

তাপ ও গ্যাস Heat and Gas

ইউনিট
৯



ভূমিকা (Introduction)

পদার্থের বিভিন্ন অবস্থা সম্পর্কে আমরা জানি। আমরা জানি কঠিন, তরল এবং বায়বীয় বা গ্যাসীয় পদার্থে তাপ প্রয়োগ করলে সব ধরনের পদার্থেরই প্রসারণ ঘটে। কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট আকার থাকায় এর দৈর্ঘ্য প্রসারণ, ক্ষেত্র প্রসারণ এবং আয়তন প্রসারণ সংঘটিত হয়। তরল পদার্থের শুধু আয়তন প্রসারণ হয়। গ্যাসীয় পদার্থেরও কেবল আয়তন প্রসারণ হয়। কঠিন ও তরল পদার্থের প্রসারণের ক্ষেত্রে চাপের কোনো ভূমিকা নেই। কিন্তু গ্যাসীয় পদার্থের আর একটি বিশেষ ধর্ম হলো এর কোনো নির্দিষ্ট আয়তন নেই। ফলে একই পরিমাণ গ্যাস ছোট ছোট হোক বড় হোক যে পাত্রে রাখা যায় সেই পাত্রটি পূর্ণ করে ফেলে বা সেই পাত্রের আয়তন দখল করে। এখানে তাপমাত্রা কমালেও আয়তন কমে না আবার তাপমাত্রা বাড়ালেও আয়তন বাড়ে না। তা হলে কী ঘটে? পাত্রের গায়ে চাপের পরিবর্তন হয়। এ থেকে প্রতীয়মান হয় তাপ প্রয়োগে বা তাপমাত্রা বৃদ্ধি ও গ্যাসীয় পদার্থের আয়তন বৃদ্ধির বিষয়টি চাপের সাথেও সম্পর্কিত। বিষয়টি সম্পর্কে সুস্পষ্ট ধারণা অর্জন প্রয়োজন।

এ ইউনিটে আমরা গ্যাসীয় পদার্থের প্রসারণে চাপ ও তাপের প্রভাব, গ্যাস সূত্রাবলী, আদর্শ গ্যাস সমীকরণ, গ্যাসের গতি তত্ত্ব, তাপ বিনিময় তত্ত্ব নিয়ে আলোচনা করব। একই সাথে পৃথিবীর বায়ু মণ্ডলের তাপ ও চাপের সাথে সম্পর্কিত গুরুত্বপূর্ণ বিষয় আর্দ্রতা সম্পর্কীয় বিষয়গুলিও আলোচিত হবে।

এই ইউনিটের পাঠসমূহ

পাঠ - ৯.১ : গ্যাসের সূত্রাবলি

পাঠ - ৯.২ : আদর্শ গ্যাস সমীকরণ

পাঠ - ৯.৩ : গ্যাসের গতি তত্ত্ব ও আদর্শ গ্যাসের চাপের রাশিমালা

পাঠ - ৯.৪ : আর্দ্রতামিতি

পাঠ - ৯.৫ : তাপ বিকিরণ

পাঠ - ৯.৬ : ব্যবহারিক-৯ : বয়েলের সূত্র যাচাই

পাঠ - ৯.৭ : ব্যবহারিক-১০ : নিউটনের শীতলীকরণ সূত্রের সাহায্যে তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়

পাঠ-৯.১

গ্যাসের সূত্রাবলি

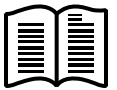
Gas Laws



উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- গ্যাসের সূত্রাবলি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- পরম শূন্য তাপমাত্রা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।



৯.১.১ গ্যাস সূত্রাবলি (Gas laws)

একই পরিমাণ গ্যাস একটি ছোট পাত্র থেকে বড় পাত্রে রাখলে গ্যাসের আয়তন বেড়ে যায়। তবে এক্ষেত্রে পাত্রের গায়ে গ্যাসের চাপ কমে যায়। এ থেকে বুঝা যায় গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধির সাথে চাপ এবং তাপ দুটিরই সম্পর্ক

আছে। অথবা বলা যায় যে আয়তন, চাপ ও তাপমাত্রা তিনটি রাশি বা চলক এক সাথে গ্যাসের আচরণ নিয়ন্ত্রণ করে। এই তিনটি চলকের পারস্পরিক সম্পর্ক নিয়ে তিনটি সূত্র প্রতিষ্ঠিত হয়েছে এগুলো গ্যাস সূত্রাবলি নামে পরিচিত। সূত্রগুলো নিচে বর্ণনা ও ব্যাখ্যা করা হলো।

প্রথম সূত্র (বয়েলের সূত্র) : ১৬৬২ সালে রবার্ট বয়েল এই সূত্রটি উপস্থাপন করেন। তাই এটি বয়েলের সূত্র বলে পরিচিত। সূত্রটি হলো, তাপমাত্রা স্থির থাকলে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন তার চাপের ব্যস্তানুপাতিক।

ব্যাখ্যা : এই সূত্রানুসারে তাপমাত্রা স্থির থাকলে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের তার আয়তন চাপের ব্যস্তানুপাতিক।

গাণিতিকভাবে তাপমাত্রা T , আয়তন V এবং চাপ p হলে; $V \propto \frac{1}{p}$ [যখন T স্থির থাকে]

বা, $pV = K$ [এখানে K একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক]

K এর মান গ্যাসের ভর এবং তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। সুতরাং যদি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন যথাক্রমে $V_1, V_2, V_3, V_4, \dots, V_n$ ইত্যাদি এবং চাপ যথাক্রমে $p_1, p_2, p_3, p_4, \dots, p_n$ ইত্যাদি হয় তা হলে-

$$p_1V_1 = p_2V_2 = p_3V_3 = p_4V_4 \dots \dots = p_nV_n = \text{ধ্রুবক (K)} \dots \dots \dots (৯.১)$$

অতএব চাপ দ্বিগুণ হলে আয়তন অর্ধেক হবে। চাপ তিনগুণ হলে আয়তন এক তৃতীয়াংশ হবে। বা চাপ অর্ধেক হলে আয়তন দ্বিগুণ হবে। এভাবে একটি বাড়লে অন্যটি কমবে।

দ্বিতীয় সূত্র (চার্লসের সূত্র) : ১৭৮৭ সালে জ্যাকুইস চার্লস এই সূত্রটি উপস্থাপন করেন। তাই এটি চার্লসের সূত্র নামে পরিচিত। সূত্রটি হলো, চাপ স্থির থাকলে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন তার প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রার

বৃদ্ধির বা হ্রাসের জন্য শূন্য ডিগ্রি সেলসিয়াস (0°C) তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তনের $\frac{1}{273}$ অংশ যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

ব্যাখ্যা :

মনে করি 0°C তাপমাত্রায় ও স্থির চাপে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন V_0 । চার্লসের সূত্রানুসারে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রা পরিবর্তনের জন্য আয়তনের পরিবর্তন $\frac{V_0}{273}$ হবে। সুতরাং $\theta^\circ \text{C}$ তাপমাত্রার পরিবর্তনের জন্য

আয়তনের পরিবর্তন হবে $\frac{\theta}{273} \times V_0$ ।

অর্থাৎ, 1°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন, $V_1 = V_0 + \frac{V_0}{273} = V_0 \left(1 + \frac{1}{273}\right)$

এবং $\theta^\circ \text{C}$ তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন, $V_\theta = V_0 \left(1 + \frac{\theta}{273}\right)$

এখন স্থির চাপে $\theta_1^\circ \text{C}$ ও $\theta_2^\circ \text{C}$ তাপমাত্রায় যদি কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন যথাক্রমে V_1 ও V_2 হয় তাহলে,

$$V_1 = V_0 \left(1 + \frac{\theta_1}{273}\right) = V_0 \left(\frac{273 + \theta_1}{273}\right) \dots \dots \dots (৯.২)$$

$$\text{এবং } V_2 = V_0 \left(1 + \frac{\theta_2}{273}\right) = V_0 \left(\frac{273 + \theta_2}{273}\right) \dots \dots \dots (৯.৩)$$

আমরা জানি কেলভিন তাপমাত্রা T এবং সেলসিয়াস তাপমাত্রা θ হলে, $273 + \theta = T$

সুতরাং সমীকরণ (৯.২) ও (৯.৩) এর মধ্যে যথাক্রমে $273 + \theta_1 = T_1$ ও $273 + \theta_2 = T_2$ বসিয়ে পাই,

$$V_1 = \frac{V_0 T_1}{273} \dots \dots \dots (৯.৪)$$

$$\text{এবং } V_2 = \frac{V_0 T_2}{273} \dots \dots \dots (৯.৫)$$

এখন সমীকরণ (৯.৪) কে সমীকরণ (৯.৫) দিয়ে ভাগ করলে পাই

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ বা } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ বা } \frac{V}{T} = \text{ধ্রুব। বা, } V \propto T$$

অর্থাৎ এই সম্পর্ক থেকে চার্লসের সূত্রটিকে নিম্নরূপে সংক্ষিপ্ত আকারে বিবৃত করা যায়।

- স্থির চাপে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন এর পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

তৃতীয় সূত্র (গ্যাসের চাপীয় সূত্র বা গে লুসাকের সূত্র) : ১৮০২ সালে জোসেফ গে লুসাক স্থির আয়তনের গ্যাসের তাপমাত্রার সাথে চাপের সম্পর্কটি সূত্রের মাধ্যমে প্রকাশ করেন। এটি গ্যাসীয় পদার্থের চাপীয় সূত্র নামে পরিচিত। এই সূত্রটি উপস্থাপন করেন গে লুসাক। তাই এটি গে লুসাকের সূত্র নামেও পরিচিত। সূত্রটি হলো,

স্থির আয়তনের কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য জন্য শূন্য ডিগ্রি সেলসিয়াস (0°C) তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের চাপের $\frac{1}{273}$ অংশ যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

সুতরাং

$$1^\circ \text{C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের চাপ, } p = p_0 + \frac{p_0}{273} = p_0 \left(1 + \frac{1}{273}\right)$$

$$\therefore \theta^\circ \text{C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের চাপ, } p_\theta = p_0 \left(1 + \frac{\theta}{273}\right)$$

অর্থাৎ, স্থির আয়তনের নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ যদি $\theta_1^\circ \text{C}$ ও $\theta_2^\circ \text{C}$ তাপমাত্রায় যথাক্রমে p_1 ও p_2 হয়

$$\text{তাহলে, } p_1 = p_0 \left(1 + \frac{\theta_1}{273}\right) = p_0 \left(\frac{273 + \theta_1}{273}\right) \dots \dots \dots (৯.৬)$$

$$\text{এবং } p_2 = p_0 \left(1 + \frac{\theta_2}{273}\right) = p_0 \left(\frac{273 + \theta_2}{273}\right) \dots \dots \dots (৯.৭)$$

আমরা জানি কেলভিন তাপমাত্রা T এবং সেলসিয়াস তাপমাত্রা θ হলে, $273 + \theta = T$

সুতরাং সমীকরণ (৯.৬) ও (৯.৭) এর মধ্যে যথাক্রমে $273 + \theta_1 = T_1$ ও $273 + \theta_2 = T_2$ বসিয়ে পাই,

$$p_1 = \frac{p_0}{273} T_1 \dots \dots \dots (৯.৮)$$

$$\text{এবং } p_2 = \frac{p_0}{273} T_2 \dots \dots \dots (৯.৯)$$

এখন সমীকরণ (৯.৮) কে সমীকরণ (৯.৯) দিয়ে ভাগ করলে পাই

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ বা } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \text{ বা } \frac{p}{T} = \text{ধ্রুব। বা, } p \propto T$$

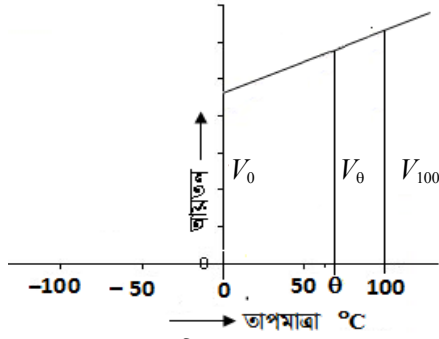
সুতরাং চাপীয় সূত্রটিকে নিম্নরূপে সংক্ষিপ্ত আকারে বিবৃত করা যায়।

- স্থির আয়তনে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ এর পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

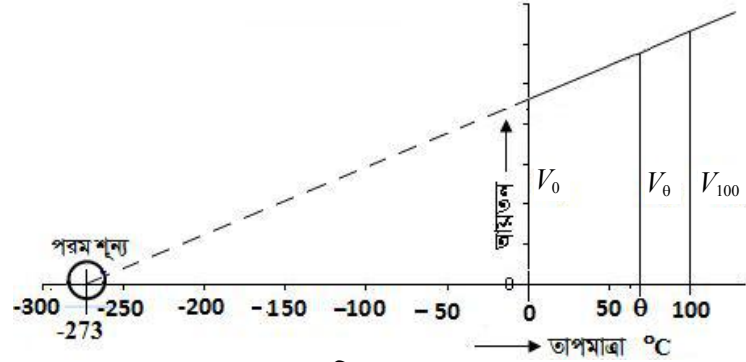
৯.১.২ পরম শূন্য তাপমাত্রা

চার্লসের সূত্র হলো স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন এর পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক। অর্থাৎ গ্যাসের ভর ও চাপ স্থির রেখে পরম তাপমাত্রা দ্বিগুণ করা হলে আয়তন দ্বিগুণ হবে, পরম তাপমাত্রা তিনগুণ করা হলে আয়তন তিনগুণ হবে।

ছক কাগজে X-অক্ষ বরাবর তাপমাত্রা এবং Y-অক্ষ বরাবর আয়তন নিয়ে একটি আয়তন-তাপমাত্রা লেখ অঙ্কন করলে একটি সরল রেখা পাওয়া যায় (চিত্র ৯.১ক)। যেহেতু তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে গ্যাসের আয়তনের সুসম বৃদ্ধি ঘটে। 0°C তাপমাত্রায় আয়তন V_0 , $\theta^{\circ}\text{C}$ তাপমাত্রায় আয়তন V_{θ} এবং 100°C তাপমাত্রায় আয়তন V_{100} ।



চিত্র ৯.১ক



চিত্র ৯.১খ

এই সরলরেখাটিকে পিছন দিকে বর্ধিত করলে এটি তাপমাত্রা নির্দেশক X-অক্ষকে -273.16°C দূরত্বে ছেদ করবে (চিত্র ৯.১খ)। লেখ চিত্রানুসারে তখন গ্যাসের আয়তন শূন্য হবে। আমরা -273.16°C এর পরিবর্তে -273°C ব্যবহার করব।

আবার চার্লসের সূত্র $V_{\theta} = V_0 \left(1 + \frac{\theta}{273}\right)$ অনুযায়ী নির্দিষ্ট চাপে ও 0°C তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট ভরের

গ্যাসের আয়তন যদি V_0 হয় তবে -273°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন হবে,

$$V_{-273} = V_0 \left(1 + \frac{-273}{273}\right) = V_0(1-1) = 0$$

অর্থাৎ -273°C তাপমাত্রায় যে কোনো গ্যাসের আয়তন তত্ত্বীয়ভাবে শূন্য হয়। প্রকৃতপক্ষে ঐ নিম্ন তাপমাত্রার বহু পূর্বেই সকল গ্যাস তরল অবস্থা প্রাপ্ত হয়। তাই এই তাপমাত্রাকে পরম শূন্য তাপমাত্রা বলা হয়।

চার্লসের সূত্রানুসারে, স্থির চাপে গাণিতিকভাবে যে তাপমাত্রায় যে কোনো গ্যাসের আয়তন শূন্য হয়, সেই তাপমাত্রাকে (-273°C) পরম শূন্য তাপমাত্রা বলা হয়। এই তাপমাত্রাকে শুরু বা শূন্য ধরে প্রতি ডিগ্রি তাপমাত্রার ব্যবধানকে এক ডিগ্রি সেলসিয়াসের সমান ধরে যে তাপমাত্রার স্কেল উদ্ভাবন করা হয়েছে তাকে তাপমাত্রার পরম স্কেল বলে। লর্ড কেলভিন এই স্কেলের ধারণা দেন বলে একে কেলভিন স্কেলও বলা হয়। কেলভিনের নামানুসারে এই স্কেলের তাপমাত্রাকে K দ্বারা সূচিত করা হয়। এ ক্ষেত্রে ডিগ্রি প্রতীক ($^{\circ}$) ব্যবহৃত হয় না। অর্থাৎ

$$0^{\circ}\text{C} = 273 \text{ K}, 1^{\circ}\text{C} = (273+1) = 274 \text{ K}, 100^{\circ}\text{C} = 273+100 = 373 \text{ K} \text{ ইত্যাদি।}$$

$$\therefore \theta^{\circ}\text{C} = (273 + \theta) \text{ K}$$

বা, কেলভিন স্কেলের পাঠ = 273 + সেন্টিগ্রেড স্কেলের পাঠ।

তাপমাত্রা পরিমাপের আন্তর্জাতিক বা এস. আই. একক কেলভিন (K)।

৯.১.৩ প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপ (Standard Temperature and Pressure, S.T.P)

বিজ্ঞানের বিভিন্ন আলোচনায় এবং গাণিতিক হিসাব নিকাশে প্রায়শ প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপ উল্লেখ বা ব্যবহৃত হয়। একে কখনও কখনও আদর্শ তাপমাত্রা ও চাপ বা স্বাভাবিক তাপমাত্রা ও চাপও বলা হয়। ইংরেজিতে সাধারণত STP বা NTP বলে।

প্রমাণ তাপমাত্রা : যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বরফ গলে পানিতে পরিণত হয় সেই তাপমাত্রাকে প্রমাণ তাপমাত্রা বলে। সেলসিয়াস স্কেলে এটি 0°C এবং এস. আই. এককে বা পরম তাপমাত্রার স্কেলে এটি 273K ।

প্রমাণ চাপ : সমুদ্র পৃষ্ঠের 45° অক্ষাংশে 273K তাপমাত্রায় 76cm উচ্চতার শুষ্ক ও বিশুদ্ধ পারদ স্তম্ভ যে চাপ প্রয়োগ করে তাকে প্রমাণ চাপ ধরা হয়। এই চাপের পরিমাণ

$$\begin{aligned} p &= h\rho g \quad (\text{এখানে } h \text{ পারদ স্তম্ভের উচ্চতা} = 0.76\text{ m, পারদের ঘনত্ব } \rho = 13596\text{ kgm}^{-3} \\ &\quad \text{এবং } g \text{ অভিকর্ষজ ত্বরণ} = 9.806\text{ ms}^{-2}) \\ &= 0.76\text{m} \times 13596\text{ kgm}^{-3} \times 9.806\text{ ms}^{-2} \\ &= 1.013 \times 10^5\text{ Nm}^{-2} \\ &= 1.013 \times 10^5\text{ Pa} \quad (\text{প্যাসকেল})। \end{aligned}$$

