প্যারালাল TEXT

(For HSC & Pre-Admission)

পদার্থবিজ্ঞান প্রথম পত্র

অধ্যায়-১০ : আদর্শ গ্যাস ও গ্যাসের গতিতত্ত্ব

সার্বিক ব্যবস্থাপনায়
উদ্ভাস ফিজিক্স টিম

প্রচ্ছদ
মোঃ রাকিব হোসেন

অক্ষর বিন্যাস
হৃদয়, জায়েদ ও শাওন

অনুপ্রেরণা ও সহযোগিতায়
মাহমুদুল হাসান সোহাগ
মুহাম্মদ আবুল হাসান লিটন

কৃতজ্ঞতা
উদ্ভাস-উন্মেষ-উত্তরণ
শিক্ষা পরিবারের সকল সদস্য

প্রকাশনায়
উদ্ভাস একাডেমিক এন্ড এডমিশন কেয়ার

প্রকাশকাল
প্রথম প্রকাশ: জানুয়ারি, ২০২৩ ইং
সর্বশেষ সংস্করণ: অক্টোবর, ২০২৩ ইং

অনলাইন পরিবেশক
rokomari.com

Fixed Price
১৫০/-
(একশত পঞ্চাশ টাকা মাত্র)

কপিরাইট © উদ্ভাস

সমস্ত অধিকার সংরক্ষিত। এই বইয়ের কোনো অংশই প্রতিষ্ঠানের লিখিত অনুমতি ব্যতীত ফটোকপি, রেকর্ডিং, বৈদ্যুতিক বা যান্ত্রিক পদ্ধতিসহ কোনো উপায়ে পুনরুৎপাদন বা প্রতিলিপি, বিতরণ বা প্রেরণ করা যাবে না। এই শর্ত লঙ্ঘিত হলে উপযুক্ত আইনি ব্যবস্থা গ্রহণ করা হবে।

প্রিয় শিক্ষার্থী বন্ধুরা,

তোমরা শিক্ষা জীবনের একটি গুরুত্বপূর্ণ ধাপে পদার্পণ করেছো। মাধ্যমিকের পড়াশুনা থেকে উচ্চ মাধ্যমিকের পড়াশুনার ধাঁচ ভিন্ন এবং ব্যাপক। মাধ্যমিক পর্যন্ত যেখানে 'বোর্ড বই'-ই ছিল সব, সেখানে উচ্চ-মাধ্যমিকে বিষয়ভিত্তিক নির্দিষ্ট কোন বই নেই। কিন্তু বাজারে বোর্ড অনুমোদিত বিভিন্ন লেখকের অনেক বই পাওয়া যায়। একারণেই শিক্ষার্থীরা পাঠ্যবই বাছাইয়ের ক্ষেত্রে দ্বিধায় ভোগে। এছাড়া, মাধ্যমিকের তুলনায় উচ্চ-মাধ্যমিকে সিলেবাস বিশাল হওয়া সত্ত্বেও প্রস্তুতির জন্য খুবই কম সময় পাওয়া যায়। জীবনের অন্যতম গুরুত্বপূর্ণ এই ধাপের শুরুতেই দ্বিধা-দ্বন্দ্ব থেকে মুক্তি দিতে আমাদের এই Parallel Text। উচ্চ মাধ্যমিক পর্যায়ে শিক্ষার্থীদের হতাশার একটি মুখ্য কারণ থাকে পাঠ্যবইয়ের তাত্ত্বিক আলোচনা বুঝতে না পারা। এজন্য শিক্ষার্থীদের মাঝে বুঝে বুঝে পড়ার প্রতি অনীহা তৈরি হয়। তারই ফলস্বরূপ শিক্ষার্থীরা HSC ও বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তি পরীক্ষায় ভালো ফলাফল করতে ব্যর্থ হয়।

তোমাদের লেখাপড়াকে আরও সহজ ও প্রাণবন্ত করে তোলার বিষয়টি মাথায় রেখে আমাদের Parallel Text বইগুলো সাজানো হয়েছে সহজ-সাবলীল ভাষায়, অসংখ্য বাস্তব উদাহরণ, গল্প, কার্টুন আর চিত্র দিয়ে। প্রতিটি টপিক নিয়ে আলোচনার পরেই রয়েছে গাণিতিক উদাহরণ; যা টপিকের বাস্তব প্রয়োগ এবং গাণিতিক সমস্যা সমাধান সম্পর্কে ধারণা দেয়ার পাশাপাশি পরবর্তী টপিকগুলো বুঝতেও সাহায্য করবে। তোমাদের বোঝার সুবিধার জন্য গুরুত্বপূর্ণ সংজ্ঞা, বৈশিষ্ট্য, পার্থক্য ইত্যাদি নির্দেশকের মাধ্যমে আলাদা করা হয়েছে। এছাড়াও যেসব বিষয়ে সাধারণত ভুল হয়, সেসব বিষয় 'সতর্কতা' এর মাধ্যমে দেখানো হয়েছে।

তবে শুধু বুঝতে পারাটাই কিন্তু যথেষ্ট নয়, তার পাশাপাশি দরকার পর্যাপ্ত অনুশীলন। আর এই বিষয়টি আরও সহজ করতে প্রতিটি অধ্যায়ের কয়েকটি টপিক শেষে যুক্ত করা হয়েছে 'টপিকভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান'। যার মধ্যে রয়েছে বিগত বোর্ড পরীক্ষার প্রশ্নের পাশাপাশি বুয়েট, রুয়েট, কুয়েট, চুয়েট, মেডিকেল ও ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়সহ বিভিন্ন বিশ্ববিদ্যালয়ের ভর্তি পরীক্ষার প্রশ্ন ও সমাধান। এভাবে ধাপে ধাপে অনুশীলন করার ফলে তোমরা বোর্ড পরীক্ষার শতভাগ প্রস্তুতির পাশাপাশি ভর্তি পরীক্ষার প্রস্তুতিও নিতে পারবে এখন থেকেই। এছাড়াও অধ্যায় শেষে রয়েছে 'গুরুত্বপূর্ণ প্র্যাক্টিস প্রবলেম' ও 'গাণিতিক সমস্যাবলি' যা অনুশীলনের মাধ্যমে তোমাদের প্রস্তুতি পূর্ণাঙ্গ হবে।

আশা করছি, আমাদের এই Parallel Text একই সাথে উচ্চ মাধ্যমিকে তোমাদের বেসিক গঠনে সহায়তা করে HSC পরীক্ষায় A+ নিশ্চিত করবে এবং ভবিষ্যতে বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তি যুদ্ধের জন্য প্রস্তুত রাখবে।

তোমাদের সার্বিক সাফল্য ও উজ্জ্বল ভবিষ্যত কামনায়-

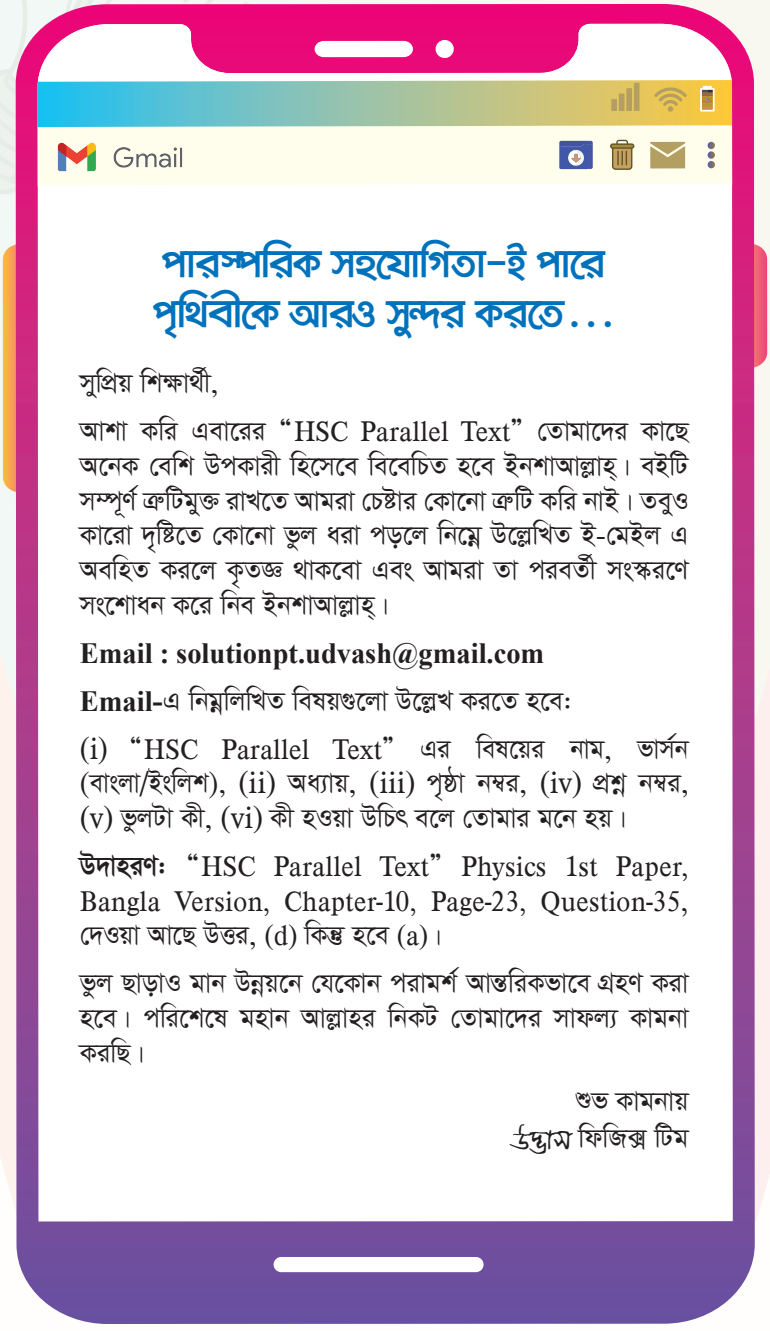
উদ্ভাস ফিজিক্স টিম

সূচিপত্র

পদার্থবিজ্ঞান প্রথম পত্র

অধ্যায়-১০ : আদর্শ গ্যাস ও গ্যাসের গতিতত্ত্ব

ক্র.নং	বিষয়বস্তু	পৃষ্ঠা
০১	গ্যাস	০১
০২	গ্যাসের সূত্রাবলি	০৫
০৩	আদর্শ গ্যাস	১৪
০৪	বাস্তব গ্যাস	১৯
০৫	টপিক ভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান	২০
০৬	গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্ব	২৭
০৭	স্বাধীনতার মাত্রা	৩৯
০৮	শক্তির সমবিভাজন নীতি	৪২
০৯	টপিক ভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান	৪৪
১০	জলীয়বাষ্প ও বায়ুচাপ	৫১
১১	শিশিরাঙ্ক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতা	৫৮
১২	আর্দ্রতামাপক যন্ত্র ও আর্দ্রতা নির্ণয়	৬৩
১৩	টপিক ভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান	৬৬
১৪	একত্রে সব গুরুত্বপূর্ণ সূত্র	৭৫
১৫	গুরুত্বপূর্ণ প্র্যাক্টিস প্রবলেম	৭৭
১৬	গাণিতিক সমস্যাবলি	৮৩



পারস্পরিক সহযোগিতা-ই পারে পৃথিবীকে আরও সুন্দর করতে...

