை (12.28)இல் பயன்படுத்தி

$$\eta = 1 - \left(\frac{T_1}{T_2} \right) \text{ கார்னோப்பொறிக்கு} \quad (12.32)$$

என்று பெறுகிறோம்.

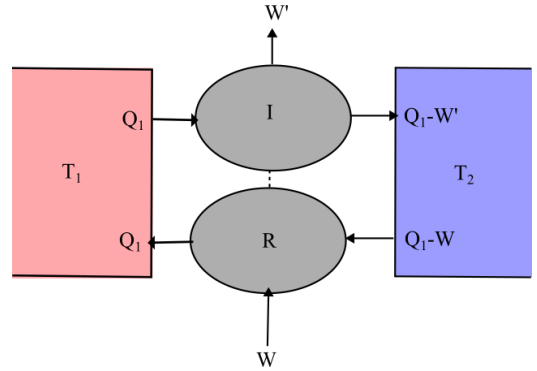
கார்னோப்பொறி ஒரு மீட்டிருப்பத்தக பொறி என்று முன்பே கண்டிருக்கிறோம். உண்மையில் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளிலுள்ள இரண்டு தேக்கங்களுக்கிடையில் செயலாற்றும்

ஒரே சாத்தியமான மீட்டிருப்பத்தகு பொறி இதுவே. படம் 12.11இல் காட்டிய கார்னோச் சுழற்சியின் ஒவ்வொரு படியையும் மீட்டிருப்பலாம். இதன் பொருள் T_2 இலுள்ள குளிர்ந்தேக்கத்திலிருந்து Q_2 வெப்பத்தை எடுத்து அமைப்பின் மீது W என்ற வேலையை செய்து T_1 இலுள்ள சூடான தேக்கத்துக்கு Q_1 வெப்பத்தை மாற்றலாக்குவது. இது ஒரு மீட்டிருப்பத்தகு குளிரூட்டி.

அடுத்ததாக, சிலநேரங்களில் கார்னோவின் தேற்றம் என்று அழைக்கப்படும் ஒரு முக்கியமான விளைவை நிலைநாட்டுவோம். இது (அ) குறிப்பிட்ட T_1, T_2 என்ற வெப்பநிலைகளிலுள்ள முறையே சூடானதும் குளிரானதுமான தேக்கிகளிடையில் செயலாற்றும் எந்தப்பொறிக்கும் அதே வெப்பநிலைகளிடையில் செயலாற்றும் கார்னோப்பொறியைவிட அதிகப்பயன்றின் இருக்கவியலாது என்றும் (ஆ) கார்னோப்பொறியின் பயன்றின் பணிப்பொருளின் இயல்பை சாராதது என்றும் உரைக்கிறது.

(அ) என்ற விளைவை நிறுவ, ஒரே ஊற்றிலும் (சூடான தேக்கம்) வடிகாலிலும் (குளிர்ந்த தேக்கம்) செயலாற்றும் R என்ற ஒரு மீட்டிருப்பத்தகு (கார்னோ) பொறியையும் I என்ற ஒரு மீட்டிருப்பத்தகா பொறியையும் கருதுக. I வெப்பப்பொறியாகவும் R ஒரு குளிரூட்டியாகவும் செயலாற்றும் வகையில் பொறிகளை இணைக்கக் கட்டுவோம். I ஊற்றிலிருந்து Q_1 வெப்பத்தை உட்கவர்ந்து W' வேலையை வழங்கி, $Q_1 - W'$ வெப்பத்தை வடிகாலில் விடுவிக்கிறது. R ஊற்றுக்கு Q_1 வெப்பத்தை வழங்குவதாகவும் வடிகாலிலிருந்து Q_2 வெப்பத்தை எடுப்பதாகவும் R இன்மீது $W = Q_1 - Q_2$ வேலை செய்யப்படுவதாகவும் ஏற்பாடுசெய்வோம். இப்போது $\eta_R < \eta_I$ என்க. அதாவது R ஒரு பொறியாக செயலாற்ற வேண்டுமெனில், அது I ஐவிட குறைந்த வேலைவெளியீட்டை தருகிறது என்க. அதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட Q_1 க்கு $W < W'$ என்கிறோம். மொத்தமாக, இணைக்கப்பட்ட IR அமைப்பு $(Q_1 - W) - (Q_1 - W') = W' - W$ வெப்பத்தை குளிர்ந்த தேக்கத்திலிருந்து எடுத்து அதே அளவான வேலையை ஒரு சுழற்சியில் வழங்குகிறது; இதை ஊற்றிலோ வேறெங்குமோ எந்த மாற்றமும் இல்லாமல் நிறைவேற்றுகிறது. இது ஆற்றலியக்கத்தின் இரண்டாம் விதியின் கெல்வின் பிளாங்கின் கூற்றுக்கு முரணாவது தெளிவு. எனவே $\eta_I > \eta_R$ என்ற கூற்று தவறானது. எந்தப்பொறிக்கும் கார்னோப்பொறியைவிட அதிக பயன்றின் இருக்கவியலாது. இதுபோன்ற மற்றொரு விவாதத்தை கட்டுமானித்து ஒரு

