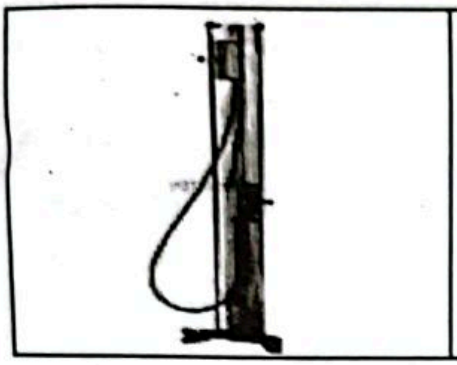
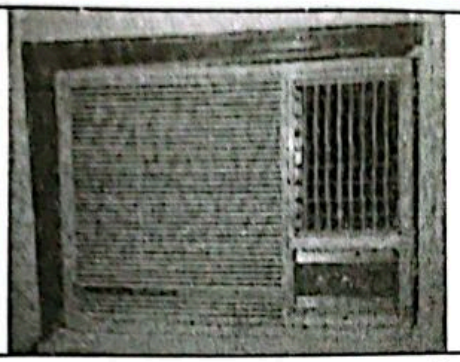
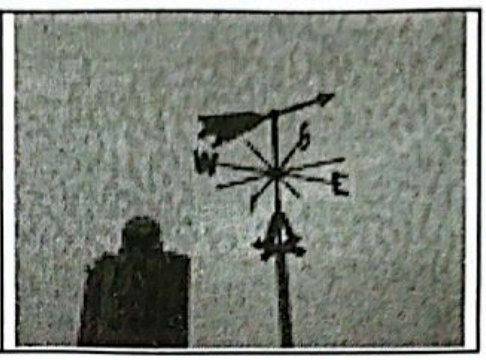
১০ আদর্শ গ্যাস ও গ্যাসের গতিতত্ত্ব

IDEAL GAS AND KINETIC THEORY OF GAS

তাপে কঠিন, তরল ও বায়বীয় পদার্থের প্রসারণ ঘটলেও এ তিন রকম পদার্থের প্রসারণ এক রকম হয় না। কঠিন ও তরল পদার্থের প্রসারণে চাপের ভূমিকা খুবই নগণ্য; কিন্তু গ্যাসীয় বা বায়বীয় পদার্থের আয়তন চাপের ওপরও নির্ভরশীল। এ অধ্যায়ে আমরা গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণে চাপ ও তাপমাত্রার প্রভাব, গ্যাস সূত্রাবলি, আদর্শ গ্যাস সমীকরণ, গড় বর্গবেগ ও মূল গড় বর্গবেগ, স্বাধীনতার মাত্রা, শক্তির সমবিভাজন নীতি ইত্যাদি নিয়ে আলোচনা করবো।

প্রধান শব্দসমূহ :

আদর্শ গ্যাস, বয়েলের সূত্র, চার্লসের সূত্র, চাপীয় সূত্র, স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন প্রসারাঙ্ক, স্থির আয়তনের গ্যাসের চাপ প্রসারাঙ্ক, প্রমাণ তাপমাত্রা, প্রমাণ চাপ, গড় বর্গবেগ, মূল গড় বর্গবেগ, স্বাধীনতার মাত্রা, শক্তির সমবিভাজন নীতি, সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ, পরম আর্দ্রতা, শিশিরাঙ্ক, আপেক্ষিক আর্দ্রতা।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

ক্রমিক নং	শিখনফল	অনুচ্ছেদ
১	আদর্শ গ্যাসের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১০.২
২	বয়েলের সূত্র ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয়ে $pV = RT$ সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করতে পারবে।	১০.৪
৩	ব্যবহারিক ○ বয়েলের সূত্র যাচাই করতে পারবে।	১০.৭
৪	গ্যাসের অণুর মৌলিক স্বীকার্য বর্ণনা করতে পারবে।	১০.৮
৫	গ্যাসের অণুর মৌলিক স্বীকার্যের আলোকে গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১০.৯, ১০.১০
৬	গ্যাসের গতিতত্ত্ব ব্যবহার করে আদর্শ গ্যাসের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।	১০.১১, ১০.১২
৭	শক্তির সমবিভাজন নীতি বর্ণনা করতে পারবে।	১০.১৫
৮	জলীয়বাষ্প ও বায়ুর চাপের সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবে।	১০.১৮
৯	শিশিরাঙ্ক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতার সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবে।	১০.১৯
১০	ব্যবহারিক ○ নিউটনের শীতলীকরণ সূত্রের সাহায্যে তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করতে পারবে।	১০.২২

onlinemodeltest.com

১০.১। আদর্শ গ্যাস
Ideal Gas

পরীক্ষা করে দেখা গেছে একই পরিমাণের বিভিন্ন গ্যাস একই আয়তনের বিভিন্ন পাত্রে একই তাপমাত্রায় রেখে যদি চাপ পরিমাপ করা হয় তাহলে প্রত্যেকের চাপ প্রায় সমান পাওয়া যায়। তাপমাত্রা আরো বাড়িয়ে যদি আবার চাপ পরিমাপ করা হয় তাহলে গ্যাসগুলোর চাপের মান আরো কাছাকাছি পাওয়া যায়। তাপমাত্রা যত বাড়ানো যাবে চাপের পার্থক্য ততই কমতে থাকবে। তাপমাত্রা আরো বাড়িয়ে চাপ পরিমাপ করতে থাকলে একসময় দেখা যাবে প্রত্যেকটি গ্যাসই $pV = nRT$ সমীকরণ মেনে চলছে। এখানে p = গ্যাসের চাপ, V = গ্যাসের আয়তন, n = গ্যাসের মোল সংখ্যা, R = সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক, প্রত্যেক গ্যাসের জন্যে যার মান $8.31\ \text{J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ এবং T = কেলভিন এককে গ্যাসের তাপমাত্রা। এ সমীকরণকে বলা হয় আদর্শ গ্যাস সমীকরণ। উচ্চ তাপমাত্রা ও নিম্নচাপে সকল গ্যাস এ সমীকরণ মেনে চলে। যে সকল গ্যাস সকল তাপমাত্রা ও চাপে এ সমীকরণ মেনে চলে তারাই আদর্শ গ্যাস। প্রকৃতিতে অবশ্য এমন কোনো গ্যাসের অস্তিত্ব নেই যা প্রকৃতপক্ষে আদর্শ। উচ্চতাপমাত্রা ও নিম্নচাপে সকল গ্যাসই আদর্শ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে। আদর্শ গ্যাসের আচরণ থেকেই আমরা বাস্তব গ্যাস সম্পর্কে ধারণা পেতে পারি। তাই আমরা সকল গ্যাস সমীকরণ আদর্শ গ্যাসের ওপর ভিত্তি করে প্রতিপাদন করি।

১০.২। গ্যাস সূত্রাবলি
Gas Laws

গ্যাসের তিনটি চলরাশি যথা : চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রার যেকোনো একটি স্থির থাকলে অন্য দুটি পরিবর্তিত হওয়ার সময় নির্দিষ্ট সূত্র মেনে চলে। তাই চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্কসূচক তিনটি সূত্র আছে। এগুলোকে গ্যাসীয় সূত্র বলে। এ সূত্রগুলো হলো

১. বয়েলের সূত্র : এ সূত্র তাপমাত্রা স্থির থাকলে আয়তন ও চাপের মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে।

২. চার্লসের সূত্র : এ সূত্র চাপ স্থির থাকলে আয়তন ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে।

৩. চাপীয় সূত্র : এ সূত্র আয়তন স্থির থাকলে চাপ ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে।

১. বয়েলের সূত্র

রবার্ট বয়েল নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় আয়তন ও চাপের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় করে এ সূত্র উপস্থাপিত করেন।

সূত্র : ***কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির থাকলে তার আয়তন চাপের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।***

এ সূত্রানুসারে কোনো গ্যাসের ভর ও তাপমাত্রা স্থির থাকলে আয়তন চাপের ওপর নির্ভর করে। চাপ দ্বিগুণ করলে আয়তন অর্ধেক হয়, চাপ তিনগুণ করলে আয়তন এক-তৃতীয়াংশ হয়। কোনো স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন V এবং চাপ p হলে,

$$V \propto \frac{1}{p} \text{ যখন তাপমাত্রা ও ভর স্থির থাকে।}$$

$$\text{বা, } V = \text{ধ্রুবক} \times \frac{1}{p}$$

$$\text{বা, } pV = \text{ধ্রুবক}, K$$

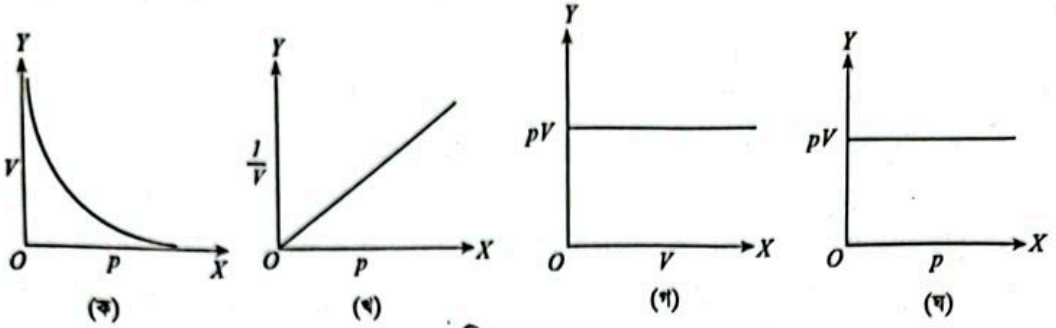
এখানে K একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। এ সমানুপাতিক ধ্রুবক K এর মান গ্যাসের ভর, তাপমাত্রা ও এককের ওপর নির্ভর করে। সুতরাং যদি স্থির তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের $p_1, p_2 \ldots \ldots \ldots p_n$ চাপে আয়তন যথাক্রমে $V_1, V_2, \ldots \ldots \ldots V_n$ হয় তবে,

বয়েলের সূত্রানুসারে আমরা পাই,

$$p_1V_1 = p_2V_2 = \cdots = p_nV_n = \text{ধ্রুবক}, K \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.1)$$

onlinemodeltest.com

সমীকরণ (10.1) থেকে দেখা যায় যে, চাপ ও আয়তন পরস্পরের ব্যস্তানুপাতিক। তাই চাপ ও আয়তনের বিভিন্ন মানের জন্য স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন (V) ও চাপ p এর লেখচিত্র আয়তাকার অধিবৃত্ত (Rectangular hyperbola) হয় (চিত্র ১০.১ ক)।



চিত্র : ১০.১

আবার X-অক্ষের দিকে P এবং Y অক্ষের $\frac{1}{V}$ নিয়ে লেখচিত্র আঁকলে (১০.১খ) চিত্রের ন্যায় হবে। এক্ষেত্রে স্থির তাপমাত্রায় p এর সাথে $\frac{1}{V}$ বৃদ্ধি পায় বা p হ্রাস পেলে $\frac{1}{V}$ হ্রাস পায়।

উল্লেখ্য যে X-অক্ষের দিকে V এবং Y-অক্ষের দিকে p নিয়ে লেখ আঁকলে সেটিও (১০.১ক) চিত্রের ন্যায় হবে। আবার X-অক্ষের দিকে $\frac{1}{V}$ এবং Y-অক্ষের দিকে p-দিয়ে লেখ আঁকলে সেটিও (১০.১ খ) চিত্রের ন্যায় হবে।

আবার X-অক্ষের দিকে V বা p এবং Y-অক্ষের দিকে pV নিয়ে লেখচিত্র আঁকলে (১০.১গ) বা (১০.১ঘ) চিত্রের ন্যায় X-অক্ষের সমান্তরাল সরলরেখা পাওয়া যাবে।

২. চার্লসের সূত্র

স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের তাপমাত্রা ও আয়তনের মধ্যকার সম্পর্ক অনুসন্ধান করে জ্যাকুইস চার্লস ১৭৮৭ সালে একটি সূত্র প্রকাশ করেন যা চার্লসের সূত্র[১] নামে পরিচিত।

সূত্র : স্থির চাপে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন 0°C থেকে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য এর 0°C তাপমাত্রার আয়তনের $\frac{1}{273}$ অংশ যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

এ নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ $\frac{1}{273}$ হচ্ছে স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন প্রসারণ সহগ। এটি নির্দেশ করে স্থির চাপে 0°C তাপমাত্রার নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের তাপমাত্রা 0°C থেকে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস বৃদ্ধি করলে ঐ গ্যাসের প্রতি একক আয়তনে আয়তনের কতটুকু প্রসারণ হবে। একে γ_p দিয়ে সূচিত করা হয়। সকল গ্যাসের জন্য আয়তন প্রসারণ সহগের মান $\frac{1}{273}$ $°C^{-1}$ বা, $0.00366\ °C^{-1}$ অর্থাৎ চাপ স্থির রেখে 0°C তাপমাত্রার নির্দিষ্ট ভরের $1m^3$ গ্যাসের তাপমাত্রা 1°C বাড়ালে এর আয়তন $0.00366\ m^3$ বাড়ে।

চার্লসের সূত্র অনুসারে স্থির চাপে 0°C তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন V_0 হলে 0°C থেকে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রার পরিবর্তনের জন্য এর আয়তন $\frac{1}{273} \times V_0$ হারে পরিবর্তিত হবে। θ°C তাপমাত্রার পরিবর্তনের জন্য আয়তনের পরিবর্তন হবে $\frac{\theta}{273} \times V_0$। সুতরাং θ°C তাপমাত্রায় যদি ঐ গ্যাসের আয়তন V হয় তবে চার্লসের সূত্রানুসারে,

$$V = V_0 + \frac{\theta}{273} V_0$$

---

[১] ১৮০২ সালে সম্পূর্ণ স্বতন্ত্রভাবে গে-লুসাক একই সূত্র প্রকাশ করেন।

onlinemodeltest.com

বা, $V = V_0\left(1 + \frac{\theta}{273}\right)$ ... ... (10.2)

বা, $V = \frac{V_0}{273}(273 + \theta)$

বা, $V = \frac{V_0}{273}T$

এখানে T হচ্ছে θ° C তাপমাত্রার আনুষঙ্গিক পরম বা কেলভিন তাপমাত্রা।

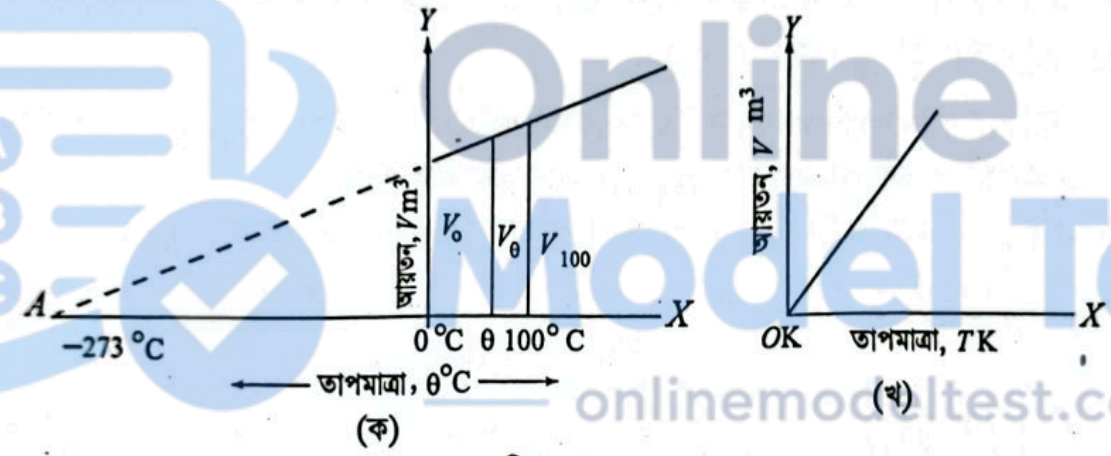
যেহেতু $\frac{V_0}{273}$ একটি ধ্রুব রাশি

সুতরাং $V \propto T$ যখন চাপ ও ভর স্থির থাকে।

অতএব চার্লসের সূত্রকে লেখা যায়,

স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন এর পরম বা কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

অর্থাৎ গ্যাসের ভর ও চাপ স্থির রেখে কেলভিন তাপমাত্রা দ্বিগুণ করা হলে আয়তন দ্বিগুণ হবে, কেলভিন তাপমাত্রা তিনগুণ করা হলে আয়তন তিনগুণ হবে।



চিত্র : ১০.২

যদি কোনো ছক কাগজে X-অক্ষের দিকে তাপমাত্রা এবং Y-অক্ষের দিকে আনুষঙ্গিক আয়তন স্থাপন করে একটি লেখ অঙ্কন করা যায় তবে তা Y-অক্ষকে ছেদকারী একটি সরলরেখা হবে (চিত্র : ১০.২ক)। এটি নির্দেশ করে যে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে গ্যাসের প্রসারণ সুষম হয়। লেখ থেকে 0°C তাপমাত্রায় বায়ুর আয়তন V_0 এবং যেকোনো সুবিধাজনক তাপমাত্রা θ° বায়ুর আয়তন V_θ নির্ণয় করে $V_\theta = V_0(1 + \gamma_p\theta)$ সূত্র থেকে γ_p হিসাব করা যায়। বাতাসের জন্য γ_p-এর প্রাপ্ত মান $0.00366\ ^\circ C^{-1}$ অর্থাৎ প্রায় $\frac{1}{273}\ ^\circ C^{-1}$ এবং চার্লসের সূত্র মান্যকারী অন্যান্য গ্যাসের ক্ষেত্রেও একই মান পাওয়া যায়। এর থেকে চার্লসের সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

