তাপগতিবিদ্যা
Thermodynamics

ইউনিট ১০

ভূমিকা (Introduction)

আমাদের জীবন যতদিন বহমান থাকবে, ঠান্ডা বা গরমের অনুভূতিও ততদিন থাকবে। তাপ এবং তাপমাত্রা সম্পর্কে আমরা পূর্বেই জেনেছি। এ ইউনিটটি তাপগতিবিদ্যা সম্পর্কিত। তাপগতিবিদ্যা পদার্থবিজ্ঞানের একটি শাখা। যে শাখায় তাপের সাথে শক্তি ও কাজের সম্পর্ক নিয়ে আলোচনা করা হয়। এ ইউনিটে আমরা তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি, তাপীয় সিস্টেম, তাপীয় সমতা, অভ্যন্তরীণ শক্তি, তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র, প্রসারণশীল গ্যাস দ্বারা কৃত কাজ, সমোষ্ণ ও রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র, কার্নো ইঞ্জিন, কার্নো চক্র, তাপ ইঞ্জিন ও এনট্রপি নিয়ে আলোচনা করব।

এই ইউনিটের পাঠসমূহ

পাঠ - ১০.১ : তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি
পাঠ - ১০.২ : তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র
পাঠ - ১০.৩ : গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ
পাঠ - ১০.৪ : তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র
পাঠ - ১০.৫ : কার্নোর ইঞ্জিন, কার্নোর চক্র
পাঠ - ১০.৬ : ইঞ্জিনের দক্ষতা, এনট্রপি, বিশৃঙ্খলা

পাঠ-১০.১ তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি
Principle of Measurement of Temperature

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি ব্যবহার করে তাপীয় সমতা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি ব্যবহার করে তাপমাত্রার ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- তাপমান যন্ত্র বা থার্মোমিটার নির্মাণের মূলনীতি সম্পর্কে ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

১০.১: তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি
Principle of Measurement of Temperature

তাপীয় সমতা (Thermal Equilibrium)

একটি উত্তপ্ত লোহার রডকে যদি খোলা জায়গা অর্থাৎ কক্ষ তাপমাত্রায় রাখা হয়, তাহলে রডটি পরিবেশে তাপ হারিয়ে শীতল হতে থাকে। আবার এই একই লোহার রডকে যদি ঠান্ডা করে খোলা জায়গায় রাখা হয়, তাহলে এটি পরিবেশ থেকে তাপ গ্রহণ করে গরম হতে থাকে। কিছু সময় ধরে তাপের এই আদান-প্রদান চলতে থাকে। যতক্ষণ না লোহার রডের তাপমাত্রা পরিবেশের তাপমাত্রার সমান হবে ততক্ষণ পর্যন্তই উত্তপ্ত লোহার পরিবেশে তাপ হারানো এবং শীতল লোহার

পরিবেশ থেকে তাপ গ্রহণ চলতে থাকবে। যখন আর তাপের আদান-প্রদান হবে না অর্থাৎ লোহার রডটি তাপ বর্জন বা গ্রহণ করবে না তখন বলা যায় লোহার রড পরিবেশের সাথে তাপীয় সমতায় এসেছে। অর্থাৎ দুটি বস্তু যদি তাপীয় সাম্যাবস্থায় থাকে তাহলে তাদের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান হয় না। যে অবস্থায় তাপীয়ভাবে সংযুক্ত বস্তুগুলোর মধ্যে তাপের আদান-প্রদান ঘটে না তাকে তাপীয় সমতা বলে। দু'টি বস্তুর মধ্যে তাপের আদান-প্রদান যে বিষয়ের উপর নির্ভর করে তাহলো বস্তু দু'টির তাপীয় অবস্থা বা তাপমাত্রা। তাপমাত্রার পার্থক্য থাকলেই বস্তুদ্বয়ের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান ঘটে।

তাপমাত্রার ধারণা
Concept of Temperature

কোনো বস্তু কি পরিমাণ ঠান্ডা বা গরম এবং বস্তুটি অন্য কোনো বস্তুর তাপীয় সংস্পর্শে আসলে তাপ দেবে না নেবে, তা বস্তুটির উষ্ণতা বা তাপমাত্রা দ্বারা জানা যায়।

কোনো বস্তুতে হাত দিয়ে আমরা বস্তুটির উষ্ণতা বুঝার চেষ্টা করি। কিন্তু সঠিকভাবে আমরা এর উষ্ণতা বা তাপমাত্রা বলতে পারি না। যেমন: তিনটি পাত্রের প্রথমটিতে আমরা বরফ ঠান্ডা পানি, দ্বিতীয়টিতে ঈষদুষ্ণ গরম পানি এবং তৃতীয়টিতে সাধারণ তাপমাত্রা অর্থাৎ কক্ষ তাপমাত্রার পানি রাখি। এখন ডান হাতটি বরফ ঠান্ডা পানি এবং বাম হাটি ঈষদোষ্ণ গরম পানিতে কিছুক্ষণ ডুবিয়ে রাখি। এরপর হাত দুটি কক্ষ তাপমাত্রার পানিতে ডুবাই। দেখা যাবে, যে হাতটি বরফ পানিতে ডোবানো ছিল সে হাতটিতে ঈষদুষ্ণ পানিতে ডোবানো হাতের চেয়ে অপেক্ষাকৃত বেশি গরম অনুভূত হচ্ছে। যদিও দু'হাতই একই তাপমাত্রার পানিতে ডোবানো হয়েছে। পরীক্ষাটি আপনি বাসায় বসে অতি সহজে করতে পারবেন। সুতরাং বোঝা যাচ্ছে যে, শুধু স্পর্শানুভূতি দ্বারা তাপমাত্রার সঠিক ধারণা পাওয়া সম্ভব নয়। যেমন- কপালে হাত দিয়ে জ্বর এসেছে কিনা বোঝা যায়, কিন্তু জ্বরের পরিমাণ বোঝা যায় না। সুতরাং তাপমাত্রার পরিমাণ মাপার জন্য আমাদের যন্ত্রের প্রয়োজন হয়। এ যন্ত্রের নাম থার্মোমিটার।

তাপমাত্রার পরিমাপ
Measurement of Temperature

যে যন্ত্রের সাহায্যে কোনো বস্তুর তাপমাত্রা নির্ভুলভাবে পরিমাপ করা যায় তাকে থার্মোমিটার বা তাপমান যন্ত্র বলে।

দুটি বস্তু যদি তৃতীয় কোনো বস্তুর সাথে তাপীয় সমতায় থাকে তাহলে প্রথমোক্ত বস্তু দুটি পরস্পরের সাথে তাপীয় সমতায় থাকবে। তাপীয় সমতার এই সূত্রের উপর ভিত্তি করেই থার্মোমিটার তৈরী করা হয়েছে। এক্ষেত্রে তৃতীয় বস্তুটি থার্মোমিটারের ভূমিকা পালন করে। তাপীয় সমতার এই সূত্রকে তাপগতিবিদ্যার শূন্যতম সূত্র বলে।

থার্মোমিটার বা তাপমান যন্ত্র নির্মাণে এমন পদার্থ ব্যবহার করা হয়, তাপমাত্রা পরিবর্তনের সাথে সাথে যার কোনো না কোনো ধর্মের উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন হয়। কঠিন, তরল ও বায়বীয় পদার্থের নানা প্রকার ভৌত গুণাবলীর (Physical properties) উপর নির্ভর করে বিভিন্ন প্রকার থার্মোমিটার তৈরি করা হয়। যেমন- তাপমাত্রার পরিবর্তন হলে তরল পদার্থের আয়তনের পরিবর্তন হয়, তরলের এ ধর্মকে অবলম্বন করে পারদ থার্মোমিটার, অ্যালকোহল থার্মোমিটার প্রভৃতি তরল থার্মোমিটার (Liquid Thermometers) তৈরি হয়েছে। স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন এর তাপমাত্রার পরিবর্তনের সাথে পরিবর্তিত হয়। আবার, স্থির আয়তনে গ্যাসের চাপ এর তাপমাত্রার পরিবর্তনের সাথে পরিবর্তিত হয়। গ্যাসের এ ধর্মের উপর ভিত্তি করে গ্যাস থার্মোমিটার (Gas Thermometers) নির্মিত হয়েছে। এভাবে, বৈদ্যুতিক রোধ থার্মোমিটারে, প্লাটিনামের বৈদ্যুতিক রোধের উষ্ণতামিতি নীতিমালার উপর নির্ভর করে প্লাটিনাম রোধ থার্মোমিটার (Platinum Resistance Thermometers) নির্মিত হয়েছে।

উচ্চ তাপমাত্রা নির্ণয়ের জন্য উচ্চতর তাপমাত্রা বিকিরণ পাইরোমিটারে উত্তপ্ত বস্তুর বিকিরণ ধর্ম কাজে লাগিয়ে $500^{o}C$ এর বেশি তাপমাত্রা পরিমাপ করা হয়।

তাপমাত্রা পরিবর্তনের সাথে সাথে পদার্থের যে বিশেষ ধর্মের পরিবর্তন হয় এবং যে ধর্মের পরিবর্তনের উপর ভিত্তি করে সহজ ও নির্ভুল ভাবে তাপমাত্রা নির্ণয় করা যায়, পদার্থের ঐ ধর্মগুলিকে উষ্ণতামিতি ধর্ম (Thermometric Properties) বলে। যে সকল পদার্থের উষ্ণতামিতি ধর্মকে ব্যবহার করে থার্মোমিটার তৈরি করা হয় তাদেরকে উষ্ণতামিতি পদার্থ (Thermometric Substances) বলে। উপরের অলোচনা থেকে আমরা জেনেছি যে, সাধারণত উষ্ণতামিতি পদার্থের বা তার ধর্মের নাম অনুসারে থার্মোমিটারের নামকরণ করা হয়।

তাপমাত্রা পরিমাপের জন্য থার্মোমিটারের নলে একটি দাগ কাটা স্কেল প্রয়োজন হয়। দাগ কাটার জন্য দুটি বিশেষ তাপমাত্রাকে নির্দিষ্ট করা হয়। এ দুটি বিশেষ তাপমাত্রাকে থার্মোমিটারের স্থিরাংক (Fixed point) বলে। পারদ থার্মোমিটারের ক্ষেত্রে বরফের গলনাংককে নিম্ন স্থিরাংক (Lower Fixed point) এবং পানির স্ফুটাঙ্ককে ঊর্ধ্ব স্থিরাংক (Upper Fixed point) ধরা হয়। নলের যে দুটি বিন্দুতে নিম্ন স্থিরাংক এবং ঊর্ধ্ব স্থিরাংক দাগ কাটা হয় তাদের **নিম্ন স্থির বিন্দু** এবং **ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু** বলে।

নিম্ন স্থির বিন্দুঃ যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বিশুদ্ধ বরফ পানির সাথে সাম্যাবস্থায় থাকতে পারে অর্থাৎ যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ বরফ গলতে শুরু করে তাকে নিম্ন স্থির বিন্দু বা বরফ বিন্দু বলে।

ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দুঃ যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বিশুদ্ধ পানি জলীয় বাষ্পের সাথে সাম্যাবস্থায় থাকতে পারে অর্থাৎ যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানি জলীয় বাষ্পে পরিণত হতে শুরু করে তাকে ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু বা স্টিম বিন্দু বলে।

থার্মোমিটারের ঊর্ধ্ব এবং নিম্ন স্থির বিন্দুর মধ্যবর্তী তাপমাত্রার ব্যবধানকে মৌলিক অন্তর বা মৌলিক ব্যবধান (Fundamental Interval) বলে। এ মৌলিক ব্যবধানকে সমানভাবে ভাগ করে বিভিন্ন তাপমাত্রার স্কেল তৈরি করা হয়।

ধরি, নিম্ন স্থির বিন্দু তথা বরফ বিন্দু এবং ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু তথা স্টিম বিন্দুর তাপমাত্রা যথাক্রমে θ_{ice} এবং θ_{steam}। আবার মনে করি, এ দুই তাপমাত্রায় উষ্ণতামিতিক একটি ধর্মের মান যথাক্রমে X_{ice} এবং X_{steam}। অপর একটি তাপমাত্রা যেমন θ তে ঐ ধর্মের মান যদি X_θ হয় এবং মৌলিক ব্যবধানকে যদি N টি সমান ভাগে বিভক্ত করা যায়, তাহলে ঐ তাপমাত্রা তথা θ এর মান হবে-

$$\frac{\theta-\theta_{ice}}{\theta_{steam}-\theta_{ice}}=\frac{X_\theta-X_{ice}}{X_{steam}-X_{ice}}$$

বা, $$\frac{\theta-\theta_{ice}}{N}=\frac{X_\theta-X_{ice}}{X_{steam}-X_{ice}} \quad \text{.... ....} \quad (১০.১)$$

তাপমাত্রার বিভিন্ন স্কেল রয়েছে। সমীকরণ (১০.১) ব্যবহার করে বিভিন্ন স্কেলে থার্মোমিটার দাগাঙ্কিত করা হয়। বিভিন্ন স্কেলে বরফ বিন্দু ও স্টিম বিন্দুর তাপমাত্রা বিভিন্ন ধরা হয়। নিচে আমরা তাপমাত্রা পরিমাপের কয়েকটি স্কেল সম্পর্কে আলোচনা করব।

সেলসিয়াস স্কেলঃ এ স্কেলে বরফ বিন্দুকে 0° এবং স্টিম বিন্দুকে 100° ধরে মধ্যবর্তী মৌলিক ব্যবধানকে 100 ভাগে ভাগ করা হয়। এক একটি ভাগকে এক ডিগ্রি সেলসিয়াস (1°C) বলে।

সেলসিয়াস স্কেলের ক্ষেত্রে–

$$\theta_{ice}=0^\circ\text{C},\ \theta_{steam}=100^\circ\text{C}$$

$$N=\theta_{steam}-\theta_{ice}=100^\circ\text{C}-0^\circ\text{C}=100^\circ\text{C}$$

