

তাপমাত্রা

ফার্মোমিটার	উষ্ণতামিতি পদার্থ	উষ্ণতামিতি ধর্ম	পরিসর
তরল থার্মোমিটার	কৈশিক নলে তরল স্তম্ভ। যেমন → পারদ, অ্যালকোহল	তরল স্তম্ভের দৈর্ঘ্য	−39°C থেকে 1500 °C
স্থির আয়তন গ্যাস থার্মোমিটার	স্থির আয়তন গ্যাস যেমন- বায়ু	গ্যাসের চাপ	− 270°C থেকে 1500 °C
রোধ থার্মোমিটার	গ্লাটিনাম রোধক তার	তড়িৎ রোধ	− 200°C থেকে 1200 °C
ফার্মোকপল	দুটি ধাতব পদার্থের যুগল	তাপীয় তড়িৎচালক শক্তি	− 250°C থেকে 1500 °C
ফার্মিস্টর	অর্ধ পরিবাহক পদার্থ	তড়িৎ রোধ	−70°C থেকে 300 °C
বিকিরণ পাইরোমিটার	কৃষ্ণকায় পাত	উত্তপ্ত বস্তুর বিকিরণ	500 °C এ উর্ধ্বে

* সেলসিয়াস স্কেল. [Celsius scale]

$$\theta = \frac{x_{\theta} - x_{ice}}{x_{steam} - x_{ice}} \times 100^{\circ}\text{C}$$

Note :

(i) পারদ থার্মোমিটারের জন্য: $\theta = \frac{l_{\theta} - l_o}{l_{100} - l_o} \times 100^{\circ}\text{C}$

(ii) স্থির আয়তন গ্যাস থার্মোমিটারের জন্য: $\theta = \frac{P_{\theta} - P_o}{P_{100} - P_o} \times 100^{\circ}\text{C}$

(iii) স্থির চাপ গ্যাস থার্মোমিটারের জন্য: $\theta = \frac{V_{\theta} - V_o}{V_{100} - V_o} \times 100^{\circ}\text{C}$

(iv) রোধ থার্মোমিটারের জন্য: $\theta = \frac{R_{\theta} - R_o}{R_{100} - R_o} \times 100^{\circ}\text{C}$

(v) তাপ তড়িৎ থার্মোমিটারের জন্য: $\theta = \frac{E_{\theta} - E_o}{E_{100} - E_o} \times 100^{\circ}\text{C}$

ফারেনহাইট স্কেলে:

$$\theta = \frac{x_{\theta} - x_{ice}}{x_{steam} - x_{ice}} \times 180^{\circ}\text{F} + 32^{\circ}\text{F}$$

পারদ থার্মোমিটারের জন্য:

$$\theta = \frac{l_{\theta} - l_{32}}{l_{42} - l_{32}} \times 180^{\circ}\text{F} + 32^{\circ}\text{F}$$

অথবা, Celsius scale এ পাঠ বের করে ফারেনহাইট স্কেলে Transfer করবে।

* সেলসিয়াস, ফারেনহাইট, কেলভিন, রোমার ও র্যান্কিন স্কেলের তাপমাত্রায় মধ্যে সম্পর্ক:

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9} = \frac{K - 273.16}{5} = \frac{R}{4} = \frac{R_n - 492}{9}$$

উক্ত স্কেলের তাপমাত্রার পার্থক্যের মধ্যে সম্পর্ক: $\frac{C}{5} = \frac{F}{9} = \frac{K}{5} = \frac{R}{4} = \frac{R_n}{9}$

* একই স্থির বিন্দু ব্যবহার করে তাপমাত্রা স্কেল নির্ধারণ: $T = T_p \times \frac{x}{x_p}$

X → T তাপমাত্রায় উষ্ণতামিতি ধর্মের মান, X_p → T_p তাপমাত্রায় উষ্ণতামিতি ধর্মের মান

যেমন পানির ত্রৈধ বিন্দুতে চাপ 4.58 mm HgP এবং তাপমাত্রা 273.16K

$T = 273.16 \times \frac{P}{P_{tr}} \rightarrow$ স্থির আয়তন থার্মোমিটার, $T = 273.16 \times \frac{l}{l_{tr}} \rightarrow$ পারদ থার্মোমিটার

$T = 273.16 \times \frac{V}{v_{tr}} \rightarrow$ চাপ গ্যাস থার্মোমিটার, $T = 273.16 \times \frac{R}{R_{tr}} \rightarrow$ রোধ থার্মোমিটার

$T = 273.16 \times \frac{E}{E_{tr}} \rightarrow$ তাপতড়িৎ থার্মোমিটার ও রোমার বা র্যান্ধিন

* থার্মোপল বা তাপ তড়িৎ থার্মোমিটারঃ

$$E = \alpha\theta + \beta\theta^2$$

$\theta_n \rightarrow$ নিরপেক্ষ তাপমাত্রা, নিরপেক্ষ তাপমাত্রায় তড়িচ্চালক শক্তির মান সর্বাধিক হয়।

অর্থাৎ $\frac{dE}{d\theta} = 0$ হবে,

$$\theta_n = -\frac{\alpha}{2\beta} = -\frac{\theta \text{ এর সহগ}}{2 \times \theta^2 \text{ এর সহগ}}$$

$\theta_i \rightarrow$ উৎক্রেম তাপমাত্রা এক্ষেত্রে তড়িচ্চালক শক্তির মান শূন্য হয়।

$$\theta_i = -\frac{\alpha}{\beta} = -\frac{\theta \text{ এর সহগ}}{\theta^2 \text{ এর সহগ}}$$

*পূর্ণ বিকিরণ পাইরোমিটারঃ একক ক্ষেত্রফল বিকিরণ শক্তি, $E = \sigma (T^4 - T_o^4)$

$\sigma =$ স্টিফানের ধ্রুবক $= 5.7 \times 10^{-8} \text{ w m}^2 \text{ k}^{-4}$

* অদৃশ ফিলামেন্ট আলোকীয় পাইরোমিটারঃ

তড়িৎ প্রবাহ, $I = a + b\theta + c\theta^2$

θ_i এর জন্য, $I = 0$, $Q_i = \frac{-b}{c}$

θ_n এর জন্য, $\frac{dI}{dQ} = 0$, $\theta_n = -\frac{b}{2c}$

গাণিতিক সমস্যাবলীঃ

সূত্রের বিশ্লেষণ :

সূত্র	প্রতীক পরিচিতি	একক
১. তাপমাত্রা, $\theta = \frac{X_\theta - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}} \times N$	$\theta =$ তাপমাত্রা $X_\theta = \theta =$ তাপমাত্রায় উষ্ণতামিতিক ধর্মের মান $X_{steam} =$ উর্ধ্ব স্থির বিন্দুর তাপমাত্রায় উষ্ণতামিতিক ধর্মের মান $X_{ice} =$ নিম্ন স্থির বিন্দুর তাপমাত্রায় উষ্ণতামিতিক ধর্মের মান $N =$ স্কেলের ভাগ সংখ্যা	কেলভিন (K)

EXAMPLE – 01: স্থির আয়তন গ্যাস থার্মোমিটারের সাহায্যে নির্ণীত $\theta^\circ C$ তাপমাত্রায় রোধ থার্মোমিটারে রোধ,

$R_\theta = 50 + 0.17\theta + 3 \times 10^{-4}\theta^2$ । গ্যাস থার্মোমিটারে কোন বস্তুর তাপমাত্রা পাওয়া যায় $20^\circ C$ । রোধ থার্মোমিটারে এই বস্তুর তাপমাত্রা কত ?

SOLVE : $R_\theta = 50 + 0.17\theta + 0.0003\theta^2 \Rightarrow R_\theta = 50 + 0.17 \times 0 + 0.0003 \times 0 \Rightarrow 50\Omega$

$R_{100} = 50 + 0.17 \times 100 + 0.0003 \times (100)^2 \Rightarrow 50 + 17 + 3 \Rightarrow 70\Omega$

$R_{20} = 50 + 0.17 \times 20 + 0.0003 \times (20)^2 \Rightarrow 50 + 3.4 + 0.12 \Rightarrow R_{20} 53.52\Omega ; \theta = ?$

$\theta = \frac{R_{20} - R_0}{R_{100} - R_0} \times 100^\circ C \dots\dots\dots = \frac{3.52\Omega}{20\Omega} \times 100^\circ C = 17.6^\circ C \text{ (Ans)}$

EXAMPLE – 02: একটি রোধ থার্মোমিটারের রোধ $0^\circ C$ ও $100^\circ C$ তাপমাত্রায় যথাক্রমে 10Ω এবং 25Ω । থার্মোমিটারটি একটি চুল্লিতে স্থাপন করলে রোধ 38Ω হয়। চুল্লির তাপমাত্রা নির্ণয় করো।

SOLVE : ধরি, চুল্লির তাপমাত্রা θ

$R_0 = 10\Omega ; R_{100} = 25\Omega ; R_\theta = 38\Omega$

$\theta = \frac{R_\theta - R_0}{R_{100} - R_0} \times 100^\circ C \Rightarrow \theta = \frac{35\Omega - 10\Omega}{25\Omega - 10\Omega} \times 100^\circ C \dots\dots\dots \Rightarrow \theta = 166.67^\circ C \text{ (Ans)}$

সূত্রের বিশ্লেষণ :

সূত্র	প্রতীক পরিচিতি	একক
$T = (273.16K) \times \frac{X}{X_{tr}}$	T = তাপমাত্রা X = চাপ X_{tr} = পানির ত্রৈধ বিন্দুর চাপ	কেলভিন (K) নিউটন মিটার ^{-২} (Nm^{-2})

EXAMPLE – 03: একটি প্লাটিনাম থার্মোমিটারে পানি ত্রৈধবিন্দুর রোধ 6.7Ω এবং কক্ষ তাপমাত্রায় রোধ 7.5Ω পাওয়া যায়।

রোধ থার্মোমিটারে কক্ষ তাপমাত্রায় কত হবে?

$$\text{SOLVE : } T = \frac{R}{R_{tr}} \times 273.16K \Rightarrow \frac{7.5\Omega}{6.7\Omega} \times 273.16K \Rightarrow 305.78K \text{ (Ans)}$$

$R = 7.5\Omega$
 $R_{tr} = 6.7\Omega; T = ?$

সূত্রের বিশ্লেষণ :

সূত্র	প্রতীক পরিচিতি	একক
$\frac{C-0}{100-0} = \frac{F-32}{212-32} = \frac{K-273.16}{373.16} = \frac{S-M}{B-M}$	C = সেলসিয়াস স্কেলে পাঠ F = ফারেনহাইট স্কেলে পাঠ K = কেলভিন স্কেলে পাঠ S = থার্মোমিটার স্কেলে পাঠ M = নিম্ন স্থির বিন্দু B = উর্ধ্ব স্থির বিন্দু	$^{\circ}C$ $^{\circ}F$ K

EXAMPLE – 04: একটি ত্রুটিপূর্ণ থার্মোমিটার প্রমাণ চাপে গলিত বরফে 1° এবং শুষ্ক বাষ্পে 97° পাঠ দেয়। থার্মোমিটারটি যখন 76° পাঠ দেয় তখন সেলসিয়াস স্কেলে শুদ্ধ পাঠ কত হবে নির্ণয় করো।

SOLVE : মনে করি, সেলসিয়াস স্কেলে শুদ্ধ পাঠ C ; ত্রুটিপূর্ণ থার্মোমিটারে নিম্ন স্থির বিন্দু, $M = 1$

উর্ধ্ব স্থির বিন্দু, $B = 97^{\circ}$; তাপমাত্রা, $S = 76^{\circ}$

$$\therefore \frac{C-0}{100-0} = \frac{S-M}{B-M} = \frac{76-1}{97-1} \Rightarrow \frac{C}{100} = \frac{75}{96} \Rightarrow C = \frac{75 \times 100}{96} = 78.125^{\circ}C \therefore C = 78.125^{\circ}C \text{ (Ans).}$$

সূত্রের বিশ্লেষণ :

সূত্র	প্রতীক পরিচিতি	একক
$\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9} = \frac{K-273}{5}$	C = সেন্টিগ্রেড স্কেলে পাঠ F = ফারেনহাইট স্কেলে পাঠ K = কেলভিন স্কেলে পাঠ	ডিগ্রি ($^{\circ}C$) ডিগ্রি ফারেনহাইট ($^{\circ}F$) কেলভিন (K)

EXAMPLE – 05: কোন তাপমাত্রা সেলসিয়াস ও ফারেনহাইট স্কেলে পড়লে 20° পার্থক্য হয় ?

SOLVE : সেলসিয়াস স্কেলের পাঠ = x ; ফারেনহাইট স্কেলের পাঠ = $x \pm 20$

$$\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9} \Rightarrow \frac{x}{5} = \frac{x \pm 20 - 32}{9} \Rightarrow 9x = 5x \pm 100 - 160$$

$$\text{ধনাত্মক ধরে, } 9x = 5x + 100 - 160 \Rightarrow 4x = -60 \Rightarrow x = -15$$

$$\therefore \text{সেলসিয়াস স্কেলে পাঠ} = -15^{\circ}C \text{ এবং ফারেনহাইট স্কেলের পাঠ} = x + 20 = -15 + 20 = 5^{\circ}F$$

$$\text{ঋণাত্মক ধরে, } 9x = 5x - 100 - 160 \Rightarrow 4x = -260 \Rightarrow x = -65$$

$$\therefore \text{সেলসিয়াস স্কেলে পাঠ} = -65^{\circ}C \text{ এবং ফারেনহাইট স্কেলে পাঠ} = x - 20 = -65 - 20 = -85^{\circ}F$$

নির্ণেয় তাপমাত্রা $15^{\circ}C$ এবং $5^{\circ}F$ অথবা $-65^{\circ}C$ এবং $-85^{\circ}F$ ।

EXAMPLE – 06: কোন তাপমাত্রায় ফারেনহাইট ও কেলভিন স্কেলে একই পাঠ পাওয়া যায় ?

SOLVE : মনে করি, ফারেনহাইট ও কেলভিন উভয় স্কেলে x ডিগ্রি তাপমাত্রায় একই পাঠ দিবে ।

$$\frac{F-32}{9} = \frac{K-273}{5} \Rightarrow \frac{x-32}{9} = \frac{x-273}{5} \therefore x = \frac{2297}{4} = 574.25^{\circ} \text{ (Ans)}$$

EXAMPLE – 07: কোন তাপমাত্রা ফারেনহাইট ও কেলভিন স্কেলে পড়লে 5° পার্থক্য হয় ?

SOLVE : ফারেনহাইট স্কেলে পাঠ, $F = x$ হলে, কেলভিন স্কেলে পাঠ, $K = x \pm 5$ হবে।

$$\frac{F - 32}{180} = \frac{K - 273}{100} \Rightarrow \frac{x - 32}{180} = \frac{x + 5 - 273}{5} \text{ (+ve) নিয়ে, } \frac{x - 32}{36} = x - 268 \Rightarrow 36x - 9648 = x - 32$$

$$35x = 9616 \Rightarrow x = 274.74^\circ \therefore x = 563^\circ F$$

Type: $\theta = \frac{l_\theta - l_0}{l_{100} - l_0} \times 100^\circ C$ সূত্র সংক্রান্ত গাণিতিক সমস্যাবলী :

EXAMPLE – 08: একটি পারদ থার্মোমিটারকে বরফ ও স্টীম বিন্দুতে রেখে দিলে এটি যথাক্রমে 76cm ও 98cm পাঠ দেয়। থার্মোমিটারের কোন উত্তপ্ত তরলে রেখে দিলে এটি কত পাঠ দেয়। তরলের তাপমাত্রা $80^\circ C$

$$\text{Solve : } 80 = \frac{l_\theta - 76}{98 - 76} \times 100 \Rightarrow l_\theta = 93.6 \text{ cm.}$$

Type: $\theta = \frac{P_\theta - P_0}{P_{100} - P_0} \times 100^\circ C$ সূত্র সংক্রান্ত গাণিতিক সমস্যাবলী :

EXAMPLE – 09: একটি স্থির আয়তন গ্যাস থার্মোমিটারের বরফ বিন্দু ও স্টীম বিন্দুতে চাপ যথাক্রমে $1.333 \times 10^5 \text{ Pa}$ এবং $1.821 \times 10^5 \text{ Pa}$ থার্মোমিটারকে যখন কোন তরল স্ফুটনাংকে রাখা হয় তখন চাপের মান পাওয়া গেল $1.528 \times 10^5 \text{ Pa}$ । তরলের স্ফুটনাংক কত?

$$\text{Solve : } \theta = \frac{1.528 \times 10^5 - 1.333 \times 10^5}{1.821 \times 10^5 - 1.333 \times 10^5} \times 100^\circ C = 39.96^\circ C$$

Type: $\theta = \frac{V_\theta - V_0}{V_{100} - V_0} \times 100^\circ C$, $\theta = \frac{R_\theta - R_0}{R_{100} - R_0} \times 100^\circ C$ সূত্র সংক্রান্ত গাণিতিক সমস্যাবলী :

EXAMPLE – 10: একটি নির্দিষ্ট রোধ থার্মোমিটারের রোধ বরফ ও স্টীম বিন্দুতে যথাক্রমে 4.5Ω ও 9.5Ω । কোন তরলে স্থাপন করলে এর রোধ 6.1Ω হয়। তরলের তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

$$\text{Solve : } \theta = \frac{R_\theta - R_0}{R_{100} - R_0} \times 100^\circ C = \frac{6.1 - 4.5}{9.5 - 4.5} \times 100^\circ C = 32^\circ C$$

EXAMPLE – 11: একটি স্থির চাপ গ্যাস থার্মোমিটারে গলিত বরফ, ফুটন্ত পানি ও সালফারের স্ফুটনাংকের তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন পাওয়া গেল যথাক্রমে 200.00 cm^3 , 273.2 cm^3 এবং 525.1 cm^3 ও একটি নির্দিষ্ট রোধ থার্মোমিটারে রোধের মান পাওয়া গেল 2Ω , 2.778Ω ও 5.28Ω । দুই ক্ষেত্রে সালফারের স্ফুটনাংক বের করে এবং প্রাপ্ত ফলাফল এর উপর মন্তব্য কর।

$$\text{Solve : } \theta = \frac{525.1 - 200}{2.732 - 200} \times 100 = 444.1^\circ C$$

$$\theta = \frac{5.28 - 2}{2.778 - 2} \times 100 = 421.6^\circ C$$

$P \propto T$, $P = P_0(1 + \gamma \Delta t)$ এবং $R = R_0(1 + \alpha \Delta t)$, $\alpha \rightarrow$ তাপমাত্রা সহগ যার পরিসর $[3 \times 10^{-3} \text{ to } 6 \times 10^{-3} K^{-1}]$, $\gamma = \frac{1}{273} K^{-1} = 3.66 \times 10^{-3} K^{-1}$.

