

লাল - সবুজ
দাগানো
TEXT BOOK



পদার্থ বিজ্ঞান
১ম পত্র

New Edition

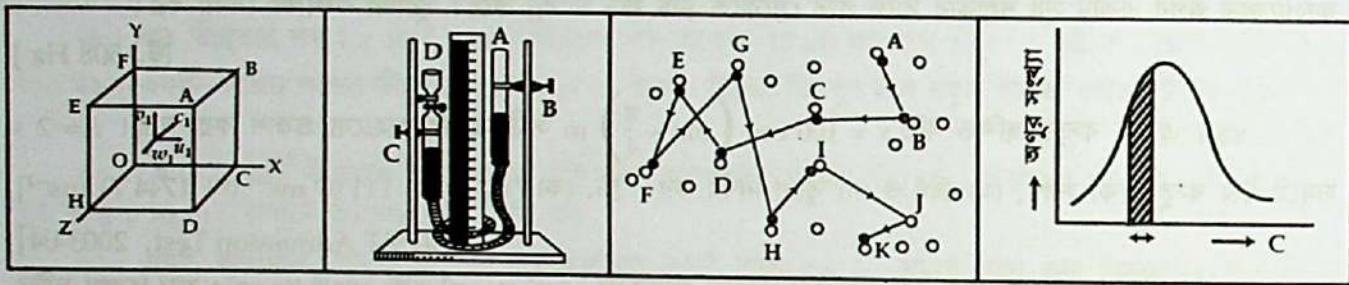


উমেষ

মেডিকেল এন্ড ডেন্টাল এডমিশন কেয়ার

আদর্শ গ্যাস ও গ্যাসের গতিতত্ত্ব IDEAL GAS AND KINETICS OF GASES

প্রধান শব্দ (Key Words) : তাপ, গ্যাসের সূত্রাবলি, আদর্শ গ্যাস, পরম শূন্য তাপমাত্রা, সর্বজনীন গ্যাস ধূবক, গড় বর্গ বেগ, গড় বর্গ বেগের বর্গমূল বা মূল গড় বর্গবেগ, শক্তির সমবিভাজন নীতি, সম্পৃক্ত বাস্পচাপ, অসম্পৃক্ত বাস্পচাপ, আপেক্ষিক আর্দ্রতা।



ভূমিকা

Introduction

আমরা জানি যে কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় সব পদার্থই অসংখ্য অতি ক্ষুদ্র কণা দিয়ে গঠিত। এই কণাকে পদার্থের অণু বলা হয়। একই পদার্থের অণুগুলির ধর্ম অভিন্ন, কিন্তু বিভিন্ন পদার্থের অণুগুলির ধর্ম বিভিন্ন হয়। কঠিন ও তরল পদার্থের ক্ষেত্রে চাপের প্রভাব খুবই নগণ্য। কিন্তু গ্যাসের ক্ষেত্রে চাপের প্রভাব খুবই প্রবল। তাই গ্যাসের প্রসারণ আলোচনায় চাপের উল্লেখ করা হয়। তরল অবস্থায় পদার্থের অণুগুলির মধ্যে ব্যবধান কঠিন অবস্থা অপেক্ষা বেশি থাকে। যেকোনো তরলকে বিভিন্ন অংশে বিভক্ত করতে খুব কম বলের প্রয়োজন হয়। অতএব তরলের ক্ষেত্রে আন্তঃগ্রাহণিক আকর্ষণ বল থাকে না বললেই চলে।

এই অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- গ্যাসের গতিতত্ত্ব ব্যবহার করে আদর্শ গ্যাসের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- বয়েল ও চার্লস-এর সূত্র জানতে পারবে।
ব্যবহারিক : বয়েলের সূত্র যাচাই।
- গ্যাসের অণুর মৌলিক স্বীকার্য বর্ণনা করতে পারবে।
- গ্যাসের গতিতত্ত্বের আলোকে আদর্শ গ্যাসের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- শক্তির সমবিভাজন নীতি জানতে পারবে।
- জলীয় বাস্প ও বায়ুর চাপের মধ্যে সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- শিশিরাংক, আপেক্ষিক আর্দ্রতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
ব্যবহারিক : নিউটনের শীতলীকরণ সূত্রের সাহায্যে তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়।

১০.১ আদর্শ গ্যাস

Ideal gas

এই অধ্যায়ে আমরা আদর্শ গ্যাসের গতিতত্ত্ব এবং মৌলিক স্বীকার্য সম্বলে বিস্তারিত জানব। তাহলে প্রথমে জানা দরকার, আদর্শ গ্যাস কী?

যে সকল গ্যাস গ্যাসের গতিতত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্যসমূহ মেনে চলে এবং সকল তাপমাত্রায় ও চাপে বয়েল ও চার্লস-এর সূত্র যুগ্মভাবে মেনে চলে তাদেরকে আদর্শ গ্যাস (Ideal gas) বলে। এই স্বীকার্যগুলো যে সব সময় সঠিকভাবে মেনে চলে এরকম কোনো গ্যাসের অস্তিত্ব বাস্তবে নেই। তাই বাস্তব গ্যাসের (Real gas) ধর্ম আদর্শ গ্যাসের ধর্ম থেকে কিছুটা ভিন্নতর লক্ষ করা যায়। **কেবল নিম্নচাপ ও উচ্চ তাপমাত্রায়** গ্যাস এই সমীকরণ মেনে চলে। বাস্তবে আমাদের পরিচিত কোনো গ্যাসই আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ সঠিকভাবে মেনে চলে না। আদর্শ গ্যাস একটি কানুনিক ধারণা মাত্র।

→ MAT: 15-16

১০.১.১ আদর্শ গ্যাসের বৈশিষ্ট্য

- (১) আদর্শ গ্যাস সকল তাপমাত্রায় ও চাপে $PV = nRT$ সমীকরণ মেনে চলে।
- (২) স্থির তাপমাত্রায় আদর্শ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি এর আয়তনের ওপর নির্ভরশীল নয়।

$$\text{অর্থাৎ } \left(\frac{du}{dV} \right)_T = 0; \text{ এখানে, } u = \text{গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি}, V = \text{গ্যাসের আয়তন}, T = \text{তাপমাত্রা}.$$

(৩) আদর্শ গ্যাসের অণুসমূহের মধ্যে কোনো আকর্ষণ নেই বা কোনো বিকর্ষণও নেই।

(৪) আদর্শ গ্যাসের অণুসমূহের মোট আয়তন গ্যাস দ্বারা দখলকৃত আয়তনের তুলনায় নগণ্য।

আমরা জানি তাপ প্রয়োগে সাধারণত পদার্থের প্রসারণ ঘটে এবং তাপ অপসারণে এর সংকোচন ঘটে। কোনো পদার্থের অবস্থা তিনটি রাশি, যথা—চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রা দ্বারা নির্দিষ্ট করা যায়।

গ্যাসের চাপ, আয়তন এবং তাপমাত্রা এই তিনটিকে গ্যাসের চল রাশি (Variable) বলে। এদের যে কোনো দুটির মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করতে হলে অপর একটিকে অপরিবর্তিত রাখতে হবে। এ অনুযায়ী হিসাব করলে আমরা তিনটি সম্পর্ক পাই। তিনটি সূত্র দ্বারা এই তিনটি সম্পর্ক নিয়ন্ত্রিত হয়। এই তিনটি সূত্রকে গ্যাসীয় সূত্র (Gas laws) বলা হয়। গ্যাসীয় সূত্র আলোচনার পূর্বে গ্যাস কী জানা দরকার। গ্যাসের নিম্নলিখিত যেকোনো একটি সংজ্ঞা দেওয়া যেতে পারে—

সংজ্ঞা : (i) সাধারণ তাপমাত্রা ও চাপে যে সব পদার্থ বায়বীয় অবস্থায় থাকে, তাদেরকে গ্যাস বলে। যেমন হাইড্রোজেন, অঞ্জিজেন, নাইট্রোজেন ইত্যাদি গ্যাস।

(ii) বর্তমান প্রচলিত মত অনুসারে সংকট তাপমাত্রার ওপরে কোনো পদার্থের বায়বীয় অবস্থার নাম গ্যাস।

১০.২ গ্যাসের সূত্রাবলি

Gas laws

গ্যাসের মৌল সংখ্যা, চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রা প্রভৃতির ওপর মাত্রিকভাবে পরীক্ষা-নিরীক্ষা করে বিজ্ঞানিগণ গ্যাসের মৌল ধর্মভিত্তিক বিভিন্ন সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্রসমূহ গ্যাস সূত্র নামে পরিচিত। সূত্রগুলো হলো—

(১) বয়েলের সূত্র

(২) চার্লস-এর সূত্র

(৩) চাপীয় সূত্র

(৪) অ্যাডোগাড়োর সূত্র।

নিম্নে গ্যাসের তিনটি সূত্র বর্ণনা করা হলো—

১০.২.১ বয়েল-এর সূত্র

Boyle's law

1662 খ্রিস্টাব্দে রবার্ট বয়েল নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের চাপ ও আয়তনের মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে একটি সূত্র আবিষ্কার করেন। এর নাম বয়েল-এর সূত্র। সূত্রটি নিম্নে বিবৃত হলো :

‘তাপমাত্রা স্থির থাকলে, কোনো নির্দিষ্ট তরের গ্যাসের আয়তন তার চাপের ব্যস্তানুপাতিক।’

মনে করি স্থির তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট তরের গ্যাসের চাপ এবং আয়তন যথাক্রমে P এবং V ।

অতএব আমরা পাই, $V \propto \frac{1}{P}$

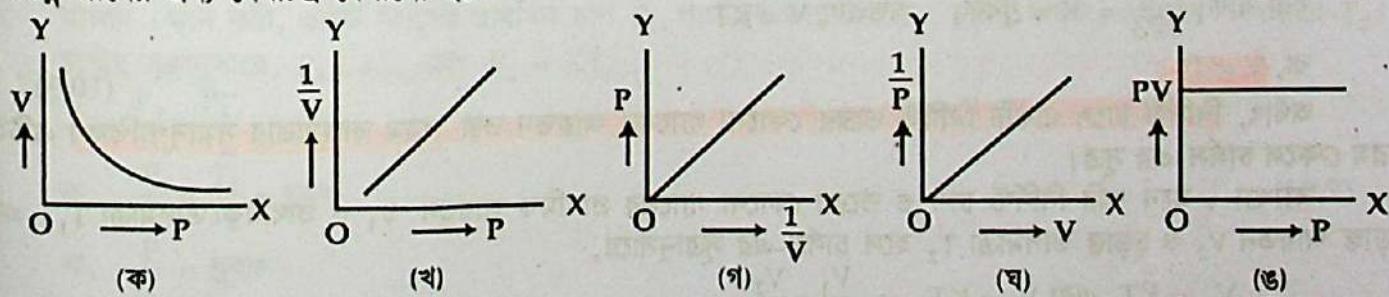
বা, $V = \text{ধ্রুক} \times \frac{1}{P}$ বা, $PV = \text{ধ্রুক} = K$

বা, $PV = K \dots \dots \dots \dots \dots \quad (10.1)$

এই সমীকরণকে সমোক্ষ সমীকরণ (Isothermal equation) বলে।

যদি স্থির তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট তরের গ্যাসের $P_1, P_2, P_3, \dots \dots$ ও P_n চাপে আয়তন যথাক্রমে V_1, V_2, V_3, \dots ও V_n হয়, তবে আমরা পাই, $P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = \dots \dots = P_nV_n = \text{ধ্রুক}$ ।

এ থেকে দেখা যায় তাপমাত্রা স্থির থাকলে চাপ ও আয়তন পরস্পর ব্যস্তানুপাতিক। নিম্নে চাপের ও আয়তনের বিভিন্ন মানের জন্য লেখচিত্র দেখানো হলো :



চিত্র ১০.১

স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট তরের গ্যাসের আয়তন (V) ও চাপ (P) এর লেখচিত্র একটি আয়তাকার পরাবৃত্ত (rectangular hyperbola) হয় [চিত্র ১০.১(ক)]। চিত্র ১০.১(খ), ১০.১(গ), ১০.১(ঘ) ও ১০.১(ঙ) দ্বারা যথাক্রমে $\frac{1}{V}$ বনাম P , P বনাম $\frac{1}{V}$, PV বনাম V ও PV এর লেখচিত্র দেখানো হয়েছে।

MAT: 16-17

অনুসম্ভানযূলক কাজ : বাস্তব গ্যাস বয়েলের সূত্র মেনে চলে না কেন ?

আদৰ্শ গ্যাস বয়েলের সূত্র মেনে চলে; কিন্তু বাস্তব গ্যাস বয়েলের সূত্র মেনে চলে না। এৱ কাৰণ হলো, আদৰ্শ গ্যাসে বিন্দু তৰ বিবেচনা কৰা হয় এবং ওই গ্যাস অণুগুলোৰ মধ্যকাৰ আকৰ্ষণ বল বিবেচনা কৰা হয় না। কিন্তু বাস্তব গ্যাসেৰ অণুগুলিৰ আকাৰ সীমিত এবং এদেৱ মধ্যে আন্তঃআণবিক বল থাকায় বাস্তব গ্যাস বয়েলেৰ সূত্র মেনে চলে না।

জেনেৱাখ : বয়েলেৰ সূত্র উচ্চ তাপমাত্ৰায় ও কম চাপে বিশেষভাৱে প্ৰযোজ্য, কিন্তু নিম্ন তাপমাত্ৰায় ও উচ্চ চাপে এই সূত্ৰেৰ বিচুতি দেখা যায়।

নিজে কৰ : বেলুনে ফুঁ দিলে আয়তন বাড়ে এবং চাপও বাড়ে। এখানে বয়েলেৰ সূত্র কি লজিত হয় ?

একটি নিৰ্দিষ্ট তাপমাত্ৰায় বেলুনে ফুঁ দিয়ে বাতাস ভৱলে বেলুনেৰ আয়তন বাড়ে এবং সাথে সাথে তেতৱেৰ বায়ুৰ চাপও বাড়ে। সুতৰাঙ্গ আপাতভাৱে মনে হয় যে, এই ঘটনায় বয়েলেৰ সূত্র লজিত হচ্ছে। কিন্তু মনে রাখা দৱকাৰ যে বয়েলেৰ সূত্র নিৰ্দিষ্ট ভৱেৱ গ্যাসেৰ ক্ষেত্ৰে প্ৰযোজ্য। ফুঁ দিলে বেলুনেৰ মধ্যে আৱো বায়ু প্ৰবেশ কৰে অৰ্ধাৎ বেলুনেৰ মধ্যে বায়ুৰ ভৱ নিৰ্দিষ্ট না থেকে বেড়ে যায়। ফলে বায়ুৰ আয়তন ও চাপ দুইই বেড়ে যায়। তাই বেলুনে ফুঁ দিয়ে বেলুন ফোলানোৰ ঘটনায় বয়েলেৰ সূত্র প্ৰযোগ কৰা হয় না।

১০.২.২ চাৰ্লস-এৱ সূত্ৰ

Charles's law

1787 খ্ৰিস্টাব্দে ফৰাসি বিজ্ঞানী চাৰ্লস এই সূত্ৰ আবিষ্কাৰ কৰেন। তাৰ নামানুসাৱে এই সূত্ৰকে চাৰ্লস-এৱ সূত্ৰ বলে। এটি নিৰ্দিষ্ট চাপে তাপমাত্ৰা এবং আয়তনেৰ সম্পৰ্ক নিৰ্দেশ কৰে। এই সূত্ৰ অনুসাৱে স্থিৱ চাপে কোনো নিৰ্দিষ্ট ভৱেৱ গ্যাসেৰ আয়তন 0°C হতে প্ৰতি ডিগ্ৰি সেলসিয়াস তাপমাত্ৰা পৱিবৰ্তনেৰ জন্য 0°C -এৱ আয়তনেৰ নিৰ্দিষ্ট ভগ্নাংশ $\frac{1}{273}$ বা 0.00366 অংশ পৱিবৰ্তিত হয়।

মনে কৰি 0°C তাপমাত্ৰায় কোনো নিৰ্দিষ্ট ভৱেৱ গ্যাসেৰ আয়তন = V_0

∴ চাৰ্লস-এৱ সূত্ৰানুযায়ী স্থিৱ চাপে,

$$1^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্ৰায় ওই গ্যাসেৰ আয়তন} = V_0 + \frac{V_0 \times 1}{273}$$

$$0^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্ৰায় ওই গ্যাসেৰ আয়তন} = V_0 + \frac{V_0 \times 0}{273}$$

$$\text{মনে কৰি স্থিৱ চাপে ওই গ্যাসেৰ } 0^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্ৰায় আয়তন} = V$$

$$\therefore \text{আমৱা পাই, } V = V_0 + \frac{V_0 \times 0}{273} = V_0 \left(1 + \frac{0}{273} \right) \dots \dots \quad (10.2)$$

পৱম ক্ষেলে চাৰ্লস-এৱ সূত্ৰ

$$\text{সমীকৰণ (10.2) অনুসাৱে, } V = V_0 \left(\frac{273 + \theta}{273} \right) = \frac{V_0 \theta}{273}$$

এখানে T হচ্ছে পৱম ক্ষেলে তাপমাত্ৰা এবং $T = \theta + 273$

$$\text{ধৰা যাক, } \frac{V_0}{273} = K = \text{ধ্ৰবক}; \quad \text{অতএব, } V = KT$$

$$\text{বা, } V \propto T \dots \dots \dots \quad (10.3)$$

অৰ্ধাৎ, নিৰ্দিষ্ট চাপে একটি নিৰ্দিষ্ট ভৱেৱ কোনো গ্যাসেৰ আয়তন তাৰ পৱম তাপমাত্ৰার সমানুপাতিক। এটিই পৱম ক্ষেলে চাৰ্লস-এৱ সূত্ৰ।

ব্যাখ্যা : মনে কৰি নিৰ্দিষ্ট চাপ ও ভৱেৱ কোনো গ্যাসেৰ প্ৰথমিক আয়তন V_1 ও প্ৰথমিক তাপমাত্ৰা T_1 । এৱ চূড়ান্ত আয়তন V_2 ও চূড়ান্ত তাপমাত্ৰা T_2 হলে চাৰ্লস-এৱ সূত্ৰানুসাৱে,

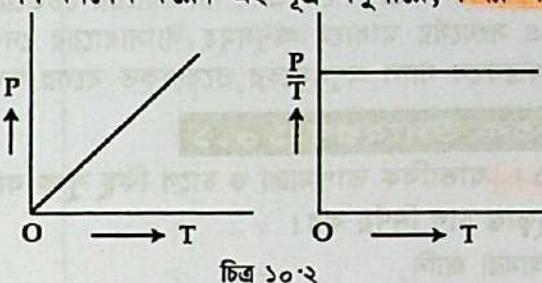
$$\therefore V_1 = KT_1 \text{ এবং } V_2 = KT_2 \quad \therefore \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\text{বা, } \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{type [MAT : 15-1.6]} \quad \dots \dots \quad (10.4)$$

যাচাই কৰ : একটি বেলুনে গ্যাস ভৱে তা রোদে কিছুক্ষণ রেখে দাও। তাপমাত্ৰা বৃদ্ধি পেলে আয়তনেৰ পৱিবৰ্তন ব্যাখ্যা কৰ।

১০.২.৩ চাপীয় সূত্র Law of pressure

1842 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী রেনো (Regnault) এই সূত্র আবিষ্কার করেন। এজন্য এই সূত্রকে রেনোর চাপীয় সূত্র বলা হয়। এটি স্থির আয়তনে চাপ এবং তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে। এই সূত্র অনুসারে, স্থির আয়তনে কোনো নির্দিষ্ট তাপের গ্যাসের চাপ 0°C হতে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রা পরিবর্তনের জন্য তার 0°C -এর চাপের একটি নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ $\frac{1}{273}$ বা, 0.00366 অংশ পরিবর্তিত হয়। স্থির আয়তনে চাপ ও তাপমাত্রার পরিবর্তন $10^{\circ}2$ চিত্রে দেখানো হলো।



চিত্র ১০.২

যাচাই কর : স্থির চাপে নির্দিষ্ট তাপের গ্যাসের ক্ষেত্রে কেন $V-T$ লেখচিত্র মূল বিদ্যুগামী সরলরেখা হয় এবং $\frac{P}{T}-T$ লেখচিত্র X -অক্ষের সমান্তরাল সরলরেখা হয় ?

মনে করি 0°C তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট তাপের গ্যাসের চাপ $= P_0$

\therefore রেনোর চাপীয় সূত্রানুযায়ী স্থির আয়তনে,

$$1^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্রায় ওই গ্যাসের চাপ} = P_0 + \frac{P_0 \times 1}{273}$$

$$0^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্রায় ওই গ্যাসের চাপ} = P_0 + \frac{P_0 \times 0}{273}$$

মনে করি স্থির আয়তনে 0°C তাপমাত্রায় ওই গ্যাসের চাপ $= P$

$$\begin{aligned} \therefore \text{আমরা পাই, } P &= P_0 + \frac{P_0 \times \theta}{273} \\ &= P_0 \left(1 + \frac{\theta}{273} \right) = P_0 \left(\frac{273 + \theta}{273} \right) \dots \dots \end{aligned} \quad (10.5)$$

পরম ক্ষেত্রে চাপের সূত্র

সমীকরণ (10.5) অনুসারে,

$$P = P_0 \left(\frac{273 + \theta}{273} \right) = \frac{P_0 T}{273}$$

এখানে T হচ্ছে পরম ক্ষেত্রে তাপমাত্রা এবং $T = \theta + 273$

ধরা যাক, $\frac{P_0}{273} = K = \text{শ্রবক}$; অতএব, $P = KT$

$$\text{বা, } P \propto T \quad \dots \dots \quad (10.6)$$

অর্থাৎ, নির্দিষ্ট আয়তনে একটি নির্দিষ্ট তাপের কোনো গ্যাসের চাপ তার পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক। এটিই পরম ক্ষেত্রে চাপের সূত্র।

ব্যাখ্যা : মনে করি, একটি গ্যাসের প্রাথমিক চাপ P_1 , প্রাথমিক তাপমাত্রা T_1 , চূড়ান্ত চাপ P_2 ও চূড়ান্ত তাপমাত্রা T_2 । চাপীয় সূত্রানুসারে, $P_1 = KT_1$ এবং $P_2 = KT_2$

$$\therefore \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\text{বা, } \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} = \text{শ্রবক} \quad \dots \dots \quad (10.7)$$

$$\text{বা, } \frac{P}{T} = \text{শ্রবক}$$

$$\text{বা, } P \propto T, \text{ যখন } V \text{ শ্রবক} \quad \dots \dots \quad [10.7(a)]$$

\therefore নির্দিষ্ট আয়তনে একটি নির্দিষ্ট তাপের কোনো গ্যাসের চাপ তার পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক। এটিই পরম ক্ষেত্রে চাপের সূত্র।

সমীকরণ [10.7(a)] থেকে বলা যায় তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে চাপ বৃদ্ধি পাবে এবং তাপমাত্রা হ্রাস পেলে চাপ হ্রাস পাবে।

নিজে কৰ : একটি বেলুনে কিছু গ্যাস ভৱ। এৱপৰ মুখটি ভালো কৰে বন্ধ কৰ। এৱপৰ বেলুনেৰ ওপৰ হাতেৰ চাপ দাও। ওপৰ থেকে বাইৱেৰ দিকে চাপ অনুভূত হবে।

যেকোনো গ্যাস অসংখ্য ক্ষুদ্ৰাতিক্ষুদ্ৰ অণু দ্বাৰা গঠিত। অণুসমূহ সব সময় অতি দ্রুত গতিতে ইতস্তত ভ্ৰমণ কৰে। ফলে পৰস্পৰেৰ সাথে এবং গ্যাসাধাৰেৰ ভেতৱেৰ দেওয়ালেৰ সাথে তাদেৱ অবিৱাম স্থিতিস্থাপক সংঘৰ্ষ চলতে থাকে। এ সংঘৰ্ষেৰ মাধ্যমে অণুসমূহ গ্যাসাধাৰেৰ দেওয়ালেৰ ওপৰ বল প্ৰয়োগ কৰে। গ্যাসাধাৰেৰ দেওয়ালে প্ৰতি একক ক্ষেত্ৰফলে গ্যাস অণুসমূহেৰ প্ৰয়োগকৃত বলেৱ জন্য গ্যাসে চাপেৰ সৃষ্টি হয়।

গানিতিক উদাহৰণ ১০.১

১। স্বাভাৱিক তাপমাত্ৰা ও চাপে কিছু শূক্ৰ বায়ু সংন্মিত প্ৰক্ৰিয়ায় সংন্মিত কৰে এৱ আয়তন অৰ্ধেক কৰা হলো। চূড়ান্ত চাপ নিৰ্ণয় কৰ।
[য. বো. ২০০৯; কু. বো. ২০০১]

আমৱা জানি,

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$\text{বা, } P_2 V_2 = P_1 V_1$$

$$\text{বা, } P_2 = \frac{V_1}{V_2} P_1 = \frac{2V_2}{V_2} P_1$$

$$= 2P_1 = 2 \times 1.013 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

$$= 2.026 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

এখনে,

$$\text{প্ৰাথমিক চাপ, } P_1 = 1.013 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

$$\text{প্ৰাথমিক আয়তন} = V_1$$

$$\text{চূড়ান্ত আয়তন, } V_2 = \frac{V_1}{2}$$

$$\text{চূড়ান্ত চাপ, } P_2 = ?$$

২। কোনো হৃদেৱ তলদেশ থেকে পানিৰ উপরিতলে আসাৱ একটি বায়ু বৃদ্ধবুদ্ধেৰ ব্যাস দিগুণ হয়। হৃদেৱ পৃষ্ঠে বায়ুমণ্ডলেৰ চাপ স্বাভাৱিক বায়ুমণ্ডলীয় চাপেৰ সমান এবং হৃদেৱ তাপমাত্ৰা ধূৰক হলে হৃদেৱ গভীৱতা কৰত ?

[ঢ. বো. ২০১৮, ২০০৫; রা. বো. ২০১৮, ২০১১, ২০০৭; য. বো. ২০১৮, ২০০৯; সি. বো. ২০১৮;

দি. বো. ২০১৮, ২০০৯; চ. বো. ২০০৮; Admission Test : KUET 2004-05;

RUET 2015-16; 2009-10; CUET 2013-14]

আমৱা জানি,

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 = \frac{4\pi}{24} d^3 = Kd^3$$

$$\therefore V_1 = Kd_1^3$$

$$\text{এবং } V_2 = Kd_2^3 = K(2d_1)^3 \quad \therefore d_2 = 2d_1 \\ = 8Kd_1^3 = 8V$$

সূতৰাঙ ব্যাস দিগুণ হলে আয়তন ৮ গুণ হবে।

এখনে,

$$\text{হৃদেৱ তলদেশে বৃদ্ধবুদ্ধেৰ আয়তন, } V_1$$

$$\text{পানিৰ উপরিতলে বৃদ্ধবুদ্ধেৰ আয়তন, } V_2$$

$$\text{পানিৰ ঘনত্ব, } \rho = 1 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$$

$$\text{অভিকৰ্ষজ ত্ৰুণ, } g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$$

$$\text{বায়ুমণ্ডলেৰ স্বাভাৱিক চাপ, } P_2 = 1.013 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

$$\text{হৃদেৱ গভীৱতা, } h = ?$$

মনে কৰি, হৃদেৱ তলদেশে চাপ = P_1 এবং হৃদেৱ পৃষ্ঠে চাপ = P_2 $\therefore P_1 = P_2 + h\rho g$

আমৱা জানি, $P_1 V_1 = P_2 V_2$

$$\text{বা, } (P_2 + h\rho g) V = P_2 V_2 = P_2 \times 8V$$

$$\text{বা, } h\rho g = 8P_2 - P_2 = 7P_2$$

$$\therefore h = \frac{7P_2}{\rho g} = \frac{7 \times 1.013 \times 10^5}{1 \times 10^3 \times 9.8} = 72.36 \text{ m}$$

৩। 0.64 m পাৱদ স্তম্ভ চাপে এবং 39°C তাপমাত্ৰায় কোনো গ্যাসেৰ আয়তন $5.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. প্ৰমাণ চাপ ও তাপমাত্ৰায় গ্যাসেৰ আয়তন কৰত ?

আমৱা পাই,

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\text{বা, } \frac{0.64 \times 5.7 \times 10^{-4}}{312} = \frac{0.76 \times V_2}{273}$$

$$\text{বা, } V_2 = \frac{0.64 \times 5.7 \times 10^{-4} \times 273}{312 \times 0.76}$$

এখনে,

$$P_1 = 0.64 \text{ m}$$

$$V_1 = 5.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$T_1 = 39^\circ\text{C} = (39 + 273) \text{ K} = 312 \text{ K}$$

$$\text{প্ৰমাণ চাপ, } P_2 = 0.76 \text{ m}$$

$$\text{প্ৰমাণ তাপমাত্ৰা, } T_2 = 273 \text{ K}$$

$$V_2 = ?$$

৮। ১.২ atm চাপ এবং 310 K তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের আয়তন ৪.৩ L। বৃশ্চিত্তাপীয় প্রক্রিয়ায় গ্যাসকে সঙ্কুচিত করে আয়তন ০.৭৬ L করা হয়। গ্যাসটির (ক) ছড়ান্ত চাপ এবং (খ) ছড়ান্ত তাপমাত্রা নির্ণয় কর। [গ্যাসটিকে আদর্শ গ্যাস হিসেবে বিবেচনা করা যায় $\gamma = 1.4$] [BUET Admission Test, 2015-16]

(ক) আমরা জানি,

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

$$\text{বা, } P_2 = \frac{P_1 V_1^\gamma}{V_2^\gamma}$$

$$\therefore P_2 = \frac{1.2 \times (4.3)^{1.4}}{(0.76)^{1.4}}$$

$$= 13.58 \text{ atm}$$

আবার,

$$(খ) T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

$$\text{বা, } T_2 = \frac{T_1 V_1^{\gamma-1}}{V_2^{\gamma-1}}$$

$$\therefore T_2 = \frac{310 \times (4.3)^{1.4-1}}{(0.76)^{1.4-1}} = 620 \text{ K}$$

৫। একটি ট্যাঙ্কে 27°C তাপমাত্রায় 2 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে 1660 লিটার অক্সিজেন আছে। ট্যাঙ্কে অক্সিজেনের জর নির্ণয় কর।

[অক্সিজেনের আণবিক ভর = 32 kg kmol^{-1} , বায়ুমণ্ডলীয় চাপ = $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ও $R = 8314 \text{ Jk mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$]

ধরি, অক্সিজেনের ভর = m

$$\text{আমরা পাই, } m = M \left(\frac{PV}{RT} \right)$$

$$\therefore m = \frac{32 \times (2 \times 1.013 \times 10^5 \times 1660 \times 10^{-3})}{8314 \times 300}$$

$$= 4.3 \text{ kg}$$

৬। 67°C তাপমাত্রার এক মোল হিলিয়াম গ্যাসকে 37°C তাপমাত্রার এক মোল আর্গনের সাথে মেশানো হলো। ওই মিশ্রণের তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$1 \text{ মোল গ্যাসের গতিশক্তি} = \frac{3}{2} K N_A T$$

এখনে,

$$T = (273 + 27)K = 300 \text{ K}$$

$$M = 32 \text{ kg kmol}^{-1}$$

$$R = 8314 \text{ Jkmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$P = 2 \times 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$V = 1660 \text{ লিটার} = 1660 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

এখনে,

$$K = \text{বোলজম্যান ধ্রবক}$$

$$N_A = \text{অ্যাতোগ্যাড্রোর সংখ্যা}$$

$$\text{এখন, } 67^\circ\text{C তাপমাত্রায় 1 মোল হিলিয়ামের গড় গতিশক্তি} = \frac{3}{2} K N_A (67 + 273) = \frac{3}{2} K N_A \times 340$$

$$\text{আবার, } 37^\circ\text{C তাপমাত্রার 1 মোল আর্গনের গড় গতিশক্তি} = \frac{3}{2} K N_A (37 + 273) = \frac{3}{2} K N_A \times 310$$

গ্যাস দুটিকে মেশানোর পর সেই মিশ্রণের মোট অণুর সংখ্যা = $2N_A$

ধরা যাক, এই মিশ্রণের তাপমাত্রা = TK

$$\text{অতএব, মিশ্রণের গড় গতিশক্তি} = \frac{3}{2} K \cdot 2N_A T$$

এখন, শক্তির স্বরূপণ নীতি অনুসারে,

$$\frac{3}{2} K \cdot 2N_A \cdot T = \frac{3}{2} K N_A \times 340 + \frac{3}{2} K N_A \times 310 = \frac{3}{2} K N_A (340 + 310)$$

$$\text{বা, } 2T = 650 \quad \therefore T = \frac{650}{2} = 325 \text{ K}$$

$$\text{অতএব, } T = (325 - 273) = 52^\circ\text{C}$$

৭। একটি সিলিন্ডারে রাখিত অক্সিজেন গ্যাসের আয়তন $1 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ ও তাপমাত্রা 300 K এবং চাপ $2.5 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$ । তাপমাত্রা স্থির রেখে কিছু অক্সিজেন বের করে নেয়া হলো। ফলে চাপ কমে $1.3 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$ হলো। ব্যবহৃত অক্সিজেনের ভর নির্ণয় কর।

[CUET Admission Test, 2007-08]

আমরা জানি,

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{P_1 V_1}{P_2} \\ &= \frac{2.5 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-2}}{1.3 \times 10^5} \\ &= 1.923 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

আবার,

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_2 - V_1 = 1.923 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-2} \\ &= 0.923 \times 10^{-2} = 9.23 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{এবং } m = \frac{MP\Delta V}{RT} = \frac{32 \times 2.5 \times 10^5 \times 9.23 \times 10^{-3}}{8.31 \times 300} = 29.6 \text{ kg}$$

৮। কোনো ছবের তলদেশ থেকে পানির উপরিতলে আসায় একটি বায়ু বুদবুদের আয়তন 5 গুণ হয়। বায়ুমণ্ডলের চাপ 10^5 Nm^{-2} হলে ছবের গভীরতা কত?