প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপকে S.T.P বা NTP বলা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.১: নির্দিষ্ট ভরের শুষ্ক বায়ুকে তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রেখে চাপ প্রয়োগে সংকুচিত করে অর্ধেক আয়তন করা হলো। চূড়ান্ত চাপ কত হবে।

সমাধান :

আমরা জানি

$$p_1V_1 = p_2V_2$$

$$\therefore p_2 = \frac{p_1V_1}{V_2}$$

$$\text{বা, } p_2 = \frac{pV}{\frac{V}{2}} = 2p = 2p_1$$

এখানে,

আদি আয়তন, $V_1 = V$ (ধরি)

চূড়ান্ত আয়তন, $V_2 = \frac{1}{2}V$ (প্রশ্নানুসারে)

আদি চাপ, $p_1 = p$ (ধরি)

চূড়ান্ত চাপ, $p_2 = ?$

উত্তর : চূড়ান্ত চাপ আদি চাপের দ্বিগুণ হবে।

চাপের বিভিন্ন এককের মধ্যবর্তী সম্পর্ক:

$$\begin{aligned} 1 \text{ বায়ুমন্ডলীয় চাপ (1 atmospheric pressure)} &= 1.013 \times 10^5\text{ Nm}^{-2} = 1.013 \times 10^3\text{ Pa} \\ &= 760 \text{ মিমি পারদ চাপ (760 mm Hg P)} \\ &= 76 \text{ সেমি পারদ চাপ (76 cm Hg P)} \\ &= 0.76 \text{ মি পারদ চাপ (0.76 m Hg P)} \end{aligned}$$



সার-সংক্ষেপ :

- **বয়েলের সূত্র :** তাপমাত্রা স্থির থাকলে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন তার চাপের ব্যস্তানুপাতিক।
- **চার্লসের সূত্র :** স্থির চাপে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন 0°C থেকে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধি

বাহ্রাসের জন্য এর 0°C তাপমাত্রার আয়তনের $\frac{1}{273}$ অংশ যথাক্রমে বৃদ্ধি বাহ্রাস পায়।

- গে লুসাকের সূত্র : স্থির আয়তনের কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ 0°C থেকে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধি বাহ্রাসের জন্য 0°C তাপমাত্রার চাপের $\frac{1}{273}$ অংশ যথাক্রমে বৃদ্ধি বাহ্রাস পায়।
- পরম শূন্য তাপমাত্রা : স্থির চাপে গাণিকিভাবে যে তাপমাত্রায় যেকোনো গ্যাসের আয়তন শূন্য হয়, সেই তাপমাত্রাকে (-273°C) পরম শূন্য তাপমাত্রা বলা হয়।
- প্রমাণ তাপমাত্রা : যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বরফ গলে পানিতে পরিণত হয় বা পানি জমে বরফে পরিণত হয় সেই তাপমাত্রাকে প্রমাণ তাপমাত্রা বলে। সেলসিয়াস স্কেলে এটি 0°C । এস. আই. এককে 273K ।
- প্রমাণ চাপ : সমুদ্র পৃষ্ঠের 45° অক্ষাংশে 273K তাপমাত্রায় 76cm উচ্চতার শুষ্ক ও বিশুদ্ধ পারদ স্তম্ভ যে চাপ প্রয়োগ করে তাকে প্রমাণ চাপ ধরা হয়। এই চাপের পরিমাণ $1.013 \times 10^5\text{ Pa}$



পাঠ্যপুস্তকের মূল্যায়ন-৯.১

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন

- ১। স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন তার উপর প্রযুক্ত চাপের ব্যস্তানুপাতিক।- সূত্রটি কার ?
 (ক) রবার্ট বয়েল (খ) জ্যাকুইস চার্লস
 (গ) গে লুসাক (ঘ) চার্লস বয়েল
- ২। বয়েলের সূত্রে ধ্রুব রাশি কোনটি ?
 (ক) চাপ (খ) তাপমাত্রা
 (গ) আয়তন (ঘ) K
- ৩। কোনো উষ্ণ পদার্থের সেলসিয়াস তাপমাত্রা 13°C হলে এর পরম বা কেলভিন তাপমাত্রা কত হবে ?
 (ক) 148°K (খ) 283
 (গ) 286K (ঘ) 286°K
- ৪। স্থির আয়তনে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ পরম তাপমাত্রার সাথে কীভাবে সম্পর্কিত ?
 (ক) চাপ তাপমাত্রার সমানুপাতিক (খ) চাপ তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক
 (গ) চাপ তাপমাত্রার বর্গের সমানুপাতিক (ঘ) চাপ তাপমাত্রার বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক
- ৫। প্রমাণ চাপের মান কত?
 (ক) 1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ (খ) 1 Bar
 (গ) 0.76 m (ঘ) $1.013 \times 10^5\text{ Pa}$

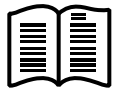
পাঠ-৯.২

আদর্শ গ্যাস সমীকরণ
Ideal Gas Equation

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- আদর্শ গ্যাস সমীকরণ $pV = nRT$ প্রতিপাদন করতে পারবেন।
- তাপমাত্রা ও চাপের সাথে গ্যাসের ঘনত্বের পরিবর্তন ব্যাখ্যা করতে পারবেন।



৯.২.১ আদর্শ গ্যাস সমীকরণ (Ideal gas equation)

যে সব গ্যাস বয়েলের সূত্র এবং চার্লসের সূত্র মেনে চলে তাদের আদর্শ গ্যাস বলা হয়। নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রা যথাক্রমে p , V ও T হলে; বয়েলের সূত্রানুসারে-

$$V \propto \frac{1}{p}; \text{ যখন তাপমাত্রা } T \text{ স্থির।}$$

আবার চার্লসের সূত্রানুসারে $V \propto T$; যখন চাপ p স্থির।

∴ অনুপাতের সূত্রানুসারে, $V \propto \frac{T}{p}$; যখন T ও p উভয়ই পরিবর্তনশীল।

$$\text{বা, } V = K \frac{T}{p} \text{ [এখানে, } K \text{ সমানুপাতিক ধ্রুবক]}$$

$$\text{বা, } pV = KT \quad \text{বা, } \frac{pV}{T} = K \quad \dots \dots \dots (৯.১০)$$

এখানে K একটি ধ্রুবক যার মান গ্যাসের ভর এবং এককের পদ্ধতির উপর নির্ভর করে।

যদি $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ তাপমাত্রা এবং $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ চাপের কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন যথাক্রমে $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ হয়, তাহলে (৯.১০) নং সমীকরণ অনুসারে,

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p_3 V_3}{T_3} = \dots = \frac{p_n V_n}{T_n} = K \text{ (ধ্রুবক)} \dots \dots \dots (৯.১১)$$

আমরা জানি (অ্যাভোগ্যাড্রোর প্রকল্প অনুসারে) এক মোল বা এক গ্রাম অণুর ভরের সকল গ্যাসের আয়তন সমান। আদর্শ চাপ ও তাপমাত্রায় এই আয়তন 22.4 লিটার। সুতরাং যদি এক মোল গ্যাসের আয়তন, V হয় তাহলে $\frac{pV}{T}$ অনুপাতটি

সকল গ্যাসের জন্য অভিন্ন হবে। তখন ধ্রুবক K কে R দ্বারা প্রকাশ করা যায়। অর্থাৎ $\frac{pV}{T} = R$

$$\text{বা, } pV = RT \dots \dots \dots (৯.১২)$$

এখানে R কে সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক (Universal Gas Constant) বা মোলার গ্যাস ধ্রুবক (Molar Gas Constant) বলা হয়। এর মান আন্তর্জাতিক এককে $8.31 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ।

সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবকের মান নির্ণয়

স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রায়, এক মোল গ্যাসের আয়তন, $V = 22.4 \text{ litre} = 22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

স্বাভাবিক চাপ, $p = h\rho g = (0.7 \text{ m}) \times (13600 \text{ kgm}^{-3}) \times (9.81 \text{ ms}^{-2}) = 1.013 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$

স্বাভাবিক তাপমাত্রা, $T = 273 \text{ K}$

$$\therefore \text{সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক, } R = \frac{pV}{T} = \frac{(1.013 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}) \times (22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3)}{(1 \text{ mole}) \times (273 \text{ K})} = 8.31 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

যদি তাপমাত্রা স্থির থাকে অর্থাৎ $T_1 = T_2$ হয় তবে সমীকরণ থেকে পাওয়া যাবে,

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

$$\text{অর্থাৎ, } \rho = \text{ধ্রুবক} \times p$$

$$\text{বা, } \rho \propto p$$

সুতরাং স্থির তাপমাত্রায় কোন গ্যাসের ঘনত্ব এর চাপের সমানুপাতিক।

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

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

$$\text{বা, } \rho \propto \frac{1}{T}$$

সুতরাং স্থির চাপে গ্যাসের ঘনত্ব এর পরম তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.২: 25°C তাপমাত্রায় এবং $5 \times 10^5 \text{ Pa}$ চাপে কোনো গ্যাসের আয়তন 80 cm^3 । 45°C তাপমাত্রায় এবং $8 \times 10^5 \text{ Pa}$ চাপে আয়তন কত হবে ?

সমাধান :

আমরা জানি,

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

$$\text{বা, } V_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{T_1 p_2}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{5 \times 10^5 \times 80 \times 318}{298 \times 8 \times 10^5} \\ &= \frac{1272 \times 10^6}{2384 \times 10^5} \\ &= 5.34 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

উত্তর : 5.34 cm^3

এখানে,

প্রাথমিক চাপ, $p_1 = 5 \times 10^5 \text{ Pa}$

চূড়ান্ত চাপ, $p_2 = 8 \times 10^5 \text{ Pa}$

প্রাথমিক তাপমাত্রা, $T_1 = 25^\circ\text{C} = 25 + 273 = 298 \text{ K}$

চূড়ান্ত তাপমাত্রা, $T_2 = 45^\circ\text{C} = 45 + 273 = 318 \text{ K}$

প্রাথমিক আয়তন, $V_1 = 80 \text{ cm}^3$

চূড়ান্ত আয়তন, $V_2 = ?$



সার-সংক্ষেপ :

- আদর্শ গ্যাস : যে সব গ্যাস বয়েলের সূত্র এবং চার্লসের সূত্র মেনে চলে তাদের আদর্শ গ্যাস বলা হয়।
- সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক বা মোলার গ্যাস ধ্রুবক এর মান আন্তর্জাতিক এককে $8.31 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ।



পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৯.২

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন

১। $\frac{pV}{T} = K$ সমীকরণে K একটি ধ্রুবক। K এর মান নিচের কোনটির উপর নির্ভরশীল ?

- (ক) গ্যাসের ভর (খ) গ্যাসের আয়তন
(গ) গ্যাসের চাপ (ঘ) তাপমাত্রা

২। আন্তর্জাতিক এককে সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবকের মান কত?

- (ক) 22.4 litre (খ) 273 K
(গ) $8.31 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ (ঘ) 76 mm

৩। আদর্শ গ্যাস সমীকরণ কোনটি ?

- (ক) $\frac{p_1 m}{T_1 \rho_1} = \frac{p_2 m}{T_2 \rho_2}$ (খ) $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$
(গ) $pV = nRT$ (ঘ) $pV = RT$

৪। কোন সম্পর্কটি গ্যাসের চাপ ও তাপমাত্রার সাথে ঘনত্বের সম্পর্ক নির্দেশ করে ?

- (ক) $\rho_1 T_1 p_1 = \rho_2 T_2 p_2$ (খ) $\rho_1 T_1 p_2 = \rho_2 T_2 p_1$
(গ) $\rho_1 T_2 p_1 = \rho_2 T_1 p_2$ (ঘ) $\rho_1 T_2 p_2 = \rho_2 T_1 p_1$

৫। স্থির চাপে গ্যাসের ঘনত্ব এর পরম তাপমাত্রার সম্পর্ক কী ?

- (ক) ঘনত্ব তাপমাত্রার সমানুপাতিক (খ) ঘনত্ব তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক
(গ) ঘনত্ব তাপমাত্রার বর্গের সমানুপাতিক (ঘ) তাপমাত্রার ঘনত্বের বর্গের সমানুপাতিক

পাঠ-৯.৩

গ্যাসের গতি তত্ত্ব ও আদর্শ গ্যাসের চাপের রাশিমালা

Kinetic Theory of Gases and Expression for the Pressure of perfect Gases



উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

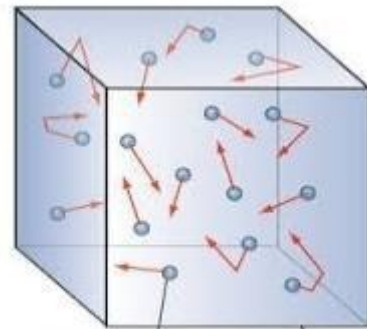
- গ্যাসের গতি তত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্যসমূহ বর্ণনা করতে পারবেন।
- আদর্শ গ্যাসের চাপের রাশিমালা প্রতিপাদন করতে পারবেন।
- গ্যাসের গতি তত্ত্ব ব্যবহার করে আদর্শ গ্যাসের সূত্রাবলি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।



৯.৩.১ গ্যাসের গতি তত্ত্ব (Kinetic Theory of Gases)

আমরা জানি কঠিন, তরল, বায়বীয় সকল পদার্থই অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণার সমন্বয়ে গঠিত। এই কণাগুলোর নাম অণু। পদার্থের মধ্যে অণুগুলো গায়ে গায়ে লেগে থাকে না। দুটি অণুর মধ্যে বেশ খানিকটা যায়গা ফাঁকা থাকে। এই ফাঁকা যায়গা বা স্থানকে আমরা বলি আন্তঃআণবিক শূন্যস্থান (inter molecular space)। কঠিন পদার্থের আন্তঃ আণবিক শূন্যস্থানের পরিমাণ কম। তরলে অপেক্ষাকৃতভাবে বেশি। গ্যাসীয় পদার্থে আরও বেশি। বস্তুত কঠিন পদার্থের আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল বেশি বলে অণুগুলো পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন হয় না; তবে এগুলো সুস্থিত নয়। একই স্থানে থেকে, সাম্য অবস্থার উভয় দিকে নিয়ত স্পন্দিত হতে থাকে। তরলের মধ্যে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল কম। কিন্তু আদর্শ গ্যাসীয় পদার্থের মধ্যে আদৌ কোনো আকর্ষণ বল নাই। তাই গ্যাসীয় পদার্থের অণুগুলো পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে চারিদিকে ছড়িয়ে পড়ে এবং স্বাধীনভাবে গতিশীল থাকে। যেমন ঘরের এক কোণে সামান্য সেন্ট স্প্রে করলে তা অতি দ্রুত সমস্ত ঘরে ছড়িয়ে পড়ে। এক্ষেত্রে গন্ধ দ্রব্যের অণুগুলো ঘরময় ছড়িয়ে যায়।

অবিরত গতিশীল গ্যাসের অণুগুলো বিচ্ছিন্ন ভাবে যেকোনো দিকে ছুটে যায়। এক সময় বন্ধ দেয়ালে বা অন্য কোনো কণার সঙ্গে ধাক্কা খায়। দেয়াল বা অন্য কণার সাথে ধাক্কার প্রতিক্রিয়া বলের প্রভাবে অণুটি গতিপথ পরিবর্তন করে। অন্য কণা বা দেয়ালে ধাক্কা দেয়। এই প্রক্রিয়া অনির্দিষ্ট কালের জন্য অব্যাহত থাকে। ফলে গ্যাসীয় পদার্থের আধারের গায়ে ধাক্কা অব্যাহত থাকে বা চাপ দেয়। এভাবে গ্যাসের গতি তত্ত্ব উদ্ভব হয়েছে। গ্যাসের ধর্মের তাত্ত্বিক ব্যাখ্যা করতে এই গতি তত্ত্ব সহায়ক ভূমিকা পালন করে।



গ্যাসের অণুসমূহ আবদ্ধ পাত্র

চিত্র ৯.২ বদ্ধ পাত্রে গ্যাসীয় অণুর গতি

তাই গ্যাসের গতিতত্ত্ব অতি গুরুত্বপূর্ণ। এই তত্ত্ব কতগুলো স্বীকার্যের ভিত্তিতে প্রতিষ্ঠিত হয়েছে। কেবলমাত্র আদর্শ গ্যাস এই তত্ত্ব মেনে চলে। বাস্তবে গ্যাসের ক্ষেত্রে সকল অবস্থায় এই স্বীকার্যগুলো কার্যকর হয় না। স্বীকার্যগুলো নিচে বর্ণনা করা হলো।

গ্যাসের গতিতত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্যসমূহ (Basic Assumptions of Kinetic Theory of Gases)

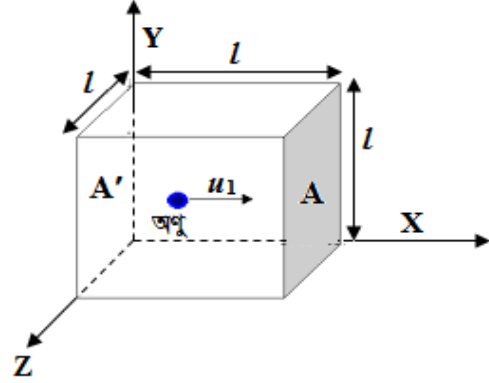
- (১) সকল গ্যাসই অতি সূক্ষ্ম অণু দ্বারা গঠিত। কোনো একটি গ্যাসের অণু একই রকম, কিন্তু বিভিন্ন গ্যাসের অণু বিভিন্ন। যেমন হাইড্রোজেন গ্যাসের সকল অণু সদৃশ কিন্তু অক্সিজেনের অণুর মতো নয়। আবার অক্সিজেনের সকল অণু সদৃশ। হাইড্রোজেন বা অন্য কোনো গ্যাসের অণুর সদৃশ নয়।
- (২) গ্যাসের অণুর সংখ্যা বিপুল। অণুগুলো সবসময় পরস্পর থেকে দূরে থাকে। অণুর আকার এই দূরত্বের তুলনায় অতি নগণ্য। এবং এদের অধিকৃত আয়তন আধার বা পাত্রের তুলনায় আরও নগণ্য। আধার বা পাত্রের তল বা দেয়ালের সাথে অণুগুলোর ধাক্কার কারণেই গ্যাসের চাপের সৃষ্টি হয়।
- (৩) গ্যাসের অণুগুলো সব সময় বা বিভিন্ন দিকে অবিরাম এবং বিভিন্ন বেগে গতিশীল। এরা নিউটনীয় গতিসূত্রগুলো মেনে চলে।
- (৪) প্রতিটি অণুর বেগের মান ও দিক দেয়ালের সাথে বা পরস্পরের সাথে সংঘর্ষে পরিবর্তন হয়। সংঘর্ষের পূর্বে এবং পরে সর্বদা প্রতিটি কণার গতি সরলরৈখিক। দুটি সংঘর্ষের মধ্যবর্তী সময়ে একটি অণু যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে মুক্ত পথ (Free path) বলে।
- (৫) গ্যাসের অণুগুলোর মধ্যে কোনো পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ নাই। একমাত্র সংঘর্ষের সময় ভিন্ন একে অন্যের গতিকে প্রভাবিত করে না। একটি সংঘর্ষে যে সময় লাগে তা পরপর দুটি সংঘর্ষের মধ্যবর্তী সময়ের তুলনায় অতি নগণ্য। এদের শক্তি সম্পূর্ণটাই গতি শক্তি।
- (৬) গ্যাসের অণুগুলো বিন্দু ভর (Point mass)। আদর্শ কঠিন স্থিতিস্থাপক গোলক সদৃশ। অণুগুলো পারস্পরিক সংঘাত এবং পাত্রের দেয়ালের সাথে সংঘাত স্থিতিস্থাপক। এই সংঘাতের ফলে গ্যাসের অণুগুলোর ভরবেগ এবং গতি শক্তি সংরক্ষণের নীতি প্রভাবিত হয় না।