குறிப்பிட்ட பணிப்பொருளுள்ள மீட்டிருப்பத்தகு பொறி மற்றொரு பணிப்பொருளை பயன்படுத்துவதைவிட அதிக பயன்றிறனாக இயலாது என்றும் காட்டலாம். கார்னோப்பொறியின் மீப்பெரும பயன்றிறனாக (12.32) ஆம் சமன்பாடு தருவது கார்னோச் சுழற்சியின் செயலங்களை செயலாற்றும் அமைப்பின் இயல்பை சாராதது. இதனால் நாம் கார்னோப்பொறியின் பயன்றிறனை (η) கணக்கிட நல்லியல்பு வளிமத்தை பயன்படுத்தியது நியாயமானது. நல்லியல்புவளிமத்துக்கு எளிய நிலைச்சமன்பாடு இருப்பதால் இது η வை எளிதில் கணக்கிட உதவுகிறது. ஆனால், (12.32) ஆம் சமன்பாட்டின் இறுதிவிளைவு எந்த கார்னோப்பொறிக்கும் சரியானது.



படம் 12.12 ஒரு

மீட்டிருப்பத்தகாப்பொறியுடன் (I) இணைக்கப்பட்ட மீட்டிருப்பத்தகு குளிரூட்டி (R). $W' > W$ எனில், வடிகாலிலிருந்து $W' - W$ அளவான வெப்பத்தை எடுத்து அதை முற்றிலும் வேலையாக மாற்றியதாக பொருள்படும்; இது ஆற்றலியக்கத்தின் இரண்டாம் விதியுடன் முரணாகிறது. இந்த இறுதிக்குறிப்பு கார்னோச்சுழற்சியில்

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (12.33)$$

என்பது அமைப்பின் இயல்பை சாராத ஒரு அனைத்துவ உறவு என்று காட்டுகிறது. இங்கு Q_1 உம் Q_2 உம் கார்னோப்பொறியில் சமவெப்பமாக முறையே சூடான தேக்கியிலிருந்து உட்கவர்ந்ததும் குளிர்ந்த தேக்கிக்கு விடுவித்ததுமான வெப்பம். எனவே (12.33) ஆம் சமன்பாட்டை கார்னோச்சுழற்சியில் பயன்படும் அமைப்பின் எந்த குறிப்பிட்ட பண்பையும் சாராத உண்மையிலே அனைத்துவ மான ஒரு வெப்பநிலையளவத்தை வரையறுக்கும் உறவாக பயன்படுத்தலாம். ஒரு நல்லியல்பு வளிமம் பணிப்பொருளாயிருக்கும்போது இந்த அனைத்துவ வெப்பநிலை 12.11 ஆம் பகுதியில் அறிமுகமான நல்லியல்புவளிம வெப்பநிலையே.

