তত্ত্বীয় আলোচনা = ১৮
শ্রেণি কর্মকাণ্ড = ৭
মোট পিরিয়ড = ২৫

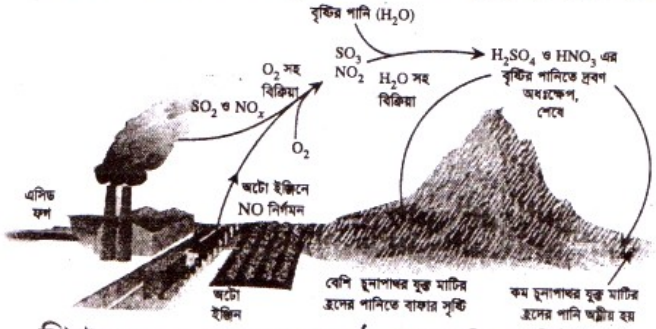
প্রথম অধ্যায়

পরিবেশ রসায়ন

Environmental Chemistry

ভূমিকা (Introduction)

পৃথিবীর স্থলভাগ ও জলভাগকে পরিবেষ্টিত রয়েছে গ্যাসীয় পদার্থের সমাবেশ, স্থলভাগ থেকে যার উচ্চতা 500km এর অধিক। গ্যাসীয় পদার্থের এ আবরণী হলো বায়ুমণ্ডল। এর দুটি মূল উপাদান হলো N_2 গ্যাস (78.09%) ও O_2 গ্যাস (20.95%)। সূর্যের প্রখর তাপে স্থলভাগ দিনে দ্রুত উত্তপ্ত ও রাতে দ্রুত শীতল হয়। স্থলভাগের বিকিরিত রশ্মি বায়ুমণ্ডলকে উত্তপ্ত করে, গ্যাসীয় অণুর গতি বৃদ্ধি পায়। জলভাগের পানি বাষ্পীভূত হয়ে বায়ুমণ্ডলে মিশে গ্যাসীয় অণুর সংখ্যা বৃদ্ধি করে। উচ্চচাপের বায়ু ও জলীয় বাষ্পের মিশ্রণ নিম্নচাপের স্থলভাগ অঞ্চলে প্রবল গতিতে চক্রাকারে ঘূর্ণি সৃষ্টি করে। একে সবাই **ঘূর্ণিঝড়** (Cyclone) বলে। সমুদ্রের পানির ওপরে প্রবল ঘূর্ণিবায়ুর টানে পানিতেও ঘূর্ণি সৃষ্টি হয়, যা 'পানি-পর্বত' আকারে প্রবল বেগে উপকূলকে আঘাত করে, এটি হলো সর্বনাশা **জলোচ্ছ্বাস** (Storm-Surge)। আমরা আরো জানব শিল্পের গ্যাসীয় বর্জ্য থেকে কীরূপে এসিড বৃষ্টি ঘটে; তরল শিল্পবর্জ্য দ্বারা পানি দূষণ এবং খাদ্য শৃঙ্খলে কীরূপে বিপর্যয় ঘটে।



অধ্যায়ের প্রধান শব্দসমূহ (Key Words) : সাইক্লোন, জলোচ্ছ্বাস, আদর্শ গ্যাস সমীকরণ, গ্যাস ধ্রুবক, আংশিক চাপ, গ্যাসের ব্যাপন, আণবিক গতিতত্ত্ব, N_2-ফিক্সেশন, বায়ুদূষক, গ্রিন হাউজ গ্যাস, গ্লোবাল ওয়ার্মিং, এসিড বৃষ্টি, FGD প্ল্যান্ট, অ্যারহেনিয়াস তত্ত্ব, অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক, লুইস এসিড-ক্ষারক, মিঠা পানি, খরপানি, পানির DO, BOD, COD, TDS, পানিদূষণ, ইউট্রোফিকেশন, ETP, খাদ্যশৃঙ্খল, হাইড্রেশন শেল।

শিখন ফল : এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা –

১. বায়ুমণ্ডলের উপাদানসমূহের বর্ণনা করতে পারবে।
২. ঘূর্ণিঝড় ও জলোচ্ছ্বাস সৃষ্টিতে বায়ুর তাপ, চাপ, ঘনত্ব ও জলীয়বাষ্পের পরিবর্তনের প্রভাব বিশ্লেষণ করতে পারবে।
৩. বয়েল, চার্লস/গে-লুসাক, অ্যাভোগাড্রো, ডাল্টনের আংশিক চাপসূত্র এবং গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৪. বয়েল ও চার্লস সূত্র সম্পর্কিত পরীক্ষা প্রদর্শন করতে পারবে।
৫. গ্যাসের গতিতত্ত্বের স্বীকার্যের ভিত্তিতে গতিশক্তি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৬. আদর্শ গ্যাস ও বাস্তব গ্যাসের পার্থক্য করতে পারবে।
৭. বাস্তব গ্যাসসমূহের আদর্শ আচরণ করার শর্ত ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৮. প্রাকৃতিক গ্যাস ও অন্যান্য গ্যাস সিলিন্ডারজাত করার ক্ষেত্রে গ্যাসসূত্রের প্রয়োগ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৯. বজ্রপাতের সময় বায়ুমণ্ডলে সংঘটিত বিক্রিয়া ও মাটিতে নাইট্রোজেন ফিক্সেশন ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১০. শিল্প নিঃসরিত বায়ু দূষকসমূহ বর্ণনা করতে পারবে।
১১. কোনো এলাকার বায়ুমণ্ডলে গ্রিন হাউজ গ্যাসের উপস্থিতি ও গ্রিন হাউজ প্রভাব বিশ্লেষণ করতে পারবে।
১২. CFC ব্যবহার ও ওজোনস্তর ক্ষয় ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৩. এসিড বৃষ্টির কারণ শনাক্ত করতে ও প্রতিকার ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৪. এসিড-ক্ষার সংক্রান্ত আরহেনিয়াসের তত্ত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৫. ব্রনস্টেড-লাউরির তত্ত্ব ব্যাখ্যা ও অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক শনাক্তকরণ এবং সমীকরণ-এর সাহায্যে তাদের মধ্যে সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৬. অম্ল-ক্ষার সম্পর্কিত লুইস মতবাদ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৭. মিঠা পানির উৎস উল্লেখ ও গুরুত্ব বিশ্লেষণ করতে পারবে।
১৮. সারফেস ওয়াটারের বিশুদ্ধতার মানদণ্ড (খরতা, pH, DO, BOD, COD, TDS) বর্ণনা করতে পারবে।
১৯. শিল্প বর্জ্য ও পানি দূষণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
২০. কোনো এলাকার পানি দূষণ বিশ্লেষণ করে প্রতিকার বর্ণনা করতে পারবে।
২১. পানির প্রাকৃতিক দূষণ–আর্সেনিক দূষণ ও প্রভাব ব্যাখ্যা করতে পারবে।
২২. খাদ্যশৃঙ্খলে ভারী ধাতুযুক্ত হওয়ার কারণ ও প্রভাব বিশ্লেষণ করতে পারবে।
২৩. দূষক পদার্থসমূহের বায়ু ও পানিতে দ্রবীভূত থাকার কৌশল বর্ণনা করতে পারবে।

১.১ বায়ুমণ্ডলের গঠন ও উপাদান

Structure & Composition of Atmosphere

বায়ুমণ্ডলের পরিচিতি : পৃথিবীর চারদিকে অদৃশ্য গ্যাসের যে আবরণী ভূ-পৃষ্ঠ থেকে প্রায় 500 km এর অধিক উচ্চতা পর্যন্ত বিস্তৃত, সেটাই বিজ্ঞানীদের কাছে বায়ুমণ্ডল বা atmosphere নামে পরিচিত।

বায়ুমণ্ডলের সংযুক্তি : বায়ুমণ্ডলীয় গ্যাস মিশ্রণের মধ্যে মূলত রয়েছে N_2 গ্যাস 78.09%, O_2 গ্যাস 20.94%, CO_2 গ্যাস 0.033% এবং অবশিষ্ট পরিমাণ হলো পানি-বাষ্প, নিষ্ক্রিয় গ্যাসসমূহ ও নাইট্রোজেন ও সালফারের বিভিন্ন গ্যাস মিশ্রণ (সারণি ১.১ দ্রষ্টব্য)। বায়ুমণ্ডলের প্রায় 75% গ্যাসীয় মিশ্রণ থাকে ভূপৃষ্ঠ থেকে 11 km পরিসরে এবং 99% ঐ গ্যাসীয় মিশ্রণ থাকে 30 km ব্যাপী-অঞ্চলে।

বায়ুমণ্ডলের বৈশিষ্ট্য : এ বায়ুমণ্ডলটি পৃথিবীর মাধ্যাকর্ষণ শক্তির প্রভাবে পৃথিবীর সাথে আবর্তন করছে। বায়ুমণ্ডলের গ্যাসীয় পদার্থের মোট ভর প্রায় 5.0×10^{18} kg বা 5.0×10^{15} ton, যা পৃথিবীর মোট ভরের দশ লক্ষ ভাগের একভাগ মাত্র এবং ভূপৃষ্ঠের ওপর বায়ুমণ্ডলের চাপ প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে 14.7 পাউন্ড বা প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে 1.033 kg মাত্র।

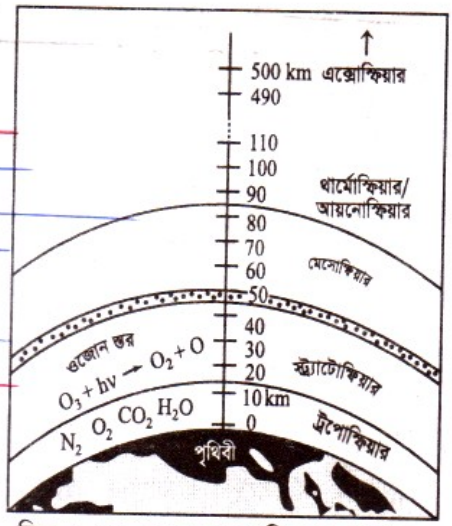
ভূপৃষ্ঠ থেকে উচ্চতা বৃদ্ধির সাথে বায়ুমণ্ডলের ঘনত্ব অধিক হ্রাস পায়। যেমন সমুদ্র সমতলে বায়ুমণ্ডলের চাপ 760 mm(Hg) বা 1 atm হলেও তা 15 km উচ্চতায় প্রায় 100 mm (Hg) বায়ুচাপ এবং 100 km এর ওপরে তা মাত্র 3.0×10^{-7} atm হয়ে থাকে। বায়ুমণ্ডলের বিস্তৃতি ধরা হয় 500 km উচ্চতা পর্যন্ত।

বায়ুমণ্ডলের গুরুত্ব : (১) বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন গ্যাস, জলীয়বাষ্প ও জৈব-অজৈব পদার্থের ভাসমান কণাগুলো সূর্য রশ্মির তাপ শোষণ করে বায়ুমণ্ডলকে উত্তপ্ত রাখে। (২) এ কণাগুলোতে জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হয়ে বৃষ্টিপাত ঘটায়। (৩) এ বায়ুমণ্ডল সূর্যরশ্মির UV রশ্মিকে শোষণ করে পৃথিবীর প্রাণিকুলকে এর ক্ষতিকর প্রভাব থেকে মুক্ত রাখে। (৪) আবার সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় ঐ ভাসমান কণাগুলো সূর্যরশ্মি প্রতিফলন ও শোষিত আলো বিকিরণ করে আকাশে নীল রঙের চাঁদোয়া সৃষ্টি করে।

বায়ুমণ্ডল অঞ্চলসমূহ : বায়ুমণ্ডলকে চাপ ও তাপমাত্রার পরিবর্তন অনুসারে চারটি স্তর বা অঞ্চলে ভাগ করা হয়। যেমন,

(১) ট্রপোস্ফিয়ার, (২) স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার, (৩) মেসোস্ফিয়ার (৪) থার্মোস্ফিয়ার।

ট্রপোস্ফিয়ার : ভূপৃষ্ঠ থেকে 15 km উচ্চতা পর্যন্ত বায়ুমণ্ডলের স্তরকে **ট্রপোস্ফিয়ার** (troposhere) বলে। এ স্তরের বায়ুচাপ 760mm(Hg) থেকে ওপর দিকে কমতে থাকে এবং তা 15km উচ্চতায় প্রায় 100mm(Hg) বায়ুচাপ থাকে। এতে তাপমাত্রাও ওপর দিকে কমতে থাকে। প্রতি কিলোমিটার উচ্চতায় তাপমাত্রা 7°C হারে হ্রাস পেয়ে 12 km উচ্চতায় প্রায় –55°C (বা, 218K) পর্যন্ত হয়। এ ট্রপোস্ফিয়ারে ঝড়, ঝঞ্ঝা প্রভৃতি প্রাকৃতিক বিপর্যয় ঘটে। প্রায় সব ধরনের বিমান এ অঞ্চলেই চলাচল করে। তাই ট্রপোস্ফিয়ারকে **ক্ষুব্ধ মণ্ডলও** বলা হয়। অপরদিকে স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার অঞ্চলে ঝড় বৃষ্টি না থাকায় স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারকে **শান্তমণ্ডল** ও বলা হয়।

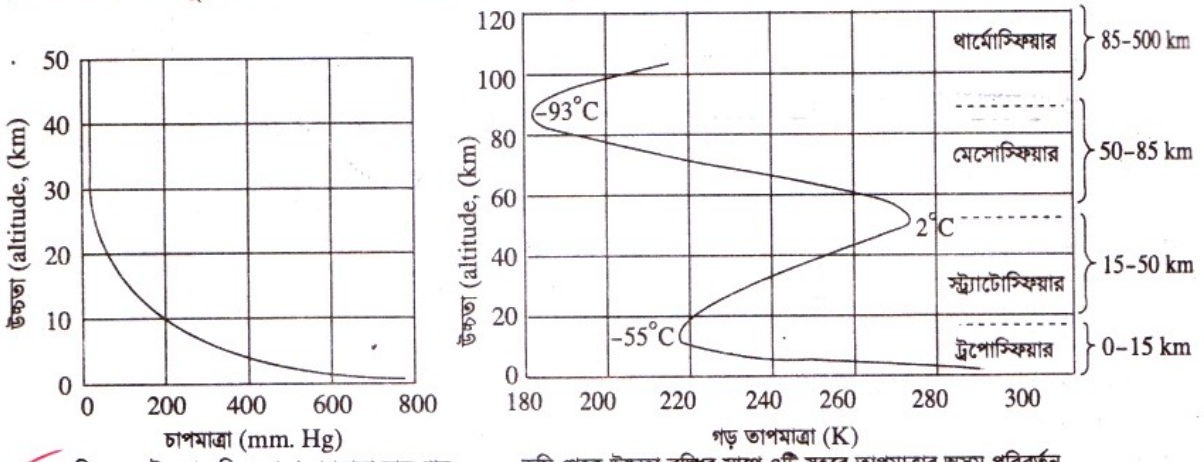


চিত্র ১.১ : বায়ুমণ্ডলের ৪টি স্তর বা অঞ্চল।

স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার : ট্রপোস্ফিয়ারের পর ওপর দিকে 15 km থেকে 50 km উচ্চতা পর্যন্ত বায়ুমণ্ডলের ২য় স্তর **স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার** (stratoshere) 35 km বিস্তৃত। এ স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে তাপমাত্রা –55°C (218K) থেকে ক্রমশ বৃদ্ধি পেয়ে 50km উচ্চতায় 2°C(বা 275K) তাপমাত্রায় পৌঁছে। কিন্তু চাপমাত্রা ট্রপোস্ফিয়ারের মতো ওপর দিকে একইভাবে কমতে থাকে। **স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে** সূর্যের আলোর মধ্যস্থ ক্ষতিকারক UV- রশ্মি শোষণকারী ওজোন (O_3) স্তর অক্সিজেন (O_2) থেকে সৃষ্টি হয়। এ ওজোন স্তর ছাতার মতো পৃথিবীকে আচ্ছাদন করে রাখে। ফলে পৃথিবীর প্রাণিকুল UV- রশ্মির ক্ষতিকারক প্রভাব থেকে মুক্ত থাকে।

মেসোস্ফিয়ার : বায়ুমণ্ডলের ৩য় স্তর হলো 50 km – 85 km পর্যন্ত বিস্তৃত **মেসোস্ফিয়ার** (mesophere)। এ স্তরের শুরু থেকে পূর্বের বিপরীত নিয়মে তাপমাত্রা হ্রাস পেতে থাকে এবং 83km উচ্চতায় –93°C (বা, 180K) তাপমাত্রায় বায়ুমণ্ডল শীতলতম অবস্থায় পৌঁছে।

থার্মোস্ফিয়ার : বায়ুমণ্ডলের ৪র্থ স্তর হলো **থার্মোস্ফিয়ার** (thermosphere); এটি 500 km উচ্চতা পর্যন্ত বিস্তৃত। এ স্তরে বিপরীতভাবে তাপমাত্রা –93°C (বা, 180K) থেকে বৃদ্ধি পেয়ে থার্মোস্ফিয়ারে সৌরবিকিরণ মাত্রার ওপর নির্ভর করে 427°C (বা, 700K) থেকে 1727°C (বা, 2000K) এর মধ্যে পরিবর্তিত হয়। থার্মোস্ফিয়ারে আলো শক্তির প্রভাবে গ্যাসীয় অণুর বিযোজন ও ইলেকট্রন স্থানান্তরের ফলে বিভিন্ন ধনাত্মক আয়ন, পরমাণু ও অণুর মিশ্রণ থাকে। তাই এ অঞ্চলকে **আয়নোস্ফিয়ারও** বলা হয়। এরপর ওপর দিকে রয়েছে অধিক **তাপমাত্রার এক্সোস্ফিয়ার** (exosphere)। চিত্র -১.১, ১.২ এবং সারণি ১.১ এ বায়ুমণ্ডলের ৪টি স্তর বা অঞ্চলের পরিসর, চাপ ও তাপমাত্রার পরিবর্তন দেখানো হলো :



চিত্র ১.২ : বায়ুমণ্ডলের ৪টি স্তরে চাপ ও তাপমাত্রার পরিবর্তন।

সারণি ১.১ : বায়ুমণ্ডলের ৪টি অঞ্চল বা স্তরের পরিসর, চাপ ও তাপমাত্রার পরিবর্তন।

বায়ুমণ্ডল অঞ্চল	পরিসর	চাপমাত্রা	তাপমাত্রা	সংযুক্তিগত অঞ্চল ও উপাদান
১. ট্রপোস্ফিয়ার :	ভূমি থেকে 15 km	760–100 mm (Hg)	১. ক্রমে হ্রাস পেয়ে − 55°C at 12 km.	১. হোমোস্ফিয়ার : মুখ্য উপাদান: N_2 (78.09%), O_2 (20.94%) গ্যাস গৌণ উপাদান : H_2O বাষ্প (1–4%), Ar (0.93%), CO_2 (0.033%), CO, O_3। এছাড়া স্বল্প পরিমাণে আরো ১২টি গ্যাস থাকে (সারণি–১.২)।
২. স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার :	15–50 km	চাপ কমতে থাকে।	২. ক্রমে বৃদ্ধি পেয়ে + 2°C at 50 km	
৩. মেসোস্ফিয়ার :	50–85 km	চাপ কমতে থাকে ।	৩. ক্রমে হ্রাস পেয়ে − 93°C at 83 km	
৪. থার্মোস্ফিয়ার বা, আয়নোস্ফিয়ার	85–500 km	চাপ কমতে থাকে।	৪. ক্রমে বৃদ্ধি পেয়ে + 427°C থেকে 1727°C হয়।	২. হেটারোস্ফিয়ার : মুখ্য উপাদান : N_2, O_2, O, He, H, গৌণ উপাদান: N_2^+, O_2^+, O^+, NO^+, He^+, H^+

বায়ুমণ্ডলে সংযুক্তিগত তারতম্য (Variation in composition) : সংযুক্তিগতভাবে বায়ুমণ্ডলকে হোমোস্ফিয়ার (homosphere) ও হেটারোস্ফিয়ার (heterosphere)-এ দুই প্রধান মণ্ডলে ভাগ করা হয়। তাপমাত্রাভিত্তিক ট্রপোস্ফিয়ার, স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার ও মেসোস্ফিয়ার–এ তিনটি হোমোস্ফিয়ারের অন্তর্ভুক্ত এবং হেটারোস্ফিয়ারে রয়েছে থার্মোস্ফিয়ার ও এক্সোস্ফিয়ার (চিত্র ১.২)।

হোমোস্ফিয়ার : ভূপৃষ্ঠ থেকে প্রায় 85 km উচ্চতা পর্যন্ত হোমোস্ফিয়ার বিস্তৃত। এ অঞ্চল বা মণ্ডলের গ্যাসীয় সংযুক্তি সমসত্ত্বীয়ভাবে মোটামুটি স্থির থাকে; যেমন 78% N_2, 21% O_2 ও 1% আর্গনসহ অন্যান্য গ্যাস। বায়ুমণ্ডলীয় শর্তে, এ গ্যাসমিশ্রণ মোটামুটি আদর্শ আচরণ করে, যেমন এ সব গ্যাসের শতকরা আয়তন শতকরা মোলের পরিমাণের সমান (অ্যাভোগাড্রো সূত্র) এবং প্রতি উপাদান গ্যাসের আংশিক চাপ মোল ভগ্নাংশের সমানুপাতিক হয় (ডাল্টনের সূত্র)।

উত্তপ্ত ভূপৃষ্ঠের সংস্পর্শে থাকা বায়ু উত্তপ্ত হয়ে আয়তনে বৃদ্ধি (চার্লসের সূত্র) ও হালকা হয়। এটি ওপরের শীতল ও ভারী বায়ুতে মিশে যায় এবং শীতল ও ভারী বায়ু নিচে এসে ভূপৃষ্ঠের তাপে উত্তপ্ত হয়ে ওপর দিকে ওঠে। এরূপে পরিচলন প্রক্রিয়ায় শিল্প অঞ্চলের দূষক মিশ্রিত বায়ুও স্থানান্তরিত হয়ে থাকে।

হেটারোস্ফিয়ার : হোমোস্ফিয়ারের ওপরে অর্থাৎ 85 km-এর ওপরে বায়ুমণ্ডলের উপাদান গ্যাস-অণু ও আয়নের অসমসত্ত্ব মিশ্রণ দ্বারা হেটারোস্ফিয়ার গঠিত। তাপীয় পরিবহন এক্ষেত্রে ঘটে না। তাই ভরভিত্তিক–ভারী গ্যাসীয় কণাসমূহ যেমন অক্সিজেন অণু (O_2) ও নাইট্রোজেন অণু (N_2) দ্বারা নিচের স্তর, অক্সিজেন পরমাণু (O) দিয়ে ওপরের স্তর, এরপর হিলিয়াম পরমাণু (He) এবং সবচেয়ে ওপরের স্তরে থাকে মুক্ত হাইড্রোজেন পরমাণু (H)। হেটারোস্ফিয়ারের মধ্যস্থ নিচের অংশ ভরভিত্তিক বিভিন্ন আয়ন যেমন O^+, NO^+, O_2^+, N_2^+ আয়ন ও মুক্ত ইলেকট্রন-এর মিশ্রণ দ্বারা আয়নোস্ফিয়ার (ionosphere) গঠিত (চিত্র- ১.২)। আয়নোস্ফিয়ার রসায়নে আলো শক্তির প্রভাবে গ্যাসীয় অণু বিযোজন (আলোক বিযোজন) ও আলোর প্রভাবে ইলেকট্রন স্থানান্তর (আলোক আয়নীকরণ)-এ দু প্রক্রিয়া জড়িত। যেমন অক্সিজেনের পরমাণুকরণে নিচের মতো চারটি ধাপ থাকে :

$$N_2 \xrightarrow{h\upsilon} N_2^+ + e^- \quad \text{[আলোক আয়নীকরণ]}$$

$$N_2^+ + e^- \longrightarrow N + N$$

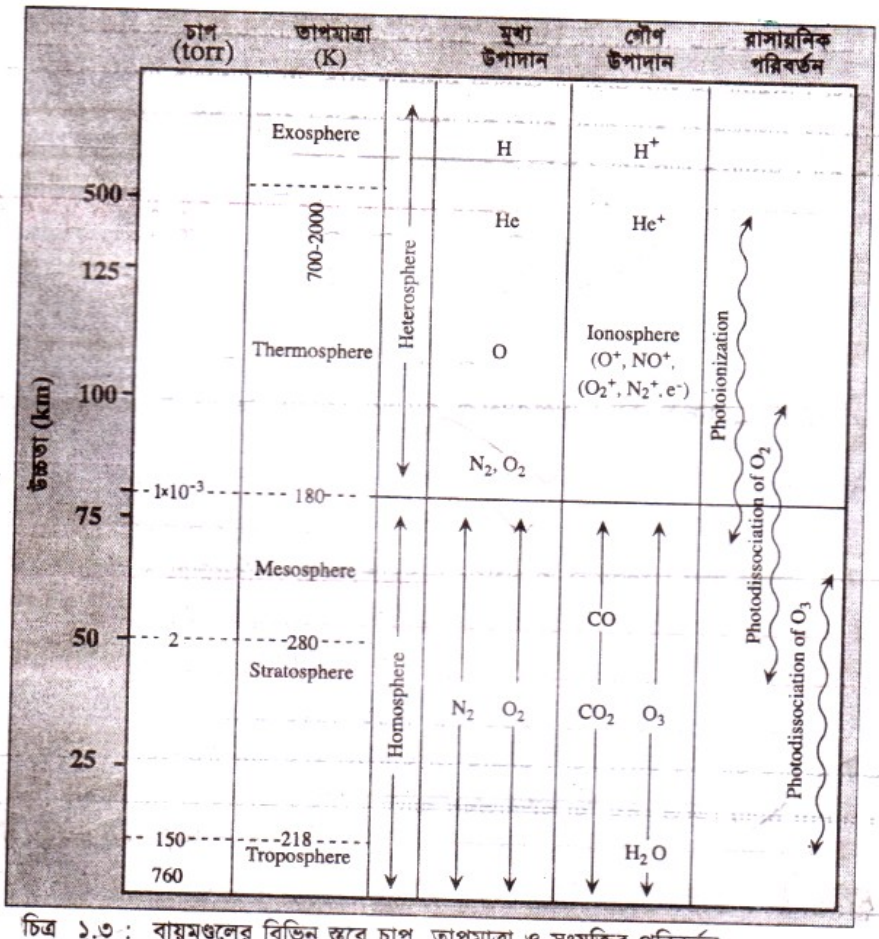
$$N + O_2 \longrightarrow NO + O$$

$$N + NO \longrightarrow N_2 + O$$

যোগ করে, $O_2 \longrightarrow O + O$ [সামগ্রিক আলোক বিযোজন]

MCQ 1.1 : প্রাকৃতিক ঝড়ঝঞ্ঝা ঘটে বায়ুমণ্ডলের কোন স্তরে?
(ক) ট্রপোস্ফিয়ার
(খ) স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার
(গ) মেসোস্ফিয়ার
(ঘ) আয়নোস্ফিয়ার

এসব উচ্চ শক্তির O পরমাণু যখন অন্য অণু ও আয়ন-কণাগুলোকে আঘাত করে, তখন থার্মোস্ফিয়ারের কণাগুলোতে গড় গতিশক্তি বেড়ে যায়।



চিত্র ১.৩ : বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তরে চাপ, তাপমাত্রা ও সংযুক্তির পরিবর্তন।

সারণি-১.২: বায়ুমণ্ডলের শুষ্ক বায়ুর সংযুক্তি

উপাদান	মোল ভগ্নাংশ
N_2	0.78084
O_2	0.20946
Ar	0.00934
CO_2	0.00033
Ne	1.82×10^{-5}
He	5.24×10^{-6}
CH_4	1.70×10^{-6}
Kr	1.14×10^{-6}
H_2	5×10^{-7}
N_2O	5×10^{-7}
CO	1×10^{-7}
Xe	8×10^{-8}
O_3	2×10^{-8}
NH_3	6×10^{-9}
NO_2	6×10^{-9}
NO	6×10^{-10}
SO_2	2×10^{-10}
H_2S	2×10^{-10}

ওজোন স্তরের গুরুত্ব : এবার স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের ওজোন স্তর গঠন এবং এ স্তরের গুরুত্ব সম্বন্ধে জানব। সূর্যের আলোর অধিকাংশ উচ্চশক্তির বিকিরণ অর্থাৎ UV রশ্মি থার্মোস্ফিয়ারে শোষিত হয়, এর কিছু বিকিরণ স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে এসে O_2 অণুকে

ভেঙ্গে O পরমাণুতে পরিণত করে। ঐ শক্তিশালী O পরমাণু আরো O_2 অণুকে আঘাত করে ওজোন অণু (O_3) গঠন করে।

$$O_2(g) \xrightarrow{uv} 2O(g)$$
$$M + O(g) + O_2(g) \longrightarrow O_3(g) + M$$

এখানে M হলো স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের যে কোনো কণা, যা অবশিষ্ট শক্তি শোষণ করে। এ বিক্রিয়ার ফলে সৃষ্ট তাপ শক্তি ট্রপোস্ফিয়ারের –55°C তাপমাত্রাকে বৃদ্ধি করে স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে 50 km উচ্চতায় 2°C এ পরিণত করে। এ স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের ওজোন স্তর সূর্যের আলোর UV-রশ্মি শোষণ করে পৃথিবীর প্রাণিকুলকে এর ক্ষতিকর প্রভাব থেকে মুক্ত রাখে। এ উচ্চশক্তির UV রশ্মি রাসায়নিক বন্ধনকে ভেঙ্গে দিতে পারে, বায়োলজিক্যাল প্রক্রিয়াকে বিনষ্ট করতে পারে এবং ক্যান্সার রোগ বৃদ্ধি করতে পারে। ওজোন স্তর UV রশ্মি শোষণ করে অক্সিজেনে পরিণত হয়। $O_3(g) \xrightarrow{uv} O_2(g) + O(g)$ এরূপে আবহাওয়া পরিমণ্ডলে শক্তির বিনিময়ে রাসায়নিক প্রক্রিয়া চলমান রয়েছে।

MCQ : 1.2 : Stratosphere এর বিস্তার কত km?
(ক) 1 –15 km (খ) 15 –40 km
(গ) 15 –50 km (ঘ) 50 –85 km

১.২ ঘূর্ণিঝড় ও জলোচ্ছ্বাস (Cyclone and Storm-Surge)

ঘূর্ণিঝড় ও সমুদ্রে জলোচ্ছ্বাস সৃষ্টিতে বিভিন্ন নিয়ামকের প্রভাব : ঘূর্ণিঝড় ও সমুদ্রে জলোচ্ছ্বাস সৃষ্টিতে বায়ুমণ্ডলের (১) তাপমাত্রা, (২) চাপ, (৩) বায়ুর ঘনত্ব ও (৪) সামুদ্রিক জলীয় বাষ্পের অবস্থা পরিবর্তনের প্রভাব রয়েছে। বায়ুমণ্ডলে বিভিন্ন অঞ্চলের বায়ুর প্রবাহের দিক ঐ অঞ্চলের বায়ুর তাপমাত্রা ও বায়ুর ঘনত্বের ওপর নির্ভর করে।

দিনের বেলায় সূর্যের প্রখর তাপে স্থলভাগের বায়ুর ঘনত্ব হ্রাস পায় এবং সমুদ্রের ওপরে জলীয় বাষ্প মিশে সামুদ্রিক বায়ুর ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়। ফলে দিনের বেলায় **সমুদ্র বায়ু প্রবাহ** ও রাতের বেলায় **স্থলবায়ু প্রবাহ** সৃষ্টি হয়। **বায়ুমণ্ডলে** বায়ুর তাপমাত্রা ও ঘনত্বের অধিক তারতম্যের কারণে নিম্নচাপের সৃষ্টি হলে ঐ অঞ্চলে **ঘূর্ণিঝড় সৃষ্টি হয়**। ঘূর্ণিঝড় গভীর সমুদ্রে ও স্থলভাগে-এ উভয় স্থানে হতে পারে। সমুদ্রে সৃষ্ট ঘূর্ণিঝড়কে সাইক্লোন, হারিকেন অথবা টাইফুন বলে। স্থলভাগে সৃষ্ট ঘূর্ণিঝড় টর্নেডো বা কালবৈশাখী ঝড় নামে পরিচিত হয়। সামুদ্রিক ঘূর্ণিঝড়ের ফলে **জলোচ্ছ্বাস** হয়ে থাকে।

স্থলবায়ু ও সমুদ্রবায়ু প্রবাহের সৃষ্টি : সূর্যের প্রখর তাপে দিনের বেলায় স্থলভাগ দ্রুত উত্তপ্ত হয় এবং স্থলভাগের বিকিরিত রশ্মি বায়ুমণ্ডলকে উত্তপ্ত করে। তখন স্থলভাগের ওপরে উত্তপ্ত গ্যাসীয় অণুর গতি বৃদ্ধি পায় এবং নিম্নচাপ সৃষ্টি হয়। তাপ বিকিরণের কারণে রাতের বেলায় স্থলভাগ দ্রুত শীতল হয়। সূর্যের প্রখর তাপে দিনের বেলায় জলভাগে পানি বাষ্পীভূত হয়ে বায়ুমণ্ডলে মিশে গ্যাসীয় অণুর সংখ্যা বৃদ্ধি করে। ফলে জলভাগের ওপরে শীতল বায়ুর ঘনত্ব বৃদ্ধি পায় এবং উচ্চচাপ সৃষ্টি হয়। এরূপে জলভাগ ধীরে ধীরে উত্তপ্ত হয়ে রাতের বেলায় স্থলভাগের তুলনায় অধিক উষ্ণ থাকে। তাই দিনের বেলায় জলভাগ থেকে **শীতল উচ্চচাপের সমুদ্র বায়ু স্থলভাগে প্রবাহিত হয়। অপরদিকে রাতের বেলায় শীতল উচ্চচাপের শুষ্ক স্থলবায়ু সমুদ্রের দিকে প্রবাহিত হয়**। এরূপে জলভাগ ও স্থলভাগের ওপরে তুলনামূলকভাবে বায়ুর ঘনত্ব যথাক্রমে বৃদ্ধি ও হ্রাস পায়।

ঘূর্ণিঝড় সৃষ্টির কারণ : যেহেতু ঘূর্ণিঝড় বা সাইক্লোন সৃষ্টি হয় স্থলভাগ থেকে অনেক দূরে গভীর সমুদ্রে; তাই **সাইক্লোন সৃষ্টির মূল দুটি কারণ হলো গভীর সমুদ্রের পানির উচ্চ তাপমাত্রা ও সমুদ্রে নিম্নচাপ সৃষ্টি**। সাধারণত সাইক্লোন তৈরি হতে **সাগরের পানির তাপমাত্রা 27°C (বা 80°F) এর বেশি** হতে হয়। আর বঙ্গোপসাগরে বছরের প্রায় সময় এ তাপমাত্রা থাকে। গভীর সাগরে নিম্নচাপ সৃষ্টি হলে আশেপাশের ভারী বাতাস সেদিকে প্রবল বেগে ধাবিত হয় এবং বাড়তি তাপমাত্রায় উত্তপ্ত হয়। তখন অক্ষ বরাবর পৃথিবীর ঘূর্ণন গতির প্রভাবে উত্তপ্ত বায়ু ঘুরতে ঘুরতে ওপর দিকে উঠতে থাকে। তখন ওপরের বাতাসে তাপমাত্রা কম এবং জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব বেশি থাকায় তা ঘনীভূত হয়ে বৃষ্টিপাত ঘটায়। বৃষ্টিপাতের ফলে জলীয় বাষ্প থেকে **সুপ্ত তাপ** বা Latent heat ছেড়ে দেয়, যা বাষ্পীভবন বাড়িয়ে দেয়। আবার এ সুপ্ততাপের প্রভাবে সমুদ্রের বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রাও বেড়ে যায়। ফলে বিশাল এলাকা জুড়ে বায়ুমণ্ডলে চাপ ও তাপমাত্রার অস্থিতিশীল অবস্থা সৃষ্টি হয়। তখন নিম্নচাপটি কেন্দ্রমুখী হয় এবং চারদিক থেকে ধেয়ে আসা বায়ু চক্রাকারে আবর্তিত হতে থাকে। **এ অবস্থাটি হলো ঘূর্ণিঝড় বা সাইক্লোন**। সাইক্লোন শব্দটি গ্রিক শব্দ 'Kyklos' থেকে উদ্ভূত; এর অর্থ হলো coil of snakes বা সাপের কুণ্ডলী। ৬নং পৃষ্ঠায় ১.৪(খ) নং ছবিটি সাইক্লোনের স্যাটেলাইট ছবি। এতে সুস্পষ্ট যে, প্রচণ্ড গতিবেগসম্পন্ন কেন্দ্রমুখী বায়ু-কুণ্ডলী দ্রুতগতিতে ধেয়ে চলেছে।

আমরা জানলাম, **গভীর সমুদ্রে সৃষ্ট নিম্নচাপের কারণে যখন প্রচণ্ড গতিসম্পন্ন চারদিক থেকে ধেয়ে আসা বাতাস এককেন্দ্রিক ঊর্ধ্বমুখী ঘূর্ণনের আকারে স্থলভাগের দিকে অগ্রসর হয়, তাকেই সাইক্লোন বা সামুদ্রিক ঘূর্ণিঝড় বলে।** সাইক্লোনের গতিবেগ কমপক্ষে প্রতি ঘণ্টায় 63 কিলোমিটার বা 40 মাইল হতে হয়।

1991 সালে বাংলাদেশে আঘাত হানা সাইক্লোনের ঘণ্টায় গতিবেগ ছিল 225 কিলোমিটার। কোনো কোনো সাইক্লোনের স্থায়িত্বকাল 2–6 দিন এবং এর গতিপথ গ্রীষ্মমণ্ডলীয় মূল বায়ুপ্রবাহ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। ঘূর্ণিঝড়ের আঘাতে স্থলভাগে গাছপালা, বাড়িঘর ধ্বংস স্তূপে পরিণত হয়। এতে পশু-পাখি ও মানুষ মারা পড়ে।

চিত্র ১.৪ : (ক) সমুদ্রে সৃষ্ট ঘূর্ণিঝড় (খ) উপগ্রহ থেকে দৃশ্যমান সাইক্লোন (গ) ঘূর্ণিঝড়ে ধ্বংসযজ্ঞ

সামুদ্রিক জলোচ্ছ্বাস সৃষ্টি : ঘূর্ণিঝড়ের আরেকটি মারাত্মক দিক হলো জলোচ্ছ্বাস। ঘূর্ণিঝড়ের আঘাতে সমুদ্রের পানি বিশাল ঢেউ তৈরি করে। এ ঢেউ যতই সমুদ্রের তীরের কাছাকাছি আসে এ সব ঢেউ আরও দীর্ঘ হয়ে ভয়ঙ্কর জলোচ্ছ্বাসে রূপ নেয়। ঢেউয়ের উচ্চতা 100 ফুট পর্যন্ত উঁচু এবং ঘণ্টায় গতিবেগ 500 মাইলেরও বেশি হতে পারে। সমুদ্রতলদেশে ভূমিকম্প, ভূমিধ্বস ও আগ্নেয়গিরির অগ্ন্যুৎপাতের ফলেও সামুদ্রিক জলোচ্ছ্বাসের সৃষ্টি হতে পারে। এরূপ জলোচ্ছ্বাসকে সুনামি (tsunami) বলে। এরূপ একটি সুনামি বা ভয়ঙ্কর জলোচ্ছ্বাস ঘটে 2004 সালের 26 ডিসেম্বর তারিখে। তখন ইন্দোনেশিয়ার সুমাত্রা দ্বীপের কাছাকাছি ভারত মহাসাগরের তলদেশে সৃষ্টি হয়েছিল ট্যাকটনিক ভূমিকম্প। এটি সমুদ্রের তলদেশে ইউরেশিয়ান প্লেট ও অস্ট্রেলিয়ান প্লেটের সংঘর্ষে সৃষ্টি হয়।

এছাড়া বাংলাদেশে চৈত্র-বৈশাখ মাসে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে স্থলভাগে অধিক নিম্নচাপ সৃষ্টির কারণে দক্ষিণ-পশ্চিম মৌসুমি বায়ুর প্রভাবে স্থলভাগে **ঘূর্ণিঝড় বা কালবৈশাখী বা টর্নেডো** সৃষ্টি হয়। সামুদ্রিক ঘূর্ণিঝড়ের মতো টর্নেডোর ক্ষেত্রেও প্রচণ্ড বেগে বাতাস ঘূর্ণির আকারে ধুলাবালি স্তম্ভ সৃষ্টি করে প্রবাহিত হয় এবং ঘূর্ণির আবর্তে যা পড়ে, তা সবই বিধ্বস্ত হয়। টর্নেডোর বিস্তার সাইক্লোনের চেয়ে অনেক কম, বিস্তার মাত্র কয়েক মিটার এবং দৈর্ঘ্যে 5–30 কিলোমিটার হয়। বাংলাদেশে 1970 সালে নভেম্বর মাসে বঙ্গোপসাগরের উপকূল অঞ্চলে প্রায় 20-25 ফুট উচ্চতায় জলোচ্ছ্বাস ঘটে। এতে তখন কয়েক লক্ষ মানুষের মৃত্যু ঘটে। অসংখ্য গো-মহিষ প্রাণ হারায়। দেশের বিপুল ক্ষতি হয়। 1989 সালে প্রলয়ঙ্করী টর্নেডো আঘাত হানে মানিকগঞ্জের সাটুরিয়াতে। এ টর্নেডোর গতিপথের মধ্যে যা পড়েছে, তার সবকিছুই ধ্বংস হয়ে গিয়েছিল; [চিত্র - ১.৪ (গ)]।

বঙ্গোপসাগরে সাইক্লোনের কারণে সৃষ্ট জলোচ্ছ্বাসের ফলে উপকূলীয় বিস্তর কৃষিজমি লবণাক্ত পানিতে ডুবে যায়, বাড়িঘর, গাছপালা বিধ্বস্ত হয়। অনেক মানুষ ও গৃহপালিত গরু ছাগল মারা পড়ে। এজন্য বাংলাদেশ সরকার সাগর পাড়ে উচ্চ বাঁধ নির্মাণ করে এ জলোচ্ছ্বাসের প্রতিকারের ব্যবস্থা নিয়েছে।

বিগত পঞ্চাশ বছরে বিশ্বের বিভিন্ন অঞ্চলে সৃষ্ট উল্লেখযোগ্য কয়েকটি ঘূর্ণিঝড় বা সাইক্লোন, হ্যারিকেন ও টর্নেডো নিচের সারণিতে দেখানো হলো।

ঘূর্ণিঝড়ের নাম	সন	সংঘটিত অঞ্চল
(১) সাইক্লোন	1970	ভোলা ও পার্শ্ববর্তী দ্বীপাঞ্চল, বাংলাদেশ
(২) সাইক্লোন	1991	বাংলাদেশের দক্ষিণের উপকূলাঞ্চল
(৩) ক্যাটরিনা (হারিকেন)	2005	ইন্ডিয়ানা, যুক্তরাষ্ট্র
(৪) সিডোর (সাইক্লোন)	2007	বাংলাদেশের দক্ষিণ পশ্চিমাঞ্চল
(৫) আইলা (টর্নেডো)	2012	সমগ্র বাংলাদেশ
(৬) স্যান্ডি (হারিকেন)	2012	নিউইয়র্কসহ পূর্ব উপকূল, যুক্তরাষ্ট্র
(৭) মহাসেন (জলোচ্ছ্বাস)	2013	বাংলাদেশ ও ভারত

ঘূর্ণিঝড় বা সাইক্লোন ও জলোচ্ছ্বাস সৃষ্টির মূলে রয়েছে বায়ুমণ্ডলের গ্যাসীয় পদার্থর ওপর সূর্যের তাপমাত্রার প্রভাব। সূর্যের প্রখর তাপে পৃথিবী পৃষ্ঠ উত্তপ্ত হয়ে তাপ বিকিরিত হয়। এ বিকিরিত তাপ বায়ুমণ্ডলের গ্যাসের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে; সমুদ্রের জলরাশিকে বাষ্পীভূত করে। ফলে বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে বায়ুর ঘনত্ব হ্রাস পায়, বায়ুমণ্ডলে নিম্নচাপ সৃষ্টি হয়। বায়ুমণ্ডলে নিম্নচাপ সৃষ্টি হলে সাইক্লোন ও সামুদ্রিক জলোচ্ছ্বাস প্রভৃতি প্রাকৃতিক দুর্যোগ ঘটে। সুতরাং বায়ুমণ্ডলীয় প্রাকৃতিক দুর্যোগ সৃষ্টির মূলে রয়েছে বায়ুমণ্ডলের উপাদান গ্যাস N_2, O_2, CO_2, পানি-বাষ্প প্রভৃতির ওপর তাপমাত্রা, গ্যাসের ঘনত্ব ও চাপের প্রভাব। বিজ্ঞানীরা গ্যাসের আয়তন, ঘনত্ব ও গতিশক্তির ওপর গ্যাসের তাপমাত্রার ও চাপের প্রভাব সম্পর্কীয় কিছু পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণ ভিত্তিক গ্যাস সূত্র প্রতিষ্ঠিত করেন। এখন আমরা গ্যাসের বৈশিষ্ট্য ও গ্যাস সূত্রসমূহ আলোচনা করব।

১.২.১ গ্যাসীয় অবস্থা ও গ্যাসের বৈশিষ্ট্য

Gaseous State & Characteristics of Gases

গ্যাস : গ্যাস হলো সাধারণ তাপমাত্রায় ও চাপে পদার্থের একটি ভৌত অবস্থা; এ অবস্থায় আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল অপেক্ষা অণুসমূহের স্থানান্তর গতি অধিক হয়ে থাকে। যেমন, হাইড্রোজেন গ্যাস, H_2।

গ্যাসীয় অবস্থায় পদার্থের উল্লেখযোগ্য বৈশিষ্ট্য আছে। যেমন-

(১) আকৃতি ও আয়তন : গ্যাসসমূহের কোনো নির্দিষ্ট আকৃতি ও আয়তন নেই। যে পাত্রে রাখা হয়, গ্যাসসমূহ সে পাত্রের আকৃতি ও আয়তন ধারণ করে। যেকোনো স্বল্প পরিমাণের যেকোনো গ্যাস এর পাত্রের অভ্যন্তরস্থ সম্পূর্ণ স্থান দখল করে।

(২) গ্যাসের ঘনত্ব : উত্তপ্ত গ্যাসের ঘনত্ব কম হয়। আবার অধিক চাপে গ্যাসের ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়।

(৩) চাপে আয়তনের সংকোচন : গ্যাসের আন্তঃআণবিক স্থান খুব বেশি থাকায় গ্যাস অত্যন্ত সংকোচনশীল। চাপ প্রয়োগ করলে গ্যাসের আয়তন খুব হ্রাস পায়।

(৪) তাপে আয়তনের সম্প্রসারণ : গ্যাসের আয়তনের ওপর তাপমাত্রা ও চাপের প্রভাব অত্যধিক। স্থির চাপে গ্যাসসমূহের তাপীয় সম্প্রসারণ খুব বেশি। অর্থাৎ তাপ প্রয়োগে গ্যাসের আয়তন খুব বৃদ্ধি পায়।

(৫) সমসত্ত্ব মিশ্রণ ক্ষমতা : পরস্পর বিক্রিয়াবিহীন একাধিক গ্যাস সকল অনুপাতে পরস্পরের সাথে সম্পূর্ণরূপে মিশ্রিত হয়ে সমসত্ত্ব মিশ্রণ তৈরি করে।

১.৩ গ্যাস সূত্রসমূহ (The Gas Laws)

বিজ্ঞানীরা গ্যাসের ভৌতধর্ম ভিত্তিক পরিবর্তনশীল চারটি রাশি যেমন গ্যাসের মোল সংখ্যা (n), আয়তন (V), চাপ (P) ও তাপমাত্রা (T) প্রভৃতির যে কোনো দুটি রাশিকে স্থির রেখে অপর দুটি রাশির মধ্যে পরীক্ষা-নিরীক্ষা করে কিছু সম্পর্ক উপস্থাপন করেছেন, যা গ্যাসসূত্র (gas laws) নামে পরিচিত। গ্যাসের চারটি পরিবর্তনশীল রাশির মধ্যে স্থাপিত তিনটি মূল সম্পর্ক হলো-বয়েলের সূত্র, চার্লসের সূত্র ও অ্যাভোগাড্রো সূত্র। এ তিনটি সূত্রের সমন্বয়ে গাণিতিকভাবে প্রাপ্ত গ্যাসের মোলসংখ্যা, চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রার মাত্রিক সম্পর্কটি **আদর্শ গ্যাস সমীকরণ (ideal gas equation)** নামে পরিচিত। যদিও প্রকৃত পক্ষে আদর্শ-গ্যাস বলে কিছু নেই। সাধারণ গ্যাস যেমন N_2, O_2, H_2 ও নোভেল গ্যাস He, Ne ইত্যাদি বাস্তব গ্যাসসমূহ সাধারণ তাপমাত্রা ও চাপে মোটামুটিভাবে আদর্শ গ্যাসের মতো আচরণ করে।

১.৩.১ গ্যাসের আয়তন, চাপ ও তাপমাত্রার একক

Units of Gaseous Volume, Pressure and Temperature

আয়তন (Volume) : কোনো পাত্রের যে আয়তনের মধ্যে গ্যাসের অণুসমূহ ইতস্তত ছুটাছুটি করে তাকে ঐ গ্যাস দ্বারা দখলকৃত আয়তন বলে। গ্যাসের আয়তন তাপমাত্রা ও চাপের ওপর নির্ভরশীল। গ্যাসের আয়তনকে 'V' দ্বারা প্রকাশ করা হয়। গ্যাসের আয়তন পরিমাপের বিভিন্ন একক ও তাদের সম্পর্ক নিম্নরূপ :

(১) আয়তন : এস. আই (SI) এককে গ্যাসের আয়তনকে ঘনমিটার (m^3) বা ঘন ডেসি মিটারে (dm^3) বা ঘন সেন্টিমিটারে (cm^3) প্রকাশ করা হয়। এছাড়া আয়তনকে লিটারে (L) বা মিলি লিটারে (mL) প্রকাশ করা হয়।

$$1 m^3 = 10^3 dm^3 = 10^3 L;\ 1L = 1000 mL = 1000 cm^3$$

এককসমূহের সম্পর্ক :

$1 m^3 = 10^3 dm^3$ বা, $1000 dm^3 = 10^3 L$ বা, $1000 L = 10^6 cm^3$

আবার $1 dm^3 = 1000 cm^3 = 1L = 1000 mL$.

সুতরাং $1m^3 = 10^3\,dm^3 = 1000\,L$ ∴ $1L = 1 \times 10^{-3}\,m^3$ ∴ $22.414L = 22.414 \times 10^{-3}\,m^3$

(২) চাপ (Pressure) : গ্যাসপাত্রে গ্যাসের অণুসমূহ অবিরত ইতস্তত ছুটাছুটি করার ফলে পাত্রের একক ক্ষেত্রফলের ওপর গ্যাস অণুসমূহ যে বল প্রয়োগ করে, তাকে গ্যাসের চাপ বলে। বহুকাল থেকে গ্যাসের চাপের একক বায়ুচাপ বা বায়ুমণ্ডল বা অ্যাটমসফিয়ার (atmosphere,সংক্ষেপে atm) ব্যবহৃত হয়ে আসছে। $0^\circ C$ তাপমাত্রায় 45° অক্ষাংশে সমুদ্র সমতলে যে পরিমাণ বায়ুচাপ 760 mm পারদ স্তম্ভের চাপের সমান হয়, তাকে এক বায়ুমণ্ডল চাপ বা এক বায়ুচাপ (atm) বলে। মি.মি. পারদ (mm Hg) এককেও চাপ প্রকাশ করা হয়। বিজ্ঞানী টরিসেলির (E.Torricelli) নামানুসারেও নিম্নচাপের ক্ষেত্রে টর (torr) একক ব্যবহৃত হয়। 1torr = 1mm (Hg)। সাধারণভাবে বিভিন্ন গণনার কাজে চাপের একক atm, mm (Hg) বা torr ব্যবহৃত হলেও বর্তমানে বৈজ্ঞানিক পরীক্ষা-নিরীক্ষার কাজে SI এককে গ্যাসের চাপ নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয়।

SI এককে গ্যাসের চাপকে নিউটন/মিটার^2 বা প্যাসকেল (Pg) এককে প্রকাশ করা হয়। প্রতি বর্গমিটারে এক নিউটন বলকে প্যাসকেল (Pascal) বলা হয়। [$1Pa = 1\,Nm^{-2}$ [$Nm^{-2} = kgms^{-2}.m^{-2} = kgm^{-1}.s^{-2}$]

1 বায়ুমণ্ডল চাপ = 1atm = 0.76 m (Hg) স্তম্ভের ভর।

$= 0.76\,m \times (13.5951 \times 10^3\,kgm^{-3}) \times 9.80665\,ms^{-2}$

$1atm = \mathbf{101.325 \times 10^3\,Nm^{-2}} = 101.325 \times 10^3\,Pa = \mathbf{101.325\ kPa.}$

∴ $1atm = 101.325\,kPa = 1.01 \times 10^5\,Pa = 1.01 \times 10^5\,Nm^{-2} = 760\,mm\,(Hg)$

চাপের বিভিন্ন এককের সম্পর্ক : গ্যাসের চাপকে নিম্নোক্ত বিভিন্ন এককে প্রকাশ করা হয়। যেমন-

1atm = 76.0 cm (Hg) =760 mm (Hg) =101.325 kPa = 101.325×10^3 Pa =760 torr = 1 bar

উল্লেখ্য, **SI এককে যে পরিমাণ বল এক কিলোগ্রাম ভর বিশিষ্ট কোন বস্তুর ওপর প্রযুক্ত হয়ে এক মিটার/(সেকেন্ড)^2 ত্বরণ সৃষ্টি করে, তাকে এক নিউটন (N) বলে।** ∴ 1N বল = $1\,kgms^{-2}$

(৩) তাপমাত্রা (Temperature) : বহুকাল যাবৎ তাপমাত্রা প্রকাশের জন্য সেলসিয়াস স্কেল ও ফারেনহাইট স্কেল ব্যবহৃত হয়ে আসছে। বর্তমানে সেলসিয়াস স্কেলের ঋণাত্মক মানকে ধনাত্মক মানে পরিবর্তন করার জন্য পরম তাপমাত্রা স্কেল (Absolute scale of Temperature) নামক নতুন স্কেল প্রবর্তিত হয়েছে, এটিকে তাপমাত্রার **কেলভিন স্কেল** (Kelvin scale of Temperature)-ও বলা হয়। সেলসিয়াস স্কেলের তাপমাত্রার প্রতীক t এবং কেলভিন স্কেল তাপমাত্রার প্রতীক T ধরা হয়। কিন্তু সেলসিয়াস তাপমাত্রাকে °C রূপে এবং কেলভিন তাপমাত্রাকে K রূপে উল্লেখ করা হয়। যেমন, কক্ষতাপমাত্রা $t = 25^\circ C$ বা, $T = 298\,K$। সেলসিয়াস স্কেল ও কেলভিন স্কেলে তাপমাত্রার পারস্পরিক সম্পর্ক : কেলভিন তাপমাত্রা = (273 + সেলসিয়াস তাপমাত্রা।)

M 15-16

কারণ, $0^\circ C \triangleq 273.15\,K$ (সংক্ষেপে 273 K)

যেমন, $25^\circ C \triangleq (273.15 + 25)\,K = 298.15\,K$ (সংক্ষেপে 298 K)।

এখানে ব্যবহৃত $\triangleq$ চিহ্নের অর্থ হলো 'অনুরূপ'; (এটি গুণগত সম্পর্ক প্রকাশক চিহ্ন)

উল্লেখ্য প্রমাণ তাপমাত্রা বলতে $0^\circ C$ বা, 273 K ধরা হয়।

কক্ষতাপমাত্রা বলতে $25^\circ C$ বা, 298 K ধরা হয়।

বর্তমানে গ্যাসের মোলার আয়তন প্রকাশের দুটি পদ্ধতি আছে। যেমন-

(১) STP পদ্ধতি : STP এর পুরো নাম Standard Temperature and Pressure. এ পদ্ধতিতে আদর্শ তাপমাত্রা $0^\circ C$ বা, 273 K ও আদর্শ চাপ 1atm বা, 101.325 kPa ধরা হয়। STP তে গ্যাসের মোলার আয়তন হয়, $V_m = 22.414\,Lmol^{-1}$।

(২) SATP পদ্ধতি : SATP এর পুরো নাম Standard Ambient Temperature and Pressure. Ambient শব্দের অর্থ হলো পারিপার্শ্বিক বা আবহমণ্ডল বা কক্ষ। এ পদ্ধতিতে বিশ্বব্যাপি গ্যাসের কক্ষ তাপমাত্রা $25^\circ C$ বা, 298 K (কেলভিন) এবং বায়ুমণ্ডল চাপ 100 kPa (কিলো প্যাসকেল) ধরা হয়। SATP তে গ্যাসের মোলার আয়তন, $V^\theta_m = 24.789\,Lmol^{-1}$ ধরা হয়।

১.৩.১ বয়েলের সূত্র : গ্যাসের আয়তন ও চাপের মধ্যে সম্পর্ক

Boyle's Law : The Relation between Gas Volume & Pressure

বিজ্ঞানী টরিচেলির (Torricell's) ব্যারোমিটার আবিষ্কারের পর ইংরেজ রসায়নবিদ রবার্ট বয়েল তাপমাত্রা স্থির রেখে বিভিন্ন গ্যাসের আয়তনের ওপর চাপের প্রভাব সম্পর্কে গবেষণা করেন। তাঁর গবেষণার ফলাফল 1660 খ্রিস্টাব্দে প্রকাশ করেন; একে বয়েলের সূত্র বলা হয়। **বয়েলের সূত্রটি নিম্নরূপ :**

"স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন ঐ গ্যাসের ওপর প্রযুক্ত চাপের ব্যস্তানুপাতিক।"

বয়েলের সূত্রের গাণিতিক ব্যাখ্যা :

স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট পরিমাণ বা ভরবিশিষ্ট কোনো গ্যাসের ওপর প্রযুক্ত চাপ P_1 এবং তার আয়তন V_1 হলে তখন বয়েলের সূত্র মতে,

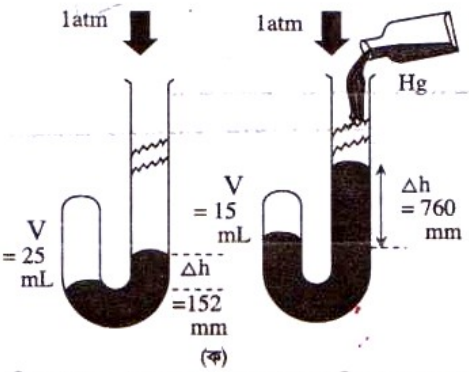
$V_1 \propto \frac{1}{P_1}$; বা, $V_1 = K.\frac{1}{P_1}$; এখানে K হলো আনুপাতিক ধ্রুবক এবং n ও T স্থির।

অর্থাৎ $P_1V_1 = K$ (ধ্রুবক) ... ... (১)

নির্দিষ্ট ভরের ঐ একই গ্যাসের ওপর প্রযুক্ত চাপ P_2 এবং সে চাপে আয়তন V_2 হলে; তখন স্থির তাপমাত্রায়, অনুরূপভাবে আমরা পাই, $P_2V_2 = K$ (ধ্রুবক) ... ... (২)

এখন সমীকরণ (১) ও (২) থেকে পাই, $P_1V_1 = P_2V_2$ ∴ বয়েলের সূত্রের সমীকরণ হলো $\boxed{P_1V_1 = P_2V_2}$

পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণ ডাটা : এখন আমরা বয়েলের সূত্রের সত্যতা পরীক্ষার জন্য একটি নমুনা গ্যাসকে একমুখ বদ্ধ J-আকৃতির গ্লাস টিউবে পারদ ঢেলে আবদ্ধ করব [এক্ষেত্রে n ও T স্থির আছে।] চিত্র-১.৫ মতে, J আকৃতির লম্বা বাহুতে মারকারি ঢেলে চাপ বাড়ালে গ্যাসের আয়তন আনুপাতিক হারে কমে। পর্যবেক্ষণ ডাটা সারণি-১.৩ তে রেকর্ড করা হলো। চিত্র- ১.৫ মতে, লক্ষ কর গ্যাসের ওপর মোট চাপ = বায়ুমণ্ডল চাপ P_{atm} + মারকারি কলামের পার্থক্য (Δh) এর mm এককে মোট mm(Hg)-এর চাপ।



সারণি ১.৩: গ্যাসের আয়তন ও চাপের সম্পর্ক

V(mL)	মোট চাপ, P(mm.Hg)	$\frac{1}{P}$	PV (torr) mL
	h + P_{atm} = P		
30	00 + 760 = 760	0.00132	2.28×10^4
25	152 + 760 = 912	0.00109	2.28×10^4
20	380 + 760 = 1140	0.00088	2.28×10^4
15	760 + 760 = 1520	0.00066	2.28×10^4
10	1520 + 760 = 2280	0.00044	2.28×10^4

(খ)

চিত্র ১.৫ : (ক) গ্যাসের ওপর চাপবৃদ্ধিতে আয়তনের পরিবর্তন পর্যবেক্ষণ : (খ) পর্যবেক্ষণ ডাটা।

আরো লক্ষ কর, স্থির তাপমাত্রায় গ্যাসের ওপর চাপ দ্বিগুণ করলে গ্যাসের আয়তন অর্ধেক হয়। এখন প্রাপ্ত ডাটা নিয়ে V বনাম P লেখচিত্র অঙ্কন করলে একটি অধিবৃত্ত বা হাইপারবোলা এবং V বনাম 1/P লেখচিত্র অঙ্কন করলে মূলবিন্দুগামী একটি সরলরেখা পাওয়া যায়। এছাড়া বয়েলের সূত্র মতে, PV বনাম P লেখচিত্রটি X-অক্ষের সমান্তরাল রেখা হয়। বয়েলের সূত্রের এ তিন ধরনের লেখকে **সমোষ্ণ লেখ বা আইসোথার্ম** (isotherm) বলে [চিত্র-১.৬ (ক, খ, গ]। গ্যাসের আচরণের এ সরলরৈখিক গ্রাফিক্যাল বৈশিষ্ট্য থেকে জ্যামিতিক সমীকরণ $y = mx + c$ এবং বয়েলের সূত্রের গাণিতিক সমীকরণে সাদৃশ্য রয়েছে। এক্ষেত্রে $y = V$, $m = K$ = সরল রেখার ঢাল (slope), $x = 1/P$ এবং $c = o$ (y অক্ষের ছেদন দূরত্ব)।

$V = K \times \frac{1}{P} + 0$ (অথবা $PV = K$)

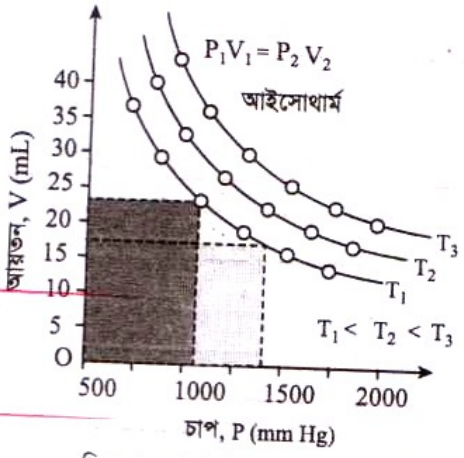
$y = m \quad x \quad c$

বয়েলের সূত্রভিত্তিক পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণ ডাটা থেকে অঙ্কিত লেখচিত্র : সমোষ্ণ লেখসমূহ :

লেখচিত্রের সাহায্যে বয়েলের সূত্রের ব্যাখ্যা

(ক) গ্যাসের আয়তন (V) বনাম চাপ (P) এর লেখচিত্র :

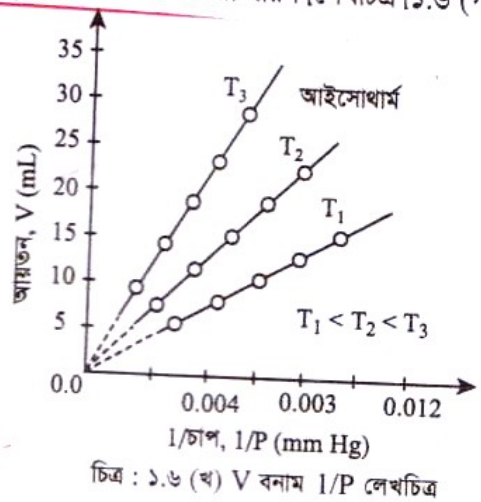
নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের ওপর বিভিন্ন চাপ প্রয়োগ করে এবং বিভিন্ন চাপে ঐ গ্যাসের আয়তন লিপিবদ্ধ করে X-অক্ষকে চাপ (P) ও Y-অক্ষকে আয়তন (V) ধরে লেখচিত্র অঙ্কন করলে [চিত্র ১.৬ (ক)] এর ন্যায় লেখচিত্র পাওয়া যায়। অনুরূপভাবে বিভিন্ন স্থির তাপমাত্রায় একই ভরের গ্যাসের জন্য বিভিন্ন লেখচিত্র পাওয়া যাবে। এ সকল লেখচিত্রের আকৃতি অধিবৃত্তীয় (hyperbolic) বলা হয়। স্থির তাপমাত্রায় যে প্রক্রিয়া সম্পন্ন করা হয়, তাকে সমতাপীয় প্রক্রিয়া (isothermal process) বলা হয়। এ কারণে প্রাপ্ত অধিবৃত্তীয় রেখাসমূহকে **সমতাপরেখা বা সমোষ্ণলেখ বা আইসোথার্ম** (isotherm) বলা হয়। গ্রিক ভাষায় iso শব্দের অর্থ হচ্ছে একই বা সমান, therm শব্দের অর্থ তাপমাত্রা।]



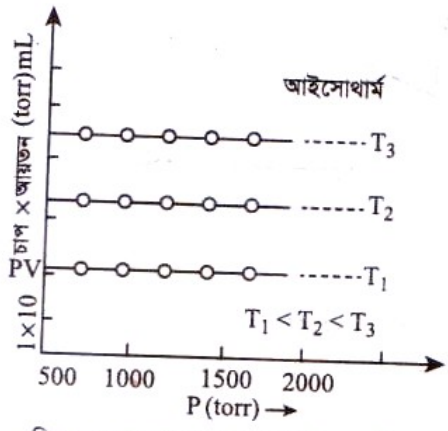
চিত্র : ১.৬ (ক) V বনাম P লেখচিত্র

(খ) গ্যাসের V বনাম P^{-1} এর লেখচিত্র এবং (গ) PV বনাম P লেখচিত্র

গ্যাসের আয়তন (V)-কে গ্যাসের চাপের ব্যস্তানুপাত (P^{-1})-এর বিপরীতে লিপিবদ্ধ করে লেখচিত্র অঙ্কন করলে সরলরেখা [চিত্র ১.৬ (খ) পাওয়া যায়। অপরদিকে যেহেতু চাপ ও আয়তনের গুণফল ধ্রুবক সেহেতু PV এর বিপরীতে P স্থাপন করলে আনুভূমিক সরলরেখা পাওয়া যায়। [লেখচিত্র [১.৬ (গ)]



চিত্র : ১.৬ (খ) V বনাম 1/P লেখচিত্র



চিত্র : ১.৬ (গ) PV বনাম 1/P লেখচিত্র

এখানে উল্লেখ্য যে, বয়েলের সূত্র উচ্চ তাপমাত্রায় ও কম চাপে বিশেষভাবে প্রযোজ্য, কিন্তু নিম্ন তাপমাত্রায় ও উচ্চ চাপে এ সূত্র হতে বিচ্যুতি দেখা যায়।

বয়েলের সূত্র প্রয়োগে গাণিতিক সমাধান

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১ : একটি অটোমোবাইল ইঞ্জিনের সিলিন্ডারে বাতাস ও গ্যাসোলিনের মিশ্রণের আয়তন 410 mL আছে। দহনের পূর্বে মিশ্রণটিকে চাপ দিয়ে 1 atm থেকে 9.5 atm এ রাখা হলো। তখন মিশ্রণটির আয়তন মিলিলিটারে কত হবে?

দক্ষতা (Strategy) : এক্ষেত্রে গ্যাসের n ও T স্থির; P ও V এর পরিবর্তন ঘটেছে। তাই গ্যাসীয় বয়েলের সূত্র প্রযোজ্য।

সমাধান (Solution) : বয়েলের সূত্রের সমীকরণ, $P_1 V_1 = P_2 V_2$

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

বা, $V_2 = \frac{1\text{atm} \times 410\text{mL}}{9.5\text{ atm}}$

$= 43.16$ mL

প্রাথমিক অবস্থায় চাপ, $P_1 = 1$ atm

" " আয়তন, $V_1 = 410$ mL

শেষ অবস্থায় চাপ, $P_2 = 9.5$ atm

শেষ গ্যাসীয় আয়তন, $V_2 = ?$

$\therefore$ শেষ অবস্থায় গ্যাসীয় মিশ্রণটির আয়তন হয় = 43.16 mL (উত্তর)

সমাধানকৃত সমস্যা ১.২ : স্থির তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে কোন নির্দিষ্ট ভরের অক্সিজেন গ্যাসের আয়তন 3.15 L হয়। ঐ অক্সিজেন গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি করে 2.50 atm করা হলো; তখন ঐ গ্যাসের আয়তন কত হবে?

দক্ষতা (Strategy) : এক্ষেত্রে গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির আছে। গ্যাসের আয়তনের ওপর চাপের প্রভাব রয়েছে। তাই বয়েলের সূত্র $P_1V_1 = P_2V_2$ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : সুতরাং বয়েলের সূত্রমতে,

$P_1V_1 = P_2 V_2$

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

$= \frac{1\text{ atm} \times 3.15\text{L}}{2.5\text{ atm}} = 1.26$ L.

প্রশ্নমতে,

গ্যাসের প্রথম চাপ, $P_1 = 1$ atm.

গ্যাসের প্রথম আয়তন, $V_1 = 3.15$ L.

পরিবর্তিত চাপ, $P_2 = 2.5$ atm

পরিবর্তিত আয়তন, $V_2 = ?$

উত্তর : 2.5 atm চাপে ঐ অক্সিজেন গ্যাসের আয়তন 1.26 L হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা – ১.৩ : একটি ফ্লাস্কে 10 atm. চাপে 50 L হাইড্রোজেন গ্যাস ভর্তি করা আছে। 2L আয়তনবিশিষ্ট কয়টি বেলুনকে ঐ গ্যাস দ্বারা ভর্তি করা যাবে; যখন প্রতিটি বেলুনের ভেতর হাইড্রোজেন গ্যাসের চাপ 2 atm হবে। প্রতি ক্ষেত্রে গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির আছে।

দক্ষতা (Strategy) : এক্ষেত্রে গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির আছে। তাই বয়েলের সূত্র $P_1V_1 = P_2V_2$ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির আছে। মনে করি, বেলুনের সংখ্যা হলো n; আবার প্রতিটি বেলুনের গ্যাসের ধারণ ক্ষমতা 2L। সুতরাং গ্যাসভর্তি n সংখ্যক বেলুনের আয়তন বা গ্যাসের মোট আয়তন হবে 2n L।

বয়েলের সূত্র মতে,

$P_1V_1 = P_2 V_2$

$\therefore$ 10 atm $\times$ 50L = 2 atm $\times$ 2nL

$\therefore n = \frac{10\text{ atm} \times 50\text{L}}{2\text{ atm} \times 2\text{L}} = 125.$

$\therefore n = 125$

উত্তর : 125 টি বেলুন।

প্রশ্নমতে,

১ম অবস্থায় গ্যাসের প্রথম চাপ, $P_1 = 10$ atm.

১ম অবস্থায় গ্যাসের আয়তন, $V_1 = 50$ L.

২য় অবস্থায় গ্যাসের চাপ, $P_2 = 2$ atm

২য় অবস্থায় গ্যাসের আয়তন, $V_2 = 2nL$

সমাধানকৃত সমস্যা- ১.৪ : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে কয়েকটি মার্বেলসহ গ্যাসের আয়তন 200 mL হয়। তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রেখে চাপকে দ্বিগুণ করা হলে ঐ মার্বেলসহ গ্যাসের আয়তন হ্রাস পেয়ে 105 mL হয়। ঐ মার্বেলের আয়তন কত?

দক্ষতা (Strategy) : এক্ষেত্রে গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির আছে। তাই বয়েলের সূত্র $P_1V_1 = P_2V_2$ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : ধরা যাক, মার্বেলের আয়তন = V mL। কঠিন মার্বেলের আয়তনের ওপর চাপের কোন প্রভাব নেই। তাই উভয় অবস্থায় প্রদত্ত গ্যাসের আয়তন থেকে মার্বেলের আয়তন বাদ যাবে।

বয়েলের সূত্র মতে,

$P_1V_1 = P_2V_2$

$\therefore$ 1 atm × (200–V) mL = 2 atm× (105–V) mL

বা, 200 – V = 210–2V

বা, V = (210 – 200) = 10 mL.

প্রশ্ন মতে, গ্যাসের

প্রাথমিক আয়তন, V_1 = (200–V) mL

প্রাথমিক চাপ, P_1 = 1 atm.

পরিবর্তিত আয়তন, V_2 = (105–V) mL.

পরিবর্তিত চাপ, P_2 = 2 atm.

উত্তর : মার্বেলের মোট আয়তন 10 mL বা, 10 cm^3.

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৫ : স্থির তাপমাত্রায় এক বায়ুমণ্ডল চাপে রক্ষিত 100 mL হাইড্রোজেন গ্যাসের ওপর চাপ বৃদ্ধি করলে এর আয়তন 76 mL হয়। গ্যাসের চাপ বৃদ্ধির পরিমাণ নির্ণয় কর।

দক্ষতা (Strategy) : এক্ষেত্রে গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির আছে। তাই বয়েলের সূত্র $P_1V_1 = P_2V_2$ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : বয়েলের সূত্র মতে,

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$\text{বা, } P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2}$$

$$= \frac{760 \text{ mm (Hg)} \times 100 \text{ mL}}{76 \text{ mL}}$$

= 1000 mm (Hg)

$\therefore$ চাপের বৃদ্ধি = (1000–760) mm (Hg)

$$= 240 \text{ mm (Hg)} = \frac{240}{760} \text{ atm} = \frac{6}{19} \text{ atm}$$

প্রশ্নমতে,

গ্যাসের প্রাথমিক চাপ, P_1 = 1 atm.

= 760 mm (Hg)

গ্যাসের প্রাথমিক আয়তন, V_1 = 100 mL

গ্যাসের পরিবর্তিত চাপ, P_2 = ?

গ্যাসের পরিবর্তিত আয়তন, V_2 = 76 mL

উত্তর : 240 mm (Hg) বা, $\frac{6}{19}$ atm চাপ বৃদ্ধি করা হয়েছে।

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৬ : স্থির বায়ুমণ্ডলীয় তাপমাত্রার অঞ্চলে 1.8 atm চাপে একটি বেলুনে 2.0 m^3 H_2 গ্যাস ভর্তি করে উড়িয়ে দেয়া হলো। গ্যাসের এ আয়তন বেলুনটির সর্বোচ্চ প্রসারণ ক্ষমতার $\frac{9}{10}$ অংশ। বেলুনটি কত ওপরে উঠে ফেটে যাবে? ভূ-পৃষ্ঠ থেকে প্রতিমিটার উচ্চতায় বায়ুমণ্ডলের চাপ 0.044 mm (Hg) হ্রাস পায়।

দক্ষতা : এক্ষেত্রে তাপমাত্রা স্থির। তাই বয়েলের সূত্র প্রযোজ্য। ওপর দিকে বেলুনটির ফোলানো অবস্থায় ভেতরের বায়ুর চাপকে বেলুনের প্রসারণ ক্ষমতা বা ইলাসটিসিটি ও বাহ্যিক চাপ সমতা রক্ষা করে। বেলুনের সর্বোচ্চ প্রসারণ ক্ষমতার সীমানায় শুধু বাহ্যিক চাপ ভেতরের চাপকে প্রতিরোধ করে। বাহ্যিক চাপ হ্রাস পেয়ে এবং H_2 গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি পেয়ে প্রসারণ ক্ষমতার শেষ সীমানায় পৌছলে বেলুনটি ফেটে যাবে।

সমাধান : বয়েলের সূত্র মতে,

$P_1V_1 = P_2V_2$

$$\text{বা, } P_2 = \frac{P_1V_1}{V2} = \frac{1.8 \text{ atm} \times 2 \text{ m}^3}{2.22 \text{ m}^3}$$

বা, P_2 = 1.62 atm

$\therefore$ বেলুন ফেটে যাওয়ার সময়ে চাপের হ্রাস ঘটে :

প্রশ্ন মতে,

বেলুনে H_2 গ্যাসের চাপ, P_1 = 1.8 atm

বেলুনে H_2 গ্যাসের আয়তন, V_1 = 2.0 m^3

বেলুনে ফেটে যাওয়ার সময় আয়তন, $V_2 = \frac{2 \times 10 \text{ m}^3}{9}$

বেলুনে ফেটে যাওয়ার সময় বায়ুমণ্ডলের চাপ, P_2 = ?

