পদার্থের অবস্থা
(States of matter)

Chemistry is the study of matter. অর্থাৎ বস্তু বিশেষের অধ্যয়নই রসায়ন। তাই রসায়ন শাস্ত্রের এ পুস্তকের বিভিন্ন পাঠে বস্তু বা পদার্থের বিভিন্ন দিক এবং এর গুরুত্বপূর্ণ কিছু বিষয় আলোচনা করা হবে।

পাঠ ১ পদার্থের বিভিন্ন অবস্থা

ভূমিকা

প্রাগৈতিহাসিক বা আদিম যুগ থেকে মানুষ লোহা, পানি, বাতাস, আগুন প্রভৃতি জিনিষ ব্যবহার করে আসছে। এগুলির কোনটি পদার্থ আবার কোনটি পদার্থ নয়। যেগুলি পদার্থ তার কোনটি তরল, কোনটি কঠিন আবার কোনটি গ্যাসীয়।

এ পাঠে পদার্থের সংজ্ঞা, পদার্থের বিভিন্ন অবস্থা, বিভিন্ন অবস্থার কারণ ইত্যাদি বিষয় নিয়ে সংক্ষেপে আলোচনা করা হল।

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে

- পদার্থ কি তা জানা যাবে
- পদার্থের বিভিন্ন অবস্থা সম্পর্কে জানা যাবে
- আন্ত:কণা আকর্ষণ সম্পর্কে জানা যাবে
- পদার্থের আকার, আকৃতি ও আয়তন সম্পর্কে জানা যাবে

১.১.১: পদার্থের বিভিন্ন অবস্থা

সংজ্ঞা ঃ পদার্থ হলো এমন কিছু জিনিষ যার ভর এবং আয়তন আছে। ফলে স্থান দখল করে এবং বল প্রয়োগে কিছু না কিছু পরিমাণ প্রতিরোধ সৃষ্টি করে।

তাপ ও চাপের তারতম্যের জন্য পদার্থ মূলত তিনটি ভিন্ন ভৌত অবস্থায় থাকতে পারে। যেমন- কঠিন, তরল ও গ্যাস। কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট আকৃতি ও আয়তন আছে, তরল পদার্থের নিদিষ্ট আয়তন আছে, কিন্তু নির্দিষ্ট আকৃতি নেই। আবার গ্যাসের নির্দিষ্ট আকৃতি এবং আয়তন কোনটাই নেই। এ তিন অবস্থা ছাড়াও পদার্থের আরো দুটি অবস্থা দেখা যায়: (i) তরল কেলাস অবস্থা (Liquid Crystalline state) এবং (ii) প্লাজমা অবস্থা (Plasma state)।

তরল কেলাস অবস্থাঃ যে অবস্থায় কোন পদার্থ তরল পদার্থের মত প্রবাহিত হতে পারে আবার কঠিন পদার্থের মত ত্রিমাত্রিক আণবিক গঠন অর্জন করে তাকে পদার্থের তরল কেলাস অবস্থা বলে। এ অবস্থায় পদার্থের কিছু বৈশিষ্ট্যপূর্ণ ধর্ম থাকে। যেমন- (১) পদার্থের গঠন কাঠামোতে কিছু নমনীয় এবং কিছু দৃঢ় অংশ থাকে। (২) এ অবস্থায় পদার্থ, আলোক ধর্ম প্রদর্শন করে। তাই বিভিন্ন ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতি যেমন- ক্যালকুলেটার, থার্মোমিটার ইত্যাদিতে ডিজিটাল প্রদর্শনীর কাজে এগুলি ব্যবহৃত হয়।

প্লাজমা অবস্থাঃ প্লাজমা পদার্থের একটি গ্যাসীয় অবস্থা। এ অবস্থায় পরমাণু বা অণুগুলো সম্পূর্ণ বা আংশিক আয়নিত থাকে এবং তড়িৎ পরিবহন করে। প্লাজমা অবস্থা সৃষ্টির জন্য প্রয়োজন অতি উচ্চ তাপমাত্রা। এ তাপমাত্রা সূর্য ও নক্ষত্রেই দেখা যায়। উচ্চ ক্ষমতা সম্পন্ন বিকিরণও প্লাজমা অবস্থা সৃষ্টি করতে পারে।

পদার্থের বিভিন্ন অবস্থার কারণ

সাধারণত তাপ প্রয়োগে কঠিন পদার্থ তরলে এবং তরল পদার্থ গ্যাসে পরিণত হয়। পরীক্ষা নিরীক্ষার দ্বারা জানা গেছে, প্রত্যেক পদার্থের মধ্যে দুধরনের শক্তি আছে যার ফলে এরূপ ঘটে। এরা হলো (i) আন্ত:কণা আকর্ষণ শক্তি (Intermolecular attraction) ও (ii) গতি শক্তি (Kinetic energy)।

আন্ত:কণা আকর্ষণ শক্তি ঃ পরমাণু সামগ্রিকভাবে তড়িৎ নিরপেক্ষ হলেও এতে কতকগুলো চার্জ বাহী মৌলিক কণা যেমন- ইলেকট্রন ও প্রোটন থাকে। এ দুটি কণা পরস্পর বিপরীত চার্জ বহন করে। এ কারনে পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণাগুলোর অবস্থান, আবেশ ও বিন্যাসের উপর নির্ভর করে সংশ্লিষ্ট অণুর দুপ্রান্তে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধান বা চার্জের উদ্ভব ঘটে। ফলে কখনো ডাইপোল-ডালপোল জাতীয় শক্তিশালী আকর্ষণ এবং কখনো ভ্যান ডার ওয়ালস জাতীয় দুর্বল আকর্ষণ বলের সৃষ্টি হয়। এ ধরনের অন্তর্নিহিত বলকে পদার্থের আন্তঃকণা আকর্ষণ শক্তি বা আন্তআণবিক বল বলা হয়। সাধারণভাবে ক্ষুদ্রতম কণাগুলোর দূরত্ব ও বিন্যাসের উপর এই বলের মান নির্ভর করে। এ বলের কারনে বস্তুর ক্ষুদ্রতম কণাগুলো পরস্পরের সাথে আবদ্ধ থাকে। এ বলের মান যথেষ্ট বেশি হলে বস্তুর ভৌত অবস্থা কঠিন হয়, অপেক্ষাকৃত কম হলে ভৌত অবস্থা তরল এবং যথেষ্ট কম হলে বস্তুর ভৌত অবস্থা গ্যাসীয় হয়।

গতিশক্তি ঃ পরমশূন্য তাপমাত্রা ব্যতীত যে কোন তাপমাত্রায় সকল পদার্থের অণুসমূহে তিন ধরণের গতি বিরাজ করে। যথা: (i) চলমান গতি (translational motion), (ii) ঘূর্ণায়মান গতি (rotational motion) এবং (iii) কম্পন গতি (vibrational motion)। অণুসমূহ এ সকল গতিবেগের কারনে যে শক্তি লাভ করে তাকে গতিশক্তি বলে। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে গতি শক্তির মান বেড়ে যায়। উল্লেখ্য যে শূন্য কেলভিন তাপমাত্রায় পদার্থের অণুগুলোর গতি শক্তির মান শূন্য হয়।

শক্তি দুটির তুলনা

আন্ত:আণবিক শক্তি ও গতিশক্তি পরস্পর বিপরীতমুখী। আন্ত:আণবিক শক্তি পদার্থের কণাগুলোকে একত্রে রাখতে চায়, কিন্তু গতি শক্তি ঐ কণাগুলোকে দূরে সরিয়ে দেয়। পদার্থের ভৌত অবস্থা মূলত: এ দুটি শক্তির উপর নির্ভর করে। আন্ত:আণবিক শক্তি তুলনামূলকভাবে গতিশক্তির চেয়ে বেশী হলে পদার্থের অবস্থা কঠিন হয়। আর আন্ত:আণবিক ও গতিশক্তির মান সমান বা কাছাকাছি হলে পদার্থের অবস্থা তরল এবং আন্ত:আণবিক শক্তি গতিশক্তির চেয়ে উল্লেখযোগ্য পরিমানে কম হলে পদার্থের অবস্থা গ্যাসীয় হয়।

১.১.২: বিভিন্ন অবস্থায় পদার্থের ধর্ম ঃ

প্রত্যেক ভৌতাবস্থায় পদার্থের নিজস্ব কতকগুলো বৈশিষ্ট্য সূচক ধর্ম আছে। অবস্থা পরিবর্তনের সাথে সাথে পদার্থের ধর্মগুলোও পরিবর্তিত হয়। সাধারণত: পদার্থ কঠিন অবস্থা থেকে তরল অবস্থায় রূপান্তরিত হলে তার আয়তন বেড়ে যায় এবং একইসাথে ঘনত্ব কমে যায়। তরল পদার্থ গ্যাসীয় অবস্থায় পরিবর্তিত হলে তার আয়তন অনেকগুণ বেড়ে যায় ফলে তার ঘনত্ব আরো কমে যায়। তবে এই সাধারণ নিয়মের ব্যতিক্রম হল, পানির ঘনত্ব বরফের ঘনত্বের চেয়ে বেশি।

বৈশিষ্ট্য সূচক ধর্মের নির্ভরশীলতা

সাধারণ তাপমাত্রা ও চাপে পদার্থ কঠিন, তরল অথবা গ্যাসীয় অবস্থার যে কোন একটিতে অবস্থান করে। প্রান্তিক বা সন্ধি তাপমাত্রা (critical tempurature) এর নিচে পদার্থের গ্যাসীয় অবস্থাকে বাষ্প (Vapour) বলা হয়। সন্ধি তাপমাত্রার নিচে কেবল মাত্র চাপ প্রয়োগে পদার্থকে সঙ্কুচিত করে গ্যাসীয় অবস্থা থেকে তরল অবস্থায় রূপান্তর করা যায়।

পদার্থের স্বাভাবিক অবস্থার পরিবর্তন, বস্তুত কতকগুলো মৌলিক বৈশিষ্ট্যের উপর নির্ভর করে। কিছু কিছু পদার্থকে সামান্য তাপেই কঠিন থেকে তরলে বা তরল থেকে বাষ্পে পরিণত করা যায়। আবার কোন কোন পদার্থের ক্ষেত্রে এ ধরনের পরিবর্তন করতে যথেষ্ট পরিমাণ তাপ প্রয়োগ করতে হয়। এই ভিন্নরূপ আচরণের কারণ হলো- অণু, পরমাণু বা আয়নের প্রকৃতির উপর পদার্থের স্বাভাবিক অবস্থার নির্ভরশীলতা।

---

* (আন্ত:আণবিক বল ঃ ডাইপোল (dipole) ডাইপোল আকর্ষণ, ভ্যান ডার ওয়ালস বল (van der waals force) এবং হাইড্রোজেন বন্ধন এ বলের উৎস।)

