

## “তাপ গতিবিদ্যা (দ্বিতীয় সূত্র)”

তাপ গতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে আমরা জেনেছি বিভিন্ন প্রকার শক্তি পরস্পর রূপান্তরযোগ্য। তবে যান্ত্রিক শক্তি, আলোক শক্তি, শব্দ শক্তি ইত্যাদি যেমন অতি সহজে তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়; তাপ শক্তি তেমন অতি সহজে অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হয় না। তাপ শক্তিকে অন্য শক্তিতে রূপান্তরের জন্য অবশ্যই যন্ত্রের প্রয়োজন এবং এই যন্ত্রকেই বলা হয় তাপ ইঞ্জিন। বিজ্ঞানী কার্নো তাপ ইঞ্জিন নিয়ে অনেক গবেষণা করে এই সিদ্ধান্তে পৌছেন যে, তাপকে সম্পূর্ণভাবে কাজে রূপান্তর করা সম্ভব নয়। পরবর্তীতে বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস এবং কেলভিন পৃথক পৃথকভাবে কার্নোর উপরোক্ত তত্ত্বের যে রূপ দেন তাই তাপ গতিবিদ্যা দ্বিতীয় সূত্র নামে পরিচিত।

**প্রশ্ন→(১) প্রত্যগামী এবং অপ্রত্যগামী প্রক্রিয়া বলতে কি বুঝ? উদাহরণ সহ বুঝিয়ে লিখ?**

**উত্তর: প্রত্যগামী প্রক্রিয়া (Reversible Process):** যে প্রক্রিয়া বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করে এবং সন্মুখবর্তী ও বিপরীতমুখী প্রক্রিয়ার প্রতিটি স্তরে তাপ ও কাজের ফলাফল সমান ও বিপরীত হয় সেই প্রক্রিয়াকে প্রত্যগামী প্রক্রিয়া বলে।

উদাহরণ স্বরূপ বলা যায়-বরফ নিদিষ্ট পরিমাণ তাপ শোষণ করে পানিতে পরিনত হয়। আবার সেই পানি থেকে সমপরিমাণ তাপ অপসারণ করে নিলে তা আবার বরফে পরিনত হয়। অতএব এ প্রক্রিয়াটি প্রত্যগামী প্রক্রিয়া।

**অপ্রত্যগামী প্রক্রিয়া (Irreversible Process):** যে প্রক্রিয়া বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করতে পারে না তাকে অপ্রত্যগামী প্রক্রিয়া বলে।

উদাহরণ স্বরূপ বলা যায়, দুটি বস্তুর মধ্যে ঘর্ষণের ফলে যে তাপ উৎপন্ন হয় তা একটি অপ্রত্যগামী প্রক্রিয়া। কারণ ঘর্ষণের বিরুদ্ধে যে কাজ হয় তাই তাপে রূপান্তরিত হয়; কিন্তু এই তাপকে কখনোই কাজে রূপান্তর করা যায় না।

**প্রশ্ন→(২) তাপ গতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র বর্ণনা ও ব্যাখ্যা কর।**

**উত্তর:** বিভিন্ন বিজ্ঞানী তাপ গতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রকে বিভিন্নভাবে সংজ্ঞায়িত করেছেন। কিন্তু তাদের বিভিন্ন প্রকার বিবৃতির মধ্যে একটি মূল ঐক্য বিদ্যমান রয়েছে। নিম্নে সূত্রগুলো বর্ণনা করা হলো-

**ক্লসিয়াসের সংজ্ঞা :-** “ বাইরের কোন শক্তির সাহায্য ছাড়া কোন স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রের পক্ষে নিম্ন তাপমাত্রার বস্তু হতে উচ্চ তাপমাত্রার বস্তুতে তাপের স্থানান্তর সম্ভব নয়। ”

ক্লসিয়াসের এই বিবৃতি থেকে বুঝা যায় যে, তাপ স্বতস্ফূর্তভাবে শীতলতর বস্তু থেকে অপেক্ষাকৃত উচ্চতর তাপমাত্রার বস্তুতে প্রবাহিত হতে পারেনা। এর অর্থ এই যে, বাইরের কোন শক্তি কাজ না করলে তাপ কখনো কোন শীতল বস্তু থেকে অপেক্ষাকৃত উচ্চ তাপমাত্রার বস্তুতে প্রবাহিত হবে না।

**কেলভিনের সংজ্ঞা:-** “চারিপার্শ্বস্থ শীতলতম বস্তুর চেয়েও অধিক শীতল করে কোন জড় বস্তু থেকে শক্তির অবিরাম সরবরাহ পাওয়া সম্ভব নয়। ”

