

அலகு - II

வெப்ப இயக்கவியல் - II (Thermodynamics - II)

வெப்ப இயக்கவியலின் இரண்டாம் விதி

இவ்விதிக்கான தேவை

(முதல் விதியின் எல்லை - வரையறைகள் - Limitations - குறைபாடுகள்)

1. குறிப்பிட்ட செயல்முறை ஒன்றில் ஒரு அமைப்பு உறிஞ்சும் வெப்பம் Q , மற்றும் அது செய்யும் வேலை W , ஆகியவற்றிற்கிடையேயுள்ள தெளிவான தொடர்பை முதல் விதி தருகிறது. ஆனால் அது வெப்பம் பாயும் திசையைத் தருவதில்லை.

(எ.கா) நமது அனுபவத்திலிருந்து தாழ் வெப்ப நிலையிலிருந்து உயர்வெப்ப நிலைக்கு ஆற்றலைச் செலவழிக்காமல், அதாவது தன்னிச்சையாக வெப்பத்தை மாற்ற இயலாது என்பதை அறிவோம். ஆனால் முதல் விதியின்படி, தாழ்வெப்ப நிலையிலிருந்து உயர்வெப்ப நிலைக்கும், உயர்வெப்ப நிலையிலிருந்து தாழ் வெப்ப நிலைக்கும் வெப்பத்தை மாற்ற இயலும். இது (உண்மையல்ல) இதன் பொருள் முதல் விதியால் வெப்பம் பாயும் திசையை தர இயலவில்லை என்பதாகும்.

2. முதல் விதியின்படி, ஒரு குறிப்பிட்ட நிலைமாற்றத்தின்போது தனிமைப்படுத்தப்பட்ட அமைப்பொன்றின் ஆற்றல் மாறாத மதிப்புக்கொண்டிருக்கும். ஆனால் அவ்விதியால் ஒரு வினை நடைபெறும் சாத்தியக் கூறுகளைக் கணிக்க இயலுவதில்லை. அதாவது ஒரு நிலைமாற்றமோ அல்லது ஒரு வினையோ தன்னிச்சையாக நிகழுமா நிகழாதா என்பதை அவ்விதியால் கூறமுடிவதில்லை.

(எ.கா) நமது அனுபவத்திலிருந்து சீரான வெப்பநிலையை உடைய ஒரு உலோகத் தண்டு தன்னிச்சையாக (தானாகவே) ஒரு முனை குளிர்ந்ததாகவும் மறுமுனை சூடானதாகவும் மாற இயலாது என அறிவோம். அதாவது செயல்முறை நடைபெறக் கூடியதல்ல (not feasible). ஆனால் முதல் விதியின்படி இது இயலாது என்பதில்லை. அது கூறும் நிகழ்வு என்னவெனில் இச்செயல் முறை நிகழ்ந்தால் ஒரு முறையில் இழக்கப்பட்ட வெப்பம் மற்றொரு முனையில் பெறப்பட்ட வெப்பத்திற்குச் சமம் என்பது மட்டுமே.

3. முதல் விதியின் படி ஆற்றலின் ஒரு வடிவம் மற்றதாக மாற்றப்படலாம். ஆனால் வெப்ப ஆற்றலை முழுமையாக வேலையாக மாற்ற இயலாது என்ற உண்மையை அவ்விதி சுட்டிக் காட்டவில்லை.

முதல் விதியின் இந்த எல்லை வரையறைகளின் (குறையாடுகளின் காரணமாக, வெப்பம் பாயும் திசையைக் கணிக்கவும், ஒரு வினை நிகழலா நிகழாதா என்பதை கணிக்கவும், வேலையாக மாற்றப்படக்கூடிய வெப்பத்தின் அளவைக் கண்டுபிடிக்கவும், நமக்கு மற்றொரு விதி தேவைப்படுகிறது. இதுவே வெப்ப இயக்கவியல் இரண்டாம் விதிக்கான தேவையாகும். இரண்டாம் விதி யேலே தாப்பட்ட விளக்கங்களுக்கு விடையளிக்கிறது.

இரண்டாம் விதியிலிருந்து ஒரு புதிய வெப்ப இயக்கவியல் பண்பாகிய எண்ட்ரோபி (entropy) என்பதை நாம் வரையறுக்கிறோம். இதுவாடன் தொடர்புடைய வேறு சில பண்புகளையும் வரையறுக்கிறோம். ஒரு அமைப்பில் இப்பண்புகளில் ஏற்படும் மாற்றங்களை ஆராய்ந்து மீளும் மற்றும் மீளாச் செயல்முறைகளுக்கான நிபந்தனைகளை நாம் முன்மொழிவோம். இந்த நிபந்தனைகளை ஒரு வேதிவினை நிகழலா, நிகழாதா என்பதைக் கணிக்க பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

