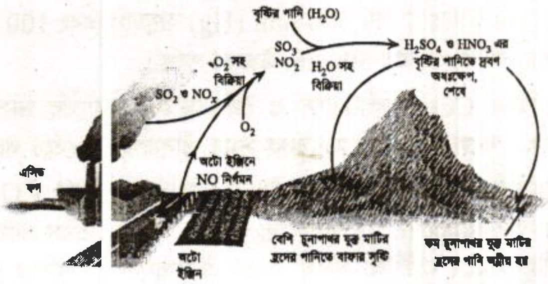
তত্ত্বীয় আলোচনা	= ১৮
শ্রেণি কর্মকাণ্ড	= ৭
মোট পিরিয়ড	= ২৫

প্রথম অধ্যায়
পরিবেশ রসায়ন
Environmental Chemistry

ভূমিকা (Introduction)

পৃথিবীর স্থলভাগ ও জলভাগকে পরিবেষ্টিত করে রয়েছে গ্যাসীয় পদার্থের সমাবেশ, স্থলভাগ থেকে যার উচ্চতা 500 km 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, ফলে 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 জানবো 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 হাউস 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।

শিখনফল : এ অধ্যায় পাঠশেষে 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 নিঃসৃত বায়ু দূষকসমূহ বর্ণনা করতে পারবে।
১১. কোনো এলাকার বায়ুমণ্ডলে গ্রিন হাউস গ্যাসের উপস্থিতি ও গ্রিন হাউস 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 অ্যারহেনিয়াসের 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. শিল্পবর্জ্য ও পানিদূষণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
২০. কোনো এলাকার পানিদূষণ 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।

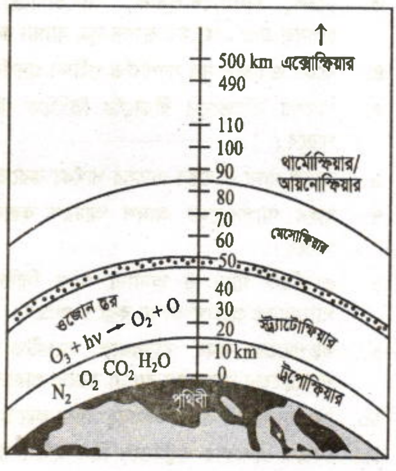
বায়ুমণ্ডলের সংযুক্তি : বায়ুমণ্ডলীয় গ্যাস মিশ্রণের মধ্যে মূলত রয়েছে N_2 গ্যাস 78.09%, O_2 গ্যাস 20.94%, CO_2 গ্যাস 0.033% এবং অবশিষ্ট পরিমাণ হলো পানি-বাষ্প, নিষ্ক্রিয় গ্যাসসমূহসহ নাইট্রোজেন ও সালফারের বিভিন্ন গ্যাসের মিশ্রণ (সারণি ১.১ দ্রষ্টব্য)। বায়ুমণ্ডলের প্রায় 75% গ্যাসীয় মিশ্রণ থাকে ভূপৃষ্ঠ 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 (অ্যাটমস্ফিয়ার) হলেও তা 15 km উচ্চতায় প্রায় 100 mm (Hg) বায়ুচাপ এবং 100 km এর ওপরে চাপমাত্রা 3.0×10^{-7} atm হয়ে থাকে। বায়ুমণ্ডলের বিস্তৃতি ধরা হয় 500 km উচ্চতা পর্যন্ত।

বায়ুমণ্ডলের গুরুত্ব : (১) বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন গ্যাস, যেমন CO_2, জলীয়বাষ্প ও জৈব-অজৈব পদার্থের ভাসমান কণাগুলো সূর্যরশ্মির তাপ শোষণ করে বায়ুমণ্ডলকে উত্তপ্ত রাখে। **ফলে পৃথিবীতে মানুষসহ সমগ্র জীবজগতের বেঁচে থাকার পক্ষে অনুকূল তাপমাত্রা বজায় থাকে** (যেমন, বর্তমানে পৃথিবীর গড় তাপমাত্রা $\approx 15°C$)। যদি বায়ুমণ্ডলে CO_2 ও জলীয়বাষ্প (H_2O অণু) না থাকতো তবে পৃথিবীপৃষ্ঠ ও তৎসংলগ্ন বায়ুমণ্ডলের গড় তাপমাত্রা −30°C হতো। তখন প্রাণিকুল থাকতো না। (২) ভাসমান এ কণাগুলোতে জলীয়বাষ্প ঘনীভূত হয়ে বৃষ্টিপাত ঘটায়। (৩) এ বায়ুমণ্ডল সূর্যরশ্মির UV রশ্মিকে শোষণ করে পৃথিবীর প্রাণিকুলকে এর ক্ষতিকর প্রভাব থেকে মুক্ত রাখে। (৪) সবুজ উদ্ভিদ CO_2 ও পানি (H_2O) থেকে শর্করা ও O_2 উৎপন্ন করে। মাটির ব্যাকটেরিয়া বায়ুর N_2 শোষণ করে তাকে নাইট্রেট লবণরূপে উদ্ভিদকে যোগান দিয়ে প্রোটিন উৎপাদনে সহায়তা করে। এসব শর্করা ও প্রোটিন আমরা খাদ্যরূপে গ্রহণ করি। (৫) 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।



চিত্র - ১.১ : বায়ুমণ্ডলের ৪টি স্তর বা অঞ্চল

ট্রপোস্ফিয়ার : ভূপৃষ্ঠ থেকে 15 km উচ্চতা পর্যন্ত বায়ুমণ্ডলের স্তরকে **ট্রপোস্ফিয়ার** (troposhere) বলে। এ স্তরের বায়ুচাপ 760 mm(Hg) থেকে ওপর দিকে কমতে থাকে এবং তা 15 km উচ্চতায় প্রায় 100 mm(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 **শান্তমণ্ডলও** বলা হয়। স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে আবহাওয়া শুষ্ক ও শান্ত থাকায় এ অঞ্চল

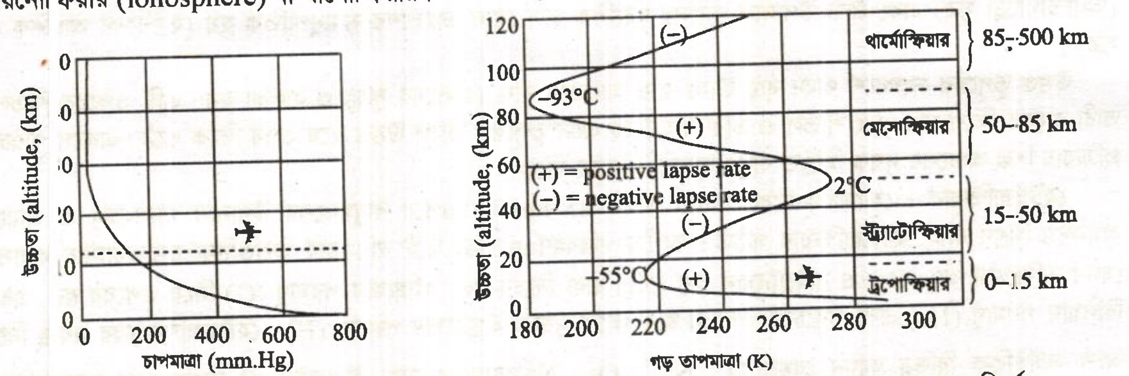
দিয়ে জেট বিমান চলাচল করে থাকে। [সাধারণত বিমানসমূহ আকাশে 40,000 ft থেকে 42,000 ft বা, 12.2 km থেকে 12.8 km উচ্চতায় চলাচল করে থাকে।]

ট্রপোস্ফিয়ার ও পরবর্তী স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের মধ্যবর্তী বায়ুর পাতলা স্তরে তাপমাত্রার অবস্থান্তর বা বৈপরীত্য ঘটে; এ উভয় অঞ্চলের মধ্যবর্তী বায়ুর পাতলা স্তরকে 'ট্রপোপাউজ (tropopause) বলে। বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্বদিকে তাপমাত্রার পরিবর্তনকে 'ল্যাপস-রেট (lapse-rate) বলে। ট্রপোস্ফিয়ারে তাপমাত্রার ক্রমহ্রাসকে স্বাভাবিক ধরে একে Positive (+) lapse rate বলে।

স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার : ট্রপোস্ফিয়ারের পর ওপর দিকে 15 km থেকে 50 km উচ্চতা পর্যন্ত বায়ুমণ্ডলের ২য় স্তর **স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার** (stratosphere) 35 km বিস্তৃত। এ স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে তাপমাত্রা –55°C (218K) থেকে ক্রমশ বৃদ্ধি পেয়ে 50 km উচ্চতায় 2°C(বা, 275 K) তাপমাত্রায় পৌঁছে। স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের উচ্চতা বৃদ্ধির সাথে তাপমাত্রার ক্রম বৃদ্ধিকে Negative (–) lapse rate বলে। কিন্তু গ্যাসের ঘনত্ব ও চাপমাত্রা ট্রপোস্ফিয়ারের মতো ওপর দিকে একইভাবে কমতে থাকে। ফলে চাপ 10 mm (Hg) থেকে 1 mm (Hg) হয়ে থাকে। (MAT 21-22, 15-16, DAT-19-20)

বিশেষত্ব : স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে সূর্যের আলোর মধ্যস্থ ক্ষতিকারক UV-রশ্মি শোষণকারী ওজোন স্তর (O_3) অক্সিজেন (O_2) থেকে সৃষ্টি হয়। ওজোন দ্বারা UV রশ্মি শোষণের ফলে এ স্তরে তাপমাত্রার বৃদ্ধি ঘটে। এ ওজোনস্তর 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** (mesosphere)। স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার থেকে মেসোস্ফিয়ারকে পৃথক করে রেখেছে 'স্ট্র্যাটোপাউজ' (stratopause) নামক পাতলা অবস্থান্তর বায়ুস্তর। এ স্তরের শুরু থেকে পূর্বের বিপরীত নিয়মে তাপমাত্রা হ্রাস পেতে থাকে এবং 83 km উচ্চতায় – 93°C (বা, 180 K) তাপমাত্রায় **বায়ুমণ্ডল শীতলতম অবস্থায় পৌঁছে।** মেসোস্ফিয়ারে তাপমাত্রা হ্রাসের কারণ হলো এ অঞ্চলে UV– রশ্মি শোষণকারী O_3 ও অন্যান্য রাসায়নিক পদার্থের অনুপস্থিতি। ট্রপোস্ফিয়ারের মতো মেসোস্ফিয়ারের তাপমাত্রার ক্রম হ্রাসের ঘটনাকে Positive (+) lapse rate বলে। মেসোস্ফিয়ারের শেষ প্রান্তে রয়েছে 'মেসোপাউজ' নামক পাতলা অবস্থান্তর বায়ুস্তর। এরপরে রয়েছে আয়নোস্ফিয়ার (ionosphere) বা থার্মোস্ফিয়ার।



ভূমি থেকে উচ্চতা বৃদ্ধির সাথে চাপ হ্রাস পায় ভূমি থেকে উচ্চতা বৃদ্ধির সাথে ৪টি স্তরে তাপমাত্রার অসম পরিবর্তন

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

থার্মোস্ফিয়ার : বায়ুমণ্ডলের ৪র্থ স্তর হলো **থার্মোস্ফিয়ার** (thermosphere); এটি 500 km উচ্চতা পর্যন্ত বিস্তৃত। এ স্তরে বিপরীতভাবে তাপমাত্রা –93°C (বা, 180 K) থেকে বৃদ্ধি পেয়ে থার্মোস্ফিয়ারে সৌরবিকিরণ মাত্রার ওপর নির্ভর করে 427°C (বা, 700 K) থেকে 1727°C (বা, 2000 K) এর মধ্যে পরিবর্তিত হয়। থার্মোস্ফিয়ারে আলো শক্তির যেমন উচ্চশক্তিসম্পন্ন UV-রশ্মির ($\lambda = < 200$ nm) প্রভাবে গ্যাসীয় অণুর বিয়োজন ও ইলেকট্রন স্থানান্তরের ফলে বিভিন্ন ধনাত্মক আয়ন, পরমাণু ও অণুর মিশ্রণ থাকে। তাই এ অঞ্চলকে **আয়নোস্ফিয়ারও** বলা হয়। এ অঞ্চলে থাকে বিভিন্ন ধনাত্মক আয়ন যেমন N_2^+, O_2^+, O^+, NO^+, H^+, He^+ আয়ন ইত্যাদি। এরপর ওপর দিকে রয়েছে অধিক তাপমাত্রার এক্সোস্ফিয়ার (exosphere)। এক্সোস্ফিয়ারে H ও He গ্যাসের পরিমাণ বেশি থাকে। এক্সোস্ফিয়ারের ওপর দিকে রয়েছে

চৌম্বকস্ফিয়ার। প্রোটন ও ইলেকট্রনের চৌম্বকক্ষেত্রের সমন্বয়ে সৃষ্ট এ চৌম্বকক্ষেত্র বায়ুমণ্ডলকে ঘিরে রাখে। চিত্র -১.১, ১.২ এবং সারণি– ১.১ এ বায়ুমণ্ডলের ৪টি স্তর বা অঞ্চলের পরিসর, চাপ ও তাপমাত্রার পরিবর্তন দেখানো হলো :

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$1 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 দু প্রধান মণ্ডলে ভাগ করা হয়। তাপমাত্রাভিত্তিক ট্রপোস্ফিয়ার, স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার ও মেসোস্ফিয়ার–এ তিনটি হোমোস্ফিয়ারের অন্তর্ভুক্ত এবং হেটারোস্ফিয়ারে রয়েছে থার্মোস্ফিয়ার ও এক্সোস্ফিয়ার (চিত্র- ১.২(ক))।

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 এসব গ্যাসের শতকরা আয়তন শতকরা মোলের পরিমাণের সমান (অ্যাভোগাড্রো সূত্র) এবং প্রতি উপাদান গ্যাসের আংশিক চাপ মোল ভগ্নাংশের সমানুপাতিক হয় (ডাল্টনের আংশিক চাপ 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।

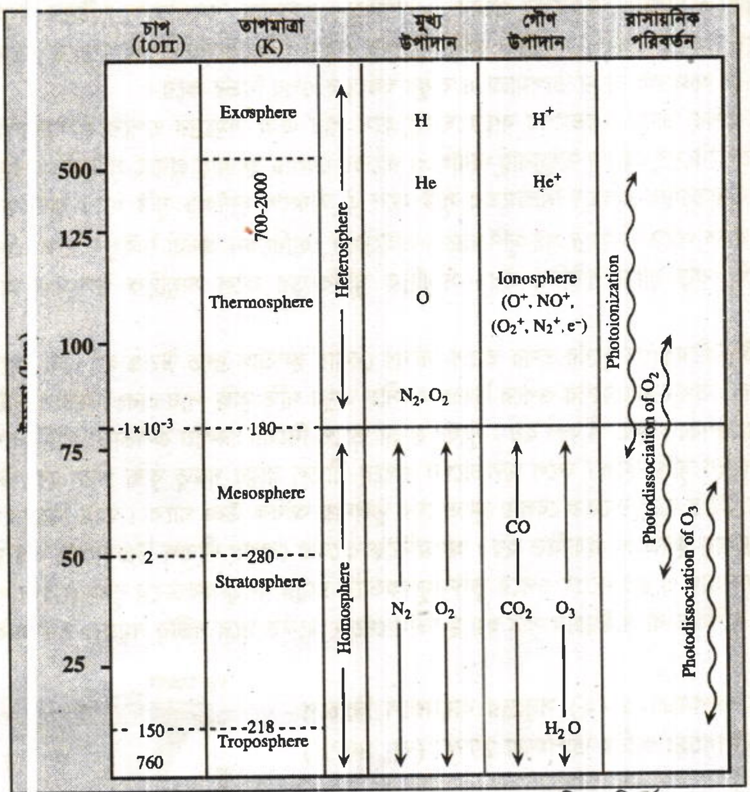
হেটারোস্ফিয়ার : হোমোস্ফিয়ারের ওপরে অর্থাৎ 85 km-এর ওপরে বায়ুমণ্ডলের উপাদান গ্যাস-অণু ও আয়নের অসমসত্ত্ব মিশ্রণ দ্বারা হেটারোস্ফিয়ার গঠিত। তাপীয় পরিবহণ এক্ষেত্রে ঘটে না। তাই ভরভিত্তিক-ভারী গ্যাসীয় কণাসমূহ যেমন অক্সিজেন অণু (O_2) ও নাইট্রোজেন অণু (N_2) দ্বারা নিচের স্তর, অক্সিজেন পরমাণু (O) দিয়ে 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(ক)। আয়নোস্ফিয়ার রসায়নে আলো শক্তির প্রভাবে গ্যাসীয় অণু বিয়োজন (আলোক বিয়োজন) 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 বিয়োজন]

MCQ–1.1 : প্রাকৃতিক ঝড়-ঝঞ্ঝা ঘটে বায়ুমণ্ডলের কোন স্তরে?
(ক) ট্রপোস্ফিয়ার (খ) স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার
(গ) মেসোস্ফিয়ার (ঘ) আয়নোস্ফিয়ার

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



চিত্র - ১.২(ক) : 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}

ওজোনস্তরের গুরুত্ব : এবার স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের ওজোনস্তর গঠন এবং এ স্তরের গুরুত্ব সম্বন্ধে জানবো। 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 যেকোনো কণা, যা অবশিষ্ট শক্তি শোষণ করে। এ বিক্রিয়ার ফলে সৃষ্ট তাপশক্তি ট্রপোস্ফিয়ারের –55°C তাপমাত্রাকে বৃদ্ধি করে স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে 50 km উচ্চতায় 2°C-এ পরিণত করে। এ স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের ওজোনস্তর সূর্যের আলোর UV-রশ্মি শোষণ করে পৃথিবীর মানবজাতিসহ সব প্রাণিকুলকে এর নিম্নোক্ত ক্ষতিকর প্রভাব থেকে মুক্ত রাখে। যেমন, (১) এ উচ্চশক্তির UV– রশ্মি রাসায়নিক বন্ধনকে ভেঙ্গে দিতে পারে। (২) এর ফলে বায়োলজিক্যাল প্রক্রিয়াকে বিনষ্ট করতে পারে। (৩) চোখে ক্যাটারেক্ট, (Cataract) সৃষ্টি করতে পারে এবং চামড়ায় ক্যান্সার রোগ বৃদ্ধি করতে পারে। ওজোনস্তর 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।

সাধারণত পৃথিবীপৃষ্ঠ থেকে 20 – 40 km ওপরে ওজোনস্তর অবস্থান করে। ঐ স্তরে UV– রশ্মির শোষকরূপে অতুলনীয় উপকারী গুরুত্ব ওজোন গ্যাসের রয়েছে। **কিন্তু ভূপৃষ্ঠ থেকে কম উচ্চতায় ট্রপোস্ফিয়ারে একই ওজোন গ্যাস বায়ু-দূষকরূপে গ্রিন হাউস গ্যাসের কাজ করে।**

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 জলীয়বাষ্পের অবস্থা পরিবর্তনের প্রভাব রয়েছে। বায়ুমণ্ডলে বিভিন্ন অঞ্চলের বায়ুর প্রবাহের দিক ঐ অঞ্চলের বায়ুর তাপমাত্রা ও বায়ুর ঘনত্বের ওপর নির্ভর করে।

গ্রীষ্মকালে দিনের বেলায় সূর্যের প্রখর তাপে স্থলভাগের বায়ুর ঘনত্ব হ্রাস পায় এবং সমুদ্রের ওপরে জলীয়বাষ্প মিশে সামুদ্রিক বায়ুর ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়। ফলে দিনের বেলায় **সমুদ্রবায়ু 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 সামুদ্রিক উপকূলে মারাত্মক **জলোচ্ছ্বাস** হয়ে থাকে।

স্থলবায়ু ও সমুদ্রবায়ু প্রবাহের সৃষ্টি : গ্রীষ্মকালে 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 সমুদ্রবায়ু 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 :**

(১) গভীর সমুদ্রের পানির উচ্চ তাপমাত্রা ও (২) সমুদ্রের বায়ুমণ্ডলে নিম্নচাপ সৃষ্টি। সাধারণত সাইক্লোন তৈরি হতে সাগরের পানির তাপমাত্রা 27°C (বা, 80°F) **এর বেশি** হতে হয়।

সময় ও অঞ্চল হিসেবে-গ্রীষ্মকালের শেষে এবং বিষুবরেখা বা নিরক্ষীয়রেখার উত্তর দিকে 5° থেকে 20° উত্তর অক্ষাংশের মধ্যবর্তী সামুদ্রিক অঞ্চলে ঘূর্ণিঝড় সৃষ্টি হয়।

চিত্র-১.৩ : ঘূর্ণিঝড় সৃষ্টি

আর বঙ্গোপসাগরে বছরের প্রায় সময় এ তাপমাত্রা থাকে। গভীর সাগরের বায়ুমণ্ডলে 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 ওঠতে থাকে। তখন ওপরের বাতাসে তাপমাত্রা কম এবং জলীয়বাষ্পের ঘনত্ব বেশি থাকায় তা ঘনীভূত হয়ে বৃষ্টিপাত ঘটায়।

* (i) বৃষ্টিপাতের ফলে জলীয়বাষ্প থেকে **সুপ্ততাপ** বা Latent heat ছেড়ে দেয়, যা বাষ্পীভবন বাড়িয়ে দেয়। আবার
* (ii) এ সুপ্ততাপের প্রভাবে সমুদ্রের বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রাও বেড়ে যায়। ফলে বিশাল এলাকা জুড়ে বায়ুমণ্ডলে চাপ ও তাপমাত্রার অস্থিতিশীল অবস্থা সৃষ্টি হয়। তখন—
* (iii) নিম্নমুখী বায়ুর নিম্নচাপটি কেন্দ্রমুখী হয় এবং চারদিক থেকে ধেয়ে আসা বায়ু চক্রাকারে আবর্তিত হতে থাকে।

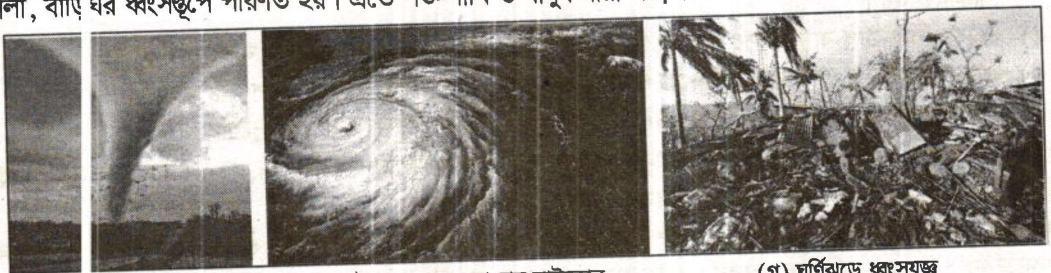
এ **অবস্থাটি হলো ঘূর্ণিঝড় বা সাইক্লোন।**

ঘূর্ণিঝড় গঠনকালে চক্রাকারে আবর্তিত বায়ুর একটি কেন্দ্র থাকে; একে **ঘূর্ণিঝড় কেন্দ্র** বলে (চিত্র-১.৩)। সাইক্লোন শব্দটি গ্রিক শব্দ 'Kyklos' থেকে উদ্ভূত; এর অর্থ হলো coil of snakes বা সাপের কুণ্ডলী। ৭নং পৃষ্ঠায় ১.৪(খ) নং ছবিটি স্যাটেলাইট বা উপগ্রহ থেকে প্রাপ্ত সাইক্লোনের ছবি। এতে সুস্পষ্ট যে, প্রচণ্ড গতিবেগসম্পন্ন কেন্দ্রমুখী বায়ু-কুণ্ডলী দ্রুতগতিতে ধেয়ে চলেছে।

আমরা জানলাম, গ্রীষ্মকালের শেষে বিষুবরেখার 5° থেকে 20° উত্তর অক্ষাংশের মধ্যবর্তী অঞ্চলের **গভীর সমুদ্রে সৃষ্ট নিম্নচাপের কারণে যখন প্রচণ্ড গতিসম্পন্ন চারদিক থেকে ধেয়ে আসা বাতাস এককেন্দ্রিক ঊর্ধ্বমুখী ঘূর্ণনের আকারে স্থলভাগের দিকে অগ্রসর হয়, তখন তাকেই সাইক্লোন বা সামুদ্রিক ঘূর্ণিঝড় বলে।** সাইক্লোনের গতিবেগ কমপক্ষে প্রতি ঘণ্টায় 63 কিলোমিটার বা 40 মাইল হতে হয়। [গতিশীল সাইক্লোন অনেকটা গতিশীল লাটিমের মতো হয়।]

গ্রীষ্মমণ্ডলীয় ঘূর্ণিঝড় (tropical cyclone) পৃথিবীর বিভিন্ন অঞ্চলে ভিন্ন ভিন্ন নামে পরিচিত। যেমন, (১) ভারত মহাসাগরীয় অঞ্চলে বলে **'সাইক্লোন'**, জাপানের উপকূলে **'টাইফুন'**, ফিলিপাইনে **'টাইফুন বা বাগিও (Bagyo)**, মেক্সিকো উপকূলে বলে **'হ্যারিকেন'** এবং অস্ট্রেলিয়ার উপকূলে **'সাইক্লোন'** নামে পরিচিত।

1991 সালে বাংলাদেশে আঘাতহানা 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 ধ্বংসস্তূপে 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। এসব ঢেউ যতই সমুদ্রের তীরের কাছাকাছি আসে তখন এসব ঢেউ আরও দীর্ঘ হয়ে ভয়ঙ্কর জলোচ্ছ্বাসে রূপ নেয়। ঢেউয়ের উচ্চতা 100 ফুট পর্যন্ত উঁচু এবং ঘণ্টায় গতিবেগ 500 মাইলেরও বেশি হতে পারে। সমুদ্রতলদেশে ভূমিকম্প, ভূমিধস 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 ট্যাক্টনিক ভূমিকম্প। এটি সমুদ্রের তলদেশে থাকা 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 এ ঘূর্ণির আবর্তে যা পড়ে, তা সবই বিধ্বস্ত হয়। টর্নেডোর বিস্তার সাইক্লোনের চেয়ে অনেক কম, এর 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 উচ্চবাঁধ 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—

(১) বায়ুমণ্ডলের গ্যাসীয় পদার্থের ওপর সূর্যের তাপমাত্রার প্রভাব। সূর্যের প্রখর তাপে পৃথিবীপৃষ্ঠ উত্তপ্ত হয়ে তাপ বিকিরিত হয়।

(২) এ বিকিরিত তাপ বায়ুমণ্ডলের গ্যাসের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে; সমুদ্রের জলরাশিকে বাষ্পীভূত করে।

(৩) ফলে বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে বায়ুর ঘনত্ব হ্রাস পায়, বায়ুমণ্ডলে নিম্নচাপ সৃষ্টি হয়।

(৪) 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 প্রভৃতি গ্যাসীয় পদার্থের আয়তনের ওপর তাপমাত্রা, গ্যাসের ঘনত্ব ও চাপের প্রভাব।**

বিজ্ঞানীরা গ্যাসের আয়তন, ঘনত্ব ও গতিশক্তির ওপর গ্যাসের তাপমাত্রার ও চাপের প্রভাব সম্পর্কীয় কিছু পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণভিত্তিক গ্যাস সূত্র প্রতিষ্ঠিত করেন। এখন আমরা গ্যাসের বৈশিষ্ট্য ও গ্যাস সূত্রসমূহ আলোচনা করবো।

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 ভৌতধর্মভিত্তিক পরিবর্তনশীল চারটি রাশি যেমন গ্যাসের মোল সংখ্যা (n), আয়তন (V), চাপ (P) ও তাপমাত্রা (T) প্রভৃতির যেকোনো দুটি রাশিকে স্থির রেখে অপর দুটি রাশির মধ্যে পরীক্ষা-নিরীক্ষা করে কিছু সম্পর্ক উপস্থাপন করেছেন, যা **গ্যাস সূত্র** (gas laws) নামে পরিচিত।

গ্যাসের চারটি পরিবর্তনশীল রাশির মধ্যে স্থাপিত তিনটি মূল সম্পর্ক হলো– (১) বয়েলের সূত্র, (২) চার্লসের সূত্র ও (৩) অ্যাভোগাড্রো সূত্র। এ তিনটি সূত্রের সমন্বয়ে গাণিতিকভাবে প্রাপ্ত গ্যাসের মোলসংখ্যা, চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রার

মাত্রিক স ম্পর্কটি **আদর্শ গ্যাস সমীকরণ** (ideal gas equation) নামে পরিচিত। যদিও প্রকৃতপক্ষে আদর্শ-গ্যাস বলে কিছু নেই। স ধারণ গ্যাস যেমন N_2, O_2, H_2 ও নোভেল গ্যাস He, Ne ইত্যাদি বাস্তব গ্যাসসমূহ সাধারণ তাপমাত্রা ও চাপে মোটামুটি ভাবে আদর্শ গ্যাসের মতো আচরণ করে।

** **বিশেষ দ্রষ্টব্য :** বর্তমান একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণির পাঠ্যসূচি বা সিলেবাসে পদার্থের গ্যাসীয় অবস্থা ও গ্যাস সূত্রসমূহ অন্তর্ভুক্ত আছে। পদার্থের তরল ও কঠিন অবস্থা অন্তর্ভুক্ত নেই। এ অধ্যায়ের প্রথমেই দেয়া শিখনফল দ্রষ্টব্য।]

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 ছোটাছুটি করে তাকে ঐ গ্যাস দ্বারা দখলকৃত আয়তন বলে। গ্যাসের আয়তন তাপমাত্রা ও চাপের ওপর নির্ভরশীল। গ্যাসের আয়তনকে 'V' দ্বারা প্রকাশ করা হয়। Standard International বা, SI এককে গ্যাসের আয়তন পরিমাপের বিভিন্ন একক ও তাদের সম্পর্ক নিম্নরূপ :

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

$$1m^3 = 10^3\ dm^3 = 10^3\ L;\ 1L = 1000\ mL = 1000\ cm^3$$ (MAT: 19-20)

*** এককসমূহের সম্পর্ক :**

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

(২) চাপ (Pressure) : গ্যাসপাত্রে গ্যাসের অণুসমূহ অবিরত ইতস্তত ছোটাছুটি করার ফলে গ্যাসপাত্রের একক ক্ষেত্রফলের ওপর গ্যাস অণুসমূহ যে বল প্রয়োগ করে, তাকে গ্যাসের চাপ বলে।

বহুকাল থেকে গ্যাসের চাপের একক বায়ুচাপ বা বায়ুমণ্ডল বা অ্যাটমস্ফিয়ার (atmosphere, সংক্ষেপে atm) ব্যবহৃত হয়ে আসছে। 0°C তাপমাত্রায় 45° অক্ষাংশে সমুদ্র সমতলে যে পরিমাণ বায়ুচাপ 760 mm পারদস্তম্ভের 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। 1 torr = 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 (Pa) এককে প্রকাশ করা হয়। প্রতি বর্গমিটারে এক নিউটন বলকে প্যাসকেল (Pascal) বলা হয়। [$1\ Pa = 1\ Nm^{-2}$ [$Nm^{-2} = kgms^{-2}.m^{-2} = kgm^{-1}.s^{-2}$]] (MAT: 19-20)

1 বায়ুমণ্ডল চাপ = 1 atm = 0.76 m (Hg) স্তম্ভের ভর = $0.76\ m \times \rho \times g$ [ρ = পারদের ঘনত্ব, g = মহাকর্ষ ত্বরণ]

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

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

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

*** জেনে নাও :** উপরোক্ত atm ও Pa সম্পর্ক (1 atm = 101325 Pa) মতে বোঝা যায় গ্যাসের চাপের ক্ষেত্রে Pa এককটি তুলনামূলকভাবে খুব ছোটো মাত্রার একক হওয়ায় গ্যাসীয় রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে চাপ পরিমাপে Pa একক সুবিধাজনক নয়। তাই ছোটো মাত্রার এককরূপে mm(Hg) চাপের এককটি atm চাপ এককসহ ব্যবহৃত হয়।

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

1 atm = 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 ভরবিশিষ্ট কোনো বস্তুর ওপর প্রযুক্ত হয়ে এক মিটার/ (সেকেন্ড)^2 ত্বরণ সৃষ্টি করে, তাকে এক নিউটন (N) বলে। $\therefore$ 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।)

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

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

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

> **MCQ–1.3 : SATP-তে গ্যাসের মোলার আয়তন কত?**
> (ক) 22.414 L (খ) 22.4 L
> (গ) 24.789 L (ঘ) 24.143 L

উল্লেখ্য প্রমাণ তাপমাত্রা বলতে $0^{\circ}C$ বা, 273 K (কেলভিন) ধরা হয়।
কক্ষতাপমাত্রা বলতে 25°C বা, 298 K ধরা হয়।

বর্তমানে গ্যাসের মোলার আয়তন প্রকাশের দুটি পদ্ধতি আছে। যেমন— (MAT: 14-15, 22-23)

*** (১) STP পদ্ধতি :** STP এর পুরো নাম Standard Temperature and Pressure. এ পদ্ধতিতে আদর্শ তাপমাত্রা $0^{\circ}C$ বা, 273 K ও আদর্শ চাপ 1 atm বা, 101.325 kPa ধরা হয়। STP-তে গ্যাসের মোলার আয়তন হয়, $V_m = 22.414\ Lmol^{-1}$। (DAT: 24-25, 23-24)

*** (২) SATP পদ্ধতি :** SATP এর পুরো নাম Standard Ambient Temperature and Pressure. এক্ষেত্রে Ambient শব্দের অর্থ হলো পারিপার্শ্বিক বা আবহমণ্ডল বা কক্ষ। এ পদ্ধতিতে বিশ্বব্যাপী গ্যাসের কক্ষতাপমাত্রা 25°C বা, 298 K (কেলভিন) এবং বায়ুমণ্ডল চাপ 100 kPa (কিলোপ্যাসকেল) ধরা হয়। SATP-তে গ্যাসের মোলার আয়তন, $V^{\theta}_m = 24.789\ Lmol^{-1}$ ধরা হয়। (MAT: 14-15)

১.৩.২ বয়েলের সূত্র : গ্যাসের আয়তন ও চাপের মধ্যে সম্পর্ক

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

বিজ্ঞানী টরিসেলির (Torricelli's) ব্যারোমিটার আবিষ্কারের পর ইংরেজ রসায়নবিদ রবার্ট বয়েল তাপমাত্রা স্থির রেখে বিভিন্ন গ্যাসের আয়তনের ওপর চাপের প্রভাব সম্পর্কে গবেষণা করেন। তাঁর গবেষণার ফলাফল 1660 খ্রিষ্টাব্দে 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 (T) নির্দিষ্ট মোল (n) পরিমাণ বা ভরবিশিষ্ট কোনো গ্যাসের ওপর প্রযুক্ত চাপ P_1 এবং তার আয়তন V_1 হলে তখন বয়েলের সূত্র মতে,

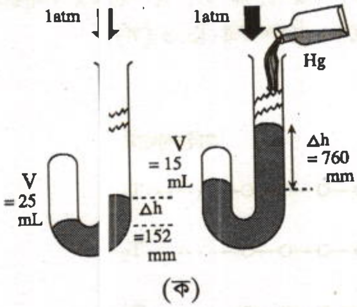
$V_1 \propto \frac{1}{P_1}$; বা, $V_1 = K.\frac{1}{P_1}$; এখানে K হলো আনুপাতিক ধ্রুবক এবং n ও T স্থির।

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 $\boxed{P_1V_1 = P_2V_2}$ (MAT: 13-14)

পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণ ডাটা : এখন আমরা বয়েলের সূত্রের সত্যতা পরীক্ষার জন্য একটি নমুনা গ্যাসকে একমুখ বদ্ধ J-আকৃতির গ্ন নটিউবে পারদ ঢেলে আবদ্ধ করবো [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, লক্ষ্য করো গ্যাসের ওপর মোট চাপ = [বায়ুমণ্ডল চাপ P_{atm} + মারকারি কলামের পার্থক্য (Δh) এর mm এককে মোট mm(Hg)-এর চাপ।]



(ক)

সারণি-১.৩ : গ্যাসের আয়তন ও চাপের সম্পর্ক

V(mL)	মোট চাপ, P (mm.Hg)	$\frac{1}{P}$	PV(torr) mL
	Δh + 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) আবদ্ধ গ্যাসের ওপর চাপবৃদ্ধিতে আয়তনের পরিবর্তন পর্যবেক্ষণ : (খ) পর্যবেক্ষণ ডাটা।

আরো লক্ষ্য করো, 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 $\frac{1}{P}$ 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 V বনাম $\frac{1}{P}$ লেখচিত্র মতে, গ্যাসের আচরণের এ সরলরৈখিক গ্রাফিক্যাল বৈশিষ্ট্য থেকে জ্যামিতিক সমীকরণ y = mx + c এবং বয়েলের সূত্রের গাণিতিক সমীকরণে [যেমন PV = K; বা, $V = K \times \frac{1}{P}$ এর মধ্যে] সাদৃশ্য রয়েছে। এক্ষেত্রে y = V, m = K = সরলরেখার ঢাল (slope), x = 1/P এবং c = 0 (y অক্ষের ছেদন দূরত্ব)।

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

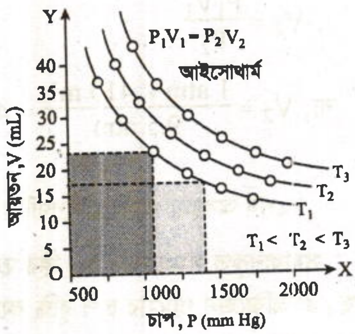
$$\underset{y=}{\uparrow} \quad \underset{m}{\uparrow} \quad \underset{x}{\uparrow} \quad \underset{c}{\uparrow}$$

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 :

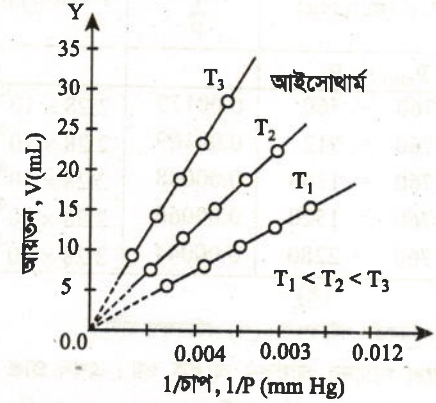
নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের ওপর বিভিন্ন চাপ প্রয়োগ করে এবং বিভিন্ন চাপে ঐ গ্যাসের আয়তন লিপিবদ্ধ করে X-অক্ষকে চাপ (P) ও Y-অক্ষকে আয়তন (V) ধরে লেখচিত্র অঙ্কন করলে [চিত্র-১.৬ (ক)] এর ন্যায় লেখচিত্র পাওয়া যায়। অনুরূপভাবে বিভিন্ন স্থির তাপমাত্রায় একই ভরের গ্যাসের জন্য বিভিন্ন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



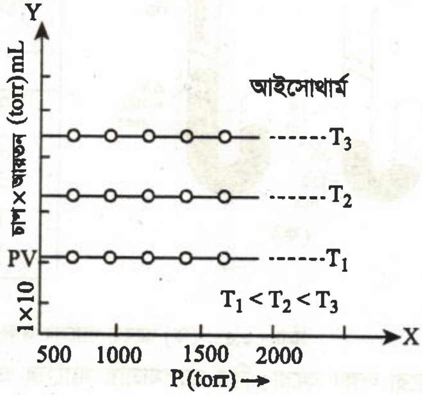
চিত্র-১.৬ (ক) : V বনাম P লেখচিত্র

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

যেহেতু PV = K, তাই $V = K \times \frac{1}{P}$ এবং $P = K \times \frac{1}{V}$ । তাই গ্যাসের আয়তন (V)-কে গ্যাসের চাপের ব্যস্তানুপাত (P^{-1})-এর বিপরীতে লিপিবদ্ধ করে লেখচিত্র অঙ্কন করলে মূলবিন্দু (0, 0) গামী সরলরেখা [চিত্র- ১.৬ (খ) পাওয়া যায়। অনুরূপভাবে P বনাম V^{-1} লেখটিও একইভাবে মূলবিন্দু (0, 0) গামী সরলরেখা হবে। অপরদিকে যেহেতু চাপ ও আয়তনের গুণফল ধ্রুবক সেহেতু PV এর বিপরীতে P স্থাপন করলে আনুভূমিক সরলরেখা বা, X অক্ষের সমান্তরাল সরলরেখা পাওয়া যায়। অনুরূপভাবে PV বনাম V লেখটিও X অক্ষের সমান্তরাল হবে। [লেখচিত্র- [১.৬ (গ)]



চিত্র ১.৬ (খ) : V বনাম 1/P লেখচিত্র



চিত্র ১.৬ (গ) : PV বনাম P লেখচিত্র

* এখানে উল্লেখ্য যে, গ্যাসের বেলায় বয়েলের সূত্র উচ্চতাপমাত্রায় ও কম চাপে বিশেষভাবে প্রযোজ্য, কিন্তু নিম্নতাপমাত্রায় ও উচ্চচাপে 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) : গ্যাসের n ও T স্থির; P ও V এর পরিবর্তন ঘটেছে। তাই বয়েলের সূত্র প্রযোজ্য।

সমাধান (Solution) : বয়েলের সূত্রের সমীকরণ, $P_1V_1 = P_2V_2$

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

বা, $V_2 = \frac{1 \text{ atm} \times 410 \text{ mL}}{9.5 \text{ atm}} = 43.16 \text{ mL}$

প্রাথমিক অবস্থায় চাপ, $P_1 = 1$ atm
" " আয়তন, $V_1 = 410$ mL
শেষ অবস্থায় চাপ, $P_2 = 9.5$ atm
শেষ গ্যাসীয় আয়তন, $V_2 = ?$

∴ শেষ অবস্থায় গ্যাসীয় মিশ্রণটির আয়তন হয় = 43.16 mL **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা- ১.২ : স্থির তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে কোনো 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।

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, $V_2 = ?$

সমাধান : সুতরাং বয়েলের সূত্র মতে, $P_1V_1 = P_2V_2$

$$\therefore V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2} = \frac{1 \text{ atm} \times 3.15 \text{ L}}{2.5 \text{ atm}} = 1.26 \text{ L.}$$

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 সম্পূর্ণ 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 গ্যাস ধারণ ক্ষমতা 2 L। সুতরাং গ্যাসভর্তি n সংখ্যক বেলুনের আয়তন বা গ্যাসের মোট আয়তন হবে 2n L।

প্রশ্নমতে,
১ম অবস্থায় গ্যাসের 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, $V_2 = 2$ nL

বয়েলের সূত্র মতে, $P_1V_1 = P_2V_2$

$$\therefore 10 \text{ atm} \times 50 \text{ L} = 2 \text{ atm} \times 2 \text{ nL}$$

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

$$\therefore n = 125$$

উত্তর : 125 টি বেলুন।

* [এক্ষেত্রে লক্ষ্যণীয় ঐ ফ্লাস্কটি খালি করে সমস্ত হাইড্রোজেন গ্যাস ব্যবহৃত হয়েছে।]

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 কোনো প্রভাব নেই। তাই উভয় অবস্থায় প্রদত্ত গ্যাসের আয়তন থেকে মার্বেলের আয়তন বাদ যাবে।

প্রশ্নমতে, 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.

বয়েলের সূত্র মতে,

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$\therefore 1 \text{ atm} \times (200 - V) \text{ mL} = 2 \text{ atm} \times (105 - V) \text{ mL}$$

বা, $200 - V = 210 - 2V$

বা, $V = (210 - 200) = 10$ mL.

