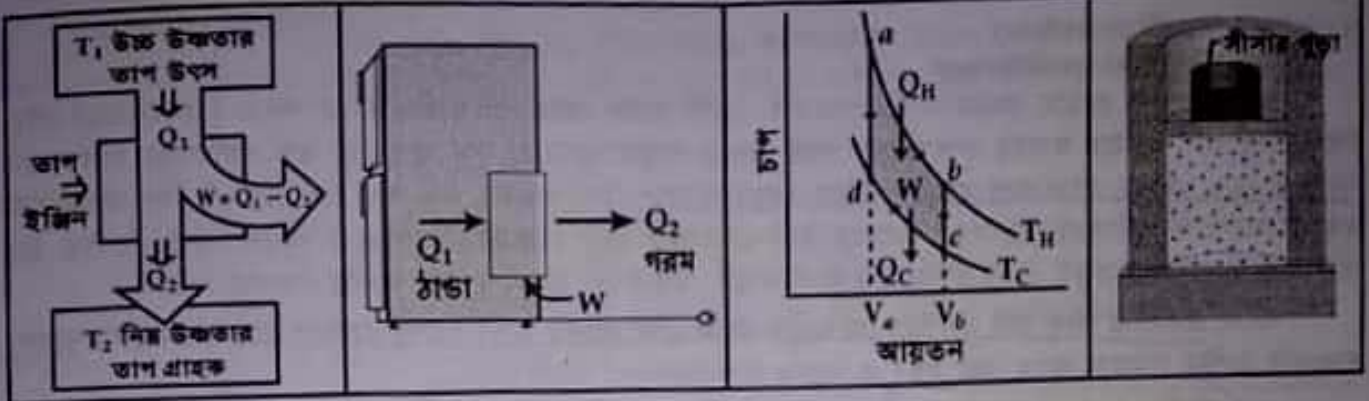




তাপগতিবিদ্যা THERMODYNAMICS

প্রধান শব্দ (Key Words): তাপীয় সমতা, তাপমাত্রা, তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র, তাপীয় সিস্টেম, অভ্যন্তরীণ শক্তি, তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র, প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া, অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া, কার্নো-চক্র, তাপ ইঞ্জিন, রেফ্রিজারেটর বা হিমাঙ্ক, কার্যকৃত সহণ, ইঞ্জিনের দক্ষতা, এন্ট্রপি।



সূচনা

Introduction

তাপ ও তাপমাত্রা পদার্থবিজ্ঞানের একটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয়। পদার্থের ভৌতিক অবস্থা প্রকাশে তাপমাত্রার ভূমিকা বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। আমরা জানি যে কোনো পদার্থ অসংখ্য অণুর সমন্বয়ে গঠিত হয়। এই অণুগুলোর গতিশক্তি রয়েছে। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে গতিশক্তি বৃদ্ধি পায় এবং কমাতে গতিশক্তি হ্রাস পায়। তাপমাত্রা একটি পরিমাপযোগ্য রাশি। এ অধ্যায়ে আমরা তাপমাত্রা, তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি, তাপীয় সমতা, তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র, তাপীয় সিস্টেম, অভ্যন্তরীণ শক্তি, তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র, প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া, কার্নোর চক্র, তাপ ইঞ্জিন, রেফ্রিজারেটর আশোচনা করব।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি ব্যবহার করে তাপীয় সমতা এবং তাপমাত্রার ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র, তাপীয় সিস্টেমের ধারণা এবং অভ্যন্তরীণ শক্তির ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- কোনো সিস্টেমের তাপ, তার অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং সম্পন্ন কাজের মধ্যে সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র এবং প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার পার্থক্য ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- কার্নো চক্রের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- তাপ ইঞ্জিনের মূলনীতি এবং রেফ্রিজারেটরের কার্যক্রমের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ইঞ্জিনের দক্ষতা, এন্ট্রপি এবং বিশুদ্ধতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।

১.১ তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি

Principle of measurement of temperature

মনে কর তোমার পড়ার ঘরে একটি কাঠের তৈরি ক্রিকেট বল এবং একটি লোহার বল রাখা আছে। ভূমি যদি দুটি বল একই সময়ে স্পর্শ কর তাহলে তোমার নিকট মনে হবে লোহার বলটি বেশি ঠান্ডা। যদিও বাস্তবে দুটি বলের তাপমাত্রা এক। তাই কেবল স্পর্শ দ্বারা উষ্ণতা সম্পর্কে সঠিক ধারণা এবং পরিমাণ নির্ণয় করা যায় না। তাপমাত্রা বা উষ্ণতা হলো বস্তুর তাপীয় অবস্থা যা তাপ নির্ধারণ করে এবং বস্তুটিকে অন্য বস্তুর তাপীয় সংস্পর্শে রাখলে তাপ নেবে না তাপ নেবে তাও নির্ধারণ করে। তাই তাপমাত্রা পরিমাপের জন্য পদার্থের একটি বিশেষ ধর্মের প্রতি লক্ষ রাখা হয় এবং যে সকল পদার্থের এই সকল ধর্ম আছে তা তাপমাত্রা পরিমাপক যন্ত্রে ব্যবহার করা হয়। বস্তুত এই মূলনীতি তাপমাত্রা পরিমাপে ব্যবহার করা হয়। নিম্নে এ সম্পর্কে বিস্তারিত বর্ণনা করা হলো।

আমরা জানি, কোনো বস্তু কত গরম অথবা কত ঠান্ডা তা স্পর্শ করে সরাসরি বুঝা যায় না, অনুভব করা যায় মাত্র। এই কারণে তাপমাত্রার তারতম্যভেদে পদার্থের যে বিশেষ কোনো ধর্ম নিয়মিতভাবে পরিবর্তিত হয় এবং যে ধর্মের পরিবর্তন লক্ষ করে সহজ ও সূক্ষ্মভাবে তাপমাত্রা নির্ণয় করা যায় সেই পদার্থ বস্তুর তাপমাত্রা পরিমাপে ব্যবহৃত হয়। সুতরাং বলা যায়, যে ক্রম দ্বারা বস্তুর তাপমাত্রা নির্ভুলভাবে পরিমাপ করা যায়, তাকে ধার্মোমিটার (Thermometer) বলে।

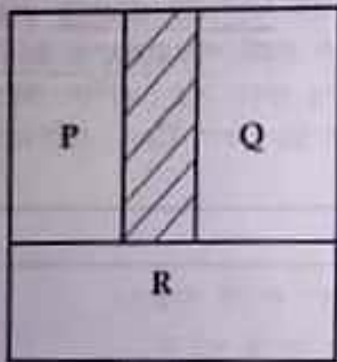
২
 তাপমাত্রার পরিবর্তনে পদার্থের যে বিশেষ বিশেষ ধর্ম নিয়মিতভাবে পরিবর্তিত হয় এবং যে ধর্মের পরিবর্তন লক্ষ্য করে সহজ ও সঠিকভাবে তাপমাত্রা নির্ণয় করা যায় তাকে উষ্ণতামিতি ধর্ম (Thermometric properties) বলে এবং যে সকল পদার্থের উষ্ণতামিতি ধর্ম ব্যবহার করে থার্মোমিটার তৈরি করা হয় তাদেরকে উষ্ণতামিতি পদার্থ (Thermometric substances) বলে। স্বাভাবিকত উষ্ণতামিতি পদার্থের বা তার ধর্মের নাম অনুসারে থার্মোমিটারের নামকরণ করা হয়। যেমন পারদ থার্মোমিটার, রৌধ থার্মোমিটার ইত্যাদি। থার্মোমিটার প্রস্তুতকালে এই উষ্ণতামিতি ধর্ম এবং উষ্ণতামিতি পদার্থের উপর নির্ভর করে তাপমাত্রা পরিমাপ করা হয়। যেমন পারদ থার্মোমিটারে পারদের প্রসারণ হলো উষ্ণতামিতিক ধর্ম এবং পারদ হলো উষ্ণতামিতিক পদার্থ। এই নীতি ব্যবহার করে তাপীয় সমতা ও তাপমাত্রার ধারণা ব্যাখ্যা করা হলো।

১.১.১ তাপীয় সমতা Thermal equilibrium

একটি উষ্ণত লোহার বলকে কক্ষ তাপমাত্রার একটি স্থানে রেখে দাও। কী দেখতে পাবে? দেখা যাবে যে, উষ্ণত বস্তু তাপ হারাতে থাকবে এবং যতক্ষণ পর্যন্ত উষ্ণত বস্তুর তাপমাত্রা কক্ষ তাপমাত্রা তথা পরিপার্শ্বের তাপমাত্রার সমান না হবে ততক্ষণ পর্যন্ত তাপ হারানো প্রক্রিয়া চলতে থাকবে। অনুরূপ ঘটনা লক্ষ্য করা যায় যদি দুটি ভিন্ন তাপমাত্রার বস্তুর মধ্যে তাপীয় সংযোগ করা হয়। এক্ষেত্রে উচ্চ তাপমাত্রার বস্তু হতে নিম্ন তাপমাত্রার বস্তুতে তাপ প্রবাহিত হয় এবং এক সময় উভয় বস্তুই একই তাপমাত্রায় উপনীত হয়। তখন বলা হয় বস্তু দুটি তাপীয় সমতায় আছে।

অর্থাৎ একাধিক বস্তু যদি তাপীয়ভাবে সংযুক্ত থাকে এবং তাদের মধ্যে তাপের কোনো আদান প্রদান না ঘটলে বস্তুগুলি তাপীয় সমতায় আছে ধরা হয়। এ সংক্রান্ত তাপগতিবিদ্যার সূত্রটি হলো—

তাপগতিবিদ্যার শূন্যতম সূত্র (Zeroth law of thermodynamics) : দুটি বস্তু যদি তৃতীয় কোনো বস্তুর সাথে তাপীয় সাম্যাবস্থায় থাকে তবে প্রথমোক্ত বস্তু দুটি পরস্পরের সাথে তাপীয় সাম্যাবস্থায় থাকবে। একে তাপগতিবিদ্যার শূন্যতম সূত্র বলা হয়। **নাক্ষরিক → ফার্ডিনার**



চিত্র ১.১

ব্যাখ্যা : দুটি বস্তু সাম্যাবস্থায় আছে, তা নির্ধারণের জন্য তৃতীয় একটি বস্তু ব্যবহার করা হয়। ধরা যাক P ও Q দুটি বস্তু একটি কুপরিবাহী দেওয়াল দিয়ে পৃথক করা অবস্থায় তৃতীয় একটি বস্তু R-এর সংস্পর্শে রাখা হলো [চিত্র ১.১]। কিছুক্ষণ পরে দেখা যাবে P ও Q উভয়ই তৃতীয় বস্তু R-এর সাথে তাপীয় সাম্যাবস্থায় পৌঁছবে। এখন কুপরিবাহী দেওয়ালটি সরিয়ে নিলেও P ও Q-এর তাপমাত্রায় কোনো পরিবর্তন হবে না। এ থেকে বুঝা যাচ্ছে যে দেওয়াল সরানোর আগেই P ও Q পরস্পর তাপীয় সাম্যাবস্থায় পৌঁছেছে। এই উদাহরণ থেকেই উপরের সূত্র প্রমাণিত হয়। তাপগতিবিদ্যার শূন্যতম সূত্র থেকে সরাসরি সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায় যে, প্রতিটি বস্তুর এমন একটি ধর্ম আছে যা অন্য একটি

বস্তুর সঙ্গে সমান হলে বস্তু দুটি পরস্পর তাপীয় সাম্যে থাকবে। এই ধর্মটিই হলো তাপমাত্রা। এই সূত্রের উপর ভিত্তি করেই থার্মোমিটার তৈরি করা হয়েছে।

১.১.২ তাপমাত্রার ধারণা Concept of temperature

গরম বা ঠাণ্ডার অনুভূতি আমাদের সকলেরই রয়েছে। সুতরাং কোনো একটি বস্তু কী পরিমাণ গরম বা ঠাণ্ডা তার পরিমাপকে আপাতভাবে ওই বস্তুর তাপমাত্রা বলে। অর্থাৎ আপাতভাবে বলা যায় তাপমাত্রা বলতে বস্তুর উত্তাপের পরিমাপ (degree of heat) বুঝায়। মনে কর দুটি বস্তু রয়েছে। একটি বস্তু A এবং অপরটি B। যদি স্পর্শ করলে A বস্তু B বস্তু অপেক্ষা বেশি গরম অনুভূত হয়, তবে আমরা বলতে পারি বস্তু A-এর তাপমাত্রা বেশি এবং বস্তু B-এর তাপমাত্রা কম। নিখুঁতভাবে তাপমাত্রার নিয়ন্ত্রিত সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে :

