গ্যাসের আয়তনের সাথে তাপমাত্রার সম্পর্ক স্থাপন:

চার্লসের সূত্র: ১৭৮৭ সালে জ্যাকুইস চার্লস এই সূত্রটি উপস্থাপন করেন। তাই এটি চার্লসের সূত্র নামে পরিচিত। সূত্রটি হলো, "চাপ স্থির থাকলে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন তার প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রার বৃদ্ধির বা হ্রাসের জন্য শূন্য ডিগ্রি সেলসিয়াস ($0^\circ C$) তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তনের $\frac{1}{273}$ অংশ যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়"।

যদি একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন $t_1^\circ C$ ও $t_2^\circ C$ তাপমাত্রায় যথাক্রমে V_1 ও V_2 হয় তাহলে,

$$V_1 = V_0\left(\frac{273+t_1}{273}\right)$$

এবং, $$V_2 = V_0\left(\frac{273+t_2}{273}\right)$$

$$\therefore \frac{V_1}{V_2} = \frac{273+t_1}{273+t_2} \quad \cdots\cdots (i)$$

আবার, পরম শূন্য তাপমাত্রায় বা কেলভিন স্কেলে তাপমাত্রা 'T' প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$$t^\circ C = (273+t)K = TK$$

$$t_1^\circ C = (273+t_1)K = T_1 K$$

$$t_2^\circ C = (273+t_2)K = T_2 K$$

সুতরাং, সমীকরণ (i) হতে পাই, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ বা, $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

অনুরূপভাবে, T_3, T_4 ..... ইত্যাদি তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন V_3, V_4 ..... ইত্যাদি হলে,

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3} = \frac{V_4}{T_4} = \text{.....} = K \text{ ধ্রুবক}$$

অর্থাৎ, স্থির চাপে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন ও তাপমাত্রার অনুপাত ধ্রুবক বা স্থির। সাধারণভাবে,

$\frac{V}{T} = K$ (K হচ্ছে সমানুপাতিক ধ্রুবক, যার মান constant)

বা, $V = KT$

$\therefore V \propto T$

অর্থাৎ, "স্থির চাপে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন তার পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক।"

পরম শূন্য তাপমাত্রা: চার্লসের সূত্রানুসারে, স্থির চাপে গাণিতিকভাবে যে তাপমাত্রায় যে কোনো গ্যাসের আয়তন শূন্য হয়, সেই তাপমাত্রাকে (−273°C) পরম শূন্য তাপমাত্রা বলা হয়।

চার্লসের সূত্র থেকে পরম শূন্য তাপমাত্রা ব্যাখ্যা:

যদি স্থির চাপে (P) কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন 0°C তাপমাত্রায় V_0 হয়, তাহলে 1° তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে ঐ গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি পায় (V_0 এর $\frac{1}{273}$) ভাগ।

Scanned with CamScanner

সুতরাং, 1°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন,

$V_1 = (V_0 + V_0 \text{ এর } \frac{1}{273}) = V_0\left(1 + \frac{1}{273}\right) = V_0\left(\frac{273+1}{273}\right)$

অপরদিকে 1°C তাপমাত্রা হ্রাস করলে ঐ গ্যাসের আয়তন হ্রাস পায় (V_0 এর $\frac{1}{273}$) ভাগ।

সুতরাং, -1°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন,

$V_{-1} = (V_0 - V_0 \text{ এর } \frac{1}{273}) = V_0\left(1 - \frac{1}{273}\right) = V_0\left(\frac{273-1}{273}\right)$

একইভাবে, t°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন,

$V_t = V_0\left(\frac{273+t}{273}\right)$

$t = 273$°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন,

$V_{273} = V_0\left(\frac{273+273}{273}\right) = 2V_0$

$t = -273$°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন,

$V_{-273} = V_0\left(\frac{273-273}{273}\right) = 0$

অর্থাৎ, -273°C (সূক্ষ্মভাবে -273.15°C) তাপমাত্রায় যেকোনো গ্যাসের আয়তন তাত্ত্বিকভাবে শূন্য (0) হয়।

সুতরাং, যে তাপমাত্রায় চার্লস এর সূত্রানুসারে কোনো গ্যাসের আয়তন তাত্ত্বিকভাবে শূন্য হয়, তাকে পরম শূন্য তাপমাত্রা বলে। এ পরম শূন্য তাপমাত্রা হলো -273°C।