নিজে চেষ্টা কর:

একটি নির্দিষ্ট রোধ থার্মোমিটারের রোধ বরফ বিন্দু ও স্টীম বিন্দুতে যথাক্রমে 30.00Ω ও 41.58Ω । থার্মোমিটারকে যখন কোন তরলের স্ফুটনাংকে রাখা হয় তখন রোধ পাওয়া যায় 34.59Ω । তরলের স্ফুটনাংক কত? $39.6^\circ C$

Type: $T = \frac{R_T}{R_{tr}} \times 273.16 \text{ K}$ সূত্র সংক্রান্ত গাণিতিক সমস্যাবলী :

EXAMPLE - 12: একটি নির্দিষ্ট রোধ থার্মোমিটার রোধ পানির ত্রৈধ বিন্দুতে 32.316Ω এবং কোন তরলের স্ফুটনাংকের 27.316Ω হলে তরলের স্ফুটনাংক বের কর।

Solve : $T = \frac{27.316}{32.316} \times 273.16 = 230.9\text{K} = -42.264^\circ\text{C}$

Type: $T = \frac{P_r}{P_{tr}} \times 273.16\text{K}$ সূত্র সংক্রান্ত গাণিতিক সমস্যাবলী :

EXAMPLE - 13: একটি প্রবণ আয়তন গ্যাস থার্মোমিটার T কেলভিন উষ্ণতায় চাপ পাওয়া গেল $6.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ । পানির ত্রৈধ বিন্দুতে চাপ $6.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ হলে T এর মান কত?

Solve : $T = \frac{6.5 \times 10^4}{5 \times 10^4} \times 273.16 = 355.11\text{K}$

Type: $\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9}$ সূত্র সংক্রান্ত গাণিতিক সমস্যাবলী :

EXAMPLE - 14: কোন তাপমাত্রায় সেলসিয়াস ও ফারেনহাইট স্কেলে একই পাঠ দেবে?

Solve : $\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9}$ $C = F = x$ ধরি, $\Rightarrow \frac{x}{5} = \frac{x-32}{9} \Rightarrow 9x = 5x - 160 \Rightarrow 4x = -160 \therefore x = -40$

Ans: -40°C , -40°F

নিজে চেষ্টা করঃ কোন তাপমাত্রায় সেলসিয়াস ও ফারেনহাইট স্কেলের পাঠের পাথক্য 50° হবে?

Ans: 22.5°C ও 72.5°F এবং -102.5°C ও 152.5°C

Type: $\frac{C-O}{100-0} = \frac{S-M}{B-M}$ সূত্র সংক্রান্ত গাণিতিক সমস্যা :

EXAMPLE - 15: একটি ত্রুটিপূর্ণ থার্মোমিটার সাধারণ বায়ুচাপে গলিত বরফে 20°C এবং 100°C তাপমাত্রায় 80°C পাঠ দেয়। 100°F তাপমাত্রায় উক্ত থার্মোমিটারটি কত পাঠ দেবে? Ans: 340°F

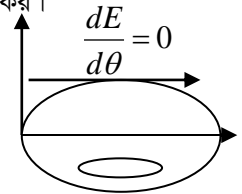
Type: $E = \alpha\theta + \beta\theta^2$ সূত্র সংক্রান্ত গাণিতিক সমস্যাবলী :

EXAMPLE - 16: কোন তাপযুগলের শীতল সংযোগস্থলের তাপমাত্রা 0°C । উত্তপ্ত সংযোগ স্থলের তাপমাত্রা কত কত হলে তাপীয় তড়িচ্চালক শক্তি 0.64 Volt হবে? তাপযুগলের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা ও উৎক্রম তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

$\alpha = 8\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, $\beta = -0.016\mu\text{V}/(^\circ\text{C})^2$ ।

Solve : $\Rightarrow \theta^2 - 500\theta + 40000 = 0 \therefore \theta = 100^\circ\text{C}$ বা 400°C

$\theta_n = -\alpha/2\beta = -\frac{8}{2(-0.016)} = 250^\circ\text{C}$, $\theta_i = -\frac{\alpha}{\beta} = \frac{-8}{-0.016} = 500^\circ\text{C}$



নিজে চেষ্টা করঃ কোন তাপযুগলের তাপমাত্রা 0°C । উত্তপ্ত সংযোগ স্থলের তাপমাত্রা কত হলে তাপীয় তড়িচ্চালক শক্তি 1.28 V হবে? তাপযুগলের নিরপেক্ষ ও উৎক্রম তাপমাত্রা কত? $\alpha = 8\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, $\beta = -0.016\mu\text{V}/(^\circ\text{C})^2$ ।

Ans: $\theta_n = 250^\circ\text{C}$, $\theta_i = 500^\circ\text{C}$

Note: তামা, লোহা, ইত্যাদি ধাতুর দ্বারা তৈরি তাপযুগলের ক্ষেত্রে লক্ষ্য রাখতে হবে উত্তপ্ত সংযোগ স্থলের যেটা ধাতুর গলনাংকের নীচে থাকবে সেই তাপমাত্রা উত্তর হবে।

লোহার ও তামা তাপযুগলের নিরপেক্ষ তাপমাত্রা 270°C শীতল প্রান্তের তাপমাত্রা যাই হোক না কেন উষ্ণ প্রান্তের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে থাকলে E এর মান ক্রমশ হ্রাস পেয়ে শূন্য হবে। যা উষ্ণ প্রান্তের উৎক্রম তাপমাত্রা যেখানে $E = 0$]

Type: $I = a + b\theta + \theta^2$ সূত্র সংক্রান্ত গাণিতিক সমস্যাবলী :

EXAMPLE – 17: একটি আলোকীয় পাইরোমিটারের আদি প্রবাহ 0.01mA । একে একটি তাপযুগলে স্থাপন করে প্রবাহ পাওয়া গেল 0.81mA । তাপযুগলে উদ্ভূত সংযোগ স্থলের তাপমাত্রা কত? তাপযুগলের নিরপেক্ষ ও উৎক্রম তাপমাত্রাও নির্ণয় কর।

$$[0.81 \times 10^3 \mu A = 0.01 \times 10^3 \mu A + 8\theta + 0.008\theta^2 \mu A]$$

Solve : $\Rightarrow \theta = 100^\circ\text{C}$ বা 400°C , $\theta_n = 2500 \rightarrow$ নিরপেক্ষ তাপমাত্রা, $\theta_i = 5000^\circ\text{C} \rightarrow$ উৎক্রম তাপমাত্রা

নিজে চেষ্টা কর:

একটি আলোকীয় পাইরোমিটারকে তাপযুগলে স্থাপন করায় তা $I = 10 + 8\theta + 0.008\theta^2$ সমীকরণ অনুযায়ী পাঠ দেয়। তাপযুগলের নিরপেক্ষ ও উৎক্রম তাপমাত্রা কত? **Ans:** 250°C , 500°C

Type: $E = \sigma (T_2^4 - T_1^4)$ সূত্র সংক্রান্ত গাণিতিক সমস্যাবলী :

EXAMPLE – 18: 0.05m ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার গোলককে 1027°C তাপমাত্রায় একটি পাত্রে বদ্ধ করে রাখা হল। গোলকটির তাপ বিকিরণের হার নির্ণয় কর।

$$E = A\sigma(T_2^4 - T_1^4) \\ = 4\pi(0.05)^2 \times 5.7 \times 10^{-8} (1300^4 - 400^4) = 5.07 \times 10^3 \text{W}$$

নিজে চেষ্টা কর:

(i) একটি টাঙস্টেন বাতির পৃষ্ঠ ক্ষেত্রফল 0.3cm^2 । এটি 2000K তাপমাত্রায় আলো ছড়চ্ছে। বিকিরিত শক্তির হার কত? $\sigma = 5.7 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ **Ans:** 26.9W

(ii) $5 \times 10^{-5}\text{m}^2$ ক্ষেত্রফলের একটি কৃষ্ণাকায় 2000K তাপমাত্রায় প্রতি সেকেন্ডে কতটা শক্তি বিকিরণ করবে?

$$[\sigma = 5.7 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}]$$

(iii) কোন ব্যক্তির দেহের ক্ষেত্রফল 1.9m^2 । মানব দেহকে আদর্শ কৃষ্ণাকায় বিবেচনা করলে ঐ ব্যক্তি কি হারে শক্তি হারাবেন যখন কক্ষতাপমাত্রা 22°C ? মানব দেহের স্বাভাবিক তাপমাত্রা 37°C এবং $\sigma = 5.7 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

$$E = A\sigma (T^4 - T_0^4) \text{ Ans: } 179.98\text{W}$$

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র

গ্যাস প্রসারণে কৃতকাজ :

স্থির P চাপে কোন গ্যাসের আয়তন V_1 থেকে V_2 করা হলে, $dW = PdV \Rightarrow W = \int_{V_1}^{V_2} PdV$

$\therefore w = P$ বনাম V গ্রাফের ক্ষেত্রফল

তাপ গতিবিদ্যার ১ম সূত্রঃ $dQ = dU + dW$

Term	+	-	0
dQ	তাপ গৃহীত হলে	তাপ বর্জন করলে	তাপের আদান-প্রদান না হলে
dU	তাপমাত্রার বৃদ্ধি পেলে	তাপমাত্রা হ্রাস পেলে	তাপমাত্রা স্থির থাকলে
dW	আয়তন বৃদ্ধি পেলে	আয়তন হ্রাস পেলে	আয়তন স্থির থাকলে

মনে রাখবে, অন্তঃস্থ শক্তির পরিবর্তন শুধু প্রাথমিক ও চূড়ান্ত অবস্থার উপর নির্ভর করে, পথের উপর না। কিন্তু কৃতকাজ দুটির উপরই নির্ভর করে।

বিভিন্ন প্রক্রিয়ায় তাপ গতিবিদ্যার ১ম সূত্রের প্রয়োগঃ

সমচাপ প্রক্রিয়া : $dQ = dU + dW$; $dQ = dU + PdV$

$$\text{এক্ষেত্রে } dW = PdV = P(V_2 - V_1) \Rightarrow PV_2 - PV_1 \Rightarrow nRT_2 - nRT_1 \Rightarrow nR(T_2 - T_1) \Rightarrow nRdT$$

$$\therefore \text{সমচাপ প্রক্রিয়ায় } dQ = dU + dW \Rightarrow dU + PdV \Rightarrow dU + nRdT$$

সম-আয়তন প্রক্রিয়াঃ

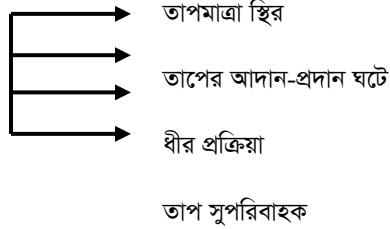
আয়তন স্থির, $dV = 0 \therefore dW = 0$

$$\therefore dQ = dU + dW = dU + 0$$

$$dQ = dU$$

সম আয়তন প্রক্রিয়ায় সিস্টেম কর্তৃক গৃহীত তাপের সম্পূর্ণটাই অন্তঃস্থ শক্তি বৃদ্ধিতে ব্যয় হয়।

সমোষ্ণ প্রক্রিয়া :



তাপমাত্রা স্থির, $\therefore dU = 0$

$$\therefore dQ = dW$$

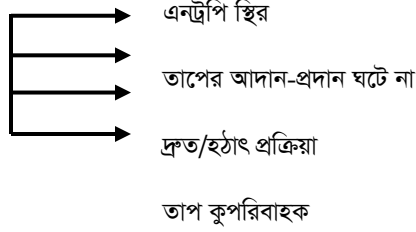
\therefore সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় সিস্টেমে সরবরাহকৃত তাপের সম্পূর্ণটাই কাজে রূপান্তরিত হয়।

সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় কৃত কাজঃ

$$W = \int_{V_1}^{V_2} PdV \Rightarrow \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV \left[\begin{array}{l} \because PV = nRT \\ P = \frac{nRT}{V} \end{array} \right]$$

$$\Rightarrow nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV \Rightarrow nRT [\ln V]_{V_1}^{V_2} \Rightarrow nRT (\ln V_2 - \ln V_1) \therefore W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়াঃ



এই প্রক্রিয়ায় কোন তাপের আদান-প্রদান হয় না, $\therefore dQ = 0 \therefore 0 = dU + dW \Rightarrow dW = -dU$

\therefore রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় গ্যাস তার অন্তঃস্থ শক্তির বিনিময়ে কাজ করে, তাই গ্যাস যতটুকু কাজ করে আয়তন বৃদ্ধি করে, তার অন্তঃস্থ শক্তি ততটুকুই হ্রাস পায়। আর গ্যাসের উপর বাহ্যিক চাপ প্রয়োগে যতটুকু কাজ করে সংকুচিত করা হলে, গ্যাসের অন্তঃস্থ শক্তি ততটুকু বৃদ্ধি পায়।

রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় কৃত কাজঃ

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV \Rightarrow \int_{V_1}^{V_2} \frac{K dV}{V^r} \quad [\because PV^r = k]$$

$$\Rightarrow K \int_{V_1}^{V_2} V^{-r} dV \Rightarrow K \left[\frac{V^{-r+1}}{-r+1} \right]_{V_1}^{V_2} \Rightarrow \frac{K}{1-r} (V_2^{1-r} - K V_1^{1-r}) \Rightarrow \frac{1}{1-r} (K V_2^{1-r} - k V_1^{1-r})$$

$$\Rightarrow \frac{1}{1-r} (P_2 V_2^r V_2^{1-r} - P_1 V_1^r V_1^{1-r}) [P_1 V_1^r = P_2 V_2^r = k]$$

$$\Rightarrow \frac{1}{1-r} (P_2 V_2^{r+1-r} - P_1 V_1^{r+1-r}) \Rightarrow \frac{1}{1-r} (P_2 V_2 - P_1 V_1) \Rightarrow \frac{1}{r-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{r-1} (nRT_1 - nRT_2) \Rightarrow W = \frac{nR}{r-1} (T_1 - T_2)$$

মোলার আপেক্ষিক তাপ :

$n \text{ mol}$ গ্যাসের তাপমাত্রা dt K বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপ $= dQ$

1 mol গ্যাসের তাপমাত্রা 1K বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপ = $\frac{dQ}{dT}$ J

মোলার আঃ তাপ, $C = \frac{dQ}{dT}$ [একক = $J mol^{-1} K^{-1}$]

স্থির চাপে মোলার আপেক্ষিক তাপ = C_p ; স্থির আয়তনে মোলার আপেক্ষিক তাপ C_v

$$C_p > C_v$$

$$C_p - C_v = R \therefore \frac{C_p}{C_v} = \gamma$$

এক-পরমাণুক গ্যাসের ক্ষেত্রে, $\gamma = 1.6$; দ্বি-পরমাণুক গ্যাসের ক্ষেত্রে, $\gamma = 1.4$; ত্রি-পরমাণুক গ্যাসের ক্ষেত্রে $\gamma = 1.33$

বিভিন্ন চলকের মধ্যে সম্পর্কঃ

প্রক্রিয়া	P, V	V, T	T, P
সমোষ্ণ	$P_1 V_1 = P_2 V_2$	T স্থির	T স্থির
রুদ্ধতাপীয়	$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$	$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$	$T_1 P_1^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = T_2 P_2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$

সমোষ্ণ রেখার চেয়ে রুদ্ধতাপীয় রেখা অধিকতর খাড়াঃ

$$\text{সমোষ্ণ রেখার ঢাল} = \left(\frac{dP}{dV} \right) : PV = K$$

$$\Rightarrow \frac{d}{dT} PV = \frac{d}{dT} K \Rightarrow P \frac{dV}{dT} + V \frac{dP}{dT} = 0 \Rightarrow PdV + VdP = 0 \Rightarrow VdP = -PdV \Rightarrow \frac{dP}{dV} = -\frac{P}{V}$$

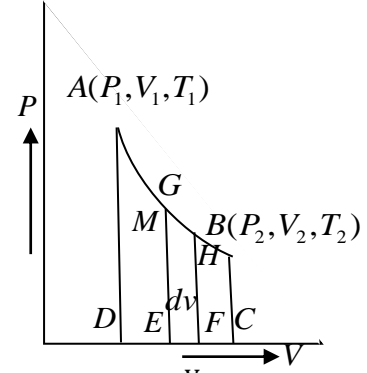
রুদ্ধতাপীয় রেখার ঢাল :

$$PV^\gamma = K \Rightarrow \frac{d}{dT} PV^\gamma = \frac{d}{dT} K \Rightarrow P \frac{d}{dT} V^\gamma + V^\gamma \frac{dP}{dT} = 0 \Rightarrow P r V^{\gamma-1} \frac{dV}{dT} + V^\gamma dP = 0$$

$$\Rightarrow rPV^{\gamma-1} dV + V^\gamma dP = 0 \Rightarrow V^\gamma dP = -rPV^{\gamma-1} dV \frac{dP}{dV} = -\frac{\gamma PV^{\gamma-1}}{V^\gamma} \Rightarrow -\gamma PV^{\gamma-1-\gamma} \frac{dP}{dV} = -\gamma \frac{P}{V}$$

∴ রুদ্ধতাপীয় রেখার ঢাল = $\gamma \left(-\frac{P}{V}\right) \Rightarrow \gamma \times$ সমোষণ রেখার ঢাল অর্থাৎ রুদ্ধতাপীয় রেখার ঢাল সমোষণ রেখার ঢালের γ