তাপমাত্রা বস্তুর একটি তাপীয় অবস্থা যা ওই বস্তু হতে অন্য বস্তুতে তাপের প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করে এবং তাপ প্রবাহের অতিমুখ নির্ধারণ করে।

উষ্ণতা তথা তাপমাত্রা পরিমাপের যন্ত্র নির্মাণে আমাদের এমন পদার্থের প্রয়োজন হয় তাপমাত্রা পরিবর্তনে যার কোনো না কোনো ধর্মের ব্যাপক পরিবর্তন ঘটে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, প্রাচীনকালে রৌধ থার্মোমিটারে প্রাচীনকালের রৌধ ব্যবহার করে এবং তড়িৎ রৌধের উষ্ণতামিতি ধর্মের প্রতি লক্ষ রেখে তাপমাত্রা পরিমাপ করা হয়। আবার থার্মোকোপল নামক থার্মোমিটারে দুটি ধাতব পদার্থের যুগল ব্যবহার করে তাপীয় তড়িৎচালক শক্তির ধর্ম কাজে লাগিয়ে তাপমাত্রা পরিমাপ করা হয়। আবার বিকিরণ পাইরোমিটারে উষ্ণত বস্তুর বিকিরণ ধর্ম কাজে লাগিয়ে 500°C এর উর্ধ্বের তাপমাত্রা পরিমাপ করা হয়।

১.১.৩ তাপমাত্রা পরিমাপের বিভিন্ন স্কেলের মধ্যে সম্পর্ক

তাপমাত্রা পরিমাপের জন্য বিভিন্ন তাপমান যন্ত্রে বিভিন্ন স্কেল ব্যবহার করা হতো। বিভিন্ন স্কেলে প্রতি ডিগ্রি তাপমাত্রার মান সমান নয়। একটি স্কেলের সাথে অন্যটির পুরাপুরি মিল নেই। এই অসুবিধা দূর করার জন্য আন্তর্জাতিক ওজন ও পরিমাপ কমিটি 1927 সালে তাপমাত্রার একটি ব্যবহারিক স্কেল অনুমোদন করেন। এর নাম আন্তর্জাতিক তাপমাত্রা স্কেল। তাপমাত্রার বিভিন্ন স্কেল হলো সেলসিয়াস (Celsius), ফারেনহাইট (Fahrenheit) এবং কেলভিন (Kelvin) স্কেল। এদের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক নিম্নরূপ :

$$\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9} = \frac{K-273}{5}$$

ত্রুটিপূর্ণ থার্মোমিটারের ক্ষেত্রে বরফ বিন্দু M, স্টিম বিন্দু B, তাপমাত্রা S। আবার সেলসিয়াস, ফারেনহাইট এবং কেলভিন স্কেলের প্রকৃত তাপমাত্রা যথাক্রমে C, F এবং K হলে নিম্নের সমীকরণ এই সকল রাশির মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক স্থাপন করে।

$$\frac{C}{100} = \frac{K-273.15}{100} = \frac{F-32}{180} = \frac{S-M}{B-M}$$

তাপমাত্রার স্কেল নির্ধারণের সময় পদার্থের উষ্ণতামিতি ধর্ম কাজে লাগানো হয়। যদি বরফ বিন্দু ও স্টিম বিন্দুর তাপমাত্রা যথাক্রমে θ_{ice} এবং θ_{steam} এবং এই দুই তাপমাত্রায় উপরোক্ত কোনো একটি ধর্মের মান যথাক্রমে X_{ice} এবং X_{steam} এবং অন্য কোনো তাপমাত্রায় θ -তে ওই ধর্মের মান যদি X_0 হয় এবং মৌলিক ব্যবধানকে Nটি সমান ভাগে বিভক্ত করা হয়, তাহলে ঐ তাপমাত্রায় θ এর মান হবে

$$\frac{\theta - \theta_{ice}}{\theta_{steam} - \theta_{ice}} = \frac{X_0 - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}} \quad \frac{C}{5} = \frac{F-32}{9} = \frac{K-273}{5}$$

বা, $\frac{\theta - \theta_{ice}}{N} = \frac{X_0 - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}}$

সেলসিয়াস স্কেলে $\theta_{ice} = 0^\circ C$, $\theta_{steam} = 100^\circ C$ এবং $N = \theta_{steam} - \theta_{ice} = 100^\circ C$ । সেক্ষেত্রে উপরোক্ত সমীকরণ অনুযায়ী,

$$\frac{\theta - 0^\circ C}{100^\circ C} = \frac{X_0 - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}}$$

বা, $\theta = \frac{X_0 - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}} \times 100^\circ C$

রোধ থার্মোমিটার : রোধ থার্মোমিটারের ক্ষেত্রে উষ্ণতামিতি ধর্ম X, পরিবাহকের রোধ R এবং R_0 , R_{100} যথাক্রমে $0^\circ C$, $0^\circ C$, $100^\circ C$ তাপমাত্রায় রোধ হলে,

সেলসিয়াস স্কেলে তাপমাত্রা

$$\theta = \frac{R_0 - R_0}{R_{100} - R_0} \times 100^\circ C$$

অনুরূপভাবে, ফারেনহাইট স্কেলে তাপমাত্রা

$$\frac{\theta - 32^\circ F}{180^\circ F} = \frac{X_0 - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}}$$

বা, $\theta = \frac{X_0 - X_{ice}}{X_{steam} - X_{ice}} \times (180^\circ F + 32^\circ F)$

১.১.৪ স্থির বিন্দু ব্যবহার করে স্কেল নির্ধারণ সংক্রান্ত কয়েকটি রাশি

ধরা যাক কোনো থার্মোমিটারে ব্যবহৃত উষ্ণতামিতি পদার্থের উষ্ণতামিতিক ধর্মের মান X যার মান তাপমাত্রা T এর সাথে সুখমভাবে পরিবর্তিত হয়। তাহলে তাপীয় সাম্যাবস্থায় $T \propto X$

বা, $T = aX$, এখানে a একটি ধ্রুবক।

কোনো থার্মোমিটারে একটি স্থির বিন্দুর তাপমাত্রা T_f -তে কোনো উষ্ণতামিতি পদার্থের উষ্ণতামিতি ধর্মের মান X_f ,

হলে উপরোক্ত সমীকরণে $a = \frac{T_f}{X_f}$ হয়।

সেক্ষেত্রে, $T = aX$

$$= \frac{T_f}{X_f} X = T_f \frac{X}{X_f}$$

ত্রৈধ বিন্দু (Triple point) : একটি নির্দিষ্ট চাপে যে তাপমাত্রায় কোনো পদার্থ কঠিন, তরল ও বায়বীয় রূপে সাম্যাবস্থায় থাকে তাকে ওই পদার্থের ত্রৈধবিন্দু বলে।

পানির ত্রৈধ বিন্দু (Triple point of water) : 4.58 mm পারদ স্তম্ভ চাপে যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ করক, পানি ও জলীয় বাষ্প একটি তাপীয় সাম্যাবস্থায় থাকে তাকে পানির ত্রৈধ বিন্দু বলে। পানির ত্রৈধ বিন্দু $T_{tr} = 273.16 \text{ K}$ ।

কেলভিন (Kelvin) : তাপমাত্রা বা তাপমাত্রা পরিবর্তনের এস. আই. একক হচ্ছে **কেলভিন**। পানির ত্রৈধবিন্দুর তাপমাত্রার $\frac{1}{273.16}$ অংশকে এক কেলভিন (1 K) বলে।

তাপমাত্রার তাপগতীয় স্কেল বা পরম স্কেল (Thermodynamic scale or Absolute scale of temperature) : পানির ত্রৈধ বিন্দুর তাপমাত্রাকে 273.16 K এবং ওই তাপমাত্রার $\frac{1}{273.16}$ অংশকে এক কেলভিন ধরে তাপমাত্রার যে স্কেল গণনা করা হয় তাকে তাপগতীয় স্কেল বলে। এই স্কেল পদার্থের প্রকৃতি বা ধর্মের উপর নির্ভরশীল নয়, কেবলমাত্র তাপমাত্রার ওপর নির্ভরশীল, তাই একে তাপমাত্রার পরম স্কেলও বলে।

তাপমাত্রার আন্তর্জাতিক স্কেল (International scale of temperature) : পানির ত্রৈধ বিন্দুর তাপমাত্রাকে 273.16 K এবং ওই তাপমাত্রার $\frac{1}{273.16}$ অংশকে এক কেলভিন ধরে এবং আরো কতগুলো সহজলব্ধ স্থির বিন্দু নির্ধারণ করে আন্তর্জাতিক ওজন ও পরিমাপ সংস্থা তাপমাত্রা পরিমাপের যে ব্যবহারিক স্কেল অনুমোদন করেছেন তাকে তাপমাত্রার আন্তর্জাতিক স্কেল বলে।

কয়েকটি পদার্থের তাপমাত্রার আন্তর্জাতিক স্কেলের জন্য নির্ধারিত স্থির বিন্দু

পদার্থ	অবস্থা	তাপমাত্রা (K)
✓ পানি	ত্রৈধবিন্দু	273.16
✓ পারদ	ত্রৈধবিন্দু	234.3156
আর্গন	ত্রৈধবিন্দু	83.8058
R অক্সিজেন	ত্রৈধবিন্দু	54.3584
নিয়ন	ত্রৈধবিন্দু	24.5561
✓ তামা	হিমাঙ্ক	1357.77
সোনা	হিমাঙ্ক	1337.33
তুপা	হিমাঙ্ক	1234.93
অ্যালুমিনিয়াম	হিমাঙ্ক	933.473
দস্তা	হিমাঙ্ক	692.677
টিন	হিমাঙ্ক	505.078

গাণিতিক উদাহরণ

✓ এমন একটি তাপমাত্রা বের কর যার মান সেলসিয়াস এবং ফারেনহাইট স্কেলে একই হয়।
মনে করি নির্ণেয় তাপমাত্রা = x

$$\therefore \text{আমরা পাই, } \frac{C}{5} = \frac{F-32}{9} \quad \dots \dots \dots (i)$$

$$\text{এখানে, } C = F = x$$

$$\therefore \text{সমীকরণ (i) হতে আমরা পাই, } \frac{x}{5} = \frac{x-32}{9}$$

$$\text{বা, } 9x = 5x - 160$$

$$\text{বা, } 9x - 5x = -160$$

$$\text{বা, } 4x = -160$$

$$\therefore x = \frac{-160}{4} = -40^\circ$$

$$\therefore -40^\circ\text{C এবং } -40^\circ\text{F}$$

২। কোন তাপমাত্রা সেলসিয়াস ও ফারেনহাইট স্কেলে 40° পার্থক্য হয় ?

মনে করি সেলসিয়াস স্কেলে পাঠ = x

∴ ফারেনহাইট স্কেলে পাঠ = $x + 40$

∴ আমরা জানি, $\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9}$ (i)

$$\therefore \frac{x}{5} = \frac{x+40-32}{9}$$

$$\text{বা, } 9x = 5x + 200 - 160$$

$$\text{বা, } 4x = 200 - 160$$

$$\text{বা, } 4x = 40$$

$$\text{বা, } x = \frac{40}{4} = 10^\circ\text{C}$$

$$\text{বা, } 4x = -200 - 160 = -360$$

$$\therefore x = -\frac{360}{4} = -90^\circ\text{C}$$

কিন্তু যখন $C = x = 10^\circ$, তখন সমীকরণ (i) অনুসারে, $\frac{10}{5} = \frac{F-32}{9}$

$$\therefore F = 9 \times \frac{10}{5} + 32 = 50^\circ$$

এবং যখন $x = C = -90^\circ$, তখন $-\frac{90}{5} = \frac{F-32}{9}$

$$\therefore F = -\frac{90}{5} \times 9 + 32 = -130^\circ$$

৩। একটি প্রাচীন গ্রোথ থার্মোমিটার 0°C তাপমাত্রায় 2'57 ও'ম এবং 100°C তাপমাত্রায় 3'53 ও'ম পাঠ দেয়। $33\frac{1}{3}^\circ\text{C}$ তাপমাত্রায় যন্ত্রটি কত পাঠ দিবে ?