তাপ ইঞ্জিনের সাহায্যে কেলভিনের সূত্রের সত্যতা ব্যাখ্যা করা যায়। তাপ উৎসের তাপমাত্রা পরিপার্শ্বের তাপমাত্রার সমান হলে কোন তাপ ইঞ্জিন কাজ সম্পাদন করতে পারবে না। তাপ উৎসের তাপমাত্রা পরিপার্শ্বস্থ তাপমাত্রা অপেক্ষা কম হলে তাপকে কিছুতেই শক্তিতে রূপান্তর করা সম্ভব নয়।

**প্লাঙ্কের সংজ্ঞা :-** “ এমন কোন ইঞ্জিন তৈরী করা সম্ভব নয়, যেটা কোন বস্তু থেকে তাপ গ্রহণ করে অবিরামভাবে কাজে পরিনত করবে অথচ পরিবেশের কোন পরিবর্তন হবে না। ”

**প্রশ্ন→(৩) প্রত্যগামী ও অপ্রত্যগামী প্রক্রিয়ার মধ্যে পার্থক্য লিখ-**

**উত্তর:** নিম্নে প্রত্যগামী ও অপ্রত্যগামী প্রক্রিয়ার মধ্যে পার্থক্য নির্দেশ করা হলো-

প্রত্যগামী প্রক্রিয়া	অপ্রত্যগামী প্রক্রিয়া
১) যে প্রক্রিয়া বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করে এবং সন্মুখবর্তী ও বিপরীতমুখী প্রক্রিয়ার প্রতিটি স্তরে তাপ ও কাজের ফলাফল সমান ও বিপরীত হয় তাকে প্রত্যগামী প্রক্রিয়া বলে।	১) যে প্রক্রিয়া বিপরীতমুখী হয়ে প্রত্যাবর্তন করতে পারেনা তাকে অপ্রত্যগামী প্রক্রিয়া বলে।
২) এ প্রক্রিয়া অপচয়মূলক প্রভাব থেকে মুক্ত।	২) এ প্রক্রিয়া অপচয়মূলক প্রভাব থেকে মুক্ত নয়।
৩) প্রত্যগামী প্রক্রিয়া অভ্যন্তরীণ ধীর প্রক্রিয়া।	৩) অপ্রত্যগামী প্রক্রিয়া অতি দ্রুত প্রক্রিয়া।
৪) ইহা স্বতস্ফূর্ত প্রক্রিয়া নয়।	৪) ইহা স্বতস্ফূর্ত প্রক্রিয়া।
৫) তাপগতীয় সাম্যাবস্থা বজায় রাখে।	৫) তাপগতীয় সাম্যাবস্থা বজায় রাখে না।
৬) কার্যনির্বাহক বস্তু প্রাথমিক অবস্থায় ফিরে আসে।	৬) কার্য নির্বাহক বস্তু প্রাথমিক অবস্থায় ফিরে আসে না।

**প্রশ্ন→(৪) একটি কার্নো ইঞ্জিনের নির্দেশক চিত্রের বর্ণনা দাওঃ**

**উত্তরঃ** কোন প্রক্রিয়ায় প্রক্রিয়াধীন ব্যবস্থার প্রতিটি অবস্থাকে চাপ-আয়তন লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। এ ধরনের লেখচিত্রকে নির্দেশক চিত্র বলা হয়। চিত্রে- একটি কার্নো ইঞ্জিনের নির্দেশক চিত্র দেখানো হয়েছে।

নির্দেশক চিত্রের- মাধ্যমে একটি গ্যাসের অবস্থা দেখানো হয়েছে। ধরি,  $A$  বিন্দু গ্যাসের প্রাথমিক অবস্থা এবং  $B$  বিন্দু চূড়ান্ত অবস্থা নির্দেশ করছে; যেখানে  $A$  বিন্দুতে চাপ ও আয়তন  $P_1$  ও  $V_1$  এবং  $B$  বিন্দুতে  $P_2$  ও  $V_2$ । আবার  $AB$  রেখার অন্যান্য বিন্দু বিভিন্ন চাপ ও আয়তন নির্দেশ করছে।

এখন ধরি,  $AB$  রেখার উপর  $C$  ও  $D$  দুটি বিন্দু খুবই কাছাকাছি অবস্থিত।

তাহলে  $C$  ও  $D$  বিন্দুতে গ্যাসের চাপকে সমান ধরা যায়; ধরি এই চাপ,

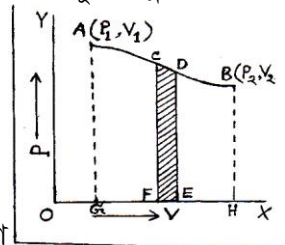
$CF = DE = P$ । এই চাপের মধ্যে গ্যাসের আয়তন প্রসারণ

