দ্বিতীয় অধ্যায় : গ্যাসের আচরণ

সাধারণ পরিস্থিতিতে গ্যাসের আচরণ

গ্যাসের আয়তন

গ্যাসীয় পদার্থের নিজস্ব কোনো আকার বা আয়তন নেই। কোনো পাত্রে গ্যাস রাখা হলে গ্যাসের অণুগুলো পাত্রের চারিদিকে ছড়িয়ে পরে এবং সেই পাত্রের আকার ও আয়তন ধারণ করে। সেক্ষেত্রে সেই পাত্রের আয়তনকেই গ্যাসের আয়তন বলা হয়। এজন্যই আয়তন উল্লেখ করার সময় চাপ ও উষ্ণতা উল্লেখ করতে হবে। ওই পদার্থের অণুগুলির মধ্যে গতিশক্তি খুব তীব্র হলেও, আকর্ষণ বল একদম নেই বললেই চলে।

গ্যাসীয় পদার্থের আয়তনের এককসমূহ : গ্যাসীয় পদার্থের আয়তনের SI একক হল মিটার ^{3} এবং CGS একক সেন্টিমিটার ^{3}। এছাড়াও লিটার, মিলিলিটার ইত্যাদির এককের দ্বারাও গ্যাসীয় বস্তুর আয়তন প্রকাশ করা হয়।

SI পদ্ধতিতে কয়েকটি লব্ধ এককের নাম ও সাংকেতিক চিহ্ন দেওয়া হল।

	রাশি	একক	সাংকেতিক চিহ্ন
1.	ক্ষেত্রফল	বর্গমিটার	m^2
2.	আয়তন	ঘনমিটার	m^3
3.	ঘনত্ব	কিলোগ্রাম /ঘনমিটার	kgm^{-3}
4.	বেগ / দ্রুতি	মিটার / সেকেন্ড	ms^{-1}
5.	ত্বরণ / মন্দন	মিটার / সেকেন্ড^2	ms^{-2}
6.	ভরবেগ	কিলোগ্রাম মি / সে	$kg\ ms^{-1}$
7.	বল	নিউটন	N
8.	চাপ	পাস্কাল	Pa
9.	কার্য / শক্তি	জুল	J
10.	ক্ষমতা	ওয়াট	W

গ্যাসের চাপ

গ্যাসীয় পদার্থের অণুগুলো কখনোই স্থির অবস্থায় থাকে না; তারা সর্বদা গতিশীল। কোনো প্রাত্রে কোনো গ্যাস রাখলে তার অণুগুলি পাত্রের সর্বত্র যেকোনো গতিবেগে ছড়িয়ে পড়ে। এর ফলস্বরূপ, অণুগুলি নিজেদের মধ্যে

এবং পাত্রের সাথে ক্রমাগত সংঘর্ষে লিপ্ত হয়। গ্যাসের অণুগুলি পাত্রের ভিতরের দেওয়ালে লম্বভাবে, প্রত্যেকটি বিন্দুতে বল প্রয়োগ করে-

- কোনো আবদ্ধ পাত্রে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় অবস্থিত গ্যাসীয় পদার্থ ওই পাত্রের ভেতরের দেয়ালে একক ক্ষেত্রফলযুক্ত তলের ওপর লম্বভাবে যে বল প্রয়োগ করে তাকে ওই গ্যাসের চাপ বলে।
- **গ্যাসীয় পদার্থের চাপের বিভিন্ন একক সমূহ :** চিত্রে বর্ণিত একক ছাড়াও, গ্যাসের চাপকে বার, মিলিবার, অ্যাটমোসফিয়ার ইত্যাদি একক দ্বারাও পরিমাপ হয়।
- **প্রমাণ উষ্ণতা এবং চাপ :** $0°C$ বা 273 কেলভিন হলো প্রমাণ উষ্ণতা। $0°C$ উষ্ণতায় $45°$ অক্ষাংশে সমুদ্রপৃষ্ঠে 76 সেন্টিমিটার দীর্ঘ পারদস্তম্ভ যে চাপ প্রয়োগ করে, তাকেই প্রমাণ চাপ বা এক অ্যাটমসস্ফিয়ার $(1\ \text{atm})$ বলে।
- **প্যাস্কাল :** 1 বর্গমিটার ক্ষেত্রের ওপর এক নিউটন বল প্রযুক্ত করলে, যে পরিমাণ চাপের সঞ্চার হয়, তাকেই এক প্যাস্কাল (Pa) বলা হয়। প্যাস্কাল হল চাপের SI একক।