৯.৩.২ আদর্শ গ্যাসের চাপের রাশিমালা প্রতিপাদন

প্রতি বাহু l দৈর্ঘ্য বিশিষ্ট একটি সুষম ঘনক আকৃতির পাত্র কল্পনা করা যাক (চিত্র ৯.৩)। এর আয়তন $V = l^3$ একক। ধরা যাক এর মধ্যে কোনো গ্যাসের N সংখ্যক অণু আছে, প্রত্যেকটি অণুর ভর m ।

∴ পাত্রের মধ্যে গ্যাসের মোট ভর, $M = mN$

প্রথমে একটি অণুর কথা বিবেচনা করা যাক, যেটি X- অক্ষ বরাবর পাত্রে A দেয়ালের দিকে u_1 বেগে গতিশীল। সুতরাং এটি X- অক্ষের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত A দেয়ালে u_1 বেগে ধাক্কা দেবে। ধাক্কাটি পূর্ণস্থিতিস্থাপক হওয়ায় অণুটি $-u_1$ বেগে বিপরীত দিকে চলে আসবে।



চিত্র ৯.৩

সুতরাং ধাক্কার পূর্বে ও পরে অণুটির ভরবেগ হবে যথাক্রমে mu_1 এবং $-mu_1$; অতএব অক্ষ বরাবর প্রতি ধাক্কায় অণুটির ভরবেগের পরিবর্তন হবে,

$$mu_1 - (-mu_1) = 2mu_1$$

এখন A দেয়ালে ধাক্কার পর অণুটি বিপরীত দিকে ফিরে যাবে। এবং l দূরত্ব অতিক্রম করে এর A-এর বিপরীত A' দেয়ালে ধাক্কা খেয়ে আবার A-এর দিকে ফিরে এসে ধাক্কা খাবে। একই তলে পরপর দুবার ধাক্কার

মধ্যবর্তী দূরত্ব $2l$ এবং অতিবাহিত সময় t হলে, $u_1 = \frac{2l}{t}$ বা, $t = \frac{2l}{u_1}$

সুতরাং অণুটির ভরবেগের পরিবর্তনের হার $= \frac{2mu_1}{t} = \frac{2mu_1}{\frac{2l}{u_1}} = \frac{mu_1^2}{l}$

কিন্তু নিউটনের গতির দ্বিতীয় সূত্রানুসারে ভরবেগের পরিবর্তনের হার প্রযুক্ত বলের সমান। অতএব A দেয়ালের উপর ঐ

অণু কর্তৃক প্রযুক্ত বল, $F_1 = \frac{mu_1^2}{l}$

এখন X-অক্ষ বরাবর অন্যান্য অণুর বেগের উপাংশ যদি $u_2, u_3, u_4, \dots, u_n$ হয়, তবে পাত্রে N সংখ্যক অণু কর্তৃক A দেয়ালের উপর প্রযুক্ত মোট বল,

$$F = \frac{m}{l}(u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_n^2) \dots \dots \dots (৯.১৬)$$

যদি X-অক্ষ বরাবর অণুগুলোর গড় বর্গ বেগকে $\overline{u^2}$ লেখা হয় তাহলে,

$$\overline{u^2} = \frac{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_n^2}{N}$$

বা, $N\overline{u^2} = u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_n^2 \dots \dots \dots (৯.১৭)$

সমীকরণ (৯.১৬) এবং (৯.১৭) থেকে $F = \frac{m}{l} N\overline{u^2}$

যেহেতু একক ক্ষেত্রের উপর প্রযুক্ত বলকে চাপ বলা হয়। সেহেতু এক্ষেত্রে দেয়ালের উপর প্রযুক্ত গড় চাপ হবে,

$$p = \frac{F}{l^2} = \frac{Nm\overline{u^2}}{ll^2} = \frac{Nm\overline{u^2}}{l^3}$$

এখন ধরা যাক, অণুগুলো কেবল 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 এর বেগের উপাংশগুলো যথাক্রমে u , v ও w (চিত্র ৯.৪)।

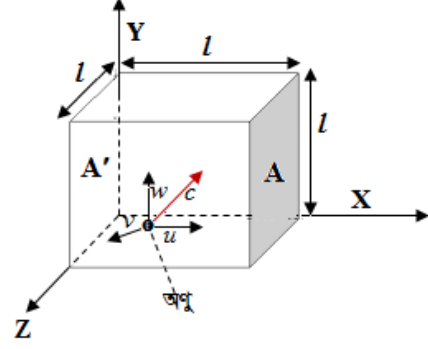
$$\text{সুতরাং } c^2 = u^2 + v^2 + w^2$$

এখন যে কোনো দিকে অণুগুলোর গড় বর্গ বেগ $\overline{c^2}$

এবং X , Y ও Z অক্ষ বরাবর অণুগুলোর

গড় বর্গ বেগ যথাক্রমে $\overline{u^2}$, $\overline{v^2}$ ও $\overline{w^2}$ হলে,

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



চিত্র ৯.৪

যেহেতু বিপুল সংখ্যক অণু এলোমেলো (random) গতিতে গতিশীল এবং বিশেষ কোনো দিকে তাদের বেগের উপাংশ কম বা বেশি হওয়ার কোনো কারণ নাই, তাই আশা করা যায় $\overline{u^2} = \overline{v^2} = \overline{w^2}$

$$\text{অতএব } \overline{c^2} = 3\overline{u^2} \quad \text{বা, } \overline{u^2} = \frac{1}{3}\overline{c^2}$$

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

$$\text{বা, } p = \frac{1}{3} \frac{mN}{V} \overline{c^2} \quad \dots\dots\dots (৯.১৮)$$

$$\therefore pV = \frac{1}{3} mN \overline{c^2} \quad \dots\dots\dots (৯.১৯)$$

পাত্রের একক আয়তনের অণুর সংখ্যা $n = \frac{N}{V}$ হলে উপরের সমীকরণ থেকে পাই,

$$p = \frac{1}{3} mnc^2 \quad \dots\dots\dots (৯.২০)$$

এখানে কেবল A দেয়ালের উপর প্রযুক্ত চাপ হিসাব করা হয়েছে। কিন্তু প্যাসকেলের সূত্র অনুযায়ী ঘনকের ভিতরের সর্বত্র এবং প্রত্যেক দেয়ালে প্রযুক্ত চাপ (p) সমান। তাই, উপরের সমীকরণটি চাপকে অণুর সংখ্যা, ভর এবং বেগের সাথে সম্পর্কিত করেছে।

আবার পাত্রের গ্যাসের মোট ভর $M = mN$ এবং আয়তন $= V$

অতএব গ্যাসের একক আয়তনের ভর বা গ্যাসের ঘনত্ব, $\rho = \frac{mN}{V}$ সমীকরণ (৯.১৮) এ মান বসিয়ে পাই,

$$p = \frac{1}{3} \rho c^2 \quad \dots\dots\dots (৯.২১)$$

আবার সমীকরণ (৯.১৯) থেকে

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

$$\therefore pV = \frac{2}{3} K.E \quad [\text{এখানে গ্যাসের গতি শক্তি } K.E = \frac{1}{2} M\bar{c}^2] \dots\dots\dots (৯.২২)$$

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

অর্থাৎ গ্যাসের চাপ এর একক আয়তনের অণুগুলোর গতি শক্তির দুই-তৃতীয়াংশ।

এক মোল অথবা এক গ্রাম অণু গ্যাস বিবেচনা করা হলে আমরা জানি $pV = RT$ । (৯.২২) নং সমীকরণ থেকে PV এর মান বসালে,

$$K.E = \frac{3}{2} RT \dots\dots\dots (৯.২৩)$$

উপরের সমীকরণগুলো গ্যাসের চাপকে গ্যাসের আয়তন, ঘনত্ব ও বেগের সাথে, এবং গতি শক্তিকে চাপ, আয়তন এবং পরম তাপমাত্রার সাথে সম্পর্কিত করেছে।

৯.৩.৩: গ্যাসের গতি তত্ত্ব ব্যবহার করে আদর্শ গ্যাসের সূত্রাবলি ব্যাখ্যা

গ্যাসের গতি তত্ত্ব প্রয়োগ করে আদর্শ গ্যাস সূত্র, বয়েলের সূত্র, চার্লসের সূত্র সমূহ সহজেই প্রমাণ করা যায়। প্রয়োগ সমূহের কয়েকটি নিচে আলোচনা করা হলো।

১) গ্যাসের গতি তত্ত্ব থেকে বয়েলের সূত্রের ব্যাখ্যা/ প্রতিপাদনঃ

বয়েলের সূত্র অনুযায়ী স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন এর চাপের ব্যস্তানুপাতিক। গাণিতিকভাবে তাপমাত্রা

T , আয়তন V এবং চাপ p হলে; $V \propto \frac{1}{p}$ [যখন T স্থির থাকে]

বা, $pV = K$ [ধ্রুবক]

গতি তত্ত্ব অনুসারে সমীকরণ (৯.১৮) গ্যাসের চাপ, $p = \frac{1}{3} \frac{mN}{V} \bar{c}^2$

$$\text{বা, } pV = \frac{1}{3} mN\bar{c}^2 = \frac{1}{3} M\bar{c}^2 = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} M\bar{c}^2 \quad [:: M = mN]$$

$$pV = \frac{2}{3} K.E \quad [:: K.E = \frac{1}{2} mN\bar{c}^2 = \frac{1}{3} M\bar{c}^2]$$

এখানে $K.E.$ = গ্যাসের অণুসমূহের মোট গতি শক্তি।

অণুসমূহের গতিশীলতার জন্য কোনো বস্তু তাপ প্রাপ্ত হয় অর্থাৎ তাপ গতিশক্তিরই একটি ভিন্ন রূপ। তাপমাত্রা স্থির থাকলে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের তাপের পরিমাণ স্থির থাকে। ফলে মোট গতি শক্তিও স্থির থাকে। অতএব স্থির তাপমাত্রায় মোট গতি

শক্তি, $K.E = \frac{1}{2} mN\bar{c}^2 =$ ধ্রুবক

আবার তাপমাত্রা স্থির থাকলে $pV =$ ধ্রুবক, এটি বয়েলের ধ্রুবক। এটিই হলো বয়েলের সূত্র। গ্যাসের গতিতত্ত্ব হতে এটি প্রমাণিত হলো।

২) গ্যাসের গতি তত্ত্ব থেকে চার্লসের সূত্রের ব্যাখ্যা/ প্রতিপাদনঃ

চার্লসের সূত্র অনুযায়ী স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন এর পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

গাণিতিকভাবে পরম তাপমাত্রা T , আয়তন V এবং চাপ p হলে; $V \propto T$

আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ থেকে পাই,

$$pV = RT$$

$$\text{বা, } \frac{V}{T} = \frac{R}{p} = \text{ধ্রুব সংখ্যা বা, } V = \text{ধ্রুব সংখ্যা} \times T$$

$$\therefore V \propto T$$

অর্থাৎ, চাপ স্থির থাকলে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন এর পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক। এটি চার্লসের সূত্র।

৩) আদর্শ গ্যাস সমীকরণ

আদর্শ গ্যাসের তাপ, চাপ এবং আয়তন সম্পর্কিত তত্ত্বটিকে বলা হয় আদর্শ গ্যাস তত্ত্ব। আমরা জানি যে সব গ্যাস গতি তত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্যসমূহ, বয়েলের সূত্র, চার্লসের সূত্র এবং চাপের সূত্রগুলো পুরোপুরি মেনে চলে তাদের আদর্শ গ্যাস বলে। কিন্তু বাস্তব ক্ষেত্রে কোনো গ্যাসই আদর্শ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে না। তবে কিছু কিছু গ্যাস বিশেষ অবস্থায় যেমন হাইড্রোজেন, অক্সিজেন ইত্যাদি আদর্শ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে।

গ্যাসের গতি তত্ত্ব অনুযায়ী, কোনো গ্যাসের তাপশক্তি তার গতি শক্তির ফল। পরমশূন্য তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের অণুর তাপশক্তি শূন্য হয়। ফলে গ্যাসের অণুগুলোর গতি শক্তি এবং গড় বর্গ বেগের বর্গমূলের মানও শূন্য হয়। কোনো গ্যাসে তাপ প্রয়োগ করলে, এটি গ্যাসের অণুসমূহের গতি শক্তি হিসাবে প্রকাশ পায়।

$$\therefore K.E = \frac{1}{2} mN\bar{c}^2 = \frac{1}{2} M\bar{c}^2$$

এখানে, $m =$ প্রতিটি অণুর ভর, $N =$ অণুর সংখ্যা, $c =$ গড় বর্গবেগের বর্গমূল এবং $M = mN =$ গ্যাসের ভর।

আমরা পূর্বে দেখেছি যে, কোনো গ্যাসের ক্ষেত্রে অণুর গড় গতি শক্তি পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

$$\therefore \frac{1}{2} M\bar{c}^2 \propto T$$

আবার আমরা জানি, $pV = \frac{1}{3} M\bar{c}^2$

$$\therefore pV \propto T$$

$$\text{বা, } pV = \text{ধ্রুবক} \times T$$

$$\text{বা, } \frac{pV}{T} = \text{ধ্রুবক}$$

$V =$ এক গ্রাম অণু গ্যাসের আয়তন হলে,

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

$$\text{বা, } pV = RT \dots\dots\dots (৯.২৪)$$

সমীকরণ (৯.২৪) মূলত আদর্শ গ্যাস সমীকরণ। n গ্রাম অণু গ্যাস বিবেচনা করা হলে আদর্শ গ্যাস সমীকরণটি হয়,

$$pV = nRT \dots\dots \dots\dots \dots\dots \dots\dots \dots\dots \dots\dots \dots\dots \dots\dots (৯.২৫)$$

এভাবে গ্যাসের গতি তত্ত্ব থেকে আদর্শ গ্যাস সমীকরণটি ব্যাখ্যা করা যায়।



সার-সংক্ষেপ :

গ্যাসের গতিতত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্যসমূহ :

- সকল গ্যাসই অতি সূক্ষ্ম অণু দ্বারা গঠিত। কোনো একটি গ্যাসের অণু একই রকম, কিন্তু বিভিন্ন গ্যাসের অণু বিভিন্ন।
- গ্যাসের অণুর সংখ্যা বিপুল। অণুগুলো সবসময় পরস্পর থেকে দূরে থাকে।
- গ্যাসের অণুগুলো সব সময় বা বিভিন্ন দিকে অবিরাম এবং বিভিন্ন বেগে গতিশীল। এরা নিউটনীয় গতিসূত্রগুলো মেনে চলে।
- প্রতিটি অণুর বেগের মান ও দিক দেয়ালের সাথে বা পরস্পরের সাথে সংঘর্ষে পরিবর্তন হয়।
- গ্যাসের অণুগুলোর মধ্যে কোনো পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ নাই।
- গ্যাসের অণুগুলো বিন্দু ভর (Point mass)। আদর্শ কঠিন স্থিতিস্থাপক গোলক সদৃশ।



পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৯.৩

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন

১। কোন পদার্থের আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল সবচেয়ে বেশি ?

- | | |
|--------------|-------------|
| (ক) কঠিন | (খ) তরল |
| (গ) গ্যাসীয় | (ঘ) প্লাজমা |

২। পাত্রে আবদ্ধ গ্যাসের অণুগুলো অবিরাম বিভিন্ন দিকে ও বিভিন্ন বেগে গতিশীল এক্ষেত্রে প্রত্যেকটি অণুর-

- | | |
|---------------------|----------------------------|
| (ক) বেগ সমান | (খ) অতিক্রান্ত দূরত্ব সমান |
| (গ) গতির দিক অভিন্ন | (ঘ) গতি সরল রৈখিক |

৩। কোনো বস্তু উত্তপ্ত হওয়ার কারণ কী ?

- | | |
|---------------------------|--------------------------------|
| (ক) অণুসমূহের গতিশীলতা | (খ) অণুসমূহের ঘনত্ব |
| (গ) অণুসমূহের স্থিতিশীলতা | (ঘ) অণুসমূহের তাপমাত্রা বৃদ্ধি |

৪। আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক কোনটি?