$= FE = dv$  হলে, কাজের পরিমাণ  $= P \times dv$

$\therefore dw = FC \times FE = CDEF$  ক্ষেত্রফল। সুতরাং  $A$  থেকে  $B$  পর্যন্ত আয়তন পরিবর্তনের জন্য মোট কাজের পরিমাণ

$= CDEF$  ফালির মত অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ক্ষেত্রফলের সমষ্টির সমান। অতএব  $A$  থেকে  $B$  পর্যন্ত পরিবর্তনের জন্য মোট কাজের পরিমাণ,

$W = \int_{V_1}^{V_2} dw = \int_{V_1}^{V_2} pdv = ABHG$  ক্ষেত্রফল। অতএব নির্দেশক চিত্রের সাহায্যে সরাসরি সম্পাদিত কাজের পরিমাণ নির্ণয় করা যায়।



প্রশ্ন→(৫) কার্ণো ইঞ্জিন ও কার্ণো চক্র বর্ণনা করা। কার্ণো ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতার রাশিমালা বের কর।

উত্তরঃ কার্ণো ইঞ্জিন হলো সকল দোষ ত্রুটি মুক্ত একটি আদর্শ তাপ ইঞ্জিন। ফরাসি প্রকৌশলী সাদি কার্ণো এই ইঞ্জিনের প্রস্তাব করেন বলে একে কার্ণো ইঞ্জিন বলা হয়। এ ইঞ্জিনের নিম্নলিখিত অংশগুলো আছে:

(i) সিলিভার (C): সিলিভারটি সম্পূর্ণ তাপ কুপরিবাহী পদার্থ দ্বারা তৈরী এবং সিলিভারটির মধ্যদিয়ে সম্পূর্ণ তাপ কুপরিবাহী পদার্থের তৈরী একটি পিস্টন P বিনা বাধায় উঠানামা করতে পারে। কিন্তু সিলিভারটির সম্মুখভাগ তাপ সুপরিবাহী পদার্থ দ্বারা তৈরী। সিলিভারের মধ্যে কার্যকরী পদার্থ হিসেবে কোন আদর্শ গ্যাস ব্যবহার করা হয়।

(ii) তাপ উৎস (S): উচ্চ তাপ ধারন ক্ষমতা বিশিষ্ট একটি উত্তপ্ত বস্তু S তাপ উৎস হিসেবে কাজ করে।

(iii) তাপ গামলা (A): উচ্চ তাপ ধারন ক্ষমতা বিশিষ্ট একটি শীতল বস্তু তাপ গামলা বা তাপ গ্রাহক বা সিংক হিসেবে কাজ করে।

(iv) আসন (D): সম্পূর্ণ তাপের অন্তরক পদার্থের তৈরী একটি বস্তু D আসন হিসেবে কাজ করে।

পিস্টন P সহ সিলিভারটিকে তাপ উৎস (S), তাপগামলা (A) ও আসন D এর উপর বসানো যায়। তাপ উৎসের তাপমাত্রা যদি  $T_1$  এবং তাপগামলার তাপমাত্রা যদি  $T_2$  হয় তাহলে  $T_1 \gg T_2$  হবে।

কার্ণো চক্র: কার্ণো ইঞ্জিনের সিলিভারে ব্যবহৃত কার্যকরী পদার্থ তাপ উৎস হতে তাপ গ্রহণ করে দুটি উপর্যুপরি প্রসারণ (একটি সমোষ্ণ ও অপরটি রুদ্ধতাপ) এবং দুটি সংকোচনের (একটি সমোষ্ণ এবং অপরটি রুদ্ধতাপ) মাধ্যমে কাজ সম্পন্ন করে অবশিষ্ট তাপ সিংকে বর্জন করে পূর্বাবস্থায় ফিরে আসে। এই কার্যক্রম চক্রকে কার্ণো চক্র বলে। নিম্নে নির্দেশক চিত্রের মাধ্যমে কার্ণো চক্র বর্ণনা করা হলো।

(i) প্রথম পর্যায়ঃ ধরি (A) বিন্দুটি সিলিভারে আবদ্ধ গ্যাসের প্রাথমিক অবস্থা নির্দেশ করে এবং এই অবস্থায় গ্যাসের চাপ, আয়তন ও উষ্ণতা যথাক্রমে