பல்வேறு வகைகளில் இரண்டாம் விதியைக் கூறுதல்

1. வேறெங்கும் மாற்றங்களை ஏற்படுத்தாத வகையில் வெப்பத்தை முழுமையாக சயானமான அளவு வேலையாக மாற்றவல்ல கற்றுக்களில் (in cycles) வேலை செய்யும் ஒரு இயந்திரத்தை கட்டமைக்க (construct) முடியாது.
2. தாழ்வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு பொருளிலிருந்து உயர் வெப்ப நிலையிலுள்ள பொருள் ஒன்றிற்கு, தானே இயங்கும் இயந்திரம் ஒன்றினால் சில வெளிப் பொறிகளின் (external agency) உதவியின்றி வெப்பத்தை மாற்ற இயலாது.
3. ஆற்றலின் ஏனைய வடிவங்கள் அனைத்தையும் முழுமையாக வெப்பமாக மாற்ற இயலும். ஆனால் வெப்பத்தை ஆற்றலின் வேறெந்த வடிவமாகவும் முழுமையாக மாற்ற இயலாது.
4. மீளும் செயல்முறை ஒன்றில் அமைப்பு மற்றும் சூழல் ஆகியவற்றின் மொத்த எண்ட்ரோபி மாற்றம், ΔS மாறாத மதிப்புக் கொண்டிருக்கும். மீளாச் செயல் முறை ஒன்றில் அது அதிகரிக்கும் அதாவது $\Delta S \geq 0$
5. மீளும் செயல்முறை ஒன்றில் அமைப்பு மற்றும் சூழல் ஆகியவற்றின் மொத்த கட்டளை ஆற்றல் மாற்றம், ΔG மாறாத மதிப்புக் கொண்டிருக்கும். மீளாச் செயல்முறை ஒன்றில் அது குறையும் அதாவது $\Delta G \leq 0$
6. தன்னிச்சையான செயல்முறைகள் அனைத்தும் மீளாச் செயல்முறைகளே.

விளக்கம் :

- 1 கற்றுக்களில் வேலை செய்யும் இயந்திரம் ஒன்று பகுதியளவு வெப்பத்தை மட்டுமே வேலையாக மாற்றுகிறது. செய்யப்பட்ட வேலைக்கும் உறிஞ்சப்பட்ட வெப்பத்திற்கும் இடையேயான விகிதம் 1 ஐ விடக் குறைவு.

$$\text{ஒரு இயந்திரத்தின் திறன்} = \frac{W}{Q} < 1$$

2. வெளியிலுள்ள வேறு பொறிகளின் உதவியின்றி, ஒரு இயந்திரத்தால், தானாகவே, தாழ்வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு பொருளிலிருந்து உயர் வெப்ப நிலையிலுள்ள ஒரு பொருளுக்கு வெப்பத்தை மாற்ற இயலாது.
3. மின்னாற்றல், வேதிஆற்றல் போன்ற எவ்வகையான ஆற்றலையும் வெப்பமாக மாற்றலாம். ஆனால் வெப்பத்தை முழுமையாக வேறு எந்த வகையான ஆற்றலாகவும் மாற்ற இயலாது.
4. வேலையாக மாற்ற இயலாத ஆற்றல் மற்றும் ஒழுங்கற்ற தன்மை ஆகியவற்றின் அளவுகோலான, எண்ட்ரோப்பி இப்புறியில் அதிகரித்துக் கொண்டே செல்கிறது.
5. வேலையாக மாற்றவல்ல ஆற்றலின் அளவுகோலான கட்டிலா ஆற்றல் இப்புறியில் குறைந்து கொண்டே வருகிறது.
6. இயற்கைச் செயல் முறைகள் அனைத்தும் மீளாச் செயல் முறைகளே, (எ.கா)
 - (1) மலையிலிருந்து பீடபூமிக்குத் தண்ணீர் தன்னிச்சையாகப் பாய்கிறது. அது தன்னிச்சையாகப் பாய்கிறது. அது தன்னிச்சையாக மலையில் ஏற முடியாது.
 - (2) ஒரு பொருளின் குடான முனையிலிருந்து குளிர்ச்சியான முனைக்கு வெப்பம் பாய்கிறது. ஆனால் ஒரு பொருளின் குளிர்ச்சியான முனையிலிருந்து குடான முனைக்கு வெப்பம் பாய முடியாது.
 - (3) மின்னழுத்தம் கூடுதலாக உள்ள புள்ளியிலிருந்து குறைவாக உள்ள புள்ளிக்கு மின்சாரம் தானாகவே பாய்கிறது. எதிர்த்திசையில் தானாகப் பாய்வதில்லை.

வெப்ப இயந்திரம் (Heat Engine)

ஒரு குடான பொருளிலிருந்து ஒரு குளிர்ந்த பொருளுக்கு வெப்பம் பாய்வது தன்னிச்சையான முறையாகும். இவ்வாறு தன்னிச்சையாக பாயக்கூடிய வெப்பத்தை தக்க ஒரு (உபகரணத்தைக்) கருவியைக் கொண்டு ஒரு வேலையைச் செய்ய பயன்படுத்தலாம்.