লেখচিত্রের [চিত্র (১০.২ক) সরলরেখাটিকে পেছন দিকে বর্ধিত করলে এটি X-অক্ষকে $-273^\circ C$ এ ছেদ করে, যার অর্থ হচ্ছে $-273^\circ C$ তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন তাত্ত্বিকভাবে শূন্য হয়। তাপমাত্রা $-273^\circ C$ থেকে কমালে গ্যাসের আয়তন ঋণাত্মক হয়। কিন্তু ঋণাত্মক আয়তন অর্থহীন। এটি অসম্ভব, অবাস্তব, তা হতে পারে না। কাজেই কোনো তাপমাত্রাই $-273^\circ C$ এর নিচে থাকতে পারে না। সুতরাং সর্বনিম্ন কল্পনাযোগ্য যে তাপমাত্রা তা হচ্ছে $-273^\circ C$। এর নিচে কোনো তাপমাত্রা শুধু আমাদের এ পৃথিবীতে কেন মহাবিশ্বে কোথাও থাকতে পারে না। এজন্য এ $-273^\circ C$ তাপমাত্রাকে সর্বনিম্ন তাপমাত্রা বা পরমশূন্য তাপমাত্রা বলা হয়।

আবার X-অক্ষের দিকে কেলভিন স্কেলে তাপমাত্রা এবং Y-অক্ষের দিকে আনুষঙ্গিক আয়তন স্থাপন করে লেখ আঁকলে (১০.২খ) চিত্রের ন্যায় মূলবিন্দুগামী সরলরেখা পাওয়া যায়। এক্ষেত্রে মূলবিন্দু পরমশূন্য তাপমাত্রা নির্দেশ করছে।

onlinemodeltest.com

পরমশূন্য তাপমাত্রা : যে তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন শূন্য হয়, যার নিচে কোনো তাপমাত্রা থাকা সম্ভব নয়, কারণ তাহলে গ্যাসের আয়তন ঋণাত্মক হতে হয়, যা অসম্ভব, সেই সর্বনিম্ন কল্পনাযোগ্য তাপমাত্রাকে বলে পরমশূন্য তাপমাত্রা।

তাপমাত্রার পরম স্কেল : পরমশূন্য তাপমাত্রাকে শূন্য ধরে তাপমাত্রার যে স্কেল গণনা করা হয়, যার এক ভাগ সেলসিয়াস স্কেলের এক ভাগের সমান তাকে তাপমাত্রার পরম স্কেল বলে।

লর্ড কেলভিনের নামানুসারে এ স্কেলকে কেলভিন স্কেল বলে। সাধারণত পরম তাপমাত্রা বা কেলভিন তাপমাত্রাকে T এবং সেলসিয়াস স্কেলে তাপমাত্রাকে θ দিয়ে নির্দেশ করা হয়। সুতরাং

$$T = 273 + \theta \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.3)$$

৩. চাপীয় সূত্র

এ সূত্রের সাহায্যে স্থির আয়তনে গ্যাসের চাপ ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক পাওয়া যায়।

সূত্র : স্থির আয়তনে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ 0° C থেকে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য এর 0° C তাপমাত্রার চাপের $\frac{1}{273}$ অংশ যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

এ নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ $\frac{1}{273}$ হচ্ছে স্থির আয়তনে গ্যাসের চাপ প্রসারণ সহগ। এটি নির্দেশ করে স্থির আয়তনে 0°C তাপমাত্রার নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের তাপমাত্রা $0^{\circ}C$ থেকে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস বৃদ্ধি করলে ঐ গ্যাসের প্রতি একক চাপে চাপের কতটুকু বৃদ্ধি ঘটে। একে γ_v দিয়ে সূচিত করা হয়।

চাপের সূত্রানুসারে স্থির আয়তনে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ 0°C তাপমাত্রায় $p_\circ$ হলে 0°C থেকে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রা পরিবর্তনের জন্য এর চাপ $\frac{1}{273} \times p_\circ$ হারে পরিবর্তিত হবে। θ°C তাপমাত্রা পরিবর্তনের জন্য চাপের পরিবর্তন হবে $\frac{\theta}{273}\ p_\circ$। সুতরাং θ ° C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের চাপ যদি p হয় তবে চাপীয় সূত্রানুসারে,

$$p = p_\circ + \frac{\theta}{273}\ p_\circ$$

$$\text{বা, } p = p_\circ\left(1 + \frac{\theta}{273}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.4)$$

$$\text{বা, } p = \frac{p_\circ}{273}(\theta + 273) \quad \text{বা, } p = \frac{p_\circ}{273}\ T$$

এখানে T হচ্ছে θ° C তাপমাত্রার আনুষঙ্গিক পরম বা কেলভিন তাপমাত্রা। যেহেতু $\frac{p_\circ}{273}$ একটি ধ্রুব রাশি সুতরাং $p \propto T$ যখন আয়তন ও ভর স্থির থাকে।

অতএব চাপের সূত্রকে লেখা যায়,

স্থির আয়তনে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ এর পরম বা কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

অর্থাৎ গ্যাসের ভর ও আয়তন স্থির রেখে কেলভিন তাপমাত্রা দ্বিগুণ করা হলে চাপ দ্বিগুণ হবে, কেলভিন তাপমাত্রা তিনগুণ করা হলে চাপ তিন গুণ হবে।

১০.৩। প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপ

Standard Temperature & Pressure (S.T.P.)

প্রমাণ তাপমাত্রা : যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বরফ গলে পানিতে পরিণত হয় বা পানি জমে বরফে পরিণত হয় সে তাপমাত্রাকে প্রমাণ তাপমাত্রা বলে। সেলসিয়াস স্কেলে এটি 0° C এবং কেলভিন এককে 273.15 K।

প্রমাণ চাপ : সমুদ্রপৃষ্ঠে 45° অক্ষাংশে 273.15 K তাপমাত্রায় উল্লম্বভাবে অবস্থিত 760 mm উচ্চতাবিশিষ্ট শুষ্ক ও বিশুদ্ধ পারদস্তম্ভ যে চাপ দেয় তাকে প্রমাণ চাপ বলে।

∴ প্রমাণ চাপ = 760 mm পারদস্তম্ভ চাপ

onlinemodeltest.com

$= 0.76\ m \times 13596\ kg\ m^{-3} \times 9.806\ m\ s^{-2}$

$= 1.013 \times 10^5\ N\ m^{-2} = 1.013 \times 10^5\ Pa$

চাপের বিভিন্ন এককের মধ্যে সম্পর্ক

চাপের একক প্যাস্কেল (P_a)। এ ছাড়াও চাপের কয়েকটি একক এখনও প্রচলিত আছে।

1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ = $1.013 \times 10^5\ N\ m^{-2} = 1.013 \times 10^5\ Pa$ = 760 mm পারদ চাপ = 76 cm পারদ চাপ

প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপ পূর্বে স্বাভাবিক তাপমাত্রা ও চাপ বা N.T.P নামে পরিচিত ছিল।

১০.৪। আদর্শ গ্যাস সমীকরণ বা গ্যাস সূত্রাবলির সমন্বয় $pV = nRT$

Ideal Gas Equation : $pV = nRT$

ধরা যাক, m ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন, চাপ ও পরম তাপমাত্রা যথাক্রমে V, p এবং T।

বয়েলের সূত্র থেকে আমরা পাই, $V \propto \frac{1}{p}$, যখন m এবং T ধ্রুব

এবং চার্লসের সূত্র থেকে আমরা পাই, $V \propto T$, যখন m এবং p ধ্রুব।

অনুপাতের সূত্রানুসারে, $V \propto \frac{T}{p}$ যখন m ধ্রুব

বা, $V = K\frac{T}{p}$

বা, $\frac{pV}{T} = K$

বা, $pV = KT$ ... ... (10.5)

এখানে K একটি ধ্রুব সংখ্যা, এর মান গ্যাসের ভর, m ওপর নির্ভর করে।

যদি $T_1, T_2 \ldots\ldots T_n$ কেলভিন তাপমাত্রায় এবং $p_1, p_2 \ldots\ldots p_n$ চাপে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন যথাক্রমে $V_1, V_2 \ldots V_n$ হয়, তাহলে উপরিউক্ত সমীকরণ অনুসারে,

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} = \ldots\ldots\ldots\ldots = \frac{p_nV_n}{T_n} = K, \text{ধ্রুবক} \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.6)$$

যদি এক মোল (mole) বা এক গ্রাম অণু গ্যাস বিবেচনা করা হয় তাহলে সকল গ্যাসের জন্য এ ধ্রুব সংখ্যার মান একই হয়। তখন এ ধ্রুবককে R দিয়ে নির্দেশ করা হয়, অন্যক্ষেত্রে একে K দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

সুতরাং এক মোল গ্যাসের জন্য

$$\frac{pV}{T} = R$$

বা, $pV = RT$ ... ... (10.7)

এখানে R হচ্ছে মোলার গ্যাস ধ্রুবক এবং V হচ্ছে এক মোল গ্যাসের আয়তন। অ্যাভোগাড্রোর অনুকম্প অনুসারে অভিন্ন চাপ ও তাপমাত্রায় যেকোনো গ্যাসের এক মোল একই আয়তন দখল করে এবং প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে এ আয়তন হচ্ছে 22.4 litre বা, $22.4 \times 10^{-3}\ m^3$। সুতরাং R-এর মান সকল গ্যাসের জন্য একই। এজন্য R-কে সর্বজনীন বা বিশ্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক বলে। R-এর মান এসআই বা আন্তর্জাতিক পদ্ধতিতে $8.31\ J\ K^{-1}\ mol^{-1}$।

যদি এক মোল বা এক গ্রাম অণু গ্যাস না নিয়ে m পরিমাণ গ্যাস নেওয়া হয় যার আয়তন V এবং ঐ গ্যাসের আণবিক ভর যদি M হয়, তবে এক মোল বা এক গ্রাম অণু গ্যাসের আয়তন হবে $\frac{M}{m}V$। সুতরাং (10.7) সমীকরণে V-এর পরিবর্তে $\frac{M}{m}V$ বসিয়ে আমরা পাই,

$$p\frac{M}{m}V = RT$$

Online Model Test onlinemodeltest.com

$$\text{বা, } pV = \frac{m}{M} RT \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.8)$$

কিন্তু $\frac{m}{M}$ হচ্ছে গ্যাসের মোলের সংখ্যা যা পূর্ণসংখ্যা বা ভগ্নাংশ হতে পারে। একে n দিয়ে প্রকাশ করা হলে উপরিউক্ত সমীকরণ দাঁড়ায়,

$$pV = nRT \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.9)$$

এ সমীকরণ হচ্ছে বয়েল ও চার্লসের সূত্রের সংযুক্ত রূপ। এ সমীকরণকে সাধারণত গ্যাস সমীকরণ বা আদর্শ গ্যাসের অবস্থার সমীকরণ বলা হয়। কেননা, যেকোনো ভরের গ্যাসের চাপ, আয়তন এবং তাপমাত্রা জেনে এর ভৌত অবস্থা পরিপূর্ণভাবে জানা যায়।

যে সকল গ্যাস বয়েল ও চার্লসের সূত্র যুগ্মভাবে (অর্থাৎ 10.9 সমীকরণ) মেনে চলে তাদেরকে আদর্শ গ্যাস বলে। এজন্য (10.9) সমীকরণকে আদর্শ গ্যাস সমীকরণও বলে। বাস্তবে কোনো গ্যাসই আদর্শ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে না। কেবলমাত্র নিম্নচাপ ও উচ্চ তাপমাত্রায় গ্যাস এ সমীকরণ মেনে চলে।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : দেখাও যে, একক চাপে কোনো আদর্শ গ্যাসের এক মোলের আয়তন বনাম পরম তাপমাত্রার লেখচিত্রের ঢালই হচ্ছে সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক R।

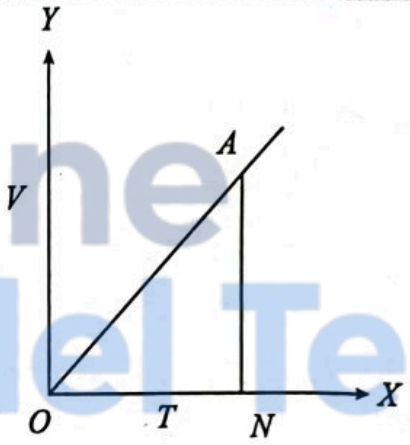
এক মোল গ্যাসের জন্য আদর্শ গ্যাস সমীকরণ হচ্ছে $pV = RT$

একক চাপের ক্ষেত্রে $p = 1$ একক

$\therefore V = RT$ অর্থাৎ $V \propto T$

বা, $\frac{V}{T} = R$

এখন X-অক্ষের দিকে পরম বা কেলভিন তাপমাত্রা T এবং Y-অক্ষের দিকে একক চাপে এক মোল গ্যাসের আয়তন নিয়ে লেখচিত্র আঁকলে সেটি মূলবিন্দুগামী সরলরেখা হবে (চিত্র : ১০.৩)। এ সরলরেখা X-অক্ষের সাথে যে কোণ উৎপন্ন করে তার ট্যানজেন্টই হচ্ছে V-T রেখার ঢাল।



চিত্র : ১০.৩

সরলরেখার ওপরস্থ A বিন্দু থেকে Y-অক্ষের ওপর অঙ্কিত লম্ব AN। এখন $ON = T$ ধরলে $AN = V$ হবে।

সুতরাং OA রেখার ঢাল $= \tan \angle AON = \frac{AN}{ON}$

$\therefore V$–T রেখার ঢাল, $= \frac{AN}{ON} = \frac{V}{T} = R$

অর্থাৎ একক চাপের গ্যাসের এক মোলের আয়তন বনাম পরম তাপমাত্রা লেখচিত্রের ঢালই হচ্ছে ঐ গ্যাসের সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক।

১০.৫। গ্যাস ধ্রুবকের মান

Magnitude of Gas Constant

(ক) সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক R-এর মান : এক মোল গ্যাসের জন্য গ্যাস ধ্রুবককে সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক বা মোলার গ্যাস ধ্রুবক R বলা হয়।

এক মোল গ্যাসের জন্য $pV = RT$ এ সমীকরণ যেকোনো আদর্শ গ্যাসের বেলায় সকল তাপমাত্রা ও চাপের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। অর্থাৎ

$$R = \frac{pV}{T} = \frac{p_\circ V_\circ}{T_\circ}$$

এখানে $V_\circ$ হচ্ছে প্রমাণ চাপ $p_\circ$ এবং প্রমাণ তাপমাত্রা $T_\circ$ তে যেকোনো গ্যাসের এক মোলের আয়তন।

onlinemodeltest.com

এখন, প্রমাণ চাপ, $p_0 = 1.013 \times 10^5\ \text{N m}^{-2}$

এবং প্রমাণ তাপমাত্রা, $T_0 = 273.15\ \text{K}$

এবং অ্যাভোগাড্রোর অনুকল্প অনুসারে প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে যেকোনো গ্যাসের এক মোল 22.4 litre অর্থাৎ $22.4 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$ আয়তন দখল করে। সুতরাং $V_0 = 22.4 \times 10^{-3}\ \text{m}^3\ \text{mol}^{-1}$

$$\therefore R = \frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{(1.013 \times 10^5\ \text{N m}^{-2}) \times (22.4 \times 10^{-3}\ \text{m}^3\ \text{mol}^{-1})}{273.15\ \text{K}}$$

$$= 8.31\ \text{J K}^{-1}\ \text{mol}^{-1}$$

(খ) গ্যাস ধ্রুবক K-এর মান : (10.5) এবং (10.9) সমীকরণ তুলনা করে আমরা দেখি,

$$K = n R = \frac{m}{M} R \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.10)$$

গ্যাস ধ্রুবক K-এর মান গ্যাসের মোলের সংখ্যা অর্থাৎ এর ভর ও আণবিক ভরের ওপর নির্ভর করে।

সুতরাং 1 মোল গ্যাসের ক্ষেত্রে গ্যাস ধ্রুবক R এবং n মোল গ্যাসের ক্ষেত্রে গ্যাস ধ্রুবক হলো nR।

১০.৬। তাপমাত্রা ও চাপের সাথে গ্যাসের ঘনত্বের পরিবর্তন

Variation of Density of a Gas with Temperature and Pressure

m ভরবিশিষ্ট কোনো গ্যাসের p_1 চাপে এবং T_1 তাপমাত্রায় যদি আয়তন V_1 এবং ঘনত্ব ρ_1 হয় এবং ঐ গ্যাসের p_2 চাপে এবং T_2 তাপমাত্রায় আয়তন V_2 এবং ঘনত্ব ρ_2 হয় তবে

$$\rho_1 = m/V_1$$

বা, $V_1 = m/\rho_1$

এবং $\rho_2 = m/V_2$

বা, $V_2 = m/\rho_2$

এখন, $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ সম্পর্কে V_1 এবং V_2-এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

$$\frac{p_1 m}{\rho_1 T_1} = \frac{p_2 m}{\rho_2 T_2} = \text{ধ্রুবক}$$

বা, $\frac{p_1}{\rho_1 T_1} = \frac{p_2}{\rho_2 T_2} = \text{ধ্রুবক}$

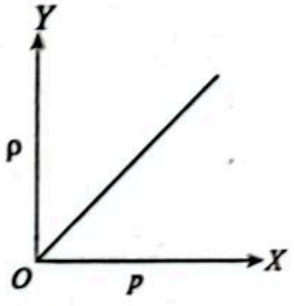
বা, $\frac{\rho_1 T_1}{p_1} = \frac{\rho_2 T_2}{p_2} = \text{ধ্রুবক} \quad \ldots \quad (10.11)$

অর্থাৎ $\frac{\rho T}{p} = \text{ধ্রুবক}$

এ সম্পর্ক চাপ ও তাপমাত্রার সাথে ঘনত্বের পরিবর্তন নির্দেশ করে।

যদি তাপমাত্রা স্থির থাকে অর্থাৎ $T_1 = T_2$ হয় তবে (10.11) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়,