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

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৫ : স্থির বায়ুমণ্ডলীয় তাপমাত্রার অঞ্চলে 1.8 atm চাপে একটি বেলুনে 2.0 m^3 H_2 গ্যাসভর্তি করে উড়িয়ে দেয়া হলো। গ্যাসের এ আয়তন বেলুনটির সর্বোচ্চ প্রসারণ ক্ষমতার $\frac{9}{10}$ অংশ। বেলুনটি কত ওপরে উঠে ফেটে যাবে? ভূ-পৃষ্ঠ থেকে প্রতি মিটার উচ্চতায় বায়ুমণ্ডলের চাপ 0.044 mm (Hg) হ্রাস পায়।

দক্ষতা : এক্ষেত্রে তাপমাত্রা স্থির। তাই বয়েলের সূত্র প্রযোজ্য। 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। ওপর দিকে বাহ্যিক চাপ হ্রাস পেয়ে এবং H_2 গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি পেয়ে বেলুনের প্রসারণ ক্ষমতার শেষ সীমানায় পৌঁছলে বেলুনটি ফেটে যাবে।

প্রশ্নমতে,

বেলুনে H_2 গ্যাসের চাপ, $P_1 = 1.8$ atm

বেলুনে H_2 গ্যাসের আয়তন, $V_1 = 2.0\ m^3$

বেলুন ফেটে যাওয়ার সময় আয়তন, $V_2 = \frac{2 \times 10\ m^3}{9} = 2.22\ m^3$

বেলুন ফেটে যাওয়ার সময় বায়ুমণ্ডলের চাপ, $P_2 = ?$

সমাধান : বয়েলের সূত্র মতে,

$P_1V_1 = P_2V_2$

বা, $P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} = \frac{1.8\ atm \times 2\ m^3}{2.22\ m^3}$

বা, $P_2 = 1.62$ atm

∴ বেলুন ফেটে যাওয়ার সময়ে চাপের হ্রাস ঘটে :

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

$= 136.8\ mm\ (Hg)$

আবার বায়ুমণ্ডলের চাপ 0.044 mm (Hg) হ্রাস পায় প্রতি 1.0 m উচ্চতার জন্য।

∴ 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।

> **MCQ–1.4 :** 25°C, 1 atm চাপে 4L O_2 কে 0.8L এ পরিণত করতে চাপের বৃদ্ধি কত হবে?
> (ক) 5 atm (খ) 4 atm
> (গ) 3 atm (ঘ) 1 atm

*** 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 $= \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}}$; $\therefore d_1 = \frac{W}{V_1}$; $d_2 = \frac{W}{V_2}$;

$$\text{বা, } V_1 = \frac{W}{d_1} \text{ এবং } V_2 = \frac{W}{d_2}$$

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) ∴ স্থির তাপমাত্রায়, $P \propto d$

> **MCQ–1.5 : বয়েলের সূত্রের সমীকরণ কোনটি?**
> (ক) $P_1T_1 = P_2T_2$
> (খ) $P_1V_1 = P_2V_2$
> (গ) $P_1/V_1 = P_2/V_2$
> (ঘ) $V_1/P_1 = V_2/P_2$

অর্থাৎ স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের ঘনত্ব ঐ গ্যাসের ওপর প্রযুক্ত চাপের সমানুপাতিক হয়। অর্থাৎ স্থির তাপমাত্রায়, গ্যাসের চাপ বাড়ালে ঘনত্বও সমভাবে বাড়ে। $\therefore \frac{P_1}{P_2} = \frac{d_1}{d_2}$; (স্থির তাপমাত্রায়)।

শিক্ষার্থী নিজে করো -১.১ : 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 63.3 kPa 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: 122.5 kPa]

সমস্যা–১.৪ : 25°C তাপমাত্রায় 125 cm^3 আয়তনের পাত্রে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাস 99.99 kPa চাপে আছে। একই তাপমাত্রায় 150 cm^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 কোনো 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 : কক্ষতাপমাত্রায় একটি সিলিন্ডারে 10 atm চাপে 50 L H_2 গ্যাস আছে। 2 atm চাপে 2 L আয়তন বিশিষ্ট কতটি বেলুন বাস্তবে ঐ H_2 গ্যাস দ্বারা পূর্ণ করা যাবে? [উ: 100 টি]

[**বিশেষ দ্রষ্টব্য :** 2 atm চাপে 50 L 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। কী 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: 2.54 gL^{-1}]

সমস্যা–১.১৪ : 25°C তাপমাত্রায় ও 1 atm 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}]

১.৩.৩ চার্লসের সূত্র : গ্যাসের আয়তন ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক

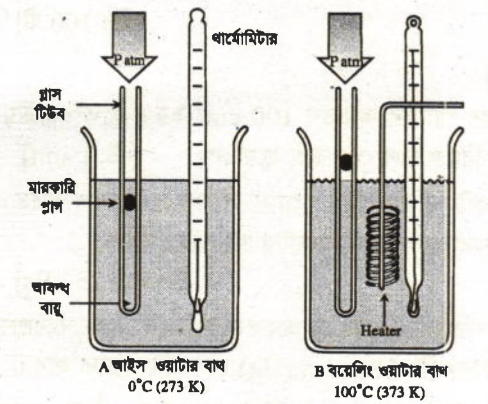
Charles's Law : The Relation between Gas Volume & Temperature

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 ওপরও গ্যাসের আয়তন নির্ভরশীল। **তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তনও বৃদ্ধি পায়।** 1787 খ্রিষ্টাব্দে ফ্রান্স বিজ্ঞানী চার্লস ও 1802 খ্রিষ্টাব্দে গে-লুসাক পৃথকভাবে স্থির চাপে তাপমাত্রার সাথে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তনের সম্পর্ক সূত্রাকারে প্রকাশ করেন। তবে বিজ্ঞানী চার্লস সর্বপ্রথম গ্যাসের তাপমাত্রার ওপরও গ্যাসের আয়তনের নির্ভরশীলতা বিষয়ে তথ্য আবিষ্কার করেন। তাই স্থির চাপে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন ও তাপমাত্রা সম্পর্কীয় সূত্রটি চার্লসের সূত্র নামে পরিচিত হয়। প্রাথমিকভাবে বর্ণিত চার্লসের সূত্রটি নিম্নরূপ:

স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের যেকোনো গ্যাসের আয়তন গ্যাসটির প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধি বা হ্রাসের ফলে 0°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তনের $\frac{1}{273}$ অংশ হারে যথাক্রমে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

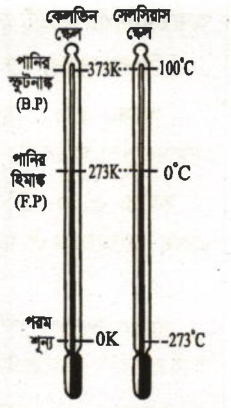
আমরা এখন স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন ও তাপমাত্রার মধ্যে থাকা সম্পর্কটি পরীক্ষা করে জানতে চেষ্টা করবো।

চিত্র- ১.৭ (ক) মতে, এক প্রান্তে বন্ধ বা সিলড্ করা বড়ো 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 বায়ু বা, গ্যাস স্থির চাপে আছে; কারণ মারকারি প্লাগের ওপর বায়ুমণ্ডল চাপ স্থির আছে।



সারণি ১.৪: 1 atm চাপে 0.04 মোল কোনো গ্যাসের তাপমাত্রা ও আয়তনের সম্পর্ক:

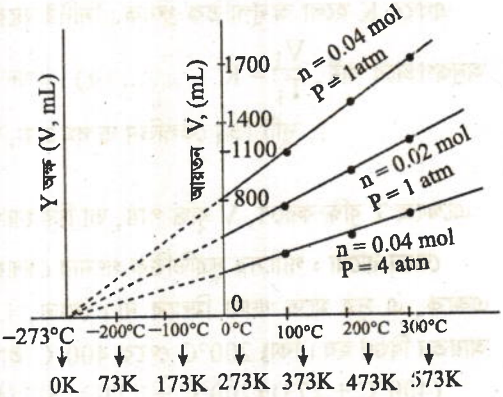
সেলসিয়াসে (°C)	কেলভিনে তাপমাত্রা (K)	গ্যাসের আয়তন mL
0.0	273	800
100.0	373	1100
200.0	473	1400
300.0	573	1700



চিত্র-১.৭: (ক) গ্যাসের আয়তনের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব পর্যবেক্ষণ। (খ) মানসম্মত পর্যবেক্ষণ ডাটা। (গ) কেলভিন স্কেল ও সেলসিয়াস স্কেল

এরূপ মানসম্মত কিছু ডাটা নিয়ে যেমন 1 atm 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 তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন শূন্য হয় বোঝায়। যদিও –273° C নিম্নতাপমাত্রায় পৌঁছার অনেক পূর্বেই গ্যাস তরলে পরিণত হয়; সারণি-১.৭ (পৃষ্ঠা-৮২) এ সন্ধি তাপমাত্রা দেখো।

এ পরীক্ষা থেকে জানা যায়, **নির্দিষ্ট চাপে** (1 atm-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 (যেমন 1 atm ও 4 atm-এ) রেখে তাপমাত্রা পরিবর্তন করলে প্রতি ক্ষেত্রে প্রাপ্ত সরলরেখা বর্ধিত অবস্থায় $-273^{\circ}C$ এ X- অক্ষকে ছেদ করে (চিত্র- ১.৮)। অর্থাৎ 0°C তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট মোল (mol) পরিমাণের গ্যাসের আয়তন V_o হলে তাপমাত্রা হ্রাসের সাথে তা সমানুপাতিক হারে হ্রাস পেয়ে $-273°C$ তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের আয়তন 0 (শূন্য) হয়। তখন প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন হ্রাসের পরিমাণ $(V_o/273)$ হয়।



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

আবার যেকোনো উচ্চতাপমাত্রা t°C-এ ঐ গ্যাসের আয়তন V_t ধরে গাণিতিকভাবে পাই, $V_t = \left(V_o + \dfrac{V_o \times t}{273}\right)$। তখন $-273°C$ এবং 273°C এ ঐ গ্যাসের আয়তন যথাক্রমে 0 (শূন্য) এবং দ্বিগুণ $(2V_o)$ হয়।

যেমন, $V_{-273} = \left[V_o + \dfrac{V_o \times (-273)}{273}\right] = (V_o - V_o) = 0;\ V_{273} = \left(V_o + \dfrac{V_o \times 273}{273}\right) = (V_o + V_o) = 2V_o$

এক্ষেত্রে, $\dfrac{V_o}{273}$ অনুপাতকে **গ্যাসের আয়তন প্রসারাঙ্ক** বা **গ্যাসের আয়তন হ্রাস গুণাঙ্ক** বলে।

*** চার্লসের সূত্র থেকে পরমতাপমাত্রা স্কেলের ধারণা প্রতিষ্ঠা :**

বিজ্ঞানী চার্লস ও গে-লুসাকের গ্যাস সংশ্লিষ্ট পরীক্ষা-নিরীক্ষার প্রায় পঞ্চাশ বছর পরে (1854 খ্রিষ্টাব্দে) উইলিয়াম থমসন (লর্ড কেলভিন) গ্যাসের আয়তন (V) এর ওপর তাপমাত্রার হ্রাস-বৃদ্ধির প্রভাব বিষয়ক পরীক্ষার সরলরৈখিক সম্পর্ক থেকে $-273°$ C তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন তাত্ত্বিকভাবে শূন্য হওয়ায় $-273°$ C (বা, $-273.15°$ C) তাপমাত্রাকে সম্ভাব্য সর্বনিম্ন তাপমাত্রা ভিত্তি করে নিম্নরূপে নতুন **পরম তাপমাত্রা স্কেল** (Absolute temperature scale) উদ্ভাবন করেন [চিত্র-১.৭ (গ)]। পরবর্তীকালে বিজ্ঞানীরা পরম তাপমাত্রা স্কেলকে তাপমাত্রার **কেলভিন স্কেল** নাম দেন।

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 273 K (কেলভিন) ও পানির স্ফুটনাঙ্ককে 373 K ধরা হয়েছে। কেলভিন বা পরম তাপমাত্রা স্কেলের সর্বনিম্ন তাপমাত্রা 0 K বা, $-273.15°C$-কে **পরমশূন্য তাপমাত্রা** বলা হয়। (MAT:14-15) কারণ এ তাপমাত্রার নিচে গ্যাসের আয়তনের মান ঋণাত্মক হতে হয়, যা বাস্তবে অসম্ভব। কেলভিন তাপমাত্রাকে ক্যাপিটাল 'T' এবং সেলসিয়াস তাপমাত্রার (t°C-এর) সাথে 273 যোগ করে কেলভিন তাপমাত্রা একক প্রকাশ করা হয়। সুতরাং T K = (273 + t° C)। সেলসিয়াস স্কেলে তাপমাত্রার ঋণাত্মক মান থাকলেও কেলভিন বা পরম তাপমাত্রা স্কেলে তাপমাত্রার কোনো ঋণাত্মক মান নেই। এটিই তাপমাত্রার সেলসিয়াস স্কেল ও কেলভিন স্কেলের গুণগত পার্থক্য।

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

চার্লসের সূত্র : স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন এর পরম তাপমাত্রা বা কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক হয়।

চার্লসের সূত্রের গাণিতিক ব্যাখ্যা : স্থির চাপে (P) নির্দিষ্ট পরিমাণ (n মোল) 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, $\frac{V}{T} = \frac{V_1}{T_1}$ (MAT: 15-16)

∴ 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 (P) যেকোনো পরিমাণ (n) গ্যাসের জন্য প্রযোজ্য।

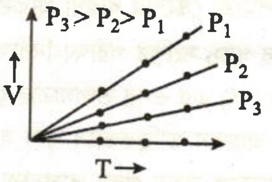
জেনে রাখো : গ্যাসের সূত্রভিত্তিক গণনার বেলায় তাপমাত্রাকে সবসময় কেলভিন স্কেলে রূপান্তর করতে হয়। সেলসিয়াস এককে, এ সূত্র মতে গণনা মিলবে না। যেমন, 1 mol গ্যাসকে 200 K থেকে 400 K তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে এর আয়তন দ্বিগুণ হয়। কিন্তু 200°C থেকে 400°C তাপমাত্রায় এর আয়তন 1.42 গুণ বাড়ে। অর্থাৎ

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

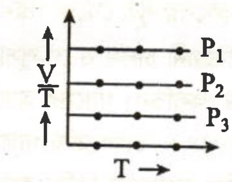
চার্লসের সূত্রের সমীকরণ, $V = KT$, বয়েলের সূত্রের সমীকরণের মতোই সরলরেখার সমীকরণ $y = (mx + c)$ কে সমর্থন করে। এক্ষেত্রে $y = V$, m = সরলরেখার ঢাল (slope) = K ধ্রুবক, $x = T$ এবং c = y অক্ষের ছেদন দূরত্ব = 0, তাই চিত্র ১.৮ মতে মানসম্মত পর্যবেক্ষণ ডাটা থেকে অঙ্কিত লেখটি মূল বিন্দুগামী সরলরেখা হয়েছে।

$$\begin{array}{cccc} V = & K & T + & 0 \\ \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ y = & m & x + & c \end{array}$$

স্থির চাপে, নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন (V) বনাম কেলভিন তাপমাত্রা (T) এর লেখচিত্র সব সময় মূলবিন্দু দিয়ে যাওয়া সরলরেখা হয়। আবার বিভিন্ন স্থির চাপে, গ্যাসের $\frac{V}{T}$ বনাম T লেখচিত্র অঙ্কন করলে প্রতিটি লেখচিত্র T অক্ষের অর্থাৎ X অক্ষের সমান্তরাল সরলরেখা হয়। সর্বনিম্ন চাপের সরলরেখা X অক্ষ থেকে অধিকতর দূরত্বে থাকে। বিভিন্ন স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন (V) ও কেলভিন তাপমাত্রা (T) সম্পর্কীয় এসব লেখকে চার্লসের সূত্রের সমচাপীয় লেখ বা আইসোবার (isobar) বলে। (চিত্র-১.৮.১ ও ১.৮.২)।



চিত্র-১.৮.১: বিভিন্ন স্থির চাপে, নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের V বনাম T লেখচিত্র



চিত্র-১.৮.২: বিভিন্ন স্থির চাপে, নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের $\frac{V}{T}$ বনাম T লেখচিত্র

চার্লসের সূত্র প্রয়োগে গাণিতিক সমাধান

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৬ : 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,

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

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

প্রশ্নমতে,

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

গ্যাসের ১ম আয়তন, $V_1 = 906$ mL

গ্যাসের ২য় তাপমাত্রা, $T_2 = ?$

গ্যাসের ২য় আয়তন, $V_2 = 500$ mL

উঃ 165.56 K অর্থাৎ (165.56 – 273)°C = – 107.44°C

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৭ : একটি গ্যাসের তাপমাত্রা 17°C হতে বাড়ানো হলো। ফলে গ্যাসের চাপ অপরিবর্তিত রইলো, কিন্তু গ্যাসের আয়তন দ্বিগুণ হয়ে গেল। তাপমাত্রা কত বাড়ানো হলো?

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

সমাধান : চার্লসের সূত্র মতে,

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

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

প্রশ্নমতে,

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

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

গ্যাসের ২য় তাপমাত্রা, $T_2 = ?$

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

∴ পরিবর্তিত তাপমাত্রা = (580 – 273)°C = 307°C ∴ নির্ণেয় তাপমাত্রার বৃদ্ধি = (307 – 17)°C = 290°C **(উঃ)**

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৮ : 27°C তাপমাত্রায় একটি গ্যাস সিলিন্ডারে 5.0 L 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 (Strategy) : এক্ষেত্রে গ্যাসের চাপ স্থির আছে। তাই চার্লসের সূত্র প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : চার্লসের সূত্র মতে,

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

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

প্রশ্নমতে,

গ্যাসের ১ম আয়তন, $V_1 = 5.0$ L

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

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

গ্যাসের ২য় আয়তন, $V_2 = ?$

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

উত্তর : সিলিন্ডার থেকে 0.05 L গ্যাস বের হয়ে যাবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৯ : 17° C তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে 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 ও 1 atm চাপে নিয়ে গেলে বেলুনটি ফেটে যাবে কি? কত তাপমাত্রায় বেলুনটি ফেটে যাবে?

দক্ষতা (Strategy) : 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 $V_2 = \frac{950 \times 10\ cm^3}{9}$

MCQ–1.6 : চার্লসের সূত্রের সমীকরণ কোনটি?

(ক) $P_1V_1 = P_2V_2$

(খ) $V_1/T_1 = V_2/T_2$

(গ) $V_1/P_1 = V_2/P_2$

(ঘ) $T_1/V_1 = T_2/V_2$

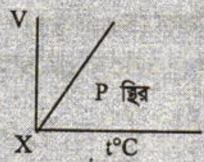
১ম তাপমাত্রা, $T_1 = (17 + 273)\ K = 290\ K$
বেলুনের সর্বোচ্চ আয়তনের বেলায় তাপমাত্রা, $T_2 = ?$

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

∴ বেলুনটির ফাটার তাপমাত্রা = $(322.2 - 273)°C = 49.2°C$।
তাই 40°C তাপমাত্রার কক্ষে বেলুনটি ফাটবে না।

MCQ–1.7 : লেখচিত্র মতে X বিন্দুতে তাপমাত্রা কত ?



(ক) –273°C (খ) 0°C
(গ) 100°C (ঘ) –100°C

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১০ : 27°C তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুর আয়তন বায়ুমণ্ডলীয় চাপে 500 cm³ হয়। বায়ুর চাপ স্থির থাকলে কত তাপমাত্রায় ঐ পরিমাণ বায়ুর আয়তন দ্বিগুণ হবে?

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

প্রশ্নমতে,
গ্যাসের ১ম তাপমাত্রা, $T_1 = (27 + 273)\ K = 300\ K$
গ্যাসের ১ম আয়তন, $V_1 = 500\ cm^3$
গ্যাসের ২য় তাপমাত্রা, $T_2 = ?$
গ্যাসের ২য় আয়তন, $V_2 = 2 \times 500\ cm^3$

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

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

∴ $T_2 = 600\ K$;
নির্ণেয় তাপমাত্রা = $(600 - 273)°C = 327°C$ (উঃ)।

*** 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,

$\frac{W}{d_1T_1} = \frac{W}{d_2T_2} = K$ (স্থির সংখ্যা) ; বা, $\frac{1}{d_1T_1} = \frac{1}{d_2T_2}$ = স্থির সংখ্যা;

বা, $d_1T_1 = d_2T_2 = K$ (ধ্রুবক)

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

MCQ-1.8 : পরমশূন্য তাপমাত্রা কত?
(ক) –273 K (খ) 0 K
(গ) 0°C (ঘ) 273 K

∴ 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); অথবা, $\boxed{T_1 \times d_1 = T_2 \times d_2}$

শিক্ষার্থী নিজে করো– ১.২ : 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 কোনো গ্যাসের তাপমাত্রা কত বাড়ালে তার আয়তন দ্বিগুণ হবে?
[উঃ 273°C প্রাথমিক তাপমাত্রা 0°C হলে]

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

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

সমস্যা-১.১৮ : স্থির চাপে ও 20°C তাপমাত্রায় 1600 mL চেতনানাশক গ্যাস কোনো রোগীর শরীরে প্রবেশ করানো হয়। রোগীর দেহের তাপমাত্রা 37°C হলে প্রবিষ্ট গ্যাসের আয়তন কত হবে? [উঃ 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? [উঃ 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? [উঃ 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 $\frac{7}{8}$ অংশ। বেলুনটিকে 35°C তাপমাত্রায় রাখা হলে বেলুনটি ফাটবে কিনা? এর যুক্তি দাও।

[উঃ 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, চার্লসের 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 (Amonton's Law)। এ সম্পর্ক জানার জন্য তোমার দূরের পথে (যেমন চট্টগ্রাম শহর থেকে কক্সবাজার যাওয়ার 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 যেকোনো গ্যাসের প্রযুক্ত চাপ গ্যাসের কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক।**

গে-লুসাকের চাপের সূত্রের গাণিতিক ব্যাখ্যা : স্থির আয়তনে (V) নির্দিষ্ট পরিমাণ (n মোল) কোনো গ্যাসের চাপ P_1 এবং কেলভিন তাপমাত্রা T_1 হলে তখন গে-লুসাক-অ্যামনটনের সূত্র মতে,

$P_1 \propto T_1$, যখন n ও V স্থির থাকে।

বা, $P_1 = KT_1$,

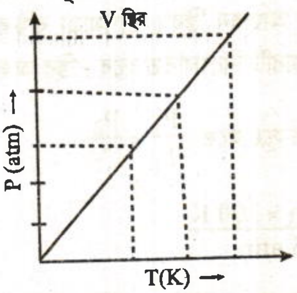
বা, $\frac{P_1}{T_1} = K$ (ধ্রুবক) ....(১)

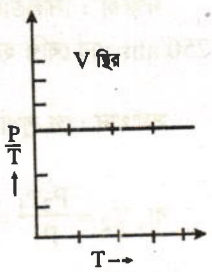
এখানে K হলো আনুপাতিক ধ্রুবক;

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

অনুরূপভাবে পাই,

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





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

গে-লুসাকের চাপের সূত্রের সমীকরণ P = KT মতে, গ্যাসের চাপ (P) বনাম 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)। (খ) এর ক্ষেত্রে P/T = K।

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।

*** জেনে নাও : তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি পায় কেন?** [ব. বো. ২০১৯]

সমাধান : আমরা জানি, গ্যাসপাত্রে গ্যাসের অণুসমূহ অবিরত ইতস্তত বিভিন্ন গতিবেগে ছোটাছুটি করে। গ্যাস অণুসমূহের এরূপ স্বাভাবিক ছোটাছুটির ফলে গ্যাসপাত্রের একক ক্ষেত্রফলের ওপর গ্যাস অণুসমূহ যে বল প্রয়োগ করে, তাকে গ্যাসের চাপ বলে।

গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে উত্তপ্ত গ্যাস অণুসমূহের **গতিশক্তি বেড়ে যায়।** তখন উত্তপ্ত গ্যাস অণুসমূহ অধিকতর বেগে গ্যাসপাত্রের দেয়ালের একক ক্ষেত্রফলের ওপর অধিক বল প্রয়োগ করে; ফলে গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি পায়। গে-লুসাকের চাপের সূত্রমতে, গ্যাসের চাপের পরিমাণ গ্যাসের কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক হয়। অর্থাৎ $P \alpha T$; যখন n ও V স্থির থাকে।

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

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১১ : 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 সম্পর্কভিত্তিক সমীকরণ প্রযোজ্য।

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

$$d_1T_1 = d_2T_2; \text{ বা, } d_2 = \frac{d_1T_1}{T_2}$$

$$\text{বা, } d_2 = \frac{22 \text{ kgm}^{-3} \times 273 \text{ K}}{284 \text{ K}} = 21.15 \text{ kgm}^{-3}$$

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

প্রশ্নমতে,

প্রাথমিক তাপমাত্রা, T_1 = প্রমাণ তাপমাত্রা = 273 K

প্রাথমিক ঘনত্ব, $d_1 = 22$ kgm^{-3}

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

পরিবর্তিত ঘনত্ব, d_2 = ?

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১২ : 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 গে-লুসাকের চাপের সূত্র প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : গে-লুসাকের চাপের সূত্র মতে, $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

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

বা, $T_2 = 600$ K

প্রশ্নমতে,

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

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 চাপ 250 atm থেকে বৃদ্ধি পেয়ে সিলিন্ডারটি বিস্ফোরিত হবে। **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১৩ : একটি লোহার সিলিন্ডারে 250 kPa চাপে ও 27°C তাপমাত্রায় হিলিয়াম গ্যাসভর্তি আছে। সিলিন্ডারটি 1000 kPa চাপ সহ্য করতে পারে। আগুন লাগলে সিলিন্ডারটির গলনাঙ্ক তাপমাত্রায় গ্যাসের চাপ কত হবে? সিলিন্ডারটি ফেটে যাবে, নাকি গলে যাবে; তা ব্যাখ্যা করো। [সিলিন্ডারের লোহার গলনাঙ্ক =1800 K]

[বুয়েট : ২০১৮]

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

সমাধান : গে-লুসাকের চাপের সূত্রমতে,

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

$$\text{বা, } P_2 = \frac{250 \text{ kPa} \times 1800 \text{ K}}{300 \text{ K}} = 1500 \text{ kPa}$$

প্রশ্নমতে,

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

গ্যাসের ১ম চাপ, $P_1 = 250$ kPa

গ্যাসের শেষ তাপমাত্রা $T_2 = 1800$ K

গ্যাসের শেষ চাপ, $P_2 = ?$

∴ সিলিন্ডারটির সহ্যসীমার চাপ 1000 kPa; কিন্তু 1800 K তাপমাত্রায় চাপ হয়েছে 1500 kPa

যেহেতু শেষ চাপ 1500 kPa যা সিলিন্ডারটির সহ্যসীমা 1000 kPa এর অনেক বেশি; তাই সিলিন্ডারটি না গলে অধিক চাপে ফেটে যাবে।

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১৪ : সেফটি ভালভযুক্ত 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 গ্যাসভর্তি 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 সূত্রমতে,

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

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

বা, $P_2 = 1228.4$ torr

প্রশ্নমতে,

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

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

শেষ চাপ, $P_2 = ?$

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

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

শিক্ষার্থী নিজে করো – ১.৩ : 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? [উঃ 84.6°C]

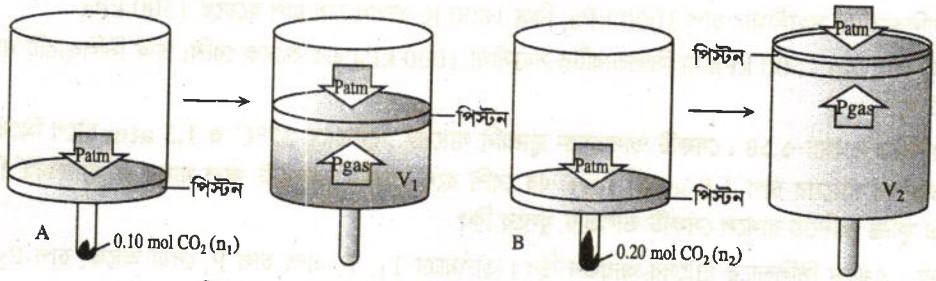
সমস্যা– ১.২৩ (ক) : একটি অক্সিজেন সিলিন্ডার 300 atm চাপ সহ্য করতে পারে। ঐ সিলিন্ডারটিকে 150 atm ও 27°C এ অক্সিজেন দ্বারা পূর্ণ করা হয়। কত তাপমাত্রায় সিলিন্ডারটি বিস্ফোরিত হবে? [উঃ 327°C]

সমস্যা–১.২৩ (খ) : 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? [উঃ 1.5×10^3 kPa; বিস্ফোরিত হবে।]

সমস্যা–১.২৪ : একটি সেফ্‌টি ভালভযুক্ত জ্বালানি গ্যাসের সিলিন্ডারে 23°C ও 0.99 atm চাপে মিথেন গ্যাসভর্তি আছে। ভেতরের গ্যাসের চাপ 1.0×10^3 torr এর বেশি হলে সেফটি ভালভটি খুলে যায়। ঐ গ্যাস ভর্তি সিলিন্ডারটিকে 100°C- এ ফুটন্ত পানিতে রাখলে সেফ্‌টি ভালভ খুলবে কি? [উঃ $P_2 = 948.1$ torr; ভালভটি খুলবে না।]

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

বয়েল ও চার্লসের সূত্রে প্রতি ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট পরিমাণ (n মোল) গ্যাস নিয়ে পরীক্ষা করা হয়েছে। এখন গ্যাসের পরিমাণ ভিন্ন করে পরীক্ষা করা হবে। পরের চিত্র-১.৯ মতে, দুটি পিস্টন-সিলিন্ডারের নিচে দুটি টেস্টটিউব যুক্ত করা হয়। ১ম টেস্টটিউব A-তে 0.10 মোল (4.4 g) শুষ্ক বরফ (জমাটবদ্ধ CO_2) ও ২য় টেস্টটিউব B -তে 0.20 মোল (8.8 g) 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। লক্ষ্য করো 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 এটির পরিমাণ বা মোল সংখ্যার সমানুপাতিক।** অর্থাৎ $V \propto n$, তখন P ও T স্থির; বা, $V = K \times n$, 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 যেকোনো আদর্শ গ্যাসের সমআয়তনে সমসংখ্যক কণা বা মোল থাকে।**

গ্যাসের প্রমাণ অবস্থাসমূহ : যেসব 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, 273.15 K ও চাপ 1 atm বা, 760 mm (Hg) বা, 760 টর (torr) এ গ্যাসের প্রমাণ মোলার আয়তন = 22.4141L অথবা 22.4 L 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, 44 g CO_2 হলো এক মোল CO_2। 44 g CO_2 এ অণু থাকে 6.022×10^{23} টি

18 g H_2O (পানি) হলো এক মোল পানি। 18 g 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 = 23 g 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 1 atm চাপে গ্যাসের মোলার আয়তন হয় = 24.040 L
25°C বা SATP– তে গ্যাসের মোলার আয়তন হয় = 24.789 L

> **MCQ–1.9 : STP-তে 1 mol SO_2 এর আয়তন কত?**
> (ক) 22.414 dm^3 (খ) 24.789 dm^3
> (গ) 224 L (ঘ) 22400 dm^3

অ্যাভোগাড্রো–সংখ্যাভিত্তিক গাণিতিক সমাধান

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১৫ : 16 g অক্সিজেন গ্যাসে কয়টি অণু থাকে?

দক্ষতা : এক মোল অক্সিজেন (O_2) = 32 g 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)

> **MCQ–1.10 : চার্লসের সূত্রের লেখচিত্রের নাম কী ?**
> (ক) আইসোথার্ম (খ) আইসোবার
> (গ) আইসোকোর (ঘ) আইসোটোপ

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১৬ : 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 = 1.0 g হাইড্রোজেন।

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

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১৭ : 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।

$N_A = 6.022 \times 10^{23}$ টি।

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা–১.১৮ : 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।

∴ $\frac{1 \times 55.6}{2 \times 1000}$ 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।

$\therefore$ 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–১.১৯ : STP -তে 1 mL অক্সিজেন গ্যাসে কয়টি অক্সিজেন অণু থাকে?

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

$\therefore$ 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 নিজে করো–১.৪ : অ্যাভোগাড্রো সংখ্যাভিত্তিক সমস্যা :

প্রযোজ্য ডাটা : $N_A = 6.022 \times 10^{23}$, STP -তে $V_m = 22.414 \text{ L moL}^{-1}$

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

(খ) 5 g পানিতে H ও O পরমাণুর সংখ্যা গণনা করো। [H = 1.008]
[উঃ H = $3.342584368 \times 10^{23}$ টি; O = $1.671292184 \times 10^{23}$ টি]

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

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

(ঙ) 5 g CO_2 গ্যাসে এর কয়টি অণু থাকে? [উঃ 6.84318×10^{22} টি]

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

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

সমস্যা–১.২৬ (ক) প্রমাণ অবস্থায় 10 mL NH_3 গ্যাসের ভর কত? [7.5845×10^{-3} g]

(খ) STP -তে 1 mL নাইট্রোজেনে কয়টি অণু থাকে? [উঃ 2.6867×10^{19}টি]

(গ) প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে 2 L মিথেন গ্যাসে অণুর সংখ্যা কত? [উঃ 5.373427×10^{22} টি]

(ঘ) STP -তে 200 mL গ্যাসে কয়টি অণু থাকে? [উঃ 5.373427×10^{21} টি]

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

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

(খ) 500 টি স্বাক্ষর দিতে গ্রাফাইট পেন্সিলের 55.6 mg ক্ষয় হয়। প্রতিটি স্বাক্ষরে কয়টি কার্বন পরমাণু খরচ হয়?
[উঃ 5.58038×10^{18} টি]

সমস্যা – ১.২৮ (ক) এক বিকার পানি থেকে কক্ষতাপমাত্রায় ও চাপে (SATP) যদি প্রতি ঘণ্টায় 1 mg পানি বাষ্পীভূত হয়। তবে ঐ প্রক্রিয়ায় প্রতি ঘণ্টায় কয়টি জলীয়বাষ্পের অণু উৎপন্ন হবে? [উঃ 3.3455555×10^{19} টি]

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

১.৩.৫ বয়েল ও চার্লসের সূত্র থেকে সমন্বয় সূত্র

Combined gas Law based on Boyle's & Charles's Laws

গ্যাসের সমন্বয় সূত্র : যেকোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের (n স্থির) বেলায় তিনটি পরিবর্তনশীল রাশি V, P, T এর মধ্যে যেকোনো 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,

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

(DAT : 21-22)

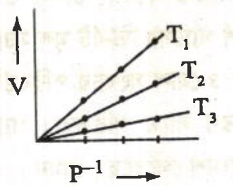
এখন সমীকরণ (১) ও (২) থেকে পাই $\frac{PV}{T} = \frac{P_1V_1}{T_1}$; এটি হলো গ্যাসের দুটি ভিন্ন তাপমাত্রা ও ভিন্ন চাপে বয়েল ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয় সমীকরণ।

সমাধানকৃত সমস্যা–১.২০ : বয়েলের সূত্র ও চার্লসের সূত্রভিত্তিক সমস্যা :

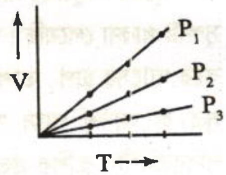
নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের সমাধান করো : [কু. বো. ২০১৫]

(ক) উদ্দীপকের 'B' নং লেখচিত্রটি যে গ্যাসসূত্র সমর্থন করে তার ব্যাখ্যা করো।

(খ) উদ্দীপকের 'A' ও 'B' লেখচিত্র সমর্থিত গ্যাস সূত্রদ্বয়ের সমন্বয় সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করে বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে এ সমীকরণের প্রযোজ্যতা ব্যাখ্যা করো।



'A' লেখচিত্র



'B' লেখচিত্র

সমাধান : (ক) উদ্দীপকে প্রদত্ত 'B' নং লেখচিত্রটিতে গ্যাসের তিনটি মূল বিন্দুগামী সরলরৈখিক লেখের বেলায় P_1, P_2 ও P_3 স্থির চাপে প্রতি ক্ষেত্রে গ্যাসের আয়তন (V) বনাম কেলভিন তাপমাত্রা (T) এর মধ্যে সম্পর্ক প্রকাশ পেয়েছে।

সুতরাং 'B' লেখচিত্রটি হলো সমচাপীয় লেখ বা আইসোবার, যা চার্লসের সূত্রকে সমর্থন করে। চার্লসের সূত্রটি হলো – "স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের (n মোল) কোনো গ্যাসের আয়তন (V) এর কেলভিন তাপমাত্রা (T) বা পরম তাপমাত্রার সমানুপাতিক হয়।" অর্থাৎ

$V \propto T$; যখন n ও P স্থির থাকে। বা, $V = KT$

নির্ণীত $V = KT$ সমীকরণটি হলো মূলবিন্দুগামী সরলরেখার সমীকরণ $y = mx$ এর অনুরূপ। এক্ষেত্রে পরস্পর সম্পর্কযুক্ত দুটি 'চলক' (বা variable) হলো গ্যাসের আয়তন (V) ও কেলভিন তাপমাত্রা (T)। সুতরাং চার্লসের সূত্রভিত্তিক $V = KT$ সমীকরণটি প্রদত্ত 'B' লেখচিত্রের তিনটি 'সমচাপীয়-লেখ'কে সমর্থন করে।

সমাধান : (খ) উদ্দীপকের 'A' ও 'B' লেখচিত্র সমর্থিত গ্যাস সূত্রদ্বয়ের সমন্বয় সমীকরণ প্রতিষ্ঠা :

উদ্দীপকে প্রদত্ত 'A' নং লেখচিত্রটিতে গ্যাসের তিনটি মূল বিন্দুগামী সরলরৈখিক লেখের বেলায় T_1, T_2 ও T_3 স্থির কেলভিন তাপমাত্রায় প্রতি ক্ষেত্রে গ্যাসের আয়তন (V) বনাম চাপের ব্যস্তানুপাতিক (P^{-1}) সম্পর্ক প্রকাশ পেয়েছে।

সুতরাং 'A' লেখচিত্রটি হলো সমোষ্ণ লেখ বা আইসোথার্ম, যা বয়েলের সূত্রকে সমর্থন করে। বয়েলের সূত্রটি হলো– 'স্থির তাপমাত্রায় (T) নির্দিষ্ট ভরের (n মোল) কোনো গ্যাসের আয়তন (V) ঐ গ্যাসের ওপর প্রযুক্ত চাপ (P) এর ব্যস্তানুপাতিক হয়।' অর্থাৎ $V \propto \frac{1}{P}$ ' যখন n ও T স্থির থাকে; .... (1)

আবার উদ্দীপকে প্রদত্ত **'B'** নং লেখচিত্রটি হলো গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য চার্লসের সূত্র সমর্থনকারী আইসোবার বা সমচাপীয় লেখ। চার্লসের সূত্রটি হলো : স্থির চাপে নির্দিষ্ট ভরের (n মোল) কোনো গ্যাসের আয়তন (V), এর পরম তাপমাত্রা বা, কেলভিন তাপমাত্রার (T) সমানুপাতিক হয়।

অর্থাৎ $V \propto T$, যখন n ও P স্থির থাকে; .... (2)

এখন (1) ও (2) নং সমীকরণ দুটিকে সমন্বয় করে পাই,

$V \propto \frac{1}{P} \times T$, যখন গ্যাসের P ও T উভয়ই পরিবর্তনশীল;

বা, $V = \frac{K \times T}{P}$, এখানে K হলো আনুপাতিক ধ্রুবক;

বা, $PV = KT$, এ সমীকরণটি হলো : বয়েলের সূত্র ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয় সমীকরণ।

বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে এ সমীকরণের প্রযোজ্যতা ব্যাখ্যা :

(১) বয়েল ও চার্লসের সূত্রভিত্তিক সমীকরণ $PV = KT$ আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে সকল তাপমাত্রা ও চাপে প্রযোজ্য হয়।

(২) বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে কেবল উচ্চতাপমাত্রায় ও নিম্নচাপে সমীকরণটি সঠিকভাবে প্রযোজ্য হয়ে থাকে।

(৩) তাই বাস্তব গ্যাসের জন্য প্রযোজ্য ভ্যানডার ওয়ালসের সমীকরণ রয়েছে।

১.৩.৬ আদর্শ গ্যাস সূত্র বা আদর্শ গ্যাস সমীকরণ (The Ideal Gas Equation) (DAT: 21-22)

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;

MCQ–1.11 : SI এককে R এর মান কোনটি?

(ক) 8.304 J	(খ) 8.314 $JK^{-1}mol^{-1}$.
(গ) 0.08 km	(ঘ) 0.083 km

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

$V \propto \frac{nT}{P}$; বা, $PV = nRT$; এক্ষেত্রে R হলো মোলার গ্যাস ধ্রুবক। এ সমীকরণটিকে আদর্শ গ্যাস সমীকরণ বলে।

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

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 যেকোনো 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;

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

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

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

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

গ্যাসের চাপ : গ্যাসপাত্রের দেওয়ালের একক ক্ষেত্রফলের ওপর গ্যাস অণুসমূহ যে বল প্রয়োগ করে, তাকে গ্যাসের চাপ বলে।

$$\text{অর্থাৎ গ্যাসের চাপ} = \frac{\text{বল}}{\text{দেওয়ালের ক্ষেত্রফল}}$$

$$\therefore \text{চাপ (P)} = \frac{\text{বল}}{(\text{দৈর্ঘ্য})^2} \quad P = \frac{\text{N (নিউটন)}}{m^2 (\text{মিটার})^2}$$

$$\therefore P = Nm^{-2}$$

$$= kgms^{-2}.m^{-2} = kg.m^{-1}.s^{-2}$$

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. atm) একক, SI একক, CGS একক ও ক্যালরি 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 হয়। V = 22.414L ও চাপ P = 1 atm ধরা হয়। যেমন,

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

(খ) SI এককে R-এর মান নির্ণয় : SI এককে গ্যাসের মোলার আয়তন কিউবিক মিটারে এবং চাপ প্যাসকেল এককে হয়।

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\therefore R = 8.32 \times 10^7\ (dyne.cm)\ K^{-1}\ mol^{-1} = 8.32 \times 10^7\ erg\ K^{-1}\ mol^{-1} \quad [\because 1\ dyne.cm = 1\ erg]$$

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

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

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

জেনে নাও : শক্তির একক ক্যালরি (calorie) কেবলমাত্র খাদ্যবস্তুর food value প্রকাশের জন্য ব্যবহৃত হয়।

নিচে বিভিন্ন এককে R এর মান ও গাণিতিক সমস্যা সমাধানে ব্যবহৃত সংশ্লিষ্ট একক দেখানো হলো :

এককের নাম	R এর মান	আয়তন	চাপ	ভর
(১) L.atm একক :	$0.082\ L.atm.mol^{-1}.K^{-1}$	L	atm	g
(২) S.I. বা, জুল একক :	$8.314\ J.mol^{-1}.K^{-1}$	m^3	Pa/Nm^{-2}	kg
(৩) CGS বা, আর্গ একক :	$8.32 \times 10^7 erg\ .mol^{-1}.K^{-1}$	cm^3	$dyne.cm^{-2}$	g
(৪) ক্যালরি একক :	$1.987\ cal.mol^{-1}.K^{-1}$:	: খাদ্যবস্তুর food value গণনায় ব্যবহৃত হয়।		

বোল্ট্জম্যান ধ্রুবক (Boltzmann Constant) : গ্যাসের অণু প্রতি গ্যাস ধ্রুবকের মানকে বোল্টজম্যান ধ্রুবক বলে। বোল্টজম্যান 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 : $k = \frac{R}{N_A} = \frac{0.082\ L.atm.mol^{-1}\ K^{-1}}{6.022 \times 10^{23}\ molecules\ mol^{-1}}$

$$= 1.36 \times 10^{-25}\ L.atm.K^{-1}molecule^{-1}$$

(খ) জুল বা SI এককে : $k = \frac{R}{N_A} = \frac{8.314\ J\ mol^{-1}\ K^{-1}}{6.02210^{23}\ molecules\ mol^{-1}} = 1.38 \times 10^{-23}\ JK^{-1}\ molecule^{-1}$

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

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

(1) নং সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, কোনো 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—

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

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 কোনো 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,

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

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

বা, $T_2 = 885$ K

∴ ২য় অবস্থায় তাপমাত্রা = 885 K

বা, $T_2 = (885 - 273)°C = 612°C$

∴ তাপমাত্রার বৃদ্ধি = $(612 - 27)°C = 585°C$ **(উত্তর)**

১ম অবস্থায়,

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

গ্যাসের চাপ, $P_1 = 0.8$ atm

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

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

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

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

∴ $V_2 = 1.1286$ L **(উত্তর)**

১ম অবস্থায়,

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

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

গ্যাসের আয়তন, $V_1 = 1000$ mL = 1L

২য় অবস্থায়,

গ্যাসের চাপ, $P_2 = 74/76$ atm

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

গ্যাসের আয়তন, $V_2 = ?$

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

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 = 300 K

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

STP অবস্থায়,

গ্যাসের চাপ, $P_2 = 101.325$ kPa

গ্যাসের তাপমাত্রা, $T_2 = 273$ K

গ্যাসের আয়তন, $V_2 = ?$

বয়েল ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয় সমীকরণ মতে,

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}; \quad \therefore V_2 = \frac{P_1V_1 \times T_2}{T_1 \times P_2}$$

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

$$\text{বা, } V_2 = 3.664 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

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

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

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

MCQ–1.12 : কোনো গ্যাসের তাপমাত্রা 27°C থেকে কত বাড়ালে আয়তন দ্বিগুণ হবে? (একই সাথে চাপ 0.8 atm থেকে 1.6 atm করা হলো।)

(ক) 800°C (খ) 900° C

(গ) 850°C (ঘ) 910°C

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 = 293 K

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 = 320 K

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

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

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)**

MCQ–1.13 : SI এককে বোল্টজম্যান ধ্রুবকের মান কত?

(ক) 8.314 JK^{-1} mol^{-1}

(খ) 1.36×10^{-25} L. atmK^{-1} mol^{-1}

(গ) 1.38×10^{-23} JK^{-1} molecule

(ঘ) 1.987 cal K^{-1} mol^{-1}

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

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

সমাধান : আদর্শ গ্যাস সমীকরণ মতে, $PV = nRT$

বা, $n = \frac{PV}{RT}$

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

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

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

প্রশ্নমতে,

গ্যাসের চাপ, $P = (77/76)\ atm$

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

গ্যাসের আয়তন, $V = 20\ L$

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 1 mL 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,

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

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

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

প্রশ্নমতে,

গ্যাসের চাপ, $P = 0.987\ atm$

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

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

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 = 2.3907×10^{19} টি। **(উত্তর)**

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

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

বা, $n = 0.010230302\ mol$

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

গ্যাসের আয়তন, $V = 0.250\ L$

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

মোল সংখ্যা, $n = ?$

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

আবার মিথেন (CH_4) এর আণবিক ভর = 16। $\therefore$ 1 mol মিথেনের ভর = 16 g

$\therefore$ 0.010230302 mol মিথেনের ভর = $0.010230302 \times 16\ g = 0.16368432\ g$ **(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,

প্রশ্নমতে, গ্যাসের ভর, $w = 0.842$ g

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

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

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

গ্যাসের আয়তন, V = 400 mL = 0.4 L

গ্যাসের আ. ভর, M = ?

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

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

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

$$বা,\ M = 51.942\ g\ mol^{-1}$$

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

সমাধানকৃত সমস্যা–১.২৯ : 30°C তাপমাত্রায় ও 95 kPa চাপে 250 mL কোনো গ্যাসের ভর 0.2 g 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,

প্রশ্নমতে, গ্যাসের ভর, w = 0.2 g

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

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

গ্যাসের আয়তন, V = 250 mL = 0.25 L

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

গ্যাসের আ. ভর M = ?

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

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

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

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

∴ গ্যাসটির আণবিক ভর = 21.2 **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৩০ : 27°C তাপমাত্রায় ও 0.526 atm চাপে 15 g নাইট্রোজেন 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,

প্রশ্নমতে, গ্যাসের ভর, w = 15 g

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

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 = ?

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

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

$$বা,\ V = \frac{15 \times 0.082 \times 300\ L}{0.526 \times 28} = 25.05L$$ **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৩১ : 30°C তাপমাত্রায় 12 g CO_2 গ্যাসের আয়তন 5 L 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, $P = \frac{12\ g \times 0.082\ L.atm.K^{-1}\ mol^{-1} \times\ 303\ K}{5L \times 44\ gmol^{-1}}$

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 = 12 g
CO_2 গ্যাসের গ্রাম-আণবিক ভর, $M = 44\ gmol^{-1}$
গ্যাসের তাপমাত্রা, T = (30 + 273) K = 303 K
গ্যাসের আয়তন, V = 5 L
গ্যাসের চাপ, P = ?
গ্যাস ধ্রুবক, $R = 0.082\ L.atm.\ K^{-1}\ mol^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা -১.৩২ : 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 মতে,

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

বা, $\frac{w}{V} = \frac{PM}{RT}$; বা, $d = \frac{PM}{RT}$;

[ঘনত্ব d হলো একক আয়তনে পদার্থের পরিমাণ]

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

বা, $d = 1.514\ gL^{-1}$ **(উত্তর)**

প্রশ্নমতে, গ্যাসের চাপ, P = 1.0526 atm
গ্রাম আণবিক ভর, $M = 44\ g\ mol^{-1}$
তাপমাত্রা, T = (100 + 273) K = 373 K
গ্যাস ধ্রুবক, $R = 0.082\ L.\ atm.\ K^{-1}\ mol^{-1}$
গ্যাসের ঘনত্ব, d = ?