কঠিন পদার্থ (Solid)

কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট আয়তন ও ত্রি মাত্রিক গঠন রয়েছে। কারণ, এক্ষেত্রে আন্ত:আণবিক বলের মান খুব বেশি হওয়ায় অণুগুলো একে অন্য থেকে আলাদা হতে পারে না। অণুগুলোর শুধুমাত্র দোলন বা কম্পনের স্বাধীনতা থাকে।

তরল পদার্থ (Liquid)

তরল পদার্থের নির্দিষ্ট আয়তন থাকলেও এর কোন নির্দিস্ট আকৃতি নেই। কারণ, এ ক্ষেত্রে অণুগুলো একে অপরের কাছাকাছি থাকলেও এদের আন্ত:আণবিক আকর্ষণ বল তুলনামূলকভাবে কঠিন পদার্থের চেয়ে কম। ফলে এদের মধ্যে দূরত্ব বৃদ্ধি পায়। এ জন্য অণুগুলির চলাফেরা করার স্বাধীনতা থাকে। তাই কঠিন পদার্থকে তরল পদার্থে রূপান্তরিত করলে আয়তন বেড়ে যায়।

পানি ব্যতিক্রম ধর্মী তরল পদার্থ। কারণ বরফকে পানিতে রূপান্তরিত করলে আয়তন কমে যায়। এর কারণ হলো বরফের গঠণ কাঠামোতে অনেক ফাঁকা স্থান থাকে যা তরল পানির ক্ষেত্রে পূরণ হয়। এ ছাড়া তরল পানিতে হাইড্রোজেন বন্ধনের উপস্থিতি পানির আয়তন হ্রাসের অন্যতম কারণ।

গ্যাস (Gas)

বাষ্পীয় বা গ্যাসীয় অবস্থায় পদার্থের অণুসমূহের মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ খুবই কম। ফলে এরা যথেষ্ট দূরে দূরে অবস্থান করে এবং বিনা বাধায় চলাফেরা করতে পারে। ফলে পাত্রের পুরো জায়গা এরা দখল করে। তবে চাপ প্রয়োগে অণুসমূহ কাছাকাছি আসে এবং গ্যাসের আয়তন কমে যায়। তাপ বাড়ালে উল্টো ঘটনা ঘটে। আন্ত:আণবিক শক্তি কমে যায় এবং গতিশক্তি বেড়ে যায়। ফলে গ্যাস অণুসমূহ আরো ছড়িয়ে পড়ে এবং গ্যাসের আয়তন বেড়ে যায়।

সারসংক্ষেপ

- কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট আকৃতি ও আয়তন আছে
- তরল পদার্থের নির্দিষ্ট আয়তন থাকলেও এর কোন নির্দিষ্ট আকৃতি নেই
- গ্যাসীয় পদার্থের নির্দিষ্ট কোন আকার বা আয়তন নেই।
- আন্ত:আণবিক আকর্ষণ শক্তি ও গতি শক্তি-এ দু প্রকারের শক্তির উপর পদার্থের ভৌত অবস্থা নির্ভর করে। এ দুটি শক্তি পরস্পর বিপরীতমুখী। তাপমাত্রা বাড়ালে গতিশক্তি বৃদ্ধি পায় কিন্তু আন্ত:আণবিক আকর্ষণ শক্তি হ্রাস পায়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন

সঠিক উত্তরের পার্শ্বে টিক চিহ্ন (√) দিন।

১। পদার্থের ভৌত অবস্থা মূলতঃ নির্ভর করে

ক) আন্ত:আণবিক শক্তির উপর খ) গতিশক্তির উপর

গ) আন্ত:আণবিক শক্তি ও গতিশক্তির উপর ঘ) এদের কোনটির উপরই নয়।

২। যে তাপমাত্রায় পদার্থে কোন গতি শক্তি থাকেনা তা হলো–

ক) 0° সে খ) পরমশূন্য তাপমাত্রা

গ) 100° সে ঘ) 100 কেলভিন।

রচনামুলক প্রশ্ন

১। পদার্থ কাকে বলে? পদার্থ কয়টি অবস্থায় থাকতে পারে?

২। পদার্থের ভৌত অবস্থা কোন কোন শক্তি দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়?

৩। বিভিন্ন অবস্থায় পদার্থ কিভাবে পরিবর্তিত হয়।

৪। পদার্থের কঠিন, তরল ও বাষ্পীয় অবস্থার বর্ণনা দিন।

৫। **টীকা লিখুন:**

ক) আন্ত:আণবিক আকর্ষণ শক্তি (খ) গতি শক্তি।

পাঠ ২ গ্যাসের সূত্রসমূহ (Gas Laws)

ভূমিকা

গ্যাস পদার্থের এমন একটি অবস্থা যার আয়তন, তাপমাত্রা, চাপ ও মোলসংখ্যা পরস্পরের সংগে সম্পর্কযুক্ত। একটি পরিবর্তন করা হলে অন্যটি উল্লেখযোগ্য পরিমানে পরিবর্তিত হয়। সপ্তদশ, অষ্টাদশ ও উনবিংশ শতাব্দীতে বিভিন্ন বৈজ্ঞানিক গ্যাসের তাপমাত্রা, চাপ, আয়তন ও মোলসংখ্যার উপর পরীক্ষা-নিরীক্ষা করে কতকগুলো সূত্র আবিষ্কার করেছেন। এ সূত্রগুলিকে গ্যাসের সূত্র বলা হয়। এ পাঠে গ্যাসের সূত্রগুলির বিভিন্ন দিক নিয়ে সংক্ষেপে আলোচনা করা হবে।

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে

- গ্যাসের সূত্র সম্পর্কে জানা যাবে।
- গ্যাসীয় পদার্থের ক্ষেত্রে চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক জানা যাবে।
- পরম শূন্য তাপমাত্রা ও কেলভিন স্কেল সম্পর্কে জানা যাবে।
- অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যাবে।
- সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক R সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যাবে।
- গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ ও আংশিক চাপ সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যাবে।
- হাইড্রোকার্বনের আণবিক সংকেত নির্ণয় করা যাবে।

১.২.১: বয়েলের সূত্র (Boyle's Law)

বিজ্ঞানী রবার্ট বয়েল বিভিন্ন গ্যাসের উপর পরীক্ষা-নিরীক্ষা করে দেখেন যে গ্যাসের আয়তনের সঙ্গে প্রযুক্ত চাপের একটি পরস্পর বিপরীত (Inverse) সম্পর্ক আছে। এ সম্পর্ক তিনি নিম্নরূপ সূত্রের সাহায্যে প্রকাশ করেন।

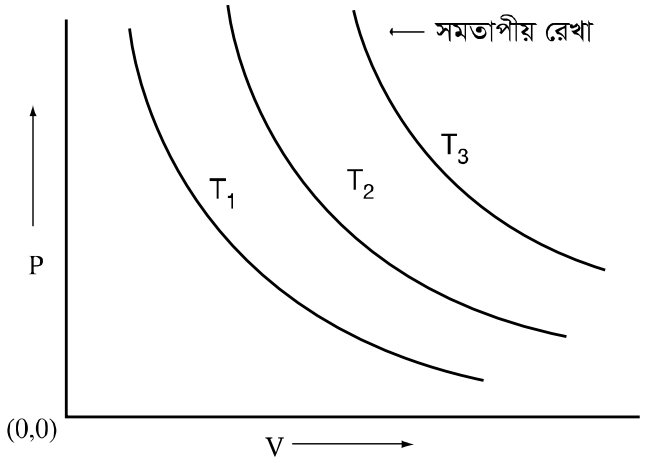
"স্থির তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন ঐ গ্যাসের উপর প্রযুক্ত চাপের ব্যস্তানুপাতিক।"

অর্থাৎ স্থির তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন V এবং তার উপর প্রযুক্ত চাপ P হলে বয়েলের সূত্রানুসারে,

$$V \propto \frac{1}{P}$$

বা, $PV = K$ ..... (1.1)

এখানে K একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক।



চিত্র: ১.১। চাপ বনাম আয়তন লেখচিত্র

স্থির তাপমাত্রায় কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ ও আয়তন যথাক্রমে P_1, V_1; P_2, V_2; ..... P_n, V_n হলে সমীকরণ (1.1) অনুসারে আমরা পাই,

$P_1 V_1 = P_2 V_2 = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots P_n V_n = K$ (ধ্রুবক)

এটিই বয়েলের সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ। ছক কাগজে P বনাম V কে আলেখিত করলে **১.১** নং চিত্রের মত লেখচিত্র পাওয়া যায়। স্থির তাপমাত্রায় প্রাপ্ত বক্ররেখাগুলোকে সমতাপীয় রেখা (isotherm) বলা হয়।

১.২.২: গাণিতিক সমস্যাবলী

উদাহরণ-১। 30° সে. তাপমাত্রায় 600 সেমি^{3} আয়তন গ্যাসের চাপ 90 সেমি (পারদ) থেকে 120 সেমি (পারদ) এ বাড়ালে গ্যাসের আয়তন কত হবে?