বা, $\frac{\rho_1}{p_1} = \frac{\rho_2}{p_2} = \text{ধ্রুবক}$



চিত্র : ১০.৪ (ক)

onlinemodeltest.com

বা, $\rho = \text{ধ্রুবক} \times p$

বা, $\rho \propto p$

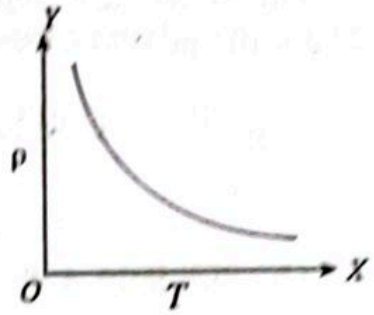
সুতরাং স্থির তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের ঘনত্ব এর চাপের সমানুপাতিক।

আবার যদি চাপ স্থির থাকে, অর্থাৎ $p_1 = p_2$ হয় তবে

$$\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2 = \text{ধ্রুবক}$$

বা, $\rho \propto \frac{1}{T}$

সুতরাং স্থির চাপে গ্যাসের ঘনত্ব এর পরম তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক।



চিত্র : ১০.৪ (খ)

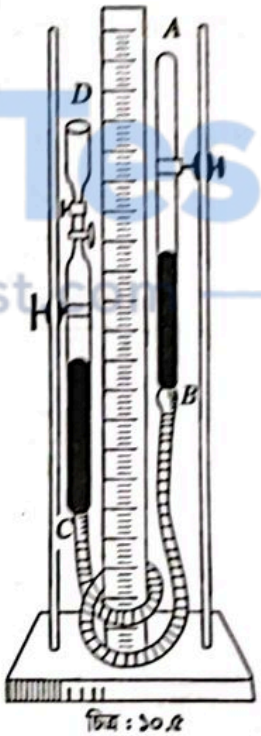
X-অক্ষের দিকে চাপ p এবং Y-অক্ষের দিকে ঘনত্ব ρ নিয়ে লেখচিত্র আঁকলে (১০.৪ ক) চিত্রের ন্যায় মূলবিন্দুগামী সরলরেখা পাওয়া যাবে। আবার X-অক্ষের দিকে তাপমাত্রা T এবং Y-অক্ষের ঘনত্ব ρ নিয়ে অঙ্কিত লেখচিত্রটি (১০.৪খ) চিত্রের ন্যায় আয়তাকার অধিবৃত্ত হবে।

কর্মকাণ্ড : X-অক্ষের দিকে p এবং Y-অক্ষের দিকে $\frac{\rho T}{p}$ নিয়ে লেখচিত্রটি কেমন হবে এঁকে দেখাও।

১০.৭। ব্যবহারিক-১

Practical–1

বয়েলের যন্ত্রের বর্ণনা : এ যন্ত্রের AB ও CD দুটি কাচ নল আছে। AB একটি সুষম প্রস্থচ্ছেদের নল যার ওপরের মুখ বন্ধ। CD নলের দু মুখ খোলা। নলদ্বয় একটি লম্বা রবারের নল দ্বারা সংযুক্ত করা থাকে (চিত্র-১০.৫)। নল দুটি একটি কাচের ফ্রেমের সাথে লাগানো স্কেলের দু পাশে আটকানো থাকে। স্কেলের সাহায্যে পারদের উচ্চতার অবস্থান ও পার্থক্য নির্ণয় করা যায়। CD নলকে প্রয়োজনমতো ওঠানো নামানো যায়। AB নলের ওপরের অংশে বায়ু আবদ্ধ অবস্থায় থাকে। AB নলের ভেতর যে বায়ু থাকে তার আয়তন নলের অভ্যন্তরীণ প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল ও বায়ুপূর্ণ অংশের দৈর্ঘ্যের গুণফলের সমান। যেহেতু নলের অভ্যন্তরীণ প্রস্থচ্ছেদ নলের সর্বত্র সমান, সুতরাং এর ভেতরের বায়ুর আয়তন ঐ দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক হবে। বায়ুপূর্ণ স্থানের দৈর্ঘ্য স্কেলের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।



চিত্র : ১০.৫

পরীক্ষণের নাম	বয়েল-এর সূত্রের সত্যতা যাচাই এবং p-V লেখচিত্র অঙ্কন।
পিরিয়ড : ২	

মূলতত্ত্ব : স্থির তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন এর চাপের ব্যস্তানুপাতিক। কোনো নির্দিষ্ট ভরবিশিষ্ট গ্যাসের আয়তন যদি V এবং চাপ p হয় তাহলে স্থির তাপমাত্রায়

$V \propto \frac{1}{p}$, যখন ভর ও তাপমাত্রা ধ্রুব।

বা, $pV = K$. ধ্রুবসংখ্যা।

যন্ত্রপাতি এবং অন্যান্য দ্রব্যাদি : বয়েল–এর যন্ত্র, ব্যারোমিটার, থার্মোমিটার ইত্যাদি।

১. পরীক্ষা শুরু করার আগে ব্যারোমিটার থেকে বায়ুমণ্ডলের চাপ জেনে নেওয়া হয়।

onlinemodeltest.com

ক. বায়ুমণ্ডলের চাপ

২. খোলা নল CD কে ওঠানামা করিয়ে এমন উচ্চতায় রাখা হয় যেন উভয় নলের পারদস্তম্ভ একই সমতলে থাকে। এ অবস্থায় AB নলে আবদ্ধ বায়ুর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়।

৩. এখন স্কেল থেকে AB নলের বন্ধ মুখের ও উভয় নলের পারদ তলের পাঠ নেওয়া হয়। এ দু পাঠের পার্থক্য থেকে AB নলে আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়।

খ. বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে বেশি চাপের জন্য

৪. এবার CD নলকে ধীরে ধীরে ওপরে ওঠানো হলো। এ অবস্থায় CD নলের পারদস্তম্ভ AB নলের পারদস্তম্ভের ওপর থাকে এবং AB নলে আবদ্ধ বায়ুচাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে বেশি হয়।

৫. দু নলের পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য নির্ণয় করা হয়। এ পার্থক্য থেকে অতিরিক্ত চাপ পাওয়া যায়। বায়ুমণ্ডলের চাপের মানের সাথে এ চাপ যোগ করে মোট চাপ পাওয়া যায়। ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতা H m এবং দু নলের পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য h m হলে মোট চাপ $p = (H + h)$ m পারদস্তম্ভ চাপ। সমগ্র প্রক্রিয়া ৫/৬ বার পুনরাবৃত্তি করা হয়।

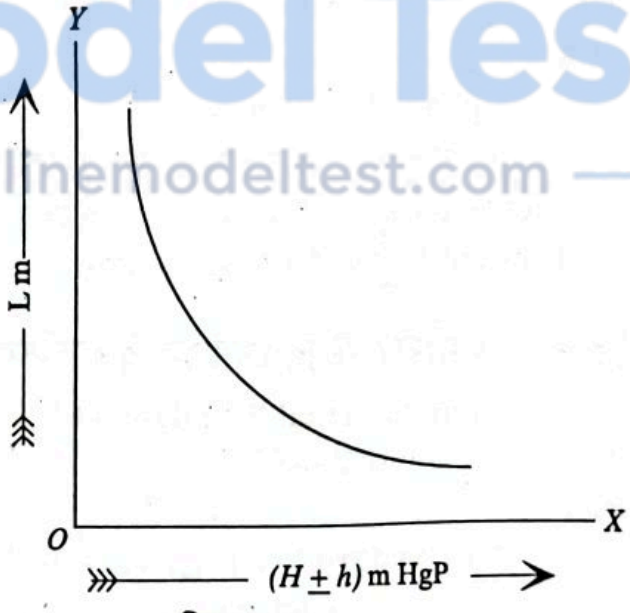
গ. বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে কম চাপের জন্য

৬. CD নলকে ধীরে ধীরে নিচে এমনভাবে নামানো হয় যে খোলা নলের পারদের উচ্চতা বন্ধ নলের পারদের উচ্চতার চেয়ে কম হয়। এ অবস্থায় AB নলের আবদ্ধ বায়ুর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের চেয়ে কম।

৭. আগের মতো উভয় নলে পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য নির্ণয় করে অতিরিক্ত চাপ পাওয়া যায়। বায়ুমণ্ডলের চাপ থেকে এ চাপ বিয়োগ করে মোট চাপ নির্ণয় করা হয়। ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতা H m এবং নলদ্বয়ে পারদস্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য h m হলে, মোট চাপ $p = (H - h)$ m পারদস্তম্ভ চাপ। সমগ্র প্রক্রিয়াটি ৫/৬ বার পুনরাবৃত্তি করা হয়।

৮. প্রাপ্ত উপাত্তসমূহ ছকে বসিয়ে প্রয়োজনীয় হিসাবের সাহায্যে বয়েল-এর সূত্রের সত্যতা নিরূপণ করা হয়।

৯. X-অক্ষের দিকে মোট চাপ $(H \pm h)$ এবং Y অক্ষের দিকে L স্থাপন করে লেখচিত্র আঁকলে একটি আয়তাকার অধিবৃত্ত পাওয়া যাবে (চিত্র : ১০.৬)।



চিত্র : ১০.৬

পর্যবেক্ষণ ও সন্নিবেশন

১. ব্যারোমিটারে পারদস্তম্ভের উচ্চতা, $H =$ ..... m Hg P

২. পরীক্ষাগারের তাপমাত্রা, $\theta =$ ..... ° C

Online Model Test onlinemodeltest.com

বয়েল-এর সূত্র প্রমাণের ছক

চাপ	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	আবদ্ধ নলের ওপর প্রান্তের পাঠ a	আবদ্ধ নলের পারদ শীর্ষের পাঠ b	খোলা নলের পারদ শীর্ষের পাঠ c	বায়ু-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য $a-b=L$	বদ্ধ ও খোলা নলের পারদ শীর্ষের পাঠের পার্থক্য $c\sim b=h$	আবদ্ধ বায়ুর মোট চাপ $p=H\pm h$	গুণফল $pV=(H\pm h)\times L$	মন্তব্য
		m	m	m	m	m	m Hg P		
বায়ুমণ্ডলীয় চাপে									
বায়ুমণ্ডলীয় চাপের চেয়ে বেশি চাপে									
বায়ুমণ্ডলীয় চাপের চেয়ে কম চাপে									

ফলাফল : যেহেতু চাপ ও আয়তনের গুণফল সবসময় একই হয় সুতরাং বয়েল-এর সূত্র প্রমাণিত।

ছক কাগজে মোট চাপ $(H\pm h)$ কে X-অক্ষ বরাবর এবং দৈর্ঘ্য L কে Y-অক্ষ বরাবর নিয়ে লেখচিত্র আঁকলে একটি আয়তাকার অধিবৃত্ত পাওয়া যায়। ১০.৬ লেখচিত্রের কয়েকটি বিন্দু হতে চাপ $(H\pm h)$ বের করে সংশ্লিষ্ট L দিয়ে গুণ করলে গুণফলের মান প্রতি ক্ষেত্রে একই হয়। অর্থাৎ বয়েলের সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

সতর্কতা

১. নল দুটি সম্পূর্ণ খাড়া হওয়া প্রয়োজন।

২. প্রত্যেকবার পাঠ নিয়ে পরবর্তী পাঠের জন্য কিছু সময় অপেক্ষা করতে হয়।

৩. দৃষ্টিভ্রমজনিত ত্রুটি পরিহার করে পাঠ নিতে হবে।

৪. তাপমাত্রার যাতে পরিবর্তন না হয় সেজন্য CD নলকে খুব ধীরে ধীরে ওঠানামা করাতে হয়।

১০.৮। গ্যাসের অণুর মৌলিক স্বীকার্যসমূহ

Fundamental Postulates of Gas Molecules

১। সকল গ্যাস অণুর সমন্বয়ে গঠিত। একটি গ্যাসের সকল অণু সদৃশ এবং একটি গ্যাসের অণু অন্য গ্যাসের অণু থেকে ভিন্ন।

২। গ্যাসের অণুগুলোর আকার অণুগুলোর মধ্যবর্তী দূরত্বের তুলনায় নগণ্য।

৩। গ্যাসের অণুগুলো কঠিন স্থিতিস্থাপক সদৃশ গোলক বিশেষ এবং অণুগুলোর নিজেদের মধ্যে কোনো আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল নেই। এদের শক্তি সম্পূর্ণটাই গতিশক্তি।

৪। গ্যাসের অণুগুলো অক্রম বা এলোমেলো (random) গতিতে গতিশীল এবং এগুলো নিউটনের গতিসূত্রসমূহ মেনে চলে। অণুগুলো সকল দিকে গতিশীল এবং এদের বেগের মান বিভিন্ন।

৫। অণুগুলো নিরবচ্ছিন্নভাবে একে অপরের সাথে এবং আধারের দেয়ালের সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হচ্ছে। দুটি সংঘর্ষের মধ্যবর্তী সময়ে একটি অণু সরলরেখায় চলে। দুটি সংঘর্ষের মধ্যবর্তী সময়ে একটি অণু যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে মুক্ত পথ বলে।

৬। একটি সংঘর্ষে যে সময় ব্যয় হয় তা দুটি সংঘর্ষের মধ্যবর্তী সময়ের তুলনায় নগণ্য।

৭। সংঘর্ষগুলো সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক।

onlinemodeltest.com

১০.৯। গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্ব
Molecular Kinetic Theory of Gases

পদার্থ মাত্রই অণু দিয়ে গঠিত। তাপশক্তির একটি রূপ এবং তা পদার্থের অণুগুলোর গতির সাথে সম্পর্কিত। পদার্থের অণুগুলো সবসময়ই গতিশীল। বায়বীয় পদার্থের অণুগুলো মোটামুটি স্বাধীনভাবে কোনো বদ্ধ স্থানের মধ্যে নড়াচড়া করতে পারে। বায়বীয় পদার্থের আচরণের নিয়মগুলো পেতে যে তত্ত্ব সৃষ্টি হয়েছে সে তত্ত্বই গ্যাসের গতিতত্ত্ব নামে পরিচিত। গতিতত্ত্বের মূল কথা হলো তাপীয় উত্তেজনার ফলে গ্যাসের অণুগুলো অক্রম বা এলোমেলো (random) গতিতে গতিশীল। গ্যাসের অণুগুলোর গড় গতিশক্তি গ্যাসের পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক। যখন গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায় তখন অণুগুলোর গড় গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়। যখন গ্যাস থেকে তাপ অপসারণ করা হয় তখন অণুগুলোর গড় গতিশক্তি হ্রাস পায়। সুতরাং পরমশূন্য তাপমাত্রায় গতিশক্তি শূন্য হবে। এর অর্থ পরমশূন্য তাপমাত্রায় অণুগুলো স্থির অবস্থায় থাকবে এবং কোনো গতি শক্তি থাকবে না। কিন্তু পরমশূন্য তাপমাত্রায় পৌছার পূর্বেই সকল গ্যাস তরল বা কঠিন অবস্থায় রূপান্তরিত হয়ে যায়। গ্যাসের নানাবিধ আচরণের সাথে যেমন গ্যাসের ব্যাপন (diffusion), অভিস্রবণ (osmosis), স্বতঃবাষ্পীভবন (evaporation), বা চাপ, গ্যাসের প্রসারণ, ব্রাউনীয় গতি ইত্যাদির মোটামুটি ব্যাখ্যা গ্যাসের গতিতত্ত্ব থেকে পাওয়া যায়। ব্রাউনীয় গতি থেকে গতিতত্ত্বের প্রত্যক্ষ প্রমাণও পাওয়া যায়।

যে গ্যাসের অণুগুলো যেকোনো তাপমাত্রা এবং চাপে গতিতত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্যগুলো মেনে চলে এবং স্বীকার্য থেকে লব্ধ সূত্রানুযায়ী আচরণ করে সে গ্যাসকে আদর্শ গ্যাস বলে। প্রকৃতপক্ষে কোনো গ্যাসই আদর্শ গ্যাসের মতো আচরণ করে না এটি কেবল কল্পনামাত্র। তবুও আমরা এ আদর্শ গ্যাসের যাবতীয় সূত্র থেকে প্রকৃত গ্যাসের আচরণ সম্পর্কে ধারণা পেতে পারি।

১০.১০। গড় বেগ, গড় বর্গবেগ, মূল গড় বর্গবেগ এবং সর্বাধিক সম্ভাব্য বেগ
Mean Velocity, Mean Square Velocity, Root Mean Square Velocity & Most Probable velocity

গড় বেগ (Mean Velocity)

সংজ্ঞা : গ্যাস অণুগুলোর বেগের গাণিতিক গড়কে তাদের গড় বেগ বলে।

কোনো গ্যাসের N সংখ্যক অণুর প্রতিটির বেগ যথাক্রমে $c_1, c_2, c_3 \ldots\ldots\ldots c_N$ হলে, অণুগুলোর গড় বেগ হবে,

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + c_N}{N} \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.12)$$

গড় বর্গবেগ (Mean Square Velocity)

সংজ্ঞা : কোনো গ্যাসের সকল অণুর বেগের বর্গের গড়কে গড় বর্গবেগ বলে।

কোনো গ্যাসের N সংখ্যক অণুর প্রতিটির বেগ যথাক্রমে $c_1, c_2, c_3, \ldots\ldots c_N$ হলে অণুগুলোর বেগের বর্গের সমষ্টি $c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \ldots\ldots + c_N^2$

এবং গড় বর্গবেগ $\overline{c^2} = \frac{c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \ldots + c_N^2}{N}$ $\ldots$ $\ldots$ (10.13)

onlinemodeltest.com

মূল গড় বর্গবেগ বা গড় বর্গবেগের বর্গমূল (Root Mean Square Velocity)

যেহেতু গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্য অনুসারে গ্যাসের অণুগুলো ইতস্তত বিক্ষিপ্তভাবে সকল দিকে বিভিন্ন বেগে গতিশীল। সুতরাং কোনো গ্যাসের বিপুলসংখ্যক অণুর বেগের সমষ্টি তথা গড়বেগ শূন্য হবে, যা অর্থহীন। এজন্য অণুগুলোর গড়বেগের পরিবর্তে মূল গড় বর্গবেগ নেওয়া হয় যা অণুগুলোর বেগের প্রতিনিধিত্বশীল মান।