প্রমাণ চাপ এবং প্যাস্কালের মধ্যে সম্পর্ক : প্রমাণ চাপ অথবা $1\ \text{atm}$ = $0°C$-এ 76 সেন্টিমিটার পারদস্তম্বের চাপ = পারদ স্তম্ভের উচ্চতা x $0°C$-এ পারদের ঘনত্ব x অভিকর্ষজ ত্বরণ =

$76 \times 13.5951 \times 980.665\ dyn\ cm^{-2}$

$= 1.01325 \times 10^{6}\ dyn\ cm^{-2}$

$1\ Pascal = 1\ Nm^{-2}$,

$1\ bar = 10^{6}\ dyn\ cm^{-2}$

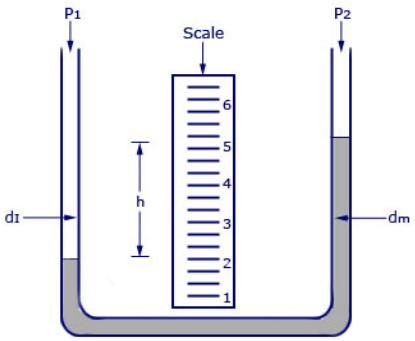
$1\ atm = dyn\ cm^{-2} = 101.325\ kPa$

গ্যাসের উষ্ণতা

কোনো গ্যাসীয় পদার্থের উষ্ণতা সর্বদা ওই পদার্থের অণুগুলির গড় গতিশক্তির সমানুপাতিক। অর্থাৎ গ্যাসের অণুগুলির গতিশক্তি হ্রাস পেলে, গ্যাসের উষ্ণতা কমে যায় এবং গতিশক্তি বৃদ্ধি পেলে গ্যাসের উষ্ণতা বেড়ে যায়।

গ্যাসীয় পদার্থের চাপের পরিমাপ : বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় গ্যাসকে আবদ্ধ পাত্রে রাখা হয় এবং ম্যানোমিটার যন্ত্রের মাধ্যমে গ্যাসের চাপ মাপা হয়।

1. এই যন্ত্রটি আসলে একটি উভয় মুখ খোলা U আকৃতির কাচের নল, যার একটি বাহুর দৈর্ঘ্য অপর বাহু তুলনায় কম।
2. এই নলটিকে পারদ দ্বারা আংশিক পূর্ণ করার পর, এর ছোট বাহুটিকে গ্যাস দ্বারা পূর্ণ পাত্রের সাথে যুক্ত করা হয়।
3. এরপর ওই নল দুটিতে অবস্থিত পারদের উচ্চতার পার্থক্য ও ব্যারোমিটারের দ্বারা বায়ুমণ্ডলীয় চাপের মান থেকে ওই আবদ্ধ গ্যাসের চাপ নির্ধারণ করা হয়ে থাকে।



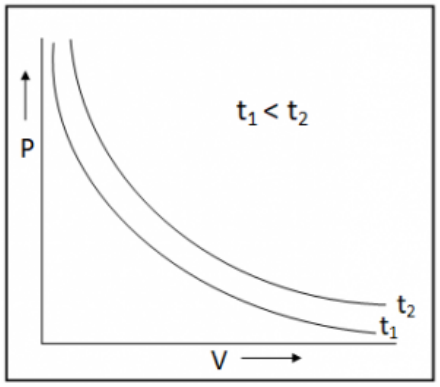
U-tube Manometer

বয়েলের সূত্র

বিজ্ঞানী রবার্ট বয়েল, 1662 খ্রিস্টাব্দে স্থির উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের উপর চাপের প্রভাব সংক্রান্ত একটি সূত্র প্রবর্তন করেন যা বয়েলের সূত্র নামে পরিচিত।

সংজ্ঞা : স্থির উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন ওই গ্যাসের ওপর প্রযুক্ত চাপের সঙ্গে ব্যস্তানুপাতিক সম্পর্কে পরিবর্তিত হয়।