সুপ্রিয় শিক্ষার্থী,

আশা করি এবারের "HSC Parallel Text" তোমাদের কাছে অনেক বেশি উপকারী হিসেবে বিবেচিত হবে ইনশাআল্লাহ্। বইটি সম্পূর্ণ ত্রুটিমুক্ত রাখতে আমরা চেষ্টার কোনো ত্রুটি করি নাই। তবুও কারো দৃষ্টিতে কোনো ভুল ধরা পড়লে নিম্নে উল্লেখিত ই-মেইল এ অবহিত করলে কৃতজ্ঞ থাকবো এবং আমরা তা পরবর্তী সংস্করণে সংশোধন করে নিব ইনশাআল্লাহ্।

Email : solutionpt.udvash@gmail.com

Email-এ নিম্নলিখিত বিষয়গুলো উল্লেখ করতে হবে:

(i) "HSC Parallel Text" এর বিষয়ের নাম, ভার্সন (বাংলা/ইংলিশ), (ii) অধ্যায়, (iii) পৃষ্ঠা নম্বর, (iv) প্রশ্ন নম্বর, (v) ভুলটা কী, (vi) কী হওয়া উচিৎ বলে তোমার মনে হয়।

উদাহরণ: "HSC Parallel Text" Physics 1st Paper, Bangla Version, Chapter-10, Page-23, Question-35, দেওয়া আছে উত্তর, (d) কিন্তু হবে (a)।

ভুল ছাড়াও মান উন্নয়নে যেকোন পরামর্শ আন্তরিকভাবে গ্রহণ করা হবে। পরিশেষে মহান আল্লাহর নিকট তোমাদের সাফল্য কামনা করছি।

শুভ কামনায়
উদ্ভাস ফিজিক্স টিম

অধ্যায় ১০

আদর্শ গ্যাস ও গ্যাসের গতিতত্ত্ব

একটা ধাঁধা, কিংবা দৃষ্টি ভঙ্গির প্রশ্ন আমরা সবাই-ই কমবেশি শুনেছি, "গ্লাস অর্ধেক খালি নাকি অর্ধেক ভরা।" সাধারণত মনে করা হয়, যারা বলে গ্লাস অর্ধেক ফাঁকা, তারা হতাশা প্রবণ মানুষ, আর যারা বলে গ্লাস অর্ধেক পূর্ণ, তারা আশাবাদী মানুষ। এ তো গেল দার্শনিক কথা।

কিন্তু বিজ্ঞানের ভাষায় আসলে গ্লাসটির অবস্থা কী? আমরা এটা অনেক ছোটকাল থেকেই জেনে এসেছি, আমরা যদি একটি ফাঁকা বোতল নেই, তাহলে সেটি আসলে ফাঁকা নয়। সেটি বাতাস দিয়ে পূর্ণ। ঠিক তেমনিভাবে, গ্লাসের উপরের যে অর্ধেক অংশতে পানি নেই, সেটি আসলে ফাঁকা নয়, সেটিও বাতাস দিয়ে পূর্ণ। সুতরাং বলা যায়, the glass is always full! এই সমস্যাটার এমন একটা চমকপ্রদ সমাধান দিয়েছে বাতাস অথবা গ্যাস! এই গ্যাসের বিভিন্ন ধর্ম, আচার-আচরণ নিয়েই আমরা এই অধ্যায়ে আলোচনা করবো।

গ্যাস

পদার্থের মৌলিক ভৌত অবস্থাগুলোর মধ্যে অন্যতম একটি হল গ্যাস। তাহলে বাকিগুলো কী? বাকি ভৌত অবস্থার মধ্যে কঠিন, তরল ও প্লাজমা অবস্থা (যা অতি উচ্চ তাপমাত্রায় তৈরি হয়) রয়েছে। আগের অধ্যায়গুলোতে আমরা কঠিন বস্তুর বিভিন্ন আচরণ, তরল বস্তুর আচরণ সম্পর্কে জেনেছি। এই অধ্যায়ে আমরা গ্যাসীয় পদার্থের বিভিন্ন বৈশিষ্ট্য নিয়ে জানবো। এখন প্রথমেই আমাদের মনে প্রশ্ন আসবে যে গ্যাস বলতে কী বুঝায় বা এর বৈশিষ্ট্যগুলোই বা কেমন? এ প্রশ্নের উত্তরে যাওয়ার আগে চলো জেনে নেওয়া যাক প্রাচীনকালে মানুষ গ্যাস বলতে কী বুঝত? প্রাচীনকাল থেকেই মানুষের মাঝে 'গ্যাস' নিয়ে জানার কৌতূহল জন্মে। তারা সে সময় গ্যাস বলতে মূলত বাতাসকে বুঝত এবং গ্যাসের কয়েকটি মৌলিক ধর্ম সম্পর্কেও অবগত ছিল। যেমন: গ্যাসের চাপ দেওয়ার ক্ষমতা আছে এবং গ্যাস নির্দিষ্ট জায়গা দখল করে থাকে, যাকে আমরা আয়তন বলি। তবে সে সময়ে গ্যাসের বৈশিষ্ট্যগুলো ও এদের মধ্যে সম্পর্কগুলোকে সংজ্ঞায়িত করার মতো কোনো তথ্য ছিল না। গ্যাসীয় পদার্থকে খালি চোখে দেখতে না পারার কারণে গ্যাস কীভাবে কী দিয়ে গঠিত, সে সম্পর্কেও প্রাচীনকালের মানুষের ধারণা কম ছিল। পরবর্তীতে বিভিন্ন বিজ্ঞানীর অবদানে গ্যাসের গঠনগত ও আচরণগত বৈশিষ্ট্য সম্পর্কে নতুন অনেক কিছু জানা যায়। তোমার মনে প্রশ্ন আসতেই পারে, বিজ্ঞানীরা ঠিক কীভাবে গ্যাসের বিভিন্ন বৈশিষ্ট্য যেমন: চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক বের করেছে। এই বিষয়গুলো সম্পর্কে আমরা এই অধ্যায়ে ধীরে ধীরে আলোচনা করবো।

'গ্যাস' শব্দটি তোমাকে কেউ বললে কোন দৃশ্যটি তোমার চোখের সামনে ভেসে উঠে? আমাদের সবার চোখের সামনেই কিন্তু সরাসরি কোনো গ্যাসের ছবি আসবে না। আসবে গ্যাসভর্তি কোনো বেলুন বা সিলিন্ডারের ছবি। তাহলে গ্যাসের বৈশিষ্ট্যগুলো বুঝবো কীভাবে? এর জন্য আমরা আমাদের চারপাশে ঘটা গ্যাস সংক্রান্ত কিছু ঘটনা নিয়ে পর্যবেক্ষণ করতে পারি। যেমন: একটা বেলুন ফুলানো হলে সঙ্গে সঙ্গেই এটা চুপসে যায় না কেন? কেন একটা বেলুন ফুলানোর পর বেঁধে ছেড়ে দিলে বাতাসে ভেসে বেড়ায়? ডুবুরীরা সুইমিং গিয়ার ব্যবহার করে সমুদ্রের তলদেশে যাত্রা করে কেন? তুমি যখন বডি স্প্রে বা পারফিউম ব্যবহার কর তখন সেই সুগন্ধ কীভাবে ছড়িয়ে পড়ে? এই সবগুলো প্রশ্নের উত্তর একটা বিষয়ের সাথে যুক্ত যা হল গ্যাসের ভৌত ধর্ম। গ্যাসের ভৌত ধর্ম বলতে বুঝায়, গ্যাসের যে বৈশিষ্ট্যগুলো আমরা খালি চোখে দেখতে পারি বা অনুভব করতে পারি। এই ধর্মগুলো সব ধরনের গ্যাসে একইরকম থাকে। কিন্তু কেন? এই ভৌত ধর্ম নিয়েই এ অধ্যায়ে আমাদের মূল আলোচনা শুরু হবে।

যেহেতু গ্যাসকে খালি চোখে সরাসরি পর্যবেক্ষণ করা যায় না তাই গ্যাসকে ব্যাখ্যার জন্য গ্যাসের চারটি ভৌত বৈশিষ্ট্য যা হল: চাপ, আয়তন, গ্যাসের পরিমাণ (যাকে রসায়নবিদরা 'মোল' বলে) ও তাপমাত্রা এর ব্যবহার হয়। গ্যাসের নির্দিষ্ট কোন আকার-আয়তন নেই। এটি খুব সহজে বললে, আমরা যদি এক গ্লাস পানি মেপে একটি বোতলে নেই, তাহলে পানি পরিমাণ অনুযায়ী বোতলের জায়গা দখল করবে। কঠিন পদার্থের বেলায়ও এদের একটি নির্দিষ্ট আয়তন থাকে।

কিন্তু একটা বেলুনকে যখন ফুলানো হয় তখন আমরা যেদিকেই ফুঁ দেই না কেন এটি চারদিকে সমানভাবে ফোলে। অর্থাৎ, আমরা যে নিঃশ্বাসের সময় নির্গত গ্যাস প্রবেশ করিয়েছি তা পুরো বেলুনের আয়তন দখল করেছে।

আমরা যদি একটি বেলুনকে ফুলিয়ে মুখ বন্ধ করে দেই তাহলে দেখা যাবে যে বেলুনটি সহসাই চুপসে যায় না। এর কারণ কী?