Scanned with CamScanner

চার্লসের সূত্র থেকে পরম তাপমাত্রার স্কেল ব্যাখ্যা:

চার্লসের সূত্রানুসারে, স্থির চাপে তাত্ত্বিকভাবে যে তাপমাত্রায় যে কোনো গ্যাসের আয়তন শূন্য হয়, সেই তাপমাত্রাকে (-273°C) পরম শূন্য তাপমাত্রা বলে। এই তাপমাত্রাকে শুরু বা শূন্য ধরে প্রতি ডিগ্রি তাপমাত্রার ব্যবধানকে এক ডিগ্রি সেলসিয়াসের সমান ধরে যে তাপমাত্রার স্কেল উদ্ভাবন করা হয়েছে তাকে তাপমাত্রার পরম স্কেল বলে। লর্ড কেলভিন এই স্কেলের ধারণা দেন বলে একে কেলভিন স্কেলও বলা হয়।

কেলভিনের নামানুসারে এই স্কেলের তাপমাত্রাকে সূচিত করা হয় 'K' দ্বারা। এক্ষেত্রে ডিগ্রি প্রতীক (°) ব্যবহৃত হয় না।

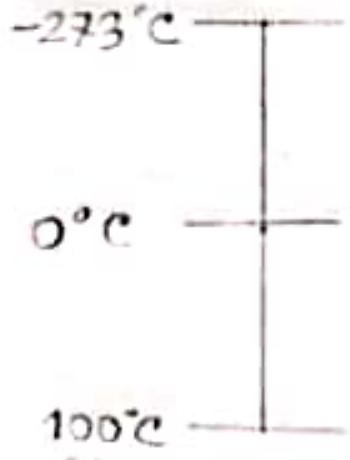
অর্থাৎ, $0°C = 273\ K$

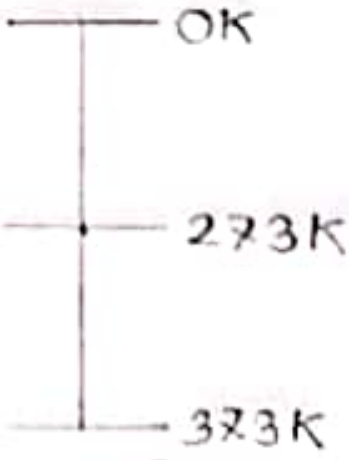
$1°C = (273+1) = 274\ K$

$100°C = (273+100) = 373\ K$

$\therefore\ \theta°C = (273+\theta)\ K$

তাই, কেলভিন স্কেলের পাঠ = 273 + সেন্টিগ্রেড স্কেলের পাঠ





সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে, সেলসিয়াস স্কেলের তাপমাত্রার সাথে 273 যোগ করে পরম বা কেলভিন স্কেলের তাপমাত্রা পাওয়া যায়। এছাড়া সেলসিয়াস স্কেলে 1°C তাপমাত্রার পার্থক্য এবং কেলভিন স্কেলে 1 কেলভিন তাপমাত্রার পার্থক্য মান সমান। এভাবে চার্লসের সূত্র থেকে তাপমাত্রা পরিমাপ এর একটি নতুন স্কেল পাওয়া যায়।