உயர் வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு வெப்ப மூலத்திலிருந்து குறைந்த வெப்பநிலையில் உள்ள ஒரு தொட்டிக்கு தன்னிச்சையாக பாயக்கூடிய வெப்பத்தைப் பயன்படுத்தி வேலை செய்யக்கூடிய ஒரு இயந்திரமே வெப்ப இயந்திரம் எனப்படும். நீராவி இயந்திரம் இதற்கான ஒரு சிறந்த எடுத்துக்காட்டாகும். அது (உயர் வெப்ப நிலை மூலத்திலிருந்து) கொதி கலனிலிருந்து வெப்பத்தை ஏற்றுக் கொண்டு, ஒரு பகுதி வெப்பத்தை வேலையாக மாற்றி, பயன்படாமல் உள்ள வெப்பத்தை குழலுக்கு (குறைந்த வெப்ப நிலையில் உள்ள தொட்டிக்கு) திருப்பிக் கொடுக்கிறது.

கார்டீனோ சுற்று சுற்று சுற்று சுற்று

கார்டீனோ (Carnot cycle) சுற்று

இது கார்டீனோ சுற்று :

1. கார்டீனோ இயந்திரம் கார்டீனோ அளக்கலைக் கருவிகளால் செய்யப்பட்டு, வெப்பமண்டலத்தின் ஒரு இயந்திரம் கார்டீனோ இயந்திரம் எனப்படுகிறது. இதில் வெப்பமண்டலம் வெப்பம் ஒரு வெப்ப மண்டலம், வெப்பமண்டலம் $T_2 > T_1$, மற்ற வெப்பமண்டலம் வெப்பமண்டலம் T_1 மற்றும் T_2 ஆகிய இரு வெப்பமண்டலங்களுக்கிடையே மீளும் வெப்பமண்டலம் இயந்திரம் வெப்பமண்டலம் செய்கிறது.

2. சுற்றுச் செயல்முறை (Cycle process) : ஒரு அமைப்பு மீளும் செயல்முறைகளுக்கு உட்படும் மீளும் செயல்முறை வெப்பமண்டலம் ஒரு சுற்றியமைப்பு முடிந்ததற்கு உட்படும் இயந்திரம் செயல்முறை சுற்றுச் செயல்முறை எனப்படும். ஒரு அமைப்பின் E, அதன் நிலைமை செயல்முறை மீளும் செயல்முறை, எனவே சுற்றுச் செயல்முறை ஒன்றில்.

$$\Delta E = 0 \text{ அதாவது } \Delta E = Q - W = 0$$

$$Q - W = 0 \text{ அதாவது } Q = W$$

3. கார்டீனோ சுற்று : கார்டீனோ இயந்திரத்தில் ஒரு சுற்று கார்டீனோ சுற்று எனப்படுகிறது. கார்டீனோ இயந்திரத்தில் ஒரு சுற்றின் போது அதில் எடுத்துக்கொள்ளப்பட்ட வெப்பமண்டலம் வெப்பமண்டலம் மீளும் செயல்முறைகளுக்கும் உள்ளிடிறது.

1. மீளும், வெப்பமண்டலம் மீளும் விநிதல்
2. மீளும் வெப்பமண்டலம் விநிதல்
3. நிலைமற்ற இயந்திரம் மீளும்
4. மீளும், வெப்பமண்டலம் இயந்திரம்.

உச்சபட்சமாக எவ்வளவு வெப்பத்தை வேலையாக மாற்ற இயலும் என்பதைக் காட்ட கார்டீனோ சுற்று பயன்படுத்தப்படுகிறது.

4. வெப்ப இயந்திரத்தின் திறன் (η)

$$\eta = \frac{\text{செய்யப்பட்ட வேலை } W}{\text{உறிஞ்சப்பட்ட வெப்பம் } Q} = \frac{W}{Q}$$

கார்போ இயந்திரத்தின் நிறைக்கான கோவை வகுவித்தல்

கார்போவின் மீளும் சுற்று :

கார்போ சுற்றின்போது அதில் உள்ள நல்லியல்பு வாயுவின் அழுத்தமும் கன அளவும் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி, மாறுகின்றன.

மீளும், வெப்பநிலை மாறா விரிதல் :

ஒரு மோல் நல்லியல்பு வாயு T_2 வில் உள்ள தேக்கியிலிருந்து (reservoir) வெப்பத்தை மாறாமலும் மீளும் வகையிலும் விரிவடைகிறது.

வாயுவின் கன அளவு V_1 னிலிருந்து V_2 டுக்கு மாறுகிறது. இம்மாற்றத்தின்போது

$$\begin{aligned} \text{வெப்பமாற்றம்} &= Q_2 \\ \text{செய்யப்பட்ட வேலை} &= W_1 \\ W_1 &= RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} \end{aligned}$$

வாயு, நல்லியல்பு வாயுவாதலால் $Q_2 = W_1$

2. மீளும் வெப்பமாறா விரிதல் :

இரண்டாவது படத்தில் T_2 வில் உள்ள நல்லியல்பு வாயு வெப்பமாறா முறையில் விரிவடையும்படி விடப்படுகிறது. கன அளவு V_2 னிலிருந்து V_3 டுக்கு மாறுகிறது. வெப்பநிலை T_1 ஆகக் குறைகிறது.