- | | |
|---------------|----------------|
| (ক) $pV = KT$ | (খ) $pV = nRT$ |
| (গ) $pV = RT$ | (ঘ) সবগুলি |

পাঠ-৯.৪

অর্দ্রতামিতি Hygrometry



উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- অর্দ্রতামিতি সংক্রান্ত রাশিগুলো ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- সিক্ত ও শুষ্ক বালব অর্দ্রতামাপক যন্ত্রের সাহায্যে কোনো স্থানের আপেক্ষিক অর্দ্রতা পরিমাপের পদ্ধতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- অর্দ্রতামিতি সংক্রান্ত কয়েকটি দৈনন্দিন সাধারণ ঘটনা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।



৯.৪.১ অর্দ্রতামিতি (Hygrometry)

আমাদের বায়ু মন্ডল নাইট্রোজেন, অক্সিজেন, কার্বন ডাই অক্সাইড, বিভিন্ন নিষ্ক্রিয়গ্যাস, ধূলিকণা দিয়ে গঠিত। এর আর একটি গুরুত্বপূর্ণ উপাদান জলীয় বাষ্প। পৃথিবীর সাগর মহাসাগর, খাল বিল, নদী প্রভৃতি উৎস থেকে প্রতি নিয়ত পানি বাষ্প হয়ে বাতাসে মিশে যাচ্ছে। এ থেকেই আবার সৃষ্টি হচ্ছে কুয়াশা, শিশির, মেঘ বৃষ্টি, পর্বত শৃঙ্গ, মেরু অঞ্চলে জমছে বরফ রাশি। বায়ুমন্ডলে জলীয় বাষ্পের উপস্থিতিই পৃথিবীকে প্রাণের উপযোগী করে গড়ে তুলেছে। মজার কথা হচ্ছে বায়ু মন্ডলে সব স্থানে এমন কি সব সময় একই স্থানেও জলীয় বাষ্পের পরিমাণ সমান থাকে না। বিভিন্ন সময় এবং বিভিন্ন স্থানে প্রতি নিয়ত এর উপস্থিতির পরিমাণ পরিবর্তিত হচ্ছে। বায়ুমন্ডলের জলীয় বাষ্পের এই তারতম্যের কারণে ঋতু পরিবর্তন হচ্ছে। কোনো বস্তুতে জল বা জলীয় বাষ্প থাকা মানে বস্তুটি ভেজা বা অর্দ্র থাকা। বায়ুমন্ডলে জলীয় বাষ্পের উপস্থিতির সরল বর্ণনা হচ্ছে বায়ু মন্ডলের অর্দ্রতা। বায়ুমন্ডলের অর্দ্রতার পরিমাণই একে বৈশিষ্ট্যময় করে। তাই বায়ুমন্ডলের অর্দ্রতা পর্যালোচনা একটি বিশেষ বিজ্ঞান। এটি পদার্থবিজ্ঞানের বিষয়।

তাই, পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখায় নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে জলীয় বাষ্পের উপস্থিতির পরিমাণ নির্ণয় ও এর ফলাফল বা বৈশিষ্ট্য নিয়ে আলোচনা করা হয় তাকে অর্দ্রতামিতি বলা হয়।

৯.৪.২ আর্দ্রতামিতি সংক্রান্ত কয়েকটি রাশি

শিশিরাক্ষ (Dew point) :

বায়ুমন্ডলের বাতাসে সব সময় কিছু না কিছু জলীয় বাষ্প থাকে। আবার ভূ-পৃষ্ঠের বিভিন্ন উৎস থেকে প্রতিনিয়ত জলীয় বাষ্প উৎপন্ন হয়ে এর সাথে যুক্ত হতে থাকে। কিন্তু নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুর জলীয় বাষ্প ধারণ ক্ষমতা সীমাবদ্ধ। তাপমাত্রা বাড়লে এই ধারণ ক্ষমতা বাড়ে আবার তাপমাত্রা কমলে ধারণ ক্ষমতা কমে যায়। সুতরাং একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প একটি নির্দিষ্ট আয়তনের বাতাসকে সম্পৃক্ত করে তাপমাত্রা বেড়ে গেলে ঐ পরিমাণ জলীয় বাষ্প দ্বারা ঐ বাতাস সম্পৃক্ত থাকে না। কারণ তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বাতাসের জলীয় বাষ্প ধারণ ক্ষমতা বেড়ে যায়। অনুরূপভাবে অসম্পৃক্ত বাতাসের তাপমাত্রা কমে গেলে ঐ বাতাসে উপস্থিত জলীয় বাষ্প দ্বারাই ঐ বায়ু সম্পৃক্ত হয়ে পড়ে। ঐ তাপমাত্রাকে শিশিরাক্ষ বলা হয়। তাপমাত্রা শিশিরাক্ষের নিচে নামলেই কিছু পরিমাণ জলীয় বাষ্প জমাট বেঁধে জলকণা বা শিশির বিন্দু সৃষ্টি করে।

বায়ুমন্ডলের জলীয় বাষ্পের উপস্থিতির একটি পরিমাপ শিশিরাক্ষ। যে তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ু ঠান্ডা হয়ে এর মধ্যে অবস্থিত জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয়, সেই তাপমাত্রাকে শিশিরাক্ষ বলে।

যেমন কোনো স্থানের তাপমাত্রা ছিল 28°C । ঐ তাপমাত্রায় ঐ স্থানের বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প ছিল তাতে ঐ স্থানের বায়ু অসম্পৃক্ত ছিল। তাপমাত্রা কমে 12°C হওয়ায় ঐ বায়ু সম্পৃক্ত হলো। কিছুক্ষণের মধ্যে ঐ স্থানের তাপমাত্রা আরও কমে গেল। ফলে শিশির পড়া শুরু হলো। কারণ ঐ স্থানের বাতাসে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প ছিল 12°C তাপমাত্রায় অতিরিক্ত জলীয় বাষ্প ধারণ করতে পারে নাই, তাই অতিরিক্ত জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হয়ে শিশিরে পরিণত হয়েছে। অতএব ঐ সময়ে ঐ স্থানের শিশিরাক্ষ 12°C ।

আর্দ্রতা (Humidity) : কোনো স্থানের বা একটি নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে অর্থাৎ বায়ু কতটুকু শুকনো বা ভেজা থাকে তার নির্দেশক বায়ুর আর্দ্রতা। বায়ুর আর্দ্রতাকে দুভাবে প্রকাশ ও পরিমাপ করা হয়। যথা (১) পরম আর্দ্রতা এবং (২) আপেক্ষিক আর্দ্রতা।

পরম আর্দ্রতা (Absolute humidity) : পরম আর্দ্রতা কোনো নির্দিষ্ট স্থানের বা নির্দিষ্ট আয়তন বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের পরিমাণ। বায়ুর প্রতি একক আয়তনে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভরকে অর্থাৎ প্রতি ঘনমিটার বায়ুতে যত গ্রাম জলীয় বাষ্প থাকে তাকে ঐ স্থানের বায়ুর পরম আর্দ্রতা বলে। পরম আর্দ্রতার একক গ্রাম প্রতি ঘনমিটার (gm^{-3})। যে কোনো স্থানের প্রতি ঘন মিটার বায়ুতে 10 g জলীয় বাষ্প থাকলে ঐ স্থানের পরম আর্দ্রতা 10 g m^{-3} ।

আপেক্ষিক আর্দ্রতা (Relative humidity) : কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প আছে এবং ঐ একই তাপমাত্রায় ঐ আয়তনের বায়ুকে সম্পৃক্ত করতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্পের প্রয়োজন তার অনুপাতকে ঐ স্থানের বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলে। সুতরাং সংজ্ঞানুসারে কোনো স্থানের

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে বিদ্যমান জলীয় বাষ্পের ভর}}{\text{একই তাপমাত্রায় একই আয়তন বায়ুকে সম্পৃক্ত করতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভর}}$$

কিন্তু নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো স্থানের জলীয় বাষ্পের ভর এর চাপের সমানুপাতিক

$$\therefore \text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো স্থানের বায়ুর জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{ঐ তাপমাত্রায় ঐ স্থানের বায়ুকে সম্পৃক্ত করতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের চাপ}}$$

আবার নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো স্থানের জলীয় বাষ্পের চাপ ঐ স্থানের শিশিরাক্ষে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের সমান।

$$\therefore \text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো স্থানের শিশিরাক্ষে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{ঐ তাপমাত্রায় ঐ স্থানের সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}$$

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।

$$\therefore R = \frac{f}{F} \times 100 \% \quad \dots \dots \dots$$

.....(৯.২৫)

কোনো স্থানের আপেক্ষিক আর্দ্রতা ৪০ % বললে বুঝায় ঐ স্থানে বায়ুর তাপমাত্রায় ঐ স্থানকে সম্পৃক্ত করতে যে পরিমাণ জলীয়বাষ্পের প্রয়োজন ঐ স্থানের বাতাসে তার শতকরা ৪০ ভাগ জলীয় বাষ্প আছে।

বাষ্পচাপ, সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ ও অসম্পৃক্ত বাষ্প চাপ

তরল পদার্থ বাষ্পায়িত হয়। একটি আবদ্ধ পাত্রের তরল পদার্থের কথা ভাবা যাক। পাত্রটি অর্ধেক পরিমাণ তরল পূর্ণ, বাকি অর্ধেক খালি। এ অবস্থায় তরল বাষ্পায়নের সুযোগ পাবে। দেখা যাবে যে, পাত্রটির খালি অংশ ক্রমশ বাষ্প দ্বারা পূর্ণ হবে। বাষ্পের অণুগুলো ইতস্তত বিক্ষিপ্ত ভাবে চারিদিকে ছুটাছুটি করতে থাকবে। ছুটাছুটি করার সময় অণুগুলো পরস্পরের সাথে যেমন ধাক্কা খাবে তেমন পাত্রের গায়েও ধাক্কা দেবে। ফলে পাত্রের গায়ে চাপের সৃষ্টি হবে। এই চাপকে বাষ্পচাপ বলে।

বাষ্পের অণুগুলো বিক্ষিপ্তভাবে ছুটাছুটি করার সময় কিছু কিছু অণু আবার তরলের মধ্যে ফিরে আসে। এবং তরলে রূপান্তরিত হয়। ক্রমে এমন অবস্থা সৃষ্টি হয় যে বাষ্প রূপান্তরিত অণুর সংখ্যা এবং তরলে ফিরে আসা অণুর সংখ্যা সমান হয়ে যায়। ফলে বদ্ধ পাত্রের মুক্ত স্থানে নির্দিষ্ট পরিমাণ বাষ্পের উপস্থিতি অপরিবর্তিত থাকে। অর্থাৎ ঐ স্থানে যত টুকু বাষ্প থাকা সম্ভব ততটুকুই পূর্ণ হয়। এর বেশি বাষ্প থাকা সম্ভব নয়। এই অবস্থায় নির্দিষ্ট মুক্ত স্থান বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয়। এ অবস্থায় বাষ্প যে চাপ দেয় তাকে সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ বলে। যখন কোনো নির্দিষ্ট মুক্ত স্থানে বাষ্প ধারণ ক্ষমতার চেয়ে কম বাষ্প থাকে তখন ঐ বাষ্পকে অসম্পৃক্ত বাষ্প এবং ঐ বাষ্পের চাপকে অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বলে।

বিভিন্ন তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ বিভিন্ন হয়। পরীক্ষার সাহায্যে বিজ্ঞানী রেনো এগুলো নির্ণয় করে এই চাপের একটি তালিকা তৈরি করেছেন। সারণি ৯.৪ এ এটি দেখানো হয়েছে।

৯.৪.৩ আর্দ্র ও শুষ্ক বাল্ব আর্দ্রতা মাপক যন্ত্র (Wet and dry bulb Hygrometer)

কোনো স্থানের কোনো সময়ের বায়ুর আর্দ্রতা পরিমাপের জন্য যে যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাদের আর্দ্রতা মাপক যন্ত্র বা হাইগ্রোমিটার বলে। বিভিন্ন ধরনের আর্দ্রতা মাপক যন্ত্র বা হাইগ্রোমিটার উদ্ভাবিত হয়েছে। এদের বিভিন্নটির ব্যবহার ও কার্যপ্রণালী বিভিন্ন। এদের মধ্যে সহজে ব্যবহার যোগ্য এবং বহুল ব্যবহৃত হাইগ্রোমিটারটির নাম আর্দ্র ও শুষ্ক বাল্ব (Wet and dry bulb Hygrometer)। নিচে এই যন্ত্রের গঠন ও কার্য প্রণালী বর্ণনা করা হলো।

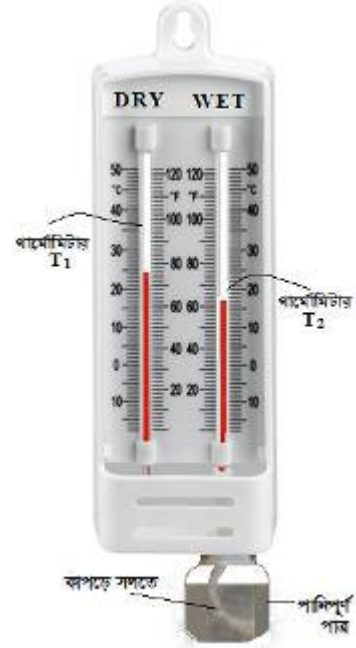
যন্ত্রের গঠন : এই যন্ত্রে একটি কাঠের বা প্লাস্টিকের ফ্রেমের মধ্যে দুটি অভিন্ন পারদ থার্মোমিটার খাড়া ভাবে পাশাপাশি বসানো থাকে (চিত্র ৯.৫)। একটি থার্মোমিটার T_1 , এর বাল্বটি খোলা বাতাসে উন্মুক্ত। তাই সর্বদা শুকনো অবস্থায় থাকে। এটিকে শুষ্ক বাল্ব বলে। এটি ঘরের বা বায়ু মন্ডলের পর্যবেক্ষণ স্থানের তাপমাত্রা নির্দেশ করে।

অপর থার্মোমিটার T_2 , এর বাল্বটি এক টুকরো ভিজা মসলিন কাপড়ে আবৃত থাকে। কাপড়টির নিচের অংশ সলতের মতো পাকিয়ে বালের নিচে স্থাপিত একটি পানি পূর্ণ পাত্রে ডুবিয়ে রাখা হয়। কৈশিক ক্রিয়ার ফলে সলতে বেয়ে পানি বালের চারিদিকে কাপড়ের রন্ধে রন্ধে প্রবেশ করে এবং সেখান থেকে বাষ্পায়িত হতে থাকে। এই বাল্বটি সবসময় ভিজা থাকে তাই একে সিক্ত বা আর্দ্র বাল্ব বলে।

কার্য প্রণালী : দেয়ালের গায়ে খাড়া ভাবে ঝুলানো যন্ত্রটির শুষ্ক বাল্বের থার্মোমিটার T_1 পর্যবেক্ষণ স্থানের তাপমাত্রা নির্দেশ করে। কিন্তু সিক্ত বাল্ব থার্মোমিটারে ভিজা মসলিনে জড়ানো থাকায় মসলিন থেকে পানি বাষ্পায়িত হয় এবং বাষ্পায়নের জন্য প্রয়োজনীয় সুগুতাপ T_2 থার্মোমিটার থেকে নেয় ফলে সিক্ত বাল্ব থার্মোমিটার T_2 এর তাপমাত্রা T_1 থার্মোমিটারের চেয়ে কমে যায়।

শুষ্ক ও আর্দ্র বাল্বের থার্মোমিটারের তাপমাত্রার পাঠের পার্থক্য

ঘরের বাষ্পায়ন হারের উপর নির্ভর করে। বায়ুর আর্দ্রতা কম হলে বাষ্পায়নের হার বাড়বে। তখন দুই থার্মোমিটারের পাঠের পার্থক্যও বাড়বে। সুতরাং বুঝা যাচ্ছে দুই থার্মোমিটারের পাঠের পার্থক্য বায়ুর আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে।



চিত্র ৯.৫ আর্দ্র-শুষ্ক বাল্ব হাইগ্রোমিটার

শিশিরাক্ষ এবং আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় :

যেকোনো সময় আর্দ্র ও শুষ্ক থার্মোমিটারের পাঠ নিয়ে বিশেষ বিশেষ সারণি ব্যবহার করে ঐ স্থানের ঐ সময়ের শিশিরাক্ষ এবং আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা যায়। এখানে সারণি দুটি দেয়া হয়েছে। সারণি ৯.১ থেকে সরাসরি শিশিরাক্ষ নির্ণয় করা যায় এবং সারণি-৯.২ থেকে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা হয়।

শিশিরাক্ষ নির্ণয়ের সারণি থেকে শিশিরাক্ষ নির্ণয় :

প্রথমে শুষ্ক থার্মোমিটারটির পাঠ নিন। ধরা যাক এই পাঠ $\theta_1 = 26^\circ\text{C}$ । তারপর আর্দ্র থার্মোমিটারটির পাঠ নিন। ধরা যাক এই পাঠ $\theta_2 = 18^\circ\text{C}$ । এবার দুটো পার্থক্য $(\theta_1 - \theta_2)$ নির্ণয় করুন। এক্ষেত্রে বিয়োগফল বা তাপমাত্রার অবনতি হচ্ছে $(26^\circ\text{C} - 18^\circ\text{C}) = 8^\circ\text{C}$ । সারণিটি দেখুন 8°C স্তম্ভ বরাবর নিচে দিকে নামুন। এবং শুষ্ক থার্মোমিটারের পাঠ 26°C এর সারি বরাবর ডানদিকে এগিয়ে আসুন। লক্ষ্য করুন সারিটি এবং স্তম্ভটি একটি ঘরে পরস্পর ছেদ করেছে। এই ঘরের সংখ্যাটি চিত্রে 13 অর্থাৎ এই স্থানের শিশিরাক্ষ 13°C ।

সারণি ৯.১

শিশিরাক্ষ নির্ণয়ের সারণি

শুষ্ক বালব পাঠ °C	আর্দ্র বালবের তাপমাত্রা অবনতি (Depression) °C																					
	শুষ্ক বালবের তাপমাত্রা - আর্দ্র বালবের তাপমাত্রা = আর্দ্র বালবের তাপমাত্রার অবনতি																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
-20	-33																					
-18	-28																					
-16	-24																					
-14	-21	-36																				
-12	-18	-28																				
-10	-14	-22																				
-8	-12	-18	-29																			
-6	-10	-14	-22																			
-4	-7	-12	-17	-29																		
-2	-5	-8	-13	-20																		
0	-3	-6	-9	-15	-24																	
2	-1	-3	-6	-11	-17																	
4	1	-1	-4	-7	-11	-19																
6	4	1	-1	-4	-7	-13	-21															
8	6	3	1	-2	-6	-9	-14															
10	8	6	4	1	-2	-5	-9	-14	-28													
12	10	8	6	4	1	-2	-5	-9	-16													
14	12	11	9	6	4	1	-2	-5	-10	-17												
16	14	13	11	9	7	4	1	-1	-6	-10	-17											
18	16	15	13	11	9	7	4	2	-2	-5	-10	-19										
20	19	17	15	14	12	10	7	4	2	-2	-5	-10	-19									
22	21	19	17	16	14	12	10	8	5	3	-1	-5	-10	-19								
24	23	21	20	18	16	14	12	10	8	6	2	-1	-5	-10	-18							
26	25	23	22	20	18	17	15	13	11	9	6	3	0	-4	-9	-18						
28	27	25	24	22	21	19	17	16	14	11	9	7	4	1	-3	-9	-16					
30	29	27	26	24	23	21	19	18	16	14	12	10	8	5	1	-2	-8	-15				
32	31	29	28	27	25	24	22	21	19	17	15	13	11	8	5	2	-2	-7	-14			
34	33	31	30	29	27	26	24	23	21	20	18	16	14	12	9	6	3	-1	-5	-12	-29	
36	36	33	32	31	29	28	27	25	24	22	20	19	17	15	13	10	7	4	0	-4	-10	
38	37	35	34	33	32	30	29	28	26	25	23	21	19	17	15	13	11	8	5	1	-3	-9
40	39	37	36	35	34	32	31	30	28	27	25	24	22	20	18	16	14	12	9	6	2	-2

আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয়ের সারণি থেকে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় :

আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয়ও ঠিক শিশিরাক্ষ নির্ণয়ের অনুরূপ কেবল সারণি দুটি আলাদা। একটি উদাহরণ দেখুন। প্রথমে শুষ্ক থার্মোমিটারটির পাঠ নিন। ধরা যাক এই পাঠ $\theta_1 = 28^\circ C$ । তারপর আর্দ্র থার্মোমিটারটির পাঠ নিন। ধরা যাক এই পাঠ $\theta_2 = 23^\circ C$ । এবার দুটো পার্থক্য $(\theta_1 - \theta_2)$ নির্ণয় করুন। এক্ষেত্রে বিয়োগফল বা তাপমাত্রার অবনতি হচ্ছে $(28^\circ C - 23^\circ C) = 5^\circ C$ । সারণিটি দেখুন $5^\circ C$ স্তম্ভ বরাবর নিচে দিকে নামুন। এবং শুষ্ক থার্মোমিটারের পাঠ $28^\circ C$ এর সারি বরাবর ডানদিকে এগিয়ে আসুন। লক্ষ্য করুন সারিটি এবং স্তম্ভটি একটি ঘরে পরস্পর ছেদ করেছে এই ঘরের সংখ্যাটি চিত্রে 65 অর্থাৎ এই স্থানের আপেক্ষিক আর্দ্রতা 65%।