ধরি, ছবের তলদেশে মোট চাপ = P_1 পানির ঘনত্ব = ρ পানির উপরিতলে বায়ুর চাপ = P_2 ছবের তলদেশে বুদবুদের আয়তন = $V_1 = V$ পানির উপরিতলে বুদবুদের আয়তন = $V_2 = 5V$ এখনে, $P_1 = P_2 + h\rho g$

আমরা জানি,

$P_1 V_1 = P_2 V_2$

বা, $(P_2 + h\rho g) V = P_2 \times 5V$

বা, $4P_2 = h\rho g$

বা, $h\rho g = 4P_2$

$$\therefore h = \frac{4 \times 10^5}{1000 \times 9.8} = 40.82 \text{ m}$$

এখনে,

$V_1 = 1 \times 10^{-2} \text{ m}^3$

$P_1 = 2.5 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$

$P_2 = 1.3 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$

অক্সিজেনের আণবিক

ভর, $M = 32 \text{ kg Kmole}^{-1}$

$T = 300 \text{ K}$

১০.৩ আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ

Ideal gas equation

মনে করি নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের চাপ, আয়তন ও পরম তাপমাত্রা যথাক্রমে P, V, T ।

বয়েলের সূত্রানুসারে, $V \propto \frac{1}{P}$, (যখন তাপমাত্রা T ধ্রুব থাকে)

এবং চার্লস-এর সূত্রানুসারে, $V \propto T$ (যখন চাপ P ধ্রুব থাকে)

এই দুটি সূত্রকে একত্রে লেখা যায়,

$$V \propto \frac{T}{P}, \text{ যখন } T \text{ ও } P \text{ উভয়ই ধ্রুবক}$$

$$\text{বা, } V = K \frac{T}{P} \quad \text{বা, } \frac{PV}{T} = K$$

$$\text{বা, } PV = KT$$

...

...

(10.8)

এখনে K একটি ধূব সংখ্যা, এর মান গ্যাসের তর এবং এককের পদ্ধতির ওপর নির্ভর করে। এখন $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ পরম তাপমাত্রায় এবং $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ চাপে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন যথাক্রমে $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ হলে, উপরোক্ত সমীকরণ অনুসারে,

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_3 V_3}{T_3} = \dots = \frac{P_n V_n}{T_n} = K = \text{ধূবক}$$

এখন অ্যাভোগ্যাড্রোর প্রকল্প অনুসারে এক মোল বা এক গ্রাম অণু ভরের সকল গ্যাসের আয়তন, একই চাপ ও তাপমাত্রায় সমান এবং স্থানিক চাপ ও তাপমাত্রায় এই আয়তন 22.4 লিটার। সূতরাং V যদি এক মোল গ্যাসের আয়তন হয়, $\frac{PV}{T}$ অনুপাতটি সকল গ্যাসের জন্য অভিন্ন হবে। অর্থাৎ K-এর মান এক গ্রাম অণু ভরের সকল গ্যাসের ক্ষেত্রে অভিন্ন হয়। এক্ষেত্রে K এর পরিবর্তে R লেখা হয় এবং R-কে সর্বজনীন গ্যাস ধূবক (universal gas constant) বা মোলার গ্যাস ধূবক (molar gas constant) বলা হয়। এই R এর মান, $R = 8.31 \text{ JK}^{-1} \text{ mole}^{-1}$ ।

এখন যদি 1 মোল গ্যাস বা এক গ্রাম অণু ভরের যেকোনো গ্যাস বিবেচনা করা হয় তাহলে যেকোনো গ্যাসের ক্ষেত্রে আমরা পাই, (সমীকরণ 10.8 থেকে)

$$PV = RT \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.9)$$

এখন যদি এক মোল বা এক গ্রাম অণু গ্যাস না নিয়ে m ভরের গ্যাস নেয়া হয় যার আয়তন V এবং ওই গ্যাসের আণবিক ভর যদি M হয়, তবে এক মোল বা এক গ্রাম অণু গ্যাসের আয়তন হবে $\frac{M}{m}V$ । সূতরাং সমীকরণ (10.9)-এ V এর পরিবর্তে $\frac{M}{m}V$ বসিয়ে পাই,

$$P \times \frac{M}{m}V = RT$$

$$\text{বা, } PV = \frac{m}{M}RT \quad \left(\frac{m}{M} = n = \text{মোল সংখ্যা} \right)$$

$$\text{বা, } PV = nRT \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.10)$$

সমীকরণ (10.10)ই হলো আদর্শ গ্যাস সমীকরণ বা গ্যাসের অবস্থার সমীকরণ।

হিসাব : আদর্শ তাপমাত্রা ও চাপে 1 মোল গ্যাস যে আয়তন দখল করে তার আয়তন এবং একক আয়তনে অণুর সংখ্যা বের কর।

আমরা জানি, $PV = nRT$

$$\therefore V = \frac{nRT}{P} = \frac{1 \times 8.31 \times 273}{1.013 \times 10^5} = 2.24 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

আবার, একক আয়তনে অণুর সংখ্যা,

$$\frac{N}{V} = \frac{6.02 \times 10^{23}}{2.24 \times 10^{-2}} = 2.69 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$$

অনুসন্ধানমূলক কাজ : প্রমাণ তাপমাত্রা ও প্রমাণ চাপে 1 cm^3 হিলিয়াম ও 1 cm^3 অক্সিজেন গ্যাস আছে। কোন গ্যাসের অণুর সংখ্যা বেশি?

অ্যাভোগ্যাড্রোর সূত্র অনুযায়ী আমরা জানি একই তাপমাত্রা ও চাপে সকল গ্যাসের সমান আয়তনে সমান সংখ্যক অণু থাকে। সূতরাং প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে 1 cm^3 হিলিয়াম ও 1 cm^3 অক্সিজেন গ্যাসে সমান সংখ্যক অণু থাকে। কাজেই কোনো গ্যাসের অণুর সংখ্যা বেশি নয়।

১০.৪ গ্যাসের ঘনত্বের সমীকরণ

Equation of density of a gas

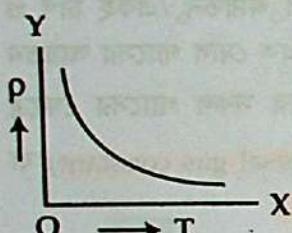
ধরা যাক T_1, K পরম তাপমাত্রায় m ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন V_1 , চাপ P_1 ও ঘনত্ব ρ_1 এবং T_2, K পরম তাপমাত্রায় তার আয়তন V_2 , চাপ P_2 ও ঘনত্ব ρ_2 । গ্যাসটি তার অবস্থার সমীকরণ মেনে চললে,

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{ধূবক}$$

অর্থাৎ, $\frac{P_1}{T_1} \cdot \frac{m}{\rho_1} = \frac{P_2}{T_2} \cdot \frac{m}{\rho_2}$ = ধ্রুবক $\left[\because \rho_1 = \frac{m}{V_1} \text{ এবং } \rho_2 = \frac{m}{V_2} \right]$

$$\therefore \frac{P_1}{\rho_1 T_1} = \frac{P_2}{\rho_2 T_2} = \text{একটি ধ্রুবক} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.11)$$

এটিও (আদর্শ) গ্যাসের অবস্থার সমীকরণ নির্দেশ করে। এ সমীকরণ অনুসারে,



চিত্র ১০.৩(ক)

(ক) $P_1 = P_2$ হলে, $\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2$

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

বা, $\rho = \text{ধ্রুবক} \frac{1}{T}$

বা, $\rho \propto \frac{1}{T}$

(10.12)

সূতরাং স্থির চাপে একটি নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের ঘনত্ব তার পরম তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক। এই সম্পর্কটি ১০.৩(ক) চিত্রে দেখানো হলো।

(খ) $T_1 = T_2$ হলে,

$$\frac{P_1}{\rho_1} = \frac{P_2}{\rho_2} = \text{ধ্রুবক}$$

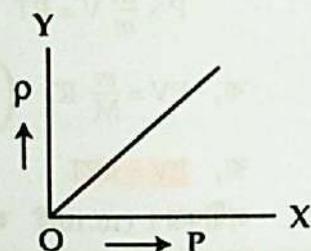
$$\therefore \frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \text{ধ্রুবক}$$

$$\therefore \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{P_1}{P_2} \times \text{ধ্রুবক}$$

$\rho = \text{ধ্রুবক} \times P$

বা, $\rho \propto P$

(10.13)



চিত্র ১০.৩(খ)

কাজেই, স্থির তাপমাত্রায় একটি নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের চাপ তার ঘনত্বের সমানুপাতিক। এই সম্পর্কটি ১০.৩(খ) চিত্রে দেখানো হলো।

১০.৫ সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক

Universal gas constant

যে কোনো গ্যাসের ভর এক গ্রাম মোল হলে, সকল গ্যাসের ক্ষেত্রে R-এর মান সমান হয় এবং ধ্রুবক R-কে R দ্বারা প্রকাশ করা হয়। সেজন্য R-কে সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক বলা হয়।

R-এর অর্থ : n মোল গ্যাসের ক্ষেত্রে আমরা পাই,

$$PV = nRT$$

$$\therefore R = \frac{PV}{nT} = \frac{\text{কাজ বা শক্তি}}{\text{মোল সংখ্যা} \times \text{তাপমাত্রা (কেলভিন)}} \quad \dots \quad \dots \quad \dots$$

(10.14)

উক্ত সমীকরণ হতে R-এর নিম্নলিখিত সংজ্ঞা দেয়া যায়—

সংজ্ঞা : এক মোল আদর্শ গ্যাসের তাপমাত্রা এক ডিগ্রি বাড়ালে তা যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করে তাকে সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক বলে। এটিই হলো R-এর অর্থ বা তাত্পর্য।

R-এর একক : এস. আই. পদ্ধতিতে R-এর একক হলো জুল কেলভিন⁻¹ মোল⁻¹ (JK⁻¹ mol⁻¹)।

R-এর মান : এস. আই. পদ্ধতিতে স্বাভাবিক তাপমাত্রা এবং চাপে (N. T. P) এর মান 8.314 JK⁻¹ mol⁻¹ (জুল কেলভিন⁻¹ মোল⁻¹)।

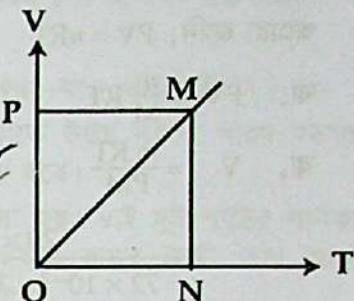
এক মোল গ্যাসের জন্য আদর্শ গ্যাস সমীকরণ হচ্ছে $PV = RT$ । একক চাপের ক্ষেত্রে $P = 1$ একক হলে, $V = RT$ হয়। যেহেতু R ধ্রুব রাশি তাই $V \propto T$ হয় বা $\frac{V}{T} = R$ হয়। লেখচিত্রে এই সম্পর্কটি দেখানো হলো [চিত্র ১০.৪]।

লেখচিত্রে $\frac{MN}{ON} = \frac{V}{T}$ = ঢাল। অর্থাৎ একক চাপে কোনো আদর্শ গ্যাসের এক মোলের আয়তন বনাম পরম তাপমাত্রার লেখচিত্রের ঢালই হলো গ্যাস ধ্রুবক R ।

গ্যাস ধ্রুবক (K) : $PV = KT$ [সমীকরণ (10.8)] এবং $PV = nRT$ [সমীকরণ (10.10)] তুলনা করে পাই,

$$K = nR = R \frac{n}{M}; \text{ যেহেতু } R = \text{ধ্রুবক কাজেই } K \propto \frac{n}{M}।$$

অর্থাৎ গ্যাস ধ্রুবক (K) গ্যাসের ভর এবং আনবিক ভরের অনুপাতের সমানুপাতিক।



চিত্র ১০.৪

১০.৬ প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপ

Standard temperature and pressure (STP)

প্রমাণ তাপমাত্রা

যে তাপমাত্রায় ও প্রমাণ চাপে বরফ গলে পানিতে পরিণত হয় বা পানি জমে বরফে পরিণত হয় সেই তাপমাত্রাকে প্রমাণ তাপমাত্রা বলে। সেলসিয়াস স্কেলে এটি 0°C এবং কেলভিন স্কেলে 273 K । অর্থাৎ STP তে তাপমাত্রা 273 K ।

প্রমাণ চাপ

৪৫° অক্ষাংশে 273 K তাপমাত্রায় উল্লম্বভাবে অবস্থিত 760 mm উচ্চতাবিশিষ্ট শুক্র ও বিশুদ্ধ পারদ স্তম্ভ যে চাপ দেয় তাকে প্রমাণ চাপ বলে।

$$\begin{aligned} \text{অতএব, প্রমাণ চাপ} &= 760\text{ mm পারদ স্তম্ভ চাপ} \\ &= 0.76\text{ m} \times 13596\text{ kgm}^{-3} \times 9.806\text{ ms}^{-2} \\ &= 1.013 \times 10^5\text{ Nm}^{-2} \\ &= 1.013 \times 10^5\text{ Pa} \end{aligned}$$

জানার বিষয় : STP তে বায়ুর ঘনত্ব 1.293 kg m^{-3}

STP তে বায়ুর চাপ $1.013 \times 10^5\text{ Nm}^{-2}$.

১০.৭ পরম শূন্য তাপমাত্রা বা পরম শীতলতা

Absolute zero temperature

চার্লস-এর সূত্র হতে আমরা দেখতে পাই যে, স্থির চাপে যদি 0°C তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট ভরের একটি গ্যাসের আয়তন V_0 হয় এবং 0°C তাপমাত্রায় তার আয়তন V হয়, তবে

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

— -273°C তাপমাত্রায় উক্ত গ্যাসের আয়তন, $V_{-273} = V_0 \left(1 - \frac{273}{273} \right) = 0$

অর্থাৎ স্থির চাপে গ্যাসকে ঠাণ্ডা করে তার তাপমাত্রা -273°C করলে আয়তন শূন্য হবে। তাপমাত্রা আরও কমালে গ্যাসের আয়তন ঘণ্টাক হবে। কিন্তু ঘণ্টাক আয়তন অর্থহীন। অতএব সর্বনিম্ন তাপমাত্রা -273°C । প্রকৃতপক্ষে এই তাপমাত্রা -273.16°C । কোনো কিছুই তাপমাত্রা এর চেয়ে কম হতে পারে না। শুধু পৃথিবীতে নয়, সৌরজগৎ তথা মহাবিশ্বে এর কম তাপমাত্রা কোথাও থাকতে পারে না। এজন্য -273°C তাপমাত্রাকে সর্বনিম্ন তাপমাত্রা বা চরম শীতলতা বা চরম বা পরম শূন্য তাপমাত্রা (Absolute zero temperature) বলা হয়। কাজেই, স্থির চাপে একটি নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের তাপমাত্রা ক্রমশ কমাতে থাকলে, চার্লসের সূত্রানুযায়ী যে তাপমাত্রায় পৌছে তার আয়তন শূন্য হয় ও গ্যাসের গতিশক্তি সম্পূর্ণরূপে লোপ পায় তাকে পরম শূন্য তাপমাত্রা বলে। 0K বা -273°C কে পরম শূন্য তাপমাত্রা ধরা হয়।

MAT. 19-20

সংজ্ঞা : যে তাপমাত্রায় স্থির চাপে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন শূন্য হয় এবং গতিশক্তি পুরোপুরি লোপ পায় তাকে পরম শূন্য তাপমাত্রা বলে।

গাণিতিক উদাহরণ ১০.২

১। যদি $R = 8.31 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ হয় তবে 72 cm পারদ চাপে এবং 27°C তাপমাত্রায় 20 g অক্সিজেনের আয়তন
নির্ণয় কর। [ব. বো. ২০০০; কু. বো. ২০০৮; সি. বো. ২০০৬]

আমরা জানি, $PV = nRT$

$$\text{বা, } PV = \frac{m}{M} RT$$

$$\text{বা, } V = \frac{m RT}{PM}$$

$$= \frac{20 \times 10^{-3} \times 8.31 \times 300}{72 \times 10^{-2} \times 13.6 \times 10^3 \times 9.8 \times 32 \times 10^{-3}}$$

$$= 0.0162369 = 16.24 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

২। 100°C তাপমাত্রায় 20 g অক্সিজেন একটি 20 cm দৈর্ঘ্যের ঘনককে পূর্ণ করে। এক মৌল অক্সিজেনের
তর 32 g। ঘনকের অভ্যন্তরে অক্সিজেনের চাপ কত? [চ. বো. ২০১৫]

আমরা জানি,

$$PV = nRT$$

$$\therefore P = \frac{nRT}{V} = \frac{mRT}{MV}$$

$$= \frac{20 \times 10^{-3} \times 8.31 \times 373}{32 \times 10^{-3} \times (0.02)^3}$$

$$= 242.16 \text{ Pa}$$

$$= 242.16 \text{ Nm}^{-2}$$

এখানে,

$$m = 20 \text{ g} = 20 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$M = 32 \text{ gmol}^{-1} = 32 \times 10^{-3} \text{ kgmol}^{-1}$$

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

$$T = (27 + 273) = 300 \text{ K}$$

$$h = 72 \text{ cm} = 72 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$P = h\rho g$$

$$= 72 \times 10^{-2} \times 13.6 \times 10^3 \times 9.8 \text{ Nm}^{-2}$$

$$V = ?$$

৩। 18 g ইলিয়াম গ্যাসপূর্ণ একটি বেলুনের আয়তন 0.10 m^3 । বেলুনের ভেতরে গ্যাসের চাপ $1.2 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$ । বেলুনের মধ্যবর্তী গ্যাসের তাপমাত্রা কত?

আমরা জানি,

$$PV = nRT$$

$$\therefore T = \frac{PV}{nR}$$

$$= \frac{1.2 \times 10^5 \times 0.10}{4.5 \times 8.31}$$

$$= 320.9 \text{ K}$$

এখানে,

$$\text{অক্সিজেনের তর, } m = 20 \text{ g} = 20 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

অক্সিজেনের আণবিক তর,

$$M = 32 \text{ gmol}^{-1} = 32 \times 10^{-3} \text{ kgmol}^{-1}$$

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

$$V = (20 \text{ cm})^3 = (0.02 \text{ m})^3$$

$$T = 100 + 273 = 373 \text{ K}$$

$$n = 1$$

$$\text{চাপ, } P = ?$$

১০.৮ ব্যবহারিক

Experimental

পরীক্ষণের নাম :

বয়েলের সূত্র যাচাই

প্রিমিয়াল : ২

Verification of Boyle's law

মূলতত্ত্ব (Theory) : তাপমাত্রা স্থির থাকলে কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন তার ওপর প্রযুক্ত চাপের
ব্যস্তানুপাতিক।

যদি কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন, V এবং চাপ, P হয় তবে বয়েলের সূত্রানুসারে

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

বা, $PV = \text{ক্ষবক}$

... (i)

অনুরূপভাবে যদি কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের যেমন P_1, P_2, P_3 ইত্যাদি চাপে তার আয়তন যথাক্রমে V_1, V_2, V_3 হয় তবে বয়েলের সূত্রানুসারে আমরা পাই, $P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = \text{ক্ষবক} = K$ ।

যন্ত্রপাতি (Apparatus) : (১) বয়েলের যন্ত্র, (২) ব্যারোমিটার এবং (৩) তাপমান যন্ত্র।

কার্যপদ্ধতি বা কাজের ধারা (Working procedure) : উক্ত পরীক্ষা তিনটি ধাপে সম্পন্ন করা হয়, যথ—
(A) বায়ুমণ্ডলীয় চাপে, (B) বায়ুমণ্ডলীয় চাপ অপেক্ষা অধিক চাপে এবং (C) বায়ুমণ্ডলীয় চাপ অপেক্ষা কম চাপে।

(A) বায়ুমণ্ডলীয় চাপে :

(১) পরীক্ষার শুরুতেই ব্যারোমিটারের সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের চাপ নির্ণয় করা হয়। মনে করি এটি P_1 ।

(২) CD নলটিকে উঠা-নামা করিয়ে তাকে এমন উচ্চতায় রাখা হয় যাতে উভয় নলের পারদ স্তম্ভ এক সমতলে থাকে। এ অবস্থায় AB নলে আবন্ধ বায়ুর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হবে।

(৩) স্কেল হতে AB নলের বন্ধমুখ এবং AB নলের পারদ তলের পাঠ নেয়া হয়। এই দুই পাঠের পার্থক্য হতে আবন্ধ বায়ুমণ্ডলের দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হয়। AB নল সমব্যাসযুক্ত হওয়ায় আবন্ধ বায়ুর দৈর্ঘ্য তার আয়তনের আনুপাতিক হবে। বায়ুমণ্ডলের চাপ এবং বায়ুমণ্ডলের দৈর্ঘ্যের গুণফল বের করা হয়।

(B) বায়ুমণ্ডলীয় চাপ অপেক্ষা অধিক চাপে :

(৪) এবার CD নলকে আস্তে আস্তে ওপরে তোলা হয়। এই অবস্থায় CD নলের পারদ স্তম্ভ AB নলের স্তম্ভ হতে উচুতে থাকবে এবং AB নলের আবন্ধ বায়ুর চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা বেশি হবে। উভয় নলের পারদ স্তম্ভের পাঠ নেয়া হয় এবং তাদের পার্থক্য নির্ণয় করা হয়। বায়ুমণ্ডলের চাপের সাথে উক্ত পার্থক্য যোগ করে AB নলে আবন্ধ বায়ুর চাপ বের করা হয়। P_1 বায়ুমণ্ডলের চাপ হলে এবং h পারদ স্তম্ভের পার্থক্য হলে আবন্ধ বায়ুর চাপ $P = P_1 + h$ । AB নলের পারদতল এবং বন্ধ প্রান্তের পাঠ হতে আবন্ধ বায়ুর আয়তন নির্ণয় করা হয়। CD নল ক্রমাগত ওপরে উঠিয়ে ৫-৬ বার পাঠ নেয়া হয় এবং প্রতিবারই আবন্ধ বায়ুর চাপ এবং আয়তনের গুণফল বের করা হয়।

(C) বায়ুমণ্ডলীয় চাপ অপেক্ষা কম চাপে :

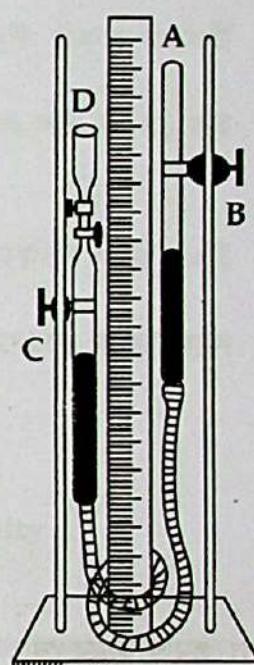
(৫) এখন CD নলকে নিচে নামানো হয় এবং এমন জায়গায় রাখা হয় যাতে AB নলের পারদ স্তম্ভ CD নলের পারদ স্তম্ভ হতে উচুতে থাকে। এ অবস্থায় AB নলের আবন্ধ চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা কম হবে। উভয় নলের পারদ স্তম্ভের পাঠ নেয়া হয় এবং তাদের পার্থক্য নির্ণয় করা হয়। বায়ুমণ্ডলের চাপ হতে উক্ত পার্থক্য বিয়োগ করে AB নলের আবন্ধ বায়ুর চাপ বের করা হয়। P_1 বায়ুমণ্ডলের চাপ হলে এবং h পারদ স্তম্ভের পার্থক্য হলে আবন্ধ বায়ুর চাপ $P = P_1 - h$ । AB নলের পারদতল এবং বন্ধ প্রান্তের পাঠ হতে আবন্ধ বায়ুর আয়তন নির্ণয় করা হয়। CD নল ক্রমাগত নিচে নামিয়ে ৫-৬ বার পাঠ নেয়া হয় এবং প্রতিবারই চাপ এবং আয়তনের গুণফল বের করা হয়।

(৬) পরীক্ষার শুরুতে এবং শেষে ব্যারোমিটারের সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের চাপ পরিমাপ করা হয় এবং গড় মান নেয়া হয়। মনে করি, তা P_1 ।

পর্যবেক্ষণ ও সন্তুষ্টিপূরণ (Observation and manipulation) :

ছক (Table)

চাপ	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ব্যারো- মিটারের পাঠ = B সেমি	পরীক্ষা- গারের তাপমাত্রা $= 1^{\circ} C$	আবন্ধ নল AB- এর ওপর প্রান্তের পাঠ = a সেমি	আবন্ধ নল AB- এর পারদ স্তম্ভের পাঠ = b সেমি	খোলা নল CD-এর পারদ স্তম্ভের পাঠ = c সেমি	আবন্ধ বায়ুর আয়তন $V = (a-b)$ ঘন সেমি	পারদ স্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য $h = (b-c)$ সেমি	পারদ স্তম্ভের উচ্চতার পার্থক্য $K = P \times V$	আবন্ধ বায়ুর মোট চাপ $P = (B \pm h)$ সেমি	মন্তব্য
বায়ুমণ্ডলীয় চাপে											
বায়ুমণ্ডলীয় চাপ অপেক্ষা অধিক চাপে											ধ্রুবক
বায়ুমণ্ডলীয় চাপ অপেক্ষা কম চাপে											



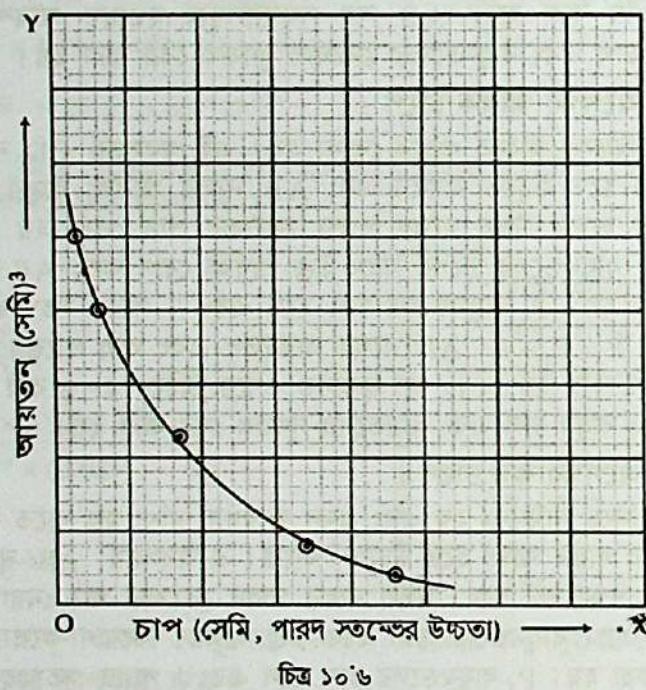
চি. ১০-৫

হিসাব বা গণনা (Calculation) :

- (১) $P \times V = \dots$
- (২) $P \times V = \dots$
- (৩) $P \times V = \dots$
- (৪) $P \times V = \dots$

[অনুরূপভাবে সকল গণনা করা যায়]

ফলাফল (Result) : যেহেতু $P \times V =$ ধ্রুবক, সেহেতু P এবং V -এর সম্পর্কটিকে একটি লেখ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। P -কে X -অক্ষে এবং V -কে Y -অক্ষে স্থাপন করে লেখ অঙ্কন করলে তা একটি আয়তাকার পরাবৃত্ত হবে [চিত্র ১০.৬]



এবং প্রমাণ করবে যে, $P \times V =$ ধ্রুবক। কিন্তু P বনাম $\frac{1}{V}$ লেখ অঙ্কন করলে তা একটি সরলরেখা হবে। এটিও প্রমাণ করবে যে $P \times V =$ ধ্রুবক।

অতএব ব্যয়ের সূত্র প্রমাণিত হলো।

সতর্কতা (Precautions) :

- (১) নল দুটি পুরাপুরি খাড়া হওয়া উচিত।
- (২) দৃষ্টিভ্রম এড়িয়ে পাঠ নেয়া উচিত।
- (৩) তাপমাত্রা স্থির রাখার জন্য CD নলকে ধীরে ধীরে উঠা-নামা করা প্রয়োজন।
- (৪) প্রতিবার পাঠ নেবার পর কিছু সময় অপেক্ষা করা উচিত।

আলোচনা (Discussion) : বন্ধ নল ও খোলা নল অসম প্রস্থচ্ছেদের হলে প্রাপ্ত ফলাফলে ত্রুটি পরিলক্ষিত হয়।

১০.৯ গ্যাসের অণুর মৌলিক স্বীকার্য

Fundamental postulates of gas molecules

গ্যাসের অণুর গতিশীলতার জন্য তাপ উৎপন্ন হয়। এটি হলো গ্যাসের অণুর গতিতত্ত্ব। গ্যাসের গতিতত্ত্ব হতে গ্যাসের গতির প্রকৃতি এবং উচ্চত তাপের মধ্যে সম্পর্ক জানা যায়। গ্যাসের অণুর গতিতত্ত্ব সূপ্তিগতিতে করার জন্য কতকগুলো পূর্বশর্ত প্রয়োজন। এগুলোকে গ্যাসের মৌলিক স্বীকার্য বলা হয়। গ্যাসের অণুর মৌলিক স্বীকার্যসমূহ নিম্নে উল্লেখ করা হলো :

১। প্রত্যেক গ্যাসই সমান তরের অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণার সমন্বয়ে গঠিত। এদের নাম অণু। অণুগুলো নিউটনের গতিসূত্র মেনে চলে।

২। কোনো একটি গ্যাসের অণুগুলো সদৃশ। কিন্তু বিভিন্ন গ্যাসের অণুগুলো ভিন্ন ভিন্ন। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়— হাইড্রোজেন গ্যাসের সকল অণু সদৃশ, অক্সিজেন গ্যাসের সকল অণু সদৃশ। কিন্তু হাইড্রোজেন গ্যাসের অণু এবং অক্সিজেন গ্যাসের অণু সদৃশ নয়।

Mati. 11-12 '10-11

- ৩। গ্যাসের অণুগুলো বিন্দু ভর আদর্শ স্থিতিস্থাপক গোলক।
- ৪। অণুগুলোর মধ্যবর্তী দূরত্বের তুলনায় এদের আয়তন উপেক্ষণীয়।
- ৫। আধারের আয়তনের তুলনায় এর মধ্যস্থিত গ্যাসের অণুগুলোর আয়তন নগণ্য।
- ৬। অণুগুলোর পরস্পরের মধ্যে কোনো আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল নেই, কিন্তু আবশ্য পাত্রের দেয়ালের ওপর কোনো বল প্রয়োগ করে না। অর্থাৎ গ্যাসের শক্তি গতিশক্তি।
- ৭। অণুগুলো সতত সঞ্চরণশীল। তাদের গতিবেগ শূন্য হতে অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত হতে পারে।
- ৮। অণুগুলো প্রতিনিয়ত অতি দ্রুতবেগে বিস্কিপ্টভাবে ছুটাছুটি করছে এবং পরস্পরের সাথে ও আধারের দেয়ালের সাথে ধাক্কা খাচ্ছে। আধারের দেয়ালের সাথে অণুগুলোর ধাক্কার দরুনই গ্যাসে চাপের সৃষ্টি হয়।
- ৯। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সংগে অণুগুলোর বেগ বৃদ্ধি পায়।
- ১০। দুটি ধাক্কার মধ্যবর্তী সময়ে অণুগুলো সমবেগে সরলরেখা বরাবর চলে। পরপর দুটি ধাক্কার মধ্যবর্তী দূরত্বকে গড় মুক্ত পথ (mean free path) বলে।
- ১১। একটি ধাক্কা সংঘটিত হতে যে সময় লাগে তা মুক্ত পথ অতিক্রম করার সময়ের তুলনায় অতি নগণ্য, তাই ধাক্কাগুলো তাৎক্ষণিক (instantaneous)।
- ১২। গ্যাসের অণুগুলো আধারের সমগ্র আয়তনে মুক্তভাবে বিচরণক্ষম।
- ১৩। গ্যাসের অণুগুলো অনবরত ধাক্কায় লিপ্ত থাকলেও এক ঘন আয়তনে অণুর সংখ্যা অপরিবর্তিত থাকে। এটি হতে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায় যে, আদর্শ গ্যাসের আণবিক ঘনত্ব সর্বদা স্থির থাকে।
- এখানে উল্লেখ থাকে যে, গ্যাসের মৌলিক স্বীকার্য যেসব গ্যাস সর্বতোভাবে মনে চলে তাদেরকে আদর্শ গ্যাস বলে।
- ১৪। গ্যাসের পরম তাপমাত্রা অণুগুলোর মোট গতিশক্তির সমানুপাতিক।

১০.১০ গড় বেগ, গড় বর্গবেগ এবং গড় বর্গবেগের বর্গমূল

Mean velocity, mean square velocity and root mean square velocity

গড় বেগ

কোনো একটি বস্তু অসম বেগে গমন করলে মোট অতিক্রান্ত দূরত্ব এবং মোট সময়ের ভাগফলকে গড় বেগ বলে। আবার, দুই বা ততোধিক বেগের গড় মানকে গড় বর্গবেগ বলে। মনে করি একটি বন্ধ আধারে একটি গ্যাসের n সংখ্যক অণু আছে। ধরি অণুর বেগ $c_1, c_2, \dots, c_3, \dots, c_n$ । অতএব তাদের

$$\text{গড় বেগ}, \bar{c}_a = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_n}{n} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.15)$$

গড় বর্গবেগ

দুই বা ততোধিক বেগের বর্গের গড় মানকে গড় বর্গবেগ বলে। মনে করি গ্যাসের n সংখ্যক অণুর বেগ যথাক্রমে $c_1, c_2, \dots, c_3, \dots, c_n$ । অতএব তাদের

$$\text{গড় বর্গবেগ}, \bar{c}_a^2 = \frac{c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_n^2}{n} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.16)$$

গড় বর্গবেগের বর্গমূল

দুই বা ততোধিক বেগের বর্গের গড় মানের বর্গমূলকে গড় বর্গবেগের বর্গমূল বা মূল গড় বর্গবেগ বলে। অতএব গড় বর্গবেগের বর্গমূল বা মূল গড় বর্গবেগ

$$c = \sqrt{\bar{c}_a^2} = \sqrt{\frac{c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_n^2}{n}} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.17)$$

সাধারণত মূল গড় বর্গবেগ গড় বেগ অপেক্ষা বেশি মানের হয়।

ব্যাখ্যা: ধরা যাক কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের গ্যাসের মধ্যে c_1 বেগসম্পন্ন n_1 সংখ্যক অণু, c_2 বেগসম্পন্ন n_2 সংখ্যক অণু, c_3 বেগসম্পন্ন n_3 সংখ্যক অণু ইত্যাদি রয়েছে। সুতরাং মোট অণু, $n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots$

$$\text{অতএব, গড় বেগ}, \bar{c} = \frac{n_1 c_1 + n_2 c_2 + n_3 c_3 + \dots}{n}$$

$$\text{গড় বর্গ বেগ}, \bar{c}^2 = \frac{n_1 c_1^2 + n_2 c_2^2 + n_3 c_3^2 + \dots}{n}$$

এবং গড় বর্গবেগের বর্গমূল বা মূল গড় বর্গবেগ, $c = \sqrt{\bar{c}^2}$

ধরা যাক চারটি অণুর বেগ যথাক্রমে 3, 4, 5 এবং 6 একক।

$$\text{সূতরাং, এদের গড় বেগ}, \bar{c} = \frac{3+4+5+6}{4} = 4.5$$

$$\text{এবং মূল গড় বর্গবেগ}, c = \sqrt{\bar{c}^2} = \sqrt{\frac{3^2 + 4^2 + 5^2 + 6^2}{4}} = 4.64$$

সূতরাং দেখা যাচ্ছে যে, c এবং \bar{c} সমান নয়। সাধারণত rms গতিবেগ গড় গতিবেগ অপেক্ষা সামান্য বেশি হয়। গভীর তত্ত্বের আলোচনায় rms গতিবেগ বেশি প্রয়োজনীয় ও গুরুত্বপূর্ণ।

অনুধাবনযুক্ত কাজ : গ্যাসের ক্ষেত্রে মূল গড় বর্গবেগ নেওয়া হয় কেন?