$= (1.8–1.62)\ atm = 0.18\ atm = 0.18 \times 760\ mm\ (Hg)$

$= 136.8\ mm\ (Hg)$

আবার বায়ুমণ্ডলের চাপ 0.044 mm (Hg) হ্রাস পায় 1.0 m উচ্চতায়।

$\therefore$ 136.8 mm (Hg) চাপ হ্রাস পায় $= \frac{1.0 \times 136.8}{0.044}$ m উচ্চতায়

$= 3109.1$ m উচ্চতায়

উত্তর : ভূপৃষ্ঠ থেকে 3109.1 m উচ্চতায় বেলুনটি ফেটে যাবে।

✯ বয়েলের সূত্রের অনুসিদ্ধান্ত : স্থির তাপমাত্রায় গ্যাসের ঘনত্বের ওপর চাপের প্রভাব

বয়েলের সূত্র মতে, স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন ঐ গ্যাসের ওপর প্রযুক্ত চাপের ব্যস্তানুপাতিক হয়। অর্থাৎ গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি করলে গ্যাসের আয়তন হ্রাস পায়। ফলে গ্যাসের ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়।

যদি স্থির তাপমাত্রায় এবং P_1 ও P_2 চাপে কোনো নির্দিষ্ট ভর (W) বিশিষ্ট একটি গ্যাসের আয়তন ও ঘনত্ব যথাক্রমে V_1, V_2 ও d_1, d_2; হয়; তবে বয়েলের সূত্র মতে, $P_1V_1 = P_2V_2 = K$ (একটি স্থির সংখ্যা হয়) .....(1)

আমরা জানি, ঘনত্ব $= \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}}$; $\therefore\ d_1 = \frac{W}{V_1}$; $d_2 = \frac{W}{V_2}$; বা, $V_1 = \frac{W}{d_1}$ এবং $V_2 = \frac{W}{d_2}$

এ মানগুলো (1) নং সমীকরণে বসিয়ে পাওয়া যায় :

$\frac{P_1W}{d_1} = \frac{P_2W}{d_2} = K$ (একটি স্থির সংখ্যা); বা, $\frac{P_1}{d_1} = \frac{P_2}{d_2} = K$ (ধ্রুবক)

অর্থাৎ স্থির তাপমাত্রায়, $\frac{P}{d} = K$ (ধ্রুবক)

বা, $P = d \times K$ (ধ্রুব রাশি)

$\therefore$ স্থির তাপমাত্রায়, $P \propto d$

অর্থাৎ স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের ঘনত্ব ঐ গ্যাসের ওপর প্রযুক্ত চাপের সমানুপাতিক হয়।

$\therefore\ \frac{P_1}{P_2} = \frac{d_i}{d_2}$; (স্থির তাপমাত্রায়)।

শিক্ষার্থী নিজে কর : বয়েলের সূত্রভিত্তিক সমস্যা : (1) $P_1V_1 = P_2V_2$; (2) $P_1/P_2 = d_1/d_2$

সমস্যা ১.১ : স্থির তাপমাত্রায় 1.3 atm চাপে 500 mL আয়তনের একটি গ্যাসকে 1 atm চাপে আনা হলো। বর্তমানে তার আয়তন কত হবে? **[উ: 650 mL]**

সমস্যা ১.২ : স্থির তাপমাত্রায় একটি গ্যাসের আয়তন 540 mL থেকে হ্রাস করে 320 mL করা হলো। যদি প্রাথমিক চাপ 63.3kPa হয়ে থাকে, তবে সংকোচনের পর এর চাপ কত হবে? **[উ: 106.82 kPa]**

সমস্যা ১.৩ : 35.0 m^3 আয়তনের একটি পাত্রে কিছু নাইট্রোজেন গ্যাস 175 kPa চাপ দেয়। একই তাপমাত্রায় 50.0 m^3 আয়তনের অন্য একটি পাত্রে গ্যাসটি স্থানান্তরিত করা হলে ঐ পাত্রে গ্যাসের চাপ কত হবে? **[উ: 122.5Pa]**

সমস্যা ১.৪ : 25.C তাপমাত্রায় 125 cm^3 আয়তনের পাত্রে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস 99.99 kPa চাপে আছে। একই তাপমাত্রায় 150cm^3 আয়তনের পাত্রে ঐ গ্যাসকে স্থানান্তরিত করা হলে গ্যাসটির চাপ কত হবে? **[উ: 83.325 kPa]**

সমস্যা ১.৫ : স্থির তাপমাত্রায় 100 kPa চাপে একটি গ্যাসের আয়তন IL হয়। 125 kPa চাপে ঐ গ্যাসের আয়তন কত হবে? **[উ: [0.8 L]**

সমস্যা ১.৬ : স্থির তাপমাত্রায় 1000 kPa চাপে একটি মার্বেলসহ কোন গ্যাসের আয়তন 150 cm^3 এবং 1500 kPa চাপে মার্বেলসহ ঐ গ্যাসের আয়তন 120 cm^3 হলে মার্বেলের আয়তন কত? [উ: 60 cm^3]

সমস্যা ১.৭ : 25° C তাপমাত্রায় 50 L আয়তনের একটি সিলিন্ডার 15 atm চাপে বায়ু দ্বারা পূর্ণ আছে। যদি বায়ুমণ্ডলের চাপ 25°C তাপমাত্রায় 1 atm হয় এবং ঐ সিলিন্ডারের মুখ খুলে দেয়া হয়, তবে কত লিটার বায়ু সিলিন্ডার থেকে বের হয়ে যাবে? [উ: 700 L]

সমস্যা ১.৮ : একটি সিলিন্ডারে 10 atm চাপে 50L H_2 গ্যাস আছে। 2 atm চাপে 2L আয়তনবিশিষ্ট কতটি বেলুন ঐ H_2 গ্যাস দ্বারা পূর্ণ করা যাবে। [উ: 100 টি]

[**বি : দ্রষ্টব্য :** 2atm চাপে 50L H_2 সিলিন্ডারে থেকে যাবে।]

সমস্যা ১.৯ : স্থির তাপমাত্রায় 1 atm চাপে একটি নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন 100 cm^3 হয় ঐ তাপমাত্রায় গ্যাসের চাপ পরিবর্তন করলে ঐ গ্যাসের আয়তন 50 cm^3 হয়। কি পরিমাণ চাপ বৃদ্ধি করা হয়েছিল? [উ: 1 atm]

সমস্যা ১.১০ : 25°C তাপমাত্রায় 125 cm^3 আয়তনের পাত্রে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস 99.99 kPa চাপে আছে। একই তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসকে 150 cm^3 আয়তনের পাত্রে স্থানান্তরিত করা হলে তখন গ্যাসটির চাপ কত হবে? [উ: 83.325 kPa]

সমস্যা ১.১১ : 25°C তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের যে আয়তন হয় তার এক তৃতীয়াংশ আয়তন হ্রাস করতে হলে ঐ গ্যাসটিতে চাপের কী পরিবর্তন ঘটাতে হবে? [উ: 380 mm (Hg) চাপ বৃদ্ধি করতে হবে।]

সমস্যা ১.১২ : কলেজের বার্ষিক ক্রীড়া প্রতিযোগিতার অনুষ্ঠানে 1.75 atm চাপে একটি বেলুনে 2.5 m^3 H_2 গ্যাস ভর্তি করে উড়ানো হলো। বেলুনে গ্যাসের এ আয়তন হলো বেলুনটির সর্বাধিক প্রসারণ ক্ষমতার $\frac{5}{7}$ অংশ। বায়ুমণ্ডলে তাপমাত্রা স্থির থাকলে কত উচ্চতায় বেলুনটি ফেটে যাবে? যদি প্রতি মিটার উচ্চতায় বায়ুমণ্ডলের চাপ 0.5 mm (Hg) হ্রাস পায়। [উ: 760 m উচ্চতায়]

সমস্যা ১.১৩ : 25°C তাপমাত্রায় ও 1.01 atm চাপে কোনো একটি গ্যাসের ঘনত্ব 2.5 g L^{-1} হয়। একই তাপমাত্রায় ও 780 mm (Hg) চাপে গ্যাসটির ঘনত্ব কত হবে? [উ: 2.54gL^{-1}]

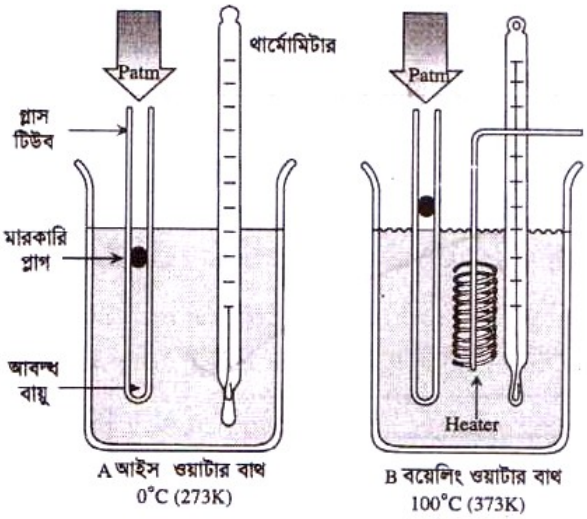
সমস্যা ১.১৪ : 25°C তাপমাত্রায় ও 1atm চাপে নাইট্রোজেন গ্যাসের ঘনত্ব 1.13 g L^{-1} হয়। একই তাপমাত্রায় চাপ তিনগুণ করা হলে গ্যাসটির ঘনত্ব কত হবে? [উ: 3.39 gL^{-1}]

১.৩.২. চার্লসের সূত্র : গ্যাসের আয়তন ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক
Charles's Law : The Relation between Gas Volume & Temperature

রবার্ট বয়েলের পরীক্ষাগত স্থির তাপমাত্রায় গ্যাসের চাপ ও আয়তনের মধ্যে বিপরীত সম্পর্ক স্থাপনের পর প্রশ্ন দেখা দিল যে, গ্যাসের আয়তন শুধু চাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে না; অভিজ্ঞতা প্রমাণ করে তাপমাত্রার উপরও গ্যাসের আয়তন নির্ভরশীল। **তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তনও বৃদ্ধি পায়।** 1787 খ্রিস্টাব্দে ফ্রান্স বিজ্ঞানী চার্লস ও 1802 খ্রিস্টাব্দে গে-লুসাক পৃথকভাবে তাপমাত্রার সাথে গ্যাসের আয়তনের সম্পর্ক জানতে পারেন।

আমরা এখন গ্যাসের আয়তন ও তাপমাত্রার মধ্যে থাকা সম্পর্কটি পরীক্ষা করে জানতে চেষ্টা করব।

চিত্র ১.৭ (ক) মতে, এক প্রান্তে বন্ধ বা সিলড্ করা বড় আকারের একটি শক্ত কাচনলে নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুকে মারকারি প্লাগ দিয়ে আবদ্ধ করে ওয়াটার বাথে (Water bath) ডুবিয়ে রাখা হলো। এটিকে বরফ দিয়ে শীতল করে আইস-ওয়াটার বাথ ও হিটার দিয়ে উত্তপ্ত করে বয়েলিং ওয়াটার বাথ করা যাবে। প্রতিবার পানির তাপমাত্রা পরিবর্তনের সাথে আবদ্ধ বায়ুর আয়তনকে ঐ কাচনলের দৈর্ঘ্য থেকে পরিমাপ করে সারণি ১.৪ তে রেকর্ড করা হয়। এক্ষেত্রে আবদ্ধ গ্যাস স্থির চাপে আছে; কারণ মারকারি প্লাগের ওপর বায়ুমণ্ডল চাপ স্থির আছে।

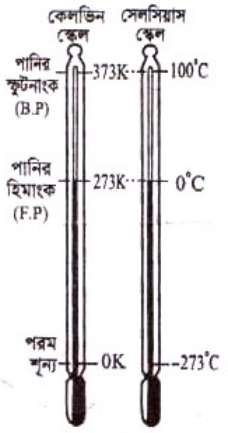


চিত্র ১.৭ : (ক) গ্যাসের আয়তনের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব পর্যবেক্ষণ।

সারণি ১.৪ : গ্যাসের তাপমাত্রা ও আয়তনের সম্পর্ক

সেলসিয়াসে তাপমাত্রা (°C)	কেলভিনে তাপমাত্রা (K)	গ্যাসের আয়তন, mL
0.0	273	800
100.0	373	1100
200.0	473	1400
300.0	573	1700

(খ) মানসম্মত পর্যবেক্ষণ ডাটা।

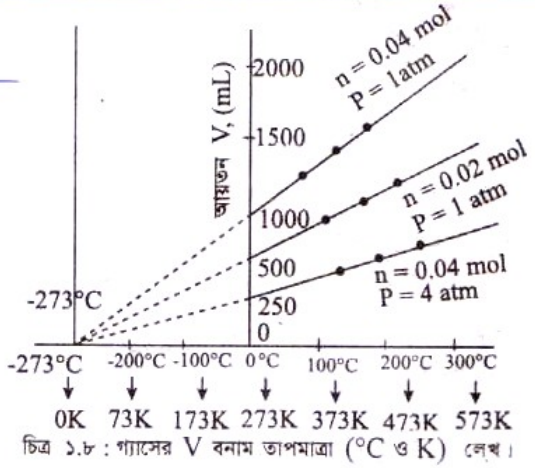


(গ) কেলভিন স্কেল ও সেলসিয়াস স্কেল।

এরূপ মানসম্মত কিছু ডাটা নিয়ে যেমন 1atm চাপে নির্দিষ্ট ভরের (যেমন 0.04 mol) কোনো গ্যাসের বেলায় বিভিন্ন তাপমাত্রায় রেকর্ডকৃত ঐ গ্যাসের আয়তন (VmL) বনাম তাপমাত্রা (t°C) সারণি ১.৪ মতে লেখচিত্র অঙ্কন করলে একটি সরলরেখা পাওয়া যায় (চিত্র ১.৮)। এ সরলরেখাকে পেছন দিকে বর্ধিত করলে (ডটলাইন), তা তাপমাত্রা নির্দেশক X-অক্ষকে −273°C তাপমাত্রার বিন্দুতে ছেদ করে অর্থাৎ ঐ -273°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন নির্দেশক Y অক্ষের মান শূন্য হয়। অর্থাৎ তাত্ত্বিকভাবে −273°C গ্যাসের আয়তন শূন্য হয় বোঝায়।

এ পরীক্ষা থেকে জানা যায়, **নির্দিষ্ট চাপে** (1atm-এ) **নির্দিষ্ট ভরের** (0.04 mol) **কোনো গ্যাসের আয়তন এর তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সমানুপাতিক হারে বৃদ্ধি পায়**। ঐ একই গ্যাসকে ভিন্ন পরিমাণে (0.02 mol) এবং ভিন্ন চাপে (4 atm-এ) রেখে তাপমাত্রা পরিবর্তন করলে প্রতি ক্ষেত্রে প্রাপ্ত সরলরেখা বর্ধিত অবস্থায় − 273°C এ X - অক্ষকে ছেদ করে (চিত্র ১.৮)।

চার্লস ও গে-লুসাকের সংশ্লিষ্ট পরীক্ষা-নিরীক্ষার প্রায় পঞ্চাশ বছর পরে (1854 খ্রিস্টাব্দে) উইলিয়াম থমসন (লর্ড কেলভিন) গ্যাসের আয়তন (V) ও তাপমাত্রার হ্রাস-বৃদ্ধির ওপর পরীক্ষার সরলরৈখিক সম্পর্ককে ভিত্তি করে **পরম তাপমাত্রা স্কেল** (Absolute temperature scale) উদ্ভাবন করেন [চিত্র ১.৭ (গ)]। পরবর্তীকালে বিজ্ঞানীরা পরম তাপমাত্রা স্কেলকে **তাপমাত্রার কেলভিন স্কেল** নাম দেন।



চিত্র ১.৮ : গ্যাসের V বনাম তাপমাত্রা (°C ও K) লেখ।

পরম তাপমাত্রা স্কেল ও পরমশূন্য তাপমাত্রা : পরম তাপমাত্রা বা কেলভিন স্কেলের 0(শূন্য) বিন্দুকে −273.15°C, সেলসিয়াস ও কেলভিন স্কেলে প্রতি ডিগ্রির দূরত্ব সমান, বরফের গলনাঙ্ককে 273K (কেলভিন) ও পানির স্ফুটনাঙ্ককে 373K ধরা হয়েছে। কেলভিন বা পরম তাপমাত্রা স্কেলের সর্বনিম্ন তাপমাত্রা 0K বা −273.15°C-কে **পরম শূন্য তাপমাত্রা** বলা হয়। কারণ এ তাপমাত্রার নিচে গ্যাসের আয়তনের মান ঋণাত্মক হতে হয়, যা বাস্তবে অসম্ভব। কেলভিন তাপমাত্রাকে ক্যাপিটল 'T' এবং সেলসিয়াস তাপমাত্রার সাথে 273 যোগ করে কেলভিন তাপমাত্রা একক প্রকাশ করা হয়। সুতরাং TK= (273 + t°C)।

বর্তমানে গ্যাসের আয়তন-তাপমাত্রার সম্পর্ককে **চার্লসের সূত্র** নামে নিম্নরূপে বিবৃত করা হয় :

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

চার্লসের সূত্রের গাণিতিক ব্যাখ্যা : স্থির চাপে নির্দিষ্ট পরিমাণ কোনো গ্যাসের কেলভিন তাপমাত্রা T ও আয়তন V হলে তখন চার্লসের সূত্র মতে,

$V \propto T$; এখানে n ও P স্থির আছে।

বা, $V = KT$,

বা, $\frac{V}{T} = K$ ..... (১)

এখানে K হলো আনুপাতিক ধ্রুবক। নির্দিষ্ট ভরের ঐ একই গ্যাসের T_1 তাপমাত্রায় আয়তন V_1 হলে, তখন স্থির চাপে অনুরূপভাবে পাই, $\frac{V_1}{T_1} = K$ .....(২)।

এখন সমীকরণ (১) ও (২) থেকে পাই, $\frac{V}{T} = \frac{V_1}{T_1}$

∴ দুটি ভিন্ন কেলভিন তাপমাত্রায়, **চার্লসের সূত্রের গাণিতিক সমীকরণ হলো :** $\frac{V}{T} = \frac{V_1}{T_1}$ ।

এক্ষেত্রে T বৃদ্ধি করলে, V বৃদ্ধি পায়, তা স্থির চাপে যে কোনো পরিমাণ (n) গ্যাসের জন্য প্রযোজ্য।

জেনে রাখ : গ্যাসের সূত্রভিত্তিক গণনার বেলায় তাপমাত্রাকে সব সময় কেলভিন স্কেলে রূপান্তর করতে হয়। সেলসিয়াস এককের সূত্র মতে গণনা মিলবে না। যেমন 1 mol গ্যাসকে 200K থেকে 400K তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে এর আয়তন দ্বিগুণ হয়। কিন্তু 200°C থেকে 400°C-এর আয়তন 1.42 গুণ বাড়ে। অর্থাৎ

(400°C + 273)/(200°C + 273) = 673/473 = 1.42 হয়।

চার্লসের সূত্রের সমীকরণ, V = KT, বয়েলের সূত্রের সমীকরণের মতোই সরলরেখার সমীকরণ $y = mx + c$ কে সমর্থন করে। এক্ষেত্রে y = V, m = সরলরেখার ঢাল (slope) = K ধ্রুবক, x = T এবং c = y অক্ষের ছেদন দূরত্ব = 0, তাই চিত্র ১.৮ মতে মানসম্মত পর্যবেক্ষণ ডাটা থেকে অঙ্কিত লেখটি মূল বিন্দুগামী সরলরেখা হয়েছে।

$V = K \quad T + 0$
$\uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow$
$y = m \quad x + c$

স্থির চাপে, নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন (V) বনাম তাপমাত্রা (T) এর লেখচিত্র মূলবিন্দু দিয়ে যাওয়া সরলরেখা হয়। বিভিন্ন স্থির চাপের এ সব লেখকে চার্লসের সূত্রের সমচাপীয় লেখ বা আইসোবার (isobar) বলে। (চিত্র-১.৮)।

চার্লসের সূত্র প্রয়োগে গাণিতিক সমাধান

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৭ : স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের N_2 গ্যাস 27°C তাপমাত্রায় 906 mL আয়তন দখল করে। তাপমাত্রা কত হলে ঐ গ্যাসের আয়তন 500 mL হবে?

দক্ষতা (Strategy) : এক্ষেত্রে গ্যাসটি স্থির চাপে আছে এবং গ্যাসের আয়তনের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব রয়েছে। তাই চার্লসের সূত্রের সমীকরণ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : চার্লসের সূত্র মতে,

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

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

বা, $T_2 = \frac{500\ mL \times 300K}{906mL} = 165.56K$

প্রশ্ন মতে,

গ্যাসের ১ম তাপমাত্রা, $T_1 = (27 + 273) = 300K$

গ্যাসের ১ম আয়তন, $V_1 = 906\ mL$

গ্যাসের ২য় তাপমাত্রা, $T_2 = ?$

গ্যাসের ২য় আয়তন, $V_2 = 500mL$

উ: 165.56K অর্থাৎ (165.56 – 273) °C = – 107.44°C

সমাধানকৃত সমস্যা –১.৮ : একটি গ্যাসের তাপমাত্রা 17°C হতে বাড়ানো হলো। ফলে গ্যাসের চাপ অপরিবর্তিত রইল, কিন্তু গ্যাসের আয়তন দ্বিগুণ হয়ে গেল। তাপমাত্রা কত বাড়ানো হলো?

দক্ষতা (Stretegy) : এক্ষেত্রে গ্যাসের চাপ স্থির আছে। তাই চার্লসের সূত্র প্রযোজ্য।

সমাধান : চার্লসের সূত্র মতে,

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

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

বা, $T_2 = \frac{2V\ mL \times 290K}{VmL} = 580K$

∴ পরিবর্তিত তাপমাত্রা = (580 – 273)°C = 307°C

∴ নির্ণেয় তাপমাত্রার বৃদ্ধি = (307– 17)°C = 290°C (উ:)

প্রশ্ন মতে,

গ্যাসের ১ম তাপমাত্রা, $T_1 = (17+273) = 290K$

গ্যাসের ১ম আয়তন, $V_1 = VmL$ (মনে করি)

গ্যাসের ২য় তাপমাত্রা, $T_2 = ?$

গ্যাসের ২য় আয়তন, $V_2 = 2VmL$ (প্রশ্ন মতে)

সমাধানকৃত সমস্যা – ১.৯ : 27°C তাপমাত্রায় একটি গ্যাস সিলিন্ডারে 5.0L গ্যাস আছে। স্থির চাপে ঐ সিলিন্ডারের তাপমাত্রা 30°C করা হলে ঐ সিলিন্ডার হতে কত আয়তন গ্যাস বের হয়ে যাবে?

[এক্ষেত্রে সিলিন্ডারের আয়তন বৃদ্ধি নগণ্য।]

দক্ষতা : এক্ষেত্রে গ্যাসের চাপ স্থির আছে। তাই চার্লসের সূত্র প্রযোজ্য হবে।

সমাধান ঃ চার্লসের সূত্র মতে,

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

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

বা, $V_2 = \frac{5.0L \times 303K}{300K} = 5.05L$

∴ গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি = (5.05 – 5.0) L = 0.05L

উত্তর: সিলিন্ডার থেকে 0.05L গ্যাস বের হয়ে যাবে।

প্রশ্নমতে,

গ্যাসের ১ম আয়তন, $V_1 = 5.0L$

গ্যাসের ১ম তাপমাত্রা, $T_1 = (27+273)K = 300K$

গ্যাসের ২য় তাপমাত্রা, $T_2 = (30+273)K = 303\ K$

গ্যাসের ২য় আয়তন, $V_2 = ?$

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১০ : 17°C তাপমাত্রায় একটি বেলুনকে 950 cm^3 আয়তন পর্যন্ত ফোলানো হলো। এ আয়তন বেলুনটির সর্বাধিক প্রসারণ আয়তনের $\frac{9}{10}$ অংশ। এ বেলুনটিকে 40°C তাপমাত্রার কক্ষে নিয়ে গেলে বেলুনটি ফেটে যাবে কি? কত তাপমাত্রায় বেলুনটি ফেটে যাবে?

দক্ষতা : বেলুনটি বায়ুমণ্ডলের স্থির চাপে রয়েছে। তাই চার্লসের সূত্র প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : প্রশ্নমতে বেলুনটির সর্বাধিক প্রসারণ আয়তনের $\frac{9}{10}$ অংশ = 950 cm^3। ∴ প্রসারণের পূর্ণ ক্ষমতায় আয়তন হবে নিম্নরূপ :

$\frac{9}{10}$ অংশ আয়তন = 950 cm^3।

∴ 1 বা পূর্ণ অংশের আয়তন = $\frac{950 \times 10\ cm^3}{9}$

অর্থাৎ বেলুনটির সর্বোচ্চ আয়তন $\frac{950 \times 10\ cm^3}{9}$ হলে বেলুনটি ফেটে যাবে।

তাই $V_1 = 950\ cm^3$ এবং $V_2 = \frac{950 \times 10\ cm^3}{9}$

১ম তাপমাত্রা, $T_1 = (17 + 273)\ K = 290\ K$

বেলুনের সর্বোচ্চ আয়তনের বেলায় তাপমাত্রা, $T_2 = ?$

চার্লসের সূত্র মতে, $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$; বা, $T_2 = \frac{V_2 \times T_1}{V_1}$

বা, $T_2 = \frac{950 \times 10\ cm^3 \times 290K}{9 \times 950\ cm^3} = \frac{10 \times 290K}{9} = 322.2K$

∴ বেলুনটির ফাটার তাপমাত্রা = $(322.2 - 273)°C = 49.2°C$

তাই 40°C তাপমাত্রার কক্ষে বেলুনটি ফাটবে না।

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১১ : 27°C তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুর আয়তন বায়ুমণ্ডলীয় চাপে 500 cm^3 হয়। বায়ুর চাপ স্থির থাকলে কত তাপমাত্রায় ঐ পরিমাণ বায়ুর আয়তন দ্বিগুণ হবে?

দক্ষতা : এক্ষেত্রে বায়ুর চাপ স্থির থাকায় চার্লসের সূত্র প্রযোজ্য হবে।

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

∴ $T_2 = \frac{V_2 \times T_1}{V_1} = \frac{2 \times 500 cm^3 \times 300K}{500 cm^3}$

∴ $T_2 = 600\ K$;

নির্ণেয় তাপমাত্রা = $(600 - 273)°C = 327°C$ (উ:)।

প্রশ্ন মতে,

গ্যাসের ১ম তাপমাত্রা, $T_1 = (27+273)\ K = 300K$

গ্যাসের ১ম আয়তন, $V_1 = 500\ cm^3$

গ্যাসের ২য় তাপমাত্রা, $T_2 = ?$

গ্যাসের ২য় আয়তন, $V_2 = 2 \times 500\ cm^3$

*** চার্লসের সূত্রের অনুসিদ্ধান্ত : স্থির চাপে গ্যাসের ঘনত্বের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব**

যদি স্থির চাপে ও T_1, T_2 তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট ভর (W) বিশিষ্ট একটি গ্যাসের আয়তন ও ঘনত্ব যথাক্রমে V_1, V_2 এবং d_1, d_2 হয়; তবে চার্লসের সূত্র মতে, $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$; $= K$ ..... (1)

আবার ঘনত্ব, $d = \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}}$; ∴ $d_1 = \frac{W}{V_1}$; $d_2 = \frac{W}{V_2}$; বা, $V_1 = \frac{W}{d_1}$; $V_2 = \frac{W}{d_2}$

এ মানগুলো (1) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই,

$\frac{W}{d_1 T_1} = \frac{W}{d_2 T_2} = K$ (স্থির সংখ্যা);

বা, $\frac{1}{d_1 T_1} = \frac{1}{d_2 T_2}$ = স্থির সংখ্যা;

বা, $d_1 T_1 = d_2 T_2 = K$ (ধ্রুবক)

বা, $dT = K$ (ধ্রুবক); বা, $d = K \times \frac{1}{T}$ (স্থির চাপে)

অর্থাৎ $d \propto \frac{1}{T}$ (স্থির চাপে);

∴ স্থির চাপে, কোনো গ্যাসের ঘনত্ব ঐ গ্যাসের কেলভিন তাপমাত্রার ব্যস্তানুপাতিক হয়। অর্থাৎ তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে গ্যাসের ঘনত্ব হ্রাস পায়।

∴ $\frac{T_1}{T_2} = \frac{d_2}{d_1}$; (স্থির চাপে);

সমস্যা : শিক্ষার্থী নিজে কর : চার্লসের সূত্রভিত্তিক সমস্যা ; (1) $V_1/T_1 = V_2/T_2$; (2) $d_1T_1 = d_2T_2$

সমস্যা- ১.১৫ : স্থির চাপে নির্দিষ্ট পরিমাণ কোন গ্যাসের তাপমাত্রা কত বাড়ালে তার আয়তন দ্বিগুণ হবে? [উ: 273°C প্রাথমিক তাপমাত্রা 0°C হলে]

সমস্যা-১.১৬ : স্থির চাপে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ কোন গ্যাসের তাপমাত্রা 25°C হতে কত ডিগ্রি সেন্টিগ্রেডে উন্নীত করলে তার আয়তন দ্বিগুণ হবে? [উ: 323°C]

সমস্যা-১.১৭ : স্থির চাপে 0.75 L কোন গ্যাসকে 27°C তাপমাত্রা থেকে 15°C তাপমাত্রায় শীতল করা হলো। গ্যাসটির আয়তন কত হবে? [উ: 0.72]

সমস্যা-১.১৮ : স্থির চাপে ও 20°C তাপমাত্রায় 1600 mL চেতনানাশক গ্যাস কোন রোগীর শরীরে প্রবেশ করানো হয়। রোগীর দেহের তাপমাত্রা 37°C হলে প্রবিষ্ট গ্যাসের আয়তন কত হবে? [উ: 1692.83 mL]

সমস্যা-১.১৯ : স্থির চাপে ও 100°C তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের নিয়ন গ্যাসের আয়তন 200 mL হলে 0°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন কত হবে? [উ: 146.38 mL.]

সমস্যা-১.২০ : 25°C তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন 480 cm^3 হয়। চাপ স্থির রেখে ঐ গ্যাসের আয়তন আরো 120 cm^3 বৃদ্ধি করতে তাপমাত্রা কত বৃদ্ধি করতে হবে? [উ: 74.5°C]

সমস্যা-১.২১ : 0°C তাপমাত্রায় একটি বেলুনকে 980 cm^3 আয়তন পর্যন্ত ফোলানো হলো। এ আয়তন ঐ বেলুনের সর্বাধিক প্রসারণ আয়তনের $\frac{7}{9}$ অংশ। বেলুনটিকে 35°C তাপমাত্রায় রাখা হলে বেলুনটি ফাটবে কিনা? এর যুক্তি দাও।

[উ: 35°C এ ফাটবে না; 39°C এ বেলুনটি ফাটবে। কারণ ঐ তাপমাত্রায় বেলুনের সম্প্রসারণ সীমা অতিক্রম করে।]

☆ বয়েলের সূত্র ও চার্লসের সূত্র থেকে গ্যাসের আচরণভিত্তিক আরো দু'টি সম্পর্ক সমীকরণ পাওয়া যায়। যেমন, চার্লের সূত্র থেকে গে-লুসাকের চাপের সূত্র এবং বয়েল ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয় সূত্র।

(১) গে-লুসাকের চাপের সূত্র (Gay Lussac's Law of Pressure)

গ্যাসের চাপ-তাপমাত্রা সম্পর্ক : চার্লসের সূত্র হলো গ্যাসের আয়তনের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব সম্পর্কীয়। কিন্তু গে-লুসাক পর্যবেক্ষণ করেন যে, গ্যাসের আয়তন ও চাপ বিপরীতভাবে সম্পর্কিত; যেমন চাপ বাড়লে আয়তন কমে। তাই গ্যাসের আয়তনের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব সরাসরি গ্যাসের চাপকে প্রভাবিত করে। এ সম্পর্ককে **অ্যামনটনের সূত্র**-ও বলা হয় (Amontons's Law)। এ সম্পর্ক জানার জন্য তোমার দূরের পথে গাড়ি চালানোর আগে ও পরে গাড়ির চাকার টায়ারের চাপ মেপে নাও। দেখা গেল গাড়ি চালানোর পর টায়ারের ভেতরের বাতাসের চাপ বেড়েছে। এরূপ কেন হলো? দ্রুতগতিতে গাড়ি চলাকালে গাড়ির টায়ার ও রোডের ঘর্ষণে উৎপন্ন তাপ টায়ারের ভেতরের বাতাসকে উত্তপ্ত করেছে; কিন্তু টায়ারের আয়তন স্থির থাকায়, ঐ টায়ারে আবদ্ধ বাতাসের চাপ বেড়েছে। তাই **গে-লুসাক-অ্যামনটনের চাপের সূত্রটি হলো :**

স্থির আয়তনের নির্দিষ্ট পরিমাণ যে কোনো গ্যাসের প্রযুক্ত চাপ গ্যাসের কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

নির্দিষ্ট পরিমান কোনো গ্যাসের চাপ P_1 এবং কেলভিন তাপমাত্রা T_1 হলে তখন গে-লুসাক-অ্যামনটনের সূত্র মতে,

অর্থাৎ $P_1 \propto T_1$, যখন n ও V স্থির থাকে। বা, $P_1 = KT_1$,

বা, $\frac{P_1}{T_1} = K$ (ধ্রুবক) .....(১)

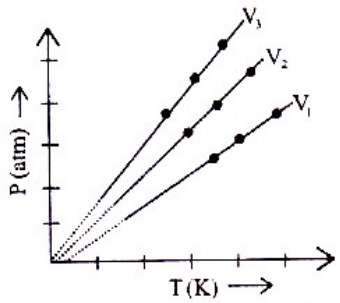
এখানে K হলো আনুপাতিক ধ্রুবক;

আবার একই আয়তনের নির্দিষ্ট পরিমাণের ঐ গ্যাসের তাপমাত্রা T_2 ও চাপমাত্রা P_2 হলে, অনুরূপভাবে পাই,

$$\frac{P_2}{T_2} = K \text{ (ধ্রুবক)} \ldots\ldots\ldots\ldots (২)$$

এখন সমীকরণ (১) ও (২) থেকে পাই, $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$;

এটি হলো গে-লুসাকের চাপের সূত্রের গাণিতিক সমীকরণ।



চিত্র - ১.৮ (ক) P বনাম T লেখ, আইসোকোর।

গে-লুসাকের চাপের সূত্রের সমীকরণ $P = KT$ মতে চাপ (P) বন্যম কেলভিন তাপমাত্রা (T) এর লেখচিত্র মূলবিন্দুগামী সরলরেখা হয়; এরূপ লেখকে আইসোকোর (isochor) বা গ্যাসের সমআয়তনীয় লেখ বলে। বিভিন্ন স্থির আয়তনে কোনো গ্যাসের তিনটি আইসোকোর দেখানো হলো চিত্র-১.৮ (ক)।

গে-লুসাকের চাপের সূত্র ও গ্যাসের ঘনত্বভিত্তিক সূত্র প্রয়োগে গাণিতিক সমাধান

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১২ : প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে CO_2 গ্যাসের ঘনত্ব হলো 22 kg m^{-3}। চাপ স্থির রেখে 11°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের ঘনত্ব কত হবে?

দক্ষতা : এক্ষেত্রে চাপ স্থির আছে; গ্যাসের ঘনত্বের ওপর তাপমাত্রার সম্পর্ক ভিত্তিক সমীকরণ প্রযোজ্য।

সমাধান : চার্লসের সূত্রের অনুসিদ্ধান্ত মতে, স্থির চাপে গ্যাসের ঘনত্ব ও তাপমাত্রা সম্পর্ক হলো –

$d_1T_1 = d_2T_2$

বা, $d_2 = \frac{d_1T_1}{T_2}$

$= \frac{22\ kgm^{-3} \times 273K}{284K} = 21.15\ kgm^{-3}$

$\therefore$ $d_2 = 21.15 kg\ m^{-3}$ (উত্তর)

প্রশ্ন মতে,

প্রাথমিক তাপমাত্রা, T_1 = প্রমাণ তাপমাত্রা = 273K

প্রাথমিক ঘনত্ব, $d_1 = 22\ kgm^{-3}$

পরিবর্তিত তাপমাত্রা $T_2 = (11 + 273)\ K = 284K$

পরিবর্তিত ঘনত্ব, $d_2 = ?$

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১৩ : একটি অক্সিজেন সিলিন্ডার 250 atm চাপ সহ্য করতে পারে। সিলিন্ডারটিকে 125 atm চাপে ও 27°C তাপমাত্রায় অক্সিজেন গ্যাস দ্বারা পূর্ণ করা হলো। কত তাপমাত্রায় সিলিন্ডারটি বিস্ফোরিত হবে?

দক্ষতা : সিলিন্ডারে গ্যাসের আয়তন স্থির। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে O_2 গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি পাবে। এ বৃদ্ধি হওয়া চাপ 250 atm এর বেশি হলেই সিলিন্ডারটি বিস্ফোরিত হবে। স্থির আয়তনে গেলুসাকের চাপের সূত্র প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : গে-লুসাকের চাপের সূত্র মতে,

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

বা, $T_2 = \frac{P_2T_1}{P_1} = \frac{250\ atm \times 300\ K}{125\ atm}$

বা, $T_2 = 600K$

প্রশ্ন মতে,

১ম তাপমাত্রা, $T_1 = (27 + 273)\ K = 300K$

গ্যাসের ১ম চাপ, $P_1 = 125$ atm

গ্যাসের ২য় তাপমাত্রা, $T_2 = ?$

গ্যাসের ২য় চাপ, $P_2 = 250$ atm

$\therefore$ তাপমাত্রা বেড়ে 600 K বা (600 – 273) °C = 327°C অতিক্রম করলে সিলিন্ডারটি বিস্ফোরিত হবে। **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা ১.১৪ : একটি লোহার সিলিন্ডারে 250 kPa চাপে ও 27°C তাপমাত্রায় হিলিয়াম গ্যাস ভর্তি আছে। সিলিন্ডারটি 1000 kPa চাপ সহ্য করতে পারে। আগুন লাগলে ঐ আগুনে সিলিন্ডারটি ফেটে যাবে, নাকি গলে যাবে; তা ব্যাখ্যা কর। [সিলিন্ডারের লোহার গলনাঙ্ক = 1500°C]

দক্ষতা : সিলিন্ডারে গ্যাসের আয়তন স্থির। গ্যাসের স্থির আয়তনে গে-লুসাকের চাপের সূত্র প্রযোজ্য। শেষ তাপমাত্রায় গ্যাসের চাপ হবে 1000 kPa।

সমাধান : গে-লুসাকের চাপের সূত্র

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

বা, $T_2 = \frac{P_2 \times T_1}{P_1}$

বা, $T_2 = \frac{1000kPa \times 300K}{250kPa}$

বা, $T_2 = 1200K$

প্রশ্নমতে,

গ্যাসের ১ম তাপমাত্রা $T_1 = (27 + 273)K = 300K$

গ্যাসের ১ম চাপ, $P_1 = 250$ kPa

গ্যাসের শেষ তাপমাত্রা $T_2 = ?$

গ্যাসের শেষ চাপ, $P_2 = 1000$ kPa

$\therefore$ সিলিন্ডারটির সহ্য সীমার চাপ 1000 kPa সৃষ্টির সময় প্রয়োজনীয় তাপমাত্রা হলো 1200 K

বা (1200 – 273)°C = 927C°।

যেহেতু শেষ তাপমাত্রা 927°C এবং সিলিন্ডারের লোহার গলনাঙ্ক এবং 1500°C অপেক্ষা কম; তাই সিলিন্ডারটি গলে না গিয়ে অধিক চাপে ফেটে যাবে।

সমাধানকৃত সমস্যা– ১.১৫ : সেফটি ভালবযুক্ত জ্বালানি গ্যাসের সিলিন্ডারে 27°C ও 1.3 atm চাপে মিথেন গ্যাস ভর্তি আছে। ভেতরের গ্যাসের চাপ 1.8×10^3 torr এর বেশি হলে সেফটি ভালভটি খুলে যায়। ঐ গ্যাস ভর্তি সিলিন্ডারটিকে 100°C– এ ফুটন্ত পানিতে রাখলে সেফটি ভালভটি খুলবে কি?

দক্ষতা : এখানে সিলিন্ডারে গ্যাসের আয়তন স্থির তাপমাত্রা T_1, T_2 এবং চাপ P_1 দেয়া আছে, চাপ P_2 অজানা। P_2 এর মান 1.8×10^3 torr এর বেশি হলে তখনই ভালভটি খুলবে।

সমাধান : স্থির আয়তনে গে-লুসাকের সূত্র মতে,

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

বা, $P_2 = \frac{P_1 \times T_2}{T_1}$

বা, $P_2 = \frac{988 \text{ torr} \times 373K}{300K}$

বা, $P_2 = 1228.4$ torr

প্রশ্ন মতে,

১ম চাপ, $P_1 = \frac{1.3 \text{atm} \times 760 \text{ torr}}{1 \text{ atm}} = 988$ torr

১ম তাপমাত্রা, $T_1 = (27+273)K = 300K$

শেষ চাপ, $P_2 = ?$

শেষ তাপমাত্রা, $T_2 = (100 + 273)K = 373K$

∴ নির্ণীত P_2 এর মান 1.8×10^3 torr = 1800 torr থেকে কম হওয়ায় সেফটি ভালভটি খুলবে না।

শিক্ষার্থী নিজে কর : গে-লুসাকের চাপের সূত্র : $P_1/T_1 = P_2/T_2$

সমস্যা–১.২২ : একটি নাইট্রোজেন সিলিন্ডার 300 atm চাপ সহ্য করতে পারে। সিলিন্ডারটিকে 25°C তাপমাত্রায় 250 atm চাপে নাইট্রোজেন গ্যাস দ্বারা ভর্তি করা হলো। উত্তপ্ত চুল্লির নিকটে রাখা সিলিন্ডারটি কত তাপমাত্রায় বিস্ফোরিত হবে? [উ: 84.6°C]

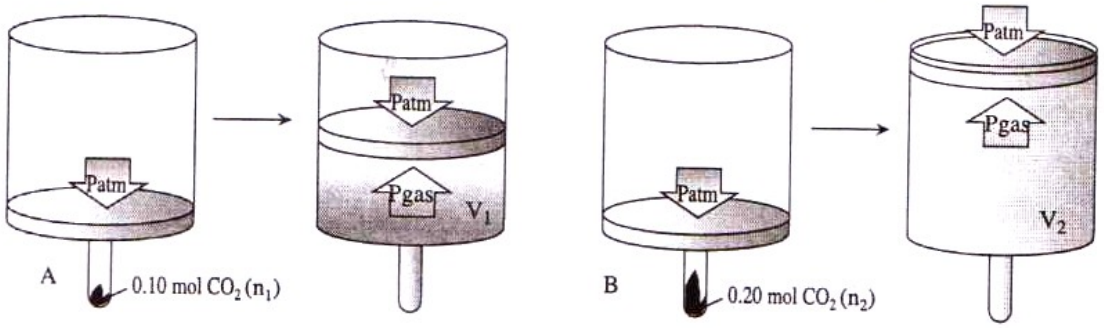
সমস্যা-১.২৩ : একটি অক্সিজেন সিলিন্ডার 300 atm চাপ সহ্য করতে পারে। ঐ সিলিন্ডারটিকে 150 atm ও 27°C এ অক্সিজেন দ্বারা পূর্ণ করা হয়। কত তাপমাত্রায় সিলিন্ডারটি বিস্ফোরিত হবে? [উ: 327°C]

সমস্যা–১.২৪ : একটি লৌহ সিলিন্ডারে 250 kPa চাপে ও 300 K তাপমাত্রায় হিলিয়াম গ্যাস ভর্তি আছে। সিলিন্ডারটি 1.0×10^3 kPa চাপ সহ্য করতে পারে এবং সিলিন্ডারের গলনাঙ্ক হলো 1800 K। ঐ গলনাঙ্ক তাপমাত্রায় গ্যাসের চাপ কত হবে। সিলিন্ডারটি তখন গলতে থাকবে নাকি বিস্ফোরিত হবে? [উ: 1.5×10^3 kPa; বিস্ফোরিত হবে।]

সমস্যা–১.২৫ : একটি সেফটি ভালবযুক্ত জ্বালানি গ্যাসের সিলিন্ডারে 23°C ও 0.991atm চাপে মিথেন গ্যাস ভর্তি আছে। ভেতরের গ্যাসের চাপ 1.0×10^3 torr এর বেশি হলে সেফটি ভালভটি খোলা যায়। ঐ গ্যাস ভর্তি সিলিন্ডারটিকে 100°C- এ ফুটন্ত পানিতে রাখলে সেফটি ভালভ খুলবে কি? [উ: $P_2 = 948.9$ torr; ভালভটি খুলবে না।]

১.৩.৩. অ্যাভোগাড্রো সূত্র (Avogadro's Law) : গ্যাসের আয়তন ও পরিমাণের সম্পর্ক

বয়েল ও চার্লসের সূত্রে প্রতি ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস নিয়ে পরীক্ষা করা হয়েছে। এখন গ্যাসের পরিমাণ ভিন্ন করে পরীক্ষা করব। নিচের চিত্র ১.৯ মতে, দুটি পিস্টন-সিলিন্ডারের নিচে দুটি টেস্ট টিউব যুক্ত করা হয়। ১ম টেস্টটিউব A তে 0.10 মোল (4.4g) শুষ্ক বরফ (জমাটবদ্ধ CO_2) ও ২য় টেস্টটিউব B তে 0.20 মোল (8.8g) শুষ্ক বরফ নেয়া হয়। কঠিন CO_2 কে তাপ দিলে এটি CO_2 গ্যাসরূপে আয়তনে বৃদ্ধি পায়; ফলে পিস্টনকে ওপর দিকে ঠেলে দেয়। কঠিন শুষ্ক বরফের সবটা CO_2 গ্যাসে পরিণত ও উভয়ের তাপমাত্রা সমান হলে দেখা যায় B টেস্ট-টিউবযুক্ত পিস্টন-সিলিন্ডারে গ্যাসের আয়তন A এর আয়তনের দ্বিগুণ। লক্ষ কর উভয় সিলিন্ডারের ওপর একই বায়ুমণ্ডল চাপ (P স্থির), একই তাপমাত্রা (T স্থির) রয়েছে, পরীক্ষায় ব্যবহৃত দ্বিগুণ পরিমাণ CO_2 এর বেলায় এর আয়তন দ্বিগুণ হয়েছে।



চিত্র ১.৯ : গ্যাসের আয়তন ও পরিমাণের সম্পর্কভিত্তিক পরীক্ষা।

সুতরাং পরীক্ষায় প্রমাণিত হলো : **স্থির তাপমাত্রা ও চাপে কোনো গ্যাসের আয়তন এর পরিমাণ বা মোল সংখ্যার সমানুপাতিক**। অর্থাৎ $V \propto n$, তখন P ও T স্থির; বা, $V = Kn$, এখানে K হলো আনুপাতিক ধ্রুবক;

বা, $\frac{V}{n} = K$ (ধ্রুবক)। সমতাপমাত্রা ও সমচাপে সব গ্যাসের জন্য এ সম্পর্ক মতে, অ্যাভোগাড্রো সূত্রের বিবৃতি নিম্নরূপে দেয়া হয়; **স্থির তাপমাত্রা ও চাপে যে কোনো আদর্শ গ্যাসের সমআয়তনে সমসংখ্যক কণা বা মোল থাকে**।

গ্যাসের প্রমাণ অবস্থাসমূহ : যে সব নিয়ামক বা ফ্যাক্টর গ্যাসের আচরণকে প্রভাবিত করে তা সুস্পষ্ট করার জন্য রসায়নবিদেরা গ্যাসের জন্য নির্দিষ্ট প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে বা STP তে (Standard temperature and pressure) মোলার আয়তন প্রকাশ করেন। প্রমাণ তাপমাত্রা 0°C বা, 273.15K ও চাপ 1atm বা, 760 mm (Hg) বা, 760 টর (torr) এ গ্যাসের প্রমাণ মোলার আয়তন = 22.4141L অথবা 22.4L হয়।

গ্যাসের এক মোলার আয়তনে অণুর সংখ্যাকে অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা (N_A) বলা হয়। অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা N_A এর মান ধরা হয় 6.022×10^{23}।

(১) এক মোল অণু = এক গ্রাম আণবিক ভর = 6.022×10^{23} টি অণু।

যেমন, 44g CO_2 হলো এক মোল CO_2। 44g CO_2 এ অণু থাকে 6.022×10^{23} টি

18g H_2O (পানি) হলো এক মোল পানি। 18g পানিতে অণু থাকে 6.022×10^{23} টি।

(২) এক মোল পরমাণু = এক গ্রাম পারমাণবিক ভর = 6.022×10^{23} টি পরমাণু।

যেমন, Na এর গ্রাম পারমাণবিক ভর = 23g Na = 6.022×10^{23} টি Na পরমাণু

(৩) মোলার আয়তন = প্রমাণ অবস্থায় এক মোল গ্যাসের আয়তন।

STP– তে গ্যাসের মোলার আয়তন হয় = 22.4141L বা 22.4 L সংক্ষেপে

20°C ও 1atm চাপে গ্যাসের মোলার আয়তন হয় = 24.040 L

25°C বা SATP তে গ্যাসের মোলার আয়তন হয় = 24.789 L

অ্যাভোগাড্রো–সংখ্যাভিত্তিক গাণিতিক সমাধান

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১৬ : 16g অক্সিজেন গ্যাসে কয়টি অণু থাকে?

দক্ষতা : এক মোল অক্সিজেন (O_2) = 32g O_2। এক মোল পদার্থে অণু থাকে 6.022×10^{23} টি।

সমাধান : অক্সিজেনের গ্রাম আণবিক ভর = 32 g O_2

∴ 32 g O_2 গ্যাসে অণুর সংখ্যা = 6.022×10^{23} টি

∴ 16 g O_2 গ্যাসে অণুর সংখ্যা =

$= \frac{6.022 \times 10^{23} \times 16}{32} = 3.011 \times 10^{23}$ টি।

উত্তর : 3.011×10^{23} টি।

সমাধানকৃত সমস্যা. ১.১৭ : 1.0 g হাইড্রোজেনে কয়টি পরমাণু থাকে?

দক্ষতা : এক মোল পরমাণু = এক গ্রাম পরমাণু = 6.022×10^{23} টি পরমাণু।

সমাধান : হাইড্রোজেনের এক মোল পরমাণু = 1.0g হাইড্রোজেন।

অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা মতে, 1.0g পরমাণু বা, 1.0 মোল হাইড্রোজেন পরমাণুতে 6.022×10^{23} টি হাইড্রোজেন পরমাণু আছে। **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা –১.১৮ : একটি সোডিয়াম পরমাণুর ভর কত? [Na = 23]

দক্ষতা : Na এর পারমাণবিক ভর 23। অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা, $N_A = 6.022 \times 10^{23}$।

সমাধান : 1 g পরমাণু সোডিয়াম = 23 g সোডিয়াম। এতে N_A সংখ্যক সোডিয়াম পরমাণু আছে।

$N_A = 6.022\ 10^{23}$ টি।

∴ 6.022×10^{23} টি সোডিয়াম পরমাণুর ভর = 23 g Na

∴ 1 টি সোডিয়াম পরমাণুর ভর = $\frac{23\ g}{6.022 \times 10^{23}} = 3.82 \times 10^{-23}$g (প্রায়) **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা –১.১৯ : 500 টি স্বাক্ষর দিতে গ্রাফাইট পেন্সিলের 55.6 mg খরচ হয়। প্রতিটি স্বাক্ষরে কতটি কার্বন পরমাণু খরচ হয়?

দক্ষতা : গ্রাফাইট কার্বনের 1 মোল = 12 g কার্বন = 12 × 1000 mg কার্বন

সমাধান : 12 × 1000 mg কার্বন = 1 মোল কার্বন পরমাণু।

∴ 55.6 mg কার্বন = $\frac{1 \times 55.6 \text{ মোল}}{12 \times 1000}$ কার্বন পরমাণু।

আবার 1 মোল কার্বন পরমাণু = 6.022×10^{23} টি কার্বন পরমাণু।

∴ $\frac{1 \times 55.6}{12 \times 1000}$ মোল কার্বন পরমাণু = $\frac{6.022 \times 10^{23} \times 1 \times 55.6}{12 \times 1000}$ টি কার্বন পরমাণু।

প্রশ্নমতে, 500টি স্বাক্ষর দিতে খরচ হয় = $\frac{6.022 \times 10^{23} \times 1 \times 55.6}{12 \times 1000}$ টি কার্বন পরমাণু।

∴ 1 টি স্বাক্ষর দিতে খরচ হয় = $\frac{6.022 \times 10^{23} \times 1 \times 55.6}{12 \times 1000 \times 500}$ টি কার্বন পরমাণু।

$= 5.580386 \times 10^{18}$ টি কার্বন পরমাণু।

সমাধানকৃত সমস্যা–১.২০ : STP তে 1mL অক্সিজেন গ্যাসে কয়টি অক্সিজেন অণু থাকে?

দক্ষতা : STP তে 1 mol গ্যাস = 22.4L = 6.022×10^{23} টি অণু।

∴ STP তে 1 mL অক্সিজেন গ্যাসে অণু থাকে = $\frac{6.022 \times 10^{23}}{22.4 \times 10^3}$ টি $= 2.6875 \times 10^{19}$ টি

বি. দ্র. (১) এ হিসাব শুধু অক্সিজেন গ্যাস নয়, বরঞ্চ সব গ্যাসের জন্য প্রযোজ্য।

(২) যদি প্রশ্নে পরমাণু সংখ্যা বের করতে বলা হতো, তবে উপরোক্ত অণুর সংখ্যাকে 2 দ্বারা গুণ করতে হবে। কেননা প্রতিটি দ্বিপরমাণুক গ্যাস (যেমন O_2), অণুতে 2টি করে পরমাণু থাকে। ত্রিপরমাণুক ওজোন (O_3) এর বেলায় 3 দ্বারা গুণ এবং চতুর্পরমাণুক NH_3 এর বেলায় 4 দ্বারা গুণ করতে হবে।

শিক্ষার্থী নিজের কর : অ্যাভোগাড্রো সংখ্যাভিত্তিক সমস্যা :

$N_A = 6.022\ 10^{23}$, STP তে $V_m = 22.414\ L\ moL^{-1}$

সমস্যা–১.২৫ (ক) 90g পানিতে কত মোল পানি ও কয়টি পানি অণু থাকে? [উ: 5 mol পানি; 3.011×10^{24} টি অণু]

(খ) 5g পানিতে H ও O পরমাণুর সংখ্যা গণনা কর। [H = 1.008]

[উ: H = 3.342584368×10^{23} টি; O = 1.671292184×10^{23} টি]

(গ) 1.0g অক্সিজেনে কয়টি পরমাণু থাকে তা গণনা কর। [উ: 3.76375×10^{22} টি]

(ঘ) 16g অক্সিজেন গ্যাসে কয়টি অণু থাকে গণনা কর। [উ: 3.011×10^{23} টি অণু]

(ঙ) 5g CO_2 গ্যাসে এর কয়টি অণু থাকে? [উ: $6.8431\ 10^{22}$ টি]

(চ) প্রমাণ অবস্থায় 2.2g CO_2 এর আয়তন কত? [উ: 1.12L]

(ছ) STP তে 2g মিথেন গ্যাসে এর কয়টি অণু থাকে? [উ: 7.5275×10^{22} টি]

সমস্যা–১.২৬ (ক) প্রমাণ অবস্থায় 10 mL NH_3 গ্যাসের ভর কত? [7.589×10^{-3} টি]

(খ) STP তে 1 mL নাইট্রোজেনে কয়টি অণু থাকে? [উ: 2.6883928×10^{22}g]

(গ) প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে 2L মিথেন গ্যাস অণুর সংখ্যা কত? [উ: 5.37678×10^{22} টি]

(ঘ) STP তে 200mL গ্যাসে কয়টি অণু থাকে? [উ: 5.377678×10^{21} টি]

(ঙ) এক গ্রাম কার্বনে কয়টি কার্বন পরমাণু থাকে? [উ: 5.01833×10^{22} টি]

সমস্যা–১.২৭ (ক) 300 টি স্বাক্ষর দিতে গ্রাফাইট পেন্সিলের 30mg খরচ হয়। প্রতিটি স্বাক্ষরে কয়টি কার্বন পরমাণু খরচ হয়? [উ: 5.0183×10^{18} টি]

(খ) 500 টি স্বাক্ষর দিতে গ্রাফাইট পেন্সিলের 55.6 mg ক্ষয় হয়। প্রতিটি স্বাক্ষরে কয়টি কার্বন পরমাণু খরচ হয়? [উ: 5.580386×10^{19} টি]

সমস্যা – ১.২৮ (ক) এক বিকার পানি থেকে কক্ষ তাপমাত্রায় ও চাপে (SATP) যদি প্রতি ঘণ্টায় 1mg পানি বাষ্পীভূত হয়। তবে ঐ প্রক্রিয়ায় প্রতি ঘণ্টায় কয়টি জলীয় বাষ্পের অণু উৎপন্ন হবে [উ: 3.3455555×10^{19} টি]

(খ) বাষ্পীয়ভবনের কারণে একটি পাত্রের পানি যদি প্রতি ঘণ্টায় 10mg ওজন হারায়; তবে প্রতি সেকেন্ডে ঐ প্রক্রিয়ায় জলীয় বাষ্পের কয়টি অণু উৎপন্ন হবে? [উ: 9.29321×10^{16} টি]

১.৩.৪ বয়েল ও চার্লসের সূত্র থেকে সমন্বয় সূত্র
Combined gas Law based on Boyle's & Charles's Laws

গ্যাসের সমন্বয় সূত্র : যে কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের (n স্থির) বেলায় তিনটি পরিবর্তনশীল রাশি V, P, T এর মধ্যে যে কোনো দুটিকে পরিবর্তন করলে তৃতীয় রাশির ওপর কী প্রভাব পড়ে তা বয়েলের সূত্র ও চার্লসের সূত্রের যুক্ত সম্পর্ক থেকে বের করা যায়।

বয়েলের সূত্র মতে, $V \propto \frac{1}{P}$, যখন n ও T স্থির; চার্লসের সূত্র মতে, $V \propto T$, যখন n ও P স্থির;

বীজগণিতের পরিবর্তনশীল রাশির সূত্র মতে উভয় সম্পর্ক থেকে পাই,

$V \propto \frac{1}{P} \times T$, যখন P ও T উভয়ই পরিবর্তনশীল; বা, $V = K \times \frac{T}{P}$, এখানে K হলো আনুপাতিক ধ্রুবক;

বা, $PV = KT$ বা, $\frac{PV}{T} = K$ (ধ্রুবক) .....(১)

নির্দিষ্ট ভরের ঐ একই গ্যাসের তাপমাত্রা T_1, চাপমাত্রা P_1 এর বেলায় আয়তন V_1 হলে, তখন অনুরূপভাবে পাই,

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = K \text{ (ধ্রুবক)} \ldots\ldots\ldots\ldots (২)$$

এখন সমীকরণ (১) ও (২) থেকে পাই, $\frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1}$; এটি হলো গ্যাসের দুটি ভিন্ন তাপমাত্রা ও ভিন্ন চাপে বয়েল ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয় সমীকরণ।

১.৩.৫ আদর্শ গ্যাস সূত্র বা আদর্শ গ্যাস সমীকরণ (The Ideal Gas Equation)

পূর্বের অনুচ্ছেদের আলোচিত বয়েল, চার্লস ও অ্যাভোগাড্রো-এর তিনটি গ্যাস সূত্র সম্বন্ধে আমরা পরীক্ষার মাধ্যমে সুস্পষ্ট ধারণা পেয়েছি। **আদর্শ গ্যাসের তিনটি মূল সূত্রকে যেমন বয়েলের সূত্র, চার্লসের সূত্র ও অ্যাভোগাড্রো-সূত্রকে সমন্বিত করে গ্যাসের চাপ, তাপমাত্রা ও মোল সংখ্যার পরিবর্তনের সাথে আয়তন পরিবর্তনের যে সম্পর্ক পাওয়া যায় তা আদর্শ গ্যাস সূত্র বা আদর্শ গ্যাস সমীকরণ** নামে পরিচিত। গ্যাসের এ তিনটি সূত্রের প্রত্যেকটিতে কেবল আয়তনের ওপর অন্য পরিবর্তনশীল রাশির প্রভাব প্রকাশ পেয়েছে। যেমন :

* বয়েলের সূত্র মতে, $V \propto 1/P$, যখন n, T স্থির থাকে;
* চার্লসের সূত্র মতে, $V \propto T$, যখন n, P স্থির থাকে;
* অ্যাভোগাড্রো সূত্র মতে, $V \propto n$, যখন P, T স্থির থাকে;

এ তিনটি সূত্র সমন্বিত করে পাই, যখন n, P, T তিনটিই পরিবর্তনশীল;

$$V \propto \frac{nT}{P}; \text{ বা, } PV = nRT;$$ **এ সমীকরণটিকে আদর্শ গ্যাস সমীকরণ বলে।**

MCQ : 1.3 : SI এককে R এর মান কোনটি?
(ক) 8.304 (খ) 8.314
(গ) 0.08 km (ঘ) 0.083 km

এক মোল গ্যাসের বেলায়, $n = 1$ হয়। তখন এক মোল গ্যাসের আদর্শ গ্যাস সমীকরণ হয়- $PV_m = nRT$,

V_m = মোলার আয়তন হয়।

মোলার গ্যাস ধ্রুবক : আদর্শ গ্যাস সমীকরণ PV = nRT এর ধ্রুবক R কে সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক বা মোলার গ্যাস ধ্রুবক বলে। কারণ একই তাপমাত্রা ও চাপে এক মোল যে কোনো গ্যাসের মোলার আয়তন সমান হওয়ায় সব গ্যাসের বেলায় ঐ গ্যাস ধ্রুবকের মান একই হয়।

মোলার গ্যাস ধ্রুবক (R)-এর তাৎপর্য :

মোলার গ্যাস ধ্রুবক (R)-এর তাৎপর্য এর বিভিন্ন পদের মাত্রা থেকে বের করা যায়।

আমরা জানি, $PV = nRT$;

$$\therefore R = \frac{PV}{nT} = P \times V \times \frac{1}{n} \times \frac{1}{T}$$

$$= \text{চাপ} \times \text{আয়তন} \times \frac{1}{\text{মোল সংখ্যা}} \times \frac{1}{\text{কেলভিন}}$$

$$= \frac{\text{বল}}{(\text{দৈর্ঘ্য})^2} \times (\text{দৈর্ঘ্য})^3 \times \frac{1}{\text{মোল সংখ্যা}} \times \frac{1}{\text{কেলভিন}}$$

$$\therefore R = \frac{\text{বল} \times \text{দৈর্ঘ্য}}{\text{মোল সংখ্যা} \times \text{কেলভিন}} = \text{কাজ (বা শক্তি) মোল}^{-1}\ \text{কেলভিন}^{-1}$$

এ সম্পর্ক থেকে বোঝা যায় যে, চাপ স্থির রেখে এক মোল আদর্শ গ্যাসের তাপমাত্রা এক কেলভিন বাড়ালে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধিজনিত যে পরিমাণ কাজ হয়, তা গ্যাস ধ্রুবক R এর সমান। **এটিই হলো R এর ভৌত তাৎপর্য।**

গ্যাস ধ্রুবক R এর মান নির্ণয় :

গ্যাসের চাপ (P) ও আয়তন (V) কে বিভিন্ন এককে এবং তাপমাত্রা (T) কে কেলভিন এককে ব্যবহার করে মোলার গ্যাস ধ্রুবক R এর মান নিম্নোক্ত চারটি এককে প্রকাশ করা হয়। লিটার অ্যাটমসফিয়ার (L. atam) একক, SI একক ও CGS এককে R এর মান নির্ণয়ে প্রতি ক্ষেত্রে তাপমাত্রা T = 273.15 ধরা হয়।

(ক) লিটার-অ্যাটমসফিয়ার এককে R এর মান নির্ণয় : লিটার অ্যাটমসফিয়ার এককে মোলার আয়তন লিটারে।

V = 22.4141L ও চাপ P = 1 atm ধরা হয়;

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{1atm \times 22.414L}{1mol \times 273.15K} = 0.082058\ L.atm.mol^{-1}.K^{-1}$$

(খ) SI এককে R-এর মান নির্ণয় : SI এককে গ্যাসের মোলার আয়তনকে কিউবিক মিটারে

$V = 22.414\times10^{-3}m^3$ ও চাপকে প্যাসকেল এককে $P = 101.325 \times 10^3 Nm^{-2}$ এ ধরা হয়। যেমন –

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{101.325 \times 10^3 Nm^{-2} \times 22.414 \times 10^{-3} m^3}{1mol \times 273.15K} = 8.314\ J.mol^{-1}.K^{-1}\ [\because 1Nm = 1J]$$

(গ) সি. জি.এস (CGS) এককে R এর মান : CGS এককে গ্যাসের চাপকে ডাইন প্রতি বর্গ সেন্টিমিটার (dyne cm^{-2}) এর গ্যাসের আয়তনকে ঘন সেন্টিমিটার (cm^3) এককে প্রকাশ করা হয়।

অতএব C.G.S এককে, এক মোল গ্যাসের বেলায় –

$P = 1atm = 76\ cm\ (Hg) = 76 \times 13.6 \times 981\ dyne\ cm^{-2}$ [$\because P = h \times p \times g$]

$V = 22.414L = 22.414 \times 10^3\ cm^3 = 22414\ cm^3$ [$g = 981\ cms^{-2}$, $\rho = 13.6$]

$T = 273.15K$ এবং $n = 1\ mol$ [1 dyne = $1g\ cms^{-2}$]

$$\therefore R = \frac{P \times V}{n \times T} = \frac{(76 \times 13.6 \times 981\ dyne\ cm^{-2}) \times 22414 cm^3}{1\ mol \times 273.15K}$$

$$\therefore R = 8.32\ 10\ dyne\ cmK^{-1}\ mol^{-1} = 8.32 \times 10^7\ erg\ K^{-1}\ mol^{-1}$$

$= 8.32\ JK^{-1}\ mol^{-1}$ [$\because 1dyne.cm = 1\ erg;\ 10^7 erg = 1J$]

(ঘ) ক্যালরি এককে R এর মান : আমরা জানি,

SI এককে R এর মান হলো $8.32\ JK^{-1}\ mol^{-1}$ এবং 1 ক্যালরি (cal) = 4.184 J

$$\therefore R = \frac{8.32JK^{-1}\ mol^{-1} \times 1cal}{4.184J} = 1.987\ cal\ K^{-1}\ mol^{-1}$$

নিচে বিভিন্ন এককে R এর মান দেখানো হলো –

(১) লিটার অ্যাটমসফিয়ার চাপ এককে : $R = 0.082\ L.atm.mol^{-1}\ K^{-1}$

(২) এস. আই. (S. I) এককে : $R = 8.314\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}$

(৩) সি. জি.এস (CGS) এককে : $R = 8.32J\ mol^{-1}\ K^{-1}$

(৪) ক্যালরি (calorie) এককে : $R = 1.987\ cal\ mol^{-1}\ K^{-1}$

বোলট্‌জম্যান ধ্রুবক (Boltzmann Constant) : গ্যাসের অণু প্রতি গ্যাস ধ্রুবকের মানকে বোলট্‌ম্যান ধ্রুবক বলে। বোলট্‌ম্যান ধ্রুবককে k দ্বারা প্রকাশ করা হয়। সুতরাং $k = \frac{R}{N_A}$; এখানে R = মোলার গ্যাস ধ্রুবক এবং N_A = অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা। নিচে k ধ্রুবককে বিভিন্ন এককে দেখানো হলো –

(ক) L–atm এককে : $k = \frac{R}{N_A} = \frac{0.082 L.atm.mol^{-1} K^{-1}}{6.022 \times 10^{23} \text{ molecules } mol^{-1}} = 1.36 \times 10^{-25} \text{ L.atmK}^{-1}\text{molecule}^{-1}$

(খ) জুল বা SI এককে : $k = \frac{R}{N_A} = \frac{8.314 J \text{ mol}^{-1} K^{-1}}{6.022\ 10^{23} \text{ molecules mol}^{-1}} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1} \text{ molecule}^{-1}$

আদর্শ গ্যাস সমীকরণের ব্যবহার (Uses of Ideal Gas Equation)

আদর্শ গ্যাস সমীকরণ PV = nRT ব্যবহার করে (১) গ্যাসের আণবিক ভর ও (২) গ্যাসের ঘনত্ব নির্ণয় করা যায়।

(১) গ্যাসের আণবিক ভর নির্ণয় : কোনো গ্যাসের আণবিক ভর M হলে তখন ঐ গ্যাসের মোলার ভর হবে M গ্রাম। w গ্রাম ভরের সে গ্যাসের মোল সংখ্যা, n = w/M। এখন আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ থেকে পাই $PV = nRT = \frac{wRT}{M}$,

$\therefore M = \frac{wRT}{PV}$ .....(1)

(1) নং সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, কেনো নির্দিষ্ট ভরের (w) গ্যাস বা বাষ্পের চাপ, তাপমাত্রা ও আয়তন জানা থাকলে ঐ গ্যাস বা বাষ্পের আণবিক ভর (M) সহজেই গণনা করা যায়।

(২) গ্যাসের ঘনত্ব নির্ণয় : কোনো গ্যাসের আণবিক ভর M এবং w গ্রাম ভরের সে গ্যাসের আয়তন V হলে, তখন ঐ গ্যাসের ঘনত্ব, d = w/V হয়। এ মান আদর্শ গ্যাস সমীকরণে বসিয়ে পাই –

$PV = nRT = \frac{wRT}{M}$; বা, $\frac{w}{V} = \frac{PM}{RT}$; $d = \frac{PM}{RT}$

অর্থাৎ কোনো গ্যাসের আণবিক ভর (M) জানা থাকলে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় (T) ঐ গ্যাসের চাপ (P) ও গ্যাস ধ্রুবক R এর মান থেকে গ্যাসটির ঘনত্ব (d) সহজেই গণনা করা যায়।

বয়েল ও চার্লসের সমন্বয় সূত্র এবং আদর্শ গ্যাস সমীকরণভিত্তিক গণনা

সমাধানকৃত সমস্যা–১.২১ : নির্দিষ্ট পরিমাণ কোন গ্যাসের তাপমাত্রা 27°C হতে কত বাড়ালে ঐ গ্যাসের আয়তন দ্বিগুণ হবে; যদি একই সাথে ঐ গ্যাসের চাপ 0.8 atm হতে 1.18 atm এ বৃদ্ধি করা হয়?

দক্ষতা -(Strategy) : এক্ষেত্রে গ্যাসের তাপমাত্রা ও চাপ উভয়ের পরিবর্তন ঘটেছে। তাই বয়েলের ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয় সমীকরণ প্রযোজ্য।

সমাধান : সমন্বয় সমীকরণ মতে,

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

বা, $T_2 = \frac{P_2V_2 \times T_1}{P_1V_1}$

বা, $T_2 = \frac{1.18 \text{ atm} \times 2xL \times 300K}{0.8 \text{ atm} \times xL}$

বা, $T_2 = 885K$

$\therefore$ ২য় অবস্থায় তাপমাত্রা = 885K

বা, V_2 (885 – 273) °C= 612°C

$\therefore$ তাপমাত্রার বৃদ্ধি = (612 – 27)°C = 585°C **(উত্তর)**

১ম অবস্থায় –

গ্যাসের তাপমাত্রা, T_1= (27 + 273) = 300K

গ্যাসের চাপ, P_1, = 0.8atm

গ্যাসের আয়তন, V_1 = xL (মনে করি)

২য় অবস্থায় –

গ্যাসের তাপমাত্রা T_2 = ?

গ্যাসের চাপ, P_2 = 1.18 atm

গ্যাসের আয়তন, V_2 = 2xL (প্রশ্নমতে)

সমাধানকৃত সমস্যা– ১.২২ : প্রমাণ অবস্থায় একটি গ্যাসের আয়তন 1000 mL হয়, 27°C তাপমাত্রায় ও 74/76 atm চাপে উক্ত গ্যাসের আয়তন কত হবে?

দক্ষতা : এক্ষেত্রে গ্যাসের তাপমাত্রা ও চাপ উভয়ের পরিবর্তন ঘটেছে। তাই বয়েলের ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয় সমীকরণ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : সমন্বয় সমীকরণ মতে, $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$

১ম অবস্থায়–

গ্যাসের চাপ, $P_1 = 1$ atm (প্রমাণ চাপ)

গ্যাসের তাপমাত্রা, $T_1 = 273K$ (প্রমাণ)

গ্যাসের আয়তন, $V_1 = 1000mL = 1L$

২য় অবস্থায় –

গ্যাসের চাপ, $P_2 = 74/76$

গ্যাসের তাপমাত্রা, $T_2 = (27+273) = 300K$

গ্যাসের আয়তন, $V_2 = ?$

বা, $V_2 = \frac{P_1V_1 \times T_2}{T_1 \times P_2}$

বা, $V_2 = \frac{1\ atm \times 1L \times 300K}{273K \times 74/76\ atm}$

বা, $V_2 = \frac{1atm \times 1L \times 300K \times 76}{273K \times 74\ atm}$

বা, $V_2 = 1.1286L$ **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা–১.২৩ : STP তে $3 \times 10^{-3}\ m^3$ গ্যাসের ভর 4.5×10^{-3} kg হয়। 27°C তাপমাত্রায় ও 101.99 kPa চাপে $4.0 \times 10^{-4}\ m^3$ গ্যাসের ভর নির্ণয় কর।

দক্ষতা : ১ম অবস্থায় ও ২য় অবস্থায় তাপমাত্রা ও চাপ উভয়ের পরিবর্তন ঘটেছে। তাই বয়েল ও চার্লসের সমন্বয় সূত্র প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : প্রদত্ত অবস্থায় –

গ্যাসের চাপ, $P_1 = 101.99$ kPa

গ্যাসের তাপমাত্রা, $T_1 = (27+273)\ K = 300K$

গ্যাসের আয়তন, $V_1 = 4.0\ 10^{-4}\ m^3$

STP অবস্থায়–

গ্যাসের চাপ, $P_2 = 101.325$ kPa

গ্যাসের তাপমাত্রা, $T_2 = 273K$

গ্যাসের আয়তন, $V_2 = ?$

বয়েল ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয় সমীকরণ মতে,

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

$\therefore V_2 = \frac{P_1V_1 \times T_2}{T_1 \times P_2}$

বা, $V_2 = \frac{101.99\ kPa \times 4 \times 10^{-4}\ m^3 \times 273K}{300K \times 101.325 kPa}$

বা, $V_2 = 3.664 \times 10^{-4}\ m^3$

প্রশ্নমতে, STP তে $3 \times 10^{-3}\ m^3$ আয়তনের গ্যাসের ভর $= 4.5 \times 10^{-3}$ kg

$\therefore$ STP তে $3.664 \times 10^{-4}\ m^3$ আয়তনের গ্যাসের ভর $= \frac{4.5 \times 10^{-3}\ kg \times 3.664 \times 10^{-4}\ m^3}{3 \times 10^{-3}\ m^3}$

$= 5.496 \times 10^{-4}$ kg **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা–১.২৪ : 20°C তাপমাত্রায় একটি কঠিন বস্তুসহ নির্দিষ্ট পরিমাণ কোনো গ্যাসের আয়তন $0.12\ dm^3$ (বা L) হয়। ঐ গ্যাসের তাপমাত্রা 47°C–এ উন্নীত করলে চাপ দ্বিগুণ এবং কঠিন বস্তুসহ গ্যাসের আয়তন $71.5\ cm^3$ (বা mL) হয়। কঠিন বস্তুটির আয়তন কত cm^3 হবে?

দক্ষতা : ১ম ও ২য় অবস্থায় চাপ ও তাপমাত্রার পরিবর্তন ঘটেছে। তাই এক্ষেত্রে বয়েল ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয় সমীকরণ প্রযোজ্য হবে। আবার কঠিন বস্তুর আয়তনের ওপর তাপমাত্রা ও চাপের প্রভাব নেই। তাই উভয় অবস্থায় কঠিন বস্তুর আয়তন গ্যাসের মোট আয়তন থেকে বাদ যাবে।

সমাধান : মনে করি কঠিন বস্তুর আয়তন x cm^3।

প্রথম অবস্থায় –

গ্যাসের চাপ, $P_1 = P$ atm (মনে করি)

গ্যাসের আয়তন, $V_1 = (120 - x)\ cm^3$

গ্যাসের তাপমাত্রা, $T_1 = (20 + 273)\ K = 293K$

দ্বিতীয় অবস্থায়

গ্যাসের চাপ, $P_2 = 2P$ atm (প্রশ্নমতে)

গ্যাসের আয়তন, $V_2 = (71.5 - x) cm^3$

গ্যাসের তাপমাত্রা, $T_2 = (47+273)K = 320K$

বয়েল ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয় সমীকরণ মতে $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$

$$\therefore \frac{P\ atm\ (120 - x)\ cm^3}{293K} = \frac{2Patm \times (71.5 - x)\ cm^3}{320K}$$

বা, $(120-x) \times 320 = 2 \times (71.5-x) \times 293$

বা, $38400-320x = 41899-586x$

বা, $586x - 320x = 41899 - 38400$

বা, $266x = 3499$; বা, $x = 13.154\ cm^3$ **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা-১.২৫ : 27° তাপমাত্রায় (77/76) atm চাপে 20L আয়তনে কত মোল মিথেন গ্যাস আছে?

দক্ষতা : গ্যাসের মোল সংখ্যা নির্ণয় করতে PV = nRT সমীকরণ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : আদর্শ গ্যাস সমীকরণ মতে,

$PV = nRT$

বা, $n = \frac{PV}{RT}$

বা, $n = \frac{(77/76)\ atm \times 20L}{0.082L\ atm.K^{-1}\ mol^{-1} \times 300K}$

বা, $n = \frac{77 \times 20\ mol}{76 \times 0.082 \times 300}$

$\therefore n = 0.8237$ mol **(উত্তর)**

প্রশ্ন মতে,

গ্যাসের চাপ, P = (77/76) atm

গ্যাসের তাপমাত্রা, T = (27 + 273)K = 300K

গ্যাসের আয়তন, V = 20L

গ্যাস ধ্রুবক, R = 0.082 L atm K^{-1} mol^{-1}

[বি. দ্র. গ্যাসের আয়তন লিটার,চাপের একক atm হলে R এর মান লিটার atm এককে 0.082 L atm K^{-1} mol^{-1} ব্যবহার করতে হয়। এছাড়া R এর মান SI এককে 8.314 JK^{-1} mol^{-1} ব্যবহার করলে তখন গ্যাসের আয়তন m^3 এককে এবং চাপকে প্যাসকেল (Pa) অথবা Nm^{-2} এককে ব্যবহার করতে হবে।]

সমাধানকৃত সমস্যা – ১.২৬ : 30°C তাপমাত্রায় 0.987 atm চাপে 1mL গ্যাসে কয়টি অণু থাকে?