সুতরাং, সেলসিয়াস স্কেলের জন্য সমীকরণ (১০.১) থেকে পাওয়া যায়,

$$\frac{\theta - 0^o C}{100^o C} = \frac{X_\theta - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}}$$

বা, $\theta = \frac{X_\theta - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}} \times 100^\circ C$ .... (১০.২)

সেলসিয়াস স্কেলে থার্মোমিটার দাগাঙ্কনের জন্য (১০.২) সমীকরণ ব্যবহার করা হয়।

ফারেনহাইট স্কেল: এ স্কেলে বরফ বিন্দুকে $32^\circ F$ এবং স্টিম বিন্দুকে $212^\circ F$ ধরে মধ্যবর্তী মৌলিক ব্যবধানকে 180 ভাগে ভাগ করা হয়। এক একটি ভাগকে এক ডিগ্রি ফারেনহাইট ($1^\circ F$) বলে।
ফারেনহাইট স্কেলের ক্ষেত্রে–

$$\theta_{ice} = 32^\circ F, \ \ \theta_{steam} = 212^\circ F$$

এবং $N = \theta_{steam} - \theta_{ice} = 212^\circ F - 32^\circ F = 180^\circ F$

সুতরাং, ফারেনহাইট স্কেলের জন্য সমীকরণ (১০.১) থেকে পাওয়া যায়,

$$\frac{\theta - 32^\circ F}{180^\circ F} = \frac{X_\theta - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}}$$

বা, $\theta = \frac{X_\theta - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}} \times 180^\circ F + 32^\circ F$ .... (১০.৩)

ফারেনহাইট স্কেলে থার্মোমিটার দাগাঙ্কনের জন্য (১০.৩) সমীকরণ ব্যবহার করা হয়।
তাপমাত্রার এসআই (SI) একক হচ্ছে কেলভিন (kelvin)।

পানির ত্রৈধ বিন্দু: 4.5 mm পারদস্তম্ভ চাপে যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ বরফ, পানি ও জলীয় বাষ্প তাপীয় সমতায় থাকে, তাকে পানির ত্রৈধ বিন্দু বলে। পানির ত্রৈধ বিন্দুর তাপমাত্রা 273.16 K নির্ধারণ করা হয়েছে। এর উপর ভিত্তি করে পরম শূন্য তাপমাত্রা 0 K, বরফ বিন্দু 273.15 K এবং স্টিম বিন্দু 373.15 K ধরা হয়। তাপমাত্রা পরিমাপের কেলভিন স্কেলে বরফ বিন্দুকে 273.15 K এবং স্টিম বিন্দুকে 373.15 K ধরে মৌলিক ব্যবধানকে 100 ভাগে ভাগ করা হয়। এক একটি ভাগকে এক কেলভিন (1 K) বলা হয়।

সেলসিয়াস এবং কেলভিন স্কেলের মধ্যে সম্পর্ক হচ্ছে

$K = C + 273.15$ .... (১০.৪)

বরফ বিন্দুকে 273.15 এর পরিবর্তে 273K ধরা হয় হিসাব নিকাশের সুবিধার জন্য। সুতরাং

$K = C + 273$ .... (১০.৫)

সাধারণত তাপমাত্রাকে সেলসিয়াস স্কেলে θ এবং কেলভিন স্কেলে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়–

$\therefore T = \theta + 273$ ....(১০.৬)

কেলভিন: পানির ত্রৈধ বিন্দুর তাপমাত্রার $\frac{1}{273.16}$ কে এক কেলভিন (1K) বলে।

সেলসিয়াস, ফারেনহাইট বা কেলভিন স্কেলের যে কোনো একটিতে প্রাপ্ত তাপমাত্রার মান অন্য স্কেলে কী হবে তা নিচের সম্পর্কের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়:

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9} = \frac{K - 273}{5}$$ .... (১০.৭)

গাণিতিক উদাহরণ ১০.১: একটি নির্দিষ্ট রোধ থার্মোমিটারের রোধ বরফ বিন্দু ও স্টিম বিন্দুতে যথাক্রমে 4.7Ω এবং 8.7Ω। কোন তরলে স্থাপন করলে এর বোধ 7.1Ω হয়। তরলের তাপমাত্রা নির্ণয় করুন।

সমাধান: আমরা জানি,

$$\theta = \frac{X_\theta - X_0}{X_{100} - X_0} \times 100^\circ\text{C}$$
$$= \frac{7.1 - 4.7}{8.7 - 4.7} \times 100^\circ\text{C}$$
$$= \frac{2.4}{4} \times 100^\circ\text{C}$$
$$= 60^\circ\text{C}$$

এখানে,
বরফ বিন্দুতে রোধ, X_0=4.7 Ω
স্টিম বিন্দুতে রোধ, X_{100}=8.7 Ω
নির্ণেয় তাপমাত্রায় রোধ, X_θ=7.1 Ω
নির্ণেয় তাপমাত্রা, θ=?

উত্তর: 60°C

গাণিতিক উদাহরণ ১০.২: কোন তাপমাত্রায় সেলসিয়াস ও ফারেনহাইট স্কেলে একই পাঠ পাওয়া যায়?

সমাধান: আমরা জানি,

$$\frac{\text{C}}{5} = \frac{\text{F} - 32}{9}$$

এখানে,
C = F = x

বা, $\frac{x}{5} = \frac{x - 32}{9}$

বা, $9x = 5x - 160$

বা, $4x = -160$

$\therefore x = -40^\circ$

উত্তর: -40°C এবং -40°F

সার-সংক্ষেপ :

- **তাপীয় সমতা:** যে অবস্থায় তাপীয়ভাবে সংযুক্ত বস্তুগুলোর মধ্যে তাপের আদান-প্রদান ঘটে না, তাকে তাপীয় সমতা বলে।
- **থার্মোমিটার:** যে যন্ত্রের সাহায্যে কোনো বস্তুর তাপমাত্রা নির্ভুলভাবে পরিমাপ করা যায়, তাকে থার্মোমিটার বা তাপমান যন্ত্র বলে।
- **নিম্ন স্থির বিন্দু:** যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বিশুদ্ধ বরফ পানির সাথে সাম্যাবস্থায় থাকতে পারে, অর্থাৎ যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ বরফ গলতে শুরু করে তাকে নিম্ন স্থির বিন্দু বা বরফ বিন্দু বলে।
- **ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু:** যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বিশুদ্ধ পানি জলীয় বাষ্পের সাথে সাম্যাবস্থায় থাকতে পারে অর্থাৎ যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানি জলীয় বাষ্পে পরিণত হতে শুরু করে তাকে ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু বা স্টিম বিন্দু বলে।
- **ত্রৈধ বিন্দু:** 4.58 mm পারদস্তম্ভ চাপে যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ বরফ, পানি ও জলীয় বাষ্প তাপীয় সমতায় থাকে, তাকে পানির ত্রৈধ বিন্দু বলে।
- **কেলভিন:** পানির ত্রৈধ বিন্দুর তাপমাত্রার $\frac{1}{273.16}$ কে এক কেলভিন (1 K) বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১০.১

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন

১। যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বিশুদ্ধ পানি জলীয় বাষ্পে পরিণত হতে শুরু করে, তাকে বলা হয়–

(ক) নিম্ন স্থির বিন্দু
(খ) ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু
(গ) ত্রৈধ বিন্দু
(ঘ) স্টিম বিন্দু।

২। যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বিশুদ্ধ বরফ গলতে শুরু করে, তাকে বলা হয়–

(ক) নিম্ন স্থির বিন্দু
(খ) ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু
(গ) ত্রৈধ বিন্দু
(ঘ) স্টিম বিন্দু।

৩। পানির ত্রৈধ বিন্দুর তাপমাত্রা ধরা হয়–

(ক) 0^oC
(খ) 273.15K
(গ) 273.16K
(ঘ) 273K

পাঠ-১০.২ তাপবিদ্যার প্রথম সূত্র
First Law of Thermodynamics

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- তাপীয় সিস্টেমের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- অভ্যন্তরীণ শক্তির ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- কোনো সিষ্টেমে তাপ, তার অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং সম্পন্ন কাজের মধ্যে সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবেন।

১০.২.১: তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ধারণা
Concept of First Law of Thermodynamics

কাজ করার সামর্থ্যকে শক্তি বলে। পৃথিবীতে শক্তির বিভিন্ন রূপ রয়েছে। যেমন- যান্ত্রিক শক্তি, তাপশক্তি, তাড়িতচৌম্বক শক্তি, শব্দ শক্তি, চুম্বক শক্তি। বিভিন্ন কাজের জন্য বিভিন্ন প্রকার শক্তির প্রয়োজন হয়। এসব শক্তির মধ্যে আবার পারস্পরিক রূপান্তর ঘটে। যান্ত্রিক শক্তি থেকে তাপশক্তির উৎপন্ন হয়। তাপশক্তি খুব সহজেই পাওয়া যায়। কোনো বস্তু পোড়ালে তাপ উৎপন্ন হয়। তাপশক্তি সহজলভ্য হওয়ায়, এ শক্তিকে কিভাবে কাজ তথা যান্ত্রিক শক্তিতে পরিণত করা যায় তা নিয়ে বৈজ্ঞানিকরা বহু গবেষণা চালিয়েছেন।

বিজ্ঞানী জুল সর্বপ্রথম কাজ ও তাপের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করেন এবং এ সম্পর্কটি একটি সূত্রের সাহায্যে প্রকাশ করেন। এ সূত্রকে জুলের সূত্র আবার তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রও বলা হয়।

সূত্র: কাজ তথা যান্ত্রিক শক্তিকে তাপে বা তাপশক্তিকে কাজে তথা যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা হলে যান্ত্রিক শক্তি এবং তাপ পরস্পরের সমানুপাতিক হবে।

সুতরাং, $W \propto H$

বা, $W = JH$ .... (১০.৮)

এখানে, W হলো কাজের পরিমাণ, H হলো তাপের পরিমাণ এবং J হচ্ছে জুলের ধ্রবক। J কে তাপের যান্ত্রিক সমতা (mechanical equivalent) বা জুল তুল্যাঙ্ক (Joule's equivalent)-ও বলা হয়।

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র শক্তির নিত্যতা সূত্রের একটি বিশেষ রূপ। (১০.৮) সমীকরণে H=1 হলে W=J হয়। এ থেকে বলা যায়, **একক তাপ উৎপন্ন করতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয় বা একক তাপ দ্বারা যে পরিমাণ কাজ করা যায় তাকে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক বা সমতা বলে।**

১০.২.২: তাপগতি সম্পর্কীয় কয়েকটি রাশি

সিস্টেম (System)

পদার্থের বা জড় জগতের একটি অংশ যা পরীক্ষা-নিরীক্ষার জন্য বিবেচনা করা হয়, সেই নির্দিষ্ট অংশকে সিস্টেম বা ব্যবস্থা বলে।

পরিপার্শ্ব বা পরিবেশ (Surrounding)

সিস্টেমের বাহিরে সবকিছুকেই এর পরিপার্শ্ব বা পরিবেশ বলে। অন্যকথায় বলা যায়, সিস্টেম যে ব্যবস্থার সাথে শক্তি বিনিময়ে সক্ষম, সে ব্যবস্থাকে ঐ সিস্টেমের পরিপার্শ্ব বলে।

সাম্যাবস্থা (Equilibrium): সাম্যাবস্থায় সিস্টেম বা ব্যবস্থার সকল বিন্দুতে তাপগতীয় স্থানাঙ্ক অর্থাৎ চাপ (p), আয়তন (V) এবং তাপমাত্রার (T) মান সমান।

ব্যবস্থা বা সিষ্টেমের অবস্থা (State of a System)
তাপগতীয় আলোচনার ক্ষেত্রে, যে সকল রাশির মান কোনো সিস্টেম বা ব্যবস্থার অবস্থা বর্ণনা করে, সেই রাশিগুলোকে তাপগতীয় স্থানাঙ্ক (Coordinates) বা অবস্থা পরিবর্তী (Variables) বলে। যেমন: সাম্যাবস্থায় চাপ p, আয়তন V এবং উষ্ণতা T এর সাহায্যে সিষ্টেমকে বর্ণনা করা হয়।

তাপগতীয় প্রক্রিয়া (Thermodynamic Process)
কোনো সিস্টেম বা ব্যবস্থায় যে পরিবর্তনের কারণে তাপগতীয় স্থানাঙ্কের পরিবর্তন হয়, সে পরিবর্তনকে তাপগতীয় প্রক্রিয়া বলে।

সিস্টেম তিন প্রকার হয়, যেমন- উন্মুক্ত সিস্টেম, বদ্ধ সিস্টেম এবং বিচ্ছিন্ন সিস্টেম।

উন্মুক্ত সিস্টেম (Open System): যে সিস্টেমে পরিপার্শ্ব বা পরিবেশের সাথে ভর ও শক্তি উভয়ই বিনিময় করতে পারে তাকে উন্মুক্ত সিস্টেম বলে।

বদ্ধ সিস্টেম (Closed System): যে সিস্টেমে পরিপার্শ্ব বা পরিবেশের সাথে শুধু শক্তি বিনিময় করতে পারে কিন্তু ভর বিনিময় করতে পারে না তাকে বদ্ধ সিস্টেম বলে।

বিচ্ছিন্ন সিস্টেম (Isolated System): যে সিস্টেম পরিপার্শ্ব বা পরিবেশ দ্বারা প্রভাবিত হয় না, অর্থাৎ ভর বা শক্তি কোনো কিছুর বিনিময় করে না, তাকে বিচ্ছিন্ন সিস্টেম বলে।