যেকোনো পদার্থের মত গ্যাসীয় পদার্থও বিচ্ছিন্ন অণু বা পরমাণু দিয়ে তৈরি। এই অণু বা পরমাণুসমূহ সবসময় গতিশীল এবং একে অপরের সাথে এবং পাত্রের দেয়ালে সংঘর্ষ ঘটাচ্ছে। এই অনবরত ছোটাছুটির কারণেই গ্যাসীয় পদার্থ যতক্ষণ বাধা না পাচ্ছে ততক্ষণ ছড়াচ্ছে এবং পাত্রের গায়ে ধাক্কা দিচ্ছে (**Fig 10.01**)। ফলে পাত্রের ওপর চাপ প্রযুক্ত হচ্ছে।

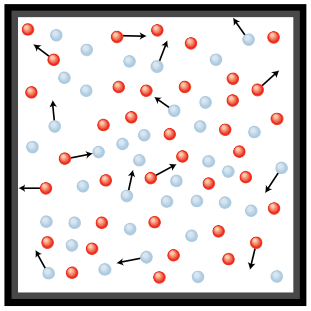


Fig 10.01: অণু-পরমাণুসমূহের একে অপরের সাথে এবং পাত্রের দেয়ালে সংঘর্ষ

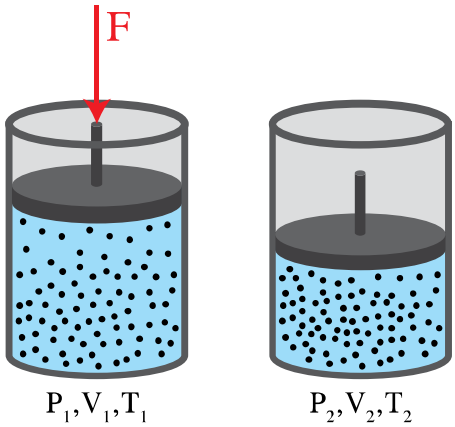
এভাবে গ্যাসের দুটো গুরুত্বপূর্ণ বৈশিষ্ট্য আয়তন ও চাপকে গ্যাসের আণবিক আচরণ থেকে ব্যাখ্যা করা যায়। অর্থাৎ, কোনো গ্যাসের নির্দিষ্ট আকার-আয়তন নেই। যে পাত্রে রাখা হয় সে পাত্রের আয়তন দখল করে এবং পাত্রের গায়ে চাপ প্রয়োগ করে।

চাপ (P) ও আয়তন (V), পাশাপাশি আরও দুটি গুরুত্বপূর্ণ চলরাশি হলো গ্যাসের তাপমাত্রা (T) এবং গ্যাসের পরিমাণ (n)। এই রাশিগুলো দ্বারা গ্যাসের অবস্থা নির্ধারিত। গ্যাসের ভৌত পরিবর্তনে এই রাশিগুলো পরিবর্তিত হয়। যেমন: আমরা যদি একটি পিস্টনে আবদ্ধ গ্যাসকে চাপ প্রয়োগ করি তাহলে দেখা যায় চাপ বৃদ্ধির সাথে সাথে আয়তনও পরিবর্তন হয়। আমরা যদি এ চাপের বৃদ্ধি ধীরে ধীরে ঘটাই তাহলে গ্যাসের তাপমাত্রার পরিবর্তন ঘটে না। কিন্তু চাপের পরিবর্তন যদি দ্রুত ঘটানো হয় তাহলে তাপমাত্রার পরিবর্তন ঘটে।

এভাবে দেখা যায় গ্যাসকে চাপ প্রয়োগের আগে চলরাশির যে মান দ্বারা সংজ্ঞায়িত করা যায়, চাপ প্রয়োগের পরে চলরাশির মান পরিবর্তিত হয়। এভাবে গ্যাসের গ্যাসীয় অবস্থা চলরাশির মানের পরিবর্তন দ্বারা পরিবর্তিত হয়।

(Fig 10.02) তে গ্যাসের গ্যাসীয় অবস্থা সম্পর্কে ধারণা দেওয়া হয়েছে। লক্ষ করলে দেখবে গ্যাসটিকে সংকুচিত করায় গ্যাসের চলরাশিগুলো পরিবর্তিত হয়েছে।

এভাবে কোনো গ্যাসের গ্যাসীয় অবস্থা নির্দিষ্ট করার জন্য গ্যাসটির চলরাশির মান জানা প্রয়োজন। কোনো একটা মূহুর্তে গ্যাসের সবগুলো চলক কী অবস্থায় আছে, সেই সামগ্রিক অবস্থাই হলো গ্যাসের অবস্থা।



এক্ষেত্রে, $P_2 > P_1$
$V_2 < V_1$
$T_2 > T_1$

Fig 10.02

যেহেতু আমরা গ্যাসের অবস্থা বুঝে গিয়েছি, এখন চলো গ্যাসের অবস্থা যে চলরাশি গুলো দ্বারা নির্ধারিত হয় তা সম্পর্কে জেনে নেওয়া যাক।

গ্যাসের চাপ

কোন একটা বস্তুর দ্বারা প্রযুক্ত চাপ বলতে আমরা বুঝি সেই বস্তুটা কোনো একটা পৃষ্ঠের উপর একক ক্ষেত্রফলে লম্বভাবে কতটুকু বল প্রয়োগ করছে। গ্যাসের ক্ষেত্রে গ্যাসের অবিরাম ছোটাছুটির ফলে গ্যাসের অণু-পরমাণু দ্বারা গ্যাসের পাত্রের গায়ে বল প্রয়োগ হয়। গ্যাস দ্বারা পাত্রের একক ক্ষেত্রফলে প্রযুক্ত বলকে গ্যাস দ্বারা প্রযুক্ত চাপ বলে। গ্যাসের জন্য,

$$\text{চাপ} = \frac{\text{গ্যাস দ্বারা পাত্রের ওপর লম্বভাবে প্রযুক্ত বল}}{\text{পাত্রের ক্ষেত্রফল}}$$

গ্যাসীয় পদার্থ যেহেতু সম্পূর্ণ পাত্র দখল করে সেক্ষেত্রে চাপ বলতে আমরা বুঝবো গ্যাসটা পুরো পাত্রের পৃষ্ঠ জুড়ে কী পরিমাণ বল প্রয়োগ করে। তুমি কিন্তু তোমার মনের অজান্তেই গ্যাস দ্বারা প্রয়োগকৃত চাপ অনুভব করছো। তা হল আমাদের পৃথিবীকে ঘিরে থাকা বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত গ্যাস দ্বারা প্রযুক্ত চাপ। পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল বিভিন্ন গ্যাসের সংমিশ্রণে তৈরি। এই গ্যাসের উপর অভিকর্ষ বল কাজ করায় পৃথিবীর উপরিতলে গ্যাস চাপ প্রয়োগ করে। চাপ পরিমাপ করার যন্ত্রের নাম ব্যারোমিটার।

চাপের একক: চাপ যেহেতু একটা ভৌত রাশি (Physical Quantity) তাই এর একটা একক আছে। SI পদ্ধতিতে চাপের একক Nm^{-2} অথবা, Pa। আমরা আরও দুইটা এককে চাপকে প্রকাশ করবো।

বিজ্ঞানীরা বায়ুমণ্ডলের চাপের একটা আদর্শ মান ধরে নিয়েছেন, তা হলো সমুদ্রপৃষ্ঠে 25°C তাপমাত্রায় বায়ুমণ্ডলে থাকা গ্যাস যতটুকু চাপ প্রয়োগ করে। একটা পারদ ব্যারোমিটার সমুদ্রপৃষ্ঠে 76 cm বা 760 mm উচ্চতার স্তম্ভ তৈরি করে। এইটুকু উচ্চতার পারদ এর চাপকে আমরা প্রমাণ চাপ বলি, এই মানটাকে 760 mm Hg হিসেবেও লেখা হয়।

চাপের সাথে তরলের গভীরতার একটা সম্পর্ক আছে যা হল,
$P = h\rho g$ ... ... (i)

এখানে,
P = তরলের দ্বারা প্রযুক্ত চাপ
h = তরলের গভীরতা
ρ = তরলের ঘনত্ব
g = অভিকর্ষজ ত্বরণ

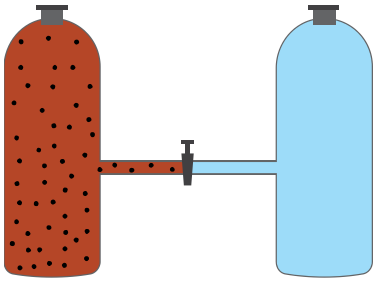
এই (i) নং সমীকরণটায়, $h = 76\ cm = 0.76\ m$ (পারদ স্তম্ভের উচ্চতা), $\rho = 13604\ kgm^{-3}$ (পারদের ঘনত্ব) এবং $g = 9.8\ ms^{-2}$ বসিয়ে SI এককে প্রমাণ চাপের মান পাই, P = 101325 Pa। এই মানকেই 1 atm হিসেবে চিহ্নিত করা হয়।
সুতরাং আমরা তিনটা চাপের এককের মধ্যে একটা সম্পর্ক দেখতে পাচ্ছি, 1 atm = 101325 Pa = 760 mmHg।
চাপের আরও একটি প্রচলিত একক হল bar। $1\ bar = 10^5 Pa$।

গ্যাসের আয়তন

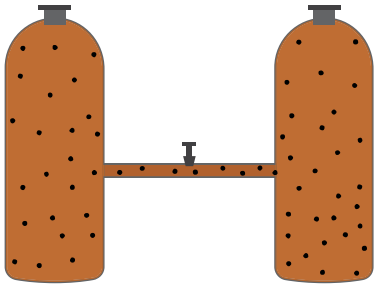
একটি গ্যাসের গ্যাসীয় অবস্থা নির্ণয়ের জন্য অন্যতম গুরুত্বপূর্ণ চলরাশি হল গ্যাসের আয়তন। আয়তন বলতে আমরা মূলত বুঝি কোন ত্রিমাত্রিক স্থানাঙ্ক ব্যবস্থায় একটি বস্তু মোট যে জায়গা দখল করে। গ্যাসের ক্ষেত্রে, আয়তন বলতে আমরা যা বুঝি তা হল যতটুকু জায়গা জুড়ে গ্যাসের অণু-পরমাণু ছোটাছুটি করে। গ্যাসের জন্য এই বিচরণক্ষেত্র গ্যাসকে যে পাত্রে রাখা হয়, তার ওপর নির্ভর করে। আমরা যদি একটি বাস্তব উদাহরণের সাহায্যে বিষয়টিকে ব্যাখ্যা করি তাহলে বিষয়টি আরও ভালোভাবে বোঝা যাবে।