দক্ষতা : এক্ষেত্রে গ্যাসের চাপ, তাপমাত্রা, আয়তন দেয়া আছে। তাই PV = nRT থেকে মোল সংখ্যা n বের করে অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ ব্যবহার করতে হবে।

সমাধান : আদর্শ গ্যাস সমীকরণ মতে,

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{0.987atm\ 1 \times 10^{-3}L}{0.082Latm\ K^{-1}\ mol^{-1} \times 303K}$$

$= 3.97 \times 10^{-5}$ mol

$\therefore$ নমুনায় 3.97×10^{-5} mol গ্যাস আছে।

প্রশ্নমতে, গ্যাসের চাপ, P = 0.987 atm

গ্যাসের আয়তন, $V = 1mL = 1 \times 10^{-3}L$

গ্যাসের তাপমাত্রা, T = (30 + 273)K = 303K

গ্যাস ধ্রুবক, R = 0.082 Latm K^{-1} mol^{-1}

1 mol গ্যাসে অণু থাকে = 6.022×10^{23} টি।

3.97×10^{-5} mol গ্যাসে অণু থাকে = $6.022 \times 10^{23} \times 3.97 \times 10^{-5}$ টি $= 2.3907 \times 10^{19}$ টি। **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা – ১.২৭ : 27°C তাপমাত্রায় ও 102 kPa চাপে 250mL মিথেন গ্যাসের ভর নির্ণয় কর।

দক্ষতা : এক্ষেত্রে গ্যাসের তাপমাত্রা, চাপ ও আয়তন তিনটি রাশি দেয়া আছে। তাই PV = nRT সমীকরণ থেকে গ্যাসের ভর বের করা যাবে।

সমাধান : আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ মতে,

$PV = nRT$

বা, $n = \frac{PV}{RT}$

বা, $\frac{102 \text{ atm} \times 0.250\text{L}}{101.325 \times 0.082 \text{ Latm K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300\text{K}}$

বা, $n = 0.010230302 \text{ mol}$

প্রশ্ন মতে, গ্যাসের চাপ, $P = \frac{102}{101.325}$ atm

গ্যাসের আয়তন, $V = 0.250\text{L}$

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

মোল সংখ্যা, $n = ?$

গ্যাস ধ্রুবক, $R = 0.082\text{L.atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

আবার মিথেন (CH_4) এর আণবিক ভর = 16।

∴ 1 mol মিথেনের ভর = 16 g

∴ 0.010230302 mol মিথেনের ভর = $0.010230302 \times 16\text{g} = 0.16368432\text{g}$ **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা – ১.২৮ : 20°C তাপমাত্রায় ও 740 mm (Hg) চাপে 0.842 g একটি গ্যাস 400 mL আয়তন দখল করে। গ্যাসটির আণবিক ভর কত?

দক্ষতা : এক্ষেত্রে গ্যাসের তাপমাত্রা, চাপ, আয়তন ও ভর–এ চারটি রাশি দেয়া আছে। তাই PV = nRT সমীকরণ থেকে গ্যাসের আণবিক ভর বের করা যাবে।

সমাধান : আদর্শ গ্যাস সমীকরণ PV = nRT থেকে পাই,

$PV = nRT = \frac{wRT}{M}$

বা, $M = \frac{wRT}{PV}$

বা, $M = \frac{0.842\text{ g} \times 0.082\text{L.atm.K}^{-1}\text{mol}^{-1} \times 293\text{K} \times 760}{740 \text{ atm} \times 0.4\text{L}}$

বা, $M = \frac{0.842 \times 0.082 \times 293 \times 760}{740 \times 0.4} \text{ gmol}^{-1}$

বা, $M = 51.942 \text{ g mol}^{-1}$

∴ গ্যাসটির আণবিক ভর = 51.942 **(উত্তর)**

প্রশ্নমতে, গ্যাসের ভর, $w = 0.842$ g

গ্যাস ধ্রুবক, $R = 0.082\text{Latm. K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

গ্যাসের তাপমাত্রা, $T = (20 + 273)\text{ K} = 293\text{ K}$

গ্যাসের চাপ, $P = \frac{740}{760}$ atm

গ্যাসের আয়তন, $V = 400\text{ mL} = 0.4\text{L}$

গ্যাসের আ. ভর, $M = ?$

সমাধানকৃত সমস্যা–১.২৯ : 30°C তাপমাত্রায় ও 95kPa চাপে 250 mL কোনো গ্যাসের ভর 0.2g হয়। ঐ গ্যাসের আণবিক ভর কত?

দক্ষতা : এক্ষেত্রে গ্যাসের তাপমাত্রা, চাপ, আয়তন ও ভর-এ চারটি রাশি দেয়া আছে। তাই PV = nRT সমীকরণ থেকে গ্যাসের আণবিক ভর বের করা যাবে।

সমাধান : আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ $PV = nRT$ থেকে পাই,

$$PV = nRT = \frac{wRT}{M}$$

বা, $M = \frac{wRT}{PV}$

বা, $M = \frac{0.2g \times 0.082L\ atm.K^{-1}.mol^{-1} \times 303K \times 101.325}{95atm \times 0.25L}$

বা, $M = \frac{0.2 \times 0.082 \times 303 \times 101.325}{95 \times 0.25} gmol^{-1}$

$\therefore M = 21.2g\ mol^{-1}$

$\therefore$ গ্যাসটির আণবিক ভর = 21.2 **(উত্তর)**

প্রশ্নমতে, গ্যাসের ভর, $w = 0.2g$

গ্যাসের তাপমাত্রা, $T = (30 + 273)\ K = 303K$

গ্যাসের চাপ, $P = 95kPa = \frac{95\ atm}{101.325}$

গ্যাসের আয়তন, $V = 250\ mL = 0.25L$

গ্যাস ধ্রুবক, $R = 0.082L\ atm\ K^{-1}\ mol^{-1}$

গ্যাসের আ. ভর $M = ?$

সমাধানকৃত সমস্যা–১.২৯ : 27°C তাপমাত্রায় ও 0.526 atm চাপে 15 g নাইট্রোজেনে গ্যাসের আয়তন কত?

দক্ষতা : এক্ষেত্রে N_2 গ্যাসের তাপমাত্রা, চাপ, ভর ও আণবিক ভর 28 জানা আছে। তাই $PV = nRT$ সমীকরণ থেকে গ্যাসের আয়তন বের করা যাবে।

সমাধান : আদর্শ গ্যাস সমীকরণ মতে,

$$PV = nRT = \frac{wRT}{M}$$

বা, $V = \frac{wRT}{PM}$

বা, $V = \frac{15g \times 0.082L.atm.K^{-1}\ mol^{-1} \times 300K}{0.526atm \times 28g\ mol^{-1}}$

বা, $V = \frac{15 \times 0.08 \times 300\ L}{0.526 \times 28} = 25.05L$ **(উত্তর)**

প্রশ্ন মতে, গ্যাসের ভর, $w = 15g$

N_2 গ্যাসের গ্রাম আণবিক ভর, $M = (14 \times 2) = 28g\ mol^{-1}$

গ্যাসের চাপ, $P = 0.526\ atm$

গ্যাসের তাপমাত্রা, $T = (27 + 273)K = 300\ K$

গ্যাস ধ্রুবক, $R = 0.082\ L.atm.\ K^{-1}\ mol^{-1}$

গ্যাসের আয়তন, $V = ?$

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৩০ : 30°C তাপমাত্রায় 12g CO_2 গ্যাসের আয়তন 5L হলে তখন ঐ গ্যাসের চাপ কত হবে?

দক্ষতা : এক্ষেত্রে CO_2 গ্যাসের তাপমাত্রা, ভর, আণবিক ভর ও আয়তন এ চারটি রাশি জানা আছে। তাই $PV = nRT$ সমীকরণ থেকে গ্যাসের চাপ বের করা যাবে।

সমাধান : আদর্শ গ্যাস সমীকরণ মতে,

$$PV = nRT = \frac{wRT}{M}$$

বা, $P = \frac{wRT}{VM}$

বা, $P = \frac{12g \times 0.082\ L.atm.K^{-1}\ mol^{-1} \times 303K}{5L \times 44gmol^{-1}}$

বা, $P = \frac{12 \times 0.082 \times 303}{5 \times 44} atm$

$\therefore P = 1.35524\ atm$ **(উত্তর)**

প্রশ্নমতে, CO_2 গ্যাসের ভর $w = 12g$

CO_2 গ্যাসের গ্রাম আণবিক ভর, $M = 44gmol^{-1}$

গ্রামের তাপমাত্রা, $T = (30 + 273)K = 303K$

গ্যাসের আয়তন, $V = 5L$

গ্যাসের চাপ, $P = ?$

গ্যাস ধ্রুবক, $R = 0.082\ L.atm.\ K^{-1}\ mol^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা –১.৩১ : 100°C তাপমাত্রায় ও 1.0526 atm চাপে CO_2 গ্যাসের ঘনত্ব কত হবে?

দক্ষতা : এক্ষেত্রে CO_2 গ্যাসের তাপমাত্রা, চাপ ও আণবিক ভর জানা আছে। তাই d = PM/RT সমীকরণ থেকে CO_2 গ্যাসের ঘনত্ব বের করা যাবে।

সমাধান : আদর্শ গ্যাস সমীকরণ PV = nRT থেকে পাই –

$PV = nRT = \frac{wRT}{M}$;

বা, $\frac{w}{V} = \frac{PM}{RT}$

বা, $d = \frac{PM}{RT}$;

[ঘনত্ব d হলো একক আয়তনে পদার্থের পরিমাণ]

প্রশ্নমতে, গ্যাসের চাপ, P = 1.0526 atm

গ্রাম আঃ ভর, $M = 44g\ mol^{-1}$

তাপমাত্রা, T = (100 + 273) K = 373K

গ্যাস ধ্রুবক, $R = 0.082\ L.\ atm.\ K^{-1}\ mol^{-1}$

গ্যাসের ঘনত্ব, d = ?

বা, $d = \frac{1.0526\ atm \times 44g\ mol^{-1}}{0.082 L.atm.\ K^{-1}\ mol^{-1} \times 373K}$

বা, $d = 1.514\ gL^{-1}$ **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা– ১.৩২ : একটি বায়ুশূন্য 10L আয়তনের সিলিন্ডারে 2g H_2 গ্যাস ও 2g D_2 (ডিউটেরিয়াম) গ্যাস 27°C তাপমাত্রায় ভর্তি করা আছে। সিলিন্ডারের মধ্যে ঐ গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ কত হবে?

দক্ষতা : এক্ষেত্রে গ্যাস মিশ্রণের মোট মোল সংখ্যা (n), তাপমাত্রা ও আয়তন এ তিনটি রাশি জানা যায়। তাই PV = nRT থেকে চাপ বের করা যায়।

সমাধান : H_2 গ্যাসের আণবিক ভর = 2; D_2 গ্যাসের আণবিক ভর = 4

$\therefore$ 2g $H_2 = \frac{2g}{2g\ mol^{-1}} = 1$ mol, 2g $D_2 = \frac{2g}{4g\ mol^{-1}} = 0.5$ mol

সিলিণ্ডারে উভয় গ্যাসের মোট মোল সংখ্যা (n) = (1 + 0.5) = 1.5 mol

প্রশ্ন মতে, গ্যাসের তাপমাত্রা, T =(27 + 273)K = 300K

গ্যাসের আয়তন, V = 10L, গ্যাস ধ্রুবক, $R = 0.082\ Latm\ K^{-1}\ mol^{-1}$, গ্যাসের চাপ P = ?

আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ মতে,

$PV = nRT$

বা, $P = \frac{nRT}{V} = \frac{1.5\ mol \times 0.082\ LatmK^{-1}\ mol^{-1} \times 300K}{10L}$

বা, $P = \frac{1.5 \times 0.082 \times 300}{10}$ atm

$\therefore$ P = 3.69 atm **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা ১.৩৩ : একটি পূর্ণ বয়স্ক লোকের ফুসফুসে বায়ুর ধারণ ক্ষমতা 3.8L হলে এতে কত মোল গ্যাস বা বায়ু থাকবে? এ সময়ে বায়ুর চাপ 1atm ও দেহের তাপমাত্রা 37°C রয়েছে।

দক্ষতা (Strategy) : এক্ষেত্রে গ্যাসের V, P ও T দেয়া আছে; n এর মান চেয়েছে। তাপমাত্রাকে কেলভিনে ও

গ্যাসধ্রুবক $R = 0.08206 L.atm.K^{-1}.mol^{-1}$ ব্যবহার করতে হবে।

MCQ : 1.4 : বায়ুমণ্ডলের সর্বনিম্ন তাপমাত্রা কত?
(ক) –55°C (খ) –2°C
(গ) –50°C (ঘ) –93°C

সমাধান : আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ $PV = nRT$ প্রয়োগ করে পাই-

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{1.0\ atm \times 3.8L}{0.08206L\ atm\ K^{-1}.mol^{-1} \times 310K} = 0.15mol$$

∴ একটি পূর্ণ বয়স্ক লোকের ফুসফুস 0.15 mol বায়ু ধারণ করতে সক্ষম।

সমাধানকৃত সমস্যা ১.৩৪ : গ্যাসের ঘনত্ব নির্ণয়ভিত্তিক সমস্যা :

25°C তাপমাত্রা ও 733.4mm(Hg) চাপে 1.0L বালবে রাখা অ্যামোনিয়া গ্যাসের ভর 0.672g হয়। STP তে ঐ গ্যাসের g/L ঘনত্ব বের কর।

দক্ষতা : বস্তুর ঘনত্ব হলো STP তে প্রতি লিটারে ঐ বস্তুর গ্রাম এককে ভর। প্রশ্নে অ্যামোনিয়ার ভর 0.672g দেয়া আছে; প্রদত্ত গ্যাসের আয়তনকে STP তে রূপান্তর কর। যেহেতু n এর মান স্থির, প্রদত্ত অবস্থায় P_1V_1/RT_1 এবং STP তে P_oV_o/RT_o থেকে STP তে V_o বের করা যাবে।

সমাধান : $n = \frac{P_1V_1}{RT_1} = \frac{P_oV_o}{RT_o}$; বা $V_o = \frac{P_1V_1 \times T_o}{T_1 \times P_o}$

$$\therefore V_o = \frac{733.4mm(Hg) \times 1.0L \times 273K}{298K \times 760mm(Hg)} = 0.884L$$

∴ STP তে ঐ গ্যাসের আয়তন হলো 0.884L

$$\therefore \text{অ্যামোনিয়া গ্যাসের ঘনত্ব} = \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}} = \frac{0.672g}{0.884L} = 0.760g/L$$

দেয়া আছে;
$P_1 = 733.4mm(Hg)$
$V_1 = 1.0L$
$T_1 = (25 + 273) = 298K$
$P_o = 760mm(Hg)$
$T_o = 273\ K$

সমাধানকৃত সমস্যা ১.৩৫ : অজানা গ্যাস শনাক্তকরণভিত্তিক সমস্যা :

একটি লেবেলবিহীন গ্যাস সিলিন্ডার থেকে নমুনা গ্যাস নিয়ে 15°C তাপমাত্রায় ও 736mm(Hg) চাপে এর ঘনত্ব 5.380g/L পাওয়া গেল। ঐ গ্যাসটির মোলার ভর কত হবে?

দক্ষতা : দেয়া আছে, 1.0L গ্যাসের ভর হলো 5.38g। প্রদত্ত P, V, T থেকে n এর মান বের কর। প্রদত্ত ভরকে মোল সংখ্যা (n) দিয়ে ভাগ করলে g/mol পাওয়া যাবে।

সমাধান : $PV = nRT$, $\therefore n = \frac{PV}{RT}$

বা, $n = \frac{736atm/760 \times 1.0L}{0.08206L.atm\ K^{-1}.mol^{-1} \times 288K}$

বা, $n = 0.041$ mol

দেয়া আছে :
$P = 736mm(Hg) = 736/760$ atm
$V = 1.0L$
$T = (15 + 273)K = 288K$
$R = 0.08206$ L.atm/K.mol

∴ গ্যাসটির মোলার ভর = 5.380g/0.041 mol = 131g/mol

সম্ভবত সে গ্যাসটি হবে জেনন (পারমাণবিক ভর = 131.3amu)

শিক্ষার্থী নিজে কর : বয়েলের ও চার্লসের সমন্বয় সূত্র ও আদর্শ গ্যাস সমীকরণভিত্তিক সমস্যা :

(1) $P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2$, (2) $PV = nRT$, (3) $d = \frac{PM}{RT}$

সমস্যা ১.২৯ : চুনাপাথর ($CaCO_3$) ও HCl এসিডের বিক্রিয়ায় নিচের সমীকরণ মতে CO_2 গ্যাস উৎপন্ন হয় : $CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow CaCl_2(aq) + CO_2(g) + H_2O(l)$

কত গ্রাম CO_2 গ্যাস 33.7g $CaCO_3$ থেকে উৎপন্ন হবে? STP তে লিটার এককে ঐ CO_2 গ্যাসের আয়তন কত? [উ: 14.8g; 7.55L]

সমস্যা ১.৩০ : 100°C তাপমাত্রায় ও 1.0526 atm চাপে CO_2 এর ঘনত্ব কত? [উ: 1.514g; L^{-1}]

সমস্যা ১.৩১ : 27°C ও 1atm. চাপে 20 L আয়তনে কত মোল মিথেন আছে? [উ: 0.813 moL]

সমস্যা-১.৩২ : 25°C ও 4.5atm চাপে রাখা 15.0L প্রোপেন (C_3H_8) গ্যাসের সিলিন্ডারের সব গ্যাসের দহনে উৎপন্ন CO_2 এর আয়তন STP তে কত লিটার হবে? [উ: 185.60L]

সমস্যা ১.৩৩ : 30°C এ ও 0.987 atm চাপে 1mL গ্যাসে কয়টি অণু থাকে? [উ: 2.3907×10^{19} টি]

সমস্যা ১.৩৪ : 30°C এ ও 95 kPa চাপে 250mL 'A' গ্যাসের ভর 0.2g হয়। ঐ গ্যাসের আণবিক ভর কত? [উ: 21.2]

সমস্যা ১.৩৫ : 25°C এ ও 0.97 atm চাপে 2.50g 'A' গ্যাস 400 mL আয়তন দখল করে। গ্যাসটির আণবিক ভর কত? [উ: 157.45] [ব. বো. ২০১৫]

সমস্যা ১.৩৬ : 20°C এ ও 740 mm (Hg) চাপে 0.842 g একটি' গ্যাস 400 আয়তন দখল করে। গ্যাসটির আণবিক ভর কত? [উ: 51.942]

সমস্যা ১.৩৭ : 18°C তাপমাত্রায় ও 0.8 atm চাপে কোনো গ্যাসের ঘনত্ব 2.25 g L^{-1} হয়। গ্যাসটির আণবিক ভর কত? [সংকেত সমাধানকৃত সমস্যা -১.৫ দেখ।] [উ: 67.11g moL^{-1}] [চ. বো. ২০১৬]

সমস্যা ১.৩৮ : একটি দুর্গন্ধযুক্ত গ্যাস Na_2S ও HCl এসিডের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন করা হলো। STP তে ঐ গ্যাসের 1.0L এর ভর 1.52 g হয়। ঐ গ্যাসের গ্রাম–আণবিক ভর কত? ঐ গ্যাসের সংকেত ও নাম লেখ। [উ: 34.069g; H_2S, হাইড্রোজেন সালফাইড]

সমস্যা ১.৩৯ : মিথেন গ্যাসের স্টোরেজ ট্যাংকের ধারণ ক্ষমতা STP তে 1.0×10^5L হলে এতে কত মোল CH_4 গ্যাস আছে? গ্রাম এককে এর ভর কত? [উ: 4.463×10^3mol; 7.155×10^4g]

সমস্যা ১.৪০ : একটি এরোসল স্প্রে ক্যানের ধারণ ক্ষমতা 350 mL। এতে 3.2g প্রোপেন গ্যাস (C_3H_8) প্রোপেল্যান্টরূপে ভর্তি আছে। 20°C এ ক্যানের ভেতর atm এককে গ্যাসের চাপ কত হবে? [উ: 4.988 atm]

সমস্যা-১.৪১ : আবহাওয়া বেলুনে ব্যবহৃত হিলিয়াম গ্যাস 25°C ও 1.51×10^4 kPa চাপে 43.8L আয়তনের একটি সিলিন্ডারে ভর্তি আছে। এতে কত মোল গ্যাস আছে? [উ: 267 mol]

সমস্যা-১.৪২ : 17°C-এ একটি কঠিন বস্তুসহ কোনো গ্যাসের নির্দিষ্ট ভরের আয়তন 100 mL হয়। ঐ গ্যাসের তাপমাত্রা 54°C-ও চাপ দ্বিগুণ করা হলে কঠিন বস্তুসহ গ্যাসের আতয়ন 59.3mL হয়। কঠিন বস্তুটির আয়তন কত? [উ: 6.696 cm^3]

সমস্যা–১.৪৩ : প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে কোন গ্যাসের আয়তন 910 mL হলে 728 mm (Hg) চাপে এবং 27°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন কত হবে? [উ: 1.044L]

সমস্যা – ১.৪৪ : 27°C তাপমাত্রায় 5 atm চাপে কিছু পরিমাণ গ্যাসের আয়তন 1 L হয়। 24°C তাপমাত্রায় কত চাপে সে গ্যাসটির আয়তন 1.5 হবে? [উ: 3.3 atm]

সমস্যা–১৪৫ : 17°C তাপমাত্রায় ও 0.987 atm চাপে কোন গ্যাসের আয়তন 1 L হয়। কত ডিগ্রি সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে গ্যাসটির আয়তন 1.2 L হবে? [উ: 79.58 °C]

সমস্যা–১৪৬ : নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের তাপমাত্রা 25°C হতে কত ডিগ্রি সেন্টিগ্রেড বাড়ালে তার আয়তন তিনগুণ হবে যদি একই সাথে তার ওপর চাপ 1 atm থেকে 0.5 atm-এ অবনমিত করা হয়? [উ: 149°C]

সমস্যা–১৪৭ : 25°C তাপমাত্রায় 0.987 atm চাপে একটি বেলুনের ধারণ ক্ষমতা 0.5L হয় 15°C তাপমাত্রায় 0.93 atm চাপে বেলুনের ধারণ ক্ষমতার কী পরিবর্তন হবে? [উ: .0128 L বৃদ্ধি পায়]

সমস্যা–১৪৮ : 20°C- তাপমাত্রায় একটি কঠিন বস্তু সহ নির্দিষ্ট পরিমাণ কোনো গ্যাসের আয়তন 0.12 dm^3 হয়। ঐ গ্যাসের তাপমাত্রা 47°C এ বৃদ্ধি করা হলে তখন গ্যাসের চাপ দ্বিগুণ হয় এবং কঠিন বস্তুসহ গ্যাসের আয়তন 71.5 cm^3 হয়। কঠিন বস্তুটির আয়তন কত হবে? [উ: 13.15cm^3]

সমস্যা –১.৪৯ : 17°C তাপমাত্রায় একটি কঠিন বস্তুসহ কোন গ্যাসের নির্দিষ্ট ভরের আয়তন 100 mL হয়। ঐ গ্যাসের তাপমাত্রা 54°C এবং চাপ দ্বিগুণ করা হলে কঠিন বস্তুসহ গ্যাসের আয়তন 59.3 mL হয়। কঠিন বস্তুটির আয়তন কত? [উ: 6.696 cm^3]

সমস্যা–১.৫০ : 27°C তাপমাত্রায় 75 cm (Hg) চাপে 25L আয়তনে কত মোল CO_2 বিদ্যমান? [উ: 1.0029 mol]

সমস্যা–১৫১ : 27°C তাপমাত্রায় ও 1.05 atm চাপে কোনো গ্যাসের আয়তন 3.5L হয়। প্রমাণ অবস্থায় এর আয়তন কত হবে? এতে কত mol গ্যাস বিদ্যমান? [উ: 3.3443L; 01492 mol]

সমস্যা–১.৫২ : 25°C তাপমাত্রায় এবং 7.08 atm চাপে 12.0L আয়তনের একটি গ্যাস সিলিণ্ডারে H_2 গ্যাস ভর্তি আছে। ঐ সিলিন্ডারে কত মোল H_2 গ্যাস আছে? [উ: 3,50033 mol]

সমস্যা–১.৫৩ : 20°C তাপমাত্রায় ও 740 mm (Hg) চাপে 0.842g একটি গ্যাস 400 mL আয়তন দখল করে। গ্যাসটির আণবিক ভর কত? [উ: 51.94]

সমস্যা–১.৫৪ : 30°C তাপমাত্রায় এবং 95 kPa চাপে 250 mL গ্যাসের ভর 0.2 g হয়। ঐ গ্যাসের আণবিক ভর কত? [উ: 21.21]

সমস্যা–১.৫৫ : 100°C তাপমাত্রায় ও 1.0526 atm. চাপে CO_2 গ্যাসের ঘনত্ব কত? [উ: 1.14gL^{-1}]

সমস্যা–১.৫৬ : 100°C তাপমাত্রায় 0.987 atm চাপে একটি তরল পদার্থের 0.802 g সম্পূর্ণরূপে বাষ্পীভূত করায় তা 0.35L আয়তন দখল করে। তরল পদার্থটির আণবিক ভর কত? [উ: 71.01]

সমস্যা–১.৫৭ : 25°C তাপমাত্রা ও 0.921 atm চাপে 20 g CO_2 এর আয়তন কত? [উ: 12.06 L]

সমস্যা–১.৫৮ : একটি গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব 15। 25°C বা 298 K তাপমাত্রায় ও 101.3 kPa চাপে একটি গ্যাসের 5.6g এর আয়তন নির্ণয় কর। [$PV = \frac{W}{M}RT$] [উ: [4.563L]

সমস্যা– ১.৫৯ : 27°C তাপমাত্রায় 18 g অক্সিজেন গ্যাস 4 L স্থান দখল করলে তার চাপ কত? [উ: 3.459 atm]

সমস্যা–১.৬০ : আদর্শ উষ্ণতা ও চাপে 3×10^{-3} m^3 গ্যাসের ভর 45×10^{-3} kg হয়। 27°C উষ্ণতা ও 101.99 kPa চাপে 4.0×10^{-4} m^3 গ্যাসের ভর নির্ণয় কর। [উ: 5.496×10^{-4} kg]

সমস্যা–১.৬১ : (ক) একজন লোক এক নিঃশ্বাসে 200 mL বায়ু গ্রহণ করে। বায়ুর তাপমাত্রা 27°C এবং সে সময়ে বায়ুচাপ 750 mm (Hg) হলে লোকটি একবারে কতখানি গ্যাসাণু গ্রহণ করে? [উ: $4.8315147 \times 10^{-21}$ টি]

(খ) STP তে 1 mole CO_2 গ্যাসের পেষণ–গুণাঙ্ক 0.058 হয়। 27°C তাপমাত্রায় এবং 100 kPa চাপে ঐ গ্যাসের আয়তন কত? [উ: 1.445 L]

সমস্যা–১.৬২ : 1.4628 g ভরের একটি অজ্ঞাত গ্যাস 37°C তাপমাত্রায় যে আয়তন দখল করে 0.1839g H_2 গ্যাস একই চাপে ও 17°C তাপমাত্রায় ঐ একই আয়তন দখল করে। অজ্ঞাত গ্যাসটির আণবিক ভর কত এবং গ্যাসটি শনাক্ত কর। [উ: 17; গ্যাসটি হবে NH_3]

সমস্যা–১.৬৩ : 27°C তাপমাত্রায় একটি পাত্রে 18.5 g CO_2 গ্যাস আছে। পাত্রটিকে 37°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করায় কিছু পরিমাণ গ্যাস বের হয়ে গেল। ফলে চাপ অপরিবর্তিত রইল। বেরিয়ে যাওয়া ঐ গ্যাসের মোল সংখ্যা গণনা কর। [উ: 1.3563 10^{-2} mol]

সমস্যা–১.৬৪ : 20°C তাপমাত্রায় ও কোনো নির্দিষ্ট চাপে 0.17105g H_2 গ্যাস যত আয়তন দখল করে ঐ একই চাপে কিন্তু 25°C তাপমাত্রায় 3.7g অপর একটি গ্যাস সম আয়তন দখল করে। গ্যাসটির আণবিক ভর বের করে গ্যাসটিকে শনাক্ত কর। [উ: 44, গ্যাসটি CO_2]

১.৩.৬. গ্যাসের আংশিক চাপ ও ডালটনের সূত্র (Partial Pressure and Dalton's Law)

এ যাবৎ গ্যাসের ওপর যে সব পরীক্ষার ফলাফল আলোচিত হয়েছে, সবক্ষেত্রে বায়ু জড়িত। বায়ু হলো বিভিন্ন গ্যাসের বিক্রিয়াবিহীন একটি মিশ্রণ। আদর্শ গ্যাস সূত্রটি সাধারণ অবস্থায় বিশুদ্ধ গ্যাস ও মিশ্র গ্যাস মিশ্রণ, প্রত্যেক ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। এর দুটি কারণ হলো- * গ্যাসসমূহ যে কোনো অনুপাতে মিশ্রিত হয়ে সমসত্ত্ব মিশ্রণ তৈরি করে।

* বিক্রিয়াবিহীন গ্যাস মিশ্রণের প্রতিটি উপাদান গ্যাস একক গ্যাসরূপে আচরণ করে।

ডালটনের আংশিক চাপ সূত্র : জন ডালটন বায়ু ও জলীয় বাষ্পের মিশ্রণ নিয়ে পরীক্ষাকালীন লক্ষ করেন যে, শুষ্ক বায়ুতে জলীয় বাষ্প মিশালে ঐ জলীয় বাষ্পের চাপের সমপরিমাণে চাপ যোগ হয়ে মোট চাপ বেড়ে যায়।

$$P_{Total} = P_{dryair} + P_{vap}$$

অর্থাৎ গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ এর প্রতিটি উপাদান মিশানোর আগে এককভাবে যে চাপ দেয় তার যোগফলের সমান। এক্ষেত্রে গ্যাস মিশ্রণের প্রতিটি উপাদান গ্যাসের চাপকে ঐ গ্যাসের আংশিক চাপ বলে।

ডালটনের আংশিক চাপ সূত্রের বিবৃতি হলো :

কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বিক্রিয়াবিহীন কোনো গ্যাস মিশ্রণের কোনো একটি উপাদান গ্যাস ঐ তাপমাত্রায় মিশ্রণের সমস্ত আয়তন একাকী দখল করলে যে চাপ প্রয়োগ করত, তাকে ঐ উপাদান গ্যাসের আংশিক চাপ বলা হয়। ঐ গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ ঐ তাপমাত্রায় তার উপাদান গ্যাসসমূহের আংশিক চাপসমূহের যোগফলের সমান।

অর্থাৎ তিনটি গ্যাসের মিশ্রণে তাদের আংশিক চাপ যথাক্রমে P_1, P_2 ও P_3 হলে মিশ্রণটির মোট চাপ (P_m) হবে :

$$P_m = P_1 + P_2 + P_3$$

ডালটনের আংশিক চাপ সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ :

মনে করি, V আয়তনবিশিষ্ট পাত্রে পরস্পর বিক্রিয়াবিহীন বিভিন্ন গ্যাসের যাক্রমে n_1, n_2, n_3 ....মোল আছে। নির্দিষ্ট তাপমাত্রা T তে ঐ গ্যাস মিশ্রণের প্রতিটি গ্যাস একাকীভাবে প্রত্যেকে V আয়তন দখল করলে তাদের চাপ যথাক্রমে P_1, P_2, P_3 প্রভৃতি হয়। অর্থাৎ P_1, P_2, P_3 হচ্ছে ঐ গ্যাস মিশ্রণে থাকা প্রতিটি গ্যাসের আংশিক চাপ। অপরদিকে এ সব বিক্রিয়াবিহীন গ্যাস একত্রে একই পাত্রে থাকা অবস্থায় প্রদত্ত চাপ হচ্ছে P_m।

যেহেতু প্রথম গ্যাসের n_1 মোল স্থির তাপমাত্রা T তে পৃথকভাবে V আয়তন দখল করে P_1 চাপ প্রয়োগ করে, সেহেতু আদর্শ গ্যাস সমীকরণ মতে আমরা পাই,

$$P_1V = n_1RT; \qquad \therefore P_1 = n_1\frac{RT}{V}$$

একইভাবে দ্বিতীয়, তৃতীয় প্রভৃতি গ্যাসের জন্য পাওয়া যায়,

$$P_2V = n_2RT; \qquad \therefore P_2 = n_2\frac{RT}{V}$$

$$P_3V = n_3RT; \qquad \therefore P_3 = n_3\frac{RT}{V}$$

এ সব সমীকরণের ডান পক্ষ ও বাম পক্ষ পৃথকভাবে যোগ করে পাওয়া যায়,

$$P_1 + P_2 + P_3 + \ldots \ldots \ldots = \frac{RT}{V}(n_1 + n_2 + n_3 + \ldots)$$

আবার $(n_1 + n_2 + n_3 + \ldots) = n$ = ঐ পাত্রের গ্যাসসমূহের মোট মোল সংখ্যা।

$$\therefore P_1 + P_2 + P_3 + \ldots \ldots = \frac{nRT}{V} \ldots \ldots \ldots (1)$$

সুতরাং ঐ গ্যাস মিশ্রণের চাপ P_m হলে আদর্শ গ্যাস সমীকরণ মতে পাওয়া যায়,

$$P_mV = nRT \quad \therefore P_m = \frac{nRT}{V} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

সমীকরণ (1) ও (2) হতে পাওয়া যায়, $P_1 + P_2 + P_3 + \ldots = P_m \ldots$ (3)

এটিই হচ্ছে ডালটনের আংশিক চাপ সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ।

গ্যাস মিশ্রণে উপাদান গ্যাসের আংশিক চাপ ও মোল ভগ্নাংশের সম্পর্ক :

আমরা আদর্শ গ্যাস সমীকরণ মতে জানি, স্থির তাপমাত্রা ও আয়তনে একটি বিশুদ্ধ গ্যাসের চাপ এর পরিমাণের সমানুপাতিক ($P = nRT/V$)। অনুরূপভাবে গ্যাস মিশ্রণের বেলায়, গ্যাস মিশ্রণের প্রতিটি উপাদান গ্যাসের চাপও মিশ্রণটিতে এর পরিমাণের সমানুপাতিক হয়।

ধরা যাক, V আয়তনের একটি গ্যাস পাত্রে স্থির তাপমাত্রায় (T) ও নির্দিষ্ট চাপে n_1 মোল N_2 গ্যাস আছে। এখন ঐ পাত্রে n_2 মোল H_2 গ্যাস যোগ করা হলো। তখন মিশ্রিত ও বিক্রিয়াবিহীন অবস্থায় N_2 ও H_2 প্রতিটি গ্যাস আদর্শ গ্যাসের মতো আচরণ করবে। তাই N_2 গ্যাস ও H_2 গ্যাসের চাপ হলো যথাক্রমে –

$$P_{N_2} = \frac{n_1RT}{V} \text{; এবং } P_{H_2} = \frac{n_2RT}{V}$$

এক্ষেত্রে প্রতিটি গ্যাস একই আয়তনে ও একই তাপমাত্রায় আছে; তাই প্রতিটি গ্যাসের চাপ এর আংশিক চাপের সমান এবং এর পরিমাণ বা মোল সংখ্যা 'n' এর ওপর নির্ভর করে। তাই ডালটনের আংশিক চাপের সূত্র মতে, মোট চাপ (P_m) হবে—

$$P_m = P_{N_2} + P_{H_2} = \frac{n_1RT}{V} + \frac{n_2RT}{V} = (n_1 + n_2)\frac{RT}{V} = \frac{nRT}{V}$$

এখানে, $(n_1 + n_2) = n$, গ্যাস মিশ্রণের মোট মোল সংখ্যা।

MCQ. 1.5 : SATP-তে গ্যাসের মোলার আয়তন কত লিটার?
(ক) 22.4 (খ) 24.4
(গ) 24.789 (ঘ) 2.414

আমরা জানি, গ্যাস মিশ্রণের প্রতিটি উপাদান গ্যাসের মোল সংখ্যা হলো গ্যাস মিশ্রণের মোট মোল সংখ্যার একটি ভগ্নাংশ; এটিকে ঐ উপাদান গ্যাসের মোল ভগ্নাংশ (X) বলে।

সুতরাং কোনো গ্যাস মিশ্রণের একটি উপাদানের মোল সংখ্যার সঙ্গে ঐ মিশ্রণে উপস্থিত সব উপাদানের মোট মোল সংখ্যার অনুপাতকে ঐ উপাদানের মোল ভগ্নাংশ বলে।

$$\therefore \text{মোল ভগ্নাংশ, } (X) = \frac{\text{উপাদানের মোল সংখ্যা}}{\text{গ্যাস মিশ্রণের মোট মোল সংখ্যা}}$$

$\therefore N_2$ এর মোল ভগ্নাংশ, $X_{N_2} = \frac{n_1}{(n_1 + n_2)}$; H_2 এর মোল ভগ্নাংশ, $X_{H_2} = \frac{n_2}{(n_1 + n_2)}$, $X_{N_2} + X_{H_2} = 1$ হয়।

আমরা আরো জানি, $n = PV/RT$; সুতরাং X_{N_2} এর বেলায় লেখা যায় :

$$X_{N_2} = \frac{n_1}{n} = \frac{P_{N_2}V/RT}{P_mV/RT} = \frac{P_{N_2}}{P_m}$$

সুতরাং বজ্রগুণন করে N_2 গ্যাসের আংশিক চাপ $P_{N_2} = X_{N_2}.P_m$ পাই। অনুরূপভাবে, $P_{H_2} = X_{H_2}.P_m$ হয়। অর্থাৎ **গ্যাস মিশ্রণের কোনো উপাদান গ্যাসের আংশিক চাপ এর মোল ভগ্নাংশ ও মিশ্রণের মোট চাপের গুণফলের সমান।** এ সম্পর্কটি গুরুত্বপূর্ণ। এ সম্পর্ক বায়ুসহ সব বিক্রিয়া বিহীন গ্যাস মিশ্রণের বেলায় প্রযোজ্য।

উদাহরণ : বায়ুতে N_2, O_2, Ar ও CO_2 এর মোল ভগ্নাংশ হলো যথাক্রমে 0.7808, 0.2095, 0.0093 এবং 0.00038 (সারণি ১.২)। বায়ুর মোট চাপ হলো এ সব গ্যাসের আংশিক চাপের যোগফল।

$$P_{air} = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{Ar} + P_{CO_2} + \ldots$$

তাই 1atm বা 760 mm (Hg) বায়ু চাপ হলো এ সব গ্যাসের আংশিক চাপের যোগফল। যেমন,

$P_{N_2} = X_{N_2} .P = 0.7808 \times 1$ atm $= 0.7808$ atm N_2 $= 593.4$ mmHg

$P_{O_2} = X_{O_2} .P = 0.2095 \times 1$ atm $= 0.2095$ atm O_2 $= 159.2$ mmHg

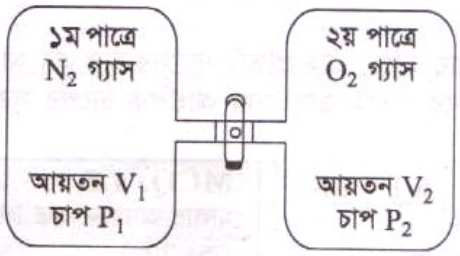
$P_{Ar} = X_{A_r} .P = 0.0093 \times 1$ atm $= 0.0093$ atm Ar $= 7.1$ mmHg

$P_{CO_2} = X_{CO_2}.P = 0.00033 \times 1$ atm $= 0.00033$ atm CO_2 $= 0.3$ mmHg

$\therefore P_{air} = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{Ar} + P_{CO_2} = 1.00000$ atm air (প্রায়) $= 760.0$ mmHg

পৃথক পাত্রে রাখা গ্যাসের মিশ্রিত অবস্থায় চাপ নির্ণয় :

স্থির তাপমাত্রায়, চিত্র মতে V_1 আয়তনের ১ম পাত্রে P_1 চাপে N_2 গ্যাস এবং V_2 আয়তনের ২য় পাত্রে P_2 চাপে O_2 গ্যাস আছে। উভয় পাত্র স্টপকক্ সমন্বিত ছোট নল দ্বারা যুক্ত আছে। স্টপ কক্ খোলা অবস্থায় মিশ্রিত গ্যাসের আয়তন হয় $(V_1 + V_2)$ এবং মিশ্রিত গ্যাসের চাপ $= P_m$ (মনে করি)। মিশ্রণে ১ম গ্যাসের বর্তমান আয়তন $(V_1 + V_2)$ এবং আংশিক চাপ হয় P_{N_2}। অনুরূপভাবে মিশ্রণে ২য় গ্যাসের বর্তমান আয়তন $(V_1 + V_2)$ এবং আংশিক চাপ হয় P_{O_2}।



চিত্র ১.১০ ; গ্যাসের আংশিক চাপ সূত্রের প্রয়োগ।

MCQ. 1.6 : আদর্শ গ্যাস সমীকরণ হলো–

(ক) $PV = P_1V_1$

(খ) $V = KT$

(গ) $PV = nRT$

(ঘ) $PV = \frac{1}{3}mNc^2$

MCQ. 1.7 : SATP-তে গ্যাসের চাপ কত?

(ক) 1 atm (খ) 103.325kPa

(গ) 100kPa (ঘ) 1.1 বার

যেহেতু তাপমাত্রা স্থির আছে, সেহেতু বয়েলের সূত্রমতে,

১ম গ্যাসের বেলায় : $P_{N_2} \times (V_1 + V_2) = P_1 \times V_1$; $\therefore P_{N_2} = \frac{P_1 \times V_1}{(V_1+V_2)}$

২য় গ্যাসের বেলায় : $P_{O_2} \times (V_1 + V_2) = P_2 \times V_2$; $\therefore P_{O_2} = \frac{P_2 \times V_2}{(V_1+V_2)}$

$\therefore$ ডালটনের আংশিক চাপের সূত্র মতে,

যদি গ্যাস মিশ্রণকে এমন একটি পাত্রে স্থানান্তরিত করা হয় যার আয়তন V, সেক্ষেত্রে ইতোপূর্বের হিসাবে $(V_1 + V_2 .....)$ প্রভৃতির স্থলে V বসবে।

সুতরাং সে ক্ষেত্রে আমরা পাই,

$$P_m = \frac{(P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3 + ...)}{(V_1 + V_2 + V_3 + ...)}$$

বা, $P_mV = (P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3 + ...)$

N_2 ও O_2 এ দুটি গ্যাসের বেলায়–

$$P_m = (P_{N_2} + P_{O_2}) = \frac{P_1 \times V_1}{(V_1+V_2)} + \frac{P_2 \times V_2}{(V_1+V_2)}$$

$$\therefore P_m = \frac{(P_1 \times V_1 + P_2 \times V_2)}{(V_1 + V_2)};$$

$\therefore P_m \times (V_1 + V_2) = (P_1 \times V_1 + P_2 \times V_2)$

বা, $P_mV = (P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3 + ...)$

আর্দ্র গ্যাসের চাপ নির্ণয় :

যে কোনো তাপমাত্রায় পানির বাষ্পচাপ আছে; যা তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল। কিন্তু যে কোনো স্থির তাপমাত্রায় বাষ্প চাপ নির্দিষ্ট। যে কোনো তাপমাত্রায় পানির বাষ্পচাপের মান পানির বাষ্পচাপ তালিকা থেকে পাওয়া যায়।

পরীক্ষাগারে যখন কোনো পানিতে অদ্রবণীয় গ্যাসকে পানির নিম্নমুখী অপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা হয় তখন সংগৃহীত গ্যাস জলীয় বাষ্প দ্বারা সম্পৃক্ত থাকে। যদি গ্যাস-পাত্রের ভেতরে ও বাইরে পানির পৃষ্ঠতল সমান করে সংগৃহীত গ্যাসের আয়তন মাপা হয়, তাহলে সংগৃহীত আর্দ্র গ্যাসের চাপ, সে সময়কার বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়। কিন্তু এ চাপ সংগৃহীত মূল গ্যাসের সত্যিকার চাপ নয়। মূল গ্যাস শুষ্ক অবস্থায় এ আয়তনে যে চাপ দিত অর্থাৎ তার আংশিক চাপ এবং জলীয় বাষ্পের চাপ এ দুটি মিলে বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়েছে।

মনে করি পরীক্ষার সময় কক্ষতাপমাত্রা $t^{\circ}C$ হলো। তখন ($t^{\circ}C$ তাপমাত্রায় শুষ্ক গ্যাসের চাপ + $t^{\circ}C$ তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্পের চাপ) = সে সময়কার বায়ুমণ্ডলের চাপ। বায়ুমণ্ডলের চাপ ব্যারোমিটার হতে জানা যায়। মনে করি $t^{\circ}C$ তাপমাত্রায় এর মান P এবং পানির বাষ্প চাপ = f (মনে করি)। শুষ্ক গ্যাসের চাপকে P_{dry} দ্বারা চিহ্নিত করলে তখন পাই–

$$P_{dry} + f = P_{atm}$$
$$\therefore P_{dry} = P_{atm} - f$$

সমাধানকৃত সমস্যা ১.৩৬ : আংশিক চাপ ও মোল ভগ্নাংশভিত্তিক

এক ডুবুরি 250 ft পানির গভীরতায় 8.38 atm চাপে আছে। ঐ ডুবুরির অক্সিজেন সিলিন্ডারে O_2 এর শতকরা মোল ভগ্নাংশ কত থাকলে এর আংশিক চাপ 0.21 atm হবে; যা 1 atm বায়ুচাপেও একই থাকে।

দক্ষতা : উপাদানের আংশিক চাপ মোল ভগ্নাংশ ও মোট চাপের গুণফলের সমান।

সমাধান : $P_{O_2} = X_{O_2} . P_m$; $\therefore X_{O_2} = P_{O_2}/P_m$; এখানে P_m = মোট চাপ (গ্যাস মিশ্রণের)

$$\therefore X_{O_2} = \frac{0.21 \text{ atm}}{8.38 \text{ atm}} = 0.025 \therefore O_2 \text{ এর শতকরা মোল ভগ্নাংশ} = 0.025 \times 100\% = 2.5\%$$

* ডুবুরির অক্সিজেন সিলিন্ডারে 2.5% O_2 আছে, যেন ডুবুরির সিলিন্ডার গ্যাসে এর আংশিক চাপ ও 1 atm চাপের বায়ুতে ঐ একই আংশিক চাপ সৃষ্টি করে। পানির গভীরতায় চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের প্রায় ৮ গুণ; তাই ডুবুরির অক্সিজেন সিলিন্ডারে O_2 এর % পরিমাণ বায়ুস্থ O_2 (20%) এর 1/8 = 2.5% হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা- ১.৩৭ : আংশিক চাপ ও মোট চাপ সংক্রান্ত :

স্থির তাপমাত্রায় 1.0 atm চাপে 600 mL N_2 এবং 750 mm (Hg) চাপে 800 mL O_2 গ্যাসকে 1.0 L সিলিন্ডারে রাখা হলো। প্রত্যেক গ্যাসের আংশিক চাপ ও মিশ্রণের মোট চাপ কত হবে?

দক্ষতা : আংশিক চাপের সংজ্ঞা ও বয়েলের সূত্র প্রয়োগ করতে হবে।

সমাধান : মিশ্রণের পূর্বে N_2 গ্যাসের চাপ, P_1 = 1.0 atm এবং আয়তন, V_1= 0.6L

মিশ্রণের পূর্বে O_2 গ্যাসের চাপ, $P_2 = \frac{750}{760}$ atm, এবং আয়তন, V_2 = 0.8L

প্রশ্ন মতে গ্যাস মিশ্রণের আয়তন, V = 1.0L এবং মোট চাপ, P = ?

মনে করি, N_2 ও O_2 এর আংশিক চাপ হলো যথাক্রমে P_{N_2} ও P_{O_2}

তখন $P_{N_2} = \frac{P_1V_1}{V} = \frac{1.0 \text{ atm} \times 0.6L}{1.0L} = 0.60 \text{ atm}$

এবং $P_{O_2} = \frac{P_2V_2}{V} = \frac{750 \text{ atm} \times 0.8L}{760 \times 1.0L} = 0.79 \text{ atm}$

$\therefore$ গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ, $P = (P_{N_2} + P_{O_2}) = (0.60 + 0.79) \text{ atm} = 1.39 \text{ atm}$

MCQ.1.8 : বায়ুমণ্ডলের N_2 গ্যাসের আংশিক চাপ কত?
(ক) 593.4mm(Hg) (খ) 159.2 mm(Hg)
(গ) 7.1mm (Hg) (ঘ) 0.3mm (Hg)

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৩৮ : 17°C তাপমাত্রায় ও 99.99 kPa চাপে 0.058 m^3 H_2 গ্যাসকে পানির ওপর সংগ্রহ করা হয়। 17°C তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্পের চাপ 3.27 kPa হলে প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে (STP তে) ঐ গ্যাসের আয়তন কত হবে?

দক্ষতা : গ্যাসটি পানির ওপর সংগ্রহ করায় ঐ গ্যাসে জলীয় বাষ্প মিশে আছে। তাই মোট চাপ থেকে জলীয় বাষ্পের চাপ বিয়োগ করে H_2 গ্যাসের চাপ পাওয়া যাবে।

সমাধান : প্রশ্নমতে, 17°C তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্প হলো 3.27 kPa। মোট চাপ হলো 99.99kPa।

∴ শুষ্ক H_2 গ্যাসের চাপ হবে = (99.99 – 3.27) kPa = 96.72kPa.

১ম অবস্থায় –

শুষ্ক H_2 গ্যাসের চাপ, P_1 = 96.72kPa

H_2 গ্যাসের আয়তন V_1 = 0.058m^3

H_2 গ্যাসের তাপমাত্রা T_1 = (17+273) = 290K

প্রমাণ অবস্থায় –

গ্যাসের চাপ, P_2 = 101.325kPa

গ্যাসের তাপমাত্রা, T_2 = 273K

গ্যাসের আয়তন, V_2 = ?

এক্ষেত্রে বয়েল ও চার্লসের সমন্বয় সূত্র মতে,

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

বা, $V_2 = \frac{P_1V_1 \times T_2}{T_1 \times P_2} = \frac{96.72kPa \times 0.058m^3 \times 273K}{290K \times 101.325\ kPa} = 0.0521\ m^3$

∴ প্রমাণ অবস্থায় ঐ H_2 গ্যাসের আয়তন = 0.0521m^3 **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা –১.৩৯ : 17°C ও 770 mm (Hg) চাপে 600 mL O_2 গ্যাস পানির ওপর সংগ্রহ করা হয়। প্রমাণ অবস্থায় ঐ গ্যাসের আয়তন ও ভর বের কর। 17°C–এ জলীয় বাষ্পের চাপ 14.5 mm(Hg)।

দক্ষতা : গ্যাসটি পানির ওপর সংগ্রহ করায় ঐ গ্যাসে জলীয় বাষ্প মিশে আছে। তাই মোট চাপ (P_m) থেকে জলীয় বাষ্পের চাপ (f) বিয়োগ করে O_2 গ্যাসের চাপ পাওয়া যাবে।

সমাধান : মোট চাপ থেকে জলীয় বাষ্পের চাপ বিয়োগ করে শুষ্ক O_2 গ্যাসের চাপ P_1 = (770–14.5) mm (Hg) = 755.5mm (Hg)।

প্রদত্ত অবস্থায় :

O_2 গ্যাসের চাপ, P_1 = 755.5 mm (Hg)

O_2 গ্যাসের আয়তন, V_1 = 600 mL

O_2 গ্যাসের তাপমাত্রা, T_1 = (17+273)K = 290K

প্রমাণ অবস্থায়

গ্যাসের চাপ, P_2 = 760 mm (Hg)

গ্যাসের আয়তন, V_2 = ?

গ্যাসের তাপমাত্রা, T_2 = 273K

বয়েলের ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয় সমীকরণ মতে,

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

বা, $V_2 = \frac{P_1V_1 \times T_2}{T_1 \times P_2} = \frac{755.5\ mm\ (Hg) \times 600mL \times 273K}{290K \times 760\ mm(Hg)}$

বা, $V_2 = \frac{755.5 \times 600 \times 273}{290 \times 760}\ mL = 561.48\ mL$

∴ প্রমাণ অবস্থায় O_2 গ্যাসের আয়তন = 561.48mL

আবার প্রমাণ অবস্থায়, 22, 400 mL O_2 গ্যাসের ভর = 32g

∴ প্রমাণ অবস্থায়, 561.48 mL O_2 গ্যাসের ভর = $\frac{32 \times 561.48g}{22\,400} = 0.802g$

∴ STP তে O_2 গ্যাসের আয়তন = 561.48 mL; গ্যাসের ভর = 0.802g (∴ **উত্তর**)

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪০ : 17°C তাপমাত্রায় ও 0.95 atm চাপে 580 mL H_2 গ্যাস পানির ওপর সংগ্রহ করা হয়। STP তে শুষ্ক H_2 এর আয়তন বের কর। 17°C–এ জলীয় বাষ্পের চাপ = 3.26 kPa।

দক্ষতা : গ্যাসটি পানির ওপর সংগ্রহ করায় তা জলীয় বাষ্প মিশ্রিত হয়েছে। তাই মোট চাপ থেকে জলীয় বাষ্পের চাপ বাদ দিলে শুষ্ক H_2 গ্যাসের আংশিক চাপ পাওয়া যায়।

সমাধান : প্রশ্ন মতে মোট চাপ = 0.95 atm = 0.95 × 101.325 kPa = 96.26 kPa

প্রদত্ত অবস্থায় :

শুষ্ক গ্যাসের চাপ, P_1 = (96.26–3.26) kPa = 92.96 kPa

গ্যাসের আয়তন V_1 = 580 mL

গ্যাসের তাপমাত্রা, T_1 = (17+273)K = 290K

STP–অবস্থায় :

গ্যাসের চাপ, P_2 = 101.325 kPa

গ্যাসের আয়তন, V_2 = ?

গ্যাসের তাপমাত্রা, T_2 = 273K

বয়েল ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয় সমীকরণ মতে,

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

বা, $V_2 = \frac{P_1V_1 \times T_2}{T_1 \times P_2} = \frac{92.96kPa \times 580mL \times 273K}{290K \times 101.325kPa} = 500.924$ mL

∴ STP তে H_2 গ্যাসের আয়তন = 500.924 mL (**উত্তর**)

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪১ : 1.5L আয়তনের একটি পাত্রে 0.8 atm চাপে 0.2L O_2 গ্যাস এবং 0.98 atm চাপে 0.5L N_2 গ্যাস মিশ্রিত করা হলো। গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ নির্ণয় কর।

দক্ষতা : দুটি বিক্রিয়াবিহীন গ্যাস ভিন্ন ভিন্ন চাপে থাকা অবস্থায় একটি 1.5L পাত্রে মিশ্রিত করায় মিশ্রণের মোট চাপ উভয় গ্যাসের আংশিক চাপের যোগফলের সমান হবে।

সমাধান : গ্যাস মিশ্রণের আয়তন, V = 1.5L; গ্যাস মিশ্রণের চাপ, P= ?

O_2 গ্যাসের আয়তন, V_1 = 0.2L

O_2 গ্যাসের চাপ, P_1 = 0.8atm

N_2 গ্যাসের আয়তন, V_2 = 0.5L

N_2 গ্যাসের চাপ, P_2 = 0.98 atm

মনে করি, মিশ্রণের পর O_2 গ্যাস ও N2 গ্যাসের আংশিক চাপ যথাক্রমে, P_3 ও P_4

সুতরাং বয়েলের সূত্র মতে, আংশিক চাপের বেলায় –

O_2 গ্যাসের জন্য :

$P_3V = P_1V_1$

বা, $P_3 = \frac{P_1V_1}{V} = \frac{0.8atm \times 0.2L}{1.5L}$;

∴ P_3 = 0.107 atm

N_2 গ্যাসের জন্য :

$P_4V = P_2V_2$

বা, $P_4 = \frac{P_2V_2}{V} = \frac{0.98atm \times 0.5L}{1.5L}$

∴ P_4 = 0.327 atm

ডালটনের আংশিক চাপের সূত্র মতে,

গ্যাস মিশ্রণের চাপ, P = (O_2 এর আংশিক চাপ + N_2 এর আংশিক চাপ)

∴ $P = (P_3 + P_4) = (0.107 + 0.327)$atm

∴ P = 0.434atm (**উত্তর**)

সমাধানকৃত সমস্যা – ১.৪২ : 27°C তাপমাত্রায় 10L আয়তনের একটি সিলিণ্ডারে 0.4g He গ্যাস 1.4g N_2 গ্যাস ও 1.6g O_2 গ্যাস ভর্তি করা আছে। গ্যাস মিশ্রণটির মোট চাপ ও He গ্যাসের আংশিক চাপ নির্ণয় কর।

দক্ষতা : গ্যাস মিশ্রণের প্রত্যেকটির ভর দেয়া থাকায় মিশ্রণের মোট মোল সংখ্যা বের করে PV = nRT থেকে মোট চাপ বের করা যাবে।

সমাধান : He, N_2 ও O_2 এর আণবিক ভর হলো যথাক্রমে 4g, 28g ও 32g।

$\therefore$ গ্যাস মিশ্রণে He, Ne ও O_2 এর মোট মোল সংখ্যা $(n) = \left(\frac{0.4}{4} + \frac{1.4}{28} + \frac{1.6}{32}\right)$

$= (0.1 + 0.05 + 0.05) = 0.2$ mol

দেয়া আছে, গ্যাস মিশ্রণের আয়তন, V = 10L, তাপমাত্রা, T = (27 + 273) = 300K

আদর্শ গ্যাস সমীকরণ মতে, PV = nRT

$\therefore P = \frac{nRT}{V} = \frac{0.2\text{mol} \times 0.082\text{L.atm K}^{-1} \times \text{mol}^{-1} \times 300\text{K}}{10\text{L}} = 0.4926$ atm

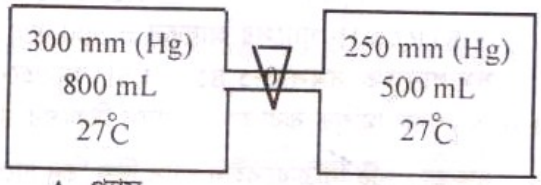
$\therefore$ গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ, P = 0.4926 atm।

$\therefore$ গ্যাস মিশ্রণে He গ্যাসের মোল সংখ্যা = 0.1 mol এবং মোল ভগ্নাংশ $= \frac{0.1}{0.2} = 0.5$

$\therefore$ গ্যাস মিশ্রণে He গ্যাসের আংশিক চাপ = মিশ্রণে He এর মোল ভগ্নাংশ × মিশ্রণের মোট চাপ

$\therefore$ He এর আংশিক চাপ = (0.5 × 0.4926) = 0.246 atm **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪৩ : পার্শ্বে চিত্রটি লক্ষ্য কর এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।



(A) উদ্দীপকের A গ্যাসের অণুর সংখ্যা গণনা কর।

(B) স্টপ কর্কটি খুলে উভয় পাত্রের সংযোগ দিলে গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ একই তাপমাত্রা এবং 40°C তাপমাত্রায় গণনা কর।

সমাধান : (ক) A গ্যাসের প্রথমে মোল সংখ্যা বের করতে হবে। এক্ষেত্রে PV = nRT প্রযোজ্য হবে।

$\therefore n = \frac{PV}{RT}$

বা, $n = \frac{300\text{atm} \times 0.8\text{L}}{760 \times 0.082\text{ L.atm. K}^{-1}\text{ mol}^{-1} \times 300\text{K}}$

বা, $n = \frac{300\text{ mol} \times 0.8}{760 \times 0.082 \times 300} = 0.01284$ mol.

উদ্দীপকের মতে,

A গ্যাসের চাপ, $P = 300\text{ mm (Hg)} = \frac{300}{760}$ atm

A গ্যাসের আয়তন, V = 800 mL = 0.8L

A গ্যাসের তাপমাত্রা, T = (27 + 273) = 300K

গ্যাস ধ্রুবক, $R = 0.082\text{L atm K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$

মোল সংখ্যা, n = ?

অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা মতে,

1 মোল গ্যাসে অণু থাকে = $6.022\ 10^{23}$ টি।

$\therefore$ 0.01284 মোল গ্যাসে অণু থাকে = $6.022 \times 10^{23} \times 0.01284$ টি = 7.732248×10^{21} টি **(উত্তর)**

সমাধান : (খ) এক্ষেত্রে গ্যাস মিশ্রণের মোট আয়তন, V = (800 + 500)mL=1300 mL

গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ, P = ?

A গ্যাসের চাপ, P_A = 300 mm (Hg);

A গ্যাসের আয়তন, V_A = 800mL;

B গ্যাসের চাপ, P_B = 250 mm (Hg)

B গ্যাসের আয়তন, V_B = 500 mL

ডালটনের আংশিক চাপের সূত্র মতে,

$PV = P_AV_A + P_BV_B$

$P = \frac{P_AV_A + P_BV_B}{V} = \frac{300\ mm\ (Hg) \times 800mL + 250mm\ (Hg) \times 500mL}{1300mL}$

$\therefore P = \frac{(240000 + 125000)mL.mm(Hg)}{1300\ mL} = 280.77\ mm\ (Hg)$ **(উত্তর)**

আবার 40°C তাপমাত্রায় মিশ্র গ্যাসের চাপ নির্ণয়। এক্ষেত্রে স্থির আয়তনে গে-লুসাকের চাপের সূত্র মতে,

$\frac{P}{T} = \frac{P_1}{T_1}$;

বা, $P_1 = \frac{P \times T_1}{T}$

বা, $P_1 = \frac{280.77 \times 313\ mm\ (Hg)}{300}$

$\therefore P_1 = 292.94\ mm\ (Hg)$ **উত্তর**

উদ্দীপক মতে,

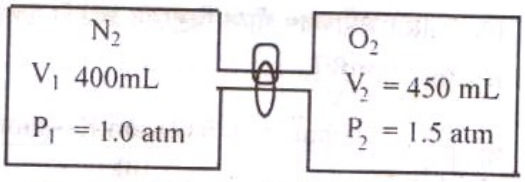
১ম তাপমাত্রা, $T = (27 + 273) = 300K$

মিশ্রণের ১ম চাপ, $P = 280.77\ mm\ (Hg)$ নির্ণীত।

২য় তাপমাত্রা, $T_1 = (40 + 273) = 313K$

মিশ্রণের ২য় চাপ, $P_1 = ?$

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪৪ : পার্শ্বের চিত্রটি লক্ষ্য কর এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।



তাপমাত্রা, 25°C পর্যবেক্ষিত চাপ = 0.9 atm

(ক) স্টপ কর্ক বন্ধ থাকা অবস্থায় 25°C তাপমাত্রায় N_2 গ্যাসের অণুর সংখ্যা নির্ণয় কর। [ঢা.বো. ২০১৫]

(খ) উদ্দীপকে উল্লেখিত পর্যবেক্ষিত মোট চাপ ডাল্টনের আংশিক চাপ সূত্র অনুসরণ করে কীনা বিশ্লেষণ কর।

[ঢা.বো. ২০১৫]

সমাধান : (ক) এক্ষেত্রে প্রথমে গ্যাসের মোল সংখ্যা (n) বের করতে হবে; তাই $PV = nRT$ প্রযোজ্য হবে।

বা, $n = \frac{PV}{RT}$

বা, $n = \frac{1.0atm \times 0.4L}{0.082L.atm\ K^{-1}mol^{-1} \times 298K}$

বা, $n = 0.01637\ mol$

উদ্দীপক মতে,

N_2 গ্যাসের আয়তন, $V = 400\ mL = 0.4L$

N_2 গ্যাসের চাপ, $P = 1.0\ atm$

তাপমাত্রা, $T = (25 + 273) = 298\ K$

গ্যাস ধ্রুবক, $R = 0.082L.\ atm.\ K^{-1}\ mol^{-1}$

অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা মতে,

1 মোল গ্যাসে অণু থাকে $= 6.022\ 10^{23}$ টি।

$\therefore$ 0.01637 মোল গ্যাসে অণু থাকে $= 6.022 \times 10^{23} \times 0.01637$ টি অণু

$= 9.858 \times 1021$ টি অণু **(উত্তর)**

সমাধান : (খ) এক্ষেত্রে গ্যাস মিশ্রণের মোট আয়তন, $V = (400+450)\ mL = 850\ mL$

গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ, $P = ?$

N_2 গ্যাসের চাপ, $P_1 = 1.0\ atm$

N_2 গ্যাসের আয়তন, $V_1 = 400\ mL$

O_2 গ্যাসের চাপ, $P_2 = 1.5\ atm$

O_2 গ্যাসের আয়তন, $V_2 = 450\ mL$

ডালটনের আংশিক চাপের সূত্র মতে,

$PV = P_1V_1 + P_2V_2$

বা, $P = \frac{P_1V_1 + P_2V_2}{V} = \frac{1\text{ atm} \times 400\text{mL} + 1.5\text{ atm} \times 450\text{mL}}{850\text{ mL}}$

বা, $P = \frac{(400 + 675)\text{atm}}{850} = 1.265\text{ atm}$ **(উত্তর)**

বিশ্লেষণ : ডালটনের আংশিক চাপের গণনা মতে মিশ্রণের মোট চাপ 1.265 atm হয়। কিন্তু উদ্দীপকে উল্লেখিত পর্যবেক্ষিত মোট চাপ 0.9 atm হওয়ায় তা ডালটনের আংশিক চাপ সূত্রকে অনুসরণ করে নি। অর্থাৎ পর্যবেক্ষণ সঠিক হয়নি।

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪৫ : 27°C তাপমাত্রায় একটি 10L সিলিন্ডারে 10.08g N_2 গ্যাস এবং প্রমাণ অবস্থায় 11.2L O_2 গ্যাস মিশ্রিত করা হলো। মিশ্রিত গ্যাসের প্রত্যেকটির আংশিক চাপ ও মোট চাপ গণনা কর।

দক্ষতা : N_2 গ্যাসের বেলায় ভর থেকে মোল সংখ্যা (n) বের করা যাবে। প্রতি ক্ষেত্রে PV = nRT প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : (১) N_2 গ্যাসের আংশিক চাপ নির্ণয় :

প্রশ্নমতে, 10.08g N_2 গ্যাসের মোল সংখ্যা (n) $= \frac{10.08\text{g}}{28\text{gmol}^{-1}} = 0.36$ mol. (যেহেতু 1 mol N_2 = 28g N_2)

PV = nRT সমীকরণ গ্যাস মিশ্রণের প্রতিটি উপাদান গ্যাসের জন্য প্রযোজ্য। তাই PV = nRT থেকে পাই–

$P = P_{N_2} = \frac{nRT}{V}$

বা, $P_{N_2} = \frac{0.36\text{mol} \times 0.082\text{L.atmK}^{-1}\text{ mol}^{-1} \times 300\text{K}}{10\text{L}}$

বা, $P_{N_2} = \frac{0.36 \times 0.082 \times 300}{10}\text{ atm}$

বা, $P_{N_2} = 0.886\text{ atm}$

গ্যাস মিশ্রণের আয়তন, V = 10 L

T = (27 + 273) = 300K

R = 0.082 L. atm. K^{-1} mol^{-1}

n = 0. 36 mol

$P = P_{N_2} = ?$

$\therefore$ N_2 গ্যাসের আংশিক চাপ, $P_{N_2} = 0.886$ atm.

(২) O_2 গ্যাসের আংশিক চাপ নির্ণয় :

প্রশ্ন মতে, প্রমাণ অবস্থায় O_2 গ্যাসের আয়তন $(V_1) = 11.2$L

আবার, প্রমাণ অবস্থায় 22.4 L = 1 mol O_2

$\therefore$ 11.2L O_2 গ্যাসের মোল সংখ্যা (n) $= \frac{11.2}{22.4} = 0.5$ mol

PV = nRT থেকে পাই

বা, $P = P_{O_2} = \frac{nRT}{V}$

বা, $P_{O_2} = \frac{0.5\text{ mol} \times 0.082\text{ L. atm K}^{-1}\text{ mol}^{-1} \times 300\text{ K}}{10\text{ L}}$

বা, $P_{O_2} = \frac{0.5 \times 0.082 \times 300}{10}\text{ atm}$

গ্যাস মিশ্রণের আয়তন (V) = 10 L

তাপমাত্রা, T = (27 + 273) = 300 K

গ্যাস ধ্রুবক, R = 0.082L atm. K^{-1} mol^{-1}

আংশিক চাপ, $P_{O_2} = ?$

$\therefore$ $P_{O_2} = 1.23$ atm

$\therefore$ O_2 গ্যাসের আংশিক চাপ, $P_{O_2} = 1.23$ atm

$\therefore$ গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ, $P_m = (P_{N_2} + P_{O_2}) = (0.886 + 1.23)$ atm = 2.116 atm

উত্তর : $P_{N_2} = 0.886$ atm, $P_{O_2} = 1.23$ atm, $P_m = 2.116$ atm

শিক্ষার্থী নিজে কর : ডালটনের আংশিক চাপসূত্র ভিত্তিক সমস্যা :

সমস্যা ১.৬৫ : SATP-তে একটি মিশ্রণে 12.45gH_2, 60.67g N_2 ও 2.38g NH_3 গ্যাস আছে। ঐ মিশ্রণে প্রতিটি উপাদানের মোল ভগ্নাংশ কত? [উ: $X_{H_2} = 0.7281$; $X_{N_2} = 0.2554$; $X_{NH_3} = 0.0164$]

সমস্যা ১.৬৬ : যদি সমস্যা ১.৬৫ এর গ্যাস মিশ্রণটিকে 90°C-এ 10.0L স্টিলের পাত্রে রাখা হয়, তবে atm এককে গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ ও প্রতিটি উপাদানের আংশিক চাপ কত হবে?

[উ: $P_m = 25.27$atm; $P_{H_2} = 18.4$atm; $P_{N_2} = 6.45$ atm; $P_{NH_3} = 0.417$ atm]

সমস্যা-১.৬৭ : গরমকালে বায়ুতে 25°C এ জলীয় বাষ্পের মোল ভগ্নাংশ 0.0287 এবং বায়ুর মোট চাপ 0.977 atm হলো। বায়ুতে জলীয় বাষ্পের আংশিক চাপ কত ? [উ: 0.028atm]

সমস্যা-১-৬৮ : স্থির তাপমাত্রায় 30 cm (Hg) চাপে 200 cm^3 H_2 গ্যাস এবং 40 cm (Hg) চাপে 300 cm^3 N_2 গ্যাসকে 400 cm^3 আয়তনের শূন্য ফ্লাস্কে রাখা হলো। ঐ তাপমাত্রায় উপাদান গ্যাসের আংশিক চাপ ও মিশ্রণের মোট চাপ কত হবে? [উ: $P_{H_2} = 15$ cm (Hg), $P_{N_2} = 30$ cm (Hg), $P = 45$ cm (Hg)]

সমস্যা-১.৬৯ : স্থির তাপমাত্রায় ও 1atm চাপে 250 mL N_2 গ্যাস এবং 600 mm (Hg) চাপে 500 mL O_2 গ্যাসকে 1L ফ্লাস্কে ভর্তি করা হলো। ঐ গ্যাস মিশ্রণের চাপ কত হবে? [উ: 490mm (Hg) বা 0.645 atm]

সমস্যা -১.৭০ : 27°C তাপমাত্রায় 1atm চাপে 20Lপাত্রে কিছু N_2 ও O_2 গ্যাস ভর্তি করা হলো। মিশ্রিত O_2 গ্যাসের আয়তন STP তে 16.8L হলে তবে ঐ মিশ্রণে O_2 গ্যাসের আংশিক চাপ কত? [উ: 0.9225 atm]

সংকেত : $PV = nRT$; $P = P_{O_2} = \frac{nRT}{V}$; এক্ষেত্রে $\frac{n}{V} = \frac{16.8mol}{22.4}$; $V = 20L$, $T = (27 + 273)K$

সমস্যা- ১.৭১ : 17°C তাপমাত্রায় এবং 99.99 kPa চাপে 0.0 58 m^3 H_2 গ্যাসকে পানির ওপর সংগ্রহ করা হলো। 17°C তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্পের চাপ 3.27kPa হলে প্রমাণ অবস্থায় ঐ H_2 গ্যাসের আয়তন ও ভর কত হবে?

[উ: 0.052 m^3, 4.68g]

সমস্যা-১.৭২ : 17°C তাপমাত্রায় এবং 770 (Hg) চাপে 600mLO_2 গ্যাসকে পানির ওপর সংগ্রহ করা হয়। STP তে ঐ গ্যাসের আয়তন ও ভর কত? [17°C এ জলীয় বাষ্পের চাপ. 14.5 mm(Hg) ।]

[উ: 561.48 mL, 0.802g]

সমস্যা-১.৭৩ : 25°C এ ও 50 kPa চাপে 8.885g X গ্যাস 10dm^3 আয়তন দখল করে। আবার 25°C এ ও 200 KPa চাপে 2.423g Y গ্যাস 1.0dm^3 আয়তন দখল করে। 25°C এ 2 dm^3 পাত্রে = ও = গ্যাসকে মিশ্রিত করা হলো। এ গ্যাস মিশ্রণে মোট চাপ কত হবে? [উ: 350 KPa] [দি. বো.- ২০১৫]

সমস্যা-১.৭৪ : কক্ষ তাপমাত্রায় 400mL একটি পাত্রে 1.0 atm চাপে N_2 গ্যাস এবং 450 mLঅপর পাত্রে 1.5 atm চাপে O_2 গ্যাস ভর্তি আছে। উভয় গ্যাস পাত্রকে সংযোগ দিলে যদি গ্যাস মিশ্রণটির মোট চাপ 0.9 atm হয় তবে পর্যবেক্ষিত মোট চাপটি ডালটনের আংশিক চাপ সূত্র অনুসরণ করে কীনা বিশ্লেষণ কর। [ঢা. বো. ২০১৫]

[উ: নির্ণিত চাপ 1.264atm; সুতরাং পর্যবেক্ষিত চাপ ডালটনের আংশিক চাপ সূত্র মতে সঠিক নয় ।]

সমস্যা-১.৭৫ : 700 mL আয়তনের একটি পাত্র 70 cm (Hg) চাপে অ্যামোনিয়া দ্বারা পূর্ণ আছে। 500 mL আয়তনের আরেকটি পাত্র 80 cm (Hg) চাপে নাইট্রোজেন দ্বারা পূর্ণ আছে। তাপমাত্রা স্থির রেখে পাত্র দুটিকে স্টপকক দ্বারা যুক্ত করে গ্যাস দুটিকে মিশতে দিলে মিশ্রিত গ্যাসের চাপ কত হবে? [উ: 74.17cm (Hg) প্রায়]

সমস্যা–১.৭৬ : 17°C তাপমাত্রায় ও 105 kPa চাপে 600 mL অক্সিজেন গ্যাসকে পানির ওপরে সংগ্রহ করা হলো। প্রমাণ তাপমাত্রায় ও চাপে এর আয়তন কত হবে? দেয়া আছে যে, 17°C তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্পের চাপ 3.25 kPa।

[উ: 567.197mL]

সমস্যা–১.৭৭ : 17°C তাপমাত্রায় ও 0.95 atm চাপে 580 mL হাইড্রোজেন গ্যাস পানির ওপর সংগৃহীত হলো। STP তে শুষ্ক H_2 এর আয়তন নির্ণয় কর। [17°C তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্পের চাপ 3.26 kPa।] [উ: 500.66mL]

সমস্যা–১.৭৮: 15°C তাপমাত্রায় ও 750 mm চাপে 100 mL কোন গ্যাস পানির ওপর সংগ্রহ করা হলো। ঐ একই পরিমাণ গ্যাস শুষ্ক অবস্থায় S.T.P তে 92 mL আয়তন দখল করে। 15°C তাপমাত্রায় জলীয় বাষ্পের চাপ নির্ণয় কর।

[উ: 12.38 mm (Hg)]

সমস্যা–১.৭৯ : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় 95 kPa চাপে 0.3L হাইড্রোজেন গ্যাস, 98 kPa চাপে 0.6L নাইট্রোজেন, 75 kPa চাপে 0.4L অক্সিজেন গ্যাসকে 1.5L আয়তনের একটি শূন্য পাত্রে মিশানো হলো। গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ নির্ণয় কর।

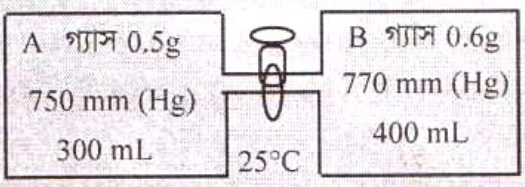
[উ: 78.2 kPa]

সমস্যা–১.৮০ : 27°C তাপমাত্রায় ও 30 cm (Hg) চাপে 200 cm^3 H_2 গ্যাস এবং 40 cm (Hg) চাপে 300 cm^3 N_2 গ্যাসকে 400 cm^3 আয়তনের একটি শূন্য ফ্লাস্কে রাখা হলো। ঐ তাপমাত্রায় গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ কত হবে?