অভ্যন্তরীণ শক্তি (Internal Energy)
প্রত্যেক সিস্টেমের মধ্যে শক্তি অন্তর্নিহিত বা সুপ্ত অবস্থায় থাকে যা কাজ সম্পাদন করতে পারে এবং অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হতে পারে। সিস্টেমে তাপ প্রয়োগ করলে এ অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায় এবং সিস্টেমকে শীতল করলে এ অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পায়।

১০.২.৩: তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র: তাপ, অভ্যন্তরীণ শক্তি বা কাজের মধ্যে সম্পর্ক
First Law of Thermodynamics: Relation among Heat, Internal Energy and Work

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র মূলত: শক্তির নিত্যতা সূত্রের একটি বিশেষ রূপ। বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস (Clausius) এই সূত্রকে সাধারণভাবে বর্ণনা করেন। বিজ্ঞানী ক্লসিয়াসের মতে, কোনো সিষ্টেমে তাপ শক্তি অন্য কোনো শক্তিতে রূপান্তরিত হলে বা অন্য কোনো শক্তি তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হলে, সিষ্টেমের মোট শক্তির পরিমাণ অপরিবর্তিত বা একই থাকে। একে ক্লসিয়াসের মতবাদ বলে। বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস তাপগতিবিদ্যার ১ম সূত্রকে নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করেন।
সূত্র: যখন কোনো সিস্টেমে তাপশক্তি সরবরাহ করা হয় তখন সেই তাপশক্তির কিছু অংশ সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধিতে সহায়তা করে এবং তাপশক্তির বাকি অংশ দ্বারা সিস্টেম তার পরিবেশের উপর বাহ্যিক কাজ সম্পাদন করে।

ধরি, কোনো সিস্টেমে ΔQ পরিমাণ তাপশক্তি সরবরাহ করা হলো। এতে সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন হলো ΔU এবং সিস্টেম দ্বারা পরিবেশের ওপর বাহ্যিক সম্পাদিত কাজের পরিমাণ হলো ΔW
উপরিউক্ত সূত্রানুসারে-

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

ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র পরিবর্তনের সময় এই সমীকরণকে লেখা যায়,

$$dQ = dU + dW \quad \text{.....(১০.৯)}$$

উপরের সমীকরণের dQ, dU এবং dW রাশিগুলো ধনাত্মক এবং ঋনাত্মক হতে পারে।

(i) ΔQ বা dQ ধনাত্মক ধরা হবে যদি সিস্টেমে তাপ সরবরাহ করা হয় এবং ঋণাত্মক হবে যদি তাপশক্তি সিস্টেম থেকে পরিবেশে যায় বা সিস্টেম তাপ হারায়।

(ii) dU ধনাত্মক হবে যদি সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায় এবং dU ঋণাত্মক হবে যদি সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পায়।

(iii) dW ধনাত্মক হবে যদি সিস্টেমের দ্বারা পরিপার্শ্বের উপর কাজ সম্পাদিত হয় এবং dW ঋণাত্মক হবে যদি পরিপার্শ্ব সিস্টেমের উপর কাজ করে।

১০.২.৪: তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যবহার: প্রসারণশীল গ্যাস দ্বারা কৃত কাজ
Uses of First Law of Thermodynamics: Work Done by an Expanding Gas

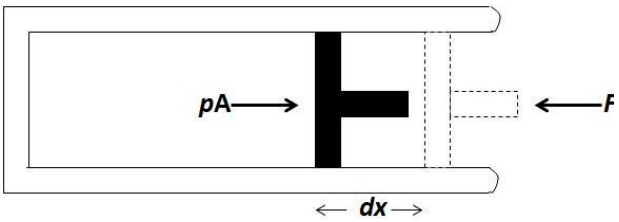
(ক) সমচাপ প্রক্রিয়া (Isobaric Process)

যে তাপগতীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের চাপের কোনো পরিবর্তন হয় না তাকে সমচাপ প্রক্রিয়া বলে।

ধরা যাক, একটি সিলিন্ডারের মধ্যে কিছু গ্যাস আবদ্ধ আছে (চিত্র ১০.১)। এর সাথে একটি ঘর্ষণহীন পিস্টন সংযুক্ত আছে এবং পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A। গ্যাসের চাপ p হলে পিস্টনের ওপর গ্যাসের চাপজনিত মোট বলের পরিমাণ pA হবে। এখন একটি বাহ্যিক বল; F যার মান পিস্টনের ওপর গ্যাসের চাপজনিত বলের সমান; যদি পিস্টনের ওপর ক্রিয়াশীল হয় তবে পিস্টনটি সাম্যাবস্থায় থাকবে।

গ্যাসের প্রসারণ ঘটলে পিস্টনটি বাইরের দিকে অতি ক্ষুদ্র দূরত্ব dx পরিমাণ সরে যাবে। dx অতিক্ষুদ্র হওয়ায় গ্যাসের চাপ অপরিবর্তনশীল বিবেচনা করা যায়। F বলের বিপরীতে বাহ্যিক কাজের পরিমাণ dW হলে

$$dW = Fdx$$
$$= PAdx$$
$$\therefore dW = PdV$$



চিত্র: ১০.১

এখানে, $dV=Adx$

ধরি, স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন V_1 থেকে V_2 তে পরিবর্তিত হয়েছে।

এ অবস্থায় গ্যাস কর্তৃক মোট কৃত কাজ-

$\Delta W = p(V_2-V_1)$

$\therefore$ কৃত কাজ=চাপ $\times$ আয়তনের পরিবর্তন।

আমরা জানি, $dQ = dU+dW$ [তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র]

উপরিউক্ত সমীকরণে $dW = pdV$ বসিয়ে পাই–

$dQ = dU+pdV$ ....(১০.১০)

(খ) সমোষ্ণ প্রক্রিয়া (Isothermal Process)

যে তাপগতীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের তাপমাত্রা স্থির থাকে তাকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলে।

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে আমরা পাই,

$dQ=dU+dW$

সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রা স্থির থাকে বলে সিস্টেমের অন্তর্নিহিত বা অন্তস্থ শক্তির কোনো পরিবর্তন হয় না, অর্থাৎ $dU=0$

$\therefore dW=dQ$

অর্থাৎ সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় কোনো সিস্টেম কর্তৃক কৃত কাজ ঐ সিস্টেমে সরবরাহকৃত মোট তাপশক্তির সমান।

(গ) রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া (Adiabatic process)

যে তাপগতীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেম থেকে তাপ বাইরে যাবে না বা বাইরে থেকে কোনো তাপ সিস্টেমে আসে না তাকে রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া বলে।

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে আমরা পাই–

$dQ = dU+dW$

যেহেতু রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের সাথে পরিপার্শ্বের তাপের আদান-প্রদান হয় না সুতরাং $dQ=0$। এখন তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে আমরা পাই-

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

রুদ্ধতাপীয় প্রসারণের ক্ষেত্রে সিস্টেম যে কাজ সম্পাদন করে তা সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি দ্বারা সম্পাদিত হয় বলে সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পায় বা সিস্টেম ঠান্ডা হয়। রুদ্ধতাপীয় সংকোচনের ক্ষেত্রে বাইর থেকে শক্তি সরবরাহ করে সিস্টেমের ওপর কাজ সম্পাদিত হয় বলে সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায় এবং সিস্টেমের তাপমাত্রাও বৃদ্ধি পায়।

অতএব বলা যায়, রুদ্ধতাপীয় সংকোচনে সিস্টেম উষ্ণ হয় এবং রুদ্ধতাপীয় প্রসারণে সিস্টেম শীতল হয়।

গাণিতিক উদাহরণঃ ১০.৩ঃ একটি সিস্টেম পরিবেশ থেকে 1000 J তাপশক্তি শোষণ করায় এর অন্তঃস্থ শক্তি 800 J বৃদ্ধি পেল। সিস্টেম কর্তৃক পরিবেশের উপর সম্পাদিত কাজের পরিমাণ নির্ণয় করুন।

সমাধানঃ আমরা জানি,

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$
$$\therefore \Delta W = \Delta Q - \Delta U$$
$$= 1000 - 800$$
$$= 200 \text{ J}$$

এখানে,
অন্ত:স্থ শক্তির পরিবর্তন, $\Delta U = 800$ J
শোষিত তাপ, $\Delta Q = 1000$ J
কৃত কাজ, $\Delta W = ?$

উত্তরঃ 200 J

গাণিতিক উদাহরণঃ ১০.৪ঃ পিস্টনযুক্ত একটি সিলিন্ডারে কিছু গ্যাস আবদ্ধ আছে। গ্যাসের চাপ 300 Pa স্থির রেখে ধীরে ধীরে 800 J তাপশক্তি সরবরাহ করায় 900 J কাজ সম্পাদিত হয়। গ্যাসের আয়তন এবং অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় করুন।

সমাধানঃ আমরা জানি,

$$\Delta W = p\Delta V$$
$$\therefore \Delta V = \frac{\Delta W}{p}$$
$$= \frac{900}{300} = 3\text{m}^3$$

এখানে,
চাপ, p=300pa
তাপশক্তি, ΔQ=800 J
কৃতকাজ, ΔW=900 J
আয়তনের পরিবর্তন, ΔV=?
অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন, ΔU=?

আবার,

$$\Delta Q = \Delta U+\Delta W$$
$$\therefore \Delta U = \Delta Q - \Delta W$$
$$= 800 - 900$$
$$= -100 \text{ J}$$ [ঋণাত্মক চিহ্ন দ্বারা বুঝায় যে সমচাপ প্রক্রিয়ায় গ্যাসের অন্তস্থ শক্তি হ্রাস পায়]

উত্তরঃ -100 J

সার-সংক্ষেপ :

- **তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র:** যখন কোনো সিস্টেমে তাপশক্তি সরবরাহ করা হয় তখন সেই তাপশক্তির কিছু অংশ সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধিতে সহায়তা করে এবং তাপশক্তির বাকি অংশ দ্বারা সিস্টেম তার পরিবেশের উপর বাহ্যিক কাজ সম্পাদন করে।
- **সিস্টেম:** পদার্থের বা জড় জগতের একটি অংশ যা পরীক্ষা-নিরীক্ষার জন্য বিবেচনা করা হয়। এ নির্দিষ্ট অংশকে সিস্টেম বলে।
- **সমচাপ প্রক্রিয়া:** যে তাপগতীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের চাপের কোনো পরিবর্তন হয় না, তাকে সমচাপ প্রক্রিয়া বলে।
- **সমোষ্ণ প্রক্রিয়া:** যে তাপগতীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের তাপমাত্রা স্থির থাকে, তাকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলে।
- **রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া:** যে তাপগতীয় প্রক্রিয়ার সিস্টেম থেকে তাপ বাইরে যাবে না বা বাইর থেকে কোনো তাপ সিস্টেমে আসে না তাকে রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া বলে।
- **অভ্যন্তরীণ শক্তি:** প্রত্যেক সিস্টেমের মধ্যে শক্তি অন্তর্নিহিত বা সুপ্ত অবস্থায় থাকে যা কাজ সম্পাদন করতে পারে এবং অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হতে পারে। সিস্টেমে তাপ প্রয়োগ করলে এ অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায় এবং সিস্টেমকে শীতল করলে এ অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পায়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১০.২

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন

১। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র কোনটি?

(ক) $dQ=dU$
(খ) $dQ=dU+dW$
(গ) $dU=dQ+dW$
(ঘ) $dW=dU+dQ$

২। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র নিচের কোন দুটি রাশির মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করে?

(ক) তাপ ও কাজ
(খ) বল ও শক্তি
(গ) কাজ ও ক্ষমতা
(ঘ) তাপ ও ক্ষমতা

পাঠ-১০.৩ গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ
Molar Specific Heat of a Gas

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপদ্বয় ব্যাখ্যা ও এদের সম্পর্ক লিখতে পারবেন।
- গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপদ্বয়ের অনুপাত (γ) ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে আদর্শ গ্যাসের চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক বর্ণনা করতে পারবেন এবং γ এর গুরুত্ব বর্ণনা করতে পারবেন।

১০.৩.১: গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ বা মোলার তাপীয় ক্ষমতা (Molar Specific Heat or Molar Heat Capacity of a Gas)

কোনো পদার্থের এক মোলের তাপমাত্রা এক কেলভিন বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপকে ঐ পদার্থের মোলার আপেক্ষিক তাপ বা মোলার তাপীয় ক্ষমতা বলে।

কোনো পদার্থের m মোলের তাপমাত্রা ΔT কেলভিন বৃদ্ধি করতে যদি ΔQ জুল তাপশক্তির প্রয়োজন হয় তাহলে ঐ পদার্থের মোলার আপেক্ষিক তাপ,

$$C = \frac{1}{m}\frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad \text{... ....} \quad (১০.১১)$$

তাপমাত্রা পরিবর্তনের জন্য পদার্থের চাপ এবং আয়তনের পরিবর্তন ঘটে। কঠিন ও তরল পদার্থের জন্য চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন নগণ্য হওয়ায় তা উপেক্ষা করা যায়। কিন্তু গ্যাসের ক্ষেত্রে তাপমাত্রার পরিবর্তনের জন্য চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন অনেক বেশি হওয়ার জন্য গ্যাসের আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা দেওয়ার সময় চাপ ও আয়তনের শর্ত নির্দিষ্ট করে দেওয়া প্রয়োজন। দুটি ক্ষেত্রের প্রতি আমরা বিশেষভাবে আগ্রহী; (১) যখন চাপ স্থির থাকে এবং (২) যখন আয়তন স্থির থাকে।

স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ, C_p :

চাপ স্থির রেখে এক মোল গ্যাসের তাপমাত্রা এক কেলভিন বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপশক্তিকে স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ, C_p বলে।

চাপ স্থির রেখে m মোল গ্যাসের তাপমাত্রা ΔT কেলভিন বৃদ্ধি করতে যদি ΔQ জুল তাপশক্তির প্রয়োজন হয় তাহলে স্থির চাপে ঐ গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ,

$$C_p = \frac{1}{m}\frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad \text{... ....} \quad (১০.১২)$$