சுருக்கவுரை

1. ஆற்றலியக்கத்தின் சுழியாம் விதி 'ஓரமைப்புடன் வெப்பச்சமநிலையிலிருக்கும் இரண்டு அமைப்புகள் ஒன்றுடனொன்றும் வெப்பச்சமநிலையில் இருக்கின்றன' என்று உரைக்கிறது. சுழியாம் விதியிலிருந்து வெப்பநிலை என்ற கருத்துருவை பெறுகிறோம்.
2. ஓரமைப்பின் அகவாற்றல் அதிலுள்ள மூலக்கூறுகளின் இயக்கவாற்றலும் இயன்மவாற்றலும் சேர்ந்த கூட்டல். இதில் அமைப்பு மொத்தமாக அசைவதன் இயக்கவாற்றல் சேரவில்லை. வெப்பமும் வேலையும் அமைப்புக்கு ஆற்றலை மாற்றலாக்கும் இரண்டு நிலமங்கள். வெப்பம் என்பது அமைப்புக்கும் சூழிடத்துக்குமிடையான வெப்பநிலைவேறுபாட்டால் எழும் ஆற்றன்மாற்றல். வேலை என்பது மற்ற வழிகளில் விளையும் ஆற்றன்மாற்றல். வளிமமடங்கிய உருளையின் உந்துதண்டுடன் இணைந்த எடையை குறைப்பதாலோ கூட்டுவதாலோ உந்துதண்டை அசைப்பது வேலைக்கு ஒரு சான்று.
3. ஆற்றலியக்கத்தின் முதல் விதி ஆற்றலின் அழியாக்காப்பு என்ற பொதுவிதியை சூழிடத்துக்கோ சூழிடத்திலிருந்தோ வெப்பமாகவோ வேலையாகவோ ஆற்றலை மாற்றலாக்கும் அமைப்புக்கு பயனாக்குகிறது. இது

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$

இங்கு ΔQ அமைப்புக்கு வழங்கப்படும் வெப்பம்; ΔW அமைப்பு செய்யும் வேலை; ΔU அமைப்பின் அகவாற்றலில் ஏற்படும் மாற்றம்.

4. ஒரு பொருளின் வெப்பக்கொண்மையை

$$s = \frac{1}{m} \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

என்று வரையறுக்கிறோம்; இங்கு, m பொருளின் நிறை; ΔQ அதன் வெப்பநிலையை ΔT அளவுக்கு மாற்ற தேவைப்படும் வெப்பம். ஒரு பொருளின் மோலீர வெப்பக்கொண்மையை

$$C = \frac{1}{\mu} \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

என்று வரையறுக்கிறோம்; இங்கு, μ பொருளின் மோலெண்ணிக்கை. ஒரு திண்மத்துக்கு ஆற்றலின் சமப்பங்கீட்டுவிதி

$$C = 3R$$

என்று தருகிறது. இது பொதுவாக இயல்பான வெப்பநிலைகளில் பரிசோதனைகளுடன் உடன்படுகிறது.

கலோரி வெப்பத்தின் ஒரு பழைய அலகு. ஒரு கலோரி என்பது $1g$ நீரின் வெப்பநிலையை $14.5^\circ C$ இலிருந்து $15.5^\circ C$ க்கு உயர்த்த தேவைப்படும் வெப்பம். 1 கலோரி = $4.186 J$.

5. ஒரு நல்லியல்புவளிமத்துக்கு மாறாவழுத்தத்திலும் மாறாப்பருமனிலுமான வெப்பக்கொண்மைகள்

$$C_p - C_v = R$$

என்ற தொடர்புடையவை; இங்கு R அனைத்துவ வளிமமாறிலி.