[উ: 45 cm (Hg)]

সমস্যা–১.৮১ : 25°C তাপমাত্রায় ও 750 mm (Hg) চাপে 400 mL নাইট্রোজেন গ্যাস, 750 mm (Hg) চাপে 500 mL অক্সিজেন এবং 770 mm (Hg) চাপে 100 mL হাইড্রোজেন নিয়ে তাদেরকে একটি 2L আয়তনের শূন্য পাত্রে প্রবেশ করানো হলো। একই তাপমাত্রায় এবং 30°C তাপমাত্রায় ঐ মিশ্রণের চাপ কত? [উ: 378 mm (Hg); 384.85 mm (Hg)]

সমস্যা–১.৮২ : নিচের চিত্রটি লক্ষ্য কর এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।



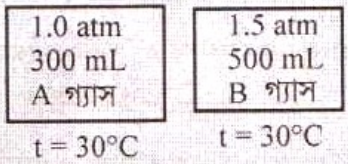
(ক) স্টপ কক খুলে দিলে গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ কত হবে? [উ: 765.71 mm (Hg)] [চ. বো.২০১৫]

(খ) একই তাপমাত্রা ও চাপে A ও B এর মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি হবে তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[সংকেত : অনুচ্ছেদ –১.৩.৭. গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র দেখ : [চ. বো ২০১৫]

সমস্যা–১.৮৩ : পার্শ্বের চিত্রটি লক্ষ্য কর এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

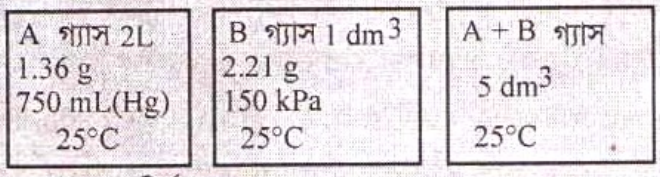
[ব. বো ২০১৫]



(ক) A ও B গ্যাস দুটিকে এক লিটার পাত্রে রাখা হলে মিশ্রিত গ্যাসের মোট চাপ নির্ণয় কর। [উ: 1.05 atm]

(খ) 0.39 g A এবং 0.85 gB গ্যাস দুটির মধ্যে কোন্‌টির ব্যাপন হার বেশি হবে? তা বিশ্লেষণ কর।

সমস্যা – ১.৮৪ : উদ্দীপক চিত্রটি লক্ষ্য কর এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [য.বো. ২০১৬, সি. বো.২০১৬]



(ক) উদ্দীপকের মিশ্রিত পাত্রে মোট চাপ নির্ণয় কর। [উ: 69.996 kPa]

(খ) A ও B গ্যাস দুটির মধ্যে কোন্‌টি অধিক হারে নিঃসরিত হবে, তা গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর।

[সংকেত : গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র দেখ।]

১.৩.৭ গ্রাহামের সূত্র : গ্যাসের ব্যাপন ও অনুব্যাপন

Graham's Law : Diffusion & Effusion of Gases

গ্যাসের অণুগুলো দ্রুতগতিতে সবসময় সম্ভাব্য সব দিকে সরল পথে ছুটাছুটি করে। এর ফলে অণুগুলোর মধ্যে সংঘর্ষ ঘটে এবং বিক্রিয়াবিহীন একাধিক গ্যাস মিশে গিয়ে সমসত্ত্ব মিশ্রণ তৈরি করে। বদ্ধ ঘরের কোনো স্থানে সুগন্ধিযুক্ত বস্তু রাখলে কিছুক্ষণ পরে দেখা যায় যে, ঘরের সর্বত্র সুগন্ধি পাওয়া যাচ্ছে। প্রকৃতপক্ষে সুগন্ধিযুক্ত বস্তুর অণুগুলো গ্যাসীয় অবস্থায় চারদিকে ছড়িয়ে পড়ে ভিন্ন গ্যাসের অণুগুলোর মধ্যে সমসত্ত্বভাবে ছড়িয়ে পড়াকে ব্যাপন বলে। অপর দিকে আবদ্ধ পাত্রে অধিক চাপে থাকা গ্যাস অণুগুলো নিজেদের মধ্যে সংঘর্ষ থেকে মুক্ত হয়ে ছিদ্রপথে কমচাপ এলাকায় বা ভেক্যুয়াম স্থানে চলে আসাকে নিঃসরণ বা অনুব্যাপন বলে।

ব্যাপনের সংজ্ঞা : উচ্চ ঘনত্বের স্থান থেকে নিম্ন ঘনত্বের স্থানে কোনো কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় বস্তুর অণুসমূহ বা কণাসমূহের স্বতঃস্ফূর্ত ও সমভাবে স্থানান্তর বা পরিব্যাপ্ত হওয়ার প্রক্রিয়াকে **ব্যাপন** বলা হয়।

উদাহরণ ১। বদ্ধ ঘরের কোনো স্থানে সুগন্ধিযুক্ত বস্তু রাখলে কিছুক্ষণ পরে দেখা যায় যে ঘরের সর্বত্র সুগন্ধি পাওয়া যাচ্ছে, অবশ্য লঘু হয়ে যাওয়ার কারণে তার তীব্রতা অনেক কমে যায়। এ সুগন্ধি কীভাবে এক স্থান হতে অন্যস্থানে চলে আসে? প্রকৃতপক্ষে সুগন্ধিযুক্ত বস্তুর অণুসমূহ গ্যাসীয় অবস্থায় চারদিকে ক্রমশ ছড়িয়ে পড়ে অর্থাৎ গ্যাসের অণুগুলোর মধ্যে ব্যাপন ঘটে এবং কিছু অণু নাকে প্রবেশ করলে যে কোনো কেউ সে সুগন্ধ পায়।

উদাহরণ ২। একটি পাত্রে কিছু পানি নিয়ে তাতে পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ($KMnO_4$) -এর কয়েকটি দানা ছেড়ে দিলে দেখা যায় ধীরে ধীরে দানাসমূহের নিকট পানির রং বেগুনি হচ্ছে। ক্রমশ সে রং সম্পূর্ণ পানিতে ছড়িয়ে পড়তে থাকে। পানিকে কোনোরূপ নাড়াচাড়া না করা হলেও তা ঘটে। এখানে রঙিন পারম্যাঙ্গানেট আয়ন (MnO_4^-) সমূহ পানি অণুর মধ্যে ব্যাপন করতে থাকে।

(ক) ব্যাপন (খ) নিঃসরণ

(ক) ব্যাপন (Diffusion) : পাত্রের ভেতরে ও বাইরে চাপ সমান এবং অণুগুলোর মধ্যবর্তী দূরত্ব প্রায় 100 nm এর চেয়ে পাত্রের ছিদ্র ছোট; তাই পাত্রের ভেতরে গ্যাসের ব্যাপন ঘটে, নিঃসরণ সম্ভব নয়।

(খ) নিঃসরণ (Effusion) : গ্যাস পাত্রের ছিদ্র 100 nm এর চেয়ে বড় হওয়ায় এবং অধিক বাহ্যিক চাপে অণুগুলোর নিঃসরণ ঘটে।

চিত্র ১.১১ : গ্যাসের ব্যাপন ও নিঃসরণ প্রক্রিয়া।

নিঃসরণ বা অনুব্যাপন : বাহ্যিক উচ্চ চাপের প্রভাবে পাত্রের সরু ছিদ্র পথ দিয়ে কোনো গ্যাসের সজোরে একমুখী বের হওয়ার প্রক্রিয়াকে **নিঃসরণ বা অনুব্যাপন** (Effusion) বলে।

উদাহরণ : সিলিন্ডারের ভেতরে অ্যামোনিয়া গ্যাসকে উচ্চ চাপে রাখা হলো। এখন ঐ অ্যামোনিয়া সিলিন্ডারে যদি কোনো সূক্ষ্ম ছিদ্র থাকে, তবে তা থেকে সজোরে অ্যামোনিয়া গ্যাসের অণুগুলো বের হয়ে আসবে। এটি হচ্ছে নিঃসরণ।

বাহ্যিক চাপ ছাড়াও সরু ছিদ্র দিয়ে গ্যাস বের হয়ে যায়। তখন তাকে **ব্যাপন** বলা হয়। যেমন একটি পাত্রে বায়ুমণ্ডলীয় চাপে অ্যামোনিয়া গ্যাস নিয়ে সে পাত্রের দেওয়ালে সরু ছিদ্র করে দিলে তা থেকে অতি ধীর অ্যামোনিয়া গ্যাস বের হয়ে আসবে। এটি হচ্ছে ব্যাপন।

ব্যাপন ও নিঃসরণের মধ্যে তুলনা

বৈশিষ্ট্য	ব্যাপন	নিঃসরণ বা অনুব্যাপন
১। সংজ্ঞা :	১। উচ্চ ঘনত্বের স্থান থেকে নিম্ন ঘনত্বের স্থানে কোনো কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় বস্তুর অণুসমূহ বা কণাসমূহের স্বতঃস্ফূর্ত ও সমভাবে স্থানান্তর বা পরিব্যাপ্ত হওয়ার প্রক্রিয়াকে ব্যাপন বলে।	১। বাহ্যিক উচ্চ চাপের প্রভাবে পাত্রের সরু ছিদ্র পথ দিয়ে কোনো গ্যাসের অণুসমূহ সজোরে একমুখী বের হওয়ার প্রক্রিয়াকে নিঃসরণ বলে।
২। উদাহরণ :	২। ফুলের সুগন্ধ ও H_2S গ্যাসের দুর্গন্ধ বাতাসে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় ছড়িয়ে পড়ে।	২। গাড়ীর চাকার টিউবের ছিদ্র পথে নিঃসরণ প্রক্রিয়ায় বাতাস বের হয়ে পড়ে।
৩। ভিত্তি বা কারণ :	৩। পদার্থের কণা বা অণুসমূহের ইতস্তত স্বতঃস্ফূর্ত চলাচলের কারণে ব্যাপন প্রক্রিয়া ঘটে।	৩। গ্যাস পাত্রের ভেতরে ও বাইরে চাপের পার্থক্যের কারণে নিঃসরণ প্রক্রিয়া ঘটে।
৪। প্রক্রিয়ার প্রকৃতি :	৪। ব্যাপন হলো গতিতত্ত্ব মতে সমবায়ুচাপে অণুসমূহের স্বতঃস্ফূর্ত মন্থর প্রক্রিয়া।	৪। নিঃসরণ হলো অধিক চাপের প্রভাবে গ্যাসীয় অণুর দ্রুত চলন প্রক্রিয়া।
৫। বায়ু চাপ :	৫। ব্যাপনের বেলায় গ্যাস পাত্রের ভেতরে ও বাইরে একই বায়ু চাপ থাকে।	৫। নিঃসরণের বেলায় গ্যাস পাত্রের ভেতরে অধিক চাপ এবং বাইরে কম চাপ বা ভ্যাকুয়াম অবস্থা থাকে।

1846 খ্রিস্টাব্দে স্কটল্যান্ডের রসায়নবিদ থমাস গ্রাহাম গ্যাসের অনুব্যাপনের ওপর পরীক্ষা-নিরীক্ষা করে এক সূত্র উপস্থাপন করেন। গ্রাহামের সূত্রটি ব্যাপন ও অনুব্যাপন বা নিঃসরণ উভয় ক্ষেত্রে প্রযোজ্য।

গ্রাহামের ব্যাপন সূত্রটি হলো নিম্নরূপ :

স্থির চাপে ও স্থির তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের ব্যাপন হার (r) ঐ গ্যাসের মোলার ভর (M) এর বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক হয়ে থাকে।

$$\therefore \text{ ব্যাপন হার, } r \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$$

একই তাপমাত্রা ও চাপে দুটি গ্যাসের ব্যাপন হার তুলনা করলে উভয় গ্যাসের ব্যাপন হারের অনুপাত উভয়ের মোলার ভরের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক সম্পর্ক হবে। যেমন,

$$\therefore \frac{\text{১ম গ্যাসের } r_1}{\text{২য় গ্যাসের } r_2} = \frac{\sqrt{M_2}}{\sqrt{M_1}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

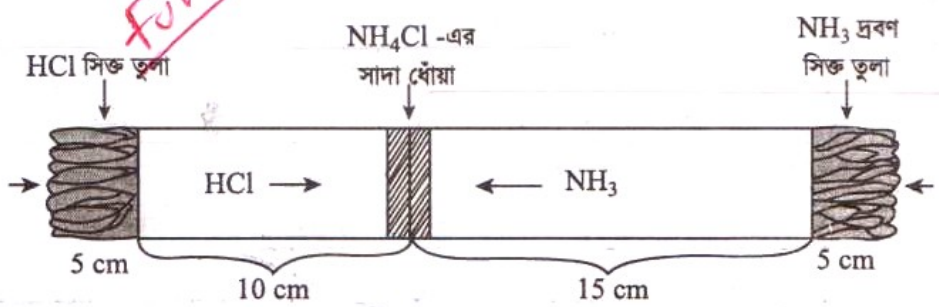
গ্যাসের গতিতত্ত্ব মতে, স্থির তাপমাত্রা ও চাপে গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্র মতে, **কম মোলার ভরের গ্যাসের ব্যাপন হার বেশি মোলার ভরের ব্যাপন হার থেকে বেশি হবে।** কারণ কম মোলার ভরের অণুগুলোর সম্ভাব্য গতি বেশি হয়।

গ্যাসের ঘনত্বভিত্তিক গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র : স্থির চাপে ও তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের ব্যাপন হার (r) গ্যাসটির ঘনত্বের (d) বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক হয়। অর্থাৎ $r \propto \frac{1}{\sqrt{d}}$; দুটি গ্যাসের বেলায় পাই, $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$

বর্তমানে গ্রহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্রে 'গ্যাসের ঘনত্বের' পরিবর্তে গ্যাসের 'মোলার ভর' পদটি অধিক প্রযোজ্য। যেমন চার্লসের সূত্রে ব্যবহৃত হয় কেলভিন তাপমাত্রা।

গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্রের পরীক্ষামূলক ব্যাখ্যা :

দু'মুখ খোলা 35 cm দৈর্ঘ্যের একটি পরিষ্কার শুষ্ক কাচনল নেয়া হয়। এখন দু'টুকরা তুলার একটিকে গাঢ় HCl ও অপর টুকরাকে গাঢ় NH_3 দ্রবণ সিক্ত করে ঐ কাচনলের দু'মুখে 5 cm দূরত্ব পর্যন্ত প্রবিষ্ট রাখা হয়। কিছু সময় পর দেখা



চিত্র : ১.১২ : HCl গ্যাস ও NH_3 গ্যাসের ব্যাপনের তুলনামূলক হার।

যায় HCl সিক্ত তুলা থেকে প্রায় 10 cm দূরত্বে এবং NH_3 দ্রবণ সিক্ত তুলা থেকে প্রায় 15 cm দূরত্বে NH_4Cl এর সাদা ধোঁয়া সৃষ্টি হয়েছে। $NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$

গণনা : NH_3 গ্যাসের আণবিক ভর ($M_1 = 17$), HCl গ্যাসের আণবিক ভর ($M_2 = 36.5$) অপেক্ষা কম; অর্থাৎ NH_3 গ্যাসের বাষ্প ঘনত্ব ($d_1 = 8.5$) থেকে HCl গ্যাসের বাষ্প ঘনত্ব ($d_2 = 18.25$) বেশি। তাই NH_3 গ্যাসের ব্যাপন হার (r_1), HCl গ্যাসের ব্যাপন হার (r_2), থেকে বেশি হয়েছে। উপরিউক্ত ডাটা থেকে পাই;

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{\text{নির্দিষ্ট সময়ে } NH_3 \text{ গ্যাসের ব্যাপন}}{\text{ঐ একই সময়ে HCl গ্যাসের ব্যাপন}} = \frac{15\text{ cm}}{10\text{ cm}} = 1.5 \quad \cdots \quad \cdots \quad (১)$$

$$\text{আবার, } \sqrt{\frac{\text{HCl এর মোলার ভর}}{NH_3 \text{ এর মোলার ভর}}} = \sqrt{\frac{\text{HCl গ্যাসের বাষ্প ঘনত্ব} \times 2}{NH_3 \text{ গ্যাসের বাষ্প ঘনত্ব} \times 2}}$$

$$= \sqrt{\frac{18.25}{8.50}} = 1.465 = 1.5$$

$$\text{অর্থাৎ } \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}} = 1.465 = 1.5 \ldots\ldots\ldots\ldots (২)$$

এখন (১) নং ও (২) নং সম্পর্ক থেকে পাই,

$$\therefore \frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}};$$ এটাই গ্রাহামের ব্যাপন সূত্রের মূল কথা।

গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্রের আধুনিক প্রয়োগ :

(১) গ্যাস ব্যাপন সূত্রের ওপর ভিত্তি করে বিভিন্ন গ্যাসের আণবিক ভর নির্ণয় করা যায়।

(২) এছাড়া ব্যাপন বা নিঃসরণ হারের পার্থক্যের ভিত্তিতে কোনো গ্যাস মিশ্রণের উপাদানসমূহের পৃথকীকরণ বা গাঢ়ীকরণ সম্ভব।

(৩) সবচেয়ে উল্লেখযোগ্য **আধুনিক** প্রয়োগ হচ্ছে ব্যাপন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে একই মৌলের বিভিন্ন আইসোটোপের পৃথকীকরণ।

দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের সময় ইউরেনিয়াম ধাতুকে ইউরেনিয়াম হেক্সাফ্লুরাইড, UF_6 গ্যাসে রূপান্তরিত করে ব্যাপন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে ^{238}U হতে ^{235}U আইসোটোপকে পৃথক করা হয় এবং ^{235}U দ্বারা পারমাণবিক বোমা তৈরি করা হয়, যা হিরোসিমার ওপর নিক্ষিপ্ত হয়। বর্তমানেও পারমাণবিক শক্তিধর রাষ্ট্রসমূহে বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় মৌলের পৃথকীকরণ ও গাঢ়ীকরণ কাজে এ গ্যাস ব্যাপন সূত্র প্রয়োগ করা হয়।

প্রকৃতিতে ইউরেনিয়ামের আইসোটোপ $^{235}U = 0.7\%$ এবং $^{238}U = 99.3\%$ মিশ্রিত অবস্থায় থাকে। নিউক্লিয়ার পাওয়ার স্টেশনে জ্বালানিরূপে কেবল ^{235}U ব্যবহৃত হয়। ইউরেনিয়াম হেক্সাফ্লোরাইড UF_6(b.p. = 329K) রূপে উভয় আইসোটোপকে পৃথক করা হয়। সছিদ্র মেমব্রেনের মাধ্যমে গ্যাসীয় $^{235}UF_6$(M = 349) এর ব্যাপন $^{238}UF_6$(M = 352) এর ব্যাপন হারের চেয়ে বেশি হওয়ায় এদের পৃথক করা সম্ভব হয়েছে।

$^{235}UF_6$ এর বেলায়, M = 349.0 amu এবং $^{238}UF_6$ এর বেলায়, M = 352.0 amu

$$\therefore \frac{^{235}UF_6 \text{এর ব্যাপন হার}}{^{238}UF_6 \text{ এর ব্যাপন হার}} = \sqrt{\frac{352 amu}{349\ amu}} = 1.0043 \qquad [1\ amu = 1.67 \times 10^{-24} g = \text{atomic mass of H-atom}]$$

সমাধানকৃত সমস্যা ১.৪৬ : গ্রাহামের সূত্রভিত্তিক :

তোমাকে হাইড্রোজেন গ্যাসের তিনটি নমুনা যেমন H_2, HD ও D_2 এর মিশ্রণ দেয়া হলো এবং বিশুদ্ধ অবস্থায় এদের পৃথক করতে হবে ($H = {}^1H$ ও $D = {}^2H$)। গ্রাহামের সূত্র মতে তিন প্রকার অণুর ব্যাপনের হার বের কর।

দক্ষতা : প্রথমে তিন প্রকার অণুর ভর ঠিক কর। H_2 এর ভর M_1 = 2.016 amu; HD এর ভর, M_2 = 3.022 amu, D_2 এর ভর, M_3 = 4.028 amu. এরপর গ্রাহামের সূত্র প্রয়োগ কর।

সমাধান : তিন প্রকার অণুর মধ্যে D_2 সবচেয়ে ভারী। তাই D_2 এর ব্যাপন হার সবচেয়ে কম হবে; D_2 এর ব্যাপন হার 1.0 ধরে HD অণু ও H_2 অণুর ব্যাপন হার বের করা হবে।

$$\frac{HD \text{ এর ব্যাপন হার}}{D_2 \text{ এর ব্যাপন হার}} = \sqrt{\frac{D_2 \text{ এর ভর } M_3}{HD \text{ এর ভর } M_2}} = \sqrt{\frac{4.028\ amu}{3.022\ amu}} = 1.154$$

$$\text{আবার, } \frac{H_2 \text{ এর ব্যাপন হার}}{D_2 \text{ এর ব্যাপন হার}} = \sqrt{\frac{D_2 \text{ এর ভর } M_3}{H_2 \text{ এর ভর } M_1}} = \sqrt{\frac{4.028\ amu}{2.016\ amu}} = 1.414$$

$\therefore$ তিন প্রকার অণুর আপেক্ষিক ব্যাপন হার হলো : $H_2(1.414) > HD(1.154) > D_2(1.000)$

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪৭ : পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলে আয়তন হিসেবে 80% নাইট্রোজেন ও 20% অক্সিজেন আছে। বায়ুর ঘনত্ব (হাইড্রোজেনের তুলনায়) নির্ণয় কর। বায়ুর কার্যকর আণবিক ভর কত?

দক্ষতা : বাষ্প ঘনত্ব ও শতকরা হার প্রযোজ্য হবে।

সমাধান ঃ কোন গ্যাসের ঘনত্ব (হাইড্রোজেনের তুলনায়) তার আণবিক ভরের অর্ধেক।

সমাধান ঃ কোন গ্যাসের ঘনত্ব (হাইড্রোজেনের তুলনায়) তার আণবিক ভরের অর্ধেক।

N_2 এর আণবিক ভর = 28, সুতরাং, N_2 এর ঘনত্ব $\frac{28}{2} = 14$

O_2 এর আণবিক ভর = 32; সুতরাং, O_2 এর ঘনত্ব $\frac{32}{2} = 16$

$\therefore$ বায়ুর ঘনত্ব $= \left(14 \times \frac{80}{100}\right) + \left(16 \times \frac{20}{100}\right) = 11.2 + 3.2 = 14.4$ (**উত্তর**)।

$\therefore$ বায়ুর কার্যকর আণবিক ভর $= \left(28 \times \frac{80}{100}\right) + \left(32 \times \frac{20}{100}\right) = 22.4 + 6.4 = 28.8$ (**উত্তর**)।

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪৮ : একই আয়তনের একটি অজ্ঞাত গ্যাস ও ক্লোরিন একই তাপমাত্রা ও চাপে একটি ছিদ্র পথ দিয়ে নিঃসরিত হতে যথাক্রমে 1.0 মিনিট ও 73 সেকেন্ড সময় নেয়। অজ্ঞাত গ্যাসটির আণবিক ভর কত?

দক্ষতা : গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : Cl_2 এর আণবিক ভর $= 35.5 \times 2 = 71$

গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র অনুসারে,

$$\frac{t_2}{t_1} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

$$\therefore \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 = \frac{M2}{M1}$$

$$\text{বা, } M_1 = M_2 \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2$$

$$= 71 \times \left(\frac{60}{73}\right)^2 = 48 \text{ (উত্তর)।}$$

এখানে,

t_1 = প্রথম গ্যাস (এখানে অজ্ঞাত গ্যাস) এর ব্যাপন সময়

= 1 মিনিট = 60 সেকেন্ডে;

t_2 = একই আয়তনের দ্বিতীয় গ্যাস(এখানে ক্লোরিন)এর ব্যাপন সময়

= 73 সেকেন্ড।

আবার, $M_2 = 71$;

$M_1 = ?$

সমাধানকৃত সমস্যা – ১.৪৯ : নির্দিষ্ট আয়তনের বিশুদ্ধ অক্সিজেন নিঃসরিত হতে 80 সেকেন্ড সময় লাগে এবং একই অবস্থায় সমান আয়তনের 20% ওজোন মিশ্রিত অক্সিজেনের নিঃসরণের জন্য 85 সেকেন্ড সময় প্রয়োজন হয়। ওজোনের আণবিক ভর নির্ণয় কর।

দক্ষতা : ব্যাপন সূত্র প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র বিশুদ্ধ গ্যাস ও গ্যাস মিশ্রণের জন্য সমভাবে প্রযোজ্য। গ্রাহামের সূত্র অনুযায়ী,

$$\frac{t_2}{t_1} = \sqrt{\frac{M2}{M1}}$$

$$\text{বা, } \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 = \frac{M2}{M1};$$

$$\therefore M_2 = M_1 \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2$$

$$= 32 \times \left(\frac{85}{80}\right)^2 = 36$$

এখানে,

t_1 = প্রথম গ্যাসের ব্যাপন সময়

= 80 sec (প্রশ্নমতে);

t_2 = সমআয়তনের দ্বিতীয় গ্যাসের ব্যাপন সময়

= 85 sec (প্রশ্নমতে),

M_1 = প্রথম গ্যাস অর্থাৎ অক্সিজেনের আণবিক ভর = 32

M_1 = দ্বিতীয় গ্যাস বা গ্যাস মিশণের কার্যকর আণবিক ভর

মনে করি, ওজোনের আণবিক ভর = x

∴ 20% ওজোন ও 80 অক্সিজেন মিশ্রণে কার্যকর আণবিক ভর

$$= \left(\text{ওজোনের আণবিক ভর} \times \frac{20}{100}\right) + \left(\text{অক্সিজেনের আণবিক ভর} \times \frac{80}{100}\right)$$

$= (x \times 0.2) + 32 \times 0.8) = (0.2x + 25.6)$। এটা M_2 অর্থাৎ 36 এর সমান।

অর্থাৎ $(0.2x + 25.6) = 36$

বা, $0.2x = (36 - 25.6) = 10.4$ বা, $x = \frac{10.4}{0.2} = 52$

∴ ওজোনের নির্ণীত আণবিক ভর = 52 (উত্তর)।

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৫০ : একই তাপমাত্রা ও চাপে কোন পাত্রের একই ছিদ্র পথে একটি অজ্ঞাত গ্যাস ও ক্লোরিনের পৃথকভাবে নিঃসরণ হার যথাক্রমে 6 ঃ 5। ক্লোরিনের ঘনত্ব 36 হলে অজ্ঞাত গ্যাসের ঘনত্ব ও আণবিক ভর কত হবে?

দক্ষতা : গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : গ্রাহামের গ্যাস-ব্যাপন সূত্র মতে,

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$$

$$\therefore \frac{6}{5} = \sqrt{\frac{36}{d_t}}$$

উভয় দিকে বর্গ করে পাই,

$$\frac{36}{25} = \frac{36}{d_1}$$

$\therefore d_1 = 25$ $\therefore$ অজ্ঞাত গ্যাসের ঘনত্ব = 25

$\therefore$ অজ্ঞাত গ্যাসের আণবিক ভর = 2 × ঘনত্ব = 2 × 25 = 50 **(উত্তর)**

প্রশ্নমতে,

অজ্ঞাত গ্যাসের নিঃসরণ হার, $r_1 = 6$

অজ্ঞাত গ্যাসের ঘনত্ব $d_1 = ?$

ক্লোরিনের নিঃসরণ হার, $r_2 = 5$

ক্লোরিনের ঘনত্ব, $d_2 = 36$

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৫১ : 100 mL আয়তনের একটি গ্যাস A একটি সূক্ষ্ম ছিদ্রের ভেতর দিয়ে ব্যাপিত হতে 293 সেকেন্ড সময় নেয়। একই আয়তনের CO_2 একই অবস্থায় ব্যাপিত হতে 230 সেকেণ্ড সময় লাগে। A গ্যাসের আণবিক ভর নির্ণয় কর।

দক্ষতা : গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র প্রযোজ্য হবে

সমাধান ঃ গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্র মতে,

$$\frac{t_2}{t_1} = \sqrt{\frac{M2}{M1}}$$

$$\therefore \left(\frac{t_2}{t_1}\right)2 = \frac{M2}{M1};$$

$$\therefore M_1 = M_2\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2$$

$$= 44 \times \left(\frac{293}{230}\right)^2 = 71.41 \text{ (উত্তর)}$$

প্রশ্নমতে,

১ম গ্যাস, A এর ব্যাপন সময়, $t_1 = 293$ s

১ম গ্যাস, A এর আণবিক ভর, $M_1 = ?$

২য় গ্যাস, CO_2 এর ব্যাপন সময়, $t_2 = 230$ s

২য় গ্যাস, CO_2 এর আণবিক ভর, $M_2 = 44$

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৫২ : একটি অজ্ঞাত গ্যাসের ব্যাপন হার অ্যামোনিয়া গ্যাসের ব্যাপন হারের 2.92 গুণ। অজ্ঞাত গ্যাসটির আণবিক ভর নির্ণয় কর :

দক্ষতা : গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র $r_1/r_2 = \sqrt{M_2/M_1}$ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : গ্রাহামের সূত্র মতে,

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}, \text{ বা } \left(\frac{r_1}{r_2}\right)2 = \frac{M_2}{M_1}$$

বা, $(2.92)^2 = \frac{17}{M_1}$; $M_1 = \frac{17}{2.92 \times 2.92} = 1.99 = 2$

$\therefore$ অজ্ঞাত গ্যাসের আণবিক ভর হলো 2 এবং এটি H_2 গ্যাস হবে। **(উত্তর)**

প্রশ্ন মতে, $\frac{r_1}{r_2} = 2.92$

অজ্ঞাত গ্যাসের আঃ ভর, $M_1 = ?$

NH_3 গ্যাসের আঃ ভর, $M_2 = 17$

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৫৩ : STP তে কোনো সূক্ষ্ম ছিদ্রযুক্ত পাত্র থেকে 1.99 = 2 মিনিটে 1.0L H_2 গ্যাস নিঃসরিত হলে ঐ একই অবস্থায় একই সময়ে কি পরিমাণ O_2 গ্যাস নিঃসরিত হবে?

দক্ষতা : গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্র প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্র মতে,

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

বা, $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{32}{2.016}} = \sqrt{15.87}$

বা, $\frac{0.2L/min}{r_2} = 3.98$

$\therefore r_2 = \frac{0.2L/min}{3.98} = 0.05L/min$

প্রশ্নমতে,

H_2 গ্যাসের ব্যাপন হার, $r_1 = \frac{1L}{5\ minute}$

$= 0.2L/min$

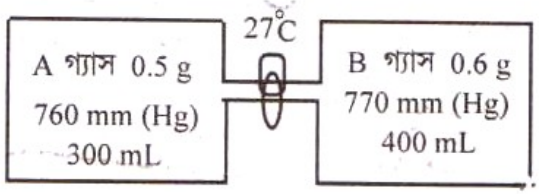
H_2 গ্যাসের আঃ ভর, $M_1 = 2.016$

O_2 গ্যাসের আঃ ভর, $M_2 = 32$

O_2 গ্যাসের ব্যাপন হার, $r_2 = ?$

$\therefore$ 5 মিনিটে নিঃসরিত O_2 গ্যাসের আয়তন $= (5 \times 0.05)\ L = 0.25L$ **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা –১.৫৪ : পার্শ্বের চিত্রটি লক্ষ্য কর এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [চ. বো.২০১৫]



(ক) একই তাপমাত্রা ও চাপে A ও B গ্যাসের মধ্যে কোন্‌টির ব্যাপন হার বেশি হবে তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

দক্ষতা : A ও B এর আণবিক ভর $PV = \frac{wRT}{M}$ সমীকরণ থেকে বের করতে হবে। পরে গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্র প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : 'A' গ্যাসের বেলায়'

$$PV = \frac{w_1RT}{M_1}$$

বা, $M_1 = \frac{w_1RT}{PV}$

বা, $M_1 = \frac{0.5g \times 0.082L.atm\ K^{-1}.\ mol^{-1} \times 300K}{1atm \times 0.3L}$

বা, $M_1 = \frac{0.5 \times 0.082 \times 300}{1 \times 0.3}\ g\ mol^{-1}$

$\therefore M_1 = 41\ g\ mol^{-1}$; $\therefore$ A গ্যাসের আণবিক ভর $= 41$

প্রশ্নমতে,

A গ্যাসের চাপ, $P = 760\ mm\ (Hg) = 1\ atm$

A গ্যাসের আয়তন, $V = 300\ mL = 0.3L$

A গ্যাসের ভর, $w = 0.5g$

A গ্যাসের তাপমাত্রা, $T = (27 + 273)\ K = 300\ K$

গ্যাস ধ্রুবক, $R = 0.082\ L.atm\ K^{-1}\ mol^{-1}$

'B' গ্যাসের বেলায় –

$$PV = \frac{w_2RT}{M_2}$$

বা, $M_2 = \frac{w_2RT}{PV}$

বা, $M_2 = \frac{0.6\ g \times 0.082L.\ atm.K^{-1}\ mol^{-1} \times 300\ K \times 760}{770atm \times 0.4L}$

বা, $M_2 = \frac{0.6 \times 0.082 \times 300 \times 760}{770 \times 0.4}\ g\ mol$

$\therefore M_2 = 36.42\ g\ mol^{-1}$;

$\therefore$ B গ্যাসের আণবিক ভর $= 36.42$

প্রশ্নমতে,

B গ্যাসের চাপ, $P = \frac{770}{760}\ atm$

B গ্যাসের আয়তন, $V = 400mL = 0.4L$

B গ্যাসের ভর, $w = 0.6g$

B গ্যাসের তাপমাত্রা, $T = (27 + 273)K = 300\ K$

গ্যাস ধ্রুবক, $R = 0.082L.\ atm\ K^{-1}\ mol^{-1}$

আমরা জানি, গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্র মতে, যে গ্যাসের আণবিক ভর কম, সেটির ব্যাপন হার বেশি হয়। সুতরাং B গ্যাসের ব্যাপন হার A গ্যাসের চেয়ে বেশি হবে।

এক্ষেত্রে A গ্যাসের আঃ ভর, $M_1 = 41$; এ গ্যাসের ব্যাপন হার $= r_1$

B গ্যাসের আঃ ভর, $M_2 = 36.42$, B গ্যাসের ব্যাপন হার $= r_2$

গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্র মতে পাই –

$\frac{r_2}{r_1} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}$; বা, $\frac{r_2}{r_1} = \sqrt{\frac{41}{36.42}} = 1.061$

বা, $r_2 = 1.061 \times r_1$

সুতরাং B গ্যাসের আণবিক ভর কম হওয়ায় B গ্যাসের ব্যাপন হার A গ্যাসের ব্যাপন হারের 1.061 গুণ বেশি হবে। এটিই গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্রের মূলকথা।

শিক্ষার্থী নিজে কর : গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন হারভিত্তিক সমস্যা :

(i) $\frac{t_2}{t_1} = \frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$, (ii) $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$

সমস্যা-১.৮৫ : নিচে দেয়া প্রতি জোড়া গ্যাসের মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি হবে? এদের ব্যাপন হার বের কর।

(ক) Kr ও O_2 (খ) N_2 ও C_2H_2, (গ) H_2 ও O_2 [উ: O_2, 1.62; (খ) C_2H_2, 1.04] (গ) H_2,4]

সমস্যা- ১.৮৬ : নিয়নের তিনটি প্রাকৃতিক আইসোটোপ যেমন ^{20}Ne, ^{21}Ne ও ^{22}Ne এর আপেক্ষিক ব্যাপন হার বের কর। [উ: $^{20}Ne(1.05) > {}^{21}Ne(1.02) > {}^{22}Ne(1.00)$]

সমস্যা-১.৮৭ (ক) : একটি সূক্ষ্ম ছিদ্রের মধ্য দিয়ে 100 cm^3 আয়তনের 'A' নামক গ্যাসটি 290 সেকেন্ডে সম্পূর্ণ ব্যাপিত হয়। একই অবস্থায় একই আয়তনের CO_2 গ্যাস ব্যাপনে সময় লাগে 230 সেকেন্ড। 'A' গ্যাসটির আণবিক ভর কত হবে? [উ: 69.95]

সমস্যা-১.৮৭ (খ) : একটি সূক্ষ্ম ছিদ্রের মধ্য দিয়ে একই আয়তনের H_2 গ্যাস ও অপর একটি গ্যাস 'B' সম্পূর্ণ নিঃসরিত হতে যথাক্রমে সময় লাগে 8 সেকেন্ড ও 32 সেকেন্ড। 'B' গ্যাসটির আণবিক ভর নির্ণয় কর। [উ: 32. 256]

সমস্যা-১.৮৭ (গ) : একই তাপমাত্রা ও চাপে একটি সূক্ষ্ম ছিদ্র পথে ক্লোরিন ও একটি অজ্ঞাত গ্যাস (A) এর নিঃসরণ হার 7: 6 হয়। অজ্ঞাত গ্যাস (A) এর আণবিক ভর কত হবে? [উ: 52.16]

সমস্যা-১.৮৭ (ঘ) : একই তাপমাত্রা ও চাপে একটি সরু ছিদ্র পথ দিয়ে সমআয়তনের অক্সিজেন ও একটি অজ্ঞাত গ্যাসের নিঃসরণের জন্য 56 সেকেন্ড ও 80 সেকেন্ড সময় লাগে। অজ্ঞাত গ্যাসটির আণবিক ভর নির্ণয় কর] [উ: 65.31]

সমস্যা- ১.৮৭ (ঙ) : A গ্যাসটির নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ও স্থির চাপে একটি সরু ছিদ্র দিয়ে নির্দিষ্ট আয়তনের বিশুদ্ধ অক্সিজেন নিঃসরিত হতে 75 সেকেন্ড সময় লাগে। একই অবস্থায় সমআয়তনের 30% 'A' গ্যাস মিশ্রিত অক্সিজেনের নিঃসরণের জন্য 90 সেকেন্ড সময় লাগে। 'A' গ্যাসের আণবিক ভর নির্ণয় কর। [উ: 78.93]

সমস্যা-১.৮৭ (চ) : স্থির তাপমাত্রা ও চাপে 180 mL আয়তনের একটি হাইড্রোকার্বন গ্যাস নিঃসরিত হতে 15 মিনিট সময় লাগে। একই অবস্থায় 20 মিনিটে 120 mL আয়তনের SO_2 গ্যাস নিঃসরিত হয়। হাইড্রোকার্বনের আণবিক ভর বের কর। [উ: 16]

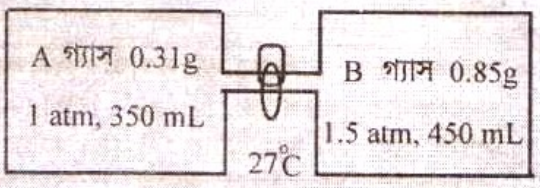
সমস্যা ১.৮৭ (ছ) : একটি সরু ছিদ্র দিয়ে একটি অজ্ঞাত গ্যাস নির্গমনের হার ঐ একই ছিদ্র দিয়ে NH_3 গ্যাসের বির্গমণ হারের 2.9 গুণ হলে অজ্ঞাত গ্যাসের আণবিক ভর কত হবে? [উ: 2.02]

সমস্যা-১.৮৮ (ক) : একটি 25 cm দীর্ঘ কাচনলের বামদিকের মুখে HCl গ্যাস এবং ডানদিকের মুখে NH_3 গ্যাস একই সময়ে প্রবেশ করলে বামদিক থেকে কত দূরত্বে NH_4Cl এর সাদা ধোঁয়া সৃষ্টি হবে? [উ: 10.14 cm]

সমস্যা-১.৮৮ (খ) : 25°C-এ ও 50 kPa চাপে 8.885g `X' গ্যাস 10 $dm^3$ আয়তন দখল করে। আবার 25°C-এ ও 200 kPa চাপে 2.423g `Y' গ্যাস 1.0 dm^3 আয়তন দখল করে। একই তাপমাত্রা ও চাপে X ও Y গ্যাসের ব্যাপন হার গণনা কর। [উ: $M_X = 44$, $M_Y = 30$; $r_X : r_Y = 1: 1.211$] [দি.বো. ২০১৫]

সমস্যা-১.৮৮ (গ) : 27°C-এ ও 760 mm(Hg) চাপে 0.5g 'A' গ্যাস 300mL আয়তন দখল করে। আবার 27°C-এ 770 mm(Hg) চাপে 0.6g 'B' গ্যাস 400mL আয়তন দখল করে। একই তাপমাত্রা ও চাপে A ও B গ্যাসের মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি হবে? [উ: $M_A = 41$, $M_B = 36.42$; $r_A : r_B = 0.941.0$] [চ. বো. ২০১৫]

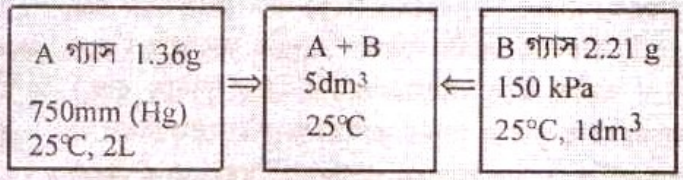
সমস্যা-১.৮৮ (ঘ) : পার্শ্বের উদ্দীপক মতে, একই তাপমাত্রায় ও চাপে A ও B এর মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি তা গাণিতিক ভাবে বিশ্লেষণ কর। [উ: A এর আণবিক ভর = 21.79; B এর আণবিক ভর = 31; A এর ব্যাপন হার বেশি হবে]



[দি. বো. ২০১৬]

সমস্যা ১.৮৮ (ঙ) : উদ্দীপক মতে, A ও B গ্যাস দুটির মধ্যে কোনটির অধিক হারে নিঃসরণ হবে? [উ: A এর আণবিক ভর = 16.84; B এর আণবিক ভর =36.48; A এর ব্যাপন হার বেশি]

[য. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৬]



শিক্ষার্থীর শ্রেণিতে দলবদ্ধ কাজ (Students' Group Work in Class)

১.৪ গ্যাসের আয়তনের ওপর চাপের প্রভাব পর্যবেক্ষণ (বয়েলের সূত্র)

বড় ল্যাবরেটরিতে অথবা শ্রেণিকক্ষে শিক্ষকের তত্ত্বাবধানে টেবিলের ওপর ৩-৪ জনের একদল শিক্ষার্থী এ পরীক্ষাটি শুরু করবে। অন্য শিক্ষার্থীরা তা পর্যবেক্ষণ করবে। শিক্ষক মহোদয় নির্দেশনা ও ব্যাখ্যা প্রদান করবেন। কাজ শুরুর পূর্বে শিক্ষক মহোদয় ব্যুরেটের নিচের অংশ ত্রিকোণাকার ফাইল (File) দিয়ে কেটে বার্নারে গলায়ে সিল্ড করে নিবেন এবং যন্ত্রপাতি সজ্জিত করে রাখবেন।

পরীক্ষা নং-১ তারিখ : ..... **সময় : ১ পিরিয়ড**

পরীক্ষার নাম : বয়েলের সূত্র সম্পর্কীয় পরীক্ষা :

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি: (১) সিল্ড করা ব্যুরেট,(২) স্বচ্ছ প্লাস্টিকের নল-১ মিটার, (৩) বায়ু, (৪) পারদ, (৫) স্ট্যান্ড-ক্ল্যাম্প, (৬) ক্লিপ।

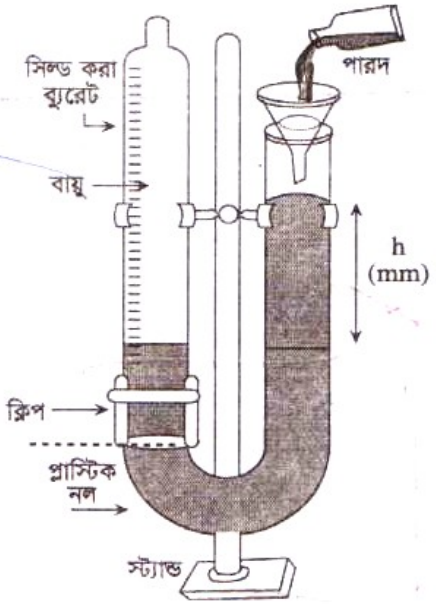
কাজের ধারা : (১) চিত্রের মতো একটি ব্যুরেটে ১ম অবস্থায় পারদ ঢেলে কিছু বায়ুকে আবদ্ধ কর। পারদের লেভেল উভয় নলে সমান কর। এ অবস্থায় আবদ্ধ বায়ু 1 atm চাপে আছে। এখন বায়ুর আয়তন ঠিক করে তোমার পাঠ্যবইয়ের চিত্র ১.৫ এর (খ) পর্যবেক্ষণ ডাটা এর মতো রেকর্ড কর।

(২) ডানদিকের প্লাস্টিক নলে আরো পারদ ঢেলে আবদ্ধ বায়ুর আয়তনের পরিবর্তন লক্ষ কর। বায়ুর আয়তনের পরিবর্তন রেকর্ড কর এবং ডানদিকের প্লাস্টিকের নল ও ব্যুরেটের পারদের লেভেল বরাবর বাদ দিয়ে অবশিষ্ট উচ্চতা h(mm) রেকর্ড কর।

(৩) এরূপে তিন চারটি পরিবর্তন রেকর্ড কর।

(৪) আয়তনের পরিবর্তন (mL) ও পারদের উচ্চতাকে (mmHg এককে) যথাক্রমে Y-অক্ষ ও X-অক্ষ ধরে তোমার পাঠ্যবইয়ের চিত্র-১.৫ এর লেখের সাথে মিল করে লেখচিত্র অঙ্কন কর।

(৫) লেখচিত্র মতে মতামত প্রকাশ কর।



চিত্র ১.১৩ : বয়েলের সূত্রের যথার্থতা পরীক্ষা।

১.৪.১ গ্যাসের আয়তনের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব পর্যবেক্ষণ (চার্লসের সূত্র)

[এ পরীক্ষাটিও পূর্বের বয়েলের সূত্রভিত্তিক পরীক্ষাটির মতো শিক্ষকের ব্যবস্থাপনা ও তত্ত্বাবধানে শ্রেণিতে শিক্ষার্থীরা প্রদর্শন ও পর্যবেক্ষণ করবে।

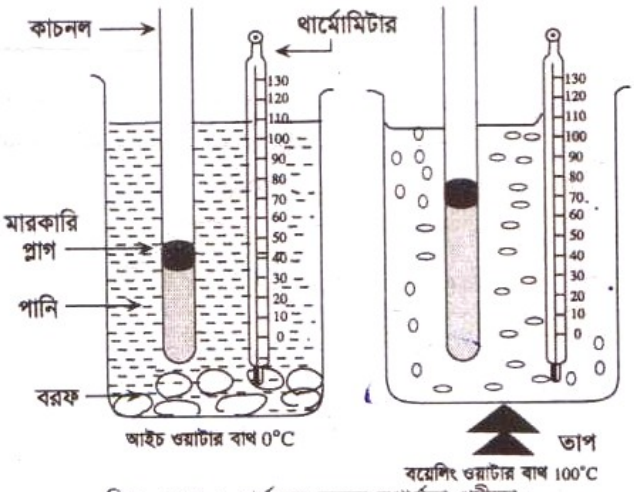
পরীক্ষা নং-২ তারিখ : সময় : ১ পিরিয়ড

পরীক্ষার নাম : চার্লসের সূত্র সম্পর্কীয় পরীক্ষা :

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) বিকার-২টি, (২) কাচনল ২টি, (৩) থার্মোমিটার ২টি, (৪) বার্নার

প্রয়োজনীয় রাসায়নিক পদার্থ : (১) পারদ (মারকারি), (২) পানি, (৩) বরফ

কাজের ধারা : (১) চিত্রের মতো এক প্রান্তে মুখ বন্ধ একটি কাচনলে নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুকে মারকারি প্লাগ দিয়ে আবদ্ধ করে আইস-ওয়াটার বাথে ডুবিয়ে রাখ। থার্মোমিটার ডুবিয়ে পানির তাপমাত্রা 0°C রেকর্ড কর ও কাচনলের গ্যাসের আয়তন কাচনলের দৈর্ঘ্য থেকে মেপে নাও। পর্যবেক্ষণ ডাটার তালিকায় তাপমাত্রা ও গ্যাসের আয়তন রেকর্ড কর। এ বইয়ের চিত্র- ১.৭ অনুসরণ কর।



চিত্র ১.১৪ : চার্লসের সূত্রের যথার্থতা পরীক্ষা।

(২) এবার ২য় চিত্র মতে ওয়াটার বাথকে উত্তপ্ত কর। আবদ্ধ বায়ুর কাচনলকে থার্মোমিটারসহ ঐ বাথে নাও। 25°C তাপমাত্রার ব্যবধানে কাচনলের বায়ুর আয়তন বৃদ্ধি রেকর্ড কর।

(৩) তোমার পাঠ্যবইয়ের চিত্র ১.৮ এর মতো তোমার পর্যবেক্ষণ ডাটা থেকে লেখচিত্র অঙ্কন কর।

(৪) লেখচিত্র মতে মতামত প্রকাশ কর।

১.৫ গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্ব

Kinetic Molecular Theory of Gases

আমরা গ্যাসের ওপর বিভিন্ন শর্তে পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে গ্যাসের বিভিন্ন ভৌত আচরণের তথ্য জেনেছি; কিন্তু গ্যাসের এসব আচরণের মূল কারণ জানা হয়নি। যেমন কোনো গ্যাসের আণবিক ভর বেশি, কোনো গ্যাসের তা কম। আবার কোনো গ্যাসের অণুর আকার বড়, কোনো গ্যাসের তা ছোট। তা সত্ত্বেও আদর্শ গ্যাসের আলোচিত সূত্রে এর কোনো প্রভাব পড়েনি। বছর শতেক আগে বিজ্ঞানীরা এসব কথা ভেবে এর সমাধান স্বরূপ গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্ব উপস্থাপন করেন। আণবিক গতিতত্ত্বের সাহায্যে এ সব গ্যাস সূত্রের গাণিতিক ব্যাখ্যা দিয়েছেন। এক্ষেত্রে বিজ্ঞানী ম্যাক্সওয়েল ও বোল্টজম্যানের অবদান বিশেষ উল্লেখযোগ্য। **গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্বের স্বীকার্যগুলো নিম্নরূপ :**

১। **গ্যাসের গঠন :** যে কোনো গ্যাস অসংখ্য ক্ষুদ্র কণিকা যেমন **পরমাণু অথবা অণুর** সমন্বয়ে গঠিত। এ সব কণিকা বা অণু খুব দ্রুতগতিতে সরলরৈখিক পথে ইতস্তত সম্ভবপর সব দিকে ছুটাছুটি করে।

২। **গ্যাস অণুসমূহের আয়তন :** গ্যাসের অণুগুলোর মোট আয়তন গ্যাস-পাত্রের মোট আয়তনের তুলনায় নগণ্য; গ্যাসের মোট আয়তনের অধিকাংশ স্থানই খালি।

৩। **গ্যাস অণুসমূহের মধ্যে আকর্ষণ ও বিকর্ষণ :** গ্যাসের অণুগুলোর মধ্যে পারস্পরিক কোনো আকর্ষণ বা বিকর্ষণ নেই; তারা পরস্পর প্রভাবমুক্ত স্বাধীন।

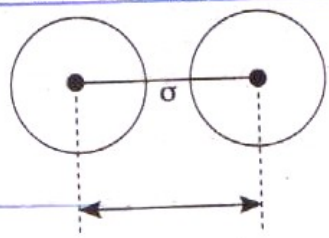
৪। **আন্তঃআণবিক সংঘর্ষ ও প্রকৃতি :** গ্যাসের অণুগুলোর মধ্যে পরস্পরের সাথে বা পাত্রের দেয়ালের সাথে সংঘর্ষ ঘটে, তখন ঐ সংঘর্ষগুলোও সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক হয় অর্থাৎ তাদের গতিশক্তি অভ্যন্তরীণ বা অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হয় না। নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় (T), গ্যাসের অণুগুলোর মোট গতিশক্তি (E_k) স্থির থাকে।

৫। গ্যাসের চাপ : অবিরাম স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষের মাধ্যমে গ্যাসাধারের দেয়ালে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে গ্যাস অণুগুলোর প্রয়োগকৃত বলকে **গ্যাসের চাপ** বলে।

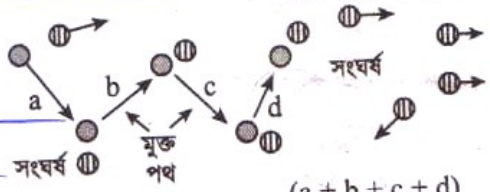
৬। গ্যাসের অণুর গতি শক্তি : গ্যাসের অণুগুলোর গড় গতিশক্তি সংশ্লিষ্ট গ্যাসের কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক। গ্যাসের গতিতত্ত্ব হতে তাত্ত্বিকভাবে দেখানো যায় যে, যদি কোনো আদর্শ গ্যাসের আয়তন V, এর চাপ P, প্রতিটি গ্যাস অণুর ভর m, নমুনায় গ্যাস অণুর সংখ্যা N এবং গ্যাস অণুগুলোর বর্গমূল-গড়-বর্গ গতিবেগ c হয়, তবে $PV = \frac{1}{3}mNc^2$।

এ সমীকরণকে **আদর্শ গ্যাসের গতীয় সমীকরণ** (Kinetic equation of ideal gases) বলা হয়। বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস (R.J. Clausius) আদর্শ গ্যাসের গতীয় সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করেন।

(ক) আণবিক সংঘর্ষ ও সংঘর্ষ ব্যাস : গ্যাসের গতিতত্ত্বের আণবিক সংঘর্ষ বুঝতে হলে আণবিক ব্যাস, আণবিক সংঘর্ষ ব্যাস ও গড় মুক্ত পথ—এ তিনটি পদের ধারণা থাকা প্রয়োজন। গ্যাসের অণুগুলো প্রচণ্ড দ্রুতগতিতে সরলরৈখিক পথে ইতস্তত সম্ভবপর সবদিকে ছুটাছুটি করার সময় দুটি গ্যাস অণু পরস্পরের নিকটে আসলে এক সময় এদের মধ্যে কার্যকরী বিকর্ষণ বল অত্যন্ত সক্রিয় হয়ে ওঠে। তখন উভয় অণু বিপরীত দিকে ধাবিত হতে বাধ্য হয়। এরূপ অবস্থাকে গ্যাসের **আণবিক সংঘর্ষ** (molecular collision) বলে। অপর কথায়, দুটি অণু সম্ভাব্য ন্যূনতম দূরত্বে এসে এদের মধ্যে বিকর্ষণের কারণে বিপরীত দিকে ফিরে যাওয়াকে **আণবিক সংঘর্ষ** বলে। দুটি সংঘর্ষের মধ্যবর্তী দূরত্বসমূহের গড় মানকে গ্যাস অণুর **গড় মুক্ত পথ** (l) বলে। পর পর চারটি সংঘর্ষের প্রতিটির মধ্যবর্তী দূরত্ব যথাক্রমে a, b, c, d হলে তখন এক্ষেত্রে গড় মুক্ত পথ হবে, $l = \frac{(a+b+c+d)}{4}$। প্রতিটি আণবিক সংঘর্ষকালে উভয় অণুর কেন্দ্রবিন্দুর ন্যূনতম দূরত্বকে **সংঘর্ষ ব্যাস** বলে। সংঘর্ষ ব্যাসকে 'σ' (সিগমা) দ্বারা প্রকাশ করা হয়। আণবিক ব্যাস থেকে সংঘর্ষ ব্যাস একটু বড় হয়। অধিকাংশ গ্যাসের আণবিক ব্যাসের মাত্রা 2Å (অ্যাংস্ট্রম) বা 2×10^{-10}m এর কাছাকাছি হয়। অপরদিকে সংঘর্ষ ব্যাসের মাত্র 2Å থেকে 4Å এর মধ্যে থাকে। সংঘর্ষকালীন দুটি অণু এদের আণবিক সংঘর্ষ ব্যাসের চেয়ে বেশি নিকটে আসতে পারে না।



চিত্র ১.১৪ : সংঘর্ষ ব্যাস।



গড় মুক্ত পথ, $l = \frac{(a+b+c+d)}{4}$

চিত্র ১.১৫ : সরল রৈখিক পথে ইতস্তত সম্ভবপর সব দিকে অণুগুলোর ছুটাছুটি, আণবিক সংঘর্ষ, মুক্ত পথ ও গড় মুক্ত পথ।

১.৫.১ গ্যাসের বর্গমূল-গড় বর্গবেগ ও অন্যান্য গতিবেগ

Root Mean Square Velocity & Other Velocities

যে কোনো গ্যাসের নমুনায় অসংখ্য অণু থাক, অণুগুলোর মধ্যে অবিরাম সংঘর্ষের ফলে এদের মোট গতিশক্তির কোনো পরিবর্তন না হলেও বিভিন্ন অণুর গতিবেগ সব সময় পরিবর্তন ঘটে। এ সব অণুর গতিবেগ কোনো সময় সমান নয়, কোনো মুহূর্তে একটি অণুর গতিবেগ প্রায় শূন্য হতে পারে, সে সময় আরেকটি অণুর গতিবেগ তা-অপেক্ষা কয়েকশত গুণ বেশি হতে পারে। দ্রুত গতির অণুটি এক সময় মন্থর গতির হতে পারে অথবা আরো দ্রুততর হতে পারে। এ অবস্থায় কোনো অণুর গতিবেগ নির্দিষ্ট করে বলা সম্ভব নয়। তবে অণুগুলোর গড় গতিবেগ হিসেব করা যায়।

বিজ্ঞানীরা গ্যাস অণুগুলোর গতিবেগকে তিনভাবে প্রকাশ করেছেন। যেমন,

(১) **বর্গমূল গড় বর্গবেগ** : RMS-Velocity or Root Mean Square Vebcity

(২) **সাধারণ গড় বেগ** : Average Velocity

(৩) **সম্ভাব্যতম বেগ** : Most Probable Velocity

(১) বর্গমূল-গড়-বর্গবেগ বা RMS বেগ : কোনো গ্যাসের অণুসমূহের গতিবেগের বর্গের গড় মানের বর্গমূলকে গ্যাসটির অণুর RMS বেগ (root mean square velocity) বলা হয়। মনে করি, একটি গ্যাসাধারে N সংখ্যক অণু আছে, তাদের গতিবেগ যথাক্রমে $c_1, c_2, c_3, c_4, \ldots\ldots c_N$। তখন বর্গমূল-গড়-বর্গবেগকে c ধরলে,

$$c = \sqrt{\frac{c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + c_4^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + c_N^2}{N}}$$

RMS বেগ (c)-কে পরম তাপমাত্রা ও মোলার ভরের সাথে সম্পর্ক স্থাপন করে নিম্ন সমীকরণ দ্বারাও প্রকাশ করা হয় :

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

গ্যাসের অণুসমূহের মোট গতিশক্তি নির্ণয়ের জন্য RMS বেগ প্রয়োজন।

গ্যাসের RMS বেগ (c) এর পরম তাপমাত্রা ও মোলার ভর ভিত্তিক সমীকরণটি আদর্শ গ্যাসের গতীয় সমীকরণ থেকে নিম্নরূপে প্রতিপাদন করা যায়। যেমন,

$PV = \frac{1}{3} mNc^2$; এখানে $N = N_A$ (অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা) হলে তখন mN_A এর হবে 1 mol গ্যাস অণুর ভর বা গ্যাসের গ্রাম আণবিক ভর (M)।

$\therefore PV = \frac{1}{3}. Mc^2$, বজ্র গুণন করে পাই –

বা, $c^2 = \frac{3PV}{M}$; আবার এক মোল গ্যাসের জন্য, $PV = RT$

বা, $c^2 = \frac{3RT}{M}$

$\therefore c = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$। এ সমীকরণ ব্যবহার করে বিভিন্ন গ্যাসের বিভিন্ন কেলভিন তাপমাত্রায় RMS বেগ গণনা করা হয়।

(২) গড় গতিবেগ (mean velocity) : কোনো গ্যাসের অণুগুলোর বিভিন্ন গতিবেগের পাটীগণিতীয় গড়কে ঐ গ্যাসের অণুগুলোর গড় গতি বেগ বলা হয়। গড় গতিবেগকে $\bar{c}$ (সি-বার) দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন, একটি গ্যাস পাত্রে গ্যাসের N সংখ্যক অণু আছে, এদের গতিবেগ যথাক্রমে $c_1, c_2, c_3, c_4 \ldots\ldots\ldots\ldots c_N$। সেক্ষেত্রে ঐ গ্যাসের গড় গতিবেগ, $\bar{c} = \frac{(c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + \ldots\ldots\ldots\ldots c_N)}{N}$

গড় গতিবেগ $\bar{c}$, আণবিক ভর (M) ও কেলভিন তাপমাত্রার মধ্যে নিম্নরূপ সম্পর্ক আছে : $\bar{c} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$

জেনে নাও : RMS বেগ ও গড় বেগ–এ দু'প্রকার বেগের মধ্যে মানগত পার্থক্য আছে। গড় বেগের মান থেকে RMS বেগের মান বেশি হয়; গড় বেগের মান কম থাকে। যেমন, মনে করি তিনটি গ্যাস অণুর বেলায় নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় প্রতি সেকেন্ডে গতিবেগ হলো 2, 3, 4 cm।

এখন, গ্যাস অণুর গড় গতি বেগ, $\bar{c} = \frac{(2 + 3 + 4)}{3} = 3\ cms^{-1}$

আবার গ্যাস অণুর RMS বেগ, $c = \sqrt{\frac{(2)^2 + (3) + (4)^2}{3}} = 3.109\ cms^{-1}$

$\therefore$ RMS বেগ এর মান গড় বেগের মান থেকে কিছুটা বেশি হয়।

(৩) সম্ভাব্যতম বেগ : গ্যাসের গতি তত্ত্ব মতে, অনবরত সংঘর্ষে রত গ্যাস অণুগুলোর বেগ সব সময় পরিবর্তিত হয়। গ্যাস অণুগুলোর মধ্যে নিম্নবেগ থেকে উচ্চ বেগের–সব ধরণের বেগ যুক্ত অণু থাকে।

বিজ্ঞানী ম্যাক্সওয়েল তাঁর 'সম্ভাবনা-তত্ত্বের' (theory of probability) ভিত্তিতে গাণিতিক উপায়ে প্রমাণ করেন যে, কোনো গ্যাসের **অধিকাংশ অণু এদের মধ্যে আন্তঃসংঘর্ষের কারণে কোনো একটি নির্দিষ্ট মুহূর্তে একটি বিশেষ বেগ লাভ করে থাকে। বিশেষ মুহূর্তের এ অধিকাংশ অণুর বিশেষ বেগকে সম্ভাব্যতম বেগ বলা হয়**। সম্ভাব্যতম বেগকে α (আল্‌ফা) দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

ম্যাক্সওয়েল সম্ভাব্যতম বেগ (α) কে আণবিক ভর ও কেলভিন তাপমাত্রার সাথে নিম্নরূপ সম্পর্কযুক্ত করে প্রকাশ করেন

সম্ভাব্যতম বেগ, $\alpha = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$

গ্যাসের তিন ধরণের বেগের মধ্যে নিম্নরূপ সম্পর্ক রয়েছে। যেমন,

সম্ভাব্যতম বেগ, $\alpha = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = 1.29 \times 10^4 \times \sqrt{\frac{T}{M}}$ cm.s^{-1}

গড় বেগ, $\bar{c} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = 1.45 \times 10^4 \times \sqrt{\frac{T}{M}}$ cm.s^{-1}

RMS বেগ, $c = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = 1.58 \times 10^4 \times \sqrt{\frac{T}{M}}$ cm.s^{-1}

অতএব, $\alpha : \bar{c} : c = 1.29 : 1.45 : 1.58$

অর্থাৎ,, $\alpha : \bar{c} : c = 1.0 : 1.12 : 1.22$

বর্গমূল –গড় –বর্গ গতিবেগ প্রয়োজনীয় কেন?

বর্গমূল–গড়–বর্গ গতিবেগ (c) হচ্ছে এমন একটি বেগ, যা প্রতিটি অণুর সাধারণ গতিবেগ ধরে অণুসমূহের গতিশক্তি হিসাব করলে তাদের প্রকৃত মোট গতিশক্তি পাওয়া যায়। গড় গতিবেগ $\bar{c}$ বা সবচেয়ে সম্ভাব্য গতিবেগ α হতে সরাসরি গতিশক্তি পাওয়া যায় না।

মনে করি, একটি গ্যাসের নমুনায় N সংখ্যক অণু আছে, এদের গতিবেগ যথাক্রমে c_1, c_2, c_3 .....c_N এবং প্রতিটি অণুর ভর m.।

∴ অণুসমূহের মোট গতিশক্তি

$$= \frac{1}{2} mc_1^2 + \frac{1}{2} mc_2^2 + \frac{1}{2} mc_3^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + \frac{1}{2} mc_N^2$$

$$= \frac{1}{2} m (c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + c_N^2) \quad \ldots\ldots\ldots (১)$$

আবার প্রতিটি অণুর সাধারণ গতিবেগ c ধরা হলে প্রতিটি অণুর গতিশক্তি $= \frac{1}{2} mc^2$। সুতরাং Nটি অণুর সর্বমোট

গতিশক্তি $= \frac{1}{2} mNc^2 = \frac{1}{2} m.N. \left\{ \sqrt{\frac{(c_1^2+c_2^2+c_3^2+\ldots\ldots\ldots+c_N^2)}{N}} \right\}^2$

$$= \frac{1}{2} mN \frac{(c_1^2+c_2^2+c_3^2+\ldots\ldots\ldots+c_N^2)}{N}$$

$$\frac{1}{2} m (c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + c_N^2) \quad \ldots\ldots\ldots (২)$$

সমীকরণ (১) ও (২) তুলনামূলক করলে দেখা যায় যে,. বর্গমূল–গড়-বর্গ গতিবেগকে প্রতিটি অণুর সাধারণ গতিবেগ ধরে অণুসমুহের মোট গতিশক্তি হিসাব করা হলে তা প্রকৃত গতিশক্তির সমান হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৫৫ : RMS বেগ গণনা :

STP তে একটি গ্যাসের ঘনত্ব 1.25 gL^{-1} হয়। 27°C তাপমাত্রায় গ্যাসটির অণুসমূহের RMS বেগ বের কর।

দক্ষতা : প্রথমে গ্যাসটির মোলার ভর বের কর। পরে $c = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ ব্যবহার কর।

সমাধান : STP তে 1L গ্যাসের ভর = 1.25g;

∴ 22.4L গ্যাসের ভর = 1.25g × 22.4 = 28g = 1 mol গ্যাস।

$c = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$; এখানে R = 8.314 $JK^{-1}\,mol^{-1}$,

T = (273 + 27) = 300K

M = 28g mol^{-1} = 28 × 10^{-3} kg mol^{-1}

$$\therefore c = \sqrt{\frac{3 \times 8.314 JK^{-1}mol^{-1} \times 300K}{28 \times 10^{-3}\,kg\,mol^{-1}}} = 516.9\ ms^{-1}$$

সমাধানকৃত সমস্যা –১.৫৬ : 21°C তাপমাত্রায় এবং 720 mm (Hg) চাপে CO_2 অণুর বর্গমূল গড়-বর্গ গতিবেগ (r.m.s বেগ) নির্ণয় কর।

সমাধান : যে কোন গ্যাসের RMS বেগের জন্য, R এর একক $Jmol^{-1}\,K^{-1}$, তাপমাত্রার একক K এবং আণবিক ভরের একক $kgmol^{-1}$ হবে। তখন c এর মান ms^{-1} হবে।

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

$$c = \sqrt{\frac{3 \times 8.314\ JK^{-1}\,mol^{-1} \times 294K}{44 \times 10^{-3}\,kgmol^{-1}}}$$

$= \sqrt{16.666 \times 10^4 m^2 s^{-2}}$

$= 408.24\ ms^{-1}$ **(উত্তর)**

এখানে R = 8.314 $JK^{-1}\,mol^{-1}$

T = (21+273) = 294 K

M = 44 $gmol^{-1}$ = 44 × 10^{-3} $kgmol^{-1}$

[∴ CO_2 এর আণবিক ভর = 44]

[∴ IJ = IN.m = $1kgms^{-2}.m = 1kgm^2s^{-2}$]

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৫৭ : S.T.P তে একটি গ্যাসের ঘনত্ব 1.25 gL^{-1}; 27°C তাপমাত্রায় এবং 700 mm (Hg) চাপে গ্যাসটির অণুসমূহের বর্গমূল গড় –বর্গবেগ (r,m,s বেগ) নির্ণয় কর।

সমাধান : প্রশ্নমতে, S.T.P তে 1L. গ্যাসের ভর = 1.25 g [∵ STP তে গ্যাসের ঘনত্ব = 1.25 gL^{-1}]

∴ STP-তে 22.4L গ্যাসের ভর = 1.25 × 22.4g = 28 g = 1 mol

∴ গ্যাসটির আণবিক ভর = 28;

গ্যাসের গতিতত্ত্ব হতে আমরা জানি,

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

$$\therefore c = \sqrt{\frac{3 \times 8.314\ JK^{-1}\,mol^{-1} \times 300\ K}{28 \times 10^{-3} kgmol^{-1}}}$$

$= \sqrt{26.72 \times 10^4}\ ms^{-1}$

$= 5.169 \times 10^2\ ms^{-1}$ **(উত্তর)**

এখানে, R = 8.314 $JK^{-1}\,mol^{-1}$

T = (273 + 27)K = 300 K

M = 28 $gmol^{-1}$ = 28 × 10^{-3} $kgmol^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা ১.৫৮ : 25°C তাপমাত্রায় একটি গ্যাসের ঘনত্ব 1.75 g/L হলে ঐ তাপমাত্রায় গ্যাসটির অণুসমূহের r. m. s. বেগ নির্ণয় কর।

সমাধান : 25°C তাপমাত্রায় বা SATP–তে গ্যাসের মোলার আয়তন হয় 24.789L : এবং প্রশ্নমতে গ্যাসটির ঘনত্ব 1.75 g/L সুতরাং 25°C গ্যাসটির 1 mol বা গ্রাম আণবিক ভর = $1.75 \times 24{,}789$ g = 43.38 g.

কোন গ্যাসের r. m. s বেগ, $c = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$

এখানে, $R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$

$\therefore c = \sqrt{\frac{3 \times 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1} \times 298}{43.38 \times 10^{-3}\ kgmol^{-1}}}$

$T = (25 + 273)\ K = 298\ K$

$M = 43.38 \times 10^{-3}\ kgmol^{-1}$

$\therefore c = 413.932\ ms^{-1}$ **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা -১.৫৯ : 0°C তাপমাত্রায় একটি গ্যাসের r.m.s. বেগ 49330 cms^{-1} হলে গ্যাসটির- আণবিক ভর কত?

সমাধান : কোন গ্যাসের বর্গমূল গড় বর্গবেগ,

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

বা, $c^2 = \frac{3RT}{M}$

$M = \frac{3RT}{c^2}$

এখানে, r. m. s বেগ, $c = 49330\ cms^{-1} = 493.3\ ms^{-1}$

মোলার গ্যাস ধ্রুবক, $R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$

গ্যাসের তাপমাত্রা, $T = 273\ K$

কি . গ্রামে আ. ভর, $M = ?\ (kgmol^{-1})$

$\therefore M = \frac{3 \times 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1} \times 273\ K}{(493.3\ ms^{-1})^2}$

$= \frac{3 \times 8.314 \times 273 \times kgms^{-2} \times m \times K^{-1}mol^{-1} \times K}{243344.89\ m^2s^{-2}}$ $[\because [J = N\ m = kgms^{-2}\ m]$

$= 0.027981545\ kgmol^{-1}$

$\therefore$ যৌগটির কি. গ্রাম আণবিক ভর = $0.027981545\ kgmol^{-1}$

অর্থাৎ গ্রাম আণবিক ভর = $0.027981545 \times 10^3\ gmol^{-1} = 27.98\ gmol^{-1}$ (প্রায়)

$\therefore$ নির্ণেয় আণবিক ভর = 27.98 (প্রায়) **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৬০ : কত তাপমাত্রায় CO_2 এর বর্গমূল গড় বর্গবেগ, 20°C বা 293 K তাপমাত্রায় Cl_2 এর বর্গমূল গড় বর্গবেগের সমান হবে?