আমরা জানি,

$$0 = \frac{R_x - R_0}{R_{100} - R_0} \times 100 \quad \dots \quad \dots \quad (i)$$

$$\text{এখানে, } 0 = 33\frac{1}{3}^\circ\text{C}$$

$$R_0 = 2'57 \text{ ও'ম}$$

$$R_{100} = 3'53 \text{ ও'ম}$$

$$\text{বা, } 33\frac{1}{3} = \frac{R_x - 2'57}{3'53 - 2'57} \times 100$$

$$\text{বা, } R_x = 2'889 \text{ ও'ম}$$

১.২ তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র

First law of thermodynamics

১.২.১ ধারণা

Concept

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র আলোচনা করার আগে আমাদের জানা দরকার তাপগতিবিদ্যা কী ? আমরা জানি কাজ করার সমর্থকে শক্তি বলে। বিভিন্ন প্রকার শক্তির সাথে আমরা পরিচিত। যেমন যান্ত্রিক শক্তি, তাপশক্তি, বদ্য শক্তি ইত্যাদি। এসব শক্তির মধ্যে পারস্পরিক রূপান্তর ঘটে। সব রূপান্তরের মধ্যেই দেখা যায় যে, সব রকম শক্তি অতি সহজেই তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। বিজ্ঞানী কাউন্ট রামফোর্ড, হ্যামফ্রে ডেভী এবং জেমস্ প্রেসকট জুল পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করেন যে, কাজ তথা যান্ত্রিক শক্তি হতে তাপ উৎপন্ন হয় এবং তাপ গতিরই একটি রূপ। তাদের এই মতবাদ হতেই বস্তুত তাপগতিবিদ্যার সূত্রপাত। পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখা তাপ ও যান্ত্রিক শক্তির পারস্পরিক রূপান্তর ও সম্পর্ক নিয়ে আলোচনা করে তাকে তাপগতিবিদ্যা (Thermodynamics) বলে।

তাপগতিবিদ্যার সূত্রাবলি আলোচনার পূর্বে তাপগতি সম্পর্কীয় কয়েকটি রাশির সংজ্ঞা আমাদের জানা প্রয়োজন।

(ক) তাপগতীয় ব্যবস্থা বা সিস্টেম (Thermodynamic system) : তাপগতীয় ব্যবস্থা বা সিস্টেম বলতে তল বা বেঁকনী দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ বস্তুকে বুঝায় যেখানে তাপগতীয় চলরাশি (চাপ, আয়তন, তাপমাত্রা) পরিমাপ করা যায়। যেমন একটি পিস্টনযুক্ত সিলিন্ডারে অথবা একটি বেতুনে আবদ্ধ গ্যাসকে আমরা তাপগতীয় ব্যবস্থা বা সিস্টেম বলে থাকি। কিন্তু ঢাকনাবিহীন হাড়িতে পানি কোটানো হলে তাকে সিস্টেম বলা হয় না।

(খ) পরিপার্শ্ব (Surroundings) : একটি ব্যবস্থার আশেপাশের সব কিছুকে বলা হয় পরিপার্শ্ব। যেমন পিস্টন ও সিলিন্ডারের আশেপাশের বায়ু হলো এর পরিপার্শ্ব। অন্যভাবে বলা যায়, কোনো নির্দিষ্ট ব্যবস্থার সাথে শক্তি বিনিময়ে সক্ষম যে কোনো ব্যবস্থাকে ওই ব্যবস্থার পরিপার্শ্ব বলে।

(গ) তাপগতীয় স্থানাঙ্ক (Thermodynamic co-ordinates) : যে সকল রাশির মান কোনো ব্যবস্থার অবস্থা নির্ধারণ করে সেগুলিকে ব্যবস্থার তাপগতীয় স্থানাঙ্ক বলে।

যেমন, সিলিন্ডারে আবদ্ধ গ্যাস হলো ব্যবস্থা এবং গ্যাসের অবস্থার বৈশিষ্ট্য নির্দেশ করে এর চাপ, আয়তন ও পরম তাপমাত্রা। তাই চাপ, আয়তন ও পরম তাপমাত্রাকে তাপগতীয় স্থানাঙ্ক বলে।

(ঘ) সাম্যাবস্থা (Equilibrium) : কোনো বিচ্ছিন্ন ব্যবস্থার চূড়ান্ত অবিচল (steady) অবস্থাকে তাপগতীয় সাম্যাবস্থা বলে। সাম্যাবস্থায় ব্যবস্থার সকল বিন্দুতে তাপগতীয় স্থানাঙ্ক অর্থাৎ চাপ, আয়তন, তাপমাত্রার মান সমান।

(ঙ) তাপগতীয় প্রক্রিয়া (Therodynamic process) : কোনো ব্যবস্থার তাপগতীয় স্থানাঙ্কসমূহের যে কোনো পরিবর্তনকে তাপগতীয় প্রক্রিয়া বলা হয়।

(চ) অভ্যন্তরীণ শক্তি (Internal energy) : কোন সিস্টেমের মধ্যে যে শক্তি অন্তর্নিহিত বা সুস্থ অবস্থায় থাকে যা পরিবেশ পরিস্থিতিতে বহিঃপ্রকাশ ঘটায় তাকে অভ্যন্তরীণ শক্তি বলে। সিস্টেমে তাপ প্রয়োগ করলে অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায়। আর তাপ প্রয়োগ না করলে অভ্যন্তরীণ শক্তি ধ্রুব থাকে।

বিজ্ঞানী জুল সর্বপ্রথম কাজ ও তাপের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করেন এবং সম্পর্কটি সূত্রাকারে প্রকাশ করেন। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র ব্যবহার করে সিস্টেমে $\int PdV$ সম্পাদিত কাজ, অভ্যন্তরীণ শক্তি du নির্ণয় করা যায়। একে জুলের মতবাদ বলে।

সূত্র : যখন কাজ সম্পূর্ণভাবে তাপে বা তাপ সম্পূর্ণভাবে কাজে রূপান্তরিত হয় তখন কাজ ও তাপ পরস্পরের সমানুপাতিক হয়।

ব্যাখ্যা : যদি W পরিমাণ কাজ সম্পূর্ণরূপে তাপে পরিণত হওয়ায় Q পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হয়, তবে তাপ গতিবিদ্যার প্রথম সূত্রানুসারে,

$$W = Q$$

$$\text{বা } W = JQ$$

(1.1)

এখানে J একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে তাপের যান্ত্রিক সমতা (mechanical equivalent of heat) বা জুল তুল্যাক (Joule's equivalent) বলে।

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র শক্তির নিত্যতা সূত্রের একটি বিশেষ রূপ। বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস (Clausius) এই সূত্রকে সাধারণভাবে প্রকাশ করেন। তাঁর মতে তাপশক্তি অন্য কোনো শক্তিতে রূপান্তরিত হলে কিংবা অন্য কোনো শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হলে সিস্টেমের মোট শক্তির পরিমাণ একই থাকে। একে ক্লসিয়াসের মতবাদ বলে। বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস নিম্নলিখিত উপায়ে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রকে বিবৃত করেন।

সূত্র : যখন কোনো ব্যবস্থার (system) তাপ সরবরাহ করা হয় বা ব্যবস্থা কর্তৃক তাপ গৃহীত হয়, তখন এর কিছু অংশ অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি করতে অর্থাৎ তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে এবং অবশিষ্ট অংশ বাহ্যিক কাজ সম্পাদনে ব্যয় হয়। অর্থাৎ, প্রদত্ত তাপ = অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি + বাহ্যিক কাজ।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : জলপ্রপাতের পানি ওপর হতে নিচে পড়লে নিচের পানির উষ্ণতা ওপরের পানির তুলনায় সামান্য বেশি হয়—ব্যাখ্যা কর।

ওপরের পানির স্থিতিশক্তি নিচে থাকা পানির তুলনায় বেশি। ওপর হতে পানি নিচে পড়ার সময় পানির এই স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হতে থাকে। তু-পৃষ্ঠ স্পর্শ করার মুহূর্তে পানির গতিশক্তি কিছুটা তাপশক্তি ও শব্দশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এই তাপশক্তি অর্জনের জন্যই নিচের পানির উষ্ণতা সামান্য বৃদ্ধি পায়।

১.২.২ তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের তাৎপর্য Significance of the first law of thermodynamics

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের নিম্নলিখিত তাৎপর্য রয়েছে :

(১) এটি তাপ ও কাজের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করে।

(২) এই সূত্র অনুযায়ী নির্দিষ্ট পরিমাণ কাজ পেতে হলে নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপের প্রয়োজন অথবা নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ পেতে হলে নির্দিষ্ট পরিমাণ কাজ সম্পাদন করা প্রয়োজন।

(৩) কোনো কিছু বায় না করে কাজ বা শক্তি পাওয়া অসম্ভব।

- (৪) কাজ ও তাপ একে অপরের সমতুল্য।
 (৫) এটি শক্তির সংরক্ষণ সূত্র ছাড়া আর কিছুই নয়। যে কোনো ব্যবস্থায় সম্মান কাজ ও অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তনের সমষ্টি সর্বদা প্রযুক্ত তাপের সমান।
 (৬) এমন কোনো যন্ত্রের উদ্ভাবন হ্যানি বা জুগানি বা শক্তি বাতিরেকে কাজ করতে সক্ষম অর্থাৎ অনন্ত গতিযুক্ত যন্ত্র (perpetual motion machine) উদ্ভাবন সম্ভব নয় বা শক্তি ব্যয় না করে কোনো কাজ পাওয়া সম্ভব নয়।

১.২.৩ তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যাখ্যা Explanation of the first law of thermodynamics

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র ব্যবহার করে তাপ, অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং কাজের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করা যায়। এছাড়া বিভিন্ন তাপীয় পদ্ধতিতে কাজের পরিমাণ জানা যায়। সিস্টেমটি তাপ গ্রহণ করছে না তাপ হারাচ্ছে এ সম্পর্কেও ধারণা পাওয়া যায়। নিম্নের ব্যাখ্যাগুলি লক্ষ কর :

কোনো সংস্থা dQ তাপ শোষণ করার জন্য এর অন্তর্নিহিত শক্তির পরিবর্তন du এবং কৃত কাজ dW হলে ব্যবকলনীয় সমীকরণের সাহায্যে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রকে লেখা যায়—

$$dQ = du + dW \quad \text{তাপগতিবিদ্যার ১ম সূত্র} \quad (1.2)$$

এই সমীকরণটি শক্তির নিত্যতার সূত্রেরই একটি বিশেষ রূপ। সমীকরণ (1.2) হলো তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের গাণিতিক রূপ। এটি সকল বস্তুর ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য।

সমীকরণ (1.2)-এ dQ , du এবং dW রাশিগুলি নিম্নের শর্ত সাপেক্ষে ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক হতে পারে।
 শর্তসমূহ :

(১) dQ ধনাত্মক হবে যদি সিস্টেমে তাপ সরবরাহ করা হয় বা সিস্টেম তাপ গ্রহণ করে এবং ঋণাত্মক হবে যদি সিস্টেম তাপ হারায় বা সিস্টেম হতে তাপ পরিপার্শ্বে গমন করে।

(২) সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পেলে du ধনাত্মক এবং শক্তি হ্রাস পেলে du ঋণাত্মক হবে।

(৩) সিস্টেমের দ্বারা পরিপার্শ্বের উপর কাজ সম্পাদিত হলে dW ধনাত্মক এবং পরিপার্শ্ব সিস্টেমের উপর কাজ করলে dW ঋণাত্মক হবে।

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র শক্তির নিত্যতা সূত্রের একটি বিশেষ রূপ

বিজ্ঞানী ক্লসিয়াসের মতে, কোনো সিস্টেমে তাপশক্তি অন্য কোনো শক্তিতে রূপান্তরিত হলে বা অন্য কোনো শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হলে সিস্টেমের মোট শক্তির পরিমাণ একই হবে। অর্থাৎ, তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রটি শক্তির নিত্যতা সূত্রের একটি বিশেষ রূপ।

যখন কোনো সিস্টেমে তাপ প্রয়োগ করা হয়, তখন তার কিছু অংশ বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি করে এবং বাকি অংশ পরিবেশের উপর বাহ্যিক কার্য সম্পাদন করে। অর্থাৎ, শক্তির কোনো অপচয় হয় না। এক্ষেত্রে $\Delta Q = \Delta u + \Delta W$ হয়।

৫৩

১.২.৪ তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যবহার Applications of the First Law of Thermodynamics

(১) সমোষ্ণ প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যবহার (Use of the first law of thermodynamics in isothermal process) :

যে প্রক্রিয়ায় কোনো সিস্টেমের তাপমাত্রা স্থির থাকে কিন্তু চাপ ও আয়তন পরিবর্তিত হয় তাকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলে। এই প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের অন্তঃস্থ শক্তির কোনো পরিবর্তন হয় না।