সমাধান :

প্রথম অবস্থায়	দ্বিতীয় অবস্থায়
$P_1 = 90$ সে.মি. (পারদ)	$P_2 = 120$ সেমি (পারদ)
$V_1 = 600$ সে.মি^{3}.	$V_2 = ?$

বয়েলের সূত্র থেকে,

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$\therefore V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

$$= \frac{90 \text{ সেমি} \times 600 \text{ সেমি}^3}{120 \text{ সেমি}}$$

$$= 450 \text{ সেমি}^3$$

উত্তর : 120 সেমি (পারদ) চাপে গ্যাসটির আয়তন হবে 450 সেমি^{3} ।

উদাহরন-২: কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় 60 Pa চাপে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন 350 সেমি^{3} থেকে 500 সেমি^{3} এ উন্নীত করা হলে ঐ তাপমাত্রায় গ্যাসটির চাপ কত হবে নির্ণয় করুন।

সমাধান: এখানে–

প্রথমাবস্থায়	দ্বিতীয় অবস্থায়
চাপ, $P_1 = 60$ Pa	আয়তন, $V_2 = 500$ সেমি^{3}
আয়তন, $V_1 = 350$ সেমি^{3}	চাপ, $P_2 = ?$

আমরা জানি যে,

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2}$$

$$= \frac{60\ \text{Pa} \times 350\text{সেমি}^3}{500\ \text{সেমি}^3}$$

$$= 42\ \text{Pa}$$

উত্তর: গ্যাসটির চাপ 42 Pa

১.২.৩: চার্লসের সূত্র (Charles' Law)

এ সূত্রকে গে-লুসাকের (Gay-Lussac) সূত্রও বলে।

স্থির চাপে তাপ প্রয়োগ করলে গ্যাসের আয়তন বেড়ে যায়। এই ঘটনা প্রত্যক্ষ করে ১৭৮৭ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী চার্লস ও ১৮০২ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী গে-লুসাক স্বতন্ত্রভাবে তাপমাত্রার সাথে গ্যাসের আয়তনের পরিবর্তন সম্পর্কিত একটি সূত্র উপস্থাপন করেন। সূত্রটি নিম্নরূপ-

"স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের যে কোন গ্যাসের আয়তন প্রতি ডিগ্রী সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের ফলে 0° সে. তাপমাত্রায় গ্যাসটির আয়তনের $\frac{1}{273}$ ভাগ করে যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।" এখানে আয়তনের $\frac{1}{273}$ অংশ (প্রকৃতপক্ষে $\frac{1}{273.15}$) হচ্ছে গ্যাসের তাপীয় সম্প্রসারনাংক α, (thermal expansivity or co-efficient of thermal expansion)

মনেকরি, 0° সে তাপমাত্রায় একটি গ্যাসের আয়তন V_o এবং যে কোন তাপমাত্রায় (t° সে) গ্যাসটির আয়তন V_t। বর্ণিত সূত্রানুযায়ী,

$$V_t = V_0 + V_0 \frac{t}{273} = V_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right) \text{..... (1.2)}$$

এবার স্থির চাপে t_1° সে. তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন V_1 এবং t_2° সে. তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন V_2 হলে

$$V_1 = V0\left(1 + \frac{t_1}{273}\right) = V0\left(\frac{273 + t_1}{273}\right) \text{ .... (1.3)}$$

$$V_2 = V0\left(1 + \frac{t_2}{273}\right) = V0\left(\frac{273 + t_2}{273}\right) \text{ .... (1.4)}$$

সমীকরণ (1.3) কে (1.4) দ্বারা ভাগ করে পাওয়া যায়-

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{273 + t_1}{273 + t_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ অথবা } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

[এখানে $T = 273 + t$ কে কেলভিন স্কেলে তাপমাত্রা বা পরম তাপমাত্রা বলা হয়। অর্থাৎ সেলসিয়াস স্কেলের তাপমাত্রার সঙ্গে 273 যোগ করলে কেলভিন স্কেলের তাপমাত্রা পাওয়া যায় যেমন, 27° সে =27+273=300K] এখানে উলে- খ্য কেলভিন তাপমাত্রায় ০ চিহ্ন দিতে হয়না শুধু ক্যাপিটাল K লিখতে হয়।

সাধারণভাবে $\frac{V}{T}$ = ধ্রুবক..... .... (1.5)

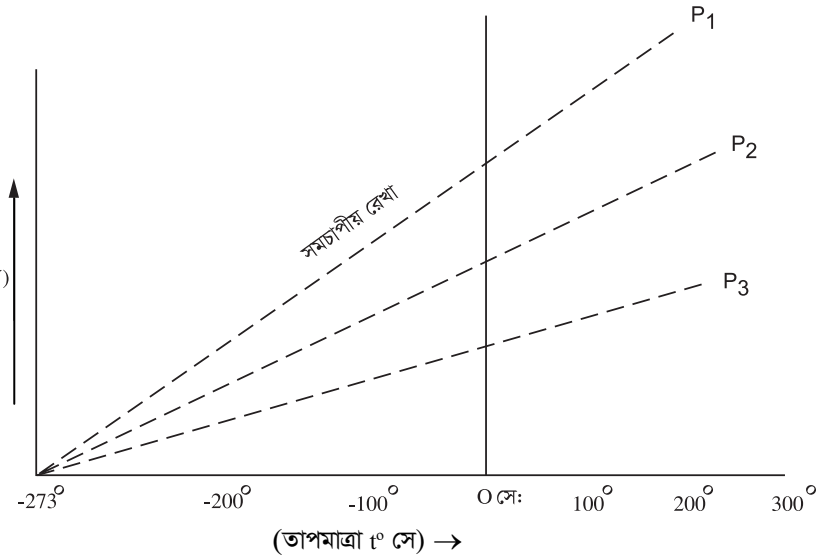
$\therefore V \propto T$ যখন গ্যাসের চাপ স্থির থাকে।

সুতরাং চার্লসের সূত্রকে নিম্নলিখিত ভাবেও প্রকাশ করা যায়।

'স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন এর কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক'।

চার্লসের সূত্রের জ্যামিতিক প্রকাশঃ

ছক কাগজে V বনাম t° সে. (বা T) কে আলেখিত (Plot) করলে 1.2 নং চিত্র এর ন্যায় লেখচিত্র পাওয়া যায়। স্থির চাপে প্রাপ্ত 1.2 নং চিত্রের রেখাগুলিকে সমচাপীয় রেখা (Isobar) বলা হয়।



চিত্র-১.২: বিভিন্ন চাপে আয়তন বনাম তাপমাত্রার আলেখন। উলে- খ্য যে - 273° সে তাপমাত্রায় আয়তন শূন্য হয়ে যায়।

চিত্রে দেখা যায় যে, –273° সে. তাপমাত্রায় সকল গ্যাসের আয়তন তাত্ত্বিকভাবে শূন্য হয়ে যায়। কিন্তু বাস্তবে এ তাপমাত্রায় পৌঁছার অনেক আগেই গ্যাস তরলে পরিণত হয়। আরও নিম্ন তাপমাত্রায় তরল কঠিনে পরিণত হবে। প্রকৃতপক্ষে কোন অবস্থায় বস্তুর আয়তন শূণ্য হতে পারে না। তবে গ্যাসের আয়তনের তুলনায় 273° সে তাপমাত্রায় কঠিন অবস্থায় বস্তুর আয়তন এতটাই কমে যায় যে এ আয়তনকে তাত্ত্বিকভাবে শূন্য ধরা যায়। স্থির চাপে আয়তন বনাম তাপমাত্রা লেখচিত্রে যে তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন তত্ত্বীয়ভাবে শূন্য হয় তাকে পরমশূন্য (absolute zero) তাপমাত্রা বলে। কেলভিন স্কেলে এ তাপমাত্রার মান শূন্য (T=0)। পরীক্ষায় দেখা যায় পানি ও বরফ সাম্যাবস্থায় থাকাকালে 1.0 বায়ুচাপে পানির তাপমাত্রা 273.15 কেলভিন।

আমরা জানি, পানি 0° সে. তাপমাত্রায় বরফে পারিণত হয়। সুতরাং 0° সে = 273.15 K

১.২.৪: গ্যাসের চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রার সম্পর্ক

বয়েলের সূত্র (অনুচ্ছেদ ১.২.১) থেকে আমরা পাই–

$P_1V_1 = P_2V_2$ (স্থির তাপমাত্রায়)

বা $\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$ .... (1.6)

আবার চার্লসের সূত্রে (অনুচ্ছেদ ১.২.৩) আমরা দেখেছি

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ (স্থির চাপে)

বা $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

সুতরাং বয়েল এবং চার্লসের সূত্র সমন্বয় করে আমরা লিখতে পারি–

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \quad \text{..... .... (1.7)}$$

এভাবে দেখানো যায়

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_3V_3}{T_3} = \text{.....} = \frac{PnVn}{Tn}$$

বা, $\frac{PV}{T}$ = ধ্রুব (Constant)

বা, PV = KT .... (1.8)

K একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক । সমীকরণ (1.8) বয়েল ও চার্লসের সূত্র সমন্বয়ের ফল। এ সমীকরণে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ (P), আয়তন (V) ও তাপমাত্রার (T) মধ্যে সম্পর্ক প্রদর্শিত হয়েছে। সুতরাং এটি একটি অবস্থা সমীকরণ।

যদি একটি নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তনও স্থির রাখা হয় তা'হলে সমীকরণ (1.8) থেকে আমরা পাই

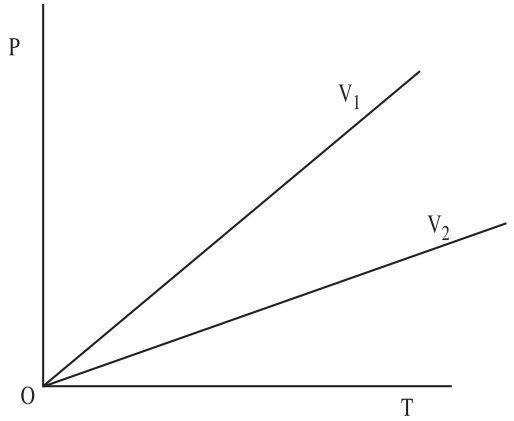
$\frac{P}{T}$ = স্থির (Constant)

বা, P = WT .... (1.9)

W একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক

$\therefore P \propto T$ .... (1.10)

অর্থাৎ **একটি নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন স্থির রাখলে গ্যাসটির চাপ তার কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক হবে।** স্থির আয়তনে একটি নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ বনাম কেলভিন তাপমাত্রা লেখচিত্র অঙ্কন করা হলে 1.3 নং চিত্রের ন্যায় লেখচিত্র পাওয়া যাবে। চিত্রে দেখা যায় P বনাম T লেখচিত্রের সকল রেখা কেন্দ্র বিন্দুগামী সরল রেখা। অর্থাৎ তত্ত্বীয়ভাবে কোন গ্যাসের চাপশূন্য হলে ঐ গ্যাসের কেলভিন তাপমাত্রা শূন্য হবে (বাস্তবে 0K তাপমাত্রা অসম্ভব)। যেহেতু P বনাম কেলভিন তাপমাত্রা লেখচিত্রের রেখাগুলি স্থির আয়তনে প্রাপ্ত তাই এ সরল রেখাগুলিকে সমআয়তনীয় রেখা বলে।



চিত্র-১.৩। চাপ বনাম কেলভিন তাপমাত্রা লেখচিত্র

১.২.৫ : গাণিতিক সমাধানঃ

উদাহরণ- ১। 25° সে তাপমাত্রায় 101.3 kPa (1.0 অ্যাটমোস্ফিয়ার) চাপে 5 ডেমি^{3} আয়তনের একটি গ্যাসের চাপ ঠিক রেখে তাপমাত্রা 1000° সে পর্যন্ত বাড়ানো হলো; গ্যাসটির আয়তন কত হবে?