সাধারণত গড় বেগ মূল গড় বর্গবেগ অপেক্ষা কিছু কম হয়। তাছাড়া গতি তত্ত্বে গড় বেগের ব্যবহার নেই। শুধুমাত্র মূল গড় বর্গবেগ অণুর বিভিন্ন গতিবেগের প্রতিনিধিত্বকারী গড় হিসেবে ব্যবহৃত হয়। এজন্য গ্যাসের ক্ষেত্রে মূল গড় বর্গবেগ নেওয়া হয়।

১০-১১ গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্ব

Molecular kinetic theory of gases

সকল গ্যাসই মোটামুটি বয়েল, চার্লস এবং চাপের সূত্র মেনে চলে। এজন্য সকল গ্যাসের একটি সাধারণ গঠন আছে বলে ধরে নেয়া যায়। সকল গ্যাসই তথা সকল বস্তুই অসংখ্য অণুর সমষ্টি। এই অণুগুলো অবিরাম গতিশীল অবস্থায় থাকে। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে তাদের গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়। কঠিন পদার্থের অণুগুলো খুবই ঘন সন্নিবিষ্ট থাকায় সংস্কৃতি বল অধিক। এর ফলে কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট আকার ও আয়তন থাকে। তরল পদার্থের অণুগুলোর পারস্পরিক সংস্কৃতি বল অপেক্ষাকৃত কম। ফলে এদের নির্দিষ্ট আকার থাকে না, কিন্তু আয়তন থাকে। গ্যাসের অণুগুলোর মধ্যে সংস্কৃতি বল একেবারে নেই বললেই চলে। ফলে গ্যাসের অণুগুলো স্বাধীনভাবে চলাচল করতে পারে। তাই গ্যাসীয় পদার্থের নির্দিষ্ট কোনো আকার বা আয়তন নেই।

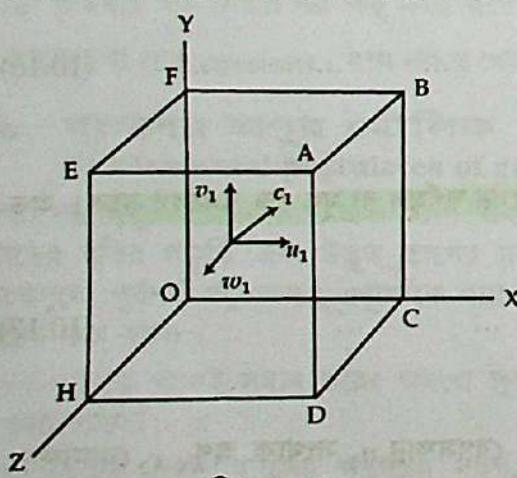
তেজী, জল, রামকোর্ট প্রমুখ বিজ্ঞানী বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেছেন যে, তাপ এক প্রকার শক্তি এবং পদার্থ কণার গতির ফলেই তাপ সৃষ্টি হয়। তা হলে দেখা যাচ্ছে, তাপ হলো গতির একটি বিশেষ রূপ। অতএব গ্যাসের গতিশীলতার জন্য তাপ উৎপন্ন হয়। এটি হলো গ্যাসের গতিতত্ত্ব। গ্যাসের গতিতত্ত্ব হতে গ্যাসের গতির প্রকৃতি এবং উভ্রূত তাপের মধ্যে সম্পর্ক জানা যায়।

1730 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী বার্নোলি (Bernoulli) সর্বপ্রথম গ্যাসের গতিতত্ত্বের সাহায্যে গ্যাসের স্তুতাবলি ব্যাখ্যা করেন। এ কারণে বিজ্ঞানী বার্নোলিকে গ্যাসের গতিতত্ত্বের জনক বলা হয়। কিন্তু পরবর্তীতে ক্লিসিয়াস, ম্যাক্সওয়েল, বোল্জম্যান, জিন, ভ্যান ডার ওয়াল্স প্রমুখ বিজ্ঞানী গ্যাসের গতিতত্ত্বের প্রভৃতি উন্নতি সাধন করেন এবং এই তত্ত্বের সাহায্যে গ্যাসের নানারূপ আচরণের সন্তোষজনক ব্যাখ্যা প্রদান করেন।

১০-১২ গতিতত্ত্ব অনুসারে আদর্শ গ্যাসের চাপের সমীকরণ

Equation of pressure of an ideal gas according to the kinetic theory

হয় তলবিশিষ্ট আদর্শ স্থিতিস্থাপক পদার্থের একটি ঘনাকৃতি ফাঁপা পাত্র লাই। মনে করি এটি ABCDEFOH [চিত্র ১০.৫]। পাত্রটির প্রত্যেকটি বাহুর দৈর্ঘ্য ।। অতএব এর আয়তন $V = l^3$ ।



চিত্র : ১০.৭

অতএব অণুটির বেগের v_1 উপাংশের দরুন তরবেগের পরিবর্তন $= mu_1 - (-mu_1) = mu_1 + mu_1 = 2mu_1$

ধরি পাত্রটি M তরের একটি আদর্শ গ্যাস দ্বারা পূর্ণ এবং গ্যাসের ঘনত্ব ρ । মনে করি গ্যাসের অণুর সংখ্যা n এবং প্রত্যেকটি অণুর ভর m । উক্ত অণুগুলোর মধ্য হতে একটি অণু বিবেচনা করি যার বেগ c_1 [চিত্র ১০.৭]। এই বেগকে OX , OY এবং OZ অক্ষ বরাবর যথাক্রমে u_1 , v_1 এবং w_1 উপাংশে বিভাজন করি। অতএব আমরা লিখতে পারি,

$$c_1^2 = u_1^2 + v_1^2 + w_1^2 \quad \dots \dots \quad (10.18)$$

মনে করি অণুটি OX বরাবর u_1 বেগে গিয়ে $ABCD$ তলকে আঘাত করল। অণুর ভর m হলে OX অক্ষ বরাবর তার ভরবেগ $= mu_1$ । দেয়ালটির সাথে অণুর স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ ঘটে। ফলে অণুটি একই বেগে পশ্চাত্দিকে প্রতিক্রিপ্ত (rebound) হয় বা ফেরত আসে। অতএব সংঘর্ষের পর এর তরবেগ $= -mu_1$

আবার ABCD তলে একবার ধাক্কা খাবার পর EFOH তলে আবার একবার ধাক্কা খাবে। OX অক্ষ বরাবর অগুটির বেগ u_1 , হওয়ায় ABCD তল হতে EFOH তলে আসতে এর সময় লাগে. $\frac{l}{u_1}$ অর্থাৎ $\frac{l}{u_1}$ সময় পর অগুটির বেগের u_1 উপাংশের দ্রুতি ভরবেগের পরিবর্তন $= 2mu_1$

$$\therefore \text{অগুটির বেগের } u_1 \text{ উপাংশের জন্য ভরবেগের পরিবর্তনের হার} = \frac{\text{ভরবেগের পরিবর্তন}}{\text{সময়}}$$

$$= \frac{2mu_1}{l/u_1} = \frac{2mu_1^2}{l}$$

অনুরূপভাবে গ্যাস অগুটির বেগের v_1 উপাংশের জন্য ভরবেগের পরিবর্তনের হার $= \frac{2mv_1^2}{l}$ এবং বেগের w_1 উপাংশের জন্য ভরবেগের পরিবর্তনের হার $= \frac{2mw_1^2}{l}$

\therefore এই অগুর মোট ভরবেগের পরিবর্তনের হার

$$= \frac{2mu_1^2}{l} + \frac{2mv_1^2}{l} + \frac{2mw_1^2}{l} = \frac{2m}{l} (u_1^2 + v_1^2 + w_1^2) = \frac{2mc_1^2}{l} \quad [\text{সমীকরণ } 10.18 \text{ ব্যবহার করে]$$

দ্বিতীয় অগুর বেগ c_2 হলে একইভাবে দেখানো যায় যে, তার মোট ভরবেগের পরিবর্তনের হার $= \frac{2mc_2^2}{l}$

$\therefore n$ -তম অগুর বেগ c_n হলে, এর মোট ভরবেগের পরিবর্তনের হার $= \frac{2mc_n^2}{l}$

\therefore পাত্রস্থিত n সংখ্যক অগুর মোট ভরবেগের পরিবর্তনের হার

$$= \frac{2m}{l} (c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_n^2) = \frac{2mn}{l} \left(\frac{c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_n^2}{n} \right)$$

$$= \frac{2mn}{l} c^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.19)$$

$$\left[\text{এখানে } c = \text{গড় বর্গবেগের বর্গমূল} = \sqrt{\frac{c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_n^2}{n}} \right]$$

কিন্তু নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী এই ভরবেগের পরিবর্তনের হার অগুলোর ওপর বিভিন্ন দেয়াল কর্তৃক প্রযুক্ত বলের সমান। এখন ঘনকটির দেয়ালের ওপর ধাক্কাজনিত চাপ P হলে ঘনকের ছয়টি দেয়ালের ওপর মোট বল

$$= \text{ফ্রেক্টল} \times \text{চাপ} = 6l^2 \times P \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.20)$$

\therefore সমীকরণ (10.19) এবং সমীকরণ (10.20) হতে পাই,

$$6l^2 \times P = \frac{2mc^2}{l}$$

$$\text{বা, } P = \frac{2mc^2}{6l^2 \times l} = \frac{mc^2}{3l^3} = \frac{1}{3} \frac{mc^2}{l^3} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.21)$$

$$\text{বা, } P = \frac{1}{3} \frac{mc^2}{V}$$

$$\text{বা, } PV = \frac{1}{3} mc^2 = \frac{1}{3} Mc^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.22)$$

$$\text{বা, } PV = \frac{1}{3} Mc^2 \quad [\because M = mn]$$

$$\therefore P = \frac{1}{3} \frac{M}{V} c^2 = \frac{1}{3} \rho c^2 \quad [\because \rho = \frac{M}{V}]$$

১০.১৩ গ্যাসের গতিতত্ত্বের প্রয়োগ

Applications of kinetic theory of gases

আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য বয়েলের সূত্র, চার্লস-এর সূত্র, রেনোর সূত্র, আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ ইত্যাদির প্রতিটি পরীক্ষালব্ধ সূত্র। গ্যাসের গতিতত্ত্বের বৈশিষ্ট্যসমূহের আলোচনায় এই সূত্রগুলো ব্যবহার করা হয় না; কিন্তু গতিতত্ত্বের স্বীকার্যগুলো ব্যবহার করে সম্পূর্ণ তাত্ত্বিকতাবে ওই সূত্রগুলো প্রতিষ্ঠা করা যায়। এখানেই গ্যাসের গতিতত্ত্বের সাৰ্থকতা। নিম্ন গ্যাসের গতিতত্ত্বের কয়েকটি প্রয়োগ আলোচনা করা হলো।

১। বয়েল-এর সূত্র (Boyle's law) :

গ্যাসের গতিতন্ত্রের সাহায্যে বয়েল-এর সূত্র প্রতিপাদন কৰা যায়। বয়েল-এর সূত্র অনুযায়ী সূৰ্যম তাপমাত্রায় একটি নির্দিষ্ট ভৱের গ্যাসের আয়তন এৰ চাপেৰ ব্যস্তানুপাতিক।

মনে কৰি T পৰম তাপমাত্রায় একটি নির্দিষ্ট ভৱেৰ গ্যাসেৰ আয়তন V এবং চাপ P

\therefore বয়েল-এর সূত্র হতে পাই,

$$P \propto \frac{1}{V}, \text{ বখন } T \text{ স্থিৰ থাকে}$$

$$\text{বা, } P = \text{ধূৰ সংখ্যা} \times \frac{1}{V}$$

$$\text{বা, } PV = \text{ধূৰ সংখ্যা}$$

পুনৰায় গতিতন্ত্র অনুসাৰে গ্যাসেৰ চাপ,

$$P = \frac{1}{3} \frac{mc^2}{V} \quad [\text{সমীকৰণ } 10.22 \text{ দ্রষ্টব্য}]$$

$$\text{বা, } PV = \frac{1}{3} mnc^2 = \frac{1}{3} M.c^2 = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} Mc^2 = \frac{2}{3} E \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.23)$$

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

এখনে, $E =$ গ্যাস অণুসমূহেৰ মোট গতিশক্তি। সূতৰাং গ্যাসেৰ চাপ একক আয়তনেৰ গতিশক্তিৰ দুই-ভৃতীয়াশ্চ।

অণুসমূহেৰ গতিশীলতাৰ দৰুন কোনো বস্তু তাপ প্ৰাপ্ত হয় অৰ্থাৎ তাপ গতিৱই একটি ভিন্ন রূপ। তাপমাত্রা স্থিৰ থাকলে নির্দিষ্ট ভৱেৰ গ্যাসেৰ তাপেৰ পৱিমাণ স্থিৰ থাকে। ফলে মোট গতিশক্তিৰ স্থিৰ থাকে। অতএব স্থিৰ তাপমাত্রায় মোট গতিশক্তি $K.E. = \frac{1}{2} mnc^2 =$ ধূৰ সংখ্যা।

MAT: 20-21

পুনঃ, তাপমাত্রা স্থিৰ থাকলে $PV =$ ধূৰক বা $V \propto \frac{1}{P}$ । অৰ্থাৎ তাপমাত্রা স্থিৰ থাকলে গ্যাসেৰ আয়তন এৰ চাপেৰ ব্যস্তানুপাতিক। এটিই হলো বয়েল-এৰ সূত্র। গ্যাসেৰ গতিতন্ত্র হতে এটি প্ৰমাণিত হলো।

২। চাৰ্লস-এৰ সূত্র (Charles's law) :

আদৰ্শ গ্যাসেৰ সমীকৰণ হতে পাই,

$$PV = RT \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (i)$$

আবাৰ, আদৰ্শ গ্যাসেৰ সমীকৰণ (10.23) হতে আমৱা জানি,

$$PV = \frac{1}{3} Nmc^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (ii)$$

এখনে $N =$ এক গ্ৰাম অণু গ্যাসেৰ অণুৰ সংখ্যা। একে অ্যাডোগ্যাড্রোৰ সংখ্যা বলে।

\therefore সমীকৰণ (i) ও (ii) হতে পাই,

$$\frac{1}{3} Nmc^2 = RT, \text{ বা, } Nmc^2 = 3RT$$

$$\text{বা, } \frac{1}{2} Nmc^2 = \frac{3}{2} RT$$

$$\therefore \text{গতিশক্তি, } E = \frac{1}{2} mc^2 = \frac{3}{2} \left(\frac{R}{N} \right) T = \frac{3}{2} KT$$

$$\text{বা, } mc^2 = 3KT$$

সমীকৰণ (ii)-এ মান বসিয়ে পাই,

$$PV = \frac{1}{3} N \times 3KT = NKT \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (iii)$$

এখন চাপ স্থিৰ থাকলে,

$$V \propto T \quad (\because N \text{ ও } K \text{ ধূৰক})$$

অৰ্থাৎ চাপ স্থিৰ থাকলে নির্দিষ্ট পৱিমাণ গ্যাসেৰ আয়তন এৰ পৰম তাপমাত্রার সমানুপাতিক। এটিই চাৰ্লস-এৰ সূত্র। অতএব গ্যাসেৰ গতিতন্ত্র হতে চাৰ্লস-এৰ সূত্র প্ৰমাণিত হলো।

৩। চাপের সূত্র (Law of pressure) :

আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ হতে আমরা পাই,

$$PV = RT$$

আমরা আরও জানি,

$$PV = \frac{1}{3} Nmc^2, \text{ এখানে } N = \text{এক গ্রাম-অণু গ্যাসের অণুর সংখ্যা যাকে অ্যাডোগ্যাড্রো সংখ্যা বলে।$$

$$N = 6.0222 \times 10^{26} \text{ অণু/কিলোমোল। } m = \text{একটি অণুর ভর} = \frac{M}{N}$$

$$\therefore \frac{1}{3} Nmc^2 = RT$$

$$\text{বা, } mc^2 = 3 \frac{R}{N} T = 3KT, \text{ এখানে } K = \text{বৌজম্যান ধ্রুবক} = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$

বর্ণনা অনুযায়ী $2 \text{ kg হাইট্রোজেনে, } 32 \text{ kg অক্সিজেনে, } 28 \text{ kg নাইট্রোজেনে, } 12 \text{ kg কার্বনে প্রত্যেক ক্ষেত্রে } 6.0222 \times 10^{26} \text{ অণু থাকবে।}$

$$\therefore PV = \frac{1}{3} Nmc^2 \text{ সমীকরণ হতে পাই}$$

$$PV = \frac{1}{3} N \times 3KT = NKT \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.24)$$

উপরের সমীকরণে N ও K ধ্রুব সংখ্যা। অতএব স্থির আয়তনে, $P \propto T$.

\therefore আয়তন স্থির থাকলে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

এটিই হলো চাপের সূত্র। অতএব গতিতত্ত্ব হতে চাপের সূত্র প্রমাণিত হলো।

নিজে কর : পরম শূন্য তাপমাত্রায় গ্যাস অণুর বেগ শূন্য। কারণ কী?

গ্যাস অণুগুলোর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বল না থাকায় এদের স্থিতিশক্তি শূন্য। আমরা জানি, একটি অণুর মোট শক্তি = এর গতিশক্তি = $\frac{3}{2} KT$ । পরম শূন্য তাপমাত্রায় অর্থাৎ $T = 0$ হলে গ্যাস অণুর মোট শক্তি শূন্য। সুতরাং অণুটির গতিশক্তি বা গতিবেগও শূন্য।

৪। আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ (Ideal gas equation) :

গ্যাসের গতিতত্ত্ব হতে আদর্শ গ্যাস সমীকরণ প্রতিপাদন করা যায়।

গ্যাসের গতিতত্ত্ব অনুযায়ী, কোনো গ্যাসের তাপশক্তি তার অণুগুলোর গতিশক্তির ফলশুভি। পরম শূন্য তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের অণুগুলোর তাপশক্তি শূন্য হয়। ফলে গ্যাসের অণুগুলোর গতিশক্তি এবং গড় বর্গবেগের বর্গমূল-এর মানও শূন্য হয়। কোনো গ্যাসে তাপ প্রয়োগ করলে, এটি গ্যাসের অণুসমূহের গতিশক্তি হিসেবে প্রকাশ পায়।

$$\therefore K.E. = \frac{1}{2} mnc^2 = \frac{1}{2} Mc^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.25)$$

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

আমরা পূর্বেই দেখেছি যে, কোনো গ্যাসের ক্ষেত্রে অণুর গড় গতিশক্তি পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

\therefore আমরা পাই,

$$\frac{1}{2} mnc^2 \propto T$$

$$\text{বা, } \frac{1}{2} Mc^2 \propto T$$

$$\text{বা, } \frac{1}{2} Mc^2 = KT$$

এখানে K = সমানুপাতিক ধ্রুবক।

কিন্তু গ্যাসের চাপের রাশিমালা হতে আমরা পাই,

$$P = \frac{1}{3} \frac{mnc^2}{V} = \frac{1}{3} \frac{Mc^2}{V}$$

$$\text{বা, } PV = \frac{1}{3} Mc^2 = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} Mc^2 = \frac{2}{3} KT$$

$$\text{বা, } PV = RT \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.26)$$

এখানে, $R = \frac{2}{3} K =$ একটি ধ্রুব সংখ্যা।

$\therefore PV = RT$ সমীকরণকে আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ বলে।

এখানে উল্লেখ থাকে যে, $V =$ এক গ্রাম অণু গ্যাসের আয়তন। যদি n গ্রাম অণু গ্যাস বিবেচনা করা হয়, তবে আদর্শ গ্যাস সমীকরণ হয় $PV = nRT$ । গ্যাসের গতিতত্ত্ব হতে এটি প্রমাণিত হলো।

বাস্তব গ্যাস আদর্শ গ্যাসের অবস্থার সমীকরণ, $PV = RT$ সর্বদা মেনে চলে না। শুধুমাত্র উচ্চ তাপমাত্রা এবং নিম্ন চাপে বাস্তব গ্যাস আদর্শ গ্যাস সমীকরণ অনুসরণ করে।

স্বাভাবিক তাপমাত্রা ও চাপে বাস্তব গ্যাস আদর্শ গ্যাস সমীকরণ অনুসরণ না করার মূল কারণ নিম্নরূপ :

গতিতত্ত্ব থেকে আদর্শ গ্যাস সমীকরণ প্রতিপাদন করার সময় গ্যাস অণুগুলিকে শুধুমাত্র বিন্দু ভর (point mass) ধরা হয়। অর্থাৎ অণুগুলোর আয়তন বিবেচনা করা হয়নি। এছাড়া গ্যাস অণুগুলোর মধ্যকার আকর্ষণ বল বিবেচনা করা হয়নি। বিখ্যাত ওলন্দাজ পদার্থবিদ ভ্যান ডার ওয়ালস (Van der Waals) গ্যাস অণুগুলোর সীমিত আকার এবং এদের মধ্যকার আন্তঃআণবিক বল বিবেচনা করে আদর্শ গ্যাস সমীকরণটি নিম্নরূপ সংশোধন করেন :

$$\left(P + \frac{n}{V^2} \right) (V - b) = RT \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.27)$$

এখানে n ও b রাশিদ্বয় যে কোনো নির্দিষ্ট গ্যাসের জন্য ধুব, তবে সব গ্যাসের জন্য একই মানের নয়।

নিজে কর : বাস্তব গ্যাসের জন্য ভ্যান ডার ওয়ালস-এর অবস্থার সমীকরণ গঠনে কোন দুটি বিষয় বিবেচনা করা হয়?

(i) বাস্তব গ্যাসের অণুগুলোর নির্দিষ্ট আকার আছে অর্থাৎ তাদের আয়তন নগণ্য নয়।

(ii) অণুগুলির মধ্যে আকর্ষণ বল সম্পূর্ণ উপেক্ষণীয় নয়। এই দুটি বিষয় গণ্য করা হয়।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : নিম্নচাপে বাস্তব গ্যাস আদর্শ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে কেন—ব্যাখ্যা কর।

কোনো একটি আবন্ধ পাত্রে নিম্নচাপে গ্যাস রাখার অর্থ হলো যে গ্যাস অণুর সংখ্যা খুব কম এবং গ্যাস অণুগুলোর মধ্যে আন্তঃআণবিক দূরত্ব অনেক বেশি থাকে। গ্যাস অণুর সংখ্যা কম হওয়ায় অণুগুলোর মোট আয়তন পাত্রের আয়তনের তুলনায় নগণ্য হয়। আবার আন্তঃআণবিক দূরত্ব বেশি হওয়ায় এদের মধ্যে আন্তঃআণবিক বল অত্যন্ত কম হয়। ফলে নিম্নচাপে বাস্তব গ্যাস আদর্শ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে।

যাচাই কর : স্বাভাবিক তাপমাত্রা ও চাপে বাস্তব গ্যাস আদর্শ গ্যাস সমীকরণ অনুসরণ করে না কেন?

১০.১৪ গতিসূত্র প্রয়োগ করে পারস্পরিক সম্পর্ক প্রতিপাদন Derivation of mutual relations applying kinetic theory

(i) চাপ ও আয়তনের সাথে ঘনত্বের সম্পর্ক

আদর্শ গ্যাসের গতীয় সমীকরণ থেকে জানি $PV = \frac{1}{3} mnc^2$ বা, $PV = \frac{1}{3} Mc^2$

বা, $P = \frac{1}{3} \frac{M}{V} c^2 = \frac{1}{3} \rho c^2$ [∴ ঘনত্ব, $\rho = \frac{M}{V}$]

$$\text{বা, } c = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

(ii) গ্যাসের চাপ একক আয়তনের গতিশক্তির দুই তৃতীয়াণ্শ

যেহেতু $PV = \frac{1}{3} Mc^2$

$$\text{বা, } P = \frac{1}{3} \frac{M}{V} c^2 = \frac{2}{3} \times \frac{\frac{1}{2} Mc^2}{V} = \frac{2}{3} \times \frac{E}{V}$$

$$\therefore \text{চাপ} = \frac{2}{3} \times \frac{\text{গতিশক্তি}}{\text{আয়তন}}$$

অর্থাৎ একক আয়তনের গতিশক্তি চাপের $\frac{2}{3}$ অংশ।

... ... (10.28)

$$(iii) E = \frac{3}{2} RT$$

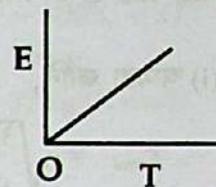
যেহেতু $PV = \frac{1}{3} Mc^2$ আবার এক মোল গ্যাসের জন্য আদর্শ গ্যাস সূত্র $PV = RT$,

$$\therefore \frac{1}{3} Mc^2 = RT$$

$$\text{বা, } \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} Mc^2 = RT$$

$$\text{বা, } \frac{1}{2} Mc^2 = \frac{3}{2} RT$$

$$\text{বা, } E = \frac{3}{2} RT, \text{ লেখিত্রি (ক) এ } E \text{ ও } T \text{ এর পরিবর্তন দেখানো হলো।}$$



লেখিত্রি (ক)

$$\therefore 1 \text{ গ্রাম অণু গ্যাসের গতিশক্তি} = \frac{3}{2} RT. \quad \dots \quad \dots \quad (10.29)$$

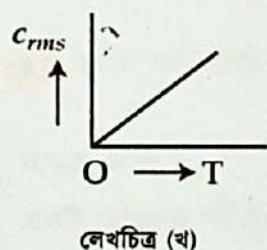
অর্থাৎ, $E \propto T$ । তাই $T = 0$ হলে $E = 0$ হয়। এ থেকে পরম শূন্য তাপমাত্রার সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

যে তাপমাত্রায় গ্যাসের শক্তি শূন্য হয়, অর্থাৎ অণুগুলি গতিহীন হয় তাকে পরম শূন্য তাপমাত্রা বলা হয়।

(iv) মূল গড় বর্গবেগ পরম তাপমাত্রার বর্গমূলের সমানুপাতিক

$$\text{আমরা জানি } PV = \frac{1}{3} Mc^2$$

আবার আদর্শ গ্যাস সূত্র থেকে 1 মোল গ্যাসের জন্য $PV = RT$



লেখিত্রি (খ)

$$\therefore \frac{1}{3} Mc^2 = RT \text{ বা, } c^2 = 3 \frac{R}{M} T$$

$$\text{বা, } \sqrt{c^2} = c_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

$$\text{এখানে } \frac{R}{M} = \text{ধ্রবক}$$

$$\therefore c^2 = \text{ধ্রবক} \times T$$

$$\sqrt{c^2} = \text{ধ্রবক} \sqrt{T} \text{ বা } c_{rms} \propto \sqrt{T} \quad \dots \quad \dots \quad (10.30)$$

লেখিত্রি (খ) এ c_{rms} এবং T এর পরিবর্তন দেখানো হলো।

\therefore মূল গড় বর্গবেগ পরম তাপমাত্রার বর্গমূলের সমানুপাতিক।

$$(v) E' = \frac{3}{2} KT$$

এখানে একটি অণুর গতিশক্তি = E'

$$\text{আমরা জানি, } \frac{1}{2} Mc^2 = \frac{3}{2} RT \quad \therefore \frac{1}{2} \frac{M}{N} c^2 = \frac{3}{2} \frac{R}{N} T$$

N = অ্যাডোগ্যাড্রো সংখ্যা = এক গ্রাম অণু গ্যাসে অণুর সংখ্যা বুঝায়।

$$\frac{1}{2} mc^2 = \frac{3}{2} KT$$

আবার $E' = \frac{3}{2} KT$. এখানে E' একটি অণুর গতিশক্তি

$$\therefore \text{একটি অণুর গতিশক্তি} = \frac{3}{2} \times \text{বোল্জম্যান ধ্রবক} \times \text{পরম তাপমাত্রা} \quad \dots \quad (10.31)$$

$$K = \text{বোল্জম্যান ধ্রবক} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$$

আবার // সংখ্যক অণুর গড় গতিশক্তি, $E = \frac{3}{2} nKT$ ।

MAT: 18-19

সূতরাং কোনো নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের ক্ষেত্রে একটি অণুর গতিশক্তি পরম **তাপমাত্রার** সমানুপাতিক অর্থাৎ গ্যাসের সূচিম তাপমাত্রার মূল কারণ এর অণুগুলোর মধ্যে গতিশক্তির সূচিম বণ্টন। গড় গতিশক্তি বৃদ্ধি পেলে তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে। আবার গড় গতিশক্তি হ্রাস পেলে তাপমাত্রা হ্রাস পাবে। অতএব **পরম শূন্য তাপমাত্রায়** অণুর গতিশক্তি শূন্য হবে। এটিই হলো গতিতত্ত্ব অনুযায়ী তাপমাত্রার ব্যাখ্যা।

MAT: 17-18

গাণিতিক উদাহরণ ১০.৩

১। স্বাভাবিক তাপমাত্রা ও চাপে নাইট্রোজেনের ঘনত্ব 1.25 kgm^{-3} ।

(i) অণুগুলোর গড় বর্গবেগের বর্গমূল বের কর।

[ঢ. বো. ২০১১, ২০০৮; চ. বো. ২০০৩]

(ii) 100°C তাপমাত্রায় নাইট্রোজেন অণুর গড় বর্গবেগের বর্গমূল নির্ণয় কর।

[সি. বো. ২০০৮; য. বো. ২০০৭; ঢ. বো. ২০০২]

(i) আমরা জানি,

$$\begin{aligned} c_{rms} &= \sqrt{\frac{3P}{\rho}} \\ &= \sqrt{\frac{3 \times 1.013 \times 10^5}{1.25}} \\ &= 493.07 \text{ ms}^{-1} \end{aligned}$$

এখানে,

স্বাভাবিক চাপ, $P = 1.013 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$

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

ঘনত্ব, $\rho = 1.25 \text{ kgm}^{-3}$

(i) স্বাভাবিক তাপমাত্রায়, $c_{rms} = ?$

(ii) তাপমাত্রা, $T_1 = 100^{\circ}\text{C} = (100 + 273) \text{ K} = 373\text{K}$

$c_{1 rms} = ?$

(ii) আবার, $c_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$

এবং $c_{1 rms} = \sqrt{\frac{3RT_1}{M}} \quad \therefore \quad \frac{c_{1 rms}}{c_{rms}} = \sqrt{\frac{T_1}{T}}$

$$\begin{aligned} \therefore c_{1 rms} &= c_{rms} \sqrt{\frac{T_1}{T}} \\ &= 493.07 \times \sqrt{\frac{373}{273}} \\ &= 576.34 \text{ ms}^{-1} \end{aligned}$$

উ. (i) 493.07 ms^{-1} (ii) 576.34 ms^{-1}

২। স্থির চাপে কোন তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের অণুর মূল গড় বর্গবেগ প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রার মূল গড় বর্গবেগের অর্ধেক হবে?

[সি. বো. ২০১১; য. বো. ২০০৩]

আমরা জানি,

$$c = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

$$\therefore c_{1 rms} = \sqrt{\frac{3RT_1}{M}}$$

$$\text{এবং } c_{2 rms} = \sqrt{\frac{3RT_2}{M}}$$

$$\text{অতএব, } \frac{c_{2 rms}}{c_{1 rms}} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{2} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

$$\text{বা, } \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

$$\therefore T_2 = \frac{1}{4} \times T_1 = \frac{1}{4} \times 273$$

$$= 68.25, \text{K}$$

এখানে,

$$c_{2 rms} = \frac{1}{2} c_{1 rms}$$

প্রমাণ তাপমাত্রা, $T_1 = 273 \text{ K}$

নির্ণয় তাপমাত্রা, $T_2 = ?$

৩। কত ডিপ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রায় অক্সিজেন অণুর মূল গড় বর্গবেগ -100°C তাপমাত্রায় হাইট্রোজেন অণুর মূল গড় বর্গবেগের সমান হবে ?

[BUET Admission Test, 2017-18]

আমরা জানি,

$$c_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

প্রশ্নানুসারে,

$$\sqrt{\frac{3RT_{O_2}}{M_{O_2}}} = \sqrt{\frac{3R_{H_2}T_{H_2}}{M_{H_2}}}$$

$$\therefore T_{O_2} = \frac{T_{H_2}M_{O_2}}{M_{H_2}} = \frac{173 \times 32}{2} = 2768 \text{ K}$$

৪। 29°C তাপমাত্রায় 3g নাইট্রোজেন গ্যাসের মোট গতিশক্তি নির্ণয় কর। [নাইট্রোজেনের গ্রাম আণবিক ভর 28 g] [কু. বো. ২০০৩]

আমরা জানি, n মোল গ্যাসের গতিশক্তি,

$$K.E. = \frac{3}{2}nRT = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$$

$$\therefore K.E. = \frac{3}{2} \times \frac{3}{28} \times 8.31 \times 302 = 403 \text{ J}$$

এখানে, $m = 3\text{ g}$

$$M = 28\text{ g}$$

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

$$T = (273 + 29) \text{ K} = 302 \text{ K}$$

$$K.E. = ?$$

৫। 27°C তাপমাত্রায় প্রতি গ্রাম অণু হিলিয়াম গ্যাসের গতিশক্তি নির্ণয় কর। [$R = 8.3 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$]

[ব. বো. ২০১১; কু. বো. ২০১০; চ. বো. ২০০৭; ঢ. বো. ২০০৩]

আমরা জানি,

$$\begin{aligned} \text{একটি পরমাণুর গতিশক্তি, } K.E. &= \frac{3}{2} RT \\ &= \frac{3}{2} \times 8.3 \times 300 \\ &= 3735 \text{ J mol}^{-1} \end{aligned}$$

এখানে,

$$R = 8.3 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$T = (273 + 27) \text{ K} = 300 \text{ K}$$

$$K.E. = ?$$

৬। 27°C তাপমাত্রায় দুটি হিলিয়াম পরমাণুর গতিশক্তি বের কর। [$K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$]

আমরা জানি,

$$\text{একটি পরমাণুর গতিশক্তি, } K.E. = \frac{3}{2} KT$$

$$\begin{aligned} \text{দুটি পরমাণুর গতিশক্তি, } K.E. &= 2 \times \frac{3}{2} KT \\ &= 2 \times \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300 \\ &= 12.42 \times 10^{-21} \text{ J} \\ &= 1.242 \times 10^{-20} \text{ J} \end{aligned}$$

এখানে,

$$T = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$$

বোল্টজম্যান শ্রবক,

$$K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$$

৭। 27°C তাপমাত্রার গ্যাসকে কত তাপমাত্রায় নেওয়া হলে গড় বেগ দ্বিগুণ হবে ?