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রকে গাণিতিকভাবে লেখা যায়,

$$dQ = du + dW$$

সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রা স্থির থাকে, ফলে অন্তর্নিহিত বা অন্তঃস্থ শক্তি অপরিবর্তিত থাকে।

$$\text{সুতরাং } du = 0$$

অতএব, সমীকরণ (1.2)-কে লেখা যায়,

$$dQ = 0 + dW = dW \quad \dots \dots \dots (1.3)$$

অর্থাৎ, সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় সিস্টেম বা ব্যবস্থা কর্তৃক সম্পাদিত কাজ সিস্টেমে সরবরাহকৃত বা গৃহীত তাপশক্তির সমান। সমীকরণ (1.3) সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের গাণিতিক রূপ।

সমোষ্ণ প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে, // মোল

গ্যাসের জন্য, $PV = nRT$
 বা, $P = \frac{nRT}{V}$

কোনো গ্যাসের আয়তন V_1 থেকে V_2 -তে পরিবর্তনের জন্য কাজ,

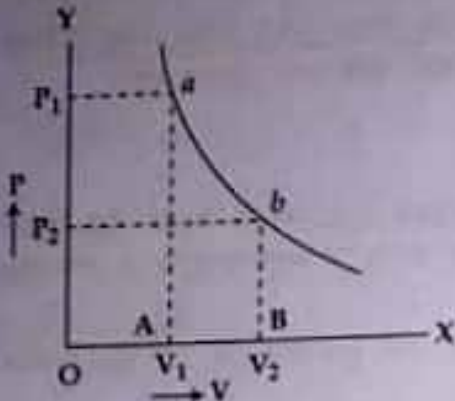
$$W = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRTdV}{V} = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$= nRT \left[\ln V \right]_{V_1}^{V_2} = nRT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

যেহেতু সমোষ্ণ পরিবর্তনের ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন

$$\Delta u = 0, \text{ কাজেই } dW = dQ$$

$$\text{বা, } W = Q = nRT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$



চিত্র ১.২

এই কাজ নির্দেশক চিত্র ১.২-এ aABb ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফলের সমান।

কাজ: কোনো ব্যবস্থা গুব আয়তনে 500 J তাপ বর্জন করে। ব্যবস্থাটির অন্তঃস্থ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় কর। ফলাফল ব্যাখ্যা কর।

$$dQ = du + dW = du + PdV \text{ বা, } du = dQ - PdV$$

$$\therefore du = -500 J + 0 \quad [\because dQ = -500 J \text{ এবং } dV = 0]$$

$$= -500 J \quad [\text{অন্তঃস্থ শক্তি বণাত্মক হওয়ার অর্থ সিস্টেমের অন্তঃস্থ শক্তি হ্রাস পায়}]$$

(২) বৃদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যবহার (Use of the first law of thermodynamics in adiabatic process) :

যে প্রক্রিয়ায় কোনো সিস্টেমের তাপ গুব থাকে কিন্তু চাপ ও আয়তন পরিবর্তিত হয় তাকে বৃদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া বলে। বৃদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় তাপের আদান-প্রদান হয় না। তাই কোনো গ্যাসের বৃদ্ধতাপীয় প্রসারণের ক্ষেত্রে, $dQ = 0$ ।

সূত্রাং সমীকরণ (1.2) হতে পাই,

$$dQ = 0 = du + dW$$

$$\text{বা, } du = -dW$$

$$dw = -du$$

$$\dots \dots \dots (1.4)$$

$$\text{ক, } dW = -du$$

বৃদ্ধতাপীয় প্রসারণের সময় সিস্টেম কর্তৃক সম্পাদিত কাজ সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি দ্বারা সম্পাদিত হয় বলে সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি তথা তাপমাত্রা হ্রাস পায় অর্থাৎ সিস্টেম শীতল হয়। পক্ষান্তরে বৃদ্ধতাপীয় সংকোচনে সিস্টেম উষ্ণ হয়। এক্ষেত্রে বাইরে থেকে শক্তি সরবরাহ করে কাজ সম্পন্ন করতে হয়।

কোনো গ্যাসের প্রাথমিক অন্তর্নিহিত শক্তি u_1 এবং চূড়ান্ত অন্তর্নিহিত শক্তি u_2 হলে, সমীকরণ (1.4)-কে লেখা যায়,

$$du = u_2 - u_1 = -dW$$

$$\dots \dots \dots (1.5)$$

$$\therefore u_2 < u_1$$

অর্থাৎ বৃদ্ধতাপীয় প্রসারণের সময় বাহ্যিক কাজ করার জন্য অন্তর্নিহিত শক্তি হ্রাস পায়, ফলে তাপমাত্রাও হ্রাস পায়।

অনুরূপভাবে, বৃদ্ধতাপীয় সংকোচন বা সংকোচনের ক্ষেত্রেও $dQ = 0$ হয়। সংকোচনের ক্ষেত্রে সিস্টেমের উপর কাজ করা হয় বলে W বণাত্মক। সূত্রাং সমীকরণ (1.4) হতে পাই,

$$du = -(-dW) = dW$$

$$\dots \dots \dots (1.6)$$

$$\text{বা, } u_2 - u_1 = dW, \text{ এখানে } u_1 \text{ ও } u_2 \text{ যথাক্রমে সিস্টেমের প্রাথমিক ও চূড়ান্ত অন্তর্নিহিত শক্তি।}$$

$$\therefore u_2 > u_1$$

অর্থাৎ বৃদ্ধতাপীয় সংকোচনের সময় গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায়, ফলে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

সমীকরণ (1.4) ও (1.6) বৃদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ার তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের গাণিতিক রূপ।

যেহেতু বৃদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেমে তাপের কোনো আদান প্রদান হয় না তাই $dQ = 0$ । অতএব তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে পাই,

$$0 = du + dW$$

$$\therefore dW = -du$$

প্রারম্ভিক অবস্থায় যদি কোনো গ্যাসের চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রা যথাক্রমে P_1, V_1 ও T_1 এবং চূড়ান্ত অবস্থায় এদের মান P_2, V_2 ও T_2 হয় তাহলে প্রারম্ভিক থেকে চূড়ান্ত অবস্থায় যেতে কৃত কাজ,

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

বৃদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে $PV^\gamma = \text{ধ্রুবক}$

$$\therefore P = \frac{\text{ধ্রুবক}}{V^\gamma} = \frac{K}{V^\gamma}$$

$$\text{সূত্রাং } W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{K}{V^\gamma} dV = K \int_{V_1}^{V_2} V^{-\gamma} dV = K \left[\frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1} \right]_{V_1}^{V_2}$$

$$= K \left[\frac{V_2^{1-\gamma}}{1-\gamma} - \frac{V_1^{1-\gamma}}{1-\gamma} \right] = \frac{1}{1-\gamma} [KV_2^{1-\gamma} - KV_1^{1-\gamma}]$$

$$[\because P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma = K]$$

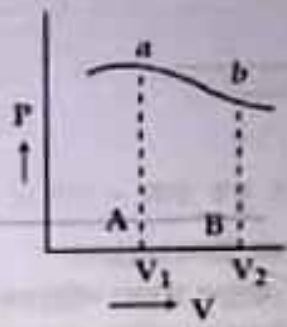
$$= \frac{1}{1-\gamma} [P_2 V_2^\gamma V_2^{1-\gamma} - P_1 V_1^\gamma V_1^{1-\gamma}]$$

$$= \frac{1}{1-\gamma} [P_2 V_2 - P_1 V_1] = \frac{1}{\gamma-1} [P_1 V_1 - P_2 V_2]$$

$$= \frac{1}{\gamma-1} [RT_1 - RT_2] \quad [\because PV = RT]$$

$$W = \frac{R}{\gamma-1} [T_1 - T_2]$$

এই কাজ নির্দেশক চিত্র ১.৩-এর $aABb$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফলের সমান।

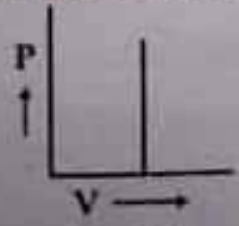


চিত্র ১.৩

কাজ : বৃদ্ধতাপীয় প্রসারণের সময় সিস্টেমের অন্তঃস্থ শক্তি হ্রাস পায়। কিন্তু বৃদ্ধতাপীয় সংকোচনের সময় সিস্টেমের চক্রতা বৃদ্ধি পায় কেন ?

বৃদ্ধতাপীয় প্রসারণের সময় সিস্টেম কৃতক সম্পাদিত কাজ সিস্টেমের অন্তঃস্থ শক্তি দ্বারা সম্পাদিত হয় বলে সিস্টেমের অন্তঃস্থ শক্তি হ্রাস পায়। অর্থাৎ সিস্টেম শীতল হয়। পক্ষান্তরে বৃদ্ধতাপীয় সংকোচনের সময় বাইরে থেকে শক্তি সরবরাহ করে সিস্টেমের ওপর কাজ সম্পাদিত হয় বলে সিস্টেমের অন্তঃস্থ শক্তি বৃদ্ধি পায়, ফলে সিস্টেমের তাপমাত্রাও বৃদ্ধি পায়।

(৩) ধ্রুব আয়তন প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যবহার (Use of the first law of thermodynamics in isochoric system) :

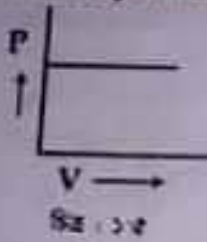


চিত্র ১.৪

যে প্রক্রিয়ায় কোনো সিস্টেমের আয়তন ধ্রুব থাকে তাকে ধ্রুব আয়তন প্রক্রিয়া বলে। এই প্রক্রিয়ার তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র অনুযায়ী, $dV = 0$; অতএব কাজের পরিমাণ, $dW = PdV = 0$ । অর্থাৎ সমআয়তন প্রক্রিয়ায় তাপগতির প্রথম সূত্রে অর্থাৎ $dQ = du + PdV$ সমীকরণে $PdV = 0$ বসিয়ে পাই, $dQ = du$ । সমআয়তন প্রক্রিয়ায় $P-V$ লেখচিত্র ১.৪।

অর্থাৎ এই প্রক্রিয়ায় অন্তঃস্থ শক্তির বৃদ্ধি সরবরাহকৃত তাপশক্তির সমান।

(৪) সমচাপ প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যবহার (Use of the first law of thermodynamics in isobaric system) :



চিত্র ১৩৫

যে প্রক্রিয়ার কোনো সিস্টেমের চাপ ধ্রুব থাকে তাকে ধ্রুব চাপ প্রক্রিয়া বলে। সমচাপ বা স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন V_1 থেকে V_2 তে পরিবর্তিত হলে গ্যাস কর্তৃক মোট কৃত কাজ,

$$W = \int dW = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

$$= P \int_{V_1}^{V_2} dV = P [V_2 - V_1] = P\Delta V$$

অর্থাৎ কৃত কাজ = চাপ \times আয়তনের পরিবর্তন। সমচাপ প্রক্রিয়ার $P - V$ লেখচিত্র ১'৩।

পাণ্ডিতিক উদাহরণ

১। কোনো সংস্থা পরিবেশ থেকে ৪০০ J তাপশক্তি শোষণ করায় এর অন্তর্স্থ শক্তি ৫০০ J বৃদ্ধি পেল। সংস্থা কর্তৃক পরিবেশের উপর সম্পাদিত কাজের পরিমাণ নির্ণয় কর। [কি. বো. ২০০৫]

আমরা জানি,

$$\Delta Q = \Delta u + \Delta W$$

$$\therefore \Delta W = \Delta Q - \Delta u$$

$$= 800 \text{ J} - 500 \text{ J} = 300 \text{ J}$$

এখানে,

$$\Delta u = 500 \text{ J}$$

$$\Delta Q = 800 \text{ J}$$

$$\Delta W = ?$$

২। পিস্টনবদ্ধ একটি সিলিন্ডারে কিছু গ্যাস আবদ্ধ আছে। গ্যাসের চাপ ৪০০ Pa-এ স্থির রেখে সিস্টেমে ধীরে ধীরে ৪০০ J তাপশক্তি সরবরাহ করায় ১২০০ J কাজ সম্পাদিত হয়। গ্যাসের আয়তন এবং অন্তর্স্থ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় কর। [কি. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০১]