স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ, C_v :

আয়তন স্থির রেখে কোনো গ্যাসের এক মোলের তাপমাত্রা এক কেলভিন বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপশক্তিকে স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ, C_v বলে।

আয়তন স্থির রেখে m মোল গ্যাসের তাপমাত্রা ΔT কেলভিন বৃদ্ধি করতে যদি ΔQ জুল তাপশক্তির প্রয়োজন হয় তাহলে স্থির আয়তনে ঐ গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ,

$$C_v = \frac{1}{m}\frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad \text{... ....} \quad (১০.১৩)$$

একটি আদর্শ গ্যাসের জন্য, $C_p - C_v = R$.. .... (১০.১৪)

এখানে R হচ্ছে সার্বজনীন মোলার গ্যাস ধ্রুবক। এর মান $8.31\ \text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$। যেহেতু সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক R সর্বদা একটি ধনাত্মক রাশি, সুতরাং $C_p > C_v$। অর্থাৎ C_p সর্বদাই C_v এর চেয়ে বড়।

১০.৩.২: স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ ও স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপের অনুপাত (Ratio of molar specific heat of a gas at constant pressure and molar specific heat of a gas at constant Volume):

তাপগতিবিদ্যায় স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ C_p এবং স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ C_v এর অনুপাত একটি গুরুত্বপূর্ণ রাশি। এই রাশিকে γ দ্বারা সূচিত করা হয়; অর্থাৎ

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad \text{..... ....} \quad (১০.১৫)$$

গ্যাসের গতিতত্ত্বের সাহায্যে এক পারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে পাওয়া যায়, $C_v = \frac{2}{3}R$

$$\therefore C_p = C_v + R = \frac{2}{3}R + R = \frac{5}{3}R$$

$\therefore$ এক পারমাণবিক গ্যাসের জন্য, $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\frac{5}{3}R}{\frac{2}{3}R} = \frac{5}{3} = 1.67$

দ্বি পারমাণবিক গ্যাসের জন্য, $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{7}{5} = 1.40$

বহু পারমাণবিক গ্যাসের জন্য, $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{4}{3} = 1.33$

রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে চাপ ও আয়তনের মধ্যকার সম্পর্ক হচ্ছে, $pV^{\gamma} = \text{ধ্রুবক}$ ... . (১০.১৬)

গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপদ্বয়ের অনুপাত (γ) এর গুরুত্ব: নানা কারণে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপদ্বয়ের অনুপাত γ অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। নিচে এর কয়েকটি ব্যবহার উল্লেখ করা হলো:

১। γ এর মান থেকে গ্যাসের আণবিক বিন্যাস সম্পর্কে জানা যায়, অর্থাৎ গ্যাসটি একপারমাণবিক, দ্বিপারমাণবিক না বহুপারমাণবিক তা' জানা যায়। যেমন, কোনো গ্যাসের ক্ষেত্রে $\gamma = 1.4$ হলে বোঝা যাবে গ্যাসটি দ্বিপারমাণবিক।

২। গ্যাসে শব্দের বেগের মান γ এর উপর নির্ভর করে। যেমন, $v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$

৩। রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের সময় গ্যাসের চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক γ এর উপর নির্ভর করে। যেমন, $pV^{\gamma} = \text{ধ্রুবক}$।

গাণিতিক উদাহরণ ১০.৫: কার্বন ডাই অক্সাইড গ্যাসের জন্য স্থির আয়তনে ও স্থির চাপে মোলার আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করুন। দেওয়া আছে, $\gamma = 1.33$ এবং $R = 8.31\ \text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$।

সমাধান: আমরা জানি,

$C_p - C_v = R$ এবং $\gamma = \dfrac{C_p}{C_v}$

$\therefore\ C_p = \gamma C_v$

$\therefore \gamma C_v - C_v = R$

$\therefore C_v = \dfrac{R}{\gamma - 1}$

$= \dfrac{8.31}{1.33-1}$

$= 25.18\ \text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$

$\therefore\ C_p = C_v + R = 25.18 + 8.31$

$= 33.49\ \text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$

এখানে,
মোলার গ্যাস ধ্রুবক, $R = 8.31\ \text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$
$\gamma = 1.33$
স্থির চাপে মোলার আপেক্ষিক তাপ, $C_p = ?$
স্থির আয়তনে মোলার আপেক্ষিক তাপ, $C_v = ?$

উত্তর: $C_v = 25.18\ \text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$, $C_p = 33.49\ \text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$

গাণিতিক উদাহরণ ১০.৬: প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপের কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস হঠাৎ প্রসারিত হয়ে দ্বিগুণ আয়তন লাভ করে। চূড়ান্ত চাপ কত হবে নির্ণয় করুন। ($\gamma = 1.4$)

সমাধান: আমরা জানি,

$p_1 V_1^{\gamma} = p_2 V_2^{\gamma}$

$\therefore\ p_2 = \dfrac{p_1 V_1^{\gamma}}{V_2^{\gamma}}$

$= \left(\dfrac{V}{2V}\right)^{\gamma} \times 1.013\times10^5$

$= 3.84\times10^4\ \text{Nm}^{-2}$

এখানে,
আদি চাপ, $p_1 = 1.013\times10^5\ \text{Nm}^{-2}$
আদি আয়তন, $V_2 = V$
শেষ আয়তন, $V_2 = 2V$
শেষ চাপ, $p_2 = ?$
$\gamma = 1.4$

উত্তর: $p_2 = 3.84\times10^4\ \text{Nm}^{-2}$

সার-সংক্ষেপ :

- **স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ, C_p :** চাপ স্থির রেখে এক মোল গ্যাসের তাপমাত্রা এক কেলভিন বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপশক্তিকে স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ, C_p বলে। $C_p = \dfrac{1}{m}\dfrac{\Delta Q}{\Delta T}$
- **স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ, C_v :** আয়তন স্থির রেখে এক মোল গ্যাসের তাপমাত্রা এক কেলভিন বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপশক্তিকে স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ, C_v বলে।

  $C_v = \dfrac{1}{m}\dfrac{\Delta Q}{\Delta T}$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১০.৩

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন

১। কোনো পদার্থের এক মোলের তাপমাত্রা এক কেলভিন বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপকে কী বলে?-

(ক) আপেক্ষিক তাপ (খ) মোলার আপেক্ষিক তাপ

(গ) সুপ্ততাপ (ঘ) আপেক্ষিক সুপ্ততাপ

২। C_p সর্বদা C_v এর চেয়ে-

(ক) ছোট (খ) বড়

(গ) সমান (ঘ) দ্বিগুণ

৩। C_p , C_v এবং R এর মধ্যে সম্পর্ক নিচের কোনটি?

(ক) $C_p + C_v = R$ (খ) $C_v - C_p = R$

(গ) $\frac{C_p}{C_v} = R$ (ঘ) $C_p = C_v + R$

৪। C_p , C_v এবং γ এর মধ্যে সম্পর্ক নিচের কোনটি?

(ক) $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ (খ) $\gamma = \frac{C_v}{C_p}$

(গ) $\gamma = C_p \times C_v$ (ঘ) $\gamma = C_p + C_v$

৫। রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক নিচের কোনটি?

(ক) $Vp^{\gamma} = \text{ধ্রুবক}$ (খ) $pV^{\gamma} = \text{ধ্রুবক}$

(গ) $\frac{V^{\gamma}}{p} = \text{ধ্রুবক}$ (ঘ) $\frac{p}{V^{\gamma}} = \text{ধ্রুবক}$

৬। কোনো গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপদ্বয়ের অনুপাত $\gamma = 1.5$। উক্ত গ্যাসের জন্য-

(ক) $C_v = 3R$ (খ) $C_p = 3R$

(গ) $C_v = 5R$ (ঘ) $C_p = 5R$

পাঠ-১০.৪ তাপবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র
Second Law of Thermodynamics

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- প্রত্যাগামী ও অপ্রত্যাগামী প্রক্রিয়ার মধ্যে ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

১০.৪.১: তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র (Second Law of Thermodynamics)

আমরা পূর্বেই জেনেছি, অন্যান্য শক্তির তুলনায় তাপশক্তিকে অতি সহজেই পাওয়া যায়। অর্থাৎ তাপশক্তির একটি বিশেষ গুণ হলো, অন্য সবরকম শক্তি খুব সহজেই স্বতঃস্ফূর্তভাবে তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। অনেক ক্ষেত্রে প্রাকৃতিক উপায়েই তাপশক্তির উৎপত্তি ঘটে। যেমন- ঝরনার পানি যখন প্রচন্ড বেগে নিচে পতিত হয় তখন আপনা থেকেই এটি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। কিন্তু এ তাপশক্তিকে কোনো যন্ত্রের সাহায্য ছাড়া অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায় না। সুতরাং বলা যায়, "তাপশক্তিকে অন্য কোনো শক্তিতে রূপান্তরের জন্য যন্ত্রের প্রয়োজন হয়। এ যন্ত্রের নামই তাপ ইঞ্জিন।" বিখ্যাত প্রকৌশলী কার্নো (Carnot) এ তাপ ইঞ্জিনের ওপর ব্যাপক পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেছেন এবং এ সিদ্ধান্তে উপনীত হয়েছেন যে, তাপশক্তিকে কখনই সম্পূর্ণভাবে কাজে রূপান্তরিত করা সম্ভব নয়। এ বক্তব্যই মূলত: তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রের ভিত্তি। পরবর্তীতে বিজ্ঞানী প্লাঙ্ক, ক্লসিয়াস, কেলভিন প্রমুখ কার্নোর উপরিউক্ত তথ্যের উপর বিভিন্ন পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেন এবং সকলেই পৃথক পৃথকভাবে কার্নোর এ পরীক্ষালব্ধ অভিজ্ঞতাকে সূত্রাকারে প্রকাশ করেন।

(ক) **কার্নোর বিবৃতি (Carnot's Statement):** কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপশক্তিকে সম্পূর্ণরূপে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তর করতে পারে, এমন কোনো যন্ত্র তৈরি সম্ভব নয়।

(খ) **প্লাঙ্কের বিবৃতি (Planck's Statement):** এমন কোনো ইঞ্জিন তৈরি করা সম্ভব নয়, যা কোনো তাপ উৎস হতে অনবরত তাপ শোষণ করে তা সম্পূর্ণরূপে কাজে রূপান্তরিত করবে।

(গ) **ক্লসিয়াসের বিবৃতি (Clausius's Statement):** বাইরের শক্তির সাহায্য ছাড়া কোনো স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রের পক্ষে নিম্ন তাপমাত্রার কোনো বস্তু হতে উচ্চ তাপমাত্রার কোনো বস্তুতে তাপের স্থানান্তর সম্ভব নয়।

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

দ্বিতীয় সূত্রের গুণগত ধারণা:

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র মূলত শক্তির নিত্যতার সূত্রেরই একটি বিশেষ রূপ। এ সূত্র থেকে আমরা জেনেছি যে, তাপ কাজে এবং কাজ তাপে রূপান্তরিত হতে পারে। তবে কোন দিকে তাপ প্রবাহিত হবে বা কাজ সম্পাদিত হবে তা প্রথম সূত্র থেকে জানা সম্ভব না। অন্যভাষায় তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে বলা যায়, একটা সিস্টেম যতটা তাপ হারাবে অপর সিস্টেম ঠিক সেই পরিমাণ তাপ গ্রহণ করবে। কিন্তু কোন সিস্টেম তাপ গ্রহণ করবে এবং কোন সিস্টেম তাপ হারাবে তা প্রথম সূত্র থেকে জানা যায় না। তাপের প্রবাহের দিক জানতে হলে সিস্টেম দুটির তাপমাত্রা জানা দরকার। তাপ সর্বদা উচ্চতর তাপমাত্রার বস্তু হতে নিম্নতর তাপমাত্রার বস্তুর দিকে প্রবাহিত হবে। এটাই প্রকৃতির স্বতঃস্ফূর্ত নিয়ম।

দুটি সিস্টেমের মধ্যে তাপশক্তি ততক্ষণই প্রবাহিত হবে যতক্ষণ পর্যন্ত সিস্টেম দুটির মধ্যে তাপমাত্রার পার্থক্য থাকবে। তাপশক্তি সবসময়ই উচ্চতর সিস্টেম থেকে শীতল সিস্টেমে স্বতঃস্ফূর্তভাবে প্রবাহিত হবে। সিস্টেম দুটির তাপমাত্রা এক হয়ে গেলে এদের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান বন্ধ হয়ে যাবে। এ অবস্থায় বলা যায় সিস্টেম দুটি তাপীয় সমতা বা

সাম্যাবস্থায় আছে। মূলত: শক্তির রূপান্তর কোন দিকে হবে বা আদৌ শক্তির রূপান্তর হবে কিনা তা থেকে তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রের উদ্ভব।

১০.৪.২: প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া
Reversible and Irreversible Process

কোনো সিস্টেম যখন এক অবস্থা থেকে অন্য অবস্থায় যায় বা পরিবর্তিত হয়, তখন অবস্থার এ পরিবর্তন দু'ভাবে সংঘটিত হতে পারে, যথা:
১। প্রত্যাবর্তী বা উভোমুখী প্রক্রিয়া (Reversible Process) এবং
২। অপ্রত্যাবর্তী বা একমুখী প্রক্রিয়া (Irreversible Process)