6. ஒரு ஆற்றலியக்க அமைப்பின் சமநிலையை நிலைமாறிகளால் விவரிக்கிறோம். ஒரு நிலைமாறியின் மதிப்பு குறிப்பிட்ட நிலையை மட்டுமே சார்ந்தது; அந்த நிலைக்கு வந்தடைந்த பாதையை சார்ந்திருக்கவில்லை. நிலைமாறிகளின் சான்றுகள் அழுத்தம் (P), பருமன் (V), வெப்பநிலை (T), நிறை (m) ஆகியவை. வெப்பமும் வேலையும் நிலைமாறிகள் அல்ல. நிலைச்சமன்பாடு என்பது வெவ்வேறு நிலைமாறிகளை இணைக்கும் ஒரு உறவு. $PV = \mu RT$ என்ற நல்லியல்புவளிமச்சமன்பாடு ஒரு சான்று.

7. ஒரு போன்மநிலைம நிகழ்முறை என்பது அமைப்பு சூழிடத்துடன் எப்போதும் வெப்பச்சமநிலையிலும் எந்திரவியச்சமநிலையிலும் இருக்கும்படியான ஒரு முடிவிலா மெதுவான நிகழ்முறை. ஒரு போன்மநிலைம நிகழ்முறையில் சூழிடத்தின் அழுத்தமும் வெப்பநிலையும் அமைப்பின் மதிப்புகளிலிருந்து சுழியெல்லையளவிலே வேறுபடலாம்.

8. ஒரு நல்லியல்புவளிமம் V_1 பருமனிலிருந்து V_2 க்கு T வெப்பநிலையில் சமவெப்பமாக விரிவாகும்போது உட்கவரும் வெப்பம் (Q) வளிமம் செய்யும் வேலைக்கு (W) சமம். அவற்றை

$$Q = W = \mu R T \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

என்ற கோவை தருகிறது.

9. ஒரு நல்லியல்புவளிமத்தின் வெப்பமாற்றா நிகழ்முறையில்

$$PV^\gamma = \text{மாறிலி}$$

இங்கு,

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

(P_1, V_1, T_1) என்ற நிலையிலிருந்து (P_2, V_2, T_2) க்கு வெப்பமாற்றா நிலைமாற்றத்துக்கு உள்ளாகும் ஒரு நல்லியல்புவளிமம் செய்யும் வேலை

$$W = \frac{\mu R(T_1 - T_2)}{\gamma - 1}$$

10. வெப்பப்பொறி என்ற அமைகருவியில் அமைப்பு ஒரு சுழனிகழ்முறைக்கு உட்படுவதால் வெப்பம் வேலையாக மாறுகிறது. ஒரு சுழற்சியின்போது ஊற்றிலிருந்து Q_1 வெப்பத்தை உட்கவர்ந்து வடிகாலுக்கு Q_2 ஐ விடுவித்து W வேலையை செய்தால், பொறியின் செயற்றிறன்

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

11. ஒரு குளிர்நட்டியிலோ வெப்பவெக்கியிலோ அமைப்பு குளிர்ந்த தேக்கியிலிருந்து Q_2 வெப்பத்தை எடுத்து சூடான தேக்கிக்கு Q_1 ஐ விடுவிக்கிறது; அமைப்பின்மீது W வேலை செய்யப்படுகிறது. குளிர்நட்டியின் செயற்றிறக்கெழு

$$\alpha = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

12. ஆற்றலியக்கத்தின் முதல் விதியுடன் ஒவ்வமையான சில நிகழ்முறைகளை ஆற்றலியக்கத்தின் இரண்டாம் விதி அனுமதிக்கவில்லை. இரண்டாம் விதியை பல வடிவங்களில் கூறலாம்.

கெல்வின்பிளாங்கின் கூற்று: ஒரு தேக்கத்திலிருந்து வெப்பத்தை உட்கவர்ந்து அந்த வெப்பத்தை முழுவதுமாக வேலையாக மாற்றுவது மட்டுமே விளைவாகவுள்ள நிகழ்முறை சாத்தியமன்று.

கிளாசியசின் கூற்று: குளிர்ந்த பொருளிலிருந்து சூடான பொருளுக்கு வெப்பத்தை மாற்றுவது மட்டுமே விளைவாகவுள்ள நிகழ்முறை சாத்தியமன்று.