$P_1, V_1$  ও  $T_1 K$ । এখন সিলিভারটিকে তাপ উৎস S এর উপর বসানো হলো।

তারপর পিস্টনটিকে ধীরে ধীরে বাইরের দিকে সরাইয়ে গ্যাসের আয়তন বাড়ানো হলো।

এতে গ্যাসের তাপমাত্রা হ্রাস পাবে কিন্তু উৎস S থেকে তাপ গ্রহণ করে উষ্ণতা স্থির রাখবে। অত্রএব গ্যাসের সমোষ্ণ আয়তন প্রসারণ ঘটবে।

নির্দেশক চিত্রের AB রেখাটি সমোষ্ণ প্রসারণ নির্দেশ করেছে।

অতএব এই প্রসারণের জন্য কৃত কাজ,  $w_1 = ABB_1A_1$  ক্ষেত্রফল------(1)

(ii) দ্বিতীয় পর্যায়ঃ এখন সিলিভারটিকে তাপ অন্তরক আসন D এর উপর বসাইয়ে পিস্টনটিকে বাইরের দিকে আরও সরানো হয়। এ অবস্থায় গ্যাসের তাপমাত্রা কমতে থাকবে। গ্যাসের আয়তন প্রসারিত করা হলো যতক্ষণ না তাপমাত্রা  $T_2$  তে আসে। গ্যাসের এ প্রসারণকে রুদ্ধতাপ প্রসারণ বলে। নির্দেশক চিত্রের BC রেখাটি এই রুদ্ধতাপ প্রসারণকে নির্দেশ করেছে। অতএব, এই প্রসারণের জন্য কৃত কাজ,  $w_2 = ACC_1B_1$  ক্ষেত্রফল------(2)

(iii) তৃতীয় পর্যায়ঃ এবার সিলিভারটিকে তাপ গামলা A এর উপর স্থাপন করে গ্যাসকে সংকুচিত করা হলো; এতে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে। কিন্তু তাপগামলা এই তাপ শোষণ করায় গ্যাসের তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকবে। এক্ষেত্রে সমোষ্ণ সংকোচন ঘটবে। নির্দেশক চিত্রে CD রেখা এই সমোষ্ণ সংকোচন নির্দেশ করেছে। অতএব এই সংকোচনে কৃত কাজ,

$$w_3 = CC_1D_1D \text{ ক্ষেত্রফল}------(3)$$

(iv) চতুর্থ পর্যায়ঃ এ পর্যায়ে সিলিভারটিকে আবার তাপ অন্তরক আসন D এর উপর বসানো হয় এবং পিস্টনের সাহায্যে গ্যাসকে সংকুচিত করা হয়। এক্ষেত্রে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে কারণ তাপ কোনদিকে বের হতে পারবে না। অর্থাৎ গ্যাস রুদ্ধ তাপীয় প্রক্রিয়ায় সংকুচিত হবে। গ্যাসকে সংকুচিত করা হয়, যতক্ষণ না এর তাপমাত্রা  $T_1$  -এ পৌঁছায়। নির্দেশক চিত্রে DA রেখা এই রুদ্ধ তাপীয় সংকোচনকে নির্দেশ করেছে। অতএব কৃত কাজ,

$$w_4 = DD_1A_1A \text{ ক্ষেত্রফল}------(4)$$

$$\therefore \text{মোট সম্পাদিত কাজ, } W = W_1 + W_2 - W_3 - W_4 \quad \therefore w = ABCD \text{ ক্ষেত্রফল}------(5)$$

কার্ণো ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতার রাশিমালাঃ আমরা জানি, কোন ইঞ্জিন দ্বারা কাজে রূপান্তরিত তাপশক্তি এবং মোট শোষিত তাপশক্তির অনুপাতকে ঐ ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা বলা হয়। একে সাধারণত  $\eta$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

এখন, ধরি একটি কার্ণো ইঞ্জিন উৎস থেকে  $Q_1$  পরিমাণ তাপ শোষণ করে এবং তাপ গামলায়  $Q_2$  পরিমাণ তাপ বর্জন করে। তাহলে

$$\text{কাজে রূপান্তরিত তাপ শক্তি} = Q_1 - Q_2 \quad \text{অতএব, কার্ণো ইঞ্জিনটির কর্ম দক্ষতা, } \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \dots\dots(1)$$

কার্ণো ইঞ্জিন দ্বারা শোষিত বা বর্জিত তাপশক্তি উহার তাপ উৎস বা তাপাধারের (তাপ গামলার) পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক। অর্থাৎ,