আমরা জানি,

$$\frac{c_2}{c_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} = \sqrt{\frac{T_2}{300}}$$

$$\text{বা, } \frac{2c_1}{c_1} = \sqrt{\frac{T_2}{300}}$$

$$\text{বা, } 2 = \sqrt{\frac{T_2}{300}}$$

$$\text{বা, } 4 = \frac{T_2}{300}$$

$$\therefore T_2 = 4 \times 300 = 1200 \text{ K}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} T_1 &= 27^{\circ}\text{C} = 27 + 273 \\ &= 300 \text{ K} \end{aligned}$$

প্রাথমিক গড় বেগ = c_1

চূড়ান্ত গড় বেগ, $c_2 = 2c_1$

৮। কোন তাপমাত্রায় একটি গ্যাস অণুর গড় রৈখিক গতিশক্তি, একটি ইলেক্ট্রন ৮ V বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে
গেলে যে গতিশক্তি অর্জন করে তার সমান হয়? [K = 1.38 × 10⁻²³ JK⁻¹, 1 eV = 1.6 × 10⁻¹⁹ J]

একটি ইলেক্ট্রন ৮ V বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে গেলে তার

$$\text{গতিশক্তি}, E_e = 8 \text{ eV} = 8 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 12.8 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{আবার, গ্যাসের এক অণুর গতিশক্তি}, E_a = \frac{3}{2} KT = \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} T \text{ J}$$

প্রশ্নানুসারে,

$$\frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times T = 12.8 \times 10^{-19}$$

$$\text{বা, } T = \frac{12.8 \times 2 \times 10^{-19}}{3 \times 1.38 \times 10^{-23}} \\ = 61.83 \times 10^3 \text{ K}$$

৯। 30° C তাপমাত্রায় একটি অক্সিজেন অণুর রৈখিক গতিশক্তি এবং ওই একই তাপমাত্রায় একটি অক্সিজেন
অণুর মোট গতিশক্তি নির্ণয় কর। এক মোল অক্সিজেনের মোট গতিশক্তি কত?

$$[N_A = 6.023 \times 10^{23} \text{ এবং } K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}]$$

একটি অক্সিজেন অণুর রৈখিক গতিশক্তি,

$$E = \frac{3}{2} KT \\ = \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 303 \text{ J}$$

$$\text{বা, } E = 6.27 \times 10^{-21} \text{ J}$$

ওই তাপমাত্রায় অক্সিজেন অণুর মোট গতিশক্তি,

$$E' = \frac{5}{2} KT \quad (\because O_2 \text{ দ্বিপারমাণবিক গ্যাস}) \\ = \frac{5}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 303 \\ = 10.45 \times 10^{-21} \text{ J}$$

এক মোল অক্সিজেনের মোট গতিশক্তি,

$$E'' = N_A E' = 6.023 \times 10^{23} \times 10.45 \times 10^{-21} \\ = 6294 \text{ J mole}^{-1}$$

১০। একটি গ্রহের তাপমাত্রা 527° C এবং ঘনত্ব $5.5 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$ । যদি ওই গ্রহ তার বায়ুমণ্ডলে অক্সিজেন
গ্যাস ধরে রাখতে সক্ষম হয় তাহলে এর ন্যূনতম ব্যাসার্ধ কত হবে? [দেওয়া আছে, G = $6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$,
গ্যাস প্রুক্ষ R = $8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$]

M ভরের এবং r ব্যাসার্ধের কোনো গ্রহের পৃষ্ঠে বস্তুর মুক্তিবেগ,

$$v_c = \sqrt{\frac{2GM}{r}} = \sqrt{\frac{2G}{r}} \sqrt{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho} \quad [\because \rho = \text{ঘনত্ব}]$$

$$\therefore v_c = 2 \sqrt{\frac{2}{3} G \pi r^2 \rho} \quad \dots \dots \quad (i)$$

এখন কোনো গ্যাসের rms বেগের রাশিমালা,

$$c = \sqrt{\frac{3RT}{M_1}} \quad \dots \dots \quad (ii) \quad [\text{এখনে, } M_1 = \text{অক্সিজেন গ্যাসের আণবিক}$$

এখনে,

$$T = 527^\circ C = 527 + 273$$

$$= 800 \text{ K}$$

$$\text{ঘনত্ব, } \rho = 5.5 \times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$$

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$$

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

$$\text{তর} = 32 \times 10^{-3} \text{ kg এবং}$$

$$T = \text{গ্যাসের পরম তাপমাত্রা}]$$

প্রশ্নানুসারে,

$$v_c = c$$

$$\therefore 2 \sqrt{\frac{2}{3} G\pi r^2 \rho} = \sqrt{\frac{3RT}{M_1}}$$

$$\therefore r^2 = \frac{9RT}{8G\pi\rho M_1}$$

$$\text{বা, } r = \sqrt{\frac{9RT}{8G\pi\rho M_1}}$$

$$\therefore r = \sqrt{\frac{9 \times 8.31 \times 800}{8 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 3.14 \times 5.5 \times 10^3 \times 32 \times 10^{-3}}} \text{ m}$$

$$= 4.51 \times 10^5 \text{ m} = 450 \text{ km}$$

১১। 2 cm³ আয়তনের দুটি অভিন্ন পাত্র A ও B। A পাত্রে O₂ এবং B পাত্রে N₂ নিয়ে A পাত্রে 3 × 10⁵ Nm⁻² এবং B পাত্রে 3.66 × 10⁵ Nm⁻² চাপ পাওয়া গেল। A ও B পাত্রের গতিশক্তি কত? A ও B পাত্র এর মধ্যে কোনটি বেশি গরম হবে?

আমরা জানি,

$$E = \frac{3}{2} nRT$$

$$\text{এবং } PV = nRT$$

$$\therefore E_1 = \frac{3}{2} \times PV = \frac{3}{2} \times 3 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-6} = 0.9 \text{ J}$$

$$\text{এবং } E_2 = \frac{3}{2} P_2 V = \frac{3}{2} \times 3.66 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-6} = 1.098 \text{ J}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\frac{3}{2} KT_1}{\frac{3}{2} KT_2}$$

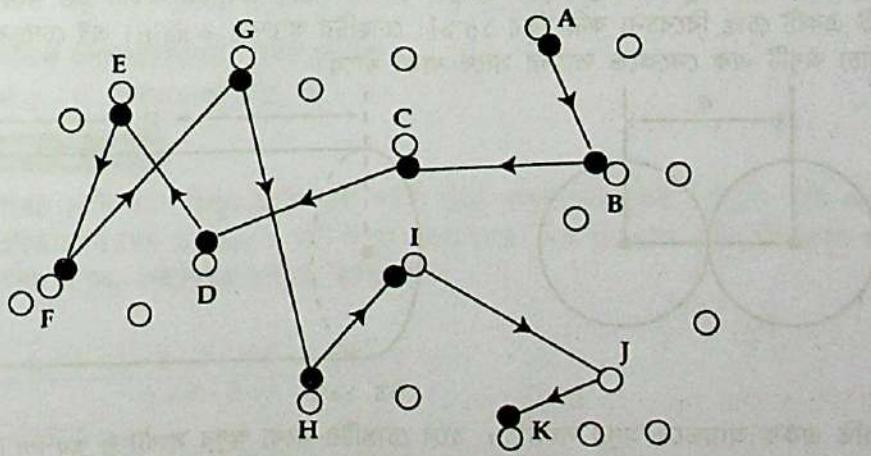
$$\therefore T_2 = \frac{E_1}{E_2} \times T_1 = \frac{1.098}{0.9} \times T_1 = 1.22 T_1$$

$$\therefore B \text{ পাত্র বেশি গরম হবে।}$$

১০.১৫ গড় মুক্ত পথ

Mean free path

গ্যাসের গতিতত্ত্ব হতে আমরা জানি যে, গ্যাসের অণুগুলো অবিরত বিস্তৃত গতিতে চারদিকে ছুটাছুটি করছে এবং পরস্পরের সাথে ও আধারে দেয়ালের সাথে ধাক্কা খাচ্ছে। অণুগুলোর পরস্পরের মধ্যে কোনো আকর্ষণ বল নেই।



চিত্র ১০৮

তাই তাদের বেগ অপরিবর্তিত থাকে। পর পর দুটি ধাক্কার ভিতর অণুগুলো সরলরেখায় যতটুকু পথ গমন করে তাকে মুক্ত পথ (free path) বলে। আর কোনো অণুর পরপর দুটি সংঘর্ষের মধ্যবর্তী দূরত্বগুলোর গড় নিলে যে দূরত্ব পাওয়া যায়

তাকে মূল গড় বর্গবেগ বলে। চিত্রে A একটি অণু। এটি অপর একটি অণু B-কে ধাক্কা দিয়ে BC পথে চলে গেল এবং C স্থানে গিয়ে অপর একটি অণুর সাথে ধাক্কা খেল। অণুটি যদি D স্থানে গিয়ে অপর একটি অণুর সাথে, E স্থানে গিয়ে আর একটি অণুর সাথে ধাক্কা খায় ইত্যাদি। [চিত্র ১০.৮] তাহলে BC, CD, DE হলো এক একটি মুক্ত পথ। এই মুক্ত পথের দৈর্ঘ্য সব সময় সমান হয় না। সেজন্য গড় মুক্ত পথ নেয়া হয়। পর পর ধাক্কাগুলোর ভিতর একটি অণু যে গড় দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে গড় মুক্ত পথ বলে।

$$\text{ধরি, } A \text{ হতে } B\text{-এর দূরত্ব} = S_1$$

$$B \text{ হতে } C\text{-এর দূরত্ব} = S_2$$

$$C \text{ হতে } D\text{-এর দূরত্ব} = S_3$$

যদি মোট S দূরত্ব অতিক্রান্তে N সংখ্যক ধাক্কা সংঘটিত হয়, তবে ওই গ্যাস অণুর গড় মুক্ত পথ,

$$\lambda = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n}{N} = \frac{S}{N} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.32)$$

$$= \frac{\text{মোট অতিক্রান্ত পথ}}{\text{ধাক্কার সংখ্যা}}$$

বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস (Clausius) গড় মুক্ত পথের গাণিতিক রাশিমালা বের করেন। উক্ত রাশিমালা নির্ণয় করতে গিয়ে তিনি এই স্বীকার্য গ্রহণ করেন যে, একটি মাত্র অণু ছুটছে এবং বাকি অণুসমূহ স্থিরাবস্থায় আছে।

জানার বিষয় : **ব্রাউনীয় গতিসূত্রের আবিষ্কারক আইনস্টাইন।**

১০.১৬ অণুর ব্যাস এবং গড় মুক্ত পথের মধ্যে সম্পর্ক

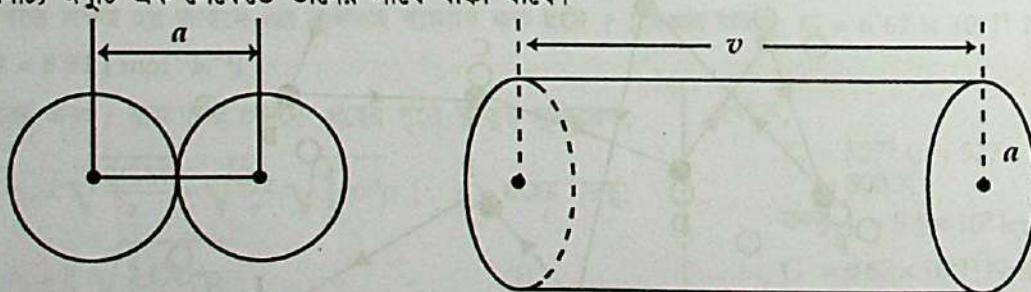
Relation between the diameter of a molecule and mean free path

গ্যাসের গতিতন্ত্র হতে আমরা জানি যে, গ্যাসের অণুগুলো সর্বদা পরস্পরের সাথে এবং আধারের দেয়ালের সাথে ধাক্কা খায়। অণুগুলোর পরস্পরের মধ্যে আকর্ষণ বল না থাকায়, তাদের বেগের কোনো পরিবর্তন ঘটে না। সংঘর্ষের পরে অণুগুলো সমবেগে সরলরেখায় গমন করে। পর পর ধাক্কাগুলোর ভিতর অণু যে গড় দূরত্ব অতিক্রম করে, তাকে গড় মুক্ত পথ বলে। যদি কোনো গ্যাস অণু N সংখ্যক ধাক্কার পর S দূরত্ব অতিক্রম করে, তবে তার গড় মুক্ত পথ

$$\lambda = \frac{\text{মোট দূরত্ব}}{\text{মোট ধাক্কার সংখ্যা}} = \frac{S}{N}$$

গ্যাস অণুর সংখ্যা এবং অণুগুলোর ব্যাসের সাপেক্ষে গড় মুক্ত পথের রাশিমালা বের করা যায়। **বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস** গড় মুক্ত পথের গাণিতিক রাশিমালা প্রতিপাদন করেন। এই রাশিমালা প্রতিপাদন করতে গিয়ে তিনি একটি মাত্র অণুর গতি বিবেচনা করেন এবং অন্য অণুগুলোকে স্থির মনে করেন।

মনে করি প্রতি একক আয়তনে „সংখ্যক অণু আছে এবং প্রতিটি অণুর ব্যাস a । আরও মনে করি একটি অণু v বেগে ছুটছে। আলোচ্য অণুটির কেন্দ্রবিন্দুকে কেন্দ্র করে ‘ π ’ ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্ত অংকন করি। এই বৃত্তের ওপর v দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি চোঙ বিবেচনা করি [চিত্র ১০.৯]। চোঙটির আয়তন = $\pi a^2 v$ । এই চোঙের মধ্যে যে সব অণুর কেন্দ্র থাকবে আলোচ্য অণুটি এক সেকেন্ডে তাদের সাথে ধাক্কা খাবে।



চিত্র ১০.৯

∴ প্রতি একক আয়তনে অণুর সংখ্যা „ হলে চোঙটির মধ্যে অণুর সংখ্যা = $\pi a^2 v N$ । আলোচ্য অণুটি যদি প্রতি সেকেন্ডে N সংখ্যক অণুর সাথে ধাক্কা খায়, তবে আমরা বলতে পারি প্রতি সেকেন্ডে অণুর ধাক্কার সংখ্যা = N

$$\therefore \text{দুটি ধাক্কার মধ্যে সময়} = \frac{1}{\pi a^2 v N} \text{ সেকেন্ড}$$

$$\begin{aligned} \text{সূতরাং দুটি ধাকার মধ্যবর্তী গড় দূরত্ব } &= \frac{1}{\pi a^2 n l} \times v \\ &= \frac{1}{\pi a^2 n} \\ \therefore \text{গড় মুক্ত পথ, } \lambda &= \frac{1}{\pi a^2 n} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.33) \end{aligned}$$

বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস এই রাশিমালাটি প্রতিষ্ঠা করেন। উক্ত রাশিমালা হতে জানা যায় যে, গড় মুক্ত পথ একক আয়তনে অণুর সংখ্যার ব্যস্তানুপাতিক এবং আণবিক ব্যাসের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

সমীকরণ (10.33)-এর ডানপক্ষের হর ও লবকে m দ্বারা গুণ করে পাই,

$$\lambda = \frac{m}{\pi a^2 n l} = \frac{m}{\pi a^2 p} [\because m n = \text{একক আয়তনের গ্যাস অণুগুলোর ভর} = \text{গ্যাসের ঘনত্ব} = p]$$

m , π ও a ধৰ্ব,

$$\therefore \lambda \propto \frac{1}{p}$$

অর্থাৎ, গড় মুক্ত পথ গ্যাসের ঘনত্বের ব্যস্তানুপাতিক।

পুনঃ গ্যাসের ঘনত্ব ' p ' গ্যাসের চাপের সমানুপাতিক এবং তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক। যেহেতু $\lambda \propto \frac{1}{p}$, অতএব গড় মুক্ত পথ গ্যাসের চাপের ব্যস্তানুপাতিক এবং তাপমাত্রার সমানুপাতিক। অর্থাৎ $\lambda \propto \frac{1}{p}$ এবং $\lambda \propto T$.

বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস গড় মুক্ত পথের রাশিমালা প্রতিষ্ঠা করতে স্বীকার্য গ্রহণ করেন যে একটি মাত্র অণু গতিশীল এবং অন্য অণুগুলো স্থির। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে সকল অণুই গতিশীল। ম্যাজ্ঞওয়েল তার বেগ বর্ণন সূত্র অবলম্বনে গড় মুক্ত পথের নিম্নোক্ত রাশিমালা নির্ণয় করেন,

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi a^2 n l} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.34)$$

গড় মুক্ত পথ নির্ণয়ের ক্ষেত্রে সাধারণত সমীকরণ (10.34) ব্যবহার করা হয়।

১০.১৭ গড় মুক্ত পথের নির্ভরশীলতা

Dependence of mean free path

গড় মুক্ত পথের সমীকরণ, $\lambda = \frac{1}{\pi a^2 n l}$ হতে দেখা যাচ্ছে—

(i) $\lambda \propto \frac{1}{n}$ । অর্থাৎ গড় মুক্ত পথ একক আয়তনে অণুর সংখ্যার ব্যস্তানুপাতিক।

(ii) $\lambda \propto \frac{1}{l^2}$ । অর্থাৎ গড় মুক্ত পথ অণুর ব্যাসের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। গ্যাস অণুগুলির ব্যাস যত ছোট হবে, গড় মুক্ত পথ তত বেশি হবে। আবার, গ্যাসের ঘনত্ব p একক আয়তনে অণুর সংখ্যা n -এর সমানুপাতিক। কিন্তু গ্যাসের ঘনত্ব গ্যাসের চাপের সমানুপাতিক এবং তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক। যেহেতু মুক্ত গড় পথ, $\lambda \propto \frac{1}{l^2}$, অতএব মুক্ত গড় পথ গ্যাসের চাপের ব্যস্তানুপাতিক এবং তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

(iii) শূন্য মাধ্যমে $p = 0$ । অতএব গড় মুক্ত পথ = ∞ ।

গাণিতিক উদাহরণ ১০.৪

১। কোনো আধারের 20টি গ্যাস অণুর মধ্যে 6টি গ্যাস অণুর প্রত্যেকের বেগ 4 ms^{-1} , 4টি অণুর প্রত্যেকের বেগ 3 ms^{-1} , 3টি অণুর প্রত্যেকের বেগ 2.5 ms^{-1} , 5টি অণুর প্রত্যেকের বেগ 2 ms^{-1} এবং 2টি অণুর প্রত্যেকের বেগ 1 ms^{-1} । অণুগুলোর গড়বেগ ও গড় বর্গবেগের বর্গমূল নির্ণয় কর।

প্রশ্নানুযায়ী,

$$\text{গড় বেগ, } \langle v \rangle = \frac{6 \times 4 + 4 \times 3 + 3 \times 2.5 + 5 \times 2 + 2 \times 1}{6 + 4 + 3 + 5 + 2} \\ = 2.775 \text{ ms}^{-1}$$

$$\text{ও গড় বর্গবেগের বর্গমূল, } c = \sqrt{\frac{6 \times 4^2 + 4 \times 3^2 + 3 \times 2.5^2 + 5 \times 2^2 + 2 \times 1^2}{6 + 4 + 3 + 5 + 2}} \\ = 2.939 \text{ ms}^{-1}$$

২। কোনো একটি গ্যাসের অণুগুলোর গড় মূল্য পথ $6 \times 10^{-8} \text{ m}$ ও অণুর ব্যাস $2.5 \times 10^{-10} \text{ m}$ । প্রতি ঘনমিটারে অণুর সংখ্যা নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi a^2 n}$$

$$\text{বা, } n = \frac{1}{\sqrt{2} \pi a^2 \lambda}$$

$$\begin{aligned} \therefore n &= \frac{1}{\sqrt{2} \times 3.14 \times (2.5 \times 10^{-10})^2 \times 6 \times 10^{-8}} \\ &= \frac{1000 \times 10^{25}}{\sqrt{2} \times 3.14 \times 2.5 \times 2.5 \times 6} \\ &= 6 \times 10^{25} \text{ m}^{-3} \end{aligned}$$

৩। প্রতি cm^3 এ অণুর সংখ্যা 1.5×10^{19} টি এবং অণুর পারমাণবিক ব্যাসার্ধ $= 2 \times 10^{-8} \text{ m}$ হলে, গড় মূল্য পথ নির্ণয় কর।

এখানে, অণুর গড় মূল্য পথ, $\lambda = 6 \times 10^{-8} \text{ m}$

অণুর ব্যাস, $a = 2.5 \times 10^{-10} \text{ m}$

একক আয়তনে অণুর সংখ্যা, $n = ?$

আমরা জানি,

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi a^2 n}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2} \pi \times (4 \times 10^{-8})^2 \times 1.5 \times 10^{25}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2} \times 3.14 \times 16 \times 10^{-16} \times 1.5 \times 10^{25}}$$

$$= 9.38 \times 10^{-12} \text{ m}$$

৪। যদি অক্সিজেন গ্যাসের STP-তে গড় মূল্য পথ $9.5 \times 10^{-8} \text{ m}$ হয়, তবে একটি অণুর পরপর দুটি ধাক্কা খাওয়ার মধ্যে সময়ের অবকাশ কত হবে? [অক্সিজেনের আণবিক ভর, $M = 32 \text{ kgKmol}^{-1}$, $R = 8314 \text{ JKmol}^{-1}\text{K}^{-1}$]

ধরা যাক, পরপর দুটি সংঘর্ষের অন্তর্ভুক্ত সময় = t

$$\therefore t = \frac{\text{গড় দূরত্ব}}{\text{গড় বর্গবেগের বর্গমূল}} = \frac{9.5 \times 10^{-8}}{c}$$

$$\text{এবং } c = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3 \times 8314 \times 273}{32}}$$

$$= 461 \text{ ms}^{-1}$$

$$\therefore t = \frac{9.5 \times 10^{-8}}{461} = 2 \times 10^{-10} \text{ s}$$

এখানে,

$$n = 1.5 \times 10^{19} / \text{cm}^3 = 1.5 \times 10^{25} / \text{m}^3$$

$$r = 2 \times 10^{-8} \text{ m}$$

$$a = 2r = 2 \times 2 \times 10^{-8} \text{ m} = 4 \times 10^{-8} \text{ m}$$

$$\lambda = ?$$

এখানে,

$$T = 273 \text{ K}$$

$$\lambda = 9.5 \times 10^{-8} \text{ m}$$

$$M = 32 \text{ kgKmol}^{-1}$$

$$R = 8314 \text{ JKmol}^{-1}\text{K}^{-1}$$

১০-১৮ শক্তির সমবিভাজন নীতি

Law of equipartition of energy

শক্তির সমবিভাজন নীতি আলোচনার পূর্বে স্বাধীনতার মাত্রা কী জানা দরকার।

১০-১৮-১ স্বাধীনতার মাত্রা

Degrees of freedom

কোনো বস্তুর বা সিস্টেমের গতির যে কোনো মুহূর্তের অবস্থান নির্দেশ করতে কমপক্ষে যতগুলি নিরপেক্ষ স্থানাঙ্কের প্রয়োজন হয় সেই সংখ্যাকে উই বস্তু বা সিস্টেমের স্বাধীনতার মাত্রা বলে।

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

উদাহরণ : অভিকর্ষের প্রভাবে কোনো পতনশীল বস্তুর প্রারম্ভিক বিন্দুকে যদি মূল বিন্দু এবং নিম্ন অভিমুখকে Z-অক্ষ ধরা হয়, তবে কণাটির যে কোনো মুহূর্তের অবস্থান নির্দেশ করার জন্য শুধুমাত্র Z-স্থানাঙ্কটি উল্লেখ করলেই হয়। সূতরাং, কণাটির স্বাধীনতার মাত্রা 1। সোজা রাস্তা বরাবর গতিশীল একটি গাড়ির স্বাধীনতার মাত্রা 1।

আবার ভৃপৃষ্ঠের কোনো বিন্দু থেকে প্রক্ষিপ্ত একটি কণা বা প্রাসের গতি একটি সমতলের ওপর সীমাবদ্ধ থাকে। প্রাসটির প্রক্ষেপ বিন্দুকে মূল বিন্দু এবং অনুভূমিক দিককে X-অক্ষ বরাবর এবং উল্লম্ব দিককে Z-অক্ষ বরাবর ধরা হলে কণা বা প্রাসটির যে কোনো মুহূর্তের অবস্থান নির্দেশ করতে শুধুমাত্র X ও Z স্থানাঙ্ক দুটি উল্লেখ করতে হয়। তাই, এক্ষেত্রে স্বাধীনতার মাত্রা 2।

গতিতত্ত্বের স্বীকার্য অনুসারে প্রতিটি অণুই বিন্দু ভর এবং সম্পূর্ণ এলোমেলোভাবে গতিশীল। এ ধরনের গতির জন্য অণুর যে কোনো সময়ের অবস্থান নির্দেশ করার জন্য তিনটি স্থানাঙ্কের প্রয়োজন হয়। সূতরাং, আদর্শ গ্যাসের প্রতিটি অণুর স্বাধীনতার মাত্রা 3। ঘরের মধ্যে একটি মশার গতির ক্ষেত্রে স্বাধীনতার মাত্রা 3।

লক্ষণীয় যে, উপরোক্তিতে ক্ষেত্রগুলিতে কণাটির শুধুমাত্র রৈখিক গতি সম্ভব। এ ধরনের স্বাধীনতার মাত্রাকে রৈখিক গতির স্বাধীনতার মাত্রা (degrees of freedom of translational motion) বলে। সাধারণত একটি কণার রৈখিক ও ঘূর্ণন উভয় ধরনের গতি থাকে।

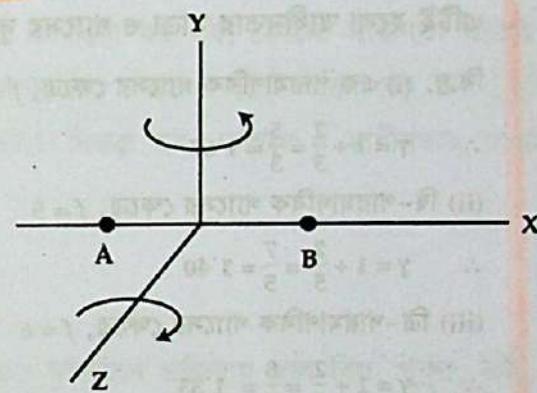
একটি দৃঢ় বস্তু বা গোলক তিনটি স্বতন্ত্র অক্ষের চতুর্দিকে ঘূরতে সক্ষম। তাই ওই বস্তুর রৈখিক গতির জন্য তিনটি এবং ঘূর্ণন গতির জন্য তিনটি—মোট ছয়টি স্বাধীনতার মাত্রা থাকবে।

পরস্পর থেকে নির্দিষ্ট দূরত্বে অবস্থিত দুটি কণা নিয়ে গঠিত কোনো সিস্টেম শুধুমাত্র দুটি অক্ষের চতুর্দিকে ঘূরতে পারে [চিত্র ১০.৯]। তাই ঘূর্ণন গতির জন্য ওই সিস্টেমের স্বাধীনতার মাত্রা সংখ্যা দুটি এবং রৈখিক গতির জন্য ওই সংখ্যা তিনটি। তাই সিস্টেমটির মোট স্বাধীনতার মাত্রা পাঁচটি।

চিত্র ১০.১০ এ দুটি কণা A ও B পরস্পরের সাথে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ। তাই এদের মধ্যে দূরত্ব স্থির। X, Y এবং Z অক্ষ বরাবর গতির জন্য সিস্টেম বা সংস্থাটির রৈখিক গতির স্বাধীনতার মাত্রা তিনটি। কিন্তু কণা দুটি কেবলমাত্র X এবং Y অক্ষের চতুর্দিকে ঘূরতে পারে। তাই ঘূর্ণন গতির জন্য স্বাধীনতার মাত্রা দুটি। সূতরাং এদের মোট স্বাধীনতার মাত্রা পাঁচটি। লক্ষণীয় যে এখানে গতির ওপর শর্ত বা বাধা হলো কণা দুটির মধ্যে দূরত্বের স্থিরতা।

সাধারণভাবে বলা যায় যে, যদি কোনো গভীয় সংস্থা বা সিস্টেম x -সংখ্যক কণা দ্বারা গঠিত এবং ওই x -সংখ্যক কণা পরস্পরের সাথে y -সংখ্যক নিরপেক্ষ শর্ত বা বাধা দ্বারা সম্পর্কযুক্ত হয়, তাহলে ওই সংস্থা সিস্টেমটির স্বাধীনতার মাত্রার মোট সংখ্যা হবে, $f = (3x - y)$ । যদি সিস্টেমের কণাগুলি সম্পূর্ণ স্বাধীনভাবে চলতে পারে, তবে $y = 0$ এবং সেক্ষেত্রে স্বাধীনতার মাত্রার মোট সংখ্যা হবে $3x$ ।

যেমন এক পরমাণুবিশিষ্ট গ্যাসের ক্ষেত্রে $x = 1$, তাই এর স্বাধীনতার মাত্রা 3। দ্বিপরমাণু গ্যাসের ক্ষেত্রে $x = 2$ । এক্ষেত্রে পরমাণু দুটি পরস্পর থেকে নির্দিষ্ট দূরত্বে আবদ্ধ। তাই এদের স্বাধীনতার মাত্রা সংখ্যা $f = 3 \times 2 - 1 = 5$ । আদর্শ গ্যাসের প্রতিটি অণুর স্বাধীনতার মাত্রা 3। দ্বিপরমাণবিক গ্যাস অণুর যেমন—অক্সিজেন (O_2), নাইট্রোজেন (N_2), হাইড্রোজেন (H_2) স্বাধীনতার মাত্রা 5।



চিত্র ১০.১০

১০.১৮-২ স্বাধীনতার মাত্রা ও গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের অনুপাতের মধ্যে সম্পর্ক

Relation between degrees of freedom and ratio of two specific heats of a gas

মনে করি, একটি গ্যাসের প্রতিটি অণুর স্বাধীনতার মাত্রা f ।

সূতরাং, এক গ্রাম অণু গ্যাসের মোট স্বাধীনতার মাত্রা $= N_A f$ । এখানে, N_A হলো অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা (Avogadro number).

এখন, যেহেতু প্রতি স্বাধীনতা মাত্রায় শক্তির পরিমাণ $\frac{1}{2} KT$, তাই এক গ্রাম অণুর গ্যাসের মোট শক্তি,

$$E = \frac{1}{2} KT N_A f = \frac{1}{2} fRT$$

$$[\because KN_A = R]$$

আমরা জানি, স্থির আয়তনে এক গ্রাম-অণু গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ,

$$c_v = \left(\frac{dE}{dT} \right)_v = \frac{1}{2} f R$$

আবার,

$$c_p - c_v = R$$

$$\text{বা, } c_p = c_v + R = \frac{1}{2} f R + R = R \left(\frac{1}{2} f + 1 \right)$$

$$\therefore \gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{\left(\frac{1}{2} f + 1 \right) R}{\left(\frac{1}{2} f \right) R}$$

$$= \frac{\frac{1}{2} f + 1}{\frac{1}{2} f} = 1 + \frac{2}{f} \quad \dots \quad \dots \quad (i)$$

এটিই হলো স্বাধীনতার মাত্রা ও গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের অনুপাতের মধ্যে সম্পর্ক।

বিদ্র. (i) এক পারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে, $f = 3$

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

(ii) দ্বি-পারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে, $f = 5$

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

(iii) ত্রি-পারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে, $f = 6$

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

১০.১৮.৩ শক্তির সমবিভাজন নীতির আলোচনা

Discussion on law of equipartition of energy

কোনো পদার্থের অণুগুলোর গড় গতিশক্তি প্রতিটি স্বাধীনতার মাত্রার মধ্যে সমভাবে বণ্টিত হয় এবং যেকোনো একটি অণুর প্রতিটি স্বাধীনতার মাত্রার সাথে সংশ্লিষ্ট গতিশক্তির মান $= \frac{1}{2} KT$ । এটিই শক্তির সমবিভাজন নীতি।

এখন আমরা এই সূত্রটিকে গ্যাস অণুর ক্ষেত্রে প্রয়োগ করব। আমরা জানি, এক পারমাণবিক গ্যাসের একটি অণুর স্বাধীনতার মাত্রা 3। অতএব এই সূত্র অনুযায়ী একটি অণুর গড়শক্তি $= \frac{3}{2} KT$ । দ্বিপারমাণবিক গ্যাসের একটি অণুর স্বাধীনতার মাত্রা 5, অতএব প্রতিটি অণুর গড়শক্তি $= \frac{5}{2} KT$ । যেহেতু পরমাণু যুগ্মের বৈখনিক গতিশক্তি ও ঘূর্ণন গতিশক্তি বর্তমান থাকে এবং যদি কোনো পরমাণু যুগ্মের কম্পন শক্তি ও বর্তমান থাকে, তবে স্বাধীনতার মাত্রা হবে 7 এবং সেক্ষেত্রে অণুটির মোট শক্তি হবে $\frac{7}{2} KT$.

প্রমাণ : গ্যাসের গতিতত্ত্ব থেকে আমরা জানি, তাপীয় সাম্যাবস্থায় তিনটি অক্ষ X, Y ও Z বরাবর কোনো গ্যাস অণুর বেগ c -এর উপাংশগুলির গড় বর্গমান পরস্পর সমান অর্থাৎ, $u^2 = v^2 = w^2$ । এখানে X, Y ও Z অক্ষ বরাবর অণুটির উপাংশ বেগগুলির গড়মান যথাক্রমে u , v ও w । কাজেই উপাংশ বেগগুলির আনুষঙ্গিক মান সমান হবে।

$$\therefore \frac{1}{2} mu^2 = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} mw^2$$

কিন্তু, $c^2 = u^2 + v^2 + w^2$ এবং $u^2 = v^2 = w^2$

$$\therefore \frac{1}{2} mu^2 = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} mw^2 = \frac{1}{3} \times \frac{1}{2} mc^2$$

আবার, আমরা জানি, প্রতিটি অণুর গড় গতিশক্তি

$$\frac{1}{2} mc^2 = \frac{3}{2} KT$$

$$\therefore \frac{1}{2} mu^2 = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} mw^2 = \frac{1}{3} \times \frac{3}{2} KT = \frac{1}{2} KT$$

অতএব, প্রত্যেক অণুর স্বাধীনতার মাত্রার গড় শক্তির পরিমাণ $= \frac{1}{2} KT$

আবার কম্পনরত কণার ক্ষেত্রে, অর্দেক হলো গতিশক্তি এবং অর্দেক হলো স্থিতিশক্তি। কাজেই স্বাধীনতার মাত্রা
পিছু মোট শক্তি = গতিশক্তি + স্থিতিশক্তি $= \frac{1}{2} KT + \frac{1}{2} KT = KT$.