எளிமையாக சொல்லவேண்டுமெனில், $\eta = 1$ என்ற பயன்றிறனுள்ள ஒரு வெப்பப்பொறி இல்லை என்பதையும் $\alpha = \infty$ என்ற செயற்றிறக்கெழுவுள்ள ஒரு குளிர்நட்டி இல்லை என்பதையும் இரண்டாம் விதி உள்ளூரைக்கிறது.

13. அமைப்பும் சூழிடமும் புடவியின் வேறெந்தப்பகுதியிலும் எந்த மாற்றமுமில்லாத வகையில் தொடக்க நிலைக்கு திரும்புமாறு ஒரு நிகழ்முறையை மீட்டிருப்ப இயலும் எனில், அது மீட்டிருப்பத்தகு நிகழ்முறை. இயற்கையில் தானிகழும் நிகழ்முறைகள் மீட்டிருப்பத்தகாதவை. நல்லியல்பாக்கப்பட்ட மீட்டிருப்பத்தகு நிகழ்முறை உராய்வு, பாகுமை, இன்ன பிற வெளிக்கசிவுக்காரணிகளற்ற ஒரு போன்மநிலைம நிகழ்முறை.

14. கார்னோவின் பொறி T_1 (ஊற்று), T_2 (வடிகால்) ஆகிய இரண்டு வெப்பநிலைகளிடையில் செயலாற்றும் ஒரு மீட்டிருப்பத்தகு பொறி. கார்னோச்சுழற்சியில் இரண்டு சமவெப்ப நிகழ்முறைகளும் அவற்றை இணைக்கும் இரண்டு வெப்பமாற்றா நிகழ்முறைகளும் உள்ளன. கார்னோப்பொறியின் செயற்றிறன்

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (\text{கார்னோப்பொறி})$$

இரண்டு வெப்பநிலைகளிடையில் செயலாற்றும் எந்தப்பொறியின் பயன்றிறனும் நிகரான கார்னோப்பொறியைவிட அதிகமாக இயலாது.

15. $Q > 0$ எனில், வெப்பம் அமைப்பில் சேர்கிறது

$Q < 0$ எனில், வெப்பம் அமைப்பிலிருந்து நீங்குகிறது

$W > 0$ எனில், அமைப்பு வேலையை செய்கிறது

$W < 0$ எனில், அமைப்பின்மீது வேலை செய்யப்படுகிறது

அளவு	அடையாளம்	பரிணாமங்கள்	அலகு	குறிப்புரை
பருமவிரிவாக்கத்தின் கெழு	α_v	$[K^{-1}]$	K^{-1}	$\alpha_v = 3 \alpha_l$
அமைப்புக்கு வழங்கப்படும் வெப்பம்	ΔQ	$[ML^2T^{-2}]$	J	Q நிலைமாறியன்று
வெப்பக்கொண்மம்	s	$[L^2T^{-2}K^{-1}]$	$J kg^{-1} K^{-1}$	
வெப்பக்கடத்துமை	K	$[MLT^{-3}K^{-1}]$	$J m^{-1} s^{-1} K^{-1}$	$H = -K A \frac{dT}{dx}$