গুণ।



$$\begin{aligned} \text{কৃতকাজের, } W &= \int_{V_1}^{V_2} P dv = \int_{V_1}^{V_2} \frac{K dv}{V^\gamma} \quad [\because PV^\gamma = K \Rightarrow P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma] = K \int_{V_1}^{V_2} V^{-\gamma} dv \\ &= K \left[\frac{V^{1-\gamma}}{1-\gamma} \right]_{V_1}^{V_2} = \frac{K}{1-\gamma} (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}) = \frac{1}{1-\gamma} (K V_2^{1-\gamma} - K V_1^{1-\gamma}) \\ &= \frac{1}{1-\gamma} (P_2 V_2^\gamma V_2^{1-\gamma} - P_1 V_1^\gamma V_1^{1-\gamma}) = \frac{1}{1-\gamma} (P_2 V_2 - P_1 V_1) = \frac{1}{\gamma-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2) \\ \therefore W &= \frac{1}{\gamma-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2) = \frac{R}{\gamma-1} (T_1 - T_2) = \text{ABCD অংশের ক্ষেত্রফল} \end{aligned}$$

$$[\text{যেহেতু } P_1 V_1 = RT_1 \text{ এবং } P_2 V_2 = RT_2]$$

সুতরাং রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রেও নির্দেশক চিত্রের ক্ষেত্রফল হিসেব করে আমরা সম্পাদিত কাজ সরাসরি নিরূপণ করতে পারি।

প্রয়োজনীয় সমীকরণঃ

১. রয়েলের সূত্র $PV = \text{ধ্রুবক}$
২. কাজ $W = JH$
৩. তাপ গতিবিদ্যার প্রথম সূত্র $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$
৪. তাপ গতিবিদ্যার প্রথম সূত্র $\Delta Q = \Delta U + P\Delta V$
৫. রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে:

$$PV^\gamma = \text{constant}, \therefore P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma; TV^{1-\gamma} = \text{constant}, \therefore T_1 V_1^{1-\gamma} = T_2 V_2^{1-\gamma}.$$

$$৬. \quad P^{1-\gamma} T^\gamma = \text{constant} \therefore P_1^{1-\gamma} T_1^\gamma = P_2^{1-\gamma} T_2^\gamma, \quad \gamma = \frac{C_P}{C_V}, \quad C_P - C_V = R$$

$$৭. \quad n \text{ মোল গ্যাসের ক্ষেত্রে } \Delta U = nC_V \Delta T, \quad \Delta Q = nC_P \Delta T$$

EXAMPLE – 19: 27^0 C তাপমাত্রা এবং $10 \times 10^5\text{ pa}$ চাপে একটি আদর্শ গ্যাসের আয়তন 0.04 m^3 আয়তন 0.05 m^3 বৃদ্ধি

না হওয়া পর্যন্ত ধ্রুব চাপে গ্যাসটিকে উত্তপ্ত করা হল।

(ক) বাহ্যিক সম্পাদিত কাজ নির্ণয় কর। (খ) গ্যাসের নতুন তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

(গ) যদি গ্যাসটির ভর 45 gm . এর গ্রাম আণবিক ভর 28 gm . এবং ধ্রুব আয়তনে গ্রাম আণবিক আপেক্ষিক তাপ $0.6\text{ J mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$ হয় তবে অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় কর।

(ঘ) গ্যাসে প্রদত্ত মোট তাপের পরিমাণ নির্ণয় কর।

সমাধান :

(ক) বাহ্যিক সম্পাদিত কাজ $W = P\Delta V$
 $= 1.0 \times 10^5 (0.05 - 0.04)$
 $= 1.0 \times 10^5 \times 0.01 = 1000\text{ J}$

(খ) আমরা জানি,

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{0.05}{0.04} = \frac{T_2}{300}$$

$$\therefore T_2 = 300 \times \frac{5}{4} = 375\text{ K}$$

(গ) অভ্যন্তরীণ শক্তির বৃদ্ধি

$$\Delta U = nC_v\Delta T = nC_v (T_2 - T_1)$$

$$\frac{45}{28} \times 0.6 \times (375 - 300)$$

$$1.607 \times 0.6 \times 75 = 72.3\text{ J}$$

এখানে ,

$$\text{চাপ } P = 1.0 \times 10^5\text{ pa}$$

$$\text{আয়তন পরিবর্তন } \Delta V = (.05 - .04)\text{ m}^3$$

এখানে,

$$\text{আয়তন } V_1 = 0.04\text{ m}^3$$

$$\text{আয়তন } V_2 = 0.05\text{ m}^3$$

$$\text{তাপমাত্রা } T_1 = (273 + 270)\text{ K}, \text{ তাপমাত্রা } T_2 = ?$$

এখানে,

$$\text{গ্যাসের মোল সংখ্যা } n = \frac{45}{28}$$

$$\text{ধ্রুব আয়তনে গ্রাম আণবিক আপেক্ষিক তাপ } C_u = 0.6\text{ mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$$

$$\text{প্রথম তাপমাত্রা } T_1 = 273 + 27 = 300\text{ K}$$

$$\text{দ্বিতীয় তাপমাত্রা } T_2 = 375\text{ K}, \Delta T = T_2 - T_1$$

$$\text{চাপ } P = 1.0 \times 10^5\text{ pa}, \text{ আয়তন পরিবর্তন } \Delta V = (.05 - .04)\text{ m}^3$$

(ঘ) গ্যাসে প্রদত্ত মোট তাপ, $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$

$$= \Delta U + P\Delta V = 72.3 + 1000 = 1072.3 \text{ J}$$

এখানে,

$$\text{চাপ } P = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa},$$

$$\text{আয়তন পরিবর্তন } \Delta V = (.05 - .04)m^3$$

EXAMPLE - 20: রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় কত চাপ প্রয়োগ করা

নং 4 গুন

হবে? গ্যাসটির প্রাথমিক $10m^3$ হলে গ্যাস কর্তক সম্পাদিত কাজের পরিমাণ নির্ণয় কর। $\gamma = 1.41$

সমাধান : আমরা পাই, $P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$ বা, $P_2 = P_1 \frac{V_1^\gamma}{V_2^\gamma} = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma$ বা, $P_2 = 1 \times \left(\frac{1}{4}\right)^{1.41}$ (since, $V_2 = 4V_1$),

$$\text{বা, } P_2 = 0.142 \text{ atm}, \text{ সম্পাদিত কাজের পরিমাণ, } W = \frac{1}{\gamma-1} (P_1 V_1 - P_2 V_2)$$

$$= \frac{1}{1.41-1} (1.01325 \times 10^5 \times 10 - 0.142 \times 10^5 \times 40) = -7.414 \times 10^6 \text{ J} = -7414 \text{ KJ}$$

EXAMPLE - 21: 200 m উঁচু একটি জল প্রপাতের তলদেশ ও শীর্ষদেশের তাপমাত্রার ব্যবধান নির্ণয় কর।

সমাধান : পানি দ্বারা কৃত কাজ $W = mgh = m \times 9.8 \times 200$

যদি তাপমাত্রা বৃদ্ধি ΔT হয় তবে, $Q = \text{ভর} \times \text{আপেক্ষিক তাপ} \times \text{তাপমাত্রা বৃদ্ধি} = m \times 4200 \times \Delta T$

$$\text{প্রশ্নমতে, } m \times 9.8 \times 200 = m \times 4200 \times \Delta T \text{ বা, } \Delta T = \frac{9.8 \times 200}{4200} = .46$$

EXAMPLE - 22: 200 m বেগ প্রাপ্ত একটি সীসার বুলেট কোথাও থামিয়ে দেয়ার ফলে সমস্ত গতিশক্তি তাপে পরিণত হলে বুলেটের তাপমাত্রা বৃদ্ধি কত হবে। [সীসার আপেক্ষিক তাপ = $126 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$]

ধরি, তাপমাত্রা বৃদ্ধি ΔT , বুলেটের বেগ $V = 200 \text{ ms}^{-1}$, বুলেটের আপেক্ষিক তাপ $S = 126 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, বুলেটের ভর m

$$\text{প্রশ্নমতে, } \frac{1}{2} mv^2 = ms \Delta T \text{ বা, } \Delta Q = \frac{V^2}{2S} \frac{200 \times 200}{2 \times 126} = 158.73$$

EXAMPLE - 23: পিষ্টনযুক্ত একটি সিলিন্ডারে কিছু গ্যাস আবদ্ধ আছে। গ্যাসের চাপ 400 Pa এ স্থির রেখে সিলিন্ডারে ধীরে ধীরে 800 J তাপশক্তি সরবরাহ করায় 1200 J কাজ সম্পাদিত হয়। গ্যাসের আয়তন ও অন্তঃস্থ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় কর।

আমরা পাই, $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$ বা, $\Delta U = \Delta Q - \Delta W = (800 - 1200) \text{ J} = -400 \text{ J}$

$$\text{আবার, } \Delta W = P\Delta V \text{ বা, } \Delta V = \frac{\Delta W}{P} = \frac{1200}{400} = 3m^3$$

EXAMPLE - 24: এক গ্রাম পানিকে স্বাভাবিক বায়ুগুলীয় চাপে এবং 100° C তাপমাত্রায় ফুটালে 1672 c.c বাষ্পে পরিণত হয়। স্বাভাবিক চাপে পানির বাষ্পীভবনের আপেক্ষিক সুগুতাপ $2270000 \text{ J Kg}^{-1}$ । বাহ্যিক কৃত কাজ ও অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি নির্ণয় কর।

সমাধান : আমরা পাই বাহ্যিক কৃত কাজ $= P\Delta V = 1.03 \times 10^5 \times 1671 \times 10^{-6} = 170 \text{ J}$

যদি বাষ্পীভবনের আপেক্ষিক সুগুতাপ L এবং ভর m হয় তবে শোষিত তাপ

$$\Delta Q = mL = 10^{-3} \times 2.27 \times 10^6 = 2.27 \times 10^3 \text{ J}$$

$$\text{আমরা জানি, } \Delta U = \Delta Q - P\Delta V = 2.27 \times 10^3 - 170 = 2270 - 170 = 2100 \text{ J}$$

EXAMPLE – 25: স্বাভাবিক তাপমাত্রা ও চাপের কোন গ্যাসকে রুদ্ধ তাপীয় প্রক্রিয়ায় দ্বিগুন আয়তনে প্রসারিত করতে চূড়ান্ত চাপ কত হবে নির্ণয় কর।

সমাধান : আমরা জানি, $P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$

$$\text{বা, } P_1 V_1^\gamma = P_2 (2V_1)^\gamma = P_2 = \frac{P_1}{2^\gamma} = \frac{.76}{2^{1.40}} = \frac{.76}{2.639} = 0.288 \text{ m পারদ চাপ।}$$

EXAMPLE – 26: 27°C তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস হঠাৎ প্রসারিত হয়ে দ্বিগুন আয়তন লাভ করে। চূড়ান্ত তাপমাত্রা? গ্যাসটির প্রাথমিক 10 m^3 হলে গ্যাস কর্তক সম্পাদিত কাজের পরিমাণ নির্ণয়কর।

$$(\gamma = 1.4)$$

সমাধান : আমরা পাই, $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \therefore T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = 300 \left(\frac{V_1}{2V_2}\right)^{1.4-1} = 300(.5)^{.4} = 227.33 \text{K}.$

$$W = \frac{R}{1-\gamma} (T_1 - T_2) = \frac{8.314}{1-1.4} (300 - 227.33) = -1510.45 \text{J}$$

EXAMPLE – 27: 15°C তাপমাত্রার হিলিয়ামকে হঠাৎ ইহার আয়তনের 8 গুন বৃদ্ধি করতে তাপমাত্রার পরিবর্তন হিসেব কর।

$$(\gamma = 5/3)$$

সমাধান : আমরা পাই, $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$

$$T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = 288 \left(\frac{V_1}{8V_2}\right)^{\frac{5}{3}-1} = 288 \left(\frac{1}{8}\right)^{\frac{2}{3}} = (288)(0.125)^{.67} = 71.5 \text{K}.$$

EXAMPLE – 28: 15°C তাপমাত্রার কিছু পরিমাণ শুষ্ক বায়ুকে রুদ্ধ তাপ প্রক্রিয়াতে উহার আদি আয়তনের এক চতুর্থাংশের সংকুচিত করা হল। শেষ তাপমাত্রা নির্ণয় করা। (বায়ুর $\gamma = 1.4$)

সমাধান : আমরা পাই, $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$

$$T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = 288(4)^{1.4-1} = 288(4)^{.4} = 288 \times 1.74 = 501.4 \text{K}$$

EXAMPLE – 29: স্বাভাবিক চাপ ও 27°C তাপমাত্রার অক্সিজেনের ঘনত্ব 1.28 kg m^{-3} স্থির চাপে এর আপেক্ষিক তাপ $1050 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ (i) এক কিলোগ্রাম অক্সিজেনের সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক এবং (ii) স্থির আয়তনে অক্সিজেনের আপেক্ষিক

তাপ নির্ণয় কর। দেওয়া আছে $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$ পারদের ঘনত্ব $13.6 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ এবং $J = 4186 \text{ J(Kcal)}^{-1}$

সমাধান : (i) $PV = mRT$, $\therefore P = \frac{m}{V} RT = \rho RT$, $\rho =$ অক্সিজেনের ঘনত্ব $= 1.28 \text{ kg m}^{-3}$

$$\therefore R = \frac{P}{\rho T} = \frac{1.01 \times 10^5 \text{N}}{1.28 \text{ kg m}^{-3} \times 300 \text{K}} = 260 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1}, \text{ এখানে, } m = \text{কিলোগ্রাম অক্সিজেনের পরিমাণ}$$

$R =$ এক কিলোগ্রাম অক্সিজেনের সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক

$$(ii) C_P - C_V = R \text{ (জুল এককে)} C_V = 1050 \text{ J kg}^{-1} - 260 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1} = 790 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

EXAMPLE – 30: আদর্শ তাপমাত্রা ও চাপে নির্দিষ্ট আয়তনের শুষ্ক গ্যাসকে (i) সমোষ্ণ অবস্থায় এবং (ii) রুদ্ধ তাপ অবস্থায় তিনগুন আয়তনে প্রসারিত হতে দেওয়া হল। প্রতিক্ষেত্রের চূড়ান্ত চাপ কত হবে নির্ণয় কর। ($\gamma = 1.40$)

(i) সমোষ্ণ প্রসারণে বয়েলের সূত্র প্রয়োগ করে,

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ বা, } P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \therefore P_2 = (1.013 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}) \left(\frac{1}{3} \right) = 3.38 \times 10^4 \text{ Nm}^{-2}$$

$$(ii) P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \text{ বা, } p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma \therefore p_2 = (1.013 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}) \left(\frac{1}{3} \right)^{1.4} = 2.17 \times 10^4 \text{ Nm}^{-2}$$

EXAMPLE – 31: নাইট্রোজেন ক্ষেত্রে $s_v = 740 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ হলে, s_p কত? $R = 8310 \text{ kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ও নাইট্রোজেনের আণবিক ভর, $M = 28 \text{ Kg/Kmol}$.

সমাধানঃ আমরা জানি, $C_p - C_v = R \therefore M \times S_p - M \times S_v = R \therefore S_p = S_v + \frac{R}{M} = 740 + \frac{8310}{28} = 1037 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (বিঃ দ্রঃ এখানে S দিয়ে আপেক্ষিক তাপ ও C দিয়ে মোলার আপেক্ষিক তাপ বোঝানো হয়েছে।)

উদাহরণ-১৪ঃ CO_2 এর জন্য C_p ও C_v নির্ণয় কর। [$\gamma = 1.40$] এবং $R = 8.31 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$]

আমরা জানি, $C_p - C_v = R$ এবং $\gamma = \frac{C_p}{C_v} \therefore \gamma C_v - C_v = R$

$$\therefore C_v = \frac{R}{\gamma - 1} = \frac{8.31}{1.33 - 1} = 25.18 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1} \therefore C_p = \gamma C_v = 1.33 \times 25.18 = 33.49 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

সূত্রের বিশ্লেষণ :

সূত্র	প্রতীক পরিচিতি	একক
তাপগতিবিদ্যার ১ম সূত্র, $dQ = dU + dW = dU + PdV$	$dQ =$ গ্রহীত তাপ শক্তি	
	$dU =$ অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন	জুল (J)
	$dW =$ সম্পন্ন কাজ	
	$dV =$ আয়তনের পরিবর্তন	মিটার ^৩ (m^3)

EXAMPLE – 32: একটি গ্যাসকে 1 বায়ুমন্ডলীয় চাপে 10.0 লিটার থেকে 2.0 লিটারে সঙ্কুচিত করা হলো। এতে 500J

তাপশক্তি বেরিয়ে গেলে গ্যাস দ্বারা সম্পন্ন কাজ এবং অন্তঃস্থ শক্তির পরিবর্তন বের করো।

SOLVE : ধরি, গ্যাস দ্বারা সম্পন্ন কাজ dW এবং অন্তঃস্থ শক্তির পরিবর্তন dU

$$\text{চাপ, } P = 1 \text{ atm} \Rightarrow 1 \times 1.013 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

আয়তনের পরিবর্তন, শেষ আয়তন - আদি আয়তন $= (2-10)lit = -8 \times 10^{-3} m^3$

বর্জিত তাপ, $dQ = -500$

আমরা জানি, $dW = PdV = 1.013 \times 10^5 Nm^{-2} \times (-8 \times 10^{-3} m^3) = -810.4J$

আবার, $dQ = dU + dW \Rightarrow dU = dQ - dW \Rightarrow 500J + 810.4J = 310.4J$

অতএব, গ্যাস দ্বারা সম্পন্ন কাজ, $-810.4J$ এবং অন্তঃস্থ শক্তির পরিবর্তন $310.4J$ ।

EXAMPLE - 33: একটি $P-V$ লেখচিত্রটি পর্যবেক্ষণ কর। এখানে একটি গ্যাসের P অবস্থা হতে F অবস্থায় পরিবর্তন সংঘটিত হয়। দুটি পৃথক পথে। একটি হচ্ছে $P-N-M$ পথ এবং অপরটি $P-L-M$ পথ। $P-N-M$ পথে গ্যাস কর্তৃক $30J$ তাপ শোষিত হয়। অপরদিকে $POL-M$ পথে, $60J$ তাপ গ্যাস হতে বর্জিত হয় এবং $40J$ পরিমাণ যান্ত্রিক কাজ গ্যাস কর্তৃক সম্পাদিত হয়। $P-N-M$ সম্পন্ন কাজের পরিমাণ নির্ণয় করো।

SOLVE : চিত্রানুযায়ী, NM পথে শোষিত তাপ, $Q_{PNM} = 30J$

সম্পন্ন কাজ, W হয়, তবে $Q_{PNM} = 60J$

সম্পন্ন কাজ, $W = 40J$

$$\Delta Q_{PLM} = \Delta W + W \Rightarrow -60 = V + 40 \quad \Delta V = -100$$

$$\Delta Q_{PNM} = \Delta V + \Delta W \Rightarrow 30 - 100 + 100 \Delta W = 130J \quad (Ans)$$

EXAMPLE - 34: acb পথে কোনো ব্যবস্থাকে a থেকে b অবস্থায় নেয়া হলে $100J$ তাপ ব্যবস্থা কর্তৃক শোষিত হয় এবং ব্যবস্থা $50J$ কাজ সম্পাদন করে। (ক) adb পথে কাজ সম্পাদনের পরিমাণ যদি $30J$ হয় তাহলে adb পথে কী পরিমাণ তাপ শোষিত হবে? (খ) যদি $U_a = 0$ এবং $U_d = 20J$ হয় তাহলে ad ও db পথে শোষিত তাপের পরিমাণ কত হবে?

