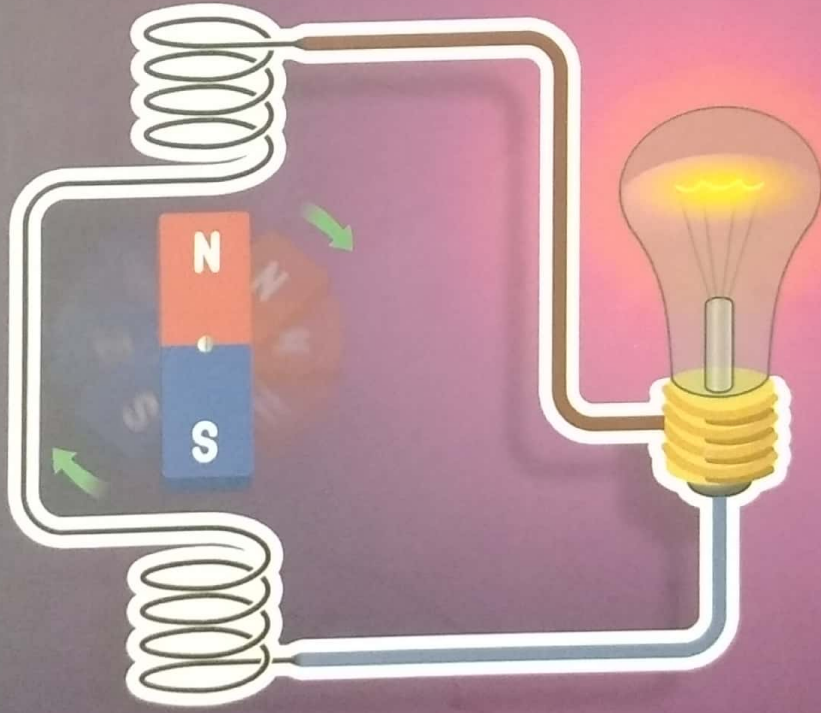


ইঞ্জিনিয়ারিং কনসেপ্ট বুক

পদার্থবিজ্ঞান ২য় পত্র



উদ্ভাস

একাডেমিক এন্ড এডমিশন কেয়ার

অধ্যায়-০১: তাপগতিবিদ্যা

গুরুত্বপূর্ণ প্রাথমিক আলোচনা

◆ 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।

◆ উর্ধ্ব স্থির বিন্দু:

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

সকল দুই স্থির বিন্দু স্কেলের ক্ষেত্রে, $\frac{\text{তাপমাত্রা - নিম্ন স্থির বিন্দু}}{\text{উর্ধ্ব স্থির বিন্দু - নিম্ন স্থির বিন্দু}} = \frac{X_0 - X_{\text{ice}}}{X_{\text{steam}} - X_{\text{ice}}}$; অনুপাত সর্বদা সমান, X = তাপমিতিক ধর্ম

◆ কোনো স্কেলে প্রাথমিক অন্তর = উর্ধ্ব স্থির বিন্দু - নিম্ন স্থির বিন্দু

◆ বিভিন্ন তাপমাত্রার স্কেলে নিম্ন ও উর্ধ্ব স্থির বিন্দু:

স্কেল	সেলসিয়াস (°C)	ফারেনহাইট (°F)	কেলভিন (K)	র্যাংকিন (°Rn)	রোমার (°R)
নিম্ন স্থির বিন্দু	0	32	273.16	492	0
উর্ধ্ব স্থির বিন্দু	100	212	373.16	672	80

◆ 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।

◆ তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র:

(i) জুলের বিবৃতি: এটি মূলত শক্তির সংরক্ষণশীলতা নীতি। 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 H পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হয়, তবে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রানুসারে, $W \propto H$ বা, $W = JH$

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

(ii) ক্লসিয়াসের বিবৃতি: যখন কোনো ব্যবস্থায় (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।

◆ অন্তঃস্থ শক্তি বৃদ্ধি পেলেও তাপমাত্রার বৃদ্ধি নাও ঘটতে পারে। যেমন- কোনো বস্তুর গলন এর সময় এতে তাপ প্রদান করলে এর অন্তঃস্থ শক্তি বৃদ্ধি পায় কিন্তু, তাপমাত্রার কোনো পরিবর্তন হয় না।