সমাধান :

কোন গ্যাসের বর্গমূল গড় বর্গবেগ,

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

ক্লোরিন গ্যাসের বেলায়;

$c_1 = \sqrt{\frac{3 \times 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1} \times 293\ K}{71 \times 10^{-3}\ kgmol^{-1}}} = 320.826\ msec^{-1}$

আবার CO_2 গ্যাসের বেলায়;

$c_2 = \sqrt{\frac{3 \times 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1} \times T_2K}{44 \times 10^{-3}\ kgmol^{-1}}}$

$\therefore 320.826\ msec^{-1} = \sqrt{566.8636\ m^2sec^{-2}\ T_2}$

$\therefore (320.826\ msec^{-1})^2 = 566.8636\ m^2sec^{-2} \times T_2$

প্রশ্নমতে, Cl_2 এর বেলায়;

$R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$

$T_1 = (20 + 273)K = 293\ K$

$M_1 = 71 \times 10^{-3}\ kgmol^{-1}$

$c_1 = ?$

CO_2 গ্যাসের বেলায়;

$T_2 = ?$

$M_2 = 44 \times 10^{-3}\ kgmol^{-1}$

$c_2 = c_1$

বা, $102929.32\ m^2sec^{-2} = 566.8636\ m^2sec^{-2}\ T_2$

$\therefore T_2 = \frac{102929.32}{566.8636} = 181.57\ K$

$\therefore$ নির্ণেয় তাপমাত্রা $= (181.57–273)°C = -91.43°C$

উত্তর : - 91.43°C তাপমাত্রায় CO_2 গ্যাসের r. m. s বেগ 20°C তাপমাত্রায় Cl_2 এর r.m.s. বেগের সমান।

১.৫.২ গ্যাসের কণার গতিশক্তি হিসাব

Calculation of E_k of Gas particles

আদর্শ গ্যাসের গতীয় সমীকরণ ($PV = \frac{1}{3} m Nc^2$) থেকে গ্যাস অণুর গড় গতিশক্তি নির্ণয় করা যায়। মনে করি V আয়তনের পাত্রে T কেলভিন তাপমাত্রায় ও P চাপে কোনো একটি আদর্শ গ্যাস আছে। তখন গ্যাসের গতীয় সমীকরণ মতে,

$PV = \frac{1}{3} m Nc^2$ এক্ষেত্রে, m = গ্যাসের প্রতিটি অণুর ভর

N = গ্যাসের মোট অণুর সংখ্যা

c = গ্যাসের RMS বেগ

আদর্শ গ্যাসের গতীয় সমীকরণটিকে বিন্যস্ত করে পাই;

$PV = \frac{1}{3} mN_Ac^2$; এক মোল গ্যাসের জন্য $N = N_A$ (অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা)

$= \frac{2}{3} N_A \cdot \frac{1}{2} mc^2$;

বা, $\frac{1}{2} mc^2 = \frac{3PV}{2N_A}$;

বা, $E_k = \frac{3PV}{2N_A} = \frac{3RT}{2N_A}$; এখানে, E_K = একটি অণুর গড় গতিশক্তি।

$\therefore$ এক মোল গ্যাসের অণুর গতি শক্তি,

$E_{K_1} = \frac{3 \times RT}{2}$; এখানে E_{K_1} হলো এক মোল গ্যাসের গতিশক্তি প্রকাশক প্রতীক।

n মোল গ্যাসের অণু সমূহের গতিশক্তি হবে :

$E_{K_n} = \frac{3nRT}{2}$

উদাহরণ : 298K তাপমাত্রায় একটি CO_2 অণুর গড় গতিশক্তি গণনার জন্য

$E_K = \frac{3RT}{2N_A}$ সমীকরণে $R = 8.314 J\ K^{-1}.mol^{-1}$; $T = 298K$

এবং $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ molecules mol^{-1} বসিয়ে পাই,

$E_k = \frac{3 \times 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1} \times 298K}{2 \times 6.022 \times 10^{23}\ molecules\ mol^{-1}} = 6.17 \times 10^{-21}\ J.molecule^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা– ১.৬১ : 25°C তাপমাত্রায় 1g CO_2 গ্যাসের অণুসমূহের গতিশক্তি বের কর।

দক্ষতা : n মোল গ্যাসের গতিশক্তি $= \frac{3}{2}$ n RT প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : CO_2 আণবিক ভর = 44;

$\therefore$ 44g CO_2 = 1 mol CO_2

$\therefore$ 1g $CO_2 = \frac{1}{44}$ mol CO_2

গ্যাসের গতিতত্ত্ব থেকে আমরা জানি,

n mol গ্যাসের অণুসমূহের গতিশক্তি, $E_{Kn} = \frac{3}{2}$ nRT

$\therefore \frac{1}{44}$ mol CO_2 এর অণুসমুহের গতিশক্তি $= \frac{3}{2} \times \frac{1 \text{ mol RT}}{44}$; এখানে $R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$

$\therefore$ নির্ণেয় গতিশক্তি, $T = (25 + 273)\ K = 298\ K$

$E_k = \frac{3}{2} \times \frac{1 \text{ mol}}{44} \times 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1} \times 298\ K$

$= 84.46\ J$ (**উত্তর**)

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৬২ : 27C তাপমাত্রায় 16g অক্সিজেনের গতিশক্তি গণনা কর।

দক্ষতা : n মোল গ্যাসের গতিশক্তি $= \frac{3}{2}$ nRT প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : O_2 গ্যাসের আণবিক ভর = 32

$\therefore$ 32 g O_2 গ্যাস = 1 mol O_2 গ্যাস

$\therefore$ 16 g O_2 গ্যাস $= \frac{1 \times 16}{32} = 0.5$ mol O_2 গ্যাস

আমরা জানি, n মোল গ্যাসের গতিশক্তি $= \frac{3}{2}$ nRT; এক্ষেত্রে, n = 0.5 mol

$\therefore$ 0.5 মোল O_2 গ্যাসের গতিশক্তি হবে – $R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$

$E_K = \frac{3}{2} \times 0.5 \text{ mol} \times 8.314\ JK^{-1}.mol^{-1} \times 300K$ $T = (27 + 273)\ K = 300K$

$\therefore$ $E_K = 1870.65J$ (**উত্তর**)

শিক্ষার্থী নিজে কর : গ্যাসের অণুর গতিবেগ ও গতিশক্তি ভিত্তিক সমস্যা :

সমস্যা . ১.৮৯ (ক) : 30°C তাপমাত্রায় O_2 গ্যাসের RMS বেগ কত হবে? [উ: 485.97 ms^{-1}]

সমস্যা -১.৮৯(খ) : কত তাপমাত্রায় H_2 এর RMS বেগ 1961.56 ms^{-1} হবে? [উ: 38°C]

সমস্যা- ১.৮৯ (গ) : 25°C তাপমাত্রায় একটি গ্যাসের ঘনত্ব 1.75 gL^{-1} হয়। ঐ তাপমাত্রায় গ্যাসটির অণুসমূহের RMS বেগ কত হবে? [উ: 413.93 ms^{-1}]

সমস্যা- ১.৮৯ (ঘ) : কত তাপমাত্রায় CO_2 এর RMS বেগ 20°C-এ Cl_2 এর RMS বেগের সমান হবে? [উ: 91.43°C]

সমস্যা–১.৮৯(ঙ) : 0°C তাপমাত্রায় একটি গ্যাসের RMS বেগ 493.3 ms^{-1} হলে গ্যাসটির আণবিক ভর কত? [উ: 28]

সমস্যা –১.৮৯ (চ) : 25°C তাপমাত্রায় H_2 এর RMS বেগ N_2 এর RMS বেগের তুলনায় কতগুণ বেশি? [উ: 3.742 গুণ]

সমস্যা-১.৯০ (ক) : 30°C তাপমাত্রায় প্রতি মোল হিলিয়াম ও জেননের গড় গতিশক্তি বের কর। [উ: $E_K = 3.778 \times 10^3 J/mol$ সমান]

সমস্যা-১.৯০ (খ) : 25°C তাপমাত্রায় এক মোল CO_2 এর অণুগুলোর গড় গতিশক্তি বের কর। [উ: 3716.24

সমস্যা-১.৯০ (গ) : 17°C তাপমাত্রায় এক মোল N_2 গ্যাসের গতিশক্তি কত? [উ: 3616.59 $Jmol^{-1}$]

[চ. বো. ২০১৬]

১.৬ আদর্শ গ্যাস ও বাস্তব গ্যাস
Ideal Gas and Real Gas

গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্বের স্বীকার্য মতে, গ্যাসের অণুগুলোকে সূক্ষ্ম কণারূপে গণ্য করা হয়েছে। এ কণাগুলো সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক, কণাগুলোর আয়তন নগণ্য এবং এদের গতিশক্তি কেলভিন তাপমাত্রা দ্বারা নিয়ন্ত্রিত। এ সব বৈশিষ্ট্য হলো আদর্শ গ্যাসের।

আদর্শ গ্যাস : যে সব গ্যাস সব তাপমাত্রায় ও চাপে বয়েলের সূত্র, চার্লসের সূত্র ও অ্যাভোগাড্রো সূত্র পুরোপুরি মেনে চলে তাদেরকে আদর্শ গ্যাস বলে।

সারণি ১.৫: বাস্তব গ্যাসের মোলার আয়তন (STP তে)

গ্যাস	মোলার আয়তন Vm	ঘনীভবন তাপমাত্রা °C
1. He :	22.435	– 268.9
2. H_2 :	22.432	– 252.8
3. Ne :	22.422	– 246.1
আদর্শ গ্যাস	22.414	
4. Ar :	22.397	– 185.9
5. N_2 :	22.396	– 195.8
6. O_2 :	22.390	– 183.0
7. CO :	22.388	– 191.5
8. Cl_2 :	22.184	– 34.0
9. NH_3 :	22.079	– 33.4

আদর্শ গ্যাসের বৈশিষ্ট্যসূচক দুটি মানদণ্ড হলো :

(১) আদর্শ গ্যাস সকল তাপমাত্রা ও চাপে $PV = nRT$ সমীকরণ মেনে চলে। (২) স্থির তাপমাত্রায় আদর্শ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি এর আয়তনের উপর নির্ভরশীল নয়। অর্থাৎ $\left(\frac{\delta u}{\delta V}\right)_T = 0$, এখানে u = গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি, V = গ্যাসের আয়তন এবং T = কেলভিন তাপমাত্রা বোঝায়। বাস্তবে H_2, N_2, O_2, CO_2, CH_4 ইত্যাদি গ্যাসের অণুসমূহের ভর ও আয়তন আছে এবং অণুগুলোর মধ্যে আকর্ষণ বিকর্ষণ রয়েছে। এ সব তথ্য থেকে বোঝা যায়, গ্যাস অণুগুলোর এসব বাস্তব বৈশিষ্ট্য তাদেরকে আদর্শ আচরণ থেকে বিচ্যুত করে। তাই নিম্নতাপমাত্রায় ও উচ্চচাপে রাখা গ্যাসের আচরণ ব্যাখ্যার জন্য আদর্শ গ্যাস সমীকরণ $PV = nRT$ এর সংশোধন দরকার হবে। আদর্শ তাপমাত্রা ও চাপে আদর্শ গ্যাসের মোলার আয়তন 22.414L থেকে কিছু সাধারণ গ্যাস বা বাস্তব গ্যাসের মোলার আয়তনের ভিন্নতা দেখায় (সারণি- ১.৫)।

বাস্তব গ্যাস বা অনাদর্শ গ্যাস : আন্তঃআণবিক আকর্ষণ ও পরিবর্তনশীল আয়তনবিশিষ্ট বাস্তবে যে সব গ্যাস যেমন H_2, N_2, O_2, CO_2, CH_4 ইত্যাদি পাওয়া যায় তাদেরকে **বাস্তব গ্যাস বা অনাদর্শ গ্যাস** বলে।

বাস্তব গ্যাসের বৈশিষ্ট্য : (১) বাস্তব গ্যাসগুলো পুরোপুরিভাবে গ্যাসীয় সমীকরণ $PV = nRT$ মেনে চলে না।

(২) 1 atm চাপ বা তার নিচে এবং উচ্চ তাপমাত্রায় বাস্তব গ্যাসসমূহ মোটামুটি আদর্শ আচরণ করে।

(৩) চাপ যতই নিম্ন এবং তাপমাত্রা যতই উচ্চ হয়, বাস্তব গ্যাসসমূহের আচরণ ততই আদর্শ গ্যাসের ন্যায় হয়। কিন্তু উচ্চচাপ ও নিম্নতাপমাত্রায় আদর্শ আচরণ থেকে বাস্তব গ্যাসের যথেষ্ট বিচ্যুতি ঘটে।

(৪) বাস্তব গ্যাসের জন্য প্রযোজ্য হলো ভ্যানডার ওয়ালস্ সমীকরণ; যেমন $\left(P + \frac{n^2a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$

* আদর্শ গ্যাস ও বাস্তব গ্যাসের তুলনা :

আদর্শ গ্যাস	বাস্তব গ্যাস
১। **সংজ্ঞা :** যে সব গ্যাস সব অবস্থায় বয়েলের সূত্র ও চার্লসের সূত্র মেনে চলে তাদেরকে আদর্শ গ্যাস বলে। আদর্শ গ্যাস একটি কাল্পনিক ধারণা।	১। যে সব গ্যাস বাস্তবে পাওয়া যায় এবং গ্যাস সূত্রসমূহ সঠিকভাবে মেনে চলে না তাদেরকে বাস্তব গ্যাস বলে। যেমন H_2, O_2, N_2, CO_2 ইত্যাদি।
২। **আণবিক আকর্ষণ :** আদর্শ গ্যাসের অণুসমূহের মধ্যে কোন আকর্ষণ বা বিকর্ষণ নেই।	২। বাস্তব গ্যাসের অণুসমূহের মধ্যে আকর্ষণ বিকর্ষণ বল বিদ্যমান।
৩। **অণুসমূহের আয়তন :** আদর্শ গ্যাসের অণুসমূহের মোট আয়তন গ্যাস দ্বারা দখলকৃত আয়তনের তুলনায় নগন্য; তাই হিসাবে গণ্য করা হয় না।	৩। বাস্তব গ্যাসের অণুসমূহের মোট আয়তন গ্যাস দ্বারা দখলকৃত আয়তনের তুলনায় নগন্য নয়; তাই হিসাবে গণ্য করা হয়।
৪। **আদর্শ গ্যাস সমীকরণ :** আদর্শ গ্যাসসমূহ আদর্শ গ্যাস সমীকরণ : $PV = nRT$ মেনে চলে।	৪। বাস্তব গ্যাস ভ্যানডার ওয়ালস্ সমীকরণ : $\left(P + \frac{n^2a}{V_2}\right)(V - nb) = nRT$ মেনে চলে।
৫। **অভ্যন্তরীণ শক্তি :** আদর্শ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি আয়তনের উপর নির্ভরশীল নয়। অর্থাৎ $\left(\frac{U}{V}\right)_T = 0$	৫। বাস্তব গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি গ্যাসের আয়তনের উপর নির্ভরশীল।
৬। **সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক Z :** আদর্শ গ্যাসের বেলায় সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক $(Z) = 1$	৬। বাস্তব গ্যাসের বেলায়, সংকোচনশীলতা গুনাঙ্ক (Z) এর মান H_2 ও He এর বেলায় 1 অপেক্ষা বেশি এবং CO_2, N_2, O_2, CH_4 ইত্যাদির বেলায় 1 থেকে কম হয়। $\frac{PV}{RT} = Z \neq 1$

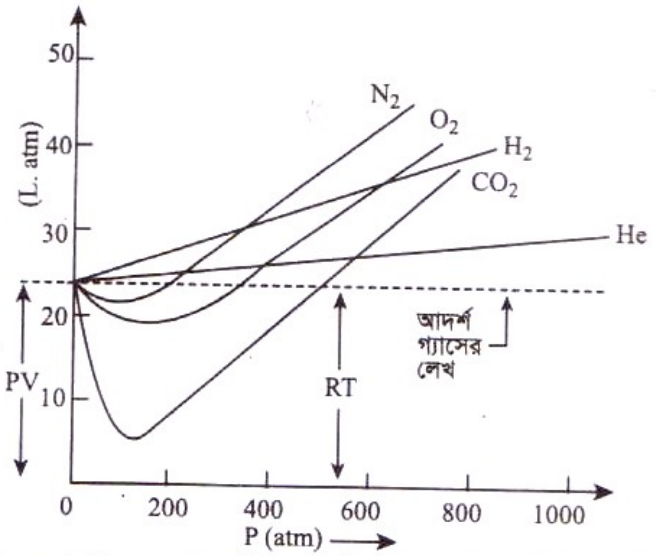
জেনে নাও : ইতোপূর্বে কষা কয়েকটি উদাহরণ থেকে আমরা দেখেছি যে, গ্যাসের অণুসমূহ খুবই দ্রুতগতিতে ধাবমান। হাইড্রোজেনের আণবিক ভর সবচেয়ে কম হওয়ায় এর অণুসমূহের গতিবেগ সবচেয়ে বেশি। হাইড্রোজেন অণুর বর্গমূল গড়-বর্গ গতিবেগ 25°C বা কক্ষতাপমাত্রায় সেকেন্ডে প্রায় 1920.12 ms^{-1} হয়। অক্সিজেন, নাইট্রোজেন গ্যাসের অণুসমূহের বর্গমূল গড়-বর্গ গতিবেগ সেকেন্ডে প্রায় 500 m। অনেক অণুর গতিবেগ এ মান অপেক্ষা বেশি, কিছু অণুর বেগ অনেক বেশি, আবার কিছু অণুর বেগ এ মান অপেক্ষা কম।

১.৭. বাস্তব গ্যাসসহ অ্যামাগা'র পরীক্ষা
Amagat's Experiment with Real Gases

১৮৮০ খ্রিস্টাব্দে ফরাসি বিজ্ঞানী অ্যামগা (Amagat, প্রকৃত উচ্চারণ অ্যামাগা) স্থির তাপমাত্রায় বিভিন্ন চাপে গ্যাসের আয়তন মেপে লেখচিত্রে PV এর বিপরীতে P এর মান বসিয়ে প্রাপ্ত লেখচিত্রে লক্ষ করেন যে, বাস্তব গ্যাসসমূহ আদর্শ আচরণ থেকে বিচ্যুত হয় অর্থাৎ $PV = nRT$ সমীকরণ মেনে চলে না। যদি কোন গ্যাস আদর্শ আচরণ করে, তবে স্থির তাপমাত্রায় PV এর মান ধ্রুব থাকত, অর্থাৎ P অক্ষের (x অক্ষ) সমান্তরাল একটি সরলরেখা পাওয়া যেত। স্থির তাপমাত্রায় PV বনাম P রেখাকে **অ্যামাগা বক্ররেখ** (Amagat's curve) বলা হয়। অ্যামাগা প্রধানত দু'ধরনের লেখ পান। যেমন;

(১) প্রথম ধরনের লেখ সাধারণ তাপমাত্রায় H_2, He প্রভৃতি গ্যাসের ক্ষেত্রে পাওয়া যায়। এ সব গ্যাসের ক্ষেত্রে চাপ বৃদ্ধির সাথে সাথে PV এর মান ক্রমাগত বাড়ে অর্থাৎ PV এর মান আদর্শ গ্যাস – এর প্রত্যাশিত মান অপেক্ষা বেশি হয়। এদের বেলায় পেষণ-মাত্রা কম থাকে। এদের লেখগুলো সরল রেখা হয়ে থাকে।

(২) আবার O_2, N_2, CO_2 প্রভৃতি গ্যাসের ক্ষেত্রে দ্বিতীয় ধরনের লেখ পাওয়া যায়। এক্ষেত্রে চাপ বৃদ্ধির সাথে সাথে প্রথমে PV এর মান আদর্শ মান হতে ক্রমাগত কমতে থাকে এবং এক সময় তা একটি ন্যূনতম মানে পৌঁছে, তারপর চাপ বৃদ্ধির সাথে বাড়তে থাকে এবং আদর্শ মান অপেক্ষা বেশি হয়। এদের বেলায় চাপ বৃদ্ধির সাথে প্রথম দিকে পেষণ-মাত্রা বেশি থাকে। PV এর মান ন্যূনতম হওয়ার পর পেষণ-মাত্রা ধীরে ধীরে হ্রাস পায়। এদের লেখগুলো বক্র লেখ হয়।



চিত্র - ১.১৬ : অ্যামাগারর বক্র লেখচিত্র। আদর্শ আচরণ থেকে বাস্তব গ্যারে বিচ্যুতি ।
0°C তাপমাত্রায় 1 mole গ্যাসের PV বনাম P লেখ চিত্র।

তাপমাত্রার প্রভাব : H_2, He প্রভৃতি প্রথম ধরনের গ্যাসের ক্ষেত্রে তাপমাত্রা কমাতে থাকলে তাদের লেখ পরিবর্তিত হতে থাকে এবং অবশেষে এ সব গ্যাসের ক্ষেত্রেও রেখাটি দ্বিতীয় ধরনের হয়। আবার যথেষ্ট উচ্চ তাপমাত্রায় N_2, O_2, CO_2 প্রভৃতি দ্বিতীয় ধরনের গ্যাসের লেখ প্রথম ধরনের লেখের অনুরূপ হয়। এ থেকে নিম্নরূপ সিদ্ধান্ত করা যায়।

সিদ্ধান্তসমূহ : (১) আদর্শ আচরণ থেকে বাস্তব গ্যাসের বিচ্যুতির প্রকার গ্যাসের প্রকৃতির উপর নয়, বরং তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে। (২) সাধারণভাবে গ্যাসের ওপর প্রযুক্ত চাপ যত বেশি হয়, গ্যাসের আদর্শ আচরণ হতে তত বেশি বিচ্যুতি ঘটে।

১.৭.১ বাস্তব গ্যাসের সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক বা পেষণ গুণাঙ্ক ও আদর্শ আচরণ

Compressibility factor & Ideal behaviour of Real Gases

অ্যামাগার পরীক্ষার সিদ্ধান্ত থেকে জানা যায় যে, বাস্তব গ্যাসসমূহ আদর্শ আচরণ থেকে বেশ বিচ্যুতি দেখায়। আদর্শ আচরণ থেকে বাস্তব গ্যাসের বিচ্যুতির ব্যাখ্যা সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক বা পেষণ–গুণাঙ্ক (Z) দ্বারা ব্যাখ্যা করা হয়। পেষণ–গুণাঙ্ক (Z) আদর্শ গ্যাস সমীকরণের সাথে নিম্নরূপে সম্পর্কিত ঃ

$$PV = Z\,nRT \quad \therefore \text{ পেষণ গুণাঙ্ক, } Z = \frac{PV}{nRT}$$

এক মোল আদর্শ–গ্যাসের বেলায়, $PV = RT$ হয়। তখন $\frac{PV}{RT} = 1$ হয়। আবার একই তাপমাত্রা ও চাপে এক মোল বাস্তব গ্যাস ও এক মোল আদর্শ গ্যাসের সমীকরণকে নিম্নরূপে লেখা যায়।

$Z = \frac{PV}{RT}$ .....(1) এবং $1 = \frac{PV_0}{RT}$ .... (2) এখানে V_0 হলো আদর্শ গ্যাসের মোলার আয়তন।

এখন (1) নং কে (2) নং দিয়ে ভাগ করে পাই –

$$Z = \frac{V}{V_0} = \frac{\text{বাস্তব গ্যাসের মোলার আয়তন}}{\text{আদর্শ গ্যাসের মোলার আয়তন}}$$

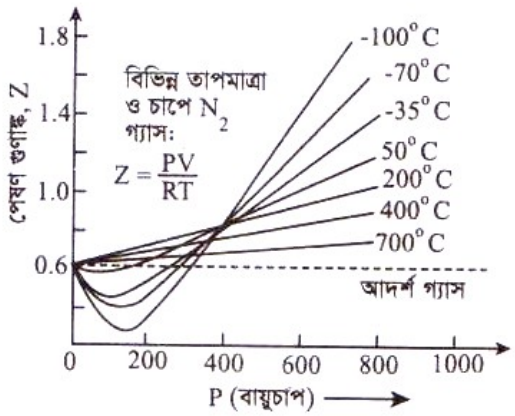
সুতরাং **সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক বা পেষণ গুণাঙ্ক প্রকৃতপক্ষে বাস্তব গ্যাসের মোলার আয়তন ও আদর্শ গ্যাসের মোলার আয়তনের অনুপাতকে প্রকাশ করে।**

(i) এক মোল আদর্শ-গ্যাসের বেলায়, $Z = 1$ হয়; Z এর মান P ও T এর উপর নির্ভরশীল। Z এর মান 1 হতে যত বেশি বা কম হবে, বাস্তব গ্যাসটি আদর্শ আচরণ থেকে ততই বিচ্যুত হবে।

(ii) যখন $Z > 1$ হয়; তখন গ্যাসটি আদর্শ গ্যাস অপেক্ষা কম পেষণ যোগ্য হয়। যেমন H_2, He, N_2 ইত্যাদি।

(iii) যখন $Z < 1$ হয়; তখন গ্যাসটি আদর্শ গ্যাস অপেক্ষা বেশি পেষণ যোগ্য হয়। যেমন CO_2, O_2 ইত্যাদি। এ সব গ্যাস পানিতে অধিক দ্রবণীয়।

(iv) গ্যাসের পেষণ গুনাঙ্ক, Z বনাম চাপ (P) লেখচিত্র থেকে জানা যায়; শূন্য চাপের নিকটে $Z = 1$ হয়; অর্থাৎ অতি নিম্নচাপে সব বাস্তব গ্যাস আদর্শ আচরণ করে।



চিত্র ১.১৭ : তাপমাত্রার বৃদ্ধিতে N_2 গ্যাসের আদর্শ আচরণ প্রদর্শন।

(v) আবার তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে N_2 লেখের বক্রতা হ্রাস পেয়ে লেখগুলো আদর্শ গ্যাসের লেখের নিকটবর্তী হতে থাকে। N_2 গ্যাসের বেলায় 700°C এ পেষণ গুণাঙ্ক বনাম চাপের লেখটি আদর্শ লেখের অতি নিকটবর্তী হয়। যে তাপমাত্রায় বাস্তব গ্যাস আদর্শ আচরণ করে, তাকে **বয়েলের তাপমাত্রা** (Boyle's temp.) বলা হয়।

১.৭.২ বাস্তব গ্যাসসমূহের আদর্শ আচরণের শর্ত
Conditions for Real Gases to behave Ideal

সাধারণত উচ্চ তাপমাত্রা ও নিম্ন চাপে অধিকাংশ বাস্তব গ্যাস মোটামুটিভাবে আদর্শ গ্যাস সূত্র মেনে চলে। যদিও অনেক বাস্তব গ্যাস (সারণি ১.৫ দ্রষ্টব্য) আদর্শ আচরণ থেকে সামান্য বিচ্যুতি দেখায়। লক্ষ কর, যে গ্যাসের ঘনীভবন তাপমাত্রা বা আদর্শ তরলের স্ফুটনাঙ্ক যতই STP থেকে দূরে থাকে এর বিচ্যুতির মাত্রা ততই বেশি।

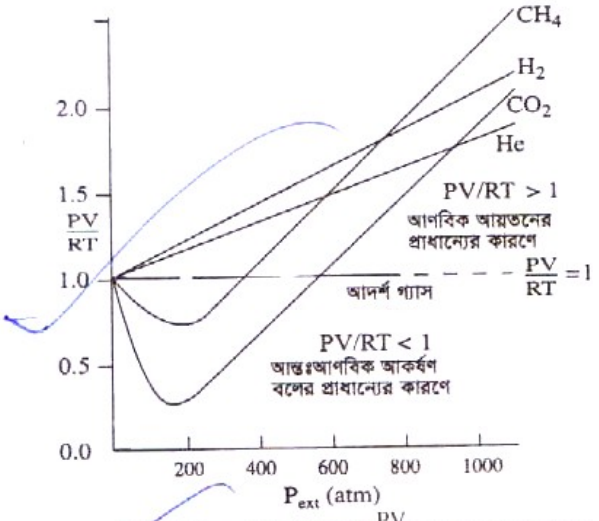
বাস্তব গ্যাসসমূহের আদর্শ আচরণ হতে বিচ্যুতির অর্থাৎ $PV = nRT$ পুরোপুরি না মানা,- এর দুটি কারণ আছে।

☆ প্রথমত, **আদর্শ গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্ব মতে, গ্যাসের অণুগুলোর মোট আয়তন গ্যাস পাত্রের মোট আয়তনের তুলনায় নগণ্য।** *হিসাব করে জানা গেছে, STP তে এক মোল গ্যাসের অণুগুলোর মোট আয়তন গ্যাস পাত্রের* মোট আয়তনের 0.05% হয়; যা মোটামুটিভাবে গতিতত্ত্বের স্বীকার্য মতে নগণ্য ধরা যায়। কিন্তু 500 atm ও 0°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের অণুগুলোর আয়তন হয় মোট আয়তনের 20% যা কখনো নগণ্য নয়। এ কারণে উচ্চচাপে বাস্তব গ্যাসের আয়তন আদর্শ গ্যাস সূত্রের গণনা থেকে বেশি হয়।

☆ দ্বিতীয়ত **আদর্শ গ্যাসের গতিতত্ত্বের অণুগুলোর মধ্যে কোনো আকর্ষণ বল নেই**-এই স্বীকার্যটিও নিম্নচাপের ক্ষেত্রে বাস্তব গ্যাসের জন্য মোটামুটি প্রযোজ্য; কারণ তখন অণুগুলোর আকর্ষণ বল কার্যকরী থাকে না। কিন্তু চাপ বাড়লে অণুগুলো খুব কাছে আসে; তখন আকর্ষণ বল কার্যকর হয়। সাধারণত আণবিক ব্যাসের 10 গুণ দূরত্ব থেকে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল কার্যকর হয় এবং দূরত্ব কমার সাথে এ বল বাড়ে। ফলে প্রদত্ত চাপে অণুগুলো কাছে আসাতে আয়তন কমে যায়।

সুতরাং **গ্যাসের আণবিক আয়তন গণ্য করলে মোট আয়তন V বেড়ে যায়**। অপরদিকে **আন্তঃআণবিক আকর্ষণ গণ্য করলে মোট আয়তন V কমে যায়** (অথবা প্রদত্ত V আয়তনে চাপ কমে যায়)। চাপমাত্রা মাঝামাঝি হলে এ দুই বিপরীত ফ্যাক্টর পরস্পরকে সাম্যাবস্থায় রাখে। কিন্তু অধিক চাপমাত্রা যেমন 350 atm এর উর্ধ্বে আণবিক আয়তনের প্রভাব প্রাধান্য পায়। তবে 10 atm থেকে কোনো কোনো গ্যাসে এর সুস্পষ্ট প্রভাব প্রাধান্য পায়।

[নিচে CO_2, CH_4, He, H_2 গ্যাসের PV/RT বনাম বাহ্যিক চাপ P_{ext} (atm) এর লেখচিত্রে তা সুস্পষ্ট হবে। CO_2, CH_4 এর আদর্শ আচরণ থেকে বিচ্যুতি একরকম; He ও H_2 এর ক্ষেত্রে বিচ্যুতি অন্যরকম।]



চিত্র- ১.১৮ : বাস্তব গ্যাসের $\frac{PV}{RT}$ বনাম P এর লেখ।

সারণি- ১.৬ : ভ্যানডার ওয়ালস ধ্রুবক

	গ্যাস	a ($atmL^2\ mol^{-2}$)	b ($Lmol^{-1}$)
1	He	0.034	0.0237
2	Ne	0.211	0.0171
3	Ar	1.350	0.0322
4	H_2	0.244	0.0266
5	N_2	1.350	0.0387
6	O_2	1.360	0.0318
7	Cl_2	6.490	0.0562
8	CH_4	2.253	0.0428
9	CO	1.450	0.0395
10	CO_2	3.590	0.0427
11	NH_3	4.170	0.0371

১.৭.৩ ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণ : বাস্তব গ্যাসের আদর্শ আচরণ থেকে বিচ্যুতির প্রতিকার :

বিজ্ঞানী ভ্যানডার ওয়ালস গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্বের দুটি স্বীকার্য যেমন 'গ্যাসের আণবিক আয়তন নগণ্য' এবং আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল' না থাকা;– এ সব বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে সঠিক নয় ; তা অনুধাবন করেন। যেমন, H_2, He, CO_2, CH_4, N_2, O_2 ইত্যাদির বেলায় $\frac{PV}{RT}$ বনাম P এর লেখচিত্র থেকে জানা যায় –

১. মধ্যম চাপে CO_2 ও CH_4 এর বেলায় আদর্শ গ্যাসের তুলনায় PV/RT<1; এর কারণ হলো 'আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বলের প্রাধান্য।

২. অধিক চাপে, এক্ষেত্রে আদর্শ গ্যাসের তুলনায় H_2 ও He এর বেলায় PV/RT >1; এর কারণ হলো আণবিক আয়তনের প্রাধান্য। এখানে PV/RT = Z, এ অনুপাতকে গ্যাসের সংকোচন গুণাঙ্ক বা পেষণ গুণাঙ্ক বলা হয়।

(i) আদর্শ গ্যাসের বেলায়, Z = 1 হয়।

(ii) Z এর মান 1 হতে যত বেশি বা কম হবে, বাস্তব গ্যাসটি আদর্শ আচরণ থেকে ততই বিচ্যুত হবে।

(iii) যখন Z<1 হয়, তখন আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বলের প্রাধান্যের জন্য গ্যাসটি অধিক পেষণযোগ্য হয়।

(iv) যখন Z >1 হয় তখন গ্যাসের আণবিক আয়তনের প্রাধান্য বশত গ্যাসটি কম পেষণযোগ্য হয়।

তাই ভ্যানডার ওয়ালস আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল ও আণবিক আয়তন--এ দুই ক্ষেত্রে সংশোধন ফ্যাক্টর যথাক্রমে 'a' ও 'b' ব্যবহারের মাধ্যমে আদর্শ গ্যাস সমীকরণ সংশোধন করেন, যা বাস্তব গ্যাসের জন্য **ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণ** নামে পরিচিত।

গ্যাসের আয়তন সংশোধন : এক্ষেত্রে 'আণবিক আয়তন' গণ্য করায় মোট আয়তন (V) এর বৃদ্ধিকে সংশোধন করা হয় দৃশ্যত আয়তন V থেকে nb বাদ দিয়ে। কারণ আদর্শ গ্যাস সমীকরণে অণুগুলোর মুক্ত চলাচলের জন্য V আয়তন ধরা

হয়েছে। বাস্তব গ্যাসের জন্যে তা সঠিক নয়। এক মোল বাস্তব গ্যাসের অণুগুলোর কার্যকর নিজস্ব আয়তন b ধরে n মোল গ্যাসের জন্য V আয়তন থেকে nb বাদ দিয়ে বাস্তব গ্যাসের অণুগুলোর মুক্তস্থান ধরা হয়। (V– nb)।

গ্যাসের চাপ সংশোধন : এক্ষেত্রে 'আন্তঃআণবিক আকর্ষণ' গণ্য করায় মোট আয়তন V এর হ্রাস বা সমতুল্যভাবে চাপ P এর হ্রাসকে সংশোধন করা হয় P এর সাথে an^2/V^2 পদ যোগ করে। কারণ বাস্তব গ্যাস যে চাপ প্রয়োগ করে, তা একই অবস্থায় গ্যাসটি আদর্শ হলে যে চাপ প্রয়োগ করতো, তার চেয়ে কম। তাই বাস্তব গ্যাসের বেলায় চাপ P এর পরিবর্তে (P + আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল) ধরা হবে। ভ্যানডার ওয়ালস দেখান যে, n মোল গ্যাসের জন্য আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বলের মান $\frac{n^2a}{V_2}$ এর সমান। এখানে 'a' ধ্রুবক হলো চাপ সংশোধন ফ্যাক্টর। সুতরাং তখন বাস্তব গ্যাসের জন্য প্রযোজ্য ভ্যানডার ওয়াল্‌স সমীকরণটি হয় :

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT;$$

বা, $P = \frac{nRT}{(V-nb)} - \frac{an^2}{V^2}$ এখানে 'a' ও 'b' হলো ভ্যানডার ওয়ালস্ ধ্রুবক। এরা গ্যাস অণুর যথাক্রমে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল ও আণবিক আয়তন প্রকাশ করছে। সারণি ১.৬–এ কিছু গ্যাসের a, b এর মান দেয়া হলো।

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৬৩ : 27°C তাপমাত্রায় 1atm চাপে 1 mol N_2 গ্যাসের আয়তন 24.5L হলে উল্লেখিত তাপমাত্রায় ও চাপে গ্যাসটির আদর্শ আচরণ থেকে বিচ্যুতির মাত্রা গণনা কর।

দক্ষতা : এক্ষেত্রে গ্যাসের সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক, $Z = \frac{PV}{RT}$ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক হলো –

$$Z = \frac{PV}{RT}$$

বা, $Z = \frac{1atm \times 24.5L \times 1\ mol}{0.082L\ atm\ K^{-1}\ mol^{-1} \times 300K}$

$Z = \frac{24.5}{0.082 \times 300}$ 0.9959

এখানে,

P = 1 atm

V = 24.5L

R = 0.082L. atm K^{-1} mol^{-1}

T = (27+273)K = 300K

∴ আদর্শ গ্যাস থেকে N_2 গ্যাসের বিচ্যুতির মাত্রা = (1– 0.9959) = 0.00041

∴ প্রদত্ত তাপমাত্রা ও চাপে N_2 গ্যাসের আদর্শ আচরণ হতে বিচ্যুতির মাত্রা হলো 0.00041

সমাধানকৃত সমস্যা– ১.৬৪ : কত ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রায় 400 atm চাপে 28g N_2 গ্যাসকে 0.26L সিলিণ্ডারে রাখলে N_2 গ্যাসের আচরণ আদর্শ গ্যাসের মতো হবে?

দক্ষতা : আদর্শ গ্যাসের আচরণ করতে হলে সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক Z = 1 হতে হবে।

সমাধান : আমরা জানি,

$Z = \frac{PV}{nRT}$; এক্ষেত্রে n = 1 মোল,

বা, $Z = \frac{400\ atm \times 0.26L}{1mol \times 0.082L.atmK^{-1}mol^{-1} \times T}$

বা, $1 = \frac{400 \times 0.26K}{0.082 \times T}$

∴ $T = \frac{400 \times 0.26\ K}{0.082} = 1268.3K$

∴ নির্ণেয় তাপমাত্রা = (1268.3 – 273)°C = 995.3°C **(উত্তর)**

প্রশ্নমতে, 28g N_2 = 1 mol N_2

P = 400 atm

V = 0.26L

R = 0.082L atm K^{-1} mol^{-1}

T = ?

Z = 1

শিক্ষার্থী নিজে কর : ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণভিত্তিক সমস্যা :

সমস্যা–১.৯১ (ক) : 27°C তাপমাত্রায় 0.86Lপাত্রে 0.5 mol H_2 গ্যাস আছে। ভ্যানডার ওয়ালসের সমীকরণ মতে এ গ্যাসের চাপ গণনা কর। এক্ষেত্রে ধ্রুবক, a =0.244 atm L^2. mol^{-2} এবং ধ্রুবক b = 0.0266L. mol^{-1}। [উ: 20.70atm]

সমস্যা-১.৯১ (খ) : মনে কর 300K তাপমাত্রায় তুমি 0.60L পাত্রে 0.50mol N_2 গ্যাস নিয়ে বয়েলের সূত্রের পর্যবেক্ষণ করছো। (i) আদর্শ গ্যাস সমীকরণ ও (ii) ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণ মতে N_2 গ্যাসের চাপ atm এককে বের কর। N_2 এর a = 1.35 atm L^2 mol^{-2} এবং b = 0.0387L mol^{-1} [উ: (i) 20.5 atm; (ii) 20.3atm]

সমস্যা- ১.৯১ (গ) : 44g CO_2 গ্যাসের জন্য ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণটি লেখ। [দি.বো. ২০১৫]

(খ) 64g অক্সিজেন গ্যাসের জন্য ভ্যানডার ওয়ালস্ সমীকরণটি লেখ। [চ.বো. ২০১৬]

(গ) 96g O_2 গ্যাসের জন্য ভ্যানডার ওয়ালস্ সমীকরণটি লেখ। [রা. বো. ২০১৬]

(ঘ) বাস্তব গ্যাসের চাপ আদর্শ গ্যাসের চাপ থেকে কম কেন? [ঢা. বো. ২০১৬]

১.৮ গ্যাস সিলিন্ডারজাতকরণে গ্যাস সূত্রের প্রয়োগ
Use of Gas Laws in Gas Cylinder Filling

তোমরা জান, বর্তমানে রান্নার চুল্লিতে ব্যবহৃত গ্যাস সিলিন্ডারে L.P- গ্যাস বা তরলীভূত পেট্রোলিয়াম গ্যাস (25% প্রোপেন ও 75% বিউটেন), মোটরযানের গ্যাস সিলিন্ডারে C.N.G (Compressed Natural Gas) বা সংকুচিত প্রাকৃতিক গ্যাস (95–99%CH_4, অবশিষ্ট C_2H_6, C_3H_8, C_4H_{10}) বিক্রি করা হয়। স্টেইনলেস স্টিল (S.S) এর welding এর বেলায় আর্গন গ্যাস নিষ্ক্রিয় পরিবেশরূপে ব্যবহৃত হয়। এ আর্গন গ্যাস সিলিন্ডারে ভর্তি করে বিক্রি করা হয়। এছাড়া অক্সিজেন সিলিন্ডারে অক্সিজেন গ্যাস এবং লোহা কাটা ও জোড়া করার কাজে ব্যবহৃত অ্যাসিটিলিন গ্যাস সিলিন্ডারে ভর্তি করে বিক্রি করা হয়। এ সব গ্যাস সিলিন্ডারের মধ্যে কেবল মাত্র L.P গ্যাস তরলীভূত করে শীতল করা সিলিন্ডারে ভর্তি করা হয়। অন্যান্য গ্যাসের বেলায় গ্যাসীয় অবস্থায় নির্দিষ্ট আয়তনের সিলিন্ডারে কত পরিমাণ গ্যাস ভর্তি করা হবে তা চাপের মাধ্যমে হিসাব করা হয়। সুতরাং সিলিন্ডারে কেবল মাত্র L.P গ্যাস ভর্তির ক্ষেত্রে গ্যাস সূত্রের প্রয়োগের কোনো সুযোগ নেই। CNG সিলিন্ডারে ও অন্যান্য গ্যাসের বেলায় আদর্শ গ্যাস সূত্র প্রয়োগ করা হয়।

(ক) CNG-সিলিন্ডারে গ্যাস ভর্তিকরণ: চট্টগ্রামে বাখরাবাদ গ্যাস সিস্টেমস্ লি. ডিস্ট্রিবিউটিং পাইপের মাধ্যমে 2.3–3.0 atm চাপে প্রাকৃতিক মিথেন গ্যাস সরবরাহ করে থাকে। সি.এন.জি ফিলিং স্টেশনে ঐ গ্যাসকে চার ধাপে ১ম ধাপে 5–7 atm, ২য় ধাপে 7–28 atm, ৩য় ধাপে 28–82 atm এবং ৪র্থ ধাপে 82–220 atm বা ব্যারোমিটার চাপে স্টোরেজ (Cascade) এ জমা করা হয়। এরপর তিন ভালভ সমন্বিত ডিসপেনসারের ডেলিভারি ভালভের মাধ্যমে গাড়ির C.N.G সিলিন্ডারে গ্যাস ফিলিং করা হয়। ডিসপেনসারের অপর দুটি ভালভ গ্যাস সিস্টেম নির্দেশকারী ভালভরূপে কাজ করে। CNG সিলিন্ডারের ধারণ ক্ষমতা বিভিন্ন প্রকার গাড়ি অনুসারে 60L, 90L ও 120–150L হয়ে থাকে।

(i) 60L সিলিন্ডারে CNG গ্যাসের পরিমাণ নির্ণয় : আদর্শ গ্যাস সমীকরণ মতে,

$$P = \frac{nRT}{V}; \text{ বা, } n = \frac{P \times V}{RT};$$

$$\text{বা, } n = \frac{220 \times 101.325 \times 10^3 Nm^{-2} \times 60 \times 10^{-3} m^3}{8.314 Nm.K^{-1}.mol^{-1} \times 298K}$$

$$= 539.84 \text{ mol}$$

আবার 25°C ভিত্তিক, 1mol গ্যাস = $24.789 \times 10^{-3} m^3$

$\therefore 539.84$mol গ্যাস = $24.78910^{-3} \times 539.84 \times m^3 = 13.38\ m^3$

CNG–ফিলিং স্টেশনে মিটার কিউব (m^3) এককে CNG গ্যাস বিক্রি করা হয়।

এখানে,

P = 220 bar (ক্যাসকেডে)

$= 220 \times 101.325 \times 10^3 Nm^{-2}$

V = 60L (সিলিন্ডার) $= 60 \times 10^{-3} m^3$।

R = $8.314 NmK^{-1}\ mol^{-1}$

T = 298K (ভিত্তিক)

শিক্ষার্থী নিজে কর : গ্যাস সিলিন্ডারজাতকরণে গ্যাসসূত্র প্রয়োগভিত্তিক :

সমস্যা-১.৯২ (ক) : একটি বোতল গ্যাস সিলিন্ডারের আয়তন 43.7L এবং এর মধ্যে 5.54kg CH_4 গ্যাস ভর্তি করা আছে। সিলিন্ডারে কত kPa চাপে 20°C তাপমাত্রায় গ্যাস ভর্তি করা হয়েছে? [উ: 19,264.52kPa]

সমস্যা-১.৯২ (খ) : 20°C এ 20L আয়তনের একটি LPG সিলিন্ডারে 12kg বিউটেন গ্যাস ভর্তি আছে। গ্যাস সিলিন্ডারে চাপ কত হবে? [উ: 248.545atm [য. বো. ২০১৫]

সমস্যা-১.৯২ (গ) : অক্সিজেন গ্যাসের স্টিল সিলিন্ডারের আয়তন সাধারণত 49.0L হয়। 20°C তাপমাত্রায় সিলিন্ডারটি 150 atm চাপে পূর্ণ আছে। ঐ স্থির তাপমাত্রায় 1.02 atm চাপে নিমোনিয়া রোগীকে অক্সিজেন দিতে কত লিটার অক্সিজেন পাওয়া যাবে? [উ: 7156.88L]

সমস্যা-১.৯২ (ঘ) : অনেক ল্যাবরেটরি-গ্যাস 43.8L স্টিল সিলিন্ডারে বিক্রি করা হয়। 20°C তাপমাত্রায় 17,180 kPa চাপে ঐ সিলিন্ডারে ভর্তি করা আর্গনের ভর গ্রাম এককে কত হবে? [উ: 1.23×10^4g]

১.৯ বজ্রপাতের সময় বায়ুমণ্ডলে বিক্রিয়া ও মাটিতে N-ফিক্সেশন
Atmospheric Reactions in Lighning & N-Fixation in Land

(১) প্রাকৃতিক প্রক্রিয়ায় মাটিতে N-ফিক্সেশন : বজ্রবৃষ্টির সময়ে বিদ্যুৎ ক্ষরণের ফলে সৃষ্ট 3000° তাপমাত্রায় বায়ুস্থ N_2 এবং O_2 যুক্ত হয়ে নাইট্রিক অক্সাইড (NO) গঠিত হয়। এছাড়া উচ্চতাপ দহন ইলেকট্রিক পাওয়ার প্ল্যান্টে, যানবাহন ইঞ্জিনে, প্লেন ইঞ্জিনে জ্বালানি দহনে ও বিদ্যুৎ ক্ষরণে সৃষ্ট তাপমাত্রায় বায়ুতে NO গ্যাস উৎপন্ন হয়। পরে ঐ NO গ্যাস 50°C তাপমাত্রায় অধিক অক্সিজেনের সাথে যুক্ত হয়ে অম্লধর্মী NO_2 গ্যাস এবং শেষে বৃষ্টির পানির সাথে বিক্রিয়ায় HNO_3 এসিড গঠন করে। উৎপন্ন HNO_3 বৃষ্টির পানির সাথে মাটিতে পড়ে এবং মাটির ক্ষারকীয় পদার্থ চুন ও $CaCO_3$ এর সাথে বিক্রিয়া করে দ্রবণীয় নাইট্রেট লবণ উৎপন্ন করে মাটিতে মিশে যায়। এটি হলো প্রাকৃতিক প্রক্রিয়ায় মাটিতে N-ফিক্সেশন।

$$N_2(g) + O_2(g) \xrightarrow[3000°C]{\text{বিদ্যুৎ ক্ষরণ}} 2NO(g); \quad 2NO(g) + O_2(g) \xrightarrow{50°C} 2NO_2(g)$$

$$4NO_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4HNO_3\,(aq); \quad CaO(s) + 2HNO_3(aq) \longrightarrow Ca(NO_3)_2(aq) + H_2O(l)$$

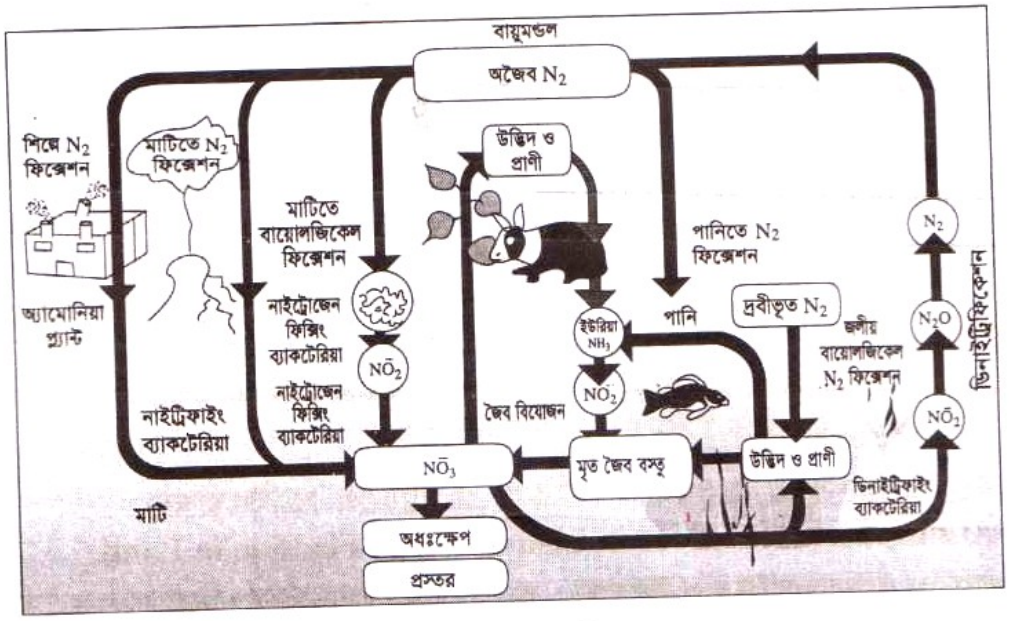
(২) বাণিজ্যিক প্রক্রিয়ায় নাইট্রোজেন সংবদ্ধকরণ বা ফিক্সেশন : বায়ুস্থ N_2 গ্যাসকে নাইট্রোজেন যৌগে পরিণত এবং ব্যবহার উপযোগী করে আবদ্ধ রাখার প্রক্রিয়াকে **নাইট্রোজেন ফিক্সেশন** বলে। যেমন, হেবার পদ্ধতিতে H_2 গ্যাস ও বায়ুস্থ N_2 গ্যাসের প্রভাবকীয় সংশ্লেষণ বিক্রিয়ায় NH_3 উৎপাদন করা হয়। এ NH_3 গ্যাস থেকে ইউরিয়া ও ডাইঅ্যামোনিয়া ফসফেট (DAP) সার প্রস্তুত করা হয়। আবার অসওয়াল্ড পদ্ধতিতে NH_3 গ্যাসের প্রভাবকীয় জারণে HNO_3 উৎপাদন করে তা থেকে নাইট্রেট সার যেমন, ক্যালসিয়াম অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট (CAN) $Ca(NO_3)_2.NH_4NO_3$. ক্যালসিয়াম নাইট্রেট $Ca(NO_3)_2$ ইত্যাদি উৎপাদন করে মাটিতে মিশানো হয়।

(i) **হেবার পদ্ধতি :** $$N_2(g) + 3H_2(g) \xrightarrow[Fe,\ Al_2O_3]{500°C,\ 200\ atm} 2NH_3(g)$$

(ii) **অসওয়াল্ড পদ্ধতি :** $$4NH_3(g) + 5O_2(g) \xrightarrow[900°C]{Pt} 4NO(g) + 6H_2O(g)$$

$$4NO(g) + 2O_2(g) \longrightarrow 4NO_2(g)$$

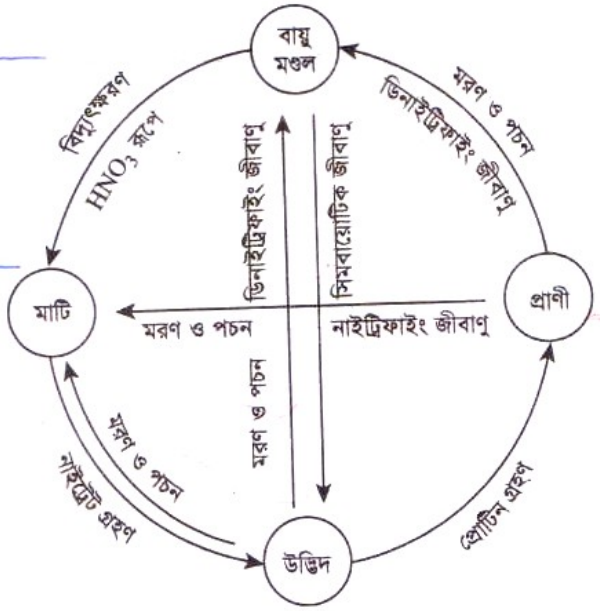
$$4NO_2(g) + O_2(g) + 2H_2O(l) \longrightarrow 4HNO_3(aq)$$



চিত্র ১.১৯: নাইট্রোজেন ফিক্সেশন।

(৩) বায়োলজিক্যাল ফিক্সেশন (Biological Fixation) : সবুজ অ্যাল্‌গি ও মটর, শিম, ছোলা প্রভৃতি লিগুমিনাস জাতীয় উদ্ভিদের শিকড়ের গুটিতে বসবাসকারী সিম্‌বায়োটিক জীবাণু বায়ুর N_2 শোষণ করে। পূর্বের দুই প্রক্রিয়ার চেয়ে এতে বায়ুর N_2 এর বেশি ফিক্সেশন ঘটে। এসব ব্যাকটেরিয়া থেকে নিঃসৃত মলিবডেনাম (Mo) অবস্থান্তর ধাতু যুক্ত কোএনজাইম N_2 কে বিজারিত করে NH_3 গ্যাস ও NH_4^+ আয়নে পরিণত করে। মাটির অন্যান্য ব্যাকটেরিয়া দ্বারা কয়েক ধাপে NH_4^+ আয়ন জারিত হয়ে প্রথমে NO_2^- আয়ন শেষে NO_3^- আয়নে পরিণত হয়। উদ্ভিদ NO_3^- আয়ন শোষণ ও বিজারিত করে প্রোটিন তৈরি করে। উদ্ভিদের মরণের পর মাটির ব্যাক্‌টেরিয়া প্রোটিনকে জারিত করে NO_3^- আয়নে পরিণত করে।

(৪) উদ্ভিদ থেকে প্রোটিন প্রাণিদেহে : প্রাণিকুল উদ্ভিদ খেয়ে প্রোটিন গ্রহণ করে এবং বর্জ্য প্রস্রাবে ইউরিয়া $[(H_2N)_2C=O]$ রূপে তা ত্যাগ করে। প্রাণীর মরণের পর দেহের প্রোটিন মাটির ব্যাকটেরিয়া দ্বারা জারিত হয়ে NO_2^- ও NO_3^- আয়নে পরিণত হয়। এ অজৈব NO_3^- আয়নের ভাণ্ডার তিন দিকে খরচ হয় : (i) কিছু স্থলজ ও জলজ উদ্ভিদে শোষণ ঘটে; (ii) কিছু প্রস্তরীভূত খনিজরূপে, (iii) কিছু NO_3^- আয়ন ডিনাইট্রিফাইং জীবাণুর প্রভাবে বিজারিত হয়ে প্রথমে NO_2^- আয়ন, পরে N_2O ও শেষে N_2 গ্যাসরূপে বায়ুমণ্ডলে ফিরে আসে। ফলে বায়ুমণ্ডলে N_2 গ্যাসের পরিমাণ সব সময় অপরিবর্তিত (প্রায় 78%) থাকে। এটিই **নাইট্রোজেন চক্র।**



চিত্র–১.২০ : নাইট্রোজেন চক্র

নাইট্রোজেন চক্রের সংজ্ঞা : বায়ুমণ্ডলের নাইট্রোজেন বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়া দ্বারা বিভিন্ন যৌগে পরিণত হয় এবং সে সব যৌগ মাটিতে বিভিন্ন রূপান্তরের মাধ্যমে পুনরায় মুক্ত নাইট্রোজেন রূপে বায়ুমণ্ডলে ফিরে আসে। প্রকৃতিতে নাইট্রোজেনের এ রূপান্তর প্রক্রিয়াকে নাইট্রোজেন চক্র বলে। এ নাইট্রোজেন চক্র হলো বায়ুমণ্ডল ও মাটির মধ্যে নাইট্রোজেন যৌগের বিভিন্ন প্রকার রাসায়নিক বিক্রিয়ার একটি গতিশীল সাম্যাবস্থা মাত্র।

১.১০ শিল্পের গ্যাসীয় বর্জ্য ও বায়ুদূষণ

Industrial Gas Pollutants and Air Pollution

শিল্পকারখানায় ব্যবহৃত জীবাশ্ম জ্বালানি যেমন কয়লা, প্রাকৃতিক গ্যাস, কেরোসিন, ডিজেল, পেট্রোল, গ্যাসোলিন প্রভৃতির দহনে উৎপন্ন বর্জ্য গ্যাস যেমন CO, CO_2, SO_2, SO_3, NO, NO_2 ইত্যাদি বায়ুতে মিশে বায়ুকে দূষিত করে।

বায়ুমন্ডলে এ সব বর্জ্য গ্যাসের মাত্রা পরিবেশও মানুষের শরীরের সহনীয় মাত্রা অপেক্ষা বেশি হলে তখন তাদেরকে বায়ু দূষক রূপে গণ্য করা হয়। বায়ু দূষক সমূহের মধ্যে কিছু হলো **প্রাইমারি বায়ু দূষক** আর কিছু হলো **সেকেন্ডারি বায়ু দূষক**।

প্রাইমারি বায়ুদূষক : যে সব দূষক তাদের উৎস থেকে নির্গত হয়ে অপরিবর্তিত অবস্থায় সরাসরি পরিবেশে বিশেষ করে বায়ুতে মিশে যায়, তাদেরকে প্রাইমারি বায়ু দূষক বলে। যেমন, CO, CO_2, SO_2, NO, NH_3, H_2S, ধূলিকনা, ধোঁয়া, ছাই, হাইড্রোকার্বন ইত্যাদি।

সেকেন্ডারি বায়ু দূষক : পরিবেশের এক বা একাধিক গ্যাসীয় উপাদানের সাথে প্রাইমারী দূষক যুক্ত হয়ে যে নতুন দূষকের সৃষ্টি হয়, তাকে সেকেন্ডারি বায়ু দূষক বলে। যেমন SO_3, H_2SO_4 বাষ্প, NO_2, N_2O_5, পারঅক্সি অ্যাসাইল নাইট্রেট (PANs) ইত্যাদি।

বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থা (WHO) এর নির্দেশনা অনুযায়ী বায়ুতে ক্ষতিকর বিভিন্ন বায়ু দূষক উপাদান গ্যাসের পরিবেশের জন্যে নিরাপদ সর্বোচ্চ মাত্রা পার্শ্বের তালিকায় দেখানো হলো। এ মাত্রার চেয়ে বেশি ঐ সব গ্যাসীয় পদার্থ বায়ুতে মিশে থাকলে তখন পরিবেশের ক্ষতিকর দূষণ ঘটে।

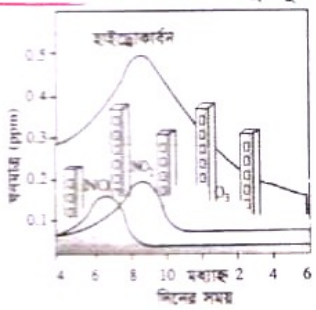
গ্যাস	নিরাপদ সর্বোচ্চ মাত্রা
১। SO_2	১। 0.05 PPm
২। SO_3	২। 0.02 PPm
৩। CO	৩। 0.15 ppm
৪। CO_2	৪। 350 PPm
৫। NO	৫। 350 ppb
৬। NO_2	৬। 250 ppb
৭। CH_4	৭। 2.0 ppm
৮। H_2S	৮। 0.0002 ppm

এসব বায়ু দূষক গ্যাসের উৎপত্তিস্থল হলো নিম্নোক্ত শিল্পক্ষেত্র :

(ক) দূষক CO ও CO_2 গ্যাস : উভয় গ্যাস বর্ণহীন, গন্ধহীন বিষাক্ত গ্যাস। কয়লা ও হাইড্রো কার্বন জ্বালানির অসম্পূর্ণ দহনে CO গ্যাস ও সম্পূর্ণ দহনে CO_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়। কারখানার চুল্লির চিমনি দিয়ে নির্গত এসব গ্যাস বায়ুকে দূষিত করে। এ সব শিল্প কারখানা হলো : (i) গ্যাস ম্যানুফ্যাকচারিং প্লান্ট, (ii) কোল মাইন, (iii) পেট্রোলিয়াম রিফাইনারি, (iv) ব্লাস্ট ফার্নেস, (v) অটোমোবাইল-এর বর্জ্য গ্যাস। CO গ্যাস হলো **নীরব ঘাতক গ্যাস**। CO গ্যাস মানুষের অজান্তে প্রশ্বাসের সাথে ফুসফুসে গেলে তা রক্তনালী দ্বারা শোষিত হয়। তখন রক্তের হিমোগ্লোবিনের আয়রন (Fe^{2+}) এর সাথে CO লিগ্যান্ডরূপে যুক্ত হয়ে অক্সিহিমো গঠনে বাধা দেয়। ফলে অক্সিজেনের অভাবে প্রথমে মাথা ধরা, ঝিমুনি ও পরে বেশি CO শোষিত হলে মৃত্যু ঘটে। CO_2 গ্যাস গ্রিন হাউস গ্যাসরূপে গ্লোবাল ওয়ার্মিং ঘটায়।

(খ) দূষক SO_2 ও SO_3 গ্যাস : বর্ণহীন ও অম্লীয় গন্ধযুক্ত SO_2 ও SO_3 গ্যাস শ্বাসকষ্ট সৃষ্টি করে। সালফার, সালফারযুক্ত কয়লা ও প্রাকৃতিক গ্যাস, খনিজ তেল ইত্যাদির দহনে SO_2 ও SO_3 গ্যাস উৎপন্ন হয়। নিম্নোক্ত শিল্প কারখানার বর্জ্য গ্যাসরূপে উভয় গ্যাস বায়ুকে দূষিত করে। এ সব শিল্প কারখানা হলো : (i) সালফিউরিক এসিড প্লান্ট, (ii) পেপার ম্যানুফ্যাকচারিং প্লান্ট, (iii) তাপ বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্র, (iv) অটোমোবাইলের বর্জ্য গ্যাস, (v) ধাতুর সালফাইড আকরিক থেকে Zn, Cu, Pb ধাতু নিষ্কাশন প্লান্ট। এ সব বায়ু দূষক এসিড বৃষ্টি ঘটায়। নাকে ও চোখে জ্বালা, শ্বাসনালিতে প্রদাহ এবং ব্রংকাইটিস ও হাঁপানি রোগ সৃষ্টি করে।

(গ) দূষক NO ও NO_2 গ্যাস : NO হলো বর্ণহীন নিরপেক্ষ গ্যাস, NO_2 বাদামি অম্লীয় গ্যাস। প্রধান বায়ু দূষকের মধ্যে NO, NO_2 উল্লেখযোগ্য। পৃথিবীব্যাপী প্রায় 75 কোটি অটোমোবাইল ইঞ্জিন ও পুরাতন শিল্প প্রকল্পে পেট্রোলিয়াম জ্বালানির দহন শেষে বর্জ্য গ্যাসে NO গ্যাস থাকে। পরে বাতাসের O_2 দ্বারা NO জারিত হয়ে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড, NO_2 তৈরি করে। শুষ্ক বাতাসে ও সূর্যের আলো ($h\upsilon$) দ্বারা NO_2 বিযোজিত হয়ে মুক্ত অক্সিজেন পরমাণু ও NO গ্যাসে পরিণত হয়। ঐ মুক্ত অক্সিজেন পরমাণু অক্সিজেন অণু (O_2) এর সাথে যুক্ত হয়ে অত্যন্ত সক্রিয় ওজোন (O_3) অণু গঠন করে। এরূপে বিভিন্ন বিক্রিয়ায় উৎপন্ন NO, NO_2, O_3 ও অন্যতম বায়ুদূষক ডিজেল ইঞ্জিনে দহনমুক্ত হাইড্রোকার্বন এবং বিভিন্ন ফ্রি-রেডিকেল মিলে **পারক্সি অ্যাসাইল নাইট্রেট,**



চিত্র ১.২১ : ফটো কেমিক্যাল স্মোগ স্তর সৃষ্টি।

$R-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-O-NO_2$, **(PANs) নামে মিশ্র বায়ু দূষক সৃষ্টি হয়।**

$$\text{হাইড্রোকার্বন বাষ্প} + NO + NO_2 + O_3 \xrightarrow{h\upsilon} R-\underset{PANs}{\overset{O}{\overset{\|}{C}}}-O-O-NO_2 + HNO_3\,(vap) - \ldots..$$

এ মিশ্র বায়ু দূষক বিভিন্ন শহর এলাকায় ভোরবেলা নিচু আকাশে বাদামি কুয়াশাস্তর সৃষ্টি করে। এটিকে **ফটোকেমিক্যাল স্মোগ** (Photo chemical smog) বলে। এ কুয়াশার সংস্পর্শে নাক ও চোখ ভীষণ জ্বালা করে। (Smog = smoke + fog)

বায়ুদূষণের ফলে পরিবেশের ওপর নিম্নরূপ প্রভাব পড়ে। যেমন,

(ক) আবহাওয়ার ওপর প্রভাব : (১) গ্রিন হাউজ গ্যাসের বৃদ্ধির কারণে ভূ-পৃষ্ঠের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। (২) বায়ুমণ্ডলে ভাসমান বায়ুদূষক সকালে ও বিকেলে কুয়াশার সৃষ্টি করে। তখন পথ চলায় অসুবিধা সৃষ্টি হয়।

(খ) স্বাস্থ্যের ওপর প্রভাব : (১) বায়ুমণ্ডলে ধূলি কণার বৃদ্ধির জন্যে শ্বাস কষ্ট হয়। CO গ্যাসের অধিক উপস্থিতির কারণে রক্তে বিষক্রিয়া ঘটে থাকে। (২) ফটোকেমিক্যাল স্মোগ সৃষ্টি হলে তা নাক ও চোখে ভীষণ জ্বালা সৃষ্টি করে।

(গ) পরিবেশের ওপর প্রভাব : অম্লধর্মী সেকেন্ডারি দূষক যেমন সালফার ট্রাইঅক্সাইড (SO_3), H_2SO_4 বাষ্প, নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড (NO_2) ও নাইট্রোজেন পেন্ট-অক্সাইড (N_2O_5) ইত্যাদি বৃষ্টির পানিতে মিশে এসিড বৃষ্টি ঘটায়। এসিড বৃষ্টির ফলে মাটি ও জলাশয়ের pH মান হ্রাস পায়। ফলে জলাশয়ে মাছ ও জলজ উদ্ভিদ মারা যায়। মাটিতে বনাঞ্চল ধ্বংস হয়; জমিতে ফসল উৎপাদন ব্যাহত হয়; ইকো সিস্টেম বিপর্যস্ত হয়।

১.১১ গ্রিন হাউজ গ্যাস ও গ্রিন হাউজ প্রভাব

Green House Gases and Green House Effect

শীতপ্রধান দেশে তাপমাত্রা প্রায় 0°C এর কাছাকাছি থাকে। এত কম তাপমাত্রায় শাকসব্জি চাষ চলে না। কাচের ছাউনিযুক্ত ঘর তৈরি করে এর মধ্যে সবুজ (green) শাকসব্জির চাষ করা হয়। সবুজ উদ্ভিদের ঐ কাচের ঘরকে গ্রিন হাউজ বলা হয়। গ্রিন হাউজের মধ্যে তাপমাত্রা 38°C থেকে 39°C এর মধ্যে থাকে। এটি কীরূপে সম্ভব হলো?

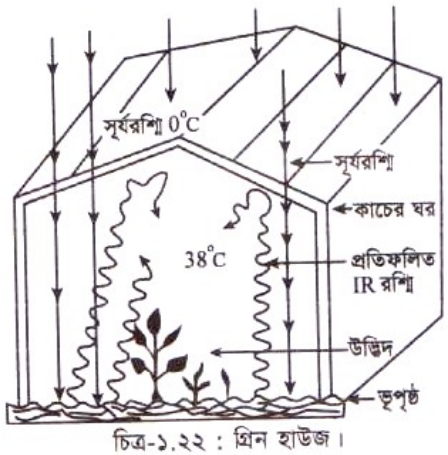
দৃশ্যমান আলোর সব তরঙ্গ গ্রিন হাউজের কাচকে ভেদ করে ভেতরে ঢুকতে পারে। ভূপৃষ্ঠ দৃশ্যমান আলো তরঙ্গ (VIBGYOR) দ্বারা উত্তপ্ত হয়। কিন্তু উত্তপ্ত ভূপৃষ্ঠ বৃহৎ তরঙ্গযুক্ত ইনফ্রারেড (IR) রশ্মি বিকিরণ করে। IR রশ্মি কাচ ভেদ করতে পারে না।

পৃথিবীর গ্রিন হাউজ ঃ বায়ুমণ্ডলের ভূপৃষ্ঠ সংলগ্ন হোমোস্ফিয়ারে N_2, O_2, O_3 অণুর সাথে CO_2 ও H_2O অণুগুলো থাকে। এ অঞ্চলকে পৃথিবীর গ্রিন হাউজ বলে।

বায়ুমণ্ডলের CO_2 ও পানি বাষ্প (H_2O) পোলার অণু হওয়ায় এদের C=O বন্ধন ও O–H বন্ধন দ্বিপোলযুক্ত হয়। এছাড়া N_2O এর NO এর N–O বন্ধন, CFC এর C–Cl, ও C–F বন্ধন পোলার হয়। এদের দ্বিপোল মোমেন্টে সহজে পরিবর্তন ঘটে। তখন এরা বিকিরিত IR রশ্মি শোষণ করে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে। CO_2 ও H_2O দ্বারা শোষিত তাপ পুনরায় বিকিরিত হয়ে ভূপৃষ্ঠে ফিরে আসে। এরূপে তাপমাত্রা আরো বেড়ে যায়। **গ্রিন হাউজে তাপমাত্রা বৃদ্ধির কারণ** জানা গেল। এবার গ্রিন হাউজ গ্যাস সম্বন্ধে জানব। N_2, H_2, O_2 এর গ্রিন হাউজ প্রভাব নেই।

গ্রিন হাউজ গ্যাস : যে সব গ্যাস ভূপৃষ্ঠের বিকিরিত IR রশ্মিকে শোষণ করে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে, তাদেরকে **গ্রিন হাউজ গ্যাস** বলে। **CO_2 গ্যাসকে প্রধান গ্রিন হাউজ গ্যাস** বলা হয়। এছাড়া জলীয় বাষ্প, মিথেন (CH_4), নাইট্রাস অক্সাইড (N_2O), ফ্রিয়ন বা ক্লোরোফ্লোরো কার্বন (CFC) ও ওজোন গ্যাস গ্রিন হাউজ প্রভাব সৃষ্টি করে থাকে। শেষের গ্যাসগুলোর ঘনত্ব বায়ুমণ্ডলে CO_2 গ্যাসের তুলনায় অনেক কম হলেও এদের IR রশ্মি শোষণ ও বিকিরণ ক্ষমতা CO_2 গ্যাসের তুলনায় অনেক বেশি। তাই গ্লোবাল ওয়ার্মিং-এ এদের ভূমিকা উল্লেখযোগ্য।

গ্রিন হাউজ গ্যাসসমূহের গ্লোবাল ওয়ার্মিং ক্ষমতার তুলনা : একটি CFC গ্যাস অণুর উত্তপ্তকরণ ক্ষমতা 10,000টি CO_2 অণুর উত্তপ্তকরণ ক্ষমতার সমান। বায়ুতে গ্রিন হাউজ গ্যাসের মোটামুটি শতকরা পরিমাণ এবং এদের তুলনামূলক গ্লোবাল ওয়ার্মিং ক্ষমতা বা গ্রিন হাউজ প্রভাব সারণি ১.৭ এ দেখানো হলো। এ সব অণুর গ্রিন হাউজ প্রভাব নির্ভর করে এদের IR রশ্মি শোষণ ক্ষমতার ওপর। আর এদের শোষণ ক্ষমতা নির্ভর করে গ্যাসীয় অণুর উপাদান পরমাণুগুলোর কম্পন সংখ্যার ওপর। যে অণুর পরমাণুগুলোর কম্পন সংখ্যা বিকিরিত IR রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য এর **কম্পন সংখ্যার** সমান এরাই কেবল ঐ তাপীয় বিকিরণ শোষণ করতে পারে। উদাহরণস্বরূপ CO_2 অণুতে O = C = O দু'প্রকার কম্পন হতে পারে; যেমন বন্ধন প্রসারণ কম্পন (Bond stretching vibration) ও বন্ধন কোণ পরিবর্তন কম্পন (bond bending vibration)।



চিত্র-১.২২ : গ্রিন হাউজ।

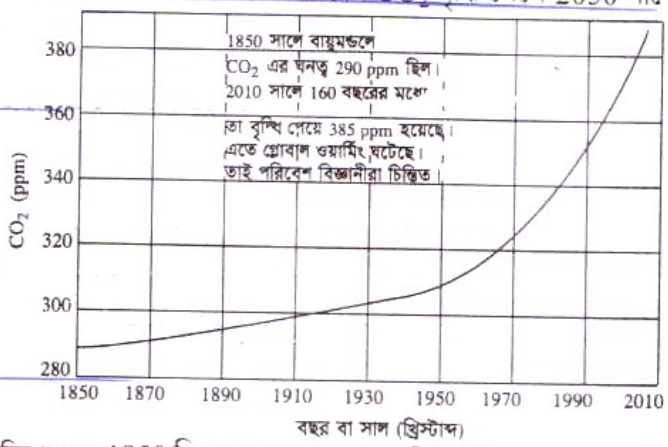
সারণি ১.৭ : ৬ টি গ্রিন হাউজ গ্যাস :

গ্রিন হাউজ গ্যাস	বায়ুতে % পরিমাণ	তুলনামূলক গ্রিন হাউজ প্রভাব
১। CO_2 গ্যাস	49%	1 গুণ
২। CH_4 গ্যাস	18%	23 গুণ
৩। N_2O	6%	270 গুণ
৪। CFC গ্যাস	14%	10,000 গুণ
৫। ওজোন O_3	8%	10 গুণ
৬। জলীয় বাষ্প		5 গুণ কম

গ্লোবাল ওয়ার্মিং-এ CO_2 এর ঘনত্ব বৃদ্ধির প্রভাব : বর্তমানে গ্লোবাল ওয়ার্মিং এর মূল কারণ হলো CO_2 গ্যাসের অস্বাভাবিক ঘনত্ব বৃদ্ধি। বায়ুমণ্ডলে থাকা CO_2 গ্যাস লক্ষ কোটি বছর যাবৎ উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষণ দ্বারা শোষিত হয়ে হ্রাস পেয়ে 1850 খ্রিস্টাব্দে প্রায় 0.029% -এ স্থির ছিল। কিন্তু বিগত 160 বছর যাবৎ মানুষের জীবাশ্ম জ্বালানি কয়লা, পেট্রোলিয়াম অধিক হারে ব্যবহার ও বনাঞ্চল ধ্বংসের কারণে CO_2 গ্যাস বায়ুমণ্ডলে বৃদ্ধি পেয়ে 2008 খ্রিস্টাব্দে 0.0385% এর বেশি হয়েছে, যা 33% বৃদ্ধি হারের সমতুল্য। অপর কথায় 290 ppm থেকে বৃদ্ধি পেয়ে 385 ppm হয়েছে (ppm = parts per million)। বিগত 50 বছরে 0.6°C হারে গ্লোবাল তাপমাত্রা বেড়েছে। কারণ 33% CO_2 গ্যাসের বৃদ্ধি

বিকিরিত IR রশ্মির তাপ অধিক পরিমাণে শোষণ করেছে। শোষিত তাপের 20% বায়ুর তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে এবং 80% সমুদ্রের পানির বাষ্পীয়করণে খরচ হয়েছে। রেকর্ড মতে, 1997–1999 এ তিন বছর পৃথিবীতে সবচেয়ে বেশি 'উষ্ণ-বছর' (hottest year) ছিল, 1987–1997 এ দশকে আগের দশকের চেয়ে 10 গুণ সামুদ্রিক ঝড় থেকে সর্বনাশা বন্যা হয় এবং এ প্রভাব 1998–1999 সালেও ছিল। রেকর্ড মতে 10% গ্লোবাল স্নো (snow) পরিসর কমে গেছে; সুমেরু সাগরে বরফ স্তর 40% কমেছে; বরফ জমাট-বাঁধা 20% কমেছে এবং উত্তর গোলার্ধে 10% বৃষ্টিপাত বেড়েছে।

বর্তমানে কম্পিউটার মডেল অনুসরণে অধিকাংশ পরিবেশ বিজ্ঞানীর ধারণা বর্তমান হারে CO_2 বৃদ্ধি পেলে 2050 সালের মধ্যে 3°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে। এর ফলে বাংলাদেশের প্রায় 17% স্থলভূমি সমুদ্রের জলমগ্ন হবে। জনসংখ্যার চাপে খাদ্য সংকট সৃষ্টি হবে। জলবায়ুর পরিবর্তন দেখা দেবে। অসংখ্য উদ্ভিদ ও প্রাণীর অস্তিত্ব বিপন্ন হবে। স্টানফোর্ড বিশ্ববিদ্যালয়ের গবেষক ডেনিস মার্ফির (Dennis Murphy) পর্যবেক্ষণ ও সিদ্ধান্ত মতে 44% স্তন্যপায়ী, 23% প্রজাপতি এবং কয়েক শতাংশ পাখি বিলুপ্ত হবে।



চিত্র ১.২৩: 1850 খ্রি. থেকে বায়ুমণ্ডলে বাৎসরিক CO_2 এর ঘনত্বের বৃদ্ধি।

জেনে নাও : পৃথিবী পৃষ্ঠে আপতিত সূর্য রশ্মির প্রায় 34% ভূপৃষ্ঠ থেকে প্রতিফলিত হয়ে পুনরায় মহাশূন্যে ফিরে যায়। বায়ুমণ্ডল, স্থলভাগ ও সমুদ্র কর্তৃক প্রায় 42% শোষিত হয়। জলরাশিকে বাষ্পীভূত করতে এবং জলীয় বাষ্পকে পানি চক্রে প্রবাহমান রাখতে 23% সূর্যরশ্মি ব্যয়িত হয়। বায়ু প্রবাহ অব্যাহত রাখতে এবং সমুদ্রের পানি প্রবাহ অব্যাহত রাখতে ব্যয় হয় 1% এর কিছু কম। অবশিষ্ট 0.023% ব্যয়িত হয় উদ্ভিদের সালোক সংশ্লেষণ মেকানিজমে।

১.১২ CFC ব্যবহার ও ওজোনস্তর ক্ষয় (CFCs Uses, Depletion of Ozone Layer)

1986 খ্রিস্টাব্দে ড. সুসান সলোমান ওজোন স্তর ক্ষয়ের জন্য 'ক্লোরিন দূষণ' কে দায়ী করেন। আর 1995 খ্রিস্টাব্দে নোবেল বিজয়ী পল জে. ক্রুটজেন (Crutzen), মারিও জে. মলিনা (M.J. Molina) ও শেরউড রোল্যান্ড (S. Rowland) গবেষণায় প্রতিষ্ঠা করেন যে, শিল্পজাত ক্লোরোফ্লোরো কার্বন (CFCs) থেকে নির্গত ক্লোরিন পরমাণু ওজোন স্তর ক্ষয়ে প্রভাবকরূপে কাজ করে। শিল্পজাত এ সব CFC এরোসল স্প্রে-ক্যানে, প্লাস্টিক ফোমে ও এয়ারকন্ডিশনারে ব্যবহৃত হয়। রেকর্ড মতে 1980 দশকের প্রতি বছর 10 লক্ষ টন CFC বায়ুমণ্ডলে মিশেছে। এ সব CFC এর নম্বর সংকেত ও ব্যবহার সারণি ১.৮-এ উল্লেখ করা হলো :

সারণি ১.৮ : বিভিন্ন CFC এর নাম, সংকেত ও ব্যবহারক্ষেত্র

CFCs	সংকেত	CFCs এর ব্যবহার ক্ষেত্র
CFC-11	$CFCl_3$	নরম ফোম (যেমন গাড়ির সিট, বালিশ, কুশান, কার্পেট) রিফ্রেজেরেটর, ফ্রিজার ও স্প্রে ক্যান ইত্যাদিতে ব্যবহৃত হয়।
CFC-12	CF_2Cl_2	কঠিন প্লাস্টিক ফোম, রিফ্রেজেরেটর, এয়ারকন্ডিশনার, স্প্রে-ক্যানে (বিভিন্ন সুগন্ধির স্প্রে-ক্যানে) ব্যবহৃত হয়।
CFC-113	$CF_2Cl.CFCl_2$	গ্রিজ, গ্লু ও বিভিন্ন ইলেকট্রিক সার্কিটের সোলডার ধুয়ে নেয়ার কাজে ব্যবহৃত হয়।

CFC দ্বারা ওজোন স্তর ক্ষয় : ক্লোরোফ্লোরো কার্বন নামক জৈব যৌগকে CFC বলে। বিভিন্ন CFC যৌগ নিষ্ক্রিয়, অদাহ্য ও গ্যাসীয় হওয়ায় উৎস থেকে সহজেই ট্রপোস্ফিয়ারে বায়ুমণ্ডলে ছড়িয়ে পড়ে। বৃষ্টি বা অন্য কোনো উপায়ে CFC বায়ুমণ্ডল থেকে অপসারিত হয় না। CFC অণুগুলো ধীরে ধীরে ওপর দিকে স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে পৌঁছে। তখন CFC অণু UV-রশ্মি আলোক দ্বারা C-Cl বন্ধন ভেঙ্গে **মুক্ত ইলেকট্রনযুক্ত ক্লোরিন পরমাণু** উৎপন্ন করে। বিজোড় ইলেকট্রনযুক্ত Cl পরমাণু বা মুক্তমূলক (free radical) অধিক সক্রিয় হওয়ায় ওজোন অণু (O_3)-এর সাথে বিক্রিয়ায় প্রথমে **ক্লোরিন মনোঅক্সাইড মুক্তমূলক** (ClO.) ও O_2 উৎপন্ন করে। পরে ClO. মুক্তমূলক অক্সিজেন পরমাণুর সাথে বিক্রিয়া করে O_2 অণু ও ক্লোরিন পরমাণু তৈরি করে।

$CF_2Cl_2 \xrightarrow{uv} CF_2Cl\cdot + Cl\cdot$

$O_3 + Cl\cdot \longrightarrow ClO\cdot + O_2$

$ClO\cdot + O \longrightarrow Cl\cdot + O_2$

এক্ষেত্রে Cl পরমাণু সমসত্ত্বীয় প্রভাবকরূপে কাজ করে দুই অণু ওজোন ভেঙ্গে তিন অণু অক্সিজেন তৈরি করে। স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে এ সব Cl- পরমাণুর অর্ধায়ু কাল প্রায় দু'বছর। এ সময়ে এক লক্ষ ওজোন অণুকে একটি Cl-পরমাণু ভেঙ্গে দিতে পারে। Cl পরমাণুর চেয়ে Br পরমাণুর এক্ষেত্রে প্রভাবন ক্ষমতা আরো বেশি: কিন্তু স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে এর স্থায়িত্ব কম। অগ্নি নির্বাপকরূপে ব্যবহৃত **হ্যালোনস্** (Halons) বা BCF (CBr_2ClF) ও কীটনাশকরূপে ব্যবহৃত CH_3Br হলো স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে ব্রোমিনের উৎস। পরিবেশ বিজ্ঞানীদের বিগত সেপ্টেম্বর 2003 পর্যন্ত সংগৃহীত ডাটা মতে দক্ষিণ মেরু অঞ্চলে 80% ওজোন স্তর নষ্ট হয়েছে এ প্রক্রিয়ায়।

ওজোন স্তর ক্ষয় রোধে ব্যবস্থা : ওজোন স্তর নষ্ট রোধ করতে 1987 খ্রিস্টাব্দে কানাডায় 'মন্ট্রিয়াল প্রোটোকল' নামে আন্তর্জাতিক চুক্তি স্বাক্ষরিত হয়। এ চুক্তি মতে - (i) 1995 সালের মধ্যে CFCs ও হ্যালোনস্ উৎপাদন বন্ধ করা; (ii) CCl_4, CH_3Br ও মিথাইল ক্লোরোফরম (CH_3CCl_3) ধারাবাহিকভাবে বন্ধ করা; (iii) CFC-এরোসলে হাইড্রোকার্বন যেমন; আইসোবিউটেন $(CH_3)_3CH$ ব্যবহার করা; (iv) রিফ্রেজেরেটরে CFC এর বদলে হাইড্রোক্লোরোফ্লোরো কার্বন (HCFCs) যেমন CHF_2Cl ব্যবহার করা।