SOLVE : acb পথে শোষিত তাপ, $Q_{acb} = U_b - U_a + W \Rightarrow 100 = U_b - U_a + 50$

$$\therefore U_b - U_a = 50J$$

(ক) acb পথে, $W = 30J$ শোষিত তাপ, $Q_{adb} = U_b - U_a + W = 50J + 30J = 80J \therefore adb$ পথে শোষিত তাপ $80J$

(খ) adb পথে $W = 30J$ এবং $U_a = 0, U_d = 20J$

ad পথে শোষিত তাপ, $Q_{ad} = U_d - U_a + W = 20J - 0 + 30J = 50J$

db পথে শোষিত তাপ, $Q_{db} = U_b - U_d + W = 50J - 20J + 0 = 30J$

$\therefore ad$ ও db পথে শোষিত তাপের পরিমাণ যথাক্রমে $50J$ ও $30J$ ।

সূত্রের বিশ্লেষণ :

সূত্র	প্রতীক পরিচিতি	একক
কৃতকাজ $dW = PdV = P(V_2 - V_1)$	$W =$ কাজ	জুল (J)
	$P =$ চাপ	নিউটন/মিটার ^২ (Nm^{-2})
	$dV =$ আয়তনের পরিবর্তন	মিটার (m^3)

EXAMPLE - 35: পাশের $P - V$ লেখচিত্রে একটি গ্যাস A থেকে B অবস্থানে সংকোচন দেখানো হলো। এই প্রক্রিয়ার সম্পন্ন

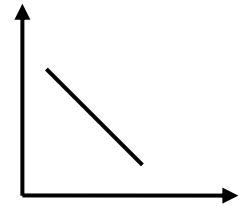
কাজের মান নির্ণয় কর।

SOLVE : ধরি, সম্পন্ন কাজের পরিমাণ, W

লেখচিত্র থেকে দেখা যায়, আয়তন পরিবর্তন, $\Delta V = (0.030 - 0.010)m^3 = 0.02m^3$

চাপ পরিবর্তন, $\Delta P = (300 - 120)kPa = 180kPa$

সম্পন্ন কাজের পরিমাণ, $W = \Delta P - \Delta V \Rightarrow 180kPa \times 0.02m^3 \Rightarrow 3.6kJ$ (Ans)



সূত্রের বিশ্লেষণ :

সূত্র	প্রতীক পরিচিতি	একক
রুদ্ধতাপীয়প্রক্রিয়ায়, $P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$ $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$ $T_1 P_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_2 P_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$	$P_1 =$ আদি চাপ	নিউটন/মিটার ^{-২} (Nm^{-2})
	$P_2 =$ চূড়ান্ত চাপ	
	$V_1 =$ আদি আয়তন	মিটার ^৩ (m^3)
	$V_2 =$ চূড়ান্ত আয়তন	
	$T_1 =$ আদি তাপমাত্রা	কেলভিন (K)
	$T_2 =$ চূড়ান্ত তাপমাত্রা	

EXAMPLE – 36: একটি সিলিন্ডারের অভ্যন্তরে বায়ুর চাপ $3atm$ । তাপমাত্রা $300K$ ও আয়তন 10 litre

(i) চাপ হঠাৎ দ্বিগুণ করা হলে এর আয়তন ও তাপমাত্রা কত হবে? (ii) চাপ ধীরে ধীরে দ্বিগুণ করা হলে আয়তন ও তাপমাত্রা কত হবে ?

SOLVE : ধরি, চূড়ান্ত আয়তন, V_2 এবং চূড়ান্ত তাপমাত্রা, T_2

আদি চাপ, $P_1 = 3atm$; চূড়ান্ত চাপ, $P_2 = 2 \times 3atm = 6atm$; আদি আয়তন, $V = 10\text{ litre}$;

আদি তাপমাত্রা, $T_1 = 300\text{ K}$; $\gamma = 1.4$

(i) চাপের দ্রুত পরিবর্তনের ক্ষেত্রে রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের সূত্র ব্যবহার করতে হবে।

$$\text{রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে, } P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \therefore V_2 = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \times V_1 \Rightarrow \left(\frac{3atm}{6atm} \right)^{\frac{1}{1.4}} \times 10\text{litre} = 6.1\text{ litre}$$

$$\text{যেহেতু গ্যাসের পরিবর্তন হয় না কাজেই, } \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}; \quad T_2 = \left(\frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} \right) \times T_1 \Rightarrow \frac{6atm \times 6.1\text{litre}}{10\text{litre}} \times 300K = 1098K$$

অতএব, হঠাৎ চাপ দ্বিগুণ করা হলে আয়তন ও তাপমাত্রা হবে যথাক্রমে 6.1 litre এবং $1098K$

(ii) চাপ খুব ধীরে ধীরে পরিবর্তনের ক্ষেত্রে, গ্যাস সঙ্কুচিত হওয়ার ফলে উদ্ভূত তাপ সিলিভারের বাইরে চলে যেতে সমর্থ হয়। ফলে গ্যাসের কোনো পরিবর্তন হয় না। সেক্ষেত্রে, বয়েলের সূত্র প্রয়োগ করা যায়।

বয়েলের সূত্রানুযায়ী, $P_1 V_1 = P_2 V_2 \therefore V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{3 \text{ atm} \times 10 \text{ litre}}{6 \text{ atm}} = 5 \text{ litre}$ সুতরাং আয়তনের পরিবর্তন হবে 5 litre

আবার, সমোষ্ণ পরিবর্তনের ক্ষেত্রে উষ্ণতার পরিবর্তনের ক্ষেত্রে তাপমাত্রার পরিবর্তন হয় না ফলে

EXAMPLE – 37: তাপমাত্রার কোনো গ্যাসের উপর রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় চাপ দ্বিগুণ করা হলো। তাপমাত্রা বৃদ্ধি নির্ণয় কর।

SOLVE : তাপমাত্রা বৃদ্ধি, ΔT ; $T_1 \times P_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_2 \times P_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$
 $T_1 = 30^\circ C = (273 + 30) K = 303 K \Rightarrow T_2 = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \times T_1$
 $\Rightarrow \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{1-1.4}{1.4}} \times 303 K \Rightarrow 369.36 K \therefore$ তাপমাত্রা বৃদ্ধি,
 $\Delta T = (369.36 - 303) K = 66.36 K$

অতএব, তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে, $66.36^\circ C$ ।

সূত্রের বিশ্লেষণ :

এখানে,
 আদি তাপমাত্রা, ($\gamma = 1.4$)
 আদি চাপ, $P_1 = P$
 শেষ চাপ, $P_2 = 2P$
 $\gamma = 1.4$

সূত্র	প্রতীক পরিচিতি	একক
তাপশক্তি, $dQ = nC_p dT = nC_v dT$; $n = \frac{m}{M}$	$m =$ মৌলের ভর	kg
	$C_p =$ স্থির চাপে মোলার আপেক্ষিক তাপ	$J \text{ mol}^{-1} K^{-1}$
	$dT =$ তাপমাত্রার পরিবর্তন	K
	$M =$ মৌলের আণবিক ভর	$kg \text{ mol}^{-1}$
	$n =$ মোল সংখ্যা	mol
	$C_v =$ স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন	$J \text{ mol}^{-1} K^{-1}$

EXAMPLE – 38: $3 \times 10^5 Pa$ চাপে ও $280 K$ তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের হাইড্রোজেনের আয়তন $10^{-3} m^3$ । রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় এর চাপে হঠাৎ দ্বিগুণ করা হলে এর অন্তঃস্থ শক্তির কী পরিবর্তন হবে? হাইড্রোজেনের, $C_v = 20.4 J \text{ mol}^{-1} K^{-1}$ এবং $R = 8.314 J \text{ mol}^{-1} K^{-1}$ ।

SOLVE : অন্তঃস্থ শক্তির পরিবর্তন আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ থেকে,

এখানে,

$$PV = nRT \therefore n = \frac{PV}{RT} = \frac{3 \times 10^5 \text{ Pa} \times 10^{-3} \text{ m}^3}{8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 280 \text{ K}} \Rightarrow 0.129 \text{ mol}$$

মোলার গ্যাস ধ্রুবক, $R = 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $C_v = 20.4 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ এবং $\gamma = 1.4$

রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে, আয়তন ও চাপের সম্পর্ক থেকে পাই,

তাপমাত্রা, $T_1 = 280 \text{ K}$; চাপ, $P_2 = 2P$

$$T_1 P_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_2 P_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \therefore T_2 = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \times 280 \text{ K} = \left(\frac{P_1}{2P_2} \right)^{\frac{1-1.4}{1.4}} \times 280 \text{ K}$$

$$= (0.5)^{-0.4} \times 280 \text{ K} = 341.32 \text{ K}$$

রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনে গ্যাস কর্তৃক কৃতকাজ,

$$\Delta W = nC_v(T_2 - T_1) = 0.129 \text{ mol} \times 20.4 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times (341.32 - 280) \text{ K}$$

$$= 161.37 \text{ J}$$

অন্তঃস্থ শক্তির পরিবর্তন, $\Delta U = \Delta Q - \Delta W = 0 - 161.37 \text{ J} = -161.37 \text{ J}$ (Ans)

চাপ, $P = 3 \times 10^5 \text{ Pa}$

আয়তন, $V = 10^{-3} \text{ m}^3$

তাপমাত্রা, $T = 280 \text{ K}$

EXAMPLE – 39: 27°C তাপমাত্রা এবং $2 \times 10^5 \text{ Pa}$ চাপে একটি গ্যাসের আয়তন 0.02 m^3 । আয়তন 0.03 m^3 বৃদ্ধি না হওয়া পর্যন্ত গ্যাসটিকে ধ্রুব চাপে উত্তপ্ত করা হলো।

ক. বাহ্যিক সম্পাদিত কাজ নির্ণয় কর।

খ. গ্যাসের নতুন তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

গ. যদি গ্যাসটির ভর এবং ধ্রুব আয়তনে গ্রাম আণবিক আপেক্ষিক তাপ হয় তবে এর অভ্যন্তরীণ শক্তি নির্ণয় কর।

ঘ. গ্যাসে প্রদত্ত মোট তাপের পরিমাণ নির্ণয় করো।

SOLVE : (ক) ধরি, বাহ্যিক সম্পাদিত কাজ W

চাপ, $P = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ আয়তন পরিবর্তন, $\Delta V = (0.03 - 0.02) \text{ m}^3$

বাহ্যিক সম্পাদিত কাজ, $W = P\Delta V = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa} \times (0.03 - 0.02) \text{ m}^3 = 2.0 \times 10^5 \times 0.01 \text{ J} \therefore W = 2000 \text{ J}$
(Ans)

(খ) ধরি, গ্যাসের নতুন তাপমাত্রা T_2

আয়তন, $V_1 = 0.02m^3$ আয়তন, $V_2 = 0.03m^3$ তাপমাত্রা, $T_1 = (273 + 27)K = 300K$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{0.03m^3}{0.02m^3} = \frac{T_2}{300K} \quad \therefore T_2 = 300K \times \frac{3}{2} = 450K \quad (Ans :)$$

(গ) অভ্যন্তরীণ শক্তি dU ; গ্যাসের মোল সংখ্যা, $n = \frac{16}{32}$

প্রব আয়তনে গ্রাম আণবিক আপেক্ষিক তাপ, $C_v = 0.8 Jmol^{-1} K^{-1}$

আদি তাপমাত্রা, $T_1 = (273 + 27)K = 300K$

চূড়ান্ত তাপমাত্রা, $T_2 = 450K$ $\Delta T = T_2 - T_1$

অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি, $dU = nC_v \Delta T = nC_v (T_2 - T_1) = \frac{16}{32} mol \times 0.8 Jmol^{-1} K^{-1} \times (450 - 300)K$

$$= 0.5 \times 0.8 \times 150J = 60J \quad (Ans)$$

(ঘ) গ্যাসে প্রদত্ত তাপের পরিমাণ, ΔQ চাপ, $P = 2.0 \times 10^5 Pa$; আয়তন পরিবর্তন, $\Delta V = (0.03 - 0.02)m^3 = 0.01m^3$

গ্যাসে প্রদত্ত মোট তাপ, $\Delta Q = \Delta U + \Delta W = \Delta U + P\Delta V = 60J + 2000J = 2060J \quad (Ans)$

EXAMPLE - 40: কোনো একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা থেকে 1 মোল গ্যাসের পরিপার্শ্ব হতে তাপ গ্রহণ করে এর তাপমাত্রা $1K$ বৃদ্ধি পেলে দেখা যায় গ্যাসটির আয়তন ΔV পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। সম্পূর্ণ প্রক্রিয়ার চাপ P স্থির থাকে। যদি চাপকে $2P$ তে স্থির রাখা হয়, $1K$ তাপমাত্রার বৃদ্ধির কারণে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি পায় ΔV_1 ।

ক. চাপকে কীভাবে দ্বিগুণ $2P$ করা যায় ব্যাখ্যা কর।

খ. $\frac{\Delta V_1}{\Delta V}$ এর মান নির্ণয় কর। [গ্যাসটির আদি আয়তনের অর্ধেক করে $\left(\frac{1}{2}\right)$ ।

SOLVE : (ক) বয়েলের সূত্র হতে পাই, $PV = K$ অর্থাৎ কোনো বস্তুর আয়তন বৃদ্ধি করলে এর চাপ বৃদ্ধি পায়। \therefore আয়তনকে দ্বিগুণ করে চাপ দ্বিগুণ করা সম্ভব।

(খ) তাপগতিবিদ্যার ১ম সূত্র হতে পাই, $\Delta Q = \Delta U + P\Delta V \Rightarrow \Delta Q = C_v \Delta T + P\Delta V \quad [\because \Delta T = 1K]$

আবার, চাপ দ্বিগুণ করা হলে আয়তন পরিবর্তন $= \Delta V_1 \therefore \Delta Q = \Delta U + P\Delta V \Rightarrow \Delta Q = C_v \Delta T + 2P\Delta V_1$

$$\therefore C_v + P\Delta V = C_v + 2P\Delta V_1 \Rightarrow 2P\Delta V_1 = P\Delta V \Rightarrow \frac{\Delta V_1}{\Delta V} = \frac{P}{2P} \Rightarrow \frac{\Delta V_1}{\Delta V} = \frac{1}{2} \quad (Ans)$$

সূত্রের বিশ্লেষণ :

সূত্র	প্রতীক পরিচিতি	একক
$C_v = S \times M, C_p - C_v = R, \frac{C_p}{C_v} = \gamma$	$M =$ আণবিক ভর	$kg\ mol^{-1}$
	$S =$ আপেক্ষিক তাপ	$1\ mol^{-1}\ K^{-1}$
	$R =$ মোলার গ্যাস ধ্রুবক	

EXAMPLE - 41: এক পারমাণবিক গ্যাসের জন্যে C_p ও C_v এর মান নির্ণয় কর।

এক পারমাণবিক গ্যাসের জন্যে, মোলার গ্যাস ধ্রুবক, $R = 8.31 = 12.4\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$

SOLVE : এখানে, $\gamma = 1.67$ আবার; $\gamma = \frac{C_p}{C_v} \dots\dots\dots(i)$

আবার, $C_p - C_v = R \Rightarrow C_v = C_p - R \dots\dots\dots(ii)$

(i), (ii) নং হতে পাই, $C_p = \gamma(C_p - R) \Rightarrow C_p = \gamma C_p - \gamma R \Rightarrow C_p(1 - \gamma) = -\gamma R$

$$\Rightarrow C_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1} = \frac{1.67 \times 8.31}{1.67 - 1} \therefore C_p = 20.71\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$$

(ii) নং এ C_p এর মান বসিয়ে পাই, $C_p = (20.71 - 8.31)\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$ । (Ans)

EXAMPLE - 42: $10\ kg$ বরের একটি বস্তুর বেগ $100\ ms^{-1}$ থেকে $40\ ms^{-1}$ করতে কত কাজ করতে হবে? কৃত কাজের

সমতুল্য তাপ কত হবে ?

SOLVE : ধরি, কৃতকাজের পরিমাণ W এবং সমতুল্য তাপের পরিমাণ H

ভর, $m = 10\ kg$ প্রাথমিক বেগ, $v_1 = 100\ ms^{-1}$ চূড়ান্ত বেগ, $v_2 = 40\ ms^{-1}$ যান্ত্রিক সমতা, $J = 4.2\ J/cal$

$$W = \frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2) \Rightarrow \frac{1}{2} \times 10\ kg \{(100)^2 - (40)^2\} = 4.2 \times 10^4\ J$$

$$\text{আবার, } W = JH \therefore H = \frac{W}{J} = \frac{4.2 \times 10^4\ J}{4.2\ J\ cal^{-1}} = 10^4\ cal$$

সুতরাং কাজের পরিমাণ $4.2 \times 10^4 J$ এবং সমতুল্য তাপের পরিমাণ $10^4 cal$ (Ans)

EXAMPLE - 43: কত উচ্চতা হতে একটি বরফের টুকরা অভিকর্ষের টানে পড়লে যে তাপ উৎপন্ন হবে তাতে বরফের 10% গলে যাবে? এখানে ঘর সমস্ত যান্ত্রিক শক্তি তাপে পরিণত হয়েছে ?