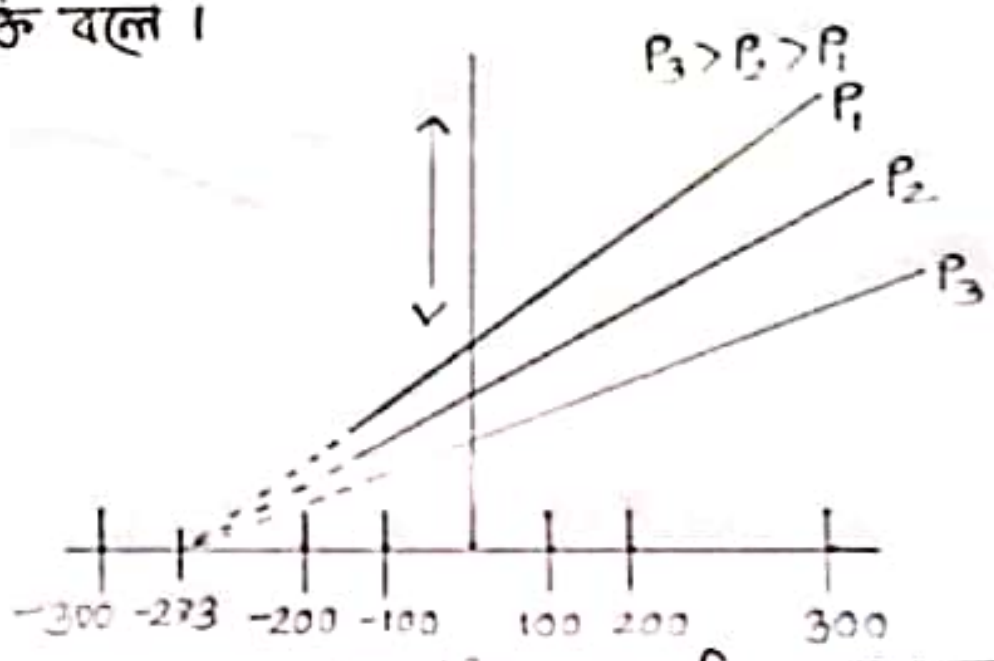
পরম শূন্য তাপমাত্রার তাৎপর্য:

(i) চার্লসের গাণিতিক ব্যাখ্যায় তাত্ত্বিক মান বসিয়ে এবং লেখচিত্রে পেছনে সম্প্রসারণ করে তাত্ত্বিকভাবে এ মান দেখানো যায়।

ii) পরম শূন্য তাপমাত্রা গ্যাসের ধরন, মোল সংখ্যা এবং চাপ দ্বারা প্রভাবিত হয় না।

iii) এ তাপমাত্রায় কোনো পদার্থই গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে না। কেননা এ তাপমাত্রায় পৌঁছানোর পূর্বেই গ্যাসের ভৌত অবস্থা তরল অথবা কঠিনে পৌঁছে যায়।

iv) এ তাপমাত্রায় পদার্থের মধ্যে প্রাপ্ত শক্তিকে শূন্য বিন্দু শক্তি বলে।



← 1°C → চিত্র: আয়তন বনাম তাপমাত্রা

গ্যাসের গতিতত্ত্বের স্বীকার্যসমূহ:

১) **গ্যাসের গঠন:** সকল গ্যাস অসংখ্য ক্ষুদ্র, গোলাকার ও স্থিতিস্থাপক কণা দ্বারা গঠিত। এসব কণাকে অণু বলে। তবে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ক্ষেত্রে এসব কণা পরমাণু। একটি গ্যাসের প্রতিটি অণুর আকার ও ভর একই।

২) **অণু গতিশীলতা:** গ্যাসের অণুসমূহ অবিরামভাবে সুদিকে ছুটাছুটি করে। এ ছুটাছুটির সময় অণুসমূহ পরস্পরের সাথে এবং পাত্রের গায়ে সংঘর্ষ করে। যে কোনো দুটো সংঘর্ষের মধ্যবর্তী পথ সরলরৈখিক।

৩) **গড় মুক্ত পথ:** দুটো সংঘর্ষের মধ্যবর্তী মুক্ত দূরত্বসমূহের গড়মানকে গ্যাস অণুর গড়মুক্তপথ বলে। অর্থাৎ, এতে কয়েকটি সংঘর্ষেও মধ্যবর্তী মুক্ত পথের দূরত্ব $l_1, l_2, l_3, l_4 \ldots\ldots l_n$ হলে গড় মুক্তপথ, $l = \frac{l_1+l_2+l_3 \ldots l_n}{n}$

৪) **সংঘর্ষের সময়:** অণুগুলোর মধ্যে শুধু সংঘর্ষের জন্য যে সময় ব্যয় হয় তা দুটো সংঘর্ষে ও মধ্যবর্তী সময়ের তুলনায় নগণ্য।

৫) **আকর্ষণ/বিকর্ষণ:** গ্যাসের অণুগুলো একে অপরের

Scanned with CamScanner

থেকে এত দূরে দূরে অবস্থান করে যে, এদের পরস্পরের প্রতি কোনো আকর্ষন বা বিকর্ষন নেই বলেই ধরা হয়।