> **MCQ–1.14 : 8 g He এর জন্যে আদর্শ গ্যাস সমীকরণ কোনটি ?** [দি. বো. ২০১৫]
> (ক) PV = nRT (খ) PV = RT
> (গ) PV = 2RT (ঘ) 2PV = RT

সমাধানকৃত সমস্যা- ১.৩৩ : একটি বায়ুশূন্য 10 L আয়তনের সিলিন্ডারে 2 g H_2 গ্যাস ও 2 g 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

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

সিলিন্ডারে উভয় গ্যাসের মোট মোল সংখ্যা (n) = (1 + 0.5) = 1.5 mol
প্রশ্নমতে, গ্যাসের তাপমাত্রা, T = (27 + 273) K = 300 K
গ্যাসের আয়তন, V = 10 L, গ্যাস ধ্রুবক, $R = 0.082\ L\ atm\ K^{-1}\ mol^{-1}$, গ্যাসের চাপ P = ?
আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ মতে, PV = nRT

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

বা, $P = \frac{1.5 \times 0.082 \times 300}{10}$ atm $\therefore P = 3.69$ atm **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৩৪ : একটি পূর্ণবয়স্ক লোকের ফুসফুসে বায়ুর ধারণ ক্ষমতা 3.8 L হলে এতে কত মোল গ্যাস বা বায়ু থাকবে? এ সময়ে বায়ুর চাপ 1 atm 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।

সমাধান : আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ PV = nRT প্রয়োগ করে পাই—

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

∴ একটি পূর্ণবয়স্ক লোকের ফুসফুস 0.15 mol বায়ু ধারণ করতে সক্ষম।

> **MCQ-1.15: বায়ুমণ্ডলের সর্বনিম্ন তাপমাত্রা কত?**
> (ক) –55°C (খ) –2°C
> (গ) –50°C (ঘ) –93°C

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৩৫ : গ্যাসের ঘনত্ব নির্ণয়ভিত্তিক সমস্যা : 25°C তাপমাত্রা ও 733.4 mm(Hg) চাপে 1.0 L বাল্বে রাখা অ্যামোনিয়া গ্যাসের ভর 0.672 g হয়। STP-তে ঐ গ্যাসের g/L ঘনত্ব বের করো।

দক্ষতা : গ্যাসীয় বস্তুর ঘনত্ব হলো STP-তে প্রতি লিটারে ঐ বস্তুর গ্রাম এককে ভর। প্রশ্নে অ্যামোনিয়ার ভর 0.672 g দেয়া আছে; প্রদত্ত গ্যাসের আয়তনকে STP-তে রূপান্তর করো। 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, $V_o = \frac{P_1V_1 \times T_o}{T_1 \times P_o}$

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

∴ STP -তে ঐ গ্যাসের আয়তন হলো 0.884 L

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

দেয়া আছে;

$P_1 = 733.4$ mm(Hg)

$V_1 = 1.0$ L

$T_1 = (25 + 273) = 298$ K

$P_o = 760$ mm(Hg)

$T_o = 273$ K

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৩৬ : অজানা গ্যাস শনাক্তকরণভিত্তিক সমস্যা :

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

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

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

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

বা, n = 0.041 mol

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

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

দেয়া আছে,

P = 736 mm(Hg) = 736/760 atm

V = 1.0 L

T = (15 + 273) K = 288 K

R = 0.08206 L.atm/K.mol

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৩৭ : একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের 0°C তাপমাত্রায় এবং নিম্নোক্ত বিভিন্ন চাপে নিম্নরূপ আয়তন হয় :

[ঢা. বো. ২০১৬]

প্রযুক্ত চাপ, P(atm) :	**0.25**	**0.50**	**0.75**
গ্যাসের আয়তন, V(L) :	**2.80**	**1.40**	**0.93**

(ক) উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট গ্যাসটির নির্দিষ্ট পরিমাণে অণুর সংখ্যা নির্ণয় করো।

(খ) উদ্দীপকের গ্যাসটি বয়েলের সূত্র অনুসরণ করবে কি? তা যুক্তিসহ ব্যাখ্যা করো।

দক্ষতা (Strategy) : (ক) PV = nRT সমীকরণ থেকে নির্ণীত গ্যাসের মোল সংখ্যা (n) কে অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা 6.022×10^{23} দ্বারা গুণ করলে মোট অণুর সংখ্যা পাওয়া যাবে।

(খ) বয়েলের সূত্র মতে, এক্ষেত্রে $P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = K$ (ধ্রুব) প্রমাণ করতে হবে।

সমাধান : (ক) আমরা জানি, PV = nRT;

বা, $n = \dfrac{PV}{RT}$

বা, $n = \dfrac{0.25 \text{ atm} \times 2.80 \text{ L}}{0.082 \text{ L.atm.mol}^{-1}.\text{K}^{-1} \times 273 \text{ K}}$

বা, n = 0.03127 mol

প্রশ্নমতে, চাপ, P = 0.25 atm

আয়তন, V = 2.80 L

তাপমাত্রা, T = (0 + 273) = 273 K

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

∴ গ্যাসটির অণুর সংখ্যা $= n \times N_A = 0.03127 \times 6.022 \times 10^{23} = 1.883 \times 10^{22}$ টি (প্রায়)

সমাধান : (খ) বয়েলের সূত্র মতে, 'স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন (V) এর ওপর প্রযুক্ত চাপ (P) এর ব্যস্তানুপাতিক হয়। অর্থাৎ,

$V \alpha \dfrac{1}{P}$, যখন n ও T স্থির; বা, $V = K \times \dfrac{1}{P}$, K হলো আনুপাতিক ধ্রুবক।

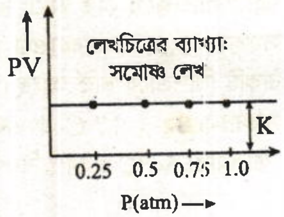
বা, PV = K হয়। অনুরূপভাবে ঐ গ্যাসের পরিবর্তিত চাপ P_1, P_2 ও P_3 হলে সংশ্লিষ্ট আয়তন হয় V_1, V_2 ও V_3। তাই পূর্বের সমীকরণ মতে $P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = K$ ধ্রুব মান হবে। লেখচিত্রের ক্ষেত্রে 0°C তাপমাত্রায় PV বনাম P লেখটি X অক্ষের সমান্তরাল সরলরেখা হবে, যার নাম হবে সমোষ্ণ লেখ বা আইসোথার্ম। যেমন,

গাণিতিক ব্যাখ্যা : প্রদত্ত ডাটা মতে,

$P_1V_1 = 0.25 \text{ atm} \times 2.80 \text{ L} = 0.7 \text{ L.atm} = K$ (ধ্রুবক)

$P_2V_2 = 0.50 \text{ atm} \times 1.40 \text{ L} = 0.7 \text{ L.atm} = K$ (ধ্রুবক)

$P_3V_3 = 0.75 \text{ atm} \times 0.93 \text{ L} = 0.6975 = 0.7 \text{ L.atm} = K$ (ধ্রুবক)



উদ্দীপকের ডাটা মতে, $P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = K$ হয়েছে। সুতরাং 0°C স্থির তাপমাত্রায় পরিবর্তিত চাপ (P) ও গ্যাসের আয়তন (V) এর গুণফল ধ্রুব মান হওয়ায় উদ্দীপকের গ্যাসটির আচরণ বয়েলের সূত্রকে অনুসরণ করেছে প্রমাণিত।

শিক্ষার্থী নিজে করো–১.৫ : বয়েলের ও চার্লসের সমন্বয় সূত্র ও আদর্শ গ্যাস সমীকরণভিত্তিক সমস্যা :

প্রযোজ্য সমীকরণ : (1) $P_1V_1/T_1 = P_2V_2/T_2$, (2) PV = nRT, (3) $PV = \dfrac{wRT}{M}$, (4) $d = \dfrac{PM}{RT}$

সমস্যা – ১.২৯ : চুনাপাথর ($CaCO_3$) ও HCl এসিডের বিক্রিয়ায় নিচের সমীকরণ মতে CO_2 গ্যাস উৎপন্ন হয় : কত গ্রাম CO_2 গ্যাস 33.7 g $CaCO_3$ থেকে উৎপন্ন হবে ? STP-তে লিটার এককে ঐ CO_2 গ্যাসের আয়তন কত?

$CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow CaCl_2(aq) + CO_2(g) + H_2O(l)$ [উঃ 14.828 g; 7.55 L]

সমস্যা – ১.৩০ : 100°C তাপমাত্রায় ও 1.0526 atm চাপে SO_2 এর ঘনত্ব কত? [উঃ 2.203 g L^{-1}]

সমস্যা –১.৩১ : $27^{\circ}C$ ও 1 atm. চাপে 20 L আয়তনে কত মোল মিথেন আছে? [উ: 0.813 mol]

সমস্যা– ১.৩২ : $25^{\circ}C$ ও 4.5 atm চাপে রাখা 15.0 L প্রোপেন (C_3H_8) গ্যাসের সিলিন্ডারের সব গ্যাসের দহনে উৎপন্ন CO_2 এর আয়তন STP-তে কত লিটার হবে? [উ: 185.52 L]

সমস্যা– ১.৩৩ : $30^{\circ}C$ এ ও 0.987 atm চাপে 1 mL গ্যাসে কয়টি অণু থাকে? [উ: 2.39222×10^{19} টি]

সমস্যা – ১.৩৪ : $30^{\circ}C$ এ ও 95 kPa চাপে 250 mL 'A' গ্যাসের ভর 0.2 g হয়। ঐ গ্যাসের আণবিক ভর কত?

[উ: 21.2]

সমস্যা –১.৩৫ : $25^{\circ}C$ এ ও 0.97 atm চাপে 2.50 g `A' গ্যাস 400 mL আয়তন দখল করে। গ্যাসটির আণবিক ভর কত? [উ: 157.45] [ব. বো. ২০১৫]

সমস্যা – ১.৩৬ : $20^{\circ}C$ এ ও 740 mm (Hg) চাপে 0.842 g একটি' গ্যাস 400 mL আয়তন দখল করে। গ্যাসটির আণবিক ভর কত? [উ: 51.942]

সমস্যা – ১.৩৭ : $18^{\circ}C$ তাপমাত্রায় ও 0.8 atm চাপে কোনো গ্যাসের ঘনত্ব 2.25 g L^{-1} হয়। গ্যাসটির গ্রাম আণবিক ভর কত? [**সংকেত :** অনুরূপ সমাধানকৃত সমস্যা -১.৩৬ দেখো।] [উ: 67.11 g moL^{-1}] [চ. বো. ২০১৬]

সমস্যা – ১.৩৮ : একটি দুর্গন্ধযুক্ত গ্যাস Na_2S ও HCl এসিডের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন করা হলো। STP -তে ঐ গ্যাসের 1.0 L এর ভর 1.52 g হয়। ঐ গ্যাসের গ্রাম–আণবিক ভর কত? ঐ গ্যাসের সংকেত ও নাম লেখ।

[উ: 34.069 g moL^{-1}; H_2S, হাইড্রোজেন সালফাইড]

সমস্যা – ১.৩৯ : মিথেন গ্যাসের স্টোরেজ ট্যাংকের ধারণ ক্ষমতা STP-তে 1.0×10^5 L হলে এতে কত মোল CH_4 গ্যাস আছে? গ্রাম এককে এর ভর কত? [উ: 4461.497 mol, 71383.952.g]

সমস্যা–১.৪০ : একটি এরোসল স্প্রে ক্যানের ধারণ ক্ষমতা 350 mL। এতে 3.2 g প্রোপেন গ্যাস (C_3H_8) প্রোপেল্যান্টরূপে ভর্তি আছে। 20°C এ ক্যানের ভেতর atm এককে গ্যাসের চাপ কত হবে? [উ: 4.99 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: 267.12 mol]

সমস্যা-১.৪২ : $17^{\circ}C$-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 আয়তন 59.3 mL হয়। কঠিন বস্তুটির আয়তন কত?

[উ: 6.696 cm^3]

সমস্যা–১.৪৩ : প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে কোনো 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 L হবে? [উ: 3.3 atm]

সমস্যা–১.৪৫ : 17°C তাপমাত্রায় ও 0.987 atm চাপে কোনো গ্যাসের আয়তন I L হয়। কত ডিগ্রি সেন্টিগ্রেড তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে গ্যাসটির আয়তন 1.2 L হবে? [উ: 79.58 °C]

সমস্যা–১.৪৬ : নির্দিষ্ট ভরের কোনো 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–১.৪৭ : 25°C তাপমাত্রায় ও 0.987 atm চাপে একটি বেলুনের ধারণ ক্ষমতা 0.5 L হয়। 15°C তাপমাত্রায় ও 0.93 atm চাপে বেলুনের ধারণ ক্ষমতার কী পরিবর্তন হবে? [উ: 0.0128 L বৃদ্ধি পায়]

সমস্যা-১.৪৮ : 20°C তাপমাত্রায় একটি কঠিন বস্তুসহ 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? [উঃ 13.154 cm^3]

সমস্যা -১.৪৯ : 27°C তাপমাত্রায় একটি কঠিন বস্তুসহ কোনো গ্যাসের নির্দিষ্ট ভরের আয়তন 100 mL হয়। ঐ গ্যাসের তাপমাত্রা 54°C এবং চাপ দ্বিগুণ করা হলে কঠিন বস্তুসহ গ্যাসের আয়তন 69.3 mL হয়। কঠিন বস্তুটির আয়তন কত? [উঃ 32.53 cm^3]

সমস্যা-১.৫০ : 27°C তাপমাত্রায় ও 75 cm (Hg) চাপে 25 L আয়তনে কত মোল CO_2 আছে। [উঃ 1.0029 mol]

সমস্যা-১.৫১ : 27°C তাপমাত্রায় ও 1.05 atm চাপে কোনো গ্যাসের আয়তন 3.5 L হয়। প্রমাণ অবস্থায় এর আয়তন কত হবে? এতে কত mol গ্যাস বিদ্যমান? [উঃ 3.3443 L; 0.1492 mol]

সমস্যা-১.৫২ : 23°C তাপমাত্রায় এবং 7.08 atm চাপে 12.0 L আয়তনের একটি গ্যাস সিলিন্ডারে H_2 গ্যাসভর্তি আছে। ঐ সিলিন্ডারে কত মোল H_2 গ্যাস আছে? [উঃ 3.50033 mol]

সমস্যা-১.৫৩ : 20°C তাপমাত্রায় ও 740 mm (Hg) চাপে 0.842 g একটি গ্যাস 400 mL আয়তন দখল করে। গ্যাসটির আণবিক ভর কত? [উঃ 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? [উঃ 21.2]

সমস্যা-১.৫৫ : 100°C তাপমাত্রায় ও 1.0526 atm. চাপে CO_2 গ্যাসের ঘনত্ব কত? [উঃ 1.514 gL^{-1}]

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

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

সমস্যা-১.৫৮ : একটি গ্যাসের বাষ্পঘনত্ব 15। 25°C বা 298 K তাপমাত্রায় ও 101.3 kPa চাপে ঐ গ্যাসের 5.6 g এর আয়তন নির্ণয় করো। (PV = w/M RT) [উঃ 4.56 L]

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

সমস্যা-১.৬০ : আদর্শ তাপমাত্রা ও চাপে 3×10^{-3} m^3 গ্যাসের ভর 4.5×10^{-3} kg হয়। 27°C তাপমাত্রা ও 101.99 kPa চাপে 4.0×10^{-4} m^3 গ্যাসের ভর নির্ণয় করো। [উঃ 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 বাতাসের চাপ 750 mm (Hg) হলে লোকটি একবারে কতখানি গ্যাসাণু গ্রহণ করে? [উঃ 4.8315147×10^{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? [PV = ZnRT, n =1, Z = 0.058] [উঃ 1.446 L]

সমস্যা-১.৬২ : 1.4628 g ভরের একটি অজ্ঞাত গ্যাস 37°C তাপমাত্রায় যে আয়তন দখল করে 0.1839 g H_2 গ্যাস একই চাপে ও 17°C তাপমাত্রায় ঐ একই আয়তন দখল করে। অজ্ঞাত গ্যাসটির আণবিক ভর কত এবং গ্যাসটি শনাক্ত করো। [উঃ 17.14; 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 রইলো। বেরিয়ে যাওয়া ঐ গ্যাসের মোল সংখ্যা গণনা করো। [উঃ 1.3636×10^{-2} mol]

সমস্যা-১.৬৪ : 20°C তাপমাত্রায় ও কোনো নির্দিষ্ট চাপে 0.17105 g H_2 গ্যাস যত আয়তন দখল করে ঐ একই চাপে কিন্তু 25°C তাপমাত্রায় 3.7 g অপর একটি গ্যাস সমআয়তন দখল করে। গ্যাসটির আণবিক ভর বের করে গ্যাসটিকে শনাক্ত করো। [উঃ 44.35; গ্যাসটি CO_2]

১.৩.৭ গ্যাসের আংশিক চাপ ও ডাল্টনের সূত্র (Partial Pressure and Dalton's Law)

এ যাবৎ গ্যাসের ওপর যেসব পরীক্ষার ফলাফল আলোচিত হয়েছে, সবক্ষেত্রে বায়ু জড়িত। বায়ু হলো বিভিন্ন গ্যাসের বিক্রিয়াবিহীন একটি মিশ্রণ। আদর্শ গ্যাস সূত্রটি (PV = nRT) সাধারণ অবস্থায় বিশুদ্ধ গ্যাস ও মিশ্র গ্যাস মিশ্রণ, প্রত্যেক ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। এর দুটি কারণ হলো– * গ্যাসসমূহ যেকোনো অনুপাতে মিশ্রিত হয়ে সমসত্ত্ব মিশ্রণ তৈরি করে।
* বিক্রিয়াবিহীন গ্যাস মিশ্রণের প্রতিটি উপাদান গ্যাস একক গ্যাসরূপে আচরণ করে।

ডাল্টনের আংশিক চাপ সূত্র : জন ডাল্টন বায়ু ও জলীয়বাষ্পের মিশ্রণ নিয়ে পরীক্ষাকালীন লক্ষ্য করেন যে, শুষ্ক বায়ুতে জলীয়বাষ্প মিশালে ঐ জলীয়বাষ্পের চাপের সমপরিমাণে চাপ যোগ হয়ে শুষ্ক বায়ুর 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।

ডাল্টনের 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 করতো, 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 :
$P_m = (P_1 + P_2 + P_3)$

ডাল্টনের আংশিক চাপ সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ

মনে করি, V আয়তনবিশিষ্ট পাত্রে পরস্পর বিক্রিয়াবিহীন বিভিন্ন গ্যাসের যথাক্রমে 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 এসব বিক্রিয়াবিহীন গ্যাস একত্রে একই পাত্রে থাকা অবস্থায় মিশ্রণের 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,

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

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

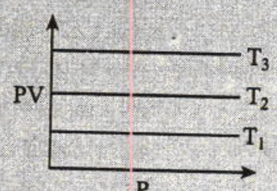
এসব সমীকরণের ডানপক্ষ ও বামপক্ষ পৃথকভাবে যোগ করে পাওয়া যায়,

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

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

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

MCQ–1.16 : নিচের লেখটি কোন সূত্র মান্য করে?



(ক) বয়েলের সূত্র (খ) চার্লসের সূত্র
(গ) গে-লুসাকের সূত্র (ঘ) ডাল্টনের সূত্র

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

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

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

এটিই হচ্ছে ডাল্টনের আংশিক চাপ সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ।

গ্যাস মিশ্রণে উপাদান গ্যাসের আংশিক চাপ ও মোল ভগ্নাংশের সম্পর্ক

আমরা আদর্শ গ্যাস সমীকরণ $(PV = nRT)$ 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 ডাল্টনের আংশিক চাপের সূত্রমতে, মোট চাপ (P_m) হবে—

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

$$\therefore n = \frac{P_mV}{RT} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots (1)$$

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

> **MCQ– 1.17 : SATP-তে গ্যাসের মোলার আয়তন কত লিটার?** [ঢা. বো. ২০১৬]
> (ক) 22.4 L (খ) 24.4 L
> (গ) 24.789 L (ঘ) 2.414 L

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 সাথে ঐ মিশ্রণে উপস্থিত সব উপাদানের মোট মোল সংখ্যার অনুপাতকে ঐ উপাদানের মোল ভগ্নাংশ বলে।

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

MAT: 22-23, DAT: 23-24
15-16

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

(1) নং সমীকরণ মতে, $n = P_mV/RT$; অনুরূপভাবে পাই, $n_1 = P_{N_2}V/RT \; \ldots. \; (2)$। 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 বিক্রিয়াবিহীন 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 0.00033 (সারণি – ১.২)। বায়ুর মোট চাপ হলো এসব গ্যাসের আংশিক চাপের যোগফল।

$P_{air} = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{Ar} + P_{CO_2} + ...$ ।

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

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

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

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

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

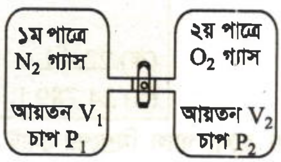
$\therefore P_{air} = P_{N_2} + P_{O_2} + P_{Ar} + P_{CO_2} = 1.00000$ atm air (প্রায়) $= 760.0\ mmHg$

জেনে নাও : * গ্যাস মিশ্রণে প্রতিটি উপাদান গ্যাসের আংশিক চাপকে মূলত atmosphere এককে প্রকাশ করা হয়। কারণ–

* গ্যাস মিশ্রণের উপাদানসমূহের মোট Standard-state partial pressure ধরা হয় 1 atm.

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 ছোটো নল দ্বারা যুক্ত আছে। স্টপকক্ 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–1.18 : আদর্শ গ্যাস সমীকরণ কোনটি?
(ক) $PV = P_1V_1$ (খ) $V = KT$
(গ) $PV = nRT$ (ঘ) $PV = \frac{1}{3}mNc^2$

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

N_2 ও O_2 এ দুটি গ্যাসের বেলায়–

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

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

MCQ–1.19 : SATP-তে গ্যাসের চাপ কত?
(ক) 1 atm (খ) 103.325 kPa
(গ) 100 kPa (ঘ) 1.1 বার

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

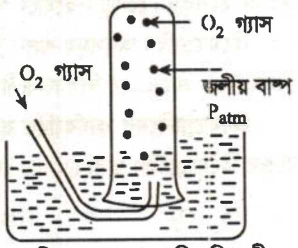
$\therefore$ ডাল্টনের আংশিক চাপের সূত্রমতে, যদি গ্যাস মিশ্রণকে এমন একটি পাত্রে স্থানান্তরিত করা হয় যার আয়তন V, সেক্ষেত্রে ইতোপূর্বের হিসাবে $(V_1 + V_2 + V_3 .....)$ প্রভৃতির স্থলে V বসবে।

সুতরাং সে ক্ষেত্রে আমরা পাই,

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

আর্দ্র গ্যাসের চাপ নির্ণয়

যেকোনো তাপমাত্রায় পানির বাষ্পচাপ আছে ; যা তাপমাত্রার ওপর নির্ভরশীল। কিন্তু যেকোনো স্থির তাপমাত্রায় বাষ্পচাপ নির্দিষ্ট। যেকোনো তাপমাত্রায় পানির বাষ্পচাপের মান পানির বাষ্পচাপ তালিকা থেকে পাওয়া যায়।



চিত্র-১.১০(ক) পানির নিম্নমুখী অপসারণে O_2 গ্যাস সংগ্রহ

পরীক্ষাগারে যখন কোনো পানিতে অদ্রবণীয় গ্যাসকে পানির নিম্নমুখী অপসারণ দ্বারা সংগ্রহ করা হয় তখন সংগৃহীত গ্যাস জলীয়বাষ্প 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 জলীয়বাষ্পের চাপ —এ দুটি মিলে বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়েছে।

মনে করি, পরীক্ষার সময় কক্ষতাপমাত্রা t°C হলো। তখন (t°C তাপমাত্রায় শুষ্ক গ্যাসের চাপ + t°C তাপমাত্রায় জলীয়বাষ্পের চাপ) = সে সময়কার বায়ুমণ্ডলের চাপ। বায়ুমণ্ডলের চাপ ব্যারোমিটার হতে জানা যায়। মনে করি, t°C তাপমাত্রায় এর মান P এবং পানির বাষ্পচাপ = f (মনে করি)। শুষ্ক গ্যাসের চাপকে P_{dry} দ্বারা চিহ্নিত করলে তখন পাই—

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

জেনে রাখো অধিক : অক্সিজেনের আংশিক চাপের (P_{O_2}) প্রভাব : শ্বসন (প্রশ্বাস-নিশ্বাস) প্রক্রিয়ায় O_2 পরিবহণ :

(Know More : Breathing and Oxygen Transport)

ফুসফুসের গঠন ও মেকানিজম : সকল জন্তুর মতোই মানবের শ্বসন প্রক্রিয়ায় বায়ুস্থ অক্সিজেন গ্যাস রক্ত প্রবাহের মাধ্যমে দেহের প্রতিটি কোষে প্রবেশ এবং কোষে সংঘটিত সংশ্লিষ্ট রাসায়নিক জারণ-ক্রিয়ায় ভূমিকা রাখে। প্রতিটি সুস্থ পূর্ণবয়স্ক ব্যক্তি প্রতি প্রশ্বাসে (with each breath) প্রায় 500 mL বায়ু ফুসফুসে টেনে নেয়। তখন এই প্রশ্বাসে ফুসফুসে আসা বায়ু শ্বাসনালির পথে প্রবাহিত হয়ে উভয় ফুসফুসে থাকা প্রায় 150 মিলিয়ন বা 15 কোটি সূক্ষ্ম বায়ু-থলির (alveolar sacs-এর) মধ্যে প্রবেশ করে এবং ইতিপূর্বে সংঘটিত নিঃশ্বাসের শেষে থাকা অবশিষ্ট বায়ু ও জলীয় বাষ্পের সাথে মিশ্রিত হয়। ফলে ঐ বায়ু-মিশ্রণে জলীয়-বাষ্প ও CO_2 এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায় এবং নতুন প্রশ্বাসে গৃহীত শুষ্ক বায়ুতে থাকা O_2 এর পরিমাণের তুলনায় ঐ নতুন বায়ু-মিশ্রণে O_2 এর ঘনমাত্রা কিছুটা হ্রাস পায়। ফলে ফুসফুসে ঐ আর্দ্র বায়ু-মিশ্রণে থাকা প্রতি উপাদান গ্যাসের যেমন O_2 গ্যাসের মোল-ভগ্নাংশ অনুসারে O_2 এর আংশিক চাপ, P_{O_2} = 100 (mm Hg) হয়। কিন্তু শুষ্ক বায়ুতে P_{O_2} = 159.2 (mm Hg) থাকে। এ অবস্থায় **ফুসফুসের** অসংখ্য বায়ু-থলি বা alveoli সমূহের অর্ধভেদ্য পাতলা মেমব্রেন দিয়ে O_2 অণুসমূহের **ব্যাপন** (diffusion) প্রক্রিয়ায় পালমোনারি ধমনীর ডিঅক্সিজেনেটেড রক্তের তরল সিরামে দ্রবীভূত ও লোহিত কণিকায় শোষিত হয়ে অক্সিজেনেটেড রক্তরূপে শরীরের বিভিন্ন টিস্যুতে (দেহে পৃথক পৃথক ক্রিয়ার উপযুক্ত সদৃশ কোষসমষ্টিতে) পরিবাহিত হয়। এই পরিবাহিত রক্তে ফুসফুসে থাকা O_2 এর ঘনমাত্রার (যখন P_{O_2} = 100 mm Hg) প্রায় 97% রক্তের লোহিত কণিকার বা হিমোগ্লোবিন অণুসমূহে (Hb) থাকা হিম্ (heme) দ্বারা **শোষিত হয়** এবং প্রায় 3% রক্তের তরল উপাদান সিরামে (serum) **দ্রবীভূত থাকে**।

হিমোগ্লোবিনের পরিচয় : উল্লেখ্য প্রতিটি হিমোগ্লোবিনের বড় আকারের এই গ্লোবিউলার আকৃতির টারসিয়ারি প্রোটিনটির মূল পরিচয় oxygen-transporting protein hemoglobin. এই হিমোগ্লোবিন প্রোটিন অণুটি globins নামক অপেক্ষাকৃত ছোট চারটি প্রোটিনের অণুর ভাঁজ (folded) করা গ্লোবিউলার আকৃতির প্রোটিন। এই চারটি গ্লোবিন অণুর প্রতিটির কেন্দ্রে একটি করে মোট চারটি হিম-গ্রুপ (বা, iron protoporphyrin, $C_{34}H_{32}FeN_4O_4$) থাকে অর্থাৎ প্রতিটি হিমোগ্লোবিন অণুতে চারটি হিম্-গ্রুপ কেন্দ্রস্থ থাকে। হিম্-গ্রুপ বা porphyrin নামক জটিল গ্রুপটি গঠিত হয় d^2sp^3 সংকরিত $Fe^{2+}(3d^6)$ আয়ন ও porphin নামক tetradentate বলয়াকার লিগ্যান্ড দ্বারা। এই চতুর্দন্তী লিগ্যান্ড porphin এর সমতল-বলয়ের কেন্দ্রস্থ Fe^{2+} আয়নটি ঐ লিগ্যান্ডের চারটি $\ddot{N}$ পরমাণুর চারটি নিঃসঙ্গ

ইলেকট্রনজোড় সহকারে সন্নিবেশ বন্ধনে নিম্নশক্তির অরবিটাল সেটে যুক্ত থেকে সমতলীয় বর্গাকার গঠন জটিল সৃষ্টি করে। যখন এই হিম-গ্রুপটি হিমোগ্লোবিন গঠনে অংশ গ্রহণ করে তখন সৃষ্ট কম্প্লেক্সটি অষ্টতলকীয় গঠন লাভ করে; এক্ষেত্রে অষ্টতলকের নিচের প্রান্তে নিকটস্থ প্রোটিনের হিস্টিডিন নামক অ্যামাইনো এসিডের N পরমাণুর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় সহযোগে পঞ্চম সন্নিবেশ বন্ধন এবং অষ্টতলকের উপর প্রান্তে Fe^{2+} আয়নের d^2sp^3 সংকরণের সর্বশেষ ষষ্ঠ অরবিটালের সাথে ষষ্ঠ লিগ্যান্ডরূপে H_2O অণু অথবা O_2 অণুর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় সহযোগে সন্নিবেশ বন্ধন গঠিত হয়।

হিমোগ্লোবিন অণুসমূহ শ্বসন ক্রিয়াকালে দুটি ভিন্ন গঠন ও ভিন্ন বর্ণযুক্ত হয়ে থাকে এবং তা নির্ভর করে এর ষষ্ঠ লিগ্যান্ডের প্রকৃতি যেমন H_2O ও O_2 এর লিগ্যান্ডরূপী যথাক্রমে weak-field ligand এবং strong-field ligand এর ধর্মের উপর।

হিমোগ্লোবিনের কার্যকারিতায় লা-শ্যাটেলিয়ারের নীতি : মানবদেহের বিভিন্ন টিস্যুতে O_2 গ্যাস পরিবহণ ও বিতরণ নির্ভর করে রক্তের হিমোগ্লোবিন দ্বারা O_2 এর শোষণ ও বর্জনভিত্তিক নিম্নোক্ত উভমুখী প্রক্রিয়ার সাম্যাবস্থার ওপর :

$$Hb + O_2 \rightleftharpoons Hb(O_2) \ldots (1); \qquad Hb(O_2) + O_2 \rightleftharpoons Hb(O_2)_2 \ldots (2)$$

$$Hb(O_2)_2 + O_2 \rightleftharpoons Hb(O_2)_3 \ldots (3); \qquad Hb(O_2)_3 + O_2 \rightleftharpoons Hb(O_2)_4 \ldots (4)$$

উপরোক্ত চার অবস্থায় সাম্যাবস্থা নির্ভর করে দেহস্থ বিভিন্ন টিস্যুতে থাকা O_2 গ্যাসের আংশিক চাপ (P_{O_2}) এর পরিমাণগত কম-বেশির ওপর। (১) দেহের **কোনো অংশের টিস্যুতে O_2 হ্রাস পেলে P_{O_2} হ্রাস পায়,** তথায় হিমোগ্লোবিন থেকে O_2 বর্জন বা মুক্ত হয় এবং লা-শ্যাটেলিয়ারের নীতি অনুসারে **সাম্যাবস্থা বাম দিকে সরে আসে।** (২) **ফুসফুসের ভিতরে যখন O_2 এর ঘনমাত্রা বেশি** অর্থাৎ P_{O_2} বেশি থাকে এবং বায়ু-থলির ভিতরের রক্তে O_2 কম থাকে, তখন ঐ রক্তের হিমোগ্লোবিন দ্বারা O_2 শোষিত এবং **সাম্যাবস্থা ডান দিকে সরে যায়** উপরের যেকোনো (1), (2), (3), (4) সমীকরণ মতে। হিমোগ্লোবিন (Hb) এর Fe^{2+} আয়ন O_2 লিগ্যান্ডের সাথে সন্নিবেশ বন্ধনে যুক্ত হলে অক্সিহিমোগ্লোবিন যেমন $Hb(O_2)$, $Hb(O_2)_2$, $Hb(O_2)_3$, $Hb(O_2)_4$ ইত্যাদি উৎপন্ন হয়; যা ধমনীতে প্রবাহিত রক্তে অধিক থাকে। হিমোগ্লোবিন থেকে O_2 মুক্ত হলে নতুন লিগ্যান্ডরূপে H_2O ঐ স্থানে ষষ্ঠ লিগ্যান্ডরূপে যুক্ত হয়; তখন একে ডিঅক্সিহিমোগ্লোবিন বলে এবং শিরা বা vein এর রক্ত প্রবাহে থাকে। ঐ রক্ত শিরা হতে শেষে ফুসফুসে প্রবেশ করে। উল্লেখ্য H_2O একটি weak-field ligand হওয়ায় তুলনামূলকভাবে Fe^{2+} আয়নের d-অরবিটাল ফিল্ড বিভক্তিকরণ শক্তি কম হয়; ফলে ঐ **ডিঅক্সিহিমোগ্লোবিন সন্তবর্ণালির নিম্নশক্তির লাল প্রান্তের আলো শোষণ করে এবং লালচে-নীল দেখায়। তাই শিরায় প্রবাহিত রক্ত কালচে বর্ণের হয়।** অপরদিকে, O_2 একটি strong-field ligand হওয়ায় এটির ফিল্ড বিভক্তিকরণ শক্তি বেশি এবং এটি low-spin complex গঠন সহায়ক; ফলে **অক্সিহিমোগ্লোবিন উচ্চশক্তির নীল বা ব্লু-আলো শোষণ করে এবং রক্তের বর্ণ গাঢ় লাল দেখায়,** যা ধমনীতে প্রবাহিত হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা – ১.৩৮ : 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 : $P_{O_2} = X_{O_2} \cdot P_m$; $\therefore X_{O_2} = P_{O_2}/P_m$; 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 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-১.৩৯ : 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, $V_1 = 0.6$ L

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

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

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

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

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

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

MCQ.1.20 : বায়ুমণ্ডলের N_2 গ্যাসের আংশিক চাপ কত ?

(ক) 593.4 mm(Hg) (খ) 159.2 mm(Hg)

(গ) 7.1 mm (Hg) (ঘ) 0.3 mm (Hg)

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪০ : 17°C তাপমাত্রায় ও 99.99 kPa চাপে 0.058 m^3 H_2 গ্যাসকে পানির ওপর সংগ্রহ করা হয়। 17°C তাপমাত্রায় জলীয়বাষ্পের চাপ 3.27 kPa হলে প্রমাণ তাপমাত্রা ও চাপে (STP –তে) ঐ গ্যাসের আয়তন কত হবে?

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

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

$\therefore$ শুষ্ক H_2 গ্যাসের চাপ হবে = (99.99 – 3.27) kPa = 96.72 kPa.

১ম অবস্থায় :

শুষ্ক H_2 গ্যাসের চাপ, $P_1 = 96.72$ kPa

H_2 গ্যাসের আয়তন, $V_1 = 0.058\ m^3$

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

প্রমাণ অবস্থায় :

গ্যাসের চাপ, $P_2 = 101.325$ kPa

গ্যাসের তাপমাত্রা, $T_2 = 273$ K

গ্যাসের আয়তন, $V_2 = ?$

এক্ষেত্রে বয়েল ও চার্লসের সমন্বয় সূত্রমতে, $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$

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

$\therefore$ প্রমাণ অবস্থায় ঐ H_2 গ্যাসের আয়তন = 0.0521 m^3 **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪১ : 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 করো। 17° C-এ জলীয়বাষ্পের চাপ 14.5 mm(Hg)।

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

সমাধান : মোট চাপ থেকে জলীয়বাষ্পের চাপ বিয়োগ করে শুষ্ক O_2 গ্যাসের চাপ P_1 = (770 – 14.5) mm (Hg) = 755.5 mm (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 $= 290$ K

প্রমাণ অবস্থায় :

গ্যাসের চাপ, $P_2 = 760$ mm (Hg)

গ্যাসের আয়তন, $V_2 = ?$

গ্যাসের তাপমাত্রা, $T_2 = 273$ K

বয়েলের ও চার্লসের সূত্রের সমন্বয় সমীকরণ মতে,

$$\frac{P_2V_2}{T_2} = \frac{P_1V_1}{T_1} \text{ বা, } V_2 = \frac{P_1V_1 \times T_2}{T_1 \times P_2}$$

$$= \frac{755.5 \text{ mm (Hg)} \times 600 \text{ mL} \times 273 \text{ K}}{290 \text{ K} \times 760 \text{ mm(Hg)}}$$

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

MCQ–1.21 : 25°C-এ গ্যাসের চাপ 1 atm হলে $V^{-1} = 0.05$ L হয়, $V^{-1} = 0.042$ L হলে, তখন চাপ কত হবে? [ঢা. বো ২০১৬]

(ক) 0.05 atm (খ) 20 atm

(গ) 0.035 atm (ঘ) 0.84 atm

∴ প্রমাণ অবস্থায় O_2 গ্যাসের আয়তন = 561.48 mL; আবার প্রমাণ অবস্থায় 22,400 mL O_2 গ্যাসের ভর = 32 g

∴ প্রমাণ অবস্থায় 561.48 mL O_2 গ্যাসের ভর $= \frac{32 \times 561.48 \text{ g}}{22400} = 0.802$ g

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

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪২ : 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 করো। 17°C-এ জলীয়বাষ্পের চাপ = 3.26 kPa।

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

সমাধান : প্রশ্নমতে 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 $= 290$ K

STP–অবস্থায় :

গ্যাসের চাপ, $P_2 = 101.325$ kPa

গ্যাসের আয়তন, $V_2 = ?$

গ্যাসের তাপমাত্রা, $T_2 = 273$ K

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

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪৩ : 1.5 L আয়তনের একটি পাত্রে 0.8 atm চাপে 0.2 L O_2 গ্যাস এবং 0.98 atm চাপে 0.5 L N_2 গ্যাস মিশ্রিত করা হলো। গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ নির্ণয় করো।

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

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

O_2 গ্যাসের আয়তন, $V_1 = 0.2$ L N_2 গ্যাসের আয়তন, $V_2 = 0.5$ L

O_2 গ্যাসের চাপ, $P_1 = 0.8$ atm N_2 গ্যাসের চাপ, $P_2 = 0.98$ atm

মনে করি, মিশ্রণের পর O_2 গ্যাস ও N_2 গ্যাসের আংশিক চাপ যথাক্রমে, P_3 ও P_4 হয়।

সুতরাং বয়েলের সূত্রমতে, আংশিক চাপের বেলায়,

O_2 গ্যাসের জন্য :

$P_3V = P_1V_1$

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

$\therefore P_3 = 0.107$ atm

N_2 গ্যাসের জন্য :

$P_4V = P_2V_2$

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

$\therefore P_4 = 0.327$ atm

ডাল্টনের আংশিক চাপের সূত্রমতে,

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

$\therefore P = (P_3 + P_4) = (0.107 + 0.327)$ atm $\therefore P = 0.434$ atm **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪৪ : 27°C তাপমাত্রায় 10 L আয়তনের একটি সিলিন্ডারে 0.4 g He গ্যাস 1.4 g N_2 গ্যাস ও 1.6 g O_2 গ্যাস ভর্তি করা আছে। গ্যাস মিশ্রণটির মোট চাপ ও He গ্যাসের আংশিক চাপ নির্ণয় করো।

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 গ্রাম-আণবিক ভর হলো যথাক্রমে 4 g, 28 g ও 32 g।

$\therefore$ 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 = 10 L, তাপমাত্রা, T = (27 + 273) = 300 K,

$R = 0.082$ L.atm $K^{-1} \times mol^{-1}$।

আদর্শ গ্যাস সমীকরণ মতে, PV = nRT

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

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

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

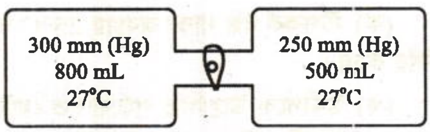
$\therefore$ গ্যাস মিশ্রণে He গ্যাসের আংশিক চাপ = মিশ্রণে He এর মোল ভগ্নাংশ × মিশ্রণের মোট চাপ

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

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪৫ : পার্শ্বের চিত্রটি লক্ষ্য করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

(ক) উদ্দীপকের A গ্যাসের অণুর সংখ্যা গণনা করো।

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



A গ্যাস   B গ্যাস

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

উদ্দীপকের মতে,

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

A গ্যাসের আয়তন, $V = 800$ mL $= 0.8$ L

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

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

মোল সংখ্যা, n = ?

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

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

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

অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা মতে,

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

$\therefore$ 0.01284 মোল গ্যাসে অণু থাকে $= 6.022 \times 10^{23} \times 0.01284$ টি $= 7.732248 \times 10^{21}$ 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); B গ্যাসের চাপ, $P_B = 250$ mm (Hg)

A গ্যাসের আয়তন, $V_A = 800$ mL; B গ্যাসের আয়তন, $V_B = 500$ mL

ডাল্টনের আংশিক চাপের সূত্রমতে,

$$PV = P_AV_A + P_BV_B$$

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

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

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

উদ্দীপক মতে,

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

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

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

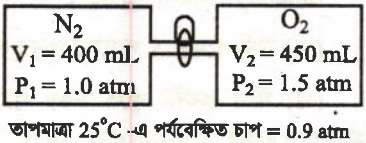
মিশ্রণের ২য় চাপ, $P_1 = ?$

$$\frac{P}{T} = \frac{P_1}{T_1}; \text{ বা, } P_1 = \frac{P \times T_1}{T}$$

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪৬ : পার্শ্বের চিত্রটি লক্ষ্য করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ঢা. বো. ২০১৫]



তাপমাত্রা 25°C -এ পর্যবেক্ষিত চাপ = 0.9 atm

(ক) স্টপকর্ক বন্ধ থাকা অবস্থায় 25°C তাপমাত্রায় N_2 গ্যাসের অণুর সংখ্যা নির্ণয় করো।

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

সমাধান : (ক) এক্ষেত্রে প্রথমে N_2 গ্যাসের মোল সংখ্যা (n) বের করতে হবে; তাই PV = nRT প্রযোজ্য হবে।

বা, $n = \frac{PV}{RT}$

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

বা, $n = 0.01637$ mol

উদ্দীপক মতে,

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

N_2 গ্যাসের চাপ, $P = 1.0$ atm

তাপমাত্রা, $T = (25 + 273) = 298$ K

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

অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা মতে,

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

$\therefore$ 0.01637 মোল গ্যাসে অণু থাকে $= 6.022 \times 10^{23} \times 0.01637$ টি অণু $= 9.858 \times 10^{21}$ 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

ডাল্টনের আংশিক চাপের সূত্রমতে, $PV = (P_1V_1 + P_2V_2)$

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৪৭ : 27°C তাপমাত্রায় একটি 10 L সিলিন্ডারে 10.08 g N_2 গ্যাস এবং প্রমাণ অবস্থায় 11.2 L O_2 গ্যাস মিশ্রিত করা হলো। মিশ্রিত গ্যাসের প্রত্যেকটির আংশিক চাপ ও মোট চাপ গণনা করো।

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, 10.08 g N_2 গ্যাসের মোল সংখ্যা $(n) = \frac{10.08 \text{ g}}{28 \text{ gmol}^{-1}} = 0.36$ mol. (যেহেতু 1 mol N_2 = 28 g 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, $P_{N_2} = \frac{0.36 \times 0.082 \times 300}{10}$ atm $= 0.886$ atm

গ্যাস মিশ্রণের আয়তন, $V = 10$ L

$T = (27 + 273)$ K $= 300$ K

$R = 0.082$ 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 :

প্রশ্নমতে, প্রমাণ অবস্থায় O_2 গ্যাসের আয়তন $(V_1) = 11.2$ L আবার, প্রমাণ অবস্থায় 22.4 L = 1 mol O_2

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

গ্যাস মিশ্রণের আয়তন (V) = 10 L
তাপমাত্রা, T = (27 + 273) = 300 K
গ্যাসধ্রুবক, R = 0.082 L atm. K^{-1} mol^{-1}
আংশিক চাপ, P_{O_2} = ?

PV = nRT থেকে পাই, $P = P_{O_2} = \frac{nRT}{V}$

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

বা, $P_{O_2} = \frac{0.5 \times 0.082 \times 300}{10}$ atm $\therefore P_{O_2} = 1.23$ 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 করো –১.৬ : ডাল্টনের আংশিক চাপসূত্রভিত্তিক সমস্যা :

সমস্যা–১.৬৫ : SATP-তে একটি মিশ্রণে 12.45 g H_2, 60.67 g N_2 ও 2.38 g NH_3 গ্যাস আছে। ঐ মিশ্রণে প্রতিটি উপাদানের মোল ভগ্নাংশ কত? [উঃ 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 10.0 L স্টিলের পাত্রে রাখা হয়, তবে atm এককে গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ ও প্রতিটি উপাদানের আংশিক চাপ কত হবে?

[উঃ 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 জলীয়বাষ্পের মোল ভগ্নাংশ 0.0287 এবং বায়ুর মোট চাপ 0.977 atm হলো। বায়ুতে জলীয়বাষ্পের আংশিক চাপ কত ? [উঃ 0.028 atm]

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? [উঃ P_{H_2} = 15 cm (Hg), P_{N_2}= 30 cm (Hg), P = 45 cm (Hg)]

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

সমস্যা –১.৭০ : 27°C তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে 20 Lপাত্রে কিছু N_2 ও O_2 গ্যাস ভর্তি করা হলো। মিশ্রিত O_2 গ্যাসের আয়তন STP -তে 16.8 L হলে তবে ঐ মিশ্রণে O_2 গ্যাসের আংশিক চাপ কত? [উঃ 0.922 atm]

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

সমস্যা– ১.৭১ : 17°C তাপমাত্রায় এবং 99.99 kPa চাপে 0.058 m^3 H_2 গ্যাসকে পানির ওপর সংগ্রহ করা হলো। 17°C তাপমাত্রায় জলীয়বাষ্পের চাপ 3.27 kPa হলে প্রমাণ অবস্থায় ঐ H_2 গ্যাসের আয়তন ও ভর কত হবে?