সমাধানঃ এখানে

প্রাথমিক আয়তন, $V_1 = 5$ ডেমি^{3}

প্রাথমিক তাপমাত্রা, $T_1 = (25+ 273)K = 298K$

পরিবর্তিত তাপমাত্রা, $T_2 = (1000+ 273)K = 1273K$

পরিবর্তিত আয়তন $V_2 = ?$

যেহেতু $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

$\therefore V_2 = \frac{V_1 \times T_2}{T_1} = \frac{5 \times 1273}{298}$ ডেমি^{3} = 21.72 ডেমি^{3}

উত্তর : 1000° C তাপমাত্রায় গ্যাসটির আয়তন হবে 21.72 সেমি^{3}

১.২.৬ঃ অ্যাভোগাড্রোর সূত্র (Avogadro's Law)

1811 খ্রীষ্টাব্দে ইটালির বিজ্ঞানী অ্যাভোগাড্রো গ্যাসের আয়তন ও অণুর সংখ্যার মধ্যে সম্পর্ক বিষয়ক একটি সূত্রের অবতারনা করেন। তাঁর নামানুসারে এটাকে বলা হয় অ্যাভোগাড্রোর সূত্র। তাত্ত্বিক ব্যাখ্যার ভিত্তিতে প্রস্তাবিত বলে এটাকে হাইপথেসিস বলা হত। কিন্তু বহুকাল ধরে ব্যবহারের সফলতা থাকায় এই হাইপথেসিসকে অ্যাভোগাড্রোর সূত্র (Avogadro's law) বলা হয়। সূত্রটি নিম্নরূপ

"একই তাপমাত্রা ও চাপে সমান আয়তনের সকল গ্যাসে সমান সংখ্যক অণু বিদ্যমান থাকে।" এ সূত্র হতে বলা যায়-

$V \propto n$ (স্থির চাপ ও তাপমাত্রায়)

এখানে n হলো গ্যাসের মোল সংখ্যা এবং V হলো n মোল বিশিষ্ট গ্যাসের আয়তন।

এ সূত্র হতে আরো জানা যায় যে আদর্শ তাপমাত্রা ও চাপে সকল গ্যাসের মোলার আয়তন হলো 22.4 লিটার এবং এই পরিমাণ গ্যাসে 6.023×10^{23} টি অণু থাকে।

মৌলিক পদার্থ হলে তার এক মোলে 6.023×10^{23} টি পরমাণু থাকবে।

কোন পদার্থের 1 মোল পরিমাণে যত সংখ্যক কণা (অণু বা পরমাণু) বিদ্যমান থাকে, তাকে অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা বলে। একে N দ্বারা প্রকাশ করা হয়। উপরের আলোচনা থেকে আমরা বুঝতে পারে $N = 6.023 \times 10^{23}$

১.২.৭। গ্যাস সূত্রসমূহের সমন্বয় (Combination of gas laws)

P চাপে ও T তাপমাত্রায় যদি n মোল পরিমাণ কোন গ্যাসের আয়তন V হয় তাহলে,

(i) বয়েলের সূত্রানুসারে, $V \propto \frac{1}{P}$, যখন n ও T স্থির থাকে;

(ii) চার্লসের সূত্রানুসারে, $V \propto T$, যখন n ও P স্থির থাকে;

(iii) অ্যাভোগাড্রোর সূত্রানুসারে, $V \propto n$, যখন T ও P স্থির থাকে।

যখন n, V, T, P সব কয়টি রাশিই পরিবর্তনশীল হয়, তখন বীজগণিতের সূত্রানুসারে উপরের সূত্রসমূহ থেকে লিখা যায়–

$$V \propto \frac{nT}{P}$$

বা, $V = R\frac{nT}{P}$, এখানে, R একটি ধ্রুবক ।

বা, $PV = n\,RT$ .... (1.11)

সমীকরণ (1.11) হতে বুঝা যায় যে, R-এর মান সব গ্যাসের জন্য সমান। এজন্য একে সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক(Universal gas constant) বা মোলার গ্যাস ধ্রুবক ধ্রুবক (molar gas constant) বা সংক্ষেপে গ্যাস ধ্রুবক বলে। এবং 1.11 নং সমীকরণটিকে আদর্শ গ্যাস সমীকরণ বলে।

আদর্শ গ্যাস ও বাস্তব গ্যাস

PV=nRT সমীকরণটি তাত্ত্বিকভাবে সকল গ্যাসের জন্য প্রযোজ্য হলেও বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে বিচ্যুতি দেখা যায়। সে জন্য যে সকল গ্যাস তাপমাত্রা ও চাপের সকল অবস্থায় বয়েলের ও চার্লসের সূত্র যথাযথভাবে মেনে চলে তাদেরকে আদর্শ গ্যাস (ideal gas) বলে। 1.11 নং সমীকরণটি খুবই গুরুত্বপূর্ণ। গ্যাস সংক্রান্ত বিভিন্ন সমস্যা সমাধানে এটি প্রয়োগ করা হয়।

আর যে সব গ্যাস এ সমীকরণ যথাযথভাবে মেনে চলে না তারা হল বাস্তব বা প্রকৃত গ্যাস। বাস্তবে কোন গ্যাসই আদর্শ গ্যাস সমীকরণ (1.11) সম্পূর্ণরূপে মেনে চলে না। তাই বাস্তবে কোন গ্যাসই আদর্শ নয়। তবে অত্যন্ত নিম্নচাপ ও অতি উচ্চ তাপমাত্রায় বাস্তব গ্যাসগুলো আদর্শ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে।

M আণবিক ভর বিশিষ্ট W গ্রাম ভরের কোন গ্যাসের মোল সংখ্যা $n = \frac{W}{M}$ হবে। আবার W গ্রাম ভরের কোন গ্যাসের আয়তন V হলে, তার ঘনত্ব $d = \frac{W}{V}$ হবে। সুতরাং সমীকরণ (1.11) কে নিম্নলিখিত একাধিক সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়:

(i)	$PV = nRT$	n মোল গ্যাসের ক্ষেত্রে
(ii)	$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$	যে কোন পরিমাণ গ্যাসের ক্ষেত্রে
(iii)	$PV = RT$	এক মোল গ্যাসের ক্ষেত্রে
(iv)	$PV = \frac{W}{M}RT$	M আণবিক ভর বিশিষ্ট W গ্রাম পরিমাণ গ্যাসের ক্ষেত্রে
(v)	$M = \frac{W}{V} \cdot \frac{RT}{P} = \frac{dRT}{P}$	d ঘনত্ব বিশিষ্ট গ্যাসের ক্ষেত্রে

১.২.৮ : কয়েকটি এককে R- এর মান

(১) সি.জি.এস এককে $R = 8.314 \times 10^7$ আর্গ/K/মোল = 8.314 জুল/K/ মোল

(২) ক্যালরি এককে : R = 1.987 ক্যালরি/K/ মোল।

(৩) লিটার অ্যাটমোস্ফিয়ার এককে: R = 0.082 লিটার. অ্যাটম/মোল/K

SI এককে R এর মান

SI এককে চাপ (P) কে নিউটন প্রতি বর্গ মিটারে (Nm^{-2}), আয়তন (V) কে ঘনমিটারে (m^3) এবং তাপমাত্রা (T) কে কেলভিন (K) এ প্রকাশ করা হয়।

N.T.P অর্থাৎ আদর্শ তাপমাত্রা ও চাপে–

চাপ, P = 1 অ্যাটমোস্ফিয়ার = 101.325×10^3 নিউটন প্রতি বর্গ মিটার ((Nm^{-2})

1 মোল গ্যাসের আয়তন V = 22.4 লিটার = 22.4×10^{-3} ঘন মিটার এবং

তাপমাত্রা T = 273.15 K

এখন 1 মোল গ্যাসের জন্য, PV = RT

সুতরাং $R = \frac{PV}{T} = \frac{(101.325\times10^3)\times(22.4\times10^{-3})}{273.15}$ জুল/কেলভিন/মোল

= 8.314 জুল/কেলভিন/মোল

১.২.৯: গাণিতিক সমাধান

উদাহরণ-১। প্রমাণ অবস্থায় একটি গ্যাসের আয়তন 750 সেমি^{3}। 30° সে. তাপমাত্রায় ও 790 মিমি (mm) চাপে ঐ গ্যাসের আয়তন কত হবে?

সমাধান :

প্রথম অবস্থায়	দ্বিতীয় অবস্থায়
P_1 = 760 mm	P_2 = 790 mm
V_1 = 750 সেমি^{3}	V_2 = ?
T_1 = 273 K	T_2 = 273+30K = 303 K

আমরা জানি,

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\therefore V_2 = \frac{P_1V_1T_2}{P_2T_1}\ cm^3 = \frac{760\times750\times303}{790\times273} = 800.81\ cm^3$$

উত্তর : 30° সে. তাপমাত্রায় ও 790 mm চাপে গ্যাসটির আয়তন হবে 800.81 cm^3

উদাহরণ-২। বাষ্পীভবনের কারণে এক পাত্র থেকে পানি প্রতি ঘন্টায় 10 মিলিগ্রাম ওজন হারায়, প্রতি সেকেন্ডে ঐ প্রক্রিয়ায় জলীয় বাষ্পের কতগুলো অণু সৃষ্টি হবে?

সমাধান: ১ ঘন্টায় বাষ্পীভূত পানির পরিমাণ $= \frac{10}{1000}$ গ্রাম = 0.01 গ্রাম

$\therefore$ 1 সেকেন্ডে বাষ্পীভূত পানির পরিমাণ $= \frac{0.01}{60\times60} = 27\times10^{-7}$ গ্রাম

পানির আণবিক ভর = 18 এবং অ্যাভোগাড্রোর সংখ্যা, N = 6.023×10^{23}

$\therefore$ 18 গ্রাম পানিতে থাকে 6.023×10^{23} টি অণু

$\therefore$ 27×10^{-7} গ্রাম " " $\frac{6.023\times27\times10^{-7}}{18} = 9.03\times10^{16}$ টি অণু।

উত্তর: প্রতি সেকেন্ডে ঐ বাষ্পীয়ভবন প্রক্রিয়ায় 9.03×10^{16} টি জলীয় বাষ্পের অণু সৃষ্টি হবে।

১.২.১০ ডালটনের আংশিক চাপ সূত্র (Dalton's law of partial pressure)

1802 খৃষ্টাব্দে বিজ্ঞানী জন ডালটন স্থির তাপমাত্রায় গ্যাস মিশ্রণের উপাদানসমূহের নিজস্ব চাপের সাথে গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপের সম্পর্ক সংক্রান্ত একটি সূত্রের অবতারনা করেন। সূত্রটি নিম্নরূপ:

"একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোন গ্যাস মিশ্রণের (যার উপাদানসমূহ পরস্পর রাসায়নিক বিক্রিয়া করে না) **মোট চাপ ঐ তাপমাত্রায় তার উপাদান গ্যাসগুলোর আংশিক চাপ সমূহের যোগফলের সমান।**