উচ্চতা h এবং বরফের ভর m ; h উচ্চতায় বরফের স্থিতিশক্তি $=mgh$; 10% বরফ গলতে প্রয়োজনীয় তাপ $=\frac{m}{10}L$

$$\text{বরফের স্থিতিশক্তি-ই বরফ গলনের সময় তাপে রূপান্তরিত হবে} \therefore mgh = \frac{m}{10}L \therefore h = \frac{3.36 \times 10^5 J kg^{-1}}{10 \times 9.8 ms^{-2}} = 3428.57 m$$

(Ans)

EXAMPLE - 44: 240m উঁচু একটি জলপ্রপাতের তলদেশ ও শীর্ষদেশের তাপমাত্রার পার্থক্য নির্ণয় করো।

SOLVE : তাপমাত্রার পার্থক্য ΔT এবং পতনশীল পানির ভর $=m$; অভিকর্ষজ ত্বরণ, $g = 9.8 ms^{-2}$; উচ্চতা, $h = 240m$

$$\text{পানি কর্তৃক কৃতকাজ, } W = mgh \Rightarrow W = \{m \times 9.8 \times 240\} J = m \times 2352 J$$

$$S = \text{পানির আপেক্ষিক তাপ} = 4200 J kg^{-1} K^{-1}$$

$$\Delta T = \text{তাপমাত্রার পার্থক্য} ; \text{উৎপন্ন তাপ, } Q = mS \Delta T = (m \times 4200 \times \Delta T) J$$

$$\text{কোনোভাবে তাপ নষ্ট না হলে, } m \times 2352 = m \times 4200 \times \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{2352}{4200} K = 0.56 K \quad (\text{Ans})$$

EXAMPLE - 45: $0^\circ C$ তাপমাত্রার একখন্ড বরফ কত উচ্চতা থেকে অভিকর্ষের টানে পড়লে তা সম্পূর্ণরূপে গলে যাবে? [ধর, সমস্ত শক্তি তাপে পরিণত হয়েছে ও $L = 3.36 \times 10^5 J kg^{-1}$, $g = 9.8 ms^{-1}$]

SOLVE : ধরি, উচ্চতা h এবং বরফের ভর m ; h উচ্চতায় বরফের স্থিতিশক্তি $=mgh$

আবার, বরফ গলতে প্রয়োজনীয় তাপ $=mL$ এখানে, বরফের স্থিতিশক্তি-ই বরফ গলনের সময় তাপে রূপান্তরিত হবে।

$$\therefore mgh = mL \Rightarrow h = \frac{L}{g} = \frac{3.36 \times 10^5 J kg^{-1}}{9.8} \therefore h = 3.43 \times 10^4 m$$

EXAMPLE - 46: $27^\circ C$ তাপমাত্রায় 0.02kg হাইড্রোজেন গ্যাসকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় সংনমিত করে প্রাথমিক আয়তনের এক চতুর্থাংশ করা হলো। কৃত কাজের মান বের করো।

SOLVE : ধরি, কৃতকাজ W ; $T = 27^\circ C = (27 + 273) K = 300 K$

$$m = 0.02\text{kg}; M = 2 \times 10^{-2}\text{kg}; R = 8.314\text{ J mol}^{-1} K^{-1}$$

$$\text{ধরি, } V_1 = V; V_2 = \frac{V}{4} \therefore \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{4}$$

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{0.02 \times 8.314 \times 300 \ln \frac{1}{4}}{2 \times 10^{-2}} = -3457.695\text{ J} \quad (\text{Ans})$$

EXAMPLE - 47: 200ms^{-1} বেগ প্রাপ্ত একটি সীসার বুলেট কোথাও থামিয়ে দেওয়ার ফলে সমস্ত গতিশক্তি তাপে পরিণত হলো। বুলেটটির তাপমাত্রা কত বৃদ্ধি পাবে?

SOLVE : ধরি, তাপমাত্রা বৃদ্ধি ΔT ; বুলেটের বেগ, $v = 200\text{ms}^{-1}$; সীসার আপেক্ষিক তাপ, $S = 126\text{ J Kg}^{-1} K^{-1}$

$$\therefore \text{বুলেটটির গতিশক্তি} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m \times (200)^2; \text{উৎপন্ন তাপ, } Q = mS\Delta T = m \times 126\text{ J kg}^{-1} K^{-1} \times \Delta T$$

$$\text{শর্তানুসারে, } \frac{1}{2}m \times (200)^2 = m \times 126 \times \Delta T \therefore \Delta T = \frac{\frac{1}{2} \times (200)^2}{126} K = 158.73 K$$

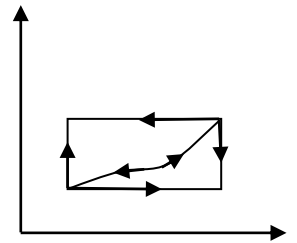
নিজে চেষ্টা কর :

*কোন সুব্যবস্থাকে A হতে ABC পথে B অবস্থায় নিয়ে যাওয়া হলে 80J তাপ শোষিত এবং 30J সম্পাদিত হয়।

(ক) ADB পথে সুব্যবস্থাটি 10J কাজ সম্পাদিত করলে কী পরিমাণ তাপ শোষিত হবে?

(খ) B অবস্থা হতে A অবস্থায় BA বক্রপথে প্রত্যাবর্তন করতে সুব্যবস্থাটির উপর 20J সম্পাদিত হলে

কি পরিমাণ তাপ শোষণ বা পরিত্যাগ করবে? Ans: 60 J , 70J



** $27^\circ C$ তাপমাত্রার এবং $2 \times 10^5\text{ pa}$ চাপে একটি গ্যাসের আয়তন 0.02 m^3 । আয়তন 0.03 m^3 বৃদ্ধি না হওয়া পর্যন্ত গ্যাসটিকে ধ্রুব চাপে উত্তপ্ত করা হল।

(ক) বাহ্যিক সম্পাদিত কাজ নির্ণয় কর।(খ) গ্যাসের নতুন তাপমাত্রা নির্ণয় কর। (গ) যদি গ্যাসটির ভর 16gm. এর গ্রাম আণবিক ভর 32gm.এবং ধ্রুব আয়তনে গ্রাম আণবিক আপেক্ষিক তাপ $0.8 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ হয় তবে অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় কর।(ঘ)গ্যাসে প্রদত্ত মোট তাপের পরিমাণ কত ? Ans:(ক)2000J,(খ)450K ,(গ)60J,(ঘ)2060J

** স্বাভাবিক চাপে 100 m^3 আয়তনের একটি গ্যাসে $5 \times 10^3 \text{ J}$ তাপ দিলে গ্যাসের আয়তন 100.2 m^3 হয়। ঐ গ্যাসের কৃতকাজের মান নির্ণয় কর। [সংকেত $\Delta W = P\Delta V = 1.013 \times 10^5 \times 0.2 \text{ J}$]

*** আদর্শ তাপমাত্রা ও চাপে কিছু পরিমাণ শুষ্ক বাতাসকে রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়াতে উহার আদি আয়তনের এক পঞ্চমাংশ সংকুচিত করা হল। তাপমাত্রা বৃদ্ধি নির্ণয় কর। ($\gamma = 1.4$) Ans:255.2K

*** একটি সিলিণ্ডারের মধ্যে কিছু পরিমাণ গ্যাস আছে। এই গ্যাস পরিবেশ থেকে 700 J তাপশক্তি শোষণ করার ফলে গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি 500 J বৃদ্ধি পেল। গ্যাস কর্তৃক পরিবেশের উপর কৃত কাজের পরিমাণ নির্ণয় কর। A:200J

*** স্বাভাবিক তাপমাত্রা ও চাপের কোন আদর্শ গ্যাসকে রুদ্ধ তাপীয় প্রক্রিয়ায় সংকুচিত করে আয়তন অর্ধেক করা হলে চূড়ান্ত চাপ কত হবে নির্ণয় কর। ($\gamma = 1.40$) Ans:2.005mHg.

*** এক গ্রাম পানিকে স্বাভাবিক বায়ুমণ্ডলীয় চাপে এবং 100°C তাপমাত্রায় ফুটালে 1671 c.c বাষ্পে পরিণত হয়। এই চাপে পানির বাষ্পীভবনের আপেক্ষিক সুগুতাপ $2232800 \text{ J kg}^{-1}$ । বাহ্যিক কৃতকাজ ও অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি নির্ণয় কর। Ans: 172.2J , 2091.6J

* বায়ুমণ্ডলীয় চাপে $1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ আয়তন বিশিষ্ট $1.00 \times 10^{-6} \text{ kg}$ পানি ফুটিয়ে $1671 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ আয়তনের বাষ্পে পরিণত করা হয়। এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপে পানির বাষ্পীভবনের লীনতাপ (Latent heat of vaporisation) $2270 \times 10^3 \text{ J Kg}^{-1}$ । অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় কর। Ans:2100.67J

* পিষ্টনযুক্ত একটি সিলিণ্ডারে কিছু গ্যাস আবদ্ধ আছে। গ্যাসের চাপ 600 Pa এ স্থির রেখে সিস্টেমে ধীরে ধীরে 500 J তাপশক্তি সরবরাহ করায় 1000 J কাজ সম্পাদিত হয়। গ্যাসের আয়তন ও অন্তস্থ একটি শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় কর। Ans:1.67m³ , -500J

* একটি জলপ্রপাতে 90 m উপর হতে পানির নিচে পতিত হয়। উপরের ও নিচের পানির তাপমাত্রার পার্থক্য নির্ণয় কর।
Ans : 0.21°C

* ধ্রুব চাপে কোন গ্যাসের আয়তন প্রসারিত হয়ে $5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ হতে $9 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ হয়। এই ধ্রুব চাপ 20.0 বায়ুমণ্ডলীয় চাপের সমান হলে গ্যাস কি পরিমাণ তাপ শোষণ করে যদি (ক) অভ্যন্তরীণ শক্তি ধ্রুব থাকে (খ) অভ্যন্তরীণ শক্তি গ্যাস কর্তৃক সম্পাদিত কাজের সমপরিমাণে বৃদ্ধি পায় ? Ans: 8104J, 16208J

* কোন গ্যাসের আদি চাপ ও আয়তন যথাক্রমে 4.0 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ ও $4 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ গ্যাসটি এমন একটি প্রক্রিয়াধীন যা $PV = \text{ধ্রুবক}$ নিয়ম অনুসরণ করে। গ্যাসটির চূড়ান্ত আয়তন আদি আয়তনের দ্বিগুন হলে গ্যাসটি কি পরিমাণ কাজ সম্পাদান করে এবং কি পরিমাণ তাপ শোষণ করে। Ans: $1.1234 \times 10^4 \text{ J}$, $11.235 \times 10^3 \text{ J}$

* স্বাভাবিক বায়ুমণ্ডলীয় চাপে এবং 27°C তাপমাত্রায় কিছু পরিমাণ বায়ুকে হঠাৎ সংকুচিত করা হল। সংকোচনের ফলে যদি বায়ুর আয়তন আদি আয়তনের $\frac{1}{5}$ অংশ হয় তবে প্রযুক্ত চাপ কত ? Ans : 9.52 atm

* স্বাভাবিক তাপমাত্রা ও চাপে হিলিয়ামের এক কিলোগ্রাম অণুর আয়তন 22.42 m^3 স্থির আয়তনে হিলিয়ামের আপেক্ষিক তাপ যদি $3.0 \text{ kcal / kg-mole-K}$ হয়, তবে স্থির চাপে হিলিয়ামের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর। দেওয়া আছে, স্বাভাবিক চাপ $= 1.01 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$ এবং $J = 4200 \text{ Joules / kcal}$.

Ans : 4.981 kcal / kg-mole-k

* 27⁰ C তাপমাত্রার কিছু পরিমাণ শুষ্ক বায়ুকে প্রথমে অত্যন্ত ধীরে ধীরে এবং পরে আকস্মিকভাবে এবং আদি আয়তনের এক-তৃতীয়াংশে সংকুচিত করা হল। প্রতিক্ষেত্রে তাপমাত্রার পরিবর্তন নির্ণয় কর। শুষ্ক বায়ু $\gamma = 1.40$.

Ans:(i) কোন পরিবর্তন হবে না সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলে। (ii) 165.6⁰C

তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র

ক্লাসিয়াসের বিবৃতি (*Clausius's statement*): “বাইরের কোনো শক্তির সাহায্য ব্যতিরেকে কোনো স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রের পক্ষে নিম্ন তাপমাত্রার কোনো বস্তু হতে উচ্চ তাপমাত্রার কোনো বস্তুতে তাপের স্থানান্তর সম্ভব নয়।”

কেলভিনের বিবৃতি (*Kelvin's statement*): “কোনো বস্তুকে তার পরিপার্শ্বের শীতলতম অংশ হতে অধিকতর শীতল করে শক্তির অবিরাম সরবরাহ পাওয়া সম্ভব নয়।”

প্ল্যাংক-এর বিবৃতি (*Planck's statement*): “কোনো তাপ উৎস হতে অনবরত তাপ শোষণ করবে এবং তা সম্পূর্ণরূপে কাজে রূপান্তরিত হবে এরূপ একটি তাপ ইঞ্জিন তৈরি করা সম্ভব নয়।”

কার্নোর বিবৃতি (*Carnot's statement*): “কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ শক্তি সম্পূর্ণ বা পুরোপুরিভাবে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তর করার মতো তৈরি সম্ভব নয়।”

প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়াঃ যে প্রক্রিয়া বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করে এবং সম্মুখবর্তী ও বিপরীতমুখী প্রক্রিয়ার প্রতি স্তরে তাপ ও কাজের ফলাফল সমান ও বিপরীত হয় সেই প্রক্রিয়াকে প্রত্যাগামী বা প্রত্যাগামী প্রক্রিয়া বলে।

উদাহরণ :

বাস্তব ক্ষেত্রে সম্পূর্ণ প্রত্যাগামী প্রক্রিয়ার উদাহরণ দেয়া সম্ভবপর নয়। তবে কিছু কিছু প্রক্রিয়া আছে যাদেরকে আপাতভাবে প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া বলা যেতে পারে। এমন কতকগুলো প্রক্রিয়া নিম্নে উল্লেখ করা হলো।

(i) খুব ধীরে ধীরে সংঘটিত করলে সমোষ্ণ এবং রুদ্ধতাপ পরিবর্তন প্রত্যাবর্তী হবে। কারণ এক্ষেত্রে ঘর্ষণের ন্যায় অবক্ষয়ী বল না থাকায় এবং প্রক্রিয়াটি খুব ধীরে ধীরে সংঘটিত হওয়ায় পরিবহন, পরিচলন ও বিকিরণের দরুন তাপ বা শক্তি ক্ষয় হয় না।

(ii) প্রতি গ্রামে 80 ক্যালরি (*cal*) বা 336 J তাপশক্তি শোষণ করে স্বাভাবিক চাপের 0^o C তাপমাত্রায় বরফ পানিতে পরিণত হয়।

আবার স্বাভাবিক চাপে 0^o C তাপমাত্রার পানি হতে প্রতি গ্রামে 80 ক্যালরি তাপ বা 336J তাপশক্তি অপসারণ করলে পুনরায় বরফ পাওয়া যায়। সুতরাং প্রক্রিয়াটি প্রত্যাবর্তী।

(iii) কিছুটা উপর হতে একটি স্থিতিস্থাপক বলকে একটি স্থিতিস্থাপক ইস্পাত পাতের উপর ফেলা হলে শক্তির কোনো অপচয় না হওয়ায় বলটি আবার তার প্রাথমিক উচ্চতা পর্যন্ত উপরে উঠবে। সুতরাং প্রক্রিয়াটি প্রত্যাবর্তী।

(iv) স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে খুব ধীরে ধীরে কোনো স্প্রিংকে সম্প্রসারণ করলে প্রতি ধাপে প্রসারণের সময় স্প্রিং-এর উপর যে পরিমাণ কাজ করা হবে সঙ্কোচনের সময় স্প্রিং সেই পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করবে। সুতরাং প্রক্রিয়াটি প্রত্যাবর্তী।

অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়াঃ যে প্রক্রিয়া সম্মুখগামী হওয়ার পর বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করতে পারে না, তাকে অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া বলে। একে অনপনের প্রক্রিয়াও বলা হয়।

বৈশিষ্ট্য :

অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া হঠাৎ এবং স্বতঃস্ফূর্তভাবে (*spontaneously*) সংঘটিত হয়। প্রকৃতিতে সব প্রক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটে থাকে। সুতরাং প্রাকৃতিক প্রক্রিয়া মাত্রই অপ্রত্যাবর্তী। এই প্রক্রিয়ায় সংস্থা কখনই তার প্রাথমিক অবস্থায় ফিরে যাবার প্রবণতা দেখায় না। ইহা একটি দ্রুত প্রক্রিয়া এবং তাপগতীয় সাম্যাবস্থা বজায় রাখে না।

উদাহরণ :

(i) বৈদ্যুতিক রোধের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে তাপ সৃষ্টি হয়। এটি একটি অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া।

(ii) দুটি বস্তুর ঘর্ষণের দরুন যে তাপ সৃষ্টি হয় তা একটি অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া। কারণ ঘর্ষণের বিরুদ্ধে যে কাজ করা হয় তাই তাপে রূপান্তরিত হয় এবং ঐ তাপ কোনো প্রকারেই কাজে পরিণত করা যায় না।

(iii) ভিন্ন তাপমাত্রার দুটি বস্তুকে পরস্পরে সংস্পর্শে স্থাপন করলে তাপ অধিক তাপমাত্রার বস্তু হতে কম তাপমাত্রার বস্তুতে প্রবাহিত হবে। কিন্তু কম তাপমাত্রার বস্তু হতে অধিক তাপমাত্রার বস্তুতে তাপ প্রবাহের কোনো প্রবণতা নেই। সুতরাং এটি একটি অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া।