உங்கள் சிந்தனைக்கு

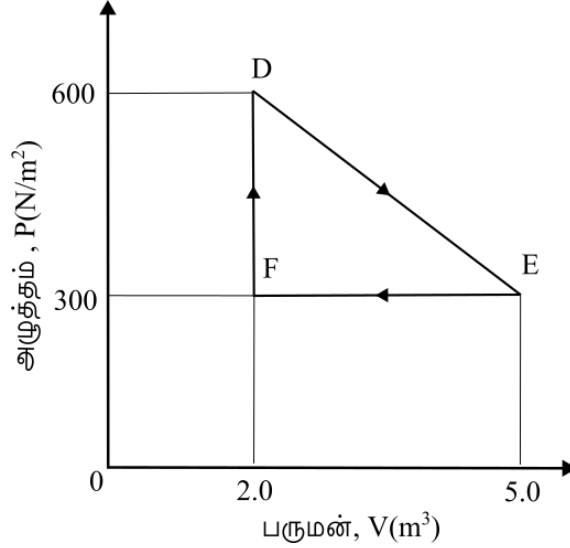
- ஒரு பொருளின் வெப்பநிலை அதன் சராசரி அகவாற்றலுடன் தொடர்புள்ளது; அதன் நிறைமையத்தின் அசைவின் இயக்கவாற்றலுடன் தொடர்பற்றது. ஒரு எய்வியிலிருந்து எய்த குண்டுக்கு அதிக வேகமிருப்பினும் அதிக வெப்பநிலை இல்லை.
- ஆற்றலியக்கத்தில் சமநிலை என்பது அமைப்பின் ஆற்றலியக்க நிலையை விவரிக்கும் பருமளவ மாறிகள் நேரத்துடன் மாறாமலிருக்கும் நிலைமையை குறிக்கிறது. எந்திரவியலில் ஒரு அமைப்பின் சமநிலை அமைப்பின்மீதான நிகர புறவிசையும் கோணவிசையும் சுழியமாவதை குறிக்கிறது.
- ஆற்றலியக்கச்சமநிலையில் அமைப்பின் நுண்ணளவ உள்ளடங்கிகள் எந்திரவிய நோக்கில் சமநிலையில் இல்லை.
- பொதுவாக, வெப்பக்கொண்மம் வெப்பம் செலுத்தப்படும்போது அமைப்பு மேற்கொள்ளும் நிகழ்முறையை சார்ந்திருக்கிறது.
- சமவெப்ப போன்மநிலைம நிகழ்முறைகளில் ஒவ்வொரு கட்டத்திலும் அமைப்பு சூழமைவின் வெப்பநிலையிலே இருப்பினும் வெப்பம் உட்கவர்வதோ வெளியிடுவதோ நடைபெறுகிறது. இது அமைப்புக்கும் தேக்கத்துக்குமிடையில் சுழியெல்லையான வெப்பநிலைவேறுபாட்டால் சாத்தியமாகிறது.

பயிற்சிகள்

- ஒரு வெந்நீராக்கி நிமிடத்துக்கு 3.0 L வீதத்தில் பாயும் நீரை 27°C இலிருந்து 77°C க்கு சூடாக்குகிறது. வெந்நீராக்கி செயலாற்றும் வளிமவெரிப்பியில் எரிமத்தின் எரிப்பு வெப்பம் $4.0 \times 10^4 J/g$ எனில், அது எரிமத்தை நுகரும் வீதம் என்ன?
- அறைவெப்பநிலையிலுள்ள $2.0 \times 10^{-2} kg$ நைற்றசனின் வெப்பநிலையை மாறாவழுத்தத்தில் 45°Cஆல் உயர்த்த எவ்வளவு வெப்பத்தை வழங்கவேண்டும்? (N_2 இன் மூலக்கூறு நிறை 28; $R = 8.3 J mol^{-1} K^{-1}$).
- ஏனென்று விளக்குக.
 - T_1, T_2 என்ற வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளிலுள்ள பொருள்களை வெப்பத்தொடுகைக்கு கொண்டுவரும்போது அவை சராசரி வெப்பநிலையான $(T_1 + T_2)/2$ வந்தடைவது கட்டாயமில்லை.
 - ஒரு வேதியாலையிலோ அணுவாலையிலோ வெப்பாற்றியின் (ஆலையின் வெவ்வேறு பாகங்கள் மிகைச்சூடாவதை தடுக்க பயன்படும் நீர்மத்தின்) வெப்பக்கொண்மை பெரிதாக இருக்கவேண்டும்.
 - ஒரு சிற்றுந்து ஓடும்போது அதன் வட்டுறையில் வளியழுத்தம் அதிகரிக்கிறது.
 - ஒரு பட்டினத்தின் (கடற்கரையோரத்திலுள்ள நகரத்தின்) சூழ்பருவம் அதே குத்துக்கோணத்தில் பாலைவனத்திலுள்ள நகரத்தைவிட மிதமானது.
- அசையும் உந்துதலுள்ள ஒரு உருளையில் 3 மோல் ஐதரசன் செந்தர வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் இருக்கிறது. உருளையின் சுவர்கள் வெப்பக்கடத்தற்காப்பியால் ஆனவை; உந்துதலின்மீதுள்ள ஒரு மணற்குவியல் அதையும் கடத்தற்காப்பிடுகிறது. வளிமத்தை அதன் தொடக்கப்பருமனில் பாதியாகும்படி அமுக்கினால் அழுத்தம் அதிகரிக்கும் காரணி என்ன?
- ஒரு வளிமத்தை A என்ற சமநிலையிலிருந்து B என்ற சமநிலைக்கு வெப்பமாற்றா வகையில் மாற்றும்போது அமைப்பின்மீது 22.3 J அளவான வேலையை செய்யவேண்டியதிருக்கிறது. வளிமத்தை Aயிலிருந்து B க்கு வேறொரு நிகழ்முறையால்