- ♦ তাপীয় সিস্টেমে বিভিন্ন প্রকার তাপগতীয় পরিবর্তন (Different thermodynamical changes in thermal system):
তাপগতিবিদ্যায় বিভিন্ন প্রকারের পরিবর্তন ঘটে। এদের মধ্যে চারটি গুরুত্বপূর্ণ প্রকার হল-
 - (i) সমোষ্ণ পরিবর্তন (Isothermal change): এই প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রা পরিবর্তন হয় না, অর্থাৎ T ধ্রুবক। যদি অবস্থার পরিবর্তন না হয় (বা এমন কোনো ঘটনা না ঘটে যাতে তাপমাত্রা পরিবর্তন হয় না কিন্তু অন্তঃস্থ শক্তির পরিবর্তন হয়) তাহলে এই প্রক্রিয়ায় $\Delta U = 0$
 - (ii) রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তন (Adiabatic change): এই প্রক্রিয়ায় তাপের পরিবর্তন হয় না, অর্থাৎ System ও পরিবেশের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান হয় না। এই প্রক্রিয়ায় $\Delta Q = 0$.
 - (iii) সমআয়তন পরিবর্তন (Isochoric change): এই প্রক্রিয়ায় আয়তনের পরিবর্তন হয় না। অর্থাৎ $\Delta V = 0$.
 - (iv) সমচাপ পরিবর্তন (Isobaric change): এই প্রক্রিয়ায় চাপের পরিবর্তন হয় না। অর্থাৎ $\Delta P = 0$.
- ♦ সমোষ্ণ প্রক্রিয়া সাধারণত খুব ধীরে ধীরে হয়। আর রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া সাধারণত খুব দ্রুত ও আচমকা হয় (এত দ্রুত হয় যে, তাপ পরিবর্তনের সময় থাকে না)। যেমন, হঠাৎ টায়ার ফেটে যাওয়া রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া।
- ♦ কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি শুধুমাত্র এর তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে, এর চাপ বা আয়তনের উপর নির্ভর করে না। একে মেয়ারের প্রকল্প (Mayer's hypothesis) বলা হয়।
 - (i) স্থির আয়তনে গ্রাম আণবিক/মোলার আপেক্ষিক তাপ C_v (Molar Specific heat at Constant Volume):
এক মোল গ্যাসের আয়তন স্থির রেখে 1K তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয় তাকে স্থির আয়তনে ঐ গ্যাসের গ্রাম আণবিক বা মোলার আপেক্ষিক তাপ বলে। একে C_v দ্বারা সূচিত করা হয়।
 - (ii) স্থির চাপে গ্রাম আণবিক/মোলার আপেক্ষিক তাপ C_p (Molar Specific heat at Constant pressure):
এক মোল গ্যাসের চাপ স্থির রেখে 1K তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয় তাকে স্থির চাপে ঐ গ্যাসের গ্রাম আণবিক বা মোলার আপেক্ষিক তাপ বলে। একে C_p দ্বারা সূচিত করা হয়।
স্থির চাপে কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসে তাপ প্রয়োগ করলে সেই তাপের কিছু অংশ তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে (অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি) ব্যয়িত হয় এবং কিছু অংশ নির্দিষ্ট চাপের বিরুদ্ধে আয়তন বৃদ্ধি করার কাজে ব্যয়িত হয়। কিন্তু স্থির আয়তনে কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসে তাপ প্রয়োগ করা হলে সেই তাপ শুধুমাত্র তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে ব্যয়িত হয়। অর্থাৎ তাপশক্তি সম্পূর্ণরূপে অভ্যন্তরীণ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। তাই স্থির চাপে কোনো 1 মোল গ্যাসের 1K তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে যে তাপের প্রয়োজন হয়, তা স্থির আয়তনে 1 মোল গ্যাসের 1K তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপের পরিমাণের চেয়ে বেশি। স্থির চাপে কিছু তাপ আয়তন বৃদ্ধির জন্য ব্যয়িত হয় যা স্থির আয়তনের ক্ষেত্রে প্রয়োজন হয় না। এজন্য স্থির চাপে গ্যাসের গ্রাম আণবিক আপেক্ষিক তাপ C_p , স্থির আয়তনে গ্যাসের গ্রাম আণবিক আপেক্ষিক তাপ C_v অপেক্ষা বড়। অর্থাৎ $C_p > C_v$
 C_p এবং C_v এর অনুপাতকে γ দ্বারা সূচিত করা হয়। সুতরাং $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\text{স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ}}{\text{স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ}}$
পরীক্ষালব্ধ ফল থেকে দেখা গেছে, এক পরমাণু বিশিষ্ট গ্যাসের ক্ষেত্রে γ এর মান 1.67, দ্বি-পরমাণু বিশিষ্ট গ্যাসের ক্ষেত্রে এর মান 1.41 এবং তিন পরমাণু বিশিষ্ট গ্যাসের $\gamma = 1.33$ । সাধারণভাবে $\gamma = \frac{f+2}{f}$, যেখানে f হল স্বাধীনতার মাত্রা।
আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে C_p ও C_v এর সম্পর্ক, $(C_p - C_v) = R$
এ থেকে প্রমাণ করা যায়, $C_v = \frac{R}{\gamma-1}$, $C_p = \frac{\gamma R}{\gamma-1}$
- ♦ কোনো তাপগতীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেম দ্বারা কৃতকাজ হলে P-V গ্রাফ ও আয়তন অক্ষ দ্বারা আবদ্ধ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল।
- ♦ তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র:
এর মূল কথা হলো কোনো কিছুর দক্ষতা কখনোই 100% হতে পারে না। Efficiency cannot be one.