একটি নির্দিষ্ট আয়তনের পাত্রে কোন গ্যাস মিশ্রণের কোন একটি উপাদান ঐ তাপমাত্রায় মিশ্রণের মোট আয়তন একাকী দখল করলে যে চাপ প্রয়োগ করবে, তাকে মিশ্রণে ঐ উপাদান গ্যাসের আংশিক চাপ বলা হয়।"

মনে করি, V আয়তনের একটি পাত্রে স্থির তাপমাত্রায় বিভিন্ন গ্যাসের নমুনা পৃথকভাবে রাখা হলে তাদের চাপ যথাক্রমে P_1 , P_2, P_3 ইত্যাদি হয়। একই তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসগুলি পাত্রটিতে একত্রে রাখলে যে গ্যাস মিশ্রণ পাওয়া যায়, তার চাপ ধরি P। সুতরাং ডালটনের সূত্র অনুযায়ী

$P = P_1 + P_2 + P_3 + ...$

উদাহরণ-১ঃ 60 সেমি চাপের 200 সেমি^{3} অক্সিজেন এবং 75 সেমি চাপের 500 সেমি^{3} নাইট্রোজেন 1.5 লিটার আয়তনের একটি পাত্রে মিশ্রিত করা হলো। মিশ্রণের মোট চাপ নির্ণয় করুন।

সমাধান : মনে করি অক্সিজেন ও নাইট্রোজেনের আংশিক চাপ যথাক্রমে P_1 ও P_2 এবং মিশ্রণের মোট চাপ P।

1.5 লিটার = 1500 সেমি^{3}

$\therefore$ অক্সিজেনের আংশিক চাপ $P_1 = \frac{60\times200}{1500} = 8.67$cm এবং

নাইট্রোজেনের আংশিক চাপ $P_2 = \frac{75\times500}{1500} = 25.00$ cm

অতএব মিশ্রণের মোট চাপ, $P = P_1 + P_2$

$=(8.67+25.00)$cm $= 33.67$cm

১.২.১১। গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র

কোন পাত্রের মধ্যে দুইটি গ্যাসকে পরস্পরের সংস্পর্শে আনা হলে দেখা যায়, গ্যাস দুইটি পাত্রের সকল জায়গায় সমানভাবে ও স্বত:স্ফূর্তভাবে ছড়িয়ে পড়ে বা পরিব্যাপ্ত হয়। গ্যাসের এই ধর্ম লক্ষ্য করে 1829 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী টমাস গ্রাহাম গ্যাস ব্যাপন সংক্রান্ত নিম্নরূপ একটি সূত্র প্রকাশ করেন।

"নির্দিষ্ট তাপমাত্রা ও চাপে একটি গ্যাসের ব্যাপন হার তার ঘনত্বের বর্গমূলের ব্যাস্তানুপাতিক।"

কোন গ্যাসের ঘনত্ব d- এবং ব্যাপন হার r হলে গাণিতিকভাবে গ্রাহামের সূত্রটি নিম্নরূপ হবে।

$r \propto \sqrt{\frac{1}{d}}$ ..... (1.12)

গ্যাস ব্যাপন সূত্রের উপর ভিত্তি করে বিভিন্ন গ্যাসের আণবিক ভর নির্ণয় করা যায়। ব্যাপন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে একই মৌলের বিভিন্ন আইসোটোপের পৃথকীকরণও সম্ভব।

দুইটি ভিন্ন গ্যাস (1 ও 2) একই অবস্থায় (তাপমাত্রা ও চাপে) ব্যাপন প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করলে তাদের তুলনামূলক ব্যাপন হার নিম্নরূপ হবে।

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}} \quad \text{.... .... (1.13)}$$

যদি গ্যাস দুইটির আণবিক ভর যথাক্রমে M_1 ও M_2 হয়, তবে সমীকরণ (1.13) নিম্নরূপ দাঁড়ায়।

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$ [কারণ, একটি গ্যাসের ঘনত্ব গ্যাসটির আণবিক ভরের সমানুপাতিক।]

সুতরাং, একটি জানা আণবিক ভর বিশিষ্ট গ্যাস ও একটি অজানা আণবিক ভর বিশিষ্ট গ্যাস একই তাপমাত্রা ও চাপে ব্যাপনে অংশ নিলে তাদের ব্যাপন হার পরিমাপ করে অজানা গ্যাসটির আণবিক ভর নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ-১। একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা ও চাপে CO_2 গ্যাসের ব্যাপন হার 25.58 m/s এবং একই অবস্থায় অন্য একটি গ্যাসের ব্যাপন হার 30 m/s হলে দ্বিতীয় গ্যাসটির আণবিক ভর নির্ণয় করুন।

সমাধান:

আমরা জানি যে,

$$\frac{r_1}{r_2} = \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore M_2 = \frac{M_1 r_1^2}{r_2^2}$$

$$= \frac{44\times(25.58)^2}{(30)^2}$$

$$= 32$$

এখানে,

$M_1 = CO_2$ এর আণবিক ভর = 44

M_2 = ২য় গ্যাসের আণবিক ভর = ?

$r_1 = CO_2$ -এর ব্যাপন হার

= 25.58 মিটার/সেকেন্ড (m/s)

r_2 = ২য় গ্যাসের ব্যাপন হার

= 30 মিটার/সেকেন্ড (m/s)

উত্তর: অন্য গ্যাসটির আণবিক ভর 32.0

১.২.১২. গে লুসাকের গ্যাস আয়তন সূত্র

গে. লুসাক গ্যাসীয় অবস্থায় অক্সিজেন ও হাইড্রোজেন গ্যাসের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়ে লক্ষ্য করেন যে, একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা ও চাপে 2 আয়তন হাইড্রোজেন গ্যাস সব সময় 1 আয়তন অক্সিজেন গ্যাসের সাথে বিক্রিয়া করে। পরে তিনি আরো অন্যান্য গ্যাসের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়ে প্রমাণ করেন যে, "বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী ও উৎপন্ন গ্যাসের আয়তন সব সময় একটি পূর্ণ সংখ্যার অনুপাতে হয়।" এটিই গে-লুসাকের গ্যাস আয়তন সূত্র নামে পরিচিত। সূত্রটি নিম্নলিখিত ভাবে বর্ণনা করা যেতে পারে।

স্থির তাপমাত্রা ও চাপে একাধিক গ্যাসীয় পদার্থের বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক গ্যাসমূহের আয়তনের মধ্যে সরল অনুপাত বজায় থাকে। বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন পদার্থও যদি গ্যাস হয় তাহলে উৎপন্ন গ্যাসের আয়তন ও বিক্রিয়ক গ্যাসের আয়তনের মধ্যেও সরল আনুপাতিক সম্পর্ক বজায় থাকবে।

১.২.১৩। হাইড্রোকার্বনের আণবিক সংকেত নির্ণয়
(Determination of molecular formula of hydrocarbons)

অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প ও গে-লুসাকের গ্যাস আয়তন সূত্রের সাহায্যে হাইড্রোকার্বনের আণবিক সংকেত নির্ণয় করা যায়।

এজন্য একটি নির্দিষ্ট আয়তনের গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বনকে গ্যাস মাপন যন্ত্রে (eudiometer) নিয়ে অতিরিক্ত অক্সিজেনের উপস্থিতিতে দহন করে দহন প্রক্রিয়ায় প্রাপ্ত গ্যাসসমূহকে শীতল করার পর ঘন ক্ষারীয় দ্রবণ দ্বারা প্রশমিত করা হয়। প্রশমনের পর আয়তন নির্ণয় করা হয়।

প্রাপ্ত আয়তন থেকে হাইড্রোকার্বন গ্যাসটির সংকেত নির্ণয় করা হয়।

উদাহরণ-১: $20cm^3$ আয়তনের একটি গ্যাসীয় হাইড্রোকার্বন এবং $66cm^3$ আয়তনের অক্সিজেনের মিশ্রণকে দহন করে শীতল করা হলো। শীতল গ্যাস মিশ্রণের আয়তন $56cm^3$। এতে KOH-এর গাঢ় দ্রবণ যোগ করার পর আয়তন $16cm^3$ এ হ্রাস পায়। এই $16cm^3$ অতিরিক্ত (অর্থাৎ দহন বিক্রিয়া শেষে অব্যবহৃত) অক্সিজেনের আয়তন হলে হাইড্রোকার্বনটির আণবিক সংকেত নির্ণয় করুন।

সমাধানঃ

হাইড্রোকার্বন (g) + $O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(l)$

বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী হাইড্রোকার্বনের আয়তন = $20\ cm^3$

অক্সিজেনের মূল আয়তন = $66\ cm^3$

অপরিবর্তিত অক্সিজেনের আয়তন = $16\ cm^3$

বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী অক্সিজেনের আয়তন = $66\text{-}16 = 50\ cm^3$

প্রদত্ত তথ্য অনুসারে উৎপন্ন CO_2 এবং অপরিবর্তিত O_2 গ্যাসের মোট আয়তন = $56\ cm^3$

$\therefore$ KOH দ্রবণ CO_2 এর যে আয়তন শোষণ করেছে তা হচ্ছে = $(56\text{-}16)\ cm^3 = 40\ cm^3$

এবার হাইড্রোকার্বনটির আণবিক সংকেত $C_x H_y$ হলে জারণ বিক্রিয়াটি হবে--

$C_x H_y + (x + \frac{y}{4}) O_2 = xCO_2 + \frac{y}{2}\ H_2O$ .... (1.14)

বা, 1.0 মোল হাইড্রোকার্বন + $\left(x + \frac{y}{4}\right)$ মোল $O_2 = x$ মোল $CO_2 + \frac{y}{2}$ মোল H_2O

সুতরাং একই তাপমাত্রায় অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প অনুযায়ী

1.0 আয়তন $C_x H_y + (x + \frac{y}{4})$ আয়তন $O_2 = x$ আয়তন CO_2 + সামান্য পরিমাণ পানি .... (1.15)

প্রশ্নানুসারে,

$20cm^3\ C_x H_y + 50cm^3\ O_2 = 40\ cm^3\ CO_2$

$1cm^3\ C_x H_y + 2.5cm^3\ O_2 = 2cm^3\ CO_2$

1 আয়তন $C_x H_y$ + 2.5 আয়তন O_2 = 2 আয়তন CO_2 .... (1.16)

সমীকরণ (1.14) ও সমীকরণ (1.16) তুলনা করে আমার পাই, $x + \frac{y}{4} = 2.5$ এবং $x = 2$

$\therefore y = 2$

সুতরাং হাইড্রোকার্বনটির সংকেত C_2H_2 হবে।

সারসংক্ষেপ

গ্যাসের চাপ, তাপমাত্রা, আয়তন প্রভৃতি রাশির মধ্যে সম্পর্ক গ্যাস সূত্র থেকে পাওয়া যায়।