আমরা পাই, $\Delta W = P(V_2 - V_1)$

$$\therefore 1200 = 400 (V_2 - V_1)$$

$$\therefore (V_2 - V_1) = \frac{1200}{400} = 3 \text{ m}^3$$

আবার, $\Delta Q = \Delta u + \Delta W$

$$\therefore 800 = \Delta u + 1200$$

$$\therefore \Delta u = 800 - 1200 = -400 \text{ J}$$

এখানে,

$$P = 400 \text{ Pa}$$

$$\Delta W = 1200 \text{ J}$$

$$\Delta V = (V_2 - V_1) = ?$$

$$\Delta u = ?$$

$$\Delta Q = 800 \text{ J}$$

৩। ২৫°C তাপমাত্রা ও $1 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$ চাপে একটি আদর্শ গ্যাসের আয়তন 0.05 m^3 । স্থির চাপে গ্যাসটি উত্তপ্ত করায় এর আয়তন 0.06 m^3 হলো। (ক) বাহ্যিক সম্পাদিত কাজ ও (খ) গ্যাসের নতুন তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

(ক) আমরা জানি,

বাহ্যিক সম্পাদিত কাজ, $W = P\Delta V$

$$\text{বা, } W = 1 \times 10^5 \times 0.01$$

$$= 1000 \text{ J}$$

এখানে,

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

$$\text{আয়তন পরিবর্তন, } \Delta V = (0.06 - 0.05) \text{ m}^3$$

$$= 0.01 \text{ m}^3$$

(খ) আমরা জানি,

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\text{বা, } T_2 = \frac{V_2 T_1}{V_1}$$

$$\therefore T_2 = \frac{0.06 \times 298}{0.05} = 357.6 \text{ K}$$

এখানে,

$$\text{আদি আয়তন, } V_1 = 0.05 \text{ m}^3$$

$$\text{চূড়ান্ত আয়তন, } V_2 = 0.06 \text{ m}^3$$

$$\text{আদি তাপমাত্রা, } T_1 = 25^\circ\text{C} = (273 + 25) \text{ K}$$

$$= 298 \text{ K}$$

$$\text{নতুন তাপমাত্রা, } T_2 = ?$$

৪। একটি সীসার গুলি কত বেগে একটি অনমনীয় লক্ষ্যবস্তুকে আঘাত করলে গুলির তাপমাত্রা 1.12°C বৃদ্ধি পাবে? ধরে নেও যে, আঘাতে উৎপন্ন তাপ শুধু গুলি দ্বারা শোষিত হয়েছে। [সীসার আপেক্ষিক তাপ = $30 \text{ cal kg}^{-1}\text{C}^{-1}$ এবং $J = 0.2 \text{ cal}^{-1}$]

মনে করি, গুলির ভর = $m \text{ kg}$ এবং নির্ণয় বেগ = $v \text{ ms}^{-1}$

কৃত কাজ, $W = \frac{1}{2} mv^2$ এবং উৎপন্ন তাপ, $H = mst = m \times 30 \times 1.12 \text{ cal}$

আমরা জানি, $W = JH$

$$\frac{1}{2} mv^2 = 42 \times m \times 30 \times 1.12$$

$$\therefore v = \sqrt{2 \times 42 \times 30 \times 1.12} = 16.8 \text{ ms}^{-1}$$

৫। একখণ্ড বরফ ওপর থেকে ভূমিতে পতিত হলো। এতে পতন শক্তির 50% তাপে বৃষ্টিপাত হওয়ার বরফ খণ্ডটির এক চতুর্থাংশ গলে গেল। বরফ খণ্ডটি কত উচ্চতা হতে পতিত হয়েছিল নির্ণয় কর।

[বরফ গলনের সুস্থ তাপ = 80000 cal kg⁻¹ এবং তাপের যান্ত্রিক সমতা = 4.2 J cal⁻¹]

ধরি, বরফ খণ্ডটির ভর = m kg এবং নির্ণেয় উচ্চতা = h m

তাহলে পতনে কৃত কাজ = mgh

তাপ উৎপাদনে ব্যয়িত পতন শক্তি, $W = \frac{1}{2} mgh$ [$\because 50\% = \frac{1}{2}$]

উৎপন্ন তাপ, $H = \frac{W}{J} = \frac{mgh}{2J}$

আবার বরফ খণ্ডটির এক-চতুর্থাংশ গলতে প্রয়োজনীয় তাপ = $H = \frac{m}{4} \times L$

কিন্তু উৎপন্ন তাপেই বরফ খণ্ডটি গলেছে

$$\therefore \frac{mgh}{2J} = \frac{m}{4} \times L$$

$$\text{বা, } h = \frac{JL}{2g} = \frac{4.2 \times 80000}{2 \times 9.80} \text{ m}$$

$$= 17.14 \text{ km}$$

১.৩ তাপীয় সিস্টেম Thermal system

মনে কর, তাপ প্রয়োগে একটি গ্যাস-ভর্তি সিলিন্ডারের সাথে যুক্ত একটি পিস্টনকে গতিশীল করা হলো। এক্ষেত্রে সিলিন্ডারযুক্ত পিস্টন একটি তাপীয় সিস্টেম। আর এর আশপাশের অন্য সকল বস্তু পরিবেশ বলে বিবেচিত হয়। দেখা যায় যে, তাপগতীয় ঘটনা বা সিস্টেমকে বর্ণনার জন্য তাপগতীয় স্থানাঙ্ক (thermodynamic co-ordinate) বা কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ রাশি যেমন চাপ (P), আয়তন (V) এবং তাপমাত্রা (T) এর প্রয়োজন হয়। কোনো আবেষ্টনী দ্বারা আবদ্ধ কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ বস্তুকে তাপীয় ব্যবস্থা বা সিস্টেম হিসেবে ধরা হয়। অন্যভাবে বলা যায়, পরীক্ষা-নিরীক্ষার সময় আমরা জড় জগতের যে নির্দিষ্ট তাপীয় অংশ বিবেচনা করি তাকে তাপীয় সিস্টেম বলে।

প্রত্যেক তাপীয় সিস্টেমের একটা নির্দিষ্ট আয়তন, ভর ও অন্তর্স্থ শক্তি থাকবে। তাপীয় সিস্টেম বিভিন্ন ধরনের হয়। যেমন—(১) উন্মুক্ত সিস্টেম (২) বন্ধ সিস্টেম (৩) বিচ্ছিন্ন সিস্টেম।

উন্মুক্ত সিস্টেম পরিবেশের সাথে ভর ও শক্তি উভয়ই বিনিময় করতে পারে।

বন্ধ সিস্টেম পরিবেশের সাথে শুধু শক্তি বিনিময় করতে পারে কিন্তু ভর বিনিময় করতে পারে না।

বিচ্ছিন্ন সিস্টেম পরিবেশ দ্বারা মোটেও প্রভাবিত হয় না। অর্থাৎ এক্ষেত্রে ভর ও শক্তি কিছুই বিনিময় করে না।

তাপীয় সিস্টেমে বিভিন্ন প্রকার তাপগতীয় পরিবর্তন Different thermodynamical changes in thermal system

তাপগতিবিদ্যায় বিভিন্ন প্রকারের পরিবর্তন ঘটে। এই পরিবর্তন মোট চার প্রকারের; যথা—

- (১) **সমোষ্ণ পরিবর্তন** (Isothermal change)
- (২) **বৃদ্ধিতাপীয় পরিবর্তন** (Adiabatic change)
- (৩) **সমআয়তন পরিবর্তন** (Isochoric change) এবং
- (৪) **সমচাপ পরিবর্তন** (Isobaric change)

এখানে আমরা সমোষ্ণ পরিবর্তন এবং বৃদ্ধিতাপীয় পরিবর্তন আলোচনা করবো।

১.৩.১ সমোষ্ণ পরিবর্তন Isothermal change

এটি একটি পরীক্ষিত ঘটনা যে, কোনো গ্যাসে চাপ প্রয়োগ করে হঠাৎ-সংকুচিত করলে কিছু তাপ উৎপন্ন হয়। ফলে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। কিন্তু উৎপন্ন তাপকে তৎক্ষণাত্ অপসারণ করে ধীরে ধীরে চাপ বৃদ্ধি করলে তাপমাত্রার কোনো পরিবর্তন ঘটেবে না।

আবার গ্যাসকে হঠাৎ প্রসারিত করলে তা বাহ্যিক চাপের বিরুদ্ধে কাজ করার সময় কিছু পরিমাণ তাপ হারাবে। ফলে এর তাপমাত্রা হ্রাস পাবে। কিন্তু গ্যাসকে যদি ধীরে ধীরে প্রসারিত করা হয় এবং বাইরে থেকে প্রয়োজনীয় তাপ সরবরাহ করা হয়, তবে গ্যাসের তাপমাত্রা পিরি থাকবে। এরূপ পরিবর্তনকে সমোষ্ণ পরিবর্তন বলা হয়। তাহলে দেখা যাবে

যে, সমোষ্ণ পরিবর্তনে গ্যাসে কখনও তাপ সরবরাহ করে আবার কখনও গ্যাস হতে তাপ অপসারণ করে এর তাপমাত্রা সর্বদা স্থির রাখা যায়।

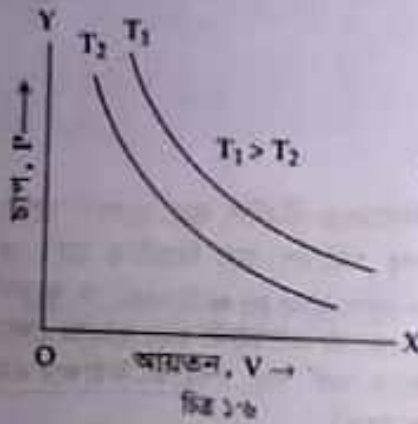
অর্থাৎ যে পরিবর্তনে কোনো গ্যাসের চাপের ও আয়তনের পরিবর্তন হয়, কিন্তু তাপমাত্রা স্থির থাকে সেই পরিবর্তনকে সমোষ্ণ পরিবর্তন (isothermal change) বলে এবং যে পদ্ধতিতে এই পরিবর্তন সংঘটিত হয় তাকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া (isothermal process) বলে।

সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় গ্যাসের চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক **বয়েলের সূত্র** মেনে চলে। অর্থাৎ $P \propto \frac{1}{V}$

বা $PV = \text{ধ্রুবক}$, এখানে P ও V যথাক্রমে চাপ ও আয়তন।

পরিকল্পিত কাজ : সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় গ্যাসের চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক বয়েলের সূত্র মেনে চলে। অর্থাৎ $P \propto \frac{1}{V}$ লেখচিত্রে সম্পর্কটি দেখাও এবং ব্যাখ্যা কর।

স্থির তাপমাত্রায় কোনো আদর্শ গ্যাসের আয়তন V -কে X -অক্ষ বরাবর এবং চাপ P -কে Y -অক্ষ বরাবর স্থাপন করে লেখচিত্র অঙ্কন করলে লেখটি **আয়তাকার পরাবৃত্ত** হবে (চিত্র ১'৬)। ভিন্ন তাপমাত্রায় একই আকৃতির ভিন্ন লেখ পাওয়া যায়। এই লেখগুলিকে সমোষ্ণ (isothermal) লেখ বলা হয়।



সমোষ্ণ পরিবর্তনের শর্তসমূহ (Conditions for isothermal change)

- (১) গ্যাসকে একটি সুপরিবাহী পাত্রে রাখতে হবে।
- (২) পাত্রের চতুষ্পার্শ্ব মাধ্যমের তাপগ্রাহীতা বা তাপধারণ ক্ষমতা উচ্চ হতে হবে।
- (৩) চাপের পরিবর্তন ধীরে ধীরে সংঘটিত করতে হবে।
- (৪) প্রয়োজনীয় তাপ গ্রহণ বা বর্জনের দ্বারা তাপমাত্রা স্থির থাকবে।

সমোষ্ণ পরিবর্তনের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of isothermal change)

- ১) তাপমাত্রা স্থির রেখে কোনো গ্যাসের চাপ ও আয়তনের পরিবর্তনকে সমোষ্ণ পরিবর্তন বলে।
- ২) এই পরিবর্তনে প্রয়োজনমতো তাপ সরবরাহ অথবা গ্রহণ করতে হয়।
- ৩) এটি একটি ধীর প্রক্রিয়া।
- ৪) এই পরিবর্তনে পাত্রটি তাপের সুপরিবাহী হওয়া প্রয়োজন।
- ৫) এই পরিবর্তনে পাত্রের চতুষ্পার্শ্ব মাধ্যমের তাপগ্রাহীতা উচ্চ হতে হয়।
- ৬) সমোষ্ণ পরিবর্তন বয়েল-এর সূত্র মেনে চলে অর্থাৎ $PV = \text{ধ্রুবক}$ ।
- ৭) সমোষ্ণ লেখ অপেক্ষাকৃত কম খাড়া।

কাজ : গ্যাস প্রসারণে সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় কৃত কাজ সমচাপ প্রক্রিয়ায় কৃত কাজ অপেক্ষা বৃহত্তর—ব্যাখ্যা কর।

কোনো সিস্টেমে গ্যাসের ক্ষুদ্র প্রসারণ dV এবং স্থির চাপ P হলে সমচাপ প্রক্রিয়ায় গ্যাস কর্তৃক কৃত মোট কাজ $dW = P dV = \text{চাপ} \times \text{আয়তনের পরিবর্তন}$ । তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র হতে আমরা জানি, $dQ = du + dW$, অর্থাৎ সমচাপ প্রক্রিয়ায় সরবরাহকৃত তাপশক্তি সিস্টেমের অন্তঃস্থ শক্তি পরিবর্তনে এবং বহিঃস্থ কাজ সম্পাদনে ব্যয় হয়। কিন্তু সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের তাপমাত্রা স্থির থাকে বলে অন্তঃস্থ শক্তির কোনো পরিবর্তন হয় না।

∴ সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় $du = 0$; সুতরাং তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রানুযায়ী $dQ = 0 + dW = dW$ । অর্থাৎ সরবরাহকৃত তাপশক্তি সম্পূর্ণরূপে কাজ সম্পাদনে ব্যয় হয়। তাই সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় কৃত কাজ সমচাপ প্রক্রিয়ায় কৃত কাজ অপেক্ষা বেশি।

পাণ্ডিতিক উদাহরণ

১। একটি সিলিন্ডারে 300 K তাপমাত্রায় এবং 4 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে 10 লিটার গ্যাস আবদ্ধ আছে। সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় চাপ দ্বিগুণ করা হলে সিলিন্ডারে গ্যাসের আয়তন কত হবে ?