(ক) ক্লসিয়াসের বিবৃতি (Clausius's statement): বাইরের কোনো শক্তির সাহায্য ব্যতিরেকে কোন স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রের পক্ষে নিম্ন তাপমাত্রার কোনো বস্তু হতে উচ্চ তাপমাত্রার কোনো বস্তুতে তাপের স্থানান্তর সম্ভব নয়।

অন্য কথায় বাইরের কোনো শক্তি কর্তৃক সম্পাদিত কাজ ব্যতিরেকে শীতল বস্তু হতে উত্তপ্ত বস্তুতে তাপ নিজে প্রবাহিত হতে পারে না।

উপরের বিবৃতি হতে এটি পরিষ্কার বোঝা যায় যে, তাপ গতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র পদার্থবিদ্যার অন্যান্য শাখার অন্তর্ভুক্ত বিভিন্ন ঘটনার সাথে সংগতিপূর্ণ। যেমন, বাইরে থেকে কোনো বস্তুর উপর কাজ সম্পন্ন না করলে বস্তু কখনই নিম্ন তল হতে উচ্চ তলে যেতে পারে না। কাজ না করলে নিম্ন বিভব তল হতে উচ্চ বিভব তলে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হতে পারে না, ইত্যাদি। উক্ত সূত্র হতে বোঝা যায় যে, উষ্ণতর হতে শীতলতর বস্তুতে তাপ নিজ হতেই প্রবাহিত হতে পারে।

পাহাড়ের উপর থেকে কোনো বস্তু গড়িয়ে যেতে দিলে স্বাভাবিকভাবে বস্তুটি নিচে চলে আসে। কিন্তু নিচে থেকে উপরে নিতে হলে বাইরের শক্তি ব্যবহার করেই করতে হয়। অর্থাৎ বস্তুর ওপর কাজ করতে হয়। আজ পর্যন্ত এমন কোনো হিমায়ন যন্ত্র (refrigerator) আবিষ্কার করা যায় নি যা শক্তির সরবরাহ ছাড়া কাজ করতে পারে। এই ঘটনা ক্লসিয়াস প্রদত্ত তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা প্রমাণ করে।

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

এই সূত্র হতে বুঝা যায় যে, তাপকে কাজে পরিণত করা যায় ততক্ষণ যতক্ষণ পর্যন্ত যে বস্তু হতে তাপ গ্রহণ করা যাবে তা তার পরিপার্শ্বের শীতলতম অংশ হতে অধিকতর শীতল হবে না। দুটি বস্তুর তাপমাত্রা সমান হলে ঐ বস্তুদ্বয়ের মধ্যে তাপের পরিমাণ যত কম বা বেশিই হোক না কেন এক বস্তু হতে অন্য বস্তুতে তাপ প্রবাহিত হবে না।