ধরা যাক, দুইটি গ্যাসের জার পাইপ দ্বারা যুক্ত। পাইপের মাঝখানে একটি স্টপকক যুক্ত। স্টপককটি প্রাথমিকভাবে বন্ধ অবস্থায় আছে। একটি জারকে যদি এখন বাদামি-লাল NO_2 গ্যাস দ্বারা পূর্ণ করা হয়, তাহলে দেখা যাবে ঐ জারের রং বাদামিতে পরিণত হয়েছে। অর্থাৎ, NO_2 গ্যাস ঐ জারের সমস্ত আয়তন দখল করেছে **Fig 10.03 (a)**।

এখন যদি স্টপককটি খুলে দেয়া হয়, তাহলে কিছুক্ষণ পর দেখা যাবে অন্য জারটিও বাদামিতে পরিণত হয়েছে এবং দুটি জারেই বাদামি রঙ আগের থেকে কিছুটা হালকা। এ থেকে বুঝা যায় সমগ্র NO_2 গ্যাস এখন দুইটি গ্যাস জারের সম্পূর্ণ আয়তন দখল করেছে। এক্ষেত্রে গ্যাস দুইটি জারেই বিচরণ করছে **Fig 10.03 (b)**। তাই NO_2 গ্যাসের আয়তন হবে জার দুইটি ও পাইপের আয়তনের সমষ্টির সমান।



a) স্টপকক খুলে দেওয়ার আগে



b) স্টপকক খুলে দেওয়ার পর

Fig 10.03

আয়তনের একক: আয়তন পরিমাপের SI ইউনিট হচ্ছে ঘনমিটার (m^3)। এছাড়া লিটার (L) এককেও আয়তন প্রকাশ করা হয়।
যেখানে এককগুলোর মধ্যবর্তী সম্পর্ক এরকম: $1L = 1\ dm^3 = 10^{-3}\ m^3$
গ্যাসের 'মোলার আয়তন' নামক একটি রাশি রয়েছে যা নির্দেশ করে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ও চাপে 1 মোল কতটুকু আয়তন দখল করে।
যেমন: 0°C তাপমাত্রা ও 101325 Pa চাপে 1 মোল পরিমাণ গ্যাস 22.4 L জায়গা দখল করে।
অর্থাৎ, মোলার আয়তন, $V_m = 22.4\ L$ [0°C তাপমাত্রা ও 101325 Pa চাপে]

গ্যাসের তাপমাত্রা

'তাপমাত্রা' শব্দটি শুনলে আমাদের চোখের সামনে যে দৃশ্য ভেসে উঠে তা হল কোনো বস্তু কতটা গরম বা ঠাণ্ডা। কি তাই না? তাপমাত্রা হচ্ছে মূলত তাপের প্রবাহের দিক নির্ণয়ের জন্য প্রয়োজনীয় একটা রাশি। তোমার রুমে এক টুকরো বরফ রাখলে তা গলে যায়। তার কারণ হল বরফের তুলনায় তোমার রুমের তাপমাত্রা বেশি হওয়ায় বরফ তাপ শোষণ করে গলে যায় এবং পানিতে রূপান্তরিত হয়। এই পানিকেই যদি তুমি একটি পাত্রে নিয়ে চুলায় রেখে তাপ দিতে থাকো তবে একসময় তুমি লক্ষ করবে যে পানির অণুগুলো জলীয়বাষ্পে রূপান্তরিত হয়ে পাত্র ত্যাগ করে ভেসে উপরে উঠে যাচ্ছে। এর মানে হল তুমি পর্যায়ক্রমে তাপমাত্রা বৃদ্ধির মাধ্যমে বরফকে পানি এবং পানিকে জলীয়বাষ্পে রুপান্তর করলে। আণবিকভাবে বিষয়টি দেখলে, বরফ থাকা অবস্থায় পানির অণুগুলো খুব দৃঢ়ভাবে একে অপরের সাথে আকর্ষণ বল দ্বারা আবদ্ধ হয়ে একটি ত্রিমাত্রিক দৃঢ় গঠন তৈরি করেছিল। বরফের তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে এর মধ্যস্থ অণুগুলোর ছোটাছুটি ধীরে ধীরে বাড়তে থাকে এবং আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বলের মান কমতে থাকে।

পানি থেকে জলীয়বাষ্পে রূপান্তর হওয়ার মধ্য দিয়ে অণুগুলোর মধ্যবর্তী আকর্ষণ এতটাই হ্রাস পায় যে এরা একে অপরের প্রভাবমুক্ত হয়ে নির্দিষ্ট গতিতে অবিরাম বিভিন্ন দিকে ছোটাছুটি করতে থাকে। জলীয়বাষ্পের তাপমাত্রা যদি আরও বৃদ্ধি করা হয়। তবে এই ছোটাছুটির গতি আরও বৃদ্ধি পায়। এই ছোটাছুটির গতি বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি গ্যাসের অণুগুলো তাপ শক্তি হিসেবে গ্রহণ করে এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে ছোটাছুটিও বৃদ্ধি পায়। বিপরীতভাবে কোনো গ্যাসকে ঠাণ্ডা করা হলে এর ছোটাছুটির মান হ্রাস পায়। এটা খুব স্পষ্টভাবে বোঝা যাচ্ছে যে, গ্যাসের অবস্থা এর তাপমাত্রা দিয়ে প্রভাবিত হয়। তাই গ্যাসের অবস্থা পুরোপুরি নির্ধারনের জন্য তাপমাত্রা পরিমাপ করাটা জরুরি। আমরা নবম-দশম শ্রেণিতে তাপমাত্রা পরিমাপের জন্য প্রচলিত বিভিন্ন স্কেল সম্বন্ধে ধারণা পেয়েছি। গ্যাসের তাপমাত্রা প্রকাশে বেশি প্রচলিত দুটি স্কেল হল সেলসিয়াস ও কেলভিন। যাদের মধ্যবর্তী সম্পর্ক হল:

$$T = \theta + 273$$

T = কেলভিন স্কেলে তাপমাত্রা
θ = সেলসিয়াস স্কেলে তাপমাত্রা

'T' কে পরমস্কেলের তাপমাত্রাও (Absolute temperature) বলা হয়। এর কারণ হল এই কেলভিন স্কেলের নিম্ন স্থির বিন্দু হল 0 K বা $-273.16°C$ যাকে পরমশূন্য তাপমাত্রা বলে। এই পরমশূন্য তাপমাত্রার বিষয়ে বিস্তারিত একটু পরেই জানতে পারবে।

গ্যাসের পরিমাণ

আমরা ইতোমধ্যেই গ্যাসের তিনটি চলরাশি নিয়ে আলোচনা করেছি। যে চলরাশিটি বাকি ছিল তা হল গ্যাসের পরিমাণ। যেকোনো গ্যাসের গ্যাসীয় অবস্থা নির্ধারণের জন্য আমাদের গ্যাসের পরিমাণটা জানা খুবই প্রয়োজনীয়। গ্যাসের পরিমাণকে ভর হিসেবে S.I এককে প্রকাশ করলে kg এককে প্রকাশ করা হয়। তবে এই ভরের মাধ্যমে গ্যাসের পরিমাণ প্রকাশের ফলে আমাদের কিছু সমস্যা তৈরি হয়। ভরে প্রকাশ করলে বিভিন্ন গ্যাসের একই ভরের মধ্যে তুলনা করা যায় না। কারণ একই ভরের গ্যাস নিলেও একেক গ্যাসের মধ্যে অণু-পরমাণুর সংখ্যা একেকরকম হবে। একটি হালকা গ্যাস হাইড্রোজেনের 1kg ভর নিলে এতে অণু-পরমাণুর সংখ্যা, ক্লোরিন গ্যাসের 1kg তে থাকা অণু-পরমাণুর সংখ্যার থেকে বেশি হবে। আর গ্যাসের অবস্থা মূলত হচ্ছে, অণু-পরমাণুগুলোরই অবস্থা।

এজন্য আমরা 'মোল' নামক নতুন একটি ধারণার সাথে পরিচয় হই। গ্যাসের মোলও পরিমাণ প্রকাশ করে। তবে এটি খুবই বড় একটি সংখ্যা প্রকাশ করে। এক মোল বলতে 6.022×10^{23} পরিমাণ অণু বা পরমাণুকে বোঝায়। এই পরিমাণটা কণা, আয়নের বা অন্যান্য পরিমাপযোগ্য কিছুরও হতে পারে। গ্যাসের ক্ষেত্রে আমরা এক মোল বলতে 6.022×10^{23} টি গ্যাসের অণু বা পরমাণুর সংখ্যা প্রকাশ করি। এই সংখ্যাকে বিজ্ঞানী অ্যামাদিও অ্যাভোগ্যাড্রোর নামানুসারে অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা বলা হয়।

$1 \text{ mol} = 6.022 \times 10^{23}$ molecule [যেখানে, $N_A = 6.022 \times 10^{23}$] গ্যাসীয় চলরাশি হিসেবে গ্যাসের পরিমাণকে মোল হিসেবে 'n' দ্বারা প্রকাশ করা হয় যা উপস্থিত গ্যাসীয় অণু-পরমাণুর সংখ্যা (N) ও অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা (N_A) এর অনুপাত।

অর্থাৎ, $n = \frac{N}{N_A}$

আবার উপস্থিত গ্যাসীয় অণু-পরমাণুর সংখ্যা গ্যাসের আণবিক বা পারমাণবিক ভরের সমানুপাতিক হওয়ায় গ্যাসের পরিমাণকে এভাবেও প্রকাশ করা যায় যে, $n = \frac{W}{M}$

W = পরিমাপকৃত গ্যাসের ভর (g)

M = গ্যাসের আণবিক ভর ($g\ mol^{-1}$)