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

ধরি, কোনো একটি সিস্টেম এক পরিবেশে এক অবস্থা থেকে পরিবর্তিত হয়ে অন্য অবস্থায় যাওয়ার সময় সিস্টেমটি কিছু তাপ শোষণ করে এবং কিছু কাজ সম্পাদন করে। ধরি, এ প্রক্রিয়াটি সম্মুখবর্তী প্রক্রিয়া। সিস্টেমটি এখন যদি একই পরিবেশে বিপরীতমুখী প্রক্রিয়ার প্রাথমিক অবস্থায় ফিরে যাওয়ার সময় একই পরিমাণ তাপ হারায় এবং সিস্টেমটির ওপর বাহির হতে যদি একই পরিমাণ কাজ করা হয়, তাহলে এ সমগ্র প্রক্রিয়াটিকে প্রত্যাগামী প্রক্রিয়া হিসেবে ধরা যায়।

উদাহরণ-১: আমরা জানি, বরফ তাপ শোষণ করে পানিতে পরিণত হয়। এখন যদি সেই পানি থেকে সমপরিমাণ তাপ অপসারণ করে সমআয়তনের বরফ পাওয়া যায়, তবে এটি প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার একটি উদাহরণ।

উদাহরণ-২: স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে খুব ধীরে ধীরে কোনো স্প্রিংকে সম্প্রসারণ করতে প্রতি ধাপে স্প্রিং এর উপর যে পরিমাণ কাজ করা হবে, সংকোচনের সময় স্প্রিংটিও সেই একই পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করবে।

উদাহরণ-৩: অল্প উপর থেকে একটি স্থিতিস্থাপক বলকে একটি স্থিতিস্থাপক ইস্পাত পাতের উপর ফেলা হলে বলটি যদি প্রাথমিক উচ্চতা পর্যন্ত উপরে উঠে আসে তবে বোঝা যাবে যে, শক্তির কোনো অপচয় হয়নি। সুতরাং প্রক্রিয়াটি প্রত্যাবর্তী।

অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া: যে প্রক্রিয়া বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করতে পারে না অর্থাৎ সম্মুখবর্তী ও বিপরীতমুখী প্রতি স্তরে তাপ ও কাজের ফলাফল সমান ও বিপরীত হয় না তাকে অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া বলে।

প্রকৃতিতে যে সমস্ত পরিবর্তন বা রূপান্তর নিজ থেকেই ঘটে সেগুলোকে স্বতঃস্ফূর্ত পরিবর্তন বলে, যেমন- তাপ সবসময়ই উচ্চতর তাপমাত্রা থেকে নিম্নতর তাপমাত্রার দিকে প্রবাহিত হবে, বস্তু সবসময়ই উচু থেকে নিচুতে পড়তে থাকে। ঘটনা ঘটার পরবর্তীতে এর বিপরীত দিকে প্রত্যাবর্তন বা আদি অবস্থায় স্বাভাবিকভাবে ফিরে আসার কোনো সম্ভাবনা থাকে না। সুতরাং প্রাকৃতিক প্রক্রিয়া মাত্রই একমুখী এবং অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া।

উদাহরণ-১: দুটি বস্তুর মধ্যে ঘর্ষণের ফলে যে তাপ সৃষ্টি হয় তা একটি অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া। কারণ ঘর্ষণের বিরুদ্ধে যে কাজ হয় তাই তাপে রূপান্তরিত হয় এবং এ উৎপাদিত তাপকে কোনো প্রকারেই কাজে রূপান্তরিত করা যায় না।

উদাহরণ-২: তাপমাত্রার পার্থক্য আছে এমন দুটি বস্তুকে তাপীয় সংস্পর্শে রাখলে তাপ সবসময়ই অধিক তাপমাত্রার বস্তু হতে কম তাপমাত্রার বস্তুতে প্রবাহিত হবে। কিন্তু কখনোই কম তাপমাত্রার বস্তু হতে অধিক তাপমাত্রার বস্তুতে তাপ প্রবাহিত হবে না। সুতরাং এটি একটি অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া।

উদাহরণ-৩: বৈদ্যুতিক রোধের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করলে তাপের সৃষ্টি হয়। এটি একটি অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া।

প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার পার্থক্য

প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া	অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া
১। প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া অতি ধীর প্রক্রিয়া।	১। অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া একটি দ্রুত প্রক্রিয়া।
২। প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় সিস্টেম প্রাথমিক অবস্থায় ফিরে আসে	২। অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় সিস্টেম প্রাথমিক অবস্থায় ফিরে আসে না।
৩। প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্ত নয়।	৩। অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া একটি স্বতঃস্ফূর্ত এবং একমুখী প্রক্রিয়া
৪। প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের তাপগতীয় সাম্যাবস্থা বজায় থাকে।	৪। অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের তাপগতীয় সাম্যাবস্থা বজায় থাকে না।

সার-সংক্ষেপ :

- **তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র:**
- **কার্নোর বিবৃতি:** কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপশক্তিকে সম্পূর্ণরূপে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তর করতে পারে, এমন কোনো যন্ত্র তৈরী সম্ভব নয়।
- **প্লাঙ্কের বিবৃতি:** এমন কোনো ইঞ্জিন তৈরি করা সম্ভব নয়, যা কোনো তাপ উৎস হতে অনবরত তাপ শোষণ করে তা সম্পূর্ণরূপে কাজে রূপান্তরিত করবে।
- **ক্লসিয়াসের বিবৃতি:** বাইরের শক্তির সাহায্য ছাড়া কোনো স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রের পক্ষে নিম্ন তাপমাত্রার কোনো বস্তু হতে উচ্চ তাপমাত্রার কোনো বস্তুতে তাপের স্থানান্তর সম্ভব নয়।
- **কেলভিনের বিবৃতি:** কোনো বস্তুকে তার পরিপার্শ্বের শীতলতম অংশ হতে অধিকতর শীতল করে শক্তির অবিরাম সরবরাহ পাওয়া সম্ভব নয়।
- **প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া:** যে প্রক্রিয়া বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করে এবং সম্মুখবর্তী ও বিপরীতমুখী প্রক্রিয়ার প্রতি স্তরে তাপ ও কাজের ফলাফল সমান ও বিপরীত হয়। সে প্রক্রিয়াকে প্রত্যাবর্তী বা প্রত্যাগামী প্রক্রিয়া বলে।
- **অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া:** যে প্রক্রিয়া বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করতে পারে না অর্থাৎ সম্মুখবর্তী ও বিপরীতমুখী প্রতি স্তরে তাপ ও কাজের ফলাফল সমান ও বিপরীত হয় না তাকে অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১০.৪

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন

১। তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রের গাণিতিক রূপ-

(ক) $dQ = \frac{ds}{T}$ (খ) $ds = \frac{dQ}{T}$

(গ) $dw = \frac{dQ}{T}$ (ঘ) $n = \frac{w}{Q}$

২। প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার বৈশিষ্ট্য হলো–

(i) এই প্রক্রিয়ায় সিষ্টেমের পরিবর্তন অত্যন্ত ধীরে ধীরে সংঘটিত হয়।

(ii) সিষ্টেমের তাপীয় সাম্যাবস্থা বজায় থাকে

(iii) প্রকৃতিতে সব প্রক্রিয়া প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) i ও iii

(গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

৩। অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার বৈশিষ্ট্য হলো–

(i) এটি একটি দ্রুত প্রক্রিয়া

(ii) এটি স্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়া

(iii) তাপগতীয় সাম্যাবস্থা বজায় থাকে না

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i (খ) i ও ii

(গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

৪। আমাদের হাতের দুটি তালু পরস্পরের সাথে ঘর্ষণের ফলে তাপ উৎপন্ন হয়, এটি কোন ধরণের প্রক্রিয়া?

(ক) সমোষ্ণ প্রক্রিয়া (খ) প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া

(গ) রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া (ঘ) অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া

৫। বরফ তাপ শোষণ করে পানিতে পরিণত হয়। আবার সেই পানি থেকে সমপরিমাণ তাপ অপসারণ করলে তা পুনরায় বরফে পরিণত হয়। এটি কোন ধরণের প্রক্রিয়া?

(ক) শীতলীকরণ প্রক্রিয়া (খ) রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া

(গ) প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া (ঘ) অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া

পাঠ-১০.৫ কার্নোর ইঞ্জিন ও কার্নোর চক্র
Carnot's Engine and Carnot's Cycle

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

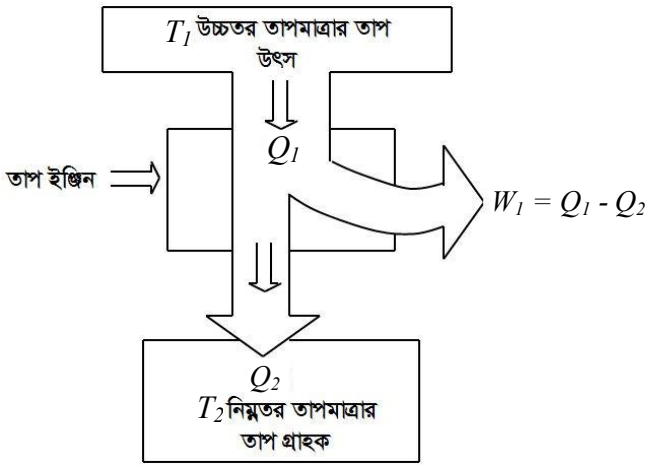
- তাপীয় ইঞ্জিনের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- কার্নোর ইঞ্জিন বর্ণনা করতে পারবেন।
- কার্নো চক্রের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

১০.৫.১: তাপীয় ইঞ্জিন
Heat Engine

তাপশক্তিকে কাজে পরিণত করার জন্য একটি যন্ত্রের বা যান্ত্রিক ব্যবস্থার প্রয়োজন হয়। এ যন্ত্র বা যান্ত্রিক ব্যবস্থাকে তাপীয় ইঞ্জিন বা তাপ ইঞ্জিন বলে।

সংজ্ঞা: যে যন্ত্র দ্বারা তাপশক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তর করা যায় তাকে তাপীয় ইঞ্জিন বলে। যেমন বাষ্পীয় ইঞ্জিন, পেট্রোল ইঞ্জিন, ডিজেল ইঞ্জিন ইত্যাদি।

মূলনীতি: তাপ ইঞ্জিনে তাপ উৎস এবং তাপগ্রাহক থাকে। ইঞ্জিন কোনো উৎস থেকে তাপ গ্রহণ করে তার খানিকটা কাজে রূপান্তরিত করে। তাপের যে অংশ কাজে রূপান্তরিত হয় না তা পরিবেশে বিলিয়ে দেবে এবং পুনরায় তাপ উৎস থেকে তাপ গ্রহণ করবে। উৎসের তাপমাত্রা যে পরিবেশ বা সিস্টেমে তাপ গ্রহণ করবে তার তাপমাত্রার চেয়ে বেশি হবে। অর্থাৎ ইঞ্জিন উচ্চতর তাপমাত্রার তাপ উৎস থেকে তাপ গ্রহণ করে তার খানিকটা কাজে রূপান্তরিত করে এবং বাকি অংশ নিম্নতর তাপমাত্রার তাপগ্রাহক বা শীতল বস্তুতে ছেড়ে দিয়ে ইঞ্জিনটি আদি অবস্থায় ফিরে আসে। ইঞ্জিনটি এভাবে একটি চক্র সম্পন্ন করে। ইঞ্জিন থেকে অবিরাম কাজ পাওয়ার জন্য চক্র পরিবর্তন করা প্রয়োজন। ধরি, কোনো কার্যনির্বাহী বস্তু (যেমন- পিস্টন লাগানো সিলিন্ডারে রাখা গ্যাস) T_1 উচ্চতর তাপমাত্রার উৎস (চিত্র ১০.২) Q_1 থেকে তাপ শোষণ করে। এখন এই ইঞ্জিন থেকে কাজ পেতে হলে অর্থাৎ এই ইঞ্জিন দ্বারা তাপশক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করতে হলে ইঞ্জিনে সংরক্ষিত কার্যরত পদার্থ (Working substance) (প্রত্যেক ইঞ্জিনেই একটি কার্যরত পদার্থ থাকে যেমন বাষ্প ইঞ্জিনে বাষ্প কার্যরত পদার্থ, পেট্রোল ইঞ্জিনে পেট্রোল কার্যরত বস্তু) উচ্চ তাপমাত্রার উৎস হতে তাপ গ্রহণ করে ঐ তাপের কিছু অংশ কার্যে পরিণত করে এবং বাকি অংশ T_2 নিম্নতাপমাত্রার তাপগ্রাহকে (চিত্র ১০.২) বর্জন করে শীতল হয় যাতে পুনরায় উৎস থেকে তাপ গ্রহণ করতে পারে। এখন T_2 নিম্নতর তাপমাত্রার তাপ গ্রাহকে বর্জিত তাপের পরিমাণ Q_2 হলে, ইঞ্জিন দ্বারা কাজে রূপান্তরিত তাপশক্তির পরিমাণ $W=Q_1 - Q_2$।



চিত্র: ১০.২

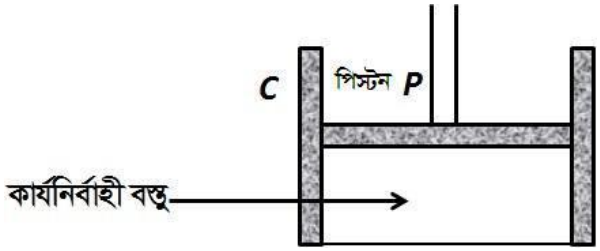
১০.৫.২: কার্নো ইঞ্জিন
Carnot's Enging

তাপ ইঞ্জিনের সাহায্যে তাপকে কাজে রূপান্তরিত করা হয়। প্রকৃতপক্ষে ব্যবহৃত কোনো ইঞ্জিনই তাপকে সম্পূর্ণরূপে কাজে রূপান্তরিত করতে পারে না। বাস্তবক্ষেত্রে দেখা যায় যে, ইঞ্জিনটি শোষিত তাপশক্তির শতকরা 25 ভাগ মাত্র কাজে রূপান্তরিত করতে পেরেছে। ফরাসি বিজ্ঞানী সাদি কার্নো (1832) সকল দোষ ত্রুটি মুক্ত একটি ইঞ্জিনের পরিকল্পনা করেন যা কার্নো ইঞ্জিন নামে পরিচিত।