বয়েলের সূত্রের গাণিতিক রূপ : গাণিতিক ভাবে প্রকাশের জন্য ধরা যাক, n মোল কোনো গ্যাসের অণুর উষ্ণতা T কেলভিন, চাপ P এবং আয়তন V বয়েলের সূত্র থেকে আমরা বলতে পারি, $V \propto \frac{1}{P}$ যখন n এবং T স্থির। সুতরাং, $V = K.\ \frac{1}{P}$ বা, PV = K ; K হল একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক এবং এর মান গ্যাসের পরিমাণের ওপর সর্বদা নির্ভরশীল।



ধরে নেওয়া যাক, অপরিবর্তিত উষ্ণতায়, কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসীয় পদার্থের চাপ P_1 এবং ওই গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন V_1। ওই একই উষ্ণতায় চাপ P_2 হলে, ওই গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন পরিবর্তিত হয়ে V_2-তে পরিণত হয়। সুতরাং, বয়েলের সূত্র অনুযায়ী আমরা বলতে পারি, $P_1V_1 = K$ এবং পরিবর্তিত অবস্থায় $P_2V_2 = K$

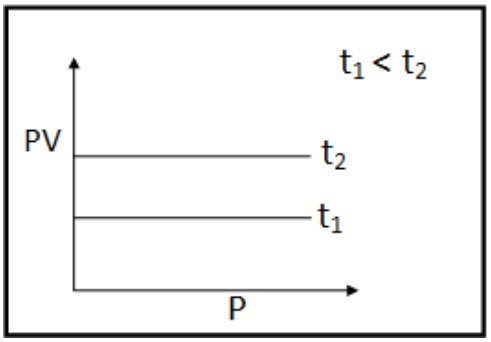
সুতরাং, $P_1V_1 = P_2V_2$

বয়েলের সূত্রের ধ্রুবকসমূহ : উষ্ণতা এবং গ্যাসের ভর

লেখচিত্রের দ্বারা বয়েলের সূত্রের উপস্থাপনা :

১) কোন স্থির উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের P বনাম V- এর লেখচিত্র : PV = K যেখানে K হলো একটি ধ্রুবক। লেখচিত্রটি একটি সমপরাবৃত্তাকার আকার নির্দেশ করে। তাপমাত্রা পরিবর্তনের সাথে সাথে এই লেখচিত্রেরও পরিবর্তন ঘটে।

২) স্থির উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসীয় উপাদানের PV বনাম P-এর লেখচিত্র : বয়েলের সূত্র অনুযায়ী আমরা জানি, PV = K যেখানে K হলো একটি ধ্রুবক (যেখানে গ্যাসীয় উপাদানের উষ্ণতা এবং ভর অপরিবর্তনশীল) যেহেতু PV = k সেক্ষেত্রে PV-কে কোটি এবং P-কে ভুজ ধরে লেখচিত্র



অঙ্কন করলে সর্বদা P অক্ষের সমান্তরাল সরলরেখা হবে।

বয়েলের সূত্র সংক্রান্ত গাণিতিক সমস্যার সমাধান

স্থির উষ্ণতায় কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের সংকোচন-প্রসারণে, গ্যাসের উপর সৃষ্ট চাপ বা আয়তন নির্ণয় করতে $P_1V_1 = P_2V_2$ এই সমীকরণের যে কোনো তিনটি রাশির মান জানা থাকলে, অপর রাশির মান খুব সহজেই গণনা করা সম্ভব।

প্রশ্ন : একটি বেলুনে 95 সেন্টিমিটার Hg চাপে, 0.8 লিটার বায়ুর ভরা আছে। যদি উষ্ণতা স্থির রেখে, চাপ কমিয়ে 76 সেন্টিমিটার Hg-এ আনা হয় তবে ওই গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন কত হবে?

প্রাথমিক অবস্থায় আমরা জানি,

চাপ (P_1) = 95 সেন্টিমিটার Hg

আয়তন (V_1) = 0.8 লিটার

পরিবর্তিত অবস্থায়, চাপ (P_2) = 76 সেন্টিমিটার Hg

আয়তন (V_2) = ?