৬) **গতিবেগ:** গ্যাস অনুসমূহ পাত্রের গায়ে যে সংঘর্ষে লিপ্ত হয়। গ্যাস অনুসমূহ সম্পূর্ন স্থিতিস্থাপক হওয়ায় সংঘর্ষের ফলে তাদের গতিবেগের কোনো পরিবর্তন হয় না। কারন স্থিতিস্থাপক হওয়ায় অনুগুলোর গতিশক্তি অন্য কোনো শক্তিতে রূপান্তরিত হতে পারে না।

৭) **চাপ:** গ্যাসের অনুসমূহ পাত্রের গায়ে সংঘর্ষ করার দরুন গ্যাসের চাপ সৃষ্টি হয়। ধাক্কার ফলে পাত্রের গায়ে একক ক্ষেত্রের উপর যে বল প্রযুক্ত হয়, তাকেই গ্যাসের চাপ বলে।

৮) **আয়তন:** গ্যাস অনুসমূহ এতই ক্ষুদ্র যে অনুসমূহের মোট প্রকৃত (নিজস্ব) আয়তন গ্যাসের পাত্রের আয়তন তথা গ্যাসের মোট আয়তনের তুলনায় খুবই নগন্য।

৯) **গতিশক্তি:** গ্যাসের গতিশক্তি পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক। অর্থাৎ, গ্যাস অনুর মোট গতিশক্তি স্থির তাপমাত্রায় স্থির থাকে।

১০) **আকর্ষ শক্তির প্রভাব:** গ্যাসের অনুগুলোর গতির

Scanned with CamScanner

উপর অভিকর্ষ শক্তির কোনো প্রভাব নেই। উপরে উল্লেখিত স্বীকার্যসমূহের আলোকে আদর্শ গ্যাসের জন্য একটি গতীয় সমীকরণ প্রতিপাদন করা হয়। সমীকরণটি হলো- $PV = \frac{1}{3} mnC^2$ (এখানে, P = গ্যাসের চাপ, V = গ্যাসের বা গ্যাস ধারনকারী পাত্রের আয়তন, n = গ্যাসের অনুর সংখ্যা, m = প্রতিটি অনুর ভর এবং C = গ্যাস অনুর বর্গমূল গড় বর্গবেগ।

STP তে 1 অনু CO_2 গ্যাসের গতিশক্তি হিসাব:

এখানে, মোলার গ্যাস ধ্রুবক, $R = 8.314\ J\ mol^{-1} K^{-1}$

তাপমাত্রা, $T = 0^\circ C = 273\ K$

6.02×10^{23} টি CO_2 = 1 মোল CO_2

সুতরাং, 1 টি $CO_2 = \frac{1}{6.023 \times 10^{23}}$ মোল CO_2

$= 1.6603 \times 10^{-24}$ মোল CO_2

অর্থাৎ, $n = 1.6603 \times 10^{-24}$

আমরা জানি, গতিশক্তি $= \frac{3}{2} nRT$

∴ 1 অনু CO_2 গ্যাসের গতিশক্তি $= \frac{3}{2} nRT$

$= \frac{3}{2} \times 1.6603 \times 10^{-24} \times 8.314 \times 273$

$= 5.653 \times 10^{-21}\ J$

∴ 1 অনু CO_2 গ্যাসের গতিশক্তি STP তে $5.653 \times 10^{-21}\ J$

(উত্তর)

Scanned with CamScanner

প্রদত্ত নির্দেশক অনুসারে, স্থির তাপমাত্রায় 1.0 L বিশিষ্ট পাত্রে 1.0 atm চাপে 100 mL CO_2, 750 mm(Hg) চাপে 500 mL NO_2 এবং 103.61 kPa চাপে 600 mL CH_4 গ্যাসকে মিশ্রিত করা হলো।

CO_2 এর ক্ষেত্রে আংশিক চাপ নির্ণয়:

CO_2 এর প্রাথমিক আয়তন, $V_1 = 100$ mL
$= 0.1$ L

মিশ্রণের পর CO_2 এর চূড়ান্ত আয়তন, $V_2 = 1$ L

CO_2 এর প্রাথমিক চাপ, $P_1 = 1$ atm

CO_2 এর চূড়ান্ত চাপ, $P_2 = ?$

আমরা জানি,

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

বা, $$P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2}$$

$$= \frac{1 \times 0.1}{1}$$

$$= 0.1 \text{ atm}$$

$\therefore$ CO_2 এর আংশিক চাপ, $P_{CO_2} = 0.1$ atm

NO_2 এর ক্ষেত্রে আংশিক চাপ নির্ণয়:

NO_2 এর প্রাথমিক আয়তন, $V_1 = 500$ mL
$= 0.5$ L

মিশ্রণের পর চূড়ান্ত আয়তন, $V_2 = 1$ L

Scanned with CamScanner

NO_2 এর প্রাথমিক চাপ, $P_1 = 250\ mm(Hg)$

$$= \frac{250}{760}\ atm$$

$$= 0.98684\ atm$$

$\therefore$ NO_2 এর চূড়ান্ত চাপ, $P_2 = ?$

আমরা জানি,

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

বা, $$P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2}$$

$$= \frac{0.98684 \times 0.5}{1}$$

$$= 0.4934\ atm$$

$\therefore$ NO_2 এর আংশিক চাপ, $P_{NO_2} = 0.4934\ atm$

CH_4 এর ক্ষেত্রে আংশিক চাপ নির্ণয়:

CH_4 এর প্রাথমিক আয়তন, $V_1 = 600\ mL$

$$= 0.6\ L$$

মিশ্রনের পর চূড়ান্ত আয়তন, $V_2 = 1\ L$

CH_4 এর প্রাথমিক চাপ, $P_1 = 103.64\ kPa$

$$= \frac{103.64}{101.325}\ atm$$

$$= 1.02285\ atm$$

$\therefore$ CH_4 এর চূড়ান্ত চাপ, $P_2 = ?$

আমরা জানি, $P_1V_1 = P_2V_2$ বা, $P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} = \frac{1.02285 \times 0.6}{1}$

$$= 0.6137\ atm$$

$\therefore$ CH_4 এর আংশিকচাপ, $P_{CH_4} = 0.6137\ atm$

Scanned with CamScanner

∴ মিশ্রণের মোট চাপ, $P = P_{CO_2} + P_{NO_2} + P_{CH_4}$

$= (0.1 + 0.1931 + 0.6137)$ atm

$= 1.5071$ atm

মোল ভগ্নাংশ নির্ণয়:

আমরা জানি, আংশিক চাপ = মোল ভগ্নাংশ × মোট চাপ

∴ মোল ভগ্নাংশ = $\frac{\text{আংশিক চাপ}}{\text{মোট চাপ}}$

∴ CO_2 এর মোল ভগ্নাংশ = $\frac{CO_2 \text{ এর আংশিক চাপ}}{\text{মোট চাপ}}$

$= \frac{0.1}{1.5071}$

$= 0.2651$

∴ NO_2 এর মোল ভগ্নাংশ = $\frac{NO_2 \text{ এর আংশিক চাপ}}{\text{মোট চাপ}}$

$= \frac{0.1931}{1.5071}$

$= 0.3271$

∴ CH_4 এর মোল ভগ্নাংশ = $\frac{CH_4 \text{ এর আংশিক চাপ}}{\text{মোট চাপ}}$

$= \frac{0.6137}{1.5071}$

$= 0.4072$

∴ CO_2, NO_2 ও CH_4 এর মোল ভগ্নাংশ যথাক্রমে 0.2651, 0.3271 এবং 0.4072 (উত্তর)

Scanned with CamScanner

আদর্শ গ্যাস ও বাস্তব গ্যাসের বৈশিষ্ট্য উল্লেখ-

আদর্শ গ্যাস: যে সকল গ্যাস সকল তাপমাত্রা ও চাপে গ্যাস সূত্রসমূহ যথা বয়েল, চার্লস ও অ্যাভোগ্যাড্রোর সূত্র মেনে চলে অর্থাৎ, $PV = nRT$ সমীকরণ মেনে চলে তাদেরকে আদর্শ গ্যাস বলে।

আদর্শ গ্যাসের বৈশিষ্ট্য:

ক) ইহা $PV = nRT$ সমীকরণ মেনে চলে।

খ) স্থির তাপমাত্রা আদর্শ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি আয়তনের উপর নির্ভরশীল নয়।

গ) আদর্শ গ্যাসের অণুসমূহ সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক হওয়ায় সংঘর্ষের ফলে তাদের গতিবেগের কোনো পরিবর্তন হয় না।

ঘ) আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে সংকোচনশীলতা গুনাঙ্ক, $z = 1$ হয়

ঙ) আদর্শ গ্যাসের অণুসমূহের আয়তন পাত্রের আয়তনের তুলনায় নগণ্য এবং এদের মধ্যে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল নেই।