(iv) বন্দুক হতে গুলি ছুঁড়লে বারুদের বিস্ফোরণ ঘটে। এই বিস্ফোরণ অতি দ্রুত সংঘটিত হয়। এই প্রক্রিয়া অপ্রত্যাবর্তী।

কার্যকৃত সহগ (*Co-efficient of Performance*):

রেফ্রিজারেটর হতে অপসারিত তাপ ও কম্প্রেসর কর্তৃক সরবরাহকৃত যান্ত্রিক কাজের অনুপাতকে কার্যকৃত সহগ বলে। একে K দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

রেফ্রিজারেটরের বাষ্পীভবন কুণ্ডলী হতে অপসারিত তাপ Q_1 । (চিত্র-১.৮), কম্প্রেসর কর্তৃক সরবরাহকৃত কাজ W এবং ঘনীভবন কুণ্ডলীতে বর্জিত তাপ Q_2 হলে, তাপীয় সূত্র অনুসারে পাওয়া যায়,

$$Q_2 = Q_1 + W \therefore W = Q_2 - Q_1 \text{ সুতরাং সূত্রানুসারে কার্যকৃত সহগ, } K = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1} = \frac{Q_1}{W}$$

কার্যকৃত সহগ যত বেশি হবে, তত কম যান্ত্রিক কাজ ব্যয় করে রেফ্রিজারেটর হতে বেশি তাপ গ্রহণ বা অপসারণ করা যাবে। রেফ্রিজারেটরে সাধারণত কার্যকৃত সহগ K -এর মান ২ থেকে ৬ এর মধ্যে হয়।

রেফ্রিজারেটরের দক্ষতা বা কর্মদক্ষতা যথা, $\eta = \frac{Q_1}{W} \leq \frac{T_1}{T_2 - T_1}$ এখানে, $T_1 =$ অপসারিত তাপমাত্রা এবং $T_2 =$ বর্জিত তাপমাত্রা

* ইঞ্জিনের দক্ষতার হিসাব থেকে লক্ষ করা যায় যে, ইহা কেবল তাপ উৎস ও তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা T_1, T_2 এর উপর নির্ভর করে- কার্যনির্বাহকে বস্তুর প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে না।

* যে কোনো দুটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার মধ্যে কার্যরত সকল প্রত্যাগামী ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা সমান হয়।

* যেহেতু $T_1 > (T_1 - T_2)$, কাজেই ইঞ্জিনের দক্ষতা কখনই 100% হতে পারে না।

* তাপ উৎস ও তাপগ্রাহকের মধ্যবর্তী তাপমাত্রার মধ্যে পার্থক্য যত বেশি হবে ইঞ্জিনের দক্ষতাও তত বেশি হবে।

প্রত্যাগামী প্রক্রিয়ায় এন্ট্রপি স্থির থাকে কেন-

কার্ণো চক্র থেকে দেখা যায় যে, AB ও CD দুটি সমোষ্ণ সম্প্রসারণ ও সংকোচন রেখা। অন্যদিকে BC ও DA দুটি রুদ্ধতাপীয় সম্প্রসারণ ও সংকোচন রেখা বলে তাদের কোনো পরিবর্তন হয় না।

$$AB \text{ সমোষ্ণ রেখা বরাবর এন্ট্রপির পরিবর্তন, } = \frac{Q_1}{T_1}$$

$$CD \text{ সমোষ্ণ রেখা বরাবর এন্ট্রপির পরিবর্তন, } = \frac{Q_2}{T_2}$$

চিত্রে আছে

$$\therefore \text{ কার্যনির্বাহক বস্তুর মোট এন্ট্রপির পরিবর্তন, } = \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \text{ কিন্তু কার্ণো চক্রে, } = \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$$

$$\therefore \text{ মোট এন্ট্রপির পরিবর্তন, } dS = \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0 \text{ তাই প্রত্যাবর্তী চক্রে এন্ট্রপি স্থির থাকে।}$$

চিত্রে AB লেখ বরাবর কার্যকরী পদার্থ সমোষ্ণভাবে প্রসারিত হয়ে T_1 তাপমাত্রার উৎস থেকে Q_1 পরিমাণ তাপ শোষণ করে বাহ্যিক কার্য সম্পন্ন করে। লেখ বরাবর রুদ্ধতাপীয় প্রসারণ ঘটিয়ে ইহা দ্বারা আরও বেশি কার্য সম্পন্ন হয়ে থাকে এবং তাপমাত্রা T_2 তে নেমে আসে। লেখ সমোষ্ণ সংকোচন নির্দেশ করে। এ সময়ে কার্যকরী পদার্থের উপর কার্য সম্পন্ন করে T_1 তাপমাত্রার সিংকে তাপ ত্যাগ করে।

এই নির্গত তাপের পরিমাণ। শেষ পর্যায়ের লেখ বরাবর রুদ্ধতাপীয় সংকোচন ঘটে এবং কার্যকরী পদার্থের উপর আরও বেশি কার্য সম্পন্ন হয়।

সমোষ্ণ রেখা বরাবর কৃত কাজ, W_1 চাপ আয়তন = ক্ষেত্রফল ABV_2V_1

রুদ্ধতাপীয় রেখা বরাবর কৃত কাজ, W_2 = ক্ষেত্রফল BCV_3V_2

সমোষ্ণ রেখা বরাবর কৃত কাজ, W_3 = ক্ষেত্রফল CV_3V_4

রুদ্ধতাপীয় রেখা বরাবর কৃত কাজ, W_4 = ক্ষেত্রফল DV_4V_1A

Q_1 তাপ শোষণ করে কার্য সম্পন্ন করে বলে ধনাত্মক এবং Q_2 তাপ ত্যাগ করে কার্য সম্পন্ন করে বলে ঋণাত্মক।

অতএব এই চক্রে মোট কৃত কাজ, W = ক্ষেত্রফল, ABCD

অর্থাৎ কার্ণের চক্রে কার্য নির্বাহক বস্তু কর্তৃক সম্পাদিত মোট কাজ দুটি সমোষ্ণ ও দুটি রুদ্ধতাপীয় রেখা কর্তৃক আবদ্ধ তলের ক্ষেত্রফলের সমান।

এই চক্রে কার্যকরী পদার্থ কর্তৃক মোট বাহ্যিক কাজ।

কার্যপ্রণালী :

কম্প্রসর পাম্প হতে আগত ফ্রেন বাষ্পকে সংকুচিত করে এবং রেফ্রিজারেটর বাহিরে অবস্থিত শীতলীকরণ নলের দিকে প্রেরণ করে।

উষ্ণ সংকুচিত বাষ্প ঘনীভূত হয়ে ফ্রেন তরলে পরিণত হয়। ধাতব পাখনার মাধ্যমে পরিচলন প্রক্রিয়ায় তাপকে রেফ্রিজারেটরের বাহিরে প্রেরণ করা হয়।

ঘরের তাপমাত্রায় তরল ফ্রেন প্রসারণ বাল্ব E এর ভিতর দিয়ে প্রবেশ করে বরফ প্রকোষ্ঠের নলে প্রসারিত হয়। ইহা তরল ফ্রেনের তাপমাত্রাকে $0^\circ C$ এর নিচে নামিয়ে দেয়।

যেহেতু বরফ প্রকোষ্ঠের বায়ুর তাপমাত্রা তরল ফ্রেনের চেয়ে অনেক বেশি সেহেতু তরল ফ্রেন বাষ্পীভূত হয়। এর ফলে বরফ প্রকোষ্ঠের ভিতরের বায়ু ঠাণ্ডা হতে থাকে যেহেতু বরফ প্রকোষ্ঠের বায়ুর তাপ বের করে দেয়া হয়।

বাষ্পীভূত ফ্রেন বাষ্প বরফ প্রকোষ্ঠের নলের ভিতর দিয়ে পুনরায় কম্প্রসর পাম্পের দিকে ফিরে আসে।

অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় এনট্রপি:

তাপের পরিবহণ অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার উদাহরণ। যদি তাপমাত্রায় উষ্ণপ্রান্ত থেকে তাপমাত্রায় শীতল প্রান্তের দিকে তাপ পরিবহণ হয় এবং পরিবাহিত তাপের পরিমাণ হয়

তবে উষ্ণ প্রান্তের এনট্রপি হ্রাস এবং শীতল প্রান্তের এনট্রপি বৃদ্ধি

অতএব এনট্রপি পরিবর্তন = ধনাত্মক রাশি, কারণ, অর্থাৎ অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় এনট্রপি বৃদ্ধি পায়।

তাপ ইঞ্জিন-ইঞ্জিনের দক্ষতা Heat Engine – Efficiency of Engine

Q_1 পরিমাণ তাপ গ্রহণ করে কোনো ইঞ্জিন যদি W পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করে তবে ঐ ইঞ্জিনের দক্ষতা- $\eta = \frac{W}{Q_1}$

আবার ইঞ্জিন Q_1 তাপ গ্রহণ করে কাজ সম্পাদনের পর যদি Q_2 তাপ বর্জন করে তবে ইঞ্জিন কর্তৃক সম্পাদিত কাজ- $W = Q_1 - Q_2$

সুতরাং ইঞ্জিনের দক্ষতা- $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$

রুদ্ধতাপীয় লেখ bc ও ad হতে পাওয়া যায়-

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1} \text{ এবং } T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1} \therefore \frac{T_1 V_2^{\gamma-1}}{T_1 V_1^{\gamma-1}} = \frac{T_2 V_3^{\gamma-1}}{T_2 V_4^{\gamma-1}} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \text{ (সংকোচন অনুপাত)}$$

$$\therefore \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{nRT_2 \log \frac{V_3}{V_4}}{nRT_1 \log \frac{V_2}{V_1}} = \frac{T_2}{T_1} \therefore \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

ইঞ্জিনের দক্ষতা শুধুমাত্র তাপ উৎস ও তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা T_1 ও T_2 এর ওপর নির্ভর করে, কার্যনির্বাহী পদার্থের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে না। এ সমীকরণ থেকে আরো দেখা যায় যে, যেকোনো দুটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার মধ্যে কার্যরত সকল প্রত্যাগামী ইঞ্জিনের দক্ষতা সমান।

হিমায়ক :

ইঞ্জিন উচ্চ তাপমাত্রার উৎস হতে তাপ গ্রহণ করে এর কিছু অংশ কাজে রূপান্তরিত করে এবং বাকি অংশ নিম্ন তাপমাত্রার তাপাধারে বর্জন করে। গৃহীত তাপ অপেক্ষা বর্জিত তাপের পরিমাণ কম হয়। হিমায়কের ক্রিয়া ইঞ্জিনের ক্রিয়ার সম্পূর্ণ বিপরীত। হিমায়কের মূল লক্ষ্য হলো ক্রমাগত তাপ শোষণের ফলে কোনো তাপীয় বস্তুর তাপমাত্রা হ্রাস করা।

হিমায়কের কার্যকর পদার্থ নিম্ন তাপমাত্রার তাপাধার থেকে তাপ সংগ্রহ করে উচ্চ তাপমাত্রার তাপাধারে বর্জন করে। এতে সিস্টেমের ওপর বাইরে থেকে কাজ করতে হয়। এক্ষেত্রে বর্জিত তাপ গৃহীত তাপ অপেক্ষা বেশি হয়। নিম্ন তাপমাত্রার তাপাধার থেকে Q_2 পরিমাণ তাপ গ্রহণ করে উচ্চ তাপমাত্রার তাপাধারে Q_1 পরিমাণ তাপ বর্জন করতে বাইরে থেকে সিস্টেমের ওপর $W = (Q_1 - Q_2)$ পরিমাণ কাজ করতে হবে। একক বাহ্যিক কাজ দ্বারা একটি হিমায়ক কী পরিমাণ তাপ নিম্ন তাপমাত্রার তাপাধার থেকে সংগ্রহ করতে পারে তা দ্বারা এর কৃতি গুণাঙ্ক

(coefficient of performance) হিসাব করা হয়। অর্থাৎ হিমায়কের কৃতি গুণাঙ্ক $\phi = \frac{Q}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$

এন্ট্রপি ও কার্যকর শক্তি : মনে করি, A ও B তাপীয় উৎস দুটির তাপমাত্রা যথাক্রমে T_1 ও T_2 এবং $T_1 > T_2$ । A ও B এর মধ্যে সংযোগ স্থাপিত হলে তাপ স্বতঃস্ফূর্তভাবে A হতে B তে পরিবাহিত হবে। A থেকে B -তে Q পরিমাণ তাপ সঞ্চালিত হলে সিস্টেমটির

মোট এন্ট্রপি বৃদ্ধি হবে, $\Delta S = \frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1}$

T_1 তাপমাত্রার তাপীয় উৎস থেকে Q পরিমাণ তাপ সংগ্রহ করে সর্বাধিক যে কাজ পাওয়া সম্ভব তা হলো, $W_1 = Q \left(1 - \frac{T_0}{T_1} \right)$

এখানে, T_0 হলো সর্বনিম্ন যে তাপমাত্রার তাপ গ্রাহক পাওয়া সম্ভব। সমীকরণ ১.৩৫-এর সাহায্যে কার্ণো ইঞ্জিনের কাজের হিসাব করা হয় এবং সে কারণে W_1 সর্বাধিক কাজ বুঝাবে। এখন Q পরিমাণ তাপ A হতে B -তে পরিবাহিত হওয়ার পর B হতে গৃহীত হলে সর্বাধিক কাজ

$$\text{হবে, } W_2 = Q \left(1 - \frac{T_0}{T_2} \right)$$

যেহেতু, $T_1 > T_2$, সুতরাং $W_1 > W_2$ । অর্থাৎ অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় তাপ পরিবাহিত হওয়ার পরে এর কাজে রূপান্তরিত হওয়ার ক্ষমতা হ্রাস পায়। Q পরিমাণ তাপ T_1 তাপমাত্রা থেকে T_2 তাপমাত্রায় পরিবহনের ফলে যে পরিমাণ তাপ শক্তিকে আর কাজে রূপান্তরিত করা সম্ভব নয়,

$$\text{তা হচ্ছে- } \Delta W = W_1 - W_2 = Q \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) T_0 = T_0 \Delta S$$

অর্থাৎ, তাপ উষ্ণ বস্তু হতে শীতল বস্তুতে পরিবাহিত হওয়ার ফলে সর্বদাই এনট্রপি বৃদ্ধি পায় এবং কিছু তাপ কাজে রূপান্তরের অযোগ্য হয়ে পড়ে। এজন্য তাপ শক্তি কাজে রূপান্তরের অযোগ্যতাকেও এনট্রপি বলা যায়। প্রকৃতিতে সর্বদাই উষ্ণ বস্তু হতে শীতল বস্তুতে তাপ সঞ্চালিত হচ্ছে, ফলে সর্বদাই বিশ্বের এনট্রপি বৃদ্ধি পাচ্ছে এবং কিছু তাপ কাজে রূপান্তরের অযোগ্য হয়ে পড়ছে। এভাবে এনট্রপি বৃদ্ধি পেতে পেতে হয়ত এমন একদিন আসবে যখন এনট্রপির মান সর্বোচ্চ পৌছবে এবং সকল বস্তুর তাপমাত্রা সমান হবে। ফলে তাপ থাকবে কিন্তু কাজ করার মতো কোনো শক্তিই আর পাওয়া যাবে না। এ অবস্থাকে কেলভিন বিশ্বের তাপীয় মৃত্যু নামে অভিহিত করেছেন।

প্রয়োজনীয় সূত্রাবলীঃ

* ইঞ্জিনের দক্ষতা, $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\%$, $T_1 - T_2 \rightarrow$ কার্যে পরিণত তাপমাত্রা (K), $T_1 \rightarrow$ গ্রহিত তাপমাত্রা (K)

* ইঞ্জিনের দক্ষতা, $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\%$, $Q_1 - Q_2 \rightarrow$ কার্যে পরিণত তাপ (cal), $Q_1 \rightarrow$ গৃহীত তাপ (cal)

* $\Delta Q = T \Delta S$ $\Delta Q \rightarrow$ ML যেখানে L \rightarrow আপেক্ষিক সুপ্ততাপ (JKg^{-1}), M \rightarrow ভর (Kg), T \rightarrow তাপমাত্রা (K), $\Delta S \rightarrow$ এনট্রপির পরিবর্তন

রাশিগুলোর ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র পরিবর্তনের জন্য : $dQ = Tds$

* কার্ণো ইঞ্জিনের ক্ষেত্রে : $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$, * কৃতকাজ, $w = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times Q$, $Q \rightarrow$ গৃহীত তাপ (J), $W \rightarrow$ কৃতকাজ (J)

* প্রত্যাগামী প্রক্রিয়ার জন্য $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, * অপ্রত্যাগামী প্রক্রিয়ার জন্য $\eta' = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$

কার্ণোর উপপাদ্য অনুসারে $\eta > \eta' \Rightarrow \frac{T_1 - T_2}{T_1} > \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} - \frac{T_1}{T_2} > 0 \therefore$ অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার কোন ব্যবস্থার এনট্রপি বৃদ্ধি পায়

* প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার জন্য $\frac{Q_1}{Q_2} - \frac{T_1}{T_2} = 0$, $\frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_1}{T_1} = 0$

* রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ার জন্য $dQ = 0$, $ds = 0$

* কার্ণো চক্রের বিভিন্ন প্রক্রিয়ায় কৃতকাজের পরিমাণ :

AB রেখাটি গ্যাসের সমোষ্ণ প্রসারণ নির্দেশ করে।

$$W_1 = ABB_1A_1$$

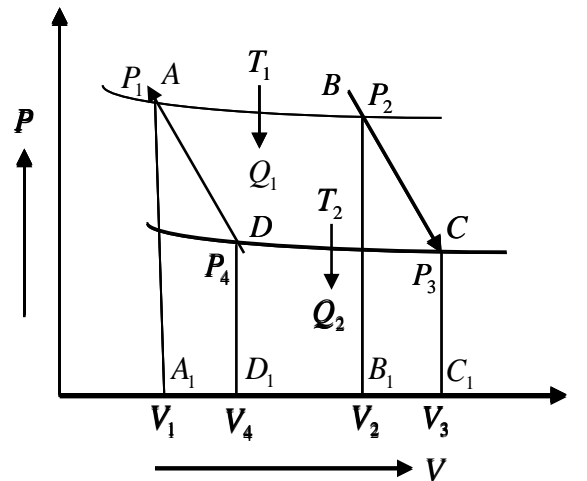
BC রেখাটি গ্যাসের রুদ্ধতাপীয় প্রসারণ নির্দেশ করে। $W_2 = BCC_1B_1$