- চার্লসের সূত্র থেকে তাপমাত্রা প্রকাশের কেলভিন স্কেল বের করা হয়েছে।
- গ্যাসের সমন্বিত সমীকরণ ব্যবহার করে বিভিন্ন গাণিতিক সমস্যার সমাধান করা যায়।
- ডাল্টনের আংশিক সূত্র থেকে মিশ্রিত গ্যাসের চাপ সম্পর্কে জানা যায়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন

সঠিক উত্তরের পাশে টিক চিহ্ন ($\surd$) দিন।

১। বয়েলের সূত্র যে সম্পর্ক নির্দেশ করে তা হল
(ক) আয়তন ও তাপমাত্রার সম্পর্ক (খ) চাপ ও অণুসংখ্যার সম্পর্ক
(গ) আয়তন ও মোল সংখ্যার সম্পর্ক (ঘ) চাপ ও আয়তনের মধ্যে সম্পর্ক

২। যে সূত্র থেকে তাপমাত্রার কেলভিন স্কেল পাওয়া যায় তা হলো।
(ক) বয়েলের সূত্র (খ) চার্লসের সূত্র
(গ) চাপের সূত্র (ঘ) অ্যাভোগাড্রো সূত্র

রচনামূলক প্রশ্ন

১। বয়েলের সূত্র আলোচনা করুন?
২। চার্লসের সূত্র থেকে কেলভিন তাপমাত্রা কিভাবে সংজ্ঞায়িত করা যায়?
৩। অ্যাভোগাড্রোর সূত্রটি বর্ণনাসহ ব্যাখ্যা করুন।
৪। সমন্বিত গ্যাস সূত্র প্রতিপাদন করুন।
৫। ডাল্টনের আংশিক চাপ সূত্রটি বিবৃত ও ব্যাখ্যা করুন।
৬। গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র অবলম্বনে ব্যাপন হারের সাথে আণবিক ভরের সম্পর্ক স্থাপন করুন।
৭। উদাহরণের সাহায্যে হাইড্রোকার্বনের আণবিক সংকেত নির্ণয় পদ্ধতি ব্যাখ্যা করুন।

গাণিতিক সমস্যা

১। স্থির তাপমাত্রায় 5×10^5 Nm^{-2} চাপে কোন গ্যাসের আয়তন $10dm^3$ হলে, 10×10^5 Nm^{-2} চাপে ঐ গ্যাসের আয়তন কত হবে?

২। 15^o সে. তাপমাত্রায় ও 100 kP_a চাপে একটি গ্যাসের আয়তন 20 dm^3 হলে 50^o সে. তাপমাত্রায় 105.26 KPa চাপে গ্যাসটির আয়তন কত হবে?

৩। 27^o সে. তাপমাত্রায় একটি গ্যাসের আয়তন 200 সেমি^{3} হলে কত তাপমাত্রায় এর আয়তন 8 গুণ হবে?

৪। 27^o সে. তাপমাত্রায় 95 kP_a চাপে 250 cm^3 নাইট্রোজেন ও 40 kP_a চাপে 380 cm^3 অক্সিজেন এক লিটার আয়তনের একটি ফ্লাক্সে নেয়া হলো। মিশ্রিত গ্যাসের চাপ কত হবে?

৫। 50 cm^3 আয়তনের একটি অজানা গ্যাসের, একটি সূক্ষ্ম ছিদ্রের ভিতর দিয়ে ব্যাপিত হতে সময় লাগে 146 সেকেন্ড। একই আয়তনের কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের একই অবস্থায় ব্যাপিত হতে সময় লাগে 115 সেকেন্ড। অজানা গ্যাসটির আণবিক ভর কত?

পাঠ ৩ গ্যাসের গতিতত্ত্ব

ভূমিকা

প্রতিটি পদার্থ অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণার সমন্বয়ে গঠিত। গ্যাসীয় পদার্থের এই ক্ষুদ্র কণাগুলি অনবরত দিকবিদিক ছুটাছুটি করে। দিক্‌বিদিক ছুটাছুটির কারণে কণাগুলি যেমন নিজেদের মধ্যে সংঘর্ষে লিপ্ত হয়, তেমনি ধারকপাত্রের দেয়ালে আঘাত করে।

ফলে অনবরত তাদের গতিপথ ও গতিবেগ পরিবর্তিত হয়। গ্যাসীয় পদার্থের সংগাঠনিক কণাসমূহের গতিবেগের উপর ভিত্তি করে একটি তত্ত্ব আবিস্কৃত হয়েছে। একে গ্যাসের গতি তত্ত্ব বলে। এ পাঠে গ্যাসের গতি তত্ত্বের বিভিন্ন দিক (যেমন- স্বীকার্য প্রতিপাদন, ত্রুটি ইত্যাদি বিষয় নিয়ে আলোচনা করা হবে।

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে

- গ্যাসের গতিতত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্যগুলো জানা যাবে।
- গ্যাসের গতি তত্ত্বের সূত্র প্রতিপাদন করা যাবে।
- আদর্শ গ্যাস ও বাস্তব গ্যাসের মধ্যে পার্থক্য বোঝা যাবে।
- গ্যাস তরলীকরণের মূলনীতি জানা যাবে।
- তরল পদার্থের বাষ্পীয় চাপ সম্পর্কে ধারণা হবে।

১.৩.১: গ্যাসের গতি তত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্যসমূহ

(১) প্রত্যেক গ্যাসই সমান ভরের কতকগুলো অতিশয় ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণার সমন্বয়ে গঠিত। কণাগুলোকে গ্যাস অণু বলা হয়।

(২) একটি নির্দিষ্ট গ্যাসের সকল অণু একই রকমের কিন্তু ভিন্ন গ্যাসের অণুগুলো ভিন্ন রকমের।

(৩) অণুগুলোর মোট আয়তন গ্যাস আধারের আয়তনের তুলনায় অতি নগন্য।

(৪) গ্যাস অণুগুলো স্থিতিস্থাপক । অর্থাৎ দুটি অণুর মধ্যে সংঘর্ষের ফলে তাদের মোট গতিশক্তির কোন পরিবর্তন হয় না।

(৫) গ্যাসের অণুগুলো সর্বদা বিক্ষিপ্ত বেগে ছুটাছুটি করে এবং পরস্পরের সাথে এবং আধারের দেয়ালের সাথে ধাক্কা খায়।

(৬) অণুগুলোর বেগ শূন্য হতে অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত।

(৭) অণুগুলোর পরস্পরের প্রতি বা আধারের দেয়ালের প্রতি কোন আকর্ষণ বা বিকর্ষণ নেই।

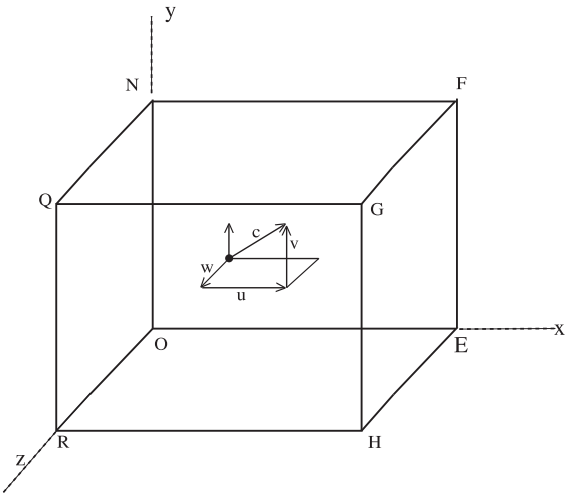
(৮) দুটো পরপর ধাক্কার মধ্যবর্তী সময়ে অণুগুলো সমবেগে সরলরেখায় গমন করে।

(৯) গ্যাসের অণুগুলো পরস্পরের সাথে অবিরাম ধাক্কা খেলেও সাম্যাবস্থায় প্রতি একক আয়তনে গ্যাসের অণুসংখ্যা সমান থাকে।

(১০) পরস্পর দু'টি ধাক্কার মধ্যবর্তী দৈর্ঘ্যের গড়মানকে গড় মুক্ত পথ বলে।

(১১) গ্যাসের গতিশক্তি পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

১.৩.২: গ্যাসের গতিতত্ত্বের সমীকরণ



চিত্র ১.৪: পাত্রে গ্যাসের চলাফেরা

মনে করি, একটি ঘনকাকৃতির পাত্রের আয়তন V এবং এর দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও উচ্চতা l। এই পাত্রে একটি গ্যাসের n সংখ্যক অণু নেওয়া হলো। প্রতিটি অণুর ভর সমান। অণুগুলি পাত্রটির ভিতর সবদিকে বিক্ষিপ্তভাবে যে কোন বেগে ছুটাছুটি করতে পারে। যে কোন একটি অণুর বেগ **c** এর **u, v, w** এই তিন অংশকে যথাক্রমে x, y ও z অক্ষের সমান্তরাল দিকে বিভাজন করা যায়। এই বেগ সমূহের মধ্যে সম্পর্ক হচ্ছে :

$$c^2 = u^2 + v^2 + w^2 \quad \text{..... (1.16)}$$

অণুটি EFGH দেয়ালের সাথে স্থিতিস্থাপক ধাক্কা খাওয়ার পর বিপরীত দিকে -u বেগে ONQR দেয়ালের দিকে ধাবিত হয়।

অণুটির ভর m হলে ধাক্কার পূর্বে ভরবেগ = mu

এবং ধাক্কার পর অণুটির ভরবেগ = -mu

∴ x অক্ষের দিকে ভরবেগের পরিবর্তন = mu-(-mu) = 2mu

x অক্ষের দিকে একটি দেয়ালে ধাক্কার $\frac{l}{u}$ সময় পর বিপরীত দেয়ালে ধাক্কা খাবে।

∴ ভরবেগের পরিবর্তনের হার = $\frac{2mu}{\frac{l}{u}} = \frac{2mu^2}{l}$

একইভাবে বেগের v ও w অংশের জন্য অণুটির ভরবেগের পরিবর্তনের হার যথাক্রমে $\frac{2mv^2}{l}$ ও $\frac{2mw^2}{l}$ ।

∴ অণুটির ছয়টি দেয়ালে ধাক্কা খাবার ফলে ভরবেগের মোট পরিবর্তনের হার

$$= \frac{2m}{l}(u^2 + v^2 + w^2) = \frac{2mc^2}{l}$$

= একটি অণুর ছয় দেয়ালে ধাক্কার মোট বল।

এখন n সংখ্যক অণুর প্রত্যেকেই যদি পাত্রটির ছয় দেয়ালে ধাক্কা খায় তা হলে এদের ধাক্কার মোট বল হবে

$$= \frac{2m}{l}(c_1^2 + c_2^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + c_n^2)$$