উষ্ণতা স্থির, সুতরাং বয়েলের সূত্র অনুযায়ী আমরা বলতে পারি, $P_1V_1 = P_2V_2$

$V_2 = \frac{95 \times 0.8}{76} = 1$

সুতরাং, ওই গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন হবে 1 লিটার

চার্লসের সূত্র

1787 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী চার্লস ও 1802 খ্রিস্টাব্দে গে-লুসাক তাদের গবেষণার দ্বারা অপরিবর্তিত চাপে স্থির ভরের গ্যাসের ক্ষেত্রে আয়তন এবং উষ্ণতার মধ্যে সম্পর্ক আবিষ্কার করেন যা চার্লসের সূত্র নামে পরিচিত।

সংজ্ঞা : স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন প্রতি 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি বা হ্রাসের ক্ষেত্রে, 0°C উষ্ণতায় ওই গ্যাসের আয়তনের $\frac{1}{273}$ অংশ যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস

পায়। স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন গ্যাসটির পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক অর্থাৎ $V \propto T$।

চার্লসের সূত্রের ব্যাখ্যা : ধরে নেওয়া যাক, n মোল কোনো গ্যাসীয় অণুর, চাপ P স্থির। 0°C উষ্ণতায় ওই গ্যাসের আয়তন V_0 এবং t°C উষ্ণতায় ওই গ্যাসটির আয়তন V_t।

n, P-এর মান স্থির থাকলে চার্লসের সূত্র অনুযায়ী, 0°C থেকে t°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে ওই গ্যাসটির আয়তন বৃদ্ধি পাবে = $\frac{t}{273}V_0$

সুতরাং, আমরা বলতে পারি t°C উষ্ণতায় গ্যাসটির আয়তন,

$V_t = V_0 + \frac{t}{273}V_0 = (1 + \frac{t}{273})V_0$

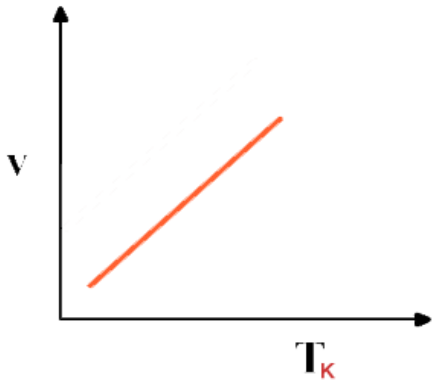
আবার, 0°C থেকে t°C উষ্ণতা কমে গেলে গ্যাসের আয়তন কমবে = $\frac{t}{273}V_0$

সুতরাং -t°C উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন হবে = $(1 - \frac{t}{273})V_0$

$\frac{1}{273}$ এই ভগ্নাংশটিকে আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক ও আয়তন গুণাঙ্ক বলে।

চার্লসের সূত্রের ধ্রুবকসমুহ : গ্যাসের চাপ এবং গ্যাসের ভর

- **স্থিরচাপে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন V বনাম সেলসিয়াস**



উষ্ণতার লেখচিত্র : স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের বিভিন্ন উষ্ণতায় আয়তন নির্ণয় করে V-কে কোটি এবং t-কে ভুজ হিসেবে অঙ্কন করে যে লেখচিত্রটি পাওয়া যায় তা একটি সরলরেখা। এই সকল লেখাগুলিকে বর্ধিত করলে তা T অক্ষকে -273°C উষ্ণতায় ছেদ করে।

চার্লসের সূত্র সংক্রান্ত গাণিতিক সমস্যাগুলির সমাধান :

কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসকে স্থির চাপে $0°C$ থেকে $273°C$ উষ্ণতায় উত্তপ্ত করলে গ্যাসটির প্রাথমিক আয়তনের সঙ্গে পরম আয়তনের সম্পর্ক কিরূপ হবে তা নির্ণয় করো।

সমাধান : ধরে নেওয়া যাক, $0°C$ উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন = V_0 এবং $273°C$ উষ্ণতায় ওই গ্যাসের আয়তন হবে = V_{273}

চাপ স্থির সুতরাং চার্লসের সূত্র অনুযায়ী আমরা বলতে পারি,

$$V_{273} = (1 + \frac{273}{273})V_0 = (1 + 1)V_0 = 2V_0$$

সুতরাং, গ্যাস্টিকের $0°C$ থেকে $273°C$ উষ্ণতায় উত্তপ্ত করার ফলে, গ্যাসটির পরম আয়তন তার প্রাথমিক আয়তনের দ্বিগুণ হবে।