সংজ্ঞা: তাপশক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত করার জন্য সাদী কার্নো সকল দোষ-ত্রুটি মুক্ত যে আদর্শ যন্ত্রের পরিকল্পনা করেন তাকে কার্নো ইঞ্জিন বলে।

কার্নো ইঞ্জিনের বিভিন্ন অংশ ১০.৩ চিত্রে দেখানো হয়েছে।

১। সিলিন্ডার: ১০.৩(ক) চিত্রে একটি সিলিন্ডার C দেখানো হয়েছে যার দেয়াল তাপ অন্তরক পদার্থ দ্বারা তৈরি। সিলিন্ডার C-এর তলদেশ তাপ পরিবাহী পদার্থ দ্বারা তৈরি। পিস্টন P তাপ অন্তরক পদার্থ দিয়ে তৈরি এবং এটি সিলিন্ডারটির ভেতর ঘর্ষণহীনভাবে চলাচল করতে পারে। সিলিন্ডারের ভেতর কার্যনির্বাহী বস্তু হিসেবে আদর্শ গ্যাস সংরক্ষণ করা যায়।



চিত্র: ১০.৩ (ক)

২। তাপ উৎস: একটি উত্তপ্ত বস্তু যার তাপমাত্রা T_1 এবং যা উচ্চ তাপ ধারণ ক্ষমতা সম্পন্ন। এটি তাপের উৎস হিসেবে কাজ করে। এর তাপমাত্রা সর্বদা স্থির থাকে, তাপের আদান-প্রদানে কখনো পরিবর্তন হয় না।

৩। তাপ গ্রাহক: একটি শীতল বস্তু যার তাপমাত্রা T_2 এবং যা উচ্চ তাপ ধারণ ক্ষমতা সম্পন্ন। এর তাপমাত্রাও সর্বদা স্থির থাকে, তাপের আদান-প্রদান কখনো কোনো পরিবর্তন হয় না।

চিত্র: ১০.৩ (খ)

৪। তাপ অন্তরক আসন: তাপ অন্তরক পদার্থের তৈরি একটি আসন যার উপর সিলিন্ডারটি বসানো থাকে।

১০.৫.৩: কার্নোর চক্র
Carnot's Cycle

যে বিশেষ প্রক্রিয়ায় কাজ করে একটি আদর্শ তাপ ইঞ্জিন বা কার্নো ইঞ্জিন অবিরাম শক্তি সরবরাহ করে আদি অবস্থায় ফিরে আসতে পারে তাকে কার্নো চক্র বলে। কার্নোর ইঞ্জিন একটি ধারণা মাত্র, বাস্তবে এর রূপায়ন সম্ভব নয়। কার্নোর চক্র মূলত চারটি স্তরে কাজ সম্পন্ন করে।

কার্নো চক্রের মূলনীতি: কার্নো চক্রে প্রত্যাগামী প্রক্রিয়ার মাধ্যমে কার্যনির্বাহী বস্তু উৎস থেকে তাপ গ্রহণ করে একটি নির্দিষ্ট চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রা হতে আরম্ভ করে একটি সমোষ্ণ প্রসারণ ও একটি রুদ্ধতাপীয় প্রসারণ এবং একটি সমোষ্ণ

সঙ্কোচন ও একটি রুদ্ধতাপীয় সঙ্কোচনের মাধ্যমে তাপের কিছু অংশ কাজে রূপান্তরিত করে এবং বাকি অংশ তাপ গ্রাহকে বর্জন করে আদি অবস্থায় ফিরে আসে।

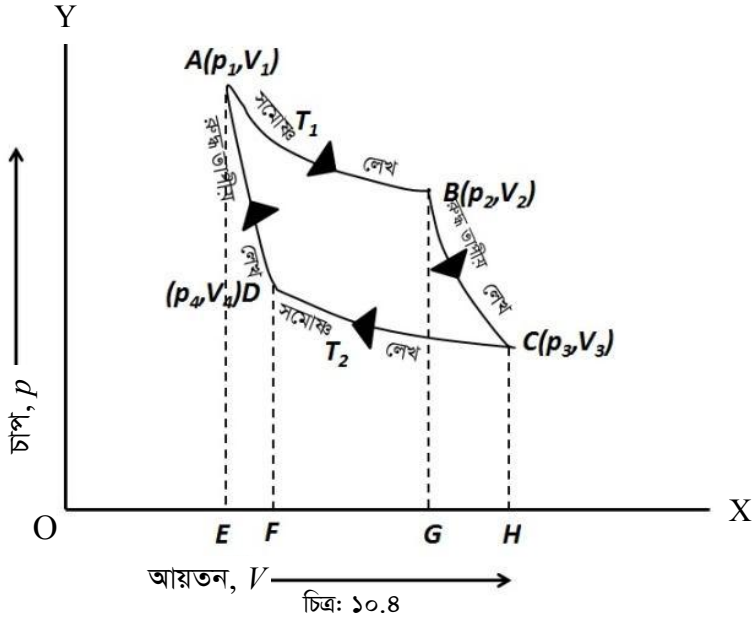
যে **চারটি** পর্যায়ের মধ্য দিয়ে কার্নো চক্রে কার্যনির্বাহী বস্তু অর্থাৎ আদর্শ গ্যাসকে অতিক্রম করানো হয়, তার বর্ণনা নিচে দেয়া হলো:

প্রথম পর্যায়: প্রথম পর্যায়ে সিলিন্ডার C-কে তাপ উৎসের ওপর বসানো হয়। খুব অল্প সময়ের মধ্যে সিলিন্ডারে আবদ্ধ কার্যকরী পদার্থের (গ্যাস) তাপমাত্রা T_1 এর সমান হয়। ১০.৪ চিত্রে A বিন্দু এ অবস্থা নির্দেশ করে। ধরা যাক, এ অবস্থায় গ্যাসের চাপ এবং আয়তন যথাক্রমে p_1 এবং V_1। এরপর গ্যাসকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় প্রসারিত হতে দিলে প্রক্রিয়া শেষে এর চাপ এবং আয়তন যথাক্রমে p_2 ও V_2। ১০.৪ চিত্রে B বিন্দু দ্বারা এ অবস্থা নির্দেশ করা হয়েছে। প্রসারণের সময় উৎস হতে Q_1 পরিমাণ তাপ গ্রহণ করে। ১০.৪ চিত্রে AB রেখা দ্বারা সমোষ্ণ প্রসারণ দেখানো হয়েছে এবং এ প্রসারণের জন্য কৃত কাজ,

W_1=ABGE ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল

দ্বিতীয় পর্যায়: দ্বিতীয় পর্যায়ে সিলিন্ডার C-কে তাপ অন্তরক আসনের ওপর বসানো হয় এবং আদর্শ গ্যাসকে রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় প্রসারিত হতে দেয়া হয়। রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় আবদ্ধ গ্যাসের তাপমাত্রা কমে তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা T_2-এর সমান হয়। প্রক্রিয়া শেষে গ্যাসের চাপ ও আয়তন যথাক্রমে p_3 ও V_3 হয় যা ১০.৪ চিত্রের C বিন্দু নির্দেশ করে। ১০.৪ চিত্রে BC রেখা দ্বারা গ্যাসের রুদ্ধতাপীয় প্রসারণ দেখানো হয়েছে এবং এই প্রসারনের জন্য কৃত কাজ,

W_2=BCHG ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল



চিত্র: ১০.৪

তৃতীয় পর্যায়: তৃতীয় পর্যায়ে সিলিন্ডার C-কে তাপগ্রাহকের ওপর বসানো হয় এবং গ্যাসকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় পিস্টন দ্বারা সংকুচিত করা হয়। ফলে আবদ্ধ গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি পায়। এ পর্যায়ে পিস্টন দ্বারা গ্যাসে কাজ সম্পাদিত হয়। ফলে গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায়। আবদ্ধ গ্যাস এই বৃদ্ধি প্রাপ্ত অভ্যন্তরীণ শক্তি Q_2 তাপরূপে তাপ গ্রাহকে বর্জন করে তাপমাত্রা তাপগ্রাহকের সমান অর্থাৎ T_2 হয়। এ অবস্থায় গ্যাসের চাপ ও আয়তন যথাক্রমে p_4 এবং V_4 হয় যা ১০.৪ চিত্রের D বিন্দু নির্দেশ করে। ১০.৪ চিত্রে CD রেখা সমোষ্ণ সঙ্কোচন নির্দেশ করে এবং এই সঙ্কোচনের জন্য কৃত কাজ,

W_3=CDFH ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল

চতুর্থ পর্যায়: চতুর্থ পর্যায়ে সিলিন্ডার C-কে পুনরায় তাপ অন্তরক আসনের ওপর বসানো হয় এবং গ্যাসকে রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় সংকুচিত করা হয়। ফলে এর আয়তন হ্রাস পায়। আবদ্ধ গ্যাসের ওপর কাজ সম্পাদিত হওয়ায় এর তাপমাত্রা বেড়ে উৎসের তাপমাত্রা T_1 এর সমান হয়। এ প্রক্রিয়ায় গ্যাসের চাপ ও আয়তন পুনরায় যথাক্রমে p_1 ও V_1 যা ১০.৪ চিত্রের A বিন্দু নির্দেশ করে অর্থাৎ আদর্শ গ্যাস আদি অবস্থায় ফিরে আসে। ১০.৪ চিত্রে DA রেখা দ্বারা আবদ্ধ গ্যাসের রুদ্ধতাপীয় সঙ্কোচন দেখানো হয়েছে এবং এর ফলে কৃত কাজ,

W_4=DAEF ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল

পূর্ণচক্রে কৃত কাজ:

কার্নোচক্রে W_1 ও W_2 আবদ্ধ গ্যাস দ্বারা কৃতকাজ বলে ধনাত্মক হবে এবং W_3 ও W_4 আবদ্ধ গ্যাসের ওপর কৃতকাজ বলে ঋণাত্মক হবে। ফলে আবদ্ধ গ্যাসের দ্বারা মোট কৃতকাজ।

$W=W_1+W_2-W_3-W_4$

=ABCD ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল

উপরোক্ত সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে, কার্নো চক্রে কার্যকরী পদার্থ (গ্যাস) কর্তৃক সম্পাদিত মোট কাজ নির্দেশক চিত্রে দুটি সমোষ্ণ রেখা ও দুটি রুদ্ধতাপীয় রেখা দ্বারা আবদ্ধ ক্ষেত্রফলের সমান।

সার-সংক্ষেপ :

- **তাপ ইঞ্জিন:** তাপশক্তিকে কাজে পরিণত করার জন্য একটি যন্ত্রের বা যান্ত্রিক ব্যবস্থার প্রয়োজন হয়। এ যন্ত্র বা যান্ত্রিক ব্যবস্থাকে তাপীয় ইঞ্জিন বা তাপ ইঞ্জিন বলে।
- **কার্নোর চক্র:** যে বিশেষ প্রক্রিয়ায় কাজ করে একটি আদর্শ তাপ ইঞ্জিন বা কার্নো ইঞ্জিন অবিরাম শক্তি সরবরাহ করে আদি অবস্থায় ফিরে আসতে পারে তাকে কার্নো চক্র বলে। কার্নো চক্রে প্রত্যাগামী প্রক্রিয়ার মাধ্যমে কার্যনির্বাহী বস্তু উৎস থেকে তাপ গ্রহণ করে একটি নির্দিষ্ট চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রা হতে আরম্ভ করে একটি সমোষ্ণ প্রসারণ ও একটি রুদ্ধতাপীয় প্রসারণ এবং একটি সমোষ্ণ সঙ্কোচন ও একটি রুদ্ধতাপীয় সঙ্কোচনের মাধ্যমে তাপের কিছু অংশ কাজে রূপান্তরিত করে এবং বাকি অংশ তাপ গ্রাহকে বর্জন করে আদি অবস্থায় ফিরে আসে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১০.৫

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন ।

১। যে বিশেষ প্রক্রিয়ায় কাজ করলে একটি কার্ণো ইঞ্জিন অবিরাম শক্তি সরবরাহ করতে পারে তাকে কী বলে?