மாற்றும்போது அமைப்பு 9.35 கலோரி நிகர வெப்பத்தை உட்கவர்ந்தால் அமைப்பு செய்யும் நிகர வேலை எவ்வளவு?

- 12.6 சமப்பருமனுள்ள A , B என்ற இரண்டு உருளைகளை ஒரு குழாய்த்திறப்பியால் இணைக்கிறோம். A யில் செந்தர வெப்பநிலையழுத்தத்தில் ஒரு வளிமம் இருக்கிறது. B முற்றிலும் வெற்றிடமாக்கப்பட்டது. முழுவமைப்பையும் வெப்பக்காப்பிடுகிறோம். குழாய்த்திறப்பியை திடீரென்று திறக்கிறோம். கீழ்க்காண்பவற்றுக்கு விடையளிக்க.
- A யிலும் B யிலும் இறுதியழுத்தம் என்ன?
 - வளிமத்தின் அகவாற்றலில் மாற்றம் என்ன?
 - வளிமத்தின் வெப்பநிலையில் மாற்றம் என்ன?
 - அமைப்பின் இடைநிலைகள் (சமநிலையில் அமரும்முன்பு) அதன் PVT தளத்தில் இருக்கின்றனவா?
- 12.7 ஒரு நீராவிப்பொறி நிமிடத்துக்கு $5.4 \times 10^8 J$ வேலையை வழங்குகிறது; அதன் கொதிப்பியை நிமிடத்துக்கு $3.6 \times 10^9 J$ வெப்பத்தை செலவிடச்செய்கிறது. பொறியின் பயன்றிறன் என்ன? நிமிடத்துக்கு வீணாகும் வெப்பம் எவ்வளவு?
- 12.8 ஒரு மின்சூடாக்கி ஒரு அமைப்புக்கு $100 W$ வீதத்தில் வெப்பத்தை வழங்குகிறது. அமைப்பு நொடிக்கு 75 சூல் என்ற வீதத்தில் வேலையை செய்தால், அகவாற்றல் எந்த வீதத்தில் அதிகரிக்கிறது?
- 12.9 ஒரு ஆற்றலியக்க அமைப்பை தொடக்கநிலையிலிருந்து ஒரு இடைநிலைக்கு படம் 12.13இல் காட்டிய நேரிய நிகழ்முறையால் எடுத்துச்செல்கிறோம். பிறகு ஒரு சமவழுத்த நிகழ்முறையால் அதன் பருமனை E யிலிருந்து F என்ற தொடக்கநிலைக்கு கொண்டுவருகிறோம். வளிமம் D யிலிருந்து E யின்வழியாக F க்கு செல்லும்போது செய்யும் வேலையை கணக்கிடுக.



படம் 12.13

- 12.10 ஒரு குளிரூட்டி அதனுள் வைத்த உணவுப்பொருள்களை $9^\circ C$ இல் வைத்திருக்கவேண்டும். அறைவெப்பநிலை $36^\circ C$ எனில், செயற்றிறக்கெழுவை கணக்கிடுக.