[উঃ 0.052 m^3, 4.68 g]

সমস্যা–১.৭২ : 17°C তাপমাত্রায় এবং 770 mm (Hg) চাপে 600 mL O_2 গ্যাসকে পানির ওপর সংগ্রহ করা হয়। STP-তে ঐ গ্যাসের আয়তন ও ভর কত? [17°C এ জলীয়বাষ্পের চাপ. 14.5 mm(Hg) ।] [উঃ 561.48 mL, 0.802 g]

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

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

[উঃ নির্ণীত চাপ 1.265 atm; সুতরাং পর্যবেক্ষিত চাপ ডাল্টনের আংশিক চাপ সূত্রমতে 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? [উঃ 74.17 cm (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 জলীয়বাষ্পের চাপ 3.25 kPa। [উঃ 567.197 mL]

সমস্যা-১.৭৭ : 17°C তাপমাত্রায় ও 0.95 atm চাপে 580 mL হাইড্রোজেন গ্যাস পানির ওপর সংগৃহীত হলো। STP -তে শুষ্ক H_2এর আয়তন নির্ণয় করো। [17°C তাপমাত্রায় জলীয়বাষ্পের চাপ 3.26 kPa।] [উঃ 501.13 mL]

সমস্যা-১.৭৮ : 15°C তাপমাত্রায় ও 750 mm(Hg) চাপে 100 mL কোনো গ্যাস পানির ওপর সংগ্রহ করা হলো। ঐ একই পরিমাণ গ্যাস শুষ্ক অবস্থায় STP -তে 92 mL আয়তন দখল করে। 15°C তাপমাত্রায় জলীয়বাষ্পের চাপ নির্ণয় করো। [উঃ 12.38 mm (Hg)]

সমস্যা-১.৭৯ : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় 95 kPa চাপে 0.3 L হাইড্রোজেন গ্যাস, 98 kPa চাপে 0.6 L নাইট্রোজেন, 75 kPa চাপে 0.4 L অক্সিজেন গ্যাসকে 1.5 L আয়তনের একটি শূন্য পাত্রে মিশানো হলো। গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ নির্ণয় করো। [উঃ 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? [উঃ 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 2 L আয়তনের শূন্য পাত্রে প্রবেশ করানো হলো। একই তাপমাত্রায় এবং 30°C তাপমাত্রায় ঐ মিশ্রণের চাপ কত? [উঃ 376 mm(Hg); 382.31 mm(Hg)]

১.৩.৮ গ্রাহামের সূত্র : গ্যাসের ব্যাপন ও অনুব্যাপন

Graham's Law : Diffusion & Effusion of Gases

গ্যাসের অণুগুলো দ্রুতগতিতে সবসময় সম্ভব্য সব দিকে সরল পথে ছোটাছুটি 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 এরূপ ক্ষেত্রে সুগন্ধিযুক্ত বস্তুর অণুগুলো গ্যাসীয় অবস্থায় চারদিকে ছড়িয়ে পড়ে ভিন্ন গ্যাসের অণুগুলোর মধ্যে সমসত্ত্বভাবে মিশ্রিত হয়ে থাকে। এরূপ প্রক্রিয়াকে পদার্থের অণুর ব্যাপন বলে।** অপরদিকে আবদ্ধ পাত্রে অধিক চাপে থাকা গ্যাস অণুগুলো নিজেদের মধ্যে সংঘর্ষ থেকে মুক্ত হয়ে ছিদ্রপথে কম চাপ 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। DAT: 22-23

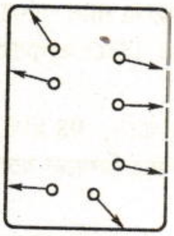
উদাহরণ ১। বদ্ধ ঘরের কোনো স্থানে সুগন্ধিযুক্ত বস্তু রাখলে পরে দেখা যায় যে, ঘরের সর্বত্র সুগন্ধি পাওয়া যাচ্ছে, অবশ্য লঘু হয়ে যাওয়ার কারণে তার তীব্রতা অনেক কমে যায়। এ সুগন্ধি কীভাবে এক স্থান হতে অন্যস্থানে চলে আসে? প্রকৃতপক্ষে সুগন্ধিযুক্ত বস্তুর অণুসমূহ গ্যাসীয় অবস্থায় চারদিকে ক্রমশ ছড়িয়ে পড়ে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

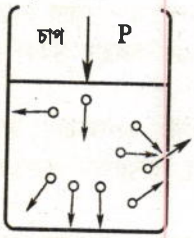
নিঃসরণ বা অনুব্যাপন : বাহ্যিক উচ্চচাপের প্রভাবে পাত্রের সরু ছিদ্রপথ দিয়ে কোনো গ্যাসের সজোরে একমুখী বের হওয়ার প্রক্রিয়াকে নিঃসরণ বা অনুব্যাপন (Effusion) বলে।

উদাহরণ : সিলিন্ডারের ভেতরে অ্যামোনিয়া গ্যাসকে উচ্চচাপে 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 ধীরে অ্যামোনিয়া গ্যাস বের হয়ে আসবে। এটি হচ্ছে ব্যাপন।



(ক) ব্যাপন



(খ) নিঃসরণ

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

(খ) নিঃসরণ (Effusion) : গ্যাসপাত্রের ছিদ্র 100 nm এর চেয়ে বড়ো হওয়ায় এবং অধিক বাহ্যিক চাপে অণুগুলোর নিঃসরণ ঘটে।

চিত্র-১.১১ : গ্যাসের ব্যাপন ও নিঃসরণ প্রক্রিয়া।

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 উচ্চচাপের প্রভাবে পাত্রের সরু ছিদ্রপথ 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। গাড়ির চাকার টিউবের ছিদ্রপথে নিঃসরণ প্রক্রিয়ায় বাতাস বের হয়ে পড়ে।
৩। ভিত্তি বা কারণ :	৩। পদার্থের কণা বা অণুসমূহের ইতস্তত স্বতঃস্ফূর্ত চলাচলের কারণে ব্যাপন প্রক্রিয়া ঘটে।	৩। গ্যাসপাত্রের 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 গ্যাসপাত্রের ভেতরে ও বাইরে একই বায়ু চাপ থাকে।	৫। নিঃসরণের বেলায় গ্যাসপাত্রের ভেতরে অধিক চাপ এবং বাইরে কম চাপ বা ভ্যাকুয়াম অবস্থা থাকে।

1846 খ্রিষ্টাব্দে 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 সূত্র : স্থির চাপে ও স্থির তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের ব্যাপন হার (r) ঐ গ্যাসের মোলার ভর (M) এর বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক হয়ে থাকে।

MAT: 23-24 DAT: 20-21 17-18

$\therefore$ 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 অনুসারে, স্থির তাপমাত্রা ও চাপে গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্রমতে, **কম মোলার ভরের গ্যাসের ব্যাপন হার বেশি মোলার ভরের ব্যাপন হার থেকে বেশি হবে।** কারণ কম মোলার ভরের অণুগুলোর সম্ভাব্য গতি বেশি হয়।

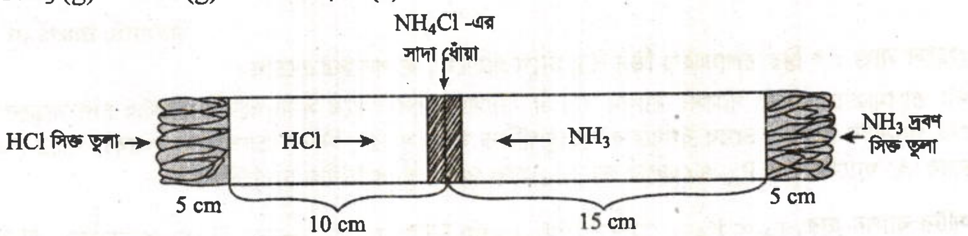
গ্যাসের ঘনত্বভিত্তিক গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র : স্থির চাপে ও তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের ব্যাপন হার (r) গ্যাসটির ঘনত্বের (d) বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক হয়। অর্থাৎ $r \propto \frac{1}{\sqrt{d}}$; দুটি গ্যাসের বেলায় পাই, $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$

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

গ্যাসের ব্যাপন হার নির্ধারণকারী বিষয় বা ফ্যাক্টর : গ্যাসের ব্যাপন হার নির্ভর করে নিম্নোক্ত বিষয় বা ফ্যাক্টরের ওপর : (১) গ্যাসের মোলার ভর বা গ্যাসের ঘনত্ব; (২) গ্যাসের তাপমাত্রা ও চাপমাত্রা; (৩) এছাড়া গ্যাসের অনুব্যাপন-এর ক্ষেত্রে দেয়ালের সূক্ষ্ম ছিদ্রের আকার ও গ্যাস অণুর আকার।

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। তখন HCl গ্যাস ও NH_3 গ্যাস একই বায়ুমণ্ডল চাপ এবং একই তাপমাত্রায় কাচনলের ভেতর ব্যাপিত হতে থাকে। কিছু সময় পর দেখা 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। $NH_3(g) + HCl(g) \longrightarrow NH_4Cl(s)$



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

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 ($d_1 = M_1/2 = 8.5$) থেকে HCl গ্যাসের বাষ্প ঘনত্ব ($d_2 = M_2/2 = 18.25$) বেশি। তাই NH_3 গ্যাসের ব্যাপন হার (r_1), HCl গ্যাসের ব্যাপন হার (r_2), থেকে বেশি হয়েছে। উপরিউক্ত ডাটা থেকে পাই;

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{\text{নির্দিষ্ট সময়ে } NH_3 \text{ গ্যাসের ব্যাপন}}{\text{ঐ একই সময়ে HCl গ্যাসের ব্যাপন}} = \frac{15\ cm}{10\ cm} = 1.5 \ldots\ldots\ldots\ldots (১)$$

আবার, $\sqrt{\frac{\text{HCl এর মোলার ভর}}{NH_3 \text{ এর মোলার ভর}}} = \sqrt{\frac{\text{HCl গ্যাসের বাষ্প ঘনত্ব} \times 2}{NH_3 \text{ গ্যাসের বাষ্প ঘনত্ব} \times 2}} = \sqrt{\frac{18.25}{8.50}} = 1.465 \approx 1.5$

অর্থাৎ $\sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}} = 1.465 \approx 1.5$ .... (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।

> **MCQ–1.22 : ব্যাপন হারের সাথে কোনটি সম্পর্কযুক্ত?** [রা. বো. ২০১৬]
> (ক) তুল্যভর (খ) পা: ভর
> (গ) গ্রাম পা: ভর (ঘ) গ্রাম আ: ভর

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। ব্যাপন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে গ্যাস-মিশ্রণ থেকে কোনো একটি গ্যাস পৃথক করাকে এটমোলিসিস (atmolysis) বলা হয়। (৩) কয়লা খনিতে মিথেন গ্যাসের উপস্থিতি নির্ণয়ে ব্যবহৃত সতর্কতাজ্ঞাপক যন্ত্রে CH_4 গ্যাসের ব্যাপন ধর্ম প্রয়োগ করা হয়। (৪) 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. = 329 K) 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

$\therefore \frac{^{235}UF_6 \text{ এর ব্যাপন হার}}{^{238}UF_6 \text{ এর ব্যাপন হার}} = \sqrt{\frac{352 \text{ amu}}{349 \text{ amu}}} = 1.0043$ [1 amu = 1.67×10^{-24} g = atomic mass of H-atom]

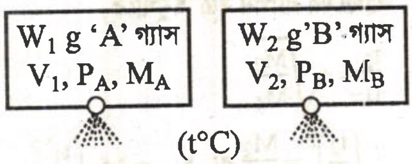
অধিক জেনে নাও : * স্থির তাপমাত্রায় ভিন্ন ভিন্ন চাপে গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র প্রয়োগ :

নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের ব্যাপন হার ঐ গ্যাসের চাপের সাথে সমানুপাতিক (অর্থাৎ চাপ বাড়লে ব্যাপন হার বাড়ে) এবং গ্যাসটির মোলার ভরের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক হয়। সুতরাং নির্দিষ্ট তাপমাত্রায়, আবদ্ধ পাত্রে (V আয়তনে) নির্দিষ্ট ভরের 'A' গ্যাসের চাপ P_A ও মোলার ভর M_A হলে তখন পরিবর্তনশীল চাপভিত্তিক—

গ্যাসটির ব্যাপন হার, $r_A \propto P_A \times \frac{1}{\sqrt{M_A}}$; বা, 1 atm চাপে, $r_A \propto \frac{1 \times 1}{\sqrt{M_A}}$; বা, $r_A \propto \frac{1}{\sqrt{M_A}}$; যা গ্রাহামের মূল সূত্রের গাণিতিক রূপ। [এক্ষেত্রে P_A এর মান atm এককে হবে।]

*** স্থির তাপমাত্রায় পৃথক পাত্রে ভিন্ন চাপে রাখা দুটি গ্যাসের ব্যাপন হারের অনুপাত :** স্থির তাপমাত্রায় (t°C), চিত্র মতে V_1 আয়তনের পাত্রে W_1 g ভরের A গ্যাস এবং V_2 আয়তনের পাত্রে W_2 g ভরের B গ্যাস যথাক্রমে P_A ও P_B atm চাপে আছে। এক্ষেত্রে A ও B গ্যাসের মোলার ভর হলো যথাক্রমে M_A ও M_B। স্থির তাপমাত্রায় (t°C), একই আকারের ছিদ্র দিয়ে A ও B গ্যাসের নিঃসরণ বা, অনুব্যাপন হারের অনুপাত ($\frac{r_A}{r_B}$) হবে নিম্নরূপ :

স্থির তাপমাত্রায়, A গ্যাসের অনুব্যাপন হার, $r_A \propto \dfrac{P_A}{\sqrt{M_A}}$ এবং



একই তাপমাত্রায়, B গ্যাসের অনুব্যাপন হার, $r_B \propto \dfrac{P_B}{\sqrt{M_B}}$

$\therefore \dfrac{r_A}{r_B} = \dfrac{P_A}{P_B} \times \sqrt{\dfrac{M_B}{M_A}}$; যখন $P_A = P_B = 1$ atm হয়; তখন $\dfrac{r_A}{r_B} = \sqrt{\dfrac{M_B}{M_A}}$ হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৪৮ : 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 সূত্রমতে তিন প্রকার অণুর ব্যাপনের হার বের করো।

দক্ষতা : প্রথমে তিন প্রকার অণুর ভর ঠিক করো। 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 করো।

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।

$$\frac{\text{HD এর ব্যাপন হার}}{D_2 \text{ এর ব্যাপন হার}} = \sqrt{\frac{D_2 \text{ এর ভর } M_3}{\text{HD এর ভর } M_2}} = \sqrt{\frac{4.028 \text{ amu}}{3.022 \text{ amu}}} = 1.154$$

আবার, $\dfrac{H_2 \text{ এর ব্যাপন হার}}{D_2 \text{ এর ব্যাপন হার}} = \sqrt{\dfrac{D_2 \text{ এর ভর } M_3}{H_2 \text{ এর ভর } M_1}} = \sqrt{\dfrac{4.028 \text{ amu}}{2.016 \text{ amu}}} = 1.414$

$\therefore$ তিন প্রকার অণুর আপেক্ষিক ব্যাপন হার হলো : $H_2(1.414) > HD(1.154) > D_2(1.000)$

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৪৯ : পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলে আয়তন হিসেবে 80% নাইট্রোজেন ও 20% অক্সিজেন আছে। বায়ুর ঘনত্ব (হাইড্রোজেনের তুলনায়) নির্ণয় করো। বায়ুর কার্যকর আণবিক ভর কত?

দক্ষতা : বাষ্প ঘনত্ব ও শতকরা হার প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : কোনো গ্যাসের ঘনত্ব (হাইড্রোজেনের তুলনায়) তার আণবিক ভরের অর্ধেক।

N_2 এর আণবিক ভর = 28, সুতরাং, N_2 এর ঘনত্ব $\dfrac{28}{2} = 14$

O_2 এর আণবিক ভর = 32; সুতরাং, O_2 এর ঘনত্ব $\dfrac{32}{2} = 16$

$\therefore$ বায়ুর ঘনত্ব $= \left(14 \times \dfrac{80}{100}\right) + \left(16 \times \dfrac{20}{100}\right) = 11.2 + 3.2 = 14.4$ **(উত্তর)**।

$\therefore$ বায়ুর কার্যকর আণবিক ভর $= \left(28 \times \dfrac{80}{100}\right) + \left(32 \times \dfrac{20}{100}\right) = 22.4 + 6.4 = 28.8$ **(উত্তর)**।

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৫০ : 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,

$$\frac{t_2}{t_1} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

$$\therefore \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 = \frac{M_2}{M_1} \text{ বা, } M_1 = M_2\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2$$

$$= 71 \times \left(\frac{60}{73}\right)^2 = 48 \text{ (উত্তর)।}$$

এখানে,

t_1 = প্রথম গ্যাস (এখানে অজ্ঞাত গ্যাস) এর ব্যাপন সময়
= 1 মিনিট = 60 সেকেন্ড;

t_2 = একই আয়তনের দ্বিতীয় গ্যাস (এখানে ক্লোরিন)-এর ব্যাপন সময়
= 73 সেকেন্ড।

আবার, $M_2 = 71$; $M_1 = ?$

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৫১ : 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 করো।

দক্ষতা : ব্যাপন সূত্র প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র বিশুদ্ধ গ্যাস ও গ্যাস মিশ্রণের জন্য সমভাবে প্রযোজ্য। গ্রাহামের সূত্র অনুযায়ী,

$$\frac{t_2}{t_1} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

$$\text{বা, } \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 = \frac{M_2}{M_1};$$

$$\therefore M_2 = M_1\left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 = 32 \times \left(\frac{85}{80}\right)^2 = 36$$

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_2 = দ্বিতীয় গ্যাস বা গ্যাস মিশ্রণের 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–১.৫২ : একই তাপমাত্রা ও চাপে কোনো পাত্রের একই ছিদ্রপথে সমআয়তনের 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 সূত্রমতে,

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}} \; ; \; \therefore \frac{6}{5} = \sqrt{\frac{36}{d_t}}$$

উভয় দিকে বর্গ করে পাই, $\frac{36}{25} = \frac{36}{d_1}$

∴ $d_1 = 25$ ∴ অজ্ঞাত গ্যাসের ঘনত্ব = 25

প্রশ্নমতে,

অজ্ঞাত গ্যাসের নিঃসরণ হার, $r_1 = 6$

অজ্ঞাত গ্যাসের ঘনত্ব $d_1 = ?$

ক্লোরিনের নিঃসরণ হার, $r_2 = 5$

ক্লোরিনের ঘনত্ব, $d_2 = 36$

∴ অজ্ঞাত গ্যাসের আণবিক ভর = 2 × ঘনত্ব = 2 × 25 = 50 (উত্তর)

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৫৩ : 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 সেকেন্ড সময় লাগে। A গ্যাসের আণবিক ভর নির্ণয় করো।

দক্ষতা : গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র প্রযোজ্য হবে

সমাধান : গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্রমতে,

$$\frac{t_2}{t_1} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}\ ;\ \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 = \frac{M_2}{M_1}\ ;$$

$$\therefore M_1 = M_2\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2 = 44 \times \left(\frac{293}{230}\right)^2 = 71.41 \text{ (উত্তর)}$$

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–১.৫৪ : একটি অজ্ঞাত গ্যাসের ব্যাপন হার অ্যামোনিয়া গ্যাসের ব্যাপন হারের 2.92 গুণ। অজ্ঞাত গ্যাসটির আণবিক ভর নির্ণয় করো।

দক্ষতা : গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র $r_1/r_2\sqrt{M_2/M_1}$ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : গ্রাহামের সূত্রমতে,

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}\ ;\ \text{বা, } \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \frac{M_2}{M_1}$$

$$\text{বা, } (2.92)^2 = \frac{17}{M_1}\ ;\ M_1 = \frac{17}{2.92 \times 2.92} = 1.99 = 2$$

প্রশ্নমতে, $\frac{r_1}{r_2} = 2.92$

অজ্ঞাত গ্যাসের আঃ ভর, $M_1 = ?$

NH_3 গ্যাসের আঃ ভর, $M_2 = 17$

$\therefore$ অজ্ঞাত গ্যাসের আণবিক ভর হলো 2 এবং এটি H_2 গ্যাস হবে। **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৫৫ : STP-তে কোনো সূক্ষ্ম ছিদ্রযুক্ত পাত্র থেকে 5 মিনিটে 1.0 L H_2 গ্যাস নিঃসরিত হলে ঐ একই অবস্থায় একই সময়ে কী পরিমাণ O_2 গ্যাস নিঃসরিত হবে?

দক্ষতা : গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্র প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্রমতে,

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \text{ বা, } \frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{32}{2.016}} = \sqrt{15.87}$$

$$\text{বা, } \frac{0.2 \text{ L/min}}{r_2} = 3.98$$

$$\therefore r_2 = \frac{0.2 \text{ L/min}}{3.98} = 0.05 \text{ L/min}$$

প্রশ্নমতে,

H_2 গ্যাসের ব্যাপন হার, $r_1 = \frac{1 \text{ L}}{5 \text{ minute}} = 0.2$ L/min

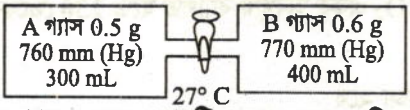
H_2 গ্যাসের আঃ ভর, $M_1 = 2.016$

O_2 গ্যাসের আঃ ভর, $M_2 = 32$

O_2 গ্যাসের ব্যাপন হার, $r_2 = ?$

$\therefore$ 5 মিনিটে নিঃসরিত O_2 গ্যাসের আয়তন = (5×0.05) L = 0.25L **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৫৬ : পার্শ্বের চিত্রটি লক্ষ্য করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [চ. বো.২০১৫]



(ক) একই তাপমাত্রা ও চাপে A ও B গ্যাসের মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি হবে তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

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 :

$$PV = \frac{w_1RT}{M_1}\ ;\quad \text{বা, } M_1 = \frac{w_1RT}{PV}$$

$$\text{বা, } M_1 = \frac{0.5\text{ g} \times 0.082\text{ L.atm K}^{-1}.\text{ mol}^{-1} \times 300\text{ K}}{1\text{atm} \times 0.3\text{ L}}$$

$$\text{বা, } M_1 = \frac{0.5 \times 0.082 \times 300}{1 \times 0.3}\text{ g mol}^{-1}$$

$\therefore M_1 = 41\text{ g mol}^{-1}$; $\therefore$ A গ্যাসের আণবিক ভর = 41

প্রশ্নমতে,

A গ্যাসের চাপ, P = 760 mm (Hg) = 1 atm

A গ্যাসের আয়তন, V = 300 mL = 0.3 L

A গ্যাসের ভর, w_1 = 0.5 g

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

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

'B' গ্যাসের বেলায় :

$$PV = \frac{w_2RT}{PV}\ ;\quad \text{বা, } M_2 = \frac{w_2RT}{PV}$$

$$\text{বা, } M_2 = \frac{0.6\text{ g} \times 0.082\text{ L. atm.K}^{-1}\text{ mol}^{-1} \times 300\text{ K} \times 760}{770\text{ atm} \times 0.4\text{ L}}$$

$$\text{বা, } M_2 = \frac{0.6 \times 0.082 \times 300 \times 760}{770 \times 0.4}\text{ g mol}^{-1}$$

$\therefore M_2 = 36.42\text{ g mol}^{-1}$;

$\therefore$ B গ্যাসের আণবিক ভর = 36.42

প্রশ্নমতে,

B গ্যাসের চাপ, $P = \frac{770}{760}$ atm

B গ্যাসের আয়তন, V = 400 mL = 0.4 L

B গ্যাসের ভর, w_2 = 0.6 g

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

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

আমরা জানি, গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্রমতে, যে গ্যাসের আণবিক ভর কম, সেটির ব্যাপন হার বেশি হয়। সুতরাং B গ্যাসের ব্যাপন হার A গ্যাসের চেয়ে বেশি হবে।

এক্ষেত্রে A গ্যাসের আ. ভর, M_1 = 41; A গ্যাসের ব্যাপন হার = r_1

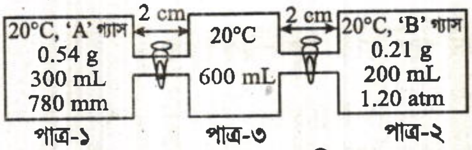
B গ্যাসের আ. ভর, M_2 = 36.42, B গ্যাসের ব্যাপন হার = r_2

গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্রমতে পাই ;

$$\frac{r_2}{r_1} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}\ ;\quad \text{বা, } \frac{r_2}{r_1} = \sqrt{\frac{41}{36.42}} = 1.061\ ;\quad \text{বা, } r_2 = 1.061 \times r_1$$

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।

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৫৭ : নিচের চিত্রটি লক্ষ্য করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [ঢা. বো. ২০১৯]



(ঘ) স্টপকক খোলা অবস্থায় পাত্র-১ ও পাত্র-২ থেকে কোন্ গ্যাসটি আগে পাত্র-৩ এ পৌছবে ? গাণিতিকভাবে তা বিশ্লেষণ করো।

দক্ষতা : পাত্র-১ এর A গ্যাস ও পাত্র-২ এর B গ্যাসের আণবিক ভর PV= wRT/M সমীকরণ থেকে বের করতে হবে। পরে উদ্দীপক মতে একই তাপমাত্রা কিন্তু ভিন্ন ভিন্ন চাপে থাকা A ও B গ্যাসের ব্যাপনের ক্ষেত্রে 2 cm দূরত্ব অতিক্রমের সময়ের পার্থক্য দেখাতে হবে।

সমাধান : 'A' গ্যাসের বেলায় :

$$PV = \frac{w_1RT}{M_1} \text{ ; বা, } M_1 = \frac{w_1RT}{PV}$$

$$\text{বা, } M_1 = \frac{0.54 \text{ g} \times 0.082 \text{ L.atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293 \text{ K}}{780 \text{ atm}/760 \times 0.3 \text{ L}}$$

$$\text{বা, } M_1 = \frac{0.54 \times 0.082 \times 293 \times 760 \text{ g mol}^{-1}}{780 \times 0.3}$$

বা, $M_1 = 42.14 \text{ g mol}^{-1}$ $\therefore$ A গ্যাসের আণবিক ভর = 42.14

প্রশ্নমতে,

A গ্যাসের চাপ, P = 780 atm/760

A গ্যাসের আয়তন, V = 0.3 L

A গ্যাসের ভর, $w_1 = 0.54$ g

A গ্যাসের তাপমাত্রা,

T = (20 + 273) K = 293 K

গ্যাস ধ্রুবক,

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

'B' গ্যাসের বেলায় :

$$M_2 = \frac{0.21 \text{ g} \times 0.082 \text{ L . atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 293 \text{ K}}{1.2 \text{ atm} \times 0.2 \text{ L}}$$

$$\text{বা, } M_2 = \frac{0.21 \times 0.082 \times 293 \text{ g mol}^{-1}}{1.2 \times 0.2}$$

বা, $M_2 = 21.02 \text{ g mol}^{-1}$ $\therefore$ B গ্যাসের আণবিক ভর = 21.02

B গ্যাসের চাপ, P = 1.2 atm

B গ্যাসের আয়তন, V = 0.2 L

B গ্যাসের ভর, $w_2 = 0.21$ g

B গ্যাসের তাপমাত্রা, T = 293 K

আমরা জানি, গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্র মতে যে গ্যাসের আণবিক ভর কম, সেটির ব্যাপন হার বেশি হয়; যখন উভয় গ্যাসের তাপমাত্রা ও চাপ সমান থাকে। প্রদত্ত উদ্দীপকে তাপমাত্রা একই আছে; কিন্তু চাপ ভিন্ন দেওয়া হয়েছে। তাই উদ্দীপক মতে 2 cm দূরত্ব প্রতিটি গ্যাস দ্বারা ব্যাপন বা অতিক্রম করতে কত সময় লাগে তা আনুপাতিকভাবে দেখাতে হবে।

সুতরাং স্থির তাপমাত্রায়, কিন্তু ভিন্ন চাপে A ও B গ্যাসের ব্যাপন হারের সম্পর্ক হবে :

$$\frac{t_B}{t_A} = \frac{r_A}{r_B} = \frac{p_A}{p_B} \times \sqrt{\frac{M_B}{M_A}} \text{ ; বা, } \frac{t_B}{t_A} = \frac{1.026}{1.20} \times \sqrt{\frac{21.02}{42.14}}$$

$$\text{বা, } \frac{t_B}{t_A} = (0.855 \times 0.706) = 0.60 \text{ ; বা, } t_B = 0.6 \times t_A$$

প্রশ্নমতে,

P_A = 780 atm/760 = 1.026 atm

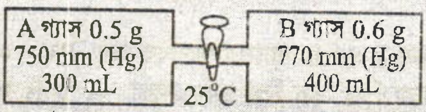
P_B = 1.20 atm

বিশ্লেষণ : সুতরাং গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করা যায় যে, পাত্র-২ এর 'B' গ্যাসটির আণবিক ভর 21.02 এবং চাপ 1.20 atm হওয়ায় এটি পাত্র-১ এ থাকা 'A' গ্যাস যার আণবিক ভর 42.14 এবং চাপ 1.026 atm এর তুলনায় 0.6 গুণন কম সময়ে পাত্র-৩ এ পৌছবে। অর্থাৎ 'A' গ্যাসটি 10 সেকেন্ডে পৌছলে, তখন B গ্যাসটির সময় লাগবে = $0.6 \times 10 = 6$ সেকেন্ড।

শিক্ষার্থী নিজে করো –১.৭ : গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্রভিত্তিক সমস্যা :

(i) (সমচাপে) $\frac{t_2}{t_1} = \frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$, (ii) (ভিন্ন চাপে) $\frac{r_A}{r_B} = \frac{P_A}{P_B} \times \sqrt{\frac{M_B}{M_A}}$, (iii) $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$

সমস্যা-১.৮২ : নিচের চিত্রটি লক্ষ্য করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [চ. বো. ২০১৫]

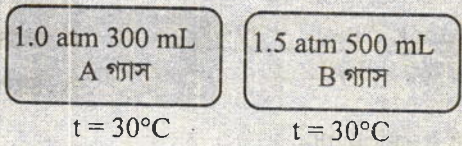


(ক) স্টপকক খুলে দিলে গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ কত হবে? [উঃ 761.43 mm(Hg)]

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

[**সংকেত :** সমাধানকৃত সমস্যা-১.৫৬ দেখো]

সমস্যা-১.৮৩ : উদ্দীপক চিত্রটি লক্ষ্য করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ব. বো ২০১৫]

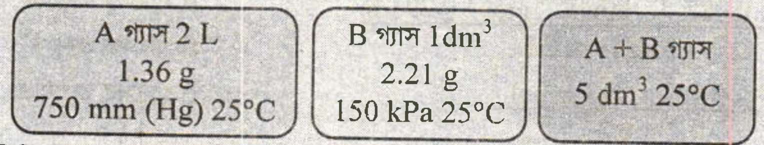


(ক) A ও B গ্যাস দুটিকে এক লিটার পাত্রে রাখা হলে মিশ্রিত গ্যাসের মোট চাপ নির্ণয় করো। [উঃ 1.05 atm]

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

উঃ আ. ভর $M_A : M_B = 32.3 : 28.16$ এবং সমচাপে $r_A : r_B = 0.934 : 1$]; (প্রদত্ত চাপে) $r_A : r_B = 0.623 : 1$

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



(ক) উদ্দীপকের মিশ্রিত পাত্রে মোট চাপ নির্ণয় করো। [উঃ 69.996 kPa]

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

[**সংকেত :** গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র দেখো। [উঃ আঃ ভর $M_A : M_B = 16.84 : 36.49$ এবং

(সমচাপে) $r_A : r_B = 1.47 : 1$] ; **(প্রদত্ত চাপে)** $r_A : r_B = 1.036 : 1$

সমস্যা– ১.৮৫ : নিচে দেয়া প্রতি জোড়া গ্যাসের মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি হবে? এদের ব্যাপন হার বের করো।

(ক) Kr ও O_2 (খ) N_2 ও C_2H_2, (গ) H_2 ও O_2 [উঃ (ক) 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 করো। [উঃ $^{20}Ne(1.05) > {}^{21}Ne(1.02) > {}^{22}Ne(1.00)$]

সমস্যা-১.৮৭ (ক) : একটি সূক্ষ্ম ছিদ্রের মধ্যদিয়ে 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? [উঃ 69.95]

সমস্যা-১.৮৭ (খ) : একটি সূক্ষ্ম ছিদ্রের মধ্যদিয়ে 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 করো। [উঃ 32.256]

সমস্যা-১.৮৭ (গ) : একই তাপমাত্রা ও চাপে একটি সূক্ষ্ম ছিদ্রপথে একটি অজ্ঞাত গ্যাস (A) ও ক্লোরিন এর নিঃসরণ হার 7 ঃ 6 হয়। অজ্ঞাত গ্যাস (A) এর আণবিক ভর কত হবে? [উঃ 52.16]

সমস্যা-১.৮৭ (ঘ) : একই তাপমাত্রা ও চাপে একটি সরু ছিদ্রপথ দিয়ে সমআয়তনের অক্সিজেন ও একটি অজ্ঞাত গ্যাসের নিঃসরণের জন্য 56 সেকেন্ড ও 80 সেকেন্ড সময় লাগে। অজ্ঞাত গ্যাসটির আণবিক ভর নির্ণয় করে। [উঃ 65.31]

সমস্যা-১.৮৭ (ঙ) : 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 করো। [উঃ 79]

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 করো। [উঃ 16]

সমস্যা -১.৮৭ (ছ) : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ও চাপে একটি সরু ছিদ্র দিয়ে একটি অজ্ঞাত গ্যাস নির্গমনের হার ঐ একই ছিদ্র দিয়ে NH_3 গ্যাসের নির্গমন হারের 2.9 গুণ হলে অজ্ঞাত গ্যাসের আণবিক ভর কত হবে? [উঃ 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? [উঃ 10.14 cm]

সমস্যা-১.৮৮ (খ) : $NH_4Cl + CaO \rightarrow A\,(gas) + CaCl_2 + H_2O$ [ঢা. বো. ২০২৩]

$$CH_3OH + PCl_5 \rightarrow CH_3Cl + POCl_3 + B\,(gas)$$

উদ্দীপকের গ্যাসদ্বয় 70 cm দীর্ঘ কাচনলের দুই মুখে পৃথকভাবে প্রবেশ করলে কাচনলের ভেতরে পরস্পর কত দূরত্বে মিলিত হবে? উঃ $A(NH_3)$ এর প্রান্ত থেকে 41.54 cm ভেতরে।

সমস্যা-১.৮৮ (গ) : 25°C-এ ও 50 kPa চাপে 8.885 g 'X' গ্যাস 10 dm^3 আয়তন দখল করে। আবার 25°C-এ ও 200 kPa চাপে 2.423 g 'Y' গ্যাস 1.0 dm^3 আয়তন দখল করে। একই তাপমাত্রা ও চাপে X ও Y গ্যাসের ব্যাপন হার গণনা করো। [উঃ $M_X = 44$, $M_Y = 30$; $r_X : r_Y = 1 : 1.211$] [দি. বো. ২০১৫]

সমস্যা-১.৮৮ (ঘ) : 27°C-এ ও 760 mm(Hg) চাপে 0.5 g 'A' গ্যাস 300 mL আয়তন দখল করে। আবার 27°C-এ 770 mm(Hg) চাপে 0.6 g 'B' গ্যাস 400 mL আয়তন দখল করে। একই তাপমাত্রা ও চাপে A ও B গ্যাসের মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি হবে? [উঃ $M_A = 41$, $M_B = 36.42$, $r_A : r_B = 0.94\ 1$] [চ. বো. ২০১৫]

সমস্যা-১.৮৮ (ঙ) : নিচের উদ্দীপক মতে, একই তাপমাত্রায় ও চাপে A ও B এর মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। [দি. বো. ২০১৬]

[উঃ A এর আণবিক ভর = 21.79; B এর আণবিক ভর = 30.98; A এর ব্যাপন হার বেশি হবে]

সমস্যা -১.৮৮ (চ) : নিচে দেয়া উদ্দীপকের চিত্রটি লক্ষ্য করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [য. বো. ২০১৭]

(ক) স্টপকক খোলা অবস্থায় গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ কত হবে তা নির্ণয় করো। [উঃ 765.45 mm(Hg)]

(খ) একই তাপমাত্রায় ও চাপে A ও B গ্যাস দুটির মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

[উঃ $M_A = 39.23$, $M_B = 28.23$; (একই চাপে) $r_A : r_B = 0.848 : 1$; (প্রদত্ত চাপে) $r_A : r_B = 0.837 : 1$]

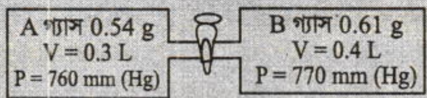
সমস্যা –১.৮৮ (ছ) : নিচে দেয়া উদ্দীপকের চিত্রটি লক্ষ্য করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [সি. বো. ২০১৭]

A গ্যাস 0.6 g 750 mm (Hg) 27°C	B গ্যাস 0.7 g 760 mm (Hg) 350 mL. 27°C	C গ্যাস, ঘনত্ব 1.25 g/L 25°C

(ক) উদ্দীপকের C গ্যাসটির RMS বেগ নির্ণয় করো। [উ: 489.77 ms^{-1}]

(খ) একই তাপমাত্রা ও চাপে A গ্যাস ও B গ্যাসের মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি তা গাণিতিকভাবে মূল্যায়ন করো। [বি. দ্র. A গ্যাসের আয়তন দেয়া হয়নি।] [আয়তন 300 mL ধরা হলো।]

সমস্যা –১.৮৮ (জ) : নিচে দেয়া উদ্দীপকের চিত্রটি লক্ষ্য করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [কু. বো. ২০১৭]



(ক) স্টপকক খোলা অবস্থায় 30°C তাপমাত্রায় গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ নির্ণয় করো।

[উ: 25°C এ চাপ = 765.71mm(Hg); 30°C এ চাপ = 778.56 mm(Hg)]

(খ) 25°C তাপমাত্রায় A ও B গ্যাস দুটির ব্যাপন হার তুলনা করো।

[উ: $M_A = 43.98$, $M_B = 36.79$; সমচাপে $r_A : r_B = 0.9145 : 1$; (প্রদত্ত চাপে) $r_A : r_B = 0.903 : 1$]

শিক্ষার্থীর শ্রেণিতে দলবদ্ধ কাজ (Students' Group Work in Class)

১.৪ গ্যাসের আয়তনের ওপর চাপের প্রভাব পর্যবেক্ষণ (বয়েলের সূত্র)

বড়ো 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 (চিত্র-১.১৩)।

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।

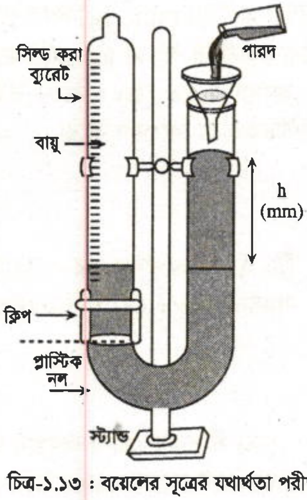
কাজের ধারা : (১) চিত্রের মতো একটি ব্যুরেটে ১ম অবস্থায় পারদ ঢেলে কিছু বায়ুকে আবদ্ধ করো। পারদের লেভেল উভয় নলে সমান করো। এ অবস্থায় আবদ্ধ বায়ু 1 atm চাপে আছে। এখন বায়ুর আয়তন ঠিক করে তোমার পাঠ্যবইয়ের চিত্র–১.৫ এর (খ) পর্যবেক্ষণ ডাটা এর মতো রেকর্ড করো।

(২) ডানদিকের প্লাস্টিক নলে আরো পারদ ঢেলে আবদ্ধ বায়ুর আয়তনের পরিবর্তন লক্ষ্য করো। বায়ুর আয়তনের পরিবর্তন রেকর্ড করো এবং ডানদিকের প্লাস্টিকের নল ও ব্যুরেটের পারদের লেভেল বরাবর বাদ দিয়ে অবশিষ্ট উচ্চতা h(mm) রেকর্ড করো।

(৩) এরূপে তিন চারটি পরিবর্তন রেকর্ড করো।

(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 করো।

(৫) লেখচিত্র মতে মতামত প্রকাশ করো।



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**

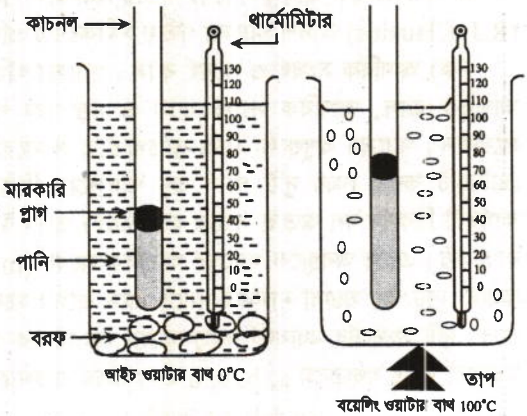
পরীক্ষার নাম : চার্লসের সূত্র সম্পর্কীয় পরীক্ষা :

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) পার্শ্বের চিত্রের মতো এক প্রান্তে মুখ বন্ধ একটি কাচনলে নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ুকে মারকারি প্লাগ দিয়ে আবদ্ধ করে আইস-ওয়াটার বাথে ডুবিয়ে রাখো। থার্মোমিটার ডুবিয়ে পানির তাপমাত্রা 0°C রেকর্ড করো ও কাচনলের মধ্যে থাকা গ্যাসের আয়তন কাচনলের দৈর্ঘ্য থেকে মেপে নাও। পর্যবেক্ষণ ডাটার তালিকায় তাপমাত্রা ও গ্যাসের আয়তন রেকর্ড করো। এ বইয়ের চিত্র- ১.৭ অনুসরণ করো। (২) এবার ২য় চিত্র মতে ওয়াটার বাথকে উত্তপ্ত করো। আবদ্ধ বায়ুর কাচনলকে থার্মোমিটারসহ ঐ বাথে নাও। 25°C তাপমাত্রার ব্যবধানে কাচনলের বায়ুর আয়তন বৃদ্ধি রেকর্ড করো। (৩) তোমার পাঠ্যবইয়ের চিত্র-১.৮ এর মতো তোমার পর্যবেক্ষণ ডাটা থেকে লেখচিত্র অঙ্কন করো। (৪) লেখচিত্র মতে মতামত প্রকাশ করো।



চিত্র-১.১৪ : চার্লসের সূত্রের যথার্থতা পরীক্ষা।

১.৫ গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্ব

জনক: বার্নৌলি

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 বড়ো, কোনো গ্যাসের তা ছোটো। 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 এসব গ্যাস সূত্রের গাণিতিক ব্যাখ্যা দিয়েছেন। এক্ষেত্রে বিজ্ঞানী ম্যাক্সওয়েল ও বোল্টজম্যানের অবদান বিশেষ উল্লেখযোগ্য। **গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্বের স্বীকার্যগুলো নিম্নরূপ :**

১। গ্যাসের গঠন : যেকোনো গ্যাস অসংখ্য ক্ষুদ্র কণিকা যেমন **পরমাণু অথবা অণুর** সমন্বয়ে গঠিত। এসব কণিকা বা অণু খুব দ্রুতগতিতে সরলরৈখিক পথে ইতস্তত সম্ভবপর সব দিকে ছোটাছুটি 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।

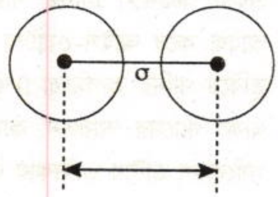
৪। আন্তঃআণবিক সংঘর্ষ ও প্রকৃতি : গ্যাসের অণুগুলোর মধ্যে পরস্পরের সাথে বা পাত্রের দেয়ালের সাথে সংঘর্ষ ঘটে, তখন ঐ সংঘর্ষগুলোও সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক হয় অর্থাৎ তাদের গতিশক্তি অভ্যন্তরীণ বা অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হয় না। নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় (T), গ্যাসের অণুগুলোর মোট গতিশক্তি (E_k) স্থির থাকে।

৫। গ্যাসের চাপ : অবিরাম স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষের মাধ্যমে গ্যাসাধারের দেওয়ালে প্রতি একক ক্ষেত্রফলে গ্যাস অণুগুলোর প্রয়োগকৃত বলকে **গ্যাসের চাপ** বলে।

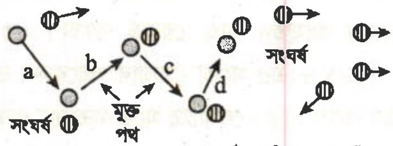
৬। গ্যাসের অণুর গতিশক্তি : গ্যাসের অণুগুলোর গড় গতিশক্তি সংশ্লিষ্ট গ্যাসের কেলভিন তাপমাত্রার সমানুপাতিক। গ্যাসের গতিতত্ত্ব হতে তাত্ত্বিকভাবে দেখানো যায় যে, যদি কোনো আদর্শ গ্যাসের আয়তন V, এর চাপ P, প্রতিটি গ্যাস অণুর ভর m, নমুনায় গ্যাস অণুর সংখ্যা N এবং গ্যাস অণুগুলোর বর্গমূল-গড়-বর্গ গতিবেগ c হয়, 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 ছোটাছুটি 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। পরপর 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 বড়ো হয়। অধিকাংশ গ্যাসের আণবিক ব্যাসের মাত্রা 2Å (অ্যাংস্ট্রম) বা, 2×10^{-10} m এর কাছাকাছি হয়। অপরদিকে সংঘর্ষ ব্যাসের মাত্রা 2Å থেকে 4Å এর মধ্যে থাকে। সংঘর্ষকালীন দুটি অণু এদের আণবিক সংঘর্ষ ব্যাসের চেয়ে বেশি নিকটে আসতে পারে না।



চিত্র-১.১৫ : সংঘর্ষ ব্যাস।



গড় মুক্ত পথ, $l = \frac{(a+b+c+d)}{4}$

চিত্র-১.১৫ : (ক) সরলরৈখিক পথে ইতস্তত সম্ভবপর সব দিকে অণুগুলোর ছোটাছুটি, আণবিক সংঘর্ষ, মুক্ত পথ ও গড় মুক্ত পথ।

১.৫.১ গ্যাসের বর্গমূল-গড় বর্গবেগ ও অন্যান্য গতিবেগ

Root Mean Square Velocity & Other Velocities

যেকোনো গ্যাসের নমুনায় অসংখ্য অণু থাকে, অণুগুলোর মধ্যে অবিরাম সংঘর্ষের ফলে এদের মোট গতিশক্তির কোনো পরিবর্তন না হলেও বিভিন্ন অণুর গতিবেগ সব সময় পরিবর্তন ঘটে। এসব অণুর গতিবেগ কোনো সময় সমান নয় কোনো মুহূর্তে একটি অণুর গতিবেগ প্রায় শূন্য হতে পারে, সে সময় আরেকটি অণুর গতিবেগ তা-অপেক্ষা কয়েক শ গুণ বেশি হতে পারে। দ্রুতগতির 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 হিসাব বা, গণনা করা যায়।

DAT: 17-18

MCQ–1.23 : নিচের কোনটির ব্যাপন হার বেশি? [য. বো. ২০১৬]
(ক) ফ্লোরিন (খ) অক্সিজেন
(গ) নিয়ন (ঘ) ক্লোরিন

বিজ্ঞানীরা গ্যাস অণুগুলোর গতিবেগকে তিনভাবে প্রকাশ করেছেন। যেমন,
(১) বর্গমূল গড় বর্গবেগ : RMS-Velocity or Root Mean Square Velocity
(২) সাধারণ গড় বেগ : Average Velocity
(৩) সম্ভাব্যতম বেগ : Most Probable Velocity

(১) বর্গমূল-গড়-বর্গবেগ বা RMS বেগ : কোনো গ্যাসের অণুসমূহের গতিবেগের বর্গের গড়মানের 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,

$$c = \sqrt{\frac{c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + c_4^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + c_N^2}{N}}$$

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 ভরভিত্তিক 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 অর্থ হবে 1 mol গ্যাস অণুর ভর বা গ্যাসের গ্রাম-আণবিক ভর (M)। $\therefore PV = \frac{1}{3} . Mc^2$, বজ্রগুণন 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। যে গ্যাসের মোলার ভর কম, সে গ্যাসের RMS বেগ বেশি। তাই H_2, N_2, CO_2 এর RMS বেগের ক্রম হলো $H_2 > N_2 > CO_2$।

(২) গড় গতিবেগ (mean velocity) : কোনো গ্যাসের অণুগুলোর বিভিন্ন গতিবেগের পাটীগণিতীয় গড়কে ঐ গ্যাসের অণুগুলোর গড় গতিবেগ 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 হবে,

$$\bar{c} = \frac{(c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + \ldots\ldots\ldots\ldots c_N)}{N}$$

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 গতিবেগ, $\bar{c} = \frac{(2 + 3 + 4)}{3} = 3 \text{ cms}^{-1}$

আবার গ্যাস অণুর RMS বেগ, $c = \sqrt{\frac{(2)^2 + (3)^2 + (4)^2}{3}} = 3.109\ cms^{-1}$

∴ RMS বেগ এর মান গড় বেগের মান থেকে কিছুটা বেশি হয়।

(৩) সম্ভাব্যতম বেগ : গ্যাসের গতিতত্ত্ব মতে, অনবরত সংঘর্ষে রত গ্যাস অণুগুলোর বেগ সব সময় পরিবর্তিত হয়। গ্যাস অণুগুলোর মধ্যে নিম্নবেগ থেকে উচ্চ বেগের–সব ধরনের বেগ যুক্ত অণুসমূহ 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 ধরনের 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 $\alpha : \bar{c} : c = 1.0 : 1.12 : 1.22$

MCQ–1.24 : দুটি গ্যাসের গড় গতিশক্তি কখন সমান হয়?
[রা. বো. ২০১৫]
(ক) চাপ সমান থাকলে
(খ) আণবিক ভর সমান হলে
(গ) তাপমাত্রা সমান হলে
(ঘ) আয়তন সমান হলে

বর্গমূল-গড়-বর্গ গতিবেগ বা, RMS বেগ 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। তাই RMS বেগ গ্যাসের অণুর গড় বেগ অপেক্ষা অধিক উপযোগী। যেমন,

মনে করি, একটি গ্যাসের নমুনায় N সংখ্যক অণু আছে, এদের গতিবেগ যথাক্রমে $c_1, c_2, c_3 \ldots\ldots\ldots\ldots c_N$ এবং প্রতিটি অণুর ভর m.।

$$\therefore \text{অণুসমূহের মোট গতিশক্তি} = \frac{1}{2}mc_1^2 + \frac{1}{2}mc_2^2 + \frac{1}{2}mc_3^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + \frac{1}{2}mc_N^2$$

$$= \frac{1}{2}m\,(c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + c_N^2) \ldots\ldots\ldots (১)$$

আবার প্রতিটি অণুর সাধারণ গতিবেগ বা, RMS বেগ c ধরা হলে প্রতিটি অণুর গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mc^2$। সুতরাং N সংখ্যক অণুর সর্বমোট গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mNc^2 = \frac{1}{2}m.\,N.\left\{\sqrt{\frac{(c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \ldots\ldots\ldots + c_N^2)}{N}}\right\}^2$

$$= \frac{1}{2} mN \frac{(c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \cdots\cdots\cdots + c_N^2)}{N}$$

$$= \frac{1}{2} m (c_1^2 + c_2^2 + c_3^2 + \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots + c_N^2) \cdots\cdots\cdots (২)$$

সমীকরণ (১) ও (২) তুলনামূলক করলে দেখা যায় যে, RMS বেগ বা, বর্গমূল–গড়-বর্গ গতিবেগকে প্রত্যেকটি অণুর সাধারণ গতিবেগ ধরে অণুসমূহের মোট গতিশক্তি হিসাব করা হলে তা প্রকৃত গতিশক্তির সমান হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৫৮ : RMS বেগ গণনা :

STP-তে একটি গ্যাসের ঘনত্ব 1.25 gL^{-1} হয়। 27°C তাপমাত্রায় গ্যাসটির অণুসমূহের RMS বেগ বের করো।

দক্ষতা : প্রথমে গ্যাসটির মোলার ভর বের করো। পরে $c = \sqrt{3RT/M})$ ব্যবহার করো।

সমাধান : STP-তে 1 L গ্যাসের ভর = 1.25 g;

$\therefore$ 22.4 L গ্যাসের ভর = 1.25 g × 22.4 = 28 g = 1 mol গ্যাস।

$c = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$; এখানে $R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$,

$T = (273 + 27) = 300\ K$

$M = 28\ g\ mol^{-1} = 28 \times 10^{-3}\ kg\ mol^{-1}$

$$\therefore c = \sqrt{\frac{3 \times 8.314\ JK^{-1} mol^{-1} \times 300K}{28 \times 10^{-3}\ kg\ mol^{-1}}} = 516.9\ ms^{-1}$$

> **MCQ–1.25: কোনটি RMS বেগ সম্পর্কিত?**
>
> (ক) $c = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ (খ) $c = \sqrt{\frac{RT}{M}}$
>
> (গ) $c = \sqrt{\frac{8RT}{M}}$ (ঘ) $c = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৫৯ : 21°C তাপমাত্রায় এবং 720 mm (Hg) চাপে CO_2 অণুর বর্গমূল গড়-বর্গ গতিবেগ (r.m.s বেগ) নির্ণয় করো। [দি. বো. ২০১৯]

সমাধান : SI পদ্ধতিতে, যেকোনো গ্যাসের RMS বেগের জন্য, R এর একক $Jmol^{-1}\ K^{-1}$, তাপমাত্রার একক K এবং আণবিক ভরের একক $kg\ mol^{-1}$ হবে। তখন c এর মান ms^{-1} হবে।

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

$$c = \sqrt{\frac{3 \times 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1} \times 294\ K}{44 \times 10^{-3}\ kg\ mol^{-1}}}$$

$$= \sqrt{16.666 \times 10^4 m^2 s^{-2}}$$

$= 408.24\ ms^{-1}$ **(উত্তর)**

এখানে $R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$

$T = (21 + 273) = 294\ K$

$M = 44\ g\ mol^{-1} = 44 \times 10^{-3}\ kg\ mol^{-1}$

[$\therefore$ CO_2 এর আণবিক ভর = 44]

[$\therefore$ $1J = 1N.m = 1kg\ ms^{-2}.m = 1kg\ m^2s^{-2}$]

দ্রষ্টব্য : CGS পদ্ধতিতে, গ্যাসের RMS বেগ নির্ণয়ে, R এর মান $8.32 \times 10^7 erg\ mol^{-1}.K^{-1}$, আণবিক ভর $M = g\ mol^{-1}$ হবে, তখন RMS বেগ c এর মান সরাসরি $cm\ s^{-1}$ এককে পাওয়া যাবে।

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৬০ : 25°C তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে NH_3 অণুর RMS বেগ CGS পদ্ধতিতে কত হবে?