(ক) কার্ণো চক্র (খ) ইঞ্জিন চক্র

(গ) কার্বন চক্র (ঘ) তাপ চক্র

২। তাপ ইঞ্জিন হচ্ছে যা-

(ক) যান্ত্রিক শক্তিকে তাপশক্তিতে রুপান্তরিত করে।

(খ) তাপশক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রুপান্তরিত করে।

(গ) রাসায়নিক শক্তিকে বিদ্যুৎশক্তিতে রুপান্তরিত করে।

(ঘ) বিদ্যুৎ শক্তিকে যান্ত্রিক শক্তিতে রুপান্তরিত করে।

পাঠ-১০.৬ ইঞ্জিনের দক্ষতা, এনট্রপি এবং বিশৃঙ্খলা
Efficiency of Engine, Entropy and Disorderliness

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- ইঞ্জিনের দক্ষতা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- এনট্রপি ও বিশৃঙ্খলা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

১০.৬.১: ইঞ্জিনের দক্ষতা
Efficiency of Engine

ইঞ্জিনের দক্ষতা বলতে আমরা বুঝি, একটি ইঞ্জিন তাতে প্রদত্ত বা শোষিত তাপশক্তির কত অংশ কাজে রূপান্তরিত করতে পারে।

সংজ্ঞা: কোনো তাপ ইঞ্জিন দ্বারা কাজে রূপান্তরিত তাপশক্তির পরিমাণ এবং ইঞ্জিন দ্বারা শোষিত মোট তাপশক্তির পরিমাণের অনুপাতকে ইঞ্জিনের দক্ষতা বলে।

সুতরাং ইঞ্জিনের দক্ষতা, $\eta = \dfrac{\text{ইঞ্জিন দ্বারা কাজে রূপান্তরিত তাপশক্তি}}{\text{ইঞ্জিন দ্বারা শোষিত তাপশক্তি}}$

তাপ ইঞ্জিনের কার্যরত পদার্থ যদি T_1 তাপমাত্রার উৎস হতে Q_1 পরিমাণ তাপ গ্রহণ করে W পরিমাণ কাজ সম্পাদন করে এবং অবশিষ্ট তাপ Q_2, T_2 তাপমাত্রার তাপ গ্রাহকে বর্জন করে, তাহলে কার্যে পরিণত তাপের পরিমাণ,

$W = Q_1 - Q_2$

$\therefore$ইঞ্জিনের তাপীয় দক্ষতা, $\eta = \dfrac{\text{কার্যে পরিণত তাপ}}{\text{উৎস হতে গৃহীত তাপ}}$

$$= \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad \text{.... ....(১০.১৭)}$$

তাপ ইঞ্জিনের বেলায় ইঞ্জিন দ্বারা শোষিত বা বর্জিত তাপ Q_1 ইঞ্জিনের সংস্পর্শে থাকা তাপ উৎস বা তাপাধারের তাপমাত্রা T এর সমানুপাতিক অর্থাৎ $\dfrac{Q}{T}$ ধ্রুব সংখ্যা। কাজেই তাপ ইঞ্জিনের একটি পূর্ণচক্রের জন্য আমরা পাই,

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \text{ .... (১০.১৮)}$$

বা, $\dfrac{Q_2}{Q_1} = \dfrac{T_2}{T_1}$

সুতরাং (১০.১৭) সমীকরণ থেকে কার্নো ইঞ্জিনের দক্ষতা পাওয়া যাবে,

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

বা, $\eta = \dfrac{T_1 - T_2}{T_1}$ .... (১০.১৯)

দক্ষতাকে সাধারণত শতকরা হিসাবে প্রকাশ করা হয়।

$$\therefore \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\% \text{ ....(১০.২০)}$$

তাপীয় ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতার সমীকরণ (১০.২০) হতে দেখা যায় যে, ইঞ্জিনের দক্ষতা শুধুমাত্র তাপ উৎস এবং তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা T_1 ও T_2 এর ওপর নির্ভর করে, কার্যনির্বাহী বস্তুর প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে না। আবার যেকোনো দুইটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার মধ্যে কার্যরত সকল প্রত্যাবর্তী ইঞ্জিনের দক্ষতা সমান হয়।

(১০.২০) সমীকরণের কারণ $T_1 > (T_1 - T_2)$ ইঞ্জিনের দক্ষতা কখনোই 100% হতে পারে না। তাপ উৎস এবং তাপগ্রাহকের মধ্যবর্তী তাপমাত্রার পার্থক্য যত বেশি হবে ইঞ্জিনের দক্ষতাও তত বৃদ্ধি পাবে।

১০.৬.২: এনট্রপি ও বিশৃঙ্খলা
Entropy and Disorderliness

সাধারণভাবে এনট্রপিকে সংজ্ঞায়িত করা সহজ নয়। চলুন এখন আমরা একটি শ্রেণীকক্ষের উদাহরণের মাধ্যমে এনট্রপিকে বোঝার চেষ্টা করব।

ধরি, একটি শ্রেণিকক্ষে একজন শিক্ষক পড়াচ্ছেন। কিন্তু তিনি কোনো ভাবেই ছাত্রদের মনোযোগ আকর্ষণ করতে পারছেন না। দুজন ছাত্র গল্প করছে। তাদের পাশে বসা ছাত্রটি খেলছে। অন্য একজন ছাত্র জানালা দিয়ে বাইরে তাকিয়ে আছে। এ ঘটনা চলতে থাকলে শ্রেণীকক্ষের পড়ার পরিবেশ নষ্ট হবে এবং শিক্ষকও ছাত্রদের মনোযোগ দিয়ে পড়াতে পারবেন না। ফলে শ্রেণীকক্ষে বিশৃঙ্খলার সৃষ্টি হবে। বিশৃঙ্খলা যত বৃদ্ধি পাবে, এনট্রপি তত বৃদ্ধি পাবে।

সংজ্ঞা: কোনো সিষ্টেমের বিশৃঙ্খলা সূচক পরিমাপকে এন্ট্রপি বলে।

আমরা জানি, কোনো গ্যাসকে রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় সঙ্কুচিত করার সময় কিছু কাজ করা হয়। ফলে গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। আবার রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় গ্যাসকে প্রসারিত হতে দিলে গ্যাসকে কিছু কাজ করতে হয়। অন্তর্নিহিত শক্তির দ্বারা গ্যাস এই কাজ করে। ফলে গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি ও তাপমাত্রা উভয়েই হ্রাস পায়। বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র নিয়ে পরীক্ষা-নিরীক্ষার সময় উপলব্ধি করেন যে, সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় যেমন তাপমাত্রা স্থির থাকে, রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়াও তেমনি কোনো একটি রাশি স্থির থাকে। ক্লসিয়াস এই রাশিটির নাম দেন এনট্রপি।

কোনো বস্তুর এনট্রপির মান আজো জানা সম্ভব হয়নি। তবে কোনো বস্তু যদি তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে, তাহলে বস্তুর এনট্রপির পরিবর্তন হয়। কোনো বস্তুর তাপমাত্রার সাপেক্ষে গৃহীত বা বর্জিত তাপ পরিবর্তনের হার দ্বারা এনট্রপির পরিবর্তন পরিমাপ করা হয়।

যদি কোনো সিস্টেমের T তাপমাত্রায় dQ পরিমাণ তাপ গ্রহণ বা বর্জন করার ফলে এনট্রপির পরিবর্তন ds হয়, তাহলে

$$ds = \frac{dQ}{T} \text{ ... .(১০.২১)}$$

রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় যেহেতু কার্যনিবাহী বস্তুর সাথে বাহিরের তাপের কোনো আদান প্রদান হয় না, কাজেই $dQ = 0$

সুতরাং, সমীকরণ (১০.২১) থেকে দেখা যায় এনট্রপির পরিবর্তন, $ds = \frac{dQ}{T} = 0$.... ....(১০.২২)

অর্থাৎ রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় এনট্রপির কোনো পরিবর্তন হয় না। সুতরাং এনট্রপির সংজ্ঞা নিম্নরূপে দেয়া যায়-

রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় বস্তুর যে তাপীয় ধর্ম স্থির থাকে, তাকে এনট্রপি বলে। অন্যভাবে বলা হয়, এনট্রপি হলো বস্তুর এমন একটি ভৌত ধর্ম যা রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় স্থির থাকে। এনট্রপিকে s দ্বারা সূচিত করা হয়।

গাণিতিক উদাহরণঃ ১০.৭ঃ একটি কার্নো ইঞ্জিন 227°C এবং 27°C তাপমাত্রায় কাজ করছে। এর কর্মদক্ষতা নির্ণয় করুন।

সমাধানঃ আমরা জানি,

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$= \left(1 - \frac{300}{500}\right) = 0.40 = 40\%$$

উত্তরঃ 40%

এখানে,
উচ্চ তাপমাত্রা, T_1=27°C
=(227+273) K
=500K
নিম্ন তাপমাত্রা, T_2=27°C
=(27+273) K
=300K
দক্ষতা, η=?

গাণিতিক উদাহরণঃ ১০.৮ঃ একটি তাপীয় ইঞ্জিনের কার্যকরী বস্তু প্রতিবার উৎস হতে যে পরিমাণ তাপ গ্রহণ করে, কাজ সম্পন্ন করার পর তার 60% তাপ বর্জন করে। ইঞ্জিনটির কর্মদক্ষতা নির্ণয় করুন।

সমাধানঃ ধরি, গৃহীত তাপ, Q_1

এখন, প্রশ্নানুসারে বর্জিত তাপ, $Q_2 = \frac{600}{100} Q_1 = 0.6Q_1$

আমরা জানি, দক্ষতা, $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\%$

$$= \frac{Q_1 - 0.6Q_1}{Q_1} \times 100\%$$

$$= \frac{0.4Q_1}{Q_1} \times 100\%$$

$$= 40\%$$

উত্তরঃ 40%

গাণিতিক উদাহরণঃ ১০.৯ঃ 27°C এবং 150°C তাপমাত্রাদ্বয়ের মধ্যে কার্যরত একটি কার্নো ইঞ্জিনে 3.8×10^4J তাপশক্তি সরবরাহ করা হলো। (ক) ইঞ্জিনটির কর্মদক্ষতা নির্ণয় করুন। (খ) ইঞ্জিনটি কতটুকু তাপশক্তিকে কাজে রূপান্তরিত করতে পারবে নির্ণয় করুন।

সমাধানঃ আমরা জানি,

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$= \frac{423 - 300}{423} = \frac{123}{423}$$

$$= 0.30 = 30\%$$

আবার, $\eta = \frac{W}{Q_1}$

$$W = \eta Q_1$$

$$= 0.30 \times 3.8 \times 10^4$$

এখানে,
উচ্চ তাপমাত্রা, T_1=150°C
=(150+273) K
=423K
নিম্ন তাপমাত্রা, T_1=27°C
= (27+273) K
=300 K
প্রদত্ত তাপ, Q_1=3.8×10^4 J
ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা, η = ?
রূপান্তরিত কাজ, W=?

$= 11400\ \text{J}$

উত্তরঃ 30%; 11400 J

গাণিতিক উদাহরণঃ ১০.১০ঃ একটি কার্নো ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা 60%, এর তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা 17°C। এর উৎসের তাপমাত্রা নির্ণয় করুন।

সমাধানঃ আমরা জানি,

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$\frac{6}{10} = \frac{T_1 - 290}{T_1}$$

$$6T_1 = 10T_1 - 2900$$

$$4T_1 = 2900$$

$$\therefore T_1 = \frac{2900}{4} = 725 = 452^\circ\text{C}$$

এখানে,

ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা, $\eta = 60\% = \frac{60}{100} = \frac{6}{10}$

তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা,

$T_2 = 17^\circ C = (17 + 273)\,\text{K} = 290\,\text{K}$

উৎস তাপমাত্রা, $T_1 = ?$

উত্তরঃ 452°C

গাণিতিক উদাহরণঃ ১০.১১ঃ 0°C তাপমাত্রার 3 kg বরফকে 0°C তাপমাত্রার পানিতে পরিণত করলে এনট্রপির পরিবর্তন কত হবে নির্ণয় করুন। বরফ গলনের আপেক্ষিক সুপ্ততাপ $3.36\times10^5\ \text{Jkg}^{-1}$।

সমাধানঃ আমরা জানি,

$$ds = \frac{dQ}{T} = \frac{ml_f}{T}$$

$$= \frac{10.08\times10^5}{273}$$

$$= 3692.3\ \text{JK}^{-1}$$

এখানে,

বরফের ভর, $m = 3$ kg

বরফ গলনের আপেক্ষিক সুপ্ততাপ, $l_f = 3.36\times10^5\ \text{Jkg}^{-1}$

গৃহীত তাপ, $dQ = m\,l_f = 3\ \text{kg} \times 3.36\times10^5\ \text{Jkg}^{-1}$

$= 10.08\times10^5\ \text{J}$

তাপমাত্রা, $T = (0 + 273)\ \text{K} = 273\ \text{K}$

এনট্রপির পরিবর্তন, $ds = ?$

উত্তরঃ $3692.3\ \text{JK}^{-1}$

সার-সংক্ষেপ :

- **ইঞ্জিনের দক্ষতাঃ** কোনো তাপ ইঞ্জিন দ্বারা কাজে রূপান্তরিত তাপশক্তির পরিমাণ এবং ইঞ্জিন দ্বারা শোষিত মোট তাপশক্তির পরিমাণের অনুপাতকে ইঞ্জিনের দক্ষতা বলে।

ইঞ্জিনের দক্ষতা, $\eta = \dfrac{\text{ইঞ্জিন দ্বারা কাজে রূপান্তরিত তাপশক্তি}}{\text{ইঞ্জিন দ্বারা শোষিত তাপশক্তি}}$

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

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১০.৬

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় যে ভৌত রাশিটি স্থির থাকে, সেটি কী?
(ক) এনট্রপি (খ) তাপমাত্রা (গ) চাপ (ঘ) আয়তন

২। উৎসের তাপমাত্রা T_1 এবং তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা T_2 হলে তাপীয় ইঞ্জিনের তাপীয় দক্ষতা নিচের কোনটি?
(ক) $\eta = 1+\frac{T_1}{T_2}$ (খ) $\eta = 1-\frac{T_2}{T_1}$ (গ) $\eta = 1-\frac{T_1}{T_2}$ (ঘ) $\eta = 1+\frac{T_2}{T_1}$

৩। একটি ইঞ্জিন 4500 J তাপ গ্রহণ করে এবং 2500 J তাপ বর্জন করে। ইঞ্জিনটি দ্বারা কৃত কাজের পরিমাণ কত?
(ক) 1000 J (খ) 2000 J (গ) 7000 J (ঘ) 1.8 J

চূড়ান্ত মূল্যায়ন

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

ক. সাধারণ বহু নির্বাচনী প্রশ্নঃ সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। তাপমাত্রা পরিমাপের এস আই একক কোনটি?
(ক) সেলসিয়াস (খ) রোমার (গ) কেলভিন (ঘ) ফারেনহাইট

২। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রটি নিচের কোন দুটির মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করবে?
(ক) বল ও শক্তি (খ) কাজ ও ক্ষমতা
(গ) তাপ ও কাজ (ঘ) তাপ ও তাপমাত্রা

৩। যদি কোনো তাপ ইঞ্জিন থেকে তাপ বর্জিত না হয়, তবে ইঞ্জিনের দক্ষতা কত হবে?
(ক) 0 % (খ) 1 % (গ) 50 % (ঘ) 100 %