সংজ্ঞা : কোনো গ্যাসের সকল অণুর বেগের বর্গের গড়মানের বর্গমূলকে মূল গড় বর্গবেগ বা গড় বর্গবেগের বর্গমূল (rms velocity) বলে।

কোনো গ্যাসের N সংখ্যক অণুর প্রতিটির বেগ যথাক্রমে $c_1, c_2, c_3 \ \dots \ c_N$ হলে

বেগের গড় বর্গের মূল c বা, C_{rms} বা, $\sqrt{\bar{c}^2}$ হবে,

$$C_{rms} = \sqrt{\bar{c}^2} = \sqrt{\frac{c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \dots + c_N^2}{N}} \quad \dots \quad \dots \quad (10.14)$$

সর্বাধিক সম্ভাব্য বেগ (Most Probable Velocity)

সংজ্ঞা : কোনো গ্যাসের বেশিরভাগ অণুগুলো যে বেগে গতিশীল থাকে তাকে সর্বাধিক সম্ভাব্য বেগ বলে।

১০.১১। আদর্শ গ্যাসের চাপের রাশিমালা
Expressions for the Pressure of a Perfect Gas

ধরা যাক, একটি ঘনাকৃতি পাত্রে গ্যাস আবদ্ধ আছে (চিত্র ১০.৭)। পাত্রের দেয়ালগুলো সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক।

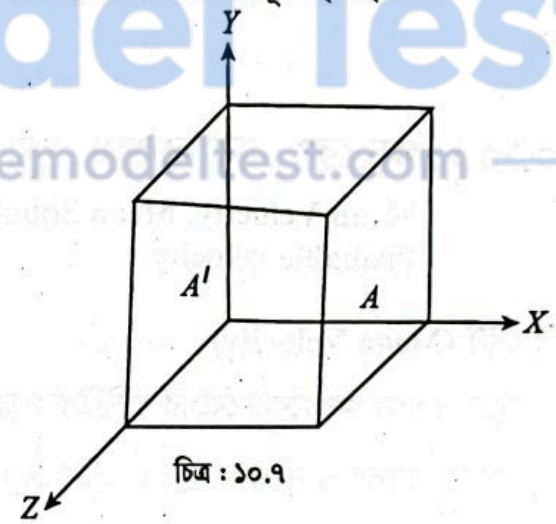
ধরা যাক, l = পাত্রের প্রতি বাহুর দৈর্ঘ্য

$\therefore l^3$ = পাত্রের আয়তন তথা গ্যাসের আয়তন = V

m = প্রতিটি অণুর ভর।

N = অণুর সংখ্যা।

$\therefore mN$ = গ্যাসের মোট ভর = M



চিত্র : ১০.৭

প্রথমে একটি অণুর কথা বিবেচনা করা যাক, যেটি X-অক্ষ বরাবর পাত্রের A দেয়ালের দিকে u_1 বেগে গতিশীল।

সুতরাং অণুটি X-অক্ষের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত A দেয়ালে u_1 বেগে ধাক্কা খায়। ধাক্কাটি সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক বলে অণুটি $-u_1$ বেগে বিপরীত দিকে চলতে থাকবে। এ ধাক্কার ফলে A-এর সাথে লম্ব বরাবর অণুটির ভরবেগের পরিবর্তন হবে $-mu_1 - (mu_1) = -2mu_1$ । ভরবেগের নিত্যতার সূত্রানুসারে এ ধাক্কার অর্থাৎ সংঘর্ষের ফলে A দেয়ালটিরও সমান এবং বিপরীত ভরবেগের পরিবর্তন হবে $2mu_1$।

ধরা যাক, t সময়ে ভরবেগের এ পরিবর্তন সাধিত হয়।

$\therefore t$ = A দেয়ালে অণুটির পরপর দুটি ধাক্কার মধ্যবর্তী সময়।

= অণুটির A দেয়াল থেকে A' দেয়ালে গিয়ে পুনরায় A তে ফিরে আসার সময়।

= অণুটির $2l$ দূরত্ব অতিক্রম করার সময়।

$$= \frac{\text{অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\text{বেগ}} = \frac{2l}{u_1}$$

onlinemodeltest.com

সুতরাং অণুটির সাথে সংঘর্ষের ফলে A দেয়ালের ভরবেগের পরিবর্তনের হার

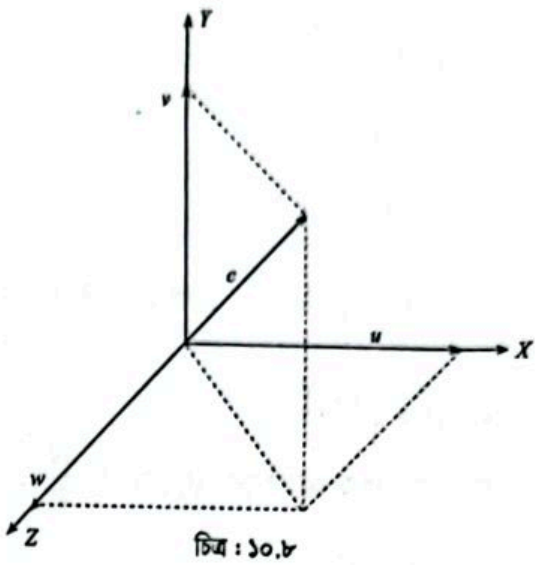
$$= \frac{2mu_1}{t} = \frac{2mu_1u_1}{2l} = \frac{mu_1^2}{l}$$

কিন্তু নিউটনের গতির দ্বিতীয় সূত্রানুসারে A দেয়ালের এ ভরবেগের পরিবর্তনের হার এর ওপর প্রযুক্ত বলের সমান। অর্থাৎ

A দেয়ালের ওপর প্রযুক্ত বল $= \frac{mu_1^2}{l}$ ।

সুতরাং A দেয়ালের একক ক্ষেত্রফলের ওপর প্রযুক্ত বল $= \frac{mu_1^2}{l.l^2}$

অতএব A দেয়ালের ওপর চাপ $= \frac{mu_1^2}{l^3}$



চিত্র : ১০.৮

পাত্রের মধ্যে মোট N সংখ্যক অণু থাকলে এবং X অক্ষ বরাবর অণুগুলোর বেগ যথাক্রমে $u_1, u_2 \ldots, u_N$, হলে A দেয়ালের ওপর মোট চাপ

$$p = \frac{m}{l^3}(u_1^2 + u_2^2 + \cdots + u_N^2)$$

এখন X-অক্ষ বরাবর অণুগুলোর গড় বর্গবেগ $\overline{u^2}$ হলে

$$\overline{u^2} = \frac{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \ldots + u_N^2}{N}$$

বা, $u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \ldots + u_N^2 = N\,\overline{u^2}$

$$\therefore p = \frac{m}{l^3} N\,\overline{u^2}$$

এখন ধরা যাক, অণুগুলো X-অক্ষ বরাবর গতিশীল না হয়ে যেকোনো দিকে গতিশীল। একটি অণুর কথা বিবেচনা করা যাক, যেকোনো দিকে যার বেগ c এবং X, Y ও Z- অক্ষ বরাবর তার বেগের উপাংশ যথাক্রমে u, v ও w (চিত্র : ১০.৮)।

সুতরাং $c^2 = u^2 + v^2 + w^2$

এখন যেকোনো দিকে অণুগুলোর গড় বর্গবেগ $\overline{c^2}$ এবং X, Y ও Z অক্ষ বরাবর অণুগুলোর গড় বর্গবেগ যথাক্রমে $\overline{u^2}$, $\overline{v^2}$ এবং $\overline{w^2}$ হলে

$$\overline{c^2} = \overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}$$

যেহেতু বিপুল সংখ্যক অণু এলোমেলো গতিতে গতিশীল এবং বিশেষ কোনো দিকে তাদের বেগের উপাংশ কম বা বেশি হওয়ার কোনো কারণ নেই, তাই আশা করা যায়,

$$\overline{u^2} = \overline{v^2} = \overline{w^2}$$

$$\therefore \overline{c^2} = 3\,\overline{u^2}$$

অতএব $\overline{u^2} = \frac{1}{3}\overline{c^2}$

Online Model Test
onlinemodeltest.com

$\therefore p = \frac{1}{3}\frac{m}{l^3} N\bar{c^2}$

বা, $p = \frac{1}{3}\frac{mN}{V}\bar{c^2}$

$[\because l^3 = V]$

$\therefore pV = \frac{1}{3} mN\bar{c^2}$ ... ... (10.15)

বা, $pV = \frac{1}{3} M\bar{c^2}$ [গ্যাসের মোট ভর $M = mN$] ... ... (10.16)

বা, $p = \frac{1}{3}\frac{mN\bar{c^2}}{V}$ . ... (10.17)

পাত্রের একক আয়তনে অণুর সংখ্যা $\frac{N}{V} = n$ হলে, (10.17) সমীকরণ

$p = \frac{1}{3} mn\bar{c^2}$ ... ... (10.18)

পাত্রের মধ্যবর্তী গ্যাসের মোট ভর, $M = mN$ এবং ঘনত্ব, $\rho = \frac{mN}{V}$ হওয়ায় সমীকরণ (10.18) থেকে আমরা পাই,

$p = \frac{1}{3}\rho\bar{c^2}$ ... ... (10.19)

আবার সমীকরণ (10.15) থেকে

$pV = \frac{1}{3} mN\bar{c^2} = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} mN\bar{c^2}$

$= \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} M\bar{c^2}$ [গ্যাসের ভর, $M = mN$]

$pV = \frac{2}{3} E$ $\left[\text{এখানে গ্যাসের গতিশক্তি, } E = \frac{1}{2} M\bar{c^2}\right]$ ... (10.20)

$\therefore p = \frac{2}{3}\frac{E}{V}$

অর্থাৎ গ্যাসের চাপ-এর একক আয়তনের অণুগুলোর গতিশক্তির দু-তৃতীয়াংশ।

এক মোল তথা একগ্রাম অণু গ্যাস বিবেচনা করা হলে আমরা জানি,

$pV = RT$ বা, $\frac{2}{3} E = RT$

বা, $E = \frac{3}{2} RT$ ... ... (10.21)

সুতরাং T কেলভিন তাপমাত্রায় প্রতি মোল গ্যাসের গতিশক্তি $= \frac{3}{2} RT$

$\therefore n$ মোল গ্যাসের মোট গতিশক্তি, $E = \frac{3}{2} nRT = \frac{3}{2}\frac{m}{M} RT$ ... ... (10.22)

আবার, এক মোল গ্যাসের ক্ষেত্রে $pV = RT$ এবং $pV = \frac{1}{3} mN\bar{c^2}$

$\therefore \frac{1}{3} mN\bar{c^2} = RT$

বা, $\bar{c^2} = \frac{3RT}{mN} = \frac{3RT}{M}$ [এখানে $mN = M =$ এক মোল গ্যাসের ভর]

onlinemodeltest.com

$$\therefore \sqrt{\bar{c}^2} = c_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.23)$$

যেহেতু M এবং R ধ্রুব

$$\sqrt{\bar{c}^2} \propto \sqrt{T} \quad \text{বা, } c_{rms} \propto \sqrt{T}$$

অর্থাৎ কোনো গ্যাসের মূল গড় বর্গবেগ তার কেলভিন তাপমাত্রার বর্গমূলের সমানুপাতিক। এর থেকে দেখা যায়, শূন্য কেলভিন (0 K) তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের মূল গড় বর্গবেগ শূন্য হবে। এর অর্থ শূন্য কেলভিন (0 K) তাপমাত্রায় অণুগুলো স্থির অবস্থায় থাকবে এবং কোনো গতিশক্তি থাকবে না।

যেকোনো পদার্থের এক মোলে তথা এক গ্রাম অণুতে অণুর সংখ্যাকে অ্যাভোগাড্রোর সংখ্যা N_A বলে। কোনো পদার্থের এক গ্রাম অণুতে অণুর সংখ্যা N_A সবসময়ই ধ্রুবক এবং তা হচ্ছে $N_A = 6.022 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$। সুতরাং প্রতি অণুর গড় গতিশক্তি হচ্ছে,

$$\bar{E} = \frac{E}{N_A} = \frac{3}{2}\frac{R}{N_A}T = \frac{3}{2}kT \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.24)$$

এখানে $k = \frac{R}{N_A}$ হচ্ছে প্রতি অণুর জন্য গ্যাস ধ্রুবক এবং একে বোলজম্যান ধ্রুবক (Boltzman constant) বলে। এর মান $1.38 \times 10^{-23}\ \text{J K}^{-1}$.

প্রত্যেক অণুর ভর m এবং অণুগুলোর গড় বর্গবেগ $\bar{c}^2$ হলে এর গড় গতিশক্তি $E = \frac{1}{2}m\bar{c}^2$ ... (10.25)

সমীকরণ (10.24) ও (10.25) থেকে আমরা পাই,

$$\frac{3}{2}kT = \frac{1}{2}m\bar{c}^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.26)$$

বা, $\bar{c}^2 = \frac{3kT}{m}$

উভয় পক্ষকে বর্গমূল করে মূল গড় বর্গবেগ পাওয়া যায়,

সুতরাং মূল গড় বর্গবেগ

$$\sqrt{\bar{c}^2} = c_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.27)$$

R এবং k এর মধ্যে পার্থক্য হলো R হচ্ছে প্রতি মোলের জন্য গ্যাস ধ্রুবক আর k হচ্ছে প্রতি অণুর জন্য গ্যাস ধ্রুবক।

কর্মকাণ্ড : E বনাম T লেখচিত্রটি কেমন হবে এঁকে দেখাও।

১০.১২। গ্যাসের গতিতত্ত্ব ও আদর্শ গ্যাসের সূত্র

Kinetic Theory of Gas and Ideal Gas laws

১. বয়েলের সূত্র : গ্যাসের গতিতত্ত্বের সমীকরণ (10.16) থেকে আমরা জানি $pV = \frac{1}{3}M\bar{c}^2$ ।

তাপমাত্রা স্থির থাকলে $\bar{c}^2$ ধ্রুব এবং গ্যাসের ভর M ধ্রুব হওয়ায় $\frac{1}{3}M\bar{c}^2$ ধ্রুব।

$$\therefore pV = \frac{1}{3}M\bar{c}^2 = \text{ধ্রুব}$$

বা, $V \propto \frac{1}{p}$

অর্থাৎ স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন এর চাপের ব্যস্তানুপাতিক। এটাই বয়েলের সূত্র।

onlinemodeltest.com

২. চার্লসের সূত্র : গ্যাসের গতিতত্ত্বের সমীকরণ (10.21) থেকে আমরা জানি গ্যাস অণুর গতিশক্তি কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক,

অর্থাৎ $E \propto T$

বা, $\frac{1}{2} M \overline{c^2} \propto T$

বা, $\frac{1}{2} M \overline{c^2} = KT$ [এখানে K একটি ধ্রুবক]

সুতরাং সমীকরণ (10.16) থেকে আমরা পাই,

$$pV = \frac{1}{3} M \overline{c^2} = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} M \overline{c^2} = \frac{2}{3} KT$$

বা, $V = \frac{2K}{3p} \times T$

চাপ স্থির থাকলে $\frac{2K}{3p}$ ধ্রুব থাকে।

সুতরাং স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন এর কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক। এটাই চার্লসের সূত্র।

৩. চাপীয় সূত্র : গ্যাসের গতিতত্ত্বের সমীকরণ (10.21) থেকে আমরা জানি গ্যাস অণুর গতিশক্তি কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক। অর্থাৎ $E \propto T$

বা, $\frac{1}{2} M \overline{c^2} \propto T$

বা, $\frac{1}{2} M \overline{c^2} = KT$ [এখানে K একটি ধ্রুবক]

সুতরাং (10.16) সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$pV = \frac{1}{3} M \overline{c^2} = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} M \overline{c^2} = \frac{2}{3} KT$$

বা, $P = \frac{2K}{3V} \times T$

আয়তন স্থির থাকলে $\frac{2K}{3V}$ ধ্রুব থাকে।

সুতরাং স্থির আয়তনে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ এর কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক। এটাই চাপীয় সূত্র।

৪. আদর্শ গ্যাস সমীকরণ : গ্যাসের গতিতত্ত্বের সমীকরণ (10.21) থেকে আমরা জানি গ্যাস অণুর গতিশক্তি কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক। অর্থাৎ

$$E \propto T$$

বা, $\frac{1}{2} M \overline{c^2} \propto T$

সুতরাং (10.16) সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$pV = \frac{1}{3} M \overline{c^2}$$

অতএব, $pV \propto T$

সুতরাং $pV = KT$

যদি এক মোল গ্যাস বিবেচনা করা হয় যার আয়তন V

তাহলে, $pV = RT$ হবে।

এখানে R হচ্ছে সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক। আবার n মোল গ্যাসের জন্যে,

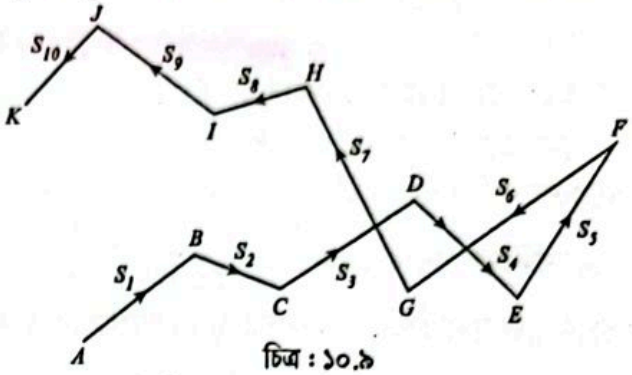
$pV = nRT$। এটিই হচ্ছে আদর্শ গ্যাস সমীকরণ।