$$\text{வெப்ப மாற்றம்} = 0$$

$$\text{செய்யப்பட்ட வேலை } W_2 = C_v \int_{T_2}^{T_1} dT = -C_v (T_1 - T_2)$$

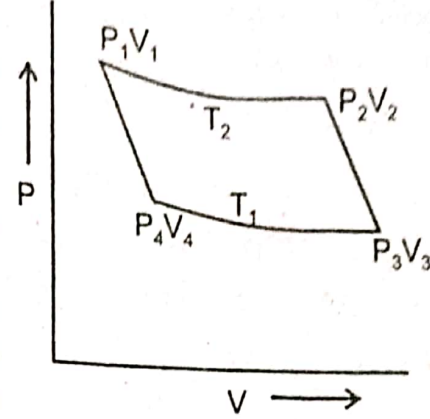
$$W_2 = C_v (T_2 - T_1)$$

3. மீளும் வெப்பநிலை மாறா இறுக்கம் :

மூன்றாவது படத்தில் வாயு T_1 -ல் இருக்கும் தேக்கியில் வைக்கப்பட்டு வெப்பநிலை மாறாமலும், மீளும் வகையிலும் இறுக்கப்படுகிறது. இப்போது தேக்கிக்கு Q_1 வெப்பம் தரப்படுகிறது. கன அளவு V_3 னிலிருந்து V_4 டுக்கு குறைகிறது.

$$\text{வெப்ப மாற்றம்} = -Q_1$$

$$\text{செய்யப்பட்ட வேலை } W_3 = RT_1 \ln \frac{V_3}{V_4} ; W_3 = -Q_1$$



4. மீளும், வெப்பமாறா இறுக்கம் :

நான்காம்படியில் வாயு வெப்பமாறா முறையில் இறுக்கப்படுகிறது. வெப்பநிலை T_1 -லிருந்து T_2 -வுக்கு உயர்கிறது. கனஅளவு V_4 -லிருந்து V_1 -க்குக் குறைகிறது. இவ்வாறாக சுற்று முடிக்கப்பட்டு வாயு துவக்க நிலைக்குத் திரும்புகிறது. நான்காவது படையில்

$$\text{வெப்பமாற்றம்} = 0$$

$$\text{செய்யப்பட்ட வேலை} = W_4 = -C_V(T_2 - T_1)$$

இச்சுற்றில் செய்யப்பட்ட மொத்த வேலை நான்கு படிகளிலும் செய்யப்பட்ட வேலையின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமம்.

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

$$W = RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} + C_V(T_2 - T_1) + RT_1 \ln \frac{V_4}{V_3} - C_V(T_2 - T_1)$$

$$W = RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} + RT_1 \ln \frac{V_4}{V_3}$$

T_2 -வில் இருக்கும் தேக்கியிலிருந்து உறிஞ்சிக்கொள்ளப்பட்ட வெப்பம்

$$Q_2 = RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad ; \quad \text{இயந்திரத்தின் திறன்} = \frac{W}{Q_2}$$

$$\frac{W}{Q_2} = \frac{RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} + RT_1 \ln \frac{V_4}{V_3}}{RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1}} \quad (1)$$

ஒரு சுற்றில் நிகழும் வெப்ப மாறா விரிதலுக்கு

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

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

வெப்ப மாறா இறுக்கத்திற்கு

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

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

(3)

(2) மற்றும் (3) ஐ ஒப்பு நோக்க

$$\frac{V_3}{V_2} = \frac{V_4}{V_1}; \text{ அதாவது } \frac{V_4}{V_3} = \frac{V_1}{V_2}; \text{ அதாவது}$$

இதை (1) ல் பதிலீடு செய்ய

$$\frac{W}{Q_2} = \frac{RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1} + RT_1 \ln \frac{V_1}{V_2}}{RT_2 \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

$$\frac{W}{Q_2} = \frac{(T_2 - T_1)}{T_2} \times \frac{R \ln \frac{V_2}{V_1}}{R \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

$$\frac{W}{Q} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

இவ்வாறாக, கார்னாட் இயந்திரத்தின் திறன் அது வேலை செய்யும் வெப்பநிலைகளால் தரப்படுகிறது. இதே வெப்பநிலைகளுக்கிடையில் மீளும் வகையில் வேலை செய்யும் வேறெந்த இயந்திரமும் இதே திறனைத்தான் பெற்றிருக்கும்.

திறன், வேலை செய்யும் பொருள், இயந்திரத்தின் வடிவமைப்பு ஆகியவற்றைப் பொருத்தல்ல. ஏனெனில் மேலே உள்ள சமன்பாட்டின்படி, திறன், வெப்ப மூலம் (source) மற்றும் வெப்பக் கழிவு தொட்டி (sink) ஆகியவற்றின் வெப்பநிலைகளை மட்டும் பொருத்துள்ளது. வேறெதையும் பொருத்ததல்ல.

வெப்ப இயந்திரத்தின் திறன் எப்போதுமே 1 ஐ விடக் குறைவு.