গ্যাসের সূত্রাবলি

আমরা ইতোমধ্যেই গ্যাসের চারটি চলরাশির সাথে পরিচিত হয়েছি। এই চলরাশিগুলো হলো চাপ, আয়তন, তাপমাত্রা ও মোলসংখ্যা। এই চারটি চলারাশির মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয়ের জন্য যেকোনো দুইটি রাশিকে স্থির রাখা হয় এবং অপর দুইটি রাশির মধ্যে একটিকে পরিবর্তন করলে অপরটি কীভাবে পরিবর্তিত হয়, তা পরীক্ষা করে এদের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় করা হয়। এই সম্পর্কগুলোকে গ্যাস সূত্র বলা হয়। অতঃপর সবগুলো সূত্রকে সমন্বয় করে চারটি রাশির মধ্যে সরাসরি সম্পর্ক নির্ণয় করা হয়, যা আদর্শ গ্যাস সমীকরণ নামে পরিচিত। এই সম্পর্ক বের করার জন্য বহুকাল আগে থেকে বিজ্ঞানীরা চেষ্টা করে আসছিলেন এবং তাদের অক্লান্ত পরিশ্রমের ফলস্বরুপ আমরা গ্যাসের ম্যাক্রোস্কপিক বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যাকারী সূত্রগুলো পেয়েছি, যা গ্যাস সম্পর্কে মানুষের ধারণাকে সমৃদ্ধ করেছে। এখন আমরা একে একে গ্যাসগুলো সম্পর্কে জেনে নিব।

চাপ ও আয়তনের মধ্যে সম্পর্ক: বয়েলের সূত্র

গ্যাসীয় পদার্থের ভৌত বৈশিষ্ট্যের উপর প্রথম বৈজ্ঞানিক সমীকরণ আসে 1628 সালে রবার্ট বয়েলের হাত ধরে। বিজ্ঞানী রবার্ট বয়েল একটি নমুনা গ্যাসের চাপ ও আয়তনের মধ্যবর্তী সম্পর্ক পর্যবেক্ষণ করেন। পরীক্ষাটি করার সময় একটি বিষয় নিশ্চিত রাখা হয়েছে যে, গ্যাসের পরিমাণ ও তাপমাত্রা যেন ধ্রুবক থাকে। কেননা, তাপমাত্রা ও গ্যাসের পরিমাণ পরিবর্তনশীল হলে গ্যাসের শুধুমাত্র চাপ ও আয়তনের মধ্যবর্তী স্বাধীন সম্পর্ক পাওয়া যাবে না।

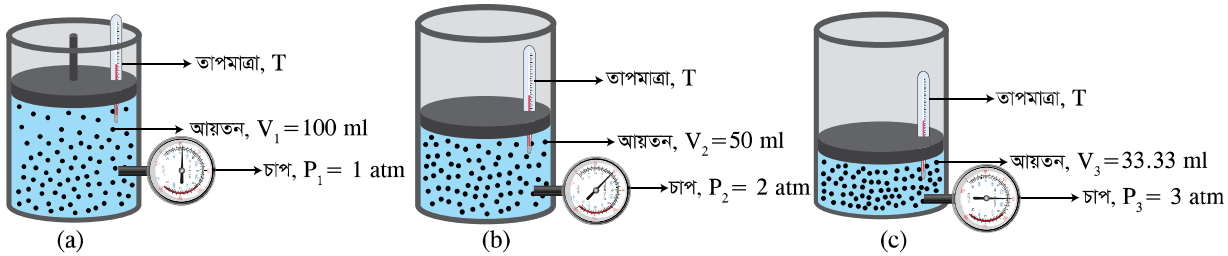


Fig 10.04

চাপ, P (atm)	গ্যাসের আয়তন, V (mL)	PV
1	100	100
2	50	100
3	33.33	100

ধরা যাক, একটি পিস্টনযুক্ত গ্যাসের পাত্রে 100 mL গ্যাস নেওয়া হলো এবং প্রাথমিকভাবে গ্যাসের উপর 1 atm চাপ প্রয়োগ করা হলো **Fig 10.04 (a)**। পিস্টন দ্বারা চাপ বৃদ্ধি করে 2 atm বা দ্বিগুণ করা হলে দেখা যাবে গ্যাসের আয়তন অর্ধেক (50 mL) হয়ে গিয়েছে **Fig 10.04 (b)**। একইভাবে পিস্টনের মাধ্যমে চাপ আরো বাড়িয়ে 3 atm করা হলে বা তিনগুণ করা হলে দেখা যাবে, গ্যাসের আয়তন এক-তৃতীয়াংশ (33.33 mL) হয়ে গিয়েছে **Fig 10.04 (c)**। পুরো পরীক্ষাজুড়ে যতবার বাহ্যিক চাপ বৃদ্ধি করা হয়েছে একইসাথে গ্যাসের চাপও একই পরিমাণ বৃদ্ধি পেয়েছে। যার ফলে সাম্যাবস্থা তৈরি হয়।

এতক্ষণ ধরে আমরা যে পরীক্ষা পর্যবেক্ষণ করলাম তা থেকে আমরা নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় গ্যাসের চাপ ও আয়তনের মধ্যবর্তী সম্পর্ককে গাণিতিকভাবে লিখতে পারি যে, $PV = K \Rightarrow P = K \times \frac{1}{V}$; এখানে, [K হল সমানুপাতিক ধ্রুবক]।

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

আমরা যে সম্পর্কটি দাঁড় করালাম তা হল চাপ ও আয়তনের মধ্যবর্তী ব্যস্তানুপাতিক সম্পর্ক। [এ পুরো প্রক্রিয়ায় গ্যাসের পরিমাণ ও তাপমাত্রা স্থির ছিল। এজন্য বয়েলের সূত্র থেকে প্রাপ্ত সমীকরণকে সমোষ্ণ সমীকরণ বলে।]

এখন সমানুপাতিক চিহ্ন উঠিয়ে আমরা লিখতে পারি, $P = K \times \frac{1}{V}$ ..... (i) এখানে, [K হল সমানুপাতিক ধ্রুবক]।

নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় গ্যাসের বিভিন্ন চাপ ও আয়তনের জন্য বয়েলের সূত্রকে চাইলে আমরা এভাবেও লিখতে পারি যে,

$$\boxed{P_1V_1 = P_2V_2 = K = \text{ধ্রুবক}}$$

বয়েলের সূত্রটি পর্যবেক্ষণ করলে দেখা যায় চাপ ও আয়তনের পরিবর্তন পরস্পরের ব্যস্তানুপাতিকভাবে হয়। অর্থাৎ, একটি রাশি বাড়লে অপর রাশিটি এমনভাবে কমে যেন তাদের মানের গুণফল সর্বদা স্থির থাকে। বিষয়টি একটা উদাহরণের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যাক। ধর, একজন ব্যবসায়ী ফল বিক্রয় করে প্রতিদিন নির্দিষ্ট পরিমাণ অর্থ আয় করেন। তার প্রতিদিনের আয়কে চাইলে এভাবে প্রকাশ করা যায় যে, প্রতিদিনের আয় = প্রতিটি ফলের মূল্য × বিক্রয়কৃত ফলের পরিমাণ।

যদি ব্যবসায়ী নির্দিষ্ট একটি দিনে নির্দিষ্ট পরিমাণ আয় করতে চান তাহলে তা দুইভাবে অর্জন সম্ভব। তা হল সাধারণের চেয়ে কম পরিমাণ ফল বেশি দামে বিক্রয় করে অথবা বেশি পরিমাণ ফল অল্প দামে বিক্রয় করে। এমনভাবে কমবেশি করে, যাতে গুণফল সবসময় একই থাকে। তাহলেই আয়ের পরিমাণ একই থাকবে।

বয়েলের সূত্র থেকে চাপ (P) ও আয়তনের (V) মধ্যবর্তী সম্পর্কগুলোকে গ্রাফের মাধ্যমে প্রকাশ করা যায়।

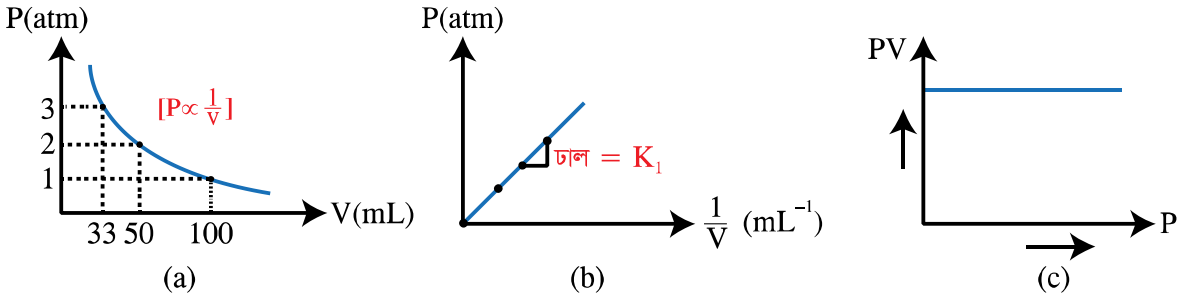


Fig 10.05

Fig 10.05 (a) থেকে এটা স্পষ্ট যে গ্যাসীয় পদার্থের উপর চাপ প্রয়োগে আয়তন কমে যায়। তবে চাপ এবং আয়তনের পরিবর্তনের পরেও এদের গুণফল ধ্রুব থাকছে। অর্থাৎ, একটি গ্যাসের P_1 এবং P_2 চাপে আয়তন যথাক্রমে V_1 এবং V_2 হলে, $\mathbf{P_1V_1 = P_2V_2 = K_1}$

এই সমীকরণটি (xy = k) অধিবৃত্তের সমীকরণ।

বয়েলের সূত্র: তাপমাত্রা স্থির থাকলে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন তার চাপের ব্যস্তানুপাতিক।

Fig 10.05 (a) এ যে P বনাম V লেখচিত্রটি অঙ্কিত হয়েছে তা একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার জন্য। যদি বিভিন্ন তাপমাত্রায় পরীক্ষাটি করা হত তবে একেক তাপমাত্রার জন্য একেকটি P বনাম V লেখচিত্র পাওয়া যেত যা দেখতে **(Fig 10.06)** এর মতো।

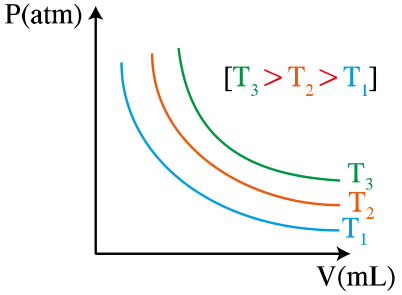


Fig 10.06

বয়েলের সূত্রটি আমরা যদি অনুভব করতে চাই, যে গ্যাস এমন আচরণ কেন করছে, সেটা অনেকটা এমনভাবে বলা যায় যে, গ্যাসকে প্রসারিত করা হলে, অণু-পরমাণুগুলো ছোটাছুটি করার জন্য বেশি জায়গা পাচ্ছে, সংঘর্ষ বা ধাক্কাধাক্কি কম হচ্ছে, পাত্রের গায়েও ধাক্কা কম দিচ্ছে। ফলে চাপ কমে যাচ্ছে। কিন্তু, গ্যাসকে সংকুচিত করা হলে, পরমাণুগুলোর ছোটাছুটি করার জায়গা কমে যায়। এই কারণে সংঘর্ষ বেশি হয়, ধাক্কা বেশি দেয় এবং চাপ বেড়ে যায়।

সতর্কতা!