CFCs এর তুলনায় HCFCs ট্রপোস্ফিয়ারে কম স্থায়ী; কারণ H পরমাণু .OH মুক্তমূলক দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে পানি ও কার্বন মুক্ত মূলক সৃষ্টি হয়। $CHF_2Cl + .OH \longrightarrow H_2O + .CF_2Cl$

(v) এছাড়া 2040 খ্রিস্টাব্দের মধ্যে HCFCs কে ধারাবাহিকভাবে বাদ দিয়ে হাইড্রোফ্লোরো কার্বন (HFCs) মোটর-কার এয়ারকন্ডিশনারে ব্যবহার করা। HFC যৌগে Cl পরমাণু নেই; F পরমাণু হলো O_3 ভাঙ্গনে দুর্বল প্রভাবক। সুখবর হলো এ ব্যবস্থার ফলে ট্রপোস্ফিয়ারে হ্যালোজেন লেভেল কমতে শুরু করেছে। তবে পরিবেশ বিজ্ঞানীদের মতে ক্ষয়প্রাপ্ত ওজোন স্তর পূর্ণ হতে শত বছর সময় নেবে।

CFC ও HCFC এর নাম্বারিং পদ্ধতি : নিম্নোক্ত abc নাম্বারিং পদ্ধতিতে CFC বা ফ্রিয়ন গ্যাসের নাম্বারিং করা হয়। যেমন, $CFCl_3$ কে ফ্রিয়ন–11 বা CFC-11 বলা হয় কেন ? abc নাম্বারিং পদ্ধতি মতে $CFCl_3$ এর ক্ষেত্রে,

a = (যৌগের অণুতে C পরমাণুর সংখ্যা − 1) = (1 − 1) = 0

b = (যৌগের অণুতে H পরমাণুর সংখ্যা + 1) = (0 + 1) = 1

c = (যৌগের অণুতে F পরমাণুর সংখ্যা) = 1

∴ abc –এর নাম্বারিং সংখ্যা হয় = 011 = 11; তাই $CFCl_3$ যৌগকে ফ্রিয়ন–11 বা CFC – 11 বলা হয়। অনুরূপভাবে, CHF_2Cl যৌগটিকে HCFC – 22 বলা হয়।

১.১৩ এসিড বৃষ্টি ও এর প্রতিকার (Acid Rain and its Prevent)

স্বাভাবিক বৃষ্টির জলে বায়ুর CO_2 দ্রবীভূত অবস্থায় কার্বনিক এসিড (H_2CO_3) রূপে থাকে। কার্বনিক এসিড দুর্বল এসিড হওয়ায় এটি কম পরিমাণে আয়নিত হয়ে থাকে এবং বৃষ্টির জলে pH-এর সবচেয়ে কম মান হতে পারে 5.61;

$[K_{a1} = 4.5 \times 10^{-7}; K_{a2} = 5.6 \times 10^{-11}]$

$$CO_2(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + HCO_3^-(aq)$$

এসিড বৃষ্টি : বায়ুমণ্ডলে অধঃক্ষেপণ বৃষ্টিতে pH এর মান 5.6 এর কম হলেই ঐ অধঃক্ষেপণকে **এসিড বৃষ্টি** বলে। এসিড বৃষ্টির কারণ হচ্ছে মনুষ্যসৃষ্ট বায়ু দূষণ ক্রিয়া। সাধারণত কলকারখানা অঞ্চলের এসিড বৃষ্টির পানির pH এর মান 5.6 থেকে 3.5 এর মধ্যে থাকে। এর মূলে তিনটি এসিডের (H_2SO_3, H_2SO_4, HNO_3 এর) ভূমিকা রয়েছে; যা প্রাইমারি বায়ুদূষক SO_2 গ্যাস ও নাইট্রোজেন অক্সাইডসমূহ (NO_x) হতে উৎপন্ন হয়। যেমন,

১. সালফিউরাস এসিড (H_2SO_3) : অধিক সালফারযুক্ত কয়লা পোড়ালে SO_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়ে বাতাসে মিশে ভাসমান অবস্থায় বায়ুকে দূষিত করে। বৃষ্টির পানিতে এ SO_2 বিক্রিয়া করে সালফিউরাস এসিড উৎপন্ন করে। পরে বায়ু দূষক ওজোন ও হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড দ্বারা জারিত হয়ে সালফিউরিক এসিড উৎপন্ন হয়।

$$H_2O(l) + SO_2(g) \longrightarrow H_2SO_3(aq)$$

$$H_2SO_3(aq) + H_2O_2(aq) \longrightarrow H_2SO_4(aq) + H_2O(l)$$

২. সালফিউরিক এসিড (H_2SO_4) : বায়ুদূষক SO_2 বায়ুতে জারিত হয়ে SO_3 গ্যাসে পরিণত হয়। পরে ঐ SO_3 পানিসহ বিক্রিয়ায় H_2SO_4 এসিড উৎপন্ন করে।

৩. নাইট্রিক এসিড (HNO_3) : বিদ্যুৎ উৎপাদন প্রকল্পে ও মোটর কারের ইঞ্জিনে N_2 গ্যাস ও O_2 গ্যাসের বিক্রিয়ায় NO গ্যাস উৎপন্ন হয়। পরে বায়ুর অক্সিজেনসহ NO বিক্রিয়া করে NO_2 এবং ওজোন ও পানির সাথে যুক্ত হয়ে HNO_3 উৎপন্ন করে।

$$2NO_2(g) + O_3(g) \longrightarrow N_2O_5(g) + O_2(g)$$

$$N_2O_5(g) + H_2O(l) \longrightarrow 2HNO_3(aq)$$

উৎপন্ন সবল এসিড H_2SO_4 ও HNO_3 বৃষ্টির পানির pH (2.7 – 1.8 পর্যন্ত) কমিয়ে দেয়। যেমন–শিল্প এলাকাভেদে pH 2.7, (যা ভিনেগারের pH এর মতো), সুইডেনে 1984 সালে এবং pH 1.8, (যা লেমন জুসও স্টোমাক-এসিডের মতো), ভার্জিনিয়ায় 1984 খ্রিস্টাব্দে এসিড বৃষ্টিতে হয়েছিল।

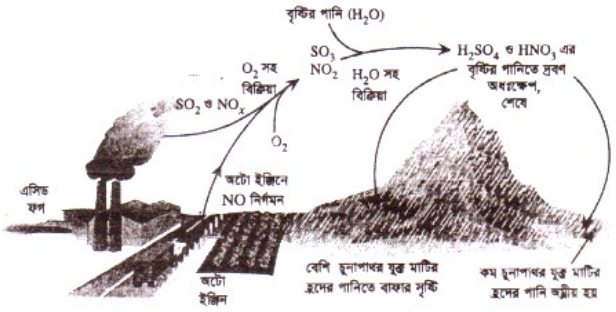
এসিড বৃষ্টির ক্ষতিকর প্রভাব : বর্তমানে রিপোর্টে প্রকাশিত ভারতের 'মথুরা অয়েল রিফাইনারি' থেকে নির্গত SO_2 বৃষ্টির পানিতে দ্রবীভূত হয়ে এসিড বৃষ্টি ঘটাচ্ছে।

(i) এ এসিড বৃষ্টি থেকে 'তাজমহল'–এর মার্বেল পাথর আক্রান্ত হচ্ছে। এসিড বৃষ্টিতে বিভিন্ন ধাতুর তৈরি ব্রিজ ও অট্টালিকার ক্ষতি হয়।

(ii) এসিড বৃষ্টির ফলে জলজ প্রাণী ও উদ্ভিদ আক্রান্ত হয়। কম pH এর পানিতে মাছের ডিম হ্যাচিং (hatching) বাধাপ্রাপ্ত হয়। অধিক অম্লত্বের কারণে জলাশয়ে সমগ্র বাস্তুতন্ত্র ধ্বংস হয়ে জলাশয় বন্ধ্যা হয়ে যেতে পারে।

(iii) এসিড বৃষ্টির প্রভাবে বৃষ্টি অরণ্য (rain forest)- এর বিশেষ ক্ষতি হতে পারে। বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম এসিড বৃষ্টিতে বাধাপ্রাপ্ত হয়।

(iv) মাটির উপাদান ক্যালসিয়াম, অ্যালুমিনিয়াম, জিংক ধাতুর ফসফরাস যৌগ এসিড বৃষ্টি ধুয়ে নিয়ে মাটিকে অনুর্বর করে দেয়।



চিত্র ১.২৪ : এসিড বৃষ্টির অধঃক্ষেপণ (Precipitation)

এসিড বৃষ্টির প্রতিকার :

(i) এসিড বৃষ্টি হওয়ার পরে পুকুর ও হ্রদের পানিতে এবং কৃষি জমিতে চুন বা লাইম অথবা চুনাপাথর গুঁড়া ছিটানো দরকার। তখন অতিরিক্ত এসিড ক্যালসিয়াম লবণে পরিণত হয়। এরূপ লাইমিং কাজে অর্থ ব্যয় খুব বেশি।

(ii) অন্য পদ্ধতি হলো ট্রপোস্ফিয়ারকে SO_2 গ্যাস ও নাইট্রোজেন অক্সাইড (NOx) মুক্ত রাখার ব্যবস্থা করা।

(iii) এজন্য শিল্পক্ষেত্রে FGD প্ল্যান্ট ও মোটর-কারে ক্যাটালাইটিক কন্‌ভার্টার ব্যবহার করে NOx গ্যাসকে বিজারিত করে N_2 গ্যাসে পরিণত করা।

FGD প্ল্যান্ট : শিল্প কারখানার চিমনি দিয়ে নির্গত SO_2 গ্যাস মিশ্রিত ফ্লু-গ্যাস (Flue gas) কে চুনাপাথর বা চুনের পানির মিশ্রণে চালনা করা হয়; এতে SO_2 শোষিত হয়; একে ফ্লু-গ্যাস ডিসালফারিজেশন বা FGD প্ল্যান্ট বলে। এ FGD প্ল্যান্টে উৎপন্ন জিপসাম dry wall তৈরিতে ব্যবহৃত হয়।

$$CaCO_3(s) + SO_2(g) \xrightarrow{\Delta} CaSO_3(s) + CO_2(g)$$

$$2CaSO_3(s) + O_2(g) + 4H_2O(l) \longrightarrow 2CaSO_4.\,2H_2O(s),\ \text{gypsum.}$$

আবার মিথেন (CH_4) দ্বারা SO_2 গ্যাসকে বিজারিত করে H_2S গ্যাস এবং H_2S গ্যাস ও SO_2 এর মিশ্রণকে Fe_2O_3 প্রভাবক দ্বারা বিজারিত করে সালফারে পরিণত করা যায়। ঐ সালফার থেকে H_2SO_4 উৎপাদন করা হয়।

$$16H_2S(g) + 8SO_2(g) \xrightarrow{Fe_2O_3} 3S_8(s) + 16H_2O(l)$$

Auto-Exhaust System এর NO_x গ্যাস বিজারণ : অটোমোবাইল ইঞ্জিনের নির্গত বায়ুদূষক গ্যাসকে V_2O_5 দ্বারা বিজারিত করে CO_2, N_2, H_2O ও O_2 গ্যাসে পরিণত করা হয়।

$$C_xH_y + CO + NO + O_2 \xrightarrow{V_2O_5} CO_2 + H_2O + N_2 + O_2$$

পাওয়ার প্ল্যান্টের চিমনিতে নির্গত NO গ্যাসকে অ্যামোনিয়া দ্বারা বিজারিত করে N_2 গ্যাসে পরিণত করা হয়।

$$4NO(g) + 4NH_3(g) + O_2(g) \xrightarrow{\Delta} 4N_2(g) + 6H_2O(g)$$

শিক্ষার্থীর কাজ : এসিড বৃষ্টি ও এর প্রতিকার :

সমস্যা–১.৯৩ (ক) এসিড বৃষ্টি কী? [য. বো. ২০১৬, সি. বো.২০১৬, কু. বো. ২০১৬]

(খ) 'এসিড বৃষ্টি ও এর প্রতিকার' বিষয়ে পড়ার পর তোমার অনুধাবনের ভিত্তিতে কোনো কোনো এলাকায় এসিড বৃষ্টির সম্ভাবনা রয়েছে তা কারণসহ রিপোর্ট তৈরি কর। তোমার তৈরি রিপোর্ট নিয়ে সহকর্মীদের সাথে তথ্য বিনিময় কর।

(গ) এসিড বৃষ্টি প্রতিরোধে বিভিন্ন প্ল্যান্টে ব্যবহৃত রাসায়নিক বিক্রিয়াসমূহ লেখ।

Full Page Reading

১.১৩.১: শিক্ষার্থীর কাজ : কোন এলাকায় এসিড বৃষ্টির সম্ভাবনা বেশি, তা বিশ্লেষণ
Students' Work : Analysis of Probability of Acid-Rain in a place

শিল্পের গ্যাসীয় বর্জ্য ও বায়ুদূষণ থেকে আমরা জেনেছি– শিল্প কারখানায় ব্যবহৃত জীবাশ্ম জ্বালানি যেমন কয়লা, প্রাকৃতিক গ্যাস, ডিজেল, পেট্রোল ইত্যাদি দহনে অম্লধর্মী বর্জ্য গ্যাস যেমন CO_2, SO_2, SO_3, NO_2 ইত্যাদি ঐ সব শিল্প এলাকার বায়ুতে মিশে গিয়ে বিস্তৃত এলাকায় ছড়িয়ে পড়ে। এছাড়া যেসব এলাকায় অসংখ্য ইটভাটাতে কয়লা পোড়ানো হয়; ঐ এলাকার বায়ুতে অম্লধর্মী ঐ সব গ্যাসের পরিমাণ বেশি থাকে।

এসিড বৃষ্টির মূল কারণ হলো বৃষ্টির পানিতে অধিক পরিমাণ সবল এসিড যেমন H_2SO_4 এসিড ও HNO_3 এসিড দ্বয়ের উপস্থিতি। এ এসিডদ্বয় হলো বায়ুর প্রাইমারি দূষক SO_2 গ্যাস এবং NO ও NO_2 গ্যাস থেকে সৃষ্ট গৌণ বায়ুদূষক। যেমন,

$$SO_2\,(g) + O_3(g) \rightarrow SO_3\,(g) + O_2\,(g)$$

$$2NO_2\,(g) + O_3(g) \rightarrow N_2O_5\,(g) + O_2\,(g)$$

$$SO_3\,(g) + H_2O\,(l) \rightarrow H_2SO_4$$

$$N_2O_5\,(g) + H_2O\,(l) \rightarrow 2HNO_3$$

$$\left.\begin{array}{l} SO_3(g) + H_2O\ (l) \rightarrow H_2SO_4 \\ N_2O_5\,(g) + H_2O\,(l) \rightarrow 2HNO_3 \end{array}\right] \text{বৃষ্টির পানিতে দ্রবীভূত হয়ে এসিড বৃষ্টি সৃষ্টি করে।}$$

সুতরাং কোন্ কোন্ এলাকায় এসিড বৃষ্টির সম্ভাবনা রয়েছে তা জানার জন্য ঐ অঞ্চলে SO_2 গ্যাস ও NO_2 গ্যাসের উৎস বিবেচনায় রাখতে হয়।

SO_2 গ্যাসের উৎসগুলোর মধ্যে রয়েছে – তাপ বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্র, অটোমোবাইল ইঞ্জিন থেকে বর্জ্য গ্যাস নিঃসরণ, সালফাইড আকরিক থেকে ধাতু নিষ্কাশন (Zn, Cu, Pb) প্ল্যান্ট, H_2SO_4 এসিড উৎপাদন প্ল্যান্ট, ইট ভাটা ইত্যাদি। অপরদিকে, নাইট্রোজেন অক্সাইড সমূহ (NO_x) এর প্রধান উৎস হলো অটো মোবাইল ইঞ্জিনের বর্জ্য গ্যাস নিঃসরণ, বিদ্যুৎ কেন্দ্র, HNO_3 এসিড উৎপাদন প্যান্ট ইত্যাদি।

যে সব অঞ্চলে তাপ-বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্রে উচ্চ সালফার যুক্ত কয়লা ব্যবহৃত হয়, সে অঞ্চলের বায়ুতে অধিক পরিমাণ SO_2 বর্জ্য গ্যাস থেকে বৃষ্টির পানিতে H_2SO_4 এসিড মিশ্রিত থাকে; অর্থাৎ সে অঞ্চলে এসিড বৃষ্টি হওয়ার সম্ভাবনা বেশি থাকে। আবার যে সব শহর অঞ্চলে অটোমোবাইল যানবাহনের চলাচলের আধিক্য বেশি, সেখানের বায়ুতে যানবাহন থেকে নিঃসৃত NO_x গ্যাসের কারণে এসিড বৃষ্টিতে HNO_3 এসিডের ভূমিকা থাকে।

উদাহরণ স্বরূপ, চট্টগ্রামের পতেঙ্গা এলাকা হলো একটি শিল্পাঞ্চল। এ পতেঙ্গা অঞ্চলে TSP সার কারখানা, সিমেন্ট কারখানা, পেট্রোলিয়াম রিফাইনারি কারখানা, রাসায়নিক দ্রব্যের কারখানা আছে। তাই এ সব শিল্প কারখানার চিমনি থেকে অবিরত বিভিন্ন অম্লধর্মী বর্জ্য গ্যাস নির্গত হয়ে ঐ সব অঞ্চলের বাতাসে ছড়িয়ে পড়ে। তাই ঐ সব অঞ্চলের বায়ুতে SO_2, SO_3, NO, NO_2 প্রভৃতি গ্যাসের আধিক্য থাকে। সুতরাং এ সব অঞ্চলের আশে পাশে **অধঃক্ষেপণ এসিড বৃষ্টি** হওয়ার সম্ভাবনা বেশি থাকে।

তবে অধঃক্ষেপণ এসিড বৃষ্টি হলো প্রকৃতপক্ষে বায়ুপ্রবাহ নির্ভরশীল একটি বায়ুর দূষণ প্রক্রিয়া। বায়ু প্রবাহের বিশ্লেষণ থেকে জানা যায় অধঃক্ষেপণ এসিড বৃষ্টির সাথে SO_2 ও নাইট্রোজেন অক্সাইডস্ (NOx) নিঃসরণের উৎস এবং বায়ু প্রবাহের আন্তঃসম্পর্ক রয়েছে। বস্তুতে বায়ুমণ্ডলে ঐ সব অম্লধর্মী বর্জ্য গ্যাস এসিডে রূপান্তরিত হওয়ার পূর্বে বায়ু প্রবাহের প্রভাবে ঐ সব বর্জ্য গ্যাসের উৎস থেকে অনেক দূর ভিন্ন অঞ্চলে প্রবাহিত হয়ে অধঃক্ষেপণ বৃষ্টি ঘটে থাকে। যেমন নরওয়েতে সংঘটিত অধঃক্ষেপণ এসিড বৃষ্টির উপাদান বর্জ্য অম্লধর্মী গ্যাস সমূহের উৎস হলো এর দক্ষিণে অবস্থিত ইউরোপীয় দেশগুলোর শিল্প কারখানা। সুতরাং শিল্পকারখানার নিকটবর্তী অঞ্চল সমূহে যেমন অধঃক্ষেপণ এসিড বৃষ্টির সম্ভাবনা থাকে; একইভাবে বায়ুপ্রবাহের প্রাধান্যের কারণে শিল্প কারখানার অঞ্চল থেকে অনেক দূরাঞ্চলে পরোক্ষভাবে অধঃক্ষেপণ এসিড বৃষ্টি সংঘটিত

১.১৪ আরহেনিয়াস এসিড-ক্ষারক তত্ত্ব (Arrhenius Acid-Base Concept)

বিজ্ঞানী আরহেনিয়াস যৌগের আণবিক সংকেত ও পানিতে এদের আচরণের ওপর ভিত্তি করে অম্ল বা এসিড ও ক্ষারকের শ্রেণিবিভাগ করেন। আরহেনিয়াস এসিড-ক্ষারক তত্ত্ব অনুসারে,

এসিডের সংজ্ঞা :

এসিড বা অম্ল হচ্ছে হাইড্রোজেনযুক্ত যৌগ, যারা জলীয় দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়ন (H^+) দান করে।

যেমন, HCl (aq), HNO_3 (aq), H_2SO_4 (aq), CH_3COOH (aq) ইত্যাদি প্রত্যেকটি হলো এক একটি অম্ল বা এসিড। কারণ এরা প্রত্যেকেই জলীয় দ্রবণে (aq) হাইড্রোজেন আয়ন H^+ (aq) দেয়।

$HCl\ (g) + H_2O \longrightarrow H^+(aq) + Cl^-\ (aq)$

$H_2SO_4(l) + H_2O \longrightarrow 2H^+(aq) + SO_4^{2-}\ (aq)$

$CH_3COOH(l) + H_2O \longrightarrow H+(aq) + CH_3COO^-\ (aq)$

ক্ষারকের সংজ্ঞা :

ক্ষারক হচ্ছে সে সব যৌগ যারা জলীয় দ্রবণে হাইড্রক্সিল OH^-) আয়ন দান করে।

যেমন, NaOH, KOH, $Ca(OH)_2$, NH_4OH ইত্যাদি প্রত্যেকটি হলো এক একটি ক্ষারক। কারণ এরা প্রত্যেকেই জলীয় দ্রবণে হাইড্রক্সিল আয়ন (OH^-) দেয়।

$NaOH(s) + H_2O \longrightarrow OH^-\ (aq) + Na^+(aq)$

$KOH\ (s) + H_2O \longrightarrow OH^-\ (aq) + K^+(aq)$

$Ca(OH)_2\ (s) + {}_2O \longrightarrow 2OH^-\ (aq) + Ca^{2+}\ (aq)$

এ তত্ত্ব অনুসারে অম্ল ও ক্ষারকের মধ্যে প্রশমন বিক্রিয়ায় প্রকৃতপক্ষে H^+ এবং OH^- আয়নদ্বয়ের সংযোগে নিরপেক্ষ বস্তু পানি সৃষ্টি হয়: $H^+\ (aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O(l)$

যেমন, $HCl(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow H^+\ (aq) + Cl^-(aq) + Na^+\ (aq) + OH^-(aq)$

$[H^+\ (aq) + OH^-(aq)] + [Na^+\ (aq) + Cl^-\ (aq)\ ] \longrightarrow H_2O(l) + [Na^+\ (aq) + Cl^-(aq)]$

আরহেনিয়াস তত্ত্বের সাফল্য :

(১) জলীয় দ্রবণে অম্ল ও ক্ষারকের বিভিন্ন বিক্রিয়ার ব্যাখ্যায় আরহেনিয়াস তত্ত্ব খুবই কার্যকরী।

(২) যে কোনো শক্তিশালী অম্লের সাথে যে কোনো ক্ষারকের প্রশমন বিক্রিয়ায় প্রতি মোল পানি উৎপন্ন হতে যে তাপ উৎপন্ন হয়, তা নির্দিষ্ট মান প্রায় 57.34 $kJmol^{-1}$ হওয়ার কারণ এ এসিড-ক্ষারক তত্ত্ব সহজেই ব্যাখ্যা করে। কেননা, সব ক্ষেত্রেই প্রকৃতপক্ষে একই বিক্রিয়া হয় অর্থাৎ H^+ এবং OH^-এর সংযোগে পানি উৎপন্ন হয়। যেমন প্রশমন বিক্রিয়ার আয়নিক সমীকরণ হলো নিম্নরূপ :

$H^+\ (aq) + OH^-\ (aq) \longrightarrow H_2O(l)$

অম্ল ক্ষারক পানি (প্রশম অণু)

(৩) কোনো জলীয় দ্রবণ অম্লীয় বা ক্ষারীয় হওয়ার কারণ এ তত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়।

MCQ.1.9: PANs তৈরিতে কোনটি থাকে না?
(ক) NO (খ) NO_2
(গ) O_3 (ঘ) N_2

(৪) আরহেনিয়ামের তত্ত্ব অনুসারে অম্ল ও ক্ষারকের তীব্রতাকে তাদের বিয়োজন ধ্রুবক যথাক্রমে K_a ও K_b এর মাধ্যমে পরিমাণগতভাবে ব্যাখ্যা করা যায়। যেমন,

(i) HA এসিডের বেলায় :

$HA + aq \rightleftharpoons H^+(aq) + A^-(aq)$

বিয়োজন ধ্রুবক, $K_a = \frac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]}$

(ii) BOH ক্ষারকের বেলায় :

$BOH + aq \rightleftharpoons B^+(aq) + OH^-(aq)$

বিয়োজন ধ্রুবক, $K_b = \frac{[B^+] \times [OH^-]}{[BOH]}$

(i) এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক K_a এর মান বেশি হলে ঐ এসিডের জলীয় দ্রবণে H^+ আয়নের ঘনমাত্রা বেশি হবে অর্থাৎ পানিতে ঐ এসিডের বিয়োজন বেশি। সুতরাং ঐ এসিডটি **একটি তীব্র বা সবল এসিড** হবে। যেমন, HCl এসিড। আবার K_a এর মান কম হলে ঐ **এসিডটি দুর্বল এসিড**। যেমন, CH_3COOH এসিড।

(ii) ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক K_b এর মান বেশি হলে ঐ ক্ষারকটি একটি **তীব্র বা সবল ক্ষারক** হবে। যেমন, KOH, NaOH ইত্যাদি। কিন্তু K_b এর মান কম হলে ঐ ক্ষারকটি **দুর্বল ক্ষারক**। যেমন, NH_4OH ক্ষারক।

* আবার হাইড্রোজেন যুক্ত সব যৌগ অম্ল নয়; কারণ এদের K_a এর মান থাকে না; অর্থাৎ এরা জলীয় দ্রবণে H^+ আয়ন দেয় না। যেমন CH_4 অণুতে H পরমাণু আছে; কিন্তু CH_4 অম্ল নয়। অনুরূপভাবে, CH_3OH এর অণুতে $-OH$ মূলক থাকা সত্ত্বেও আরহেনিয়াস মতবাদ অনুসারে CH_3OH ক্ষারক নয়।

আরহেনিয়াস তত্ত্বের সীমাবদ্ধতা :

(১) আরহেনিয়াসের অম্ল-ক্ষারক তত্ত্ব জলীয় দ্রবণে খুবই কার্যকরী হলেও তা অজলীয় দ্রবণে মোটেই কার্যকরী নয়। অর্থাৎ পানির অনুপস্থিতিতে এ **তত্ত্বে** অম্ল ও ক্ষারকের ধর্মকে ব্যাখ্যা করতে পারে না।

(২) $CuSO_4$, $FeSO_4$, $ZnSO_4$, $AlCl_3$ ইত্যাদি লবণের জলীয় দ্রবণ অম্লধর্মী হয় এবং Na_2CO_3 লবণের দ্রবণ ক্ষারধর্মী হয়; এর কারণ আরহেনিয়াস **তত্ত্বে** ব্যাখ্যা করতে পারে না।

(৩) গ্যাসীয় অবস্থায় কোনো যৌগের অম্ল ও ক্ষারক ধর্ম আরহেনিয়াস **তত্ত্বে** ব্যাখ্যা করতে অসমর্থ। যেমন,

$$NH_3(g) + HCl(g) \rightarrow NH_4Cl(s)$$
ক্ষারক অম্ল লবণ

(৪) আরহেনিয়াস **তত্ত্বে**, হাইড্রক্সিল মূলকযুক্ত যৌগগুলোকে ক্ষারক বলা হয়েছে। কিন্তু ধাতব অক্সাইড যেমন– CaO, এবং অ্যানিলিন ($C_6H_5NH_2$) ইত্যাদি যৌগের ক্ষারধর্মকে এ **তত্ত্বে** ব্যাখ্যা করতে পারে না।

১.১৫ ব্রনস্টেড-লাউরি তত্ত্ব ও অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক
Bronsted-Lowry Theory & Conjugate Acid-Base Concept

আরহেনিয়াস তত্ত্বটি কেবল এসিড ক্ষারকের জলীয় দ্রবণের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। আবার অ্যামোনিয়া (NH_3) অণুতে OH মূলক না থাকা সত্ত্বেও ক্ষারীয় ধর্ম প্রকাশ করে কেন এর উত্তর আরহেনিয়াস তত্ত্ব থেকে পাওয়া যায় না। তাই 1923 খ্রিস্টাব্দে ডেনমার্কের রসায়নবিদ জোহান্স ব্রনস্টেড ও ইংরেজ রসায়নবিদ থমাস লাউরি পৃথকভাবে এসিড ক্ষারকের জন্য অধিক প্রযোজ্য এক তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। এটিকে এসিড ক্ষারকের ব্রনস্টেড-লাউরির তত্ত্ব বলে। ব্রনস্টেড লাউরি তত্ত্ব মতে,

*** অম্ল হলো এমন একটি যৌগ বা আয়ন যা অন্য পদার্থকে প্রোটন দান করতে পারে।**

*** ক্ষারক হলো এমন একটি যৌগ বা আয়ন যা অম্ল হতে প্রোটন গ্রহণ করতে পারে।**

অর্থাৎ সংক্ষেপে অম্ল হলো প্রোটন দাতা এবং ক্ষারক হলো প্রোটন গ্রহীতা। অম্ল আধানবিহীন যৌগ অথবা ধনাত্মক বা ঋণাত্মক আধানবিশিষ্ট আয়ন হতে পারে। অম্ল ক্ষারকের এ তত্ত্বকে **প্রোটনীয় তত্ত্বও** বলা হয়।

উদাহরণস্বরূপ, HCl অণু, $H_2SO_4^-$ অণু, HSO_4^- আয়ন, HNO_3 অণু, H_3PO_4 অণু, ও $H_2PO_4^-$ আয়ন, প্রোটন দান করার সামর্থ্যের কারণে এরা প্রত্যেকেই এক একটি এসিড। যেমন,

HCl	+	H_2O	$\longrightarrow$	H_3O^+	+	Cl^-
এসিড		ক্ষারক		হাইড্রোনিয়াম আয়ন		ক্লোরাইড আয়ন
H_2SO_4	+	H_2O	$\longrightarrow$	H_3O^+	+	HSO_4^-
এসিড		ক্ষারক		হাইড্রোনিয়াম আয়ন		বাইসালফেট আয়ন
HSO_4^-	+	H_2O	$\longrightarrow$	H_3O^+	+	SO_4^{2-}
এসিড		ক্ষারক		হাইড্রোনিয়াম আয়ন		সালফেট আয়ন
HNO_3	+	H_2O	$\longrightarrow$	H_3O^+	+	NO_3^-
এসিড		ক্ষারক		হাইড্রোনিয়াম আয়ন		নাইট্রেট আয়ন
H_3PO_4	+	H_2O	$\longrightarrow$	H_3O^+	+	$H_2PO_4^-$
এসিড		ক্ষারক		হাইড্রোনিয়াম আয়ন		ডাই হাইড্রোজেন ফসফেট আয়ন
$H_2PO_4^-$	+	H_2O	$\longrightarrow$	H_3O^+	+	HPO_4^{-2-}
এসিড		ক্ষারক		হাইড্রোনিয়াম আয়ন		মনোহাইড্রোজেন ফসফেট আয়ন

এ সব বিয়োজন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে H_2SO_4, HSO_4^- আয়ন, HNO_3, H_3PO_4 ও $H_2PO_4^-$ আয়ন পানি (H_2O) অণুকে প্রোটন (H^+) দান করেছে। তাই এসব অণু ও ঋণাত্মক আয়ন প্রোটনীয় মতবাদ অনুসারে এসিড। এক্ষেত্রে H_2O প্রোটন গ্রহণ করায় প্রতিক্ষেত্রে পানি ক্ষারক রূপে ক্রিয়া করেছে।

আবার নিচের উদাহরণগুলো লক্ষ্য করো –

NH_3	+	HCl	$\longrightarrow$	NH_4^+	+	Cl^-
ক্ষারক		অম্ল		অ্যামোনিয়াম আয়ন		ক্লোরাইড আয়ন
HO^-	+	HCl	$\longrightarrow$	H_2O	+	Cl^-
ক্ষারক		অম্ল		পানি		ক্লোরাইড আয়ন

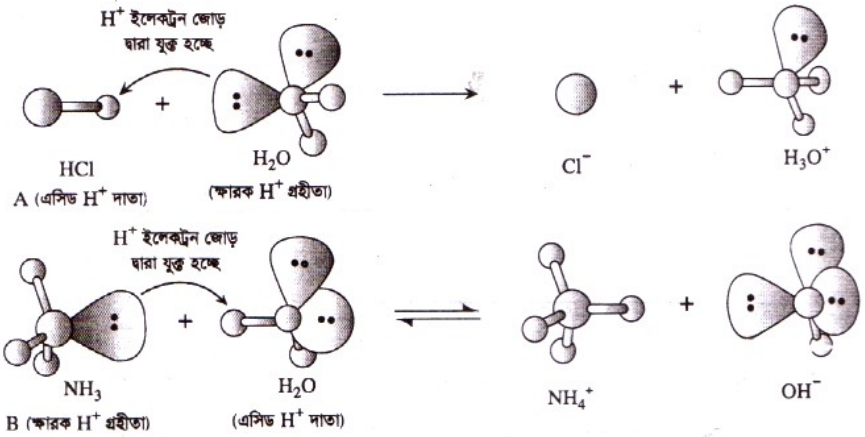
উভয় বিয়োজন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে NH_3 অণু ও OH^- আয়ন HCl এসিড প্রদত্ত প্রোটন (H^+) গ্রহণ করার কারণে প্রত্যেকেই এক একটি ক্ষারক।

এ প্রোটনীয় তত্ত্ব মতে এসিডের সংকেতে H পরমাণু থাকে যেমন HNO_3 অণু ও $H_2PO_4^-$ আয়ন প্রত্যেকে এসিড। সব আরহেনিয়াস এসিড হলো ব্রনস্টেড-লাউরি এসিড।

আবার ক্ষারক হলো প্রোটন (H^+) গ্রহীতা। তাই প্রোটনকে বন্ধনে আবদ্ধ করার জন্য ক্ষারকের মুক্ত জোড় ইলেকট্রন থাকে; যেমন OH^- আয়নসহ F^- আয়ন, CO_3^{2-} আয়ন ও NH_3 অণুতে মুক্ত জোড় ইলেকট্রন আছে। অর্থাৎ **সব ব্রনস্টেড-লাউরি ক্ষারক আরহেনিয়াস ক্ষারক নয়; কিন্তু** আরহেনিয়াস ক্ষারক OH^- আয়ন হলো ব্রনস্টেড-লাউরি ক্ষারক।

এ ব্রনস্টেড-লাউরি তত্ত্ব মতে, এসিড-ক্ষারকের বিক্রিয়ায় প্রোটন স্থানান্তর ঘটে। এসিড-ক্ষারক বিক্রিয়াগুলো ঘটতে পারে সমসত্ত্বীয় অবস্থায় দুটি গ্যাসের মধ্যে, দুটি জলীয় দ্রবণে, দুটি অজলীয় দ্রবণে ও অসমসত্ত্বীয় মিশ্রণে।

প্রোটন স্থানান্তর বিক্রিয়ায় এসিড ও ক্ষারক একসাথে ক্রিয়া করে। পানিতে এসিড অথবা ক্ষারক দ্রবীভূত হওয়ার সময়ও এসিড-ক্ষারক বিক্রিয়া ঘটে। কারণ তখন পানি প্রোটন স্থানান্তর ক্রিয়ায় অংশ নেয়। নিচে এরূপ দুটি মূল বিক্রিয়ায় আমরা তা দেখতে পাব।



চিত্র ১.২৫ : ব্রনস্টেড-লাউরির এসিড-ক্ষারক বিক্রিয়ায় প্রোটন স্থানান্তর প্রক্রিয়া।

১. এসিড থেকে পানি প্রোটন গ্রহণ করছে। (চিত্র ১.২৫ A)

২. ক্ষারককে পানি প্রোটন দান করছে। (চিত্র- ১.২৫ B)

HCl গ্যাস পানিতে দ্রবীভূত হওয়ার সময় HCl অণু হতে একটি প্রোটন (H^+) বা হাইড্রোজেন আয়ন H_2O অণুর O পরমাণুতে থাকা মুক্ত জোড়া ইলেকট্রন দ্বারা বন্ধনে আবদ্ধ হয়ে হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) গঠন করে। অর্থাৎ এক্ষেত্রে HCl এসিডরূপে প্রোটন দাতা এবং H_2O হলো ক্ষাররূপে প্রোটন গ্রহীতা।

$$HCl(g) + H_2\ddot{O}(l) \longrightarrow Cl^-(aq) + H_3\ddot{O}^+(aq)$$

NH_3 গ্যাস পানিতে দ্রবীভূত হওয়ার সময় NH_3 অণুর N পরমাণুতে থাকা মুক্তজোড় ইলেকট্রন পানি থেকে আসা একটি প্রোটন (H^+) কে বন্ধনে আবদ্ধ করে অ্যামোনিয়াম আয়ন (NH_4^+) গঠন করে। অর্থাৎ এক্ষেত্রে NH_3 হলো ক্ষাররূপে প্রোটন গ্রহীতা এবং H_2O হলো এসিডরূপে প্রোটন দাতা।

$$\ddot{N}H_3(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$$

উভয় বিক্রিয়া থেকে বোঝা গেল HCl এর সংস্পর্শে H_2O হলো ক্ষারক এবং NH_3 এর সংস্পর্শে H_2O হলো এসিড অর্থাৎ অবস্থাভেদে দুটি ভিন্ন বিক্রিয়ায় H_2O ক্ষারক ও এসিড উভয়রূপে ক্রিয়া করেছে। তাই H_2O কে **উভধর্মী যৌগ** বা **অ্যামফোটেরিক** (amphoteric) যৌগ বলা হয়।

উভধর্মী যৌগ : যে সব যৌগ ও আয়ন অবস্থাভেদে অপর বিক্রিয়কের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে একাধিক বিক্রিয়ায় অম্ল ও ক্ষারক উভয় রূপে ক্রিয়া করে, তাদেরকে উভধমী যৌগ বা আয়ন বলে। যেমন,

এসিড ক্ষারক বিক্রিয়ায় উভধর্মী পদার্থ যেমন HCO_3^- আয়ন HSO_4^- আয়ন এর বিক্রিয়া হলো নিম্নরূপ :

$$\underset{\text{অম্ল}}{HCO_3^-} + \underset{\text{ক্ষারক}}{HO^-} \rightleftharpoons CO_3^{2-} + H_2O;$$

$$\underset{\text{ক্ষারক}}{HCO_3^-} + \underset{\text{অম্ল}}{H_2O} \rightleftharpoons H_2CO_3 + HO^-$$

$$\underset{\text{অম্ল}}{HSO_4^-} + \underset{\text{ক্ষারক}}{H_2O^-} \rightleftharpoons \underset{\text{ক্ষারক}}{SO_4^{2-}} + \underset{\text{অম্ল}}{H_3O^+};$$

$$\underset{\text{ক্ষারক}}{HSO_4^-} + \underset{\text{অম্ল}}{N_2H_6^{2+}} \rightleftharpoons H_2SO_4 + \underset{\text{ক্ষারক}}{N_2H_5^+}$$

এখানে $N_2H_5^+$ ও $N_2H_6^{2+}$ হলো যথাক্রমে এক-প্রোটনযুক্ত ও দ্বিপ্রোটনযুক্ত হাইড্রাজিন। হাইড্রাজিন হলো NH_2-NH_2।

অনুরূপভাবে উভধর্মী আয়নের আরো কিছু উদাহরণ হলো নিম্নরূপ :

(৩) HS^- (বাই সালফাইড) আয়নের উভধর্মী আচরণ :

অম্ল রূপে HS^- আয়ন : $HS^- + NH_3 \rightleftharpoons NH_4^+ + S^{2-}$

ক্ষারকরূপে HS^- আয়ন : $HS^- + Cl \rightleftharpoons H_2S + Cl^-$

(৪) $H_2PO_4^-$ (ডাই হাইড্রোজেন ফসফেট) আয়নের উভধর্মী আচরণ :

অম্লরূপে $H_2PO_4^-$ আয়ন : $H_2PO_4^- + NH_3 \rightleftharpoons HPO_4^{2-} + NH_4^+$

ক্ষারকরূপে $H_2PO_4^-$ আয়ন : $H_2PO_4^- + HCl \rightleftharpoons H_3PO_4 + Cl^-$

(৫) HPO_4^{2-} (মনো হাইড্রোজেন ফসফেট) আয়নের উভধর্মী আচরণ :

অম্লরূপে HPO_4^{2-} আয়ন : $HPO_4^{2-} + NH_3 \rightleftharpoons PO_4^{3-} + NH_4^+$

ক্ষারকরূপে HPO_4^{2-} আয়ন : $HPO_4^{2-} + HCl \rightleftharpoons H_2PO_4^- + Cl^-$

(৬) $H_2PO_3^-$ (ডাই হাইড্রোজেন ফসফাইট) আয়নের উভধর্মী আচরণ :

অম্লরূপে $H_2PO_3^-$ আয়ন : $H_2PO_3^- + NH_3 \rightleftharpoons HPO_3^{2-} + NH_4^+$

ক্ষারকরূপে $H_2PO_3^-$ আয়ন : $H_2PO_3^- + HCl \rightleftharpoons H_3PO_3 + Cl^-$

উল্লেখ্য H_3PO_3 (ফসফরাস এসিড) হলো-দ্বিক্ষারকীয় এসিড অর্থাৎ H_3PO_3 এর দুটি H পরমাণু $-OH$ মূলক রূপে P এর সাথে যুক্ত থাকে এবং ঐ দুটির H পরমাণু প্রতিস্থাপনীয় বা আয়নিত হওয়ার যোগ্য।

১.১৫.১ অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক (Conjugate Acid-Base Pair)

ব্রনস্টেড-লাউরির তত্ত্ব মতে, এসিড-ক্ষারক বিক্রিয়ায় নতুন ধারণা যোগ হয়েছে। এক্ষেত্রে বিক্রিয়ক এসিড ও ক্ষারক এবং উৎপাদগুলোর মধ্যে একটি নতুন সম্পর্ক প্রতিষ্ঠিত হয়েছে। যেমন, হাইড্রোজেন সালফাইড ও অ্যামোনিয়ার মধ্যে বিক্রিয়াটি ধরা যাক, $H_2S + NH_3 \rightleftharpoons HS^- + NH_4^+$

এক্ষেত্রে সম্মুখমুখী বিক্রিয়ায়, এসিড বা অম্লরূপে H_2S ক্ষারক NH_3 কে একটি প্রোটন (H^+) দান করেছে। আবার পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ায়ও একটি এসিড ও ক্ষারকযুগল ক্রিয়া করেছে; এক্ষেত্রে অ্যামোনিয়াম আয়ন (NH_4^+) অম্ল বা এসিডরূপে ক্ষারক হাইড্রোজেন সালফাইড আয়ন (HS^-) কে একটি প্রোটন দান করেছে। লক্ষ্য কর, এক্ষেত্রে H_2S অম্ল থেকে HS^- ক্ষারক উৎপন্ন হয়েছে এবং NH_3 ক্ষারক থেকে NH_4^+ অম্ল উৎপন্ন হয়েছে।

এরূপ বিক্রিয়ায় ব্রনস্টেড-লাউরি টারমিনোলজি বা নামকরণে H_2S ও HS^- আয়নকে অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক যুগল (conjugate acid-base pair) বলা হয়। অর্থাৎ H_2S অম্লের অনুবন্ধী ক্ষারক হলো HS^- আয়ন। একইভাবে NH_3 ও NH_4^+ আয়ন হলো অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক যুগল। এক্ষেত্রে NH_3 ক্ষারকের অনুবন্ধী অম্ল হলো NH_4^+ আয়ন। তাই প্রত্যেক অম্লের অনুবন্ধী ক্ষারক ও প্রত্যেক ক্ষারকের অনুবন্ধী অম্ল থাকে। **প্রতিটি অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক যুগলের বেলায় নিম্নোক্ত বৈশিষ্ট্য আছে :** * অম্লের চেয়ে এর অনুবন্ধী ক্ষারকে একটি H পরমাণু কম ও একটি ঋণাত্মক চার্জ বেশি থাকে।

* ক্ষারকের চেয়ে এর অনুবন্ধী অম্লে একটি H পরমাণু বেশি ও একটি ঋণাত্মক চার্জ কম থাকে।

ব্রনস্টেড-লাউরির অম্ল-ক্ষারক বিক্রিয়ায়, অম্ল ও ক্ষারক থেকে উৎপন্ন এদের যথাক্রমে অনুবন্ধী ক্ষারক ও অনুবন্ধী অম্লকে নিচের সাধারণ সমীকরণ দ্বারা বোঝানো হয় :

$$\text{অম্ল}_1 + \text{ক্ষারক}_2 \rightleftharpoons \text{ক্ষারক}_1 + \text{অম্ল}_2$$

নিচের সারণি-১.৯-এ দেয়া ব্রনস্টেড-লাউরির অম্ল-ক্ষারক বিক্রিয়াগুলো লক্ষ কর। এতে দেখতে পাবে;

* প্রতিটি বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক হলো অম্ল ও ক্ষারক; উৎপাদ হলো অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক যুগল।

* অম্ল ও ক্ষারক হতে পারে প্রশম অণু, ক্যাটায়ন অথবা অ্যানায়ন।

* একই যৌগ বা আয়ন অবস্থাভেদে অপর বিক্রিয়কের ওপর নির্ভর করে একাধিক বিক্রিয়ায় অম্ল ও ক্ষারকরূপে আচরণ করতে পারে; এদেরকে **উভধর্মী বা অ্যাম্ফোটেরিক যৌগ বা আয়ন** বলে। নিচের 1 ও 2 নং বিক্রিয়ায় H_2O হলো যথাক্রমে ক্ষারক ও অম্ল এবং 2 ও 3 নং বিক্রিয়ায় HPO_4^{2-} আয়ন যথাক্রমে ক্ষারক ও অম্ল উভয়রূপে ক্রিয়া করেছে।

সারণি-১.৯ : কয়েকটি অম্ল-ক্ষারক বিক্রিয়ায় অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক যুগল

	অম্ল_1	+	ক্ষারক_2	$\rightleftharpoons$	ক্ষারক_1	+	অম্ল_2
বিক্রিয়া–1	HF	+	H_2O	$\rightleftharpoons$	F^-	+	H_3O^+
বিক্রিয়া–2	$H_2PO_4^-$	+	OH^-	$\rightleftharpoons$	HPO_4^{2-}	+	H_2O
বিক্রিয়া–3	HPO_4^{2-}	+	SO_3^{2-}	$\rightleftharpoons$	PO_4^{3-}	+	HSO_3^-

MCQ. 1.10: কোনটি উভধর্মী যৌগ?
(ক) H_2O (খ) NH_3
(গ) NH_4^+ (ঘ) H_3O^+

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৬৫ : আরহেনিয়াস ও ব্রনস্টেড-লাউরি তত্ত্বভিত্তিক :

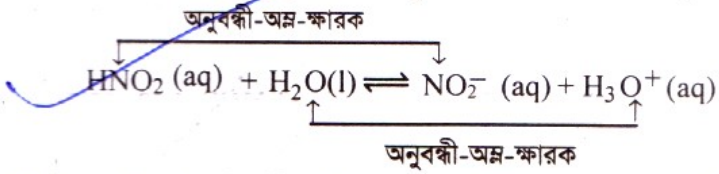
আরহেনিয়াস তত্ত্ব ও ব্রনস্টেড-লাউরি তত্ত্ব মতে নাইট্রাস এসিড (HNO_2) এর অম্লধর্ম ব্যাখ্যা কর এবং HNO_2 এর অনুবন্ধী ক্ষারক শনাক্ত কর।

দক্ষতা : আরহেনিয়াস তত্ত্ব মতে, HNO_2 পানিতে H^+ আয়ন তৈরি করবে। ব্রনস্টেড-লাউরি মতে, HNO_2 প্রোটন দেবে।

সমাধান : HNO_2 হলো আরহেনিয়াস এসিড; কারণ পানিতে এটি H^+ আয়ন দেয় :

$$HNO_2(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + NO_2^-(aq)$$

ব্রনস্টেড-লাউরি তত্ত্ব মতে, HNO_2 পানিতে H_2O কে প্রোটন দান করে H_3O^+ তৈরি করে :



HNO_2 প্রোটন দান করায় অনুবন্ধী ক্ষারক নাইট্রাইট আয়ন (NO_2^-) সৃষ্টি হয়েছে।

MCQ. 1.11: কোনটি এসিড বৃষ্টির জন্য কারণ নয়?
(ক) H_2CO_3 (খ) HNO_3
(গ) H_2SO_4 (ঘ) H_2SO_3

শিক্ষার্থী নিজে কর : ব্রনস্টেড-লাউরি এসিড ক্ষারক তত্ত্বভিত্তিক :

সমস্যা ১.৯৩ (ক) : ব্রনস্টেড-লাউরি এসিডরূপে পানিতে নিচের প্রত্যেকটির বিয়োজন সমতাযুক্ত সমীকরণসহ লেখ :
(i) H_2SO_4 (ii) HSO_4^- (iii) H_3O^+ (iv) NH_4^+

সমস্যা–১.৯৩ (খ) : নিচের ব্রনস্টেড-লাউরির প্রত্যেকটি ক্ষারকের অনুবন্ধী অম্লের নাম ও সংকেত লেখ:
(i) HCO_3^+ (ii) CO_3^{2-} (iii) OH^- (iv) HP_4^{2-}

সমস্যা–১.৯৩ (গ) : অনুবন্ধী অম্ল কী? [সি. বো. ২০১৬, য. বো. ২০১৬]

সমস্যা – ১.৯৩ (ঘ) : অনুবন্ধী ক্ষারক কী? [ব. বো. ২০১৬]

১.১৬ এসিড-ক্ষারকের লুইস তত্ত্ব

Lewis Theory of Acid-Base

1923 খ্রিস্টাব্দে ব্রনস্টেড-লাউরি প্রোটন দান- গ্রহণভিত্তিক এসিড ও ক্ষারকের সংজ্ঞা দেন। একই বছর আমেরিকান রসায়নবিদ জি. এন. লুইস ইলেকট্রন জোড় দান- গ্রহণভিত্তিক সর্বশেষ এসিড-ক্ষারকের সংজ্ঞাটি দেন-

* লুইস এসিড হলো এমন যৌগ বা আয়ন যা একটি ইলেকট্রন-জোড় গ্রহণ করে।
* লুইস ক্ষারক হলো এমন যৌগ বা আয়ন যা একটি ইলেকট্রন-জোড় দান করে।

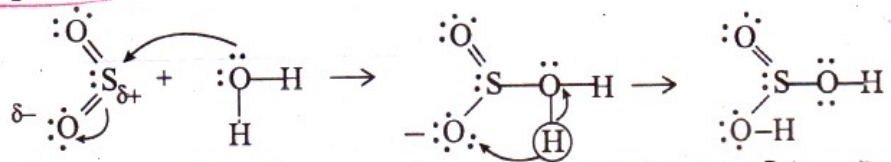
M 94-95

লক্ষ কর, লুইস ক্ষারকের সংজ্ঞা ও ব্রনস্টেড-লাউরির ক্ষারকের সংজ্ঞা একই; প্রতিক্ষেত্রে ক্ষারকের একটি ইলেকট্রন-জোড় থাকে, যা বন্ধন গঠনে দান করে। তাই লুইসের সংজ্ঞায় ক্ষারকের সংখ্যার বৃদ্ধি ঘটেনি; কিন্তু এসিডের সংখ্যার অনেক বৃদ্ধি ঘটেছে। যেমন CO_2, SO_2, SO_3, Cu^{2+} আয়ন ইত্যাদিতে H-পরমাণু না থাকা সত্ত্বেও এরা লুইস এসিড; কারণ বিক্রিয়ায় এরা ইলেকট্রন জোড় গ্রহণ করে। সব ব্রনস্টেড-লাউরি এসিড হলো লুইস এসিড; কিন্তু সব লুইস এসিড ব্রনস্টেড-লাউরি এসিড নয়। H^+ আয়নসহ সব ক্যাটায়ন ও প্রশম অণু যাদের খালি যোজ্যতা স্তরে ক্ষারক প্রদত্ত ইলেকট্রন জোড় শেয়ার করে বন্ধন গঠনে সক্ষম, তাদের সবই লুইস এসিড।

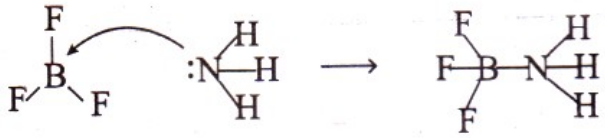
১. ক্যাটায়নিক লুইস এসিড : অ্যামোনিয়া ও Cu^{2+} আয়নের লুইস অম্ল-ক্ষারক বিক্রিয়ায় গাঢ় নীল বর্ণের টেট্রাঅ্যাম্মিন কপার (II) আয়নের $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ দ্রবণ উৎপন্ন হয়। এক্ষেত্রে চারটি NH_3 অণুর প্রত্যেকটি একটি ইলেকট্রন-জোড় Cu^{2+} আয়নকে সন্নিবেশ বন্ধন গঠনে দান করেছে।

$$Cu^{2+} + 4NH_3 \longrightarrow [Cu(NH_3)_4]^{2+}$$

২. অধাতব অক্সাইড লুইস এসিড : পানি ও SO_2 এর লুইস অম্ল-ক্ষারক বিক্রিয়ায় H_2SO_3 এসিড উৎপন্ন হয়। এক্ষেত্রে ক্ষারকরূপে H_2O একটি ইলেকট্রন জোড় আংশিক ধনাত্মক S পরমাণুকে দান করে আবদ্ধ হয়। পরে একটি প্রোটন H_2O অংশ থেকে SO_2 অংশ স্থানান্তরিত হয়।



৩. প্রশম লুইস এসিড-ক্ষারক : লুইস এসিড BF_3 অণুকে লুইস ক্ষারক NH_3 অণু একটি ইলেকট্রন জোড় দান করে গ্যাসীয় অবস্থায় সমযোজী বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ হয়েছে।



MCQ. 1.12: কোনটি লুইস এসিড নয়?
(ক) Cu^{2+} (খ) SO_3
(গ) BF_3 (ঘ) Al^{3+}

সমাধানকৃত সমস্যা ১.৬৬ : লুইস এসিড-ক্ষারকভিত্তিক :

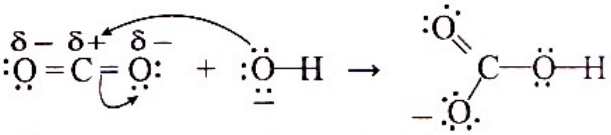
নিচের প্রতিটি বিক্রিয়ায় লুইস এসিড ক্ষারক শনাক্ত কর :

(ক) $CO_2 + OH^- \longrightarrow HCO_3^-$ (খ) $B(OH)_3 + OH^- \longrightarrow B(OH)_4^-$

(গ) $Fe^{3+} + 6CN^- \longrightarrow [Fe(CN)_6]^{3-}$ (ঘ) $HCl(g) + NH_3(g) \longrightarrow NH_4Cl(s)$

দক্ষতা : লুইস এসিডরূপে কোন্‌টি ইলেকট্রন জোড় গ্রহণ ও কোন্‌টি ক্ষারকরূপে তা দান করে শনাক্ত কর।

সমাধান : (ক) দ্বিবন্ধনযুক্ত কার্বন ডাই অক্সাইড (O = C = O) অণুতে কম তড়িৎ ঋণাত্মক C পরমাণুতে আংশিক ধনাত্মক চার্জ সৃষ্টি হয়। তাই OH^- আয়ন থেকে ঐ C পরমাণু ইলেকট্রন জোড় শেয়ার করে সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ হয়। তখন দ্বিবন্ধনের একটি শেয়ারকৃত ইলেকট্রন জোড় ঐ O পরমাণুতে শিফ্‌ট করে।



এখানে ইলেকট্রন-জোড় গ্রহণকারী CO_2 হলো লুইস এসিড এবং ইলেকট্রন-জোড় দাতা হলো OH^- আয়ন ক্ষারক।

(খ) বোরিক এসিড $B(OH)_3$ হলো লুইস এসিড। এটি মৃদু এসিড ও অ্যান্টিসেপ্টিকরূপে আই-ওয়াসে ব্যবহৃত হয়। $B(OH)_3$ এর B পরমাণুতে খালি যোজন-অরবিটাল থাকায় OH^- ক্ষারকের ইলেকট্রন জোড় গ্রহণ করে অষ্টকপূর্ণ করে।

(গ) Fe^{3+} আয়ন হলো লুইস এসিড এবং $:CN^-$ আয়ন লুইস ক্ষারক। ছয়টি $:CN^-$ আয়নের প্রত্যেকটি একটি করে ছয়টি ইলেকট্রন জোড় Fe^{3+} আয়নের d^2sp^3 সংকরিত খালি ছয়টি সংকর অরবিটালে দান করে সন্নিবেশ বন্ধন গঠন করে।

শিক্ষার্থী নিজে কর : লুইস- এসিড ক্ষারক তত্ত্বভিত্তিক :

সমস্যা- ১.৯৪ : নিচের প্রত্যেকটি বিক্রিয়ায় লুইস এসিড ও লুইস ক্ষারক শনাক্ত কর :

(ক) $AlCl_3 + Cl^- \longrightarrow AlCl_4^-$;
(খ) $2NH_3 + Ag^+ \longrightarrow [Ag(NH_3)_2]^+$
(গ) $SO_3 + OH^- \longrightarrow HSO_4^-$;
(ঘ) $6H_2O + Cr^{3+} \longrightarrow [Cr(H_2O)_6]^{3+}$
(ঙ) $Cr + 6CO \longrightarrow Cr(CO)_6$
(চ) $4NH_3 + Cu^{2+} \longrightarrow [Cu(NH_3)_4]^{2+}$
(ছ) $Fe + 5CO \longrightarrow Fe(CO)_5$
(জ) $6NH_3 + Co^{3+} \longrightarrow [Co(NH_3)_6]^{3+}$
(ঝ) $Fe^{2+} + 6CN^- \longrightarrow [Fe(CN)_6]^{4-}$
(ঞ) $[Fe(H_2O)_5OH]^{2+} + H^+ \longrightarrow [Fe(H_2O)_6]^{3+}$

১.১৭ মিঠা পানির উৎস ও গুরুত্ব

Soft water Sources and Importance

পৃথিবীতে মোট জলরাশির 97.3% হলো সামুদ্রিক লবণাক্ত পানি এবং অবশিষ্ট 2.7% হলো মিঠা পানি (soft water)। এ 2.7% এর মধ্যে হিমবাহ ও তুষার 2%, ভূগর্ভস্থ পানি 0.6% মিঠাপানির হ্রদ ও নদীতে প্রায় 0.01%। মিঠাপানির উৎসগুলো এবং উৎসের মিঠাপানির শতকরা পরিমাণ নিম্নরূপ :

১. হিমবাহ ও তুষার আচ্ছাদন (glacier and snow cover) = 74%
২. ভূগর্ভস্থ পানি (under ground water) = 22.2%
৩. বিভিন্ন হ্রদ (different lakes) = 0.3%
৪. বায়ুতে যা বৃষ্টিরূপে আসে (rains) = 0.035%
৫. বিভিন্ন নদী (rivers) = 0.03%

MCQ. 1.13: পানির বিশুদ্ধতার মান হলো–
(i) DO (ii) BOD (iii) pH
কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

মানুষের ব্যবহার্য পানির সরবরাহের উৎসকে দু'ভাগে ভাগ করা হয় :

ভূপৃষ্ঠের পানি (surface water) : (১) নদী, হিমবাহ ও হ্রদের পানি, (২) পাহাড়ি ঝরনা ও খালের পানি, (৩) বাঁধ ও খাতে সঞ্চিত পানি।

ভূগর্ভস্থ পানি (under ground water) : (১) অগভীর কূপের মাধ্যমে পাললিক (alluvial) ও বালি-শিলার স্তরে জমা পানি সংগ্রহ।

(২) **বেড রক (bed rock)** থেকে অগভীর কূপের মাধ্যমে পানি সংগ্রহ।

(৩) গভীর কূপের মাধ্যমে **আর্টেসিয়ান বেসিন** (artesian basin) থেকে সংগৃহীত পানি।

(৪) বৃষ্টির পানিকে পানি ধারক মাটির স্তরে (aquifer-এ) সঞ্চিত করে রাখা।

মিঠাপানির গুরুত্ব : একজন পূর্ণবয়স্ক মানুষের দেহের ভরের প্রায় 70% হলো পানি। মিঠা পানি ছাড়া মানুষের দেহধারণ সম্ভব নয়। এজন্য পানির অপর নাম জীবন। হ্রদ, নদী ও ভূগভস্থ মিঠা পানিকে সংগ্রহ করে প্রয়োজনমত বিশোধন করে গৃহস্থালীর কাজে, শিল্পক্ষেত্রে ও কৃষিকাজে আমরা ব্যবহার করে থাকি।

সকাল বেলা ঘুম থেকে ওঠে এ মিঠাপানি আমাদের দরকার হয়। মুখ ধোয়া থেকে শুরু করে স্নান করা, কাপড় চোপড় ধোয়া, রান্না-বান্না করা এবং সর্বোপরি খাবার পানি অপরিহার্য। প্রতিদিন একজন মানুষের কমপক্ষে 1.6 লিটার বিশুদ্ধ পানি খেতে হয়।

প্রতিটি শিল্পকারখানায় প্রচুর মিঠা পানি প্রয়োজন হয়। বয়লারে মিঠা পানি ছাড়া সামুদ্রিক লবণাক্ত পানি ব্যবহার করা যায় না। লবণাক্ত পানি বয়লারকে নষ্ট করে দেয়। কারখানার যন্ত্রপাতিকে শীতল করার (cooling) কাজেও দ্রাবকরূপে ব্যবহৃত পানি হলো মিঠাপানি। হাইড্রো-ইলেকট্রিসিটি উৎপাদনে ব্যবহৃত হয় পাহাড়ি নদী বা হ্রদের মিঠা পানি। সব শিল্প কারখানার কোনো না কোনো পর্যায়ে পানির ব্যবহার করতেই হয়। তাই শিল্পোন্নয়নে মিঠাপানির গুরুত্ব অপরিসীম।

খাদ্যশস্য উৎপাদনে কৃষিকাজে প্রচুর মিঠা পানির প্রয়োজন হয়। বাংলাদেশসহ পৃথিবীর প্রায় সব দেশের কৃষিকাজ বৃষ্টির মিঠাপানির ওপর নির্ভরশীল। এছাড়া নদ-নদী, খাল-বিল, হাওর ও হ্রদের মিঠা পানিকে সেচের মাধ্যমে কৃষিকাজে ব্যবহার করা হয়। বর্তমানে শীতকালে বাংলাদেশে ইরি ধানের চাষে প্রচুর পানি দরকার হয়। এ পানি যোগান দিতে ভূগর্ভস্থ পানিকে গভীর নলকূপের মাধ্যমে বিদ্যুৎ চালিত পাম্প মেসিন দ্বারা উত্তোলন করা হয়। মাঠের কৃষি কাজ ছাড়াও স্থলজ ও জলজ উদ্ভিদের জন্য এ মিঠা পানির দরকার। এ পানির অভাবে পরিবেশ ও বাস্তুতন্ত্রের বা খাদ্য শৃঙ্খলের বিপর্যয় ঘটবে। জলজ উদ্ভিদ সালোকসংশ্লেষণ দ্বারা যেমন অক্সিজেন তৈরি করে পানিতে DO এর পরিমাণ ঠিক রাখে; অপরদিকে এসব শ্যাওলা জাতীয় উদ্ভিদ জলজ প্রাণীর খাদ্যও বটে। এসব জলজ উদ্ভিদ না থাকলে মাছসহ জলজ প্রাণী বাঁচে না। তখন পরিবেশ ও খাদ্য-শৃঙ্খল বাধাগ্রস্ত হয়। স্থলজ উদ্ভিদ একইভাবে প্রাকৃতিক ভারসাম্য রক্ষায় ভূমিকা রাখে। আর এসব বাস্তুতন্ত্র বা ইকোসিস্টেম (ecosystem) ও প্রাকৃতিক পরিবেশ সংরক্ষণের মূলে রয়েছে শক্তি যোগানদাতারূপে মিঠাপানির ভূমিকা।

১.১৮ সারফেস ওয়াটারের বিশুদ্ধতার মানদণ্ড

Purity Criteria of Surface water

শিল্পকারখানা ও কৃষিকাজে সারফেস ওয়াটারের ব্যবহারের পূর্বে এর বিশুদ্ধতার মানদণ্ডরূপে পানির P^H, পানির খরতা, পানির DO, BOD, COD ও TDS জানা দরকার। পানির এ সব মানদণ্ড সম্বন্ধে আমরা জানব।

খরপানি (Hard Water) : মিঠা পানিতে পর্যাপ্ত পরিমাণে দ্বিধনাত্মক ক্যাটায়ন যেমন Ca^{2+}, Mg^{2+} ও Fe^{2+} আয়ন দ্রবীভূত থাকলে ঐ পানিকে **খর পানি** (hard water) বলা হয়। এ খর পানির সব আয়ন সাবানের জৈব অ্যানায়নের সাথে যুক্ত হয়ে পানিতে অদ্রবণীয় ভাসমান পদার্থ (soap scum) তৈরি করে। এতে সাবানের অপচয় ঘটে।

পানির খরতা (Hardness of Water) : পানিতে অধিক পরিমাণে দ্বিধনাত্মক ক্যাটায়ন যেমন, Ca^{2+} আয়ন, Mg^{2+} আয়ন ও Fe^{2+} আয়নের উপস্থিতির কারণে সৃষ্ট পানির বিশেষ ধর্মকে **পানির খরতা ধর্ম** বলে। পানির খরতা দু' প্রকার। যেমন **স্থায়ী খরতা ও অস্থায়ী খরতা**। পানিতে Ca^{2+}, Mg^{2+} ও Fe^{2+} আয়নের ক্লোরাইড ও সালফেট অধিক পরিমাণে দ্রবীভূত থাকলে তখন **পানিতে স্থায়ী খরতা হয়। পানিকে ফুটিয়ে স্থায়ী খরতা দূর করা যায় না।** আয়ন এক্সচেঞ্জ পদ্ধতিতে দূর করা হয়। আবার পানিতে Ca^{2+}, Mg^{2+} ও Fe^{2+} আয়নের বাইকার্বনেট লবণ অধিক দ্রবীভূত থাকার কারণে সৃষ্ট খরতাকে **অস্থায়ী খরতা বলে**। অস্থায়ী খরতার পানিকে উচ্চ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে বাইকার্বনেট লবণ তাপে বিযোজিত হয়ে অদ্রবণীয় কার্বনেটরূপে অধঃক্ষিপ্ত হয়। তখন অস্থায়ী খর পানি মৃদু পানিতে পরিণত হয়,**খরতা দূর হয়**। যেমন,

$$Ca(HCO_3)_2(aq) \xrightarrow{\Delta} CaCO_3(s) + CO_2(g) + H_2O(l)$$

এছাড়া খর পানির বাইকার্বনেট লবণ কারখানার স্টিম বয়লার, ওয়াটার হিটার, চায়ের কেট্‌লি ইত্যাদির গায়ে পাতলা ধাতব কার্বনেট স্তর বা **বয়লার-স্কেল** (boiler scale) তৈরি করে। ফলে এ সব পাত্রে তাপ পরিবহন ক্ষমতা কমে যায়। লক্ষ কর বয়লার-স্কেল গঠনে লা-শাতেলিয়ার নীতি সমর্থন করে। যেমন,

$$2HCO_3^-(aq) \overset{\Delta}{\rightleftharpoons} CO_2(g) + H_2O(l) + CO_3^{2-}(aq)$$

$$Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \longrightarrow CaCO_3(s)$$

এক্ষেত্রে HCO_3^- আয়ন বিযোজনে উৎপন্ন CO_3^{2-} আয়ন দ্রবণে থাকে এবং CO_2 গ্যাস মুক্ত হলে সাম্যাবস্থা ডান দিকে শিফ্‌ট হয়। তখন $CaCO_3$ এর আয়নদ্বয়ের আয়নিক গুণফল এর দ্রাব্যতার গুণফলকে অতিক্রম করে।

স্থায়ী ও অস্থায়ী খরতা দূরীকরণ : কারখানায় ব্যবহৃত সারফেস ওয়াটারের **স্থায়ী ও অস্থায়ী উভয় প্রকার খরতা দূর করতে** আয়ন এক্সচেঞ্জ (ion exchange) পদ্ধতিতে দ্বিযোজী ক্যাটায়নগুলো দূর করা হয়। এক্ষেত্রে খর পানিকে সোডিয়াম সালফাইট আয়ন SO_3Na^+ যুক্ত রেজিন ($R\text{-}SO_3^-Na^+$) এর মধ্যে চালনা করা হয়।

$$2R\text{–}SO_3^-Na^+(s) + Ca^{2+}(aq) \longrightarrow (RSO_3^-)_2\,Ca^{2+}(s) + 2Na^+(aq)$$

নিষ্ক্রিয় আয়ন-বিনিময় রেজিনকে KCl দ্রবণ দ্বারা সক্রিয় করা যায়।

পানির pH : আমরা জানি বিশুদ্ধ পানির pH এর মান 7; কিন্তু সারফেস ওয়াটারে H_2CO_3 এসিড দ্রবীভূত থাকে। তাই ভূ-পৃষ্ঠের পানির pH এর মান 6 থেকে 6.5 হয়ে থাকে। WHO এর মানদণ্ড মতে, 25°C-এ পানির pH সীমা 6.5 – 8.5 এর মধ্যে থাকতে হবে। তখন পানি বর্ণহীন ও গন্ধহীন হবে। জলজ প্রাণীর জন্য পানির অনুকূল pH হলো 7.0 – 7.5।

পানির DO : পানির অক্সিজেন সম্পৃক্তকরণে পানিতে দ্রবীভূত অক্সিজেনের (dissolved oxygen-এর) **পরিমাণকে পানির DO বলা হয়**। 15°C-এ অক্সিজেন সম্পৃক্ত পানিতে DO এর মান হয় 10mg/L বা 10 ppm. [ppm = parts per million বা, per pico metre = 10^{-12}m]

অক্সিজেন সেনসর (sensor) যুক্ত Probe বা ইলেকট্রোডকে পানিতে ডুবিয়ে মিটারে DO এর মান জানা যায়। **সারফেস ওয়াটারে DO এর মান 5mg/L এর সীমানায় বা এর উপরে থাকতে হয়** এবং নদীর মোহনায় পানিতে DO এর মান 6mg/L এর বেশি থাকে। নদী ও পুকুরের পানিতে জৈব বস্তুর পচনের ফলে পানির DO কমে যায়; তখন বায়ুজীবী (aerobic) জলজ প্রাণী যেমন মাছ মারা যায়। কিন্তু অবায়ুজীবী (anaerobic) জলজ উদ্ভিদ ও কিছু ব্যাকটেরিয়া ঐ পানিতে বৃদ্ধি পায় এবং ব্যাকটেরিয়া আক্রান্ত মাছ মরে যায়।

* সারফেস ওয়াটারের DO এর মান 5 ppm এর কম হলে বায়ুজীবী জলজ প্রাণী কমে গিয়ে অবায়ুজীবী উদ্ভিদ ও প্রাণী বেড়ে যাবে। এর নিট ফল প্রাকৃতিক ভারসাম্য বিনষ্ট হবে। তখন বিষাক্ত গ্যাস ও অস্বাস্থ্যকর গন্ধ ছড়িয়ে পড়ে।

পানির BOD : জীব রাসায়নিক অক্সিজেন চাহিদা (Biochemical oxygen demand) বা BOD এর মান দ্বারা সারফেস ওয়াটারে জৈব দূষকের পরিমাণ তুলনা করা যায়। BOD কে নিম্নরূপে সংজ্ঞায়িত করা হয়।

নির্দিষ্ট পরিমাণ সারফেস ওয়াটারের নমুনায় থাকা দূষক জৈব বস্তুকে 20°C তাপমাত্রায় পাঁচদিন যাবৎ বায়ুজীবী জীবাণু বা, ব্যাকটেরিয়া দ্বারা সম্পূর্ণ ডিগ্রেডেশন (biodegradable) **বা পচনশীল জৈব বস্তুকে বিযোজিত করতে ঐ পানির DO থেকে যে পরিমাণ O_2 ব্যয়িত হয়, তাকে ঐ নমুনা পানির BOD বলে। এর ফলে নমুনা পানির DO এর মান কমে যায়।**

জৈব বস্তু দূষকের পরিমাণ তুলনার জন্য নমুনা পানির BOD নিম্নরূপে গণনা করা হয়।

$$\text{Initial DO} - \text{Final DO} = \text{BOD}$$

$$\text{পচনশীল জৈব বস্তু} + O_2 \xrightarrow{\text{ব্যাকটেরিয়া}} CO_2 + H_2O + H_2S + NH_3$$

* পানিতে **BOD** এর মান 1–2 mg/L এর মধ্যে থাকলে খুবই ভালো; BOD এর মান 3 হলে মোটামুটি ভালো; তবে বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থা (WHO) এর মতে নদী, হ্রদ ও পুকুরের পানিতে মাছ ও জলজ প্রাণীর জন্য সহায়করূপে BOD অবশ্যই 6mg/L এর কম হবে। BOD এর মান 10 এর বেশি হলে পানিতে দূষণমাত্রা খুব খারাপ ধরা হয়।

BOD এর মান	পানির অবস্থা
1–2 mg/L	খুবই ভালো
3mg/L	মোটামুটি ভালো
6mg/L	WHO এর অনুমোদিত দুষণমাত্রা
10 mg/L	দুষণমাত্রা খারাপ
20 mg/L	দুষণমাত্রা খুবই খারাপ

*** জেনে নাও :** কোনো নমুনা পানির BOD 5mg/L বলতে বোঝা যায় যে, ঐ নমুনা পানির প্রতি লিটার পরিমাণে থাকা দূষক জৈব বস্তুকে 20°C তাপমাত্রায় বায়ুজীবী জীবাণু বা ব্যাকটেরিয়া দ্বারা সম্পূর্ণ বিয়োজিত করতে ঐ পানির DO থেকে 5mg অক্সিজেন ব্যয় হয়। এর ফলে ঐ নমুনা পানির DO এর মান কমে যায়।

পানির COD : পরিবেশ রসায়নে সারফেস ওয়াটারে রাসায়নিক অক্সিজেন চাহিদা (Chemical oxygen demand) বা COD এর মান দ্বারা ঐ নমুনা পানিতে পরোক্ষভাবে পচনশীল জৈব বস্তু (biodegradable) ও অপচনশীল জৈব যৌগ (Non-biodegradable) এ উভয় প্রকার জৈববস্তু ও জৈব যৌগের পরিমাণ পরিমাপ করা হয়। **তাই COD এর মান BOD এর মান থেকে বেশি হয়।** নির্ণীত COD এর মান থেকে সারফেস ওয়াটার যেমন নদী, হ্রদ ও বর্জ্যপানিতে দূষক পচনশীল জৈব বস্তু ও জৈব যৌগের পরিমাণ জানা যায় অর্থাৎ পানির বিশুদ্ধতার মান জানা যায়।

পানির COD কে নিম্নরূপে সংজ্ঞায়িত করা হয় :

প্রতি লিটার সারফেস ওয়াটারের নমুনায় থাকা দূষক পচনশীল জৈব বস্তু ও অপচনশীল জৈব যৌগকে সম্পূর্ণ জারিত করে CO_2, NH_3, H_2S ও পানিতে পরিণত করতে যে পরিমাণ ভরের অক্সিজেন ঐ পানির DO থেকে দরকার হয়, তাকে ঐ পানির COD বলা হয়। পানির COD এর একক হলো mg/L বা, ppm (parts per million),

BOD ও COD এর মান থেকে দূষিত পানিতে পচনশীল মৃত জৈব বস্তু ও অপচনশীল জৈব যৌগের পরিমাণ জানা যায়।

নমুনা পানির COD প্রকাশের জারণ বিক্রিয়ার সমীকরণ নিম্নরূপ :

$$C_nH_aO_bN_c + (n + {}^a/_4 - {}^b/_2 - {}^{3c}/_4)O_2 \longrightarrow nCO_2 + cNH_3 + ({}^a/_2 - {}^{3C}/_2)\,H_2O$$

যেমন অ্যাসিট্যামাইড CH_3CONH_2 বা $C_2H_5O_1N_1$ এর জারণের বেলায় n = 2, a = 5, b = 1, c = 1 ধরে পাই

: $C_2H_5O_1N_1 + (2 + 5/4 - {}^1/_2 - 3\times1/4)\,O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 1NH_3 + ({}^5/_2 - 3\times {}^1/_2)\,H_2O$

$$C_2H_5O_1N_1 + 2O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 1NH_3 + H_2O$$

পরীক্ষাগারে লঘু H_2SO_4 এর উপস্থিতিতে M/60 $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণ সহযোগে নমুনা সারফেস ওয়াটারে থাকা দূষক জৈব যৌগকে রিডক্স টাইট্রেশন করা হয়। নিম্নোক্ত বিক্রিয়ায় $K_2Cr_2O_7$ বিজারিত হয়ে উৎপন্ন Cr^{3+} এর পরিমাণ থেকে নমুনা পানিতে থাকা দূষক জৈব যৌগের পরিমাণ গণনা করা হয়।

$$C_nH_aO_bN_c + d\,Cr_2O_7^{2-} + (8d + c)\,H^+ \longrightarrow nCO_2 + (a + 8d - 3c)/2\,H_2O + cNH_4^+ + 2dCr^{3+}$$

এখানে $d = ({}^{2n}/_3 + {}^a/_6 - {}^b/_3 - {}^c/_2)$। [তৃতীয় অধ্যায়ে ব্যবহারিক ক্লাসে Fe^{2+} আয়ন পরিমাণ নির্ণয়ের 'রিডক্স টাইট্রেশন' এর অনুরূপ। তবে $K_2Cr_2O_7$ দ্বারা টাইট্রেশনে নির্দেশকরূপে 5mL 85% ফসফরিক এসিড ও 7–8 ফোঁটা ডাইফিনাইল অ্যামিন ব্যবহৃত হয়। টাইট্রেশনের শেষ বিন্দুতে গাঢ় বেগুনি নীল (purple) বর্ণ সৃষ্টি হয়।]

এছাড়া নমুনা পানিকে ফুটিয়ে জৈব যৌগের জারণে উৎপন্ন CO_2 এর পরিমাণকে IR অ্যানালাইজার দ্বারা নির্ণয় করে CO_2 এর অনুপাত থেকে COD গণনা করা যায়।

পানির TDS : সারফেস ওয়াটারে থাকা সমগ্র দ্রবীভূত কঠিন বস্তু (Total dissolved solids) বা TDS এর মান দ্বারা ঐ নমুনা পানিতে থাকা জৈব ও অজৈব কলয়েডেল কণা, এর চেয়ে ছোট আণবিক ও আয়নিক সব পদার্থের সামগ্রিক পরিমাণকে বোঝানো হয়।

প্রধানত TDS নির্ণয়ের জন্য ব্যবহৃত পানির মধ্যে কৃষি জমির নির্গত পানি, নর্দমায় আসা বাসা-বাড়ির বর্জ্য পানি, বিভিন্ন শিল্প বর্জ্য মিশ্রিত ড্রেনের পানি অন্তর্ভুক্ত। TDS এর অন্তর্ভুক্ত প্রধান রাসায়নিক পদার্থসমূহ হলো Ca^{2+}, Na^{+}, K^{+}, PO_4^{3-}, NO_3^{-} ও Cl^{-} আয়নসমূহ। বর্তমানে TDS এর মধ্যে যোগ হয়েছে অধিক ক্ষতিকর উপাদান কীটনাশক রাসায়নিক পদার্থ (pesticides)। উল্লেখ্য TDS এর অন্তর্ভুক্ত ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নসমূহের পানীয় জলে উপস্থিতি উপকারী বৈশিষ্ট্যরূপে গণ্য হয়।

TDS পরিমাপ : (১) উচ্চ TDS সম্পন্ন দূষিত পানিকে বাষ্পীভূত করে ভর মাত্রিক (gravimetric) পদ্ধতিতে TDS গণনা করা যায়। (২) নিম্ন TDS সম্পন্ন দূষিত পানির ক্ষেত্রে পরিমাপ যন্ত্রের সাহায্যে পরিবাহিতা ও TDS এর মান জানা যায়।

সংস্থা EPA (Environment Protection Agency) এর মতে আদর্শ TDS এর মান হলো 500 ppm। সার্বিকভাবে TDS এর মান 1000 ppm মধ্যে হলে ভালো। কিন্তু তা 1000 ppm এর বেশি হলে সে পানি ব্যবহার অযোগ্য হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ : পানির DO, BOD, COD ও TDS ভিত্তিক :

সমস্যা –১.৯৫ : (ক) পানির DO বলতে কী বোঝ?