CD রেখাটি সমোষ্ণ সংকোচন নির্দেশ করে। $W_3 = CDD_1C_1$

DA রেখাটি রুদ্ধতাপীয় সংকোচন নির্দেশ করে।

$$W_4 = DAA_1D_1$$

কাজ নির্বাহক বস্তু (গ্যাস) দ্বারা সম্পাদিত মোট বাহ্যিক কাজ,



$$W = W_1 + W_2 - W_3 - W_4 = \square ABCD = Q_1 - Q_2$$

ABCD চক্রের ক্ষেত্রফল ।

AB সমোষ্ণ পথে সম্পাদিত কাজ, $Q_1 = W_1 = RT_1 \log \frac{V_2}{V_1}$, CD সমোষ্ণ পথে সম্পাদিত কাজ, $Q_2 = W_2 = RT_2 \log \frac{V_3}{V_4}$

সমোষ্ণ প্রক্রিয়ার জন্য : AB পথে, $P_1 V_1 = P_2 V_2$; CD পথে, $P_3 V_3 = P_4 V_4$

রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ার জন্য : BC পথে, $P_2 V_2^\gamma = P_3 V_3^\gamma$, DA পথে, $P_4 V_4^\gamma = P_1 V_1^\gamma$

এই চারটি সমীকরণের উভয় পক্ষকে গুণ করে পাই,

$$\begin{aligned} V_1 V_2^\gamma V_3 V_4^\gamma &= V_2 V_3^\gamma V_4 V_1^\gamma \Rightarrow V_1 \cdot V_2 \cdot V_2^{\gamma-1} V_3 V_4 V_4^{\gamma-1} = V_2 V_3 V_3^{\gamma-1} V_4 V_1 V_1^{\gamma-1} \Rightarrow (V_2 V_4)^\gamma = (V_3 V_1)^\gamma \\ &= (V_3 V_1)^{\gamma-1} \\ \Rightarrow V_2 V_4 &= V_3 V_1 \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \end{aligned}$$

(i) সমীকরণ এই মান বসিয়ে পাই, $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1 \log \frac{V_2}{V_1}}{T_2 \log \frac{V_3}{V_4}} = \frac{T_1}{T_2} \therefore \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

Type: $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\%$ সূত্র সম্পর্কিত গাণিতিক সমস্যা :

EXAMPLE - 48: 27°C এবং 160°C তাপমাত্রার মধ্যে কার্যরত একটি ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা বের কর?

সমাধান : $\eta = \frac{(160+273)-(27+273)}{(160+273)} \times 100\% = 31\%$

EXAMPLE - 49: একটি 40% ইঞ্জিনের উচ্চতাপ ধারক হতে 600K তাপমাত্রা গ্রহণ করে। কার্যে পরিণত তাপমাত্রা ও নিম্ন তাপধারে কত তাপমাত্রা বর্জন করবে তা বের কর।

সমাধান : $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\% \Rightarrow 0.40 = \frac{T_1 - T_2}{600} \Rightarrow T_1 - T_2 = 240K \therefore T_2 = 360K$

কার্যে পরিণত তাপমাত্রা = 240K, নিম্ন তাপধারে তাপমাত্রা 360K

নিজে চেষ্টা কর:

(ii) একটি ইঞ্জিনের কর্ম দক্ষতা 40%। নিম্ন তাপ ধারের তাপমাত্রা 27°C হলে উচ্চতাপ ধারের তাপমাত্রা কত? Ans: 227°C

(iii) একটি প্রত্যাগামী ইঞ্জিন 167°C ও 57°C তাপমাত্রায় কার্যকর হলে এর সর্বাধিক দক্ষতা নির্ণয় কর। Ans: 25%

Type: $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\%$ এবং $\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0$ সূত্র সম্পর্কিত গাণিতিক সমস্যা :

EXAMPLE - 50: একটি কার্ণো ইঞ্জিনের উৎসের উষ্ণতা 400K এ উষ্ণতায় উৎস থেকে এটি 840J তাপ গ্রহণ করে এবং সিন্কে (sink) 630J তাপ বর্জন করে। ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা ও সিন্কের উষ্ণতা নির্ণয় কর।

সমাধান : $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\% \Rightarrow \frac{840 - 630}{840} \times 100\% = 25\%$

আবার $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\%$ হতে, $25\% = \frac{400 - T_2}{400} \times 100 \therefore T_2 = 300K$ Ans:

or, $\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \Rightarrow \frac{840}{400} = \frac{360}{T_2} \therefore T_2 = 300K$

নিজে চেষ্টা কর:

একটি কার্ণো ইঞ্জিনের উৎসের উষ্ণতা 600K। এ উষ্ণতায় উৎস থেকে এটি $1.47 \times 10^6 J$ তাপশক্তি গ্রহণ করে এবং সিন্কে $7.35 \times 10^5 J$ তাপশক্তি বর্জন করে। ইঞ্জিনটির দক্ষতা ও সিন্কের তাপমাত্রা বের কর। Ans: 50%, 300K.

Type : কৃতকাজ, $W = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times Q$ সূত্র সম্পর্কিত গাণিতিক সমস্যা:

EXAMPLE – 51: একটি ইঞ্জিন 27°C ও 327°C তাপমাত্রার মধ্যে কার্যরত। ইঞ্জিনে $9 \times 10^5\text{J}$ তাপশক্তি সরবরাহ করলে এটি কতটুকু কাজ সম্পাদনা করতে পারবে?

সমাধান : $W = \frac{(327+273)-(27+273)}{(327+273)} \times 9 \times 10^5 = 4.9 \times 10^5\text{J}$.

EXAMPLE – 52: একটি কার্ণো ইঞ্জিন 427°C তাপমাত্রায় তাপ গ্রহণ করে এবং 177°C তাপমাত্রায় তাপ বর্জন করে। ইঞ্জিনটি দুটি চক্রে 4Kcal তাপ গ্রহণ করলে প্রতি চক্রে সম্পাদিত কাজের পরিমাণ নির্ণয় কর। $J = 4.184\text{KJ/Kcal}$ (J/cal)

সমাধান : $\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \Rightarrow Q_2 = \frac{Q_1 T_2}{T_1} = \frac{\frac{4}{2} \times 4.184 \times (177+273)}{427+273} = 5.38\text{KJ}$

সম্পাদিত কাজের পরিমাণ, $W = Q_1 - Q_2 = 2 \times 4.184 - 5.38 = 2.99\text{KJ}$.

অথবা, $W = \frac{700-450}{700} \times \frac{4}{2} \times 4.184 = 2.99 = 3\text{KJ}$.

EXAMPLE – 53: একটি কার্ণো ইঞ্জিন তাপস্রার থেকে $9 \times 10^5\text{J}$ তাপশক্তি গ্রহণ করে কিছু কাজ করে তাপগ্রাহকে গৃহিত তাপের 75% তাপ বর্জন করে। ইঞ্জিনটির দক্ষতা ও সম্পাদিত কাজের পরিমাণ কত?

সমাধান : ইঞ্জিনটির দক্ষতা, $\eta = \frac{9 \times 10^5 - 75 \times 9 \times 10^5}{9 \times 10^5} = 25\%$, সম্পাদিত কাজের পরিমাণ, $W = .25 \times 9 \times 10^5 = 2.25 \times 10^5\text{J}$

নিজে চেষ্টা করঃ একটি কার্ণো ইঞ্জিনের তাপ উৎস ও তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা যথাক্রমে 500K ও 375K . যদি ইঞ্জিনটি প্রতিচক্রে $2.52 \times 10^6\text{J}$ তাপশক্তি শোষণ করে। তবে (i) ইঞ্জিনের দক্ষতা (ii) প্রতি চক্রে সম্পাদিত কাজের পরিমাণ ও (iii) প্রতি চক্রে গ্রাহকে বর্জিত তাপের পরিমাণ নির্ণয় কর। Ans: (i) 25% (ii) $6.3 \times 10^5\text{J}$ (iii) $1.89 \times 10^6\text{J}$.

Type : দক্ষতার পরিবর্তন সম্পর্কিত গাণিতিক সমস্যা :

EXAMPLE – 54: একটি প্রত্যগামী ইঞ্জিন উৎস হতে গৃহিত তাপের $\frac{1}{4}$ অংশ কাজে পরিণত করে। এর তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা আরও 52°C কমালে এর দক্ষতা $\frac{3}{2}$ গুণ হয়। তাপউৎস ও তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা বের কর।

সমাধান : ইঞ্জিনটির দক্ষতা, $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\% \Rightarrow \frac{1}{4} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{3}{4}$

তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা 52°C কমানো হলে পরিবর্তিত তাপমাত্রা $= T_2 - 52$, পরিবর্তিত দক্ষতা $= \frac{1}{4} \times \frac{3}{2} = \frac{3}{8}$. $\therefore \frac{3}{8} = 1 - \frac{T_2 - 52}{T_1}$

$= 1 - \frac{T_2}{T_1} + \frac{52}{T_1} = 1 - \frac{3}{4} + \frac{52}{T_1} \Rightarrow \frac{52}{T_1} = \frac{3}{8} - \frac{1}{4} = \frac{3-2}{8} = \frac{1}{8} \therefore T_1 = 8 \times 52 = 416\text{K}$, $T_2 = \frac{3}{4} \times 416 = 312\text{K}$

Ans: তাপ উৎসের তাপমাত্রা 416K ও তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা 312K

EXAMPLE – 55: একটি কার্ণো ইঞ্জিন যখন 27°C উৎসে তাপগ্রাহকে থাকে তখন এর কর্মদক্ষতা 50%। একে 60% দক্ষ করতে এর উৎস তাপমাত্রার কি পরিবর্তন আনতে হবে?

সমাধান : ইঞ্জিনটির দক্ষতা, $\eta = 0.5 = \frac{T_1 - 300}{T_1} \therefore T_1 = 600\text{K}$, ধরি, উৎসের তাপমাত্রা $x\text{K}$ বাড়াতে হবে

পুনরায়, $0.6 = \frac{T_1 + x - 300}{T_1 + x} = \frac{600 + x - 300}{600 + x} \therefore x = 150\text{K}$

MCQ এর জন্য: $T_1 = \frac{T_2}{\eta\%}$, $x = \frac{T_2}{(1-\eta)\%} - T_1$

নিজে চেষ্টা কর:

(i) একটি প্রত্যগামী ইঞ্জিন উৎস হতে গৃহিত তাপের $\frac{1}{6}$ অংশ কাজে পরিণত করে। এর তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা আরও 60°C কমানোর ফলে এর দক্ষতা দ্বিগুণ হয়। তাপ উৎস ও তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা বের কর। Ans: 372K ও 310K

(ii) একটি কার্ণো ইঞ্জিন যখন 37°C তাপমাত্রায় তাপগ্রাহকে তখন এর দক্ষতা 60% এ দক্ষতা 80% করতে হলে তাপমাত্রার কি পরিবর্তন করতে হবে? Ans: 800K তাপমাত্রা বাড়াতে হবে।

(iii) একটি কার্ণো ইঞ্জিনের দক্ষতা 70% যখন এটি উচ্চতাপধারে থাকে। এর দক্ষতা 40% করতে হলে নিম্ন তাপধারের তাপমাত্রা কত বাড়তে হবে। উচ্চতাপধারের তাপমাত্রা 600K। Hints: $0.7 = \frac{600-T_2}{600}$; $0.4 = \frac{600-(180+x)}{600}$ $\therefore x = 180K$

Type: এন্ট্রপির পরিবর্তন, $ds = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T}$ সংক্রান্ত সমস্যাবলী :

EXAMPLE - 56: দেখাও যে m ভর ও c স্থির আপেক্ষিক তাপের কোন পদার্থের তাপমাত্রা T_1K ও T_2K এ পরিবর্তিত হলে এন্ট্রপির পরিবর্তন

$$ds = m \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\text{সমাধান : } ds = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{mcdT}{T} = m \ln T \Big|_{T_1}^{T_2} = m \ln \frac{T_2}{T_1} \text{ showed}$$

EXAMPLE - 57: $-10^\circ C$ তাপমাত্রার 10 বরফকে $100^\circ C$ তাপমাত্রার বাষ্পে পরিণত করতে এন্ট্রপির পরিবর্তন নির্ণয় কর।

বরফের আ. তাপ = $2100 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, বরফের সুগুতাপ = $336 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1}$,

পানির আ. তাপ = $4184 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$, পানির বাষ্পীভবনের সুগুতাপ = $2268 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

$$\begin{aligned} ds &= ds_1 + ds_2 + ds_3 + ds_4 = mc_1 \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{mlf}{T_2} + mc_2 \ln \frac{T_3}{T_2} + \frac{mlv}{T_3} \\ &= 10 \times 2100 \times \ln \frac{273}{263} + \frac{10 \times 336 \times 10^3}{273} + 10 \times 4184 \times \ln \frac{373}{273} + \frac{10 \times 2268 \times 10^3}{373} \\ &= 783.67 + 12307.69 + 13058.54 + 60804.29 = 8.7 \times 10^4 \text{ J K}^{-1} \end{aligned}$$

EXAMPLE - 58: একটি কার্ণো ইঞ্জিন $1000K$ এবং $500K$ তাপমাত্রায় যে দক্ষতায় কাজ করে ঠিক সেই দক্ষতায় কাজ করে $900K$ এবং T তাপমাত্রার। T এর মান বের কর।

$$\text{SOLVE : } 1\text{ম ক্ষেত্রে, } T_1 = 1000K; T_2 = 500K \therefore \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{1000K - 500K}{1000K} = \frac{500K}{1000K} = \frac{1}{2}$$

$$2\text{য় ক্ষেত্রে, } T_1 = 900K; T_2 = T \therefore \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{900K - T}{900K}$$

$$\text{শর্তমতে, } \eta_1 = \eta_2 \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{900K - T}{900K} \therefore T = 450K \text{ (Ans)}$$

EXAMPLE - 59: 40% দক্ষতাবিশিষ্ট একটি আদর্শ ইঞ্জিনের নিম্ন তাপ আধারের তাপমাত্রা $7^\circ C$ । ইঞ্জিনের দক্ষতা 50% এ উন্নীত করতে উচ্চ তাপ আধারের তাপমাত্রা কত বৃদ্ধি করতে হবে?

SOLVE : ধরি, তাপমাত্রা বৃদ্ধি, T_3 ; দক্ষতা, $\eta_1 = 40\%$; উচ্চ তাপ আধারের তাপমাত্রা, $T_1 = ?$

নিম্ন তাপ আধারের তাপমাত্রা, $T_2 = (7 + 273) K = 280K$

$$\text{আমরা জানি, } \eta_1 = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\% = \frac{40}{100} = \frac{T_1 - 280}{T_1} \Rightarrow 100T_1 - 28000 = 40T_1 \Rightarrow 100T_1 - 40T_1 = 28000$$

$$\Rightarrow 60T_1 = 28000 \therefore T_1 = 466.67K \text{ এখানে, } \eta_2 = \frac{50}{100}; \text{ ধরি, উচ্চ তাপ আধারের তাপমাত্রা } T_4$$

$$\text{আবার, আমরা পাই, } \eta_2 = \frac{T_4 - T_2}{T_4} \Rightarrow \frac{50}{100} = \frac{T_4 - T_2}{T_4} \Rightarrow \frac{50}{100} = \frac{T_4 - 280}{T_4}$$

$$\Rightarrow 100 T_4 - 28000 = 50 T_4 \Rightarrow 50 T_4 = 28000 K \therefore T_4 = 560 K$$

$$\therefore T_3 = T_4 - T_1 = 560 K - 466.67 K = 93.33 K \text{ (Ans)}$$

EXAMPLE - 60: একটি প্রত্যাগামী ইঞ্জিন উৎস থেকে গৃহীত তাপের $\frac{1}{6}$ অংশ কাজে পরিণত করে। এর তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা

আরও করলে এর দক্ষতা দ্বিগুণ হয়। তাপ উৎস ও তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা বের করো।

$$\text{ধরি, উৎসের তাপমাত্রা } T_1 \text{ এবং তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা } T_2; \eta_1 = 1 - \frac{T_2}{T_1} \text{ [এখানে, } \eta = \frac{1}{6}] \Rightarrow \frac{1}{6} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{5}{6}$$

তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা $62^\circ C$ কমালে গ্রাহকের পরিবর্তিত তাপমাত্রা হবে $(T_2 - 62) K$

$$\therefore \eta_2 = 1 - \frac{T_2 - 62}{T_1} \Rightarrow \frac{1}{3} = 1 - \frac{T_2}{T_1} + \frac{62}{T_1} \Rightarrow \frac{1}{3} = 1 - \frac{5}{6} + \frac{62}{T_1} \Rightarrow \frac{62}{T_1} = \frac{1}{3} - \frac{1}{6} = \frac{1}{6} \text{ [এখানে, } \eta_2 = 2 \times \frac{1}{6}]$$

$$\therefore T_1 = 6 \times 62 = 372 K \text{ আবার, } \frac{T_2}{T_1} = \frac{5}{6} \therefore T_2 = \frac{5}{6} \times 372 = 310 K \text{ (Ans)}$$

EXAMPLE - 61: একটি কার্নো ইঞ্জিনের তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা $7^\circ C$ এবং এর দক্ষতা 50%। ইঞ্জিনের দক্ষতা 70% করতে হলে উৎসের তাপমাত্রা কত বৃদ্ধি করতে হবে?

