তাপগতিবিদ্যা

প্রথম অধ্যায়

পদার্থবিজ্ঞান - দ্বিতীয় পত্র

প্রিয় শিক্ষার্থীরা,
এই অধ্যায়টি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ।
প্রতি বছরই এই অধ্যায় থেকে বোর্ড পরীক্ষায় রচনামূলক প্রশ্ন থাকে।
তাই অধ্যায়টি অত্যন্ত যত্নসহকারে অধ্যয়ন করবে।

সৃজনশীল নমুনা প্রশ্ন ও উত্তর

বেপজা পাবলিক স্কুল ও কলেজ

চট্টগ্রাম ইপিজেড

অধ্যায় : তাপগতিবিদ্যা

১। একজন শিক্ষার্থী লিখন 84 kJ তাপ সরবরাহ করে 30 ^{0}C তাপমাত্রার 5 kg পানিকে উত্তপ্ত করল। অপর শিক্ষার্থী নিয়ন তাপ সরবরাহ করে 100 ^{0}C তাপমাত্রার পানিকে সম্পূর্ণরূপে বাষ্পে পরিণত করল। পানির আপেক্ষিক তাপ 4200 J kg^{-1} K^{-1} এবং বাষ্পীভবনের আপেক্ষিক সুপ্ততাপ 2.26 × 10^6 J kg^{-1}।

ক) সমোষ্ণ প্রক্রিয়া কাকে বলে ? ১

খ) পৃথিবীর তড়িৎ বিভব শূন্য ধরা হয় কেন ? ব্যাখ্যা কর। ২

গ) লিখন পানির তাপমাত্রা কতটুকু বৃদ্ধি করেছিল ? নির্ণয় কর। ৩

ঘ) উদ্দীপকের কোন প্রক্রিয়াটি অধিক পরিবেশবান্ধব ? তোমার উত্তরের সপক্ষে যুক্তি দাও। ৪

উত্তর: ক) যে পরিবর্তনে গ্যাসের তাপমাত্রা সর্বদা ধ্রুব থাকে তাকে সমোষ্ণ পরিবর্তন বলে। স্থির তাপমাত্রায় যদি কেনো গ্যাসকে প্রসারিত অথবা সঙ্কুচিত করা হয় তবে সেই পরিবর্তনকে সমোষ্ণ প্রসারণ বা সমোষ্ণ সঙ্কোচন বলে এবং যে প্রক্রিয়ায় এ পরিবর্তন ঘটে তাকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলে।

খ) পৃথিবী একটি তড়িৎ পরিবাহক। ধনাত্মকভাবে আহিত বস্তুকে ভূ-সংযুক্ত করলে পৃথিবী থেকে ইলেকট্রন ভূমিতে প্রবাহিত হয়, ফলে বস্তুটি নিস্তড়িত হয়। পৃথিবী এতো বিরাট যে, এতে আধান যোগ-বিয়োগ করলে এর বিভবের পরিবর্তন হয় না। পৃথিবী প্রতিনিয়ত বিভিন্ন বস্তু থেকে আধান গ্রহণ করে আবার সাথে সাথে অন্য বস্তুকে আধান সরবরাহও করে। ফলে এর আধানের কোনো পরিবর্তন হয় না আধানের পরিবর্তন না হওয়ায় বিভবেরও কোনো পরিবর্তন হয় না। এজন্যই পৃথিবীর বিভবকে শূন্য ধরা হয়।

গ) এখানে, সরবরাহকৃত তাপ, Q = 84 kJ = 84 × 10^3 J

পানির ভর, m = 5 kg

পানির আপেক্ষিক তাপ, S = 4200 Jkg^{-1} K^{-1}

আমরা জানি,

$Q = mS\Delta\theta$

বা, $\Delta\theta = \frac{Q}{mS} = \frac{84\times10^3}{5\times4200}K = 4K$

$\therefore \Delta\theta = 4\ ^0C$

অতএব, লিখন পানির তাপমাত্রা 4 ^{0}C বৃদ্ধি করেছিল।

ঘ) লিখনের ক্ষেত্রে,

এন্ট্রপির পরিবর্তন, $dS_1 = mSln\frac{T_2}{T_1}$

বা, $dS_1 = 5 \times 4200 \times ln\frac{307}{303}\ JK^{-1}$

$\therefore dS_1 = 275.4\ JK^{-1}$

নিয়নের ক্ষেত্রে :