সারণি ৯.২

আপেক্ষিক আর্দ্রতার সারণি (%)

সারণি ৯.৩

বিভিন্ন তাপমাত্রায় গ্লেইসারের উৎপাদকের মান

শুক্ক বালবের তাপমাত্রা (°C)	গ্লেইসারের উৎপাদক (G)	শুক্ক বালবের তাপমাত্রা (°C)	গ্লেইসারের উৎপাদক (G)	শুক্ক বালবের তাপমাত্রা (°C)	গ্লেইসারের উৎপাদক (G)	শুক্ক বালবের তাপমাত্রা (°C)	গ্লেইসারের উৎপাদক (G)
4	7.82	14	1.92	24	1.72	34	1.61
5	7.28	15	1.90	25	1.70	35	1.60
6	6.62	16	1.87	26	1.69	36	1.59
7	5.77	17	1.85	27	1.68	37	1.58
8	4.92	18	1.83	28	1.67	38	1.57
9	4.04	19	1.81	29	1.66	39	1.56
10	2.06	20	1.79	30	1.65	40	1.55
11	2.02	21	1.77	31	1.64	41	1.54
12	1.99	22	1.75	32	1.63	42	1.53
13	1.95	23	1.74	33	1.62	43	1.52

অতপর বিভিন্ন তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপের সারণি (সারণি ৯.৪) থেকে শুক্ক বায়ুর তাপমাত্রা (θ_1) -এ সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ F এবং শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ f এর মান (৯.২৫) নং সমীকরণে বসিয়ে আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা হয়। সমীকরণটি হলো,

$$R = \frac{f}{F} \times 100 \%$$

সারণি ৯.৪

বিভিন্ন তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পচাপ (রেনোর তালিকা)

তাপমাত্রা θ_1 °C	চাপ (mm Hg)	তাপমাত্রা θ_1 °C	চাপ (mm Hg)	তাপমাত্রা θ_1 °C	চাপ (mm Hg)	তাপমাত্রা θ_1 °C	চাপ (mm Hg)	তাপমাত্রা θ_1 °C	চাপ (mm Hg)
0	4.6	10	9.1	20	17.4	30	31.5	40	55.3
2	5.3	12	10.4	22	19.6	32	35.6	50	92.5
4	6.1	14	11.9	24	22.2	34	39.8	60	149.4
6	7.0	16	13.5	26	25.0	36	44.4	70	233.7
8	8.0	18	15.3	28	28.1	38	49.6	80	355.1

উপরের সবগুলি সারণিতেই আসন্ন মান দেয়া হয়েছে। ফলে এক পদ্ধতির হিসাবের সাথে অন্য পদ্ধতির হিসাবের সামান্য পার্থক্য হতে পারে। প্রথম সারণি দুটি থেকে শিশিরাঙ্ক এবং আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা সহজ বলে ইদানিং ব্যবহারিক ক্ষেত্রে এটিই অধিক গ্রহণযোগ্য।

৯.৪.৪ আর্দ্রতামিতি সংক্রান্ত কয়েকটি দৈনন্দিন সাধারণ ঘটনা

আমরা জেনেছি বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেশি হলে বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বেড়ে যায়। বায়ু আর্দ্র হয়। এতে বাষ্পীভবনের হার কমে যায়। ফলে ভূ-পৃষ্ঠের বিভিন্ন উৎসের বাষ্পায়নের জন্য সুগুণতাপ গ্রহণের পরিমাণ কমে যায়, বাতাস কম ঠাণ্ডা হয়, শিশিরাঙ্ক বেড়ে যায়, তাপমাত্রা বাড়লেও বায়ুর জলীয় বাষ্প ধারণ ক্ষমতা কমে যায়। অন্য দিকে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম হলে বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কমে যায়। বায়ু তুলনামূলকভাবে শুকনো থাকে। বাষ্পীভবনের হার বেড়ে যায় ফলে বাষ্পীভবনের জন্য গৃহীত সুগুণ তাপ বেশি হয়, ফলে বাতাস কম গরম হয়, বায়ুর শিশিরাঙ্ক কমে যায়, তাপমাত্রা বাড়লে বায়ুর জলীয় বাষ্প ধারণ ক্ষমতা বেড়ে যায়। এসব কারণে বায়ুর আর্দ্রতা আমাদের দৈনন্দিন জীবনে বিভিন্ন ভাবে প্রভাবিত করে। নিচে এ সম্পর্কিত কয়েকটি ঘটনা বর্ণনা ও ব্যাখ্যা করা হলো।

১) বর্ষাকাল অপেক্ষা শীতকালে ভিজা কাপড় দ্রুত শুকায়

ভিজা কাপড় শুকানো অর্থ কাপড়ের জলকণা বাষ্পায়নের মাধ্যমে উবে যাওয়া। বর্ষাকালে বাতাসের তাপমাত্রা বেশি হলেও আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেশি থাকে। ফলে বাষ্পায়নের হার কমে যায়। অন্য দিকে শীত কালে বাতাসের তাপমাত্রা কম হলেও আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম থাকে অর্থাৎ বাতাস শুকনো থাকে ফলে জলকণার দ্রুত বাষ্পায়ন হয় এবং ভেজা কাপড় দ্রুত শুকায়।

২) শীতকালে আমাদের ঠোঁট, পায়ের গোড়ালি ফাটে কিন্তু গ্লিসারিন লাগালে ফাটে না

শীতকালে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম থাকায় বাতাসে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কম থাকে। তাই বাষ্পায়নের হার বেশি হয়। শরীরের কোনো কোনো অংশের চামড়া জলীয় অংশ বাষ্পায়নের ফলে শুকিয়ে যায়। বিশেষ করে আমাদের ঠোঁট এবং পায়ের গোড়ালি সবসময় ভেজা থাকে, সেই অংশ থেকে বাষ্পায়ন বেশি হয় এবং দ্রুত শুকিয়ে চামড়া সংকুচিত হয়। বাইরের ও ভেতরের চামড়ার সংকোচন চাপের বিভিন্নতার কারণে ঠোঁট ফেটে যায়। গ্লিসারিনের স্ফুটনাঙ্ক 290°C , ফলে এর বাষ্পায়ন হার খুবই ধীর। তাই গ্লিসারিন ঠোঁটে লাগালে সহজে বাষ্পায়ন হয় না ঠোঁট ভিজা থাকে। ঠোঁট ভিজা থাকার কারণে সংকুচিত হয় না, ফলে ফাটে না। এ জন্য শীতকালে আমরা ঠোঁটে এবং ত্বকের বিভিন্ন স্থানে গ্লিসারিন লাগাই।

৩) আমাদের দেহের স্বচ্ছন্দবোধ

আমাদের দেহের স্বচ্ছন্দবোধ অনেকাংশে বায়ুর আর্দ্রতার উপর নির্ভর করে। আমরা হাঁটা-চলা, কাজে কর্মে বা পরিশ্রান্ত হলে বা শরীরের ভেতরের গরমের কারণে দেহে ঘামের সৃষ্টি হয়। ঘাম মূলত শরীরের ভেতর থেকে বেরিয়ে আসা জলকণা। দেহের সংস্পর্শে আসা বাতাস ও দেহ থেকে সৃষ্ট তাপ গ্রহণ করে এই জলকণা বাষ্পায়িত হয় ফলে আমাদের দেহ বা শরীর ঠান্ডা বা শীতলতা অনুভব করে। আমরা আরাম বা স্বচ্ছন্দ বোধ করি। কিন্তু গ্রীষ্মকালে ও বর্ষাকালে বাতাসের আর্দ্রতা বেশি থাকায় বাষ্পায়ন খুব কম হয় বা হয় না বললেই চলে ফলে দেহের ঘাম শুকায় না এবং দেহে অস্বস্তি বোধ হয় বা আমরা স্বচ্ছন্দ বোধ করি না।

৪) একই তাপমাত্রায় আমাদের দেশের উত্তরাঞ্চল থেকে দক্ষিণাঞ্চলের আবহাওয়া বেশি অস্বস্তিকর

আমাদের দেশের দক্ষিণাঞ্চল মূলত সমুদ্র উপকূল। সমুদ্র থেকে প্রতি নিয়ত বাষ্পায়নের ফলে সৃষ্ট জলীয় বাষ্প সেখানকার বাতাসে অবস্থান করে। ফলে সেখানকার বাতাসের আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেড়ে যায়। অন্য দিকে দেশের উত্তরাঞ্চলের বাতাসে স্বভাবতই জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কম থাকে তাই সেখানে আপেক্ষিক আর্দ্রতাও কম। ফলে দেশের উত্তরাঞ্চল থেকে দক্ষিণাঞ্চলে শরীর থেকে নির্গত ঘাম শুকায় না বা ঘাম দীর্ঘ স্থায়ী হয়। তাই একই তাপমাত্রায় আমাদের দেশের উত্তরাঞ্চল থেকে দক্ষিণাঞ্চলের আবহাওয়ায় বেশি অস্বস্তিকর হয়।

৫) মেঘাচ্ছন্ন রাত্রি অপেক্ষা মেঘশূন্য রাত্রে শিশির জমে বেশি

সব সময়ই বিভিন্ন জলাশয়ের পানির বাষ্পায়ন ঘটছে। আমরা জানি বাষ্পায়নের ফলে জলীয় বাষ্প সৃষ্টি হয়। এবং তা বায়ুমণ্ডলে মিশে যায়। বায়ু মণ্ডল সৃষ্ট জলীয় বাষ্প ধারণ করে। দিনের বেলায় সূর্য তাপে বাতাস গরম থাকায় ঐ জলীয় বাষ্প দ্বারা বায়ুমণ্ডল সম্পৃক্ত হয় না। রাতে ভূ-পৃষ্ঠ তাপ বিকিরণ করে শীতল হয় অর্থাৎ বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা কমে যায়। তখন বাতাস ধারণকৃত জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয়। এবং তাপমাত্রা শিশিরাক্ষের নিচে নেমে যায়। ফলে শিশির জমে। রাতের আকাশে মেঘ থাকলে, মেঘমুক্ত বাতের থেকে তাপ বিকিরণ কম হয়। তাপ বিকিরণ কম হওয়ায় ভূ-পৃষ্ঠের বাতাসও তুলনামূলক ভাবে কম ঠান্ডা হয়। বাতাসে তাপমাত্রা শিশিরাক্ষের খুব নিচে যেতে পারে না। তাই কম শিশির জমে। অর্থাৎ মেঘাচ্ছন্ন রাত্রি অপেক্ষা মেঘশূন্য রাত্রে শিশির বেশি জমে।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৩: কোনো স্থানে একদিন বায়ুমন্ডলের তাপমাত্রা 26°C এবং শিশিরাঙ্ক 14°C ছিল। এ দিন বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা কত ছিল নির্ণয় করুন।

[14°C ও 26°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ যথাক্রমে 11.9 mmHgP ও 25.0 mmHgP]

সমাধান :

আমরা জানি,

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা, } R = \frac{f}{F} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{বা, } R &= \frac{11.9}{25.0} \times 100\% \\ &= 47.6\% \end{aligned}$$

উত্তর: 47.6%

এখানে,

শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ, $f = 11.9\text{ mmHgP}$

বায়ুমন্ডলের

তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ, $F = 25.0\text{ mmHgP}$

আপেক্ষিক আর্দ্রতা, $R = ?$

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৪: সমস্যা : একদিন আর্দ্র -শুষ্ক বালব হাইগ্রোমিটারের শুষ্ক বাল্বের তাপমাত্রা 30°C এবং আর্দ্র বাল্বের তাপমাত্রা 24°C পাওয়া গেল। আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করুন। [30°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ 31.5 mmHgP , গ্লোসিয়ারের উৎপাদক 1.65 এবং 22°C ও 20°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ যথাক্রমে 19.6 mmHgP ও 17.4 mmHgP]

সমাধান :

এখানে শুষ্ক বাল্বের তাপমাত্রা $\theta_1 = 30^{\circ}\text{C}$ আর্দ্র বাল্বের তাপমাত্রা $\theta_2 = 24^{\circ}\text{C}$ গ্লোসিয়ারের উৎপাদক, $G = 1.65$

আমরা জানি শিশিরাঙ্ক θ , শুষ্ক বাল্বের তাপমাত্রা θ_1 এবং আর্দ্র বাল্বের তাপমাত্রা θ_2 এবং গ্লোসিয়ারের উৎপাদক, G হলে, $(\theta_1 - \theta) = G(\theta_1 - \theta_2)$

$$\therefore \theta = \theta_1 - G(\theta_1 - \theta_2) = 30 - 1.65(30 - 24) = 30 - 9.9 = 20.1^{\circ}\text{C}$$

$22^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 2^{\circ}\text{C}$ তাপমাত্রা পার্থক্যে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্প চাপের পরিবর্তন $(19.6 - 17.4) = 2.2\text{ mmHgP}$

$$\therefore 0.1^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্রা পার্থক্যে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্প চাপের পরিবর্তন} = \frac{2.2}{2} \times 0.1 = 0.11\text{ mmHgP}$$

\therefore শিশিরাঙ্কে অর্থাৎ 20.1°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ, $f = 17.4 + 0.11 = 17.51\text{ mmHgP}$

বায়ু মন্ডলের তাপমাত্রায় অর্থাৎ 30°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ $F = 31.5\text{ mmHgP}$

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা, } R = \frac{f}{F} \times 100\% = \frac{17.51}{31.5} \times 100\%$$

$$= \frac{17.51}{31.5} \times 100\%$$

$$= 55.587\%$$

উত্তর: 56%



সার-সংক্ষেপ :

- **শিশিরাঙ্ক** : যে তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ু ঠান্ডা হয়ে এর মধ্যে অবস্থিত জলীয়বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয়, সেই তাপমাত্রাকে শিশিরাঙ্ক বলে।
- **পরম আর্দ্রতা** : বায়ুর প্রতি একক আয়তনে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভরকে ঐ স্থানের বায়ুর পরম আর্দ্রতা বলে।
- **আপেক্ষিক আর্দ্রতা** : কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয়বাষ্প আছে এবং ঐ একই তাপমাত্রায় ঐ আয়তনের বায়ুকে সম্পৃক্ত করতে যে পরিমাণ জলীয়বাষ্পের প্রয়োজন তার অনুপাতকে ঐ স্থানের বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলে।
- **অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপ** : কোনো মুক্ত স্থানে বাষ্প ধারণ ক্ষমতার চেয়ে কম বাষ্প থাকে তখন ঐ বাষ্পকে অসম্পৃক্ত বাষ্প এবং ঐ বাষ্পের চাপকে অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বলে।



পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৯.৪

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

১। কোনো স্থানের বায়ুমণ্ডলের আর্দ্রতার অর্থ কী ?

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| (ক) জলীয় বাষ্পের পরিমাণ | (খ) জলীয় বাষ্পের উপস্থিতি |
| (গ) জলীয় বাষ্পের শতকরা হার | (ঘ) জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত থাকা |

২। বাতাসে জলীয় বাষ্প ধারণ ক্ষমতা বৃদ্ধির কারণ কোনটি ?

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| (ক) চাপের বৃদ্ধি | (খ) চাপের হ্রাস |
| (গ) তাপমাত্রার বৃদ্ধি | (ঘ) তাপমাত্রার হ্রাস |

৩। যে কোনো স্থানের 50 ঘন মিটার বায়ুতে 500 g জলীয় বাষ্প থাকলে ঐ স্থানের পরম আর্দ্রতা কত ?

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| (ক) 10 g m | (খ) 10 g m ⁻² |
| (গ) 10 g m ⁻³ | (ঘ) 10 g m ³ |

৪। একটি আর্দ্র-শুষ্ক বালব হাইগ্রোমিটারের শুষ্ক বালব থার্মোমিটারটির পাঠ যখন 33°C তখন আর্দ্র বালব থার্মোমিটারটির পাঠ সর্বোচ্চ কত হতে পারে ?

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| (ক) সর্বোচ্চ 33°C | (খ) সর্বনিম্ন 33°C |
| (গ) অবশ্যই 33°C থেকে কম | (ঘ) অবশ্যই 33°C থেকে বেশি |

৫। শীতকালে ভিজা কাপড় অপেক্ষাকৃত তাড়াতাড়ি শুকায় কারণ-

- | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| (ক) বাতাসে জলীয় বাষ্প থাকে | (খ) বাতাসে সামান্য জলীয় বাষ্প থাকে |
| (গ) বায়ুর চাপ বেশি থাকে | (ঘ) বাতাসের তাপমাত্রা বেশি থাকে |

পাঠ-৯.৫

তাপ বিকিরণ

Radiation of Heat



উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- তাপ বিকিরণ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- ভীনের সূত্র ও গ্রীন হাউস ক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- নিউটনের শীতলীকরণ সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন।



৯.৫.১ তাপ বিকিরণ (Radiation of Heat)

আমরা জানি তিন উপায়ে তাপ সঞ্চালন ঘটে। আগুনের পাশে দাঁড়ালে আমরা উত্তাপ অনুভব করি। অথবা গ্যাসের চুলা বা উত্তপ্ত বস্তুর খানিকটা নিচে হাত রাখলে গরম অনুভব করি। এ ক্ষেত্রে পরিচলন বা পরিবহন প্রক্রিয়ায় তাপ সঞ্চালিত হয় না। কারণ এখানে কোনো কঠিন মাধ্যম নেই তাই পরিবহন হচ্ছে না। বায়ু মাধ্যমে তাপের পরিচলন হয়। কিন্তু এক্ষেত্রে উত্তপ্ত বায়ু হালকা হবে এবং উপরে উঠবে, নিচে নামবে না। অথচ নিচে আমরা গরম অনুভব করি। এভাবে তাপ সঞ্চালনের প্রক্রিয়াটি বিকিরণ। সূর্য থেকে আমরা তাপ পাই। সূর্য এবং পৃথিবীর মধ্যে দূরত্ব 1.5×10^8 km। এর প্রায় পুরোটাই শূন্য, কোনো জড় মাধ্যম নেই। সূর্য থেকে পৃথিবীতে তাপ আসে বিকিরণ পদ্ধতিতে।

যে প্রক্রিয়ায় তাপ কোনো জড় মাধ্যম ছাড়াই অপেক্ষাকৃত উষ্ণতর স্থান থেকে শীতলতর স্থানে সঞ্চালিত হয় সেই প্রক্রিয়াকে তাপের বিকিরণ বলে। বিকিরণ পদ্ধতিতে যে তাপ এক স্থান থেকে অন্য স্থানে সঞ্চালিত হয় তাকে বিকীর্ণ তাপ বলে।