দক্ষতা : RMS বেগ, $c = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$; CGS পদ্ধতিতে, $R = 8.32 \times 10^7 erg.mol^{-1}K^{-1}$ এবং $M = 17\ g.mol^{-1}$ হবে।

$T = (25 + 273)\ K = 298\ K$

সমাধান : RMS বেগ, $c = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$; এক্ষেত্রে NH_3 এর গ্রাম-আণবিক ভর, $M = 17\ g.mol^{-1}$,

[$1erg = 1\ dyne \times 1\ cm = 1\ g.cms^{-2} \times 1\ cm$]

$$c = \sqrt{\frac{3 \times 8.32 \times 10^7\ ergK^{-1}mol^{-1} \times 298\ K}{17\ g\ mol^{-1}}}$$

বা, $$c = \sqrt{\frac{3 \times 8.32 \times 10^7\ g\ cm^2 s^{-2}\ mol^{-1} \times 298\ K}{17\ g\ mol^{-1}}}$$

বা, $c = 6.6146 \times 10^4\ cm\ s^{-1} = 66146\ cm\ s^{-1}$ (উত্তর)

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৬১ : STP-তে একটি গ্যাসের ঘনত্ব $1.15\ gL^{-1}$; 27°C তাপমাত্রায় এবং 700 mm (Hg) চাপে গ্যাসটির অণুসমূহের বর্গমূল গড়–বর্গবেগ (r.m.s বেগ) নির্ণয় করো।

সমাধান : প্রশ্নমতে, STP-তে 1 L. গ্যাসের ভর = 1.15 g [∵ STP-তে গ্যাসের ঘনত্ব = $1.15\ gL^{-1}$]

∴ STP-তে 22.4 L গ্যাসের ভর = 1.15 × 22.4 g = 25.76 = 1 mol

∴ গ্যাসটির আণবিক ভর = 25.76; গ্যাসের গতিতত্ত্ব হতে আমরা জানি,

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

এখানে, $R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$

$T = (273 + 27)\ K = 300\ K$

$M = 25.76\ g\ mol^{-1} = 25.76 \times 10^{-3}\ kg\ mol^{-1}$

$$\therefore c = \sqrt{\frac{3 \times 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1} \times 300\ K}{25.76 \times 10^{-3} kg\ mol^{-1}}}$$

$= \sqrt{29.05 \times 10^4}\ m\ s^{-1} = 5.389 \times 10^2\ m\ s^{-1}$ (উত্তর)

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৬২ : 25°C তাপমাত্রায় একটি গ্যাসের ঘনত্ব 1.75 g/L হলে ঐ তাপমাত্রায় গ্যাসটির অণুসমূহের r. m. s. বেগ নির্ণয় করো।

সমাধান : 25°C তাপমাত্রায় বা SATP-তে গ্যাসের মোলার আয়তন হয় 24.789 L এবং প্রশ্নমতে গ্যাসটির ঘনত্ব 1.75 g/L।

সুতরাং 25°C গ্যাসটির 1 mol বা গ্রাম-আণবিক ভর = 1.75 × 24.789 g = 43.38 g.

কোনো গ্যাসের r. m. s বেগ, $c = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$

এখানে, $R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$

$T = (25 + 273)\ K = 298\ K$

$M = 43.38 \times 10^{-3}\ kg\ mol^{-1}$

$$\therefore c = \sqrt{\frac{3 \times 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1} \times 298\ K}{43.38 \times 10^{-3}\ kg\ mol^{-1}}}$$

∴ $c = 413.933\ m\ s^{-1}$ (উত্তর)

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৬৩ : 0°C তাপমাত্রায় একটি গ্যাসের r.m.s. বেগ 49330 cm s^{-1} হলে গ্যাসটির-আণবিক ভর কত?

সমাধান : কোনো গ্যাসের বর্গমূল গড় বর্গবেগ,

$c = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$; বা, $c^2 = \frac{3RT}{M}$; বা, $M = \frac{3RT}{c^2}$

$\therefore M = \frac{3 \times 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1} \times 273\ K}{(493.3\ ms^{-1})^2}$

$= \frac{3 \times 8.314 \times 273 \times kg\ ms^{-2} \times m \times K^{-1} mol^{-1} xK}{243344.89\ m^2 s^{-2}}$

$= 0.027981545\ kg\ mol^{-1}$

এখানে,
r. m. s বেগ, $c = 49330\ cm\ s^{-1} = 493.3\ m\ s^{-1}$
মোলার গ্যাস ধ্রুবক, $R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$
গ্যাসের তাপমাত্রা, $T = 273\ K$
কি . গ্রামে আ. ভর, $M = ?\ (kg\ mol^{-1})$
[$\therefore$ $1\ J = 1N \times m = 1\ kg.m.s^{-2} \times m$]

$\therefore$ যৌগটির কি. গ্রাম আণবিক ভর $= 0.027981545\ kg\ mol^{-1}$

অর্থাৎ গ্রাম আণবিক ভর $= 0.027981545 \times 10^3\ g\ mol^{-1} = 27.98\ g\ mol^{-1}$ (প্রায়)

$\therefore$ নির্ণেয় আণবিক ভর = 27.98 (প্রায়) **(উত্তর)**

১.৫.২ গ্যাসের কণার গতিশক্তি হিসাব

Calculation of E_k of Gas particles

আদর্শ গ্যাসের গতীয় সমীকরণ ($PV = \frac{1}{3}mNc^2$) 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, $PV = \frac{1}{3}mNc^2$; এক্ষেত্রে, m = গ্যাসের প্রতিটি অণুর ভর, N = গ্যাসের মোট অণুর সংখ্যা, c = গ্যাসের RMS বেগ আদর্শ গ্যাসের গতীয় সমীকরণটিকে বিন্যস্ত করে পাই;

DAT: 22-23, 23-24

$PV = \frac{1}{3}mN_Ac^2$; এক মোল গ্যাসের জন্য

$N = N_A$ (অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা) $= \frac{2}{3}N_A . \frac{1}{2}mc^2$;

বা, $\frac{1}{2}mc^2 = \frac{3PV}{2N_A}$;

জেনে নাও :

(১) n মোল গ্যাস অণুর গড় গতিশক্তি $= \frac{3nRT}{2}$ J;

(২) এক মোল গ্যাস অণুর গতিশক্তি $= \frac{3RT}{2}$ $J\ mol^{-1}$;

(৩) একটি অণুর গতিশক্তি $= \frac{3RT}{2N_A}$ $J\ molecule^{-1}$;

বা, $E_k = \frac{3PV}{2N_A} = \frac{3RT}{2N_A}$; এখানে, E_K = একটি অণুর গড় গতিশক্তি ।

$\therefore$ এক মোল গ্যাসের অণুর গতিশক্তি , $E_{K_1} = \frac{3RT}{2}$; এখানে E_{K_1} হলো এক মোল গ্যাসের গতিশক্তি প্রকাশক প্রতীক।

n মোল গ্যাসের অণুসমূহের গতিশক্তি হবে : $E_{K_n} = \frac{3nRT}{2}$

MAT: 18-19, 14-15

জেনে নাও : $E_{K_n} = \frac{3nRT}{2}$; সমীকরণ মতে,
গ্যাসের মোট গতিশক্তির মান নির্ভর করে --
(১) গ্যাসের পরিমাণ (n) বা, ঘনত্ব ও
(২) কেলভিন তাপমাত্রার ওপর।

উদাহরণ : 298 K 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 = 298 K

এবং $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ molecules mol^{-1} বসিয়ে পাই,

$E_k = \frac{3 \times 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1} \times 298\ K}{2 \times 6.022 \times 10^{23}\ molecules\ mol^{-1}} = 6.17 \times 10^{-21}\ J.molecule^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৬৪ : 25°C তাপমাত্রায় 1g CO_2 গ্যাসের অণুসমূহের গতিশক্তি বের করো।

দক্ষতা : n মোল গ্যাসের গতিশক্তি $= \frac{3}{2}nRT$ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : CO_2 আণবিক ভর = 44;

$\therefore$ 44 g CO_2 = 1 mol CO_2

$\therefore$ 1 g $CO_2 = \frac{1}{44}$ mol CO_2

গ্যাসের গতিতত্ত্ব থেকে আমরা জানি,

> **MCQ–1.26 : এক মোল গ্যাসের গতিশক্তি সমীকরণ কোনটি?**
> (ক) $KE = \frac{3RT}{2N_A}$ (খ) $KE = \frac{3RT}{8}$
> (গ) $KE = \frac{3RT}{2}$ (ঘ) $KE = \frac{1}{3}mc^2$

n mol গ্যাসের অণুসমূহের গতিশক্তি , $E_{Kn} = \frac{3}{2}nRT$

$\therefore \frac{1}{44}$ mol CO_2 এর অণুসমূহের গতিশক্তি $= \frac{3}{2} \times \frac{1 \text{ mol RT}}{44}$;

এখানে $R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$T = (25 + 273) \text{ K} = 298 \text{ K}$

$\therefore$ নির্ণেয় গতিশক্তি , $E_k = \frac{3}{2} \times \frac{1 \text{ mol}}{44} \times 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 298 \text{ K}$

= 84.46 J **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা –১.৬৫ : 27°C তাপমাত্রায় 16 g অক্সিজেনের গতিশক্তি গণনা করো। [ব. বো. ২০১৯]

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 $= \frac{1 \times 16 \text{ g}}{32 \text{ g mol}^{-1}} = 0.5$ mol O_2 গ্যাস

আমরা জানি, n মোল গ্যাসের গতিশক্তি $= \frac{3}{2}nRT$;

$\therefore$ 0.5 মোল O_2 গ্যাসের গতিশক্তি হবে –

$E_K = \frac{3}{2} \times 0.5 \text{ mol} \times 8.314 \text{ JK}^{-1}.\text{mol}^{-1} \times 300 \text{ K}$

$\therefore E_K = 1870.65$ J **(উত্তর)**

এক্ষেত্রে,
n = 0.5 mol
$R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
$T = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$

সমাধানকৃত সমস্যা –১.৬৬ : নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সমস্যা দুটি সমাধান করো। [সি. বো. ২০১৯]

Cl_2 গ্যাস 10 g 20° C	চুনাপাথর বিযোজনে উৎপন্ন ‘A’ গ্যাস, 15°C

(ক) উদ্দীপকের Cl_2 গ্যাসের গতিশক্তি নির্ণয় করো।

(খ) ‘A’ গ্যাসের তাপমাত্রা কত পরিবর্তন করলে উদ্দীপকের উভয় গ্যাসের RMS বেগ সমান হবে; তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

সমাধান : (ক) Cl_2 এর গতিশক্তি নির্ণয় : n মোল গ্যাসের অণুসমূহের গতিশক্তি, $E_K = \frac{3nRT}{2}$

এক্ষেত্রে 10 g Cl_2 এর মোল সংখ্যা, $n = \frac{10 \text{ g}}{71 \text{ g mol}^{-1}} = 0.1408$ mol

$\therefore$ 20°C এ ঐ Cl_2 এর গতিশক্তি, $E_K = \frac{3 \times 0.1408 \text{ mol} \times 8.314 \text{ J mol}^{-1}.\text{K}^{-1} \times 293 \text{ K}}{2} = 514.48$ J **(উত্তর)**

সমাধান : (খ) উদ্দীপক মতে ‘A’ গ্যাসটি চুনাপাথর বিযোজনে উৎপন্ন হয়। তাপে চুনাপাথর ($CaCO_3$) বিযোজিত হয়ে CO_2 ও CaO উৎপন্ন হয়। $CaCO_3 (s) \xrightarrow{\Delta} CaO (s) + CO_2 (g)$

সুতরাং উদ্দীপকের ‘A’ গ্যাসটি হলো CO_2 গ্যাস। এখন Cl_2 গ্যাস ও CO_2 গ্যাসের RMS বেগ নির্ণয় করতে হবে।

কোনো গ্যাসের বর্গমূল গড় বর্গবেগ বা RMS বেগ হলো :

প্রশ্নমতে,

Cl_2 এর বেলায়;

$R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$

$T_1 = (20 + 273)\ K = 293\ K$

$M_1 = 71 \times 10^{-3}\ kg\ mol^{-1}$

$c_1 = ?$

CO_2 গ্যাসের বেলায়;

$T_2 = ?$

$M_2 = 44 \times 10^{-3}\ kg\ mol^{-1}$

$c_2 = c_1$

$c = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$; **ক্লোরিন গ্যাসের বেলায় ;**

$$c_1 = \sqrt{\frac{3 \times 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1} \times 293\ K}{71 \times 10^{-3}\ kg\ mol^{-1}}} = 320.826\ m\ sec^{-1}$$

আবার CO_2 গ্যাসের বেলায়; $c_2 = \sqrt{\frac{3 \times 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1} \times T_2K}{44 \times 10^{-3}\ kg\ mol^{-1}}}$

$\therefore 320.826\ m\ sec^{-1} = \sqrt{566.8636\ m^2 sec^{-2}\ T_2}$

$\therefore (320.826\ m\ sec^{-1})^2 = 566.8636\ m^2\ sec^{-2} \times T_2$

বা, $102929.32\ m^2\ sec^{-2} = 566.8636\ m^2\ sec^{-2}\ T_2$

$\therefore T_2 = \frac{102929.32}{566.8636} = 181.57\ K$

$\therefore$ নির্ণেয় তাপমাত্রা $= (181.57 - 273)°C = -91.43°C$

সুতরাং $-91.43°C$ তাপমাত্রায় CO_2 গ্যাসের RMS বেগ $20°C$ তাপমাত্রায় Cl_2 এর RMS বেগের সমান।

বিশ্লেষণ : গাণিতিক হিসাবে জানা গেল $-91.43°C$ তাপমাত্রায় CO_2 গ্যাসের RMS বেগ $20°C$ তাপমাত্রায় Cl_2 গ্যাসের RMS বেগের সমান হয়। বর্তমানে 'A' গ্যাস বা CO_2 গ্যাসটি $15°C$ এ রয়েছে। তাই $-91.43°C$ তাপমাত্রায় CO_2 গ্যাসকে শীতল করতে তাপমাত্রার পরিবর্তন বা হ্রাস ঘটাতে হবে $= [(15 - (-91.43)]°C = 106.43°C$। **(উত্তর)**

শিক্ষার্থী নিজে করো – ১.৮ : গ্যাসের অণুর RMS গতিবেগ ও গতিশক্তিভিত্তিক সমস্যা :

সমস্যা – ১.৮৯ (ক) : $30°C$ তাপমাত্রায় O_2 গ্যাসের RMS বেগ কত হবে? [উ: $485.97\ ms^{-1}$]

সমস্যা – ১.৮৯ (খ) : $30°C$ এ CO_2 গ্যাসের RMS বেগ নির্ণয় করো। [উ: $414.44\ ms^{-1}$] [কু. বো. ২০১৯]

সমস্যা – ১.৮৯ (গ) : $0°C$ এ CO_2 গ্যাসের RMS বেগ নির্ণয় করো। [উ: $393.39\ ms^{-1}$] [চ. বো. ২০১৯]

সমস্যা – ১.৮৯ (ঘ) : $27°C$ এ CO_2 গ্যাসের RMS বেগ কত হবে? [উ: $412.38\ ms^{-1}$] [দি. বো. ২০১৯]

সমস্যা – ১.৮৯(ঙ) : কত তাপমাত্রায় H_2 এর RMS বেগ $1961.56\ ms^{-1}$ হবে? [উ: 38°C]

সমস্যা – ১.৮৯ (চ) : $25°C$ 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 (ছ) : কত তাপমাত্রায় CO_2 এর RMS বেগ 20°C-এ Cl_2 এর RMS বেগের সমান হবে? [উ: –91 42°C]

সমস্যা– ১.৮৯(জ) : $20°C$ তাপমাত্রায় O_2 অণুর RMS বেগ কোন তাপমাত্রায় H_2 অণুর RMS বেগের সমান হবে? [উ: –254.54°C]

সমস্যা –১.৮৯ (ঝ) : কোনো তাপমাত্রায় SO_2 অণুর RMS বেগ $25°C$ এ O_2 অণুর RMS বেগের সমান হবে? [উ: 323°C]

সমস্যা –১.৮৯ (ঞ) : দেখাও যে, $50°C$ এ O_2 এর RMS বেগ $25°C$ এ H_2 গ্যাসের RMS বেগের সমান হয় না।

সমস্যা –১.৮৯ (ট) : $25°C$ এ একটি গ্যাসের ঘনত্ব 1.25 g/L হলে এর অণুসমূহের RMS বেগ কত? [উ: $489.77\ ms^{-1}$] [সি. বো. ২০১৭]

সমস্যা –১.৮৯ (ঠ) : গ্যাসের গতিশক্তি নির্ণয়ে RMS বেগ, এর গড় বেগ অপেক্ষা অধিক উপযোগী কেন? [ঢা. বো. ২০১৭]

সমস্যা–১.৮৯(ড) : 0°C তাপমাত্রায় একটি গ্যাসের RMS বেগ 493.3 ms^{-1} হলে গ্যাসটির আণবিক ভর কত?
[$M = 27.98 \times 10^{-3}$ $kgmol^{-1}$ [উঃ 27.98]

সমস্যা –১.৮৯ (ঢ) : 25°C তাপমাত্রায় H_2 এর RMS বেগ N_2 এর RMS বেগের তুলনায় কতগুণ বেশি?
[উঃ 3.73 গুণ]

সমস্যা-১.৯০ (ক) : 30°C তাপমাত্রায় প্রতি মোল হিলিয়াম ও জেননের গড় গতিশক্তি বের করো।
[উঃ $E_K = 3.778 \times 10^3$J/mol সমান]

সমস্যা-১.৯০ (খ) : 25°C তাপমাত্রায় এক মোল CO_2 এর অণুগুলোর গড় গতিশক্তি বের করো। [উঃ 3716.24J]

সমস্যা-১.৯০ (গ) : 17°C তাপমাত্রায় এক মোল N_2 গ্যাসের গতিশক্তি কত? [উঃ 3616.59J mol^{-1}] [চ. বো. ২০১৬]

সমস্যা–১.৯০ (ঘ) : 25°C ও 1 atm চাপে M গ্যাসের ঘনত্ব 1.775 gL^{-1} হয়। 0°C তাপমাত্রায় 8.0 g 'M' গ্যাসের গতিশক্তি কত? [উঃ আঃ ভর = 44, E_k = 619.02 J] [ঢা. বো. ২০২২]

সমস্যা-১.৯০ (ঙ) : 27°C তাপমাত্রায় 'B' গ্যাসের 10 g এর গতিশক্তি জুল এককে কত হবে? 'B' গ্যাসটি চুনাপাথর বিয়োজনে উৎপন্ন হয়। [উঃ 850.3 J] [রা. বো. ২০২২]

সমস্যা-১.৯০ (চ) : 25°C ও 100 kPa চাপে 5.5 L 'B' গ্যাসের ভর 7.2 g। 1 মোল 'B' গ্যাসের অণুর গতিশক্তি কত হবে? [উঃ আঃ ভর = 32.4 E_k = 3716.36 J mol^{-1}] [য. বো. ২০২২]

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। এসব বৈশিষ্ট্য হলো আদর্শ গ্যাসের।

আদর্শ গ্যাস : যেসব গ্যাস সব তাপমাত্রায় ও চাপে বয়েলের সূত্র, চার্লসের সূত্র ও অ্যাভোগাড্রো সূত্র পুরোপুরি মেনে চলে তাদেরকে আদর্শ গ্যাস বলে।

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 ওপর 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।

সারণি-১.৫: বাস্তব গ্যাসের মোলার আয়তন [STP-তে)

গ্যাস	মোলার আয়তন V_m(L)	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

বাস্তবে H_2, N_2, O_2, CO_2, CH_4 ইত্যাদি গ্যাসের অণুসমূহের ভর ও আয়তন আছে এবং অণুগুলোর মধ্যে আকর্ষণ বিকর্ষণ রয়েছে। এসব 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 যেসব 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 উচ্চতাপমাত্রায় 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 :** যেসব গ্যাস সব অবস্থায় বয়েলের সূত্র ও চার্লসের সূত্র মেনে চলে তাদেরকে আদর্শ গ্যাস বলে। আদর্শ গ্যাস একটি কাল্পনিক ধারণা।	১। যেসব 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 কোনো 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 নগণ্য; তাই হিসাবে গণ্য করা হয় না।	৩। বাস্তব গ্যাসের অণুসমূহের মোট আয়তন গ্যাস দ্বারা দখলকৃত আয়তনের তুলনায় নগণ্য 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 ওপর নির্ভরশীল নয়। অর্থাৎ $\left(\frac{\delta u}{dV}\right)_T = 0$	৫। বাস্তব গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি গ্যাসের আয়তনের ওপর নির্ভরশীল।
৬। **সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক Z :** আদর্শ গ্যাসের বেলায়, সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক $(Z) = 1$	৬। বাস্তব গ্যাসের বেলায়, সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক (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 কথা কয়েকটি উদাহরণ থেকে আমরা জেনেছি 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 m 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।

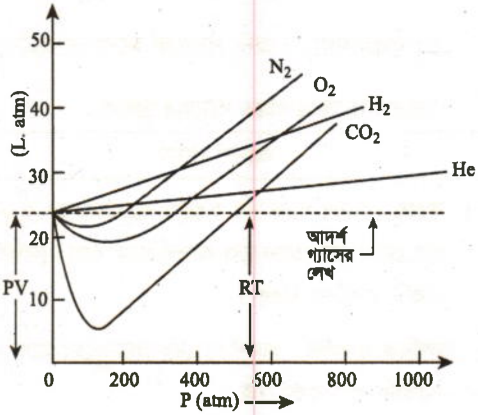
১.৭ বাস্তব গ্যাসসহ অ্যামাগা'র পরীক্ষা : বাস্তব গ্যাসের আদর্শ আচরণ থেকে বিচ্যুতি

Amagat's Experiment with Real Gases : Their Deviation from Ideal behaviour

১৮৮০ খ্রিষ্টাব্দের ফরাসি বিজ্ঞানী অ্যামাগা (Amagat, প্রকৃত উচ্চারণ অ্যামাগা) স্থির তাপমাত্রায় বিভিন্ন চাপে গ্যাসের আয়তন মেপে বয়েলের সূত্র মতে PV এর বিপরীতে P এর মান বসিয়ে প্রাপ্ত লেখচিত্রে লক্ষ্য করেন যে, বাস্তব গ্যাসসমূহ আদর্শ আচরণ থেকে বিচ্যুত হয় অর্থাৎ $PV = nRT$ সমীকরণ মেনে চলে না। যদি কোনো গ্যাস আদর্শ আচরণ করে, তবে স্থির তাপমাত্রায় PV এর মান ধ্রুব থাকতো, অর্থাৎ P অক্ষের (x অক্ষ) সমান্তরাল একটি সরলরেখা পাওয়া যেত (চিত্র-১.১৬)। স্থির তাপমাত্রায় বাস্তব গ্যাসের PV বনাম P রেখাকে **অ্যামাগা বক্রলেখ** (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। এসব গ্যাসের ক্ষেত্রে চাপ বৃদ্ধির সাথে সাথে PV এর মান বয়েলের সূত্র মতে $PV = K$ (ধ্রুব) না থেকে ক্রমাগত বাড়ে অর্থাৎ PV এর মান আদর্শ গ্যাস-এর প্রত্যাশিত মান অপেক্ষা বেশি হয়। এদের বেলায় আয়তনের পেষণ-মাত্রা কম থাকে। এদের লেখগুলো সরলরেখা 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 আয়তনের পেষণ-মাত্রা বেশি থাকে। PV এর মান ন্যূনতম হওয়ার পর পেষণ-মাত্রা ধীরে ধীরে হ্রাস পায়। এদের লেখগুলো বক্র লেখ হয়। এসব লেখের অবতল অংশ থাকে।



চিত্র-১.১৬ : অ্যামাগার বক্র লেখচিত্র। আদর্শ আচরণ থেকে বাস্তব গ্যাসের বিচ্যুতি।
0°C তাপমাত্রায় 1 mole গ্যাসের PV বনাম P লেখচিত্র।

তাপমাত্রার প্রভাব : H_2, He প্রভৃতি প্রথম ধরনের গ্যাসের ক্ষেত্রে তাপমাত্রা কমাতে থাকলে তাদের লেখ পরিবর্তিত হতে থাকে এবং অবশেষে এসব গ্যাসের ক্ষেত্রেও রেখাটি দ্বিতীয় ধরনের মতো অবতল অংশযুক্ত হয়। আবার যথেষ্ট উচ্চ তাপমাত্রায় N_2, O_2, CO_2 প্রভৃতি দ্বিতীয় ধরনের গ্যাসের লেখ প্রথম ধরনের লেখের অনুরূপ হয় (চিত্র-১.১৭ দেখো) । এ থেকে নিম্নরূপ সিদ্ধান্ত করা যায় :

সিদ্ধান্তসমূহ : (১) আদর্শ আচরণ থেকে বাস্তব গ্যাসের বিচ্যুতির প্রকার শুধু গ্যাসের প্রকৃতির ওপর নয়, বরং তাপমাত্রার ওপরও 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—

$Z = \frac{V}{V_0} = \frac{\text{বাস্তব গ্যাসের মোলার আয়তন}}{\text{আদর্শ গ্যাসের মোলার আয়তন}}$; যেমন H_2 এর বেলায়, $Z = \frac{22.432}{22.414} = 1.0008$

সুতরাং **সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক বা পেষণ গুণাঙ্ক প্রকৃতপক্ষে একই তাপমাত্রা ও চাপে 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 ওপর নির্ভরশীল। Z এর মান 1 হতে যত বেশি বা কম হবে, বাস্তব গ্যাসটি আদর্শ আচরণ থেকে ততই বিচ্যুত হবে।

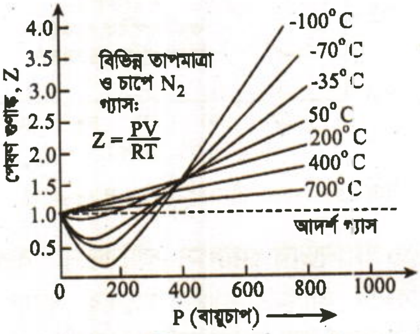
> **MCQ–1.27 : কোন গ্যাসটির পেষণ গুণাঙ্ক মান সবচেয়ে বেশি?**
> (ক) H_2 (খ) N_2
> (গ) O_2 (ঘ) CO_2

(ii) যখন $Z > 1$ হয়; তখন গ্যাসটি আদর্শ গ্যাস অপেক্ষা কম পেষণযোগ্য হয়। গ্যাসের এরূপ আচরণকে **ধনাত্মক বিচ্যুতি** বলে। যেমন–H_2, He, N_2 ইত্যাদি বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে বিচ্যুতি ঘটে।

(iii) যখন $Z < 1$ হয় ; তখন গ্যাসটি আদর্শ গ্যাস অপেক্ষা বেশি পেষণযোগ্য হয়। এরূপ আচরণকে গ্যাসের **ঋণাত্মক বিচ্যুতি** বলে। যেমন CO_2, O_2 ইত্যাদি বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে বিচ্যুতি ঘটে। এসব গ্যাস পানিতে অধিক দ্রবণীয়।

(iv) গ্যাসের পেষণ গুণাঙ্ক (Z) বনাম চাপ (P) লেখচিত্র (চিত্র-১.১৭) থেকে জানা যায়; প্রায় শূন্য চাপের নিকটে $Z = 1$ হয়; অর্থাৎ অতি নিম্নচাপে সব বাস্তব গ্যাস আদর্শ আচরণ করে।

(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। অতি নিম্ন চাপে **যে তাপমাত্রায় বাস্তব গ্যাস বয়েলের সূত্র মেনে চলে অর্থাৎ আদর্শ আচরণ করে, তাকে ঐ গ্যাসের বয়েলের তাপমাত্রা (T_B, Boyle's temp.)** বলা হয়। [পরবর্তী সারণি দেখো]



চিত্র-১.১৭ : তাপমাত্রার বৃদ্ধিতে N_2 গ্যাসের আদর্শ আচরণ প্রদর্শন।

১.৭.২ বাস্তব গ্যাসসমূহের আদর্শ আচরণের শর্ত

Conditions for Real Gases to behave Ideal

সাধারণত উচ্চতাপমাত্রা ও নিম্নচাপে অধিকাংশ বাস্তব গ্যাস মোটামুটিভাবে আদর্শ গ্যাস সূত্র মেনে চলে। যদিও অনেক বাস্তব গ্যাস (সারণি-১.৫ দ্রষ্টব্য, মোলার আয়তন মান সংরক্ষণ না করে) আদর্শ আচরণ থেকে সামান্য বিচ্যুতি দেখায়। লক্ষ্য করো, **যে গ্যাসের ঘনীভবন তাপমাত্রা বা আদর্শ তরলের স্ফুটনাঙ্ক যতই STP-এর মান থেকে দূরে থাকে এর বিচ্যুতির মাত্রা ততই বেশি।**

বাস্তব গ্যাসসমূহের আদর্শ আচরণ হতে বিচ্যুতির অর্থাৎ PV = nRT পুরোপুরি না মানা,– এর দুটি কারণ আছে।

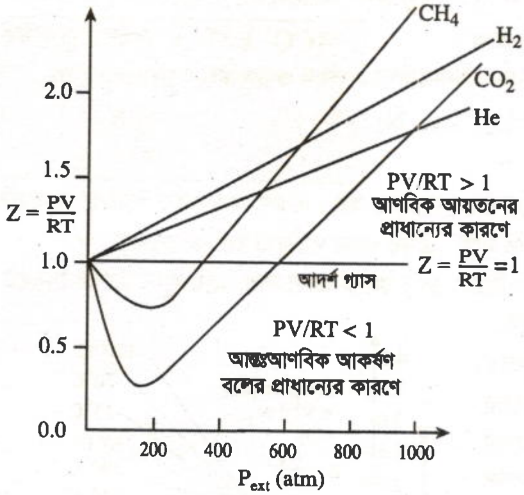
* প্রথমত, **আদর্শ গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্ব মতে, গ্যাসের অণুগুলোর মোট আয়তন গ্যাসপাত্রের মোট আয়তনের তুলনায় নগণ্য।** হিসাব করে জানা গেছে, STP-তে এক মোল গ্যাসের অণুগুলোর মোট আয়তন গ্যাসপাত্রের মোট আয়তনের 0.05% হয়; যা মোটামুটিভাবে গতিতত্ত্বের স্বীকার্য মতে নগণ্য ধরা যায়। কিন্তু 500 atm ও 0°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের অণুগুলোর আয়তন হয় মোট আয়তনের 20% যা কখনো নগণ্য নয়। এ কারণে উচ্চচাপে বাস্তব গ্যাসের আয়তন আদর্শ গ্যাসসূত্রের গণনা থেকে বেশি হয়।

* **দ্বিতীয়ত আদর্শ গ্যাসের গতিতত্ত্বের অণুগুলোর মধ্যে কোনো আকর্ষণ বল নেই**—এ স্বীকার্যটিও নিম্নচাপের ক্ষেত্রে বাস্তব গ্যাসের জন্য মোটামুটি প্রযোজ্য; কারণ তখন অণুগুলোর মধ্যে দূরত্ব বেশি থাকে, আকর্ষণ বল বেশি কার্যকরী থাকে না। কিন্তু চাপ বাড়লে অণুগুলো খুব কাছে আসে; তখন আকর্ষণ বল অধিক 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, (atm. L^2 mol^{-2})	b, (L. mol^{-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 অনুধাবন করেন যে, গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্বের দুটি স্বীকার্য যেমন 'গ্যাসের আণবিক আয়তন নগণ্য' এবং 'আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল' না থাকা;– এসব বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে সঠিক নয়। 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 আন্তঃআণবিক আকর্ষণের তুলনায় **'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। যেমন, CO_2, CH_4, O_2, N_2 ইত্যাদি গ্যাসের বেলায়, PV < RT হয়।

(iv) যখন Z >1 হয়, তখন বাস্তব গ্যাসের আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল কম থাকায়; **আণবিক আয়তনের প্রাধান্য** বশত গ্যাসটি কম পেষণযোগ্য হয়। যেমন, H_2, He গ্যাসের বেলায়, PV > RT হয়।

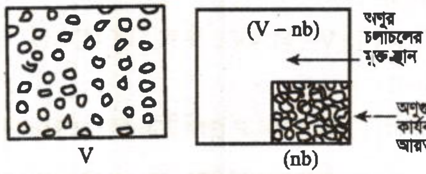
ভ্যানডার ওয়ালস বাস্তব গ্যাসের আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল ও আণবিক আয়তন—এ দুই ক্ষেত্রে সংশোধন ফ্যাক্টর যথাক্রমে 'a' ও 'b' ব্যবহারের মাধ্যমে আদর্শ গ্যাস সমীকরণটি নিম্নরূপে সংশোধন করেন, যা বাস্তব গ্যাসের জন্য **ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণ** নামে পরিচিত।

গ্যাসের আয়তন সংশোধন : এক্ষেত্রে গ্যাসের 'আণবিক আয়তন' গণ্য করা হয়; তখন মোট আয়তন (V) এর পরিমাণকে 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 নিজস্ব কার্যকর আয়তন b ধরে n মোল গ্যাসের জন্য V আয়তন থেকে nb বাদ দিয়ে বাস্তব গ্যাসের অণুগুলোর চলাচলের মুক্তস্থান ধরা হয় (V – nb)। এখানে 'b' ধ্রুবক হলো এক মোল গ্যাসের আয়তন সংশোধন ফ্যাক্টর।

গ্যাসের চাপ সংশোধন : এক্ষেত্রে 'আন্তঃআণবিক আকর্ষণ' গণ্য করা হয়; তখন বাস্তব গ্যাসের অণুগুলো দ্বারা পাত্রের দেওয়ালে **'প্রদত্ত চাপ'** আদর্শ গ্যাসের পরস্পর আকর্ষণমুক্ত অণুগুলো দ্বারা পাত্রের দেওয়ালে প্রদত্ত চাপ (P) থেকে কম হয়। তাই বাস্তব গ্যাসের বেলায় চাপ P এর এ 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, P_a) ধরা হবে। ভ্যানডার ওয়ালস দেখান যে, n মোল গ্যাসের জন্য আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বলের মান $P_a = \frac{n^2a}{V^2}$ এর সমান। এখানে 'P_a' হলো চাপ সংশোধন ফ্যাক্টর। সুতরাং তখন বাস্তব গ্যাসের জন্য প্রযোজ্য ভ্যানডার ওয়াল্স সমীকরণটি হয় :

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT; \text{ বা, } P + \frac{an^2}{V^2} = \frac{nRT}{(V - nb)}$$

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 বলের মাত্রা ও আণবিক আয়তন প্রকাশ করছে।



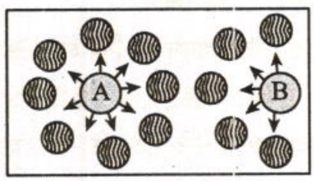
চিত্র-১.১৮(ক) : n মোল বাস্তব গ্যাসের অণুর চলাচলের মুক্তস্থান

সারণি– ১.৬–এ কিছু গ্যাসের a, b এর মান দেয়া হলো।

অধিক জেনে নাও : গ্যাসের চাপ সংশোধন ফ্যাক্টর (P_a) ও গ্যাসের আয়তন সংশোধন ফ্যাক্টর (b) এর গাণিতিক ব্যাখ্যা :

(১) চাপ সংশোধন ফ্যাক্টর (P_a) : বাস্তব গ্যাসের অণুগুলোর মধ্যে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল আছে। কিন্তু আদর্শ গ্যাসের অণুগুলো 'আকর্ষণ মুক্ত' হয়। বাস্তব গ্যাসের আবদ্ধ পাত্রের মাঝখানের অণুগুলো যেমন গ্যাস অণু 'A' চারদিকের অণুগুলো দ্বারা আকৃষ্ট হতে থাকে। ফলে ঐ অণুর ওপর বিভিন্ন আকর্ষণ বলের লব্ধি (resultant) শূন্য হয়। [চিত্র মতো]।

কিন্তু পাত্রের দেওয়ালের কাছের অণু যেমন 'B' এর ওপর ভেতর দিকের বা তিনদিকের অণুগুলোর আকর্ষণ বল কার্যকর থাকে। ফলে দেওয়ালের কাছের অণুগুলোর যেমন 'B' অণুর গতি কমে যায়; তবে 'B' অণুগুলো তখনও পাত্রের দেওয়ালে ধাক্কা দিতে পারে। দেওয়ালের প্রতি একক ক্ষেত্রফলের ওপর এসব গ্যাস অণুর ধাক্কা বা বল প্রয়োগকে **'গ্যাসের চাপ'** বলে।



চিত্র-১.১৮(খ) : গ্যাস অণুগুলোর আকর্ষণ বল
[লব্ধি শূন্য 'A'ও দেওয়ালে চাপ সৃষ্টিকারী 'B' অণু]

* আদর্শ গ্যাসের আন্তঃআণবিক আকর্ষণমুক্ত অণুগুলো পাত্রের দেওয়ালে যত জোরে ধাক্কা দিতে পারে বাস্তব গ্যাসের অণু তত জোরে ধাক্কা দিতে পারে না। **তাই বাস্তব গ্যাসের চাপ আদর্শ গ্যাসের চাপ অপেক্ষা কম হয়।** ধরা যাক, বাস্তব গ্যাসের আন্তঃআণবিক আকর্ষণজনিত হ্রাসকৃত চাপ হলো P_a। এক্ষেত্রে P_a কে অণুর আকর্ষণজনিত **আন্তঃটান বা সংসক্তি টান** (cohesive pressure) বলে।

P_a এর মান গণনা : ধরা যাক, V আয়তনের আবদ্ধপাত্রে T তাপমাত্রায় n মোল বাস্তব গ্যাস আছে। এক্ষেত্রে–

(i) গ্যাসের আন্তঃটান (P_a) গ্যাসের ঘনত্বের বর্গের সমানুপাতিক হয়; অর্থাৎ $P_a \propto d^2$ .... (1) ; আবার

(ii) গ্যাসের ঘনত্ব (d) একক আয়তনে গ্যাসের গ্রাম-অণু সংখ্যার $\left(\frac{n}{V}\right)$ এর সমানুপাতিক হয়; অর্থাৎ $d \propto \frac{n}{V}$ ...... (2)

∴ উভয় সম্পর্ক মতে পাই, $P_a \alpha \left(\frac{n}{V}\right)^2$; বা, $P_a = \frac{a \times n^2}{V^2}$; এখানে 'a' একটি ধ্রুবক।

*** ধ্রুবক 'a' এর তাৎপর্য :** n ও V নির্দিষ্ট থাকলে P_a এর মান 'a' ধ্রুবকের ওপর নির্ভর করে। তখন 'a' এর মান বেশি হলে অণুগুলোর আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল বেশি হয়। গ্যাসের আণবিক ভর বেশি হলে 'a' এর মান বেশি হয়। ফলে ঐ গ্যাসের তরলীকরণ অল্প চাপে ঘটে। ধ্রুবক 'a' এর একক হলো atm . L^2 mol^{-2}.

(২) আয়তন সংশোধন ফ্যাক্টর (b) : গ্যাসের গোলকাকার অণুর ব্যাসার্ধ 'r' হলে প্রতিটি অণুর আয়তন $\frac{4}{3}\pi r^3$ হয়।

অতএব এক মোল গ্যাসের অণুগুলোর প্রকৃত মোট আয়তন হয় = $N_A \times \frac{4}{3}\pi r^3$, এখানে N_A = অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা। বিভিন্ন তথ্যভিত্তিক গণনার মাধ্যমে জানা গেছে, এক মোল গ্যাসের অণুর কার্যকর-আয়তন, b (co-volume) হয় এদের প্রকৃত আয়তনের চারগুণ। সুতরাং $b = 4 \times N_A \times \frac{4}{3}\pi r^3$।

*** ধ্রুবক 'b' এর তাৎপর্য বা গুরুত্ব :** যেহেতু $b = 4\ N_A \times \frac{4}{3}\pi r^3$ এবং এক্ষেত্রে N_A ও π হলো ধ্রুবক। অতএব 'b' এর মান অণুর ব্যাসার্ধ 'r' এর ওপর নির্ভর করে অর্থাৎ 'r' এর মান বেশি হলে অণুর আকার বড়ো হয় তখন 'b' এর মান বেশি হয়। তাই তখন পাত্রের আয়তনের তুলনায় অণুর নিজস্ব আয়তন নগণ্য হয় না। তখন অণুগুলোর চলাচলের মুক্তস্থান
হ্রাস পেয়ে (V– b) হয়। ফলে চাপ প্রয়োগে গ্যাসের মোট আয়তনের সংকোচন কম ঘটে। ধ্রুবক 'b' এর একক হলো $L.mol^{-1}$।

(৩) PV বনাম P লেখচিত্রে H_2 ও He গ্যাসের লেখ দুটি আদর্শ গ্যাসের লেখ-এর ওপরে থাকে কেন?