ভর, m = 5kg

বাষ্পীভবনের আঃ সুপ্ততাপ, $l_v = 2.26 \times 10^6\ Jkg^{-1}$

তাপমাত্রা, T = (100 + 273)K = 373 K

এন্ট্রপির পরিবর্তন, $dS_2 = \frac{dQ}{T}$

এখানে,

$T_1 = 30^0C$

= (273 + 30) K

= 303 K

T_2 = 303 + 4 = 307 K

m = 5 kg

S = 4200 J kg^{-1} K^{-1}

বা, $dS_2 = \frac{ml_v}{T} = \frac{5 \times 2.26 \times 10^6}{373}$ JK^{-1}

$\therefore dS_2 = 30294.9\ J\ K^{-1}$

দেখা যাচ্ছে, $dS_2 > dS_1$। অর্থাৎ নিয়নের প্রক্রিয়ায় এন্ট্রপির বেশি বৃদ্ধি পেয়েছে।

আমরা জানি, যে প্রক্রিয়ায় এন্ট্রপি যত কম বৃদ্ধি পায় সেটি তত পরিবেশ বান্ধব।

অতএব, উদ্দীপকের লিখনের প্রক্রিয়াটি অধিক পরিবেশ বান্ধব।

২। STP তে A ও B দুটি ঘর্ষণবিহীন পিস্টনযুক্ত সিলিন্ডারে 3g নাইট্রোজেন গ্যাস রাখা আছে। A সিলিন্ডারটির দেয়াল তাপ পরিবাহী ও B সিলিন্ডারটির দেয়াল তাপ অপরিবাহী। B সিলিন্ডারটির আয়তন হঠাৎ অর্ধেক করা হলো।

ক) γ কী ? ১

খ) গ্যাসের ক্ষেত্রে আপেক্ষিক তাপ দুইটি কেন ব্যাখ্যা কর। ২

গ) B সিলিন্ডারের গ্যাসের চূড়ান্ত তাপমাত্রা নির্ণয় কর। ৩

ঘ) সিলিন্ডারদ্বয়ের কৃতকাজের তুলনা কর। ৪

উত্তর: ক) স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ C_p এবং স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ C_v এর অনুপাত হলো γ।

খ) তাপমাত্রার পরিবর্তনের জন্য কঠিন ও তরল পদার্থের চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন ঘটে। কিন্তু এ পরিবর্তন নগণ্য হওয়ায় তা উপেক্ষা করা হয়। গ্যাসের ক্ষেত্রে তাপমাত্রার পরিবর্তনের জন্য চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন অনেক বেশি হওয়ায় এদের মধ্যে কখনও আয়তনকে আবার কখনও স্থির রাখা হয়। এ জন্যই গ্যাসের ক্ষেত্রে দুটি আপেক্ষিক তাপ থাকে।

গ) আমরা জানি, রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে,

$T_1V^{\gamma-1} = T_2V^{\gamma-1}$

বা, $T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = 273 \left(\frac{V_1}{\frac{V_1}{2}}\right)^{1.4-1}$

$= 273\ (2)^{0.4} = 360.23\ K$

$\therefore$ B সিলিন্ডারের গ্যাসের চূড়ান্ত তাপমাত্রা 360.23. K।

এখানে,

$T_1 = 273\ K$

$V_2 = \frac{V1}{V}$

$\gamma = 1.4$

$T_2 = ?$

ঘ) এখানে, মোল সংখ্যা $= \frac{3}{28}$

A সিলিন্ডারে কৃতকাজ, $W_A = nRTln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

$$= \frac{3}{28} \times 8.314 \times 273 \times ln\left(\frac{\frac{V_1}{2}}{V_1}\right) = -168.56J$$

B সিলিন্ডারে কৃতকাজ,

$$W_B = nR\,\frac{T_2 - T_1}{1-\gamma}$$

$$= \frac{3}{28} \times 8.314 \times \frac{(360.23-273)K}{1-1.4} = 194.26\ J$$

$W_B > W_A$

∴ B সিলিন্ডারে কৃতকাজ বেশি হবে।

এখানে,
'গ' হতে পাই,
$T_2 = 360.23\ K$
$T_1 = 273\ K$

৩। একটি কার্নো ইঞ্জিনের তাপ উৎস ও তাপ গ্রাহকের তাপমাত্রা যথাক্রমে 1200 ^{0}C ও 600 ^{0}C । চারটি ধাপের কৃতকাজ যথাক্রমে 1100 J, 1150 J, 600 J ও 300 J।

ক) পালসার তত্ত্ব কী ? ১

খ) কৃষ্ণ গহ্বর ব্যাখ্যা কর। ২

গ) সর্বমোট কৃতকাজ হিসাব কর। ৩

ঘ) ইঞ্জিনটির দক্ষতা 100% হতে হলে, উৎসের তাপমাত্রা অসীম বা তাপগ্রাহকের তাপমাত্রা 0K হতে হবে – গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। ৪

উত্তর: ক) কোনো নক্ষত্র যখন সুপারনোভা হিসেবে বিস্ফোরিত হয় তখন এর কোর বা মূল বস্তুর চাপ এত বেশি হয় যে প্রোটন ও নিউট্রন একত্রিত হয়ে নিউট্রন গঠন করে। এদেরকে নিউট্রন নক্ষত্র বা পালসার বলে।