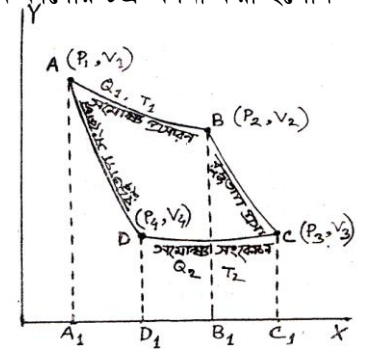
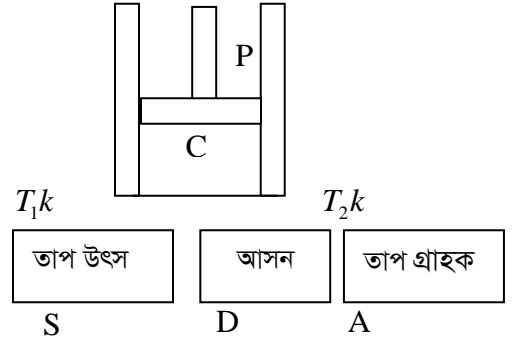
$$Q \propto T \quad \text{বা, } Q = \text{ধ্রুবক} \times T, \quad \text{বা, } \frac{Q}{T} = \text{ধ্রুবক} \quad \text{সুতরাং } \frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \quad \therefore \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{।}$$

$$\text{এখন সমীকরণ (1) থেকে পাই, } \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \dots\dots\dots(2)$$

এখানে,  $T_1$  ও  $T_2$  যথাক্রমে তাপ উৎস ও তাপগামলার পরম তাপমাত্রা। কর্মদক্ষতাকে শতকরা হিসেবে প্রকাশ করা হয় বলে সমীকরণ (1)

$$\text{ও (2) থেকে পাই, } \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\% \dots\dots\dots(3) \quad \text{এবং } \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

সমীকরণ (3) ও (4) কার্ণো ইঞ্জিনের (প্রতিটি পূর্ণচক্রের জন্য) কর্মদক্ষতার রাশি মালা নির্দেশ করে।



প্রশ্ন→(৬) এনট্রপি কি? ব্যাখ্যা কর। দেখাও যে, রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় এনট্রপি স্থির থাকে?

**উত্তরঃ এনট্রপি (Entropy):** বিজ্ঞানী রুসিয়াস (১৮৫৪ সালে) সর্বপ্রথম লক্ষ্য করলেন যে, সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় যেমন তাপমাত্রা স্থির থাকে ঠিক তেমনি রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়াতেও বস্তুর একটি তাপীয় ধর্ম স্থির থাকে। রুদ্ধ তাপীয় প্রক্রিয়ায় বস্তুর যে তাপীয় ধর্ম স্থির থাকে তাকে এনট্রপি বলে।

**ব্যাখ্যা:** কোন বস্তুর এনট্রপির পরম মান এখন পর্যন্ত নির্ণয় করা সম্ভব হয়নি তবে কোন বস্তু যদি তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে তাহলে বস্তুটির এনট্রপির যে পরিবর্তন হয় তা নির্ণয় করা সম্ভব।  $T$  স্থির তাপমাত্রায় কোন বস্তু যদি  $dQ$  পরিমাণ তাপ শোষণ বা বর্জন করে এক অবস্থা থেকে অন্য অবস্থায় রূপান্তরিত হয় তাহলে ঐ বস্তুর এনট্রপির পরিবর্তন,  $dS = \frac{dQ}{T}$  .....(1)

আবার, যদি বস্তুর তাপমাত্রা স্থির না থাকে, অর্থাৎ বস্তু  $dQ$  পরিমাণ তাপ শোষণ বা বর্জন করার পর উহার তাপমাত্রা  $T_1$  থেকে  $T_2$  হয় তাহলে উহার এনট্রপির পরিবর্তন,  $ds = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T}$  .....(2)

এখানে, শোষিত তাপ ধনাত্মক এবং বর্জিত তাপ ঋণাত্মক বিবেচনা করতে হবে।

আমরা জানি, রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় তাপের কোন শোষণ বা বর্জন হয় না। অর্থাৎ, রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে  $dQ = 0$ । অতএব, সমীকরণ (1) বা (2) থেকে আমরা পাই রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ার বস্তুর এনট্রপির পরিবর্তন  $dS = 0$  অর্থাৎ রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া বস্তুর এনট্রপি স্থির বা ধ্রুবক। (প্রমানিত) এনট্রপির একক:  $jk^{-1}$  এনট্রপির মাত্রা সমীকরণ:  $[ML^2T^{-2}]$

প্রশ্ন→(৭) দেখাও যে, প্রত্যাগামী প্রক্রিয়ায় এনট্রপি স্থির থাকে; কিন্তু অপ্রত্যাগামী প্রক্রিয়ার এনট্রপি বৃদ্ধি পায়।