অথবা, **স্থির তাপমাত্রায়, H_2 ও He গ্যাসের চাপ ক্রমশ বৃদ্ধি করলে প্রথম থেকেই PV এর মান বৃদ্ধি পায় কেন?–এর ব্যাখ্যা :** H_2 ও He গ্যাসের আণবিক ভর খুব কম হওয়ায় এদের আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বলও কম হয়। তখন ভ্যানডার ওয়ালস্ সমীকরণের (a/V^2) এর মান খুব কম হওয়ায় ($P + a/V^2$) = P ধরা যায়। ফলে ভ্যানডার ওয়ালস্ সমীকরণের রূপ হয় P(V – b) = RT; বা, PV = (RT + Pb)। এ সম্পর্ক থেকে দেখা যায়, PV এর মান RT এর মান থেকে বেশি হয়েছে। তাই স্থির তাপমাত্রায়, H_2, He গ্যাসের চাপ ক্রমশ বৃদ্ধি করলে প্রথম থেকেই PV এর মান বৃদ্ধি পেতে থাকে। অর্থাৎ PV বনাম P লেখচিত্রে H_2 ও He এর লেখচিত্র দুটি আদর্শ গ্যাসের লেখচিত্রের ওপরে অবস্থান করে।

[চিত্র– ১.১৮ দেখো] ।

(৪) বাস্তব গ্যাস খুব নিম্ন চাপে ও খুব উচ্চতাপমাত্রায় আদর্শ গ্যাসের মতো আচরণ করে; – এর ব্যাখ্যা :

খুব নিম্নচাপে ও খুব উচ্চতাপমাত্রায় বাস্তব গ্যাসের আয়তন (V) খুব বেশি হয়; আন্তঃআণবিক দূরত্ব বেড়ে যায় এবং অণুগুলোর গতি খুব বৃদ্ধি পায়; ফলে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল হ্রাস পায়। এ উভয় অবস্থায়–(১) গ্যাসের আয়তন খুব বেশি হওয়ায় গ্যাস অণুগুলোর নিজস্ব কার্যকর আয়তন, 'b' কে নগণ্য ধরে (V – b) = V ধরা যায়। (২) আবার আন্তঃআণবিক দূরত্ব বৃদ্ধির সাথে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল যেমন দুর্বল হয়; একই সাথে উচ্চ তাপমাত্রায় অণুগুলোর গতিশক্তি বৃদ্ধির ফলে ঐ দুর্বল আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল নগণ্য অর্থাৎ প্রায় শূন্য ধরা হয়। তখন 'চাপ-সংশোধন ফ্যাক্টর' (a/V^2) কে নগণ্য ধরে ($P + a/V^2$) = P ধরা যায়। এরূপ অবস্থায় ভ্যানডার ওয়ালস্ সমীকরণটির পরিবর্তিত রূপ হয় PV = RT; এটিই আদর্শ গ্যাস সমীকরণ। তাই উপরোক্ত ব্যাখ্যা মতে, খুব নিম্নচাপে ও খুব উচ্চ তাপমাত্রায় বাস্তব গ্যাস যেমন N_2 গ্যাস আদর্শ গ্যাসের মতো আচরণ করে।

সমাধানকৃত সমস্যা – ১.৬৭ : 27°C তাপমাত্রায় 1 atm চাপে 1 mol N_2 গ্যাসের আয়তন 24.5L হলে উল্লেখিত তাপমাত্রায় ও চাপে গ্যাসটির আদর্শ আচরণ থেকে বিচ্যুতির মাত্রা গণনা করো। তখন অণুগুলোর মুক্ত স্থান (V – b) হ্রাস পায়। ফলে চাপ প্রয়োগে গ্যাসের মোট আয়তনের সংকোচন কম ঘটে। ধ্রুবক 'b' এর একক হলো $L.mol^{-1}$।

MCQ–1.28 : কোন গ্যাসটি অধিক পেষণযোগ্য?
(ক) H_2 (খ) He
(গ) O_2 (ঘ) CO_2

দক্ষতা : এক্ষেত্রে গ্যাসের সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক, $Z = \frac{PV}{RT}$ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক হলো, $Z = \frac{PV}{RT}$; এখানে চাপ, P =1 atm

আয়তন, $V = 24.5\ L.mol^{-1}$
ধ্রুবক, $R = 0.082\ L.\ atm\ K^{-1}\ mol^{-1}$
তাপমাত্রা, $T = (27 + 273)\ K = 300\ K$
সংকোচন গুণাঙ্ক, Z = ?

$$\text{বা, } Z = \frac{1\ atm \times 24.5\ L.\ mol^{-1}}{0.082\ L\ atm\ K^{-1}\ mol^{-1} \times 300\ K}$$

$$Z = \frac{24.5}{0.082 \times 300} = 0.9959$$

∴ 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 –১.৬৮ : কত ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রায় 400 atm চাপে 28 g N_2 গ্যাসকে 0.26 L সিলিন্ডারে রাখলে N_2 গ্যাসের আচরণ আদর্শ গ্যাসের মতো হবে?

দক্ষতা : আদর্শ গ্যাসের আচরণ করতে হলে গ্যাসের সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক Z = 1 হতে হবে।

সমাধান : আমরা জানি, $Z = \frac{PV}{nRT}$; এক্ষেত্রে n = 1 মোল,

প্রশ্নমতে, 28 g N_2 = 1 mol N_2
চাপ, P = 400 atm; আয়তন, V = 0.26 L
ধ্রুবক, $R = 0.082\ L\ atm\ K^{-1}\ mol^{-1}$
তাপমাত্রা, T = ? ; সংকোচন গুণাঙ্ক, Z = 1

$$\text{বা, } Z = \frac{400\ atm \times 0.26\ L}{1\ mol \times 0.082\ L.atmK^{-1}mol^{-1} \times T}$$

$$\text{বা, } 1 = \frac{400 \times 0.26\ K}{0.082 \times T}$$

$$\therefore\ T = \frac{400 \times 0.26\ K}{0.082} = 1268.3\ K$$

∴ নির্ণেয় তাপমাত্রা = (1268.3 – 273)°C = 995.3°C **(উত্তর)**

সদৃশ সমস্যা : 0.25 মোল একটি গ্যাস 24.63 atm চাপে 0.5 লিটার আয়তন পাত্রে আছে। কত তাপমাত্রায় গ্যাসটি আদর্শ গ্যাসের মতো আচরণ করবে? [উঃ 327.73° C] [সি. বো. ২০১৯]

সমাধানকৃত সমস্যা–১.৬৯ : নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট সমস্যা সমাধান করো। [ব. বো. ২০১৯]

গ্যাস	আঃ ভর	মোলার আয়তন
A	40	22.4 L
B	71	22.2 L

(ক) STP -তে 'A' গ্যাসের RMS বেগ নির্ণয় করো।

(খ) 'A' ও 'B' দুটি মৌলিক গ্যাসের মোলার আয়তন ভিন্ন হওয়ার কারণ বিশ্লেষণ করো। [এক্ষেত্রে 'A' এর $a = 1.35\ atm.\ L^2.mol^{-2}$, $b = 0.0322\ L.\ mol^{-1}$;

'B' এর ক্ষেত্রে $a = 6.49\ atm\ L^2.\ mol^{-2}$, $b = 0.0562\ L.mol^{-1}$]

সমাধান : (ক) 'A' গ্যাসের RMS বেগ নির্ণয় :

'A' গ্যাসের আণবিক ভর (M_w) = 40; STP -তে, T = 273 K

$$\text{RMS বেগ, } c = \sqrt{\frac{3RT}{M_w}} = \sqrt{\frac{3 \times 8.314\ J.K^{-1}.\ mol^{-1} \times 273\ K}{40 \times 10^{-3}\ kg.mol^{-1}}} = 412.59\ ms^{-1}$$ **(উত্তর)**

সমাধান : (খ) A ও B এর মোলার আয়তন ভিন্ন হওয়ার কারণ বিশ্লেষণ :

STP -তে 1 mol বাস্তব গ্যাস যে আয়তন দখল করে তাকে ঐ গ্যাসের মোলার আয়তন (V_m) বলা হয়। STP -তে আদর্শ গ্যাসের মোলার আয়তন V_m = 22.414 L হয়। কিন্তু ছোটো আকারের অণুবিশিষ্ট বাস্তব গ্যাস যেমন He, H_2 ও Ne এর বেলায় মোলার আয়তন বেড়ে 22.435 L পর্যন্ত হয়। অপরদিকে আণবিক আকার বড়ো হলে বাস্তব গ্যাসের মোলার আয়তন হ্রাস পেয়ে Ar এর বেলায় 22.397 L বা, 22.4 L, Cl_2 এর বেলায় 22.184 L এবং NH_3 গ্যাসের বেলায় 22.08 L হয়ে থাকে। ভ্যানডার ওয়ালসের বাস্তব গ্যাসের সমীকরণ $(P + a/V^2)(V - b) = RT$ এবং আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ, PV = RT হয়।

উদ্দীপক মতে 'A' মৌলিক গ্যাসের আণবিক ভর 40 হওয়ায় 'A' গ্যাসটি হলো এক–পরমাণুক (monatomic) গ্যাস আর্গন (Ar) এবং 'B' মৌলিক গ্যাসটি হলো আণবিক ভর 71 বিশিষ্ট দ্বি-পরমাণুক (di-atomic) গ্যাস ক্লোরিন (Cl_2)। উদ্দীপক মতে, Ar এর মোলার আয়তন = 22.4 L এবং Cl_2 এর মোলার আয়তন = 22.2 L, যা আদর্শ গ্যাসের আয়তন থেকে কম।

গ্যাসের মোলার আয়তন, V পদটি বাস্তব গ্যাসের জন্য প্রযোজ্য ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণে 'চাপ সংশোধন ফ্যাক্টর' ($P_a = a/V^2$) ও **'আয়তন সংশোধন ফ্যাক্টর'** (b) উভয়ের সাথে সংশ্লিষ্ট। ছোটো আকারের অণু আর্গন (Ar) এর তুলনায় বড়ো আকারের অণু ক্লোরিন (Cl_2) এর ভ্যানডার ওয়ালস আকর্ষণ বল ও কার্যকর আণবিক আয়তন (b) এর মান বেশি হয়। এজন্য ভ্যানডার ওয়ালস ধ্রুবকদ্বয়ের সর্বাধিক মান Cl_2 এর বেলায়, a = 6.490 atm.L^2. mol^{-2} এবং b = 0.0562 L.mol^{-1} হয়। অপরদিকে Ar এর বেলায়, a = 1.350 atm. L^2. mol^{-2} এবং b = 0.0322 L.mol^{-1} হয়।

STP -তে উভয় গ্যাসের জন্য a ও b এর মান ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণে বসিয়ে নির্ণীত মোলার আয়তন Ar গ্যাসের বেলায়, V_m = 22.397 L বা, 22.4 L হয় এবং Cl_2 এর বেলায় V_m = 22.18 L বা, 22.2 L হয়, যা **প্রদত্ত উদ্দীপকের ডাটার মানকে সমর্থন করে।**

গাণিতিক হিসাব : STP-তে, P = 1 atm, R = 0.082058 L.atm K^{-1} mol^{-1}, T = 273.15 K

এবং Ar ও Cl_2 এর 'a' ও 'b' এর মান বসিয়ে V_m এর মান পাওয়া যায় :

Ar গ্যাসের বেলায় : $(P + a / V^2)(V - b) = RT$

$$\left(1 + \frac{1.35}{V^2}\right)(V - 0.0322) = 0.082058 \times 273.15 = 22.414$$

$$\text{বা, } V^3 - 22.4462V^2 + 1.35V = 0.04347$$

$$\text{বা, } V(V^2 - 22.4462V + 1.35) = 0.04347$$

$$\text{বা, } V^2 - 22.4462\,V + 1.35 = \frac{0.04347}{V} = \frac{0.04347}{22.414} = 0.0019394$$

$$\text{বা, } V^2 - 22.4462V + 1.35 - 0.0019394 = 0$$

$$\text{বা, } V^2 - 22.4462V + 1.34806 = 0$$

$$\text{বা, } V = \frac{22.4462 \pm \sqrt{(22.4462)^2 - 4 \times 1.34806}}{2} = \boxed{22.386 = 22.4\ L}$$

Cl_2 এর বেলায় : $(P + a / V^2)(V - b) = RT$

$$\left(1 + \frac{6.49}{V^2}\right)(V - 0.0562) = 0.082058 \times 273.15 = 22.414$$

$$\text{বা, } V^3 - 22.4702\,V^2 + 6.49V = 0.364738$$

$$\text{বা, } V(V^2 - 22.4702\,V + 6.49) = 0.364738$$

$$\text{বা}, V^2 - 22.4702\,V + 6.49 = \frac{0.364738}{V} = \frac{0.364738}{22.414} = 0.0162728$$

$$\text{বা}, V^2 - 22.4702\,V + 6.49 - 0.0162728 = 0$$

$$\text{বা}, V^2 - 22.4702\,V + 6.47373 = 0$$

$$\text{বা}, V = \frac{22.4702 \pm \sqrt{(22.4702)^2 - 4 \times 6.47373}}{2} = \boxed{22.178 = 22.2\ L}$$

সুতরাং 'A' গ্যাস ও 'B' গ্যাসের মোলার আয়তন ভিন্ন হওয়ার গাণিতিক বিশ্লেষণ সুস্পষ্ট করা হলো।

[মন্তব্য : পরীক্ষাকালীন শিক্ষার্থীকে ৪ নম্বরের জন্যে গাণিতিক হিসাব না দিলেও ওপরের ডাটাভিত্তিক যুক্তি পরীক্ষার্থীর উচ্চতর অনুধাবনস্তর বোঝায়।]

শিক্ষার্থী নিজে করো –১.৯ : ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণভিত্তিক সমস্যা :

সমস্যা–১.৯১(ক) : 27°C তাপমাত্রায় 0.86 L পাত্রে 0.5 mol H_2 গ্যাস আছে। ভ্যানডার ওয়ালসের সমীকরণ মতে এ গ্যাসের চাপ গণনা করো। এক্ষেত্রে ধ্রুবক, $a = 0.244\ atm\ L^2.\ mol^{-2}$ এবং ধ্রুবক $b = 0.0266 L.\ mol^{-1}$। [উঃ 14.4445 atm]

সমস্যা-১.৯১(খ) : মনে করো 300 K তাপমাত্রায় তুমি 0.60 L পাত্রে 0.50 mol 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 করো। N_2 এর $a = 1.35\ atm\ L^2\ mol^{-2}$ এবং $b = 0.0387 L\ mol^{-1}$ [উঃ (i) 20.515 atm; (ii) 20.26 atm]

সমস্যা-১.৯১(গ) : (১) 44 g CO_2 গ্যাসের জন্য ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণটি লেখ। [দি. বো. ২০১৫]
(২) 64 g অক্সিজেন গ্যাসের জন্য ভ্যানডার ওয়ালস্ সমীকরণটি লেখ। [চ. বো. ২০১৬]
(৩) 96 g O_2 গ্যাসের জন্য ভ্যানডার ওয়ালস্ সমীকরণটি লেখ। [রা. বো. ২০১৬]
(৪) 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

DAT: 19-20
MAT: 24-25, 19-20, 17-18

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। এসব গ্যাস সিলিন্ডারের মধ্যে কেবলমাত্র L.P গ্যাস সাধারণ তাপমাত্রায় 6 atm চাপে 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 কেবলমাত্র L.P গ্যাস ভর্তির ক্ষেত্রে বা গ্যাস সিলিন্ডারজাতকরণে 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। আবার 25°C-এ ও 220 bar বা atm চাপে CNG সিলিন্ডারের ধারণ ক্ষমতা বিভিন্ন প্রকার গাড়ি অনুসারে 60 L, 90 L ও 120 – 150 L হয়ে থাকে।

(i) 60 L সিলিন্ডারে CNG গ্যাসের পরিমাণ নির্ণয় : আদর্শ গ্যাস সমীকরণ মতে,

$P = \frac{nRT}{V}$; বা, $n = \frac{P \times V}{RT}$;

বা, $n = \frac{220 \times 101.325 \times 10^3 Nm^{-2} \times 60 \times 10^{-3} m^3}{8.314\ Nm.K^{-1}.mol^{-1} \times 298K}$

$= 539.84$ mol

আবার 25°C ভিত্তিক, 1 mol গ্যাস $= 24.789 \times 10^{-3} m^3$

এখানে,
$P = 220$ bar (ক্যাসকেডে)
$= 220 \times 101.325 \times 10^3\ Nm^{-2}$
$V = 60L$ (সিলিন্ডার) $= 60 \times 10^{-3} m^3$
$R = 8.314\ NmK^{-1}\ mol^{-1}$
$T = 298$ K (ভিত্তিক)

$\therefore 539.84$ mol গ্যাস $= 24.78910^{-3} \times 539.84\ m^3 = 13.38\ m^3$

CNG–ফিলিং স্টেশনে মিটার কিউব (m^3) এককে CNG গ্যাস বিক্রি করা হয়।

(খ) LPG (Liquefied Petroleum Gas) : তরলীকৃত পেট্রোলিয়াম গ্যাস বা LPG হলো n-বিউটেন, প্রোপেন, আইসোবিউটেন, বিউটিন ইত্যাদির তরল মিশ্রণ। এছাড়া এতে ইথেন ও প্রোপিলিন অল্প পরিমাণে থাকে। অশোধিত পেট্রোলিয়াম (crude petroleum) এর বিশোধনকালে প্রাপ্ত গ্যাস মিশ্রণকে বিশেষ প্রক্রিয়ায় শীতল করে উচ্চচাপ 6 atm প্রয়োগ করে তরলে পরিণত করা হয়। পরে এ তরলকে LPG নামে সিলিন্ডারে ভর্তি করে বাজারজাত করা হয়।

LPG গন্ধহীন; তাই সিলিন্ডারে ভর্তির সময় LPG এর সাথে সামান্য পরিমাণে তীব্র দুর্গন্ধযুক্ত মারক্যাপটান যৌগ থায়োমিথানল (CH_3SH) বা থায়োইথানল (C_2H_5SH) মিশিয়ে দেয়া হয়। সিলিন্ডারে LPG লিকেজ হচ্ছে কীনা তা এর গন্ধ থেকে বোঝা যায়। 'Full' LPG সিলিন্ডারে 85% তরল থাকে; এর ওপরের 15% আয়তনে গ্যাস থাকে। সিলিন্ডারের ভেতরে 3 $kgcm^{-2}$ চাপে LPG থাকে। সিলিন্ডারের রেগুলেটর খুললে ভেতরের গ্যাস বের হতে থাকে। এতে চাপের 3.4×10^{-2} $kgcm^{-2}$ মাত্রায় পরিবর্তন ঘটলে তখন তরল LPG গ্যাসে পরিণত হয়। LPG এর দহন বা ক্যালরিফিক মান প্রায় 94000 kJm^{-3} হয়। এটি একটি 'Clean fuel'; কারণ এর দহনে সাধারণ জ্বালানির মতো ধোঁয়া ও কার্বন গুঁড়া বা ছাই তৈরি হয় না। তবে LPG এর দহনে গ্রিন হাউস গ্যাস CO_2 ও স্বল্প CO গ্যাস নির্গত হয়।

(গ) LNG (Liquefied Natural Gas) : প্রাকৃতিক গ্যাস থেকে CO_2, H_2S ও উচ্চ আণবিক ভরবিশিষ্ট হাইড্রোকার্বনসমূহকে অপসারিত করে মূলত CH_4 গ্যাসকে নিম্নতাপমাত্রা –160°C এ শীতল করে 1 atm চাপে তরলে পরিণত করা হয়। এ তরল প্রাকৃতিক গ্যাসকে LNG বা তরলীকৃত প্রাকৃতিক গ্যাস বলে। এ LNG কে বিশেষ সিলিন্ডারে ভর্তি করা হয়। LPG এর মতো LNG -ও একটি 'Clean fuel' বা পরিবেশবান্ধব জ্বালানি হিসেবে পরিচিত। LNG ও CNG এর ক্যালরিফিক মান প্রায় 38000 kJm^{-3} হয়। অপরদিকে LPG এর ক্যালরিফিক মান 94000 kJm^{-3} অর্থাৎ তা LNG ও CNG থেকে 2.47 গুণ বেশি।

গ্যাস তরলীকরণের শর্ত : প্রাকৃতিক গ্যাস CH_4 কে তরলীকরণের মতো যেকোনো গ্যাসকে তরলে রূপান্তর করতে হলে দুটি শর্ত প্রয়োগ করতে হয়। (১) প্রথমত গ্যাসটির তাপমাত্রা হ্রাস করে এর সংকট **তাপমাত্রা বা ক্রান্তি** বা **সন্ধি তাপমাত্রার** (critical temperature) নিচে আনতে হয়। কারণ গ্যাস যত শীতল হবে এর অণুগুলো তত কাছে আসে; তখন আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল বৃদ্ধি পায়; গ্যাসের তরলীকরণ সহজ হয়। (২) দ্বিতীয়ত গ্যাসকে ক্রান্তি বা সন্ধি তাপমাত্রার নিচে রেখে গ্যাসটির তরলীকরণের উপযুক্ত চাপ প্রয়োগ করতে হয়। এ প্রযুক্ত চাপকে ঐ গ্যাসের ক্রান্তি বা সন্ধি চাপ বলে। গ্যাসটি এর ক্রান্তি বা সন্ধি তাপমাত্রার যত নিচে থাকবে এর তরলীকরণের জন্য প্রযুক্ত চাপের পরিমাণ তত কম হবে।

(১) গ্যাসের ক্রান্তি বা সন্ধি তাপমাত্রা : প্রত্যেকটি গ্যাসের একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা আছে, যে তাপমাত্রার ওপরে গ্যাসটি থাকলে তখন এর ওপর যত চাপ প্রয়োগ করা হোক না কেন, একে তরলে রূপান্তর করা যায় না। এ তাপমাত্রাকে উক্ত

গ্যাসের **ক্রান্তি বা সন্ধি বা সংকট তাপমাত্রা বলে**। একে T_c দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন CO_2 এর সন্ধি তাপমাত্রা, $T_c = 31.1°C$; NH_3 এর সন্ধি তাপমাত্রা $T_c = 132.4°C$। H_2 এর $T_c = -240°C$; He এর $T_c = -268°C$ হয়।

(২) গ্যাসের ক্রান্তি বা সন্ধি চাপ : কোনো গ্যাসকে ক্রান্তি বা সন্ধি তাপমাত্রায় রেখে গ্যাসটির ওপর সর্বনিম্ন যে পরিমাণ চাপ প্রয়োগ করে গ্যাসটিকে তরলে পরিণত করা যায়, ঐ চাপকে ঐ গ্যাসের **ক্রান্তি বা সন্ধি** চাপ বলে; একে P_c দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন CO_2 এর সন্ধি চাপ, $P_c = 72.9$ atm; NH_3 এর সন্ধি চাপ, $P_c = 111.5$ atm ; H_2 এর $P_c = 12.8$ atm; He এর $P_c = 2.26$ atm হয়।

(৩) গ্যাসের তরলীকরণে জুল-থমসন প্রভাব : বিজ্ঞানী জুল ও থমসন পরীক্ষা করে দেখেন যে, উচ্চচাপে থাকা আরদ্ধ পাত্রের গ্যাসকে যখন সচ্ছিদ্র প্লাগ বা ছিপির মধ্যদিয়ে হঠাৎ নিম্নচাপবিশিষ্ট বিরাট স্থানে প্রসারিত হতে দেয়া হয় তখন গ্যাসের তাপমাত্রার হ্রাস ঘটে। তাকে **জুল-থমসন** প্রভাব বলে। কারণ গ্যাসের প্রসারণকালে গ্যাসকে কাজ করতে হয়। যেমন, গ্যাস প্রসারিত হবার সময় এর সম্মুখের গ্যাসকে ধাক্কা দিয়ে পেছনের দিকে সরাতে হয়। তখন গ্যাস অণুগুলোকে তাদের আন্তঃআণবিক আকর্ষণের বিরুদ্ধে কাজ করে অনেক দূরে দূরে ছড়িয়ে পড়তে হয়। যদি এ আয়তনের প্রসারণ খুব দ্রুত ঘটে তখন গ্যাস অণুগুলো পরিবেশ থেকে তাপ শক্তি শোষণ করতে পারে না। তাই গ্যাসের **অভ্যন্তরীণ শক্তি** ব্যবহৃত হয় এবং গ্যাসটির তাপমাত্রা হ্রাস পায়। এ প্রক্রিয়ায় গ্যাসটির তাপমাত্রা সন্ধি তাপমাত্রার নিচে আসলে তখন উপযুক্ত চাপ প্রয়োগে গ্যাসটিকে তরলীভূত করা হয়।

সারণি-১.৭: সন্ধি তাপমাত্রা, সন্ধি চাপ ও বয়েল তাপমাত্রা।

গ্যাস	সন্ধি তাপমাত্রা °C	সন্ধি চাপ atm	বয়েল তাপমাত্রা °C
১. He	– 268	2.26	– 250
২. H_2	– 240	12.80	– 164
৩. N_2	– 147.1	33.50	53.4
৪. Ar	– 122.1	48.36	135.0
৫. O_2	– 118.8	50.14	135.4
৬. CH_4	– 82.3	45.80	236.7
৭. CO_2	31.1	72.90	444.9
৮. NH_3	132.4	111.50	672.8
৯. Cl_2	143.9	78.75	–
১০. SO_2	157.7	77.80	769.7

(৪) গ্যাসের তরলীকরণে বয়েল তাপমাত্রা (T_B) এর প্রভাব : অতি নিম্নচাপে যে তাপমাত্রায় বাস্তব গ্যাস আদর্শ গ্যাসের মতো আচরণ করে, তাকে বয়েল তাপমাত্রা (T_B) বলে। বয়েল তাপমাত্রায় বাস্তব গ্যাসের PV বনাম P লেখচিত্র আদর্শ গ্যাসের লেখচিত্রের মতো X অক্ষের সমান্তরাল হয়। তখন ঐ গ্যাসের Z = 1.0 হয়।

* **গ্যাসের বয়েল তাপমাত্রা যত বেশি হয়, সে গ্যাস তত সহজে তরলীভূত হয়।**

যেমন, NH_3 ($T_B = 672.8°C$); CO_2 ($T_B = 444.9°C$) ; CH_4 ($T_B = 236.7°C$); O_2 ($T_B = 135.4°C$); Ar ($T_B = 135.0°C$); N_2 ($T_B = 53.4°C$) ইত্যাদি গ্যাসকে এদের সন্ধি তাপমাত্রায় (T_c) যথাযথ সন্ধিচাপ (P_c) প্রয়োগ করে সহজে তরলীভূত করা যায়।

* আণবিক আকৃতি বড়ো ও অধিক মোলার ভর থাকায় কক্ষতাপমাত্রায় CO_2, NH_3, Cl_2 ও SO_2 গ্যাসের সংকট তাপমাত্রায় যথাযথ চাপ প্রয়োগ করে সহজে তরলীভূত করা যায়। আণবিক আকৃতি বড়ো ও অধিক মোলার ভর থাকায় এসব গ্যাসের কক্ষতাপমাত্রায় PV বনাম P লেখচিত্রে প্রথমে আদর্শ গ্যাসের লেখের নিচে অবতল অংশ থাকে; তখন $PV < RT$ হয়। কিন্তু চাপ (P) এর অধিক বৃদ্ধির সাথে PV এর মান ক্রমশ বেড়ে $PV = RT$ হয় এবং শেষে $PV > RT$ হয়ে থাকে।

* অপরদিকে, গ্যাসের বয়েল তাপমাত্রা কক্ষতাপমাত্রার (25°C) চেয়ে যত বেশি কম হয়, অর্থাৎ ঋণাত্মক মান হয়, সে গ্যাসের তরলীকরণ তত বেশি কঠিন বা জটিল হয়। যেমন He ($T_B = -250°C$); H_2 ($T_B = -164°C$)। কক্ষতাপমাত্রায় এসব গ্যাসের PV বনাম P লেখচিত্রে লেখগুলো সরলরৈখিকভাবে আদর্শ গ্যাসের লেখের ওপর দিকে চাপ বৃদ্ধির সাথে সব সময় বৃদ্ধি পায়। এদের লেখচিত্রে কোনো অবতল অংশ থাকে না।

(৫) বায়ুর তরলীকরণ : বাণিজ্যিকভাবে বায়ুর তরলীকরণ জুল-থমসন প্রভাব প্রক্রিয়ায় করা হয়। বায়ুকে তরলীভূত করার পূর্বে তাকে কিছুটা ঠাণ্ডা করে তারপর **জুল-থমসন সম্প্রসারণ** ঘটিয়ে তাপমাত্রা বেশ ঠাণ্ডা করা হয় এবং এ সম্প্রসারণ প্রক্রিয়া কয়েকবার ঘটিয়ে বায়ুর তাপমাত্রা যথেষ্ট হ্রাস করা হয়। পরে –200°C তাপমাত্রায় এবং প্রায় 200 atm চাপে বায়ুকে তরলীভূত করা হয়।

হাইড্রোজেন ও হিলিয়াম গ্যাস তরলীকরণ সবচেয়ে কঠিন। কেননা, –80°C তাপমাত্রার ওপরে হাইড্রোজেনের ক্ষেত্রে এবং –240°C তাপমাত্রার ওপরে যেমন সাধারণ কক্ষতাপমাত্রায় হিলিয়ামের ক্ষেত্রে জুল-থমসন সম্প্রসারণে গ্যাসের তাপমাত্রা হ্রাস না পেয়ে বরঞ্চ বেড়ে যায়। এ অবস্থায় তাপমাত্রা হ্রাসের পরিবর্তে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি হওয়াকে ঐ গ্যাসের **উৎক্রম** (inversion) **তাপমাত্রা প্রভাব** বলা হয়। অর্থাৎ H_2 এর সর্বনিম্ন উৎক্রম তাপমাত্রা হলো –80°C এবং হিলিয়ামের সর্বনিম্ন উৎক্রম তাপমাত্রা –240°C। **গ্যাসের উৎক্রম তাপমাত্রা হলো এমন একটি তাপমাত্রা যা অপেক্ষা নিম্ন তাপমাত্রায় গ্যাসটির রুদ্ধতাপীয় সম্প্রসারণ ঘটলে তা শীতল হয়ে থাকে।** সুতরাং প্রথমে তরল বায়ু দ্বারা হাইড্রোজেনকে – 80°C এর নিচে শীতল করে অতঃপর জুল-থমসন সম্প্রসারণ দ্বারা একে আরো শীতল করে উচ্চচাপে তরল করা হয়। অপরদিকে তরল হাইড্রোজেন দ্বারা হিলিয়াম গ্যাসকে যথেষ্ট ঠাণ্ডা করে তারপর জুল-থমসন সম্প্রসারণ ঘটিয়ে আরো শীতল করে প্রবল চাপ প্রয়োগে হিলিয়ামকে তরলিত করা হয়।

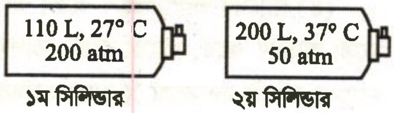
উৎক্রম তাপমাত্রার গুরুত্ব : (১) গ্যাসের নিজস্ব উৎক্রম তাপমাত্রার নিচে এর প্রাথমিক তাপমাত্রা না থাকলে জুল-থমসন্ প্রক্রিয়া প্রয়োগে গ্যাসটিকে তরলীকৃত করা সম্ভব হবে না। (২) জুল-থমসন প্রক্রিয়া প্রয়োগ করার পূর্বেই গ্যাসটিকে উৎক্রম তাপমাত্রার নিচে অন্য শীতলীকরণ পদ্ধতিতে শীতল করে জুল-থমসন্ প্রক্রিয়া পরপর প্রয়োগ করে গ্যাসটিকে সন্ধি তাপমাত্রায় বা এর নিচে রেখে প্রয়োজনীয় চাপ প্রয়োগ করলে গ্যাসটি তরলীকৃত হবে। এখানেই উৎক্রম তাপমাত্রার গুরুত্ব। যেমন,

(১) H_2 এর উৎক্রম তাপমাত্রা = – 80°C, এর সন্ধি তাপমাত্রা, T_c = – 240°C, সন্ধি চাপ, P_c = 12.8 atm.

(২) হিলিয়াম (He) এর উৎক্রম তাপমাত্রা –240°C, এর সন্ধি তাপমাত্রা, T_c = – 268°C, সন্ধি চাপ, P_c = 2.26 atm.

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৭০ : নিম্নোক্ত গ্যাস সিলিন্ডারভিত্তিক সমস্যা সমাধান করো। [অভিন্ন বোর্ড-২০১৮]

১ম সিলিন্ডার 27°C তাপমাত্রায় 200 atm এবং ২য় সিলিন্ডার 37°C তাপমাত্রায় 50 atm চাপ সহ্য করতে পারে।



(ক) উদ্দীপকে উল্লিখিত তাপমাত্রা ও চাপে ১ম সিলিন্ডারে কত গ্রাম CH_4 গ্যাস ধারণ করতে পারে তা গণনা করো।

(খ) গ্যাস পরিবহণের জন্য কোন সিলিন্ডারটি অধিকতর উপযোগী হবে তা গাণিতিক যুক্তিসহ বিশ্লেষণ করো।

সমাধান : (ক) CH_4 গ্যাসের মোল সংখ্যা (n) থেকে গ্রাম পরিমাণ নির্ণয় :

দক্ষতা : (ক) এর বেলায় CH_4 এর ভর নির্ণয়ে PV = nRT প্রযোজ্য।

বা, $n = \dfrac{P \times V}{R \times T}$;

বা, $n = \dfrac{200\ \text{atm} \times 110\ \text{L}}{0.082\ \text{L.atm.K}^{-1}.\text{mol}^{-1} \times 300\ \text{K}}$

বা, $n = \dfrac{200 \times 110\ \text{mol}}{0.082 \times 300} = \boxed{894.30\ \text{mol}}$

প্রশ্নমতে,

গ্যাসের চাপ, P = 200 atm

গ্যাসের আয়তন, V = 110 L

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

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

আবার মিথেন (CH_4) এর আণবিক ভর = 16; ∴ 1 mol CH_4 এর ভর = 16 g

∴ 894.30 mol CH_4 এর ভর = 16 × 894.30 g = 14308.8 g **(উত্তর)**।

সমাধান : (খ) অধিকতর উপযোগী গ্যাস সিলিন্ডার নির্ধারণ :

দক্ষতা (Strategy) : গ্যাস সিলিন্ডারের উপযোগিতা নির্ধারণে এর ধারণক্ষমতা ও তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে গ্যাসের বৃদ্ধিপ্রাপ্ত চাপের পরিমাণ ও সিলিন্ডারটির চাপ সহ্য ক্ষমতার সীমা বিবেচ্য।

প্রশ্নে উভয় সিলিন্ডার খালি অবস্থায় নাকি সর্বোচ্চ মোল ধারণক্ষমতায় গ্যাস পূর্ণ আছে তা উল্লেখ নেই। আবার সৃজনশীল প্রশ্নে উচ্চতর দক্ষতার বিচারে সমস্যা সমাধানে একাধিক গ্যাস সূত্র প্রয়োগ এবং শিক্ষার্থীর বিষয় চিন্তার প্রসারতার সুযোগ থাকে। তাই এক্ষেত্রে (i) প্রথমত উভয় সিলিন্ডার খালি আছে ধরে নিয়ে, স্থির আয়তনে দু পৃথক তাপমাত্রায় (27° C ও 37° C-এ) ভর্তিযোগ্য গ্যাসের চাপকে ঐ সিলিন্ডারের প্রদত্ত চাপ সহ্যসীমার চাপের সমান রেখে ঐ ভর্তিযোগ্য গ্যাসের মোল সংখ্যা (n) গাণিতিকভাবে হিসাব করে ব্যাখ্যা করা যায়। আবার (ii) দ্বিতীয়ত উভয় সিলিন্ডার সর্বোচ্চ ধারণ ক্ষমতায় গ্যাসপূর্ণ আছে ধরে নিয়ে, দু পৃথক তাপমাত্রায় গ্যাসের নির্ণীত পৃথক চাপ (P) ঐ পূর্ণ সিলিন্ডারের চাপ সহ্যসীমার ওপর কীরূপ প্রভাব ফেলে তা গাণিতিকভাবে শিক্ষার্থী চিন্তা করে ব্যাখ্যা দিতে পারে।

(১) প্রথম পদ্ধতি : খালি গ্যাস সিলিন্ডারে গ্যাসভর্তি করার পূর্বে উদ্দীপক মতে ধারণক্ষমতা গণনা :

(i) ১ম সিলিন্ডারে 27° C তাপমাত্রায় সর্বোচ্চ গ্যাস ধারণক্ষমতা ওপরের (ক) নং প্রশ্নের সমাধান মতে, 894.30 mol।

(ii) ১ম সিলিন্ডারে 37° C তাপমাত্রায় সর্বোচ্চ গ্যাস ধারণক্ষমতা নির্ণয় :

$$n_1 = \frac{P_1 \times V_1}{RT_1} = \frac{200 \text{ atm} \times 110 \text{ L}}{0.082 \text{ L. atm.K}^{-1}\text{.mol}^{-1} \times 310 \text{ K}}$$

বা, $n_1 = 865.46$ mol

এক্ষেত্রে সর্বোচ্চ চাপ, $P_1 = 200$ atm
আয়তন, $V_1 = 110$ L
তাপমাত্রা, $T_1 = (37 + 273)$ K $= 310$ K

∴ ১ম সিলিন্ডারে 37° C তাপমাত্রায় সিলিন্ডারের চাপ-সহ্যসীমায় সর্বোচ্চ গ্যাস ধারণক্ষমতা = $\boxed{865.46 \text{ mol}}$

(iii) ২য় সিলিন্ডারে 37° C তাপমাত্রায় সর্বোচ্চ গ্যাস ধারণক্ষমতা নির্ণয় :

$$n_2 = \frac{P_2 \times V_2}{R \times T_2} = \frac{50 \text{ atm} \times 200 \text{ L}}{0.082 \text{ L. atm. K}^{-1}\text{. mol}^{-1} \times 310 \text{ K}}$$

বা, $n_2 = 393.39$ mol

এক্ষেত্রে সর্বোচ্চ চাপ, $P_2 = 50$ atm
আয়তন, $V_2 = 200$ L
তাপমাত্রা, $T_2 = (37 + 273)$ K $= 310$ K

∴ ২য় সিলিন্ডারে 37° C তাপমাত্রায় সিলিন্ডারের চাপ-সহ্যসীমায় সর্বোচ্চ গ্যাস ধারণক্ষমতা = $\boxed{393.39 \text{ mol}}$

বিশ্লেষণ : সর্বোচ্চ তাপমাত্রা 37° C-এ ১ম সিলিন্ডার এর সর্বোচ্চ চাপ-সহ্যসীমা 200 atm-এ 865.46 mol গ্যাস ভর্তি করে পরিবহণ কাজে ব্যবহারযোগ্য। অপরদিকে 37° C এ ২য় সিলিন্ডারটি এর সর্বোচ্চ চাপ-সহ্যসীমা 50 atm-এ মাত্র 393.39 mol গ্যাসভর্তি করে পরিবহণ কাজে ব্যবহাযোগ্য। অতএব উচ্চতর তাপমাত্রা ও গ্যাস ধারণক্ষমতা বিবেচনায় গ্যাস পরিবহণের জন্য ১ম সিলিন্ডারটি অধিকতর উপযোগী।

(২) দ্বিতীয় পদ্ধতি : চাপ-সহ্যসীমায় সর্বোচ্চ মোল গ্যাসভর্তি উভয় সিলিন্ডার পরিবহণকালে তাপমাত্রার প্রভাবভিত্তিক গণনা:

(i) 27°C তাপমাত্রায় ১ম সিলিন্ডারের গ্যাস ধারণক্ষমতা ওপরের (ক) নং প্রশ্নের সমাধান মতে, 894.30 mol গ্যাস। এখন গ্যাসভর্তি ঐ ১ম গ্যাস সিলিন্ডারে (V = 110 L), পরিবহণকালে ২য় সিলিন্ডারের তাপমাত্রা প্রয়োগ করে চাপ নির্ণয় :

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

$$\text{বা, } P_2 = \frac{200 \text{ atm} \times 310 \text{ K}}{300 \text{ K}} = \boxed{206.67 \text{ atm}}$$

এক্ষেত্রে,
১ম তাপমাত্রা, $T_1 = (27 + 273)$ K $= 300$ K
চাপের সহ্যসীমা, $P_1 = 200$ atm
বর্ধিত তাপমাত্রা, $T_2 = (37 + 273)$ K $= 310$ K
বৃদ্ধিপ্রাপ্ত চাপ, $P_2 = ?$

প্রদত্ত শর্ত মতে গ্যাসভর্তি ১ম সিলিন্ডারটি 200 atm চাপ সহ্য করতে পারে। 37°C তাপমাত্রায় বৃদ্ধিপ্রাপ্ত চাপ 206.67 atm সিলিন্ডারটির সহ্যসীমার চেয়ে বেশি হওয়ায় তখন সিলিন্ডারটি বিস্ফোরিত হবে। তাই 27°C–এ 894.30 mol গ্যাসপূর্ণ ১ম সিলিন্ডারটি 37°C এ ব্যবহার অযোগ্য এবং 27°C তাপমাত্রার নিচে ব্যবহারযোগ্য প্রমাণিত।

(ii) 37° C তাপমাত্রায় ২য় সিলিন্ডারে গ্যাস ধারণক্ষমতা :

$$n_3 = \frac{P_3V_3}{RT_3}$$

বা, $n_3 = \frac{50 \text{ atm} \times 200 \text{ mL}}{0.082 \text{ L atm. K}^{-1}\text{. mol}^{-1} \times 310 \text{ K}}$

বা, $n_3 = 393.39$ mol

এক্ষেত্রে সর্বোচ্চ চাপ, $P_3 = 50$ atm
আয়তন, $V_3 = 200$ L
তাপমাত্রা, $T_3 = (37 + 273)$ K = 310 K
গ্যাস ধ্রুবক, R = 0.082 L. atm. K^{-1}. mol^{-1}

প্রদত্ত শর্তমতে গ্যাসভর্তি ২য় সিলিন্ডারটির 37°C তাপমাত্রায় ধারণক্ষমতা (393.39 mol গ্যাস) অনুসারে চাপ-সহ্যসীমা 50 atm হয়; তাই এটিকে 37°C তাপমাত্রার নিচে 27°C তাপমাত্রায় রাখা হলে গ্যাসের চাপ সিলিন্ডারটির চাপ-সহ্যসীমার অনেক নিচে হবে। এটি নিচের গণনা থেকে প্রমাণিত হবে।

$\frac{P_3}{T_3} = \frac{P_4}{T_4}$; বা, $P_4 = \frac{P_3 \times T_4}{T_3}$

বা, $P_4 = \frac{50 \text{ atm} \times 300 \text{ K}}{310 \text{ K}}$

বা, $P_4 = 48.38$ atm

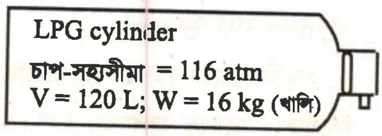
প্রশ্নমতে, ২য় সিলিন্ডারের বেলায় :
সর্বোচ্চ তাপমাত্রা, $T_3 = (37 + 273)$ K = 310 K
চাপ-সহ্যসীমা, $P_3 = 50$ atm
নিম্নতাপমাত্রা, $T_4 = (27 + 273)$ K = 300 K
নিম্নচাপ, P_4 = ?