চ) এ গ্যাসের অণুসমূহের মধ্যে কোন আকর্ষণ বা বিকর্ষণ নেই।

ছ) সহজেই তরলীকরণ সম্ভব হয় না।

বাস্তব গ্যাস: যে সব গ্যাস সকল তাপমাত্রা ও চাপে গ্যাস সূত্রসমূহ তথা বয়েল, চার্লস ও অ্যাভোগ্যাড্রোর সূত্রসমূহ মেনে চলে না অর্থাৎ $PV = nRT$ সমীকরণ মেনে চলে না, তাদেরকে বাস্তব গ্যাস বলে।

Scanned with CamScanner

বাস্তব গ্যাসের বৈশিষ্ট্য:

১) ইহা $(P+\frac{an^2}{V^2})(V-nb)=nRT$ সমীকরণ মেনে চলে।

২) স্থির তাপমাত্রায় বাস্তব গ্যাসের অভ্যন্তরীন শক্তি অবশ্যই আয়তনের উপর নির্ভরশীল।

৩) বাস্তব গ্যাসের অনুপুঞ্জ সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক না হওয়ায় সংঘর্ষের ফলে তাদের গতিবেগের পরিবর্তন হয়।

৪) বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে সংকোচনশীলতার গুণাঙ্ক, $z=\frac{PV}{RT}\neq 1$

৫) বাস্তব গ্যাসের অনুপুঞ্জের মোট আয়তন গ্যাস দ্বারা দখল-কৃত আয়তনের তুলনায় নগন্য নয়; তাই হিসেবে গন্য করা হয়।

৬) বাস্তব গ্যাসের অনুপুঞ্জের মধ্যে আকর্ষন-বিকর্ষন বল বিদ্যমান।

৭) নিম্নচাপ যেমন 1 atm বা তার নিচের চাপে এবং উচ্চ তাপমাত্রায় বাস্তব গ্যাসপুঞ্জ মোটামুটিভাবে প্রায় আদর্শ আচরন করে।

৮) চাপ যতই নিম্ন এবং তাপমাত্রা যতই উচ্চ হয়, বাস্তব গ্যাস সমূহের আচরন ততই আদর্শ গ্যাসের ন্যায় হয়। কিন্তু উচ্চচাপ ও নিম্নতাপমাত্রায় আদর্শ আচরন থেকে বাস্তব গ্যাসের যথেষ্ট বিচ্যুতি ঘটে।

৯) বাস্তব গ্যাস এর সকল বৈশিষ্ট্য মেনে চলে এমন গ্যাসের উদাহরন – H_2, O_2, N_2, CO_2 ইত্যাদি।

Scanned with CamScanner

মোলার গ্যাস ধ্রুবক R এর মাত্রা নির্ণয়:

আদর্শ গ্যাস সমীকরণ $PV = nRT$ এর ধ্রুবক R কে বলা হয় সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক বা মোলার গ্যাস ধ্রুবক।

আদর্শ গ্যাস সমীকরণ, $PV = nRT$

বা, $R = \frac{PV}{nT}$

বা, $R = P \times V \times \frac{1}{n} \times \frac{1}{T}$

বা, $R =$ চাপ $\times$ আয়তন $\times \frac{1}{\text{মোল সংখ্যা}} \times \frac{1}{\text{পরম তাপমাত্রা}}$

বা, $R = \frac{\text{বল}}{(\text{দৈর্ঘ্য})^2} \times (\text{দৈর্ঘ্য})^3 \times \frac{1}{\text{মোল সংখ্যা}} \times \frac{1}{\text{পরম তাপমাত্রা}}$

বা, $R = \frac{\text{বল} \times \text{দৈর্ঘ্য}}{\text{মোল সংখ্যা} \times \text{কেলভিন}}$

অর্থাৎ, R এর মাত্রা $= \frac{\text{বলের মাত্রা} \times \text{দৈর্ঘ্যের মাত্রা}}{\text{মোল} \times K}$

$= \frac{\text{কাজের মাত্রা}}{\text{মোল} \times K}$

$=$ কাজ (বা শক্তি) মোল$^{-1}$ কেলভিন$^{-1}$

$\therefore [R] = \frac{ML^2T^{-2}}{mol \cdot \theta} = ML^2T^{-2}mol^{-1} \cdot \theta^{-1}$

(উত্তর)

Scanned with CamScanner