গ্যাসীয় কোনো প্রক্রিয়ার জন্য বয়েলের সূত্র প্রয়োগের ক্ষেত্রে আমাদের কিছু বিষয় মাথায় রাখাতে হবে তা হলো পুরো প্রক্রিয়াজুড়ে গ্যাসের তাপমাত্রা ও পরিমাণ স্থির থাকতে হবে। যেমন: একটি বেলুনে ফুঁ দিলে আয়তন বাড়ে এবং চাপও বাড়ে। এক্ষেত্রে কী বয়েলের সূত্র লঙ্ঘিত হচ্ছে না? এ প্রশ্নের উত্তর দেয়ার পূর্বে যে প্রশ্নের উত্তর আমাদের জানতে হবে তা হলো এই ঘটনায় বয়েলের সূত্র প্রযোজ্য হচ্ছে কিনা। উত্তর হলো 'না'। কেননা বেলুনে ফুঁ দেয়ার ঘটনায় পুরো প্রক্রিয়াজুড়ে গ্যাসের পরিমাণ স্থির থাকে না। তাই এক্ষেত্রে বয়েলের সূত্র প্রযোজ্য নয়।

উদাহরণ-০১: সিলিন্ডারে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সংরক্ষিত নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন 0.5 L ও চাপ 4 atm। স্থির তাপমাত্রায় পিস্টন দিয়ে গ্যাসকে সংকুচিত করা হলে গ্যাসের আয়তন 0.25 L হয়। এই অবস্থায় গ্যাসের চাপ কত হবে?

সমাধান: বয়েলের সূত্রানুসারে, $P_1V_1 = P_2V_2$

$\Rightarrow P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2}$

$\Rightarrow P_2 = \frac{4\times0.5}{0.25}$

$\therefore P_2 = 8$ atm

এখানে, $P_1 = 4$ atm
$V_1 = 0.5$ L
$V_2 = 0.25$ L
$P_2 = ?$

উদাহরণ-০২: একটি পিস্টনে 10 টি মার্বেল ও নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস আবদ্ধ আছে। যখন মার্বেলসহ গ্যাসের আয়তন 1L তখন গ্যাস কর্তৃক প্রযুক্ত চাপ 10 atm। যদি পিস্টন দিয়ে ধীরে ধীরে গ্যাসকে সংকুচিত করার ফলে মার্বেলসহ গ্যাসের আয়তন 650 mL হয় এবং গ্যাস কর্তৃক প্রযুক্ত চাপ পূর্বের চেয়ে 300% বৃদ্ধি পায়। তবে প্রতিটি মার্বেলের আয়তন নির্ণয় কর। [ধরে নাও, উল্লেখ্য গ্যাসটি আদর্শ গ্যাস ছিল।]

সমাধান: এক্ষেত্রে চাপ ও আয়তনের প্রক্রিয়াটি ধীরগতিতে সম্পন্ন করায় পুরো প্রক্রিয়াজুড়ে গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির থাকবে।

ধরা যাক, মার্বেলগুলোর মোট আয়তন 'x' mL।

বয়েলের সূত্রানুসারে, $P_1V_1 = P_2V_2$

$\Rightarrow 10(1000 - x) = 40(650 - x)$

$\Rightarrow 10000 - 10x = 26000 - 40x$

$\Rightarrow 30x = 16000$

$\Rightarrow x = \frac{16000}{30}$

$\therefore x = 533.33$ mL

এখানে, গ্যাসের প্রাথমিক চাপ, $P_1 = 10$ atm

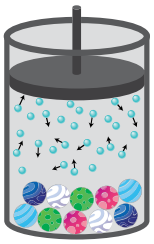
গ্যাসের পরিবর্তিত চাপ, $P_2 = P_1 + 300\%\ P_1$

$= 4P_1 = 40$ atm

প্রাথমিক আয়তন, পরিবর্তিত আয়তন,

$V_1 = (1000 - x)$mL

$V_2 = (650 - x)$mL



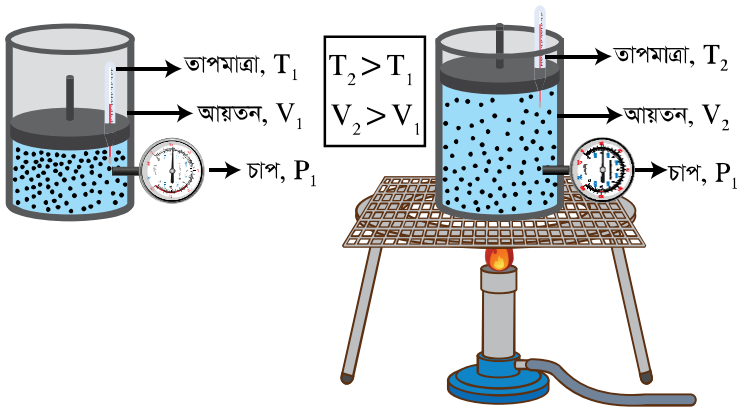
$\therefore$ প্রতিটি মার্বেলের আয়তন $= \frac{533.33}{10} = 53.33$ mL

আয়তনের সাথে তাপমাত্রার সম্পর্ক: চার্লসের সূত্র

তুমি ইতোমধ্যেই গ্যাসের চাপ ও আয়তনের মধ্যে সম্পর্কযুক্ত বয়েলের সূত্রটি সম্পর্কে জেনেছো। বয়েলের সূত্র একটি গ্যাসীয় সিস্টেমের তাপমাত্রা ও পরিমাণ ধ্রুবক থাকার উপর নির্ভর করে। আমরা এবার দেখব গ্যাসের তাপমাত্রার সাথে আয়তনের পরিবর্তনের সম্পর্ক পর্যবেক্ষণ করব। তাহলে তুমি বুঝতেই পারছ যে, এক্ষেত্রে গ্যাসীয় সিস্টেমের জন্য অপর দুটি চলরাশি অর্থাৎ, গ্যাসের চাপ ও পরিমাণকে পুরো প্রক্রিয়াজুড়ে স্থির রাখা হবে।

গ্যাসের তাপমাত্রা ও আয়তনের মধ্যবর্তী সম্পর্কটি আবিষ্কার হয় 1802 সালে। বিজ্ঞানী চার্লস একটি আবদ্ধ পাত্রে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস নিয়ে তাতে তাপ প্রয়োগ করে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করেন এবং লক্ষ করেন যে চাপ স্থির রেখে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি পায়। বিপরীতভাবে গ্যাসের তাপমাত্রা কমিয়ে গ্যাসকে ঠাণ্ডা করলে গ্যাসের আয়তন হ্রাস পায়। একথা শোনার পর তোমার মনে হতেই পারে যে, আয়তন পরিবর্তিত হলে তো চাপেরও পরিবর্তন হওয়ার কথা। চাপ স্থির থাকে কীভাবে? এ প্রশ্নের উত্তর দেওয়ার জন্য চার্লসের পরীক্ষণের জন্য প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি ও তার গঠন সম্পর্কে একটি ধারণা দেওয়া যাক।

আমরা এখন গ্যাস নিয়ে যে পরীক্ষাটি করবো, তার ক্ষেত্রে ধরে নিব সমগ্র প্রক্রিয়াতে গ্যাসের ভৌত অবস্থা অপরিবর্তিত থাকবে। পাশের **(Fig 10.07)** চিত্রে প্রদর্শিত যন্ত্রপাতিগুলো হলো: একটি পিস্টনযুক্ত সিলিন্ডার যার অভ্যন্তর ভাগ গ্যাস দ্বারা ভর্তি এবং পিস্টনটি স্থির অবস্থায় আছে। পিস্টনটির ভর নগণ্য বিবেচনা করলে, গ্যাসের উপর পিস্টন দ্বারা প্রযুক্ত বল,F এবং চাপ $P = \frac{F}{A}$, যেখানে A হলো পিস্টনের ক্ষেত্রফল। যেহেতু পিস্টনটি স্থির অবস্থায় আছে তাই গ্যাসও পিস্টনের উপর F এর সমপরিমাণ বল প্রয়োগ করবে। এখন গ্যাসকে বুনসেন বার্নারের সাহায্যে তাপ প্রয়োগের মাধ্যমে উত্তপ্ত করা হলে গ্যাস প্রসারিত হয়।



(a) নিম্ন তাপমাত্রা (b) উচ্চ তাপমাত্রা

Fig 10.07

এর ফলে পিস্টনটি একটু উপরে উঠে যায়। ধরা যাক, প্রক্রিয়াটি খুবই ধীরে সম্পন্ন করা হলো তাহলে পিস্টনটিও খুবই ধীরে উপরে উঠবে। পিস্টনটির গতি খুবই ধীরে হওয়ায় এর ত্বরণকে নগণ্য বিবেচনা করে নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রানুসারে আমরা বলতে পারি, পিস্টনের উপর প্রযুক্ত বল গ্যাসের প্রযুক্ত বলের সমান হবে। অর্থাৎ, পিস্টনের উপর লব্ধি বল শূন্য হবে। তাই সমগ্র প্রক্রিয়াতেই পিস্টনটির উপর গ্যাস দ্বারা প্রযুক্ত বল, F এবং গ্যাসের চাপ, $P = \frac{F}{A}$। সুতরাং খুবই ধীরে প্রক্রিয়াটি সম্পন্ন করা হলে গ্যাসের চাপ ধ্রুব থাকবে। সিলিন্ডারে তাপ প্রয়োগের মাধ্যমে গ্যাসের তাপমাত্রা বাড়ানোর ফলে গ্যাসের আয়তনের কীরূপ পরিবর্তন হয়, তা একটি Data Table এর মাধ্যমে উপস্থাপন করা হলো:

তাপমাত্রা, θ(°C)	25	40	55	70	85	100
আয়তন, V(L)	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5

প্রকৃতপক্ষে আমরা চার্লসের পরীক্ষাটি সম্পন্ন করেছি। পরীক্ষা থেকে প্রাপ্ত উপাত্তগুলো আমরা একটি লেখচিত্রের মাধ্যমে প্রকাশ করবো। লেখচিত্রের x-অক্ষে সেলসিয়াস স্কেলে তাপমাত্রা ও y-অক্ষে লিটারে গ্যাসের আয়তন নেওয়া হলে লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হবে।

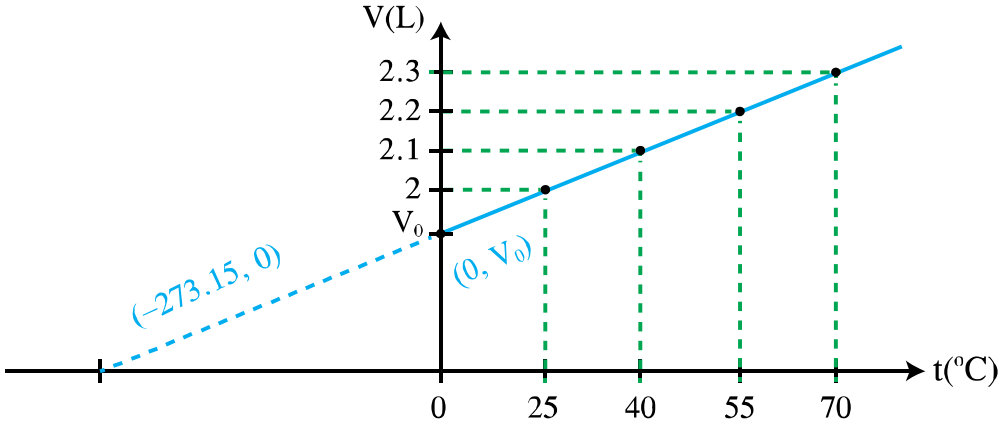


Fig 10.08

সরলরেখা বরাবর x-অক্ষের যত বামে যাওয়া হয় y-অক্ষের মান ও তত নিচে নামে। যেহেতু তাপমাত্রা (x-অক্ষে স্থাপিত) ও আয়তন (y-অক্ষে স্থাপিত) এর মধ্যে রৈখিক সম্পর্ক বিদ্যমান। তাপমাত্রার মান কমাতে কমাতে যখন 0°C হয় তখন y-অক্ষে আয়তনের মান V_0 পাই। এখন কী হবে যদি তাপমাত্রা আরও কমাতে থাকে? তুমি লেখচিত্র পর্যবেক্ষণ করে বুঝতেই পারছ লেখচিত্রটাকে পেছনে (x-অক্ষ বরাবর) বাড়াতে থাকলে একসময় তা তাপমাত্রার অক্ষকে ছেদ করবে। যে বিন্দুতে লেখচিত্রটা x-অক্ষকে ছেদ করে সে বিন্দুতে y-অক্ষের স্থানাঙ্ক 0। অর্থাৎ, লেখচিত্রটা একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার জন্য আয়তনের মান শূন্য দিচ্ছে! এই নির্দিষ্ট তাপমাত্রার মান পরীক্ষণের মাধ্যমে পাওয়া গিয়েছে $-273.15°C$ ।

এই আলোচনা শেষে সবার মনেই অনেক প্রশ্ন দাঁড়ায়। প্রথমত, কোনো একটি বস্তুর আয়তন বাস্তবে এভাবে শূন্য করে ফেলা যায়?

দ্বিতীয়ত, তাপমাত্রা কমিয়ে যেভাবে আয়তন শূন্য করেছি একইভাবে তাপমাত্রা আরও কমিয়ে ঋণাত্মক আয়তন পাওয়া সম্ভব কিনা?

প্রথম প্রশ্নের উত্তর হল, এটি কাগজে কলমে একটি তাপমাত্রা পাওয়া গেছে, বইয়ের ভাষায় "তাত্ত্বিকভাবে একটি তাপমাত্রা পাওয়া গেছে, যে তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন শূন্য।" কিন্তু বাস্তবে এটি করতে গেলে বেশ কিছু জটিল পরিস্থিতি সামনে চলে আসে। বাস্তবে এই তাপমাত্রায় পৌঁছানো সম্ভব নয়। অন্যদিকে আমরা আয়তন কমিয়ে এনে শূন্য করার সময় পুরো প্রক্রিয়াজুড়ে গ্যাসের ভৌত অবস্থার পরিবর্তন হয়নি- এটা ধরে নিয়েছিলাম। বাস্তবে গ্যাসের তাপমাত্রা কমাতে থাকলে তা একসময় তরল এবং তরল থেকে কঠিনে রূপান্তরিত হয়।

ঋণাত্মক আয়তনের কথা যদি বলি, আমরা গাণিতিকভাবে চিন্তা করতে পারি যে তাপমাত্রা $-273.15°C$ এর চেয়ে আরও কমিয়ে ঋণাত্মক আয়তন অর্জন সম্ভব কিন্তু তা বাস্তবসম্মত নয়। কেননা ঋণাত্মক আয়তন বলতে এ মহাবিশ্বে কোনো কিছুর অস্তিত্ব নেই।

যে বিন্দুতে গ্যাসের তাপমাত্রা, $\theta = -273.15°C$ তাকে 'পরমশূন্য তাপমাত্রা' বলা হয়। এই তাপমাত্রাকেই নিম্ন স্থিরবিন্দু (0) ধরে বিজ্ঞানী লর্ড কেলভিন তাপমাত্রা পরিমাপের 'পরম স্কেল' বা কেলভিন স্কেল প্রণয়ন করেন।

তাহলে কেলভিন স্কেল সেলসিয়াস স্কেলের মধ্যবর্তী সম্পর্ক, $T = \theta + 273.15$

T = কেলভিন স্কেলে তাপমাত্রা
θ = সেলসিয়াস স্কেলে তাপমাত্রা

পরমশূন্য তাপমাত্রা: তাত্ত্বিকভাবে যে তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের আয়তন শূন্য হয়ে যায় তাকে পরমশূন্য তাপমাত্রা বলে। সকল গ্যাসের জন্য এই তাপমাত্রার মান $-273.15°C$।

এখন আমরা লেখচিত্রের সরলরেখার একটি সাধারণ সমীকরণ তৈরি করবো। $0°C$ তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন V_0।

তাহলে সরলরেখাটি $(0, V_0)$ এবং $(-273.15, 0)$ বিন্দুগামী।

এর সমীকরণ হবে, $\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1}$

$$\Rightarrow \frac{x-0}{0-(-273.15)} = \frac{y-V_0}{V_0-0}$$

$$\Rightarrow \frac{x}{273.15} = \frac{y-V_0}{V_0}$$

$$\therefore y = V_0 + \frac{V_0 x}{273.15}$$

(x, y) কে (θ, V) দ্বারা প্রতিস্থাপন করে পাই, $V = V_0 + \frac{V_0\theta}{273.15}$

$$\therefore \boxed{V = V_0\left(1 + \frac{\theta}{273.15}\right)}$$

এখানে θ হলো যেকোনো তাপমাত্রা যা সেলসিয়াস স্কেলে প্রকাশিত এবং V হলো $\theta°C$ তাপমাত্রায় আয়তন।

এটিই হলো গ্যাসের আয়তন ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ককারী চার্লসের সূত্রের গাণিতিকরূপ।

আমরা এখন এই সূত্রকে কেলভিন স্কেলে প্রকাশ করব।

$$V = V_0\left(1 + \frac{\theta}{273.15}\right)$$

$$\Rightarrow V = V_0\left(1 + \frac{T-273.15}{273.15}\right) \quad [\because \theta = T - 273.15]$$

$$\Rightarrow V = V_0\left(1 + \frac{T}{273.15} - 1\right)$$

$$\Rightarrow V = \left(\frac{V_0}{273.15}\right)T$$

এখানে, V_0 হলো নির্দিষ্ট চাপে $0°C$ বা $273.15\ K$ তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন যা ঐ নির্দিষ্ট চাপের জন্য ধ্রুবক।

যেহেতু, V_0 ধ্রুবক (যখন গ্যাসের চাপ ও পরিমাণ স্থির) তাই আমরা বলতে পারি,

গ্যাসের আয়তন পরম তাপমাত্রার সরাসরি সমানুপাতিক, $V \propto T$ [P ও n ধ্রুবক]

$$\therefore V = KT$$

$$\text{বা, } \frac{V}{T} = K = \text{ধ্রুবক}$$

ভিন্ন ভিন্ন তাপমাত্রা T_1 ও T_2 তে গ্যাসের আয়তন V_1 ও V_2 হলে,

$$\boxed{\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{ধ্রুবক}}$$

চার্লসের সূত্রে চাপ স্থির ছিল। আমরা চাপ স্থিরই রাখবো, কিন্তু একেকবার একেক চাপে পরীক্ষাটি করে এরপর সবগুলো একই গ্রাফে দেখানোর চেষ্টা করব। তাহলে পাশের চিত্রের মত একটা গ্রাফ পাওয়া যাবে।

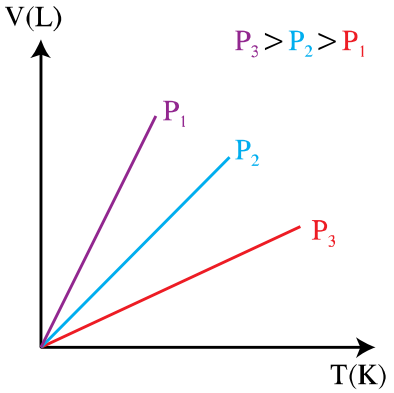


Fig 10.09

চার্লসের সূত্র: চাপ স্থির থাকলে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন তার পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

চার্লসের সূত্রটি আমরা এবার একটু অনুভব করার চেষ্টা করি, যে ব্যাপারটা কেন এমন ঘটছে। চাপ আমরা সবসময় একই রাখছি। তাহলে চাপের কারণে আয়তন কমবেশি হওয়ার সম্ভাবনা নেই। এবার, তাপমাত্রা বাড়ালে বেশিরভাগ বস্তুর মতই গ্যাসেরও আয়তন বাড়ে, কারণ তাপমাত্রা বাড়ালে গ্যাসের অণুগুলোর গতিশক্তি বেড়ে যায়, তারা আরও বেশি এলাকা নিয়ে ছোটাছুটি করে। বিপরীতভাবে, তাপমাত্রা কমালে আয়তন কমে যায়।

আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক

আমরা চার্লসের সূত্রের দুইটি রূপ দেখেছি। এর মধ্যে একটি হলো $V = V_0\left(1 + \frac{\theta}{273.15}\right)$।

এই সমীকরণটিকে এভাবেও লেখা হয়, $V = V_0(1 + \theta\gamma_P)$, যেখানে, $\gamma_P = \frac{1}{273.15}(°C)^{-1}$।

$$\Rightarrow \frac{V}{V_0} - 1 = \theta\gamma_P$$

$$\Rightarrow \gamma_P = \frac{V - V_0}{\theta V_0} = \frac{\Delta V}{\theta V_0}$$

$$\therefore \boxed{\gamma_P = \frac{\Delta V}{\theta V_0}}$$

এখানে, $\theta = 1°C, V_0 = 1$ ঘন একক হলে, $\gamma_P = \Delta V$ হয়। এই γ_P কে বলা হয় গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক।

আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক: স্থির চাপে 0°C তাপমাত্রায় একক আয়তনের কোনো গ্যাসের তাপমাত্রা প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস বৃদ্ধিতে এর আয়তন যতটুকু বৃদ্ধি পায় তাকে স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন প্রসারণ গুণাঙ্ক γ_P বলে, $\gamma_P = \frac{1}{273.15}(°C)^{-1}$

উদাহরণ-০৩: 25°C তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন 2 L। স্থির চাপে গ্যাসের তাপমাত্রা 30°C করা হলে গ্যাসের আয়তন কত হবে?

সমাধান: চার্লসের সূত্রানুসারে, $\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1}$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{T_2}{T_1} \times V_1$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{303}{298} \times 2$$

$$\therefore V_2 = 2.033 \text{ L}$$

এখানে, $V_1 = 2$ L

$T_1 = 25°C = 298$ K

$T_2 = 30°C = 303$ K

$V_2 = ?$

উদাহরণ-০৪: নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন 2 L। স্থির চাপে গ্যাসের তাপমাত্রা 25°C বৃদ্ধি করলে গ্যাসের আয়তন হয় 5 L। এ অবস্থায় গ্যাসের তাপমাত্রা কত?

সমাধান: চার্লসের সূত্রানুসারে, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$

$$\Rightarrow \frac{(V_1 - V_2)}{V_2} = \frac{(T_1 - T_2)}{T_2}$$

$$\Rightarrow \frac{V_2 - V_1}{V_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta V}{V_2} = \frac{\Delta T}{T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{\Delta T}{\Delta V} \times V_2$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{25}{3} \times 5$$

$$\therefore T_2 = 41.67 \text{ K}$$

এখানে,

$V_1 = 2$ L

$V_2 = 5$ L

$\therefore \Delta V = 3$ L

$\Delta T = 25°C = 25$ K

চাপীয় সূত্র

গ্যাসের চাপ ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয়ের জন্য যথাক্রমে বিজ্ঞানী গে-লুসাক, অ্যামনটন ও রেঁনো কাজ করেছেন। প্রাথমিকভাবে 1808 সালে বিজ্ঞানী জোসেফ লুই গে-লুসাক একটি সম্পর্ক আবিষ্কার করেন। পরবর্তীতে 1842 সালে বিজ্ঞানী রেঁনো স্থির আয়তনে গ্যাসের চাপ ও তাপমাত্রার মধ্যে একটি সম্পর্ক স্থাপন করেন। গ্যাসের চাপীয় সূত্রের এই আলোচনা শুনে তোমার ধারণা হতে পারে যে তিনজন বিজ্ঞানী কি তিনটি ভিন্ন সূত্র দিয়েছিল? আসলে তাদের মূল বক্তব্য একই ছিল শুধু সূত্রের বর্ণনায় ভিন্নতা ছিল যা তোমরা একটু পরেই জানবে।

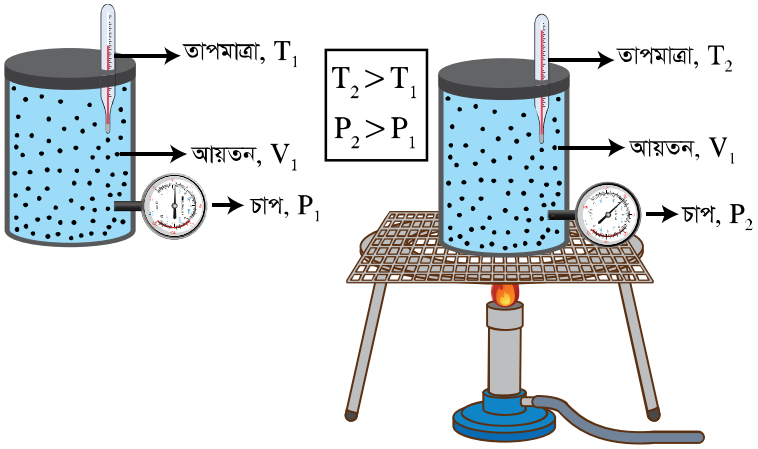


Fig 10.10

বিজ্ঞানী রেঁনো গ্যাসের চাপ ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয়ের জন্য একটি নির্দিষ্ট আয়তনের পাত্রে আবদ্ধ নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের তাপমাত্রার পরিবর্তনের সাথে গ্যাস দ্বারা প্রযুক্ত চাপের পরিবর্তন লক্ষ করলেন।

গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে ছোটাছুটি বৃদ্ধি পায় এবং ফলশ্রুতিতে গ্যাস অণু বা পরমাণু দ্বারা প্রযুক্ত ধাক্কা যাকে আমরা চাপ বলি তার পরিমাণও বৃদ্ধি পায়। এ হতে আমরা বুঝতে পারছি যে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে গ্যাসের চাপ ও বৃদ্ধি পায়। একটি আবদ্ধ পাত্রে গ্যাস ভর্তি করে পাত্রটি একটি স্ট্যান্ডের উপর রেখে স্ট্যান্ডের নিচে বুনসেন বার্নার রাখা হয়। বুনসেন বার্নার নিয়ে তাপ দিয়ে এই নির্দিষ্ট আয়তনের গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা হয় এবং থার্মোমিটার ও Pressure Gauge দ্বারা গ্যাসের তাপমাত্রা ও চাপ পরিমাপ করা হয়। পরীক্ষাটি সম্পন্ন করার পর এর বিভিন্ন সময়ে প্রাপ্ত তাপমাত্রা ও চাপকে নিচের ডাটা টেবিল এর মাধ্যমে উপস্থাপন করা যায়।

তাপমাত্রা, $\theta(^\circ C)$	25	40	55	70	85	100
চাপ, P(atm)	2.5	2.63	2.75	2.88	3	3.13

পরীক্ষার মাধ্যমে প্রাপ্ত উপাত্তগুলোকে এবার লেখচিত্রে বসানো যাক। লেখচিত্রের x-অক্ষ বরাবর সেলসিয়াস স্কেলে তাপমাত্রা ও y-অক্ষ বরাবর চাপকে প্রকাশ করা হলে বিন্দুগুলো বসিয়ে যোগ করা হলে একটি সরলরেখা পাওয়া যাবে।

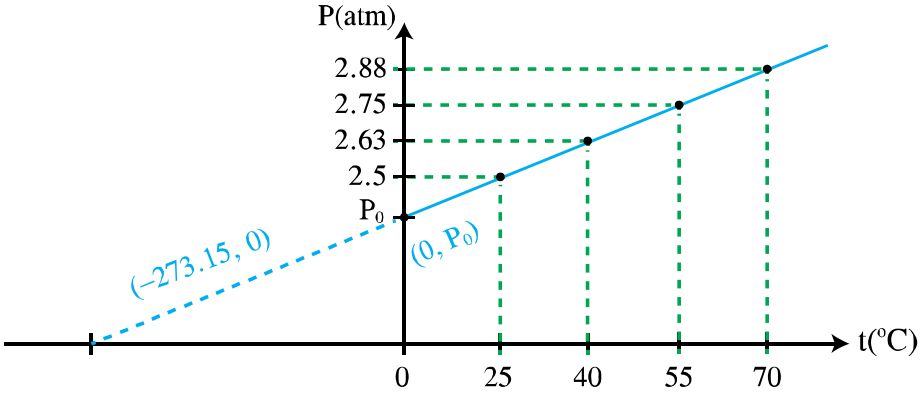


Fig 10.11

মজার ব্যাপার হলো চার্লসের সূত্রের লেখচিত্রের মতো চাপের সূত্রেও সরলরেখাটি পেছনদিকে বর্ধিত করলে তা x-অক্ষকে $(-273.15, 0)$ বিন্দুতে ছেদ করে। এখন আমরা চার্লসের সূত্রের মতো এখানেও একটি সাধারণ সমীকরণ তৈরি করবো।

ধরা যাক, $0^\circ C$ তাপমাত্রায় গ্যাসের চাপ P_0। তাহলে সরলরেখাটি $(-273.15, 0)$ এবং $(0, P_0)$ বিন্দুগামী।

এর সমীকরণটি হবে, $\frac{x-0}{0-(-273.15)} = \frac{y-P_0}{P_0-0}$

$$\Rightarrow \frac{x}{273.15} = \frac{y-P_0}{P_0}$$

$$\Rightarrow y = \frac{P_0 x}{273.15} + P_0$$

(x, y) কে (θ, P) দ্বারা প্রতিস্থাপন করে পাই,

$$P = P_0 + \frac{P_0\theta}{273.15}$$

$$\therefore \boxed{P = P_0\left(1 + \frac{\theta}{273.75}\right)}$$

এটিই হলো গ্যাসের তাপমাত্রা ও চাপের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপনকারী সূত্রের গাণিতিকরূপ।

এই সূত্রকে এখন কেলভিন স্কেলে প্রকাশ করা যাক।

$$P = P_0\left(1 + \frac{\theta}{273.15}\right)$$

$$\Rightarrow P = P_0\left(1 + \frac{T-273.15}{273.15}\right) \quad [\because \theta = T - 273.15]$$

$$\Rightarrow P = P_0\left(1 + \frac{T}{273.15} - 1\right)$$

$$\therefore P = \left(\frac{P_0}{273.15}\right)T$$