তাহলে আমরা দেখতে পাই যে, বেগের প্রতিটি উপাংশের সাথে সংশ্লিষ্ট অপসরণ (Translational) গতিশক্তি
মোট গতিশক্তির এক-তৃতীয়াংশ। প্রাপ্তব্য মোট শক্তি অণুর শক্তি শোষণের বিভিন্ন নিরপেক্ষ উপায় সমমানে শৈবিত
অংশের সমান। অন্য কথায় প্রাপ্তব্য মোট শক্তি বিভিন্ন নিরপেক্ষ শক্তি হিসেবে সমত্বে বিভাজিত হয়।

আবার অণুগুলি সসীম আকৃতিবিশিষ্ট, জ্যামিতিক বিন্দু নয়। কাজেই অণুসমূহের জড়তার ভাবক ও ভর রয়েছে।
তাই অপসরণ গতির সাথে এদের ঘূর্ণন গতিও রয়েছে। অণুগুলোর আকৃতি পরিপূর্ণভাবে দৃঢ় নয় এবং অন্যান্য অণুর
সাথে সংঘর্ষের কারণে এদের মধ্যে স্পন্দন আশা করা যেতে পারে। ফলে এদের স্বাধীনতার মাত্রা আরও বেশি হতে
পারে। ম্যাক্সওয়েল-বোলজম্যান-এর সংখ্যায়নিক বলবিদ্যার সাহায্যে দেখানো যায় যে, কোনো স্বাধীনতা মাত্রার সাথে
সংশ্লিষ্ট শক্তি যদি স্বাধীনতা মাত্রা নির্দিষ্টকারী চলরাশির দ্বিগুণ অপেক্ষক হয়, তাহলে সংশ্লিষ্ট শক্তির গড় মান $\frac{1}{2} KT$ এর
সমান হবে। মোট শক্তি যদি সকল স্বাধীনতার মাত্রার মধ্যে সমত্বে বিভক্ত হয়, তাহলে f স্বাধীনতার মাত্রাসম্পন্ন
কোনো অণুর মোট জড়শক্তি $= f \times \frac{1}{2} KT = f KT$.

১০.১৯ জলীয় বাষ্প ও বায়ু চাপ Water vapour and air pressure

বায়ুমণ্ডলে সর্বদা কিছু না কিছু জলীয় বাষ্প বিদ্যমান থাকে। বাষ্পায়ন প্রক্রিয়ায় খাল-বিল, পুরু, নদী, সমুদ্র
প্রভৃতি হতে প্রতিনিয়ত প্রচুর পরিমাণে পানি বাষ্প হয়ে বায়ুমণ্ডলে মিশে যাচ্ছে। মেঘ, বৃক্ষ, কুয়াশা, শিশির প্রভৃতি
নৈসর্গিক ঘটনা হতে প্রমাণিত হয় যে, বায়ুতে প্রচুর পরিমাণ জলীয় বাষ্প আছে।

বিভিন্ন স্থানে বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বিভিন্ন। আবার কোনো কোনো দিন বায়ুতে জলীয় বাষ্প বেশি
থাকে এবং কোনো কোনো দিন বায়ুতে জলীয় বাষ্প কম থাকে। তাহলে প্রশ্ন জাগে কী কী বিষয়ের ওপর জলীয় বাষ্প
নির্ভর করে? এর জবাবে নিচয় আমরা বলব—

কোনো কোনো স্থানে পানির উৎসের উপস্থিতি, অক্ষাংশ, সমুদ্র পৃষ্ঠ হতে তার অবস্থান প্রভৃতির ওপর
বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্পের পরিমাণ নির্ভর করে।

কোনো স্থানের আবহাওয়ার ওপর বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্পের গুরুত্ব অপরিসীম। কোনো কোনো দ্রব্যের সুষ্ঠু
উৎপাদন ও গুদামজাতকরণে বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্পের পরিমাণ ও তাপমাত্রা একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে থাকা প্রয়োজন।
এই কারণে বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্পের পরিমাণ নির্ণয়ের গুরুত্বও অনেক। কোনো স্থানের জলীয় বাষ্পের চাপ ওই
স্থানের জলীয় বাষ্পের পরিমাণের ওপর নির্ভর করে। **জলীয় বাষ্পের পরিমাণ যত বেশি হবে তার চাপও তত বেশি হবে।**

সকল উক্তায় তরল বাষ্পীভূত হয়। তরল থেকে নির্গত বাষ্পও সাধারণ গ্যাসের মতো আধারের গায়ে চাপ
প্রয়োগ করে। এই চাপকে তরলের বাষ্প চাপ বলে। এই বাষ্প চাপ ও জলীয় বাষ্প আমাদের দৈনন্দিন জীবন প্রভাবিত
করে।

বায়ুতে অণুসমূহ অবিরত ইতস্তত ছুটাছুটি করার ফলে পাত্রের একক ক্ষেত্রফলের ওপর বায়ুর অণুসমূহ যে বল
প্রয়োগ করে তাকে বায়ুর চাপ বলে। বহুকাল থেকে গ্যাসের চাপের একক বায়ুচাপ বা বায়ুমণ্ডল বা অ্যাটমস্ফেয়ার
(atmosphere) সংক্ষেপে atm ব্যবহৃত হয়ে আসছে।

০°C তাপমাত্রায় 45° অক্ষাংশে সমুদ্র সমতলে যে পরিমাণ বায়ুচাপ 760 mm পারদস্তম্ভের চাপের সমান হয়,
তাকে এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপ বা এক বায়ুচাপ (1 atm) বলে। মিমি পারদ বা mm Hg এককেও চাপ প্রকাশ করা হয়।

এস. আই. এককে গ্যাসের চাপকে নিউটন/মিটার² (Nm⁻²) বা প্যাসকেল (Pa) এককে প্রকাশ করা হয়। প্রতি
বর্গমিটারে এক নিউটন বলকে 1 প্যাসকেল (Pascal) বলে।

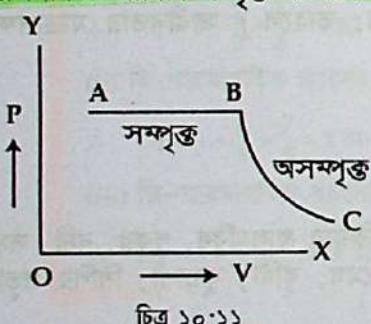
১০.১৯.১ বাষ্প ও গ্যাস Vapour and Gas

বাষ্প বলতে আমরা কোনো পদার্থের গ্যাসীয় অবস্থাকে বুঝি যা কক্ষ তাপমাত্রায় তরল বা কঠিন অবস্থায় থাকে। আবার বাষ্পকে শুধুমাত্র চাপ প্রয়োগ করে তরলে বৃপ্তিরিত করা যায়। অন্যদিকে কোনো গ্যাস কক্ষ তাপমাত্রায় সর্বদা গ্যাসীয় অবস্থাতেই থাকে, তরল বা কঠিন অবস্থা প্রাপ্ত হয় না। আবার কোনো গ্যাসকে তরলে পরিণত করার জন্য এর ওপর চাপ প্রয়োগের সাথে সাথে তাপমাত্রাও হ্রাস করতে হয়। যেমন অক্সিজিন হলো একটি গ্যাস যা কক্ষ তাপমাত্রাতেও গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে। অন্যদিকে জলীয় বাষ্প হচ্ছে বাষ্প যা কক্ষতাপমাত্রায় পানি বা তরল পদার্থ।

১০.১৯.২ সম্পৃক্ত ও অসম্পৃক্ত বাষ্প চাপ Saturated and unsaturated vapour pressure

কোনো আবন্ধ স্থানে তরলের উপরিস্থিত সম্পৃক্ত বাষ্পকে ওই তাপমাত্রার সম্পৃক্ত বাষ্প বলে। সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ সর্বোচ্চ চাপ প্রয়োগ করে। কোনো স্থানে তাপমাত্রা কমবেশি হলে ওই স্থানের বাষ্পকণার ধারণ ক্ষমতাও কমবেশি হয়। তবে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একটি আবন্ধ স্থানের বাষ্পধারণ ক্ষমতা নির্দিষ্ট থাকে; অতিরিক্ত বাষ্প ধারণ করতে পারে না। এই অবস্থায় বাষ্প যে চাপ দেয় তাকে সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ বলে। অন্যভাবে বলা যায়, কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো আবন্ধ স্থানের বাষ্পচাপ যে চাপ দেয় তাকে সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বা সর্বোচ্চ বাষ্পচাপ বলে। সম্পৃক্ত বাষ্প বয়েল ও চার্লস এর সূত্র মানে না। তাপমাত্রা হ্রাস করে অসম্পৃক্ত বাষ্পকে সম্পৃক্ত বাষ্পে পরিণত করা যায়।

আবার একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো স্থানে বাষ্পের পরিমাণ যদি এমন হয় যে, তা আরও অতিরিক্ত বাষ্প ধারণ করতে পারে, তবে ওই বাষ্পকে অসম্পৃক্ত বাষ্প বলে। এই অবস্থায় বাষ্প যে চাপ দেয় তাকে অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বলে। অসম্পৃক্ত বাষ্প বয়েল ও চার্লসের সূত্র মানে। অন্যভাবে বলা যায়, কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো আবন্ধ স্থানের বাষ্পচাপ যদি সর্বোচ্চ বাষ্পচাপের চেয়ে কম হয় তাহলে সেই চাপকে অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বলে। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে নির্দিষ্ট পরিমাণ সম্পৃক্ত বাষ্পকে অসম্পৃক্ত বাষ্পে পরিণত করা যায়।



“কোনো স্থানের সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ 1.336 mm পারদ” — এই উক্তি দ্বারা বুঝি সংশ্লিষ্ট স্থানে বাষ্প সর্বাধিক 1.336 mm পারদ চাপ প্রয়োগ করবে।

চিত্র ১০.১১ সম্পৃক্ত ও অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপ এবং আয়তনের পরিবর্তন দেখান হলো।

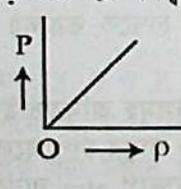
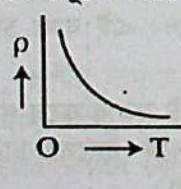
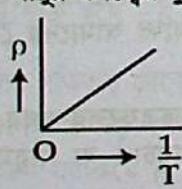
লেখচিত্রের BC অংশে অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপ আয়তনের ব্যস্তানুপাতিক। কাজেই ইহা বয়লের সূত্র মেনে চলে। আবার AB অংশে তরল ও সম্পৃক্ত বাষ্প সহাবস্থান করে। এক্ষেত্রে কিছু বাষ্প ঘনীভূত হয়ে যাওয়ায় বাষ্পের ভর হ্রাস পায় বলে সম্পৃক্ত বাষ্প আর বয়লের সূত্র মেনে চলে না।

ক্রিয়াকর্ম : বাড়ির বারান্দায় একটি রশির ওপর শীতের দিনে তেজা কাপড় নেড়ে দাও। আবার ওই একই স্থানে বর্ষার দিনে ওই কাপড়টি শুকাতে দাও। দেখা যাবে শীতকালে কাপড় দ্রুত শুকায়। কাপড় দ্রুত শুকাবার কারণ কী ?

শীতকালের চেয়ে যদিও বর্ষাকালে বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা বেশি থাকে তবু কাপড় শীতকালেই দ্রুত শুকায়। এর কারণ হলো বর্ষাকালে বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বেশি থাকে ফলে বাষ্পায়ন কম হয়। আর শীতকালে বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কম থাকায় তেজা কাপড়ের পানির বাষ্পায়ন দ্রুত হয় এবং কাপড় দ্রুত শুকায়।

১০.১৯.২ জলীয় বাষ্পের সাথে বায়ুর চাপের সম্পর্ক Relation between water vapour and air pressure

আমরা জানি বায়ুতে জলীয় বাষ্প থাকলে বা বায়ু আর্দ্র থাকলে এর ঘনত্বের পরিবর্তন হয়। আর্দ্র বায়ু বা জলীয় বাষ্পপূর্ণ বায়ুর ঘনত্ব শুরু বায়ুর ঘনত্বের তুলনায় কম অর্ধাং বায়ুতে জলীয় বাষ্প বত বেড়ে যায় এর ঘনত্বও তত কমে যায়।



মনে করি m ভরবিশিষ্ট কোনো বায়ুর P_1 চাপে এবং $T_1 K$ তাপমাত্রায় যদি আয়তন V_1 এবং ঘনত্ব ρ_1 হয় এবং ওই গ্যাসের P_2 চাপে এবং $T_2 K$ তাপমাত্রায় আয়তন V_2 এবং ঘনত্ব ρ_2 হয় তা হলে,

$$\rho_1 = \frac{m}{V_1} \quad \text{বা, } V_1 = \frac{m}{\rho_1} \quad \text{এবং} \quad \rho_2 = \frac{m}{V_2} \quad \text{বা, } V_2 = \frac{m}{\rho_2}$$

এখন $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ সম্পর্কে V_1 এবং V_2 এর মান বসিয়ে পাই,

$$\frac{P_1 m}{\rho_1 T_1} = \frac{P_2 m}{\rho_2 T_2} = \text{ধ্রুক}$$

$$\text{বা, } \frac{P_1}{\rho_1 T_1} = \frac{P_2}{\rho_2 T_2} = \text{ধ্রুক}$$

$$\text{বা, } \frac{\rho_1 T_1}{P_1} = \frac{\rho_2 T_2}{P_2} = \text{ধ্রুক}$$

... (10.35)

অর্থাৎ চাপ ধ্রুব থাকলে $P_1 = P_2$ হয়, সেক্ষেত্রে $\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2 = \text{ধ্রুক}$ হয়।

বা, $\rho T = \text{ধ্রুক}$ বা $\rho \propto \frac{1}{T}$ হয়। এই সম্পর্ক T তাপমাত্রায় বায়ুর চাপ ও জলীয় বাষ্পের ঘনত্বের মধ্যে সম্পর্ক

নির্দেশ করে। উপরের ১০.১২(ক) ও ১০.১২(খ) লেখচিত্রে $\rho-T$ এর পরিবর্তন দেখানো হলো। যদি তাপমাত্রা স্থির থাকে অর্থাৎ $T_1 = T_2$ হয় তবে (10.35) নং সমীকরণ থেকে পাই, $\frac{\rho_1}{P_1} = \frac{\rho_2}{P_2} = \text{ধ্রুক}$

$$\text{বা, } \frac{\rho}{P} = \text{ধ্রুক}$$

... (10.36)

$\therefore \rho \propto P$ এই সম্পর্ক T তাপমাত্রায় বায়ুর চাপ ও জলীয় বাষ্পের ঘনত্বের সম্পর্ক নির্দেশ করে।

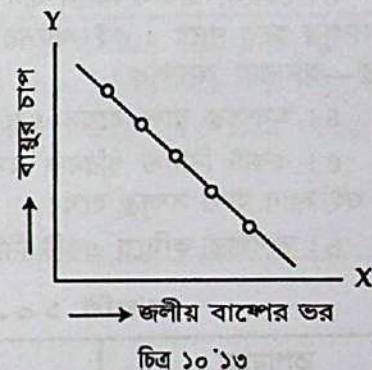
ঘনত্বের সাথে তাপমাত্রা ও চাপের সম্পর্ক ১০.১২(গ) লেখচিত্রে দেখানো হলো।

নিজে কর : একটি গ্রাফ কাগজে জলীয় বাষ্প বৃদ্ধি ও তাপের সাথে বায়ুর চাপের লেখচিত্র অঙ্কন কর এবং ব্যাখ্যা কর।
লেখচিত্রটি চিত্র ১০.১৩ এ দেখানো হলো।

সমীকরণ (10.36) অনুযায়ী স্থির তাপমাত্রায় বায়ুর ঘনত্ব তার চাপের সমানুপাতিক। অর্থাৎ বায়ুতে জলীয় বাষ্প বেড়ে গেলে বায়ুর ঘনত্ব কমে এবং বায়ুর চাপও কমে যায়। আবার বিপরীতক্রমে বলা যায় বায়ুতে জলীয় বাষ্প কমে গেলে বায়ুর ঘনত্ব বেড়ে যায় এবং বায়ুর চাপও বেড়ে যায়। বায়ুর চাপ বনাম জলীয় বাষ্পের ভর-এর সম্পর্ক লেখচিত্রে দেখানো হলো।

বায়ুতে কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্প ধারণ করতে পারা এবং না পারার উপর বাষ্পচাপের প্রকৃতি দুই ধরনের—

- (১) সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ ও
- (২) অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপ।

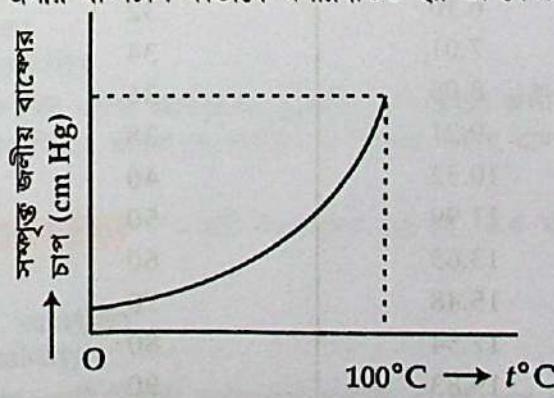


চিত্র ১০.১৩

১০.১৯.৩ সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ ও তাপমাত্রার সম্পর্ক

Relation between saturated vapour pressure and temperature

কোনো তরলের সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে। তাপমাত্রা বাড়লে সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ বৃদ্ধি পায়। চিত্র ১০.১৪ এ তাপমাত্রার সাথে জলীয় বাষ্পচাপ কীভাবে অপরিবর্তিত হয় তা দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০.১৪

চিত্র থেকে দেখা যাচ্ছে যে 0°C তাপমাত্রায় জলীয় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ শূন্য হয় না। এ চাপ প্রায় 0.40 cmHg । 100°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পচাপ 76 cm পারদ স্তরের সমান। অর্থাৎ প্রথম বায়ুমণ্ডলীয় চাপে বিশুদ্ধ পানি

100°C তাপমাত্রায় ফোটে। উল্লেখ্য যে, যে তাপমাত্রায় তরলের সম্পূর্ণ বাষ্পচাপ তরলের উপরিস্থিত চাপের সমান সেই তাপমাত্রাতেই তরলের স্ফুটন শুরু হয়।

১০.১৯.৪ সম্পূর্ণ বাষ্পের বৈশিষ্ট্য

Characteristics of saturated vapour

১। কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো আবন্দ্য স্থানে যখন সর্বাধিক পরিমাণ বাষ্প ধারণ করে তখন ওই বাষ্পকে সম্পূর্ণ বাষ্প বলে। সম্পূর্ণ বাষ্প সর্বাধিক চাপ প্রয়োগ করে।

২। এটি একটি আবন্দ্য স্থানে তৈরি করা যায়।

৩। যদি কোনো আবন্দ্য স্থানে তরল পদার্থের সংসর্পণে কিছু বাষ্প থাকে তবে বৃদ্ধতে হবে যে, ওই বাষ্প সম্পূর্ণ বাষ্প।

৪। সম্পূর্ণ বাষ্প বয়েল এবং চার্লস-এর সূত্র মানে না।

৫। সম্পূর্ণ বাষ্পের সংসর্পণে যথেষ্ট তরল পদার্থ না থাকলে স্থির তাপমাত্রায় ওই বাষ্পের আয়তন বৃদ্ধি করলে, তরল পদার্থ বাষ্পীভূত হবার পর ওই স্থান বাষ্প অসম্পূর্ণ হবে।

৬। সম্পূর্ণ বাষ্প তরলের সাম্যাবস্থানে থাকে।

৭। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ সম্পূর্ণ বাষ্পকে অসম্পূর্ণ বাষ্পে পরিণত করা যায়।

১০.১৯.৫ অসম্পূর্ণ বাষ্পের বৈশিষ্ট্য

Characteristics of unsaturated vapour

১। একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো স্থানে বাষ্পের পরিমাণ যদি এমন হয় যে তা আরও অতিরিক্ত বাষ্প ধারণ করতে পারে, তবে ওই বাষ্পকে অসম্পূর্ণ বাষ্প বলে। এই চাপ সম্পূর্ণ চাপের চেয়ে কম হয়।

২। এটি আবন্দ্য বা খোলা যে কোনো স্থানে তৈরি হতে পারে।

৩। কোনো আবন্দ্য স্থানে যদি কিছু বাষ্প থাকে কিন্তু কোনো তরল পদার্থ না থাকে তবে ওই বাষ্প অসম্পূর্ণ বা সদ্য সম্পূর্ণ হতে পারে। এই স্থানের আয়তন সামান্য কমালে যদি কিছু বাষ্প তরলে পরিণত হয় তবে ওই বাষ্প সদ্য সম্পূর্ণ—অন্যথায় অসম্পূর্ণ।

৪। অসম্পূর্ণ বাষ্প বয়েল এবং চার্লস-এর সূত্র মেনে চলে।

৫। একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ অসম্পূর্ণ বাষ্পের তাপমাত্রা স্থির রেখে তার আয়তন ক্রমাগত কমাতে থাকলে এক সময় ওই স্থান বাষ্প সম্পূর্ণ হবে।

৬। তাপমাত্রা কমিয়ে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ অসম্পূর্ণ বাষ্পকে সম্পূর্ণ বাষ্পে পরিণত করা যায়।

সারণি ১০.১ : তাপমাত্রার সাথে বাষ্পচাপের পরিবর্তন

তাপমাত্রা ($^{\circ}\text{C}$)	চাপ (mm HgP)	তাপমাত্রা ($^{\circ}\text{C}$)	চাপ (mm HgP)
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	525.75
24	22.38	100	760.00 MAT 20-21
26	25.21		

১০.২০ শিশিরাঙ্ক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতা

Dew point and relative humidity

১০.২০.১ শিশিরাঙ্ক

Dew point

একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ু একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ জলীয় বাষ্প ধারণ করতে পারে। বায়ুর জলীয় বাষ্প ধারণের ক্ষমতা তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে বেড়ে যায় এবং তাপমাত্রা হ্রাস পেলে কমে যায়। বায়ু যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প ধারণ করে তার চেয়ে কম জলীয় বাষ্প থাকে বলে সাধারণ বায়ু জলীয় বাষ্পে অসম্পৃক্ত থাকে এবং অসম্পৃক্ত বায়ুর জলীয় বাষ্পের চাপ অপেক্ষা সম্পৃক্ত বায়ুর জলীয় বাষ্পের চাপ বেশি হয়। কিন্তু বায়ুর তাপমাত্রা বদি ক্রমশ কমতে থাকে তবে তার জলীয় বাষ্প ধারণের ক্ষমতা কমে যায় এবং একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বায়ুর মধ্যে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে তা দ্বারা উক্ত বায়ু সম্পৃক্ত অবস্থা ধারণ করে। এ অবস্থায় তাপমাত্রা আর একটু কমলে কিছু জলীয় বাষ্প ঘনিভূত হয়ে ফুম্ব ফুম্ব পানি বিনুতে পরিণত হয়। এই নির্দিষ্ট তাপমাত্রাকে **শিশিরাঙ্ক** বলে। এখন আমরা দেখব শিশিরাঙ্ক বলতে কী বুঝায় ?

MAT: ২০-২১ **সংজ্ঞা :** যে তাপমাত্রায় একটি নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ু তার ভেতরের জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয় তাকে ওই বায়ুর শিশিরাঙ্ক বলে। অথবা, যে তাপমাত্রায় শিশির জমতে বা অদৃশ্য হতে শুরু করে তাকে শিশিরাঙ্ক বলে।

“কোনো স্থানের বায়ুর শিশিরাঙ্ক 15°C ” — এটি দ্বারা বুঝা যায় যে, 15°C তাপমাত্রায় ওই স্থানের বায়ু তার মধ্যস্থ জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হবে। অথবা 15°C তাপমাত্রায় ওই স্থানে শিশির গঠিত বা অদৃশ্য হতে শুরু করবে।

বায়ুর তাপমাত্রায় কোনো একটি নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প উপস্থিত থাকে শিশিরাঙ্কে ওই একই পরিমাণ জলীয় বাষ্প সম্পৃক্ত অবস্থা ধারণ করে। ডালটন-এর সূত্র অনুসারে এই সম্পৃক্ত বাষ্পের চাপ বায়ুর ওপর নির্ভর করে না। **সুতরাং বায়ুর তাপমাত্রায় একটি নির্দিষ্ট আয়তনের অসম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের সমান হবে।**

পরীক্ষণ : শিশিরাঙ্কের মান নির্ণয় করার জন্য বায়ুর মধ্যে একটি উজ্জ্বল ধাতব পৃষ্ঠাকে ধীরে ধীরে ঠাণ্ডা করা হয়। শিশির জমতে শুরু করার সঙ্গে সঙ্গে ধাতব পৃষ্ঠাটির উজ্জ্বল্য নষ্ট হয়ে যায়। এই সময় এর উফতার পাঠ লিখে রাখ। এখন ধাতব পৃষ্ঠাকে ধীরে ধীরে উপরের জমা শিশির এক সময় মিলিয়ে যাবে তখন আবার এর উফতার পাঠ লিখে রাখ।

দুটি পাঠের গড় নিলে শিশিরাঙ্কের মান পাওয়া যায়।

১০.২০.২ আর্দ্রতা কী

What is humidity

আর্দ্রতা কী সে সম্পর্কে আমদের একটা সহজ ধারণা থাকা দরকার। বায়ু কতখানি শুক্র বা ডিজা তা নির্দেশ করতে ‘আর্দ্রতা’ শব্দটি ব্যবহৃত হয়। অনেক সময় শীতকালের বায়ু শুক্র ও গ্রীষ্মকালের বায়ু আর্দ্র বলা হয়। এটি দ্বারা শীতকালের তুলনায় গ্রীষ্মকালের বায়ুতে অধিক পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে এটিই বুঝানো হয়। **বায়ুর আর্দ্রতা দূভাবে প্রকাশ করা হয়।** যথা—**পরম আর্দ্রতা ও আপেক্ষিক আর্দ্রতা।**

১০.২০.৩ পরম আর্দ্রতা

Absolute humidity

কোনো সময় কোনো স্থানের একক আয়তনের বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে তাকে ওই বায়ুর পরম আর্দ্রতা বলে। সাধারণত এক ঘন মিটার আয়তনের বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে তা বায়ুর পরম আর্দ্রতা নির্দেশ করে।

“**বায়ুর পরম আর্দ্রতা $10^{-2} \text{ kg-m}^{-3}$** ” — এটি দ্বারা বুঝা যায় যে, এক ঘন মিটার আয়তনের বায়ুতে 10^{-2} kg জলীয় বাষ্প বিদ্যমান আছে।

১০.২০.৪ আপেক্ষিক আর্দ্রতা

Relative humidity

কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একটি নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে ওই তাপমাত্রায় ওই আয়তনের বায়ুকে সম্পৃক্ত করতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্পের প্রয়োজন হয় তাদের অনুপাতকে আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলে। এই অনুপাত দ্বারা বায়ু কতখানি ডিজা বা শুক্র তা নির্দেশ করা হয়। একে সাধারণত R দ্বারা ব্যক্ত করা হয়।

∴ আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা,

$$R = \frac{\text{বায়ুৰ তাপমাত্ৰায় নিৰ্দিষ্ট আয়তনেৰ বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পেৰ ভৱ}{\text{ওই তাপমাত্ৰায় উক্ত আয়তনেৰ ওই বায়ুকে সম্পৃক্ত কৰতে প্ৰযোজনীয় জলীয় বাষ্পেৰ ভৱ}$$

তাপমাত্ৰা $t^{\circ}\text{C}$ এবং আয়তন V হলে,

$$\text{আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা, } R = \frac{t^{\circ}\text{C তাপমাত্ৰায় } V \text{ আয়তনেৰ বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পেৰ ভৱ}}{t^{\circ}\text{C তাপমাত্ৰায় } V \text{ আয়তনেৰ বায়ুকে সম্পৃক্ত কৰতে প্ৰযোজনীয় জলীয় বাষ্পেৰ ভৱ}$$

কিন্তু স্থিৰ তাপমাত্ৰায় একটি নিৰ্দিষ্ট আয়তনেৰ বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পেৰ ভৱ তাৰ বাষ্পচাপেৰ সমানুপাতিক।

$$\therefore \text{আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা, } R = \frac{t^{\circ}\text{C তাপমাত্ৰায় } V \text{ আয়তনেৰ বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পেৰ চাপ}}{t^{\circ}\text{C-এ } V \text{ আয়তনেৰ বায়ুকে সম্পৃক্ত কৰতে প্ৰযোজনীয় জলীয় বাষ্পেৰ চাপ}$$

আবাৰ যে কোনো তাপমাত্ৰায় একটি নিৰ্দিষ্ট আয়তনেৰ বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পেৰ চাপ = শিশিৱাঙ্গে উক্ত বায়ুৰ সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পেৰ চাপ।

$$\therefore \text{আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা, } R = \frac{\text{শিশিৱাঙ্গে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পেৰ চাপ}}{\text{বায়ুৰ তাপমাত্ৰায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পেৰ চাপ}}$$

সাধাৰণত আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা শতকৰা হিসেবে প্ৰকাশ কৰা হয়।

সুতৰাং আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা R দ্বাৰা, শিশিৱাঙ্গে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পেৰ চাপ f দ্বাৰা এবং বায়ুৰ তাপমাত্ৰায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পেৰ চাপ F দ্বাৰা নিৰ্দেশ কৰলে,

$$R = \frac{f}{F} \times 100\% \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.37)$$

“বায়ুৰ আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা 60%”—এৰ দ্বাৰা বুঝা যায় যে,

(i) বায়ুৰ তাপমাত্ৰায় একটি নিৰ্দিষ্ট আয়তনেৰ ওই বায়ুকে সম্পৃক্ত কৰতে যে পৰিমাণ জলীয় বাষ্পেৰ প্ৰযোজন তাৰ শতকৰা 60 ভাগ জলীয় বাষ্প বায়ুতে আছে।

(ii) বায়ুৰ তাপমাত্ৰায় ওই বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পেৰ চাপ একই তাপমাত্ৰায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পেৰ চাপেৰ 100 ভাগেৰ 60 ভাগ অৰ্থাৎ $\frac{3}{5}$ অংশ।

(iii) ওই বায়ুৰ শিশিৱাঙ্গে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পেৰ চাপ বায়ুৰ তাপমাত্ৰায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পেৰ চাপেৰ 100 ভাগেৰ 60 ভাগ।

নিজে কৰ : কোনো ঘৱেৱ মধ্যে পানি ছিটাও তাতে জলীয় বাষ্পেৰ পৰিমাণ বেড়ে যাবে। কিন্তু দেখবে তাপমাত্ৰা একই থাকবে। আবাৰ আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা ও শিশিৱাঙ্গক বেড়ে যাবে। এৱে কাৱণ কী ?

ঘৱেৱ ভেতৱে পানি ছিটালে ঘৱেৱ বায়ুতে জলীয় বাষ্পেৰ পৰিমাণ বেড়ে যাব। কিন্তু ঘৱেৱ তাপমাত্ৰা বা উক্ততা একই থাকে বলে ওই উক্ততায় ঘৱেৱ বায়ুকে সম্পৃক্ত কৰতে প্ৰযোজনীয় জলীয় বাষ্পেৰ ভৱ অপৱিবৰ্তিত থাকে। আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতাৰ সংজ্ঞায় অৰ্থাৎ সমীকৰণ (10.37)-এৰ লব বাড়ে কিন্তু হৱ একই থাকে। ফলে আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা বাড়ে। স্পষ্টত শিশিৱাঙ্গক বাড়ে।

আমাদেৱ দৈনন্দিন জীবনে আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতাৰ প্ৰভাৱ লক্ষণীয় যা আমাদেৱ শারীৱিক, মানসিক অবস্থায় প্ৰভাৱ ফেলে। তাই আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতাৰ গুৱুত্ব জানা দৱকাৱ।

গৰ্যবেক্ষণ : কোনো একদিন গৱেষণার দুপুৰ বেলা কিছুক্ষণ ঢাকাতে অবস্থান কৰ। তাৱপৰ প্ৰেনে কৰে ওই একই দিন চট্টগ্রামে পৌছাও। চট্টগ্রামে পৌছে কী অনুভব কৰবে ?