**উত্তরঃ প্রথম অংশ:** আমরা জানি, কার্ণো চক্র একটি প্রত্যাগামী চক্র। চিত্রে একটি কার্ণো চক্র  $ABCD$  দেখানো হয়েছে। চক্রটির  $AB$  ও  $CD$  রেখা দুটি সমোষ্ণ রেখা এবং  $BC$  ও  $DA$  রেখা দুটি রুদ্ধ তাপীয় রেখা নির্দেশ করছে। যেহেতু রুদ্ধ তাপীয় প্রক্রিয়ায় তাপের শোষণ বা বর্জন হয় না সেহেতু  $BC$  ও  $DA$  রেখা বরাবর এনট্রপির কোন পরিবর্তন হবে না।

এখন ধরি,  $AB$  সমোষ্ণ রেখায়  $T_1$  স্থির তাপমাত্রায় কার্যনির্বাহক বস্তু  $Q_1$  তাপ শোষণ করে।

তাহলে এই রেখায় এনট্রপির পরিবর্তন  $= \frac{Q_1}{T_1}$ ।

আবার ধরি,  $CD$  সমোষ্ণ রেখায়  $T_2$  স্থির তাপমাত্রায় কার্যনির্বাহক বস্তু  $Q_2$  তাপ বর্জন করে।

তাহলে এই রেখায় এনট্রপির পরিবর্তন  $= -\frac{Q_2}{T_2}$ । অতএব,  $ABCD$  প্রত্যাগামী চক্রে এনট্রপির মোট পরিবর্তন,  $= \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2}$

কিন্তু কার্ণো প্রত্যাগামী চক্রের ক্ষেত্রে  $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$  ∴ আমরা পাই, প্রত্যাগামী প্রক্রিয়ায় এনট্রপির পরিবর্তন,

$$ds = \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0 \text{ (প্রমানিত)}$$

**দ্বিতীয় অংশঃ** আমরা জানি, তাপের সঞ্চালন একটি অপ্রত্যাগামী প্রক্রিয়া।

ধরি,  $A$  বস্তুর তাপমাত্রা  $T_1$  ও  $B$  বস্তুর তাপমাত্রা  $T_2$  যেখানে  $T_1 > T_2$ । বস্তুদ্বয় পরিপার্শ্বের প্রভাব থেকে মুক্ত অবস্থায় পরস্পরের সংস্পর্শে আছে। এক্ষেত্রে  $A$  বস্তু থেকে যে তাপ  $B$  বস্তুতে সঞ্চালিত হবে সে তাপ আর  $B$  থেকে  $A$  তে ফিরে আসবে না। তাই ইহা অপ্রত্যাগামী প্রক্রিয়া।

ধরি, অতি অল্প সময়ে  $dQ$  পরিমাণ তাপ  $A$  বস্তু থেকে  $B$  বস্তুতে সঞ্চালিত হলো। তাহলে

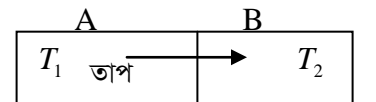
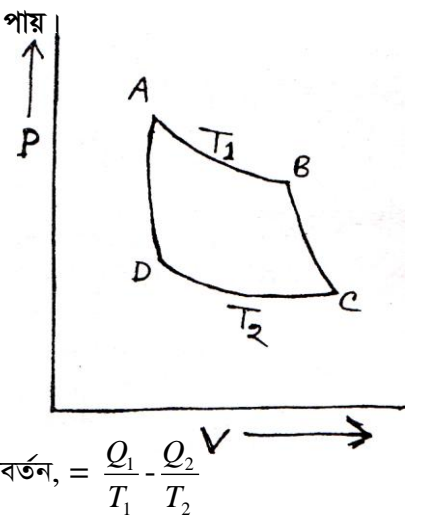
$A$  বস্তুর এনট্রপির হ্রাস  $= \frac{dQ}{T_1}$  এবং  $B$  বস্তুর এনট্রপির বৃদ্ধি  $= \frac{dQ}{T_2}$  অতএব, সমগ্র ব্যবস্থায় এনট্রপির পরিবর্তন,

$ds = \frac{dQ}{T_2} - \frac{dQ}{T_1}$  যেহেতু  $T_1 > T_2$  সেহেতু  $ds$  ধনাত্মক। সুতরাং আমরা বলতে পারি, অপ্রত্যাগামী প্রক্রিয়ায় এনট্রপি বৃদ্ধি পায়। (প্রমানিত)

প্রশ্ন→(৮) দেখাও যে, মহাবিশ্বের এনট্রপি ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পেয়ে অসীম মানের দিকে ধাবিত হচ্ছে। জগতের তাপীয় মৃত্যু কি?