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

(ঘ) কার্নোর বিবৃতি (Carnot's statement): কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপশক্তি সম্পূর্ণ বা পুরোপুরিভাবে যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তর করার মতো যন্ত্র তৈরি করা সম্ভব নয়।

◆ রেফ্রিজারেটর:

মূলনীতি: রেফ্রিজারেটরকে একটি তাপ ইঞ্জিনের বিপরীত যন্ত্র হিসেবে কল্পনা করা যায়। তাপ ইঞ্জিন উচ্চ তাপমাত্রার উৎস হতে তাপ গ্রহণ করে কার্য সম্পাদন করে এবং অব্যবহৃত তাপ নিম্ন তাপমাত্রার তাপগ্রাহকে বর্জন করে। পক্ষান্তরে রেফ্রিজারেটরে নিম্ন তাপমাত্রার উৎস ফ্রিজের অভ্যন্তরীণ অংশ হতে তাপ গ্রহণ বা অপসারণ করে ও উচ্চ তাপমাত্রার আধারে রেফ্রিজারেটরের চারপাশের পরিবেশ তাপ বর্জন করে। নিম্ন তাপমাত্রার উৎস হতে তাপ অপসারণের জন্য যান্ত্রিক কাজ করতে হয়। রেফ্রিজারেটরে একটি কম্প্রেসর যান্ত্রিক কাজ করে। এক্ষেত্রে অপসারিত তাপ Q_1 ও কাজ W এর যোগফল বর্জিত তাপ Q_2 এর সমান। চিত্রে একটি রেফ্রিজারেটরের প্রবাহ চিত্র (Flow Diagram) দেখানো হলো। বাড়িতে ব্যবহৃত রেফ্রিজারেটরে Q_1 হল ফ্রিগন গ্যাস বাষ্পীভূত হতে রেফ্রিজারেটরের ভেতর থেকে কি পরিমাণ তাপ গ্রহণ করে, W কম্প্রেসরের কর্তৃক সম্পাদিত কাজ বা রেফ্রিজারেটরকে প্রদত্ত তড়িৎ শক্তি যা কম্প্রেসর গ্যাসকে সংকোচনের জন্য ব্যবহার করে এবং Q_2 রেফ্রিজারেটরের বায়ুতে বর্জিত তাপ বুঝায়। তাহলে, এক্ষেত্রে কর্মদক্ষতা কী হবে?

রেফ্রিজারেটরের কর্মদক্ষতা মাপার জন্য যে রাশিটি সচরাচর ব্যবহৃত হয় তার নাম কার্যকৃত সহগ (Coefficient of performance)। যা কার্ণো ইঞ্জিন বা তাপ ইঞ্জিন η এর অনুরূপ। কার্যকৃত সহগ হল প্রয়োজনীয় আউটপুট (অর্থাৎ শীতলীকরণের পরিমাণ, Q_1) এবং ইনপুট শক্তি (অর্থাৎ সরবরাহকৃত বিদ্যুৎশক্তি বা কম্প্রেসর কর্তৃক কৃতকাজ, W যার সাহায্যে ঠাণ্ডা করা হয়) এর অনুপাত।

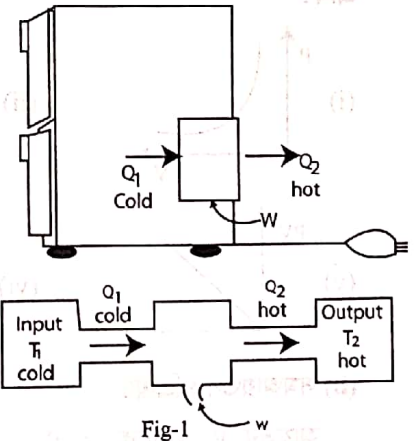


Fig-1

আমরা, কর্মদক্ষতার সূত্রটিকে এভাবে লিখতে পারি $= \frac{\text{output}}{\text{Input}} = \frac{\text{আমরা যা চাই (Output)}}{\text{তার জন্য আমরা যা খরচ করি (Input)}}$