সমুদ্ৰ থেকে ঢাকাৱ অবস্থান অনেক দূৰে; কিন্তু চট্টগ্রাম সমুদ্ৰেৰ খুবই কাছে। ফলে ঢাকাৱ তুলনায় চট্টগ্রামেৰ বায়ুতে জলীয় বাষ্পেৰ পৰিমাণ অনেক বেশি থাকে, তাই সেখানকাৱ আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা বেশি থাকায় বেশি অস্বস্তি লাগবে।

আমৱা জানি, শৱীৱেৱ তাপমাত্ৰা বৃদ্ধি পেলে শৱীৱ থেকে ঘাম বেৱ হয়। বায়ু শুক্ৰ হলে অৰ্থাৎ আৰ্দ্ধতা কম হলে ঘাম দ্রুত শুকায় এবং শৱীৱ ঠাণ্ডা হয়। বায়ু আৰ্দ্ধ হলে ঘাম দ্রুত শুকায় না, ফলে শৱীৱ ঠাণ্ডা হয় না, তাই অস্বস্তি বোধ হয়। চট্টগ্রামেৰ বায়ুতে আৰ্দ্ধতা বেশি থাকায় সেখানে ঘাম দ্রুত শুকায় না বলে শৱীৱেৰ অস্বস্তি বোধ হবে।

১০.২০.৫ আপেক্ষিক আর্দ্ধতা নির্ণয়ের গুরুত্ব Importance of determination of relative humidity

(১) কোনো কোনো রোগের জীবাণু শুক্র আবহাওয়ায় এবং কোনো কোনো রোগের জীবাণু আর্দ্ধ আবহাওয়ায় বংশ বৃদ্ধি করে। এই কারণে জনস্বাস্থ্য বিভাগ আপেক্ষিক আর্দ্ধতার হিসাব রাখে এবং কোনো কোনো রোগের প্রাদুর্ভাব দেখা দিলে বেতার ও সংবাদপত্রের মাধ্যমে তা ঘোষণা করে।

(২) মানুষের মেজাজ, স্বাস্থ্য, কর্মেদ্যম অনেকাংশে আপেক্ষিক আর্দ্ধতার ওপর নির্ভরশীল। যে সব আবশ্য স্থানে অধিক লোক সমাগম হয় সেখানকার বায়ু কিছুক্ষণের মধ্যে দূষিত ও আর্দ্ধ হয়ে পড়ে। এজন্য আধুনিক সিনেমা হল, অডিটরিয়াম, বড় বড় অফিস ইত্যাদিতে শীতাতপ নিয়ন্ত্রণের প্রচলন দেখা যায়।

(৩) কোনো কোনো বস্তু যেমন আলু, তামাক, কাঠ, পৌঁছাজ, রসূল প্রভৃতি শুক্র আবহাওয়ায় ভালো থাকে। তাই আপেক্ষিক আর্দ্ধতা জানা আবশ্যিক।

(৪) আবার বৈদ্যুতিক, ইলেক্ট্রনিক প্রভৃতি যন্ত্রপাতির স্টোরে ও কারখানায় একটি নির্দিষ্ট আপেক্ষিক আর্দ্ধতার প্রয়োজন হয়। এই কারণে এসব ক্ষেত্রে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্ধতা একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে রাখা বিশেষভাবে প্রয়োজন। তাই আপেক্ষিক আর্দ্ধতা জানা অপরিহার্য।

(৫) কোনো স্থানের আবহাওয়া বহুলাংশে আপেক্ষিক আর্দ্ধতার পরিবর্তনে পরিবর্তিত হয়। তাই আবহাওয়া অফিস আপেক্ষিক আর্দ্ধতার হিসাব রাখে এবং বেতার ও সংবাদপত্রে আবহাওয়ার পূর্বাভাস প্রদান করে।

(৬) সিগারেট, পশম, কার্পাস প্রভৃতি শিরের কতকগুলো বিশেষ রাসায়নিক প্রক্রিয়ার সহায়তার জন্য বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্ধতা একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে থাকা প্রয়োজন। এই কারণে এসব কল-কারখানা বিশেষ অঞ্চলে স্থাপিত হয়।

(৭) নিরাপদ বিমান চালনার জন্য বিমান চালককে আর্দ্ধ বায়ুর অঙ্গল এড়িয়ে যেতে হয়। এই কারণে তাকে আপেক্ষিক আর্দ্ধতার হিসাব জানার প্রয়োজন হয়।

১০.২০.৬ আর্দ্ধতামিতি সম্পর্কিত কয়েকটি বাস্তব ঘটনা Some real events relating hygrometry

নিচে আর্দ্ধতামিতি সম্পর্কিত কয়েকটি বাস্তব ঘটনা আলোচনা করা হলো যা আমাদেরকে প্রভাবিত করে।

ক. মেঘাছন্ন রাত্রি অপেক্ষা মেঘশূন্য রাত্রি শিশির জন্যে সহায়ক।

আমরা জানি নদী-নালা, খালবিল, সাগর-সমুদ্র, জলাশয় ইত্যাদি হতে পানি সব সময় বাস্পায়নের ফলে জলীয় বাষ্পে পরিণত হয় এবং বায়ুমণ্ডলে মিশে যায়। দিনের বেলায় সূর্যের তাপে ভৃগৃষ্ঠ সংলগ্ন বাতাস গরম থাকে এবং জলীয় বাষ্প দ্বারা অসম্পৃক্ত থাকে। মেঘহীন রাত্রিতে ভৃগৃষ্ঠ তাপ বিকিরণ করে ঠাণ্ডা হতে থাকে এবং পরিশেষে এমন একটি তাপমাত্রায় উপনীত হয় যখন বাতাস জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয় এবং জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হয়ে শিশির জন্মে।

কিন্তু আকাশ মেঘাছন্ন থাকলে ভৃগৃষ্ঠ তাপ বিকিরণ করে ঠাণ্ডা হতে পারে না। কারণ মেঘ তাপরোধী পদার্থ বলে ভৃগৃষ্ঠ হতে বিকিরণজনিত কারণে তাপ পরিবাহিত হতে পারে না। ফলে ভৃগৃষ্ঠ ঠাণ্ডা হয় না এবং শিশির জন্মে না।

খ. বর্ষার দিন অপেক্ষা শীতকালে ভিজা কাপড় তাড়াতাড়ি শুকায়।

বর্ষার দিনে বায়ুমণ্ডল জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত থাকে। ফলে বাতাস অধিক পরিমাণে জলীয় বাষ্প ধারণ করতে পারে না। শীতকালের বাতাস শুকনা থাকে। শুকনা বাতাস জলীয় বাষ্পহীন। এই বাতাস ভিজা কাপড় থেকে দ্রুত জলীয় বাষ্প শোষণ করে নিয়ে সম্পৃক্ত হতে চায়। ফলে শীতের দিনে ভিজা কাপড় তাড়াতাড়ি শুকায়।

গ. গরমের দিনে কুকুর জিহ্বা বের করে দৌড়ায়।

গরমের দিনে কুকুরের শরীর উত্তপ্ত থাকে এবং কুকুর অস্বস্তিবোধ করে। কিন্তু কুকুরের জিহ্বার ওপর এক প্রকার লালা থাকে। সেই লালা কুকুরের শরীর থেকে বাষ্পীভবনের সূপ্ত তাপ শোষণ করে এবং কুকুরের শরীর ঠাণ্ডা হয়। কুকুর স্বস্তি অনুভব করে। সেজন্য কুকুর জিহ্বা বের করে দৌড়ায়।

ঘ. ঘর্মাত্ত দেহে পাখার বাতাস লাগলে আরাম অনুভূত হয়।

ঘর্মাত্ত দেহ খুবই অস্বস্তিকর। শরীরের ধাম শরীর থেকে বাষ্পীভবনের সূপ্ত তাপ গ্রহণ করে বাষ্প হয়ে উবে যায়। পাখার বাতাস সেই গরম বাষ্পকে দূরীভূত করে। ফলে শরীর ঠাণ্ডা হয় এবং আরাম অনুভূত হয়।

ঙ. শীতকালে শৰীৱে ও ঠোট-মুখে পমেট বা হিসারিন লাগান হয়।

শীতকালে বাতাসে জলীয় বাষ্প থাকে না বললেই চলে। ফলে বাতাস জলীয় বাষ্প গ্ৰহণ কৰে সম্পৃক্ত হতে চায়। শৰীৱের ঠোট-মুখ অত্যন্ত নৱম। বাতাস শৰীৱের সেই অনাৰুত নৱম স্থান থেকে জলীয় বাষ্প শোষণ কৰে নেয়। ফলে ঠোট ও মুখের চামড়া শুকনা হয়ে চড়চড় কৰে এবং ফেটে যায়, সেজন্য পমেট বা হিসারিন লাগিয়ে চামড়াকে ভেজা রাখা হয়।

**১০.২০.৭ শিশিৱাঙ্ক এবং আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতাৰ সম্পৰ্ক
Relation between dew point and relative humidity**

শিশিৱাঙ্কেৰ সংজ্ঞা থেকে আমৱা আগেই জেনেছি যে তাপমাত্ৰায় কোনো নিৰ্দিষ্ট আয়তনেৰ বায়ুৰ মধ্যে অবস্থিত জলীয় বাষ্প দ্বাৰা সম্পৃক্ত হয়, সেই তাপমাত্ৰাই হলো শিশিৱাঙ্ক। অৰ্থাৎ জলীয় বাষ্প দ্বাৰা শিশিৱাঙ্কে ওই স্থানেৰ বায়ু সম্পৃক্ত হয়।

অপৱিদিকে বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত জলীয় বাষ্পেৰ পৱিমাণেৰ চেয়ে বায়ুমণ্ডলেৰ সম্পৃক্ততাৰ মাত্ৰা (অৰ্থাৎ বায়ুমণ্ডল কৰখানি শুক্র বা ভেজা) কৰখানি তাৰ দ্বাৰা আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা পৱিমাপ কৰা হয়।

গ্ৰেইসার-এৰ উপপাদ্যেৰ সাহায্যে শিশিৱাঙ্ক এবং আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতাৰ মধ্যে সম্পৰ্ক নিৰ্ণয় কৰতে পাৰি। মনে কৰি কোনো স্থানেৰ তাপমাত্ৰা θ_1 , এবং ওই একই স্থানে থাৰ্মোমিটাৱেৰ বাল্ব সিন্ক্তাবস্থায় তাপমাত্ৰা θ_2 , এবং ওই সময়েৰ শিশিৱাঙ্ক θ , তাহলে গ্ৰেসিয়াৱেৰ নিম্নোক্ত সূত্ৰানুসাৱে শিশিৱাঙ্ক (θ) নিৰ্ণয় কৰা যায়।

$$\theta_1 - \theta = G(\theta_1 - \theta_2) \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.39)$$

$$\text{বা, } -\theta = -\theta_1 + G(\theta_1 - \theta_2)$$

$$\text{বা, } \theta = \theta_1 - G(\theta_1 - \theta_2) \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.40)$$

এখানে $G = \theta_1^{\circ}\text{C}$ তাপমাত্ৰায় গ্ৰেসিয়াৱেৰ উৎপাদক বা ধ্ৰুবক (সাৱণি ১০.২)।

ৱেনোৱ তালিকা থেকে শিশিৱাঙ্ক 0°C তাপমাত্ৰায় প্ৰাপ্ত সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্প চাপ = f (সাৱণি ১০.৩)

আবাৱ বায়ুৰ তাপমাত্ৰা $\theta_1^{\circ}\text{C}$ তাপমাত্ৰায় প্ৰাপ্ত সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্প চাপ = F (সাৱণি ১০.৩)

শিশিৱাঙ্কে সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ
সংজ্ঞানুযায়ী আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা, $R = \frac{\text{বায়ুৰ তাপমাত্ৰায় সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ}}{\text{বায়ুৰ তাপমাত্ৰায় সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ}}$

$$\therefore R = \frac{f}{F}$$

আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতাকে শতকৰা হিসাবে প্ৰকাশ কৰলে

$$R = \frac{f}{F} \times 100\% \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.41)$$

ইহাই শিশিৱাঙ্ক এবং আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতাৰ মধ্যে সম্পৰ্ক।

**১০.২১ শিশিৱাঙ্ক ও আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা নিৰ্ণয়
Determination of dewpoint and relative humidity**

বায়ুৰ আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা নিৰ্ণয়েৰ জন্য যে যত্ন ব্যবহৃত হয় তাকে আৰ্দ্ধতামাপক যত্ন বা হাইগ্ৰোমিটাৱ (hygrometer) বলে। এখানে, *hygro* = wet এবং *metron* = measurement। আৰ্দ্ধতামাপক যত্নেৰ কাৰ্যপদ্ধতিৰ উপৰ ভিত্তি কৰে এদেৱকে চারটি শ্ৰেণিতে ভাগ কৰা যায়। যথা—(১) সিন্ক্ত ও শুক্র বলেৱ আৰ্দ্ধতামাপক যত্ন, (২) শিশিৱাঙ্ক আৰ্দ্ধতামাপক যত্ন, (৩) রাসায়নিক আৰ্দ্ধতামাপক যত্ন, (৪) কেশ আৰ্দ্ধতামাপক যত্ন।

এই অধ্যায়ে আমৱা আৰ্দ্ধ বা সিন্ক্ত ও শুক্র বাল্ব হাইগ্ৰোমিটাৱ-এৰ গঠন ও কাৰ্যপদ্ধতি আলোচনা কৰিব।

আৰ্দ্ধ বা সিন্ক্ত ও শুক্র বাল্ব হাইগ্ৰোমিটাৱ : এটি সৱল হাইগ্ৰোমিটাৱ। সাধাৱণত আবহাওয়া অফিস ও শিল্ৰ প্ৰতিষ্ঠানে এই প্ৰকাৱ যত্ন ব্যবহৃত হয়। এৱ সাহায্যে বায়ুৰ আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা সম্বন্ধে দৃত মোটায়ুটি ধাৱণা পাওয়া যায়। এছাড়া এই যত্নে আপেক্ষিক আৰ্দ্ধতা নিৰ্ভুলভাৱে পৱিমাপও কৰা যায়।

পানির বাষ্পীভবনের হার বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ওপর নির্ভরশীল—এই তথ্যের ওপর এই হাইগ্রোমিটারের কার্যপ্রণালি প্রতিষ্ঠিত। ১০.১৫নং চিত্রে একটি আর্দ্র ও শুক্র বাল্ব হাইগ্রোমিটারের প্রয়োজনীয় ব্যবস্থাপনা দেখানো হয়েছে।

যন্ত্রের বর্ণনা : এই যন্ত্রে দুটি একই প্রকার সাধারণ থার্মোমিটার T_1 ও T_2 একটি ফ্রেমে পাশাপাশি খাড়াভাবে আবদ্ধ থাকে। T_1 থার্মোমিটারের বাল্ব স্বাভাবিক অবস্থায় এবং T_2 থার্মোমিটারের বাল্ব এক টুকরা পরিষ্কার মসলিন কাপড়ে জড়িয়ে কাপড়ের অপর প্রান্ত সলিতার মত পাকানো অবস্থায় নিচের পাত্র A-এর পানিতে ডুবিয়ে রাখা হয়। কাপড় পাত্রের পানি শোষণ করে T_2 থার্মোমিটারের বাল্বকে সিক্ত রাখে। এই কারণে T_1 বাল্বকে শুক্র বাল্ব এবং T_2 বাল্বকে আর্দ্র বাল্ব বলা যায়।

ক্রিয়া : T_2 থার্মোমিটারের বাল্ব সিক্ত মসলিন কাপড়ে আবৃত থাকায় ওই বাল্ব হতে প্রয়োজনীয় তাপ সংগ্রহ করে পানি বাষ্পীভূত হবে এবং বাল্বের তাপমাত্রা ক্রমশ হ্রাস পাবে। ফলে বায়ুর তাপমাত্রা নির্দেশক T_1 থার্মোমিটারের পাঠ হতে T_2 থার্মোমিটারের পাঠের পার্থক্য ক্রমশ বৃদ্ধি পাবে। এক্ষেত্রে তিনটি ঘটনা লক্ষ করা যায়।

(১) বায়ু যত বেশি শুক্র হবে অর্ধাং বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা যত কম হবে বাষ্পায়ন তত দ্রুত হবে এবং T_1 ও T_2 থার্মোমিটারের পাঠের পার্থক্যও তত বেশি হবে।

(২) আবার বায়ুতে যত বেশি জলীয় বাষ্প থাকবে অর্ধাং বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা যত বেশি হবে, বাষ্পায়নের হার হ্রাস তত পাবে এবং সাথে সাথে T_1 ও T_2 থার্মোমিটারের পাঠের পার্থক্যও তত কম হবে।

(৩) বায়ুমণ্ডল জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হলে আপেক্ষিক আর্দ্রতা সবচেয়ে বেশি হয়। ফলে বাষ্পায়ন হয় না। এই অবস্থায় T_1 ও T_2 থার্মোমিটারের পাঠ সমান হয়।

সূতরাং দুই থার্মোমিটারের পাঠের পার্থক্য হতে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা সম্বন্ধে একটি মোটামুটি ধারণা পাওয়া যাবে। কোনো সময় শুক্র বাল্বের তাপমাত্রা $t_1^{\circ}\text{C}$ ও আর্দ্র বাল্বের তাপমাত্রা $t_2^{\circ}\text{C}$ হলে নিম্নলিখিত উপায়ে ওই সময়ের বায়ুর শিশিরাঙ্ক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা যাবে।

গ্রেইসার-এর সমীকরণের সাহায্যে শিশিরাঙ্ক নির্ণয়

গ্রেইসার-এর সমীকরণ অনুসারে,

$$t_1 = t + G(t_1 - t_2) \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.41)$$

এখানে, G = শুক্র বাল্বের তাপমাত্রায় গ্রেইসার-এর রাশি এবং $t^{\circ}\text{C}$ = বায়ুর শিশিরাঙ্ক।

শুক্র বাল্বের তাপমাত্রায় গ্রেইসার-এর রাশি G -এর মান জেনে ওপরের সমীকরণের সাহায্যে বায়ুর শিশিরাঙ্ক $t^{\circ}\text{C}$ জানা যাবে।

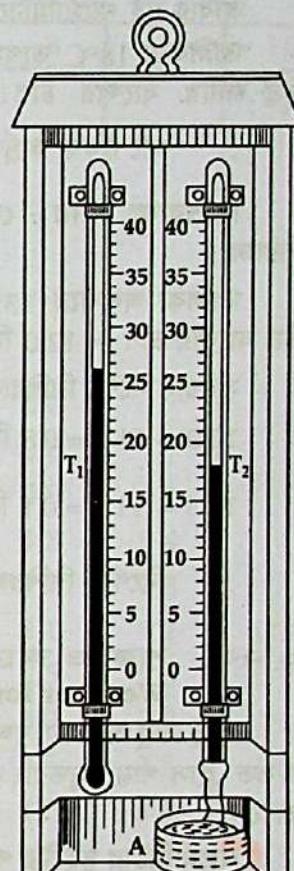
আপেক্ষিক আর্দ্রতা : ধরা যাক রেনোর বাষ্প চাপের তালিকায় $t^{\circ}\text{C}$ ও $t_1^{\circ}\text{C}$ তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ যথাক্রমে f ও F mm পারদ।

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

রেনোর সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্প চাপের তালিকাটি শুক্র বাল্বের তাপমাত্রা $t_1^{\circ}\text{C}$ এবং শুক্র এবং আর্দ্র বাল্বের তাপমাত্রার পার্থক্য $(t_1 - t_2)^{\circ}\text{C}$ -এর সাপেক্ষে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্প চাপ নির্দেশ করে প্রস্তুত করা হয়েছে। তালিকার ব্যবহার বিধি নিম্নের উদাহরণ হতে পরিষ্কার বুঝা যাবে।

আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় : আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংজ্ঞা ও সারণি (১০.৩) অনুসারে,

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা}, R = \frac{t_1^{\circ}\text{C}-\text{এর একই সমতায় } (t_1 - t_2)^{\circ}\text{C} \text{ চিহ্নিত সারিতে নির্দেশিত চাপ}}{t_1^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}} \times 100\%$$



চিত্র ১০.১৫

ধরা যাক কোনো এক সময় শুক্র ও আর্দ্র বাল্বের তাপমাত্রা যথাক্রমে 18°C ও 15°C ; তালিকা অনুসারে 18°C তাপমাত্রায় একই সমতায় দ্বিতীয় সারিতে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 15.5 মিমি. পারদ।

আবার দুই থার্মোমিটারের তাপমাত্রার পার্থক্য = $(18 - 15)^{\circ}\text{C} = 3^{\circ}\text{C}$

তালিকায় 18°C তাপমাত্রায় একই সমতায় 3°C পার্থক্য টিক্কিত সারিতে চাপ = 11.3 মিমি. পারদ = শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ।

$$\therefore \text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা}, R = \frac{11.3}{15.5} \times 100\% = 72.9\%$$

শিশিরাঙ্ক নির্ণয় : যে তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 11.3 মিমি. পারদ সেই তাপমাত্রাই নির্ণয় শিশিরাঙ্ক।

তালিকা অনুসারে 13°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 11.2 মিমি. পারদ; 14°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 12.0 মিমি. পারদ।

সূতরাং নির্ণয় শিশিরাঙ্ক 13°C ও 14°C -এর মাঝে হবে।

$$12.0 - 11.2 = 0.8 \text{ মিমি. পারদ চাপের পার্থক্যের জন্য তাপমাত্রা বৃদ্ধি} = (14 - 13)^{\circ}\text{C} = 1^{\circ}\text{C}$$

$$11.3 - 11.2 = 0.1 \text{ মিমি. পারদ চাপের পার্থক্যের জন্য তাপমাত্রা বৃদ্ধি} = 1 \times \left(\frac{0.1}{0.8}\right)^{\circ}\text{C} = 0.125^{\circ}\text{C}$$

$$\therefore \text{নির্ণয় শিশিরাঙ্ক}, t = 13^{\circ}\text{C} + 0.125^{\circ}\text{C} = 13.125^{\circ}\text{C}$$

১০.২২ শুক্র ও আর্দ্র বাল্ব হাইগ্রোমিটারের সাহায্যে আবহাওয়ার পূর্বাভাস Weather forecast by wet and dry bulb hygrometer

আর্দ্র বায়ু অপেক্ষা শুক্র বায়ুতে পানি দ্রুত বাস্তীভূত হয়। আবার বাস্তায়ন যত বেশি হয় আর্দ্র বাল্ব থার্মোমিটারের পাঠ তত হ্রাস পায়। সূতরাং আর্দ্র ও শুক্র বাল্ব থার্মোমিটারের পাঠের পার্থক্য লক্ষ করে আবহাওয়ার মোটামুটি পূর্বাভাস দেয়া যায়।

থার্মোমিটার দুইটির পাঠের পার্থক্য—

- (১) কম হলে পূর্বাভাসে আর্দ্র আবহাওয়া উল্লেখ করা যায়।
- (২) খুব বেশি হলে পূর্বাভাসে বলা যায় যে, আবহাওয়া শুক্র।
- (৩) ধীরে ধীরে কমতে থাকলে বলা যায় যে, বৃষ্টি হওয়ার সম্ভাবনা রয়েছে।
- (৪) হঠাত হ্রাস পেলে পূর্বাভাসে ঝড় হতে পারে উল্লেখ করা যায়।

সারণি ১০.২ : বিভিন্ন তাপমাত্রায় হেইসার-এর রাশির মান

শুক্র বাল্বের তাপমাত্রা ($^{\circ}\text{C}$)	হেইসারের রাশি G	শুক্র বাল্বের তাপমাত্রা ($^{\circ}\text{C}$)	হেইসারের রাশি G	শুক্র বাল্বের তাপমাত্রা ($^{\circ}\text{C}$)	হেইসারের রাশি G
4	7.82	16	1.87	28	1.67
5	7.28	17	1.85	29	1.66
6	6.62	18	1.83	30	1.65
7	5.77	19	1.81	31	1.64
8	4.92	20	1.79	32	1.63
9	4.04	21	1.77	33	1.62
10	2.06	22	1.75	34	1.61
11	2.02	23	1.74	35	1.60
12	1.99	24	1.72	36	1.59
13	1.95	25	1.70	37	1.58
14	1.92	26	1.69		
15	1.90	27	1.68		

সারণি ১০.৩ : রেনোর সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের তালিকা

$t_1^{\circ}\text{C}$	$(t_1 - t_2)^{\circ}\text{C}$										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	4.6	3.7	2.9	2.1	1.3						
1	4.9	4.1	3.2	2.4	1.6	0.8					
2	5.3	4.4	3.6	2.7	1.9	1.1	0.3				
3	5.7	4.8	3.9	3.1	2.2	1.4	0.6				
4	6.1	5.2	4.3	3.4	2.6	1.7	0.9	0.1			
5	6.5	5.6	4.7	3.8	2.9	2.1	1.2	0.4			
6	7.0	6.0	5.1	4.2	3.3	2.4	1.6	0.7			
7	7.5	6.5	5.5	4.6	3.7	2.8	1.9	1.1	0.2		
8	8.1	7.0	6.0	5.0	4.1	3.2	2.3	1.4	0.6		
9	8.6	7.5	6.5	5.5	4.5	3.6	2.7	1.8	0.9	0.1	
10	9.2	8.1	7.0	6.0	5.0	4.0	3.1	2.2	1.3	0.4	
11	9.9	8.7	7.6	6.5	5.5	4.5	3.5	2.6	1.7	0.8	
12	10.5	9.3	8.2	7.1	6.0	5.0	4.0	3.0	2.1	1.2	0.3
13	11.2	10.0	8.8	7.7	6.6	5.5	4.5	3.5	2.5	1.6	0.7
14	12.0	10.7	9.5	8.3	7.2	6.1	5.0	4.0	3.0	2.0	1.1
15	12.8	11.5	10.2	9.0	7.8	6.7	5.6	4.5	3.5	2.5	1.5
16	13.6	12.3	11.0	9.7	8.5	7.3	6.2	5.1	4.0	3.0	2.0
17	14.5	13.1	11.8	10.5	9.2	8.0	6.8	5.7	4.6	3.5	2.5
18	15.5	14.0	12.6	11.3	10.0	8.7	7.5	6.3	5.2	4.1	3.0
19	16.5	15.0	13.5	12.1	10.8	9.4	8.2	7.0	5.8	4.6	3.5
20	17.7	16.0	14.5	13.0	11.6	10.2	8.9	7.7	6.5	5.3	4.1

গাণিতিক উদাহরণ ১০.৫

১। কোনো একটি আবন্ধ স্থানের বায়ুর তাপমাত্রা 15°C ও শিশিরাঙ্ক 8°C । তাপমাত্রা কমে 10°C হলে পরিবর্তিত জলীয় বাষ্পের চাপ ও শিশিরাঙ্ক কত হবে ? [7°C ও 8°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ যথাক্রমে $7.5 \times 10^{-3} \text{ m}$ ও $8.1 \times 10^{-3} \text{ m}$ পারদ]

মনে করি 10°C ও 15°C তাপমাত্রায় ওই স্থানের অসম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ যথাক্রমে P_1 ও P_2 । তা হলে শিশিরাঙ্কের সংজ্ঞা অনুসারে, $P_2 = 15^{\circ}\text{C}$ তাপমাত্রায় অসম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 8°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = $8.1 \times 10^{-3} \text{ m}$ পারদ।

আবার স্থানটি আবন্ধ বলে বায়ুর আয়তন নির্দিষ্ট। কাজেই চাপের সূত্র অনুসারে আমরা পাই,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{273 + 10}{273 + 15} = \frac{283}{288}$$

$$\therefore \text{পরিবর্তিত জলীয় বাষ্পের চাপ}, P_1 = \frac{283}{288} \times P_2 = \frac{283}{288} \times 8.1 \times 10^{-3} \text{ m পারদ} = 7.96 \times 10^{-3} \text{ m পারদ}.$$

$$\text{মনে করি পরিবর্তিত শিশিরাঙ্ক} = t^{\circ}\text{C}$$

$$\therefore t^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্পের চাপ} = 7.96 \times 10^{-3} \text{ m পারদ}.$$

এখন প্রদত্ত রাশিগুলো হতে দেখা যাচ্ছে যে, $(8.1 - 7.5) \times 10^{-3} \text{ m পারদ} = 6 \times 10^{-4} \text{ m পারদ}$ চাপ বৃদ্ধির জন্য 7°C হতে তাপমাত্রা বৃদ্ধি = $(8 - 7)^{\circ}\text{C} = 1^{\circ}\text{C}$

$$(7.96 - 7.5) \times 10^{-3} \text{ m পারদ} = 0.46 \times 10^{-3} \text{ m পারদ} \text{ চাপ বৃদ্ধির জন্য } 7^{\circ}\text{C} \text{ হতে তাপমাত্রা বৃদ্ধি} = \frac{1}{0.6} \times 0.46 = 0.766^{\circ}\text{C}$$

$$\therefore \text{পরিবর্তিত শিশিরাঙ্ক} = (7 + 0.766)^{\circ}\text{C} = 7.766^{\circ}\text{C}$$

২। কোনো একদিন বায়ুর তাপমাত্রা 26°C এবং শিশিরাঙ্ক 20.4°C । আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় কর। 20°C , 22°C এবং 26°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ যথাক্রমে 17.54 , 19.83 এবং 25.21 mm পারদ চাপ।

[ব. বো. ২০১০, ২০০৩; য. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০৬; সি. বো. ২০০৮; কু. বো. ২০০১]

$$(22 - 20)^{\circ}\text{C} = 2^{\circ}\text{C}-এর জন্য সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের বৃদ্ধি \\ = (19.83 - 17.54) \text{ mmHg} = 2.29 \text{ mmHg}$$

$$\therefore (20.4 - 20)^{\circ}\text{C} = 0.4^{\circ}\text{C}-এর জন্য সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ বৃদ্ধি$$

$$= \frac{2.29 \times 0.4}{2} \text{ mmHg} = 0.458 \text{ mmHg}$$

\therefore শিশিরাঙ্ক 20.4°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ, $f = (17.54 + 0.458) \text{ mmHg} = 17.998 \text{ mm Hg}$
আবার, 26°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ, $F = 25.21 \text{ mmHg}$

আমরা জানি, আপেক্ষিক আর্দ্রতা,

$$R = \frac{f}{F} \times 100\% = \frac{17.998}{25.21} \times 100\% = 71.39\%$$

৩। কোনো একদিন সিক্ত ও শুক্র বাল্ব আর্দ্রতামাপক যন্ত্রের শুক্র বাল্বের পাঠ 30°C এবং সিক্ত বাল্বের পাঠ 28°C । আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় কর। 30°C -এ গ্রেইসারের উৎপাদক 1.65 এবং 26°C , 28°C এবং 30°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ যথাক্রমে $25.25 \times 10^{-3} \text{ m}$, $28.45 \times 10^{-3} \text{ m}$ এবং $31.85 \times 10^{-3} \text{ m}$ পারদ চাপ।

[চ. বো. ২০১১; রা. বো. ২০০০]

আমরা জানি,

$$t_1 = t + G(t_1 - t_2)$$

$$\text{বা, } t = t_1 - G(t_1 - t_2)$$

$$= 30 - 1.65(30 - 28) = 26.7^{\circ}\text{C}$$

\therefore আপেক্ষিক আর্দ্রতা,

$$R = \frac{26.7^{\circ}\text{C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ}}{30^{\circ}\text{C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ}} \times 100\%$$

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

$$= \frac{26.37 \times 10^{-3}}{31.85 \times 10^{-3}} \times 100\% = 82.79\%$$

এখানে,

$$t_1 = 30^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 28^{\circ}\text{C}$$

$$G = 1.65$$

এখানে,

$$\text{শিশিরাঙ্ক সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ,}$$

$$f = 26.37 \times 10^{-3} \text{ m পারদ চাপ}$$

৪। কোন স্থানের বায়ুর তাপমাত্রা 26°C এবং আপেক্ষিক আর্দ্রতা 70% । যদি সে স্থানের তাপমাত্রা কমে 18°C হয়, তবে বায়ুস্থিত জলীয় বাষ্পের কত শতাংশ ঘনীভূত হয়ে তরল পানি হবে? [26°C এবং 18°C -এ সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ যথাক্রমে 25.21 mm এবং 15.48 mm পারদ স্তম্ভের সমান।] [BUET Admission Test, 2017-18]

$$R = \frac{26^{\circ}\text{C তাপমাত্রায় বায়ুতে বিদ্যমান জলীয় বাষ্পের চাপ}}{26^{\circ}\text{C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}$$

$$0.7 = \frac{26^{\circ}\text{C তাপমাত্রায় বায়ুতে বিদ্যমান জলীয় বাষ্পের চাপ}}{25.21}$$

$$\therefore 26^{\circ}\text{C তাপমাত্রায় বায়ুতে বিদ্যমান জলীয় বাষ্পের চাপ} = 0.7 \times 25.21 = 17.65 \text{ mm Hg}$$

আবার জলীয় বাষ্পের চাপ জলীয় বাষ্পের ভরের সমানুপাতিক।

$$\therefore 26^{\circ}\text{C তাপমাত্রায় উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর} = 17.65 \times \text{Kgm}$$

এখানে, K সমানুপাতিক ধ্রুবক।

তাপমাত্রা কমে 18°C এ আসলে কিছু পরিমাণ জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হবে এবং বায়ু অবশিষ্ট বাষ্প দিয়ে সম্পৃক্ত থাকবে।

$$18^{\circ}\text{C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ} = 15.48 \text{ mm Hg}$$

$$18^{\circ}\text{C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের ভর} = 15.48 \text{ K gm}$$

$$\therefore \text{ঘনীভূত জলীয় বাষ্পের পরিমাণ} = (17.65 - 15.48) \text{ K gm} = 2.17 \text{ Kgm}$$

$$\text{ঘনীভূত জলীয় বাষ্পের শতকরা পরিমাণ} \frac{2.17 \text{ Kgm}}{17.15 \text{ Kgm}} \times 100\% = 12.29\%$$

৫। একটি ঘরের পরিমাপ $20 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ । 20° C তাপমাত্রায় আপেক্ষিক আর্দ্রতা 10% থেকে বাড়িয়ে 70% করতে কতটুকু পানি বাষ্পীভূত হওয়া প্রয়োজন? 20° C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব = $17.3 \times 10^{-6} \text{ gm/cc}$ ।

আমরা জানি, আপেক্ষিক আর্দ্রতা

$$R = \frac{t^\circ \text{ C তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর}{t^\circ \text{ C তাপমাত্রায় ওই আয়তনের বায়ুকে সম্পৃক্ত করতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভর}$$

$$\text{বা, } R = \frac{t^\circ \text{ C তাপমাত্রায় উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব}}{t^\circ \text{ C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব}}$$

$\therefore 20^\circ \text{ C তাপমাত্রায় বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব},$

$$\begin{aligned} \rho_1 &= R \times 20^\circ \text{ C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব} \\ &= \frac{10}{100} \times 17.3 \times 10^{-6} = 1.73 \times 10^{-6} \text{ gm/cc} \end{aligned}$$

\therefore আপেক্ষিক আর্দ্রতা 70% হলে জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব,

$$\rho_2 = \frac{70}{100} \times 17.3 \times 10^{-6} = 7 \times 1.73 \times 10^{-6} \text{ gm/cc}$$

সূতরাং, পানি বাষ্পীভূত হওয়ায় জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব বৃদ্ধি = $\rho_2 - \rho_1$

$$= 7 \times 1.73 \times 10^{-6} - 1.73 \times 10^{-6} = 6 \times 1.73 \times 10^{-6} \text{ gm/cc}$$

এখন ঘরের আয়তন = $20 \times 10 \times 4 = 800 \text{ m}^3 = 8 \times 10^8 \text{ cc}$

\therefore বাষ্পীভূত পানির ভর = $8 \times 10^8 \times 6 \times 1.73 \times 10^{-6} = 8304 \text{ gm} = 8.304 \text{ kg}$

৬। একটি এয়ার কনডিশনার (Air conditioner) 40° C তাপমাত্রা এবং 80% আপেক্ষিক আর্দ্রতাবিশিষ্ট বাইরের বায়ু ভেতরে টেনে 20° C তাপমাত্রা এবং 50% আপেক্ষিক আর্দ্রতার বাতাসে পরিণত করে। এক্ষেত্রে প্রতি ঘন মিটারে কতটা জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হবে নির্ণয় কর। 40° C ও 20° C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব যথাক্রমে 45 gm^{-3} এবং 17 gm^{-3} ।

আমরা জানি,

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা, } R = \frac{t^\circ \text{ C তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে জলীয় বাষ্পের ভর}}{t^\circ \text{ C তাপমাত্রায় ওই আয়তনের সম্পৃক্ত বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর}$$

$$\text{বা, } \frac{80}{100} = \frac{t^\circ \text{ C তাপমাত্রায় } 1 \text{ m}^3 \text{ বায়ুতে জলীয় বাষ্পের ভর}}{40^\circ \text{ C তাপমাত্রায় } 1 \text{ m}^3 \text{ সম্পৃক্ত বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর}}$$

$$\text{বা, } 0.8 = \frac{40^\circ \text{ C তাপমাত্রায় } 1 \text{ m}^3 \text{ বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর}}{45}$$