আমরা জানি,

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$\therefore V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{4 \times 10}{8} = 5 \text{ L}$$

এখানে,

প্রাথমিক চাপ, $P_1 = 4 \text{ atm}$

প্রাথমিক আয়তন, $V_1 = 10 \text{ L}$

পরিবর্তিত চাপ, $P_2 = 2 \times 4 = 8 \text{ atm}$

$V_2 = ?$

২। কার্নো ইঞ্জিনের প্রতি সত্রে সংকোচন ও প্রসারণের অনুপাত 1:2। এতে কার্যনির্বাহক বস্তু হিসেবে 3 mol ষ্ট্রোমিয়ারমাণবিক গ্যাস ব্যবহার করা হলো। ($\gamma = 1.41$)

চক্রটির লেখ অনুযায়ী A হতে B বিন্দুতে আনতে কৃত কাজ হিসাব কর।

কার্নো চক্রের P-V লেখটিতে A হতে B বিন্দুতে গ্যাসটি সমোষ্ণ-ভাবে প্রসারিত হয়। এক্ষেত্রে A বিন্দুতে গ্যাসটির চাপ ও আয়তন যথাক্রমে P_1, V_1 এবং B বিন্দুতে গ্যাসটির চাপ ও আয়তন যথাক্রমে P_2, V_2 । এক্ষেত্রে গ্যাস T_1 তাপমাত্রায় উৎস হতে তাপ শোষণ করে এবং তাপ সবটুকু কাজে পরিণত করে। প্রশ্নমতে $V_1 = V$ হলে $V_2 = 2V$ ।

আমরা জানি, $PV = nRT$

$$P = \frac{nRT}{V}$$

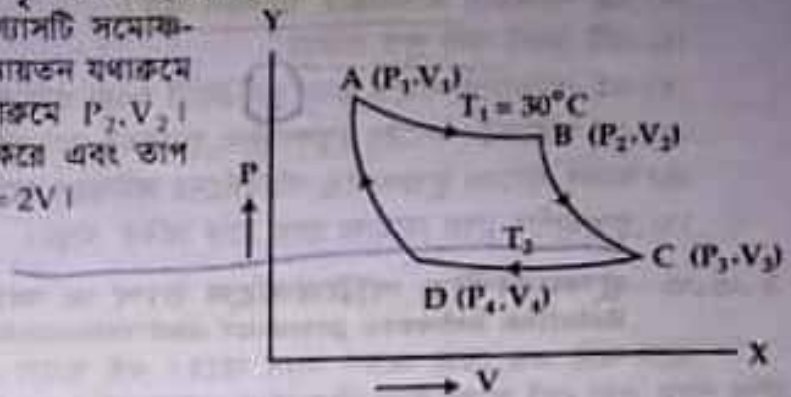
$$\therefore \text{কৃত কাজ, } W = \int P dV$$

$$\text{বা, } W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT_1}{V} dV$$

$$= nRT_1 \left[\ln V \right]_{V_1}^{V_2} = nRT_1 \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= 3 \times 8.31 \times (30 + 273) \ln \frac{2V}{V}$$

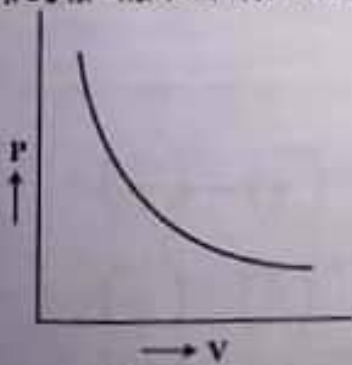
$$= 7553.8 \ln 2 = 5236 \text{ J}$$



১.৩.২ বৃদ্ধিতাপীয় পরিবর্তন Adiabatic change

কোনো গ্যাসকে হঠাৎ চাপ দিয়ে সঙ্কুচিত করলে কিছু পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হয়। যদি এই উৎপন্ন তাপ অপসারণ করা না হয়, তবে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে। আবার কোনো গ্যাসকে হঠাৎ প্রসারিত হতে দিলে গ্যাসটি কিছু পরিমাণ তাপ হারাতে এবং বাইরে থেকে যদি সমপরিমাণ তাপ সরবরাহ করা না হয়, তবে গ্যাসের তাপমাত্রা হ্রাস পাবে। সুতরাং এই পরিবর্তনে তাপমাত্রা কখনও স্থির থাকে না। আরও উল্লেখ থাকে যে, এই ক্ষেত্রে গ্যাস তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে না বটে, তবে গ্যাসের অন্তর্নিহিত শক্তি স্থির থাকে না— অন্তর্নিহিত শক্তির হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে। এরূপ পরিবর্তনকে বৃদ্ধিতাপীয় পরিবর্তন বলা হয়। 'a' অর্থ 'না', 'dia' অর্থ 'বরাবর' এবং 'bates' অর্থ 'তাপ'। এক কথায় 'adiabatic'— অর্থ 'heat not passing through' অর্থাৎ তাপ সিস্টেমে প্রবেশ করে না বা সিস্টেম তাপ ত্যাগ করে না। বৃদ্ধিতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে $PV^\gamma = \text{ধ্রুবক}$ সমীকরণ এবং $TV^{\gamma-1} = \text{ধ্রুবক}$ সমীকরণ প্রযোজ্য।

যে প্রক্রিয়ায় সিস্টেম তাপ গ্রহণ করে না কিংবা তাপ বর্জন করে না তাকে বৃদ্ধিতাপীয় প্রক্রিয়া বলে। যে পরিবর্তনে কোনো তাপ বাহির হতে সরবরাহ করা হয় না বা গ্যাস হতে অপসারণ করা হয় না অর্থাৎ গ্যাসের চাপ এবং আয়তনের পরিবর্তন ঘটে তাকে বৃদ্ধিতাপীয় পরিবর্তন বলা হয়।



চিত্র ১'৭

অথবা, যে প্রক্রিয়ায় গ্যাসের চাপ ও আয়তন পরিবর্তনকালে তাপের পরিমাণ পরিবর্তন হয় না অর্থাৎ সিস্টেম (প্রক্রিয়াধীন গ্যাস) তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে না, কিন্তু তাপমাত্রার পরিবর্তন ঘটে তাকে বৃদ্ধিতাপীয় প্রক্রিয়া বলে। এ পরিবর্তনকে বৃদ্ধিতাপীয় পরিবর্তন বলে।

গ্যাসের বৃদ্ধিতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে বয়েলের সূত্র প্রযোজ্য নয়। এক্ষেত্রে গ্যাসের চাপ ও আয়তনের মধ্যে সম্পর্ক হচ্ছে, $PV^\gamma = \text{ধ্রুবক}$ এবং তাপমাত্রা ও আয়তনের সম্পর্ক হলো $TV^{\gamma-1} = \text{ধ্রুবক}$ । বৃদ্ধিতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে P এবং V-এর লেখকে বৃদ্ধিতাপীয় লেখ (adiabatic curve) বলে। চিত্র ১'৭-এ একটি বৃদ্ধিতাপীয় লেখ দেখানো হয়েছে। বৃদ্ধিতাপীয় লেখ সমোষ্ণ লেখ-এর তুলনায় বেশি খাড়া হয়।

বৃদ্ধিতাপীয় পরিবর্তনের শর্তসমূহ (Conditions for adiabatic change)

বৃদ্ধিতাপীয় পরিবর্তনের জন্য নিম্নলিখিত শর্তসমূহ প্রয়োজন :

- গ্যাসকে একটি কুপরিবাহী পাত্রে রাখতে হবে।
- গ্যাসের চতুর্দিকস্থ মাধ্যমের তাপগ্রাহীতা কম হতে হবে।
- চাপ পরিবর্তন খুব দ্রুত সংঘটিত করতে হবে যাতে বাইরের সাথে তাপ আদান-প্রদানের কোনো সুযোগ না থাকে।

স্থলতাপীয় পরিবর্তনের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of adiabatic change)

- (১) মোট তাপের পরিমাণ স্থির রেখে কোনো গ্যাসের চাপ ও আয়তনের পরিবর্তনকে স্থলতাপীয় পরিবর্তন বলে।
- (২) এই পরিবর্তনে তাপমাত্রার পরিবর্তন ঘটে।
- (৩) এটি একটি অভিন্ন মুক্ত প্রক্রিয়া।
- (৪) এই পরিবর্তনে পাত্রটি তাপ কুপরিবাহী হওয়া প্রয়োজন।
- (৫) এই পরিবর্তনে পাত্রের চতুর্দিকস্থ মাধ্যমের তাপগ্রাহিত নিষ্কৃত হতে হয়।
- (৬) আদর্শ গ্যাসের স্থলতাপীয় পরিবর্তনের সমীকরণ হলো, $PV^\gamma = \text{ধ্রুবক}$ ।
- (৭) স্থলতাপীয় লেখ সমোক্ষ লেখ হতে অধিক বাড়া।

**১.৩.৩ স্থলতাপীয় পরিবর্তনে চাপ ও আয়তনের মধ্যে সম্পর্ক
Relation between pressure and volume of a gas in adiabatic change**

মনে করি এক মোল আদর্শ গ্যাস আছে। এই গ্যাসে dQ পরিমাণ তাপ প্রয়োগ করি। এতে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে এবং সেই সঙ্গে গ্যাস কিছু কাজ করবে অর্থাৎ প্রদত্ত তাপ দুই ভাবে ব্যয়িত হবে।

ধরি আয়তনের পরিবর্তন dV এবং তাপমাত্রার পরিবর্তন dT ।

∴ তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র হতে পাই,

$$dQ = C_v dT + PdV \quad \dots \dots \dots (1.7)$$

এখানে, C_v = স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ এবং PdV = নির্দিষ্ট চাপে গ্যাসের প্রসারণের জন্য কৃত কাজের পরিমাণ।

আমরা জানি, স্থলতাপ প্রক্রিয়ায় বাইরের সাথে গ্যাসের তাপের কোনো আদান প্রদান ঘটে না।

অতএব, $dQ = 0$

∴ সমীকরণ (1.7) হতে পাই,

$$C_v dT + PdV = 0 \quad \dots \dots \dots (1.8)$$

পুনঃ, আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে, $PV = RT$, এখানে R মোলার গ্যাস ধ্রুবক।