খ) কৃষ্ণগহ্বরের ভর এবং ঘনত্ব অসীম হয়। এ কারণে এর মাধ্যাকর্ষণ শক্তি এত প্রবল যে কোনো বস্তু এর মধ্যে প্রবেশ করলে তা আর বাইরে আসতে পারে না। এমনকি আলোর কণিকা ফোটন নির্গত হলেও এর মধ্যাকর্ষণ শক্তির কারণে এটি মুক্ত হতে পারে না। এজন্য কৃষ্ণগহ্বর থেকে আলো নির্গত হতে পারে না

গ) ধরি, কার্নো ইঞ্জিন কর্তৃক কৃতকাজ, W
উদ্দীপক হতে পাই, চারটি ধাপে সম্পাদিত কাজ,

সমোষ্ণ প্রসারণের জন্য, $W_1 = 1100\ J$,
রুদ্ধতাপ প্রসারণের জন্য, $W_2 = 1150\ J$
সমোষ্ণ সংকোচনের জন্য, $W_3 = 600\ J$
রুদ্ধতাপ সংকোচনের জন্য, $W_4 = 300\ J$

আমরা জানি, কার্নো ইঞ্জিনের পূর্ণ চক্রে সম্পাদিত কাজ,

$$W = W_1 + W_2 - W_3 - W_4$$
$$= (1100 + 1150 - 600 - 300)\ J$$
$$= 1350\ J$$

অতএব, কার্নো ইঞ্জিন কর্তৃক কৃতকাজের পরিমাণ 1350 J।

ঘ) উৎসের তাপমাত্রা অসীম হলে, দক্ষতা

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

$$= \left(1 - \frac{T_2}{\infty}\right) \times 100\% = (1-0) \times 100\% = 100\%$$

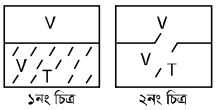
আবার, সিংকের তাপমাত্রা '0' K হলে, দক্ষতা,

$$\eta = \left(1-\frac{T_2}{T_1}\right)\times 100\%$$

$$= \left(1-\frac{T_2}{T_1}\right)\times 100\% = (1-0)\times 100\% = 100\%$$

অতএব, উৎসের তাপমাত্রা অসীম হলে এবং সিংকের তাপমাত্রা '0' K হলে, দক্ষতা 100% হবে।

৪। **1 মোল অক্সিজেন প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে একটি পাত্রের অর্ধেক অংশে আবদ্ধ আছে। ২নং চিত্রে পাত্রের মাঝের অংশ খুলে দিলে গ্যাসটি সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় প্রসারিত হয়।**



১নং চিত্র ২নং চিত্র

ক) তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ক্লাসিয়াস এর বিবৃতি লিখ। ১

খ) রুদ্ধতাপীয় প্রসারণে ব্যবস্থা শীতল হয়– ব্যাখ্যা কর। ২

গ) যদি গ্যাসটি রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় প্রসারিত হয় তাহলে চূড়ান্ত তাপমাত্রা কত হবে ? ৩

ঘ) উদ্দীপকের প্রক্রিয়ায় ব্যবস্থার বিশৃঙ্খলা বৃদ্ধি পাবে– গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। ৪

উত্তর: ক) তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ক্লসিয়াসের মতবাদটি হলো– "যখন কোনো সিস্টেমে তাপ প্রয়োগ করা হয় তখন তার কিছু অংশ বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি করে এবং বাকী অংশ পরিবেশের উপর বাহ্যিক কাজ সম্পাদন করে।"

খ) যে প্রক্রিয়ায় সিস্টেম থেকে তাপ বাইরে যায় না বা বাইরে থেকে কোনো তাপ সিস্টেমে আসে না সেটিই রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া।

আমরা জানি, রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায়

$0 = dU + dW$

বা, $- dU = dW$

বা, $- nC_v dT = Pdv$

বা, $dT = -\frac{Pdv}{nC_v}$

অর্থাৎ রুদ্ধতাপীয় প্রসারণে সিস্টেম এর অভ্যন্তরীণ শক্তি ব্যবহার করে পরিবেশের উপর কাজ করে বলে এর অভ্যন্তরীণ শক্তি হ্রাস পায়, ফলে এর তাপমাত্রা হ্রাস পায়।

অতএব, বলা যায় রুদ্ধতাপীয় প্রসারণে ব্যবস্থা শীতল হয়।

গ) রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায়,

$T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1}$

বা, $T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$

$= 273\left(\frac{V_1}{2V_1}\right)^{1.4-1}$

$= 206.9$ K

প্রমাণ তাপমাত্রা, $T_1 = 273$ K

O_2 এর ক্ষেত্রে, $\gamma = 1.4$

আদি আয়তন = V_1

শেষ আয়তন = $V_2 = 2V_1$

চূড়ান্ত তাপমাত্রা, T_2= ?