$\therefore 40^\circ \text{ C তাপমাত্রায় } 1 \text{ m}^3 \text{ বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর} = 0.8 \times 45 = 36.0 \text{ g}$

অনুরূপভাবে 20° C তাপমাত্রায় 50% আপেক্ষিক আর্দ্রতা বিশিষ্ট 1 m^3 বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর = $0.5 \times 17 = 8.5 \text{ g}$

$\therefore 1 \text{ m}^3 \text{ বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের ভর} = 36.0 - 8.5 = 27.5 \text{ g}$

৭। 20° C তাপমাত্রায় আপেক্ষিক আর্দ্রতা 50% হলে শিশিরাঙ্ক কত? দেওয়া আছে, 20° C , 10° C এবং 9° C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ যথাক্রমে 17.5 mm , 9.2 mm এবং 8.6 mm Hg ।

20° C তাপমাত্রায় বাতাসে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের চাপ,

$$P = \frac{50}{100} \times 17.5 = 8.75 \text{ mm Hg}$$

কাজেই যে তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ 8.75 mm Hg , সেই তাপমাত্রাই শিশিরাঙ্ক।

এখন, 9° C থেকে 10° C তাপমাত্রা পরিবর্তনে অর্ধাং

$1^\circ \text{ C তাপমাত্রা পরিবর্তনে সম্পৃক্ত বাষ্পচাপের পরিবর্তন} = 9.2 - 8.6 = 0.6 \text{ mm}$

$\therefore 0.6 \text{ mm সম্পৃক্ত বাষ্পচাপের পরিবর্তনের জন্য তাপমাত্রা পার্থক্য} = 1^\circ \text{ C}$

$$0.45 \text{ mm সম্পৃক্ত বাষ্পচাপের পরিবর্তনের জন্য তাপমাত্রার পার্থক্য} = \frac{1 \times 0.45}{0.6} = 0.75^\circ \text{ C}$$

\therefore নির্ণেয় শিশিরাঙ্ক = $10^\circ \text{ C} - 0.75^\circ \text{ C} = 9.25^\circ \text{ C}$

১০.২৩ ব্যবহারিক Experimental

পরীক্ষণের নাম :	নিউটনের শীতলীকরণ সূত্রের সাহায্যে তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়
পরিয়ড : ২	Determination of specific heat of a liquid by Newton's law of cooling

মূলত্ব (Theory) : কোনো একটি পদার্থের একক ভরের তাপমাত্রা এক ডিগ্রি হ্রাস বা বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হয়, তাকে ওই পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলে। একে S দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

একই পরিবেশে কোনো একটি পদার্থের তাপ হারাবার হার ওই পদার্থের তাপমাত্রা এবং তার পারিপার্শ্বিকের তাপমাত্রার পার্থক্যের সমানুপাতিক। এটিই হলো শীতলীকরণ পদ্ধতির মূলনীতি। পদার্থের তাপমাত্রা এবং পারিপার্শ্বিকের তাপমাত্রার পার্থক্য অবশ্যই কম হতে হবে।

মনে করি,

নাড়নীসহ ক্যালরিমিটারের পানি সম = $W \text{ kg}$

ক্যালরিমিটারে পরীক্ষণীয় তরলের ভর = $M \text{ kg}$

তরলের আপেক্ষিক তাপ = $S \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

তরলের তাপমাত্রা θ_1 ° হতে θ_2 °-তে শীতল হতে সময় = $t_1 \text{ sec}$

তরলের সম-আয়তনের পানির ভর = $m_1 \text{ kg}$

পানির আপেক্ষিক তাপ = $S_1 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

পানির তাপমাত্রা θ_1 ° হতে θ_2 °-তে শীতল হতে সময় = $t_2 \text{ sec}$

$$\text{অতএব, তরলের তাপ হারাবার হার} = \frac{(MS + W)(\theta_1 - \theta_2)}{t_1} \text{ JS}^{-1} \dots \dots \quad (i)$$

$$\text{এবং পানির তাপ হারাবার হার} = \frac{(m_1 S_1 + W)(\theta_1 - \theta_2)}{t_2} \text{ JS}^{-1} \dots \dots \quad (ii)$$

নিউটনের শীতলীকরণ সূত্র অনুসারে এই দুই ক্ষেত্রের তাপ হারাবার হার সমান।

$$\therefore \frac{(MS + W)(\theta_1 - \theta_2)}{t_1} \text{ JS}^{-1} = \frac{(m_1 S_1 + W)(\theta_1 - \theta_2)}{t_2} \text{ JS}^{-1}$$

$$\text{বা, } \frac{(MS + W)(\theta_1 - \theta_2)}{t_1} = \frac{(m_1 S_1 + W)(\theta_1 - \theta_2)}{t_2}$$

$$\text{বা, } S = \frac{1}{M} \left[\frac{(m_1 S_1 + W)t_1}{t_2} - W \right]$$

$$\text{বা, } S = \frac{1}{M} \left\{ \frac{t_1}{t_2} (m_1 S_1 + W) - W \right\} \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \dots \dots \quad (iii)$$

এখন M, m_1, S_1, W, t_1 এবং t_2 -এর মান সমীকরণ (iii)-এ বসিয়ে S -এর মান বের করা যায়।

যন্ত্রপাতি (Apparatus) : (১) নাড়নীসহ ক্যালরিমিটার, (২) দুই দেয়ালবিশিষ্ট একটি প্রকোষ্ঠ, (৩) সুবেদী থার্মোমিটার, (৪) নিঙ্কি, (৫) বার্নার, (৬) স্টপ-ওয়াচ ইত্যাদি।

কার্যপদ্ধতি (Working procedure) :

(১) নাড়নীসহ একটি পরিষ্কার ও শুক্ষ ক্যালরিমিটার নিয়ে ওজন করা হয়। ক্যালরিমিটারের ভেতরের দেয়ালে এর তলদেশ হতে তিন-চতুর্থাংশ ওপরে একটি দাগ দেয়া হয়।

(২) অতঃপর অন্য একটি পাত্রে 70°C থেকে 75°C তাপমাত্রায় পানি গরম করে ওই তাপমাত্রার পানি ক্যালরিমিটারের এই দাগ পর্যন্ত ঢালা হয় এবং গরম পানিসহ ক্যালরিমিটারটিকে দুই দেয়ালবিশিষ্ট প্রকোষ্ঠের মধ্যে স্থাপন করা হয়।

(৩) এরপর নাড়নী দ্বারা পানি আস্তে আস্তে নাড়া হয় এবং এক মিনিট পর পর থার্মোমিটারের সাহায্যে পানির তাপমাত্রা গ্রহণ করা হয়। পানির তাপমাত্রা কম্ফ তাপমাত্রা অপেক্ষা বেশি হওয়ায় তা ক্রমশ তাপ হারিয়ে শীতল হবে। এভাবে 20 থেকে 25টি পাঠ নিয়ে পানিসহ ক্যালরিমিটার ওজন করা হয়। এই দুই ওজনের পার্থক্য হতে পানির ভর নির্ণয় করা হয়।

(৪) এখন ক্যালরিমিটার হতে পানি ফেলে দেয়া হয় এবং একে পরিষ্কার ও শুক্র করে অন্য একটি পাত্রে 70°C থেকে 75°C তাপমাত্রায় গরম করা পরীক্ষাধীন তরল পদার্থ দিয়ে ক্যালরিমিটারের সেই দাগ পর্যন্ত ভর্তি করা হয় এবং তরলসহ ক্যালরিমিটারটিকে প্রকোষ্ঠের মধ্যে স্থাপন করা হয়।

(৫) এবার তরল পদার্থটিকে আস্তে আস্তে নাড়া হয় এবং পদ্ধতি (৩)-এর অনুরূপ এক মিনিট পরপর এর তাপমাত্রার পাঠ নেয়া হয়। এভাবে 20—25টি পাঠ নেয়ার পরে তরলসহ ক্যালরিমিটারের ওজন গ্রহণ করা হয়। তৃতীয় এবং প্রথম ওজনের পার্থক্য হতে তরলের ভর নির্ণয় করা হয়।

(৬) সময়কে X অঙ্কে এবং তাপমাত্রাকে Y অঙ্কে স্থাপন করে একটি ছক কাগজে দুটি সমতাপমাত্রা লেখচিত্র অঙ্কন করা হয়। প্রাপ্ত এই দুটি রেখাকে শীতলীকরণ রেখা বলা হয়। অঙ্কিত লেখচিত্র হতে তরল পদার্থ ও পানির কোনো একটি তাপমাত্রা 0_1°C হতে 0_2°C -এ শীতল হতে কত সময়ের প্রয়োজন হয় তা নির্ণয় করা হয়। লেখচিত্রের 0_1°C ও 0_2°C তাপমাত্রায় সময় অঙ্কের সমান্তরালে দুটি সরলরেখা AB ও CD টানা হয় এবং 0_1°C হতে 0_2°C পর্যন্ত শীতল হতে পানির সময় t_1 ও তরলের সময় t_2 বের করা হয়।

পর্যবেক্ষণ ও সন্নিবেশন (Observation and Manipulation) :

পর্যবেক্ষণ ছক—1 (পানি ও তরলের ভর নির্ণয়ের জন্য)

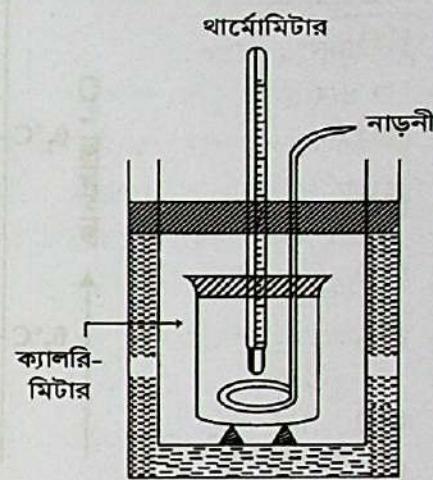
পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ক্যালরিমিটারসহ নাড়নীর ভর = $W_1 \text{ kg}$	(ক্যালরিমিটার + নাড়নী + পানি) এর ভর = $W_2 \text{ kg}$	(ক্যালরিমিটার + নাড়নী + তরল) এর ভর = $W_3 \text{ kg}$	পানির ভর $m_1 =$ $(W_2 - W_1) \text{ kg}$	তরলের ভর $M = (W_3 - W_1) \text{ kg}$
1

$$\text{ক্যালরিমিটারের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ} = S' \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\therefore \text{ক্যালরিমিটারের পানিসম}, W = W_1 \times S' \text{ kg}$$

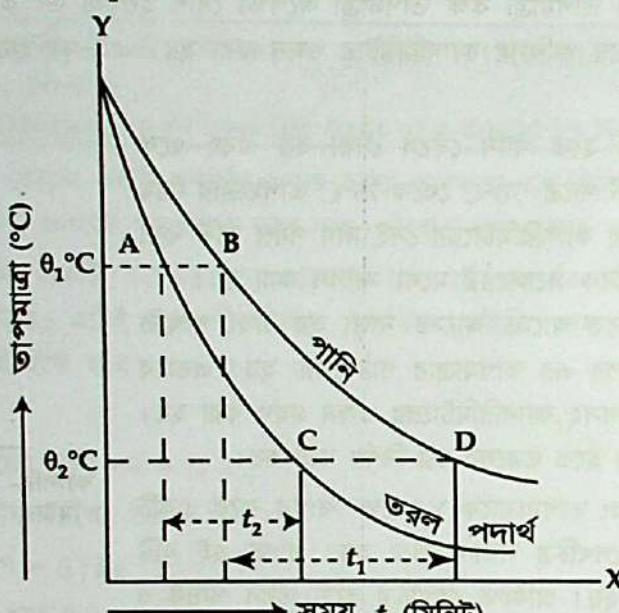
পর্যবেক্ষণ ছক—2 (সময়-তাপমাত্রার পাঠ)

সময় মিনিট													
পানির তাপ- মাত্রা ($^{\circ}\text{C}$)													
তরলের তাপ- মাত্রা ($^{\circ}\text{C}$)													



চিত্র : ১০-১৬

লেখচিত্র হতে : $\theta_1^{\circ}\text{C}$ হতে $\theta_2^{\circ}\text{C}$ -এ শীতল হতে পদস্ত তরলের প্রয়োজনীয় সময় = ... t_1 মিনিট
 $\theta_1^{\circ}\text{C}$ হতে $\theta_2^{\circ}\text{C}$ -এ শীতল হতে পানির প্রয়োজনীয় সময় = ... t_2 মিনিট



চিত্র ১০.১৭

হিসাব বা গণনা (Calculation) : $S = \frac{1}{M} \left\{ \frac{t_1}{t_2} (m_1 S_1 + W) - W \right\}$

ফলাফল (Result) : পদস্ত তরলের নির্ণেয় আপেক্ষিক তাপ, $S = \dots \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$

সতর্কতা (Precautions) :

- (১) ক্যালরিমিটার পরিষ্কার ও শুক্ষ হওয়া উচিত।
- (২) ওজন নির্ভুল হওয়া উচিত।
- (৩) তাপমাত্রা সঠিকভাবে পরিমাপ করা উচিত।
- (৪) সময়ের পাঠ নির্ভুল হওয়া উচিত।

আলোচনা (Discussions) :

- (১) ক্যালরিমিটার পরিষ্কার ও শুক্ষ, ওজন নির্ভুল, তাপমাত্রার পাঠ সঠিক এবং সময়ের পাঠ নির্ভুল না হলে পরীক্ষার ফলাফল সঠিক হবে না।
- (২) সম আয়তনের তরল পদার্থ ও পানি না নিলে ফলাফল ভুল হবে।
- (৩) ক্যালরিমিটারের তলদেশ কালো করা হয়। ফলে এর তাপ বিকিরণ করার ক্ষমতা বেড়ে যায়।
- (৪) কোনো উদ্বায়ী তরল নেয়া উচিত হবে না।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$$PV = \text{ধ্রুক} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (1)$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (2)$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (3)$$

$$PV = nRT \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (4)$$

$$n = \frac{m}{M} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (5)$$

$$PV = \frac{1}{3} mnc^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (6)$$

$$P = \frac{1}{3} \rho c^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (7)$$

২। লিটন হিলিয়াম গ্যাসকে আদর্শ গ্যাস ধরে গড় গতিশক্তি নির্ণয় করল $1.6 \times 10^{-20} \text{ J}$ যেখানে বোলজ্ম্যান ধ্রুবক; $K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ ।

(ক) আদর্শ গ্যাসের তাপমাত্রা কত?

(খ) হিলিয়াম গ্যাসের তাপমাত্রা দিগুণ হলে অণুগুলোর গড় গতিশক্তি কি দিগুণ হবে? না হলে তা ব্যাখ্যা কর।

(ক) হিলিয়াম গ্যাসের গতিশক্তি

$$E = \frac{3}{2} KT$$

$$\text{বা, } 1.6 \times 10^{-20} = \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times T$$

$$\therefore T = \frac{2}{3} \times \frac{1.6 \times 10^{-20}}{1.38 \times 10^{-23}} = 772.95 \text{ K}$$

$$= 500^{\circ}\text{C}$$

এখানে,

$$K = \text{বোলজ্ম্যান ধ্রুবক} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$$

$$E = \text{গতিশক্তি} = 1.6 \times 10^{-20} \text{ J}$$

$$T = \text{পরম তাপমাত্রা} = ?$$

(খ) হিলিয়াম গ্যাসের তাপমাত্রা দিগুণ হলে অণুগুলোর গড় গতিশক্তিও দিগুণ হবে। (ক) থেকে প্রাপ্ত হিলিয়াম গ্যাসের তাপমাত্রা 500°C । এই তাপমাত্রার জন্য এর অণুগুলোর গড় গতিশক্তি ছিল $1.6 \times 10^{-20} \text{ J}$ ।

$$\text{আবার, } E' = \frac{3}{2} KT'$$

$$= \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 1273$$

$$= 2.635 \times 10^{-20} \text{ J}; \text{ অর্থাৎ } E' < 2E$$

এখানে

$$T' = 500 \times 2 = 1000^{\circ}\text{C}$$

$$= (1000 + 273) \text{ K} = 1273 \text{ K}$$

যেহেতু কোনো গ্যাসের অণুর গড় গতিশক্তি এর পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক; অর্থাৎ তাপমাত্রা বেড়ে গেলে গড় গতিশক্তিও বেড়ে যায়। হিলিয়াম গ্যাসের তাপমাত্রা দিগুণ হলে এর অণুগুলোর গতিশক্তিও দিগুণ হওয়া উচিত। কিন্তু যেহেতু হিলিয়াম গ্যাস আদর্শ গ্যাস নয়, সূতরাং গতিশক্তি সমান হারে বৃদ্ধি পায় না। নিম্নচাপ ও উচ্চ তাপমাত্রায় একটি বাস্তব গ্যাস আদর্শ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে।

৩। গ্যাস ভর্তি একটি বেলুনকে 40.81 m গভীরতায় পানির তলদেশে নিয়ে যাওয়ায় এর আয়তন 1 লিটার ধারণ করল। পানির তলদেশে ওই বেলুনে আরো 1 লিটার গ্যাস ভর্তি করে ছেড়ে দেওয়া হলো। বায়ুমন্ডলের চাপ 10^5 Nm^{-2} , পানির ঘনত্ব 10^3 kgm^{-3} এবং $g = 9.804 \text{ ms}^{-2}$ ।

(ক) পানিতে নিমজ্জনের পূর্বে উদ্ধীপকের বেলুনের আয়তন কত ছিল?

(খ) যদি বেলুনটির গ্যাস ধারণ ক্ষমতা 9 লিটার হয়, তা হলে পানির উপরিতলে বেলুনটি অক্ষত অবস্থায় পৌঁছাবে কি? বিশ্লেষণপূর্বক মতামত দাও।

(ক) মনে করি, h গভীরতায় চাপ P_1

এবং তুলের উপরিতলে আয়তন V_2

আমরা জানি, $P_1 = P_2 + h\rho g$

আবার,

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$\text{বা, } V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{(P_2 + h\rho g)V_1}{P_2}$$

$$= \frac{(P_2 + h\rho g) \times 1}{P_2}$$

$$= \frac{10^5 + 40.81 \times 10^3 \times 9.804}{10^5}$$

$$= \frac{10^5 + 4 \times 10^5}{10^5} = 5 \text{ লিটার}$$

এখানে,

$$h = 40.81 \text{ m}$$

$$\text{পানির তলদেশে, } V_1 = 1 \text{ লিটার}$$

$$\text{উপরিতলে চাপ, } P_2 = 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

$$\text{ঘনত্ব, } \rho = 10^3 \text{ kgm}^{-3}$$

$$g = 9.804 \text{ ms}^{-2}$$

$$\text{নিমজ্জনের পূর্বে বেলুনের}$$

$$\text{আয়তন, } V_2 = ?$$

(খ) এখন, পানির তলদেশে আরও 1 লিটার বায়ু প্রবেশ করানোর ফলে পরিবর্তিত আয়তন $V'_1 = 1 + 1 = 2$ লিটার

$$P_1 V'_1 = P_2 V'_2$$

$$\therefore (P_2 + h\rho g) \times 2 = P_2 V'_2$$

$$\text{বা, } V'_2 = \frac{2 \times (10^5 + 40.81 \times 10^3 \times 9.804)}{10^5} = 10 \text{ লিটার}$$

এই যান বেলুনের সর্বোচ্চ ধারণ ক্ষমতা 9 লিটার অপেক্ষা বেশি। সূতরাং, বেলুনটি ফেটে যাবে। অর্থাৎ বেলুনটি অক্ষত থাকবে না।

৪। আবির পদাৰ্থবিজ্ঞান ল্যাবে $5.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ আয়তনের 3 g নাইট্রোজেন গ্যাসকে 0.64 m পারদ স্তম্ভ চাপ ও 39°C তাপমাত্রা থেকে প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় রূপান্তর কৰল। এতে গ্যাসের আয়তন ও গতিশক্তি উভয়ই পরিবর্তন হলো। নেহাল বলল গ্যাসের আয়তন ও গতিশক্তি উভয়ই হ্রাস পেয়েছে। নাইট্রোজেনের গ্রাম আণবিক ভৱ 28 g এবং $R = 8.31 \text{ JK}^{-1}\text{mole}^{-1}$

[সি. বো. ২০১৫]

(ক) প্রমাণ চাপ ও তাপমাত্রায় গ্যাসটির আয়তন নির্ণয় কৰ।

(খ) নেহালের বক্তব্য কী সঠিক ছিল? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মতামত দাও।

(ক) আমরা জানি,

$$\begin{aligned} \frac{P_1 V_1}{T_1} &= \frac{P_2 V_2}{T_2} \\ \therefore V_2 &= \frac{P_1 V_1 T_2}{P_2 T_1} \\ &= \frac{0.64 \times 5.7 \times 10^{-4} \times 273}{0.76 \times 312} \\ &= 4.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

(খ) যেহেতু $4.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3 < 5.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

সুতরাং গ্যাসটির আয়তন হ্রাস পেয়েছে।

$$T \text{ পরম তাপমাত্রায় } n \text{ মোল গ্যাসের গতিশক্তি}, E = \frac{3}{2} nRT$$

$$\text{আবার, } E_1 = \frac{3}{2} \times 0.107 \times 8.31 \times 312 = 416.13 \text{ J}$$

$$\text{এবং } E_2 = \frac{3}{2} \times 0.107 \times 8.31 \times 273 = 364.6 \text{ J}$$

গাণিতিকভাবে দেখা যায় যে, তাপমাত্রা 39°C বা 312 K থেকে প্রমাণ তাপমাত্রা বা 273 K এ হ্রাস করলে গতিশক্তি ও হ্রাস পাবে।

n (মোল সংখ্যা) অপরিবর্তিত থাকলে $E \propto T$

উদ্দীপকের ঘটনায় গ্যাসের ভৱ তথা মোল সংখ্যা n , অপরিবর্তিত।

সুতরাং পরম তাপমাত্রা হ্রাসে গতিশক্তি ও হ্রাস পাবে; অর্থাৎ নেহালের বক্তব্য সঠিক।

৫। একজন আবহাওয়াবিদ দৈনিক প্রতিবেদন তৈরির জন্য কোনো একদিন ঢাকা ও রাজশাহীতে স্থাপিত দুটি শুক্র ও সিঙ্গ (আর্দ্র) বালব আর্দ্রতামাপক যন্ত্রের মাধ্যমে নিচের উপাত্তগুলো সংগৃহ করলেন।

স্থান	শুক্র বালব থার্মোমিটারের পাঠ	সিঙ্গ (আর্দ্র) বালব থার্মোমিটার পাঠ	বায়ুর তাপমাত্রায় ফ্রেসিয়ারের উৎপাদন
ঢাকা	28.6°C	20°C	1.664
রাজশাহী	32.5°C	22°C	1.625

[14°C, 16°C, 28°C, 30°C, 32°C, 34°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাল্পচাপ যথাক্রমে 11.99, 13.63, 28.35, 31.83, 35.66 এবং 39.90 mmHg]

(ক) ওই দিন ঢাকার শিশিরাঙ্ক কত ছিল?

(খ) উপরোক্ত তথ্য মতে কোনো ব্যক্তি কোথায় অধিকতর বস্তিবোধ করবেন? গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কৰ।

(ক) আমরা জানি, শিশিরাঙ্ক 0 হলে,

$$\begin{aligned} 0 &= \theta_1 - G(\theta_1 - \theta_2) \\ &= 28.6°C - 1.664(28.6 - 20) \\ &= 14.29°C \end{aligned}$$

∴ ওই দিন ঢাকার শিশিরাঙ্ক $14.29°C$

দেওয়া আছে,

ঢাকায় শুক্র বাল্পের তাপমাত্রা, $\theta_1 = 28.6°C$

এবং আর্দ্র বাল্পের তাপমাত্রা, $\theta_2 = 20°C$

বায়ুর তাপমাত্রায় ফ্রেসিয়ারের উৎপাদক, $G = 1.664$

(খ) ঢাকায় শিশিৱাঙ্গে সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ,

$$f = 14^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্রায় চাপ} + 0.29^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্রায় চাপ}$$

$$= 11.99 + \left(\frac{13.63 - 11.99}{2} \right) \times 0.29$$

$$= 12.228 \text{ mmHgP}$$

এবং বায়ুর তাপমাত্রায় 28.6°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ,

$$F = 28^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্রায় বাষ্পচাপ} + 0.6^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্রায় বাষ্পচাপ}$$

$$= 28.35 + \left(\frac{31.83 - 28.35}{2} \right) \times 0.6 = 29.394 \text{ mmHgP}$$

$$\therefore \text{ঢাকায় আপেক্ষিক আর্দ্রতা}, R = \frac{f}{F} = \frac{12.228}{29.394} \times 100\% = 41.6\%$$

রাজশাহীতে শিশিৱাঙ্গ, $\theta = \theta_1 - G(\theta_1 - \theta_2) = 32.5 - 1.625 (32.5 - 22) = 15.44^{\circ}\text{C}$

রাজশাহীতে শিশিৱাঙ্গে বা 15.44°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ,

$$f' = 14^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্রায় বাষ্পচাপ} + 1.44^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্রায় বাষ্পচাপ}$$

$$f' = 11.97 + \left(\frac{13.63 - 11.99}{2} \right) \times 1.44$$

$$= 13.17 \text{ mmHgP}$$

এবং বায়ুর তাপমাত্রায় বা 32.5°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ,

$$F' = 35.66 + \frac{(39.90 - 35.66) \times 0.5}{2} = 36.72 \text{ mmHgP}$$

$$\therefore \text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা}, R' = \frac{f'}{F'} \times 100\% = \frac{13.17}{36.72} \times 100\% = 35.87\%$$

যেহেতু $35.87\% < 41.6\%$ কাজেই রাজশাহীতে আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম হওয়ায় ওই ব্যক্তি রাজশাহীতে অধিকতর বস্তিবোধ করবেন।

৬। একটি গ্যাস সিলিভারের আয়তন 1.5 m^3 । সিলিভারটিতে 27°C তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের 30×10^{25} টি অণু আবদ্ধ আছে। গ্যাস অণুর ব্যাস $25 \times 10^{-10} \text{ m}$ । পরবর্তীতে উক্ত গ্যাসপূর্ণ সিলিভারটি সম আয়তনের অপর একটি খালি সিলিভারের সাথে যুক্ত করা হলো।

(ক) সিলিভারে আবদ্ধ গ্যাসের গতিশক্তি নির্ণয় কর।

(খ) খালি সিলিভার যুক্ত করায় গ্যাসের অণুর গড় মূল্য পথের পরিবর্তন হবে কি-না গাণিতিক বিশ্লেষণপূর্বক মতামত দাও। [দি. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

$$E = N \times \frac{3}{2} KT$$

$$= 30 \times 10^{25} \times \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300$$

$$= 1.863 \times 10^6 \text{ J}$$

এখনে,

$$\text{তাপমাত্রা}, T = 27^{\circ}\text{C} = (27 + 273) = 300 \text{ K}$$

$$\text{অণুর সংখ্যা}, N = 30 \times 10^{25}$$

$$\text{বোলজ্ম্যান ধ্রুবক}, K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$$

$$\text{আবদ্ধ গ্যাসের গতিশক্তি}, E = ?$$

(খ) আমরা জানি,

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi \sigma^2 n}$$

$$\text{অণুর ব্যাস ধ্রুব বলে } \lambda \propto \frac{1}{n}$$

\therefore প্রথমে ও শেষে গড় মূল্য পথ যথাক্রমে λ_1 ও λ_2 হলো,

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{N}{V_1} \times \frac{2V_1}{N} = 2$$

$$\therefore \lambda_2 = 2\lambda_1$$

এখনে,

$$\text{গ্যাসপূর্ণ সিলিভারের আয়তন}, V_1 = 1.5 \text{ m}^3$$

$$\text{অণুর ব্যাস}, \sigma = 25 \times 10^{-10} \text{ m}$$

খালি সিলিভারের সাথে যুক্ত করার পর

$$\text{আয়তন}, V_2 = 2V_1$$

প্রথমিক অবস্থায় একক আয়তনে অণুর

$$\text{সংখ্যা}, n_1 = \frac{N}{V_1}$$

শেষ অবস্থায় একক আয়তনে অণুর সংখ্যা,

$$n_2 = \frac{N}{V_2} = \frac{N}{2V_1}$$

অতএব খালি সিলিভার যুক্ত করায় গ্যাসের অণুর গড় মূল্য পথ দ্বিগুণ হবে।

৭। একটি সিলিন্ডারে 127°C তাপমাত্রা ও 73 cm পারদ চাপে 3 g হিলিয়াম গ্যাস রাখা হলো। একই পরিমাণ হিলিয়াম গ্যাস অপর একটি সিলিন্ডারে STP-তে রাখা হলো।

(ক) প্রথম সিলিন্ডারে গ্যাসের আয়তন হিসাব কর।

(খ) সিলিন্ডার দুটিতে গ্যাসের গতিশক্তি নির্ণয়পূর্বক তাপমাত্রা তুলনা করে ফলাফল বিশ্লেষণ কর।

[চ. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

$$\begin{aligned} PV &= nRT \\ \therefore V &= \frac{nRT}{P} = \frac{0.75 \times 8.314 \times 400}{9.593 \times 10^4} \\ &= 2.6 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

এখানে,

১ম সিলিন্ডারের ক্ষেত্রে,

$$\begin{aligned} \text{চাপ, } P &= 72 \text{ cm পারদ} = 0.72 \times 13596 \times 9.8 \text{ Pa} \\ &= 9.593 \times 10^4 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\text{তাপমাত্রা, } T = 127^{\circ}\text{C} = (127 + 273) = 400 \text{ K}$$

$$\text{তর, } m = 3 \text{ g}$$

$$\text{হিলিয়ামের আণবিক তর, } M = 4 \text{ g/mole}$$

$$\therefore \text{হিলিয়ামের মোল সংখ্যা, }$$

$$n = \frac{m}{M} = 0.75 \text{ mole}$$

$$R = 8.314$$

$$\text{আয়তন, } V = ?$$

(খ) আমরা জানি, উদ্বৃত্তিক অনুযায়ী,

১ম সিলিন্ডারে গ্যাসের গতিশক্তি,

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{3}{2} nRT_1 \\ &= 1.5 \times 0.75 \times 8.314 \times 400 \\ &= 3.74 \times 10^3 \text{ J} \end{aligned}$$

এখানে,

১ম সিলিন্ডারে গ্যাসের তাপমাত্রা,

$$T_1 = 127^{\circ}\text{C} = 400 \text{ K}$$

২য় সিলিন্ডারে গ্যাসের তাপমাত্রা, $T_2 = 273 \text{ K}$

হিলিয়ামের মোল সংখ্যা, $n = 0.75 \text{ mole}$

২য় সিলিন্ডারে গ্যাসের গতিশক্তি, $E_2 = \frac{3}{2} nRT_2$

$$\begin{aligned} &= 1.5 \times 0.75 \times 8.314 \times 273 \\ &= 2.55 \times 10^3 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\therefore T_1 > T_2 \text{ এবং } E_1 > E_2$$

কাজেই ১ম সিলিন্ডারে গ্যাসের তাপমাত্রা ২য় সিলিন্ডারে গ্যাসের তাপমাত্রার চেয়ে বেশি হওয়ায় ১ম সিলিন্ডারে গ্যাসের গতিশক্তি ২য় সিলিন্ডারের গ্যাসের গতিশক্তি অপেক্ষা বেশি।

৮। কোনো ঘরের তাপমাত্রা 32°C , শিশিরাঙ্ক 14°C এবং আপেক্ষিক আর্দ্রতা 48% । ওই সময় ঘরের বাইরে তাপমাত্রা 11°C ও আপেক্ষিক আর্দ্রতা 70% । 32°C ও 11°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ যথাক্রমে 33.6 mmHg ও 9.8 mmHg । 32°C এ ফ্রেইসারের ধ্রুবক 1.63 ।

(ক) ওই ঘরে ঝুলানো আর্দ্র ও শুক্র বালু হাইগ্রোমিটারে আর্দ্র বালু থার্মোমিটার কত পাঠ দেখাবে?