நிறுவதல் : $\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$ எனத் தெரியும்

$$\eta = \frac{T_2}{T_2} = \frac{T_1}{T_2} ; \text{ அதாவது } \eta < 1$$

காரணம் : $\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$ என்பது தெரியும்

$T_1 = 0$ ஆனால் ;

$$\eta = \frac{T_2 - 0}{T_2} = \frac{T_2}{T_2} = 1$$

அதாவது, ஒரு கார்னாட் சுற்றின் வெப்பக் கழிவுத் தொட்டியின் வெப்பநிலை OK யாக இருந்தால் அதன் திறன் 1 ஆக இருக்கும். ஆனால் OK என்பதை அடைய முடியாது. எனவே η எப்போதுமே 1 ஐ விடக் குறைவாகவே இருக்கும்.

ஒரே வெப்ப நிலையுடைய இரு தேக்கிகளிடையே ஒரு வெப்ப இயந்திரம் வேலை செய்ய இயலாது.

காரணம் $T_2 = T_1$ ஆனால், அப்பொழுது திறன் பூஜ்யமாகும். இதன் பொருள் இயந்திரம் வேலை செய்ய இயலாது என்பதாகும்.

குளிர்சாதன (Refrigeration) சுற்று

கார்னோ சுற்றில் உள்ள அனைத்து படிகளும் மீளக்கூடியவை. அதாவது கார்னோ சுற்றை எதிர் திசையிலும் நிகழ்த்தலாம். இப்போது வெப்பம் மற்றும் வேலை ஆகிய அனைத்தினுடைய குறியீடுகளும் எதிர்மாறாகும். இந்த எதிர்திசையில் நிகழ்த்தப்படும் இயந்திரமே குளிர்சாதன சுற்று கொண்டதாகும். இந்த எதிர்திசை இயந்திரம் குறைந்த வெப்பநிலையில் வெப்பத்தை உறிஞ்சி, குழல் இயந்திரத்தின் மீது ஓரளவு வேலையை நிகழ்த்தி, உயர் வெப்ப சாதனமாக செயல்படுகிறது. அதாவது குளிர்ந்த தேக்கியில் இது வெப்பத்தை ஏற்று குடான தேக்கியில் வெப்பத்தை வெளிவிடுகிறது. இயந்திரத்தின் மீது செய்யப்பட்ட வேலைக்கும் குறைந்த வெப்பநிலையில் உறிஞ்சப்பட்ட வெப்பத்திற்கும் உள்ள விகிதம் "இயந்திரத்தின் செயல்பாட்டுக் குணகம்" (coefficient of performance of the engine) எனப்படும். இது பின்வருமாறு குறிப்பிடப்படுகிறது.

$$\frac{-W}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} ; -W = Q_1 \frac{T_2 - T_1}{T_1}$$

குறைந்த வெப்பநிலை T_1 ல் ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்ட வெப்பம் Q_1 உயர் வெப்பநிலை T_2

ஆக, திறன் 1 கொண்டுள்ள ஒரு மீள் சுற்றின் தாழ் வெப்ப நிலையை வெப்ப இயக்கவியல் அளவுகோலின் பூஜ்யமாக வரையறுக்கலாம். அதாவது வெப்ப இயக்கவியல் அளவு கோலின் பூஜ்யம் என்பது, வெப்பத்தை முழுவதுமாக வேலையாக மாற்றவல்ல ஒரு மீள் சுற்றின் தாழ்வெப்ப நிலையாகும்.

இவ்வாறாக, கார்னாட் எந்திரத்தின் திறன், வெப்ப நிலைக்கான கெல்வின் (வெப்ப இயக்கவியல்) அளவுகோலின் வரையறைக்கு வழிவகுக்கிறது.

முக்கியத்துவம் :

ஒரு மீள் சுற்றின் தாழ்வெப்பநிலை, நல்லியல்பு வாயுக்களின் தனி வெப்பநிலை அலகில் பூஜ்யமாக இருந்தால்தான் அதன் திறன் 1 ஆக இருக்குமென நாம் முன்னரே கார்னாட் சுற்றால் கண்டுள்ளோம். அதாவது வெப்ப இயக்கவியல் அளவு கோலின் பூஜ்யம் என்பது, வெப்பத்தை முழுவதுமாக வேலையாக மாற்றவல்ல ஒரு மீள் சுற்றின் தாழ்வெப்ப நிலையாகும். எனவே வெப்பநிலைக்கான வெப்ப இயக்கவியல் அளவுகோலும், நல்லியல்பு வாயு அளவுகோலும் ஒன்றே என்பது தெளிவாகிறது.