Online Model Test
onlinemodeltest.com

onlinemodeltest.com

১০.১৩। গড় মুক্ত পথ বা গড় নির্বাধ দূরত্ব
Mean Free Path

আদর্শ গ্যাসের অণুগুলো সবসময়ই পরস্পরের সাথে এবং আধারের দেওয়ালের সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হচ্ছে। দুটি সংঘর্ষের মধ্যবর্তী স্থানে অণুগুলো মুক্তস্থানে বিচরণ করে বলে নিউটনের গতিসূত্র অনুযায়ী এদের গতি সরলরেখায় হয়ে থাকে। প্রতিটি সংঘর্ষের পর অণুর বেগের দিক পরিবর্তিত হয়। পরপর দুটি সংঘর্ষের মধ্যবর্তী দূরত্বকে বলে **মুক্ত পথ**। ১০.৯ চিত্রে A বিন্দু থেকে একটি অণু B-তে গিয়ে অন্য অণুর সাথে ধাক্কা খাচ্ছে এবং BC পথে যাচ্ছে। C বিন্দুতে আবার আর একটি অণুর সাথে ধাক্কা খেয়ে CD পথে যাচ্ছে।



চিত্র : ১০.৯

এ AB, BC, CD, DE, EF ইত্যাদি প্রত্যেকটি দূরত্বই মুক্ত পথ। যেহেতু অণুগুলোর গতি অক্রম, তাই বেশির ভাগ ক্ষেত্রেই যেকোনো দুটি মুক্ত পথ সমান হয় না। এ মুক্ত পথগুলোর গড় নিলে যে দূরত্ব পাওয়া যায় তাই গড় মুক্ত পথ।

সংজ্ঞা : কোনো অণুর পরপর দুটি সংঘর্ষের মধ্যবর্তী দূরত্বগুলোর গড় নিলে যে দূরত্ব পাওয়া যায় তাকেই গড় মুক্ত পথ বলে।

যদি N সংখ্যক ধাক্কার ভেতর অণু মোট l দূরত্ব অতিক্রম করে তবে গড় মুক্ত পথ, $\lambda = \frac{l}{N}$ ।

গড় মুক্ত পথের হিসাব : ক্লসিয়াসের পদ্ধতি

ধরা যাক, কোনো গ্যাসের প্রতি একক আয়তনে অণুর সংখ্যা n এবং প্রতিটি অণুর ব্যাস σ । আমরা যে অণুটির গড় মুক্ত পথ নির্ণয় করছি হিসাবের সুবিধার জন্য কেবলমাত্র সে অণুটিকে গতিশীল ধরে বাকি অণুগুলোকে স্থির বিবেচনা করছি।

১০.১০ চিত্রে আমরা C অণুটির গড় মুক্ত পথ হিসাব করতে চাই। C অণুটি l দূরত্ব অতিক্রম করার সময় অন্য যে সকল অণুর কেন্দ্র C অণুটির কেন্দ্র থেকে σ দূরে, (চিত্রে A ও B অণুদ্বয়) অথবা σ অপেক্ষা কম দূরে থাকবে তাদের সাথে ধাক্কা খাবে । অর্থাৎ σ ব্যাসার্ধ ও l দৈর্ঘ্যের একটি সিলিন্ডারের মধ্যে যে সকল অণুর কেন্দ্র থাকবে C অণুটি কেবলমাত্র তাদের সাথে ধাক্কা খাবে। এ সিলিন্ডারের আয়তন $\pi \sigma^2 l$।



চিত্র : ১০.১০

এখন একক আয়তনে অণুর সংখ্যা n হলে $\pi \sigma^2 l$ আয়তনে মোট অণুর সংখ্যা হবে $n \pi \sigma^2 l$। অর্থাৎ l দূরত্ব অতিক্রম করার সময় C অণুটি $n \pi \sigma^2 l$ সংখ্যক বার ধাক্কা খাবে।

যেহেতু কোনো অণুর পরপর দুটি সংঘর্ষের মধ্যবর্তী দূরত্বগুলোর গড় নিলে যে দূরত্ব পাওয়া যায় তাকে গড় মুক্ত পথ বলে।

অতএব গড় মুক্ত পথ, $\lambda = \frac{\text{অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\text{ধাক্কা সংখ্যা}} = \frac{l}{n \pi \sigma^2 l}$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{n \pi \sigma^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.28)$$

গড় মুক্ত পথের সাথে আণবিক ব্যাস, σ ও একক আয়তনে গ্যাসের অণুর সংখ্যা n-এর উপরিউক্ত সম্পর্ক নির্ণয় করেন ক্লসিয়াস।

এখন ধরা যাক, একটি অণুর ভর = m । যেহেতু একক আয়তনে অণুর সংখ্যা n, কাজেই

একক আয়তনে অণুর ভর = $m\,n$ = গ্যাসের ঘনত্ব ρ। (10.28) সমীকরণের হর ও লবকে m দিয়ে গুণ করে আমরা পাই,

onlinemodeltest.com

$$\lambda = \frac{m}{\pi \sigma^2 m n} = \frac{m}{\pi \sigma^2 \rho}$$

বা, $\lambda \propto \frac{1}{\rho}$ [কারণ m, π ও σ^2 ধ্রুব]

সুতরাং **গড় মুক্ত পথ গ্যাসের ঘনত্বের ব্যস্তানুপাতিক।** কিন্তু গ্যাসের ঘনত্ব, গ্যাসের চাপের সমানুপাতিক এবং পরম তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক। কাজেই গড় মুক্ত পথ গ্যাসের চাপের ব্যস্তানুপাতিক এবং পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

গড় মুক্ত পথের অন্যান্য রাশিমালা

ক্লসিয়াসের পদ্ধতিতে গড় মুক্ত পথ গণনা নির্ভুল নয়। কারণ, যে অণুর গড় মুক্ত পথ নির্ণয় করা হয়েছে সেটি ছাড়া অন্য অণুগুলোকে স্থির ধরা হয়েছে। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে সকল অণুই গতিশীল। **বোল্‌জম্যান** সকল অণুর গড়বেগ সমান ধরে গড় মুক্ত পথের রাশিমালা নির্ণয় করেন, $\lambda = \frac{3}{4\pi\sigma^2 n}$ ... ... (10.29)

পরে **ম্যাক্সওয়েল** তাঁর বেগ বণ্টনের সূত্রের সাহায্যে গড় মুক্ত পথের রাশিমালা নির্ণয় করেন,

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n} \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.30)$$

গড় মুক্তপথ নির্ণয়ের জন্যে (10.30) সমীকরণটি ব্যবহার করা হয়ে থাকে।

সমীকরণ (10.30) থেকে প্রতীয়মান হয় যে, গড়মুক্ত পথ গ্যাসের ঘনত্বের ব্যস্তানুপাতিক এবং গ্যাসের ব্যাসের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। আবার গ্যাসের ঘনত্ব এর চাপের সমানুপাতিক এবং তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক।

অর্থাৎ $\rho \propto p$ এবং $\rho \propto \frac{1}{T}$

অতএব গড়মুক্ত পথ, $\lambda \propto \frac{1}{p}$ এবং $\lambda \propto T$

অর্থাৎ গড় মুক্তপথ গ্যাসের চাপের ব্যস্তানুপাতিক ও তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

কর্মকাণ্ড : (ক) গড় মুক্ত পথ সংক্রান্ত ক্লসিয়াস ও বোলজম্যানের ও ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণ তুলনা করো।

গড়মুক্ত পথের ক্লসিয়াসের সমীকরণ হচ্ছে—

$$\lambda_C = \frac{1}{n\pi\sigma^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.31)$$

এবং বোলজম্যানের সমীকরণ হচ্ছে,

$$\lambda_B = \frac{3}{4n\pi\sigma^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.32)$$

এবং গড় মুক্ত পথের ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণ হচ্ছে,

$$\lambda_M = \frac{1}{\sqrt{2}n\pi\sigma^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.33)$$

$$\therefore \quad \frac{\lambda_C}{\lambda_B} = \frac{1}{n\pi\sigma^2} \div \frac{3}{4n\pi\sigma^2} = \frac{4}{3}$$

অর্থাৎ $\lambda_C : \lambda_B = 4 : 3$

এবং $\frac{\lambda_C}{\lambda_M} = \frac{1}{n\pi\sigma^2} \div \frac{1}{\sqrt{2}n\pi\sigma^2} = \sqrt{2}$

অর্থাৎ $\lambda_C : \lambda_M = \sqrt{2} : 1$

Online Model Test onlinemodeltest.com

১০.১৪। স্বাধীনতার মাত্রা

Degrees of Freedom

পরীক্ষা-নিরীক্ষার সময় আমরা জড় জগতের যে সীমিত অংশ বিবেচনা করি তাকে বলা হয় সিস্টেম বা ব্যবস্থা। সিস্টেমের বাইরে যা কিছু তাকে বলা হয় পরিবেশ। পিস্টন লাগানো কোনো সিলিন্ডারের মধ্যে কিছু গ্যাস আবদ্ধ থাকলে তাকে আমরা সিস্টেম বলি। সিলিন্ডারের চারপাশে যা কিছু আছে তা হচ্ছে এর পরিবেশ।

সংজ্ঞা : কোনো গতিশীল সিস্টেমের অবস্থান সম্পূর্ণভাবে বোঝাতে মোট যে সংখ্যক স্বাধীন রাশির প্রয়োজন হয় তাকে বা গতিশীল সিস্টেমের মোট গতিশক্তির রাশিমালায় যে কয়টি স্বাধীন বর্গ রাশি পাওয়া যায় সে সংখ্যাকে স্বাধীনতার মাত্রার সংখ্যা বলে।

উদাহরণের সাহায্যে বিষয়টিকে আরো একটু পরিষ্কার করা যায়। ধরা যাক, একটা পোকা কোনো রশি বেয়ে চলছে। এক্ষেত্রে পোকাটির স্বাধীনতার মাত্রা হবে এক। কারণ পোকাটির অবস্থানকে আমরা একটি মাত্র অক্ষের সাহায্যে প্রকাশ করতে পারি। আবার পোকাটির X-অক্ষ বরাবর বেগ v_x হলে এর গতিশক্তি হবে $\frac{1}{2} m v_x^2$, এখানে m হচ্ছে পোকাটির ভর। এখানে গতিশক্তির রাশিমালায় একটি মাত্র বর্গরাশি অর্থাৎ v_x^2 রয়েছে তাই পোকাটির স্বাধীনতার মাত্রা এক।

পোকাটি যদি কোনো দেয়াল বেয়ে চলতে থাকে তাহলে তার অবস্থান প্রকাশ করতে দুটি অক্ষের সাহায্য নিতে হবে। v_x এবং v_y যদি X ও Y অক্ষ বরাবর পোকাটির বেগের উপাংশ হয় তাহলে পোকাটির গতিশক্তি হবে $\frac{1}{2} m v_x^2 + \frac{1}{2} m v_y^2$। গতিশক্তির রাশিমালায় দুটি স্বাধীন বর্গরাশি থাকায় এর স্বাধীনতার মাত্রা হবে দুই। যে পোকা উড়তে পারে না তার ক্ষেত্রে স্বাধীনতার মাত্রা দুইয়ের অধিক হওয়া সম্ভব নয়। কিন্তু পোকাটি যদি উড়তে থাকে তাহলে তার অবস্থান বোঝাতে তিনটি অক্ষের প্রয়োজন হবে সে ক্ষেত্রে এর স্বাধীনতার মাত্রা হবে তিন।

গতিতত্ত্বের স্বীকার্য অনুসারে, আদর্শ গ্যাসের প্রতিটি অণুর ভর অত্যন্ত নগণ্য এবং এরা এলোমেলো গতিতে যেকোনো দিকে গতিশীল। এভাবে গতিশীল কোনো একটি অণুর যেকোনো মুহূর্তের অবস্থান নির্দেশ করতে কমপক্ষে তিনটি স্থানাঙ্ক (x, y, z)-এর প্রয়োজন হয়। তাই আদর্শ গ্যাসের প্রতিটি অণুর স্বাধীনতার মাত্রা 3।

স্বাধীনতার মাত্রাকে এভাবেও বলা যায়—

কোনো গতিশীল সিস্টেমের অবস্থান সম্পূর্ণরূপে প্রকাশ করতে যতগুলো স্থানাঙ্কের প্রয়োজন হয় তার সংখ্যাই হচ্ছে স্বাধীনতার মাত্রা।

কোনো সিস্টেমের স্বাধীনতার মাত্রার সংখ্যা = সিস্টেমের উপাদানগুলোর অবস্থান সম্পূর্ণরূপে প্রকাশ করতে প্রয়োজনীয় মোট স্থানাঙ্কের সংখ্যা এবং উপাদানগুলোর পরস্পরের ভেতর স্বতন্ত্রভাবে যে সম্পর্ক রয়েছে তার অন্তরফলের সমান।

কোনো গ্যাস অণুতে x সংখ্যক পরমাণু থাকলে স্বাধীনতার মাত্রা সর্বাধিক হবে $3x$। এখন এক পরমাণু গ্যাসের বেলায় $x = 1$, কাজেই এক্ষেত্রে স্বাধীনতার মাত্রা হবে 3। দ্বি-পারমাণবিক গ্যাসের বেলায় $x = 2$, কাজেই স্বাধীনতার মাত্রা হওয়া উচিত $3 \times 2 = 6$। কিন্তু পরমাণু দুটি পরস্পরের মধ্যে নির্দিষ্ট দূরত্ব বজায় রাখায় অর্থাৎ পরমাণু দুটির মধ্যে একটি সম্পর্ক থাকায় স্বাধীনতার মাত্রা হবে $(3 \times 2 - 1) = 5$। বহু-পারমাণবিক যেমন ত্রি-পারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে পরমাণু তিনটি, অণুর ভেতরে দু'ভাবে সজ্জিত থাকতে পারে। যেমন মাঝখানে একটি এবং দুপাশে দুটি বা ত্রিভুজের তিন কোণে তিনটি। প্রথম ক্ষেত্রে স্বাধীনতার মাত্রা হবে $(3 \times 3 - 2) = 7$ এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে হবে $(3 \times 3 - 3) = 6$।

গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের অনুপাত γ এর সাথে স্বাধীনতার মাত্রা f এর সম্পর্ক হচ্ছে,

$$\gamma = 1 + \frac{2}{f}$$

এক-পারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে, $f = 3$

$$\therefore \gamma = 1 + \frac{2}{3} = \frac{5}{3} = 1.67$$

onlinemodeltest.com

দ্বি-পারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে, $f = 5$

$\therefore \gamma = 1 + \frac{2}{5} = \frac{7}{5} = 1.40$

ত্রি-পারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে, $f = 6$

$\therefore \gamma = 1 + \frac{2}{6} = \frac{8}{6} = 1.33$

১০.১৫। শক্তির সমবিভাজন নীতি

Principle of Equipartition of Energy

নীতি : তাপীয় সাম্যাবস্থায় আছে এমন তাপগতীয় সিস্টেমের মোট শক্তি বিভিন্ন স্বাধীনতার মাত্রার ভেতর সমভাবে বণ্টিত হয় এবং প্রত্যেক স্বাধীনতার মাত্রাপিছু শক্তির পরিমাণ হয় $\frac{1}{2} kT$।

আমরা জানি, এক-পারমাণবিক গ্যাসের (যেমন He, Ne ইত্যাদি) একটি অণুর স্বাধীনতার মাত্রা 3। অতএব শক্তির সমবিভাজন নীতি অনুসারে একটি অণুর গড় গতিশক্তি $= \frac{3}{2} kT$। দ্বি-পারমাণবিক গ্যাসের (যেমন, O_2, N_2, CO, CO_2 ইত্যাদি।) একটি অণুর স্বাধীনতার মাত্রা, 5, অতএব প্রতিটি অণুর গড় গতিশক্তি $= \frac{5}{2} kT$।

একটি অণুর কথা বিবেচনা করা যাক, যেকোনো দিকে যার বেগ c এবং X, Y এবং Z-অক্ষ বরাবর তার বেগের উপাংশ যথাক্রমে u, v এবং w। সুতরাং

$$c^2 = u^2 + v^2 + w^2$$

এখন গ্যাসের গতিতত্ত্ব অনুসারে একেকটি অণু বিভিন্ন দিকে অক্রম বা এলোমেলো গতিতে গতিশীল। কাজেই গ্যাসের সকল অণুর বেগের জন্য গড় বর্গবেগ $\overline{c^2}$ এবং X, Y ও Z–অক্ষ বরাবর সে সকল বেগের উপাংশগুলোর গড় বর্গবেগ যথাক্রমে $\overline{u^2}$, $\overline{v^2}$ ও $\overline{w^2}$ হলে

$$\overline{c^2} = \overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}$$

এবং যেহেতু কোনো বিশেষ দিকে বেগের উপাংশগুলোর বর্গের গড় মান কম বা বেশি হওয়ার কোনো কারণ নেই, তাই

$$\overline{u^2} = \overline{v^2} = \overline{w^2}$$

এক্ষেত্রে বেগের উপাংশগুলোর আনুষঙ্গিক গতিশক্তি সমান হয়। অর্থাৎ

$$\frac{1}{2} m\overline{u^2} = \frac{1}{2} m\overline{v^2} = \frac{1}{2} m\overline{w^2}$$

কিন্তু $\overline{c^2} = \overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2}$

এবং $\overline{u^2} = \overline{v^2} = \overline{w^2}$

$$\therefore \frac{1}{2} m\overline{u^2} = \frac{1}{2} m\overline{v^2} = \frac{1}{2} m\overline{w^2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} m\overline{c^2}$$

আবার সমীকরণ (10.26) থেকে আমরা জানি,

$$\frac{1}{2} m\overline{c^2} = \frac{3}{2} kT$$

$$\therefore \frac{1}{2} m\overline{u^2} = \frac{1}{2} m\overline{v^2} = \frac{1}{2} m\overline{w^2} = \frac{1}{3} \cdot \frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} kT$$