(খ) যদি ঘরের একটি জানালা খুলে দেওয়া হয় তাহলে জলীয় বাষ্প কোন দিকে চলাচল করবে গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মন্তব্য কর।

[সি. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

$$\begin{aligned} O_1 - O &= C(O_1 - O_2) \\ \text{বা, } 32^{\circ} - 14^{\circ} &= 1.63 (32^{\circ} - O_2) \\ \text{বা, } 32^{\circ} - O_2 &= \frac{18^{\circ}}{1.63} = 11.04^{\circ} \\ \therefore O_2 &= 32^{\circ} - 11.04^{\circ} = 20.96^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

এখানে,

ঘরের তাপমাত্রা, $O_1 = 32^{\circ}\text{C}$

শিশিরাঙ্ক, $O = 14^{\circ}\text{C}$

32°C এ ফ্রেইসারের ধ্রুবক = 1.63

আর্দ্র বালুর পাঠ, $O_2 = ?$

(খ) 32°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ, $F_1 = 33.6 \text{ mmHg}$

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা}, R_1 = 48\% = \frac{48}{100} = 0.48$$

$$\text{শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ } f_1 \text{ হলে আপেক্ষিক আর্দ্রতা}, R_1 = \frac{f_1}{F_1}$$

$$\therefore f_1 = R_1 F_1 = 0.48 \times 33.6 \text{ mmHg}$$

$$= 16.128 \text{ mmHg}$$

ঘরের বাইরে, 11°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ, $F_2 = 9.8 \text{ mmHg}$

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা}, R_2 = 70\% = \frac{70}{100} = 0.70$$

শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ f_2 হলে আপেক্ষিক আর্দ্রতা,

$$R_2 = \frac{f_2}{F_2}$$

$$\therefore f_2 = R_2 F_2 = 0.70 \times 9.8 \text{ mmHg}$$

$$= 6.86 \text{ mmHg}$$

যেহেতু $f_1 > f_2$ সুতরাং জলীয় বাষ্প ঘরের ভেতর থেকে বাইরে বের হবে।

৯। 168 g নাইট্রোজেন গ্যাস ভর্তি একটি বেলুনকে সমুদ্রের তলদেশে নিয়ে যাওয়ায় আয়তন অর্ধেক হয়ে গেল। সমুদ্রপৃষ্ঠের চাপ, বায়ুর চাপ এবং তাপমাত্রা 30°C । তলদেশের তাপমাত্রা 14°C ।

[পানির ঘনত্ব 1025 kg/m^3 , $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$, $R = 8.314 \text{ J/mol/K}$]

(ক) সমুদ্রপৃষ্ঠে নাইট্রোজেন গ্যাসের গতিশক্তি নির্ণয় কর।

(খ) তাপমাত্রার পরিবর্তন বিবেচনায় হৃদের গভীরতা নির্ণয় করা সম্ভব কি-না? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[ঢ. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

$$\text{গতিশক্তি} = \frac{3}{2} nRT$$

$$= \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} RT$$

$$\therefore K = \frac{3}{2} \times \frac{168}{28} \times 8.314 \times 303 \\ = 22,672 \text{ J}$$

(খ) আবার, আমরা জানি,

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \text{ এবং } P_2 = P_1 + h\rho g$$

$$\therefore \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{(P_1 + h\rho g)V_1}{2T_2}$$

$$\text{বা, } 2P_1 T_2 = (P_1 + h\rho g)T_1$$

$$\text{বা, } 2P_1 \times 287 = (P_1 + h\rho g) \times 303 = 303 P_1 + 303 h\rho g$$

$$\text{বা, } 303 h\rho g = (574 - 303) P_1 = 271 P_1$$

$$\text{বা, } h = \frac{271 \times 1.013 \times 10^5}{303 \times 1025 \times 9.8} = 9.02 \text{ m}$$

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে তাপমাত্রার পরিবর্তন বিবেচনায় হৃদের গভীরতা নির্ণয় করা যায়।

১০। একটি হৃদের তলদেশ ও পৃষ্ঠের পানির তাপমাত্রা যথাক্রমে 8°C ও 30°C । 2L আয়তনবিশিষ্ট একটি বায়ুগুরু বেলুন হৃদের তলদেশ হতে ছেড়ে দেয়া হলো। বেলুনটির সর্বোচ্চ প্রসারণ ক্ষমতা 15L । হৃদের পৃষ্ঠে বায়ুমণ্ডলের চাপ 10^5 Nm^{-2} , হৃদের গভীরতা 15m এবং পানির ঘনত্ব 1000 kgm^{-3} ।

(ক) বেলুনে আবন্ধ বায়ুর অণুসমূহের গতিশক্তির পরিবর্তন নির্ণয় কর।

এখানে,

$$\rho = 1025 \text{ kgm}^{-3}$$

$$T_1 = 30^{\circ}\text{C} = 273 + 30 = 303 \text{ K}$$

$$T_2 = 14^{\circ}\text{C} = 273 + 14 = 287 \text{ K}$$

$$g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$$

$$m = 168 \text{ g}$$

$$M = 28 \text{ g}$$

$$V_2 = \frac{V_1}{2}$$

$$R = 8.314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$$

$$P_1 = 1.013 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

$$\text{গতিশক্তি, } K = ?$$

$$\text{হৃদের গভীরতা, } h = ?$$

(খ) বেলুনটি হৃদের পৃষ্ঠে এসে বিস্ফোরিত হওয়ার সম্ভাবনা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [রা. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

বায়ুর গতিশক্তি,

$$K.E. = \frac{3}{2} nRT$$

$$\therefore 30^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্রায় } K.E. = \frac{3}{2} n \times R \times 303$$

$$\text{এবং } 8^{\circ}\text{C} \text{ তাপমাত্রায় } K.E. = \frac{3}{2} n R \times 281$$

$$\therefore \text{গতিশক্তি পরিবর্তন} = \left(\frac{3}{2} nR \times 303 - \frac{3}{2} nR \times 281 \right)$$

$$= \frac{3}{2} nR (303 - 281) = 22 \times \frac{3}{2} nR = 33 nR J$$

$$= 33 \times \frac{m}{M} R J = \frac{33 \times 2.450}{18} \times 8.314 = 37.34 J$$

এখানে,

$$T_2 = 8^{\circ}\text{C} = 8 + 273 = 281 \text{ K}$$

$$T_1 = 30^{\circ}\text{C} = 273 + 30 = 303 \text{ K}$$

$$\rho = 1000 \text{ kgm}^{-3}$$

$$h = 15 \text{ m}$$

$$P_2 = 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

$$V_1 = 2 \text{ L}$$

$$m = 1.225 \times 2 = 2.450 \text{ g}$$

$$M = 18$$

$$V_2 = ?$$

(খ) পানির উপরিতলে বেলুনটির আয়তন = V_2

আমরা জানি,

$$P_1 = P_2 + h\rho g$$

$$\text{এবং } P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$\text{বা, } V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{(P_2 + h\rho g) V_1}{P_2} = \frac{(P_2 + h\rho g) \times 2}{P_2}$$

$$\therefore V_2 = \frac{(10^5 + 15 \times 1000 \times 9.8) \times 2}{10^5}$$

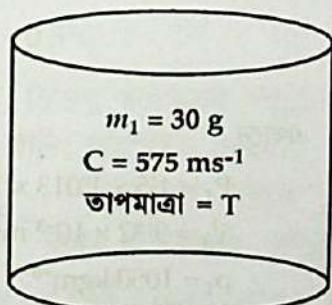
$$= \frac{(10^5 + 147 \times 10^5) \times 2}{10^5}$$

$$= 2.47 \times 2 = 4.94 \text{ L}$$

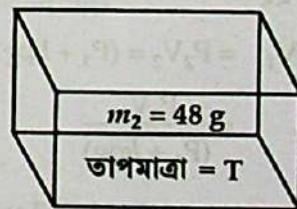
যেহেতু বেলুনটির সর্বোচ্চ প্রসারণ ক্ষমতা 15 L যা পৃষ্ঠাতলে আসার পর বেলুনের আয়তন থেকে বেশি।

সুতরাং, বেলুনটির হৃদের ওপরে এসে বিস্ফোরিত হবে না।

১১।



$$R = 8.31 \text{ Jmole}^{-1}\text{K}^{-1}$$



চিত্র ২ : কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস।

(ক) সিলিন্ডারে রক্ষিত গ্যাসের তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) কোন পাত্রের গ্যাসের গতিশক্তি বেশি—গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে নির্ণয় কর। [য. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

$$c_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

$$\therefore 575 = \sqrt{\frac{3 \times 8.31 \times T}{28}}$$

$$\text{বা, } T = \frac{(575)^2 \times 28 \times 10^{-3}}{3 \times 8.31}$$

$$= 371 \text{ K} = 371 - 273 = 98^{\circ}\text{C}$$

(খ) আবার, নাইট্রোজেনের গতিশক্তি,

$$\begin{aligned} \text{K.E.} &= \frac{3}{2} nRT = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT \\ &= \frac{3}{2} \times \frac{30}{28} \times 8.31 \times 371 \\ &= 4954.8 \text{ J} \end{aligned}$$

এবং কার্বন ডাই-অক্সাইডের গতিশক্তি,

$$\begin{aligned} \text{K.E.} &= \frac{3}{2} \times \frac{m}{M} RT \\ &= \frac{3}{2} \times \frac{48}{44} \times 8.31 \times 371 \\ &= 5044.9 \text{ J} \end{aligned}$$

সূত্রাং দেখা যাচ্ছে যে, কার্বন ডাই-অক্সাইড গ্যাসের গতিশক্তি বেশি।

১২। 30°C তাপমাত্রায় এবং 2 atm চাপে একটি বেলুনের মধ্যে 24 gm অক্সিজেন গ্যাস আছে। এক মৌল অক্সিজেনের ভর 32 gm, অপরদিকে কোনো একটি পুরুরের উপরিদেশে বায়ুমণ্ডলের চাপ 1.5 atm, পানির ঘনত্ব 1050 kg m^{-3} গতীরতা 20 m এবং অন্য একটি পুরুরের উপরিদেশে বায়ুমণ্ডলের চাপ 1.2 atm, পানির ঘনত্ব 1000 kg m^{-3} ও গতীরতা 25 m [1 atm = $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, $R = 8.314 \text{ J mole}^{-1} \text{ K}^{-1}$ and $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$]।

(ক) উদ্ধৃতকরে বেলুনের গ্যাসের আয়তন নির্ণয় কর।

(খ) উদ্ধৃতকরে কোন পুরুরের তলদেশে গ্যাস তর্তি বেলুনের আয়তন কম হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [চ. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

$$\begin{aligned} PV &= nRT = \frac{m}{M} RT \\ \therefore V &= \frac{m}{M} \frac{RT}{P} = \frac{24 \times 8.314 \times 303}{32 \times 2 \times 1.013 \times 10^5} \\ &= 9.32 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

সূত্রাং, বেলুনের আয়তন = $9.32 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

(খ) ১য় পুরুরের তলদেশে বেলুনের ক্ষেত্রে,

$$\begin{aligned} P_1 V_1 &= P_2 V_2 = (P_1 + h_1 g) V_2 \\ \text{বা, } V_2 &= \frac{P_1 V_1}{(P_1 + h_1 g)} \\ &= \frac{1.5 \times 1.013 \times 10^5 \times 9.32 \times 10^{-3}}{(1.5 \times 1.013 \times 10^5 + 20 \times 1050 \times 9.8)} \\ &= \frac{14.16 \times 10^2}{3.5775 \times 10^5} = 3.96 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

এবং ২য় পুরুরের তলদেশে বেলুনের ক্ষেত্রে,

$$\begin{aligned} V_2' &= \frac{1.2 \times 1.013 \times 10^5 \times 9.32 \times 10^{-3}}{(1.2 \times 1.013 \times 10^5 + 25 \times 1000 \times 9.8)} \\ &= \frac{11.329 \times 10^2}{3.6656 \times 10^5} = 3.095 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

সূত্রাং $V_2' < V_2$, অর্থাৎ ২য় পুরুরের তলদেশে বেলুনটির আয়তন কম হবে।

এখানে,

$$\begin{aligned} T &= 30^{\circ}\text{C} = 273 + 30 = 303 \text{ K} \\ P &= 2 \text{ atm} = 2 \times 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} \\ m &= 24 \text{ gm} \\ M &= 32 \text{ gm} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} P_1 &= 1.5 \times 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} \\ V_1 &= 9.32 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \\ \rho_1 &= 1050 \text{ kg m}^{-3} \\ h_1 &= 20 \text{ m} \\ P_2 &= 1.2 \times 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} \\ \rho_2 &= 1000 \text{ kg m}^{-3} \\ h_2 &= 25 \text{ m} \end{aligned}$$

১৩। কক্ষ তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট কোনো স্থানে 0.6m^3 আয়তনের একটি সিলিন্ডারে 800 gm মিথেন (CH_4) গ্যাসকে 202650 Pa চাপে পূর্ণ করা হলো। শিক্ষক তাঁর ছাত্রদের বললেন ওই স্থানের শিশিরাঙ্ক 11.5°C এবং স্থানটির আপেক্ষিক আর্দ্রতা 60%-এর ওপর থাকলেই বৃক্তি হওয়ার সম্ভাবনা থাকে। 11°C , 12°C , 19°C ও 20°C -এ সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্প চাপ যথাক্রমে 9.84 mm(Hg) , 10.52 mm(Hg) , 16.46 mm(Hg) ও 17.54 mm(Hg) পাওয়া গেল। মিথেনের আণবিক ভর 16 gm/mole ।

(গ) ওই স্থানের কক্ষ তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

(ঘ) উদ্দীপকের স্থানে বৃক্তি হওয়ার সম্ভাবনা আছে কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে উপস্থাপন কর।

[দি. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

$$\begin{aligned} PV &= nRT = \frac{m}{M} RT \\ \therefore T &= \frac{MPV}{mR} = \frac{16 \times 202650 \times 0.6}{800 \times 8.314} \\ &= 292.5 \text{ K} = 19.5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} P &= 202650 \text{ Pa} \\ R &= 8.314 \\ V &= 0.6 \text{ m}^3 \\ M &= 16 \text{ gm/mole} \\ m &= 800 \text{ gm} \end{aligned}$$

(খ) দেওয়া আছে,

$$\begin{array}{lll} 12^\circ\text{C} & \text{তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্প} & = 10.52 \text{ mm (Hg)} \\ 11^\circ\text{C} & " & = 9.84 \text{ mm (Hg)} \\ \therefore 1^\circ\text{C} & " & = 0.68 \text{ mm (Hg)} \\ \therefore 0.5^\circ\text{C} & " & = \frac{0.68 \times 0.5}{1} = 0.34 \text{ mm (Hg)} \end{array}$$

অতএব, 11.5°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্প $= 9.84 + 0.34 = 10.18 \text{ mm (Hg)}$

$$\begin{array}{lll} \text{আবার, } 20^\circ\text{C} & \text{তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্প} & = 17.54 \text{ mm (Hg)} \\ 19^\circ\text{C} & " & = 16.46 \text{ mm (Hg)} \\ \therefore 1^\circ\text{C} & " & = 1.08 \text{ mm (Hg)} \\ \therefore 0.5^\circ\text{C} & " & = \frac{1.08 \times 0.5}{1} = 0.54 \text{ mm (Hg)} \end{array}$$

অতএব, 19.5°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্প $= 16.46 + 0.54 = 17 \text{ mm (Hg)}$

আমরা জানি, আপেক্ষিক আর্দ্রতা,

$$R = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্প}}{\text{বায়ুর তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্প}}$$

$$\therefore R = \frac{10.18}{17} \times 100 = 59.88\%$$

প্রশ্নানুসারে, 60% এর ওপরে আপেক্ষিক আর্দ্রতা থাকলে বৃক্তি হবে। এখন ওই স্থানের আপেক্ষিক আর্দ্রতা 59.88% অর্থাৎ, প্রায় 60% ; সুতরাং, সেখানে বৃক্তি হওয়ার সম্ভাবনা রয়েছে।

সার-সংক্ষেপ

তাপ : তাপ এক প্রকার শক্তি যা গরম বা উচ্চ তাপমাত্রার বস্তু হতে নিয়ে তাপমাত্রার বস্তুতে তাপমাত্রার পার্থক্যের কারণে সঞ্চালিত হয়।

গ্যাসীয় সূত্রাবলি :

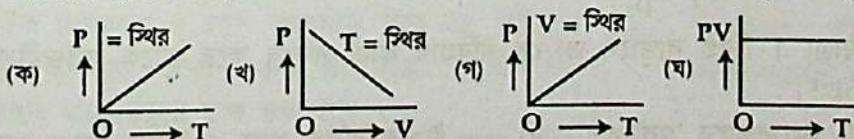
- (১) **বয়েলের সূত্র** : তাপমাত্রা স্থির থাকলে কোনো নির্দিষ্ট তরের গ্যাসের আয়তন তার চাপের ব্যুক্তানুপাতিক।
- (২) **চার্লস-এর সূত্র** : স্থির চাপে কোনো নির্দিষ্ট তরের গ্যাসের আয়তন 0°C থেকে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রা পরিবর্তনের জন্য এর 0°C তাপমাত্রার আয়তনের নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ $\frac{1}{273}$ অংশ বা 0.00366 অংশ পরিবর্তিত হয়।

(৩) চাপীয় সূত্র	: স্থির আয়তনে কোনো নির্দিষ্ট তরের গ্যাসের চাপ 0°C থেকে প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রা পরিবর্তনের জন্য এর 0°C তাপমাত্রার চাপের নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ $\frac{1}{273}$ অংশ পরিবর্তিত হয়।
আদর্শ গ্যাস	: যে সব গ্যাস বয়েল এবং চার্লস-এর সূত্র মেনে চলে তাদেরকে আদর্শ গ্যাস বলে।
পরম শূন্য তাপমাত্রা	: স্থির চাপে একটি নির্দিষ্ট তরের কোনো গ্যাসের তাপমাত্রা ক্রমশ কমাতে থাকলে চার্লসের স্ত্রানুযায়ী যে তাপমাত্রায় পৌছে তার আয়তন শূন্য হয় ও গ্যাসের গতিশক্তি সম্পূর্ণরূপে লোপ পায় তাকে পরম শূন্য তাপমাত্রা বলে।
সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক, R	: এক মোল আদর্শ গ্যাসের তাপমাত্রা এক ডিগ্রি বাড়ালে তা যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করে তাকে সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক বলে।
গড় বর্গ বেগ	: দুই বা ততোধিক বেগের বর্গের গড় মানকে গড় বর্গ বেগ বলে।
গড় বর্গ বেগের বর্গমূল বা মূল গড় বর্গবেগ	: দুই বা ততোধিক বেগের বর্গের গড় মানের বর্গমূলকে গড় বর্গবেগের বর্গমূল বা মূল গড় বর্গবেগ বলে।
গড় মুক্ত পথ	: পরপর ধাক্কাগুলোর ভেতর একটি অণু যে গড় মুক্ত পথ অতিক্রম করে তাকে গড় মুক্ত পথ বলে।
শিশিরাঙ্ক	: যে তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ু এর মধ্যে অবস্থিত জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত হয়, সেই তাপমাত্রাকে শিশিরাঙ্ক বলে।
পরম আর্দ্রতা	: বায়ুর প্রতি একক আয়তনে জলীয় বাষ্পের ভরকে ওই স্থানের পরম আর্দ্রতা বলে।
শক্তির সমবিভাজন নীতি	: কোনো গতীয় সংস্থার মোট শক্তি তাপীয় সাম্যাবস্থায় প্রতিটি স্বাধীনতার মাত্রার মধ্যে সমতাবে বণ্টিত হয় এবং প্রতিটি স্বাধীনতার মাত্রার শক্তির পরিমাণ = $\frac{1}{2} KT$ ।
স্বাধীনতার মাত্রা	: একটি বস্তুর গতিশীল অবস্থা বা অবস্থান সম্পূর্ণরূপে প্রকাশ করার জন্য যত সংখ্যক স্বাধীন চলরাশির প্রয়োজন হয় তাকে স্বাধীনতার মাত্রা বলে।
প্রমাণ চাপ	: সমুদ্রপৃষ্ঠে 45° অক্ষাংশে 273 K তাপমাত্রায় উল্লম্বভাবে অবস্থিত 760 mm উচ্চতাবিশিষ্ট শুক্ক ও বিশুদ্ধ পারদস্তম্ভ যে চাপ দেয় তাকে প্রমাণ চাপ বলে।
প্রমাণ তাপমাত্রা	: যে তাপমাত্রায় প্রমাণ চাপে অর্থাৎ 760 mm পারদ চাপে বরফ গলে পানিতে পরিণত হয় বা পানি জমে বরফে পরিণত হয় সেই তাপমাত্রাকে প্রমাণ তাপমাত্রা বলে।
বাষ্পচাপ	: তরল থেকে নির্গত বাষ্প আধারের গায়ে যে চাপ প্রয়োগ করে তাকে বাষ্পচাপ বলে।
বায়ুচাপ	: বায়ুতে অণুসমূহ অবিরত ইতস্তত ছুটাছুটি করার ফলে পাত্রের একক ক্ষেত্রফলের উপর যে বল প্রয়োগ করে তাকে বায়ুচাপ বলে।
এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপ	: 0°C তাপমাত্রায় 45° অক্ষাংশে সমুদ্র সমতলে যে পরিমাণ বায়ুচাপ 760 mm পারদস্তম্ভের চাপের সমান হয়, তাকে এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপ বা এক বায়ুচাপ (1 atm) বলে।
সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ	: কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো আবন্দ্য স্থানের বাষ্প যে সর্বাধিক চাপ প্রয়োগ করে তাকে সম্পৃক্ত বাষ্প চাপ বলে।
অসম্পৃক্ত বাষ্পচাপ	: কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো আবন্দ্য স্থানের বাষ্প যদি সর্বাধিক বাষ্পচাপ অপেক্ষা কম চাপ প্রয়োগ করে তবে তাকে অসম্পৃক্ত বাষ্প চাপ বলে।
আপেক্ষিক আর্দ্রতা	: কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একটি নির্দিষ্ট আয়তনের বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে ওই তাপমাত্রায় ওই আয়তনের বায়ুকে সম্পৃক্ত করতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্পের প্রয়োজন হয় তাদের অনুপাতকে আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়বাবলিক সার-সংক্ষেপ

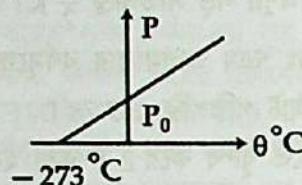
- ১। বয়েলের সূত্র সমূক্ষ প্রক্রিয়া মেনে চলে। আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ $PV = nRT$.
- ২। পরম শূন্য তাপমাত্রা হচ্ছে 0 K বা -273°C । স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট তরের গ্যাসের জন্য $P \propto T$ ।
- ৩। কোনো গ্যাসের অণুগুলোর গড় গতিশক্তি, $E = \frac{3}{2} KT$ । সম্পৃক্ত বাষ্প বয়েল ও চার্লসের সূত্র মানে না।
- ৪। সর্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক R -এর মান হলো $8.31\text{ JK}^{-1}\text{ mole}^{-1}$ । অসম্পৃক্ত বাষ্প বয়েল ও চার্লসের সূত্র মানে।

- ৫। প্রমাণ চাপের ক্ষেত্রে সমুদ্রপৃষ্ঠের 45° অক্ষাংশকে বিবেচনা করা হয়।
- ৬। নাইট্রোজেন গ্যাসের ক্ষেত্রে $\gamma = 1.4$, যা সকল দ্বিপরমাণু গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য।
- ৭। T তাপমাত্রায় আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে অণুর গড় গতিশক্তি $\frac{3}{2} KT$ ।
- ৮। কোনো গ্যাসের মূল গড় বর্গবেগ এবং পরম তাপমাত্রার বর্গমূলের সমানুপাতিক।
- ৯। 27°C তাপমাত্রায় 4 g অঙ্গিজেনের মোট গতিশক্তি 467.78 J .
- ১০। একটি আদর্শ গ্যাসের তাপমাত্রা T হতে বৃদ্ধি করে $2T$ করা হলে অণুগুলোর গড়বেগ দ্বিগুণ হবে; গতিশক্তি দ্বিগুণ হবে।
- ১১। স্বাভাবিক তাপমাত্রা ও চাপে নাইট্রোজেনের ঘনত্ব 1.25 kg m^{-3} হলে মূল গড় বর্গবেগ 493.07 ms^{-1} ।
- ১২। গ্যাসের চলরাশি হলো তাপমাত্রা, আয়তন ও চাপ। আর্দ্রতা গুণাঙ্কের একক Nsm^{-2} ।
- ১৩। অসম্পৃক্ত বাস্পচাপ f এবং সম্পৃক্ত বাস্পচাপ F হলে $f < F$ হয়। গড় বেগ মূল গড় বর্গবেগ অপেক্ষা কিছু কম।
- ১৪। দ্বিপরমাণু গ্যাস অণুর স্বাধীনতার মাত্রা 5, বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাস্প ঘনীভবনের জন্য বড় হয়। বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম হলে বাস্পায়ন হবে দ্রুতগতিতে। বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত জলীয় বাস্পের চেয়ে সম্পৃক্ত বাস্প কতখানি তাই আপেক্ষিক আর্দ্রতা। হাল্কা অণুগুলোর মূল গড় বর্গবেগ ভারী অণুর মূল গড় বর্গবেগ অপেক্ষা বেশি।
- ১৫। বাস্তব গ্যাস নিম্ন চাপে ও উচ্চ তাপমাত্রায় আদর্শ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে।
- ১৬। সিক্ত ও শুক্র বাল্ব আর্দ্রতামাপক যন্ত্রের দুই থার্মোমিটারের তাপমাত্রার পার্থক্য হঠাৎ বেড়ে গেলে বুবা যায় ওই স্থানে আপেক্ষিক আর্দ্রতা হ্রাস পেয়েছে। তখন ভেজা কাপড় তাড়াতাড়ি শুকায়।
- ১৭। কোনো গ্যাসের একক আয়তনে অণুগুলোর গতিশক্তি $1.52 \times 10^5 \text{ J}$ হলে গ্যাসের চাপ হবে 1 atm । জলীয় বাস্পের সংকট তাপমাত্রা 361°C । একই তাপমাত্রায় বিভিন্ন গ্যাসের অণুগুলোর গতিশক্তি সমান।
- ১৮। আপেক্ষিক আর্দ্রতা 100% হলে শিশিরাঙ্ক বায়ুর তাপমাত্রার সমান হবে?
- ১৯। 30°C তাপমাত্রায় একটি গ্যাসকে স্থির চাপে উন্নত করে আয়তন তিনগুণ করা হলে গ্যাসটির চূড়ান্ত তাপমাত্রা 636°C এবং ইহা চার্লসের সূত্র মেনে চলে। অণুর বেগ বর্ণন তর ও তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে।
- ২০। গড় মুক্তপথ—
 - (ক) একক আয়তনে গ্যাসের অণুর সংখ্যার সমানুপাতিক
 - (খ) প্রতিটি অণুর ব্যাসের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক
 - (গ) গ্যাসের ঘনত্বের ব্যস্তানুপাতিক
 - (ঘ) তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক।
- ২১। অসম্পৃক্ত বাস্প চাপের ক্ষেত্রে (ক) বয়েলের ও চার্লসের সূত্র মেনে চলে (খ) ঠাণ্ডা করতে থাকলে ধীরে ধীরে চাপ কমে। গড় মুক্তপথ ঘনত্বের ব্যস্তানুপাতিক এবং অণুর ব্যাসের ব্যস্তানুপাতিক।
- ২২। পর্বতের চূড়ায় বায়ুর চাপ কম, পানির স্ফুটনাঙ্ক কম তাই রান্না করা কঠিন। $c_{rms} \propto \sqrt{T}$ ।
- ২৩। আদর্শ গ্যাসের বৈশিষ্ট্য হলো—
 - (ক) গ্যাসের গতিত্বের মৌলিক স্বীকার্য মেনে চলে;
 - (খ) অণুসমূহের মধ্যে কোনো আকর্ষণ ও বিকর্ষণ নেই;
 - (গ) যেকোনো তাপমাত্রা ও চাপে $PV = nRT$ সমীকরণ মেনে চলে।
- ২৪। নিচের (ক) লেখচিত্রটি আদর্শ গ্যাসের আচরণকে সমর্থন করে কিন্তু অন্যগুলো সমর্থন করে না।

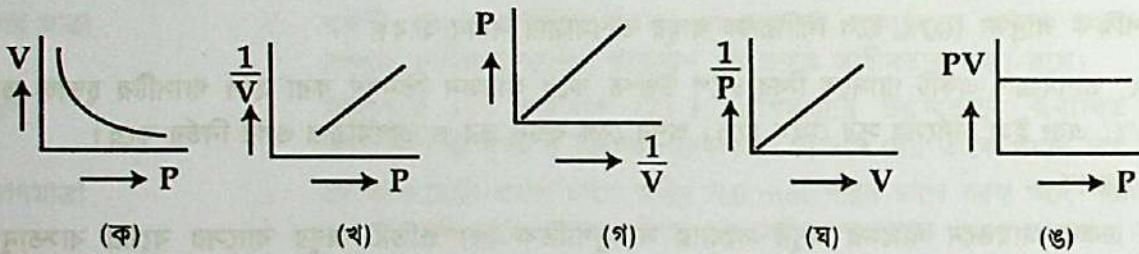


- ২৫। স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের কোনো আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে $PV - P$ লেখচিত্র হলো—
- ২৬। আদর্শ গ্যাসের চাপ, $P = \frac{1}{3} \rho c^2$ । নিম্নচাপ ও উচ্চ তাপমাত্রায় বাস্তব গ্যাস আদর্শ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে।

- ২৭। $\frac{PV}{2} = RT$, গ্যাস সমীকরণে V নির্দেশ করে 2 mole গ্যাসের আয়তন। গড় মুক্তপথ λ পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক ($\lambda \propto T$)। জলীয় বাস্প যত বেশি হবে ঘনত্ব তত কমবে, বাস্পায়ন তত কম হবে।
- ২৮। গ্যাসের পরিবর্তনশীল চলকগুলোর জন্য নিচের লেখচিত্রটি প্রযোজ্য।

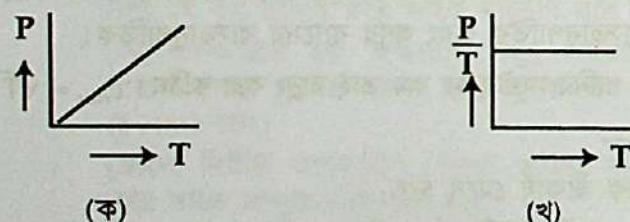


- ২৯। আগবিক গতিশক্তি তাপমাত্রার ওপর নির্ভরশীল। স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের ক্ষেত্রে $P \propto \frac{1}{T}$.
- ৩০। প্রত্যেক অণুর স্থাধীনতার মাত্রার গড় শক্তির পরিমাণ $\frac{1}{2} KT$ । তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে সম্পৃক্ত বাস্পকে অসম্পৃক্ত করা যায়। নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় অণুর ভর যত কম হবে অধিক বেগসম্পন্ন অণুর সংখ্যা তত বেশি হবে।
- ৩১। জলীয় বাস্পের ঘনত্বের সাথে বায়ুর চাপের সম্পর্ক হলো $P \propto V$ । তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে আবার জলীয় বাস্পের চাপ বেড়ে যায়।
- ৩২। আর্দ্রতামাপক যন্ত্রে দুই থার্মোমিটারের পাঠের পার্থক্য—
(ক) হঠাৎ হ্রাস পেলে বাড় হতে পারে।
(খ) ধীরে ধীরে কমলে বৃষ্টি হতে পারে।
(গ) খুব কম হলে আবহাওয়া আর্দ্র হয়।
(ঘ) খুব বেশি হলে আবহাওয়া শুক্র হয়।
- ৩৩। স্থির তাপমাত্রায় গ্যাসের চাপ ও আয়তনের লেখচিত্র হলো—



- ৩৪। নিম্ন তাপমাত্রা ও উচ্চ চাপে বয়েলের সূত্র প্রযোজ্য নয়।

- ৩৫। স্থির আয়তনে গ্যাসের চাপ ও তাপমাত্রার লেখচিত্র—



- ৩৬। স্বাভাবিক চাপ ও তাপমাত্রায় 1 মোল বা 1 গ্রাম অণু ভরের সকল গ্যাসের আয়তন 22.4 লিটার।

- ৩৭। স্থির চাপে $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_2}{T_1}$ এবং স্থির তাপমাত্রায় $\frac{P_1}{P_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$ ।

- ৩৮। এক মোল আদর্শ গ্যাসের তাপমাত্রা 1 ডিগ্রি বাড়ালে তা যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করে তাকে সর্বজনীন গ্যাস শুরুক বলে। এর একক $JK^{-1}mol^{-1}$ ।

- ৩৯। 45° অক্ষাংশে 273 K তাপমাত্রায় উল্লম্বভাবে অবস্থিত 760 mm উচ্চতাবিশিষ্ট শুরুক ও বিশুদ্ধ পারদ স্তম্ভ যে চাপ দেয় তাকে প্রমাণ চাপ বলে।

- ৪০। পরম শূন্য তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন শূন্য হয় এবং গতিশক্তি লোপ পায়।

- ৪১। 1730 স্ট্রিস্টার্ডে বিজ্ঞানী বার্নেলি সর্বপ্রথম গ্যাসের গতি তত্ত্বের সাহায্যে গ্যাসের সূত্রাবলি ব্যাখ্যা করেন।

- ৪২। গ্যাসের চাপ একক আয়তনের গতিশক্তির দুই-তৃতীয়াংশ।

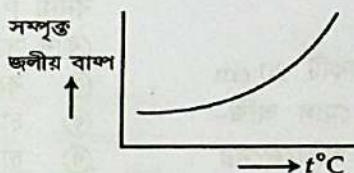
- ৪৩। গ্যাস অণুগুলোর আয়তন ও এদের মধ্যকার আকর্ষণ বল বিবেচনা করে ভ্যান ডার ওয়ালস আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ নিম্নোক্তভাবে সংশোধন করেন—

$$\left(P + \frac{n}{V^2} \right) (V - b) = RT$$

- ৪৪। এক পারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে স্থায়ীনতার মাত্রা $f = 3$ এবং গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের অনুপাত $\gamma = 1.67$, হিপারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে $f = 5$ এবং $\gamma = 1.40$ এবং ত্রি-পারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে $f = 6$ এবং $\gamma = 1.33$ ।

- ৪৫। চাপের একক নিউটন/মিটার² (Nm^{-2}) বা প্যাসকেল (Pa)। প্রতি বর্গমিটারে এক নিউটন বলকে এক প্যাসকেল বলে।

- ৪৬। সম্পৃক্ত বাষ্পচাপ ও তাপমাত্রার সম্পর্ক লেখচিত্র—



- ৪৭। সম্পৃক্ত বাষ্প সর্বাধিক চাপ প্রয়োগ করে। এটি একটি আবন্ধ স্থানে তৈরি করা যায়।

- ৪৮। আপেক্ষিক আর্দ্রতা ও শিশিরাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক হলো, $R = \frac{f}{F} \times 100\%$ ।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

- ১। $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ সম্পর্কটি কোন সূত্রকে সমর্থন করে ?

- (ক) বয়েলের সূত্র
- (খ) চার্লসের সূত্র
- (গ) চাপের সূত্র
- (ঘ) অ্যাভোগ্যাড্রোর সূত্র

- ২। স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন এর পরম তাপমাত্রার—

- (i) ব্যস্তানুপাতিক
- (ii) সমানুপাতিক
- (iii) বর্গের ব্যস্তানুপাতিক

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

- ৩। পিস্টন-সিলিন্ডারের ভেতর আবন্ধ গ্যাসকে স্বাভাবিক তাপমাত্রা ও চাপে সঞ্চুচিত করে এর আয়তন অর্ধেক করা হলো। যদি তাপমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে তবে চূড়ান্ত চাপ কত হবে ?

[RUET Admission Test, 2014-15]

- (ক) $4.12 \times 10^5 N/m^2$
- (খ) $8.16 \times 10^5 N/m^2$
- (গ) $10.26 \times 10^5 N/m^2$
- (ঘ) $2.06 \times 10^5 N/m^2$

- ৪। আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক হচ্ছে— [দি. বো. ২০১৬]

- (i) $PV = RT$
- (ii) $PV = nRT$
- (iii) $PV = KT$

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

- ৫। পরম স্কেলে চাপের সূত্র হলো—

- (ক) $P \propto T^2$
- (খ) $P \propto \frac{1}{T}$
- (গ) $P \propto T$
- (ঘ) $P \propto \sqrt{T}$

- ৬। নিম্নলিখিত কোন ক্ষেত্রে একটি গ্যাস আদর্শ গ্যাসের ন্যয় আচরণ করে ?

[কু. বো. ২০১৬; ব. বো. ২০১৫]

- (ক) নিম্নচাপ ও উচ্চ তাপমাত্রায়
- (খ) নিম্নচাপ ও নিম্ন তাপমাত্রায়
- (গ) উচ্চ চাপ ও নিম্ন তাপমাত্রায়
- (ঘ) উচ্চ চাপ ও উচ্চ তাপমাত্রায়