সুতরাং ২য় সিলিন্ডারটির ধারণক্ষমতা (393.39 mol গ্যাস) মতে 37°C তাপমাত্রায় সিলিন্ডারটির চাপ-সহ্যসীমা 50 atm হয় এবং 27°C এ গ্যাসের চাপ হ্রাস পেয়ে সিলিন্ডারটির চাপ-সহ্যসীমা 50 atm এর নিচে যেমন 48.38 atm হয়। অতএব উভয় সিলিন্ডারের ধারণ ক্ষমতা ভিন্ন হলেও তাপমাত্রা মতে উভয়ের চাপ-সহ্যসীমা বিবেচনায় প্রদত্ত উদ্দীপকের শর্তে সর্বোচ্চ মোল গ্যাসভর্তি উভয় সিলিন্ডারের মধ্যে ২য় সিলিন্ডারটি গ্যাস পরিবহণে অধিকতর উপযোগী।

মতামত : ঢাকার Ideal college এর সহযোগী অধ্যাপক জনাব মোবাশ্বের হোসেন ও তার ঘনিষ্ঠ কয়েকজন সতীর্থ অধ্যাপক উপরোক্ত প্রথম পদ্ধতির সমাধানের পক্ষে মত প্রকাশ করায় এবং তা গ্রহণযোগ্য হওয়ায় ২০২০ সালের বইয়ের সংস্করণে দেওয়া ২য় পদ্ধতিসহ সমস্যাটির সম্ভাব্য দুটি পদ্ধতিই এখন দেওয়া হলো। প্রথমে সিলিন্ডার খালি রেখে তাত্ত্বিকভাবে গণনা অথবা প্রথমে সিলিন্ডার সর্বোচ্চ মোল গ্যাসভর্তি অবস্থায় পরিবহণে বাস্তবে তাপমাত্রার প্রভাব ধরে দুই ভিন্ন চিন্তায় গণনা করায় ফলাফল ভিন্ন হয়েছে। প্রশ্নে ঐ রকম সুযোগ রয়েছে।

সমাধানকৃত সমস্যা– ১.৭১ : নিম্নোক্ত গ্যাস সিলিন্ডারভিত্তিক সমস্যা সমাধান করো : [চ. বো. ২০১৯]

LPG (C_4H_{10}) গ্যাস ফিলিং স্টেশন থেকে 100 atm চাপে ও 25°C (বা, 298 K)-এ সিলিন্ডারে গ্যাস ভর্তি করা হয়ে থাকে।



(ক) উদ্দীপক মতে, গ্যাসভর্তি অবস্থায় সিলিন্ডারটির ভর নির্ণয় করো।

(খ) কক্ষতাপমাত্রায় রক্ষিত গ্যাসভর্তি সিলিন্ডারটি 85°C তাপমাত্রায় বিস্ফোরিত হবে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

সমাধান : (ক) LPG (C_4H_{10}) এর মোল সংখ্যা (n) থেকে গ্যাসের ভর নির্ণয় :

আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ মতে, PV = nRT

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

বা, $n = \frac{100 \text{ atm} \times 120 \text{ L}}{0.082 \text{ L.atm. K.}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 298 \text{ K}}$

= 491.078 mol

প্রশ্নমতে, গ্যাসের চাপ, P = 100 atm
গ্যাসের আয়তন, V = 120 L
গ্যাসের তাপমাত্রা, T = 298 K
গ্যাস ধ্রুবক, R = 0.082 L atm K^{-1} mol^{-1}

আবার LPG (C_4H_{10}) এর আণবিক ভর = 58; ∴ 1 mol C_4H_{10} এর ভর = 58 g

∴ 491.078 mol C_4H_{10} এর ভর = 491.078 × 58 g = 28482.5 g = 28.48 kg

∴ গ্যাসভর্তি অবস্থায় সিলিন্ডারটির ভর হবে = (16 + 28.48) kg = 44.48 kg **(উত্তর)**।

সমাধান : (খ) সিলিন্ডারটি 85°C-এ বিস্ফোরিত হবে কীনা বিশ্লেষণ :

গ্যাস সিলিন্ডার বিস্ফোরিত হয় তখন, যখন এটির ভেতরে তাপমাত্রা বৃদ্ধিজনিত গ্যাসের চাপ সিলিন্ডারের চাপ সহ্যসীমা অতিক্রম করে।

সিলিন্ডারের বেলায়, স্থির আয়তনে গে-লুসাকের সূত্রমতে, $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ সমীকরণ প্রযোজ্য হবে।

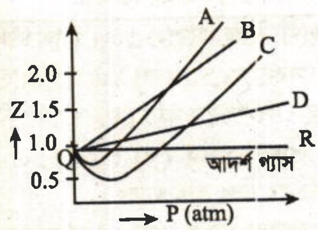
$\therefore \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$; $P_2 = \frac{P_1 \times T_2}{T_1}$

বা, $P = \frac{100 \text{ atm} \times 358 \text{ K}}{298 \text{ K}} = 120.13$ atm

প্রশ্নমতে, প্রাথমিক চাপ, $P_1 = 100$ atm
প্রাথমিক তাপমাত্রা, $T_1 = 298$ K
সহ্যসীমা চাপ, $P_2 = ?$
শেষ তাপমাত্রা, $T_2 = (85 + 273)$ K $= 358$ K

বিশ্লেষণ : প্রশ্নমতে, গ্যাস সিলিন্ডারের চাপ-সহ্যসীমা হলো 116 atm; কিন্তু 85°C তাপমাত্রায় সিলিন্ডারে গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি পেয়ে 120.13 atm হওয়ায় সিলিন্ডারটি 85°C-এ বিস্ফোরিত হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা– ১.৭২ : গ্যাসের আদর্শ আচরণের শর্ত ও গ্যাসের তরলীকরণ সমস্যাভিত্তিক :
প্রদত্ত উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট সমস্যা সমাধান করো। [কু. বো. ২০১৫]



A, B, C ও D গ্যাসের আণবিক ভর যথাক্রমে 28, 2, 44 এবং 4 এক্ষেত্রে Z হলো সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক।

(ক) উদ্দীপকের QD রেখাটি কোন শর্তে QR রেখার মতো হয়; তা ব্যাখ্যা করো।

(খ) উদ্দীপকের লেখচিত্রে সংশ্লিষ্ট A, B ও C গ্যাসগুলোর মধ্যে কোন গ্যাসটিকে সহজে তরলীভূত করা সম্ভব তা বিশ্লেষণ করো।

সমাধান : (ক) উদ্দীপকের QD লেখটি হলো 'D' নামক গ্যাসের এবং 'D' গ্যাসটি হলো আণবিক ভর 4 বিশিষ্ট বাস্তব গ্যাস হিলিয়াম He। এক্ষেত্রে QR লেখটি আদর্শ গ্যাসের। তাই বাস্তব গ্যাস He আদর্শ আচরণ করবে দু শর্তে। যেমন, (১) উচ্চতাপমাত্রা এবং (২) নিম্নচাপের সমন্বয়ে।

ব্যাখ্যা : এক মোল আদর্শ গ্যাসের জন্য প্রযোজ্য সমীকরণ হলো, $PV = RT$

এক মোল বাস্তব গ্যাস He এর জন্য প্রযোজ্য সমীকরণ, $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$

তাই He গ্যাসের আদর্শ আচরণের জন্য চাপ সংশোধন ফ্যাক্টর, a/V^2 এবং আয়তন সংশোধন ফ্যাক্টর 'b' এ উভয় পদের মান নগণ্য হতে হবে। তখন ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণটি $(P + 0)(V - 0) = RT$; বা, $PV = RT$ সমীকরণে রূপান্তরিত হবে।

* (i) উচ্চতাপমাত্রায় গ্যাসের অণুগুলোর গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়, আন্তঃআণবিক আকর্ষণ হ্রাস পায় এবং গ্যাসের আয়তন বহু গুণ বৃদ্ধি পায়। নিম্নচাপে একই ভাবে গ্যাসের আয়তন বেশি থাকে। He এর আণবিক ভর কম হওয়ায় গ্যাসের বৃহৎ আয়তনে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল নগণ্য হয়ে পড়ে। তখন ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণের a/V^2 এর মান খুব কম হওয়ায় $(P + a/V^2) = P$ ধরা যায়।

* (ii) একইভাবে উচ্চতাপমাত্রায় ও নিম্নচাপে গ্যাসের আয়তন খুব বেশি হওয়ায় তুলনামূলকভাবে গ্যাস অণুগুলোর নিজস্ব কার্যকর আয়তন, 'b' কে নগণ্য ধরে $(V - b) = V$ ধরা যায়।

তাই উপরোক্ত ব্যাখ্যা মতে, খুব নিম্নচাপে (1 atm এর নিচে) ও উচ্চতাপমাত্রায় বাস্তব গ্যাস He আদর্শ গ্যাসের মতো আচরণ করবে। তখন QD রেখাটি QR রেখার মতো হবে।

সমাধান : (খ) উদ্দীপকের A, B ও C গ্যাসগুলো হলো যথাক্রমে N_2, H_2 ও CO_2 গ্যাস। গ্যাসের তরলীকরণের দুটি শর্ত প্রয়োগ করতে হয়। যেমন,

(১) প্রথমত, গ্যাসটির তাপমাত্রা হ্রাস করে এর সংকট তাপমাত্রা (T_c) বা সন্ধি তাপমাত্রার নিচে আনতে হয়।

(২) দ্বিতীয়ত, সন্ধি তাপমাত্রায় বা, এর নিচে গ্যাসটির তাপমাত্রা রেখে গ্যাসটির প্রয়োজনীয় সন্ধিচাপ (P_c) প্রয়োগ করলে গ্যাসটি তরলীভূত হয়।

এক্ষেত্রে N_2, H_2 ও CO_2 এর সংকট তাপমাত্রা (T_c) হলো যথাক্রমে – 147.1°C, – 240°C ও 31.1°C।

এছাড়া গ্যাসের বয়েল তাপমাত্রা (T_B) যতো বেশি, সে গ্যাস ততো সহজে তরলীভূত হয়। এক্ষেত্রে CO_2 এর $T_B = 444.9°C$, N_2 এর $T_B = 53.4°C$ ও H_2 এর $T_B = -164°C$

সুতরাং N_2, H_2 এর সংকট তাপমাত্রা কক্ষতাপমাত্রা (25°C) এর অনেক নিচে হওয়ায় এদের শীতলীকরণ জটিল বটে। অপরদিকে CO_2 এর সংকট তাপমাত্রা 31.1°C হওয়ায় CO_2 কে কক্ষতাপমাত্রার নিচে শীতল করার প্রয়োজন হয় না। এক্ষেত্রে CO_2 এর তাপমাত্রা 31.1°C অথবা এর নিচে রেখে CO_2 এর সন্ধিচাপ (P_c) যেমন 72.9 atm প্রয়োগ করে CO_2 গ্যাসকে তরলীভূত করা যায়।

বিশ্লেষণ : বয়েলের তাপমাত্রা (T_B) এর বিবেচনায় CO_2 এর T_B এর মান (444.9°C) সবচেয়ে বেশি হওয়ায় CO_2 এর তরলীকরণ সহজে ঘটে; এটি একটি শর্ত বটে।

সুতরাং উদ্দীপকের CO_2 গ্যাসকে অপর দুটির তুলনায় খুব সহজেই তরলীভূত করা সম্ভব, তা উপরোক্ত ডাটাভিত্তিক আলোচনা থেকে প্রমাণিত হয়।

শিক্ষার্থী নিজে করো-১.১০ : গ্যাস সিলিন্ডারজাতকরণে গ্যাসসূত্র প্রয়োগভিত্তিক :

সমস্যা-১.৯২ (ক) : একটি বোতল গ্যাস সিলিন্ডারের আয়তন 43.7 L এবং এর মধ্যে 5.54 kg CH_4 গ্যাস ভর্তি করা আছে। সিলিন্ডারে কত kPa চাপে 20°C তাপমাত্রায় গ্যাস ভর্তি করা হয়েছে? [উঃ 19,264.52 kPa]

সমস্যা-১.৯২ (খ) : 20°C এ 20 L আয়তনের একটি LPG সিলিন্ডারে 12 kg বিউটেন গ্যাসভর্তি আছে। গ্যাস সিলিন্ডারে চাপ কত হবে? [উঃ 248.545 atm [য. বো. ২০১৫]

সমস্যা-১.৯২ (গ) : অক্সিজেন গ্যাসের স্টিল সিলিন্ডারের আয়তন সাধারণত 49.0 L হয়। 20°C তাপমাত্রায় সিলিন্ডারটি 150 atm চাপে পূর্ণ আছে। ঐ স্থির তাপমাত্রায় 1.02 atm চাপে নিউমোনিয়া রোগীকে অক্সিজেন দিতে কত লিটার অক্সিজেন পাওয়া যাবে? [উঃ 7156.88L]

সমস্যা-১.৯২ (ঘ) : অনেক ল্যাবরেটরি-গ্যাস 43.8 L স্টিল সিলিন্ডারে বিক্রি করা হয়। 20°C তাপমাত্রায় 17,180 kPa চাপে ঐ সিলিন্ডারে ভর্তি করা আর্গনের ভর গ্রাম এককে কত হবে? [উঃ 1.2339×10^4 g]

১.৯ বজ্রপাতের সময় বায়ুমণ্ডলে বিক্রিয়া ও মাটিতে N-ফিক্সেশন
Atmospheric Reactions in Lightning & N-Fixation in Land

(১) প্রাকৃতিক প্রক্রিয়ায় মাটিতে N-ফিক্সেশন : বজ্র-বৃষ্টির সময়ে বিদ্যুৎ ক্ষরণের ফলে সৃষ্ট 3000° C 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।

আমরা জানি, NO একটি ক্ষতিকর বায়ুদূষক গ্যাস এবং NO_2 একটি এসিড বৃষ্টি সৃষ্টিকারী বায়ুদূষক গ্যাস।

* কিন্তু বজ্র-বৃষ্টিকালে সৃষ্ট উভয় গ্যাস N-ফিক্সেশনে অংশ নেয়ায় তখন NO ও NO_2 গ্যাস পরিবেশের জন্য উপকারী ভূমিকা রাখে।

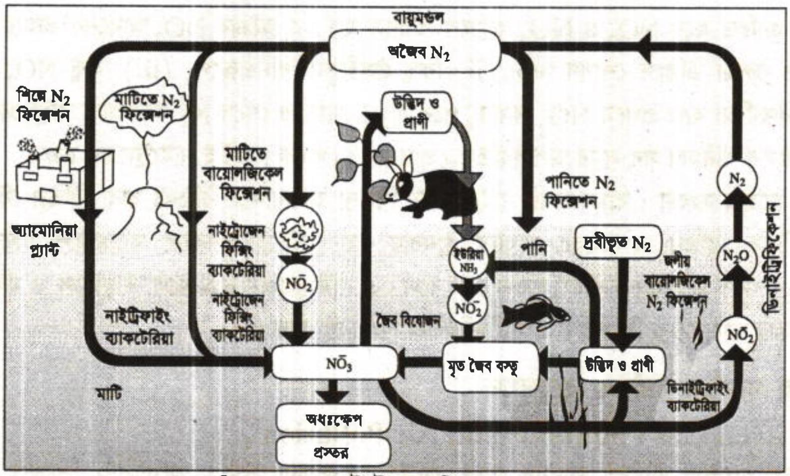
MAT: 23-24

$$N_2(g) + O_2(g) \xrightarrow[3000°C]{\text{বিদ্যুৎ ক্ষরণ}} 2NO(g)\ ; \quad 2NO(g) + O_2(g) \xrightarrow{50°C} 2NO_2(g)$$

$$4NO_2 + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4HNO_3(aq)\ ; \quad CaO(s) + 2HNO_3(aq) \longrightarrow Ca(NO_3)_2(aq) + H_2O(l)$$

** বজ্র-বৃষ্টির ফলে বায়ুস্থ N_2 গ্যাস পর্যায়ক্রমে NO গ্যাস ও NO_2 গ্যাস এবং পরে পানিসহ বিক্রিয়ায় HNO_3 এসিড, পরিশেষে মাটিতে নাইট্রেট সার হিসেবে রূপান্তরিত হয়ে N-ফিক্সেশন ঘটায়, উদ্ভিদ দ্বারা তা হতে প্রোটিন সংশ্লেষণ সম্ভব হয়। এ প্রোটিন জীবকোষের প্রধান উপাদান হওয়ায় প্রতিটি প্রাণীর দেহ গঠনের জন্য এটি হলো অন্যতম প্রধান খাদ্য উপাদান। তাই পৃথিবীতে সৃষ্টি-চক্রে প্রাণিকুলের অস্তিত্বের মূলে প্রাকৃতিক N–ফিক্সেশন অত্যাবশ্যক একটি গতিশীল রাসায়নিক প্রক্রিয়া।

MAT: 24-25



চিত্র- ১.১৯ : নাইট্রোজেন ফিক্সেশন।

(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 :**

$$N_2(g) + 3H_2(g) \xrightarrow[Fe,\ Al_2O_3]{500°C,\ 200\ atm} 2NH_3(g)$$

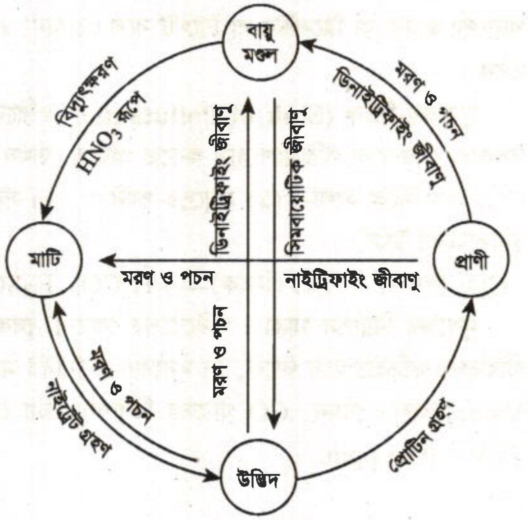
(ii) **অসওয়াল্ড পদ্ধতি :**

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) \xrightarrow[900°\,C]{Pt} 4NO(g) + 6H_2O(g)$$

$$4NO(g) + 2O_2(g) \longrightarrow 4NO_2(g)$$

$$4NO_2(g) + O_2(g) + 2H_2O(l) \longrightarrow 4HNO_3(aq)$$

(৩) বায়োলজিক্যাল ফিক্সেশন (Biological Fixation) : সবুজ অ্যালগি ও মটর, শিম, ছোলা প্রভৃতি লিগুমিনাস জাতীয় উদ্ভিদের শিকড়ের গুটিতে বসবাসকারী সিমবায়োটিক 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 ধাতুযুক্ত 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 নাইট্রাইট (NO_2^-) আয়ন শেষে নাইট্রেট (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।



চিত্র- ১.২০ : নাইট্রোজেন চক্র

(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 গ্যাস ও শেষে N_2 গ্যাসরূপে বায়ুমণ্ডলে ফিরে আসে। ফলে বায়ুমণ্ডলে N_2 গ্যাসের পরিমাণ সব সময় অপরিবর্তিত (প্রায় 78%) থাকে। এটিই নাইট্রোজেন চক্র।

নাইট্রোজেন চক্রের সংজ্ঞা : বায়ুমণ্ডলের নাইট্রোজেন বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়া দ্বারা বিভিন্ন যৌগে পরিণত হয় এবং সেসব যৌগ মাটিতে বিভিন্ন রূপান্তরের মাধ্যমে পুনরায় মুক্ত নাইট্রোজেনরূপে 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।

বায়ু দূষক : বায়ুমণ্ডলে শিল্প কারখানার বর্জ্য গ্যাসের মাত্রা পরিবেশ ও মানুষের শরীরের সহনীয় মাত্রা অপেক্ষা বেশি হলে তখন তাদেরকে **বায়ু দূষকরূপে** গণ্য করা হয়। বায়ু দূষকসমূহের মধ্যে কিছু হলো **প্রাইমারি বায়ু দূষক আর কিছু হলো সেকেন্ডারি বায়ু দূষক।**

প্রাইমারি বায়ু দূষক : যেসব 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, ধূলিকণা, ধোঁয়া, ছাঁই, হাইড্রোকার্বন ইত্যাদি।

সেকেন্ডারি বায়ু দূষক : পরিবেশের এক বা একাধিক গ্যাসীয় উপাদানের সাথে প্রাইমারি 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।

দূষকের গ্রাহক (Receptor of Pollutants) : কোনো একটি দূষকের প্রভাবে যখন জীবের কোনো বিশেষ অংশে বিরূপ প্রতিক্রিয়া দেখা দেয় অথবা কোনো স্থাপত্য বস্তু ভীষণভাবে ক্ষতিগ্রস্ত হয়, তখন ঐ সব জীব ও স্থাপত্য বস্তুকে **ঐ দূষক পদার্থের গ্রাহক বা রিসেপ্টর বা টার্গেট** বলে। যেমন, এসিড বৃষ্টি জীবকুল ও চুনাপাথরের তৈরি স্থাপত্য-এর রিসেপ্টর হয়ে থাকে।

দূষকের সিংক (Sink of Pollutants) : পরিবেশের কোনো মাধ্যম অনবরত কোনো দূষকের সাথে বিক্রিয়া করে দূষককে শোষণ বা পরিমাণে হ্রাস করতে পারলে, তখন ঐ মাধ্যমটিকে **ঐ দূষকের সিংক** বলে। যেমন, বায়ুতে থাকা দূষক CO_2 এর সিংক হলো– (১) সমুদ্রের পানি ও (২) সবুজ উদ্ভিদ। বায়ুতে থাকা দূষক H_2SO_4 এর বাষ্পের সিংক হলো চুনাপাথরের উৎস।

CO_2 (দূষক) + H_2O (সিংক) $\longrightarrow$ H_2CO_3; H_2SO_4 (দূষক) + $CaCO_3$ (সিংক) $\longrightarrow$ $CaSO_4 + CO_2 + H_2O$

দূষকের নিরাপদ মাত্রা : পরিবেশের কোনো দূষক পদার্থ যে নির্দিষ্ট মাত্রা বা পরিমাণ অতিক্রম করলে পরিবেশ ও জীবজগৎ ক্ষতিগ্রস্ত হয়ে থাকে, সে দূষকের ঐ নির্দিষ্ট মাত্রাকে দূষকটির নিরাপদ মাত্রা বা TLV (Threshold Limiting Value) বলে। যেমন, CO গ্যাসের নিরাপদ মাত্রা 0.15 ppm, CO_2 গ্যাসের নিরাপদ মাত্রা 350 ppm, SO_2 এর TLV = 0.05 ppm.

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। এসব বায়ু দূষক গ্যাসের উৎপত্তিস্থল হলো নিম্নোক্ত শিল্পক্ষেত্র :

গ্যাস	নিরাপদ সর্বোচ্চ মাত্রা, TLV
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

(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। এসব 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 রক্তনালি দ্বারা শোষিত হয়। তখন রক্তের হিমোগ্লোবিনের আয়রন (Fe^{2+}) এর সাথে CO লিগ্যান্ডরূপে যুক্ত হয়ে অক্সিহিমোগ্লোবিন [HbO_2] গঠনে বাধা দেয়। CO গ্যাস অক্সিহিমোগ্লোবিন ভেঙে কার্বক্সিহিমোগ্লোবিন [HbCO] গঠন করে।

$$Hb + O_2 \longrightarrow HbO_2;\ HbO_2 + CO \longrightarrow HbCO + O_2$$

ফলে অক্সিজেনের অভাবে প্রথমে মাথা ধরা, ঝিমুনি ও পরে বেশি CO শোষিত হলে মৃত্যু ঘটে।

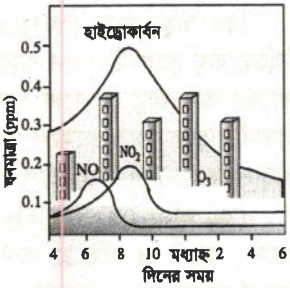
রক্তের লোহিত কণিকার **হিমোগ্লোবিন [Hb]** হলো 'গ্লোবিন' নামক ক্ষারধর্মী প্রোটিন ও Fe^{2+} আয়নযুক্ত ফেরোপ্রোটোপরফিরিন (ferroprotoporphyrin) বা 'হিম' (heme, সংকেত $C_{34}H_{32}FeN_4O_4$) নামক জটিল যৌগের সমন্বয়ে গঠিত। হিমের Fe^{2+} আয়নের সাথে লিগ্যান্ডরূপে O_2, H_2O অথবা CO সন্নিবেশ বন্ধনে যুক্ত হতে পারে।

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। এসব 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। এসব 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 (hυ) দ্বারা NO_2 বিয়োজিত 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 বায়ু দূষক ডিজেল ইঞ্জিনে দহনমুক্ত হাইড্রোকার্বন এবং বিভিন্ন ফ্রি-রেডিকেল মিলে **পারক্সি অ্যাসাইল নাইট্রেট**, $\mathbf{R{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}{-}O{-}ONO_2}$ **(PANs)** নামে মিশ্র বায়ু দূষক সৃষ্টি হয়।

$$[\text{হাইড্রোকার্বন বাষ্প} + NO + NO_2 + O_3] \xrightarrow{h\upsilon} \underset{\text{PANs}}{R{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}{-}O{-}O{-}NO_2} + HNO_3\ (vap) + ...$$



চিত্র-১.২১ (ক) : ফটোকেমিক্যাল স্মোগ স্তর সৃষ্টি।

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 হাউস 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 শ্বাসকষ্ট হয়। CO গ্যাসের অধিক উপস্থিতির কারণে রক্তে বিষক্রিয়া ঘটে থাকে।

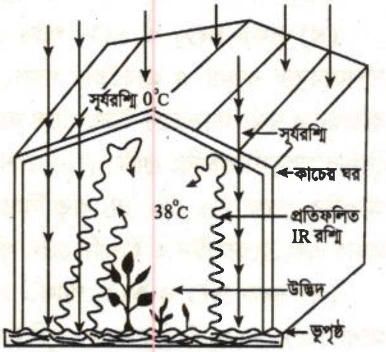
(২) ফটোকেমিক্যাল স্মোগ সৃষ্টি হলে তা নাক ও চোখে ভীষণ জ্বালা সৃষ্টি করে।

(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 P^H 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 হাউস গ্যাস ও গ্রিন হাউস 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 হাউস বলা হয়। গ্রিন হাউসের মধ্যে তাপমাত্রা 38°C থেকে 39°C এর মধ্যে থাকে। ২০১৯ সালের শেষদিকে বাংলাদেশে ময়মনসিংহের ত্রিশালে গ্রিন হাউসে আধুনিক সবজি চাষ প্রকল্প চীন দেশের উদ্যানতত্ত্ববিদ-এর সহায়তায় শুরু হয়। ২০২২ সাল থেকে সবজির ফলন পাওয়া যায়। এটি কীরূপে সম্ভব হলো? দৃশ্যমান আলোর সব তরঙ্গ গ্রিন হাউসের 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। তাই কাচের ঘরে আবদ্ধ বায়ু এ IR রশ্মি দ্বারা 38°C থেকে 39°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত থাকে।



চিত্র ১.২১ (খ) : গ্রিন হাউস

পৃথিবীর গ্রিন হাউস : বায়ুমণ্ডলের ভূপৃষ্ঠ সংলগ্ন হোমোস্ফিয়ারে N_2,O_2, O_3 অণুর সাথে CO_2 ও H_2O অণুগুলো থাকে। এ হোমোস্ফিয়ার অঞ্চলকে **পৃথিবীর গ্রিন হাউস** বলে। বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত CO_2, জলীয়বাষ্প (H_2O) ইত্যাদি গ্রিন হাউস গ্যাস ভূপৃষ্ঠ থেকে বিকিরিত IR রশ্মি বা অবলোহিত রশ্মির তাপকে মহাশূন্যে ফিরে যেতে না দিয়ে বরঞ্চ শোষণ করে রেখে ভূপৃষ্ঠ সংলগ্ন হোমোস্ফিয়ার বায়ুমণ্ডলকে এমন এক তাপমাত্রা সীমার মধ্যে উত্তপ্ত রাখে (যার গড় মান ≈ 13.0°C), যা মানুষসহ সমগ্র জীবজগতের বেঁচে থাকার পক্ষে অনুকূল হয়েছে। যদি বায়ুমণ্ডলে উক্ত CO_2 ও H_2O অণুসমূহ না থাকত, অর্থাৎ গ্রিন হাউস প্রভাব না ঘটতো তাহলে পৃথিবীপৃষ্ঠ ও তৎসংলগ্ন বায়ুমণ্ডলের গড় তাপমাত্রা −30°C হতো। ফলে বর্তমান পৃথিবীপৃষ্ঠে জীবজগতের কোনো অস্তিত্বই থাকতো না। সুতরাং **বায়ুমণ্ডলে সীমিত CO_2 ও জলীয়বাষ্পের গ্রিন হাউস প্রভাব জীবজগতের অস্তিত্বের উপযোগী প্রমাণ করে।**

গ্রিন হাউস গ্যাসের IR– রশ্মি শোষণের শর্ত

(১) যেসব গ্যাসের অণুতে তিনটি বা চারটি পরমাণুযুক্ত থাকে; যেমন H_2O, CO_2, CH_4 অণু এবং যাদের IR– রশ্মি শোষণ ক্ষমতা থাকে—এরা গ্রিন হাউস গ্যাসের ভূমিকা রাখতে পারে।

(২) এসব অণুতে বন্ধনে আবদ্ধ পরমাণুগুলোর কম্পন সংখ্যা (vibration frequency) অবশ্যই ভূপৃষ্ঠের বিকিরিত IR–রশ্মির কম্পন সংখ্যার সমান হতে হয়। (৩) এছাড়া এসব অণুতে সহজে পরিবর্তনশীল ডাইপোল মোমেন্ট থাকে।

বায়ুমণ্ডলের CO_2 ও পানিবাষ্প (H_2O) পোলার অণু হওয়ায় এদের C=O বন্ধন ও O–H বন্ধন দ্বিপোলযুক্ত হয়। এছাড়া N_2O এবং NO এর N–O বন্ধন, CFC এর C–Cl ও C–F বন্ধন পোলার হয়। এদের ডাইপোল বা দ্বিপোল মোমেন্টে সহজে পরিবর্তন ঘটে। তখন এরা বিকিরিত IR রশ্মি শোষণ করে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে। CO_2 ও H_2O অণু ছাড়াও অন্যান্য গ্রিন হাউস গ্যাস দ্বারা শোষিত তাপ পুনরায় বিকিরিত হয়ে ভূপৃষ্ঠে ফিরে আসে। এরূপে বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা আরো বেড়ে যায়। **গ্রিন হাউস গ্যাস দ্বারা তাপমাত্রা বৃদ্ধির কারণ** জানা গেল। এবার গ্রিন হাউস গ্যাস সম্বন্ধে জানবো। N_2, H_2, O_2 এর গ্রিন হাউস প্রভাব নেই।

MAT:20-21

গ্রিন হাউস গ্যাস : যেসব গ্যাস ভূপৃষ্ঠের বিকিরিত IR রশ্মিকে শোষণ করে বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে, তাদেরকে **গ্রিন হাউস গ্যাস** বলে। **CO_2 গ্যাসকে প্রধান গ্রিন হাউস গ্যাস বলা হয়।** এছাড়া জলীয়বাষ্প, মিথেন (CH_4), নাইট্রাস অক্সাইড (N_2O), ফ্রিয়ন বা ক্লোরোফ্লোরো কার্বন (CFC) ও ওজোন গ্যাস গ্রিন হাউস প্রভাব সৃষ্টি করে থাকে। শেষের চারটি গ্যাসের 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।

বৈশ্বিক উষ্ণতা বৃদ্ধি বা গ্লোবাল ওয়ার্মিং প্রক্রিয়া শুরু ও এর কারণ : বিগত 1850 খ্রিষ্টাব্দে বায়ুমণ্ডলে CO_2 এর পরিমাণ প্রায় 0.029% স্থির ছিল। এরপরে **শিল্প-বিপ্লবের ফলশ্রুতিতে বিভিন্ন কারণে** বায়ুমণ্ডলে CO_2 গ্যাসের বৃদ্ধিসহ অন্যান্য গ্রিন হাউস গ্যাসের উপস্থিতি ঘটে। এর ফলে 1880 – 1900 খ্রিষ্টাব্দের মধ্যে পৃথিবীর গড় তাপমাত্রা 0.4°C বৃদ্ধি পায়। আবার 1880 – 2018 খ্রিষ্টাব্দের মধ্যে পৃথিবীর গড় তাপমাত্রা 0.78°C বৃদ্ধি পেয়েছে এবং বিংশ শতাব্দীর গড় তাপমাত্রা (20th century average temperature) ভিত্তিতে বর্তমান পৃথিবীর গড় তাপমাত্রা 15°C ধরা হয়। সারা বিশ্বব্যাপী ক্রমাগত তাপমাত্রা বৃদ্ধির এ প্রক্রিয়াকে **গ্লোবাল ওয়ার্মিং** বলা হয়। এ গ্লোবাল ওয়ার্মিং-এর কারণ হলো মানবসৃষ্ট বিভিন্ন শিল্পক্ষেত্র ও মোটর যানবাহন থেকে নির্গত গ্রিন হাউস গ্যাসসমূহের বায়ুমণ্ডলে ক্রমাগত পরিমাণে বৃদ্ধি পাওয়া।

গ্রিন হাউস গ্যাসসমূহের গ্লোবাল ওয়ার্মিং ক্ষমতার তুলনা : একটি CFC গ্যাস অণুর উত্তপ্তকরণ ক্ষমতা 15,000টি CO_2 অণুর উত্তপ্তকরণ ক্ষমতার সমান। বায়ুতে গ্রিন হাউস গ্যাসের মোটামুটি তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে শতকরা ভূমিকা এবং এদের তুলনামূলক গ্লোবাল ওয়ার্মিং ক্ষমতা বা গ্রিন হাউস প্রভাব সারণি-১.৮ এ দেখানো হলো। এসব অণুর গ্রিন হাউস প্রভাব নির্ভর করে এদের IR রশ্মি শোষণক্ষমতার ওপর। আর এদের শোষণক্ষমতা 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)।

3K

সারণি-১.৮ : ৬টি গ্রিন হাউস গ্যাস ও এদের গ্লোবাল ওয়ার্মিং প্রভাব।

গ্রিন হাউস গ্যাস	বায়ুতে তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে ভূমিকা	CO_2 এর তুলনায় গ্রিন হাউস প্রভাব
১। CO_2 গ্যাস	50%	1 গুণ
২। CH_4 গ্যাস	19%	25 গুণ
৩। CFC গ্যাস	16%	15000 গুণ
৪। ওজোন O_3 গ্যাস	8%	10 গুণ
৫। N_2O গ্যাস	5%	270 গুণ
৬। জলীয় বাষ্প	2%	5 গুণ কম (0.2 গুণ)

গ্রিন হাউস গ্যাসসমূহের উৎস, বায়ুমণ্ডলে এদের বৃদ্ধির কারণ ও গ্লোবাল ওয়ার্মিং-এ ভূমিকা

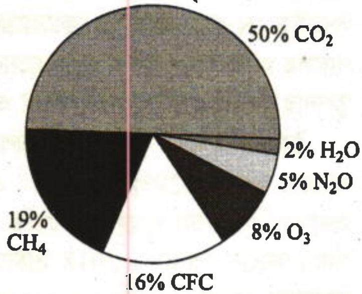
(ক) CO_2 গ্যাস : বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত গ্রিন হাউস গ্যাসসমূহের মধ্যে CO_2 এর পরিমাণ সবচেয়ে বেশি। ফলে ভূপৃষ্ঠের বিকিরিত IR রশ্মি শোষণের ক্ষেত্রে CO_2 এর ভূমিকা সর্বপ্রধান। বর্তমানে গ্লোবাল ওয়ার্মিং বা গ্রিন হাউস প্রভাব সৃষ্টিতে CO_2 এর ভূমিকা প্রায় 50%।

[MAT:15-16, 14-15, 11-12 DAT:19-20]

জেনে নাও : প্রাণীকুল শ্বসন প্রক্রিয়ায় বায়ুস্থ O_2 গ্রহণ করে এবং দেহে উৎপন্ন CO_2 বায়ুতে ছেড়ে দেয়। সবুজ গাছপালা সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় পত্ররন্ধ্র (stomata) দ্বারা বায়ুস্থ CO_2 এবং মূল দ্বারা মাটি থেকে H_2O শোষণ করে শর্করা ও O_2 তৈরি করে। শেষে O_2 বায়ুতে ছেড়ে দেয়। বিশাল সমুদ্রের পানিতেও CO_2 দ্রবীভূত হয়। সুতরাং উদ্ভিদ ও সমুদ্র হলো CO_2 এর দুটি প্রধান গ্রাহক বা Sink। এভাবে বায়ুতে CO_2 ও O_2 এর ভারসাম্য চলমান অবস্থায় 1850 সালে বায়ুমণ্ডলে CO_2 এর পরিমাণ প্রায় 0.029% এ স্থির ছিল। কিন্তু শিল্প-বিপ্লবের পর 1850 সাল থেকে বায়ুমণ্ডলে **CO_2 এর পরিমাণ ক্রমশ** বেড়ে যাচ্ছে।

*** CO_2 বৃদ্ধির কারণ :** (১) শিল্প কারখানায় কয়লা ও মোটরযানে পেট্রোল–এর যথেচ্ছ ব্যবহারে বায়ুতে CO_2 এর পরিমাণ বেড়ে চলেছে। (২) বনভূমি ধ্বংসের কারণে উদ্ভিদ দ্বারা CO_2 কম শোষিত হচ্ছে। (৩) সমুদ্রের তাপমাত্রা বেড়ে যাওয়ায় পানিতে CO_2 কম দ্রবীভূত হচ্ছে।

*** CO_2 এর বৃদ্ধির ফলে :** 1850 সালে বায়ুমণ্ডলে স্থির প্রায় 0.029% CO_2 এর পরিমাণ ক্রমাগত বৃদ্ধি পেয়ে 2008 সালে তা 0.0385% এর বেশি হয় অর্থাৎ 290 ppm থেকে বৃদ্ধি পেয়ে 385 ppm হয়েছে; যা CO_2 এর 33% বৃদ্ধি হারের সমতুল্য। 2011 সালে নাসা (NASA)-এর বিজ্ঞানীদের তথ্য মতে বায়ুমণ্ডলে CO_2 এর বৃদ্ধির হার 40% হয়েছে। বর্তমান হারে জীবাশ্ম জ্বালানি ব্যবহার এবং বনাঞ্চল ধ্বংস হলে আগামী 2050 সালের মধ্যে বায়ুমণ্ডলে CO_2 এর পরিমাণ বৃদ্ধি পেয়ে 500 ppm –700 ppm হতে পারে। ফলে বৈশ্বিক গড় তাপমাত্রা 3°C বৃদ্ধি পাবে।



পাই (Pi) চিত্র-১.২২ : গ্রিন হাউস গ্যাসসমূহের বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে % ভূমিকা।

(খ) মিথেন (CH_4) গ্যাস : বায়ুমণ্ডলে গ্রিন হাউস প্রভাব বা গ্লোবাল ওয়ার্মিং সৃষ্টিতে CH_4 গ্যাসের ভূমিকা (19%) হলো CO_2 এর ঠিক পরের অবস্থানে। বায়ুতে CH_4 গ্যাসের বর্তমান ঘনমাত্রা হলো 1.7 ppm এবং তা প্রতি বছর 1.2% হারে বৃদ্ধি ঘটছে। বায়ুতে CH_4 এর ঘনমাত্রা CO_2 এর চেয়ে কম হলেও CH_4 অণুর তাপ ধারণক্ষমতা CO_2 অণুর তুলনায় প্রায় 25 গুণ বেশি।

*** CH_4 বৃদ্ধির কারণ :** (১) ধানক্ষেত, বিভিন্ন ওষধি উদ্ভিদ ও জলাভূমির উদ্ভিদের মরণের পর ব্যাকটেরিয়ার প্রভাবে সেলুলোজের অবায়বীয় (anaerobic) পচনের ফলে CH_4 গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$2(C_6H_{10}O_5)_n + 2nH_2O \xrightarrow{\text{ব্যাকটেরিয়া}} 6n\,CH_4 + 6n\,CO_2$$

(২) গবাদি পশু, বিভিন্ন প্রাণীর মলমূত্র ও মৃত জীবজন্তুর দেহের পচনের ফলে CH_4 গ্যাস উৎপন্ন হয়ে বায়ুতে মিশে থাকে। (৩) এছাড়া বিভিন্ন পচনশীল জৈব বর্জ্য পদার্থ এবং গ্যাস ও তৈলের খনি থেকে প্রতিনিয়ত CH_4 গ্যাস বায়ুতে যুক্ত হয়ে এর ঘনমাত্রার বৃদ্ধি ঘটছে। এর ফলে অধিকতর গ্রিন হাউস প্রভাব সৃষ্টি করছে।

(গ) সিএফসি (CFC) : বায়ুমণ্ডলে গ্রিন হাউস প্রভাব সৃষ্টিতে CFC গ্যাসের ভূমিকা 16% এবং CO_2 ও CH_4 এর পর ৩য় স্থানে। বায়ুমণ্ডলে CFC এর ঘনমাত্রা কম (Low concentration) হলেও CFC অণু super green house effect করতে পারে। কারণ বিভিন্ন CFC অণুর তাপ ধারণ ক্ষমতা CO_2 অণুর তুলনায় 15,000 থেকে 20,000 গুণ বেশি।

1987 সালে কানাডার মন্ট্রিয়েল সিটিতে সম্পাদিত 'Montreal Protocol' অনুসারে উন্নয়নশীল দেশসমূহে CFC উৎপাদন ও ব্যবহার 2010 সালের মধ্যে সম্পূর্ণ নিষিদ্ধ করা হয়। কিন্তু এ চুক্তি অবমূল্যায়ন করে গোপনে কোনো কোনো দেশ এখনও CFC উৎপাদন ও বাজারজাত করছে। CFC সমূহের বিভিন্ন ব্যবহার রয়েছে যেমন এসি, রেফ্রিজারেটর, ফ্রিজ প্রভৃতি হিমায়ক যন্ত্রের তরলরূপে ব্যবহার, তরল প্রসাধনীর স্প্রে তরলরূপে, ফোম শিল্পে ও ড্রাই ক্লিনাররূপে CFC ব্যবহৃত হয়। CFC যৌগসমূহ দীর্ঘকাল বায়ুমণ্ডলে থেকে যায় এবং গ্রিন হাউস প্রভাব সৃষ্টি করে থাকে।

(ঘ) ওজোন (O_3) গ্যাস : বায়ুমণ্ডলে গ্রিন হাউস প্রভাব সৃষ্টিতে O_3 গ্যাসের ভূমিকা 8% এবং তা CO_2, CH_4 ও CFC এর পর ৪র্থ অবস্থানে। বায়ুমণ্ডলে O_3 গ্যাসের অবস্থান অনুসারে, (১) একদিকে স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে উপকারী প্রভাব

(২) অপরদিকে ট্রপোস্ফিয়ারে O_3 গ্যাসের ক্ষতিকর বায়ুদূষকরূপে গ্রিন হাউস প্রভাব রয়েছে। বর্তমানে ট্রপোস্ফিয়ারের বায়ুতে বিভিন্ন স্থানে O_3 গ্যাসের বার্ষিক গড় বৃদ্ধির হার 0.4 –1.0%। উল্লেখ্য, O_3 অণুর তাপ ধারণ ক্ষমতা CO_2 অণুর তুলনায় প্রায় 10 গুণ বেশি।

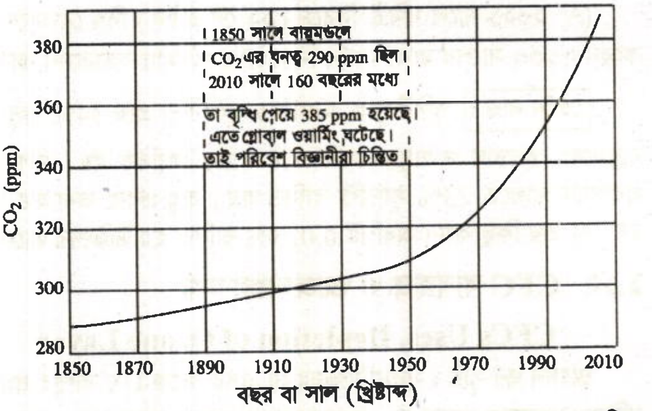
* **O_3 গ্যাসের বৃদ্ধির কারণ :** বিভিন্ন মোটরযান, কয়লাভিত্তিক বিদ্যুৎকেন্দ্র ও বিভিন্ন শিল্প কারখানায় ফসিল জ্বালানি যেমন কয়লা ও পেট্রোলের দহনের ফলে ক্রমাগত নাইট্রোজেনের বিভিন্ন অক্সাইডসমূহ (NO_x) উৎপন্ন হচ্ছে। এসব উৎপন্ন NO_x জারণধর্মী হওয়ায় এরা বায়ুস্থ হাইড্রোকার্বন যৌগ ও O_2 এর সাথে বিক্রিয়ায় ওজোন (O_3) গ্যাস উৎপন্ন করে থাকে। বায়ুতে NO_x এর বৃদ্ধির সাথে O_3 গ্যাসের বৃদ্ধি ঘটে।

(ঙ) নাইট্রাস অক্সাইড (N_2O) গ্যাস : গ্রিন হাউস প্রভাব বা গ্লোবাল ওয়ার্মিং–এ N_2O এর ভূমিকা প্রায় 5%। এক্ষেত্রে N_2O অণুর তাপধারণ ক্ষমতা CO_2 অণুর চেয়ে প্রায় 270 গুণ।

* **N_2O গ্যাসের বৃদ্ধির কারণ :** বিভিন্ন মোটরযান, বিদ্যুৎকেন্দ্র ও শিল্প কারখানায় কয়লা ও পেট্রোল জ্বালানির দহনের ফলে সৃষ্ট প্রচুর N_2O গ্যাস বায়ুতে যুক্ত হয়ে থাকে। ফলে বায়ুতে N_2O গ্যাসের বার্ষিক গড় বৃদ্ধি প্রায় 0.2 – 0.3%।

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 খ্রিষ্টাব্দে প্রায় 0.029%-এ স্থির ছিল। কিন্তু বিগত 160 বছর যাবৎ মানুষের দ্বারা জীবাশ্ম জ্বালানি কয়লা, পেট্রোলিয়াম অধিক হারে ব্যবহার ও বনাঞ্চল ধ্বংসের কারণে CO_2 গ্যাস বায়ুমণ্ডলে বৃদ্ধি পেয়ে 2008 খ্রিষ্টাব্দে 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।

বৈশ্বিক উষ্ণতা বৃদ্ধি বা গ্লোবাল ওয়ার্মিং-এর বর্তমান ক্ষতিকর ফল : (১) রেকর্ড মতে, **1997 – 1999 এ তিন বছর পৃথিবীতে সবচেয়ে বেশি 'উষ্ণ-বছর' (hottest year) ছিল,** (২) 1987–1997 এ দশকে আগের দশকের চেয়ে 10 গুণ সামুদ্রিক ঝড় থেকে সর্বনাশা বন্যা হয় এবং এ প্রভাব 1998 – 1999 সালেও ছিল। (৩) 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।



চিত্র-১.২৩ : 1850 খ্রি. থেকে বায়ুমণ্ডলে বাৎসরিক CO_2 এর ঘনত্বের বৃদ্ধি।

*** বৈশ্বিক উষ্ণতা বৃদ্ধির ভবিষ্যৎ পরিণাম সম্পর্কে বিজ্ঞানীদের মতামত নিম্নরূপ :**

(১) বর্তমানে কম্পিউটার মডেল অনুসরণে অধিকাংশ পরিবেশ বিজ্ঞানীর ধারণা বর্তমান হারে CO_2 বৃদ্ধি পেলে পৃথিবীর গড় তাপমাত্রা বর্তমানের 15°C থেকে 2050 সালের মধ্যে 3°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে গড় তাপমাত্রা 18°C হবে।

(২) এর ফলে সমুদ্র তীরবর্তী দেশ ভারত, মালদ্বীপ, মিয়ানমারসহ বাংলাদেশের প্রায় 17% স্থলভূমি সমুদ্রের জলমগ্ন হবে। কৃষিজমি লবণাক্ত হয়ে ফসল উৎপাদন ব্যাপক হ্রাস পাবে। জনসংখ্যার চাপে খাদ্য সংকট সৃষ্টি হবে। জলবায়ুর

পরিবর্তন দেখা দেবে। (৩) সাইক্লোন ও ঘূর্ণিঝড় আরো প্রবল হবে। দাবানলের কারণে বিভিন্ন অঞ্চলের বনভূমি ধ্বংসের সম্ভাবনা বৃদ্ধি পাবে।

(৪) উত্তর গোলার্ধের মধ্য অঞ্চলের দেশগুলোতে অনাবৃষ্টির কারণে ফসল উৎপাদন ব্যাপক হারে হ্রাস পাবে; ফলে খাদ্য সংকট বৃদ্ধি পাবে।

(৫) অসংখ্য উদ্ভিদ ও প্রাণীর অস্তিত্ব বিপন্ন হবে। স্ট্যানফোর্ড বিশ্ববিদ্যালয়ের গবেষক ডেনিস মার্ফির (Dennis Murphy) পর্যবেক্ষণ ও সিদ্ধান্ত মতে 44% স্তন্যপায়ী, 23% প্রজাপতি এবং কয়েক শতাংশ পাখি বিলুপ্ত হবে।

* বৈশ্বিক উষ্ণতা হ্রাসের জন্য বিশ্বের করণীয়

(১) বৈশ্বিক উষ্ণতা বৃদ্ধির মূল কারণ বায়ুমণ্ডলে **গ্রিন হাউস গ্যাস CO_2, CH_4, CFC, N_2O ইত্যাদির নিঃসরণ কমিয়ে আনার জন্য এসব** গ্যাসের মূল উৎসসমূহে ব্যবস্থা নেয়া প্রাথমিক প্রয়োজন। তাই—

(২) শিল্পোন্নত দেশসমূহে শিল্পকারখানায় জীবাশ্ম জ্বালানি যেমন কয়লা ও পেট্রোলিয়ামের ব্যবহার ক্রমশ হ্রাস করে শিল্পকারখানার যন্ত্রপাতিতে প্রয়োজনীয় পরিবর্তন ঘটিয়ে **পরিবেশবান্ধব গ্রিনার জ্বালানিরূপে বিদ্যুৎশক্তির উৎপাদন ও ব্যবহার** বৃদ্ধি করতে হবে। এর ফলে বায়ুমণ্ডলে CO_2 , N_2O গ্যাসের নিঃসরণ হ্রাস পাবে।

(৩) 1850 সাল পর্যন্ত বায়ুমণ্ডলে প্রাকৃতিকভাবে CO_2 এর পরিমাণের ভারসাম্য রক্ষাকারী CO_2 এর প্রধান গ্রাহক বা Sink রূপে সবুজ বনভূমি বৃদ্ধি ও সংরক্ষণের বিশ্বব্যাপী ব্যবস্থা করতে হবে।

(৪) Super green house effect সৃষ্টিকারী CFC গ্যাসসমূহের উপাদান ও ব্যবহার সম্পূর্ণরূপে বন্ধ করতে 1987 সালে সম্পাদিত **'মন্ট্রিয়েল চুক্তি'** (Montreal Protocol) সকল দেশে সঠিকভাবে অনুসৃত হচ্ছে কীনা তার তদারকি বাড়াতে হবে। এর সাথে CFC গ্যাসের বিকল্প HFC গ্যাসের উৎপাদন ও ব্যবহার নিশ্চিত করতে হবে।

(৫) বায়ুমণ্ডলে CH_4 গ্যাসের বৃদ্ধির হার হ্রাসের জন্য প্রতিটি জনপদে ও শহরাঞ্চলে পচনশীল জৈব বর্জ্য পদার্থ ও মৃত জীবজন্তুর দেহের পচনরোধক সুষ্ঠু Sewage ব্যবস্থা কার্যকর রাখতে হবে।

(৬) বিদ্যুৎ উৎপাদনে নিউক্লিয়ার শক্তি, সৌরশক্তি, বায়ুপ্রবাহ শক্তি ও জোয়ার-ভাটার শক্তির ব্যবহার বাড়াতে হবে। এর ফলে **গ্রিনার পরিবেশ সৃষ্টি হবে।**

(৭) ২০২১ সালে ধরিত্রী দিবসে (২২ শে এপ্রিল) বিশ্ব নেতৃবৃন্দের সম্মেলনে সিদ্ধান্ত মতে আমেরিকার প্রেসিডেন্ট ঘোষণা করেন ২০৩০ সালের মধ্যে কার্বন নিঃসরণের পরিমাণ বর্তমানের কার্বন নিঃসরণের অর্ধেকে নিয়ে আসার ব্যবস্থা করা হবে।

জেনে নাও : পৃথিবীপৃষ্ঠে আপতিত সূর্যরশ্মির প্রায় 34% ভূপৃষ্ঠ থেকে প্রতিফলিত হয়ে পুনরায় মহাশূন্যে ফিরে যায়। বায়ুমণ্ডল, স্থলভাগ ও সমুদ্র কর্তৃক প্রায় 42% শোষিত হয়। জলরাশিকে বাষ্পীভূত করতে এবং জলীয়বাষ্পকে পানিচক্রে 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 সালোকসংশ্লেষণ মেকানিজমে।