পরম উষ্ণতা স্কেল

চার্লসের সূত্র থেকে পরমশূন্যের ধারণা :

চার্লসের সূত্রানুযায়ী, $V_t = (1 + \frac{273}{273})V_0$

সুতরাং, $-273°C$ উষ্ণতায় স্থির চাপে ওই গ্যাসের আয়তন হবে,

$$V_{-273°C} = (1 + \frac{-273}{273})V_0$$

$$\text{or, } V_{-273°C} = (1 - \frac{273}{273})V_0 = 0$$

সুতরাং, $-273°C$ তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন স্থির চাপে সর্বদা শুন্য হয়। অন্যদিকে কঠিন বা তরল কোনো ক্ষেত্রে চার্লসের সূত্র প্রযোজ্য হয় না। কাজেই কোনো গ্যাসের আয়তন বাস্তবে শূন্যে আনা সম্ভব নয়। তাই বিজ্ঞানীরা $-273°C$ তাপমাত্রাকে পরম শূন্য তাপমাত্রা বলেছেন।

পরম শুন্যের সংজ্ঞা : চার্লসের সূত্র অনুযায়ী, অপরিবর্তিত চাপে যে উষ্ণতায় সকল গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন শূন্যে রূপান্তরিত হয় তাকেই পরমশূন্য বলা হয়। সেলসিয়াস স্কেলে পরমশুন্যের মান $-273°C$।

পরমশূন্য কে 'পরম' বলার কারণ : গ্যাসের প্রকৃতি, চাপ, পরিমাণ বা আয়তন কোনো কিছুর ওপরেই পরমশূন্য উষ্ণতার মান নির্ভর করে না; আবার এর থেকে কম উষ্ণতা পাওয়া সম্ভব নয়। মূলত এই কারণেই পরমশূন্যকে পরম বলে অভিহিত করা হয়।

উষ্ণতার পরম স্কেল বা কেলভিন স্কেল এবং কেলভিন উষ্ণতা : কেলভিন স্কেল 1848 খ্রিস্টাব্দে, ব্রিটিশ বিজ্ঞানী লর্ড কেলভিন প্রবর্তন করেন, যিনি উইলিয়াম থমসন নামেও পরিচিত। এই স্কেলে -273°C উষ্ণতাকে শূন্যবিন্দু এবং উষ্ণতার প্রতি ডিগ্রিকে সেলসিয়াস স্কেলের 1°-এর সমান ধরা হয়, তাকে পরম বা কেলভিন স্কেল বলে। এই স্কেল অনুযায়ী কোনো উষ্ণতার মানকে কেলভিন উষ্ণতা বা পরম উষ্ণতা বলা হয়।

সেলসিয়াস স্কেল এবং কেলভিন স্কেলের সম্পর্ক : সেলসিয়াস স্কেল এবং কেলভিন স্কেলের মধ্যে সম্পর্ক হল : T= 273 + t। যেখানে T, হল কেলভিন স্কেলে উষ্ণতার মান এবং t হল সেলসিয়াস স্কেলে উষ্ণতার মান। সেলসিয়াস স্কেলে উষ্ণতা 273°C বাড়লে কেলভিন স্কেলের উষ্ণতা 273 k বাড়ে কারণ -273°C-কে 0 K ধরা হয়।

কেলভিন স্কেলের নিরিখে চার্লসের সূত্রের ব্যাখ্যা : ধরে নেওয়া যাক, 0°C উষ্ণতায় স্থির চাপে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন V_0, $t_1°C$ উষ্ণতায় কোনো গ্যাসের আয়তন V_1, এবং $t_2°C$ উষ্ণতায় কোনো গ্যাসের আয়তন V_2।

$t_1°C,\ t_2°C$ কেলভিন স্কেলের মান যথাক্রমে T_1K, T_2K

চার্লসের সূত্র অনুযায়ী, $V_1 = (\frac{273 + t_1}{273})V_0$ এবং $V_2 = (\frac{273 + t_2}{273})V_0$

সুতরাং, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \therefore V \propto T$

কেলভিন স্কেল অনুযায়ী চার্লসের সূত্রের বিকল্প রূপ : অপরিবর্তিত চাপে, নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন ওই গ্যাসের পরম উষ্ণতার সঙ্গে সমানুপাতিক, $V \propto T$