এখানে $c_1, c_2, \ldots\ldots\ldots\ldots c_n$ অণুগুলোর পৃথক পৃথক বেগ।

অতএব বর্গ বেগের গড়, হলো –

$$\bar{c}^2 = \frac{c_1^2 + c_2^2 + ... + c_n^2}{n}$$

সুতরাং n সংখ্যক অণুর ছয়টি দেয়ালের উপর ধাক্কা জনিত প্রযুক্ত মোট বল = $\frac{2nm\bar{c}^2}{l}$

পাত্রটির ছয় দেয়ালের ক্ষেত্রফল $6l^2$ ।

গ্যাস অণুগুলোর পাত্রের দেয়ালের উপর প্রদত্ত চাপ, p হলে -

$$p = \frac{\mathbf{2}mn\bar{c}^2}{l} \times \frac{1}{6l^2}$$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{mn\bar{c}^2}{V} \ (\therefore l^3 = V) \ .... (1.16)$$

এটি গ্যাসের গতি তত্ত্বের একটি সমীকরণ। সমীকরণটি গ্যাসের গতি তত্ত্বের ভিত্তিতে উপপাদিত চাপের রাশিমালা। একটি পাত্রস্থিত গ্যাসের চাপের সঙ্গে পাত্রের আয়তন, গ্যাসের অণুর সংখ্যা, অণুগুলোর ভর ও অণুসমূহের বিভিন্ন বেগের সম্পর্ক, সমীকরণে দেখানো হয়েছে।

এখানে mn = সবগুলো অণুর ভর = গ্যাসের ভর

$\therefore \frac{mn}{V}$ = গ্যাসের ঘনত্ব = ρ

$$\therefore P = \frac{1}{3} \rho \bar{c}^2 \ ... ... (1.17)$$

১.৩.৩: আদর্শ গ্যাস ও বাস্তব গ্যাস (Ideal and real gases)

যে সব গ্যাস তাপমাত্রা ও চাপের সকল অবস্থায় বয়েলের সূত্র, চার্লসের সূত্র ও অ্যাভোগাড্রো সূত্র যথাযথভাবে মেনে চলে তাদেরকে আদর্শ গ্যাস বলা হয়। অর্থাৎ আদর্শ গ্যাসের আচরণ PV=nRT সমীকরণ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। বাস্তবে কোন গ্যাসই পুরোপুরি আদর্শভাবে আচরণ করে না। যেমন O_2, H_2, N_2, CO_2 ইত্যাদি বাস্তব গ্যাসগুলি উচ্চ চাপে ও নিম্ন তাপমাত্রায় গ্যাসসূত্রসমূহ থেকে বিচ্যুতি প্রদর্শন করে। যথাযথভাবে মেনে চলে না; তবে অতি নিম্ন চাপে ও উচ্চ তাপমাত্রায় বাস্তব গ্যাসগুলো মোটমুটিভাবে আদর্শ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে।

১.৩.৪ : বাস্তব গ্যাসের বিচ্যুতির ব্যাখ্যা (Causes of deviation of real gases)

গ্যাসের গতিতত্ত্বের স্বীকার্যগুলোর দুটি স্বীকার্য বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য নয়; যথা-

(১) গ্যাসের গতি তত্ত্বে ধরা হয়েছে গ্যাসাধারের আয়তনের তুলনায় গ্যাস অণুসমূহের আয়তন অতি নগন্য। কিন্তু বাস্তব ক্ষেত্রে তা ঠিক নয়। অনেক গ্যাসকেই নিম্নতাপমাত্রায় ও উচ্চচাপে তরল করা যায়। তরল পদার্থের আয়তন আছে। এ আয়তন নগন্য নয়। চাপ প্রয়োগে তরল পদার্থ তেমন সংকুচিত হয়না। এসব হতে বুঝা যায় যে, গ্যাসের অণুসমূহের একটি আয়তন আছে, যা একেবারে নগন্য নয়।

(২) গ্যাসের গতিতত্বে ধরা হয়েছে, গ্যাসের অণুসমূহের মধ্যে আকর্ষণ নেই। এটিও ঠিক নয়। কারণ গ্যাস অণুসমূহের মধ্যে আকর্ষণ আছে বলেই তাপমাত্রা কমিয়ে বা শীতলীকরণ করে গ্যাসের তরলীকরণ সম্ভব হয়। জুল-থমসন প্রভাব হতেও গ্যাস অণু সমূহের মধ্যে আকর্ষণ আছে বলে প্রমাণিত হয়।

১.৩.৫: গ্যাস তরলীকরণ (Liquifaction of gases)

গ্যাস অণুসমূহের মধ্যে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল আছে বলে প্রায় সকল গ্যাসকেই উচ্চ চাপ ও নিম্ন তাপমাত্রায় তরলীকরণ করা সম্ভব। 1861 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী অ্যানড্রুজ CO_2এর উপর পরীক্ষা করে দেখান যে, যে একটি গ্যাসকে শুধুমাত্র চাপ প্রয়োগ দ্বারা তরলীকরণ করতে হলে–

(i) গ্যাসটিকে সংকট তাপমাত্রার নিচে শীতল করতে হবে। যে তাপমাত্রার উপরে একটি গ্যাসে যত উচ্চ চাপই প্রয়োগ করা হোক না কেন গ্যাসটি তরলে পরিণত হবে না তাকে ঐ গ্যাসটির সংকট বা সন্ধী তাপমাত্রা বলে।

(ii) জুল-খমসন প্রভাবে গ্যাসকে প্রয়োজন অণুপাতে প্রভাবিত করতে হবে। জুল-থমসন প্রভাব অনুসারে রুদ্ধ তাপীয় অবস্থায় কোন গ্যাসকে উচ্চচাপ থেকে স্বতস্পূর্তভাবে একটি সরু পথে প্রবল বেগে নিম্নচাপে সম্প্রসারিত করা হলে গ্যাসের তাপমাত্রার যে পার্থক্য (সাধারণত: হ্রাস) ঘটে, তাকে জুল থমসন প্রভাব বলে। কয়েকটি ব্যতিক্রমি গ্যাস (যেমন- হাইড্রোজেন, হিলিয়াম ইত্যাদি) ছাড়া প্রায় সকল গ্যাসের ক্ষেত্রে সাধারণ তাপমাত্রা ও চাপে এ প্রক্রিয়ায় উল্লেখযোগ্য পরিমাণে তাপমাত্রা হ্রাস পায়। রুদ্ধতাপীয় অবস্থায় গ্যাসের সম্প্রসারণজনিত কাজে গ্যাসের অন্তর্নিহিত শক্তি খরচ হয় বলে তাপমাত্রা হ্রাস পায়। এই মূলনীতি প্রয়োগ করে বাণিজ্যিক ভিত্তিতে বাতাসসহ বিভিন্ন গ্যাস তরলীকরণ করা হয়।

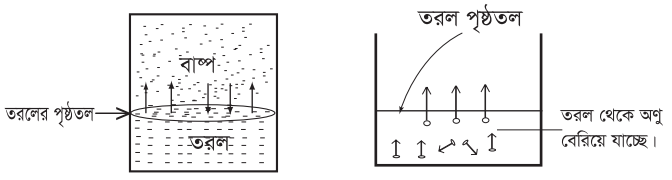
(iii) পৌনঃপুনিক শীতলীকরণ (লিন্ডে পদ্ধতি) ঃ সাধারণ তাপমাত্রা ও চাপে হাইড্রোজেন ও হিলিয়ামসহ বেশ কিছু গ্যাসের উপরে জুল-থমসন প্রভাবের বিপরীত ফল লক্ষ্য করা যায়। অর্থাৎ গ্যাসের তাপমাত্রা হ্রাস না পেয়ে বৃদ্ধি পায়। তবে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার নিচে শীতল করার পর জুল-থমসন প্রভাব প্রয়োগ করা হলে এসকল গ্যাসের ক্ষেত্রেও তাপমাত্রা হ্রাস পায়। যেমন – H_2 ও He এর ক্ষেত্রে যথাক্রমে -80°C ও -240°C নিচে জুল-থমসন প্রভাব পাওয়া যায়।

যে তাপমাত্রার নিচে কোন গ্যাসের উপর জুল-থমসন প্রভাবের ধনাত্নক ফল পাওয়া যায়, তাকে ঐ গ্যাসের উৎক্রম তাপমাত্রা বলে। -80°C এবং -240°C যথাক্রমে H_2 ও He গ্যাসের উৎক্রম তাপমাত্রা।

জার্মান বিজ্ঞানী লিন্ডে ও বৃটিশ বিজ্ঞানী থমসন জুল-থমসন প্রভাব প্রয়োগের পূর্বে অন্য শীতল গ্যাসের সংস্পর্শে এনে বাতাসের (CO_2 ও জলীয় বাষ্পযুক্ত) তাপমাত্রা হ্রাস করে জুল থমসন প্রভাব প্রয়োগ করেন। পূন:পূন: এ পদ্ধতির প্রয়োগ করে বাতাসকে বাণিজ্যিকভাবে তরলে পরিণত করেন।

১.৩.৬: গতিতত্ত্ব অনুযায়ী তরল পদার্থের বাষ্প চাপ এবং তাপমাত্রার সাথে বাষ্প চাপের পরিবর্তন:

গ্যাসের অণুসমূহের ন্যায় তরল পদার্থের অণুসমূহ সব সময় গতিশীল। তরল পদার্থের পৃষ্ঠতল উন্মুক্ত, ফলে তরল পদার্থের কিছু অণু এ পৃষ্ঠতল থেকে মুক্ত হয়ে এর উপরিভাগে বাষ্প হিসেবে অবস্থান করে। এ বাষ্পীভূত অণুগুলির একটি অংশ সব সময় তরল পদার্থের পৃষ্ঠতলের অণুগুলির সংস্পর্শে আসে এবং পুনরায় তরলে পরিণত হয়। তরল পদার্থের উপরিভাগে গ্যাসীয় অণুর সংখ্যা যত বাড়বে, তরল মাধ্যমে এ সব অণুগুলির ফিরে আসার হারও তত বাড়ে।



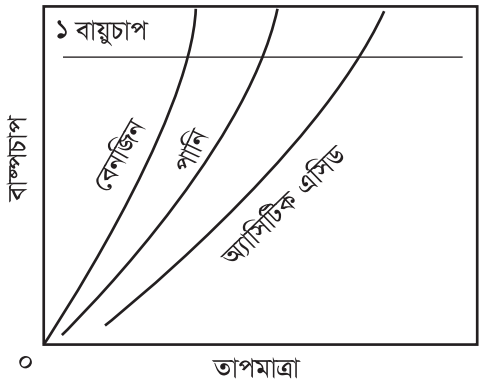
চিত্র ১.৫: গতি তত্ত্ব অনুযায়ী বাষ্পচাপের ব্যাখ্যা