எண்ட்ரோப்பி என்னும் கருத்து

கார்னோ இயந்திரத்தின் திறனிலிருந்து எண்ட்ரோப்பியின் வரையறை:

இரண்டாம் விதியின் அடிப்படையில் எண்ட்ரோப்பி எனப்படும் ஒரு புதிய வெப்ப இயக்கவியல் பண்பை வரையறுப்போம். வெப்ப இயந்திரம் ஒன்றின் திறனைப் பின்வரும் சமன்பாடு மூலம் குறிப்பிடுகிறோம்.

$$\frac{W}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

$W = Q_2 - Q_1$ என்பது நமக்குத் தெரியும். வெப்ப அளவுகளின் குறிகளைப் புறக்கணித்து W என்பதை Q_2 மற்றும் Q_1 ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகை என்று குறிப்பிடலாம். எனவே

$$W = Q_2 + Q_1$$

$$\frac{Q_2 + Q_1}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \quad ; \quad 1 + \frac{Q_1}{Q_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = - \frac{T_1}{T_2} \quad ; \quad = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$$

இதன் பொருள் மீள் சுற்று ஒன்றில் Q/T உறுப்புகளின் கூட்டுத்தொகை

பூஜ்யம் என்பதாகும். இது $\int_0^{q_{rev}} \frac{Q}{T} = 0$ என்று குறிப்பிடப்படுகிறது.

திருத்தமான வகைக்கெழுக்களின் வட்டத்தொகையின் மதிப்பு பூஜ்யம் என்பது நமக்குத் தெரியும். (cyclic integral of exact differential is zero) எனவே q_{rev}/T ஒரு திருத்தமான வகைக்கெழு ஆகும். q_{rev}/T ஐ dS என்று குறிப்பிடுகிறோம்.

$$\therefore dS = \frac{q_{rev}}{T}$$

இதில் S என்பது எண்ட்ரோப்பி எனப்படுகிறது. இது ஒரு நிலைப் பண்பாகும். S_1 என்பது அமைப்பின் துவக்க நிலை எண்ட்ரோப்பியாகவும் S_2 என்பது இறுதிநிலை எண்ட்ரோப்பியாகவும் இருந்தால்

$$S_2 - S_1 = \Delta S = \int_1^2 \frac{q_{rev}}{T}$$

ΔS என்பது எண்ட்ரோப்பி மாற்றமாகும். மாற்றத்தின்போது அமைப்பு எந்தப் பாதையைப் பின்பற்றுகிறது என்பதைப் பொருத்து இது அமையாது. இது துவக்க மற்றும் இறுதி நிலைகளை மட்டுமே பொருத்தது. உள்ளூறை ஆற்றலை போன்று எண்ட்ரோப்பி ஒரு புறப்பண்பாகும்.

வரையறை :

அமைப்பின் உண்மையான எண்ட்ரோப்பியை வரையறுப்பது கடினம். ஒரு நிலை மாற்றத்தின்போது எண்ட்ரோப்பி மாற்றத்தை வரையறுப்பது வசதியானது.

மீள்வழியில் நிகழ்த்தப்படும் செயல்முறையின் நுண்ணளவு சிறிய மாற்றத்தின்போது நிகழும் வெப்பமாற்றத்தை (q வை) தனி வெப்ப நிலையால் (T யால்) வகுக்கப்பட்டுள்ள அனைத்து உறுப்புகளின் தொகையாக, ஒரு அமைப்பின் எண்ட்ரோப்பி மாற்றம் (ΔS) வரையறுக்கப்படுகிறது.

கணித வடிவில் $\Delta S = \int_1^2 \frac{q_{rev}}{T}$

மீளாவழியில் வேலை செய்யும் ஒரு இயந்திரத்திற்கு திறன் 1 - ஐ விடக் குறைவு. எனவே மீளும் சுற்று ஒன்றின் q_{irr}/T உறுப்புகளின் கூட்டுத்தொகை பூஜ்யத்தைவிடக் குறைவாக இருக்கும்.

$$\oint \frac{q_{irr}}{T} < 0$$

எண்ட்ரோப்பியின் அலகுகள் : CGS அலகுகள் : கலோரி / டிகிரி.

இது எண்ட்ரோப்பி அலகு eu எனப்படும்.

SI அலகுகள் : ஜூல்கள் / டிகிரி கெல்வின். அதாவது JK⁻¹

எண்ட்ரோப்பியின் பண்புகள் :

எண்ட்ரோப்பி மாற்றத்திற்கும் அமைப்பின் பிற பண்புகளில் ஏற்படும் மாற்றத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு : மீளும் விரிதல் ஒன்றை எடுத்துக்கொள்வோம். வெப்ப இயக்கவியலின் முதல் விதியின்படி,

$$q_{rev} = dE + P_{op} dV$$

விரிதல் மீளும் தன்மையது. எனவே

$$P_{op} dV = PdV ; q_{rev} = dE + PdV$$

முழுச்சமன்பாட்டையும் Tயால் வகுக்க

$$\frac{q_{rev}}{T} = \frac{dE}{T} + \frac{P}{T} dV$$

எண்ட்ரோப்பியின் வரையறையின்படி இச்சமன்பாடு பின்வருமாறு ஆகிறது.

$$dS = \frac{1}{T} dE + \frac{P}{T} dV$$

இச்சமன்பாடு முதல்விதி மற்றும் இரண்டாம் விதி ஆகியவற்றை உள்ளடக்கியதாகும். இது ஒரு அமைப்பில் ஏற்படும் அனைத்து மாற்றங்களுக்கான ஒரு பொதுவான கோர்வையாகும்.