**উত্তরঃ** আমরা জানি অপ্রত্যাগামী প্রক্রিয়ায় এনট্রপি বৃদ্ধি পায়। যেমন-(উপরের ২য় অংশ লেখ)। মহাবিশ্বের অধিকাংশ প্রক্রিয়া অপ্রত্যাগামী বা স্বতঃস্ফূর্ত প্রক্রিয়া। অতএব মহাবিশ্বের এনট্রপি ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পেয়ে অসীম মানের দিকে অগ্রসর হচ্ছে। (প্রমানিত)

**তাপীয় মৃত্যু (Heatdeath):** তাপ সঞ্চালনের ক্ষেত্রে আমরা দেখতে পাই যে, তাপ সঞ্চালনের মাধ্যমে বিভিন্ন বস্তু তাপীয় সাম্যাবস্থায় উপনিত হয়। এভাবে প্রকৃতি জগতের সবকিছুই সাম্যাবস্থা পেতে চেষ্টা করে। একটি সিস্টেম যতই সাম্যাবস্থার দিকে অগ্রসর হয়, তা থেকে কাজ পাওয়ার সম্ভাবনা ততই কমে যায়। কোন সিস্টেম সাম্যাবস্থায় পৌঁছিলে তা থেকে আর কোন কাজ পাওয়া যাবে না। সাম্যাবস্থায় এনট্রপির মান সর্বাধিক। কোন একদিন জগতের সবকিছুই সাম্যাবস্থা প্রাপ্ত হবে এবং জগতের এনট্রপির মান সর্বাধিক হবে তখন সবকিছুর তাপমাত্রা সমান হয়ে যাবে। এমতাবস্থায় তাপ শক্তিকে কিছুতেই যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তর করা যাবে না। এই অবস্থাকে জগতের তাপীয় মৃত্যু বলা হবে।



## “তাপগতিবিদ্যা (দ্বিতীয় সূত্র) গাণিতিক সমস্যাবলী

সমস্যা→(১): একটি তাপ ইঞ্জিন স্টীম বিন্দু ও  $27^\circ C$  তাপমাত্রার মধ্যে কার্যরত। ইঞ্জিনটির সর্বাধিক দক্ষতা কত?

উঃ 19.57%

[সংকেত: উৎসের তাপমাত্রা,  $T_1 = (273+100) = 373k$ , গ্রাহকের তাপমাত্রা,  $T_2 = (273+27) = 300k$ , কর্মদক্ষতা,  $\eta = ?$

এখন,  $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\%$  সূত্রটি ব্যবহার কর]

সমস্যা→(২): একটি ইঞ্জিনের কর্ম দক্ষতা 60%। এর তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা  $27^\circ C$  হলে উৎসের তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

উঃ  $750$  বা  $477^\circ C$ ।

[সংকেত: সমস্যা (১) এর মত এখানে  $\eta$  দেওয়া আছে,  $T_1$  বের করতে হবে]

সমস্যা→(৩): একটি ইঞ্জিনের কর্মদক্ষতা 4০%। এর নিম্ন তাপাধারের তাপমাত্রা  $7^\circ C$  হলে উচ্চ তাপাধারের তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

উঃ  $466.66k$  বা  $193.66^\circ C$ ।

সমস্যা→(৪): একটি ইঞ্জিন  $3400j$  তাপ গ্রহণ করে ও  $2400j$  তাপ বর্জন করে। ইঞ্জিনটি দ্বারা সম্পাদিত কাজের পরিমাণ ও উহার দক্ষতা নির্ণয় কর।

উঃ  $1000j$  এবং  $29.41\%$ ।

[সংকেত: এখানে, গ্রহীত তাপ,  $Q_1 = 3400j$ , বর্জিত তাপ,  $Q_2 = 2400j$ , সম্পাদিত কাজ,  $w = ?$  কর্মদক্ষতা  $\eta = ?$  এখানে,

$w = Q_1 - Q_2$  এবং  $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\%$ ]

সমস্যা→(৫): একটি তাপ ইঞ্জিন উৎস থেকে  $600k$  তাপমাত্রায়  $2.56 \times 10^6 j$  তাপশক্তি গ্রহণ করে এবং তাপগ্রাহকে  $5.12 \times 10^5 j$  তাপশক্তি বর্জন করে। তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা ও ইঞ্জিনের দক্ষতা নির্ণয় কর।

উঃ  $120k$  এবং  $80\%$ ।

[সংকেত:  $T_1 = 600k$ ,  $Q_1 = 2.56 \times 10^6 j$ ,  $Q_2 = 5.12 \times 10^5 j$ ,  $T_2 = ?$   $\eta = ?$  আমরা জানি,  $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\%$  এবং

$n = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\%$   $\therefore \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$  থেকে  $T_2$  নির্ণয় কর। এবং  $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\%$  থেকে  $\eta$  নির্ণয় কর]