SOLVE : ধরি, দক্ষতা বৃদ্ধিতে তাপমাত্রার পরিবর্তন x

$$\text{আমরা জানি, } \eta_1 = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{280}{T_1} \Rightarrow \frac{1}{2} = 1 - \frac{280}{T_1} \Rightarrow \frac{280}{T_1} = \frac{1}{2} \text{ বা, } T_1 = 560 K$$

$$\text{আবার, } \eta_2 = 1 - \frac{T_2}{(T_1 + x)} \Rightarrow \frac{7}{10} = 1 - \frac{280}{T_1 + x} \Rightarrow \frac{280}{T_1 + x} = 1 - \frac{7}{10} = \frac{3}{10} \Rightarrow 3T_1 + 3x = 2800$$

$$\Rightarrow 3x = 2800 - 3 \times 560 \Rightarrow 3x - 2800 - 1680 \Rightarrow 3x = 1120 \therefore x = 373.33 K \text{ (Ans)}$$

EXAMPLE – 62: কোনো কার্নো চক্র প্রাথমিক $327^{\circ}C$ তাপমাত্রায় কাজ সম্পন্ন করে। প্রতিটি ধাপে সংকোচন বা প্রসারণের

অনুপাত $\frac{1}{6}$ হলে কার্নো চক্রের সর্বনিম্ন তাপমাত্রা এবং দক্ষতা নির্ণয় করো। [$\gamma=1.4$]

SOLVE : ধরি, কার্নোচক্রের সর্বনিম্ন তাপমাত্রা T_2 এবং দক্ষতা η

$$\text{আমরা জানি, } T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \Rightarrow T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{1}{6}\right)^{\gamma-1} \frac{V_1}{V_2}; \gamma = 1.4$$

$$\Rightarrow T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \times T_1 \Rightarrow \left(\frac{1}{6}\right)^{1.4-1} \times 600 \Rightarrow (0.167)^{0.4} \times 600 = 293 K$$

$$\therefore \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\% = \frac{600 - 293}{600} \times 100\% = 51\% \quad (Ans)$$

এখানে,

$$\text{প্রাথমিক তাপমাত্রা, } T_1 = 327 + 273 = 600 K$$

EXAMPLE – 63: একটি কার্নো ইঞ্জিনের তাপ উৎস ও তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা যথাক্রমে $500 K$ ও $375 K$ । যদি ইঞ্জিন প্রতি

চক্রে $252 \times 10^4 J$ তাপ শোষণ করে তবে (ক) ইঞ্জিনের দক্ষতা, (খ) প্রতি চক্রে কাজের পরিমাণ (গ) প্রতি চক্রে গ্রাহকে বর্জিত তাপের পরিমাণ নির্ণয় করো।

SOLVE : (ক) ধরি, ইঞ্জিনের দক্ষতা, η ; তাপ উৎসের তাপমাত্রা, $T_1 = 500 K$; তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা, $T_2 = 375 K$

$$\text{আমরা জানি, } \eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\% \Rightarrow \eta = \left(1 - \frac{375 K}{500 K}\right) \times 100\% \Rightarrow \eta = \frac{125 K}{500 K} \times 100\% \therefore \eta = 25\%$$

অতএব, ইঞ্জিনের দক্ষতা 25% ।

$$(খ) \text{ এখানে } Q_1 = \text{গৃহীত তাপ} = 252 \times 10^4 J ; Q_2 = \text{বর্জিত তাপ} = 189 \times 10^4 J$$

$$\text{ধরি, কাজের পরিমাণ} = W J$$

$$\text{আমরা জানি, } W = Q_1 - Q_2 \Rightarrow W = 252 \times 10^4 J - 189 \times 10^4 J = 63 \times 10^4 J \text{ অতএব, সম্পাদিত কাজ} = 63 \times 10^4 J$$

$$(গ) \text{ এখানে তাপমাত্রা, } T_1 = 500 K \text{ এবং } T_2 = 375 K \quad \text{গৃহীত তাপ, } Q_1 = 252 \times 10^4 J \quad \text{বর্জিত তাপের পরিমাণ, } Q_2 = ?$$

$$\text{আমরা জানি, } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow Q_2 = \frac{T_2 \times Q_1}{T_1} = \frac{375 K \times 252 \times 10^4 J}{500 K} \therefore Q_2 = 189 \times 10^4 J \quad (Ans)$$

EXAMPLE – 64: দেখাও যে, m ভর ও C স্থির আপেক্ষিক তাপের কোনো পদার্থের তাপমাত্রা $T_1 K$ থেকে $T_2 K$ -এ পরিবর্তিত হলে এন্ট্রপির পরিবর্তন, $S_2 - S_1 = mC \log_e \frac{T_2}{T_1}$ । এখানে, মোট তাপ, $dQ = mCdT$ দেখাতে হবে তাপমাত্রা $T_1 K$ থেকে $T_2 K$ -এ পরিবর্তনের জন্য এন্ট্রপি পরিবর্তন, $S_2 - S_1 = mC \log_e \frac{T_2}{T_1}$.

SOLVE : আমরা জানি, এন্ট্রপি পরিবর্তন, $S_2 - S_1 = \int \frac{dQ}{T}$

$$\text{এখানে, } S_2 - S_1 = \int_{T_1}^{T_2} mC \frac{dT}{T} = mC \int_{T_1}^{T_2} \frac{1}{T} dT = mC [\log_e T] = mC (\log_e T_2 - \log_e T_1) = S_2 - S_1 = mC \log_e \frac{T_2}{T_1}$$

(Ans)

EXAMPLE – 65: $0^\circ C$ তাপমাত্রার $5 kg$ বরফকে $100^\circ C$ তাপমাত্রার পানিতে পরিণত করলে এন্ট্রপির পরিবর্তন কত হবে?

বরফ গলনের আপেক্ষিক সুগুতাপ $33600 Jkg^{-1}$, পানির আপেক্ষিক তাপ $4200 Jkg^{-1} K^{-1}$ ।

SOLVE : ধরি, এন্ট্রপির পরিবর্তন $dS = ?$

বরফের ভর, $m = 5 kg$; বরফ গলনের আঃ সুগুতাপ $= 336000 Jkg^{-1}$; পানির আপেক্ষিক তাপ, $S = 4200 Jkg^{-1} K^{-1}$

এখন, $0^\circ C$ তাপমাত্রায় $5 kg$ বরফ $0^\circ C$ তাপমাত্রার পানিতে পরিণত করতে এন্ট্রপির পরিবর্তন,

$$dS_1 = \frac{mL}{T} \Rightarrow dS_1 = \frac{5 kg \times 336000 Jkg^{-1}}{273 K} \Rightarrow 6153.85 JK^{-1}$$

আমরা জানি, $0^\circ C$ তাপমাত্রার পানি $100^\circ C$ তাপমাত্রার পানিতে পরিণত করতে এন্ট্রপির পরিবর্তন,

$$dS_2 = \int_{T_1}^{T_2} ms \frac{dT}{T} \Rightarrow \int_{273}^{373} 5 kg \times 4200 Jkg^{-1} K^{-1} \times \frac{dT}{T} = 5 kg \times 4200 Jkg^{-1} K^{-1} \int_{273}^{373} \frac{dT}{T}$$

$$= 21000 JK^{-1} \times (\ln 373 - \ln 273) = 21000 JK^{-1} \times 0.31211 = 6554.31 JK^{-1}$$

এখন মোট এন্ট্রপির পরিবর্তন, $dS = 6153.85 JK^{-1} + 6554.31 JK^{-1} = 12708.16 JK^{-1}$ (Ans)

TRY YOURSELF

EXERCISE – 01: একটি প্রত্যাগামী ইঞ্জিন হতে গৃহীত তাপের $\frac{1}{4}$ অংশ কাজে পরিণত করে। এর তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা

80K হ্রাস করলে এর দক্ষতা দ্বিগুণ হয়। এর তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা হ্রাস করলে এর দক্ষতা দ্বিগুণ হয়।

(ক) ইঞ্জিনটির বর্জিত তাপের পরিমাণ নির্ণয় কর। *Ans: 75%*

(খ) ইঞ্জিনের তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। *Ans: 240K বা (240 – 273)°C বা 33°C*

EXERCISE – 02: রাফাত $2 \times 10^5 \text{ Pa}$ চাপে ও স্বাভাবিক তাপমাত্রায় বজায় রেখে কোন একটি বহু পারমাণবিক গ্যাসে 500J তাপ শক্তি সরবরাহ করে তাপমাত্রার কোন পরিবর্তন পেল না। অতঃপর সে হঠাৎ পিস্টনে $6 \times 10^5 \text{ Pa}$ চাপ প্রয়োগ করল।। এবার সে অন্তঃস্থ শক্তি পরিবর্তন লক্ষ্য করল।

(ক) দ্বিতীয় ক্ষেত্রে চাপ প্রয়োগের ফলে গ্যাসের আয়তন অর্ধেক হয়ে থাকলে চূড়ান্ত তাপমাত্রা কত? *Ans: 343.2K*

(খ) উল্লেখিত পরিস্থিতিতে অন্তঃস্থ শক্তির পরিবর্তন সম্পর্কে তোমার মতামত বিশ্লেষণ কর। *Ans: 4279J / mole*

EXERCISE – 03: রাফাত ঘর্ষণহীন পিস্টনযুক্ত একটি সিলিন্ডারে স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রায় কিছু গ্যাস ভর্তি করে সিস্টেমে খুব ধীরে ধীরে তাপ সরবরাহ করলো। অপরদিকে আরিফ একই রকম অন্য একটি সিলিন্ডারে 20°C তাপমাত্রার গ্যাস ভর্তি করে সিস্টেমকে তাপীয়ভাবে অন্তরীত রেখে গ্যাসকে চাপ প্রয়োগে দ্রুত প্রসারিত ও সংকুচিত করলো।

(ক) আরিফ গ্যাসকে এক-তৃতীয়াংশ সংকুচিত করলে গ্যাসের চূড়ান্ত তাপমাত্রা কত হবে? ($\gamma = 1.4$) *Ans: 181.7°C*

(খ) উদ্দীপকে রাফাত ও আরিফের গ্যাসের ওপর কৃতকাজের তুলনামূলক আলোচনা কর। *Ans: W : W' = 4:5*

EXERCISE – 04: এক টুকরা বরফের ভর 0.04kg এবং এর তাপমাত্রা -5°C বরফের টুকরাটিকে নির্দিষ্ট উচ্চতা হতে ফেলে দেয়া হলো। এতে রূপান্তরিত শক্তির 50% তাপে পরিণত হয়ে এক-চতুর্থাংশ বরফ গলিয়ে দিল। বরফের আপেক্ষিক তাপ $500 \text{ cal kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. বরফ গলনের সুপ্ততাপ $80000 \text{ cal kg}^{-1}$ ।

(ক) বরফ টুকরার আদি উচ্চতা নির্ণয় কর। *Ans: 19.286m*

(খ) বাকি বরফটুকুকে যদি 100°C তাপমাত্রার বাষ্পে পরিণত করা হয়, তবে কৃতকাজ কত হবে? গাণিতিক-বিশ্লেষণ কর।

Ans: 90720J

EXERCISE – 05: একটি নমুনা গ্যাসের ক্ষেত্রে দুই প্রক্রিয়ায় জন্য দুইটি ছক দেয়া হলো:

সমোষ্ণ প্রক্রিয়া	
আয়তন (m^3)	চাপ (Pa)
2	100.000
3	66.667
4	50.000

সমোষ্ণ প্রক্রিয়া	
আয়তন (m^3)	চাপ (Pa)
2	75.786
3	42.960
4	28.718

(ক) রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় আপেক্ষিক তাপদ্বয়ের অনুপাত বের কর।

Ans: 1.4

(খ) প্রদত্ত ছকদ্বয় থেকে $5m^3$ আয়তনের জন্য উভয় প্রক্রিয়ায় চাপ নির্ণয় করা যায়। এক্ষেত্রে তোমার মতামত বিশ্লেষণ কর।

EXERCISE – 06: একটি প্রত্যাবর্তী ইঞ্জিন প্রতি চক্রে গৃহীত তাপের $\frac{1}{4}$ অংশকে কার্যকর শক্তিতে রূপান্তর করতে পারে। কিন্তু

তাপমাত্রা $80K$ কমানো হলে, কর্মদক্ষতা দ্বিগুণ হয়ে যায়।

(ক) উৎসের তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) গ্রাহকের তাপমাত্রা $80K$ কমানোর ফলে কর্মদক্ষতা যদি পূর্বের তুলনায় তিনগুণ হয়ে যায়, তাহলে উৎসের তাপমাত্রা কত হবে- গাণিতিক বিশ্লেষণ কর।

EXERCISE – 07: পরীক্ষাগারে একটি প্রত্যাবর্তী ইঞ্জিন নিয়ে কাজ করার সময় দেখা গেল যে অন্তর্গামী তাপের $\frac{1}{4}$ অংশ কাজে

রূপান্তরিত হয়। যদি তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা আরও $70^\circ C$ কমানো হয় তবে ইঞ্জিনের দক্ষতা দ্বিগুণ হয়ে যায়।

(ক) উদ্দীপকে উল্লেখিত ইঞ্জিনের উৎসের তাপমাত্রা এবং তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) যদি ইঞ্জিনে $5kg$ পানি ব্যবহার করা হয় তবে এন্ট্রপির পরিবর্তন হবে কিনা গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর।

EXERCISE –08: রেফ্রিজারেটরে নিম্ন তাপমাত্রায় খাদ্য দ্রব্য সংরক্ষণ করা হয়। এরূপ একটি রেফ্রিজারেটরে $22^\circ C$ তাপমাত্রার

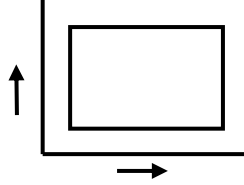
২ লিটারের বিশুদ্ধ পানীয় জলের বোতল রাখার ২ ঘন্টা পর রেফ্রিজারেটরে সর্বনিম্ন $-2^\circ C$ তাপমাত্রার বরফে পরিণত হয়।

(ক) রেফ্রিজারেটরের কর্মদক্ষতা নির্ণয় কর।

(খ) বিশ্ব জগতের এন্ট্রপি ক্রমাগত বাড়ছে কিন্তু উদ্দীপকের তাপগতীয় সিস্টেমে এর ব্যতিক্রম ঘটনা ঘটেছে- গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

EXERCISE – 09: বিভিন্ন প্রক্রিয়ায় কোনো ব্যবস্থার চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন পাশের লেখচিত্রের মাধ্যমে দেখানো হলো।

লেখচিত্রে acb পথে কোনো ব্যবস্থাকে a থেকে b অবস্থায় নেয়া হলে $200J$ তাপ ব্যবস্থা কর্তৃক শোষিত হয় এবং ব্যবস্থা $100J$ কাজ সম্পাদন করে।



(ক) adb পথে কাজ সম্পাদনের পরিমাণ যদি $60J$ হয় তাহলে adb পথে কী পরিমাণ তাপ শোষিত হয়?

(খ) বক্রপথে b থেকে a অবস্থায় প্রত্যাবর্তন করলে ব্যবস্থার উপর $50J$ কাজ সম্পাদিত হয়। ব্যবস্থাটি তাপ শোষণ করবে না বর্জন করবে? গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে মতামত দাও।

EXERCISE –10: একজন মোটর সাইকেল আরোহী $100cc$ একটি বাজাজ গাড়ী চালাচ্ছে। চালকসহ গাড়ীর ভর 200

কিলোগ্রাম। মোটর সাইকেলের ইঞ্জিনের $100cc$ সিলিন্ডারে প্রথম ঘাতে $1atm$ চাপে $30^\circ C$ তাপমাত্রায় দ্বি-পরমাণুক জ্বালানী বাষ্প দ্বারা পূর্ণ হয়। কিন্তু দ্বিতীয় ঘাতে জ্বালানীর আয়তন হঠাৎ সংকুচিত হয়ে $\frac{1}{15}$ গুণ হয় এবং চাপ বৃদ্ধি পায়। তৃতীয় ঘাতের শুরুতে তড়িৎ স্ক্রলিঙ্গ দ্বারা অগ্নি সংযোগ করলে সংকুচিত গ্যাস সমচাপ প্রক্রিয়ায় দ্রুত প্রসারিত হয়ে পূর্বের আয়তনে ফিরে আসে। তৃতীয় খাতে সিস্টেম দ্বারা কাজ সম্পাদিত হয়।

(ক) ইঞ্জিনের দ্বিতীয় ঘাতের শেষ মুহূর্তে সিলিন্ডারের ভিতরের তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) ইঞ্জিনের তৃতীয় ঘাতে যে পরিমাণ কাজ সম্পাদন হবে তার 100 গুণ কাজ দ্বারা চালক বাইকটিকে কত উচ্চতায় নিয়ে যেতে পারবে। গাণিতিক যুক্তিসহ ব্যাখ্যা কর।

EXERCISE – 11: $30^\circ C$ তাপমাত্রার $0.05kg$ পানিকে স্বাভাবিক চাপে $2 \times 10^{-3} m^3$ আয়তনের বাষ্পে পরিণত করা

হলো। এই প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের অন্তঃস্থ শক্তির পরিবর্তন $1.28 \times 10^5 J$ । [পানির বাষ্পীভবনের আপেক্ষিক সুগুতাপ $2.268 \times 10^6 J kg^{-1}$ এবং পানির আপেক্ষিক তাপ $4200 J kg^{-1} K^{-1}$ ।

(ক) উদ্দীপকের পানিকে বাষ্পে পরিণত করার জন্য এন্ট্রপির পরিবর্তন কত হবে নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের প্রক্রিয়াটি তাপ গতিবিদ্যার প্রথম সূত্রকে সমর্থন করে কি না-গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে যাচাই কর।

EXERCISE – 12: একটি কার্নো চক্র $427^{\circ}C$ তাপমাত্রায় কার্যকর। প্রতিটি ধাপে সংকোচন বা প্রসারণ অনুপাত 1:7।

$[\gamma = 1.4]$

(ক) উদ্দীপকের সর্বনিম্ন তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

Ans: $48.4^{\circ}C$

(খ) উদ্দীপকের কার্নো চক্রের দক্ষতা 10% বৃদ্ধি করতে কীরূপ ব্যবস্থা গ্রহণ করতে হবে-যুক্তি সহকারে ব্যাখ্যা কর।