বিকীর্ণ তাপ শক্তি ও আলোক শক্তির মধ্যে সাদৃশ্য বিদ্যমান। তাই সূর্য থেকে তাপ ও আলোক শক্তি তরঙ্গাকারে এক সাথে পৃথিবীতে পৌঁছায়। শূন্যস্থানে এই তরঙ্গের বেগ 3×10^8 ms⁻¹। তাপ এবং আলোক ছাড়াও বিভিন্ন নামের বিকীর্ণ শক্তি মহাবিশ্বে বিরাজমান। যেমন গামা রশ্মি, অতিবেগুণি রশ্মি, অবলোহিত রশ্মি, এক্স রশ্মি এমনকি বিভিন্ন ধরনের বেতার তরঙ্গসমূহও বিকীর্ণ শক্তি। সব বিকীর্ণ শক্তির তরঙ্গকে এক সঙ্গে বলা হয় তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ (Electromagnetic Wave)। এদের মধ্যে পার্থক্য শুধু তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্কের। তাই তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যসমূহ বিকীর্ণ তাপ শক্তির বৈশিষ্ট্য।

৯.৫.২ বিকীর্ণ তাপ শক্তির বৈশিষ্ট্য

- ১) বিকীর্ণ তাপের শক্তি সঞ্চালনের জন্য জড় মাধ্যম প্রয়োজন হয় না, বা জড় মাধ্যম থাকলেও তাকে উত্তপ্ত করে না।
- ২) বিকীর্ণ তাপশক্তি আলোর বেগে সঞ্চালিত হয়।
- ৩) বিকীর্ণ তাপ শক্তি তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ।
- ৪) বিকীর্ণ তাপ মাধ্যমের মধ্য দিয়ে গমন করলেও মাধ্যমের তাপমাত্রা পরিবর্তন ঘটে না। (মাধ্যম বিকীর্ণ শক্তি শোষণ করলে মাধ্যমের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়।)
- ৫) বিকীর্ণ তাপ শক্তি বিপরীত বর্ণীয় সূত্র মেনে চলে।
- ৬) আলোর ন্যায় বিকীর্ণ তাপশক্তি প্রতিফলন, প্রতিসরনের সূত্র মেনে চলে। এছাড়া এর ব্যতিচার (interference), অপবর্তন (diffraction) ও সমবর্তন (polarization) ঘটে।

৯.৫.৩ আদর্শ কৃষ্ণবস্তুর ও কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণ (Perfectly Black Body and Black body radiation)

কোনো বস্তুর উপর বিকীর্ণ তাপ আপতিত হলে তাপের কিছু অংশ শোষিত হয়, কিছু অংশ প্রতিফলিত হয় এবং কিছু অংশ সঞ্চালিত হয়। ধরা যাক শোষিত অংশ a , প্রতিফলিত অংশ r এবং সঞ্চালিত অংশ t । তাহলে শক্তির নিত্যতার সূত্র অনুযায়ী সম্পূর্ণ আপতিত তাপ,

$$I = a + r + t \dots\dots\dots (৯.২৭)$$

ভিন্ন ভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের বেলায় r ও t এর মান বিভিন্ন হয়। ফলে a -এর মানও কম বেশি হয়। যদি কোনো ক্ষেত্রে (৯.২৭ নং সমীকরণে) $r = 0$ এবং $a = 0$ হয় তবে, $I = t$ হবে। অর্থাৎ এক্ষেত্রে বস্তুর উপর আপতিত তাপের সবটুকু অংশ বস্তুর কর্তৃক শোষিত হবে। এরূপ বস্তুকে বলা হয় আদর্শ কৃষ্ণবস্তু অর্থাৎ, যে বস্তু তার উপর আপতিত বিকীর্ণ তাপের সবটুকু শোষণ করে তাকে আদর্শ কৃষ্ণবস্তু বলে। অথবা যে বস্তু সকল তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের বিকীর্ণ তাপ শক্তি শোষণ করে তাকে আদর্শ কৃষ্ণবস্তু বলে।

কৃষ্ণবস্তুর প্রধান বৈশিষ্ট্য হলো একে যখন উপযুক্ত তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হবে তখন এটি থেকে পূর্ণ বিকিরণ নির্গত হবে। কৃষ্ণবস্তু উত্তম শোষক হওয়ার জন্য উত্তম বিকিরক। কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় প্রত্যেক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণ সর্বাধিক। কোনো একটি আদর্শ কৃষ্ণবস্তুকে উত্তপ্ত করলে তা থেকে সকল তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের বিকিরণ নিঃসৃত হয়। একে কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণ বলে। এই নিঃসৃত বিকিরণ শক্তির প্রকৃতি কেবলমাত্র কৃষ্ণবস্তুর তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। অন্য কোনো বিশেষ ধর্মের উপর নির্ভর করে না।

কিন্তু বাস্তবে কোনো বস্তুই সকল তাপমাত্রার সকল তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সকল আপতিত বিকীর্ণ শক্তিকে সম্পূর্ণভাবে শোষণ করতে পারে না। সুতরাং আদর্শ কৃষ্ণবস্তু কাল্পনিক। বাস্তবে এর কোনো অস্তিত্ব নাই। তবে যে সব বস্তুর শোষণ ক্ষমতা ১০০% এর কাছাকাছি সেগুলোকে কৃষ্ণবস্তু হিসেবে বিবেচনা করা হয়। যেমন ভূষা কালি (Lamp black), প্লাটিনাম কালি (Platinum black)। ভূষা কালির আপতিত বিকিরণ শোষণ ক্ষমতা ৯৬%, প্লাটিনাম কালির প্রায় ৯৮%। ১০০% শোষণ ক্ষমতা বিশিষ্ট কোনো কৃষ্ণ বস্তু বাস্তবে পাওয়া সম্ভব নয়। বিভিন্ন পরীক্ষা নিরীক্ষায় দেখা গেছে স্থির তাপমাত্রায় উত্তপ্ত কোনো বস্তুতরঙ্গের বিকিরণ কেবল তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। সুতরাং বলা যায় যে, আদর্শ কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণ স্থির তাপমাত্রায় উত্তপ্ত কোনো বস্তুতরঙ্গের বিকিরণের সদৃশ। এই কারণে স্থির তাপমাত্রায় উত্তপ্ত কোনো বস্তুতরঙ্গের বিকিরণকে কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণ বলা হয়। তাই অনেক সময় কৃষ্ণবস্তু কর্তৃক বিকিরণ বা স্থির তাপমাত্রায় উত্তপ্ত বস্তুতরঙ্গের বিকিরণকে পূর্ণ বিকিরণ (Full or Total Radiation) বলা হয়।

৯.৫.৪ ভীনের সূত্র ও গ্রীন হাউস ক্রিয়ার ব্যাখ্যা

(Wien's displacement law and green house effect)

ভীনের সরণ সূত্র

জার্মান পদার্থবিজ্ঞানী ডব্লিউ জে ভীন (জার্মান শব্দ Wien এর উচ্চারণ ভীন) ১৮৯৬ সালে তাপ গতিবিদ্যার তত্ত্ব প্রয়োগ করে কৃষ্ণবস্তুর বর্ণালীতে বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের জন্য শক্তি বন্টন বিষয়ক দুটি সূত্র প্রদান করেন। এই সূত্র দুটির নাম যথাক্রমে ভীনের সরণ সূত্র ও পঞ্চমঘাত সূত্র। সূত্রটি হলোঃ কোন কৃষ্ণবস্তু থেকে সর্বাধিক শক্তি বিকিরণের জন্য তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কৃষ্ণবস্তুর পরম তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ,

কৃষ্ণবস্তুর সর্বাধিক শক্তির বিকিরণের জন্য তার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ_m এবং পরম তাপমাত্রা T হলে,

$$\lambda_m \propto \frac{1}{T}$$

$$\text{বা, } \lambda_m T = b \dots\dots\dots (৯.২৮)$$

b সমানুপাতিক ধ্রুবক। পরীক্ষা করে এর মান পাওয়া গেছে $2894 \times 10^{-6} \text{ mK}$ বা $2.9 \times 10^{-3} \text{ mK}$ ।

সূত্রটি ব্যাখ্যা করলে দাঁড়ায়; কোনো বস্তুর তাপমাত্রা বাড়তে থাকলে এর রং পরিবর্তন হতে থাকে। অর্থাৎ, বস্তুর তাপমাত্রা বাড়তে থাকলে বস্তুটি থেকে নির্গত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কমতে থাকে। উচ্চ তাপমাত্রায় বিকীর্ণ তাপের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম

হয়। নিম্ন তাপমাত্রায় বিকীর্ণ তাপের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে কৃষ্ণবস্তু কর্তৃক বিকীর্ণ সর্বাধিক শক্তির মান ক্রমশ দীর্ঘ থেকে হ্রস্বতর দৈর্ঘ্যের তরঙ্গের দিকে সরে যায়। তাই এই সূত্রটিকে সরণ সূত্র বলে।

ভীন আরও দেখান যে সর্বাধিক শক্তি E_m বস্তুর পরম তাপমাত্রার T -এর পঞ্চম ঘাতের সমানুপাতিক। অর্থাৎ,

$$E_m \propto T^5$$

$$\text{বা, } E_m = \text{ধ্রুবক} \times T^5 \dots\dots \dots\dots (৯.২৯)$$

এটি ভীনের পঞ্চঘাত সূত্র।

গ্রীন হাউস ক্রিয়া

সূর্য থেকে আগত ক্ষুদ্র তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের বিকীর্ণ তরঙ্গ কাচের মধ্যদিয়ে সহজে প্রবেশ করতে পারে। কিন্তু দীর্ঘ তরঙ্গের বিকীর্ণ তাপ প্রবেশ করতে পারে না। কাচের এই ধর্মের উপর ভিত্তি করে শীত প্রধান দেশে বিশাল বিশাল কাচের ঘর তৈরি করা হয়। অতিরিক্ত ঠান্ডার কারণে যে সব শাক সজী ফুল এমনকি মূল্যবান উদ্ভিদ বেঁচে থাকতে পারে না সেগুলো এই ঘরের মধ্যে আবাদ করা হয়। সূর্য থেকে নির্গত ক্ষুদ্র তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের বিকিরণ সরাসরি কাচের ভিতর দিয়ে এই ঘরে প্রবেশ করে। উদ্ভিদ এবং মাটিকে উত্তপ্ত করে। সূর্যালোকের অনুপস্থিতিতে ভেতরের তাপমাত্রা পূর্বের তুলনায় কমে যায়। এখন ভীনের সূত্রানুযায়ী নিম্ন তাপমাত্রা বিকিরণের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য দীর্ঘ হয়। এই দীর্ঘ তরঙ্গের বিকিরণ কাচ ভেদ করে বাইরে যেতে পারে না। ফলে কাচের ঘরটির অভ্যন্তর পর্যাপ্ত গরম থাকে। তাতে ভেতরের উদ্ভিদসমূহ বেঁচে থাকে। ফলে ঘরের ভিতরের সবুজ উদ্যান অব্যাহত থাকে। এজন্য এই ঘরটিকে বলা হয় গ্রীন হাউস।

আমরা জানি প্রাণী শ্বাসক্রিয়ায় CO_2 ত্যাগ করে; আর উদ্ভিদ সালোক সংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার জন্য পর্যাপ্ত CO_2 গ্রহণ করে বায়ু মণ্ডলের CO_2 এর ভারসাম্য রক্ষা করে। কিন্তু ইদানিং উদ্ভিদ ও বনাঞ্চল ধ্বংসের কারণে উদ্ভিদজগত কর্তৃক CO_2 গ্রহণের পরিমাণ কমে গেছে। উপরন্তু শিল্পায়নের প্রভাবে বিভিন্ন কলকারখানার উপজাত CO_2 উৎপাদন বেড়ে গেছে। ফলে পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের সাম্য বিঘ্নিত হয়ে CO_2 -এর সঞ্চয়ের পরিমাণ বেড়েই চলছে। কার্বন ডাই অক্সাইডের গ্যাসের ধর্ম হলো এটি হ্রস্ব তরঙ্গের তাপ শক্তি শোষণ করে কিন্তু দীর্ঘ তরঙ্গের তাপ শক্তি বিকিরণ করে না। আমাদের ভূ-মণ্ডলের বায়ুতে সামান্য হলেও কিছু পরিমাণ CO_2 গ্যাস বিদ্যমান। এবং ইদানিং CO_2 -এর সঞ্চয়ের পরিমাণ বেড়েই চলছে। ফলে দিনের বেলায় পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল যতটা তাপ শোষণ করে রাতে তার সম্পূর্ণ অংশ বিকিরণ করতে পারে না। CO_2 এর কারণে বাতাসের তাপ সঞ্চিত হয়, তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। এটি যেন কাচের ঘরের মধ্যে তাপ আটকে রাখার অনুরূপ ঘটনা। তাই এভাবে ভূ-মণ্ডল উত্তপ্ত হওয়ার ঘটনাকে গ্রীন হাউস ক্রিয়া বলে অভিহিত করা হয়। CO_2 বৃদ্ধির ফলে তাপমাত্রাও দ্রুত বেড়ে যাচ্ছে, পৃথিবী উত্তপ্ত হচ্ছে। পৃথিবীতে কার্বন ডাই অক্সাইড গ্যাসের বৃদ্ধি কমাতে না পারলে অতিরিক্ত উত্তাপের ফলে পৃথিবী একদিন বাসের অযোগ্য হয়ে যাবে।

৯.৫.৫ নিউটনের শীতলীকরণ সূত্র (Newton's Law of cooling)

বিজ্ঞানী নিউটন সর্ব প্রথম কোনো বস্তু কর্তৃক বিকীর্ণ তাপ এবং বস্তুর তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক নির্ধারণ করে একটি সূত্র উদ্ভাবন করেন। এটি নিউটনের শীতলীকরণ সূত্র নামে পরিচিত। সূত্রটি হলো- বস্তু পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল ও প্রকৃতি অপরিবর্তিত থাকলে, কোনো বস্তুর বিকিরণজনিত তাপ বর্জনের হার বস্তুর তাপমাত্রা এবং পারিপার্শ্বিকের তাপমাত্রার পার্থক্যের সমানুপাতিক।

অর্থাৎ কোনো বস্তুর তাপমাত্রা θ , তার পারিপার্শ্বিকের তাপমাত্রা θ_1 এবং বস্তু কর্তৃক dt সময়ে dQ পরিমাণ তাপ বর্জন করলে,

$$\text{উপরের সূত্রানুসারে, } -\frac{dQ}{dt} \propto (\theta - \theta_1)$$

$$\text{বা, } -\frac{dQ}{dt} = K (\theta - \theta_1) \dots\dots\dots (৯.৩০)$$

এখানে K সমানুপাতিক ধ্রুবক যার মান বস্তু পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল ও প্রকৃতি উপর নির্ভর করে।

এখন ধরা যাক, বস্তুর ভর m , আপেক্ষিক তাপ s হলে এবং dt সময়ে বস্তুর তাপমাত্রা $d\theta$ পরিমাণে হ্রাস পেলে,

বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ, $dQ = msd\theta$

∴ বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপের হার, $\frac{dQ}{dt} = ms \frac{d\theta}{dt}$

সুতরাং (৯.৩০) নং সমীকরণে এই সম্পর্ক বসালে পাওয়া যায়,

$$-ms \frac{d\theta}{dt} = K(\theta - \theta_1)$$

$$\text{বা, } -\frac{d\theta}{dt} = \frac{K}{ms}(\theta - \theta_1)$$

$$\text{বা, } -\frac{d\theta}{dt} = K'(\theta - \theta_1) \dots \dots \dots (৯.৩১)$$

এখানে, $K' = \frac{K}{ms} =$ ধ্রুবক

(৯.৩১) নং সমীকরণ থেকে সিদ্ধান্ত নেয়া যায়,

‘কোনো বস্তুর তাপমাত্রা হ্রাসের হার অর্থাৎ শীতলীকরণের হার ঐ বস্তুর নিজস্ব তাপমাত্রা এবং পারিপার্শ্বিকের তাপমাত্রার পার্থক্যের সমানুপাতিক।’

এজন্য এটিকে নিউটনের শীতলীকরণ সূত্র বলা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৫: একটি গোলকাকৃতি কৃষ্ণবস্তুর তাপমাত্রা 232°C | কৃষ্ণবস্তুটির সর্বাধিক শক্তির বিকিরণের জন্য তার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কত হবে? [ভীনের ধ্রুবকের মান $2.9 \times 10^{-3} \text{ mK}$]

সমাধান :

আমরা জানি, $\lambda_m T = b$

$$\begin{aligned} \therefore \lambda_m &= \frac{b}{T} \\ &= \frac{2.9 \times 10^{-3}}{500} \\ &= 5.8 \times 10^{-6} \text{ m} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} \text{তাপমাত্রা, } T &= 232^\circ\text{C} \\ &= (232 + 273) \text{ K} = 505 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\text{ভীনের ধ্রুবক, } b = 2.9 \times 10^{-3} \text{ mK}$$

$$\text{তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, } \lambda_m = ?$$

উত্তর: $5.8 \times 10^{-6} \text{ m}$



সার-সংক্ষেপ :

- তাপ বিকিরণ : যে প্রক্রিয়ায় তাপ কোনো জড় মাধ্যম ছাড়াই অপেক্ষাকৃত উষ্ণতর স্থান থেকে শীতলতর স্থানে সঞ্চালিত হয় সেই প্রক্রিয়াকে তাপের কিকিরণ বলে।
- কৃষ্ণকায় : যে বস্তু তার উপর আপতিত বিকীর্ণ তাপের সবটুকু শোষণ করে তাকে আদর্শ কৃষ্ণবস্তু বলে।
- ভীনের সূত্র : কোনো কৃষ্ণবস্তু থেকে সর্বাধিক শক্তি বিকিরণের জন্য তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কৃষ্ণবস্তুর পরম তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক।
- গ্রীন হাউস ক্রিয়া : বায়ুমন্ডলের CO₂ এর কারণে বাতাসের তাপ সঞ্চয়ের ফলে বায়ুমন্ডলের তাপমাত্রা ক্রমশ বৃদ্ধি পায়। এভাবে ভূ-মন্ডল উত্তপ্ত হওয়ার ঘটনাকে গ্রীন হাউস ক্রিয়া বলে অভিহিত করা হয়।
- নিউটনের শীতলীকরণ সূত্র : - বস্তু পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল ও প্রকৃতি অপরিবর্তিত থাকলে, কোনো বস্তুর বিকিরণ জনিত তাপ বর্জনের হার বস্তুর তাপমাত্রা এবং পারিপার্শ্বিকের তাপমাত্রার পার্থক্যের সমানুপাতিক।



পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৯.৫

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

১। তাপ বিকিরণের জন্য প্রয়োজনীয় মাধ্যম কোনটি

- | | |
|------------------|-------------------------|
| (ক) জড় মাধ্যম | (খ) ইথার মাধ্যম |
| (গ) বায়ু মাধ্যম | (ঘ) মাধ্যম প্রয়োজন নাই |

২। কোনটি বিকীর্ণ তাপ শক্তির কাজ নয় ?