সুতরাং প্রত্যেক অণুর রৈখিক গতির স্বাধীনতার মাত্রা প্রতি গড় গতিশক্তি হলো $\frac{1}{2} kT$। এটাই শক্তির সমবিভাজন নীতি।

onlinemodeltest.com

আবার কম্পনরত কণার ক্ষেত্রে অর্ধেক গতিশক্তি এবং বাকি অর্ধেক বিভবশক্তি। সুতরাং

প্রতি কণার মোটশক্তি = গতিশক্তি + বিভবশক্তি = $\frac{1}{2}kT + \frac{1}{2}kT = kT$।

১০.১৬। বাষ্প ও গ্যাস

Vapour and Gas

বাষ্প বলতে আমরা কোনো পদার্থের গ্যাসীয় অবস্থাকে বুঝি যা' কক্ষতাপমাত্রায় তরল বা কঠিন অবস্থায় থাকে। পক্ষান্তরে কোনো গ্যাস কক্ষতাপমাত্রায় সর্বদা গ্যাসীয় অবস্থাতেই থাকে, তরল বা কঠিন অবস্থা প্রাপ্ত হয় না। যেমন, জলীয়বাষ্প (water vapour) হচ্ছে একটি বাষ্প যা' কক্ষতাপমাত্রায় পানি অর্থাৎ তরল পদার্থ। আবার নাইট্রোজেন হচ্ছে একটি গ্যাস যা' কক্ষতাপমাত্রাতেও গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে।

বাষ্প ও গ্যাসের মধ্যকার একটা মৌলিক পার্থক্য হচ্ছে বাষ্পকে শুধুমাত্র চাপ প্রয়োগ করে তরলে রূপান্তরিত করা যায় কিন্তু কোনো গ্যাসকে তরলে পরিণত করার জন্য এর ওপর চাপ প্রয়োগের সাথে সাথে তাপমাত্রাও হ্রাস করতে হয়।

পদার্থের জন্য একটা নির্দিষ্ট তাপমাত্রা আছে যাকে **ক্রান্তি তাপমাত্রা বা সংকট তাপমাত্রা** (critical temperature) বলে। কোনো বাষ্পের তাপমাত্রা সংকট তাপমাত্রার চেয়ে বেশি হলে যত প্রবল চাপ প্রয়োগ করা হোক না কেন সেটি তরলে পরিণত হবে না। সুতরাং বলা যায়, সকল বাষ্পই সংকট তাপমাত্রার ওপরে গ্যাস আবার সকল গ্যাস সংকট তাপমাত্রার নিচে বাষ্প। বিভিন্ন পদার্থের জন্যে সংকট তাপমাত্রার মান বিভিন্ন, যেমন পানির জন্যে এ তাপমাত্রার মান 374°C বা, 647 K অর্থাৎ সর্বোচ্চ 647 K তাপমাত্রা পর্যন্ত পানি তরল অবস্থায় থাকতে পারে। আবার অ্যামোনিয়ার (NH_3) সংকট তাপমাত্রা হচ্ছে 132°C বা, 405 K। উল্লেখ্য যে, পানির হিমাঙ্ক 0°C বা, 273.15 K এবং অ্যামোনিয়ার হিমাঙ্ক –77.73°C বা 195.27 K।

প্রশ্ন হচ্ছে সংকট তাপমাত্রার ওপরে কোনো বাষ্পকে চাপ প্রয়োগ তরলে রূপান্তরিত করা যায় না কেন ? সংকট তাপমাত্রার ওপরে কোনো পদার্থের তরল ও বাষ্পীয় অবস্থার ঘনত্ব এক হয়ে যাওয়ায় কেবলমাত্র একটি অবস্থায়ই বিরাজ করে যা হচ্ছে বাষ্পীয় অবস্থা অর্থাৎ সংকট তাপমাত্রার ওপরে তরল ও বাষ্পের মধ্যকার সকল পার্থক্য তিরোহিত হয় আর সে কারণে শুধুমাত্র চাপ প্রয়োগে তা সে যত প্রবলই হোক না কেন বাষ্পকে তরলে রূপান্তরিত করা যায় না।

Online Model Test
onlinemodeltest.com

১০.১৭। সম্পৃক্ত ও অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপ

Saturated and Unsaturated Vapour Pressure

কোনো তরল পদার্থকে একটি আবদ্ধ পাত্রে রেখে বাষ্পায়নের সুযোগ দিলে দেখা যাবে যে, ঐ পাত্র ক্রমশ বাষ্প দ্বারা পূর্ণ হচ্ছে। বাষ্পের অণুগুলো পাত্রের মধ্যে ইতস্তত বিক্ষিপ্তভাবে চারদিকে ছোটাছুটি করে বেড়ায়। ছোটাছুটি করার সময় অণুগুলো পরস্পরের সাথে এবং পাত্রের গায়ে ধাক্কা খায়। ফলে পাত্রের গায়ে চাপের সৃষ্টি হয়। এ চাপকে বাষ্পচাপ (Vapour pressure) বলে। বাষ্পের অণুগুলো বিক্ষিপ্তভাবে ঘুরাফেরা করার সময় কিছু কিছু অণু তরলের মধ্যে ফিরে আসে। ক্রমে এমন একটা অবস্থার সৃষ্টি হয় যখন বাষ্পে রূপান্তরিত হওয়া অণুর সংখ্যা এবং তরলে ফিরে আসার অণুর সংখ্যা সমান হয় অর্থাৎ বলা যেতে পারে ঐ স্থানে যতটুকু বাষ্প থাকা সম্ভব তা পূর্ণ হয়েছে এবং এর চেয়ে বেশি বাষ্প আর ঐ স্থানে থাকতে পারে না। তাই বাষ্পায়িত সমস্ত অণুগুলো পুনরায় তরলে ফিরে আসে। এ অবস্থায় বলা হয় যে, ঐ স্থান বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয়েছে। এ অবস্থায় বাষ্প যে চাপ দেয় তাকে সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বলে। কোনো স্থানের বাষ্প ধারণ ক্ষমতার চেয়ে কম বাষ্প থাকলে এ বাষ্পকে অসম্পৃক্ত বাষ্প বলে এবং ঐ বাষ্প যে চাপ দেয় তাকে অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বলে।

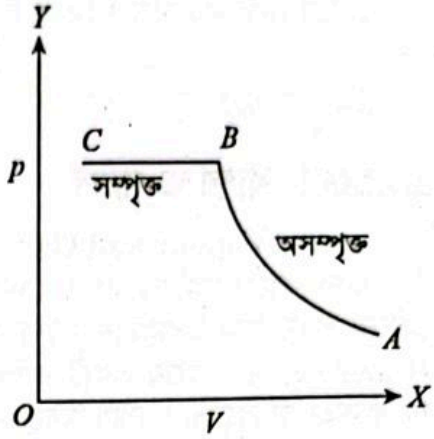
সম্পৃক্ত ও অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপের সংজ্ঞা : কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো আবদ্ধ স্থানের বাষ্প সর্বাধিক যে চাপ দিতে পারে তাকে সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ (Saturated Vapour Pressure বা S. V. P) বা সর্বোচ্চ বাষ্পচাপ (Maximum Vapour Pressure) বা শুধু বাষ্পচাপ (Vapour pressure) বলে।

আবার কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো আবদ্ধ স্থানের বাষ্পচাপ যদি সর্বোচ্চ বাষ্পচাপের চেয়ে কম হয় তাহলে সে চাপকে অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বলে।

onlinemodeltest.com

জলীয় বাষ্পরেখা ও গ্যাস সূত্রাবলি

পরীক্ষার সাহায্যে অসম্পৃক্ত ও সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপ ও আয়তন পরিমাপ করে X-অক্ষের দিকে বাষ্পের আয়তন এবং Y-অক্ষের দিকে অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপ নিয়ে লেখচিত্র আঁকলে (১০.১১) চিত্রের ন্যায় লেখচিত্র পাওয়া যাবে।



চিত্র : ১০.১১

লেখচিত্রের AB অংশ থেকে প্রতীয়মান হয় যে, অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বাষ্পের আয়তনের ব্যস্তানুপাতিক অর্থাৎ অসম্পৃক্ত বাষ্প বয়েলের সূত্র মেনে চলে। B বিন্দুতে অসম্পৃক্ত বাষ্প সম্পৃক্ত হতে শুরু করে এবং ঐ তাপমাত্রায় বাষ্পের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ পাওয়া যায়। এ অবস্থায় চাপ বৃদ্ধির সাথে সাথে বাষ্প ঘনীভূত হতে শুরু করে এবং বাষ্পের খানিকটা অংশ তরলে রূপান্তরিত হয় যদিও বাষ্পচাপ সম্পৃক্ত বাষ্পচাপে স্থির থাকে। BC অংশে তরল ও সম্পৃক্ত বাষ্প সহাবস্থান করে। C বিন্দুতে সমুদয় বাষ্প তরলে রূপান্তরিত হয়। লেখচিত্রের BC অংশ থেকে দেখা যায় যে, সম্পৃক্ত বাষ্প বয়েলের সূত্র মেনে চলে না। এক্ষেত্রে কিছু বাষ্প ঘনীভূত হয়ে যাওয়ায় বাষ্পের ভর হ্রাস পায় বলে সম্পৃক্ত বাষ্প আর বয়েলের সূত্র মেনে চলে না। কারণ বয়েলের সূত্র নির্দিষ্ট ভরের বাষ্প বা গ্যাসের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য।

সম্পৃক্ত ও অসম্পৃক্ত বাষ্পের পার্থক্য

সম্পৃক্ত বাষ্প	অসম্পৃক্ত বাষ্প
১। কোনো আবদ্ধ স্থানে তরল সংলগ্ন বাষ্পকে ঐ তাপমাত্রার সম্পৃক্ত বাষ্প বলে। সম্পৃক্ত বাষ্প সর্বোচ্চ চাপ প্রয়োগ করে।	১। যদি কোনো আবদ্ধ স্থানে কিছু বাষ্প থাকে কিন্তু কোনো তরল না থাকে তবে ঐ বাষ্প অসম্পৃক্ত বা সদ্য সম্পৃক্ত। আবদ্ধ স্থানের আয়তন সামান্য কমালে যদি কিছু বাষ্প তরলে পরিণত হয় তাহলে ঐ বাষ্প সদ্য সম্পৃক্ত আর না হলে অসম্পৃক্ত।
২। সম্পৃক্ত বাষ্প বয়েলের সূত্র মেনে চলে না।	২। অসম্পৃক্ত বাষ্প বয়েলের সূত্র মেনে চলে।
৩। সম্পৃক্ত বাষ্প চার্লস-এর সূত্র মেনে চলে না।	৩। অসম্পৃক্ত বাষ্প চার্লস-এর সূত্র মেনে চলে।
৪। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ সম্পৃক্ত বাষ্পকে অসম্পৃক্ত করা হয়।	৪। তাপমাত্রা কমিয়ে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ অসম্পৃক্ত বাষ্পকে সম্পৃক্ত বাষ্পে পরিণত করা যায়।

১০.১৮। জলীয়বাষ্পের চাপ ও বায়ুর চাপের সম্পর্ক

Relation between Vapour Pressure and Air Pressure

পৃথিবীর সাগর, মহাসাগর, খাল-বিল, নদী-নালা, পুকুর প্রভৃতি থেকে প্রতিনিয়ত পানি বাষ্পীভূত হচ্ছে এবং এ জলীয়বাষ্প বায়ুমণ্ডলে মিশে যাচ্ছে। এ জলীয়বাষ্প শুষ্ক বায়ুর চেয়ে হালকা অর্থাৎ জলীয়বাষ্পের ঘনত্ব শুষ্ক বায়ুর ঘনত্বের চেয়ে কম। বায়ুতে জলীয়বাষ্প থাকলে সে বায়ুকে বলা হয় আর্দ্র বায়ু।

আমরা জানি, বায়ুমণ্ডল চাপ দেয়। এ চাপের মধ্যে আছে শুষ্ক বায়ুর চাপ এবং জলীয়বাষ্পের চাপ। আমরা এখন তাদের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করবো।

কোনো এক সময়ে বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা, T

ঐ সময় বায়ুমণ্ডলের চাপ, P

ঐ সময় বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত জলীয়বাষ্পের চাপ, f

onlinemodeltest.com

ঐ সময় শুধু বায়ুর চাপ, P_a

ঐ সময় অর্থাৎ T তাপমাত্রা ও P_a চাপে বায়ুর ঘনত্ব ρ_a

STP তে তাপমাত্রা, $T_\circ = 273$ K

STP তে বায়ুর চাপ, $P_\circ = 1.013 \times 10^5$ N m^{-2}

STP তে বায়ুর ঘনত্ব $\rho_\circ = 1.293$ kg m^{-3}

সুতরাং ডাল্টনের আংশিক চাপের সূত্রানুসারে ঐ সময়ের শুধু বায়ুর চাপ,

$P_a = P - f$

এখন গ্যাসের সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$\frac{P_a}{\rho_a T} = \frac{P_\circ}{\rho_\circ T_\circ} \qquad \left[\because \frac{P_1}{\rho_1 T_1} = \frac{P_2}{\rho_1 T_2}\right]$$

বা, $$\frac{P-f}{\rho_a T} = \frac{P_\circ}{\rho_\circ T_\circ}$$

বা, $$P - f = \frac{\rho_a T}{\rho_\circ T_\circ} P_\circ$$

$$\therefore f = P - \frac{\rho_a T}{\rho_\circ T_\circ} P_\circ$$

$$\therefore f = P - \frac{\rho_a T}{\rho_\circ T_\circ} P_\circ \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.34)$$

এটি হচ্ছে জলীয়বাষ্পের চাপ ও বায়ুর চাপের মধ্যকার সম্পর্ক।

১০.১৯। আর্দ্রতা

Humidity

পৃথিবীর চারভাগের তিনভাগই জলাশয়। জলাশয়গুলো থেকে প্রতিনিয়ত পানি বাষ্পীভূত হয়ে বায়ুমণ্ডলে মিশে যাচ্ছে। ফলে বায়ুমণ্ডল ভেজা থাকে তথা আর্দ্র থাকে। বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন সময়ে বায়ুমণ্ডলে জলীয়বাষ্পের পরিমাণ বিভিন্ন হয়। এটা নির্ভর করে স্থান ও আবহাওয়ার ওপর। আবার একই স্থানে বিভিন্ন ঋতু ও সময়ে বায়ুমণ্ডলে অবস্থিত জলীয়বাষ্পের তারতম্য হয়। বর্ষাকালে বায়ুমণ্ডলে জলীয়বাষ্প বেশি থাকে এবং শীতকালে কম থাকে। আমরা এ অনুচ্ছেদে বায়ুমণ্ডলে জলীয়বাষ্পের উপস্থিতি তথা বায়ুমণ্ডলের আর্দ্রতা নিয়ে আলোচনা করবো।

আর্দ্রতা (Humidity) : কোনো স্থানের বায়ুতে কতটুকু জলীয়বাষ্প আছে অর্থাৎ বায়ু কতখানি শুষ্ক বা ভিজা আর্দ্রতা দিয়ে তাই নির্দেশ করা হয়।

Online Model Test
onlinemodeltest.com

পরম আর্দ্রতা (Absolute humidity) : বায়ুর প্রতি একক আয়তনে উপস্থিত জলীয়বাষ্পের ভরকে ঐ স্থানের পরম আর্দ্রতা বলে।

কোনো স্থানের পরম আর্দ্রতা 5 g m^{-3} বলতে বোঝায় ঐ স্থানের প্রতি ঘনমিটার বায়ুতে 5 g জলীয়বাষ্প আছে।

শিশিরাঙ্ক (Dewpoint) : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুর জলীয়বাষ্প ধারণ করার ক্ষমতা সীমাবদ্ধ। তাপমাত্রা বাড়লে ঐ স্থানের জলীয়বাষ্প ধারণ করার ক্ষমতা বেড়ে যায়। যখন কোনো স্থানে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সর্বোচ্চ পরিমাণ জলীয়বাষ্প থাকে, তখন ঐ স্থানকে জলীয়বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত বলা হয়। বায়ু জলীয়বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হলে ঐ বায়ু আর জলীয়বাষ্প ধারণ করতে পারে না, তখন জলীয়বাষ্প ঘনীভূত হয়ে শিশিরে পরিণত হয়।

কোনো স্থানের তাপমাত্রা কমলে ঐ স্থানের জলীয়বাষ্প ধারণ ক্ষমতা কমে যায়। তাপমাত্রা ক্রমশ কমতে থাকলে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বায়ুমণ্ডল ঐ স্থানের জলীয়বাষ্প দ্বারাই সম্পৃক্ত হয়। ঐ তাপমাত্রায় বায়ুতে অবস্থিত জলীয়বাষ্প তখন শিশিরে পরিণত হয়। এ তাপমাত্রাই শিশিরাঙ্ক।

সংজ্ঞা : যে তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ু এর মধ্যে অবস্থিত জলীয়বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয়, সে তাপমাত্রাকে শিশিরাঙ্ক বলে।

কোনো স্থানের তাপমাত্রা 30°C এবং শিশিরাঙ্ক 22°C বলতে বোঝা যায় ঐ স্থানে 30°C তাপমাত্রায় যে পরিমাণ জলীয়বাষ্প আছে তা দ্বারা ঐ স্থানের বায়ু অসম্পৃক্ত কিন্তু তাপমাত্রা কমিয়ে 22°C করা হলে ঐ জলীয়বাষ্প দ্বারাই ঐ স্থানের বায়ু সম্পৃক্ত হয়।

কোনো স্থানের জলীয়বাষ্পের চাপ ঐ স্থানের জলীয়বাষ্পের পরিমাণের ওপর নির্ভর করে। জলীয়বাষ্পের পরিমাণ যত বেশি হবে তার চাপও তত বেশি হবে। কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো স্থানের অসম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপ এবং শিশিরাঙ্কে ঐ স্থানের সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপ সমান হবে (কারণ একই পরিমাণ জলীয়বাষ্প দ্বারা শিশিরাঙ্কে ঐ স্থানের বায়ু সম্পৃক্ত হয়)।