நிலை (State) சார்பாக எண்ட்ரோப்பி V மற்றும் T சார்பாக எண்ட்ரோப்பி எண்ட்ரோப்பி மாற்றத்திற்கான பொதுக்கோவையை எடுத்துக்கொள்வோம்.

$$dS = \frac{1}{T} dE + \frac{P}{T} dV \quad (4)$$

உள்ளூறை ஆற்றலை வெப்பநிலை மற்றும் கன அளவின் சார்பாகக் கருதுவோமாயின்,

$$E = E(T, V)$$

$$dE = \left(\frac{\partial E}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial E}{\partial V} \right)_T dV$$

$$dE = C_V dT + \left(\frac{\partial E}{\partial V} \right)_T dV$$

dE-யின் இம்மதிப்பை சமன்பாடு (4)ல் பதிலீடு செய்ய

$$dS = \frac{1}{T} \left[C_v dT + \left(\frac{\partial E}{\partial V} \right)_T dV \right] + \frac{P}{T} dV$$

$$dS = \frac{C_v}{T} dT + \frac{1}{T} \left(\frac{\partial E}{\partial V} \right)_T dV + \frac{P}{T} dV$$

$$dS = \frac{C_v}{T} dT + \frac{1}{T} \left[P + \left(\frac{\partial E}{\partial V} \right)_T \right] dV$$

மாறாத கன அளவில் $dV = 0$

$$\therefore dS_v = \frac{C_v}{T} dT; \quad \Delta S_v = \int_1^2 \frac{C_v}{T} dT$$

இக்கோர்வை மாறாத கன அளவில், அமைப்பின் எண்ட்ரோப்பி மாற்றத்தைத் தருகிறது.

மாறாத வெப்பநிலையில் $dT = 0$

$$dS_T = 0 + \frac{1}{T} \left[P + \left(\frac{\partial E}{\partial V} \right)_T \right] dV_T$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_T = \frac{1}{T} \left[P + \left(\frac{\partial E}{\partial V} \right)_T \right]$$

இக்கோவையிலிருந்து பின்வரும் சமன்பாட்டைப் பெறலாம்.

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_T = \frac{\alpha}{\beta}$$

இச்சமன்பாடு மாறாத வெப்பநிலையில் எண்ட்ரோப்பி மாற்றத்தைக் கன அளவுடன் தொடர்புபடுத்துகிறது. α என்பது விரிதல் குணகம், β என்பது இறுக்கக் குணகம்.

P மற்றும் T சார்பாக எண்ட்ரோப்பி

எண்ட்ரோப்பி மாற்றத்திற்கான பொதுச் சமன்பாட்டை எடுத்துக்கொள்வோம்.

$$dS = \frac{1}{T} dE + \frac{P}{T} dV$$

எந்த்தால்ப்பியின் வரையறையின்படி,

$$E = H - PV \quad ; \quad dE = dH - PdV - VdP$$

dE யின் இம்மதிப்பைச் சமன்பாடு (4) ல் பதிலீடு செய்ய

$$dS = \frac{dH}{T} - \frac{V}{T} dP \quad (5)$$

எந்த்தால்ப்பியை வெப்பநிலை மற்றும் அழுத்தத்தின் சார்பாகக் கருதுவோமானால்

$$dH = C_p dT + \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T dP$$

dH ன் மதிப்பைச் சமன்பாடு (5)ல் பதிலீடு செய்ய

$$dS = \frac{C_p}{T} dT + \frac{1}{T} \left[\left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_T - V \right] dP \quad (6)$$

மாறாத அழுத்தத்தில் $dP = 0$

$$\therefore dS = \frac{C_p}{T} dT; \quad \Delta S = \int_1^2 \frac{C_p}{T} dT$$

இச்சமன்பாடு மாறாத அழுத்தத்தில் எண்ட்ரோப்பி மாற்றத்தை வெப்ப நிலையுடன் தொடர்பு படுத்துகிறது.

மாறாத வெப்பநிலையில், சமன்பாடு (6)

$$dS = -V \alpha dP \text{ என்றாகிறது.}$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial P} \right)_T = -V \alpha$$

V என்பது மோலார் கன அளவு மற்றும் α என்பது விரிதல் குணகம்.)

எண்ட்ரோப்பி வெப்பநிலையைச் சார்ந்திருத்தல் :
அழுத்தமும் கன அளவும் மாறாதிருக்கும்போது அமைப்பின் எண்ட்ரோப்பி வெப்பநிலையுடன் மாறுபடுகிறது. மாறாத கன அளவில்

$$dS = \frac{C_v}{T} dT$$

மற்றும் மாறாத அழுத்தத்தில் $dS = \frac{C_p}{T} dT$

$$\therefore C_v = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_V ; C_p = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_P$$