- | | |
|------------------------------|---|
| (ক) জড় মাধ্যমকে উত্তপ্ত করা | (খ) প্রতিফলনের সূত্র মেনে চলা |
| (গ) আলোর বেগে সঞ্চালিত হওয়া | (ঘ) তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গের আচরণ প্রদর্শন করা। |

৩। আদর্শ কৃষ্ণবস্তুর উপর আপতিত তাপ শক্তির কী ঘটে ?

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| (ক) আংশিক শোষিত হয় | (খ) সম্পূর্ণ শোষিত হয় |
| (গ) আংশিক প্রতিফলিত হয় | (ঘ) সম্পূর্ণ প্রতিফলিত হয়। |

৪। ভূষা কালির আপতিত বিকিরণ শোষণ ক্ষমতা কত?

- | | |
|---------|----------|
| (ক) 95% | (খ) 96% |
| (গ) 98% | (ঘ) 100% |

৫। গ্রীন হাউস কী?

- | | |
|----------------------|---------------------|
| (ক) সবুজ রঙের ঘর | (খ) সবুজ রঙের বাড়ি |
| (গ) কাঠের তৈরি বাড়ি | (ঘ) কাচের তৈরি ঘর |

পাঠ-৯.৬

ব্যবহারিক-৯ : বয়েলের সূত্র যাচাই
(Verification of Boyle's Law)

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- বয়েলের সূত্রটির সত্যতা যাচাই করতে পারবেন।



তত্ত্ব (Theory):

বয়েলের সূত্রটি হলো তাপমাত্রা স্থির থাকলে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন তার চাপের ব্যস্তানুপাতিক।

গাণিতিকভাবে তাপমাত্রা T , আয়তন V এবং চাপ p হলে; $V \propto \frac{1}{p}$ [যখন T স্থির থাকে]

বা, $pV = K$ [K একটি ধ্রুবক]

পরীক্ষণে সরাসরি গ্যাসের আয়তন ও চাপ পরিমাপের যন্ত্রপাতির সুবিধা না থাকায় আমরা একটি সুষ্ণম নলের মধ্যে আবদ্ধ গ্যাস (বায়ু) নিয়ে যে সব রাশির আয়তন ও চাপের সমানুপাতিক তা মাপতে পারি। এবং তা থেকে বয়েলের সূত্রটির সত্যতা যাচাই করতে পারি।

ধরা যাক, একটি সুষ্ণম নলের মধ্যে আবদ্ধ গ্যাসের আয়তন $V = \pi r^2 h$ [এখানে r নলের ভিতরের ব্যাসার্ধ এবং h বদ্ধ গ্যাস স্তরের উচ্চতা]

অতএব উপরের সমীকরণটিকে লেখা যায় $p \pi r^2 h = K$

বা, $ph = \frac{1}{\pi r^2} K$

নলটি সুষ্ণম বলে r ধ্রুব। π একটি ধ্রুব। অর্থাৎ πr^2 ধ্রুব।

$\therefore p \times h = K'$ [K' নতুন ধ্রুবক]

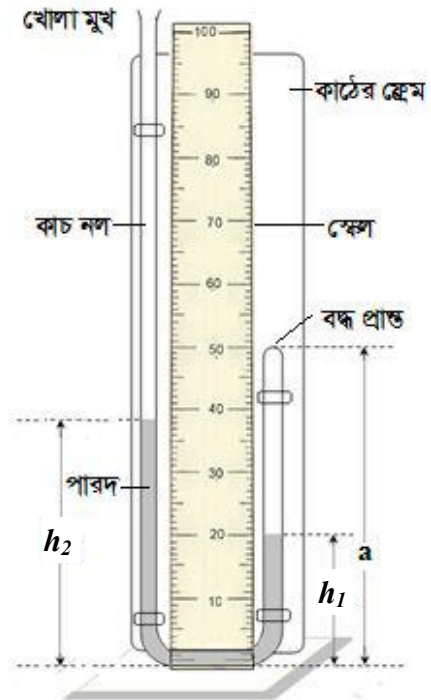
\therefore সমানুপাতের নিয়মে $p \propto \frac{1}{h}$ ।

যন্ত্রপাতি : বয়েলের যন্ত্র, পারদ, ফানেল এবং ব্যারোমিটার

যন্ত্রের বর্ণনা : একটি একমুখ বদ্ধ এবং অন্য মুখ খোলা সুষ্ণম ব্যাসের একটি U আকৃতি কাচ নল। একটি কাঠের ফ্রেমের উপর উলম্বভাবে দাঁড় করানো নলের মুক্ত প্রান্ত থেকে বদ্ধ প্রান্তটি অপেক্ষাকৃত নিচু। মুক্ত প্রান্ত দিয়ে পারদ ঢেলে দিলে নলের বদ্ধ প্রান্তে নির্দিষ্ট পরিমাণ (ভরের) বায়ু আবদ্ধ হয়ে যায়। উভয় নলের পারদ স্তরের উচ্চতা পরিমাপের জন্য নলের পাশে উলম্বভাবে একটি মিটার স্কেল সংযুক্ত করা থাকে।

কাজের ধারা :

- পরীক্ষার শুরুতে ব্যারোমিটার থেকে বায়ুমন্ডলের চাপ দেখে নিন এবং রেকর্ড করুন।
- বয়েলের যন্ত্রটির খোলা মুখে ফানেল লাগিয়ে নলের মধ্যে ধীরে ধীরে কিছুটা পারদ ঢালুন যাতে বদ্ধ নলে কিছুটা বাতাস আটকা পড়ে।
- বদ্ধ এবং খোলা উভয় নলের পারদ স্তরের উচ্চতার পাঠ নিন। ডেটা শিটে রেকর্ড করুন।



চিত্র ৯.৬ বয়েলের যন্ত্র

৪. যখন উভয় নলের পারদ স্তরের উচ্চতা সমান হবে তখন বদ্ধ নলের (আবদ্ধ) বায়ু চাপ বায়ুমন্ডলের চাপের সমান হবে।
৫. আবার ফানেলের সাহায্যে নলের মধ্যে ধীরে ধীরে কিছুটা পারদ ঢালুন এবং উভয় নলের পারদ স্তরের উচ্চতার পাঠ নিন।
৬. ৫ নং ধারা অনুসরণ করে একটু একটু করে পারদ ঢালুন এবং প্রত্যেকটি পাঠ রেকর্ড করুন। এভাবে কম পক্ষে ১০ টি পাঠ নিন।

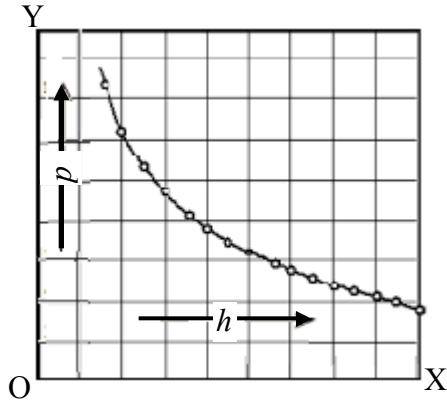
পরীক্ষণ প্রাপ্ত ফলাফলের ডেটা শিট

ব্যরোমিটার থেকে বায়ুমন্ডলীয় চাপ p mm, বদ্ধ নলের শীর্ষের উচ্চতা a mm

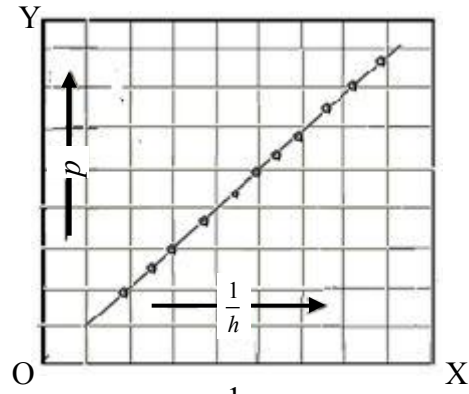
পাঠ সংখ্যা	বদ্ধ নলের পারদের উচ্চতা, h_1	খোলা নলের পারদের উচ্চতা, h_2	উচ্চতার ব্যবধান $(h_2 - h_1)$	মোট চাপের পরিমাণ $P = p + (h_2 - h_1)$	বদ্ধ নলের শীর্ষের উচ্চতা a	আবদ্ধ গ্যাস স্তরের উচ্চতা $h = (a - h_1)$	$P \times h$
	mm	mm	mm	mm Hg	mm	mm	
১							
২							
৩							
৪							
৫							
৬							
৭							
৮							
৯							
১০							

ফলাফল:

- (ক) ডেটা শিটে ছক অনুযায়ী হিসাব করে চাপ ও দৈর্ঘ্যের গুণফল একটি গ্রুব সংখ্যা তা দেখান।
- (খ) ডেটা সিট থেকে p বনাম h অথবা p বনাম $\frac{1}{h}$ যেকোনো একটি লেখ চিত্র অঙ্কন করুন।
- (গ) লেখ চিত্র দুটি যথাক্রমে চিত্র ৯.৭ এবং ৯.৮ এর অনুরূপ হবে।



চিত্র ৯.৭ p বনাম h নমুনা লেখ



চিত্র ৯.৮ p বনাম $\frac{1}{h}$ নমুনা লেখ

সতর্কতা :

১. বোতল থেকে নলে পারদ ঢালা এবং পরীক্ষার শেষে পুনরায় পারদ বোতলে স্থানান্তরের কাজ অত্যন্ত সতর্কতার সাথে করতে হবে। কারণ পারদ বেশ দামী পদার্থ, ত্বকের জন্য ক্ষতিকর। তাছাড়া এটি বেশ ভারি ও পিচ্ছিল।
২. যন্ত্রের U নলটি সব সময় যেন খাড়া বা উল্লম্ব অবস্থায় থাকে।
৩. সব সময় পারদ স্তম্ভের উপরি তলের পাঠ নেওয়া উচিত।
৪. প্রতিটি পাঠের আগে পারদ স্তম্ভের অবস্থান সুস্থিত হওয়ার জন্য ২ মিনিট করে সময় দিন।

আলোচনা :

১. এই পরীক্ষণটিতে প্রযুক্ত চাপের পরিবর্তে পারদ স্তম্ভের উচ্চতা (mm Hg) এবং আয়তনের পরিবর্তে নলের মধ্যে আবদ্ধ গ্যাস স্তম্ভের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতার (mm) পরিমাপের তুলনা করা হয়েছে। এক্ষেত্রে গাণিতিক সূত্র ব্যবহার করে mm Hg একককে Nm^{-2} বা Pa, এককে রূপান্তর করা যায়। অনুরূপভাবে স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে নলের অভ্যন্তরীণ ব্যাসার্ধ পরিমাপ করে $\pi r^2 h$ সূত্রের সাহায্যে আয়তন নির্ণয় করা যায়। অতপর সরাসরি চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক স্থাপনের ফলাফল গণনা করা যেতে পারে।
২. বিভিন্ন ল্যাবরেটরিতে আবদ্ধ গ্যাসের উপর প্রযুক্ত চাপ পরিমাপ ও আয়তন পরিবর্তনে সরাসরি পাঠ নেয়ার বিভিন্ন ডিজাইনের বয়েলের যন্ত্র পাওয়া যায়। সেগুলো ব্যবহার করে সরাসরি $pV=K$ -এর সত্যতা যাচাই করা যায়।

পাঠ-৯.৭

ব্যবহারিক-১০ : নিউটনের শীতলীকরণ সূত্রের সাহায্যে তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়

Determination of Specific Heat of Liquids by Newton's Law of Cooling



উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- নিউটনের শীতলীকরণ সূত্র প্রয়োগ করে একটি তরল পদার্থের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করতে পারবেন।



তত্ত্ব (Theory):

নিউটনের শীতলীকরণ সূত্রটি হলো, কোনো বস্তুর তাপ বর্জনের হার বস্তু এবং তার পারিপার্শ্বিকের তাপমাত্রার পার্থক্যের সমানুপাতিক। অর্থাৎ যদি একাধিক তরল পদার্থকে একই পারিপার্শ্বিকের সাপেক্ষে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা থেকে অপর একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা পর্যন্ত শীতল হতে দেয়া হয় তা হলে তাদের প্রত্যেকের তাপ বর্জনের হার সমান হবে।

পারিপার্শ্বিক বলতে উত্তপ্ত তরলের তাপমাত্রা, যে পাত্রে রাখা হয় তরল পদার্থ তার তাপমাত্রা, উপাদান, তরলের তাপ বর্জনের ক্ষেত্রফল, অর্থাৎ তরল পূর্ণ পাত্রের দেয়াল এবং তরলের উপরের মুক্ত তলের ক্ষেত্রফলকে বুঝায়। তাই এসব নিয়ামক অপরিবর্তিত রেখে আপেক্ষিক তাপ জানা একটি তরলের তাপ বর্জন হারের সাথে অজ্ঞাত আপেক্ষিক তাপ বিশিষ্ট একটি তরলের তাপ বর্জন হার সমীকৃত করে অজ্ঞাত আপেক্ষিক তাপের মানটি নির্ণয় করা যায়।

ধরা যাক m_1 kg ভরের ও $s_1 \text{ Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ আপেক্ষিক তাপের ক্যালরিমিটারে রাখা $s \text{ Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ আপেক্ষিক তাপের M kg তরলের তাপমাত্রা θ_1 থেকে θ_2 তে নেমে আসতে t_1 সেকেন্ড সময় লাগে। তাহলে এ ক্ষেত্রে ক্যালরিমিটার এবং তরল কর্তৃক তাপ বর্জনের হার হবে,

$$\frac{(Ms + m_1s_1)(\theta_1 - \theta_2)}{t_1}$$

এখন একই ক্যালরিমিটারে ঐ তরল পদার্থের সম আয়তনের m_2 kg ভরের ও $s_2 \text{ Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ আপেক্ষিক পানির তাপমাত্রা একই পরিমাণে θ_1 থেকে θ_2 তে নেমে আসতে t_2 সেকেন্ড সময় লাগে। তাহলে এ ক্ষেত্রে ক্যালরিমিটার এবং পানি কর্তৃক তাপ বর্জনের হার হবে,

$$\frac{(m_2s_2 + m_1s_1)(\theta_1 - \theta_2)}{t_2}$$

শীতলীকরণের শর্তাবলী একই থাকায় তরল এবং পানির তাপ বর্জনের হার সমান হবে। অর্থাৎ,

$$\frac{(Ms + m_1s_1)(\theta_1 - \theta_2)}{t_1} = \frac{(m_2s_2 + m_1s_1)(\theta_1 - \theta_2)}{t_2}$$

$$\therefore s = \frac{1}{M} \left\{ (m_1s_1 + m_2s_2) \frac{t_1}{t_2} - m_1s_1 \right\} \dots \dots \dots (9.32)$$

আমরা জানি পানির আপেক্ষিক তাপ $s_2 = 4200 \text{ Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ । পরীক্ষণের সাহায্যে উপরের সমীকরণের ডান দিকের ডেটাসমূহ সংগ্রহ করে অজ্ঞাত আপেক্ষিক তাপ s নির্ণয় করা যাবে।

যন্ত্রপাতি : নাড়ানিসহ ক্যালরিমিটার, থার্মোমিটার, পানি, তরল, নিক্তি, স্টপওয়াচ, তাপ নিরোধক বাক্স ত্রিপদ স্ট্যান্ড, তারজালি, বিকার ও বার্ণার।

কাজের ধারা :

১. নাড়ানিসহ ক্যালরিমিটার টিকে পরিষ্কার ও শুষ্ক করে ভর (m_1) মাপুন এবং রেকর্ড করুন। এরপর একে তাপ নিরোধক বাক্সের মধ্যে বসিয়ে দিন।
২. একটি বিকারে ক্যালরিমিটারের মোটামুটি দুই তৃতীয়াংশ ভর্তি করতে পারে এতোটা আয়তনের পানি নিয়ে তাপ দিতে থাকুন। থার্মোমিটারের বালবটি পানির মধ্যে ডুবিয়ে রাখুন এবং পানির তাপমাত্রার দিকে লক্ষ্য রাখুন।
৩. পানির তাপমাত্রা কক্ষতাপমাত্রা থেকে মোটামুটি 25°C বা 30°C পর্যন্ত উচ্চ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করুন এবং দ্রুত উত্তপ্ত পানি ক্যালোরিমিটারের মধ্যে ঢেলে দিয়ে তাপ নিরোধক বাক্সের ঢাকনা বন্ধ করে দিন। কেবল ঢাকনার ছিদ্র দিয়ে থার্মোমিটারের কাণ্ডটি এবং নাড়ানিটির হাতল বাইরে থাকবে। নাড়ানি দিয়ে ভিতরের পানি নাড়তে থাকুন এবং 1 মিনিট পরপর থার্মোমিটারের পাঠ রেকর্ড করতে থাকুন।
৪. পানির তাপমাত্রা কক্ষ তাপমাত্রায় না আসা পর্যন্ত এভাবে প্রতি মিনিটে তাপমাত্রার পাঠ রেকর্ড করুন।
৫. পানি শীতল হয়ে যখন কক্ষ তাপমাত্রায় আসবে তখন পানি ও নাড়ানিসহ ক্যালরিমিটারটির ভর (m_2') পরিমাপ করুন। এবং রেকর্ড করুন এবং পানির ভর, $(m_2' - m_1) = m_2$ নির্ণয় করুন।
৬. এরপর ক্যালরিমিটার থেকে পানি ফেলে এটিকে আবার শুষ্ক করে ঠান্ডা করে পুনরায় তাপ নিরোধক বাক্সের মধ্যে বসিয়ে দিন।
৭. এবার বিকারটিতে সমপরিমাণ পরীক্ষণীয় তরল নিয়ে একই ভাবে উত্তপ্ত করুন। তরলের তাপমাত্রা পানির উচ্চ তাপমাত্রার সমান তাপমাত্রায় পৌঁছান মাত্র একে একইভাবে ক্যালরিমিটারের মধ্যে ঢেলে দিয়ে তাপ নিরোধক বাক্সের ঢাকনা বন্ধ করে দিন। আগের মতো ঢাকনার ছিদ্র দিয়ে থার্মোমিটারের কাণ্ড এবং নাড়ানির হাতল বাইরে থাকবে। নাড়ানি দিয়ে ভিতরের তরল নাড়তে থাকুন এবং 1 মিনিট পরপর থার্মোমিটারের পাঠ রেকর্ড করতে থাকুন।
৮. তরলের তাপমাত্রা কক্ষ তাপমাত্রায় না আসা পর্যন্ত এভাবে প্রতি মিনিটে তাপমাত্রার পাঠ রেকর্ড করুন।
৯. একইভাবে তরলের তাপমাত্রা কক্ষ তাপমাত্রায় পৌঁছালে নাড়ানি ও তরলসহ ক্যালরিমিটারের ভর (M') পরিমাপ করে তরলের ভর (M) নির্ণয় করুন। সব পরীক্ষণীয় ডেটা রেকর্ড করুন।