(খ) পানির BOD বলতে কী বোঝ? [ব. বো. ২০১৫, সি. বো. ২০১৫, ঢা. বো. ২০১৬, য. বো. ২০১৬]

(গ) কোনো নমুনা পানির BOD 5mg/L বলতে কী বোঝায়? [চ. বো, ২০১৫]

(ঘ) পানির COD বলতে কী বোঝ? [রা. বো. ২০১৫, কু. বো. ২০১৬।

(ঙ) পানির TDS কী? [ঢা. বো. ২০১৬।

১.১৯ শিল্প বর্জ্য ও পানি দূষণ

Industrial wastes and water Pollution

রাসায়নিক শিল্পবর্জ্য দ্বারা পানি দূষণ : শিল্পবর্জ্য দ্বারা পানি দূষণ খুবই মারাত্মক সমস্যা। শিল্প বর্জ্যের মধ্যে থাকে ডিটারজেন্ট, বিভিন্ন জৈব দ্রাবক ও রাসায়নিক পদার্থ। এসব রাসায়নিক দূষক শহর এলাকার পরিবেশ দূষিত করে এবং জনস্বাস্থ্যের মারাত্মক হুমকি সৃষ্টি করে। কিছু রাসায়নিক দূষকের মধ্যে **ভারী ধাতু যেমন লেড, মারকারি, ক্যাডমিয়াম ও** ক্রোমিয়াম ইত্যাদির যৌগ থাকে।

তরল শিল্প বর্জ্যের দূষণ প্রভাব : তরল শিল্প বর্জ্যের ভারী ধাতব আয়ন দূষিত পানিতে থাকা মাছের দেহে সঞ্চিত হয়। কালক্রমে এসব মাছ খাদ্যরূপে গৃহীত হলে মানুষের দেহেও ঐ সব বিষাক্ত ধাতব আয়ন জমা হয়ে মারাত্মক রোগ সৃষ্টি হয়। চট্টগ্রামের কর্ণফুলী পেপার মিলসহ বিভিন্ন কারখানা থেকে নির্গত বিষাক্ত তরল শিল্প বর্জ্যের প্রভাবে কর্ণফুলী নদীতে আগের মতো বিভিন্ন মাছ পাওয়া যায় না। **কারণ শিল্প বর্জ্যের কারণে বিনষ্ট হয়ে গেছে বিভিন্ন প্রজাতির মাছ।**

বর্তমানে চট্টগ্রামের হালদা নদীর হাটহাজারী অঞ্চলে ছোট বড় বিভিন্ন শিল্প কারখানা স্থাপিত হয়েছে। এসব কারখানায় কোনোটিতে বিষাক্ত তরল শিল্প বর্জ্যের পরিশোধন ট্রিটমেন্ট প্ল্যান্ট (ETP) নেই। ফলে স্বাভাবিকভাবে কারখানার বর্জ্য ছোট ছোট খাল হয়ে হালদা নদীতে আসে। **এ হালদা নদী বাংলাদেশের অন্যতম মৎস্য প্রজনন ক্ষেত্র।** সমুদ্রের রুই, কাতলা এ হালদা নদীতে ব্রিডিং কালে ডিম ছাড়ে। চট্টগ্রাম বিশ্ববিদ্যালয়ের মৎস্য বিজ্ঞানীরা মনে করেন শিল্পকারখানার বর্জ্য দ্বারা হালদা নদীর পানি দূষণের ফলে এ প্রাকৃতিক মৎস্য প্রজনন ক্ষেত্র ধ্বংস হওয়ার সম্ভাবনা দেখা দিয়েছে।

ঢাকার বুড়িগঙ্গা নদীর দু'পাড়ের বিভিন্ন কারখানা যেমন টেক্সটাইল মিল, ডাইং, রং তৈরির কারখানা, চামড়া প্রক্রিয়াকরণ কারখানা ইত্যাদি রয়েছে। এসব শিল্পকারখানার তরল বর্জ্য বুড়িগঙ্গার পানিকে মারাত্মকভাবে দূষিত করে ফেলেছে। একইভাবে খুলনার ভৈরব নদীর পানি তরল শিল্পবর্জ্য দ্বারা দূষিত হয়েছে। তেল শোধনাগারের বর্জ্য পদার্থ দ্বারা পরিবেশের সারফেস ওয়াটার দূষিত হওয়ায় মাছের চাষ ও ফসলের চাষ সে সব এলাকায় একেবারে বন্ধ হয়ে গেছে।

১.২০ পানি দূষণের কারণ অনুসন্ধান ও প্রতিকার

To find Causes of water Pollution and its Remedy

পানি দূষণ : জীবের ওপর বিরূপ প্রভাব সৃষ্টিকারী কোনো এলাকার পানির যে কোনো সাধারণ ভৌত বা রাসায়নিক বৈশিষ্ট্যের পরিবর্তনকে ঐ এলাকায় **পানি দূষণ** বলা হয়। অপর কথায়, যে পানি উদ্ভিদ ও প্রাণীর জন্যে নিরাপদ নয়, তাকে দূষিত পানি বলা হয়।

পানি দূষণের কারণসমূহ : পানি দূষণের কারণগুলো পৃথিবীর বিভিন্ন দেশ ও এলাকাভিত্তিক ভিন্ন ভিন্ন হলেও পানি দূষণের প্রধান কারণগুলো হলো-(১) পয়ঃনিষ্কাশন (sewage), (২) রাসায়নিক সার (fertilizers), (৩) ডিটারজেন্ট (detergent), (৪) কীটপতঙ্গ নাশক (pesticides), (5) শিল্প বর্জ্য (industrial wastes), (৬) তেল জাতীয় পদার্থ (oils) ও (৭) তাপসংক্রান্ত পানি দূষণ। পানি দূষণের এ সব কারণ চট্টগ্রাম জেলাসহ বাংলাদেশের সব জনবহুল শিল্পশহরগুলোতে কমবেশি বিদ্যমান। তাই বাণিজ্যিক শহর চট্টগ্রামকে পানি দূষণের অন্যতম এলাকা ধরে এ ক্ষেত্রে বিভিন্ন পানি দূষক সারফেস ওয়াটারকে কীরূপে দূষিত করে তা আলোচনা করা হলো। সারণি-১.১০-এ পানি দূষণের প্রধান দূষক, দূষকের উৎস ও ফলাফল সংক্ষেপে দেখানো হলো :

সারণি–১.১০ : বিভিন্ন দূষক দ্বারা পানির দূষণ

দূষকসমূহ	দূষকের উৎস	দূষক দ্বারা দূষণের ফলাফল
১। নালা-নর্দমা : (sewage)	১। বাসাবাড়ি ও শিল্প কারখানার তরল বর্জ্য থেকে।	ব্যাকটেরিয়া ও শৈবালের বৃদ্ধি দ্রুত ঘটে। পানিতে দ্রবীভূত O_2 প্রায় শেষ হয়ে যায়। শৈবাল বৃদ্ধির কারণে সূর্যের আলো পানিতে প্রবেশ করতে পারে না। তখন আলো ও O_2 এর অভাবে মাছ মরে যায়।
২। রাসায়নিক সার (fertilizers)	২। বৃষ্টির পানি কৃষিজমির সার ধুয়ে আশেপাশের খাল ঝিল, পুকুর ও হ্রদের পানিতে মিশে।	পানি দুর্গন্ধ ছড়ায়। মিথেন গ্যাস উৎপন্ন হয়।
৩। ডিটারজেন্ট : (detergents)	৩। বাসাবাড়ি ও শিল্প এলাকার ময়লা ধোয়া পানি।	
৪। কীটপতঙ্গনাশক : (pesticides)	৪। কৃষিজমি ও ফলের বাগান থেকে।	৪। এলাকার প্রাণী, মাছ ও পশুর মাংস থেকে মানুষের দেহে, চর্বিতে রাসায়নিক পদার্থ ঢুকে যায়।
৫। শিল্প কারখানা বর্জ্য : (Industry waste)	৫। শিল্প কারখানার বর্জ্য ড্রেন থেকে।	
৬। পেট্রোলিয়াম তেল : (petroleum oil)	৬। পেট্রোলিয়াম রিফাইনারি ও তেলের ট্যাংক থেকে বের হওয়া তেল থেকে।	৬। সমুদ্রের উপকূল দূষিত হয়। সামুদ্রিক মাছ ও পাখির জন্য ক্ষতিকর।
৭। তাপ সংক্রান্ত পানি দূষণ : (Heat)	৭। কারখানার বয়লারের গরম পানি ড্রেনের মধ্য দিয়ে নদীতে ফেলা।	৭। পানির তাপমাত্রা বেড়ে গিয়ে জলজ উদ্ভিদ ও মাছ মরে যায়।
৮। প্লাস্টিক দূষণ : (plastic)	৮। খাদ্যবস্তুর প্যাকেজ ও প্লাস্টিক বোতল থেকে।	৮। প্লাস্টিক নন-ডিগ্রেডেবল হওয়ায় নদীর তলদেশে জমা হয়। প্লাস্টিক সামুদ্রিক মাছের ক্ষতিকর প্রভাব সৃষ্টি করে।

১। নালা-নর্দমার পানির দূষণ ও এর প্রভাব : এলাকার সারফেস ওয়াটারের দূষণের প্রধান কারণগুলো বাসাবাড়ির ড্রেনের দূষিত পানি। চট্টগ্রাম শহরসহ রাজধানী ঢাকা ও অন্যান্য শহর এলাকায় চাকরির খোঁজে মানুষের সংখ্যা দিন দিন বেড়ে যাচ্ছে। ফলে শহরাঞ্চলের সীমানা বেড়ে গেলেও নালা নর্দমায় পানি নিষ্কাশন ব্যবস্থা অনুন্নত থেকে যাচ্ছে। অপরিকল্পিতভাবে বাসাবাড়ি তৈরি করায় বর্জ্য-ময়লা পানি আবদ্ধ হয়ে পড়ে পরিবেশকে ক্রমাগত দূষিত করে ফেলছে। প্রতিদিনের বাসাবাড়ির

বিভিন্ন বর্জ্য, মানুষ ও অন্যান্য প্রাণীর বর্জ্য নালা-নর্দমায় ফেলা হচ্ছে। এ সব বর্জ্য শহরের বিভিন্ন দিক থেকে নালার মাধ্যমে নিচের জলাভূমিতে খাল-বিল ও নদীতে এসে পড়ে। পচনশীল বস্তু থেকে দুর্গন্ধ বাতাসে ছড়ায় আশেপাশের পানি দূষিত হয়ে চর্মরোগ ও সংক্রামক রোগ ছড়ায়।

দূষণ প্রতিকার : নালা নর্দমার বর্জ্য দূষণের প্রতিকার করতে হলে খাল বিল ও নদীতে দূষিত পানি এসে পড়ার আগে নর্দমার তরলকে বড় ট্যাংকে পাম্প করে শোধন ব্যবস্থায় নিতে হবে। ঐ শোধন ট্যাংকে প্রচুর বাতাস চালনা করে ব্যাকটেরিয়া দ্বারা পচনশীল বর্জ্য পদার্থকে বিযোজিত করে পানিকে দূষণমুক্ত করতে হবে।

(২) রাসায়নিক সার দ্বারা পানি দূষণ ও এর প্রভাব : কৃষি জমির অ্যামোনিয়া গঠিত সার যেমন ইউরিয়া ও অন্যান্য সার বৃষ্টির পানিতে ধুয়ে পুকুর, ঝিল, হ্রদে ও আবদ্ধ পানিতে মিশে যায়। ব্যাকটেরিয়া দ্বারা অ্যামোনিয়া সার জারিত হয়ে নাইট্রেটে পরিণত হয়। ফলে পানির DO কমে যায়। ঐ সার মিশ্রিত পানিতে ভাসমান শৈবাল বৃদ্ধি পায়। সূর্যের আলো পানিতে প্রবেশে বাধা পায়। ফলে পানিতে DO হ্রাস পায়, জলজ উদ্ভিদ ও মাছ মরে গিয়ে পচন সৃষ্টি করে; ঐ পানি ও পরিবেশ দূষিত হয়। পানির এরূপ চরম অস্বাস্থ্যকর দূষণকে **ইউট্রোফিকেশন** (eutrophication) বলে।

ইউট্রোফিকেশনের প্রতিকার : পানির ইউট্রোফিকেশনের মতো চরম ক্ষতিকর দূষণের প্রতিকার করতে হলে- কৃষিজমির পানি পুকুরে ও আবদ্ধ পানিতে না ঢোকার ব্যবস্থা করতে হবে। ভাসমান শৈবাল পুকুরের পানিতে ও আবদ্ধ জলাভূমিতে থাকলে তা পরিষ্কার করতে হবে।

(৩) শিল্প কারখানার বর্জ্য দ্বারা পানিদূষণ ও এর প্রতিকার : শিল্প বর্জ্য দ্বারা পানি দূষণ খুবই মারাত্মক সমস্যা। এসব শিল্প বর্জ্যের মধ্যে থাকে ডিটারজেন্ট, বিভিন্ন জৈব দ্রাবক ও রাসায়নিক পদার্থ। রাসায়নিক দূষকের মধ্যে চামড়া শিল্পের রঙে ক্রোমিয়াম, রঙিন প্লাস্টিক ও PVC উৎপাদনে ব্যবহৃত স্টেবিলাইজারে ক্যাডমিয়াম যৌগ; স্টোরেজ ব্যাটারিতে ব্যবহৃত লেড অক্সাইড, ভিনাইল ক্লোরাইড প্লাস্টিক উৎপাদনে ব্যবহৃত প্রভাবক Hg^{2+} যৌগ প্রভৃতি থেকে যথাক্রমে Cr^{3+}, Cd^{2+}, Pb^{2+} ও Hg^{2+} আয়ন পানিতে মিশে মারাত্মকভাবে পানিকে দূষিত করে। এ সব ধাতব আয়ন মাছের দেহে এবং খাদ্যরূপে মানুষের দেহে প্রবেশ করলে মারাত্মক রোগ সৃষ্টি করে। ডিটারজেন্ট জাতীয় পদার্থে ফসফেট থাকে, যা পানিতে শেওলা জন্মাতে সাহায্য করে ফলে পানির DO কমে যায়। এতে মাছ ও জলজ প্রাণী মারা যায়।

শিল্প বর্জ্যের পানি দূষণ ও এর প্রতিকার : শিল্প বর্জ্যের পানি দূষণের প্রতিকার করতে হলে শিল্প কারখানার তরল বর্জ্য পরিশোধন ব্যবস্থা ETP (effluent treatment plant) কার্যকর করতে হবে। শিল্প কারখানার বর্জ্যের ধরন অনুসারে পৃথক ETP না করে শিল্পাঞ্চল প্রতিষ্ঠা করে সব কারখানার তরল বর্জ্যকে একত্রিত করে সমন্বিত ETP ব্যবস্থায় সবচেয়ে ফলপ্রসূ হবে

(৪) তেল জাতীয় পদার্থ দ্বারা পানি দূষণ ও এর প্রভাব : তেল শোধনাগারের বর্জ্য ও সমুদ্রে তেলবাহী ট্যাংকার জাহাজ থেকে তেলের উপচে পড়া অংশ এবং তেল কূপের ফেটে যাওয়া অংশে তেল ছড়িয়ে পড়া ইত্যাদি কারণে বিভিন্ন এলাকার পানি দূষিত হয়। অতীতে পেট্রোলের জ্বালানি ক্ষমতা অকটেন নাম্বার বৃদ্ধির জন্য টেট্রাঅ্যালকাইল লেড (TML, TEL) তেলের সাথে মিশানো হয়। মোটর ইঞ্জিনের নির্গত গ্যাসে সীসা কণা বাতাসে মিশে যায়। **বৃষ্টির জলের সাথে এ সীসা বা লেড মাটিতে ছড়িয়ে পড়ে** পানি ও মাটি থেকে এ সীসা বা লেড খাদ্য শৃঙ্খলে প্রবেশ করে। ফলে স্থলজ, জলজ বাস্তুতন্ত্রের খাদ্য শৃঙ্খল সীসা দ্বারা রোগগ্রস্ত হয়।

প্রতিকার : এরূপ দূষণের প্রতিকার করতে হলে- জ্বালানি তেলে লেড মিশ্রিত TML ও TEL ব্যবহার বর্জন করতে হবে।

(৫) তাপসংক্রান্ত পানি দূষণ ও এর প্রভাব : শিল্প প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন তাপ যন্ত্রপাতিকে উত্তপ্ত করে রাখে। তাই নদী ও হ্রদের পানি নল দ্বারা চালনা করে ঐ যন্ত্রপাতিকে ঠাণ্ডা করা হয়। উত্তপ্ত পানিকে আবার নদী ও হ্রদের পানিতে ফেলা হয়। ফলে ঐ এলাকার পানির তাপমাত্রা বেড়ে যায়। পানির তাপমাত্রা 10°C বেড়ে গেলে পানির দূষণ ঘটে। তখন ঐ পানিতে মাছ ও উদ্ভিদ মরে যায়।

প্রতিকার : এ তাপসংক্রান্ত দূষণের প্রতিকার করতে হলে- শিল্প কারখানার গরম পানিকে কৃত্রিম পুকুরে বা কুলিং টাওয়ারে ঠাণ্ডা করে পরে পানির উৎসে ফেলতে হবে।

(৬) **প্লাস্টিক দূষণ ও এর প্রভাব :** বাজারের ও প্যাকেজের প্লাস্টিক ব্যাগ বর্জ্যরূপে নালা নর্দমার পানি প্রবাহে বাধা সৃষ্টি করে। সমুদ্রে মাছ ধরার প্লাস্টিকের জাল এবং বিভিন্ন প্লাস্টিকের থলে ও ফিতা নদী ও সমুদ্রে জমা হলে জলজ প্রাণীর ক্ষতি হয়। কয়েকটি পরিসংখ্যান সমীক্ষা মতে প্রতি বছর দশ লক্ষ পাখি নদী ও সামুদ্রিক প্লাস্টিক দূষণে মারা যায়।

প্লাস্টিক দূষণ প্রতিকার : প্লাস্টিক দূষণ প্রতিকার করতে হলে - আবর্জনা প্রক্রিয়াকরণ প্লান্টে পলিথিন, রাবার ও প্লাস্টিক সামগ্রী আলাদা করে রিসাইক্লিং কাজে ব্যবহার করতে হবে।

(৭) **আইন প্রয়োগে প্রযুক্তিগত দূষণ নিয়ন্ত্রণ বাধ্যতামূলক করা :** প্রযুক্তিগত ও ব্যক্তিগত উপায়ে পানির দূষণ নিয়ন্ত্রণ বাধ্যতামূলক করার জন্য প্রয়োজনীয় আইন প্রণয়ন ও তা বাস্তবায়নে সরকারিভাবে সচেষ্ট হওয়া দরকার।

পানি - দূষণ রোধে জনগণের সচেতনতা : সর্বোপরি সর্বস্তরের জনসাধারণকে পানির দূষণ ও ক্ষতিকর প্রভাব সম্বন্ধে সচেতন করার জন্য জাতীয় প্রচার মাধ্যমে যথাযথ ভূমিকা পালন করা। বৃহৎ গ্রাম্য পরিবেশে কৃষকদের সবুজ কম্পোস্ট সার ব্যবহারে উদ্বুদ্ধ করতে হবে। কীটনাশক, ছত্রাকনাশক ও আগাছানাশক লেড ও আর্সেনিকযুক্ত রাসায়নিক পদার্থের ব্যবহার সম্পূর্ণ বাদ দিয়ে অপরাপর রাসায়নিক পদার্থ ন্যূনতম মাত্রায় ব্যবহারে প্রশিক্ষিত করতে হবে।

আমাদের জনগণ যেন বুঝতে পারে বিশুদ্ধ 'পানিই জীবন' এবং তা নিরাপদ হতে হবে। তাই পানিকে সব প্রকার দূষণমুক্ত রাখা আমাদের একান্ত কর্তব্য।

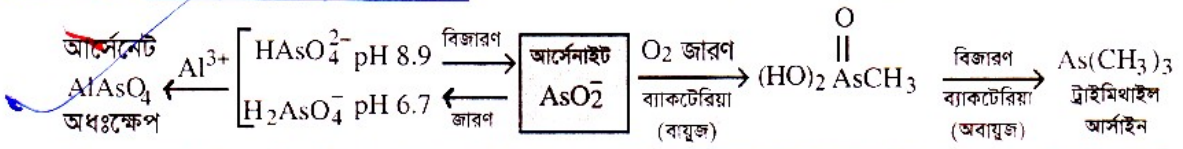
১.২১ পানির প্রাকৃতিক দূষণ : আর্সেনিক দূষণ ও এর প্রভাব

Natural water Pollution by Arsenic and its Effect

প্রকৃতিতে আর্সেনিক খনিজ সালফাইড যেমন নিকোলাইট NiAs; নিকেল গ্ল্যান্স NiAsS; ওরপিমেন্ট As_2S_3; রিয়্যালগার As_2S_2, কোবাল্টাইট CoAsS; আর্সেনো পাইরাইটস $Fe_2S_2As_2$ ও খনিজ অক্সাইড আর্সেনোলাইট As_2O_3 রূপে থাকে।

আর্সেনিক দূষণ ও দূষণের কারণ : ভূগর্ভস্থ প্রাকৃতিক পানিতে আর্সেনিক যৌগের দ্রাব্যতা মাটিতে Al_2O_3 ও লোহার অক্সাইড, মাটির pH এবং আর্সেনিকের জারণ বিভব মানের ওপর নির্ভর করে। (১) লোহা ও Al- অক্সাইডের সংস্পর্শে আর্সেনিক যৌগের দ্রাব্যতা কমে যায়; অর্থাৎ মাটিতে কাদার পরিমাণ কম হলে প্রাকৃতিক পানিতে আর্সেনিকের পরিমাণ বাড়ে। (২) মাটির pH কম হলে ও আর্সেনিক যৌগে জারণ বিভব কম হলে পানিতে দ্রবীভূত আর্সেনিকের পরিমাণ বাড়ে।

অম্লীয় মাটিতে (pH 6.7) আর্সেনিক $H_2AsO_4^-$ আয়নরূপে এবং ক্ষারীয় মাটিতে (pH 8.9) $HAsO_4^{2-}$ আয়নরূপে থাকে। মাটির বিজারণ পরিবেশে $HAsO_4^{2-}$ আয়ন বিজারিত হয়ে আর্সেনাইট (AsO_2^-) রূপে থাকে। এ আর্সেনাইট Fe^{2+} আয়নও Al^{3+} আয়নের সংস্পর্শে অধঃক্ষেপরূপে মাটিতে আটকে থাকে। অপরদিকে বায়ুজ ব্যাকটেরিয়া দ্বারা As(III) অবস্থা থেকে As (v) রূপে জারিত হয়ে মনোমিথাইল আর্সেনিক এসিড $CH_3As(OH)_2O$, ডাইমিথাইল আর্সেনিক এসিড $(CH_3)_2As(OH)O$ এবং শেষে অবায়ুজ ব্যাকটেরিয়া দ্বারা বিজারিত হয়ে ডাইমিথাইল আর্সাইন $(CH_3)_2AsH$ ও ট্রাইমিথাইল আর্সাইন $(CH_3)_3As$ উৎপন্ন করে। এসব বিষাক্ত আর্সাইন গ্যাস মাটিকে ও ভূগর্ভস্থ পানিকে বিষাক্ত করে।



পানি দূষণে বিভিন্ন আর্সেনিক যৌগ : প্রকৃতিতে +3 জারণ অবস্থায় আর্সেনিক মাটি ও পানিতে মিশে থাকে। শূন্য জারণ অবস্থা বা মৌলিক আর্সেনিক (মেটালয়েড), +3 জারণ অবস্থায় আর্সাইন (AsH_3) গ্যাস, আর্সেনিক অক্সাইড

(As_2O_3), আর্সেনাইট (AsO_2^-) আয়ন এবং +5 জারণ অবস্থায় আর্সেনেট (AsO_4^{3-}) আয়নরূপে মাটিতে থাকে। আর্সেনিকের **ত্রিযোজী বা +3 জারণ অবস্থায় জীবজগতের ওপর সবচেয়ে বেশি বিষক্রিয়া সৃষ্টি করে।**

মানুষের স্বাস্থ্যের ওপর বিষক্রিয়ার সর্বোচ্চ থেকে সর্বনিম্ন মান অনুযায়ী আর্সেনিক যৌগগুলোর পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় ক্রম হলো : আর্সাইন গ্যাস > আর্সেনাইট (অজৈব) > আর্সেন অক্সাইড (জৈব, ত্রিযোজী) > আর্সেনেট (অজৈব) > আর্সেনিক (মেটালয়েড)।

'পানির আর্সেনিক দূষণ' বলতে কী বোঝায়? মাটিতে আর্সেনিকের ঘনত্ব 5.6mg/kg। পানীয় জলে অজৈব আর্সেনিকের গড় পরিমাণ 2.5ppb(parts per billion)। অর্থাৎ একজন পূর্ণ বয়স্ক লোকে দিনে 1.6 লিটার পানি পান করলে ঐ লোকের শরীরে দৈনিক প্রায় 4.0 মাইক্রোগ্রাম ($2.5 \times 10^{-6}g \times 1.6 = 4 \times 10^{-6}g$) আর্সেনিক জমা হয়।

বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থা (WHO) ঘোষিত পানীয় জলে **আর্সেনিকের প্রমাণমাত্রা হলো 0.05mg/L বা 0.05 ppm** অর্থাৎ ঐ লোক 1.6 লিটার পানি আর্সেনিকের প্রমাণমাত্রা 0.05mg/L অনুসারে পান করলে প্রতিদিন ঐ লোকের শরীরে 0.08×10^{-3}mg আর্সেনিক জমা হয় এবং ঐ পরিমাণ আর্সেনিক ঐ লোকের দেহে কোনো ক্ষতিকর প্রভাব সৃষ্টি করবে না।

আর্সেনিক দূষণের সংজ্ঞা : জীবদেহে আর্সেনিক সহ্য সীমার (অর্থাৎ পানিতে 0.05mg/L) বেশি আর্সেনিক ভূগর্ভস্থ পানিতে মিশ্রিত থাকলে ঐ পানির মাধ্যমে অধিক পরিমাণ আর্সেনিক জীবদেহে সঞ্চিত হতে থাকে এবং এর বিষক্রিয়ায় নানা রোগের সৃষ্টি হয়। এরূপ পানির মাধ্যমে আর্সেনিক সংক্রমণ দ্বারা মানুষ তথা জীব পরিবেশের ক্ষতিকর পরিবর্তনকে 'আর্সেনিক দূষণ' বলা হয়।

বিভিন্ন অঞ্চলে আর্সেনিক দূষণ : বিশ্বের সর্বত্র কম-বেশি আর্সেনিক দূষণের ঘটনা ঘটছে বর্তমানে বাংলাদেশের উত্তরবঙ্গে ও ভারতের পশ্চিমবঙ্গের দক্ষিণ ও উত্তর চব্বিশ পরগণা জেলায় আর্সেনিকের দূষণ সবচেয়ে বেশি দেখা দিয়েছে। পানীয় জলে আর্সেনিকের প্রমাণ মাত্রা বজায় থাকলে ঐ পানিকে পানের উপযোগী ধরা হয়। বর্তমানে আর্সেনিকের আন্তর্জাতিক সর্বোচ্চ মাত্রা বিস্তার হলো 0.04 – 0.05ppm.।

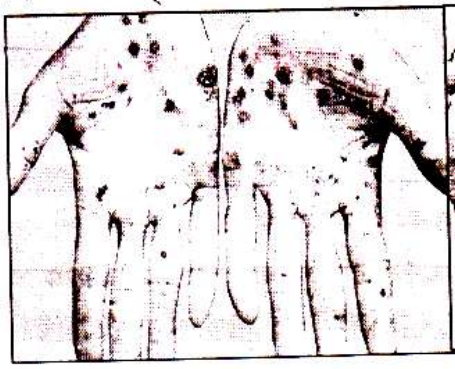
জার্মানিতে আর্সেনিকের দূষণ প্রবণতা বেশি হওয়ায় 1996 সালে জার্মান সরকার নিজ দেশের জন্য আর্সেনিকের সর্বোচ্চ মাত্র আন্তর্জাতিক মাত্রার চেয়ে কমিয়ে 0.01ppm সীমায় অনুমোদন দিয়েছে।

আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রে 1992 সালে আর্সেনিকের সর্বোচ্চ মাত্রা 0.002pm রেখে আইনগত অনুমোদন দিয়েছে। বর্তমানে তাইওয়ান এবং চিলিতে আর্সেনিক দূষণের ভয়াবহতা দেখা দিয়েছে এবং বহু মানুষ আর্সেনিক দূষণের পানি পান করে **'ব্ল্যাক-ফুট** (black foot) ডিজিজে' আক্রান্ত হয়েছে।

বাংলাদেশে কয়েকটি জেলায় অগভীর কূপের পানিতে আর্সেনিকের সর্বোচ্চ মাত্রা আন্তর্জাতিক মাত্রার তুলনায় কয়েক গুণ বেশি রয়েছে 1998 সালে বাংলাদেশের 64 টি জেলায় 2022 টি নলকূপের পানির নমুনা পরীক্ষা করে 61 টি জেলার (কক্সবাজার, নওয়াবগঞ্জ, রাজশাহী বাদে) 51% নলকূপের পানিতে As এর পরিমাণ > 0.01 ppm, 35% নলকূপের পানিতে As এর পরিমাণ > 0.05 ppm এবং অবশিষ্ট 14% নলকূপের পানিতে As এর পরিমাণ > (0.1–1.0) ppm. পাওয়া যায়। **যশোর জেলার শারশা থানার সমতা গ্রামের গভীর নলকূপের পানিতে আর্সেনিক দূষণ সবচেয়ে বেশি।** (>1.0ppm)। আর্সেনিক দূষণ জেলাগুলো হলো চাঁদপুর, গোপালগঞ্জ, মাদারিপুর, মুন্সিগঞ্জ, শরীয়তপুর, নোয়াখালী, সাতক্ষীরা, লক্ষীপুর, ফরিদপুর, বাগের হাট, বরিশাল, কুমিল্লা, মেহেরপুর, যশোর, চুয়াডাঙ্গা, নড়াইল, খুলনা, কুষ্টিয়া, ঝিনাইদহ, ব্রাহ্মণবাড়িয়া ইত্যাদি। এসব জেলার কোনো কোনো নলকূপের এ দূষিত পানি অজান্তে লোকেরা দীর্ঘকাল ব্যবহার করে শরীরের আর্সেনিক দূষণ ক্রনিক অবস্থায় পৌঁছে এবং 'ব্ল্যাক ফুট' রোগ দেখা দিয়েছিল। আর্সেনিক দূষণের প্রতিকার করতে বাংলাদেশ সরকারের দ্রুত পদক্ষেপে ঐ এলাকার সব নলকূপের পানি পরীক্ষা করে বিপদজনক আর্সেনিক দূষণ মাত্রার নলকূপগুলোতে 'লাল রঙের বিপদজনক চিহ্ন' দেয়া হয়। আর আর্সেনিক দূষণ বিপদমুক্ত সীমার নলকূপের পানির নলকূপগুলোতে সবুজ রঙের চিহ্ন দেয়া হয় ফলে আর্সেনিক দূষণ সচেতনতা সৃষ্টি করে মানুষকে আর্সেনিক দূষিত পানি পান করা থেকে বিরত রাখা হয়েছে। এরপর এ জেলাগুলোর ভূগর্ভস্থ পানিতে আর্সেনিক দূষণ মাত্রা বেশি হলেও মানুষ এর ব্যবহার বন্ধ করে আর্সেনিক দূষণ মুক্ত রয়েছে।

মাটির উপাদানভিত্তিক আর্সেনিক দূষণ : মাটির গঠনে কাদামাটি কম অর্থাৎ Al_2O_3 উপাদান কম থাকলে আর্সেনাইট (AsO_2^-) শোষণ কম ঘটে এবং তা ভূগর্ভস্থ পানিতে মিশতে থাকে। বর্তমানে শহর এলাকায় পাকা ঘরবাড়ি তৈরি করাতে বৃষ্টির পানি মাটির ভেতরে প্রবেশ করতে পারে না; এতে ভূগর্ভস্থ পানি স্তরে বৃষ্টির পানি প্রবেশ করে পানির স্তরকে স্থির রাখতে ভূমিকা রাখে না। ঘনবসতির কারণে বিপুল পরিমাণ পানীয় জলের চাহিদা মেটানোর তাগিদে ভূগর্ভস্থ পানির স্বাভাবিক স্তর ক্রমশ নিচে নেমে যাচ্ছে। তখন ঐ পানি নিচে নামার সময় অধিক আর্সেনিক যুক্ত শিলা স্তর থেকে আর্সেনিক যৌগ ধুয়ে নেয়। এরূপে ঐ এলাকার পানি আর্সেনাইট আয়ন সম্পৃক্ত হয়ে পড়ে এবং আর্সেনিক দূষণ ঘটে থাকে।

আর্সেনিক দূষণের প্রভাব : মাটির আর্সেনিক উদ্ভিদের ওপর বিষক্রিয়া সৃষ্টি করে এবং উদ্ভিদের পাতা, ফল, মূল ইত্যাদিতে সঞ্চিত থাকে। আর উদ্ভিদে সঞ্চিত আর্সেনিক প্রাণী ও মানুষের খাদ্য শৃঙ্খলে প্রবেশ করে। এর ফলে সমগ্র বাস্তুতন্ত্র আর্সেনিক দ্বারা সংক্রমিত হয় এবং বাস্তুতন্ত্রে ক্ষতিকর পরিবর্তন ঘটে। আর্সেনিক দূষিত খাদ্য ও পানীয় জল থেকে মানুষের শরীরে ক্যান্সারসহ **বিভিন্ন তন্ত্রে অ্যাকিউট ও ক্রনিক বিষক্রিয়া** সৃষ্টি হতে পারে। যেমন–



চিত্র-১.২৬ : হাতে ক্রনিক আর্সেনিক রোগ।

চিত্র-১.২৬ (ক) : ক্রনিক আর্সেনিক দূষণে ব্ল্যাক ফুট ডিজিজ বা রোগ।

১. আর্সেনিক একটি অতি পরিচিত, 'মনুষ্য কারসিনোজেন' অর্থাৎ মানুষের দেহে ক্যান্সার সৃষ্টিকারী উপাদান। খাদ্য ও পানীয় জলের মাধ্যমে আর্সেনিক শরীরে প্রবেশ করলে ফুসফুস, লিভার বা যকৃত, কিডনি বা বৃক্ক, ইউরিনারি ব্লাডার বা মূত্রথলি ও ত্বকের ক্যান্সার সৃষ্টি হতে পারে। আবার ধূমপান আর্সেনিক প্রভাবিত ক্যান্সারের সম্ভাবনাকে বহুগুণ বৃদ্ধি করে।

২. আর্সেনিকের প্রাথমিক **অ্যাকিউট বিষক্রিয়ায়** পরিপাকতন্ত্রের উৎসেচকের স্বাভাবিক ক্রিয়ায় বিঘ্ন সৃষ্টি হয়। এর ফলে বমি, ডায়েরিয়া ও পরিপাক তন্ত্রের স্থায়ী ক্ষতি হতে পারে।

৩. আর্সেনিকের দীর্ঘদিনের **ক্রনিক বিষক্রিয়া বা আর্সেনিকোসিস**-এর প্রধান উপসর্গ হলো হাতের তালু ও পায়ের পাতায় ছোপ-ছোপ কালো দাগ ও পরে ক্ষত বা গ্যাংগ্রীন সৃষ্টি হওয়া। এ উপসর্গ **'ব্ল্যাক ফুট ডিজিজ'** নামে পরিচিত। এ ছাড়া ত্বকে কালো দাগ বা **কেরাটিনাইজেশন ঘটে** এবং ঐ ত্বকে শোধবোধ কমে যায়। এসব টিস্যু বা কোষতন্ত্রে (রক্ত প্রবাহের দূরতম প্রান্তে) অক্সিজেন সরবরাহকারী রক্ত সংবহন নালীর সংকোচন ঘটে অর্থাৎ লুমেন ব্যাস কমে যায়। তখন খাদ্য ও অক্সিজেনের অভাবে ঐ সব কোষ মরে যায়।

১.২২ খাদ্য শৃঙ্খলে ভারী ধাতু (As, Cr, Pb, Cd) যুক্ত হওয়ার কারণ ও প্রভাব
Food-Chain Contamination by Heavy Metals : Its Causes & Effect

'খাদ্য শৃঙ্খল' বলতে কী বোঝানো হয়, তা আমরা জানতে চেষ্টা করবো। এজন্য প্রথমে কয়েকটি পদ যেমন 'খাদ্য উৎপাদক' ও 'খাদক' সম্বন্ধে জানব। জীব পরিবেশের জীবগুলোকে দু'শ্রেণিতে ভাগ করা হয়–'উৎপাদক (producer) ও 'খাদক' (consumers)। 'উৎপাদক জীব' হলো সবুজ ক্লোরোফিলযুক্ত শৈবাল ও উদ্ভিদ। এরা সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় নিজেদের খাদ্য উৎপাদন করতে সক্ষম। তাই খাদ্য-উৎপাদক জীবকে **অটোট্রফ** (autotroph) বলা হয়। (গ্রিক অটো অর্থ নিজ 'ট্রপ' অর্থ-খাদ্য যোগানো)। অপরদিকে 'খাদক-জীব' হলো নিজের খাদ্য উৎপাদনে অক্ষম; এরা খাদ্য উৎপাদক স্বভোজী অর্থাৎ অটোট্রপকে অথবা তৃণভোজী জীবকে খাদ্যরূপে গ্রহণ করে থাকে। এদেরকে **পরভোজী জীব** (heterotroph) বলা হয়। আবার খাবারের প্রকৃতি ও স্তরভিত্তিক খাদকগুলোকে তিন শ্রেণিতে ভাগ করা হয়। যেমন,

১. তৃণভোজী (herbivores) : এরা উদ্ভিদ ও লতাপাতা খেয়ে বেঁচে থাকে। স্তরভিত্তিক এদেরকে **প্রথম পর্যায়যুক্ত খাদক** বা primary consumers বলা হয়। যেমন গরু, ছাগল, ভেড়া, হরিণ, ফড়িং স্থলজ বাস্তুতন্ত্রের। ঝিনুক, শামুক জলজ বাস্তুতন্ত্রের।

২. মাংসাশী-স্তন্যপায়ী (carnivores) : এরা স্তন্যপায়ী প্রাণী, অন্য প্রাণীর মাংস খেয়ে বেঁচে থাকে। এদেরকে **দ্বিতীয় পর্যায়ভুক্ত** খাদক বা secondary consumers বলা হয়। যেমন বাঘ, সিংহ, ভল্লুক। আবার দ্বিতীয় পর্যায় ভুক্ত খাদক তৃণভোজী ও মাংসাশীও হতে পারে। যেমন স্থলজ বাস্তুতন্ত্রের মানুষ। অপরদিকে জলজ বাস্তুতন্ত্রের বড় মাছ, হেরিং মাছ ইত্যাদি দ্বিতীয় পর্যায়ভুক্ত খাদক।

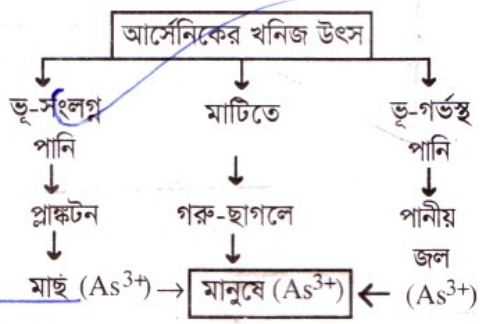
৩. সর্বভুক (omnivores) : এরা উদ্ভিদ ও প্রাণীর মাংস উভয়ই খেয়ে বেঁচে থাকে। যেমন মানুষ, হায়না, ভল্লুক; বাজপাখি। এরা **তৃতীয় পর্যায়ভুক্ত** খাদক। এভাবে বিভিন্ন খাদকের খাদ্য গ্রহণের একটি অনুক্রম আছে।

খাদ্য গ্রহণের অনুক্রম শুরু হয় খাদ্য উৎপাদক সবুজ উদ্ভিদ দ্বারা। সবুজ উদ্ভিদ মূলত সূর্যালোকের উপস্থিতিতে CO_2, পানি, নাইট্রোজেন, ফসফরাস ও ম্যাগনেসিয়াম প্রভৃতি **রাসায়নিক পুষ্টি পদার্থের** সাহায্যে জৈব খাদ্য অণু সংশ্লেষণ করে। ঐ **জৈব খাদ্য অণুতে সৌরশক্তি বা তাপশক্তি রাসায়নিক বন্ধন বা স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকে**। অর্থাৎ সবুজ উদ্ভিদের উৎপাদিত **'খাদ্য' হচ্ছে সৌর শক্তি ও পুষ্টি পদার্থের ভাণ্ডার**। প্রথম পর্যায়ভুক্ত খাদক যখন উদ্ভিদ বা তৃণ খাদ্য গ্রহণ করে তখন শক্তি ও পুষ্টি উপাদানের কিছু অংশ প্রথম পর্যায়ের খাদকে প্রবাহিত হয়। আবার দ্বিতীয় পর্যায়ভুক্ত খাদক যখন প্রথম খাদককে নিজের খাদ্য হিসেবে খায়, তখন প্রথম খাদকে সঞ্চিত শক্তি ও পুষ্টি উপাদানের কিছু অংশ দ্বিতীয় পর্যায়ভুক্ত খাদকে প্রবাহিত হয়। এভাবে খাদ্যরূপে শক্তি ও পুষ্টি উপাদান অনুক্রমিকভাবে তৃতীয় পর্যায়ভুক্ত ও ৪র্থ পর্যায়ভুক্ত খাদক শ্রেণিতে প্রবাহিত হয়।

সুতরাং **বাস্তুতন্ত্রে জীবগুলোর মাধ্যমে সৌরশক্তি ও পুষ্টি উপাদানসমূহ যে অনুক্রম অনুসারে প্রবাহিত হয়ে থাকে, তাকে জীবের খাদ্য শৃঙ্খল (food chain) বলে**। এ খাদ্য শৃঙ্খলে শক্তি ও পুষ্টি উপাদানগুলো উৎপাদক জীব থেকে খাদক জীবে প্রবাহিত হয় এবং প্রতিটি খাদক জীব খাদ্য-শৃঙ্খলে অবস্থিত পূর্বের জীবকে খাদ্য হিসেবে গ্রহণ করে।

(১) খাদ্যশৃঙ্খলে আর্সেনিকযুক্ত হওয়ার কারণ :

উৎস : পৃথিবীর বিভিন্ন অঞ্চলে বিশেষত বাংলাদেশ, চিলি ও চায়না ইত্যাদি দেশে পানীয় জলরূপে ব্যবহৃত ভূগর্ভস্থ পানিতে অজৈব ও জৈব আর্সেনিক যৌগ প্রধানত মাছে পাওয়া যায়। উভয় উৎস থেকে খাদ্য ও পানীয়রূপে মানুষের শরীরে আর্সেনিক প্রবেশ করে।



চিত্র ১.২৭ : খাদ্যশৃঙ্খলে আর্সেনিকযুক্ত হওয়া ও ৩য় স্তরের খাদক মানুষের দেহে আর্সেনিক বিষক্রিয়া।

খাদ্যশৃঙ্খলে As এর প্রবেশ পথ : মাটিতে আর্সেনিকের গড় ঘনত্ব 5.6 ppm। মাটি থেকে আর্সেনিক উদ্ভিদে শোষিত হয়। উদ্ভিদের পাতা, ফল ও মূল প্রভৃতিতে সঞ্চিত আর্সেনিক উদ্ভিদভোজী প্রাণী যেমন, গরু, ছাগল ইত্যাদির দেহে প্রবেশ করে এবং পশুর চর্বিতে আর্সেনিক দ্রবীভূত থাকে। মাছ ও পশুর মাংস থেকে মানুষের খাদ্যরূপে আর্সেনিক মানুষের দেহে প্রবেশ ও মানুষের চর্বিতে সঞ্চিত হয়। এছাড়া কীটনাশক বা পেস্টিসাইড (pesticides) ও কাঠ বা উড প্রিজারভেটিভস থেকে খাদ্য শৃঙ্খলে আর্সেনিক যুক্ত হয় । এক সমীক্ষায় জানা গেছে, গ্রাম এলাকার বায়ুতে আর্সেনিকের ঘনমাত্রা 1– 4 ng/m^3 এর কম; কিন্তু শহর

এলাকার বায়ুতে 200 ng/m³ এর চেয়ে বেশি এবং শিল্প এলাকার বায়ুতে 1000 ng/m³ এর চেয়েও বেশি থাকে। পানিতে আর্সেনিকের ঘনমাত্রা সাধারণত 10μg/Lএবং মানুষের দ্বারা আর্সেনিক দূষিত পানিতে আরো বেশি থাকে। [ng = 10^{-9}g, μg = 10^{-6}g]

খাদ্য শৃঙ্খলে আর্সেনিক দূষণের প্রভাব :

বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থা (WHO) মতে, As এর জীবদেহে সহ্য সীমা হলো 0.05 ppm এর বেশি হলে,

(১) মানুষের স্বাস্থ্যের ওপর আর্সেনিকের ক্ষতিকারক প্রভাবগুলোর মধ্যে অন্যতম হচ্ছে **'ব্ল্যাক ফুট ডিজিজ'**।

(২) এ ছাড়া আর্সেনিকের দূষণে **যকৃত কোষে লিপিডের সঞ্চয়** ঘটে। লিপিড সঞ্চিত লিভারকে **'ফ্যাটি-লিভার'** বলে।

(৩) আর্সেনিকের ক্রনিক বিষ ক্রিয়ায় আক্রান্ত **গর্ভবতী মায়ের ভ্রূণের বৃদ্ধি ব্যাহত হয়,** জন্মত্রুটি ঘটে এবং অপরিণত ভ্রূণের গর্ভপাত ঘটে। জিনের মিউটেশনের ফলে অস্বাভাবিক শারীরবৃত্তীয় বৈশিষ্ট্য দেখা দেয়।

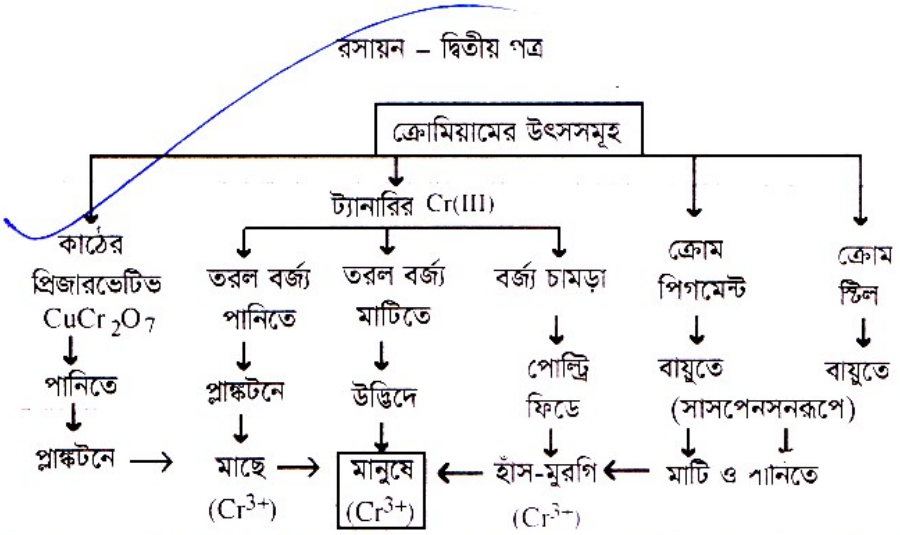
(৪) আর্সেনিকের **কারসিনোজেনিক প্রভাবে ক্যান্সার কোষের বৃদ্ধি সহজে ঘটে, তাই আর্সেনিক আক্রান্তদের মধ্যে ফুসফুস-ক্যান্সার ও স্কিন ক্যান্সারে মৃতের সংখ্যা বেশি।**

(২) খাদ্য শৃঙ্খলে ক্রোমিয়াম যুক্ত হওয়ার কারণ :

উৎস : খাদ্য শৃঙ্খলে ক্রোমিয়াম যুক্ত হওয়ার উৎস হলো বিভিন্ন শিল্পে ক্রোমিয়াম যৌগ উৎপাদন এবং সে সব যৌগ ব্যবহৃত হয়ে বর্জ্যরূপে পানিকে দূষিত করা। যেমন ট্যানারিতে সবচেয়ে বেশি ক্রোমিক সালফেট ক্রোম-ট্যানিং কাজে তিন স্তরে ব্যবহৃত হয়। কাঠ-প্রিজারভেটিভরূপে ব্যবহৃত কপার ডাইক্রোমেট ছাড়াও ক্রোম পিগমেন্ট হলুদ রঙের ক্রোমেট (CrO_4^{2-}) ও কমলারঙের ডাইক্রোমেট ($Cr_2O_7^{2-}$) আয়ন, স্টেইনলেস স্টিল-ওয়েল্ডিং ইত্যাদি ক্রোমিয়াম দূষণের অন্যতম কারণ।

খাদ্যশৃঙ্খলে Cr-এর প্রবেশ পথ : মানুষের দেহে ক্রোমিয়াম শ্বাস গ্রহণ কালে বাতাস থেকে শ্বাসতন্ত্রে এবং ক্রোমিয়াম দূষিত পানি ও খাদ্য দ্বারা পরিপাকতন্ত্র ও প্রজনন তন্ত্রের চর্বিতে সঞ্চিত হয়। ট্যানারির তরল ক্রোমিক যৌগের বর্জ্য ড্রেনের মাধ্যমে ট্যানারির আশেপাশের জমিতে, জলাভূমি ও নদীতে ফেলা হয়। এ তরল বর্জ্যে, ক্রোমিক লবণ এবং সাসপেনডেড অবস্থায় জৈব ও অজৈব দূষক থাকে।

1995 সালে এক আন্তর্জাতিক জরিপে দেখা গেছে, অনুন্নত ও মধ্যম আয়ের দেশগুলোতে যেমন দক্ষিণ-পূর্ব এশিয়ার নেপাল, বাংলাদেশ ও ইন্ডিয়াতে এবং অপরদিকে আফ্রিকা ও দক্ষিণ আফ্রিকায় চামড়া-শিল্প কেন্দ্রীভূত আছে। বাংলাদেশে সবচেয়ে বড় ট্যানারি এলাকা হাজারিবাগে প্রতিদিন 77 লক্ষ লিটার ক্রোমিক লবণ মিশ্রিত তরল বর্জ্য এবং ৪৪০ লক্ষ টন ক্রোমিক লবণযুক্ত বর্জ্য চামড়া 200 ট্যানারি থেকে পরিবেশে নিক্ষিপ্ত হয়। এর ফলে মাটি ও সারফেস ওয়াটার উচ্চ ঘনমাত্রায় ক্রোমিয়াম, ক্যাডমিয়াম, আর্সেনিক ও লেড দ্বারা দূষিত হচ্ছে। এর সাথে বুড়িগঙ্গা নদীর পানি চরমভাবে দূষিত হয়ে মাছশূন্য হয়ে পড়েছে। আশেপাশের মাটি চুয়ে ক্রোমিয়াম দূষিত পানি অন্যান্য জলাশয়ে মিশে যায়। ঐ জলাশয়ের মাছে ক্রোমিয়াম দূষণ ঘটে এবং খাদ্যরূপে গৃহীত ঐ দূষিত মাছ থেকে মানুষের শরীরে ক্রোমিয়াম দূষণ সৃষ্টি হয়।



চিত্র ১.২৮ : খাদ্যশৃঙ্খলে ক্রোমিয়াম যুক্ত হওয়া ও ৩য় স্তরের খাদক মানুষের দেহে ক্রোমিয়াম বিষ ক্রিয়া।

এছাড়া ক্রোমিয়াম লবণযুক্ত বর্জ্য চামড়া গুঁড়া করে প্রোটিনের উৎস হিসেবে হাঁস-মুরগির পোলট্রি-ফিডরূপে অসাধু ব্যবসায়ীরা মিশিয়ে দিচ্ছে। ফলে হাঁস-মুরগি সহজেই Cr, Cd, As ও Pb আয়ন দ্বারা দূষিত হচ্ছে। ঐ হাঁস-মুরগির মাংস খাদ্যরূপে গ্রহণ করে মানুষও ঐ সব বিষাক্ত ধাতু দ্বারা আক্রান্ত হচ্ছে।

খাদ্য শৃঙ্খলে ক্রোমিয়াম দূষণের প্রভাব :

(১) ক্রোমিয়াম দূষণ দ্বারা মানুষের পরিপাকতন্ত্র, শ্বাসতন্ত্র, প্রজনন তন্ত্র, রোগ প্রতিরোধ সিস্টেম প্রভৃতি আক্রান্ত হয়।

(২) Cr (VI) আয়ন মানুষের শরীরে ক্যান্সার সৃষ্টিকারী 'কারসিনোজেন' হিসেবে গণ্য। মানুষের দেহে ক্রোমিয়ামের প্রবেশ পথ অনুসারে ঐ সব স্থান ক্যান্সারপ্রবণ হয়। যেমন প্রশ্বাসের মাধ্যমে ক্রোমিয়াম (VI) দূষণ দ্বারা ফুসফুসে ক্যান্সার সৃষ্টি হয়।

(৩) বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থার (WHO) জরিপে বাংলাদেশের ঢাকার হাজারিবাগের ট্যানারির প্রায় ৪,০০০ শ্রমিক পরিপাকতন্ত্রে বিভিন্ন রোগ, চর্মরোগ ও অন্যান্য রোগে আক্রান্ত হয় এবং অনধিক পঞ্চাশ বছর আয়ুষ্কালে তারা মারা যায়।

(৪) ইন্ডিয়ার কানপুরে ট্যানারি শ্রমিকের ওপর জরিপেও দেখা গেছে, ক্রোমিয়াম দূষণে শ্বাসযন্ত্রে রোগাক্রান্ত শ্রমিকের সংখ্যা বেশি।

(৫) Cr (III) যৌগের চেয়ে Cr (VI) যৌগের বিষক্রিয়া অধিক মারাত্মক।

(৬) **অধিক Cr^{3-} দূষণের ফলে RBC তে লৌহ (Fe^{2+}) শোষণ বাধা পায়।** ফলে অ্যানিমিয়া বা রক্তশূন্যতা রোগ দেখা দেয়। এক্ষেত্রে হিমোগ্লোবিনের হিমে (heme)–এর অষ্টতলকীয় কম্পেক্সের কেন্দ্রস্থ Fe^{2+} আয়নকে Cr^{3+} আয়ন প্রতিস্থাপন করে এতে O_2 লিগ্যান্ডরূপে যুক্ত হতে বাধা পায়।

ক্রোমিয়াম দূষণের প্রতিকার :

(১) ভূগর্ভস্থ নলকূপের পানিতে থাকা বেশি টক্সিক Cr(VI) আয়নকে কম টক্সিক Cr (III) আয়নে পরিণত করতে নির্দোষ বিজারক পদার্থ মিশানো যেতে।

(২) ক্রোমিয়াম দূষিত পানিকে প্রাণীর সক্রিয় অস্থি-কয়লা (bone charcoal) সহযোগে শোষণ করে ক্রোমিয়াম মুক্ত পানি পাওয়া যায়।

(৩) বর্তমানে গবেষণায় আরো জানা গেছে, আর্থ্রো ব্যাকটর (arthrobacter) শ্রেণিভুক্ত লবণ-সহনশীল ব্যাকটেরিয়া দ্বারা ট্যানারি এলাকার Cr– দূষিত মাটির Cr– লেবেল হ্রাস করা সম্ভব।

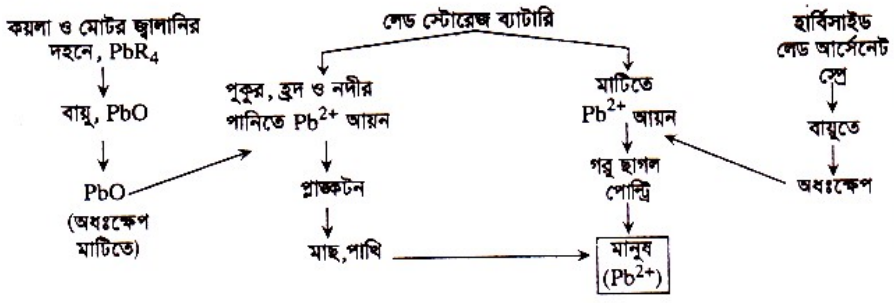
এরূপে পানি ও মাটির Cr– দূষণ মাত্রা হ্রাস করার জন্য ETP প্রকল্প সহায়ক ভূমিকা রাখবে।

(৩) খাদ্য শৃঙ্খলে লেডযুক্ত হওয়ার কারণ :

উৎস : লেড-এসিড স্টোরেজ ব্যাটারির ইলেকট্রোড তৈরিতে লেড পারঅক্সাইড PbO_2 ব্যবহৃত হয়। পরিত্যক্ত স্টোরেজ ব্যাটারির PbO_2 মাটিতে ও সারফেস ওয়াটারে Pb^{2+} আয়নরূপে মিশে থাকে। কয়লার দহনকালে কয়লার মধ্যস্থ লেড যৌগ থেকে লেড বাষ্পরূপে বাতাসে ছড়িয়ে পড়ে। এছাড়া হার্বিসাইড লেড আর্সেনেট যুক্ত পাউডার এবং স্প্রে থেকেও লেড বাতাসে সংক্রমিত হয়। পরে অধঃক্ষেপরূপে বাতাস থেকে এসব লেড যৌগ ও লেড কণা মাটিতে পুকুর ও জলাভূমিতে মিশে থাকে। মাটি ও পানি থেকে লেড (II) আয়নরূপে উদ্ভিদ দেহে প্রবেশ করে। পরে উদ্ভিদ থেকে গরু-ছাগল ও হাঁস-মুরগির দেহে চর্বিতে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে।

পেট্রোল ইঞ্জিনে ব্যবহৃত জ্বালানির অকটেন নাম্বার বৃদ্ধির জন্য এখনও টেট্রাঅ্যালকাইল লেড (PbR_4) ব্যবহৃত হয়। মোটর ইঞ্জিনে জ্বালানির দহনে সৃষ্ট বর্জ্য গ্যাসে লেড বাষ্প লেড অক্সাইডে পরিণত হয়ে মাটিতে অধঃক্ষিপ্ত হয়। এ উভয় উৎসের Pb^{2+} আয়ন মাটিসহ পুকুর, নদী ও হ্রদের পানিতে মিশে থাকে।

খাদ্য শৃঙ্খলে Pb-এর প্রবেশ পথ : মাটি থেকে উদ্ভিদে এবং উদ্ভিদ থেকে গরু, ছাগল ও পোল্ট্রির হাঁস-মুরগির দেহে তিন ধাপে সঞ্চিত হয়। এ সব প্রাণীর মাংস খাদ্যরূপে তৃতীয় স্তরের খাদক মানুষ গ্রহণ করলে মানুষের দেহে লেডের বিষক্রিয়া ঘটায়। আবার পুকুর, নদী ও হ্রদের পানি লেড দ্বারা দূষিত হলে ঐ লেড প্রথমে প্লাঙ্কটনে এর পরে মাছ ও পাখির দেহে সঞ্চিত হয়। সবশেষে ঐ মাছ ও পাখির মাংস লেড দূষিত হওয়ায় তা খাদ্য শৃঙ্খলের তৃতীয় পর্যায়ভুক্ত খাদক মানুষের দেহে লেডের বিষক্রিয়া ঘটায়।



চিত্র- ১.২৯ : খাদ্য শৃঙ্খলে লেডযুক্ত হওয়া ও ৩য় স্তরের খাদক মানুষের দেহে লেডের বিষক্রিয়া।

MCQ. 1.14 : পানীয় জলে আর্সেনিকের গ্রহণযোগ্য মাত্রা কত?

(ক) 0.01–0.02 ppm
(খ) 0.01–0.03 ppm
(গ) 0.01–0.04 ppm
(ঘ) 0.01–0.05 ppm

লেডের বিষক্রিয়ার প্রভাব :

★ বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থা (WHO) এর রিপোর্ট মতে দেহে **লেডের পরিমাণ 50 ppb এর বেশি হলে লেডের বিষক্রিয়া** দেখা দেয়।

(১) লেডের বিষক্রিয়ায় দাঁতের মাড়ি নীলাভ হয়।

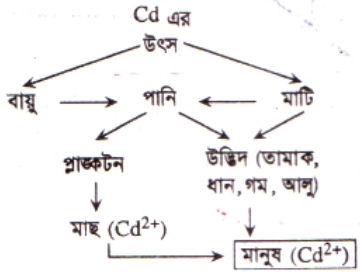
(২) এছাড়া Cr-এর মতো, লেড হিমোগ্লোবিন উৎপাদনে বাধা দেয়। ফলে অ্যানিমিয়া বা রক্তশূন্যতা দেখা দেয়।

(৩) As-এর মতো, লেড দূষণের ফলে গর্ভবতী মহিলা মৃত সন্তান প্রসব করেন। সাত বছরের কম বয়সের শিশুর লেড বিষাক্ততায় মস্তিষ্কের স্বাভাবিক বৃদ্ধি ব্যাহত হয়; শিশুর বুদ্ধিবৃত্তি বা IQ হ্রাস পায়।

(৪) খাদ্য শৃঙ্খলে ক্যাডমিয়াম যুক্ত হওয়ার কারণ :

উৎস : খাদ্য শৃঙ্খলে ক্যাডমিয়াম যুক্ত হওয়ার উৎসগুলো নিচে উল্লেখ করা হলো। (i) জিংক, লেড ও কপারের আকরিকের মধ্যে ক্যাডমিয়াম ধাতুও থাকে। এ সব ধাতু (Zn, Pb, Cu) আকরিক থেকে নিষ্কাশনকালে ক্যাডমিয়াম (Cd) শিল্পবর্জ্য হিসেবে শিল্প কারখানার নিকটস্থ কৃষি জমি ও পানিতে Cd^{2+} আয়নরূপে মিশে পরিবেশের দূষণ ঘটায়। (ii) ঝালাই করার রাঙ বা সোল্ডার (solder)-এ Cd থাকে; ক্যাডমিয়াম প্লেটেড স্টিলের রিসাইক্লিং কালে উচ্চ তাপমাত্রায় কিছু ক্যাডমিয়াম বাষ্পীভূত হয়ে বায়ুকে দূষিত করে। (iii) কৃষিজমিতে ব্যবহৃত ফসফেট সারে দূষক হিসেবে থাকা ক্যাডমিয়াম মাটিতে Cd^{2+} আয়নরূপে মিশে যায়। (iv) PVC প্লাস্টিক উৎপাদনে স্টেবিলাইজার হিসেবে এবং রঙিন প্লাস্টিকের পিগমেন্টরূপে ক্যাডমিয়াম (II) যৌগ ব্যবহৃত হয়। শিল্পবর্জ্যরূপে ঐ ক্যাডমিয়াম (II) যৌগ শিল্প-ড্রেইনের মাধ্যমে মাটি ও পানিকে দূষিত করে। (v) বর্তমানে ক্যালকুলেটর ও ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতিতে ব্যবহৃত রিচার্জেবল নিকাড ব্যাটারি (NiCAD = Ni + Cd) এর ইলেকট্রোডে প্রায় 5 গ্রাম Cd থাকে। ব্যবহার শেষে এ ব্যাটারি বর্জ্য আবর্জনার সাথে ভস্মীভূত হলে ঐ ব্যাটারির Cd-কণাকারে বায়ুতে সংক্রমিত হয়।

মানুষের শরীরে ক্যাডমিয়াম সংক্রমণ পথ : (i) বায়ুমণ্ডলে সাসপেনশনে থাকা ক্যাডমিয়াম-কণা অধঃক্ষেপরূপে বৃষ্টির পানিসহ মাটিতে আসে। ফলে প্রশ্বাস-বায়ু ও পানীয় জলের মাধ্যমে ক্যাডমিয়াম মানুষের শরীরে প্রবেশ করে। (ii) এছাড়া আলু, দানাশস্য যেমন ডাল, গম, চাউল (ধান) ইত্যাদির মাধ্যমে এবং মাছ ও মাংস বিশেষত কিডনি (বৃক্ক) ইত্যাদি খাদ্য থেকে মানুষের শরীরে ক্যাডমিয়াম যুক্ত হয়। ধূমপায়ীর সিগারেটের দহনে ধোঁয়ার সাথে Cd- কণা ফুসফুসে এবং বায়ুতে ছড়িয়ে পড়ে। (iii) ক্যাডমিয়াম দূষিত সেচের পানি ও মাটি থেকে কিছু উদ্ভিদ যেমন তামাক গাছ ক্যাডমিয়াম আয়ন (Cd^{2+} আয়ন) শোষণ করে পাতায় জমা রাখে।



চিত্র ১.৩০ : খাদ্য শৃঙ্খলে Cd যুক্ত হওয়া ও খাদক মানুষের দেহে Cd এর বিষক্রিয়া।

ক্যাডমিয়ামের বিষক্রিয়ার প্রভাব :

★ WHO এর তথ্য মতে, মানুষের ক্ষেত্রে ক্যাডমিয়াম দূষণে মারণ-মাত্রা বা **লেথাল ডোজ (lethal dose) হলো 1 গ্রাম**। দীর্ঘকাল ক্যাডমিয়াম দূষণে সৃষ্ট ক্রনিক বিষ-ক্রিয়ার উপসর্গগুলো নিম্নরূপ :

(১) ক্যাডমিয়াম দূষিত বায়ু থেকে প্রশ্বাসের মাধ্যমে **ফুসফুসের স্বাভাবিক ক্রিয়া বাধাপ্রাপ্ত হয়**। ধূমপায়ীর সিগারেটের ধোঁয়ার Cd-কণা ফুসফুসে শোষিত হয়ে ব্লাড-ক্যাডমিয়াম (B– Cd) লেভেল অধূমপায়ীর তুলনায় 4–5 গুণ বেশি হয়।

(২) ক্যাডমিয়ামের ক্রনিক বিষ ক্রিয়ায় অস্থি-সন্ধিতে তীব্র যন্ত্রণা সৃষ্টি হয়। অস্থির মধ্যে ছিদ্রযুক্ত **অস্টিওপোরোসিস** (osteoporosis), **হয় "অস্থি ভঙ্গুর হয়; অল্প আঘাত পেলে অস্থি ভেঙ্গে যায়**। অস্থির গঠনে ভঙ্গুরতা সৃষ্টির কারণ হলো Ca^{2+} আয়ন ও Cd^{2+} আয়ন উভয়ের চার্জ সংখ্যা সমান এবং আয়তনও প্রায় সমান; তাই কিছু পরিমাণ অস্থি-ক্যালসিয়ামকে ক্যাডমিয়াম প্রতিস্থাপন করে থাকে। দীর্ঘকালীন Cd-এর দূষণে দেহের **সমগ্র অস্থি-কাঠামো ক্ষতিগ্রস্ত** (skeletal damage) হতে পারে।

জাপানের জিন্টসু নদীর উপত্যকায় বসবাসকারী মানুষের দীর্ঘকালীন Cd-দূষণের বিষক্রিয়ায় 1968 খ্রিস্টাব্দে হাড় সন্ধি ও অস্থি কাঠামোর বিশেষ রোগ **'ইটাই-ইটাই' বা আউচ-আউচ** (Itai– Itai or Ouch - Ouch disease) দেখা দেয়। শতাধিক মানুষ বিশেষ রোগে আক্রান্ত হয়। এ রোগের উপসর্গ ছিল–অস্থি সন্ধিতে তীব্র যন্ত্রণা; অস্থি ক্ষয় ও অস্থির ভঙ্গুরতা কিডনির রেচন ক্রিয়ার বিঘ্ন সৃষ্টি; প্রস্রাবে অধিক পরিমাণ নিম্ন আণবিক ভরের প্রোটিন বা এনজাইম ও Ca^{2+} আয়ন বের হয়ে আসে। এছাড়া উচ্চরক্ত চাপ এবং ফুসফুসে দুর্বলতাজনিত অগভীর ও অনিয়মিত শ্বসন ক্রিয়া ঘটে। এর অনুসন্ধানে জানা যায়, জিন্টসু নদীর উপত্যকায় জিঙ্ক আকরিকের খনি ও জিঙ্ক নিষ্কাশনের কারখানা-বর্জ্যের Cd^{2+} আয়ন ঐ নদীর পানিকে মারাত্মকভাবে দূষিত করে। ঐ দূষিত পানি স্থানীয় ধানচাষে সেচের কাজে ব্যবহৃত হয়। ফলে Cd-দূষিত পানি থেকে উৎপন্ন ধান-চালে Cd- সঞ্চিত হয়। এ খাদ্যশস্য চাল থেকে প্রতিদিন প্রায় 600 মাইক্রো গ্রাম Cd-ধাতু ইটাই-ইটাই আক্রান্ত মানুষের দেহে সংক্রমিত হতো।

(৩) ক্যাডমিয়াম দূষণের ফলে কিডনি নষ্ট হয়ে যায়। এক ইউরোপিয়ান অনুসন্ধান টিমের পর্যবেক্ষণে জানা যায়, ইউরিনারি Cd-লেভেলের ক্ষেত্রে প্রতি গ্রাম ক্রিয়াটিনিনে 2-3 মাইক্রোগ্রাম Cd থাকলে (2–3 μ g Cd /g creatinine); তখন ঐ কিডনিতে গ্লোমেরুলার ফিল্ট্রেশন হ্রাস পায়; কিডনিতে পাথর (stone) সৃষ্টি ও শেষে কিডনি নষ্ট হয়।

(৪) আন্তর্জাতিক ক্যানসার রিসার্স সংস্থা (IARC) কর্তৃক Cd ধাতুকে মনুষ্য-কারসিনোজেন গ্রুপ–I ভুক্ত করেছে। **প্রোস্ট্রেট ক্যান্সার ও ফুসফুসের ক্যান্সার সৃষ্টিতে Cd-এর ভূমিকা প্রমাণিত।**

(৫) জিঙ্ক-অপরিহার্য কার্বনিক অ্যানহাইড্রেজ এনজাইমের গঠন থেকে ক্যাডমিয়াম দ্বারা জিংক প্রতিস্থাপিত হয়ে এনজাইমের ক্রিয়া বিঘ্নিত করে।

(৬) ক্যাডমিয়ামের বিষক্রিয়ার ফলে **বিপাকীয় বা মেটাবোলিক অস্বাভাবিকতা সৃষ্টি হয়।** কারণ এক্ষেত্রে Zn^{2+} আয়ন ও Cd^{2+} আয়ন সমধর্মী ধাতব মৌল হওয়ায় এরূপ ঘটে।

১.২৩ দ্রবণের বিভিন্ন প্রকারভেদ (Different Types of Solutions)

আমরা জানি, খাদ্য লবণ (NaCl) পানিতে দ্রবীভূত হয়। এক্ষেত্রে খাদ্য লবণকে **দ্রব** (solute) ও পানিকে **দ্রাবক** (solvent) বলা হয়। উৎপন্ন সমসত্ত্বীয় মিশ্রণকে **দ্রবণ** (solution) বলা হয়। তোমরা দেখেছ, দ্রবণে সাধারণত দ্রাবকের পরিমাণ বেশি ও দ্রবের পরিমাণ কম থাকে। সব দ্রবণে এ পরিমাণগত দ্রাবক ও দ্রবের অনুপাত ঠিক থাকে না। যে কোনো অনুপাতে দ্রব ও দ্রাবক মিশ্রিত হতে পারে। আবার ভৌত অবস্থাভেদে বিভিন্ন প্রকার দ্রবণ হতে পারে।

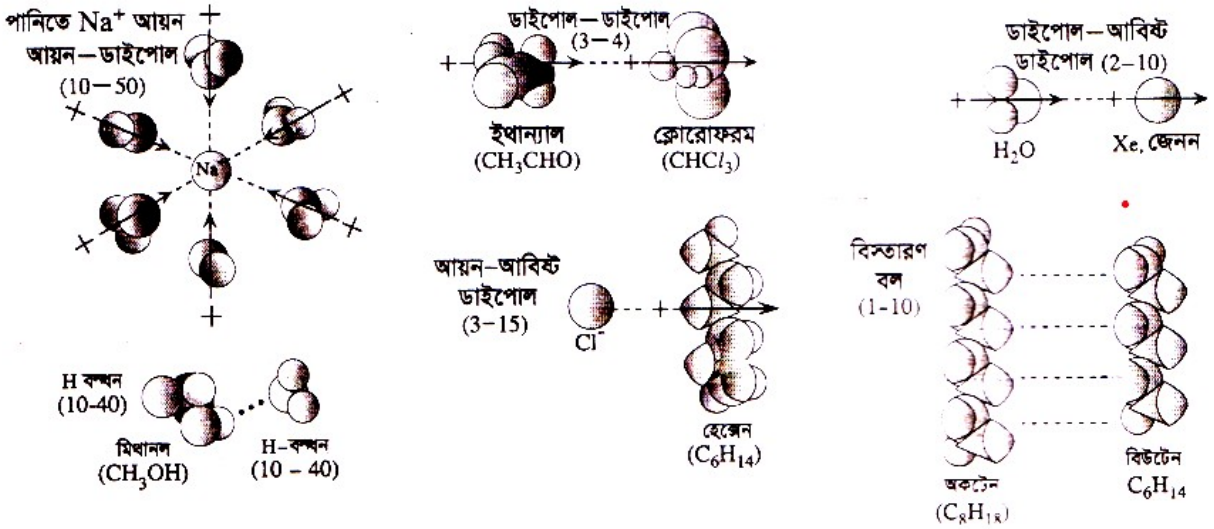
দ্রবণের শ্রেণিবিভাগ : দ্রাবক ও দ্রবের ভৌত অবস্থাভেদে নিম্নোক্ত শ্রেণির দ্রবণ আছে। যেমন,

দ্রাবক + দ্রব ⟶ দ্রবণ (উদাহরণ)
গ্যাস + গ্যাস ⟶ বায়ু-N_2, O_2, Ar ও অন্যান্য গ্যাস (১৫টি)
তরল + গ্যাস ⟶ কার্বনেটেড ওয়াটার (পানিতে CO_2 গ্যাস)
কঠিন + গ্যাস ⟶ প্যালাডিয়াম ও প্লাটিনামে H_2 গ্যাস শোষণ
তরল + তরল ⟶ গ্যাসোলিন (বিভিন্ন তরল হাইড্রোকার্বন মিশ্রণ)
কঠিন + তরল ⟶ ডেনটেল অ্যামালগাম (সিলভারে মারকারি)
তরল + কঠিন ⟶ সমুদ্রের লবণাক্ত পানি (পানিতে NaCl ও অন্যান্য লবণ)
কঠিন + কঠিন ⟶ বিভিন্ন ধাতু সংকর (পিউটার জগ, 96% Sn ও 4% Cu)

MCQ.1.15 : পানিতে দূষক পদার্থ দ্রবীভূত থাকার কৌশল কোনটি নয়?
(ক) বিস্তারণ (খ) বন্ধন
(গ) ডাইপোল-আয়ন বল (ঘ) হাইড্রেশন

১.২৩.১ দূষক পদার্থসমূহের বায়ু ও পানিতে দ্রবীভূত থাকার কৌশল
Pollutants Mixing Mechanism in Air and Water

দূষক পদার্থের মধ্যে গ্যাসীয় অণু, ধাতব ও অধাতব মৌলের কণা, বিভিন্ন প্রকার পোলার-অপোলার যৌগ ও আয়নিক যৌগ রয়েছে। এ সব দূষক পদার্থের বায়ু ও পানিতে মিশ্রিত থাকা অথবা দ্রবীভূত থাকা নির্ভর করে দ্রাবক অণু ও দ্রব অণু বা আয়নের মধ্যে আন্ত-কণা আকর্ষণ বলের ওপর। তোমরা জান, বাটার বা ঘি পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু রান্না করার তেলে বাটার দ্রবণীয়। এর ব্যাখ্যার জন্য রসায়নে দ্রবণের নিয়ম হলো **'লাইক ডিজলভস্ লাইক'** (Like dissolves like)।