நல்லியல்பு வாயுக்களில் எண்ட்ரோப்பி மாற்றங்கள் நல்லியல்பு வாயு ஒன்று வெப்பநிலை மாறாமல் விரியும்போது ஏற்படும் எண்ட்ரோப்பி மாற்றம்

$$\text{முதல் விதியிலிருந்து } \Delta E = Q - W$$

நல்லியல்பு வாயு வெப்பநிலைமாறா, மாறா மீளும் விரிதலுக்கு உள்ளாகும் போது $\Delta E = 0$

$$Q_{\text{rev}} - W = 0 \text{ அதாவது, } Q_{\text{rev}} = W$$

இத்தகைய நிகழ்வுகளில் செய்யப்பட்ட வேலை,

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} ; \therefore Q_{\text{rev}} = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

சமன்பாடு முழுவதையும் T யால் வகுக்க

$$\frac{Q_{\text{rev}}}{T} = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

வரையறையின்படி,

$$\frac{Q_{\text{rev}}}{T} = \Delta S ; \therefore \Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

V யும் T யும் மாறிகளாக உள்ளபோது ஏற்படும் எண்ட்ரோப்பி மாற்றம்

ஒரு அமைப்பின் எண்ட்ரோப்பி மாற்றத்திற்கான பொதுக் கோர்வை கீழே தரப்பட்டுள்ளது.

$$dS = \frac{1}{T} dE + \frac{P}{T} dV$$

நல்லியல்பு வாயு ஒன்றிற்கு $dE = C_v dT$

$$\therefore dS = \frac{C_v}{T} dT + \frac{P}{T} dV$$

ஒரு மோல் நல்லியல்பு வாயுவிற்கு, $P = RT/V$.
Pயின் இம்மதிபை மேலே உள்ள சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்ய,

$$dS = \frac{C_v}{T} dT + \frac{R}{V} dV$$

இச்சமன்பாட்டை எல்லைகளுக்கிடையே தொகையிட

$$\int_1^2 dS = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_v}{T} dT + R \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV$$

$$\Delta S = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Pயும், Tயும் மாறிகளாக உள்ளபோது ஏற்படும் எண்ட்ரோப்பி மாற்றம்
வரையறையிலிருந்து $E = H - PV$ என்று தெரியும்.

$$dE = dH - PdV - VdP$$

dE-யின் மதிப்பை சமன்பாடு (4)-ல் பதிலீடு செய்ய

$$dS = \frac{1}{T} (dH - PdV - VdP) + \frac{C_p}{T} dV$$

$$dS = \frac{1}{T} dH - \frac{V}{T} dP$$

நல்லியல்பு வாயு ஒன்றிற்கு $dH = C_p dT$.

$$\therefore dS = \frac{1}{T} C_p dT - \frac{R}{P} dP$$

ஒரு மோல் நல்லியல்பு வாயு ஒன்றிற்கு $V = RT/P$

$$\therefore dS = \frac{1}{T} C_p dT - \frac{R}{P} dP$$

எல்லைகளுக்கு இடையே தொகையிட

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

சுருக்கம் (Summary) :

வெப்பநிலை மாறாச் (isothermal) செயல்முறைகளில் எண்ட்ரோப்பி மாற்றங்கள்

$$\Delta S_T = R \ln \frac{V_2}{V_1} = 2.303 R \log \frac{V_2}{V_1} \quad \text{அல்லது}$$

$$\Delta S_T = R \ln \frac{P_1}{P_2} = 2.303 R \log \frac{P_1}{P_2}$$

அழுத்தம் மாறாச் (isobaric) செயல் முறைகளில் எண்ட்ரோப்பி மாற்றங்கள்

$$\Delta S_p = C_p \ln (T_2/T_1) = 2.303 C_p \log (T_2/T_1)$$

கன அளவு மாறாச் (isochoric) செயல் முறைகளில் எண்ட்ரோப்பி மாற்றங்கள். $\Delta S_v = C_v \ln (T_2/T_1) = 2.303 C_v \log (T_2/T_1)$

நல்லியல்பு வாயுக்களின் கலத்தல் எண்ட்ரோப்பி

நல்லியல்பு வாயு ஒன்றின் எண்ட்ரோப்பி மாற்றத்திற்கான கோர்வையை எடுத்துக் கொள்வோம்.

$$dS = \frac{C_v}{T} dT + \frac{R}{V} dV$$

மேலே உள்ள சமன்பாட்டை பொதுவாக தொகையிட்டால்

$$S = C_v \ln T + R \ln V + S_0 \quad (7)$$

இங்கு S_0 என்பது தொகையீட்டு மாறிலி.

ஒரு பாத்திரத்தில், தடுப்புகளைப் பயன்படுத்திப் பல நல்லியல்பு வாயுக்கள் தனித்தனியாக வைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கருதுவோம். கலவையிலுள்ள i^{th} வாயுவின் மோல்களின் எண்ணிக்கை n_i எனவும் கன அளவு V_i எனவும் இருக்கட்டும். எல்லா வாயுக்களும் ஒரே வெப்பநிலையில் இருக்கும்போது எண்ட்ரோப்பி பின்வருமாறு தரப்படுகிறது.

$$S_i = \sum n_i (C_v \ln T + R \ln V_i + S_i) \quad (8)$$

தடுப்புகளை நீக்கி விட்டால் வாயுக்கள் கலக்கின்றன. இப்போது ஒவ்வொரு