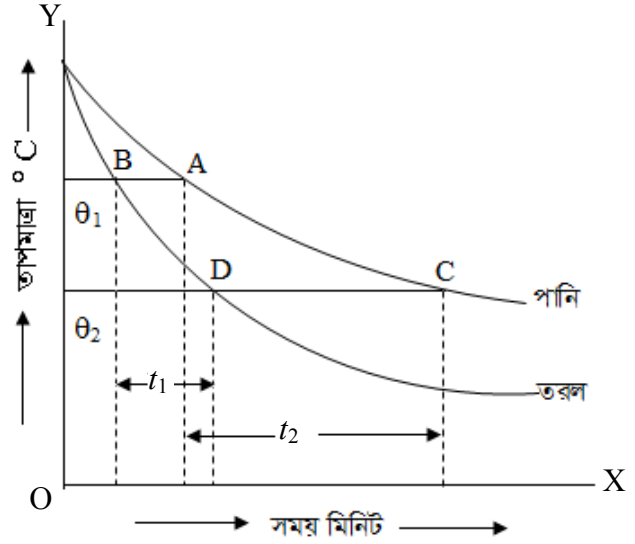
পরীক্ষণ প্রাপ্ত ফলাফলের ডেটা শিট

১. নাড়ানিসহ ক্যালরিমিটারের ভর, $m_1 = \text{-----kg}$
২. ক্যালরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ, $s_1 = \text{-----Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$
৩. নাড়ানিসহ ক্যালরিমিটার ও পানির ভর $m_2' = \text{-----kg}$
৪. পানির ভর, $m_2 = m_2' - m_1 = \text{-----kg}$
৫. নাড়ানিসহ ক্যালরিমিটার ও তরলের ভর $M' = \text{-----kg}$
৬. তরলের ভর, $M = M' - m_1 = \text{-----kg}$
৭. পানির আপেক্ষিক তাপ $s_2 = 4200 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$

সময় তাপমাত্রার ছক

সময় মিনিটে	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
পানির তাপমাত্রা											
তরলের তাপমাত্রা °C											

একটি ছক কাগজে সুবিধা মতো একক নিয়ে X-অক্ষে সময় এবং Y-অক্ষে তাপমাত্রা বসিয়ে পানি ও তরলের জন্য দুটি লেখ অঙ্কন করুন। Y-অক্ষের উপর যে কোনো সুবিধামতো দুটি তাপমাত্রা θ_1 ও θ_2 চিহ্নিত করে ঐ বিন্দু দুটির মধ্য দিয়ে X-অক্ষের সমান্তরাল দুটি রেখা টানুন। ধরা যাক, θ_1 এর রেখাটি পানির লেখটিকে A বিন্দুতে এবং তরলের লেখটিকে B বিন্দুতে ছেদ করল। θ_2 এর রেখাটি পানির লেখটিকে C এবং তরলের লেখটিকে D বিন্দুতে ছেদ করল। তাহলে B ও D এর মধ্যবর্তী দূরত্ব সময় t_1 এবং A ও C বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্ব সময় t_2 নির্দেশ করবে।



চিত্র ৯.৯

হিসাব ও ফলাফল: (লেখ থেকে)

θ_1 ---°C থেকে θ_2 ---°C তাপমাত্রায় শীতল হতে পানির সময় লাগে $t_2 =$ --- মি. = --- সে.

θ_1 ---°C থেকে θ_2 ---°C তাপমাত্রায় শীতল হতে তরলের সময় লাগে $t_1 =$ --- মি. = --- সে.

$$\therefore s = \frac{1}{M} \left\{ (m_1 s_1 + m_2 s_2) \frac{t_1}{t_2} - m_1 s_1 \right\} = \text{-----} \text{ Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

সতর্কতা :

১. তরল এবং পানির আয়তন যেন সমান হয় সে দিকে লক্ষ্য রাখতে হবে।
২. থার্মোমিটার এবং নাড়ানির জন্য ছিদ্র যুক্ত ঢাকনা দিয়ে তাপ নিরোধক বাস্ফটিকে ঢাকতে হবে। এতে তাপের অপচয় হবে না।
৩. বাষ্পীভবনের ফলে যাতে পানি বা পরীক্ষণীয় তরল বাষ্প হয়ে উড়ে যেতে না পারে সে জন্য পানি বা তরলের সর্বোচ্চ তাপমাত্রা 50°C থেকে 55°C এর মধ্যে রাখা উচিত।



চূড়ান্ত মূল্যায়ন

ক. সাধারণ বহুনির্বাচনী প্রশ্ন :

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (✓) চিহ্ন দিন।

১। যে তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ু এর মধ্যে অবস্থিত জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয় সেই তাপমাত্রাকে কী বলা হয় ?

(ক) স্ফুটনাঙ্ক

(খ) হিমাঙ্ক

(গ) গলনাঙ্ক

(ঘ) শিশিরাঙ্ক

২। গ্যাসের গতি তত্ত্ব অনুসারে কোন তাপমাত্রায় সকল গ্যাসের গতি শক্তি শূন্য হয়?

(ক) 0°C

(খ) 0°K

(গ) 0 K

(ঘ) 273 K

৩। যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে বরফ গলে পানিতে পরিণত হয় তাকে কী বলা হয়?

(ক) স্ফুটনাঙ্ক

(খ) হিমাঙ্ক

(গ) গলনাঙ্ক

(ঘ) শিশিরাঙ্ক

৪। T তাপমাত্রায় আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে অণুর গড় গতি শক্তি কত?

(ক) $\frac{2}{3}RT$

(খ) $\frac{3}{2}RT^2$

(গ) $\frac{3}{2}RT^4$

(ঘ) $\frac{3}{2}RT$

৫। তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রেখে কোনো গ্যাসের চাপ পরিবর্তন করলে কী ঘটে?

(ক) আয়তন বৃদ্ধি পায়

(খ) আয়তন হ্রাস পায়

(গ) আয়তন অপরিবর্তিত থাকে

(ঘ) আয়তন ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়

খ. বহুপদী সমাঙ্গিসূচক বহুনির্বাচনী প্রশ্ন :

১। প্রমাণ চাপের আদর্শ মান -

i. সমুদ্র সমতলে 45° অক্ষাংশে বায়ু মন্ডল যে চাপ নির্ণিত হয়

ii. 273 K তাপমাত্রায় বায়ু মন্ডল যে চাপ নির্ণিত হয়

iii. 76 cm উচ্চতার শুষ্ক ও বিশুদ্ধ পারদ স্তম্ভ যে চাপ প্রয়োগ করে

কোনটি সঠিক ?

(ক) i

(খ) i ও ii

(গ) ii ও iii

(ঘ) i, ii ও iii

২। ভীনের সরণ সূত্রের ভিত্তি হলো-

i. তাপগতিবিদ্যার তত্ত্ব

ii. বস্তুর বিকিরণ জনিত তাপ বর্জনের হার

iii. কৃষ্ণ বস্তুর বর্ণালীতে বিভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের জন্য শক্তি বন্টন

কোনটি সঠিক ?

(ক) i

(খ) i ও ii

(গ) ii ও iii

(ঘ) i, ii ও iii

৩। বিকীর্ণ তাপ শক্তির বৈশিষ্ট্য হলো-

- বিকীর্ণ তাপের শক্তি সঞ্চালনের জন্য জড় মাধ্যম প্রয়োজন হয় না
- বিকীর্ণ তাপ শক্তি তাড়িতচুম্বকীয় তরঙ্গ।
- বিকীর্ণ তাপ শক্তি বিপরীত বর্ণীয় সূত্র মেনে চলে।

কোনটি সঠিক ?

- (ক) i (খ) i ও ii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

গ. অভিন্ন তথ্য ভিত্তিক বহু নির্বাচনী প্রশ্ন :

নিচের বক্সের তথ্যগুলো পড়ুন এবং ১-৪ নম্বর প্রশ্নের সঠিক উত্তরটিতে টিক দিন।

সূর্য থেকে নিয়ত তাপ এবং আলো পৃথিবীতে পৌঁছে। সূর্য এবং পৃথিবীর মধ্যে মহাশূন্য বিরাজমান। পৃথিবী পৃষ্ঠ সংলগ্ন খুব সামান্য স্থানে বায়ু আছে। বাকি বিশাল দূরত্বটুকু জুড়ে কোনো জড় পদার্থ বা বস্তু কণা নাই। কিন্তু আলো এবং তাপ তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ বলে পৃথিবীতে আসতে কোনো সমস্যা হয় না। পৃথিবীতে আলো না পৌঁছালে জীবনের অস্তিত্ব সম্ভব ছিল না। আমাদের সকল শক্তি এবং জীবনের মূল উৎস সূর্য।

১। যে প্রক্রিয়ায় সূর্য থেকে তাপ পৃথিবীতে পৌঁছে তার নাম কী ?

- (ক) প্রতিসরণ (খ) প্রতিফলন
(গ) বিকিরণ (ঘ) অপবর্তন

২। বিকীর্ণ তাপে কোন বৈশিষ্ট্যটি নাই ?

- (ক) বস্তুর উপর পড়ে প্রতিফলিত হয় (খ) বস্তুর উপর পরলে প্রতিসরিত হয়
(গ) বিপরীত বর্ণীয় সূত্র মেনে চলে (ঘ) জড় মাধ্যমের মধ্য দিয়ে গমন করে না

৩। আদর্শ কৃষ্ণবস্তুর উপর আপতিত তাপ শক্তি কী হয়?

- (ক) আংশিক শোষিত হয় (খ) সম্পূর্ণ শোষিত হয়
(গ) সম্পূর্ণ প্রতিফলিত হয় (ঘ) আংশিক প্রতিফলিত হয়

৪। জড় মাধ্যমের মধ্য দিয়ে বিকীর্ণ তাপ ?

- (ক) মাধ্যমকে উত্তপ্ত করে না (খ) কোন কোন মাধ্যমকে উত্তপ্ত করে
(গ) মাধ্যমকে উত্তপ্ত করে (ঘ) জড় মাধ্যমের মধ্য দিয়ে তাপ বিকীর্ণ হয় না

ঘ. সৃজনশীল প্রশ্ন : ১

নিচের বক্সের অনুচ্ছেদটি পড়ুন। এবং অনুচ্ছেদ শেষের প্রশ্নগুলির উত্তর দিন।

শুভ্রদের বসার ঘরের দেয়ালে তার বড় ভাই একটি থার্মোমিটার ঝুলিয়ে রেখেছেন। শুভ্র বিকালে দেখল তাপমাত্রা 28°C । সন্ধ্যায় তাপমাত্রা কমে 12°C হলো। রাতে কিছুক্ষণের মধ্যে ঐ স্থানের তাপমাত্রা আরও কমে গেল। দাদা বললেন 12°C আজকের শিশিরাক্ষ। এক্ষুনি শিশির পড়া শুরু হবে। শুভ্র জানালা দিয়ে দেখল সত্যি কিছুক্ষণের মধ্যেই বাইরে ফুল গাছের পাতার পরে শিশির জমছে।

প্রশ্ন : (ক) শিশিরাক্ষ কাকে বলে ?

১

(খ) তাপমাত্রা শিশিরাক্ষে পৌঁছালে শিশির পড়ে কেন? ব্যাখ্যা করুন।

২

- (গ) যখন কোনো স্থানের বায়ুর শিশিরাঙ্ক $12\text{ }^\circ\text{C}$, আপেক্ষিক আর্দ্রতা 80% তখন বায়ুর তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ কত হবে? নির্ণয় করুন। ৩
- [$12\text{ }^\circ\text{C}$ তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 10.52mm]
- (ঘ) আমাদের দেশে শরৎ হেমন্ত কালে রাতে শিশির পড়ে কিন্তু গ্রীষ্ম বা বর্ষা কালে শিশির পড়ে না কেন- ব্যাখ্যা করুন। ৪

সৃজনশীল প্রশ্ন : ২

নিচের অনুচ্ছেদটি পড়ুন। এবং অনুচ্ছেদ শেষের প্রশ্নগুলির উত্তর দিন।

গত কাল সন্ধ্যায় সুরভীর ছোট ভাইএর জন্ম দিন উপলক্ষ্যে ঘরের দেয়ালে অনেকগুলো বেলুন ঝুলান হয়ে ছিল। সকালে উঠে সবাই দেখলেন বেশির ভাগ বেলুন চূপসে গেছে। সুরভী তার বড় বোনকে বলল- ‘সম্ভবত বেলুনগুলো লিক হয়ে বাতাস বেড়িয়ে গেছে।’ সুরভির মামা ওদের কথাবার্তা শুনছিলেন। বললেন- ‘তাই বুঝি, আচ্ছা একটা চূপসে যাওয়া বেলুন বারান্দার রোদে রেখে এসো তো। সুরভি একটি বেলুন বারান্দার রোদে রেখে এলো। আধা ঘন্টা পরে মামা বললেন “সুরভি, রোদে রাখা বেলুনটি আনতো”। সুরভি বেলুনটি আনতে যেয়ে দেখল এটি আর চূপসানো নাই। আগের দিনের মতো বড় হয়ে গেছে। আবাক হয়ে সুরভি বলল “কী মামা, ম্যাজিক!” মামা বললেন না এটি বয়েলের সূত্র।

- প্রশ্ন : (ক) বয়েলের সূত্রটি বর্ণনা করুন। ১
- (খ) উদাহরণসহ বয়েলের সূত্রটির ব্যাখ্যা দিন। ২
- (গ) 27°C তাপমাত্রায় এবং $5 \times 10^5\text{ Pa}$ চাপে কোনো গ্যাসের আয়তন 100 cm^3 । 60°C তাপমাত্রায় ও $10 \times 10^5\text{ Pa}$ চাপে এর আয়তন কত হবে? ৩
- (ঘ) সুরভি আরও বড় হবে ভেবে বেলুনটি সারা দিন রোদে রেখে দিল। বেলুনটির দুপুর পর্যন্ত রোদে থাকলে কি পরিণতি হবে? আপনার চিন্তার স্বপক্ষে যুক্তি দিন। ৪

ঙ. সংক্ষিপ্ত উত্তর প্রশ্ন :

- ১। বয়েলের সূত্রটি বিবৃত করুন।
- ২। চার্লসের সূত্রটি বিবৃত করুন।
- ৩। চাপীয় সূত্রটি বিবৃত করুন।
- ৪। পরম শূন্য তাপমাত্রা বলতে কী বুঝায়, লিখুন।
- ৫। আদর্শ গ্যাস কী, লিখুন।
- ৬। আদর্শ গ্যাস সমীকরণটি লিখুন।
- ৭। প্রমাণ তাপমাত্রা ও প্রমাণ চাপ বলতে কি বুঝায়, লিখুন।
- ৮। সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক কী, লিখুন।
- ৯। সম্পৃক্ত বাষ্প চাপের সংজ্ঞা দিন।
- ১০। শিশিরাঙ্ক কাকে বলে।
- ১১। পরম আর্দ্রতা কী, লিখুন।
- ১২। আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংজ্ঞা দিন।

চ. বিশদ উত্তর প্রশ্ন :

- ১। চার্লসের সূত্রটি বিবৃত করুন এবং এই সূত্র থেকে প্রমাণ করুন যে, স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক।
- ২। গ্যাসের সূত্রাবলী বিবৃত করুন।

- ৩। আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে দেখন যে $pV = \text{ধ্রুব}$ ।
 ৪। আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে $pV = nRT$ সম্পর্কটি প্রতিপাদন করুন।
 ৫। কোনো স্থানের আপেক্ষিক আর্দ্রতা কী কী কারণের ওপর নির্ভরশীল।
 ৬। আমাদের স্বচ্ছন্দবোধ অনেকাংশে আপেক্ষিক আর্দ্রতা দ্বারা প্রভাবিত – ব্যাখ্যা করুন।
 ৭। শীতকাল থেকে বর্ষাকালে ভিজা কাপড় শুকাতে বেশি সময় লাগে কেন?
 ৮। আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয়ের একটি পদ্ধতি বর্ণনা করুন।

ছ. গাণিতিক সমস্যা :

- ১। নির্দিষ্ট ভরের শুষ্ক বায়ুকে তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রেখে চাপ প্রয়োগে সংকুচিত করে এক চতুর্থাংশ আয়তন করা হলো। চূড়ান্ত চাপ কত হবে ?
 ২। 26°C তাপমাত্রায় এবং $5 \times 10^5 \text{ Pa}$ চাপে কোনো গ্যাসের আয়তন 90 cm^3 । 65°C তাপমাত্রায় এবং $10 \times 10^5 \text{ Pa}$ চাপে আয়তন কত হবে ?
 ৩। কোনো স্থানে একদিন বায়ুমন্ডলের তাপমাত্রা 18.5°C এবং শিশিরাক্ষ 7.5°C ছিল। এ দিন বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা কত ছিল। নির্ণয় করুন।
 [7°C , 8°C , 14°C এবং 19°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ যথাক্রমে 7.53 , 8.50 , 15.48 এবং 16.46 mm HgP]
 ৪। একটি গোলকাকৃতি কৃষ্ণবস্তুর তাপমাত্রা 127°C । কৃষ্ণবস্তুর সর্বাধিক শক্তির বিকিরণের জন্য তার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কত হবে? [ভীনের ধ্রুবকের মান $2.9 \times 10^{-3} \text{ mK}$]



উত্তরমালা

পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৯.১ :	১। (ক)	২। (খ)	৩। (গ)	৪। (ক)	৫। (ঘ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৯.২ :	১। (ক)	২। (গ)	৩। (গ)	৪। (খ)	৫। (খ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৯.৩ :	১। (ক)	২। (ঘ)	৩। (ক)	৪। (ঘ)	
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৯.৪ :	১। (খ)	২। (গ)	৩। (গ)	৪। (ক)	৫। (খ)
পাঠোত্তর মূল্যায়ন ৯.৫ :	১। (ঘ)	২। (ক)	৩। (খ)	৪। (খ)	৫। (ঘ)

চূড়ান্ত মূল্যায়ন

- ক. সাধারণ বহুনির্বাচনী প্রশ্ন : ১। (ঘ) ২। (গ) ৩। (গ) ৪। (ঘ) ৫। (ঘ)
 খ. বহুপদী সমাঙ্গিসূচক বহুনির্বাচনী প্রশ্ন : ১। (ঘ) ২। (খ) ৩। (ঘ)
 গ. অভিন্ন তথ্য ভিত্তিক বহু নির্বাচনী প্রশ্ন : ১। (গ) ২। (ঘ) ৩। (খ) ৪। (ক)
 ঘ. সৃজনশীল প্রশ্ন :-১ (ক) অনুচ্ছেদ ৯.৪.২ (খ) অনুচ্ছেদ ৯.৪.২
 (গ) 13.15 mm (ঘ) নিজে ব্যাখ্যা করুন। টিউটরের সহায়তা নিন।
 সৃজনশীল প্রশ্ন :-২ (ক) অনুচ্ছেদ ৯.১.১ (খ) অনুচ্ছেদ ৯.১.১
 (গ) 55.5 cm^3 (ঘ) নিজে ব্যাখ্যা করুন। টিউটরের সহায়তা নিন।
 ছ. গাণিতিক সমস্যা : ১। আদি চাপের চার গুণ। ২। 50.87 cm^3 ৩। 48.78% ৪। $7.25 \times 10^{-6} \text{ m}$