সাম্যাবস্থায় (যখন প্রতি একক সময়ে তরল মাধ্যম থেকে পরিত্যাগকারী অণুর সংখ্যা সে সময়ে তরল মাধ্যমে ফিরে আসা অণুর সংখ্যার সমান হয়) তরল পদার্থের পৃষ্ঠতলে বাষ্পীয় অণুর গ্যাস যে চাপ সৃষ্টি করে তাকে তরল পদার্থের বাষ্প চাপ বলে।

অতএব কোন নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় তরল পদার্থের একক আয়তনের পৃষ্ঠতলের উপর যতবেশী পরিমাণ অণু বিরাজ করে ঐ তাপমাত্রায় তরলটির বাষ্পচাপ তত বেশী হয়। তাই একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় অধিক উদ্ধায়ী তরলের বাষ্পচাপ, কম উদ্ধায়ী তরলের চেয়ে বেশী। এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা হলে সকল তরলের বাষ্পচাপ বৃদ্ধি পায় (১.৬ নং চিত্র দেখুন)

এছাড়া তাপমাত্রা বাড়ালে তরলের অণুসমূহের গতিশক্তি বাড়ে। অণুসমূহের গতিশক্তি যতবাড়ে তরল মাধ্যমের আন্ত:আণবিক বলকে অতিক্রম করে তাদের গ্যাসীয় মাধ্যমে চলে যাওয়ার প্রবণতা তত বাড়ে। সুতরাং, তাপমাত্রা বাড়ার সাথে সাথে তরল পদার্থের একক আয়তনে বাষ্পের পরিমাণও বাড়ে। অর্থাৎ বাষ্প চাপ বাড়ে। বাষ্পচাপের এই বৃদ্ধিকে লেখ চিত্রের সাহায্যে দেখান যেতে পারে (১.৬ নং চিত্র দ্রষ্টব্য)।

তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে তরলের বাষ্পচাপ ক্রমশ বৃদ্ধি পেয়ে যখন তরলের বাষ্পচাপ বায়ুচাপ তথা তরলের উপরিস্থিত বাহ্যিক চাপের সমান হয় তখন তরলের মধ্য হতে বাষ্প বুদ বুদ আকারে বের হতে থাকে। যে তাপমাত্রায় একটি তরল পদার্থের বাষ্পচাপ তার উপরিস্থিত বাহ্যিক চাপের সমান হয়, তাকে তরল পদার্থটির স্ফুটনাংক বলে। এই বাহ্যিক চাপ বাড়ালে তরল পদার্থের স্ফুটনাংক বেড়ে যায় এবং তা কমালে স্ফুটনাংকও কমে যায়।



চিত্র ১.৬: তরলের বাষ্পচাপ বনাম তাপমাত্রা লেখচিত্র।

যদি কোন তরল পদার্থ তার স্ফুটনাংকের কাছাকাছি তাপমাত্রায় বিয়োজিত হয়ে যায়, তবে তাকে নিম্নচাপে নিম্ন তাপমাত্রায় পাতিত করা হয়। একে ভাকুয়াম পাতন বলে।

সারসংক্ষেপ

- গ্যাসের গতিতত্ত্ব ব্যবহার করে বিভিন্ন সূত্র- যেমন বয়েলের সূত্র, চার্লসের সূত্র, অ্যাভোগাড্রোর প্রকল্প প্রভৃতির পরীক্ষা করা যায়।
- গতিতত্ত্ব থেকে অণুসমূহের বর্গমূল গড় বর্গবেগ (root mean square speed) নির্ণয় করা যায়।
- বাস্তব গ্যাস ও আদর্শ গ্যাস সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যায়।
- গ্যাস তরলীকরণ সম্পর্কে সম্যক ধারণা পাওয়া যায়।
- তরল পদার্থের স্ফুটনাংক এবং বাষ্পচাপ সমন্ধে ধারণা পাওয়া যায়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন

সঠিক উত্তরের পাশে টিক চিহ্ন (√) দিন।

১. গ্যাসের গতিতত্ত্বের স্বীকার্য অণুযায়ী গ্যাসের অণুগুলোর মধ্যে কোন ধরনের বল ক্রিয়া করে?

(ক) শুধু আকর্ষণ (খ) শুধু বিকর্ষণ

(গ) আকর্ষণ-বিকর্ষণ দুটোই (ঘ) আকর্ষণ-বিকর্ষণ কোনটিই নয়।

২. গ্যাসের গতি তত্ত্বের সমীকরণ কোনটি-

(ক) $PV = RT$ (খ) $PV = nRT$

(গ) $PV = \frac{1}{3}\ mn\bar{c}^2$ (ঘ) $PV = \frac{m}{M}\ RT$

৩। তরলের বাষ্পচাপ ব্যাখ্যার জন্য ব্যবহৃত হয়-

(ক) বয়েলের সূত্র (খ) চার্লসের সূত্র

(গ) অ্যাভোগাড্রোর প্রকল্প (ঘ) গতিতত্ত্ব

রচনামূলক প্রশ্ন

১। গ্যাসের গতি তত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্যগুলো উল্লেখ করুন।

২। সংক্ষেপে গ্যাসের গতি তত্ত্বের সমীকরণটি প্রতিপাদন করুন।

৩। আদর্শ গ্যাস ও বাস্তব গ্যাস সম্পর্কের ধারণা দিন।

৪। আদর্শ আচরণ থেকে বাস্তব গ্যাসের বিচ্যুতির কারণ ব্যাখ্যা করুন।

৫। গ্যাস তরলীকরণের মূলনীতি বর্ণনা করুন।

৬। তরল পদার্থের বাষ্প চাপ বলতে কি বুঝায়?

৭। তাপমাত্রা পরিবর্তনের সাথে তরল পদার্থের বাষ্প চাপ কিভাবে পরিবর্তিত হয় তা ব্যাখ্যা করুন ।

পাঠ ৪ কঠিন পদার্থের প্রকৃতি (Nature of solids)

ভূমিকা

তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের সাংগঠনিক কণাগুলি দিক্‌বিদিক ছুটাছুটি করলেও কঠিন পদার্থের কণাগুলো নির্দিষ্ট স্থানে অবস্থান করে এবং নিজেদের মধ্যে এক প্রকার বন্ধন শক্তির দ্বারা আবদ্ধ থাকে। কঠিন পদার্থের সাংগঠনিক কণাগুলির আকারের উপর নির্ভর করে এদের সজ্জার প্রকৃতি ও ধরণ ভিন্ন হয়ে থাকে। ফলে বিভিন্ন বস্তুর বিভিন্ন ধরণের কেলাস কাঠামো তৈরী হয়। এ পাঠে বিভিন্ন ধরণের কেলাস কাঠামোর গঠন প্রকৃতি এবং কেলাস কাঠামোর একক কোষ সম্পর্কে প্রাথমিক ধারণা দেয়া হবে।

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে

- কঠিন পদার্থের প্রকৃতি সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যাবে।
- কেলাসের গঠন সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যাবে।
- একক কোষ সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যাবে।
- সোডিয়াম ক্লোরাইড ও সিজিয়াম ক্লোরাইড-এর কেলাস ল্যাটিস সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যাবে।
- ধাতব কেলাস সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যাবে।

১.৪.১: কঠিন পদার্থের প্রকৃতি

কঠিন পদার্থ অসংখ্য ঘন সন্নিবিষ্ট কনার সমন্বয়ে গঠিত। এ সকল কণা অণু, পরমাণু বা আয়ন হতে পারে। অধিকাংশ কঠিন পদার্থই কেলাসাকার। এর অর্থ এই যে কঠিন পদার্থের এ সকল কণা নিয়মিত ত্রিমাত্রিক গঠন কাঠামোতে সুশৃঙ্খলভাবে সজ্জিত থাকে। সুতরাং, **যে সকল কঠিন পদার্থের কণাসমূহ একটি নির্দিষ্ট ক্রমে পরস্পর সজ্জিত হয়ে একটি নিয়মিত ত্রিমাত্রিক জ্যামিতিক আকৃতি গঠন করে তাদেরকে কেলাস বলা হয়।** অনেক কেলাস, পদার্থের দ্রবণ থেকে একটি সুনির্দিষ্ট জ্যামিতিক আকার নিয়ে গড়ে উঠে। যেমন খাদ্য লবণ (NaCl) ঘনক আকৃতির। আবার ফিটকিরি বা পটাশ অ্যালাম অষ্টতলকীয়। অধিকাংশ ক্ষেত্রে NaCl-কে উচ্চ তাপে গলিয়ে গলিত তরল NaCl থেকে NaCl কেলাস প্রস্তুত করা হয়। অনেক কঠিন পদার্থের কণা কোন সুনির্দিষ্ট নিয়মে বিন্যস্ত থাকে না। এ ধরণের পদার্থকে অদানাদার কঠিন পদার্থ বলা হয়। এতে পরমাণু বিন্যাসে কোন নিয়ম বা শৃংখলা থাকে না। অধিকাংশ পলিমারই অদানাদার। পলিমারের অণুগুলি বড় হওয়ার কারণে এরা ঘন সন্নিবিষ্ট হয়ে কোন নিয়মিত ত্রি-মাত্রিক গঠন কাঠামো তৈরি করতে পারে না।

১.৪.২: কেলাস ল্যাটিস

একটি বস্তুর সাংঘঠনিক কণাসমূহের (বা মূল ইউনিট সমূহের) অর্থাৎ পরমাণু, অণু বা আয়নের ত্রি-মাত্রিক সুশৃংখল বিন্যাসই হচ্ছে কেলাস। এই সুশৃংখল গঠনকে বর্ণনার সুবিধার জন্য কেলাস ল্যাটিসের ধারণার প্রয়োজন। চিত্রে গোলক গুলিকে সাজিয়ে যে দ্বিমাত্রিক প্যাটার্ন তৈরী করা হয়েছে উহাই দ্বিমাত্রিক কেলাস। ল্যাটিস গোলক গুলি একই পরমাণু, অণু, ক্যাটায়ন বা অ্যানায়নের স্থান দখল করে একটি সুনির্দিষ্ট প্যাটার্ন সৃষ্টি করেছে। এ গোলকগুলির মধ্যবিন্দু হচ্ছে ল্যাটিস বিন্দু। আর ল্যাটিস বিন্দুগুলির জ্যামিতিক বিন্যাস হচ্ছে কেলাস ল্যাটিস। ১.৭(ক) এবং ১.৭(খ) নং চিত্রে যথাক্রমে কেলাসের দ্বিমাত্রিক ল্যাটিস এবং ইউনিট সেল দেখানো হলো।