উক্ত সমীকরণকে ব্যবকলন করে পাই,

$$PdV + VdP = RdT$$

$$\text{বা, } dT = \frac{PdV + VdP}{R}$$

∴ সমীকরণ (1.8) হতে পাই,

$$C_v \left(\frac{PdV + VdP}{R} \right) + PdV = 0$$

$$\text{বা, } C_v PdV + C_v VdP + R PdV = 0$$

$$\text{বা, } C_v PdV + C_v VdP + (C_p - C_v) PdV = 0 \quad [\because R = C_p - C_v]$$

$$\text{বা, } C_v PdV + C_v VdP + C_p PdV - C_v PdV = 0$$

$$\text{বা, } C_v VdP + C_p PdV = 0$$

$$\text{বা, } VdP + \frac{C_p}{C_v} PdV = 0 \quad [C_v \text{ দ্বারা ভাগ করে}]$$

$$\text{বা, } VdP + \gamma PdV = 0 \quad \left[\because \frac{C_p}{C_v} = \gamma \right]$$

$$\text{বা, } \frac{dP}{P} + \gamma \frac{dV}{V} = 0 \quad [PV \text{ দ্বারা ভাগ করে}]$$

এখন সমাকলন করে পাই,

$$\log P + \gamma \log V = \text{ধ্রুবক} = \log K, \text{ এখানে } K = \text{ধ্রুবক}।$$

$$\text{বা, } \log P + \log V^\gamma = \log K$$

$$\text{বা, } \log PV^\gamma = \log K$$

$$\therefore PV^\gamma = K = \text{ধ্রুবক}$$

এটিই হলো চাপ ও আয়তনের মধ্যে সম্পর্ক। (1.9)

যদি আদি চাপ ও আয়তন যথাক্রমে P_1 ও V_1 এবং চূড়ান্ত চাপ ও আয়তন যথাক্রমে P_2 ও V_2 হয়, তাহলে

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma = \text{ধ্রুবক} \quad \dots \dots \dots (1.10)$$

১.৩.৪ বৃদ্ধিতাপীয় পরিবর্তনে আয়তন ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক
Relation between volume and temperature in adiabatic change

আমরা জানি, আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে, $PV = RT$

$\therefore P = \frac{RT}{V}$

পুনঃ, আমরা পাই, $PV^\gamma = \text{ধ্রুবক}$ ।

উক্ত সমীকরণে P-এর মান বসিয়ে পাই,

$\frac{RT}{V} \times V^\gamma = \text{ধ্রুবক}$ বা, $RTV^{\gamma-1} = \text{ধ্রুবক}$

বা, $T \times V^{\gamma-1} = \text{ধ্রুবক}$ [$\because R = \text{ধ্রুবক}$]

এটিই হলো বৃদ্ধিতাপীয় প্রক্রিয়ার আয়তন ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক।

$TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = K$
 $TV^{\gamma-1} = K$

১.৩.৫ বৃদ্ধিতাপীয় পরিবর্তনে আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে চাপ ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক
Relation between pressure and temperature in adiabatic process

আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে এক মোল গ্যাসের জন্য আমরা জানি,

$PV = RT$

বা, $V = \frac{RT}{P}$

বৃদ্ধিতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে $PV^\gamma = \text{ধ্রুবক}$ ।

V-এর মান বসিয়ে পাই,

$P \left(\frac{RT}{P} \right)^\gamma = \text{ধ্রুবক}$

বা, $P \times R^\gamma \times T^\gamma \times P^{-\gamma} = \text{ধ্রুবক}$

বা, $P^{1-\gamma} \times T^\gamma = \frac{\text{ধ্রুবক}}{R^\gamma}$

বা, $T^\gamma P^{1-\gamma} = \text{ধ্রুবক}$

এই সমীকরণের উভয় পাশে γ মূল দিয়ে ভাগ করে পাই,

$\therefore TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{ধ্রুবক}$

ইহাই বৃদ্ধিতাপীয় প্রক্রিয়ার চাপ ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক।

এক পরমাণবিক গ্যাস $\gamma = 1.67$
দ্বি $\gamma = 1.40$
বহু $\gamma = 1.33$

হিসাব : বৃদ্ধিতাপ প্রক্রিয়ায় ($\gamma = 1.4$) দ্বি-পরমাণু গ্যাসের চাপ 0.5% বৃদ্ধি করা হলে গ্যাসের আয়তন কত কমবে ?

$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$ সূত্র ব্যবহার করে পাই,

$\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$

$\left(\frac{V_1}{V_2} \right) = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1/\gamma}$

বা, $V_1 = V_2 \times \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1/\gamma}$

বা, $V_1 = V \times \left(\frac{P}{P + 0.5\% \times P} \right)^{1/\gamma}$

বা, $V_1 = V \times \left(\frac{P}{P(1+0.5\%)} \right)^{1/\gamma}$

$\therefore V_1 = V \times 9964413 = V \times 9964$

$$\begin{aligned} \therefore \text{আয়তন কমার পরিমাণ} &= \frac{V_1 - V}{V} \times 100\% \\ &= \frac{V \times 9964 - V}{V} \times 100\% \\ &= 0.35\% \end{aligned}$$

কাজ : স্থানান্তরিত প্রক্রিয়ায় গ্যাসকে সংশ্লিষ্ট করলে এর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়—এর কারণ কী ?

স্থানান্তরিত প্রক্রিয়ায় গ্যাসকে সংশ্লিষ্ট করলে তাপমাত্রা বেড়ে যায় এবং প্রসারিত করলে তাপমাত্রা কমে যায়। অর্থাৎ স্থানান্তরিত গ্যাস কোনো তাপ গ্রহণ বা বর্জন না করলেও গ্যাসের অন্তর্স্থ শক্তি স্থির থাকে না। যখন গ্যাসকে সংশ্লিষ্ট করা হয় তখন গ্যাসের ওপর কাজ সম্পন্নিত হয়। এতে গ্যাসের শক্তি বৃদ্ধি পায়। অর্থাৎ গ্যাসের অন্তর্স্থ শক্তি বৃদ্ধি ঘটে। কারণ এক্ষেত্রে গ্যাস তাপ বর্জন করতে পারে না। তাই এ স্থানান্তরিত প্রক্রিয়ায় গ্যাসকে সংশ্লিষ্ট করলে এর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

গাণিতিক উদাহরণ

১। 25°C তাপমাত্রায় ও বায়ুমণ্ডলীয় চাপে আবদ্ধ শুষ্ক বায়ুকে হঠাৎ বা স্থানান্তরিত করে আয়তন অর্ধেক করা হলো। চূড়ান্ত (ক) তাপমাত্রা (খ) চাপ নির্ণয় কর। ($\gamma = 1.4$)

[চ. বো. ২০১০; জ. বো. ২০০৮; ব. বো. ২০০৪]

মনে করি চূড়ান্ত তাপমাত্রা = T_2 K ও চাপ = P_2

$$\text{আমরা পাই, } T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \quad \dots \quad (i)$$

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

এখানে,

$$T_1 = 25^\circ\text{C} = (25 + 273) \text{ K} = 298 \text{ K}$$

$$V_1 = 2V_2$$

$$\gamma = 1.4$$

$$P_1 = 1 \text{ বায়ুমণ্ডলীয় চাপ}$$

(ক) সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$\begin{aligned} T_2 &= \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \times T_1 = 2^{1.4-1} \times 298 \text{ K} \\ &= 393.18 \text{ K} = (393.18 - 273)^\circ\text{C} \\ &= 120.18^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$(খ) P_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma \times P_1$$

$$= 2^{1.4} \times 1 \text{ বায়ুমণ্ডলীয় চাপ}$$

$$= 2.64 \text{ বায়ুমণ্ডলীয় চাপ}$$

২। বায়ুকে স্থানান্তরিত করে এর আয়তন তিনগুণ করা হলো। যদি প্রাথমিক চাপ 1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ হয় তাহলে চূড়ান্ত চাপ কত হবে ? ($\gamma = 1.4$)

[রা. বো. ২০০৯; ব. বো. ২০০৫; জ. বো. ২০০৪]

আমরা জানি,

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

$$\text{বা, } \left(\frac{3V_1}{V_1}\right)^\gamma = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

$$\therefore (3)^{1.4} = \frac{1.013 \times 10^5}{P_2}$$

$$\begin{aligned} \text{বা, } P_2 &= \frac{1.013 \times 10^5}{(3)^{1.4}} \\ &= 2.176 \times 10^4 \text{ Nm}^{-2} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\text{প্রাথমিক চাপ} = 1 \text{ বায়ুমণ্ডলীয় চাপ, } P_1 = 0.76 \text{ m পারদ}$$

$$\begin{aligned} \text{স্তম্ভের চাপ} &= 0.76 \text{ m} \times (13.6 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}) \times 9.8 \text{ ms}^{-2} \\ &= 1.013 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2} \end{aligned}$$

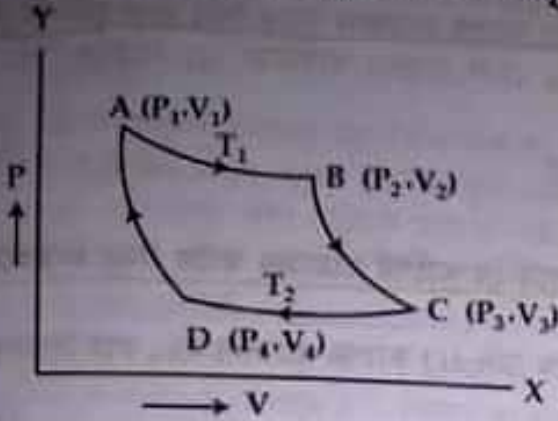
$$\text{প্রাথমিক আয়তন} = V_1$$

$$\text{চূড়ান্ত আয়তন, } V_2 = 3V_1$$

$$\gamma = 1.4$$

$$\text{চূড়ান্ত চাপ, } P_2 = ?$$

৩। একটি কার্নো ইঞ্জিনের লেখচিত্র P-V নিম্নরূপ।



এখানে,

- $P_1 = 3 \text{ atm}$
- $T_1 = 600 \text{ K}$
- $V_1 = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
- $V_2 = 6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
- $T_2 = 300 \text{ K}$

কার্নো চক্রটির B বিন্দুতে চাপ এবং C বিন্দুতে আয়তন কত হবে ?

আমরা জানি, কার্নো চক্রে A থেকে B তে সমোষ্ণ প্রসারণ এবং B থেকে C তে বৃদ্ধতাপীয় প্রসারণ ঘটে। সমোষ্ণ প্রসারণের ক্ষেত্রে B বিন্দুতে চাপ,

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$\therefore P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} = \frac{3 \times 2 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{-3}} = 1 \text{ atm}$$

বৃদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে C বিন্দুতে আয়তন,

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

$$\text{বা, } 600 \times (2 \times 10^{-3})^{1.41-1} = 300 V_3^{\gamma-1}$$

$$\text{বা, } 2 \times (2 \times 10^{-3})^{0.41} = 300 V_3^{1.41-1}$$

$$\text{বা, } V_3^{0.41} = 2 \times (2 \times 10^{-3})^{0.41}$$

$$\text{বা, } V_3 = \frac{1}{2^{0.41}} \times (2 \times 10^{-3}) = 0.010845 \text{ m}^3$$

৩৬ ৩৭

১.৪ মোলার আপেক্ষিক তাপ বা মোলার তাপধারণ ক্ষমতা

Molar specific heat or molar heat capacity

আমরা জানি, বস্তু অতি ক্ষুদ্র অণু, পরমাণু সমন্বয়ে গঠিত এবং একটি বস্তুর মধ্যে অণু-পরমাণুর সংখ্যা অত্যন্ত বেশি। যেমন মাত্র 12 gm কার্বনের মধ্যে 6.02×10^{23} টি পরমাণু থাকে। এত বড় সংখ্যাকে ছোট এককে প্রকাশ করা হয়। এই ছোট একককে গ্রাম-মোল (gm-mole) বা সংক্ষেপে মোল (mole) বলে।^১ গ্যাসের ক্ষেত্রে আপেক্ষিক তাপ সংজ্ঞায়িত করার জন্য g বা kg ব্যবহার না করে মোল ব্যবহার করা হয় এবং সংশ্লিষ্ট আপেক্ষিক তাপকে মোলার আপেক্ষিক তাপ বলে।

মোলার তাপধারণ ক্ষমতা বা মোলার আপেক্ষিক তাপ-এর সংজ্ঞা :

1 মোল গ্যাসের তাপমাত্রা 1 ডিগ্রী বাড়াতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয় তাকে সেই গ্যাসের মোলার তাপধারণ ক্ষমতা বা মোলার আপেক্ষিক তাপ বলে। একে C দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

কোনো গ্যাসের m মোলের তাপমাত্রা ΔT বৃদ্ধি করতে যদি ΔQ পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, তবে

মোলার তাপ ধারণ ক্ষমতা,

$$C = \frac{\Delta Q}{m \Delta T}$$

(1.11)