সমস্যা→(৬): একটি কার্ণো ইঞ্জিনের উৎসের উষ্ণতা  $400k$ ; এই উষ্ণতায় উৎস থেকে  $840j$  তাপ গ্রহণ করে এবং সিনেক  $630j$  তাপ বর্জন করে। সিনেকের উষ্ণতা এবং ইঞ্জিনটির দক্ষতা নির্ণয় কর।

উঃ  $300k$ ,  $25\%$ ।

সমস্যা→(৭): একটি কার্ণো ইঞ্জিন  $25^\circ C$  ও  $225^\circ C$  তাপমাত্রার মধ্যে কার্যরত। ইঞ্জিনটি তাপ উৎস থেকে  $4200j$  তাপ গ্রহণ করে। ইঞ্জিন দ্বারা সম্পাদিত কাজের পরিমাণ নির্ণয় কর।

উঃ  $1686.75j$ ।

[সংকেত:  $T_1 = (273 + 225) = 498k$ ,  $T_2 = (273 + 25) = 298k$ , উৎস থেকে গ্রহীত তাপ,  $Q_1 = 4200j$ , কাজ  $w = ?$  ধরি বর্জিত তাপ  $= Q_2 \therefore w = Q_1 - Q_2$  বা,  $w = 4200 - Q_2 \dots \dots (1)$  এখন  $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$  থেকে  $Q_2$  নির্ণয় কর।]

সমস্যা→(৮): একটি কার্ণো ইঞ্জিন যখন  $27^\circ C$  উষ্ণতায় তাপ গ্রাহকে থাকে তখন এর দক্ষতা 50%। এর দক্ষতা 60% করতে হলে উৎসের তাপমাত্রায় কি পরিবর্তন আনতে হবে?

উঃ  $150k$  বৃদ্ধি করতে হবে।

[সংকেত:  $T_2 = (273 + 27) = 300k$ ,  $\eta_1 = 50\%$ ,  $\eta_2 = 60\%$ , ধরি প্রথমে উৎসের তাপমাত্রা  $= T_1$  এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে উৎসের

তাপমাত্রা  $= T_1 + x$ ;  $x = ?$ ,  $\eta_1 = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100\%$  এখান থেকে  $T_1$  বের কর। এর পর  $\eta_2 = \frac{T_1 + x - T_2}{T_1 + x} \times 100\%$  থেকে  $x$  নির্ণয় কর।]

সমস্যা→(৯):  $10^\circ C$  তাপমাত্রার  $5kg$  পানিকে  $100^\circ C$  তাপমাত্রায় উত্তীর্ণ করতে এনট্রপির পরিবর্তন নির্ণয় কর। পানির আপেক্ষিক তাপ  $= 4.2 \times 10^3 Jkg^{-1}k^{-1}$ ।

উঃ  $5798 Jk^{-1}$ ।

[সংকেত:  $T_1 = (273 + 10) = 283k$ ,  $T_2 = (273 + 100) = 373k$ ,  $m = 5kg$ ,  $s = 42 \times 10^3 Jkg^{-1}k^{-1}$ , এনট্রপি পরিবর্তন,

$ds = ?$  আমরা জানি,  $ds = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T} = \int_{283}^{373} \frac{msdT}{T} = ms \int_{283}^{373} \frac{dT}{T} = ms [\ln T]_{283}^{373}$

বা,  $ds = 5 \times 4.2 \times 10^3 [\ln 373 - \ln 283] = 5 \times 42 \times 10^3 \ln \frac{373}{283}$

সমস্যা→(১০): (i)  $0^\circ C$  তাপমাত্রার  $2kg$  বরফকে  $0^\circ C$  তাপমাত্রার পানিতে পরিনত করতে এবং (ii)  $100^\circ C$  তাপমাত্রার  $2kg$  পানিকে  $100^\circ C$  তাপমাত্রার বাষ্পে পরিনত করতে এনট্রপির পরিবর্তন নির্ণয় কর। বরফ গলনের অ: সুগুতাপ  $= 336000 Jkg^{-1}$ , পানির বাষ্পীভবনের আ: সুগুতাপ  $= 2268000 Jkg^{-1}$ ।

উঃ (i)  $2461.53 Jk^{-1}$  এবং (ii)  $12160.85 Jk^{-1}$ ।

[সংকেত:  $ds = \frac{dQ}{T} = \frac{\text{ভর} \times \text{সুগুতাপ}}{T}$ , (i) এর ক্ষেত্রে  $T = (0 + 273) = 273k$ , (ii) এর ক্ষেত্রে  $T = (273 + 100) = 373k$