চিত্র ১.৩১ : বিভিন্ন দ্রবণে দ্রাবক ও দ্রবের মধ্যে আন্তঃকণা আকর্ষণ বল, এদের মডেল ও বলের পরিমাণ kJ mol একক।

রসায়ন ১ম পত্রের ৫ম অধ্যায়ে এ সম্বন্ধে তোমরা জেনেছ। এছাড়া ৩য় অধ্যায়ে বিভিন্ন প্রকার নন্-বন্ডিং আন্তঃকণা আকর্ষণ-বল বা ভ্যানডার ওয়ালস বল সম্বন্ধে জেনেছ। দ্রবণের বেলায় দ্রাবক ও দ্রব কণার মধ্যেও ঐ সব বল কার্যকর থাকে। চিত্র-১.৩১-এ দ্রবণে পোলার অণু, অপোলার অণু ও আয়নের মধ্যে কার্যকর বিভিন্ন প্রকার আকর্ষণ বল দেখানো হয়েছে। উপরোক্ত আলোচনার ভিত্তিতে বায়ু ও পানিতে বিভিন্ন দূষক পদার্থ কীরূপে দ্রবীভূত থাকে তা আমরা ব্যাখ্যা করতে পারব।

১। **আয়ন-ডাইপোল বল** কার্যকর থাকে, যখন পোলার দ্রাবক পানিতে দ্রবরূপে আয়নিক যৌগ যেমন NaCl দ্রবীভূত হয়। তখন NaCl কেলাসের তলের প্রতিটি আয়ন পানির ডাইপোলের বিপরীত চার্জযুক্ত প্রান্তকে আকর্ষণ করে এবং কেলাস-জালির আয়নের আকর্ষণ বল থেকে মুক্ত হয়ে পড়ে। তখন ছোট আয়ন যেমন Li^+ আয়ন চারটি পানি অণু দ্বারা ঘেরাও হয়ে চতুস্তলকীয়ভাবে এবং বড় আয়ন যেমন Na^+ আয়ন ও F^- আয়ন ছয়টি পানি অণু দ্বারা ঘেরাও হয়ে অষ্টতলকীয়ভাবে হাইড্রেশন শেলে (hydration shell-এ) আবদ্ধ থাকে। ভারী ধাতুর আয়ন যেমন Pb^{2+} Cd^{2+}, As^{3+} Cr^{3+} আয়ন দ্বারা দূষিত পানিতে আয়ন-ডাইপোল বল দ্বারা আকৃষ্ট থাকে। পানি + অজৈব যৌগ

২। **হাইড্রোজেন-বন্ধন** বল কার্যকর হয়, যখন পোলার দ্রাবক পানিতে অপোলার যৌগ ও বায়োলজিক্যাল যৌগ বা বায়ো-অণু পানিতে দ্রবীভূত হয়ে H–বন্ধন দ্বারা আকৃষ্ট থাকে। এ সব যৌগ শ্রেণির মধ্যে অ্যালকোহল (R-OH), অ্যামিন ($R-NH_2$) ও অ্যামাইনো এসিড ($RCH(NH_2)COOH$) ইত্যাদি রয়েছে। জীবকোষের সেল-ফ্লুইডের (cell-fluid–এর)

পানিতে বায়োঅণুগুলো H–বন্ধন দ্বারা আকৃষ্ট আছে। শিল্পক্ষেত্রে ব্যবহৃত বিভিন্ন পোলার জৈব যৌগ যেমন দ্রাবকরূপে অ্যালকোহল, ট্যানারি কারখানায় পশু চামড়ার লোম-নাশকরূপে ব্যবহৃত অ্যামিনসমূহ কারখানার বর্জ্যরূপে পানি দূষণের বেলায় এসব যৌগ পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় H–বন্ধনে আকৃষ্ট থাকে।

৩। **ডাইপোল–ডাইপোল** বল দ্রাবক ও দ্রব অণুর মধ্যে কার্যকর হয়, যখন ঐ সব পোলার দ্রাবক অণু ও পোলার দ্রব অণুর মধ্যে কোনো H–বন্ধন গঠন সম্ভব হয় না। জৈব পোলার যৌগ যেমন ইথান্যাল (CH_3CHO) দ্রবরূপে অজলীয় পোলার দ্রাবক ক্লোরফরমে ($CHCl_3$ এ) দ্রবীভূত হয়ে সৃষ্ট দ্রবণে ডাইপোল-ডাইপোল বল দ্বারা দ্রব ও দ্রাবক অণু আকৃষ্ট থাকে।

৪। **আয়ন-আবিষ্ট ডাইপোল বল** দু'প্রকার আয়ন যেমন ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়ন দ্বারা অপোলার যৌগ অণুর ইলেকট্রন মেঘের বিন্যাসকে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ দ্বারা অবিন্যস্ত করে অপোলার অণুতে ডাইপোল সৃষ্টি করতে পারে। এরূপে সৃষ্ট আয়ন-আবিষ্ট ডাইপোল বল জৈবিক ক্রিয়ায় বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রাখে। যেমন রক্তের হিমোগ্লোবিনে Fe^{2+} আয়ন যুক্তকরণ ও রক্তপ্রবাহে O_2 অণু দ্রবীভূত থাকা। একইভাবে Cl^- আয়ন গ্যাসোলিনের হাইড্রোকার্বনে আবিষ্ট ডাইপোল সৃষ্টি করে দ্রবীভূত হতে পারে। পেট্রোলিয়াম রিফাইনারির বর্জ্য পানি দূষণের বেলায় পানিতে থাকা আয়নের সাথে এরূপ আবিষ্ট ডাইপোল বল দ্বারা আকৃষ্ট থাকে।

৫। **ডাইপোল-আবিষ্ট ডাইপোল বল** দ্বারা একটি পোলার অণু যেমন পানি অণু ও বায়ুমণ্ডলে থাকা O_2, N_2 ও বায়ু দূষক অপোলার জৈব যৌগের বাষ্পীভূত অণু যেমন বেনজিন ও যে কোনো হাইড্রোকার্বন ডাইপোল–আবিষ্ট ডাইপোল বল দ্বারা আকৃষ্ট থাকে। বায়ু দূষক পোলার CO, CO_2, SO_2, SO_3 এর সাথে N_2 ও O_2 এর মধ্যে ডাইপোল-আবিষ্ট ডাইপোল বল কার্যকর থাকে।

৬। **বিস্তারণ (dispersion) বল** সব দ্রাবকে সব দ্রবের কম-বেশি দ্রবীভূত হওয়ার ভূমিকা রাখে। তবে অপোলার জৈব যৌগের দ্রবণে এ বিস্তারণ বল দ্বারা মূলত অণুগুলো আকৃষ্ট থাকে। বায়ু ও পানিতে দূষক পদার্থের অণুগুলো মিশ্রিত থাকার জন্য বিস্তারণ-বল ভূমিকা রাখে।

এ অধ্যায়ের সার-সংক্ষেপ (Recapitulations)

বায়ুমণ্ডল : বায়ুমণ্ডলকে বায়ুচাপ ও তাপমাত্রাভিত্তিক চারটি অঞ্চলে ভাগ করা হয়। যেমন ট্রপোস্ফিয়ার, স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার, মেসোস্ফিয়ার, থার্মোস্ফিয়ার।

ঘূর্ণিঝড় বা সাইক্লোন : গভীর সমুদ্রে তাপমাত্রা 27°C এর বেশি হলে সমুদ্রের ওপরের বায়ুমণ্ডলে নিম্নচাপ সৃষ্টি হয়; তখন চারপাশের ভারী বাতাস সেদিকে ধাবিত হয়ে ঘুরতে ঘুরতে ওপর দিকে উঠতে থাকে এবং স্থলভাগের দিকে 63km/h-এর বেশি বেগে অগ্রসর হতে থাকে; একে ঘূর্ণিঝড় বা সাইক্লোন বলে।

গ্যাস সূত্র : বিজ্ঞানীরা গ্যাসের ভৌত আচরণভিত্তিক ছয়টি সূত্র উপস্থাপন করেন : বয়েলের সূত্র, চার্লসের সূত্র, গে-লুসাক অ্যামনটন সূত্র, অ্যাভোগাড্রো সূত্র, আদর্শ গ্যাস সূত্র, ডালটনের আংশিক চাপ সূত্র ও গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র।

গ্যাস ধ্রুবক : STP তে $R = 0.082058\ L.atmK^{-1}\ mol^{-1}$ এবং SI এককে $R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$

গ্যাসের আণবিক তত্ত্ব : প্রতিটি গ্যাস অসংখ্য ক্ষুদ্র কণা বা অণু দ্বারা গঠিত; এরা সরল গতিতে স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষে থাকে; গ্যাসের অণুগুলোর আকর্ষণ বিকর্ষণ নেই। আয়তন নগণ্য; গড় গতিশক্তি কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

আদর্শ গ্যাস ও বাস্তব গ্যাস : যে গ্যাস সব তাপমাত্রা ও চাপে আদর্শ গ্যাস সূত্র মান্য করে তাকে আদর্শ-গ্যাস এবং যে গ্যাস আদর্শ গ্যাস সূত্র সম্পূর্ণরূপে মান্য করে না তাকে বাস্তব গ্যাস বলে। বাস্তব গ্যাস N_2, O_2, CO_2 ইত্যাদি।

নাইট্রোজেন ফিক্সেশন : বায়ুর N_2 গ্যাসকে যৌগে পরিণত ও ব্যবহার উপযোগী করে আবদ্ধ রাখার প্রক্রিয়াকে নাইট্রোজেন ফিক্সেশন বলে। এর থেকে উদ্ভিদ প্রোটিন সংশ্লেষণের N-উপাদান পায়।

গ্লোবাল ওয়ার্মিং : জীবাশ্ম জ্বালানি দহনে উৎপন্ন বর্জ্য গ্যাস CO, CO_2, SO_2, SO_3, NO, NO_2, CH_4 ও CFC কে বায়ু দূষক বলে। CO_2, CH_4, N_2O, O_3, H_2O বাষ্প CFC কে গ্রিন হাউজ গ্যাস বলে। এরা গ্লোবাল ওয়ার্মিং ঘটায়।

এসিড বৃষ্টি : বায়ুতে SO_2, SO_3, NO_2 ইত্যাদি অম্লধর্মী গ্যাসের অধিক উপস্থিতির কারণে বৃষ্টির পানির সাথে এ সব গ্যাস বিক্রিয়া করে H_2SO_4 ও HNO_3 এসিডরূপে বৃষ্টির সাথে মাটিতে পড়ে, একে এসিড বৃষ্টি বলে।

আরহেনিয়াস তত্ত্ব : এসিড হলো H-যুক্ত যৌগ, যা জলীয় দ্রবণে H^+ আয়ন দেয়। ক্ষারক পানিতে OH^- আয়ন দেয়।

অনুবন্ধী অম্ল ক্ষারক : এসিড প্রোটন ত্যাগ করে যে ঋণাত্মক আয়ন তৈরি করে, তাকে এসিডের অনুবন্ধী ক্ষারক এবং ক্ষারক প্রোটন গ্রহণ করে সৃষ্ট যৌগ বা আয়নকে অনুবন্ধী অম্ল বলে।

লুইস-এসিড : ইলেকট্রন যুগল গ্রহণকারী যে কোনো আয়ন বা অণুকে লুইস এসিড বলে। ইলেকট্রন যুগল প্রদানকারী যে কোনো আয়ন বা অণুকে লুইস ক্ষারক বলে।

মিঠা পানি ও খর পানি : বৃষ্টি, হ্রদ, নদী ও ভূগর্ভস্থ পানিকে মিঠা পানি বলে। মিঠা পানিতে Ca^{2+} আয়ন, Mg^{2+} ও HCO_3^- আয়ন বেশি থাকলে তাকে খর পানি বলে।

পানির DO, BOD : পানিতে দ্রবীভূত অক্সিজেনের পরিমাণকে DO। 20°C- এ ৫ দিন যাবৎ কোনো সারফেস পানীয়ের নমুনায় থাকা দূষক পচনশীল জৈব বস্তুকে সম্পূর্ণ বিযোজিত করতে ঐ পানির DO থেকে যে পরিমাণ অক্সিজেন ব্যবহৃত জীবাণু দ্বারা ব্যয়িত হয়, তাকে ঐ নমুনা পানির BOD বলে।

পানি দূষণ ও ইউট্রোফিকেশন : শিল্প বর্জ্য দ্বারা পরিবেশের পানি দূষিত হওয়াকে পানি-দূষণ বলে। পানি দূষণের ফলে [illegible] উদ্ভিদ ও মাছ মরে গিয়ে পচন ও দুর্গন্ধ সৃষ্টি করে; এরূপ চরমভাবে পানি দূষণকে ইউট্রোফিকেশন বলে।

শিল্পের তরল বর্জ্য ও ETP : শিল্পের তরল বর্জ্যের বিভিন্ন ভারী ধাতুর আয়নকে রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় পৃথক করে শিল্প বর্জ্যকে পরিবেশ বান্ধব করার প্রক্রিয়াকে ETP বলা হয়।

খাদ্য শৃঙ্খল : সবুজ উদ্ভিদ দ্বারা উৎপাদিত 'খাদ্য' হলো সৌর শক্তি ও পুষ্টি উপাদানের ভাণ্ডার। এ খাদ্য উদ্ভিদ থেকে ক্রমান্বয়ে ১ম, ২য় ও ৩য় পর্যায়ভুক্ত ভক্ষক শ্রেণির জীবে প্রবাহিত হয়। প্রতিটি বাস্তুতন্ত্রের জীবগুলোর মাধ্যমে শক্তি ও পুষ্টি উপাদানের এরূপ প্রবাহকে জীবের ভক্ষণ শৃঙ্খল বলে।

খাদ্য শৃঙ্খলে ভারী ধাতু যুক্ত হওয়া : Cr, Pb, Cd ও As ধাতুর বিভিন্ন যৌগ ম্যাটতে খনিজরূপে ভূগর্ভস্থ পানিতে মিশে পানিকে দূষিত করে। অথবা শিল্প বর্জ্যরূপে এসব যৌগ মাটি ও পানিতে মিশে পরিবেশকে দূষিত করে। পানি ও মাটি থেকে উদ্ভিদের মাধ্যমে খাদ্য শৃঙ্খলে যুক্ত হয়ে পড়ে।

অনুশীলনী – ১

প্রথম অধ্যায় : পরিবেশ রসায়ন

(ক) জ্ঞানস্তর ভিত্তিক প্রশ্নাবলি (এক নজরে) :

(১) বায়ুমণ্ডল ভিত্তিক প্রশ্নাবলি :

১। বায়ুমণ্ডল কী?

২। বায়ুমণ্ডলের সংযুক্তিগত গ্যাস কী কী?

৩। বায়ুমণ্ডলের অঞ্চলগুলো কী কী?

৪। ট্রপোস্ফিয়ারের পরিসর কত?

৫। ট্রপোস্ফিয়ারের চাপমাত্রার পরিসর কত থাকে?

৬। ট্রপোস্ফিয়ারের সর্বনিম্ন তাপমাত্রা কত?

৭। স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের পরিসর কত?

৮। স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের সর্বোচ্চ তাপমাত্রা কত?

৯। বায়ুমণ্ডলের শীতলতম স্তর কোনটি?

১০। আয়নোস্ফিয়ার কী?

১১। হোমোস্ফিয়ার কী?

১২। হেটারোস্ফিয়ার কী?

১৩। ঘূর্ণিঝড় বা সাইক্লোন কী?

১৪। সুনামি কী?

১৫। ঝড়-ঝঞ্ঝা ও বিমান চলাচলের অঞ্চল কোনটি?

(২) গ্যাস সূত্রসমূহ ভিত্তিক প্রশ্নাবলি :

১। প্যাসকেল কী?

২। বয়েলের সূত্রটি বিবৃত কর।

৩। সমোষ্ণ লেখ বা আইসোথার্ম কী?

৪। চার্লসের সূত্রটি বিবৃত কর। [রা. বো. ২০১৬]

৫। আইসোবার বা সমচাপীয় লেখ কী?

৬। আইসোকোর বা সমআয়তনীয় লেখ কী?

৭। পরম শূন্য তাপমাত্রা কী? [দি. বো. ২০১৬, ব. বো. ২০১৫]

৮। গে-লুসাকের চাপের সূত্রটি বিবৃতি কর।

৯। গ্যাসের STP কী? [রা. বো. ২০১৫, দি. বো. ২০১৬]

১০। গ্যাসের SATP কী?

১১। আদর্শ গ্যাস সমীকরণ কী?

১২। গ্যাসের আংশিক চাপ কী?

১৩ ডালটনের আংশিক চাপের সূত্র কী?

১৪ মোল ভগ্নাংশ কী?

১৫ গ্যাসের ব্যাপন কী? [ঢা. বো. ২০১৫]

১৬। গ্যাসের নিঃসরণ বা অনুব্যাপন কী? [ব. বো ২০১৬]

১৭। গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্র কী?

১৮। গ্যাসের গতীয় সমীকরণটি লেখ। [দি. বো. ২০১৫]

১৯। আদর্শ গ্যাস কী? [ঢা. বো. ২০১৫, চ. বো ২০১৬]

২০। অনাদর্শ বা বাস্তব গ্যাস কী? [য. বো ২০১৬, দি বো. ২০১৬]

২১। আণবিক সংঘর্ষ কী?

২২। সংঘর্ষ ব্যাস কী?

২৩। গ্যাসের RMS বেগ কী? [রা. বো ২০১৬]

২৪। অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা কী?

২৫। বাস্তব গ্যাসের ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণ কী?

২৬। CNG কী?

(৩) বায়ুমন্ডল, পানি ও মাটি দূষণ সংক্রান্ত প্রশ্নাবলি :

১ নাইট্রোজেন ফিক্সেশণ কী?

২ বায়োলজিক্যাল N-ফিক্সেশন কী?

৩ গ্রিন হাউজ গ্যাস কী?

৪ CFC কী? [রা. বো. ২০১৫]

৫ এসিড বৃষ্টি কী? [য.বো ২০১৬] কু. বো. ২০১৬]

৬ FGD প্ল্যান্ট কী?

৭ ব্রনস্টেড-লাউরি এসিড কী?

৮ ব্রনস্টেড-লাউরি ক্ষারক কী?

৯ অনুবন্ধী ক্ষারক কী? [রা. বো. ২০১৫]

১০ অনুবন্ধী অম্ল কী? [রা. বো. ২০১৫]

১১ লুইস এসিড কী?

১২। লুইস ক্ষারক কী?

১৩। মিঠা পানি কী?

১৪। খর পানি বা পানির খরতা কী?

১৫। পানির DO কী?

১৬। পানির BOD কী? [যশোর ২০১৬, ব. বো. ২০১৫, চ. বো ২০১৬]

১৭। পানির COD কী? [রা. বো. ২০১৫, কু. বো. ২০১৬]

১৮। পানির TDS কী? [য.বো. ২০১৫, ঢা. বো. ২০১৬]

১৯। ইউট্রোফিকেশন কী?

২০। আর্সেনিক দুষণ কী?

২১। WHO ঘোষিত পানীয় জলে আর্সেনিকের প্রমাণ মাত্রা কত?

২২। ব্ল্যাক-ফুট ডিজিজ কী?

২৩। অটোট্রফ কী?

২৪। হেটারোট্রপ কী?

২৫। জীবের খাদ্য শৃঙ্খল কী?

২৬। চামড়া ট্যানিং কাজে কোন লবণ ব্যবহৃত হয়।

২৭। কোন জারণ অবস্থায় Cr ধাতুর বিষক্রিয়া অধিক মারাত্মক?

২৮। WHO এর রিপোর্ট মতে লেডের বিষ ক্রিয়ায় Pb এর পরিমাণ কত?

২৯। লেড বিষ-ক্রিয়ার লক্ষণ কী?

৩০। WHO এর তথ্য মতে মানুষের ক্ষেত্রে Cd এর লেথাল-ডোজ dethal dose) কত?

৩১। ইটাই-ইটাই রোগ কী?

৩২। ভারী ধাতুর আয়ন (Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cr^{3+}) দুষিত পানিতে দ্রবীভূত থাকে কী রূপে?

৩৩। ট্যানারিতে পশুর চামড়ার লোম নাশক রূপে ব্যবহৃত আমিনসমূহ দূষিত পানিতে দ্রবীভূত থকে কী রূপে?

৩৪। রক্তে O_2 অণু দ্রবীভূত থাকার কৌশল কী?

(খ) অনুধাবনস্তর ভিত্তিক প্রশ্নাবলি (এক নজরে) :

(১) বায়ুমণ্ডল ভিত্তিক প্রশ্নাবলি :

১। বায়ুমণ্ডলের সংযুক্তির সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও।

২। বায়ুমণ্ডলের গ্যাসীয় বস্তুকণাগুলোর ভূমিকা কী?

৩। বায়ুমণ্ডলের ট্রপোস্ফিয়ারের গুরুত্ব আলোচনা কর।

৪। বায়ুমণ্ডলের স্ট্রাটোস্ফিয়ারের গুরুত্ব আলোচনা কর।

৫। বায়ুমণ্ডলের চারটি অঞ্চলের পরিসর, চাপ ও তাপমাত্রার পরিবর্তনের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও।

৬। ঘূর্ণিঝড় সৃষ্টির কারণ ব্যাখ্যা কর।

৭। সামুদ্রিক জলোচ্ছ্বাস সৃষ্টির কারণ ব্যাখ্যা কর।

(২) গ্যাস সূত্র সমূহ ভিত্তিক প্রশ্নাবলি :

১। বয়েলের সূত্রের সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।

২। গ্যাসের V বনাম P, V বনাম P^{-1} ও PV বনাম P সমোষ্ণ লেখ অংকন করে দেখাও।

৩। চার্লসের ও গে-লুসাকের সংশ্লিষ্ট পরীক্ষা-নিরীক্ষার লেখচিত্র থেকে নতুন তাপমাত্রা স্কেল প্রতিষ্ঠিত হয়েছে, তা ব্যাখ্যা কর।

৪। 1 mol গ্যাসকে 200K থেকে 400K তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে আয়তন দ্বিগুণ হয়। কিন্তু 200°C থেকে 400°C-এ ঐ আয়তন 1.42 গুণ বাড়ে;–গাণিতিকভাবে প্রমাণ কর।

৫। বয়েল ও চার্লসের সূত্র থেকে সমন্বয় সূত্র প্রতিষ্ঠা কর।

৬। গে লুসাকের চাপের সূত্রের সমীকরণ প্রতিষ্ঠা কর।

৭। গ্যাস সূত্র থেকে আদর্শ গ্যাস সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।

৮। ধ্রুবক R কে সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক বলা হয় কেন?

৯। গ্যাস ধ্রুবক R এর তাৎপর্য কী?

১০ (ক) R এর মান L.atm এককে নির্ণয় কর। [ঢা. বো. ২০১৬, ঢা. বো. ২০১৫]
(খ) R এর মান SI এককে নির্ণয় কর।

১১। একটি পূর্ণ বয়স্ক লোকের ফুসফুসে বায়ুর ধারণ ক্ষমতা 3.8L হলে এতে কত মোল গ্যাস আছে? তখন বায়ুর চাপ 1 atm. দেহের তাপমাত্রা 37°C রয়েছে।

১২। মিশ্রণের উপাদান গ্যাসের আংশিক চাপ গ্যাসটির মোল ভগ্নাংশ ও মিশ্রণের মোট চাপের গুণফলের সমান; তা ব্যাখ্যা কর।

১৩। এক ডুবুরি 250 ft গভীরতায় 8.38 atm চাপে আছে। ঐ ডুবুরির অক্সিজেন সিলিন্ডারে O_2 এর শতকরা মোল ভগ্নাংশ কত থাকলে এর আংশিক চাপ 0.21 atm হবে, যা 1 atm বায়ুচাপেও একই থাকে।

১৪। HCl গ্যাসের ব্যাপন হার অপেক্ষা NH_3 গ্যাসের ব্যাপন হার বেশি কেন ব্যাখ্যা কর। [ব. বো. ২০১৫]

১৫। গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্রের আধুনিক প্রয়োগে আলোচনা কর।

১৬। গ্যাসের আণবিক গতি তত্ত্বের স্বীকার্যগুলো উপস্থাপন কর। [রা. বো. ২০১৫]

১৭। গ্যাসের কণার গতিশক্তি গণনার সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।

১৮। আদর্শ গ্যাস ও বাস্তব গ্যাসের তুলনামূলক আলোচনা কর।

১৯। বাস্তব গ্যাস যেমন CO_2, CH_4 ইত্যাদি আদর্শ গ্যাস সমীকরণ সঠিকভাবে মেনে চলে না কেন?

২০। বাস্তব গ্যাসের চাপ আদর্শ গ্যাসের চাপ অপেক্ষা কম কেন? [ঢা. বো. ২০১৬]

২১। বাস্তব গ্যাসের জন্য ভ্যানডার ওয়ালস্ কীরূপে নতুন সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন তা আলোচনা কর।

২২। 64g অক্সিজেনের জন্য ভ্যানডার ওয়ালসের সমীকরণটি লেখ। [চ. বো. ২০১৬]

২৩। 96 g অক্সিজেনের জন্য ভ্যানডার ওয়ালসের সমীকরণটি লেখ। [রা. বো ২০১৬]

২৪। মনে কর 300K তাপমাত্রায় তুমি 0.60L পাত্রে 0.5 mol N_2 গ্যাস নিয়ে বয়েলের সূত্রের পর্যবেক্ষণ করছো। (ক) আদর্শ–গ্যাস সমীকরণ ও (খ) ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণ মতে N_2 গ্যাসের চাপ atm এককে বের করে ভ্যানডার ওয়ালস বাস্তব গ্যাসের জন্য চাপকে $\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)$ ব্যবহার করার পক্ষে যুক্তি প্রতিষ্ঠিত কর।

এক্ষেত্রে N_2 এর $a = 1.35$ atm L^2m^{-2} এবং $b = 0.0387 L.mol^{-1}$।

২৫। তোমার প্রাইভেট গাড়ির CNG সিলিন্ডারের ধারণ ক্ষমতা 60L হলে 25°C–এ 220 bar চাপে কত মিটার কিউব গ্যাস ঐ সিলিন্ডারে ভর্তি করা সম্ভব তা গণনা কর।

(৩) বায়ুমণ্ডলে দূষণ সম্পর্কীয় প্রশ্নাবলি :

১। বজ্রবৃষ্টির ফলে মাটিতে নাইট্রেট সার প্রাকৃতিক নিয়মে যুক্ত হয়; এ উক্তির ব্যাখ্যা কর।

২। মটর, শিম ও ছোলা জাতীয় উদ্ভিদ চাষের পর মাটিতে নাইট্রোজেনের উপাদান বৃদ্ধি পায়; এ উক্তির ব্যাখ্যা কর।

৩। CO গ্যাসকে নীরব ঘাতক গ্যাস বলা হয় কেন, ব্যাখ্যা কর। [ব. বো. ২০১৬]

৪। কলকারখানা অঞ্চলে এসিড বৃষ্টি হয়ে থাকে, এ উক্তির যথার্থতা ব্যাখ্যা কর।

৫। ফটোকেমিক্যাল স্মোগ বলতে কী বোঝায়?
৬। CO_2 ও CFC গ্যাসের মধ্যে বায়ুমন্ডলে গ্লোবল ওয়ার্মিং এর তুলনামূলক আলোচনা কর।
৭। গ্লোবাল ওয়ার্মিং এ CO_2 এর ঘনত্ব বৃদ্ধির প্রভাব আলোচনা কর। [য. বো. ২০১২]
৮। CFC দ্বারা ওজোন স্তর কীরূপে ক্ষয় হয়, তা ব্যাখ্যা কর।
৯। ওজোন স্তর ক্ষয়রোধে মন্ট্রিয়াল প্রোটোকল চুক্তির আলোকে করণীয় বিষয়ের আলোচনা কর।
১০। এসিড বৃষ্টির কীরূপে প্রতিকার করা যায়, তা যুক্তি সহ ব্যাখ্যা কর।

(৪) এসিড–ক্ষারক তত্ত্ব ভিত্তিক প্রশ্নাবলি :

১। আরহেনিয়াসের এসিড–ক্ষারক তত্ত্বের সাফল্য সমূহ আলোচনা কর।
২। ব্রনস্টেড লাউরি তত্ত্ব আরহেনিয়াস এসিড–ক্ষারক তত্ত্বের চেয়ে উন্নত তত্ত্ব কেন, তা ব্যাখ্যা কর।
৩। (ক) উভধর্মী বা অ্যামফোটেরিক যৌগ কাকে বলে, তা উদাহরণ সহ ব্যাখ্যা কর।
(খ) অথবা, পানি (H_2O) একটি উভধর্মী যৌগ; ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৫]
৪। নিচের ব্রনস্টেড–লাউরির প্রত্যেকটি ক্ষারকের অনুবন্ধী এসিডের নাম ও সংকেত লেখ :
(ক) HCO_3^- (খ) CO_3^{2-}।
৫। লুইসের ক্ষারকের সংখ্যা ও ব্রনস্টেডের ক্ষারকের সংখ্যা একই; তাই লুইসের ক্ষারকের সংখ্যার বৃদ্ধি ঘটেনি। কিন্তু লুইস এসিডের সংখ্যার অনেক বৃদ্ধি ঘটেছে; তা ব্যাখ্যা কর।
৬। অ্যামোনিয়া একটি লুইস ক্ষারক; ব্যাখ্যা কর। [দি. বো. ২০১৫।
৭। BF_3 একটি লুইস অম্ল; ব্যাখ্যা কর। [দি, বো. ২০১৫]

(৫) মিঠা পানি ও পানির বিশুদ্ধতার মানদন্ড ভিত্তিক প্রশ্নাবলি :

১। পানির খরতার কারণ ব্যাখ্যা কর। [ব. বো. ২০১৫]
২। বয়লার স্কেল কীরূপে গঠিত হয়, তা সমীকরণ সহ লেখ।
৩। পানির DO ও BOD এর মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক ব্যাখ্যা কর।
৪। পানির BOD এর মান 50 ppm বলতে কী বোঝায়? [সি. বো. ২০১৬]
৫। প্রাকৃতিক পানির বিশুদ্ধতার মান জানার জন্যে COD জানার প্রয়োজন আছে; তা ব্যাখ্যা কর।
৬। কোনো দূষিত পানির নমুনায় COD এর মান BOD এর মান থেকে বেশি হয়; ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৫]

(৬) শিল্প–বর্জ্য দ্বারা পানির দূষণ ভিত্তিক প্রশ্নাবলি :

১। শিল্প বর্জ্য পানিকে কীরূপে দুষিত করে তা উদাহরণ সহ ব্যাখ্যা কর।
২। রাসায়নিক সার দ্বারা পানির দূষণ ও এর প্রভাব আলোচনা কর।
৩। আর্সেনিক দ্বারা পানির দূষণ ও মানুষের শরীরে এর প্রভাব ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৫]
৪। খাদ্য–শৃঙ্খলে ক্রোমিয়াম দূষণের কারণ ও প্রভাব ব্যাখ্যা কর।
৫। খাদ্য শৃঙ্খলে ক্যাডমিয়াম দূষণের কারণ ও প্রভাব আলোচনা কর।
৬। ভারী ধাতুর আয়ন (Pb^{2+},Cd^{2+}, Cr^{3+}) সমূহ দুষক রূপে পানিতে কীরূপে দ্রবীভূত থাকে, তা ব্যাখ্যা কর

গ– বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

❒ সাধারণ বহুনির্বাচনি প্রশ্ন :

১। আদর্শ গ্যাসের গতীয় সমীকরণ কোন্‌টি?

(ক) $PV = nRT$ (খ) $PV = \frac{1}{3}\ mNc^2$ (গ) $PV = RT$ (ঘ) $PV = P_1V_1$

২। সমভরের CH_4 ও H_2 কে শূন্যপাত্রে 25°C এ রাখা হলো। H_2 এর আংশিক চাপ মোট চাপের ভগ্নাংশ হবে –

(ক) $\frac{1}{2}$ (খ) $\frac{1}{9}$ (গ) $\frac{8}{9}$ (ঘ) $\frac{16}{17}$

৩। 25 cm কাচনলের ১ম মুখে HC1 ২য় মুখে NH_3 এক সাথে ঢুকলে NH_4C1এর ধোঁয়া সৃষ্টি হয় –

(ক) নলের মাঝখানে (খ) ১ম মুখ থেকে 15 cm

(গ) ১ম মুখ থেকে 10 cm (ঘ) 12 cm এ

৪। ফটোকেমিক্যাল স্মোগ তৈরিতে কোন্ বায়ুদূষক ভূমিকা রাখে না?

(ক) হাইড্রোকার্বন (খ) NO_2 (গ) O_3 (ঘ) CFC

৫। বায়ুমণ্ডলের হোমোস্ফিয়ারে নিচের কোন্‌টি থাকে না?

(ক) আর্গন (খ) O_2 (গ) O (ঘ) CH_4

৬। লুইস অম্লের একটি উদাহরণ হলো – [ঢা. বো. '১৬]

(ক) $AlCl_3$ (খ) H_2SO_4 (গ) H_2O (ঘ) NH_3

৭। 1.032 g অক্সিজেন ও 0.573 g কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস মিশ্রণে কার্বন ডাইঅক্সাইডের মোল ভগ্নাংশ কত?

(ক) 0.713 (খ) 0.8323 (গ) 0.287 (ঘ) 0.1677

৮। 25°C তাপমাত্রায় কোন গ্যাসের ক্ষেত্রে চাপ 1 atm হলে $\frac{1}{V}$ এর মান 0.05L হয়। $\frac{1}{V}$ এর মান 0.042 হলে চাপ এর মান কত? [ঢা.বো. '১৬]

(ক) 0.05 (খ) 20 atm (গ) 0.035 atm (ঘ) 0.84 atm

৯। স্থির তাপমাত্রায় r.m.s বেগের সঠিক ক্রম কোনটি? [ঢা.বো. '১৬]

(ক) $H_2 > N_2 > CO_2$ (খ) $CO_2 > N_2 > H_2$

(গ) $N_2 > CO_2 > H_2$ (ঘ) $N_2 > H_2 > CO_2$

১০। SATP তে কোনো গ্যাসের মোলার আয়তন কত? [ঢা.বো. '১৬, কু. বো. '১৬]

(ক) 22.4L (খ) 42.2L (গ) 74.4L (ঘ) 24.789L

১১। একটি পুকুরের পানির DO মান 4.0 পানিটি হলো – [রা.বো. '১৬]

(ক) বিশুদ্ধ পানি (খ) দূষিত পানি (গ) মৃদু পানি (ঘ) খর পানি

১২। স্থির উষ্ণতায়, গ্যাসের চাপ বাড়ালে ঘনত্বের মান– [রা.বো. '১৬]

(ক) বাড়ে (খ) কমে (গ) শূন্য হয় (ঘ) অপরিবর্তিত থাকে

১৩। ব্যাপন হারের সাথে সম্পর্ক বিদ্যমান – [রা.বো. '১৬]

(ক) তুল্য ভরের (খ) পারমাণবিক ভরের (গ) আণবিক ভরের (ঘ) গ্রাম পারমাণবিক ভরের

১৪। ভ্যান্ডার ওয়ালস সমীকরণের ধ্রুবক 'a' দ্বারা বুঝায়– [রা.বো. '১৬]

(ক) গ্যাসের গতিশক্তি (খ) আন্তঃআণবিক আকর্ষণ (গ) গ্যাসের আয়তন (ঘ) আন্তঃআণবিক বিকর্ষণ

১৫। কোনটি পরম শূন্য তাপমাত্রা? [রা.বো. '১৬, য. বো. '১৬]
(ক) 0°C (খ) –273°C (গ) 25°C (ঘ) 273 K

১৬। বাংলাদেশের মিঠা পানির প্রধান উৎস কোনটি? [রা.বো. '১৬]
(ক) সমুদ্রের পানি (খ) ভূগর্ভস্থ পানি (গ) নদীর পানি (ঘ) পুকুরের পানি

১৭। 16 g অক্সিজেন গ্যাসে কয়টি অক্সিজেন অণু আছে? [য.বো. '১৬]
(ক) 0.5 (খ) 1.0 (গ) 3.011×10^{23} (ঘ) 6.022×10^{23}

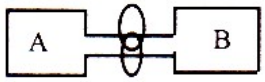
১৮। নিচের কোনটি 'গ্রীন হাউজ গ্যাস' হিসেবে অধিকতর দায়ী? [য.বো. '১৬, চ. বো. '১৬]
(ক) CFC (খ) CO_2 (গ) CH_4 (ঘ) O_3

১৯। কোন গ্যাসটি দ্রুত ব্যাপিত হবে? [য.বো. '১৬]
(ক) ফ্লোরিন (খ) অক্সিজেন (গ) নিয়ন (ঘ) ক্লোরিন

২০। কোন শর্তে একটি বাস্তব গ্যাস আদর্শ গ্যাসের মতো আচরণ করে? [য.বো. '১৬]
(ক) উচ্চ তাপমাত্রা এবং নিম্ন চাপে (খ) উচ্চ তাপমাত্রা এবং উচ্চ চাপে
(গ) নিম্ন তাপমাত্রা এবং উচ্চ চাপে (ঘ) নিম্ন তাপমাত্রা এবং নিম্ন চাপে

২১। 1 atm = কত পাসকেল? [কু.বো. '১৬]
(ক) 1.01325×10^{2} (খ) 1.01325×10^{-2} (গ) 1.01325×10^{5} (ঘ) 1.01325×10^{-5}

☆ পাত্রটির চাবি খোলা অবস্থায় মোট চাপ P = 200 mm (Hg), n_A = 6 mol, nB = 14 mol



২২। উদ্দীপকের ক্ষেত্রে A গ্যাসের আংশিক চাপ হলো – [কু. বো '১৬]
(ক) 60 mm (Hg) (খ) 80 mm (Hg) (গ) 120 mm (Hg) (ঘ) 140 mm (Hg)

২৩। কোন এসিড বেশি তীব্র এসিড? [চ. বো. '১৬]
(ক) CH_3COOH (খ) $CH_3\ CH_2\ COOH$ (গ) $CH_3CH_2\ CH_2\ COOH$ (ঘ) HCOOH

২৪। 44 g CO_2 এর জন্য আদর্শ গ্যাস সমীকরণ কোনটি? [চ. বো. '১৬]
(ক) PV = RT (খ) PV = 4RT (গ) PV = 2RT (ঘ) 2PV = RT

২৫। 18°C তাপমাত্রায় 0.8 atm চাপে কোনো গ্যাসের ঘনত্ব 2.25 g/L। এর আণবিক ভর কত? [চ. বো. '১৬]
(ক) 67.11g/mol (খ) 36.24 g/mol (গ) 24.36 g/mol (ঘ) 36.63 g/mol

২৬। 17°C তাপমাত্রায় এক মোল N_2 এর গতিশক্তি কত? [চ.বো. '১৬]
(ক) 3606.59 জুল (খ) 3616.59 জুল (গ) 5936.16 জুল (চ) 5916.36 জুল

২৭। CO এর সহনীয় মাত্রা কত? [চ. বো. '১৬]
(ক) 40 ppm (খ) 100 ppm (গ) 500 ppm (ঘ) 1000 ppm

২৮। কোনটি গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র? [সি. বো. '১৬]
(ক) $r_1\sqrt{M_1}= r_2\sqrt{M_2}$ (খ) $r \propto \frac{1}{M}$ (গ) $\frac{r_1}{r_2}=\frac{\sqrt{M_1}}{\sqrt{M_2}}$ (ঘ) $r \propto \sqrt{M}$

২৯। নিচের কোনটি সেকেন্ডারি দূষক? [সি. বো. '১৬]
(ক) CO_2 (খ) CO (গ) SO_2 (ঘ) O_3

৩০ বায়ুতে H_2S এর কত ppm মানুষের মৃত্যু ঘটায়? [সি.বো. '১৬]
(ক) 20 (খ) 30 (গ) 40 (ঘ) 50

৩১। নিচের কোন গ্যাসটির ব্যাপন হার বেশি? [সি. বো. '১৬]
(ক) HCl (খ) NH_3 (গ) CH_4 (ঘ) Cl_2

৩২। কক্ষ তাপমাত্রায় N_2 এর ১টি অণুর গতিশক্তি কত আর্গ? [সি.বো. '১৬]
(ক) 6.209×10^{-20} (খ) 6.580×10^{-18} (গ) 6.098×10^{-4} (ঘ) 6.17×10^{-14}

৩৩। SI এককে বোল্টজম্যান ধ্রুবকের মান – [সি.বো. '১৬]
(ক) 6.023×10^{23} (খ) 6.023×10^{-23} (গ) 1.38×10^{-23} (ঘ) 1.36×10^{-25}

৩৪। বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে কোন গ্যাসটির ভূমিকা সবচেয়ে বেশি? [ব. বো. '১৬]
(ক) CO_2 (খ) NO_2 (গ) CH_4 (ঘ) NH_3

৩৫। বায়ুমণ্ডলের স্ট্রাটোস্ফেয়ার স্তরের প্রধান উপাদান হলো – [ব. বো. '১৬]
(ক) অক্সিজেন (খ) নিয়ন (গ) ওজোন (ঘ) কার্বন ডাইঅক্সাইড

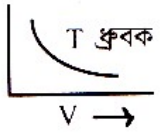
৩৬। NO_2^- এর অনুবন্ধী এসিড হলো – [ব. বো. '১৬]
(ক) HNO_3 (খ) HNO_2 (গ) HNO_2^- (ঘ) NO_3^-

৩৭। ফ্রেয়ন-12 এর সংকেত কোনটি? [ব. বো. '১৬]
(ক) CF_3Cl (খ) CCl_3F (গ) CCl_2F_2 (ঘ) $F_2ClC–CClF_2$

৩৮। বয়েল, চার্লস ও অ্যাভোগাড্রোর সমন্বয় সূত্র থেকে গ্যাসের ঘনত্ব নির্ণয়ের সমীকরণটি হলো – [ব. বো. '১৬]
(ক) $d = \frac{RM}{PT}$ (খ) $d = \frac{RT}{PM}$ (গ) $d = \frac{PM}{RT}$ (ঘ) $d = \frac{PT}{RM}$

৩৯। ইট ভাটায় জ্বালানির অসম্পূর্ণ দহনে নিচের কোন যৌগটি সৃষ্টি হয়? [ব. বো. '১৬]
(ক) CO_2 (খ) CO (গ) SO_3 (ঘ) NH_3

৪০। আদর্শ গ্যাসের সংকোচনশীল গুণাঙ্ক, Z = ? [ব. বো. '১৬]
(ক) 3.0 (খ) 2.0 (গ) 1.0 (ঘ) 0.5

৪১। লেখচিত্রটি কোন সূত্র সমর্থন করে? 

[দি.বো. '১৬]
(ক) চার্লসের সূত্র (খ) বয়েলের সূত্র (গ) অ্যাভোগ্রাড্রোর সূত্র (ঘ) গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র

৪২। কোনটি ভারী ধাতু? [দি.বো. '১৬]
(ক) Fe (খ) Cd (গ) Al (ঘ) K

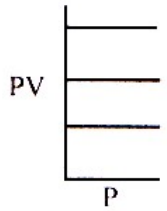
৪৩। কক্ষ তাপমাত্রায় N_2 এর ১টি অণুর গতিশক্তি কত আর্গ? [চ. বো. '১৫; দি.বো. '১৬]
(ক) 0.082 $JK^{-1}mol^{-1}$ (খ) 1.987 $JK^{-1}mol^{-1}$ (গ) 8.314 $JK^{-1}mol^{-1}$ (ঘ) 8.314×10^7 mol^{-1}

৪৪। 27°C তাপমাত্রায় কোন গ্যাসটির RMS গতিবেগ বেশি? [দি.বো. '১৬]
(ক) N_2 (খ) H_2 (গ) O_2 (ঘ) Cl_2

৪৫। মাঝে মধ্যে পুকুরের মাছ পানির ওপরের অংশে হা করে শ্বাস নেয়। এ-অবস্থার কারণ কি? [ঢা. বো. '১৫]
(ক) পানির pH এর মান 7–এর বেশি (খ) পানিতে দ্রবীভূত অক্সিজেন খুব কম
(গ) পানির TDS এর মান কম (ঘ) পানির খরতার মাত্রা বেশি

৪৬। একই শর্তাধীনে নিচের কোন গ্যাসটি ব্যাপিত হতে অধিক সময় লাগবে? [ঢা.বো. '১৫]
(ক) SO_2 (খ) CO_2 (গ) HCl (ঘ) NH_3

★ নিচের লেখচিত্র দেখ :



V = গ্যাসের আয়তন
T = কেলভিন তাপমাত্রা
P = গ্যাসের চাপ,

৪৭। উদ্দীপকের লেখচিত্রটি কোন সূত্রের জন্য প্রযোজ্য? [চা. বো. '১৫]
(ক) অ্যাভোগেড্রোর সূত্র (খ) গ্রাহামের সূত্র
(গ) চার্লসের সূত্র (ঘ) বয়েলের সূত্র

৪৮। কোন ধরনের দূষক পানিতে দ্রবীভূত অক্সিজেনের পরিমাণ হ্রাস করে? [রা.বো. '১৫]
(ক) অজৈব দূষক (খ) জৈব দূষক (গ) তেজস্ক্রিয় দূষক (ঘ) কণা জাতীয় দূষক

৪৯। নিচের কোন সমীকরণটি বয়েলের সূত্র প্রকাশ করে? [রা.বো. '১৫]
(ক) $P_1T_1 = P_2T_2$ (খ) $P_1/T_1 = P_2/T_2$ (গ) $P_1V_1 = P_2V_2$ (ঘ) $\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_2}{V_2}$

৫০। বৈশ্বিক উষ্ণতা সৃষ্টিতে প্রধান ভূমিকা রাখে কোনটি? [রা.বো. '১৫]
(ক) CO_2 (খ) CFC (গ) জলীয় বাষ্প (ঘ) ওজোন

৫১। দুটি গ্যাসের গড় গতিশক্তি কখন সমান হয়? [রা.বো. '১৫]
(ক) চাপ সমান হয় (খ) আণবিক ভর সমান হয় (গ) তাপমাত্রা সমান হয় (ঘ) আয়তন সমান হয়

৫২। নিচের কোনটি লুইস ক্ষারক? [য.বো. '১৫]
(ক) $AlCl_3$ (খ) CO (গ) $FeCl_3$ (ঘ) SO_3

৫৩। এসিড বৃষ্টির জন্য দায়ী– [য. বো. '১৫]
(ক) O_2 (খ) CO (গ) CO_2 (ঘ) SO_2

৫৪। প্রমাণ অবস্থায় 1 মোল গ্যাসের আয়তন – [য.বো. '১৫]
(ক) $22.4m^3$ (খ) $22.4\times10^{-3}\ m^3$ (গ) $22400\ m^3$ (ঘ) $22.4\times10^{3}\ m^3$

৫৫। মোলার গ্যাসে ধ্রুবকের মাত্রা হলো - [কু.বো. '১৫]
(ক) কাজ$^{-১}$ $K^{-১}$ মোল$^{-১}$ (খ) কাজ $K^{-১}$ মোল$^{-১}$ (গ) কাজ $K^{-১}$ মোল (ঘ) কাজ$^{-১}$ K মোল$^{-১}$

৫৬। 10 g বিশুদ্ধ $CaCO_3$ কে উত্তপ্ত করলে STP তে কত লিটার CO_2 গ্যাস পাওয়া যাবে? [কু. বো. '১৫]
(ক) 0.224 (খ) 2.24 (গ) 22.4 (ঘ) 22.40

৫৭। A ও B গ্যাসের মোল সংখ্যা যথাক্রমে 10 ও 30, মিশ্রণের মোট চাপ 12 atm হলে A গ্যাসের আংশিক চাপ– [কু. বো. '১৫]
(ক) 3 0 atm (খ) 9 atm (গ) 16 atm (ঘ) 48 atm

৫৮। নিচের কোন গ্যাসটির ব্যাপন হার সর্বাধিক? [কু. বো. '১৫]
(ক) NH_3 (খ) CH_4 (গ) N_4 (ঘ) CO

৫৯। $HCO_3^- + H_2O \rightarrow$ উৎপাদ
এই বিক্রিয়ায় H_2O এর অনুবন্ধী অম্ল কোনটি? [কু. বো. '১৫]
(ক) HCO_3^- (খ) H_2CO_3 (গ) CO_3^{2-} (ঘ) H_3O^+

৬০। মেসোস্ফিয়ার এর উচ্চতা কত কি.মি. পর্যন্ত বিস্তৃত? [কু. বো. '১৫]
(ক) 5–10 (খ) 10–40 (গ) 50–100 (ঘ) 150–200

৬১। 302 K তাপমাত্রায় 3 gm N_2 এর মোট গতিশক্তি কত? [কু. বো. '১৫]
(ক) 403 J (খ) 806 J (গ) 831 J (ঘ) 1612 J

৬২ HCO_3^- এর অনুবন্ধী ক্ষারক কোনটি? [কু. বো. '১৫]

(ক) H_2CO_3 (খ) CO_3^{2-} (গ) H_3O^+ (ঘ) $H_3CO_3^+$

৬৩। মানব শরীরে নিম্নের কোন ধাতুর আধিক্য রক্তে হিমোগ্লোবিন উৎপাদনে বাধা প্রদান করে? [কু. বো. '১৫]

(ক) Cd (খ) Cr (গ) Fe (ঘ) Pb

৬৪। H_2O_2 যৌগে অক্সিজেনের জারণ মান কত? [কু. বো. '১৫]

(ক) –1 (খ) –2 (গ) + 1 (ঘ) + 2

৬৫। বায়ুমণ্ডলের কোন স্তরের তাপমাত্রা সর্বাপেক্ষা বেশি? [চ.বো. '১৫]

(ক) ট্রপোস্ফিয়ার (খ) স্ট্রাটোস্ফিয়ার (গ) মেসোস্ফিয়ার (ঘ) থার্মোস্ফিয়ার

৬৬। বায়ুমণ্ডলে N_2 এর আংশিক চাপ কত? [চ. বো. '১৫]

(ক) 1.00 atm (খ) 0.78 atm (গ) 0.21 atm (ঘ) 0.14 atm

৬৭। বাংলাদেশের পানীয় জলে আর্সেনিকের গ্রহণযোগ্য মাত্রা কত? [চ. বো. '১৬]

(ক) 0.10 ppm (খ) 0.05 mg/L (গ) 0.05 g/L (ঘ) 0.01 ppm

৬৮। কোনটির ব্যাপনের হার বেশি? [সি. বো. '১৬]

(ক) CO_2 (খ) O_2 (গ) H_2 (ঘ) NH_3

৬৯। ফেনল হতে স্যালিসাইলিক এসিড উৎপাদনের বিক্রিয়াটির নাম কী? [সি.বো. '১৫]

(ক) কোব বিক্রিয়া (খ) রাইমার-টাইম্যান বিক্রিয়া (গ) ফ্রিডেল-ক্রাফট বিক্রিয়া (ঘ) উইলিয়ামসন বিক্রিয়া

৭০। STP তে 1.7 g NH_3 তে হাইড্রোজেন পরমাণুর সংখ্যা কত? [ব.বো. '১৫]

(ক) 1.8066×10^{23} টি (খ) 1.8069×10^{22} টি (গ) 6.023×10^{23} টি (ঘ) 1.8069×10^{24} টি

৭১। পরম শূন্য তাপমাত্রা কত? [ব. বো. '১৫]

(ক) –273 K (খ) '0' K (গ) 0°C (ঘ) 25°C

৭২। গ্রিন হাউজ গ্যাসগুলোর মধ্যে নিম্নের কোনটি বায়ুমণ্ডলে সবচেয়ে বেশি থাকে? [ব. বো. '১৫]

(ক) CH_4 (খ) CO_2 (গ) O_3 (ঘ) CFC

৭৩। STP তে 1 মোল SO_2 গ্যাসের আয়তন কত? [ব. বো. '১৫]

(ক) $22.4dm^3$ (খ) 24.789L (গ) 224L (ঘ) 22400 dm^3

৭৪। $NH_3 + HCl \rightleftharpoons NH_4^+ + Cl^-$ বিক্রিয়ায় অনুবন্ধী অম্ল কোনটি? [ব. বো. '১৫]

(ক) NH_3 (খ) Cl^- (গ) HCl (ঘ) NH_4^+

৭৫। 8 g He গ্যাসের জন্য আদর্শ গ্যাস সমীকরণ কোনটি? [দি. বো. '১৫]

(ক) PV = nRT (খ) PV =RT (গ) PV = 2RT (ঘ) 2PV = RT

৭৬। $H_2CO_3 + H_2O \Leftrightarrow HCO_3^- - H_3O^+$ বিক্রিয়ার অনুবন্ধী অম্ল জোড় – [দি. বো. '১৫]

(ক) H_2CO_3, HCO_3^- (খ) H_3O^+, H_2CO_3 (গ) H_3O^+, H_2O (ঘ) H_2O,HCO_3^-

৭৭। 2 g.CO_2 এ পরমাণুর সংখ্যা কত? [ব.বো. '১৫]

(ক) 2.73×10^{23} টি (খ) 2.73×10^{22} টি (গ) 1.36×10^{23} টি (ঘ) 6.023×10^{23} টি

❐ বহুপদি সমাপ্তিসূচক প্রশ্ন :

৭৮। **ট্রপোস্ফিয়ারে বায়ু-দূষণের প্রধান কারণগুলো হলো নিম্নরূপ :**

(i) জীবাশ্ম জ্বালানির দহনে উৎপন্ন SO_2, CO_2, NO_2 গ্যাস;

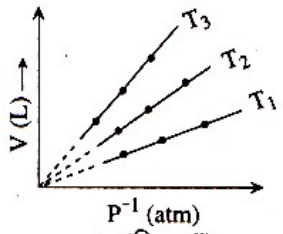
(ii) পারক্সি অ্যাসাইল নাইট্রেট মিশ্র বায়ু দূষক;

(iii) ক্লোরিন মনোঅক্সাইড মুক্তমূলক

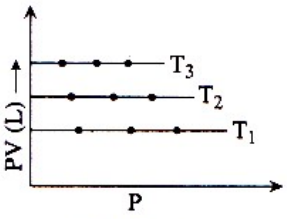
কোনটি সঠিক হবে?

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

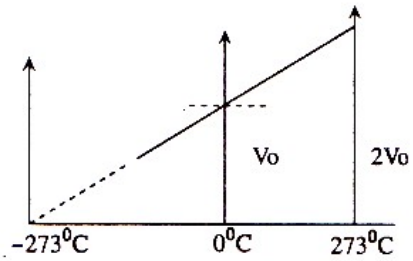
৭৯। আইসোথারম বা সমোষ্ণলেখ অঙ্কন করতে তিনটি শিক্ষার্থী নিম্নরূপ লেখচিত্র অঙ্কন করল :



লেখচিত্র - (i)



লেখচিত্র - (ii)



লেখচিত্র - (iii)

নিচের কোনটি সঠিক হবে?

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

৮০। FGD প্লান্টে ফ্লু-গ্যাসের SO_2 গ্যাস উপাদান শোষণ কাজে ব্যবহৃত বিক্রিয়া হলো –

(i) $Ca(OH)_2$ (aq) $+ SO_2(g) \longrightarrow CaSO_3$ (s) $+ H_2O$ (l)

(ii) $2H_2S$ (g) $+ SO_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$ (s) $+ 3S$ (s)

(iii) $CaCO_3$(s) $+ SO_2(g) \longrightarrow CaSO_3$ (s) $+ CO_2$ (g)

কোনটি সঠিক হবে?

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

৮১। খাদ্য শৃঙ্খলে ভারী ধাতু যুক্ত হলে মানুষের শরীরে নিম্নোক্ত রোগ সৃষ্টি হয় –

(i) 2-3 মাইক্রো গ্রাম Cd প্রতি গ্রাম ক্রিয়াটিনিনে সঞ্চিত হলে কিডনি নষ্ট হয়।

(ii) Pb এর পরিমাণ 50 ppb এর বেশি হলে লেডের বিষক্রিয়ায় গর্ভবতী মায়েরা মৃত সন্তান জন্ম দেয়।

(iii) RBC এর Fe^{2+} আয়নকে Cr^{3+} আয়ন প্রতিস্থাপন করে O_2 শোষণ বৃদ্ধি করে।

কোনটি সঠিক হবে?

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

৮২। **ডাল্টনের আংশিক চাপ সূত্র কার্যকর হবে –**

(i) উচ্চচাপে (ii) নিম্নচাপে (iii) স্থির তাপমাত্রায়

নিচের কোনটি সঠিক? [রা. বে. '১৬

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

৮৩। $2H_2O \rightarrow \overset{+}{A} + OH^-$ এক্ষেত্রে A^+

(i) আর্দ্র নীল লিটমাস পেপার লাল করে (ii) pH এর মান 7 এর অধিক হয় (iii) এসিড বৃষ্টির জন্য দায়ী

নিচের কোনটি সঠিক? [য. বো. '১৬]

(ক) i (খ) ii (গ) iii (ঘ) i, ও iii

৮৪। সারফেস ওয়াটারের বিশুদ্ধতার মানদণ্ড হলো –

(i) খরতা (ii) pH (iii) TDS

নিচের কোনটি সঠিক? [য. বো. '১৬]

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

৮৫। কোন ধরনের দূষক পানিতে DO এর পরিমাণ কমায়?

(i) অজৈব দূষক (ii) জৈব দূষক (iii) তেজস্ক্রিয় দূষক

নিচের কোনটি সঠিক? [কু. বো. '১৬]

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

৮৬। NH_3 ক্ষারধর্মী কারণ –

(ii) জোড়া ইলেকট্রন দাতা

(ii) এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে

(iii) প্রোটন গ্রহীতা

নিচের কোনটি সঠিক? [চ. বো. '১৬]

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

৮৭। এসিডের তীব্রতার ক্ষেত্রে –

(ii) $H_2SO_4 > HNO_2$ (ii) $H_2SO_4 > HClO_4$ (iii) $HNO_3 > H_2SO_3$

নিচের কোনটি সঠিক? [সি. বো. '১৬]

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

৮৮। নির্দিষ্ট চাপে স্থির ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন শূন্য হয় –

(i) 0K তাপমাত্রায় (ii) –273°C তাপমাত্রায় (iii) 0°C তাপমাত্রায়

নিচের কোনটি সঠিক? [ব. বো. '১৫]

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

৮৯। বায়ু দুষণের কারণ কোনটি?

(i) দাবানল (ii) ডিডিটি (iii) ফটোকেমিক্যাল স্মোগ

নিচের কোনটি সঠিক? [ঢা. বো. '১৫]

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

৯০। ঘূর্ণিঝড়ের জন্য দায়ী উপাদান কোনটি?

(i) বায়ুর চাপ (ii) বায়ুর ঘনত্ব (iii) তাপমাত্রা

নিচের কোনটি সঠিক? [ঢা. বো. '১৫]

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

৯১। ব্রনস্টেড-লাউরী এসিড হিসেবে কাজ করে –

(ii) H_3O+ (ii) NH_4^+ (iii) H_2O

নিচের কোট সঠিক? [রা. বো. '১৫]

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

৯২। মানবদেহে Cd^{2+} দ্বারা Ca^{2+} আয়নের প্রতিস্থাপনের প্রভাব হলো –

(i) হাড় ক্ষয়প্রাপ্ত হয় (ii) হাড় ভঙ্গুর হয় (iii) হাড়ের প্রাণরাসায়নিক ক্রিয়া ব্যাহত হয়

নিচের কোনটি সঠিক? [সি. বো. '১৫]

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

৯৩। প্রাকৃতিক গ্যাস + $O_2 \xrightarrow{\text{দ্রবণ}}$ A+ H_2O; A যৌগটি–

(i) গ্রিন হাউজ প্রভাবের কারণ (ii) ইউরিয়া উৎপাদনে ব্যবহৃত হয় (iii) নিরপেক্ষ অক্সাইড

নিচের কোনটি সঠিক? [দি. বো. '১৫]

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

অভিন্ন তথ্যভিত্তিক বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

নিচের উদ্দীপক অনুসারে ৯৪ ও ৯৫ নং প্রশ্নের উত্তর দাও : কক্ষ তাপমাত্রায় সমআয়তনবিশিষ্ট চারটি ফ্লাস্কে যথাক্রমে He, Ne, Ar ও Kr গ্যাস আছে। প্রতি ফ্লাস্কে গ্যাসের চাপ সমান। [ঢা. বো. '১৬]

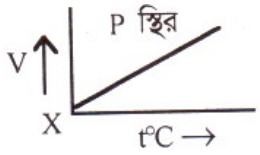
৯৪। কোন ফ্লাস্কে গ্যসের চাপ সমান।

(ক) ১ম (খ) ২য় (গ) ৩য় (ঘ)৪র্থ

৯৫। কোন ফ্লাস্কে সবচেয়ে বেশি সংখ্যক পরমাণু থাকবে?

(ক) ১ম (খ) ২য় (গ) ৩য় (ঘ) সব ফ্লাস্কে সমান

☆ নিচের উদ্দীপকটি পড় এবং পরবর্তী দুটি প্রশ্নের উত্তর দাও :



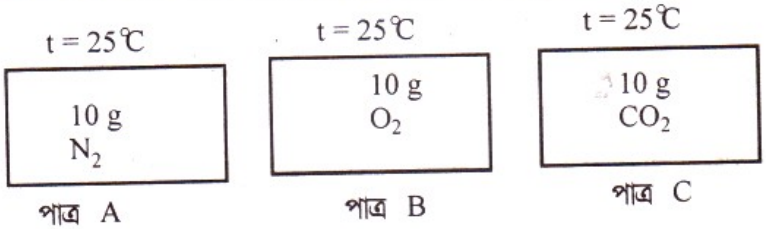
৯৬। 'X' বিন্দুতে তাপমাত্রা কত? [ঢা.বো. '১৬, রা. বো. '১৬]

(ক) −300°C (খ) –273°C (গ) −100°C (ঘ) 0°C

৯৭। বয়েলের সূত্রের সাথে উদ্দীপকের চিত্রের সমন্বয়ে গঠিত সম্পর্ক কোনটি?

(ক) $PV = K$ (খ) $PV = KT$ (গ) $\frac{P}{T} = K$ (ঘ) $\frac{V}{T} = K$

☆ নিচের উদ্দীপকটি লক্ষ্য কর এবং ৯৮ ও ৯৯ নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [ব. বো. '১৫]



পাত্র A পাত্র B পাত্র C

৯৮। উদ্দীপকে প্রদত্ত গ্যাসের অণুসমূহের গতিশক্তির ক্রম নিম্নের কোনটি?

(ক) $N_2 > O_2 > CO_2$ (খ) $O_2 > CO_2 > N_2$ (গ) $O_2 > N_2 > CO_2$ (ঘ) $CO_2 > N_2 > O_2$

৯৯। B পাত্রের গ্যাসটির r, m, s বেগ –

(ক) 481.94 ms^{-1} (খ) 471.86 ms^{-1} (গ) 15.24 cms^{-1} (ঘ) 0.1513 cms^{-1}

❒ অভিন্ন তথ্যভিত্তিক প্রশ্ন :

* 17°C তাপমাত্রায় 105 kPa চাপে 0.60 L H_2 গ্যাস পানির ওপর সংগ্রহ করা হলো। 17°C এ জলীয় বাষ্পের চাপ 3.25 kPa.

ওপরের তথ্য থেকে নিচের ১০০ ও ১০১ নং প্রশ্নের উত্তর দাও।

১০০। শুষ্ক H_2গ্যাসের চাপ হলো –

(ক) 105 kPa (খ) 101.325 kPa (গ) 101.750 kPa (ঘ) 108.25. kPa

১০১। STP- তে ঐ H_2 গ্যাসের আয়তন হবে –

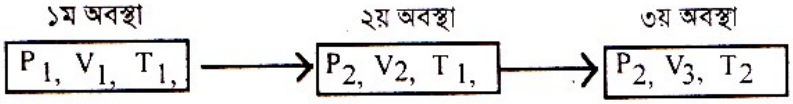
(ক) 0.06L (খ) 0.567L (গ) 0.65L (ঘ) 0.569 L

উত্তরমালা

১। খ	২। গ	৩। গ	৪। ঘ	৫। ঘ	৬। ক	৭। গ	৮। ঘ	৯। ক	১০। ঘ
১১। ক	১২। ক	১৩। গ	১৪। খ	১৫। খ	১৬। খ	১৭। গ	১৮। খ	১৯। গ	২০। ক
২১। গ	২২। ক	২৩। ঘ	২৪। ক	২৫। ক	২৬। খ	২৭। ক	২৮। ক	২৯। ঘ	৩০। ঘ
৩১। গ	৩২। ক	৩৩। গ	৩৪। ক	৩৫। গ	৩৬। খ	৩৭। গ	৩৮। গ	৩৯। খ	৪০। গ
৪১। খ	৪২। খ	৪৩। গ	৪৪। খ	৪৫। খ	৪৬। ক	৪৭। ঘ	৪৮। খ	৪৯। গ	৫০। ক
৫১। গ	৫২। খ	৫৩। ঘ	৫৪। খ	৫৫। খ	৫৬। খ	৫৭। ক	৫৮। খ	৫৯। ঘ	৬০। গ
৬১। ক	৬২। খ	৬৩। ঘ	৬৪। ক	৬৫। ঘ	৬৬। খ	৬৭। খ	৬৮। গ	৬৯। ক	৭০। ক
৭১। খ	৭২। খ	৭৩। ক	৭৪। ঘ	৭৫। গ	৭৬। খ	৭৭। খ	৭৮। ক	৭৯। ক	৮০। ঘ
৮১। ক	৮২। গ	৮৩। ঘ	৮৪। ঘ	৮৫। ক	৮৬। ঘ	৮৭। খ	৮৮। ক	৮৯। গ	৯০। ঘ
৯১। ঘ	৯২। ঘ	৯৩। ক	৯৪। ঘ	৯৫। ঘ	৯৬। খ	৯৭। ক	৯৮। ক	৯৯। ক	১০০। গ
১০১। খ									

ঘ – বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। এক মোল আদর্শ গ্যাসকে নিম্নোক্ত দুটি বাহ্যিক পরিবর্তনশীল রাশির প্রভাবে রেখে এর আয়তনের পরিবর্তন পর্যবেক্ষণ করা হলো :



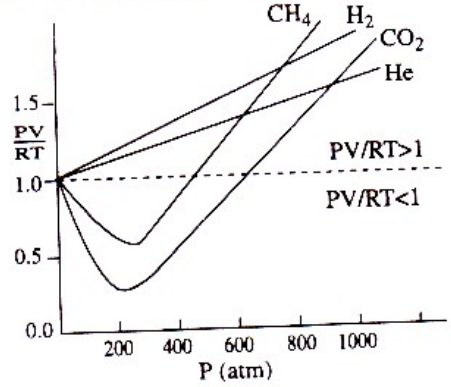
(ক) গ্রাহামের ব্যাপন সূত্রটি লেখ। ১

(খ) গ্যাসের R এর মান L.atm একক ও SI এককে গণনা কর। ২

(গ) উদ্দীপক মতে, তিনটি অবস্থায় গ্যাসটির যে চিহ্নিত শর্তে বাহ্যিক অবস্থার সাথে আয়তনের পরিবর্তনের সম্পর্ক রয়েছে, উভয় শর্তের সমন্বয়ে একটি সাধারণ সমীকরণ প্রতিষ্ঠা কর। ৩

(ঘ) উদ্দীপক মতে, স্থির তাপমাত্রায় V বনাম P এবং স্থির চাপে V বনাম T লেখচিত্র অঙ্কন করে উভয় লেখচিত্র থেকে গ্যাসটির কী কী ভৌত বৈশিষ্ট্য জানতে পার, তা ব্যাখ্যা কর। ৪

২। বর্তমানে বাংলাদেশে CNG স্টেশনে গ্যাস সূত্র প্রয়োগ করে টেক্সিতে 60L, প্রাইভেটকারে 90L ও ট্রাকে 150L সিলিন্ডারে বিভিন্ন চাপে মিথেন গ্যাস ফিলিং করা হচ্ছে। প্রতি মোল CO_2, CH_4, He ও H_2 গ্যাসের ওপর বিভিন্ন বাহ্যিক চাপ P_{ext} প্রয়োগ করে PV/RT বনাম P_{ext} (atm) এর নিম্নরূপ লেখচিত্র পাওয়া যায়।



(ক) হাইড্রোজেন বন্ধন কী? ১

(খ) এসিড বৃষ্টির ক্ষতিকর প্রভাব ব্যাখ্যা কর। ২

(গ) উদ্দীপকে উল্লিখিত যানবাহনের সিলিন্ডারে গ্যাস ফিলিং-এর সময় গ্যাসের কোন সূত্রের প্রয়োগ ঘটানো হয়?-তা সংশ্লিষ্ট গ্যাস সূত্র থেকে প্রতিষ্ঠা কর। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের লেখচিত্রে উল্লিখিত গ্যাসগুলোর মধ্যে ভিন্ন আচরণের ব্যাখ্যাসহ ঐ ভিন্ন আচরণ কীরূপে দূর করা যায় এর উপযুক্ত সমীকরণ এদের জন্য প্রতিষ্ঠা কর। ৪

৩। গ্যাসের জন্য নিম্নোক্ত তিনটি সমীকরণ তোমরা পরিবেশ রসায়ন অধ্যায়ে জেনেছো :

(1) $PV = nRT$, (2) $PV = \frac{1}{3}mNc^2$, (3) $\left(P+\frac{n^2a}{V^2}\right)(V-nb) = nRT$

[য.বো. ২০১৫]

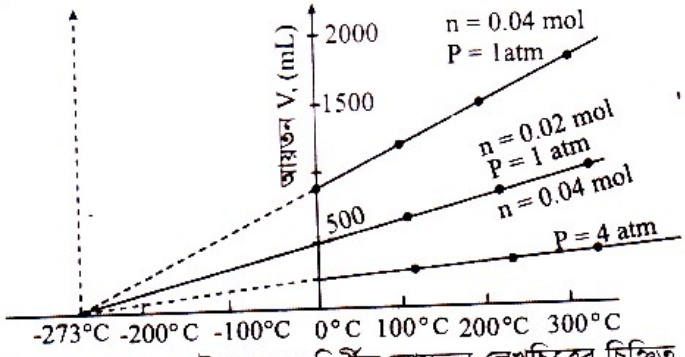
(ক) BOD বলতে কী বোঝ? ১

(খ) খাদ্য শৃঙ্খলে আর্সেনিক দূষণের প্রভাব ব্যাখ্যা কর। ২

(গ) উদ্দীপকের (2) নং সমীকরণের ভিত্তিতে 298 K তাপমাত্রায় একটি CO_2 অণুর গড় গতিশক্তি গণনা কর। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের (1) নং সমীকরণ ও (3) নং সমীকরণ মতে 300K তাপমাত্রায় 0.60L পাত্রে আবদ্ধ 0.5 mol N_2 গ্যাসের চাপ atm এককে বের কর এবং উভয় ক্ষেত্রে নির্ণীত চাপের পার্থক্যের কারণ আদর্শ গ্যাসের গতিতত্ত্ব থেকে ব্যাখ্যা কর। এক্ষেত্রে N_2 এর $a = 1.35\ atmL^2.mol^{-2}$ এবং $b = 0.0387\ L.mol.^{-1}$। ৪

৪। নিচের লেখটি অনুধাবন কর এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও



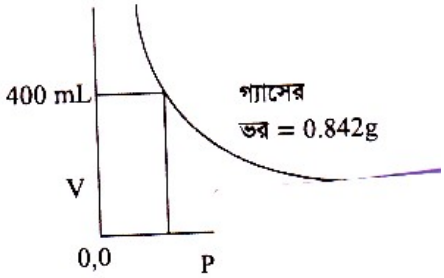
(ক) আইসোথার্ম কী? ১

(খ) SI এককে R এর মান বের কর। [ঢা.বো. ২০১৫] ২

(গ) উদ্দীপকের সংশ্লিষ্ট গ্যাস সূত্র ও প্রয়োজনীয় গ্যাস সূত্রের সমন্বয়ে আদর্শ গ্যাসের অবস্থার সমীকরণ প্রতিষ্ঠা কর। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের লেখচিত্র মতে, 27°C তাপমাত্রায় একই মোল সংখ্যার একই গ্যাসের নির্ণীত আয়তন লেখচিত্রের চিহ্নিত গ্যাস আয়তনকে সমর্থন করে তা ব্যাখ্যা কর।

৫। নিচের লেখটি অনুধাবন কর এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও



(ক) ব্ল্যাক ফুট ডিজিজ কী? ১

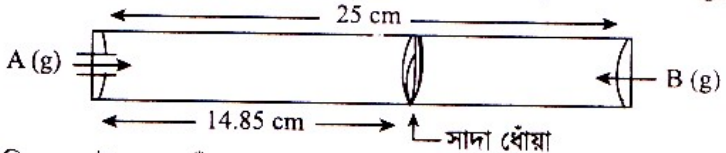
(খ) দূষিত পানির COD এর মান BOD এর মান থেকে বেশি হয়; তা ব্যাখ্যা কর। [ঢা.বো. ২০১৫] ২

(গ) উদ্দীপকের লেখচিত্রের গ্যাস সূত্রটি বিবৃত কর এবং এর গাণিতিক সমীকরণ বের কর। ৩

(ঘ) উদ্দীপক মতে গ্যাসটির প্রদত্ত ডাটা সংশ্লিষ্ট তাপমাত্রা 20°C হলে গ্যাসটির আণবিক ভর কত হবে তা নির্ণয় কর। [উ: 52.65] ৪

৬। নিচের উদ্দীপক ভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [চ.বো. ২০১৬]

$NH_4Cl + CaO \xrightarrow{\Delta} A\ (g) + CaCl_2 + H_2O$; $C_2H_5OH + PCl_5 \longrightarrow B\ (g) + C_2H_5Cl + POCl_3$



(ঘ) উদ্দীপকটির গ্যাসের বিক্রিয়ায় সৃষ্ট সাদা ধোঁয়ার অবস্থান গ্যাসের কোন্ সূত্রকে সমর্থন করে তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

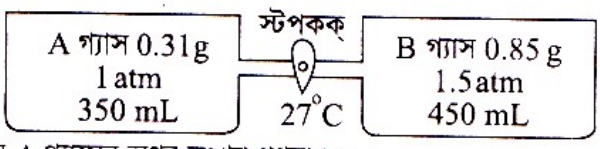
৭। নিচের উদ্দীপক ভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ব.বো. ২০১৬]

1.0 atm, 300 mL A 0.39 g	1.5 atm, 500 mL B 0.85 g	$t = 30^\circ C$

(গ) A গ্যাস ও B গ্যাসকে এক লিটার পাত্রে রাখা হলে মিশ্রিত গ্যাসের মোট চাপ কত হবে? [উ: 1.05atm]

(ঘ) A গ্যাস ও B গ্যাস দুটির মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি হবে তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

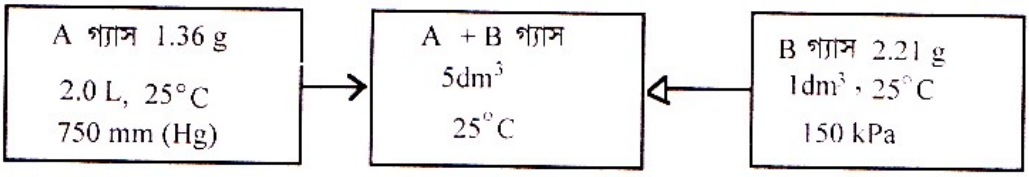
৮। নিচের উদ্দীপক ভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [দি. বো. ২০১৬]



(গ) স্টপ কক্ বন্ধ থাকা অবস্থায় A গ্যাসের অণুর সংখ্যা গণনা কর। [উ: $8.56788741 \times 10^{21}$ টি]

(ঘ) একই তাপমাত্রা ও চাপে A ও B গ্যাসের মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি হবে তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৯। নিচের উদ্দীপক ভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [সি. বো. ২০১৬, য. বো. ২০১৬]

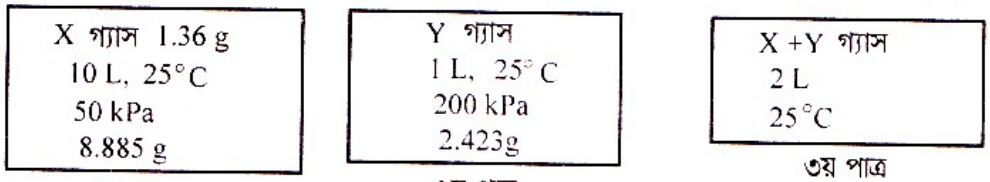


এক্ষেত্রে A গ্যাস ও B গ্যাস দুটি আদর্শ গ্যাসের মতো আচরণ করে।

(গ) উদ্দীপকের A গ্যাস ও B গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ নির্ণয় কর। [উ: 0.68344 atm]

(ঘ) A গ্যাস ও B গ্যাসের মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি হবে। তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

১০। নিচের উদ্দীপকটি অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [দি. বো. ২০১৫]



(গ) উদ্দীপকের ৩য় পাত্রে গ্যাস মিশ্রণের চাপ গণনা কর। [উ: 3.454 atm]

(ঘ) উদ্দীপকের X ও Y গ্যাসের ব্যাপন হার গণনা কর। [উ: X : Y = 1 ঃ 1.2088]

১১। উদ্দীপকটির আলোকে নিচের প্রশ্নের উত্তর দাও : [য. বো. ২০১৫]

20°C তাপমাত্রায় একটি LPG গ্যাস সিলিণ্ডারে 12 kg বিউটেন গ্যাস ভর্তি আছে। সিলিণ্ডারটির আয়তন 20 L।

(গ) উদ্দীপক মতে গ্যাস সিলিণ্ডারটির চাপ নির্ণয় কর। [উ: 248.54 atm]

(ঘ) উদ্দীপকে উল্লিখিত সিলিণ্ডারে গ্যাস ভর্তির সময় গ্যাসের কোন সূত্রের প্রয়োগ ঘটবে? তা ব্যাখ্যা কর।