আপেক্ষিক আর্দ্রতা (Relative humidity) : আবহাওয়া বিজ্ঞানে বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত জলীয়বাষ্পের পরিমাণের চেয়ে বায়ুমণ্ডলের সম্পৃক্ততার মাত্রা অর্থাৎ বায়ুমণ্ডল কতখানি শুষ্ক বা ভেজা তা বেশি প্রয়োজন হয়। আপেক্ষিক আর্দ্রতা দিয়ে তাই বোঝানো হয়।

সংজ্ঞা : কোনো তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে উপস্থিত জলীয়বাষ্পের ভর এবং ঐ একই তাপমাত্রায় ঐ আয়তনের বায়ুকে সম্পৃক্ত করতে প্রয়োজনীয় জলীয়বাষ্পের ভরের অনুপাতকে ঐ স্থানের আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলে।

$$\therefore \text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{বায়ুর তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে উপস্থিত জলীয়বাষ্পের ভর}}{\text{বায়ুর তাপমাত্রায় ঐ বায়ুকে সম্পৃক্ত করতে প্রয়োজনীয় জলীয়বাষ্পের ভর}}$$

কিন্তু নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো স্থানের জলীয়বাষ্পের চাপ ঐ স্থানের জলীয়বাষ্পের ভরের সমানুপাতিক।

$$\therefore \text{আঃ আর্দ্রতা} = \frac{\text{বায়ুর তাপমাত্রায় ঐ স্থানে উপস্থিত জলীয়বাষ্পের চাপ}}{\text{বায়ুর তাপমাত্রায় ঐ স্থানকে সম্পৃক্ত করতে প্রয়োজনীয় জলীয়বাষ্পের চাপ}}$$

কিন্তু কোনো তাপমাত্রায় কোনো স্থানে জলীয়বাষ্পের চাপ ঐ স্থানে শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপের সমান।

$$\therefore \text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপ}}{\text{বায়ুর তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপ}}$$

onlinemodeltest.com

আপেক্ষিক আর্দ্রতাকে R, শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপকে f, বায়ুর তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপকে F দিয়ে প্রকাশ করলে, $R = \frac{f}{F}$

আপেক্ষিক আর্দ্রতাকে সাধারণত শতকরা হিসাবে প্রকাশ করা হয়।

$$\therefore R = \frac{f}{F} \times 100\% \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.35)$$

তাৎপর্য : কোনো স্থানের আপেক্ষিক আর্দ্রতা 60% বলতে বোঝা যায়, বায়ুর তাপমাত্রায় ঐ স্থানকে সম্পৃক্ত করতে যে পরিমাণ জলীয়বাষ্পের প্রয়োজন তার শতকরা 60 ভাগ জলীয়বাষ্প ঐ স্থানের বায়ুতে আছে।

বিভিন্ন তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপ কত রেনো (Regnault) পরীক্ষার সাহায্যে সেগুলো নির্ণয় করে একটি তালিকা তৈরি করেছেন। নিম্নে সে তালিকা প্রদান করা হলো :

সারণি-১০.১ : বিভিন্ন তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপ (রেনোর তালিকা)

তাপমাত্রা (°C)	চাপ (mm Hg P)	তাপমাত্রা (°C)	চাপ (mm Hg P)
0	4.58	28	28.35
2	5.29	30	31.83
4	6.10	32	35.66
6	7.01	34	39.90
8	8.05	36	44.42
10	9.21	38	49.58
12	10.52	40	55.32
14	11.99	50	92.51
16	13.63	60	149.38
18	15.48	70	233.70
20	17.54	80	355.10
22	19.83	90	525.76
24	22.38	100	760.00
26	25.21		

নির্ণয় করো : রেনোর তালিকা থেকে 31°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপ বের করো। 19.5°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপ কত হবে ? 14°C এবং 24°C তাপমাত্রার সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপ থেকে 19.5° তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপ বের করো। এ দু হিসাব থেকে 19.5°C তাপমাত্রায় নির্ণীত সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপের মানের পার্থক্যের কারণ ব্যাখ্যা করো।

onlinemodeltest.com

১০.২০। আর্দ্রতামাপক যন্ত্র ও আর্দ্রতা নির্ণয়

Hygrometers and Determination of Humidity

কোনো স্থানের কোনো সময়ের আর্দ্রতা পরিমাপের জন্য যে যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাকে আর্দ্রতামাপক যন্ত্র বা হাইগ্রোমিটার বলে। আর্দ্রতামাপক যন্ত্রের কার্যপ্রণালির ওপর ভিত্তি করে এদের চারটি শ্রেণিতে ভাগ করা যায় ; যথা :

১। সিক্ত ও শুষ্ক বাল্‌ব আর্দ্রতামাপক যন্ত্র (Wet and dry bulb hygrometer),

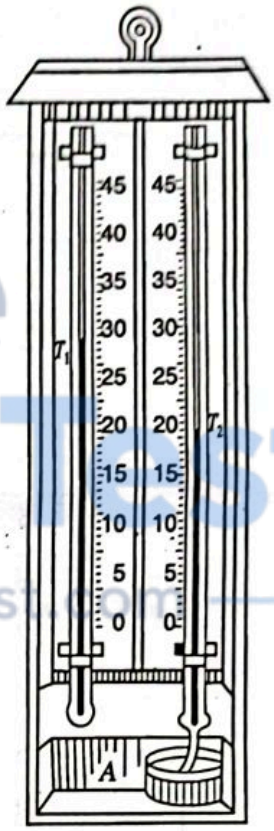
২। শিশিরাঙ্ক আর্দ্রতামাপক যন্ত্র (Dewpoint hygrometer),

৩। রাসায়নিক আর্দ্রতামাপক যন্ত্র (Chemical hygrometer) এবং

৪। কেশ আর্দ্রতামাপক যন্ত্র (Hair hygrometer)।

সিক্ত ও শুষ্ক বাল্‌ব আর্দ্রতামাপক যন্ত্র বা মেসনের আর্দ্রতামাপক যন্ত্র

যন্ত্রের বর্ণনা : এ যন্ত্রে একই রকম দুটি পারদ থার্মোমিটার T_1 ও T_2 আছে যেগুলো পাশাপাশি উল্লম্বভাবে একটি কাঠের ফ্রেমের সাথে লাগানো থাকে। T_1 থার্মোমিটার বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা প্রদান করে, T_2 থার্মোমিটারের বাল্‌বে মসলিনের বা লিনেনের সলতে জড়ানো থাকে এবং এ সলতে একটি পাত্রে রাখা পানির মধ্যে ডুবানো থাকে। পানি মসলিন বা লিনেন বেয়ে ওপরে ওঠে এবং থার্মোমিটারের বাল্‌বকে সবসময় ভেজা রাখে (চিত্র : ১০.১২)।



চিত্র : ১০.১২

মসলিন বা লিনেন থেকে পানি বাষ্পায়িত হয় ফলে সিক্ত বাল্‌ব থার্মোমিটার শুষ্ক বাল্‌ব থার্মোমিটারের চেয়ে কম তাপমাত্রা নির্দেশ করে। এ দু তাপমাত্রার পার্থক্য বায়ুমণ্ডলের আপেক্ষিক আর্দ্রতার ওপর নির্ভর করে। বায়ুমণ্ডলের আর্দ্রতা কম হলে বাষ্পায়ন দ্রুত হয়, ফলে দু তাপমাত্রার পার্থক্য বেশি হয়, অপরপক্ষে আর্দ্রতা বেশি হলে তাপমাত্রার পার্থক্য কম হয়। আর যদি বায়ুমণ্ডল জলীয়বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয়, তবে কোনো বাষ্পায়ন হয় না ফলে উভয় থার্মোমিটারের পাঠ একই হয়।

পরীক্ষা : যে স্থানের আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করতে হবে সেই স্থানে যন্ত্রটিকে রেখে এর থার্মোমিটার দুটির পাঠ নেয়া হয়। এরপর গ্লেসিয়ারের উৎপাদকের সাহায্যে শিশিরাঙ্ক বের করে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা হয়। মনে করা যাক, শুষ্ক ও সিক্ত বাল্‌ব থার্মোমিটারে নির্দেশিত তাপমাত্রা যথাক্রমে θ_1 ও θ_2 এবং ঐ সময়ের শিশিরাঙ্ক θ। তাহলে গ্লেসিয়ারের সূত্রানুসারে,

$$\theta_1 - \theta = G(\theta_1 - \theta_2)$$

বা, $\theta = \theta_1 - G(\theta_1 - \theta_2)$ ... (10.36)

এ সমীকরণ থেকে শিশিরাঙ্ক নির্ণয় করা যায়, এখানে G হচ্ছে θ_1°C তাপমাত্রায় গ্লেসিয়ারের উৎপাদক (সারণি ১০.২ দ্রষ্টব্য)। শিশিরাঙ্ক পাওয়া গেলে রেনোর তালিকা থেকে শিশিরাঙ্কে (θ) সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপ f, বায়ুর তাপমাত্রায় (θ_1) সম্পৃক্ত জলীয়বাষ্পের চাপ F নির্ণয় করে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা যায়।

সুতরাং $R = \frac{f}{F} \times 100\%$

সতর্কতা

১। সুবেদী থার্মোমিটার ব্যবহার করা হয়।

২। থার্মোমিটার দুটির পারদস্তম্ভ স্থির অবস্থানে এলে পাঠ নেয়া হয়।

৩। মসলিন বা লিনেনের সলতে যাতে থার্মোমিটারের বাল্‌বকে আবৃত রাখে সে দিকে লক্ষ্য রাখা হয়।

৪। সলতের নিচের প্রান্ত যাতে পাত্রের পানিতে ডুবে থাকে সেদিকে লক্ষ্য রাখা হয়।

onlinemodeltest.com

শুষ্ক ও আর্দ্র বাল্ব হাইগ্রোমিটারের সাহায্যে আবহাওয়ার পূর্বাভাস
Weather forecast by Wet and Dry Bulb Hygrometer

শুষ্ক ও আর্দ্র বাল্ব হাইগ্রোমিটারের দুটি থার্মোমিটারের পাঠের পার্থক্য দেখে আবহাওয়ার পূর্বাভাস দেওয়া যায়।

থার্মোমিটার দুটি পাঠের পার্থক্য যদি —

(ক) কম হয় তাহলে বুঝতে হবে বাতাসে জলীয়বাষ্পের পরিমাণ বেশি অর্থাৎ আবহাওয়া আর্দ্র থাকবে।

(খ) বেশি হয় তাহলে বুঝতে হবে বাতাসে জলীয়বাষ্পের পরিমাণ কম অর্থাৎ আবহাওয়া শুষ্ক থাকবে।

(গ) ধীরে ধীরে কমতে থাকে তাহলে বুঝতে হবে বাতাসে জলীয়বাষ্পের পরিমাণ ধীরে ধীরে বাড়ছে অর্থাৎ বৃষ্টি হওয়ার সম্ভাবনা আছে।

(ঘ) হঠাৎ কমতে থাকে তাহলে বুঝতে হবে জলীয়বাষ্পের পরিমাণ হঠাৎ বেড়ে গেছে সেক্ষেত্রে ঝড়-বৃষ্টি হওয়ার সম্ভাবনা রয়েছে।

(ঙ) শূন্য হয় তাহলে বুঝতে হবে বায়ু জলীয়বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত।

সারণি: ১০.২

বিভিন্ন তাপমাত্রায় গ্লেসিয়ারের উৎপাদক

শুষ্ক বাল্বের তাপমাত্রা (°C)	গ্লেসিয়ারের উৎপাদক (G)	শুষ্ক বাল্বের তাপমাত্রা (°C)	গ্লেসিয়ারের উৎপাদক G	শুষ্ক বাল্বের তাপমাত্রা (°C)	গ্লেসিয়ারের উৎপাদক G
4	7·82	19	1·81	34	1·61
5	7·28	20	1.79	35	1·60
6	6·62	21	1·77	36	1·59
7	5·77	22	1·75	37	1·58
8	4·92	23	1·74	38	1·57
9	4·04	24	1·72	39	1·56
10	2·06	25	1·70	40	1·55
11	2·02	26	1·69	41	1·54
12	1·99	27	1·68	42	1·53
13	1·95	28	1·67	45	1·52
14	1·92	29	1·66	46	1·51
15	1·90	30	1·65	47	1·50
16	1·87	31	1·64	48	1·49
17	1·85	32	1·63	49	1·48
18	1·83	33	1·62	50	1·47

১০.২১। আর্দ্রতামিতি সংক্রান্ত কয়েকটি ঘটনা
Few Phenomena Related To Hygrometry

১. **আমাদের স্বাচ্ছন্দ্যবোধ অনেকাংশে আপেক্ষিক আর্দ্রতার ওপর নির্ভরশীল :** আমাদের শরীর থেকে প্রতিনিয়ত ঘাম বের হয়। এ ঘাম শুকানোর হার নির্ভর করে বায়ুর জলীয়বাষ্প তথা আপেক্ষিক আর্দ্রতার ওপর। বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম হলে বায়ুতে জলীয়বাষ্পের পরিমাণ কম থাকে, ফলে বাষ্পায়ন বেশি হয়। শরীরের ঘাম বাষ্পীভূত হওয়ার সময় প্রয়োজনীয় সুপ্ততাপ আমাদের শরীর থেকে সংগ্রহ করে, ফলে শরীর কিছু তাপ হারায় এবং আমরা ঠাণ্ডা অনুভব করি। কিন্তু যদি বায়ুতে জলীয়বাষ্পের পরিমাণ বেশি হয় অর্থাৎ বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেশি হয় তবে শরীরের ঘাম কম শুকায় এবং আমরা অস্বস্তিবোধ করি। গরমের দিনে অর্থাৎ বর্ষাকালে বায়ুতে জলীয়বাষ্পের পরিমাণ বেশি থাকে বলে আমাদের অস্বস্তিবোধ হয়।

onlinemodeltest.com

তাই বলা চলে আমাদের স্বাচ্ছন্দ্যবোধ অনেকাংশে আপেক্ষিক আর্দ্রতার ওপর নির্ভরশীল।

২. একই তাপমাত্রায় যেখানে আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেশি সেখানে বেশি অস্বস্তিবোধ হয় : দুটি স্থানের তাপমাত্রা যদি একই হয় তবে স্থান দুটির যেটিতে আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেশি হবে সে স্থানের বায়ুতে জলীয়বাষ্পের পরিমাণ বেশি থাকায় সেখানে বাষ্পায়ন কম হবে। ফলে আমাদের শরীর থেকে নির্গত ঘাম সেখানে কম শুকাবে, এর জন্য কম সুপ্ততাপের প্রয়োজন হবে। সুতরাং বেশি আর্দ্রতার স্থানে ঘাম বাষ্পায়নের জন্য শরীর কম সুপ্ততাপ সরবরাহ করবে, পক্ষান্তরে কম আপেক্ষিক আর্দ্রতার স্থানে শরীর বেশি তাপ হারাবে এবং বেশি স্বস্তিবোধ হবে আর বেশি আপেক্ষিক আর্দ্রতার স্থানে বেশি অস্বস্তিবোধ হয়।

৩. একই তাপমাত্রায় ঢাকা অপেক্ষা চট্টগ্রামে বেশি অস্বস্তিকর বোধ হয় : চট্টগ্রাম সমুদ্রের নিকটে অবস্থিত আর ঢাকা সমুদ্র থেকে বহু দূরে। সমুদ্র থেকে প্রতিনিয়ত বাষ্পায়ন প্রক্রিয়ায় যে জলীয়বাষ্পের সৃষ্টি হচ্ছে তা চট্টগ্রামের বায়ুতে থেকে যাচ্ছে। ঢাকা দূরে হওয়ায় স্বভাবতই সেখানকার বায়ুতে জলীয়বাষ্পের পরিমাণ কম। তাই ঢাকা ও চট্টগ্রামের তাপমাত্রা এক থাকলেও চট্টগ্রামের বায়ুতে জলীয়বাষ্পের পরিমাণ বেশি হওয়ায় সেখানকার আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেশি। ফলে ঢাকার চেয়ে চট্টগ্রামের বায়ুতে শরীর থেকে নির্গত ঘাম কম শুকাবে এবং ঘাম বাষ্পায়নের জন্য চট্টগ্রামে কম সুপ্ততাপের প্রয়োজন হবে। তাই ঢাকার তুলনায় চট্টগ্রামে শরীর কম তাপ হারাবে ফলে চট্টগ্রামে বেশি অস্বস্তিবোধ হবে।

৪. বর্ষাকাল অপেক্ষা শীতকালে ভেজা কাপড় দ্রুত শুকায় : শীতকালের চেয়ে যদিও বর্ষাকালে বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা বেশি থাকে তথাপি ভেজা কাপড় শীতকালেই দ্রুত শুকায়। ভেজা কাপড় শুকানো অর্থাৎ ভেজা কাপড়ের পানির বাষ্পায়ন নির্ভর করে আপেক্ষিক আর্দ্রতা তথা বায়ুমণ্ডলের জলীয়বাষ্পের ওপর। বর্ষাকালে বায়ুতে শীতকালের চেয়ে বেশি জলীয়বাষ্প থাকে, ফলে বর্ষাকালে পানির বাষ্পায়ন কম হয়। এ কারণে ভেজা কাপড়ের পানি বর্ষাকালের চেয়ে শীতকালে দ্রুত বাষ্পায়িত হয়, ফলে শীতকালে ভেজা কাপড় বর্ষাকালের চেয়ে দ্রুত শুকায়।

৫. শিশিরাঙ্কের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব : যে তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ু এর মধ্যে উপস্থিত জলীয়বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয়, সে তাপমাত্রাকে শিশিরাঙ্ক বলে। যদি কোনো ঘরের বায়ু এবং এতে অবস্থিত জলীয়বাষ্পের পরিমাণ নির্দিষ্ট থাকে তাহলে তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে ঐ ঘরের শিশিরাঙ্কের কোনো পরিবর্তন হবে না। কারণ ঘরে অবস্থিত নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ু নির্দিষ্ট পরিমাণ জলীয়বাষ্প দ্বারাই সম্পৃক্ত হবে; তাপমাত্রা পরিবর্তিত হলে এর কোনোটাই পরিবর্তিত হয় না বলে শিশিরাঙ্কের কোনো পরিবর্তন হবে না।