৪। গ্যাস কর্তৃক কৃত কাজ সম্পন্ন হলে নিচের কোনটি প্রযোজ্য হবে?
(ক) আয়তন বৃদ্ধি পায় (খ) আয়তন হ্রাস পায়
(গ) ভর বৃদ্ধি পায় (ঘ) ভর হ্রাস পায়

৫। কার্ণো চক্রের প্রথম ধাপের ক্ষেত্রে নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায় (খ) তাপমাত্রা স্থির থাকে
(গ) অন্তঃস্থ শক্তি হ্রাস পায় (ঘ) তাপ বর্জিত হয়

৬। তিনটি বস্তু তাপীয় সাম্যাবস্থায় থাকলে তাদের নিচের কোন রাশিটি একই হবে?
(ক) ভর (খ) অন্তঃস্থ শক্তি (গ) বিভব শক্তি (ঘ) তাপমাত্রা

৭। তাপগতিবিদ্যার কোন সূত্রকে ভিত্তি করে থার্মোমিটার তৈরী করা হয়?
(ক) শূন্যতম (খ) প্রথম (গ) দ্বিতীয় (ঘ) তৃতীয়

৮। এনট্রপি সবচেয়ে কম থাকে কোন অবস্থায়?
(ক) তরল (খ) প্লাজমা (গ) গ্যাসীয় (ঘ) কঠিন

খ. বহুপদী সমাপ্তিসূচক বহু নির্বাচনী প্রশ্নঃ

১। একটি পদার্থের উষ্ণতামিতিক ধর্ম–
(i) চাপের সমানুপাতিক
(ii) আয়তনের সমানুপাতিক
(iii) তাপমাত্রার সমানুপাতিক
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i (খ) ii (গ) iii (ঘ) i ও iii

২। তাপীয় চলক হলো–
(i) চাপ
(ii) আয়তন
(iii) অন্তস্থ শক্তি
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

গ. অভিন্ন তথ্য ভিত্তিক বহু নির্বাচনী প্রশ্নঃ

নিচের উদ্দীপকের আলোকে ১নং ও ২নং প্রশ্নের উত্তর দিন।

একটি তাপইঞ্জিন 327°C তাপমাত্রায় 500J তাপ গ্রহণ করে এবং 27°C তাপমাত্রায় তাপ বর্জন করে। কিছু সময় পর তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা 177°C -এ উন্নীত হয়।

১। ইঞ্জিন কর্তৃক সম্পাদিক কাজের পরিমাণ কত?
(ক) 1500 J (খ) 1000 J
(গ) 500 J (ঘ) 250 J

২। দুই অবস্থায় ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতার অনুপাত কত?
(ক) 3:4 (খ) 1:1
(গ) 2:3 (ঘ) 2:1

নিচের উদ্দীপকের আলোকে ৩নং ও ৪নং প্রশ্নের উত্তর দিন।

একটি কার্ণো ইঞ্জিন 600 K তাপমাত্রার তাপ উৎস থেকে 200J তাপ গ্রহণ করে এবং তাপগ্রাহকে 300J তাপ বর্জন করে।

৩। তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা কত?
(ক) 150 K (খ) 300 K
(গ) 600 K (ঘ) 2400 K

৪। ইঞ্জিনের দক্ষতা কত?
(ক) 44 % (খ) 50 %
(গ) 60 % (ঘ) 75 %

ঘ. সৃজনশীল প্রশ্ন

১। সেতা প্রতিদিন সন্ধ্যায় হাঁটার উদ্দেশ্যে বের হয়। আজও প্রতিদিনের মতো সে বাসা থেকে হাটার জন্য বের হয়েছে। বের হয়েই অনুভব করল যে তার বেশ শীত করছে। সে হাত দুটো একত্রে করে কিছুটা গরম পাওয়ার জন্য ঘষতে থাকেন।

ক) প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার সংজ্ঞা লিখুন। ১

খ) প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার মধ্যে পার্থক্য লিখুন। ২

গ) উপরোক্ত উদ্দীপকে প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার মধ্যে কোন প্রক্রিয়াটি সংঘটিত হয়েছে লিখুন এবং প্রক্রিয়াটির শর্ত আলোচনাপূর্বক ঘটনাটি ব্যাখ্যা করুন। ৩

ঘ) আপনার প্রাত্যহিক জীবনের কার্যক্রম থেকে প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার একটি ঘটনা লিখুন এবং ব্যাখ্যা করুন। ৪

২। একটি কার্ণো ইঞ্জিনের তাপ উৎস ও তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা যথাক্রমে 1200°C ও 600°C। এতে চারটি ধাপে সম্পাদিত কাজের পরিমাণ 1100 J, 1150 J, 600 J, ও 300 J।

ক) এনট্রপি কাকে বলে? ১

খ) গ্যাস প্রসারণে সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় কৃতকাজ সমচাপ প্রক্রিয়ায় কৃতকাজ অপেক্ষা বৃহত্তর-ব্যাখ্যা করুন। ২

গ) উদ্দীপকে কার্ণো ইঞ্জিন কর্তৃক কৃত কাজের পরিমাণ নির্ণয় করুন। ৩

ঘ) ইঞ্জিনটির দক্ষতা বৃদ্ধিকল্পে আপনি এর উৎসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করবেন নাকি এর গ্রাহকের তাপমাত্রা সমপরিমাণ হ্রাস করবেন? তুলনামূলক বিশ্লেষণসহ মতামত দিন। ৪

ঙ. সংক্ষিপ্ত উত্তর প্রশ্ন ঃ

১। থার্মোমিটার কাকে বলে, লিখুন।
২। উষ্ণতামিতি পদার্থ কাকে বলে, লিখুন।
৩। পদার্থের উষ্ণতামিতি ধর্ম কাকে বলে, লিখুন।
৪। নিম্ন স্থির বিন্দু ও ঊর্ধ্ব স্থির বিন্দু বলতে কী বোঝায়, লিখুন।
৫। মৌলিক ব্যবধান কাকে বলে, লিখুন।
৬। তাপগতিবিদ্যার শূন্যতম সূত্রটি কী, লিখুন।
৭। পানির ত্রৈধ বিন্দু কাকে বলে, লিখুন।
৮। পানির ত্রৈধ বিন্দুর তাপমাত্রা কত ধরা হয়, লিখুন।
৯। কেলভিন কাকে বলে, লিখুন।
১০। তাপের যান্ত্রিক সমতা কাকে বলে, লিখুন।
১১। সিস্টেম ও পরিবেশ বলতে কী বোঝায়, লিখুন।
১২। তাপগতীয় প্রক্রিয়া কাকে বলে, লিখুন।
১৩। অভ্যন্তরীন শক্তি বলতে কী বোঝায়, লিখুন।

১৪। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রটি বিবৃত করুন।
১৫। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের গাণিতিক রূপটি উল্লেখ করুন।
১৬। ΔQ কখন ধনাত্মক ও কখন ঋণাত্মক ধরা হয়, লিখুন।
১৭। ΔU ধনাত্মক বা ঋণাত্মক হবে কখন, লিখুন।
১৮। সমোষ্ণ প্রক্রিয়া কাকে বলে, লিখুন।
১৯। রূদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া কাকে বলে, লিখুন।
২০। রূদ্ধতাপীয় প্রসারণের সময় সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পায় কেন, লিখুন।
২১। রূদ্ধতাপীয় সংকোচনের সময় সিস্টেমের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায় কেন, লিখুন।
২২। গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ কাকে বলে, লিখুন।
২৩। C_p বা স্থির চাপে মোলার আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা দিন।
২৪। C_v বা স্থির আয়তনে মোলার আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা দিন।
২৫। C_p ও C_v এর মধ্যে সম্পর্ক কী, লিখুন।
২৬। C_p, C_v এর চেয়ে বড় কেন, লিখুন।
২৭। γ কী, লিখুন।
২৮। দ্বিপারমাণবিক গ্যাসের জন্য γ-এর মান কত, লিখুন।
২৯। γ এর গুরুত্ব উল্লেখ করুন।
৩০। তপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র বিবৃত করুন।
৩১। প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া কাকে বলে, লিখুন।
৩২। অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া কাকে বলে, লিখুন।
৩৩। তাপ ইঞ্জিন কাকে বলে, লিখুন।
৩৪। কার্ণোচক্র কাকে বলে, লিখুন।
৩৫। ইঞ্জিনের দক্ষতা বলতে কী বোঝায়, লিখুন।
৩৬। এনট্রপি বলতে কী বোঝায়, লিখুন।

চ. বিশদ উত্তর প্রশ্ন ঃ

১। কোন সমীকরণ ব্যবহার করে কীভাবে সেলসিয়াস স্কেল দাগাঙ্কিত করা হয় ব্যাখ্যা করুন।
২। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রটি কী? এটি কীরূপে অভ্যন্তরীণ শক্তির সাথে সম্পর্কিত, লিখুন।
৩। সমচাপ প্রক্রিয়ায় প্রসারণশীল গ্যাস দ্বারা কৃতকাজের পরিমাণ নির্ণয় করুন।
৪। দেখান যে, সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় কোনো সিস্টেম কর্তৃক কৃতকাজ সিস্টেমে সরবরাহকৃত তাপশক্তির সমান।
৫। প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার মধ্যে পার্থক্য নির্দেশ করুন।
৬। তাপ ইঞ্জিন কাকে বলে? এর দক্ষতার রাশিমালা প্রতিপাদন করুন।
৭। দেখান যে, যেকোনো দুটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার মধ্যে কার্যরত সকল ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা সমান।
৮। চিত্র সহকারে কার্ণো চক্র ব্যাখ্যা করুন।
৯। দেখান যে, কার্ণোর চক্রের কার্যনিবার্হী বস্তু কর্তৃক সম্পাদিত নীট কাজ দুটি সমোষ্ণ ও দুটি রুদ্ধতাপীয় রেখা কর্তৃক আবদ্ধ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফলের সমান।
১০। তাপ ইঞ্জিন কী? প্রমাণ করুন যে, $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

ছ. গাণিতিক সমস্যাবলিঃ

১। একটি নির্দিষ্ট রোধ থার্মোমিটারের রোধ বরফবিন্দু ও স্টিম বিন্দুতে যথাক্রমে 4.5 Ω এবং 9.5 Ω। কোনো তরলে স্থাপন করলে এর রোধ 6.1 Ω হয়। তরলের তাপমাত্রা নির্ণয় করুন।

২। কোন তাপমাত্রায় ফারেনহাইট ও কেলভিন স্কেলে একই পাঠ পাওয়া যাবে?

৩। প্রমাণ চাপে 200 m^3 আয়তনের একটি গ্যাসে 10×10^3 J তাপ দিলে গ্যাসের আয়তন 200.2 m^3 হয়। ঐ গ্যাসের কৃতকাজের মান নির্ণয় করুন।

৪। কোনো সিস্টেম ধ্রুব আয়তনে 750 J তাপ বর্জন করে। সিস্টেমটির অভ্যন্তরীন শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় করুন।

৫। প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপের কোনো আদর্শ গ্যাসকে রূদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় সঙ্কোচিত করে আয়তন অর্ধেক করা হলে চূড়ান্ত চাপ কত হবে? ($\gamma = 1.4$)

৬। 100°C তাপমাত্রার 5 kg পানিকে 100°C তাপমাত্রার বাষ্পে পরিণত করতে এনট্রপির পরিবর্তন কত হবে নির্ণয় করুন। পানির বাষ্পীভবনের আপেক্ষিক সুপ্ততাপ 2.26×10^6 Jkg^{-1}।

উত্তরমালা

পাঠোত্তর মূল্যায়ন ১০.১ ঃ ১। (খ) ২। (ক) ৩। (গ)

পাঠোত্তর মূল্যায়ন ১০.২ ঃ ১। (খ) ২। (গ)

পাঠোত্তর মূল্যায়ন ১০.৩ ঃ ১। (খ) ২। (খ) ৩। (ঘ) ৪। (ক) ৫। (খ) ৬। (খ)

পাঠোত্তর মূল্যায়ন ১০.৪ ঃ ১। (খ) ২। (ক) ৩। (খ) ৪। (খ) ৫। (ঘ)

পাঠোত্তর মূল্যায়ন ১০.৫ ঃ ১। (ক) ২। (খ) ৩। (খ)

চূড়ান্ত মূল্যায়ন

ক. সাধারণ বহুনির্বাচনী প্রশ্ন ঃ ১। (গ) ২। (গ) ৩। (ঘ) ৪। (ক) ৫। (খ) ৬। (ঘ) ৭। (ক) ৮। (ঘ)

খ. বহুপদী সমাপ্তিসূচক বহুনির্বাচনী প্রশ্ন ঃ ১। (গ) ২। (ক)

গ. অভিন্ন তথ্যভিত্তিক বহু নির্বাচনী প্রশ্ন ঃ ১। (ঘ) ২। (ঘ) ৩। (ক) ৪।(ঘ)

ঘ. সৃজনশীল প্রশ্ন ঃ-১ (ক) অনুচ্ছেদ ১০.৩.২ (খ), (গ) ও (ঘ) নিজে করুন। টিউটরের সহায়তা নিন।

সৃজনশীল প্রশ্ন ঃ-২ (ক) অনুচ্ছেদ ১০.৫.২ (খ) অনুচ্ছেদ ১০.২.৪

(গ) অনুচ্ছেদ ১০.৪.২ (ঘ) অনুচ্ছেদ ১০.৫.১

ছ. গাণিতিক সমস্যা ঃ ১। $32^{\circ}C$ ২। $574.2^{\circ}F$; 574.2K ৩। 20260 J

৪। -750 J; [যেহেতু অভ্যন্তরীণ শক্তি ঋণাত্মক সুতরাং সিস্টেমটির অভ্যন্তরীন শক্তি হ্রাস পাবে]

৫। 2.67×10^5 Pa ৬। 30294.91 JK^{-1}।