রেফ্রিজারেটরের ক্ষেত্রে আমরা চাই এর অভ্যন্তরের প্রকোষ্ঠ শীতল করতে। এর জন্য আমাদের প্রকোষ্ঠ থেকে তাপ বের করে দিতে হবে। অর্থাৎ Q_1 হবে Output; যা বের করে দিচ্ছি। এর জন্য কম্প্রেসারের Energy (W) খরচ করা হয়। অর্থাৎ W হচ্ছে Input।

কার্যকৃত সহগ (COP), $K = \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1} [\because Q_2 = Q_1 + W]$

- এনট্রপি হল তাপ প্রবাহের দিক নির্ধারণকারী। এটি হল কোন সিস্টেমের বিশৃঙ্খলার গাণিতিক প্রকাশক। এনট্রপির পরিবর্তন,

$dS = \frac{dQ}{T}$; এখানে তাপমাত্রা স্থির। কিন্তু তাপমাত্রা স্থির না থাকলে এনট্রপির পরিবর্তন হবে, $\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T}$

m ভরের কোন বস্তু যার উপাদানের আঃ তাপ s, এর তাপমাত্রা T_1 থেকে T_2 পরিবর্তন করতে এনট্রপির পরিবর্তন-

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T} \Rightarrow \Delta S = ms \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = ms \ln \frac{T_2}{T_1}$$

- তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যবহার:

সূত্র: $dQ = dU + dW$ Here, $dW = PdV$

(a) সমোষ্ণ প্রক্রিয়া:

তাপমাত্রা, $T = \text{ধ্রুবক} \therefore dT = 0$

অভ্যন্তরীণ শক্তি $dU \propto dT \therefore dU = 0$

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

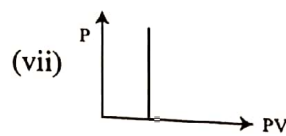
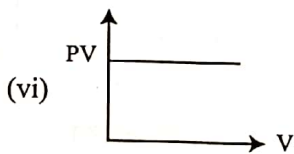
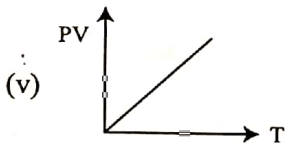
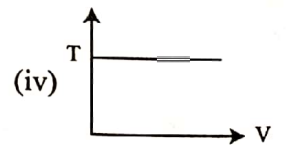
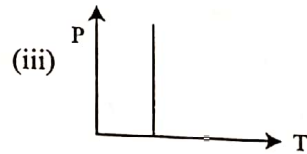
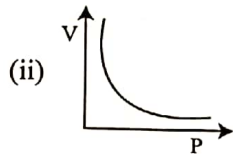
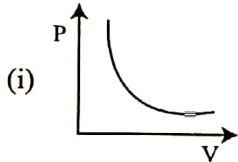
$\therefore$ প্রদত্ত শক্তি কাজে রূপান্তরিত হবে এবং আয়তনের পরিবর্তন করবে।

যদি, $dQ \rightarrow (+ve)$ হয়; $dV \rightarrow +ve$ হবে $V \uparrow$

এবং $dQ \rightarrow (-ve)$ হয়; $dV \rightarrow -ve$ হবে $V \downarrow$

কৃতকাজ: $W = \int dW = \int_{V_1}^{V_2} PdV$; $W = nRT \cdot \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$

গ্রাফ:



(b) সমআয়তন প্রক্রিয়া:

আয়তন, $V = \text{ধ্রুবক} \therefore dV = 0$

$dQ = dV + PdV = dU + P \cdot 0 = dT \therefore dQ = dU$

$\therefore$ প্রদত্ত শক্তি অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন করবে।

যদি, $dQ \rightarrow (+ve)$ হয়; $dV \rightarrow +ve$ হবে $T \uparrow$

এবং $dQ \rightarrow (-ve)$ হয়; $dV \rightarrow -ve$ হবে $T \downarrow$

কৃতকাজ: $W = \int PdV = dV \int_{P_1}^{P_2} P = 0 \times \int_{P_1}^{P_2} P \therefore W = 0$