অতএব, গ্যাসটি রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় প্রসারিত হলে চূড়ান্ত তাপমাত্রা হবে 206.9 K।

ঘ) সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় এনট্রপির পরিবর্তন,

$$dS = \frac{dQ}{T} = \frac{nRT ln \frac{V_2}{V_1}}{T}$$

$$dS = 1 \times 8.316 \, ln \left(\frac{2V_1}{V_1} \right)$$

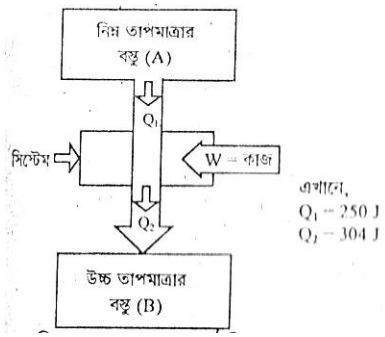
$$= 8.316 \, ln2$$

$$dS = 5.764 \text{ J } K^{-1} > 0$$

এখানে, n = 1 mol O2)
R = 8.316 J mol-1K-1
$V_1 = V_1$
$V_2 = 2V_1$

যেহেতু, এন্ট্রপির পরিবর্তন ধনাত্মক অর্থাৎ এন্ট্রপি বৃদ্ধি পায়, সুতরাং উদ্দীপকের প্রক্রিয়ায় ব্যবস্থার বিশৃঙ্খলা বৃদ্ধি পাবে।

৫।



চিত্রঃ তাপ যন্ত্রের গাঠনিক কাঠামো

ক) তাপ আসন কাকে বলে ? ১
খ) অন্তঃস্থ শক্তির পরিবর্তন ব্যতিরেকে কোনো তাপ ইঞ্জিন কাজ করতে পারবে কী ? ব্যাখ্যা কর। ২
গ) উদ্দীপকের আলোকে সিস্টেমটির কার্যকৃত সহগ নির্ণয় কর। ৩
ঘ) উদ্দীপকের কাঠামোটি খাদ্যদ্রব্য সংরক্ষণে ব্যবহার করা যাবে কী ? উত্তরের সপক্ষে যুক্তি দাও। ৪

উত্তরঃ ক) কার্নো চক্রের ক্ষেত্রে দ্বিতীয় ধাপের সময় সিলিন্ডারটি যে অন্তরক আসনের উপর বসানো থাকে, তাকে তাপ আসন বলে।

খ) তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে আমরা জানি, dQ = dU + dW
এখানে, অন্তঃস্থ শক্তি, dU = 0 হলে dQ = dW।
অর্থাৎ সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় অন্তঃস্থ শক্তির কোনো পরিবর্তন না হলেও সিস্টেম দ্বারা সরবরাহকৃত তাপশক্তি দ্বারা কাজ সম্পাদিত হয়।

গ) কার্যকৃত সহগ, K হলে,
আমরা জানি,

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

$$= \frac{250}{304 - 250} = 4.63$$

নির্ণেয় কার্যকৃত সহগ 4.63।

এখানে,
বর্জিত তাপ, Q_2 = 304 J
গৃহিত তাপ, Q_1 = 250 J

ঘ) একটি রেফ্রিজারেটর যে নীতিতে কাজ করে উপরের উদ্দীপকটিও সেই নীতিতে কাজ করে, যা একটি তাপ ইঞ্জিনের কার্যনীতির সম্পূর্ণ বিপরীত।

সাধারণত তাপ ইঞ্জিনে উচ্চ তাপমাত্রার উৎস হতে নিম্ন তাপমাত্রার সিংকের দিকে তাপ প্রবাহিত হয়। কিন্তু উদ্দীপকের কাঠামোটিতে নিম্ন তাপমাত্রার সিংক হতে উচ্চ তাপমাত্রার উৎসের দিকে প্রবাহিত হয়। উদ্দীপকটিতে সিস্টেম কর্তৃক কাঠামোটির উপর কাজ (W) সম্পাদনের কারণে নিম্ন তাপমাত্রার সিংক হতে তাপ (Q_1) অপসারণের মাধ্যমে উচ্চ তাপমাত্রার উৎসে তাপ (Q_2) পরিবাহিত হয় এবং ইহা ঠান্ডা থাকে। কাঠামোটি প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ায় কাজ করে। এতে ইহার অভ্যন্তরীণ শক্তির কোনো পরিবর্তন হয় না।

উপরোক্ত কারণে কাঠামোটি খাদ্যদ্রব্য সংরক্ষণে ব্যবহার করা যাবে।