একক : ΔQ এর একক জুল (joule), m-এর একক মোল (mol) এবং ΔT -এর একক কেলভিন (K)। সুতরাং সমীকরণ (1.11) হতে C-এর একক $(\text{mol})^{-1} \text{K}^{-1}$ ।

গ্যাসের দুটি আপেক্ষিক তাপ রয়েছে। সুতরাং এর দুটি মোলার আপেক্ষিক তাপও রয়েছে। যথা— C_p স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ এবং C_v স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ।

^১ কোনো বস্তুর পারমাণবিক বা আণবিক ওজন (atomic weight) কিলোগ্রামে প্রকাশ করলে তাকে 1 মোল বলা হয়।

(i) স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ C_p :
 স্থির চাপে 1 mole গ্যাসের তাপমাত্রা 1K বৃদ্ধি করতে যে তাপের প্রয়োজন তাকে স্থির চাপে মোলার আপেক্ষিক তাপ বলে। একে C_p দ্বারা প্রকাশ করা হয়। চাপ স্থির রেখে m মোল গ্যাসের তাপমাত্রা ΔT বাড়াতে যদি ΔQ জুল তাপের প্রয়োজন হয়, তবে সংজ্ঞানুসারে,

$$C_p = \frac{\Delta Q}{m \Delta T}$$

(1.12)

(ii) স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ, C_v :
 স্থির আয়তনে 1 mole গ্যাসের তাপমাত্রা 1K বৃদ্ধি করতে যে তাপের প্রয়োজন তাকে স্থির আয়তনে মোলার আপেক্ষিক তাপ বলে। একে C_v দ্বারা প্রকাশ করা হয়। আয়তন স্থির রেখে m মোল গ্যাসের তাপমাত্রা ΔT বাড়াতে যদি ΔQ তাপের প্রয়োজন হয়, তবে সংজ্ঞানুসারে,

$$C_v = \frac{\Delta Q}{m \Delta T}$$

(1.13)

পরীক্ষায় দেখা গেছে C_p এর মান C_v অপেক্ষা বেশি হয়। এর ভৌত কারণ পরবর্তী অনুচ্ছেদে আলোচনা করা হলো।

$$C_p - C_v = R$$

১.৪.১ C_p এবং C_v এর পার্থক্যের ভৌত ব্যাখ্যা

Physical explanation of the difference between C_p and C_v

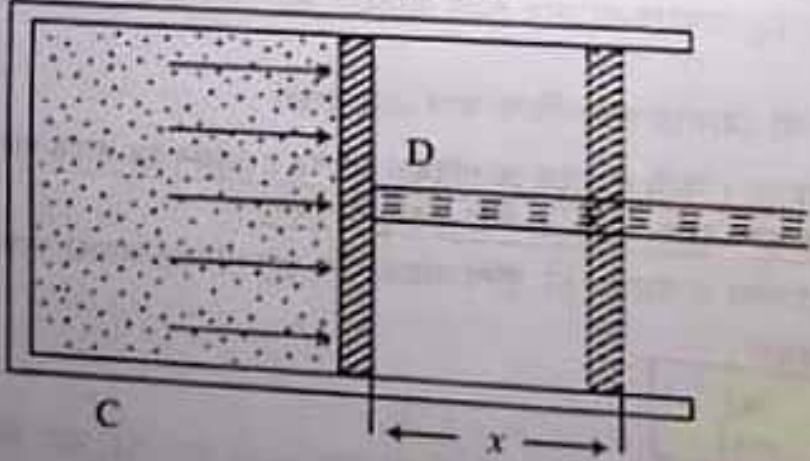
একটি নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন স্থির রেখে তাকে উত্তপ্ত করতে থাকলে তার চাপ ও তাপমাত্রা উভয়ই বৃদ্ধি পায়। কিন্তু আয়তন স্থির থাকায় ঐ গ্যাস বাহ্যিক কোনো কাজ করে না। ফলে সম্পূর্ণ তাপ গ্যাসের চাপ ও তাপমাত্রা পরিবর্তনেই ব্যয় হয়। আবার চাপ স্থির রেখে গ্যাসটিকে উত্তপ্ত করতে থাকলে তার আয়তন ও তাপমাত্রা উভয়ই বৃদ্ধি পায়। ফলে প্রযুক্ত তাপ একদিকে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে এবং অপরদিকে বাহ্যিক চাপের বিরুদ্ধে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি করে কিছু কাজ সম্পন্ন করে। সুতরাং স্থির আয়তনে 1 মোল গ্যাসের তাপমাত্রা 1K পর্যন্ত বৃদ্ধি করতে যে তাপের প্রয়োজন হবে স্থির চাপে ঐ গ্যাসের তাপমাত্রা 1K বৃদ্ধি করতে তা অপেক্ষা কিছু বেশি তাপের প্রয়োজন হবে। কেননা দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বাহ্যিক চাপের বিরুদ্ধে কাজ করে আয়তন বৃদ্ধি করতে কিছু অতিরিক্ত তাপ লাগবে। অর্থাৎ $C_p = C_v +$ বাহ্যিক চাপের বিরুদ্ধে কাজের সমতুল তাপ। সুতরাং $C_p > C_v$

১.৪.২ একটি আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে C_p ও C_v এর মধ্যে পার্থক্য

Difference between C_p and C_v for an ideal gas

আমরা জানি গ্যাসের দুটি আপেক্ষিক তাপ আছে, একটি C_p এবং অপরটি C_v । এদের মধ্যে পার্থক্য বের করতে হবে।

একটি আদর্শ গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের মধ্যে পার্থক্য করতে গিয়ে তাপ কুপরিবাহী পদার্থের একটি আবদ্ধ চোঙ লই। মনে করি চোঙ C। চোঙের মধ্যে একটি হালকা ঘর্ষণ শূন্য ও বায়ু নিরুদ্ধ পিস্টন বিনা বাধায় চলাচল করতে পারে। মনে করি পিস্টনটি D। পিস্টনটিও কুপরিবাহী পদার্থের তৈরি।



চিত্র ১৮

এই আবদ্ধ চোঙে 1 মোল পরিমাণ গ্যাস লই। এখন গ্যাসটির আয়তন স্থির রেখে এর তাপমাত্রা ΔT পরিমাণ বৃদ্ধি করি। যদি স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ C_v হয়, তবে গ্যাস কর্তৃক গৃহীত তাপ = $১ \times C_v \times \Delta T$
 = $C_v \times \Delta T$

গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধির পরিমাণ এক কেলভিন হলে গ্যাস কর্তৃক গৃহীত তাপ

$$= C_v \times 1$$

$$= C_v \text{ জুল (J)}$$

মনে করি স্থির চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ C_p অর্থাৎ স্থির চাপে 1 মোল গ্যাসের তাপমাত্রা 1 ডিগ্রি বাড়াতে C_p তাপমাত্রা বাড়াবে এবং অপর অংশ বাহ্যিক চাপ P-এর বিরুদ্ধে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধিতে কাজ করবে। ধরি চাপের বিরুদ্ধে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধির ফলে পিস্টনটি x পরিমাণ দূরত্ব বাইরে সরে গেল। অতএব কাজের পরিমাণ

$$= \text{বল} \times \text{সরণ}$$

$$= \text{চাপ} \times \text{ক্ষেত্রফল} \times \text{সরণ} \quad [\because \text{বল} = \text{চাপ} \times \text{আয়তন}]$$

$$= P \times A \times x; \text{ এখানে } A = \text{পিস্টন বা চোঙের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল}$$

\therefore কাজ = $P \cdot dV$ জুল (J); এখানে $dV =$ গ্যাসের প্রসারিত আয়তন = $A \cdot x$ ।
অতএব,

$$C_p = C_v + \text{কাজের পরিমাণ}$$

$$\text{বা, } C_p = C_v + P \cdot dV \quad (1.14)$$

আমরা জানি আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে

$$PV = RT \quad (1.15)$$

যদি চাপ স্থির থাকে, তবে সমীকরণ (1.15)-কে ব্যবকলন করে পাই,

$$P \cdot dV + V \times 0 = R \cdot dT + T \times 0$$

$$\text{বা, } P \cdot dV = R \cdot dT = R$$

[\because তাপমাত্রা বৃদ্ধি $dT = 1 \text{ K}$]

\therefore সমীকরণ (1.14) হতে পাই,

$$C_p = C_v + R$$

$$\text{বা, } C_p - C_v = R \quad (1.16)$$

অর্থাৎ গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের পার্থক্য বা অন্তরফল গ্যাস ধ্রুবক R-এর সমান।

যেহেতু R ধনাত্মক, সুতরাং $C_p > C_v$ । R-এর মান $8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ বসিয়ে সমীকরণ (1.16) হতে পাওয়া যায়, $C_p - C_v = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$$\text{সমীকরণ (1.16) থেকে পাই, } \frac{C_p}{C_v} - 1 = \frac{R}{C_v}$$

$$\text{বা, } \gamma - 1 = \frac{R}{C_v}$$

$$\text{বা, } C_v = \frac{R}{\gamma - 1} \quad \dots \dots \dots [1.16(a)]$$

১.৪.৩ γ -এর মানের ভিন্নতা ও গুরুত্ব
Variation in the value of γ and its importance

আমরা জানি,

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\text{স্থির চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ}}{\text{স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ}}$$

এক পারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে

$$C_v = \frac{3}{2} R \text{ এবং}$$

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

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\frac{5}{2} R}{\frac{3}{2} R} = 1.67$$

দ্বিপারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে

$$C_v = \frac{5}{2} R \text{ এক}$$

$$C_p = C_v + R = \frac{5}{2} R + R = \frac{7}{2} R$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\frac{7}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{7}{5} R = 1.40$$

বহুপারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে

$$C_v = 3R \text{ এক}$$

$$C_p = 3R + R = 4R$$

$$\therefore \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{4R}{3R} = \frac{4}{3} = 1.33$$

পরীক্ষালব্ধ ফলাফল হতে দেখা যায় সকল এক পরমাণুক গ্যাসের ক্ষেত্রে [যেমন He, Ne, Ar] γ -এর মান

1.67। সকল দ্বিপারমাণুক গ্যাসের ক্ষেত্রে [যেমন H_2, O_2, N_2, Cl_2] γ -এর মান 1.40 এবং সকল ত্রিপারমাণুক গ্যাসের ক্ষেত্রে [যেমন CO_2, C_2H_6, NH_3] γ -এর মান 1.33। অতএব একই প্রকার আণবিক গঠনের জন্য γ -এর মান নির্দিষ্ট একা বিভিন্ন গঠনের গ্যাসের জন্য γ -এর মান ভিন্ন ভিন্ন হয়।

γ -এর গুরুত্ব :

(ক) কোনো গ্যাসের γ -এর মান জানা থাকলে ওই গ্যাসের আণবিক বিন্যাস জানা যায় অর্থাৎ ওই গ্যাসের প্রতিটি অণুর মধ্যে কয়টি পরমাণু আছে তা জানা যায়।

(খ) গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ γ -এর মানের উপর নির্ভর করে। তাই শব্দের বেগ নির্ণয়ের জন্য এর প্রয়োজন হয়।

(গ) গ্যাসের বৃদ্ধতাপ প্রক্রিয়া পর্যালোচনার জন্য γ -এর মান জানা দরকার।

গাণিতিক উদাহরণ

১। বহুপারমাণবিক গ্যাসের জন্য স্থির আয়তনে ও স্থির চাপে মোলার আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর।

$$[\gamma = 1.33, R = 8.31 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}]$$

আমরা জানি,

$$C_p - C_v = R$$

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

$$\therefore C_p = \gamma C_v$$

সমীকরণ (i)-এ C_p এর মান বসিয়ে পাই,

$$C_v(\gamma - 1) = R$$

$$C_v = \frac{R}{\gamma - 1} = \frac{8.31}{1.33 - 1} = 25.18 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$$

আবার, $C_p = C_v + R$

$$= 25.18 + 8.31 = 33.49 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$$

১.৪.৪ বৃদ্ধতাপীয় রেখা (লেখ) সমোক্ষ রেখা (লেখ)-এর চেয়ে অধিকতর খাড়া

Adiabatic curve is steeper than isothermal curve

$P-V$ লেখচিত্রের সাহায্যে সমোক্ষ ও বৃদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া নির্দেশ করা যায় [চিত্র ১.৯]। লেখচিত্রের কোনো বিন্দুতে স্পর্শক টানলে ওই বিন্দুতে ঢাল ক'নত হবে $\frac{dP}{dV}$ । দেখা যায় যে, যেকোনো বিন্দুতে বৃদ্ধতাপ রেখার ঢাল সমোক্ষ রেখার ঢালের γ গুণ হয়।