অনুরূপভাবে যদি তাপমাত্রা কমানো যায় তাহলেও মোট জলীয়বাষ্পের পরিমাণ ঠিক থাকে বলে শিশিরাঙ্কের কোনো পরিবর্তন হবে না।

১০.২২। ব্যবহারিক-২

Practical–2

পরীক্ষণের নাম	শীতলীকরণ পদ্ধতিতে কোনো তরল পদার্থের আপেক্ষিক
পিরিয়ড : ২	তাপ নির্ণয়।

মূলতত্ত্ব : নিউটনের শীতলীকরণ সূত্রটি হলো "কোনো বস্তুর তাপ বর্জনের হার বস্তু এবং তার পারিপার্শ্বিকের তাপমাত্রার পার্থক্যের সমানুপাতিক।" যদি কোনো তরল পদার্থকে তার পারিপার্শ্বিকের সাপেক্ষে বেশি তাপমাত্রায় রাখা হয় তাহলে উষ্ণ তরল পদার্থ কর্তৃক বর্জিত তাপের হার নির্ভর করে–

১. তরল পদার্থের তাপমাত্রার ওপর, ২. পারিপার্শ্বিকের তাপমাত্রার ওপর, ৩. তরল পদার্থের মুক্ততলের ক্ষেত্রফলের ওপর, ৪. তরল পদার্থ যে পাত্রে রাখা হয় সে পাত্রের উপাদানের ওপর এবং ৫. পাত্রের দেয়ালের ক্ষেত্রফলের ওপর।

যদি দুটি ভিন্ন তরলের ক্ষেত্রে উপরিউক্ত শর্তগুলো অভিন্ন হয় তাহলে তাদের তাপ বর্জনের হার একই হবে। তাপ বর্জনের হার তরল পদার্থ দুটির প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে না।

m_1 ভরের ও s_1 আপেক্ষিক তাপের ক্যালরিমিটারে রাখা s আপেক্ষিক তাপের M তরলের তাপমাত্রা θ_1 থেকে θ_2-তে

onlinemodeltest.com

নেমে আসতে যদি t_1 সময় লাগে তাহলে তরল পদার্থ ও ক্যালরিমিটার কর্তৃক তাপ হারানোর হার

$$\frac{(Ms + m_1 s_1)(\theta_1 - \theta_2)}{t_1}$$

একই ক্যালরিমিটারে তরল পদার্থের সমআয়তনের m_2 ভরের এবং s_2 আপেক্ষিক তাপের পানির তাপমাত্রা একই পরিমাণ অর্থাৎ θ_1 থেকে θ_2 -তে নেমে আসতে যদি t_2 সময় লাগে তাহলে পানি ও ক্যালরিমিটার কর্তৃক তাপ হারানোর হার,

$$\frac{(m_2 s_2 + m_1 s_1)(\theta_1 - \theta_2)}{t_2}$$

শীতলীকরণ অবস্থা একই রূপ থাকায় তাপ বর্জনের এ দু হার সমান।

অর্থাৎ $$\frac{(Ms + m_1 s_1)(\theta_1 - \theta_2)}{t_1} = \frac{(m_2 s_2 + m_1 s_1)(\theta_1 - \theta_2)}{t_2}$$

$$\therefore s = \frac{1}{M}\left((m_1 s_1 + m_2 s_2)\frac{t_1}{t_2} - m_1 s_1 \right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

যন্ত্রপাতি এবং অন্যান্য দ্রব্যাদি

ক্যালরিমিটার, থার্মোমিটার, পানি, তরল, নিক্তি, স্টপওয়াচ, দু দেয়ালবিশিষ্ট আবেষ্টনী পাত্র ইত্যাদি।

কাজের ধারা

১. আলোড়কসহ একটি ক্যালরিমিটার ভালোভাবে পরিষ্কার করে নিক্তির সাহায্যে ভর নির্ণয় করে আবেষ্টনীর মধ্যে নির্দিষ্ট জায়গায় রাখা হলো।

২. ক্যালরিমিটারের নিচ থেকে প্রায় দু-তৃতীয়াংশ ওপরে একটি দাগকাটা হলো।

৩. একটি বিকারে কিছু পরিমাণ পানি নিয়ে প্রায় 70°C পর্যন্ত উত্তপ্ত করা হলো। এবার এ পানি ক্যালরিমিটারের মধ্যে ঢেলে নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত পূর্ণ করা হলো। এখন ক্যালরিমিটারটিকে আবেষ্টনীর মধ্যে বসিয়ে ঢাকনা দিয়ে ঢেকে ঢাকনার ছিদ্রের মধ্য দিয়ে আলোড়ক ও থার্মোমিটার প্রবেশ করিয়ে দেয়া হলো। আবেষ্টনীর দু দেওয়ালের মধ্যবর্তী স্থানে কিছু ঠাণ্ডা পানি ঢেলে দেওয়া হলো।

৪. আলোড়ক দিয়ে পানি ধীরে ধীরে নাড়া হয় এবং তাপমাত্রা 65°C হলে স্টপওয়াচ চালিয়ে দেওয়া হয় এবং প্রতি এক মিনিট পরপর পানির তাপমাত্রার পাঠ নেওয়া হয়। পানির তাপমাত্রা যখন কক্ষতাপমাত্রার চেয়ে 5°-এর বেশি দেখা যাবে তখন পাঠ নেওয়া বন্ধ করে দিতে হবে। এবার ক্যালরিমিটারটিকে আবেষ্টনীর বাইরে এনে অপরিবাহী বস্তুর ওপর রেখে ঠাণ্ডা হতে দেওয়া হয়। পানির তাপমাত্রা কক্ষতাপমাত্রার সমান হলে ঢাকনা ও থার্মোমিটার সরিয়ে আলোড়ক ও পানিসহ ক্যালরিমিটারের ভর নির্ণয় করা হয়। এ ভর থেকে প্রথম ভর বাদ দিয়ে পানির ভর m_2 নির্ণয় করা হয়।

৫. এখন ক্যালরিমিটার থেকে পানি বের করে মুছে শুকিয়ে নেওয়া হয়। এরপর ইতোমধ্যে একটি বিকারে পরীক্ষাধীন তরল পদার্থ নিয়ে প্রায় 70°C পর্যন্ত উত্তপ্ত করা হয়। উত্তপ্ত তরল পদার্থ দ্বারা ক্যালরিমিটারের দাগ পর্যন্ত পূর্ণ করে ক্যালরিমিটারটিকে আবেষ্টনীর মধ্যে বসিয়ে দেয়া হলো। ক্যালরিমিটারটিকে ঢাকনা দিয়ে ঢেকে ঢাকনার ছিদ্রের মধ্য দিয়ে আলোড়ক ও থার্মোমিটার প্রবেশ করিয়ে দেওয়া হলো। আবেষ্টনীর দু দেয়ালের মধ্যবর্তী স্থানে কিছু ঠাণ্ডা পানি ঢেলে ৪নং কাজের ধারায় বর্ণিত প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রা ও তরলের ভর M নির্ণয় করে প্রাপ্ত উপাত্তসমূহ ছকে বসানো হলো।

৬. লেখ কাগজে X-অক্ষের দিকে সময় এবং Y-অক্ষের দিকে তাপমাত্রা বসিয়ে পানি ও তরলের জন্য দুটি লেখচিত্র অঙ্কন করা হলো (চিত্র : ১০.১৩)। লেখচিত্র থেকে তরল ও পানির তাপমাত্রা θ_1°C থেকে θ_2°C-এ নামতে কী পরিমাণ সময় লাগলো তা নির্ণয়ের জন্য θ_1 ও θ_2 দিয়ে X-অক্ষের সমান্তরাল দুটি রেখা টানা হলো।

৭. লেখচিত্র থেকে t_1 ও t_2 এর মান জেনে (1) নং সমীকরণের সাহায্যে তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করা হলো।

onlinemodeltest.com

পর্যবেক্ষণ ও সন্নিবেশন

১. আলোড়কসহ ক্যালরিমিটারের ভর,
$m_1 = \ldots$ kg

২. ক্যালরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ,
$s_1 = \ldots$ J kg^{-1} K^{-1}

৩. আলোড়কসহ ক্যালরিমিটার ও পানির ভর,
$m'_2 = \ldots$ kg

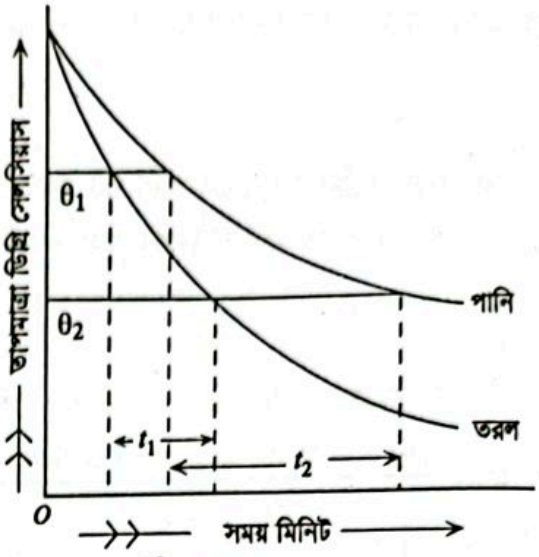
৪. পানির ভর, $m_2 = m'_2 - m_1 = \ldots$ kg

৫. আলোড়কসহ ক্যালরিমিটার ও তরলের ভর,
$M' = \ldots$ kg

৬. তরলের ভর, $M = M' - m_1 = \ldots$ kg

৭. পানির আপেক্ষিক তাপ,
$s_2 = 4200$ J kg^{-1} K^{-1}

৮. তরলের আপেক্ষিক তাপ = $s = \ldots$?



চিত্র : ১০.১৩

সময়–তাপমাত্রা ছক

সময় মিনিটে	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
পানির তাপমাত্রা °C										
তরলের তাপমাত্রা °C										

শীতলীকরণ লেখ (Cooling Graphs)

তরলের তাপমাত্রা θ_1°C (. . . . .) থেকে θ_2°C (. . . . .)-এ নামতে

প্রয়োজনীয় সময় (লেখ থেকে), $t_1 = \ldots\ldots$ মিনিট।

পানির তাপমাত্রা θ_1°C (. . . . .) থেকে θ_2°C (. . . . .)-এ নামতে

প্রয়োজনীয় সময় (লেখ থেকে), $t_2 = \ldots\ldots$ মিনিট।

হিসাব

$$s = \frac{1}{M}\left[(m_1 s_1 + m_2 s_2)\frac{t_1}{t_2} - m_1 s_1\right]$$

ফলাফল

প্রদত্ত তরলের আপেক্ষিক তাপ, $s = \ldots\ldots$ J kg^{-1} K^{-1}

সতর্কতা

১. পানি ও তরলের আয়তন সমান নেওয়া হয়।

onlinemodeltest.com

২. বাষ্পীভবনের ফলে পানি ও তরলের ভর যাতে কমে না যায়, সেজন্য এদেরকে স্ফুটনাঙ্কের বেশ কিছু নিচের তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করতে হবে।

৩. পানি ও তরল ক্যালরিমিটারের পরিবর্তে বিকারে রেখে উত্তপ্ত করা হয়।

৪. ক্যালরিমিটারের বাইরের তাপমাত্রার সমতা বজায় রাখার জন্য আবেষ্টনীর দুই দেয়ালের মধ্যবর্তী অংশে পানি দ্বারা পূর্ণ করা হয়।

৫. ক্যালরিমিটার সুপরিবাহক ধাতুর তৈরি হওয়া এবং ক্যালরিমিটারের দেয়াল পাতলা হওয়া উচিত।

৬. থার্মোমিটারে তাপমাত্রার মান সূক্ষ্মভাবে নির্ণয় করা হয়।

সার-সংক্ষেপ

আদর্শ গ্যাস : যে সকল গ্যাস বয়েল এবং চার্লসের সূত্র যুগ্মভাবে মেনে চলে তাদেরকে আদর্শ গ্যাস বলে।

বয়েলের সূত্র : কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির থাকলে তার আয়তন চাপের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।

চার্লসের সূত্র : স্থির চাপে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন $0^\circ C$ থেকে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য এর $0^\circ C$ তাপমাত্রার আয়তনের $\frac{1}{273}$ অংশ যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

চাপীয় সূত্র : স্থির আয়তনে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ $0^\circ C$ থেকে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য এর $0^\circ C$ তাপমাত্রার চাপের $\frac{1}{273}$ অংশ যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন প্রসারণ সহগ বা আয়তন প্রসারাঙ্ক, γ_p : স্থির চাপে $0^\circ C$ তাপমাত্রার নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের তাপমাত্রা প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস বৃদ্ধি করলে ঐ গ্যাসের প্রতি একক আয়তনে আয়তনের যে প্রসারণ হয় তাকে স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন প্রসারাঙ্ক বলে।

স্থির আয়তনে গ্যাসের চাপ প্রসারণ সহগ বা চাপ প্রসারাঙ্ক, γ_v : স্থির আয়তনে $0^\circ C$ তাপমাত্রার নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের তাপমাত্রা $0^\circ C$ থেকে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস বৃদ্ধি করলে ঐ গ্যাসের প্রতি একক চাপে চাপের যে বৃদ্ধি ঘটে তাকে স্থির আয়তনে গ্যাসের চাপ প্রসারাঙ্ক বলে।

প্রমাণ তাপমাত্রা : যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে অর্থাৎ 760 mm পারদ চাপে বরফ গলে পানিতে পরিণত হয় বা পানি জমে বরফে পরিণত হয় সে তাপমাত্রাকে প্রমাণ তাপমাত্রা বলে।

প্রমাণ চাপ : সমুদ্রপৃষ্ঠে 45° অক্ষাংশে 273.15 K তাপমাত্রায় উল্লম্বভাবে অবস্থিত 760 mm উচ্চতাবিশিষ্ট শুষ্ক ও বিশুদ্ধ পারদস্তম্ভ যে চাপ দেয় তাকে প্রমাণ চাপ বলে।

গড় বর্গবেগ : কোনো গ্যাসের সকল অণুর বেগের বর্গের গড়কে গড় বর্গবেগ বলে।

মূল গড় বর্গবেগ : কোনো গ্যাসের সকল অণুর বেগের বর্গের গড়মানের বর্গমূলকে মূল গড় বর্গবেগ বলে।

স্বাধীনতার মাত্রা : কোনো গতিশীল সিস্টেমের অবস্থান সম্পূর্ণরূপে বোঝাতে মোট যে সংখ্যক স্বাধীন রাশির প্রয়োজন হয় তাকে স্বাধীনতার মাত্রা বলে।

শক্তির সমবিভাজন নীতি : তাপীয় সাম্যাবস্থায় আছে এমন গতীয় সিস্টেমের মোট শক্তি বিভিন্ন স্বাধীনতার মাত্রার ভেতর সমভাবে বণ্টিত হয় এবং প্রত্যেক স্বাধীনতার মাত্রা পিছু শক্তি পরিমাণ হয় $\frac{1}{2}\ kT$

পরম আর্দ্রতা : বায়ুর প্রতি একক আয়তনে উপস্থিত জলীয়বাষ্পের ভরকে ঐ স্থানের পরম আর্দ্রতা বলে।

শিশিরাঙ্ক : যে তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ু এর মধ্যে অবস্থিত জলীয়বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয়, সেই তাপমাত্রাকে শিশিরাঙ্ক বলে।

আপেক্ষিক আর্দ্রতা : কোনো তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে অবস্থিত জলীয়বাষ্পের ভর এবং ঐ একই তাপমাত্রায় ঐ আয়তনের বায়ুকে সম্পৃক্ত করতে প্রয়োজনীয় জলীয়বাষ্পের ভরের অনুপাতকে ঐ স্থানের আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলে।

onlinemodeltest.com

সমস্যা সমাধানে প্রয়োজনীয় সমীকরণসমূহ

ক্রমিক নং	সমীকরণ নং	সমীকরণ	অনুচ্ছেদ
১	10.1	$p_1 V_1 = p_2 V_2 = K$	১০.২
২	10.2	$V = V_\circ \left(1 + \frac{\theta}{273}\right)$	১০.২
৩	10.4	$p = p_\circ \left(1 + \frac{\theta}{273}\right)$	১০.২
৪	10.6	$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \ldots\ldots\ldots\ldots = \frac{p_n V_n}{T_n} = K$	১০.৪
৫	10.8	$p V = \frac{m}{M} R T$	১০.৪
৬	10.9	$p V = n R T$	১০.৪
৭	10.11	$\frac{\rho_1}{p_1 T_1} = \frac{\rho_2}{p_2 T_2} = \text{Constant}$	১০.৬
৮	10.15	$p V = \frac{1}{3} m N \overline{c^2}$	১০.১১
৯	10.18	$p = \frac{1}{3} m n \overline{c^2}$	১০.১১
১০	10.19	$p = \frac{1}{3} \rho \overline{c^2}$	১০.১১
১১	10.21	$E = \frac{3}{2} R T$	১০.১১
১২	10.23	$\sqrt{\overline{c^2}} = C_{rms} = \sqrt{\frac{3 R T}{M}}$	১০.১১
১৩	10.24	$\overline{E} = \frac{3}{2} k T$	১০.১১
১৪	10.27	$\sqrt{\overline{c^2}} = C_{rms} = \sqrt{\frac{3 k T}{m}}$	১০.১১
১৫	10.28	$\lambda = \frac{1}{n \pi \sigma^2}$	১০.১৩
১৬	10.35	$R = \frac{f}{F} \times 100\%$	১০.১৯
১৭	10.36	$\theta = \theta_1 - G(\theta_1 - \theta_2)$	১০.২০

onlinemodeltest.com