১.১২ CFC ব্যবহার ও ওজোনস্তর ক্ষয়

CFCs Uses, Depletion of Ozone Layer

ওজোন স্তর সৃষ্টি : স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের ওপর দিকে UV রশ্মির প্রভাবে O_2 অণু ভেঙ্গে O পরমাণুতে পরিণত হয়। ঐ অতি সক্রিয় O পরমাণু আরো O_2 অণুকে আঘাত করে ওজোন (O_3) অণু গঠন করে।

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

এখানে M হলো স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের যেকোনো কণা যা অবশিষ্ট শক্তি শোষণ করে। এ ওজোন গ্যাস স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের ওপরের অংশে চক্রাকারে বায়ুমণ্ডলের ওপরে গভীর স্তর সৃষ্টি করে শত সহস্র বছর ধরে পৃথিবীর প্রাণিকুলকে UV রশ্মির ক্ষতিকর প্রভাব থেকে মুক্ত রেখেছে। ওজোন স্তরে O_2 ও O_3 গতিশীল সাম্যাবস্থায় থাকায় এ ওজোন স্তরের ঘনত্ব স্থির ছিল।

$$3O_2(g) \xrightleftharpoons{UV} 2O_3(g)$$

1982 খ্রিষ্টাব্দে ব্রিটিশ বিজ্ঞানী জো ফোরম্যান (Jo Foreman) লক্ষ্য করেন, অ্যান্টার্কটিকার ওপরভাগে স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে ওজোনস্তরটির ঘনত্ব কমে গেছে। পরে দেখা গেল স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের প্রায় সর্বত্রই ওজোনস্তর কম-বেশি পাতলা হয়ে গেছে। **ওজোনস্তরের পাতলা হওয়ার এ ঘটনাকে ওজোনস্তরের ক্ষয় বা ওজোনছিদ্র বা ওজোনগহ্বর বলে।**

ওজোনগহ্বর বা ওজোনছিদ্রের মান ডবসন এককে প্রকাশ করা হয়। এক বায়ুমণ্ডল চাপে 0.01 mm পুরু ওজোন গ্যাসের ঘনত্বকে এক **ডবসন একক** (1DU) বলে। নাতিশীতোষ্ণ অক্ষাংশ অঞ্চলের বায়ুমণ্ডলে ওজোনস্তরের স্বাভাবিক ঘনত্ব 350 DU। কিন্তু ক্রান্তীয় অঞ্চল ও উপমেরু অঞ্চলে ওজোনস্তরের ঘনত্ব যথাক্রমে 250 DU ও 450 DU হয়। উপমেরু অঞ্চলে ওজোনস্তরের ঘনত্ব ক্রান্তীয় অঞ্চল অপেক্ষা বেশি হওয়ার কারণ স্ট্র্যাটোফেরিক বায়ুপ্রবাহের ফলে ক্রান্তীয় অঞ্চল থেকে উপমেরু অঞ্চলে ওজোন গ্যাসের স্থানান্তর।

1986 খ্রিষ্টাব্দে ড. সুসান সলোমান ওজোন স্তর ক্ষয়ের জন্য 'ক্লোরিন দূষণ'-কে দায়ী করেন। আর 1995 খ্রিষ্টাব্দে 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 অধিক সক্রিয় ক্লোরিন পরমাণু ওজোন স্তর ক্ষয়ে প্রভাবকরূপে কাজ করে। শিল্পজাত এসব CFC এরোসল স্প্রে-ক্যানে, প্লাস্টিক ফোমে ও এয়ারকন্ডিশনারে ব্যবহৃত হয়। রেকর্ড মতে 1980 দশকের প্রতি বছর 10 লক্ষ টন CFC গ্যাস বায়ুমণ্ডলে মিশেছে। এসব CFC এর নম্বর সংকেত ও ব্যবহার সারণি- ১.৯-এ উল্লেখ করা হলো :

সারণি- ১.৯ : 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) রেফ্রিজারেটর, ফ্রিজার ও স্প্রে ক্যান ইত্যাদিতে ব্যবহৃত হয়।
CFC-12	CF_2Cl_2	কঠিন প্লাস্টিক ফোম, রেফ্রিজারেটর, 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 ওজোনস্তর ক্ষয় : ক্লোরোফ্লোরো কার্বন নামক জৈবযৌগকে 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 গ্যাস 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 এসব 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।

ওজোনস্তর ক্ষয়কারী পদার্থ : ওজোনস্তর ক্ষয়কারী পদার্থের মধ্যে CFC হলো প্রধান। CFC ছাড়া N_2O, NO, CH_4, হ্যালোনসমূহ, BCF, CH_3Br ও CCl_4 ওজোনস্তর ধ্বংস করে থাকে। [DAT: 22-23]

পরিবেশ বিজ্ঞানীদের বিগত সেপ্টেম্বর 2003 পর্যন্ত সংগৃহীত ডাটা মতে দক্ষিণ মেরু অঞ্চলে 80% ওজোনস্তর নষ্ট হয়েছে এ প্রক্রিয়ায়।

ওজোনস্তর ক্ষয় রোধে ব্যবস্থা : ওজোনস্তর নষ্ট রোধ করতে 1987 খ্রিষ্টাব্দে 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 ($CH_3.CCl_3$) ধারাবাহিকভাবে বন্ধ করা;

(iii) CFC-এরোসলে হাইড্রোকার্বন যেমন; আইসোবিউটেন $(CH_3)_3CH$ ব্যবহার করা;

(iv) রেফ্রিজারেটরে CFC এর বদলে হাইড্রো-ক্লোরোফ্লোরো কার্বনসমূহ (HCFCs) যেমন CHF_2Cl ব্যবহার করা।

CFCs এর তুলনায় HCFCs ট্রপোস্ফিয়ারে কম স্থায়ী: কারণ H পরমাণু .OH মুক্তমূলক দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে পানি ও কার্বন মুক্তমূলক সৃষ্টি হয়। $CHF_2Cl + .OH \longrightarrow H_2O + .CF_2Cl$

(v) এছাড়া 2040 খ্রিষ্টাব্দের মধ্যে HCFCs কে ধারাবাহিকভাবে বাদ দিয়ে হাইড্রোফ্লোরো কার্বনসমূহ (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 ক্লোরো ডাইফ্লোরো মিথেন, ($CHClF_2$) 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, [MAT: 19-20, 17-18 DAT: 20-21, 16-17]

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।

$$H_2O\,(l) \quad + \quad SO_2\,(g) \longrightarrow H_2SO_3\,(aq)$$

$$H_2SO_3\,(aq) \quad + \quad H_2O_2\,(aq) \longrightarrow H_2SO_4\,(aq) \quad + \quad H_2O\,(l)$$

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।

$$2NO_2\,(g) \quad + \quad O_3\,(g) \longrightarrow N_2O_5\,(g) + O_2\,(g)$$

$$N_2O_5\,(g) \quad + \quad H_2O\,(l) \longrightarrow 2HNO_3\,(aq)$$

উৎপন্ন সবল এসিড H_2SO_4 ও HNO_3 বৃষ্টির পানির pH (2.7 – 1.8 পর্যন্ত) কমিয়ে দেয়। যেমন–শিল্প এলাকাভেদে এসিড বৃষ্টির ফলে pH 2.7, (যা ভিনেগারের pH এর মতো) যা সুইডেনে 1984 সালে এবং pH 1.8, (যা লেমন জুসও স্টোমাক-এসিডের মতো) যা ভার্জিনিয়ায় 1984 খ্রিষ্টাব্দে এসিড বৃষ্টিতে হয়েছিল।

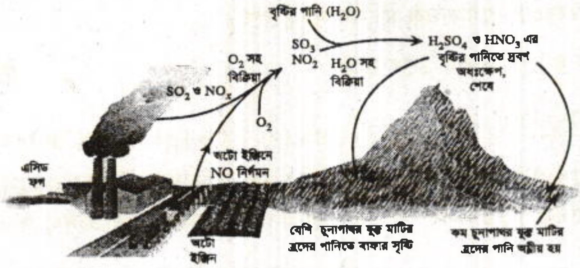
এসিড বৃষ্টির ক্ষতিকর প্রভাব : বর্তমানে রিপোর্টে প্রকাশিত ভারতের 'মথুরা অয়েল রিফাইনারি' থেকে নির্গত SO_2 বৃষ্টির পানিতে দ্রবীভূত হয়ে এসিড বৃষ্টি ঘটাচ্ছে।

(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 যৌগকে এসিড বৃষ্টি ধুয়ে নিয়ে মাটিকে অনুর্বর করে দেয়।



চিত্র-১.২৪ : এসিড বৃষ্টির অধঃক্ষেপণ (Precipitation)

> **MCQ–1.29 : এসিড বৃষ্টির জন্যে দায়ী কোনটি?**
> (ক) CO
> (খ) CO_2
> (গ) SO_2
> (ঘ) N_2O

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) দ্বিতীয় পদ্ধতি হলো ট্রপোস্ফিয়ারকে SO_2 গ্যাস ও নাইট্রোজেন অক্সাইড (NO_x) মুক্ত রাখার ব্যবস্থা করা।

(iii) এজন্য শিল্পক্ষেত্রে FGD প্ল্যান্ট ও মোটরকারে ক্যাটালাইটিক কন্‌ভার্টার ব্যবহার করে NO_x গ্যাসকে বিজারিত করে N_2 গ্যাসে পরিণত করা।

FGD প্ল্যান্ট : শিল্পকারখানার চিমনি দিয়ে নির্গত SO_2 গ্যাস মিশ্রিত ফ্লু-গ্যাস (Flue gas) কে চুনাপাথর বা চুনের গুঁড়ার পানির মিশ্রণে চালনা করা হয়; এতে SO_2 শোষিত হয়; একে ফ্লু-গ্যাস ডিসালফারিজেশন বা FGD প্ল্যান্ট বলে।

FGD প্লান্টে SO_2 গ্যাসকে রূপান্তরিত করে জিপসাম অথবা H_2SO_4 এসিড উৎপাদন করা হয়। 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।

$$2CH_4(g) + SO_2(g) \xrightarrow[900°C]{Al_2O_3.Cu} H_2S(g) + 2CO(g) + 3H_2(g)$$
$$3H_2(g) + SO_2(g) \longrightarrow H_2S(g) + 2H_2O(l)$$
$$16H_2S(g) + 8SO_2(g) \xrightarrow{Fe_2O_3} 3S_8(s) + 16H_2O(l)$$

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।

$$4NO(g) + 4NH_3(g) + O_2(g) \xrightarrow{\Delta} 4N_2(g) + 6H_2O(l)$$

শিক্ষার্থী নিজে করো-১.১১ : 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 কোন কোন এলাকায় এসিড বৃষ্টির সম্ভাবনা রয়েছে তা কারণসহ রিপোর্ট তৈরি করো। তোমার তৈরি রিপোর্ট নিয়ে সহকর্মীদের সাথে তথ্য বিনিময় করো।

(গ) এসিড বৃষ্টি প্রতিরোধে বিভিন্ন প্ল্যান্টে ব্যবহৃত রাসায়নিক বিক্রিয়াসমূহ লেখ।

সমস্যা-১.৯৩ (খ) : নিচের বিক্রিয়াভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [কু. বো. ২০১৯]

(1) $N_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{\text{বজ্রপাত}} B(g) \xrightarrow{O_2,\ 50°C} D(g)$ (2) $CuS(s) + O_2(g) \xrightarrow{\Delta} CuO(s) + E(g)$

উদ্দীপকের উভয় বিক্রিয়ায় বায়ুদূষক গ্যাস উৎপন্ন হলেও (1) ও (2) নং বিক্রিয়ায় উৎপন্ন কোনো একটি গ্যাস পরিবেশের জন্য উপকারী বটে ; তা রাসায়নিক বিক্রিয়াসহ বিশ্লেষণ করো। [**সংকেত :** অনুচ্ছেদ-১.৯ এর (১) অংশ দেখো।]

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 (অনুচ্ছেদ -১.১০) থেকে আমরা জেনেছি– শিল্পকারখানায় 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 এসিডদ্বয়ের উপস্থিতি। এ এসিডদ্বয় হলো বায়ুর প্রাইমারি দূষক SO_2 গ্যাস এবং NO ও NO_2 গ্যাস থেকে সৃষ্ট গৌণ **বায়ুদূষক**। যেমন,

$SO_2(g) + O_3(g) \longrightarrow SO_3(g) + O_2(g)$

$2NO_2(g) + O_3(g) \longrightarrow N_2O_5(g) + O_2(g)$

$SO_3(g) + H_2O(l) \longrightarrow H_2SO_4$

$N_2O_5(g) + H_2O(l) \longrightarrow 2HNO_3$

বৃষ্টির পানিতে দ্রবীভূত হয়ে এসিড বৃষ্টি সৃষ্টি করে।

MCQ–1.30 : কোনটি এসিড বৃষ্টির সাথে সংশ্লিষ্ট নয়?
(ক) CO_2 (খ) SO_2
(গ) SO_3 (ঘ) NO_2

সুতরাং কোন্ কোন্ এলাকায় এসিড বৃষ্টির সম্ভাবনা রয়েছে তা জানার জন্য ঐ অঞ্চলে বায়ু দূষক 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, ইটভাটা ইত্যাদি। অপরদিকে, নাইট্রোজেন অক্সাইডসমূহ (NO_x) এর প্রধান উৎস হলো অটোমোবাইল ইঞ্জিনের বর্জ্য গ্যাস নিঃসরণ, বিদ্যুৎ কেন্দ্র, HNO_3 এসিড উৎপাদন প্ল্যান্ট ইত্যাদি।

যেসব অঞ্চলে তাপ-বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্রে উচ্চ সালফারযুক্ত 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 যেসব শহর অঞ্চলে অটোমোবাইল যানবাহনের চলাচলের আধিক্য বেশি, সেখানের বায়ুতে যানবাহন থেকে নিঃসরিত NO_x গ্যাসের কারণে এসিড বৃষ্টিতে HNO_3 এসিডের ভূমিকা থাকে।

উদাহরণস্বরূপ, চট্টগ্রামের পতেঙ্গা এলাকা হলো একটি শিল্পাঞ্চল। এ পতেঙ্গা অঞ্চলে TSP সার কারখানা, সিমেন্ট কারখানা, পেট্রোলিয়াম রিফাইনারি কারখানা, রাসায়নিক দ্রব্যের কারখানা আছে। তাই এসব শিল্প কারখানার চিমনি থেকে অবিরাম 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 এসব অঞ্চলের আশেপাশে 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। বাস্তবে 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 গ্যাসসমূহের উৎস হলো এর দক্ষিণে অবস্থিত ইউরোপীয় দেশগুলোর শিল্প কারখানা। সুতরাং শিল্পকারখানার নিকটবর্তী অঞ্চলসমূহে যেমন অধঃক্ষেপণ এসিড বৃষ্টির সম্ভাবনা থাকে; একইভাবে বায়ুপ্রবাহের প্রাধান্যের কারণে শিল্প কারখানার অঞ্চল থেকে অনেক দূরাঞ্চলে পরোক্ষভাবে অধঃক্ষেপণ এসিড বৃষ্টি সংঘটিত হতে পারে।

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।

$HCl(g) + H_2O \longrightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$

$H_2SO_4(l) + H_2O \longrightarrow 2H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$

$CH_3COOH(l) + H_2O \longrightarrow H^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$

MCQ. 1.31 : বৃষ্টির পানির pH মান কত হলে এসিড বৃষ্টি বলে?
(ক) 5.6 এর কম (খ) 5.6 এর বেশি
(গ) 3.5 এর কম (ঘ) 3.2

ক্ষারকের সংজ্ঞা : ক্ষারক হচ্ছে সেসব 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।

$$NaOH(s) + H_2O \longrightarrow OH^-(aq) + Na^+(aq)$$

$$KOH(s) + H_2O \longrightarrow OH^-(aq) + K^+(aq)$$

$$Ca(OH)_2(s) + H_2O \longrightarrow 2OH^-(aq) + Ca^{2+}(aq)$$

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) যেকোনো শক্তিশালী অম্লের সাথে যেকোনো ক্ষারকের প্রশমন বিক্রিয়ায় প্রতি মোল পানি উৎপন্ন হতে যে তাপ উৎপন্ন হয় তাকে প্রশমন তাপ বলে এবং তা নির্দিষ্ট মান প্রায় $57.34\ kJmol^{-1}$ হওয়ার কারণ এ এসিড-ক্ষারক তত্ত্ব সহজেই ব্যাখ্যা করে। কেননা, সব ক্ষেত্রেই এসিড ও ক্ষার দ্রবণের প্রকৃতপক্ষে একই বিক্রিয়া হয় অর্থাৎ H^+ এবং OH^-এর সংযোগে পানি উৎপন্ন হয়। যেমন, প্রশমন বিক্রিয়ার আয়নিক সমীকরণ হলো নিম্নরূপ :

$$\underset{\text{অম্ল}}{H^+(aq)} + \underset{\text{ক্ষারক}}{OH^-(aq)} \longrightarrow \underset{\text{পানি (প্রশম অণু)}}{H_2O(l)}$$

MCQ–1.32 : PANs তৈরিতে কোনটি থাকে না?

(ক) NO (খ) NO_2

(গ) O_3 (ঘ) N_2

(৩) কোনো জলীয় দ্রবণ অম্লীয় বা ক্ষারীয় হওয়ার কারণ এ তত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়।

(৪) আরহেনিয়াসের 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 CH_3OH জলীয় দ্রবণে OH^- আয়ন দেয় না। তাই 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,

$$\underset{\text{ক্ষারক}}{NH_3\,(g)} + \underset{\text{অম্ল}}{HCl\,(g)} \longrightarrow \underset{\text{লবণ}}{NH_4Cl\,(s)}$$

(৪) আরহেনিয়াস তত্ত্বে, হাইড্রক্সিল মূলকযুক্ত যৌগগুলোকে ক্ষারক বলা হয়েছে। কিন্তু ধাতব অক্সাইড যেমন, CaO, NH_3, অ্যামিনসমূহ 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 খ্রিষ্টাব্দে ডেনমার্কের রসায়নবিদ জোহান্স ব্রনস্টেড ও ইংরেজ রসায়নবিদ থমাস লাউরি পৃথকভাবে এসিড ক্ষারকের জন্য অধিক প্রযোজ্য এক তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। এটিকে এসিড ক্ষারকের ব্রনস্টেড-লাউরি 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। MAT: 20-21

অর্থাৎ সংক্ষেপে অম্ল হলো প্রোটনদাতা এবং ক্ষারক হলো প্রোটন গ্রহীতা। এরা 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,

$$\underset{\text{এসিড}}{HCl} + \underset{\text{ক্ষারক}}{H_2O} \longrightarrow \underset{\text{হাইড্রোনিয়াম আয়ন}}{H_3O^+} + \underset{\text{ক্লোরাইড আয়ন}}{Cl^-}$$

$$\underset{\text{এসিড}}{H_2SO_4} + \underset{\text{ক্ষারক}}{H_2O} \longrightarrow \underset{\text{হাইড্রোনিয়াম আয়ন}}{H_3O^+} + \underset{\text{বাইসালফেট আয়ন}}{HSO_4^-}$$

$$\underset{\text{এসিড}}{HSO_4^-} + \underset{\text{ক্ষারক}}{H_2O} \longrightarrow \underset{\text{হাইড্রোনিয়াম আয়ন}}{H_3O^+} + \underset{\text{সালফেট আয়ন}}{SO_4^{2-}}$$

$$\underset{\text{এসিড}}{HNO_3} + \underset{\text{ক্ষারক}}{H_2O} \longrightarrow \underset{\text{হাইড্রোনিয়াম আয়ন}}{H_3O^+} + \underset{\text{নাইট্রেট আয়ন}}{NO_3^-}$$

$$\underset{\text{এসিড}}{H_3PO_4} + \underset{\text{ক্ষারক}}{H_2O} \longrightarrow \underset{\text{হাইড্রোনিয়াম আয়ন}}{H_3O^+} + \underset{\text{ডাইহাইড্রোজেন ফসফেট আয়ন}}{H_2PO_4^-}$$

$$\underset{\text{এসিড}}{H_2PO_4^-} + \underset{\text{ক্ষারক}}{H_2O} \longrightarrow \underset{\text{হাইড্রোনিয়াম আয়ন}}{H_3O^+} + \underset{\text{মনোহাইড্রোজেন ফসফেট আয়ন}}{HPO_4^{2-}}$$

এসব বিয়োজন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে HCl, 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 প্রতি ক্ষেত্রে পানি ক্ষারকরূপে ক্রিয়া করেছে।

আবার নিচের উদাহরণগুলো লক্ষ্য করো —

MAT: 21-22

NH_3 ক্ষারক	+	HCl অম্ল	$\longrightarrow$	NH_4^+ অ্যামোনিয়াম আয়ন	+	Cl^- ক্লোরাইড আয়ন
HO^- ক্ষারক	+	HCl অম্ল	$\longrightarrow$	H_2O পানি	+	Cl^- ক্লোরাইড আয়ন

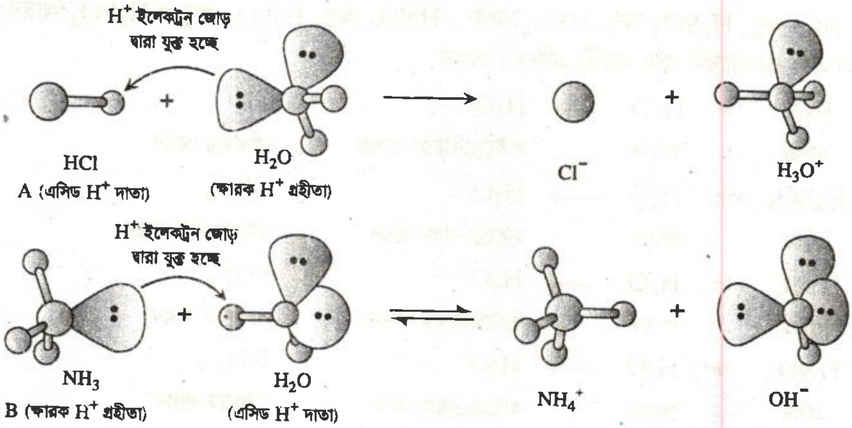
উভয় বিয়োজন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে NH_3 অণু ও OH^- আয়ন HCl এসিড প্রদত্ত প্রোটন (H^+) গ্রহণ করার কারণে প্রত্যেকেই এক একটি ক্ষারক।

এ প্রোটনীয় তত্ত্ব মতে এসিডের সংকেতে H পরমাণু থাকে যেমন HNO_3 অণু ও $H_2PO_4^-$ আয়ন প্রত্যেকে এসিড। তাই 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। সুতরাং ব্রনস্টেড-লাউরি তত্ত্বে ক্ষারকের সংখ্যা বৃদ্ধি পেয়েছে।

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 এক সাথে 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 পাবো।



চিত্র- ১.২৫ : ব্রনস্টেড-লাউরির এসিড-ক্ষারক বিক্রিয়ায় প্রোটন স্থানান্তর প্রক্রিয়া।

১. HCl এসিড থেকে পানি প্রোটন গ্রহণ করছে। (চিত্র- ১.২৫ A)

২. $\ddot{N}H_3$ ক্ষারককে পানি প্রোটন দান করছে। (চিত্র- ১.২৫ B)

এসিড প্রোটনদাতা (চিত্র-১.২৫ A) : 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 প্রোটনদাতা এবং H_2O হলো ক্ষারকরূপে প্রোটনগ্রহীতা।

$$HCl\,(g) + H_2\ddot{\underset{..}{O}}(l) \longrightarrow Cl^-\,(aq) + H_3\underset{..}{O}^+\,(aq)$$

ক্ষারক প্রোটনগ্রহীতা (চিত্র-১.২৫ B) : 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 ক্ষারকরূপে প্রোটনগ্রহীতা এবং H_2O হলো এসিডরূপে প্রোটনদাতা।

$$\ddot{N}H_3\,(g) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons NH_4^+\,(aq) + H\ddot{\underset{..}{O}}\!:^-\,(aq)$$

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 অ্যাম্ফোটেরিক** (amphoteric) যৌগ বলা হয়।

উভধর্মী যৌগ : যেসব যৌগ ও আয়ন অবস্থাভেদে অপর বিক্রিয়কের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে একাধিক বিক্রিয়ায় অম্ল ও ক্ষারক উভয়রূপে ক্রিয়া করে, তাদেরকে উভধর্মী যৌগ বা আয়ন বলে। যেমন,

এসিড ক্ষারক বিক্রিয়ায় উভধর্মী পদার্থ যেমন HCO_3^- আয়ন HSO_4^- আয়ন এর বিক্রিয়া হলো নিম্নরূপ :

(১) $\underset{\text{অম্ল}}{HCO_3^-} + \underset{\text{ক্ষারক}}{HO^-} \rightleftharpoons \underset{\text{ক্ষারক}}{CO_3^{2-}} + \underset{\text{অম্ল}}{H_2O}$

$\underset{\text{ক্ষারক}}{HCO_3^-} + \underset{\text{অম্ল}}{H_2O} \rightleftharpoons \underset{\text{অম্ল}}{H_2CO_3} + \underset{\text{ক্ষারক}}{HO^-}$

(২) $\underset{\text{অম্ল}}{HSO_4^-} + \underset{\text{ক্ষারক}}{H_2O} \rightleftharpoons \underset{\text{ক্ষারক}}{SO_4^{2-}} + \underset{\text{অম্ল}}{H_3O^+}$

$\underset{\text{ক্ষারক}}{HSO_4^-} + \underset{\text{অম্ল}}{N_2H_6^{2+}} \rightleftharpoons \underset{\text{অম্ল}}{H_2SO_4} + \underset{\text{ক্ষারক}}{\overset{+}{N_2}H_5}$

এখানে $N_2H_5^+$ ও $N_2H_6^{2+}$ হলো যথাক্রমে এক-প্রোটনযুক্ত ও দ্বিপ্রোটনযুক্ত হাইড্রাজিন। হাইড্রাজিন হলো $\ddot{N}H_2\text{–}\ddot{N}H_2$।

অনুরূপভাবে উভধর্মী আয়নের আরো কিছু উদাহরণ হলো নিম্নরূপ :

(৩) HS^- (বাই সালফাইড) আয়নের উভধর্মী আচরণ :

অম্লরূপে HS^- আয়ন : $HS^- + NH_3 \rightleftharpoons NH_4^+ + S^{2-}$

ক্ষারকরূপে HS^- আয়ন : $HS^- + HCl \rightleftharpoons H_2S + Cl^-$

(৪) $H_2PO_4^-$ (ডাইহাইড্রোজেন 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-} (মনোহাইড্রোজেন 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) $H_2PO_3^-$ (ডাইহাইড্রোজেন 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 দুটি –OH মূলকরূপে P এর সাথে যুক্ত থাকে [O=PH(OH)$_2$] 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 ক্ষারক যুগল ক্রিয়া করেছে; এক্ষেত্রে অ্যামোনিয়াম আয়ন (NH_4^+) অম্ল বা এসিডরূপে ক্ষারক হাইড্রোজেন সালফাইড আয়ন (HS^-) কে একটি প্রোটনদান করেছে। লক্ষ্য করো, 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^- (বাইসালফাইড 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 বা, ধনাত্মক চার্জ কম থাকে।

* ক্ষারকের চেয়ে এর অনুবন্ধী অম্লে একটি H পরমাণু বেশি ও একটি ঋণাত্মক চার্জ কম বা, ধনাত্মক চার্জ বেশি থাকে।

অনুবন্ধী ক্ষারক : ব্রনস্টেড–লাউরির অম্ল–ক্ষারক মতবাদ অনুসারে কোনো অম্ল বা এসিড কোনো ক্ষারক পদার্থকে একটি প্রোটনদান করে যে আয়ন বা অণুতে পরিণত হয়, তাকে ঐ অম্লের অনুবন্ধী ক্ষারক বলে। অম্ল প্রোটনদান করে অনুবন্ধী ক্ষারকে পরিণত হয়। যেমন,

$$\underset{\text{অম্ল}}{HCl} + \underset{\text{ক্ষারক}}{H_2O} \longrightarrow \underset{\text{অনুবন্ধী ক্ষারক}}{Cl^-} + H_3O^+$$

$$\underset{\text{অম্ল}}{NH_4^+} + \underset{\text{ক্ষারক}}{HS^-} \rightleftharpoons \underset{\text{অনুবন্ধী ক্ষারক}}{NH_3} + H_2S$$

বৈশিষ্ট্য : অনুবন্ধী ক্ষারকে এর অম্লের চেয়ে একটি H^+ আয়ন কম; ফলে একটি ঋণাত্মক চার্জ বেশি অথবা ধনাত্মক চার্জ কম থাকে। ∴ অম্ল ⇌ প্রোটন (H^+ আয়ন) + অনুবন্ধী ক্ষারক

অনুবন্ধী অম্ল : ব্রনস্টেড–লাউরি অম্ল-ক্ষারক মতবাদ অনুসারে কোনো ক্ষারক অম্ল প্রদত্ত একটি প্রোটন গ্রহণ করার পর যে অণু বা আয়নে পরিণত হয়, তাকে ঐ ক্ষারকের অনুবন্ধী অম্ল বলে।

ক্ষারক প্রোটন গ্রহণ করে অনুবন্ধী অম্লে পরিণত হয়। যেমন,

$$\underset{\text{অম্ল}}{H_2S} + \underset{\text{ক্ষারক}}{NH_3} \rightleftharpoons HS^- + \underset{\text{অনুবন্ধী অম্ল}}{NH_4^+}$$

$$\underset{\text{অম্ল}}{HCl} + \underset{\text{ক্ষারক}}{OH^-} \longrightarrow Cl^- + \underset{\text{অনুবন্ধী অম্ল}}{H_2O}$$

বৈশিষ্ট্য : অনুবন্ধী অম্লে এর ক্ষারকের চেয়ে একটি H^+ আয়ন বেশি ; ফলে একটি ঋণাত্মক চার্জ কম অথবা ধনাত্মক চার্জ বেশি থাকে। ∴ ক্ষারক + প্রোটন (H^+ আয়ন) ⇌ অনুবন্ধী অম্ল

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- ১.১০-এ দেয়া ব্রনস্টেড-লাউরির অম্ল-ক্ষারক বিক্রিয়াগুলো লক্ষ্য করো। 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 অ্যামফোটেরিক 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-১.১০ : কয়েকটি অম্ল-ক্ষারক বিক্রিয়ায় অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক যুগল :

	অম্ল$_1$	+	ক্ষারক$_2$	⇌	ক্ষারক$_1$	+	অম্ল$_2$
বিক্রিয়া–1	HF	+	H_2O	⇌	F^-	+	H_3O^+
বিক্রিয়া–2	$H_2PO_4^-$	+	OH^-	⇌	HPO_4^{2-}	+	H_2O
বিক্রিয়া–3	HPO_4^{2-}	+	SO_3^{2-}	⇌	PO_4^{3-}	+	HSO_3^-

MCQ–1.33 : কোনটি উভধর্মী যৌগ?
(ক) H_2O (খ) NH_3
(গ) NH_4^+ (ঘ) H_3O^+

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৭৩ : আরহেনিয়াস ও ব্রনস্টেড-লাউরি তত্ত্বভিত্তিক :

আরহেনিয়াস তত্ত্ব ও ব্রনস্টেড-লাউরি তত্ত্ব মতে নাইট্রাস এসিড (HNO_2) এর অম্লধর্ম ব্যাখ্যা করো এবং HNO_2 এর অনুবন্ধী ক্ষারক শনাক্ত করো।

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-লাউরির তত্ত্ব মতে, HNO_2 পানিতে H_2O কে প্রোটনদান করে H_3O^+ তৈরি করে:

MCQ–1.34: কোনটি এসিড বৃষ্টির জন্য কারণ নয় ?
(ক) H_2CO_3 (খ) HNO_3
(গ) H_2SO_4 (ঘ) H_2SO_3

অনুবন্ধী-অম্ল-ক্ষারক

$$HNO_2(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NO_2^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

অনুবন্ধী-অম্ল-ক্ষারক

HNO_2 প্রোটনদান করায় অনুবন্ধী ক্ষারক নাইট্রাইট আয়ন (NO_2^-) সৃষ্টি হয়েছে।

অনুবন্ধী অম্ল ও অনুবন্ধী ক্ষারকের তীব্রতা

MAT: 13-14

* তীব্র অম্ল বা এসিডের অনুবন্ধী ক্ষারক ঐ অম্লের তুলনায় তুলনামূলকভাবে মৃদু বা দুর্বল হয় এবং দুর্বল বা মৃদু অম্ল বা এসিডের অনুবন্ধী ক্ষারক, অনুরূপভাবে ঐ অম্লের তুলনায় তীব্র বা সবল হয়।
* তীব্র ক্ষারকের অনুবন্ধী অম্ল মৃদু বা দুর্বল হয় এবং মৃদু বা দুর্বল ক্ষারকের অনুবন্ধী অম্ল তীব্র বা সবল হয়। যেমন,

$HCl \longrightarrow H^+ + Cl^-$ (HCl: তীব্র অম্ল; Cl^-: মৃদু ক্ষারক)

$HCO_3^- \rightleftharpoons H^+ + CO_3^{2-}$ (HCO_3^-: মৃদু অম্ল; CO_3^{2-}: তীব্র ক্ষারক)

$OH^- + H^+ \longrightarrow H_2O$ (OH^-: তীব্র ক্ষারক; H_2O: মৃদু অম্ল)

$NH_3 + H^+ \rightleftharpoons NH_4^+$ (NH_3: মৃদু ক্ষারক; NH_4^+: তীব্র অম্ল)

কয়েকটি অম্ল বা এসিডের অনুবন্ধী ক্ষারক এবং কয়েকটি ক্ষারকের অনুবন্ধী অম্লের সংকেত ও তীব্রতা নিম্নরূপ :

অম্ল ও অম্লের তীব্রতা		অনুবন্ধী ক্ষারক ও এর তীব্রতা	
1. HCl	তীব্র	Cl^-	মৃদু
2. HNO_3	তীব্র	NO_3^-	মৃদু
3. H_2SO_4	তীব্র	HSO_4^-	মৃদু
4. HSO_4^-	তীব্র	SO_4^{2-}	মৃদু
5. HNO_2	মৃদু	NO_2^-	তীব্র
6. H_2CO_3	মৃদু	HCO_3^-	তীব্র
7. HCO_3^-	মৃদু	CO_3^{2-}	তীব্র
8. HCOOH	মৃদু	$HCOO^-$	তীব্র
9. CH_3COOH	মৃদু	CH_3COO^-	তীব্র
10. HCN	মৃদু	CN^-	তীব্র
11. HF	মৃদু	F^-	তীব্র
12. H_2S	মৃদু	HS^-	তীব্র
13. H_2O	মৃদু	OH^-	তীব্র

ক্ষারক ও ক্ষারকের তীব্রতা		অনুবন্ধী অম্ল ও এর তীব্রতা	
1. OH^-	তীব্র	H_2O	মৃদু
2. S^{2-}	তীব্র	HS^-	মৃদু
3. CO_3^{2-}	তীব্র	HCO_3^-	মৃদু
4. HCO_3^-	তীব্র	H_2CO_3	মৃদু
5. NO_2^-	তীব্র	HNO_2	মৃদু
6. CH_3COO^-	তীব্র	CH_3COOH	মৃদু
7. $HCOO^-$	তীব্র	H–COOH	মৃদু
8. NH_3	মৃদু	NH_4^+	তীব্র
9. Cl^-	মৃদু	HCl	তীব্র
10. SO_4^{2-}	মৃদু	HSO_4^-	তীব্র
11. NO_3^-	মৃদু	HNO_3	তীব্র
12. ClO_4^-	মৃদু	$HClO_4$	তীব্র
13. H_2O	মৃদু	H_3O^+	তীব্র

কয়েকটি অম্ল ও এদের অনুবন্ধী ক্ষারকের তীব্রতার ক্রম নিচে দেয়া হলো :

অম্লসমূহ : $HClO_4 > H_2SO_4 > HI > HBr > HCl > HNO_3 > H_3O^+ > HSO_4^- > H_2SO_3 > H_3PO_4 > HNO_2$
$HF > HCOOH > CH_3COOH > H_2CO_3 > H_2S > NH_4^+ > HCN > HCO_3^- > H_2O$

অনুবন্ধী ক্ষারক : $ClO_4^- < HSO_4^- < I^- < Br^- < Cl^- < NO_3^- < H_2O < SO_4^{2-} < HSO_3^- < H_2PO_4^- < NO_2^-$
$< F^- < HCOO^- < CH_3COO^- < HCO_3^- < HS^- < NH_3 < CN^- < CO_3^{2-} < OH^-$

জেনে নাও : **(১) দুর্বল এসিডের (যেমন CH_3COOH এর) অনুবন্ধী ক্ষারক সবল হয় কেন?**
এবং সবল এসিডের (যেমন $HClO_4$ এর) অনুবন্ধী ক্ষারক দুর্বল হয় কেন? [ঢা. বো. ২০২২; ম. বো. ২০২৩]
(২) দুর্বল ক্ষারকের অনুবন্ধী অম্ল সবল এবং সবল ক্ষারকের অনুবন্ধী অম্ল দুর্বল হয় কেন?

আমরা জানি, সবল এসিড ও সবল ক্ষারের প্রশমন বিক্রিয়ার বেলায় $K_a = 1.0 \times 10^{-14}$ হওয়ায় এটি একটি একমুখী বিক্রিয়া। অপরদিকে ব্রনস্টেড-লাউরির অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক যুগল বিক্রিয়াটি একটি উভমুখী বিক্রিয়া। এতে বোঝা যায়

একই এসিড-ক্ষারক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক এসিডটি দুর্বল হলে বিক্রিয়ক ক্ষারকটি সবল বা দুর্বল হতে পারে এবং বিক্রিয়ক এসিডটি সবল হলে বিক্রিয়ক ক্ষারক অবশ্যই দুর্বল হতে হয়। যেমন,

$$\underset{\text{সবল ক্ষারক}}{OH^-} + \underset{\text{দুর্বল এসিড}}{CH_3COOH} \rightleftharpoons \underset{\text{সবল অনুবন্ধী ক্ষারক}}{CH_3COO^-} + \underset{\text{দুর্বল অনুবন্ধী এসিড}}{H_2O}$$

$$\underset{\text{দুর্বল ক্ষারক}}{\ddot{N}H_3} + \underset{\text{সবল এসিড}}{HCl} \rightleftharpoons \underset{\text{দুর্বল অনুবন্ধী ক্ষারক}}{Cl^-} + \underset{\text{সবল অনুবন্ধী এসিড}}{NH_4^+}$$

আমরা আরো জানি সবল এসিডের অণুতে সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ H পরমাণু বেশি পোলার হয়ে থাকে এবং দুর্বল এসিডের অণুতে H পরমাণু কম পোলার হয়। দুর্বল এসিড যেমন CH_3COOH এর কার্বক্সিল মূলক (–COOH) এর কম পোলার H পরমাণুটি প্রোটন (H^+) রূপে আয়নিত হওয়ার প্রবণতা কম দেখায় এবং এর সংস্পর্শে আসা প্রোটনগ্রহীতা ক্ষারকটির (যেমন, OH^- আয়নের) ওপর নির্ভর করে প্রোটনদান করে ঋণাত্মক অনুবন্ধী ক্ষারক (যেমন CH_3COO^-)-এ পরিণত হয়। দুর্বল এসিড হতে উৎপন্ন ঋণাত্মক অনুবন্ধী ক্ষারকটি তখন পুনরায় প্রোটন গ্রহণের প্রবণতা বেশি দেখায় অর্থাৎ এটি সবল ক্ষারধর্মী হয়।

আবার সবল এসিডের যেমন HCl বা, $HClO_4$ এর H পরমাণু বেশি পোলার হওয়ায় জলীয় দ্রবণে HCl এসিডের বা, $HClO_4$ এর প্রোটন ত্যাগের প্রবণতাও বেশি হয়। ফলে উৎপন্ন ঋণাত্মক অনুবন্ধী ক্ষারকটি (যেমন Cl^- আয়ন বা, ClO_4^- আয়ন) বিপরীতমুখী বিক্রিয়ায় দুর্বল ক্ষারকরূপে আচরণ করে। $HCl + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + Cl^-$

তাই দুর্বল এসিডের অনুবন্ধী ক্ষারক সবল হয় এবং সবল এসিডের অনুবন্ধী ক্ষারক দুর্বল হয়।

বিপরীতভাবে দুর্বল ক্ষারকের অনুবন্ধী অম্ল সবল হয় এবং সবল ক্ষারকের অনুবন্ধী অম্ল দুর্বল হয়।

শিক্ষার্থী নিজে করো– ১.১২ : 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) HPO_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]

সমস্যা–১.৯৩ (ঙ): সব ব্রনস্টেড-লাউরি ক্ষারক আরহেনিয়াস ক্ষারক নয়; কিন্তু সব আরহেনিয়াস ক্ষারক ব্রনস্টেড-লাউরি ক্ষারক বটে। -এর ব্যাখ্যা করো।

১.১৬ এসিড-ক্ষারকের লুইস তত্ত্ব
Lewis Theory of Acid-Base

1923 খ্রিষ্টাব্দে 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।

লক্ষ্য করো, লুইস ক্ষারকের সংজ্ঞা ও ব্রনস্টেড-লাউরির ক্ষারকের সংজ্ঞা একই; কারণ প্রতি ক্ষেত্রে ক্ষারকের একটি বা একাধিক নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন-জোড় থাকে। যেমন, $\ddot{N}H_3$, $:\ddot{\underset{..}{O}}H^-$ ইত্যাদিতে থাকা নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন-জোড়, যা বন্ধন গঠনে দান করে। তাই ব্রনস্টেড মতবাদ মতে যেটি ক্ষারক হয়; লুইস মতবাদ মতেও সেটি ক্ষারক হয়। অর্থাৎ লুইস প্রদত্ত ক্ষারকের নতুন সংজ্ঞা মতে ক্ষারকের মোট সংখ্যায় বৃদ্ধি ঘটেনি। কিন্তু লুইস প্রদত্ত এসিডের নতুন সংজ্ঞা মতে এসিডের

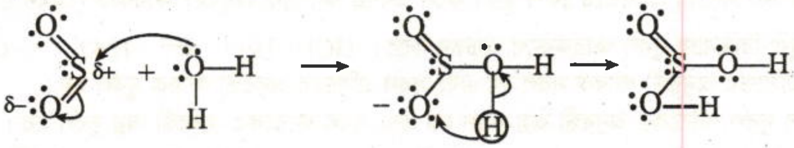
সংখ্যায় অনেক বৃদ্ধি ঘটেছে। যেমন, CO_2, SO_2, SO_3, BF_3, $AlCl_3$, $FeCl_3$, Cu^{2+} আয়ন ইত্যাদিতে H-পরমাণু না থাকা সত্ত্বেও এরা লুইস এসিড; কারণ বিক্রিয়ায় এরা ইলেকট্রন জোড় গ্রহণ করে। কিন্তু ব্রনস্টেড-লাউরি মতবাদে ঐ সব যৌগ বা, আয়ন এসিড নয়। তাই বলা হয়, **সব ব্রনস্টেড-লাউরি এসিড হলো লুইস এসিড; কিন্তু সব লুইস এসিড ব্রনস্টেড-লাউরি এসিড নয়।** H^+ আয়নসহ সব ক্যাটায়ন ও প্রশম অণু যাদের **খালি যোজ্যতাস্তরে ক্ষারক প্রদত্ত ইলেকট্রন জোড় শেয়ার করে বন্ধন গঠনে সক্ষম,** তাদের সবই লুইস এসিড। সুতরাং লুইস তত্ত্বে এসিডের সংখ্যা বৃদ্ধি পেয়েছে।

লুইস ক্ষারক হলো, NH_3, H_2O, OH^-, CN^-, Cl^- ইত্যাদি। এরা বিক্রিয়াকালে ইলেকট্রন যুগল যোগান দেয়।

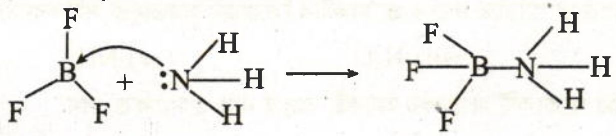
১. ক্যাটায়নিক লুইস এসিড : অ্যামোনিয়া ও Cu^{2+} আয়নের লুইস অম্ল-ক্ষারক বিক্রিয়ায় গাঢ় নীল বর্ণের টেট্রাঅ্যাম্মিন কপার (II) আয়নের $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ দ্রবণ উৎপন্ন হয়। এক্ষেত্রে চারটি NH_3 অণুর প্রত্যেকটি একটি ইলেকট্রন-জোড় Cu^{2+} আয়নকে সন্নিবেশ বন্ধন গঠনে দান করেছে।

$$Cu^{2+} + 4\ddot{N}H_3 \longrightarrow [Cu(NH_3)_4]^{2+}$$

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।

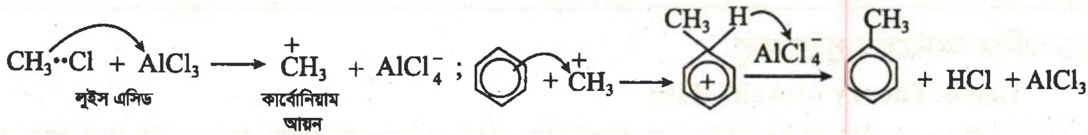


৩. প্রশম লুইস এসিড-ক্ষারক : লুইস এসিড BF_3 অণুকে লুইস ক্ষারক NH_3 অণু একটি ইলেকট্রন জোড় দান করে গ্যাসীয় অবস্থায় সমযোজী বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ হয়েছে।



MCQ. 1.35 : কোনটি লুইস এসিড নয়?
(ক) Cu^{2+} (খ) SO_3
(গ) BF_3 (ঘ) Al^{3+}

৪. লুইস এসিডরূপে অনার্দ্র $AlCl_3$: অনার্দ্র $AlCl_3$ অধিক সমযোজী বৈশিষ্ট্যসম্পন্ন এবং $AlCl_3$ এর অণুতে তিন জোড়া বন্ধন ইলেকট্রন-যুগল থাকায় এতে অষ্টক অপূর্ণ অর্থাৎ ইলেকট্রন ঘাটতি রয়েছে। তাই অনার্দ্র $AlCl_3$ লুইস এসিডরূপে মিথাইল ক্লোরাইড ($CH_3{\cdot\cdot}Cl$) থেকে ক্লোরাইড ($:Cl^-$) আয়নকে লুইস ক্ষারকরূপে গ্রহণ করে অ্যালুমিনিয়াম টেট্রাক্লোরাইড ($AlCl_4^-$) আয়ন ও মিথাইল কার্বোনিয়াম আয়ন ($\overset{+}{C}H_3$) তৈরি করে; যা ফ্রিডেল ক্রাফ্ট বিক্রিয়ায় বেনজিন (C_6H_6) থেকে টলুইন ($C_6H_5CH_3$) উৎপন্ন করে থাকে।



৫. লুইস এসিডরূপে অনার্দ্র $FeCl_3$: অনার্দ্র $FeCl_3$ যৌগ লুইস ক্ষারক থেকে ইলেকট্রন যুগল গ্রহণ করে থাকে, তাই $FeCl_3$ কে লুইস এসিড বলা হয়। এক্ষেত্রে $FeCl_3$ এর Fe^{3+} আয়ন হলো 3d ব্লকের অবস্থান্তর মৌলের আয়ন। Fe^{3+} আয়নের খালি 3d অরবিটালে লুইস ক্ষারক থেকে ইলেকট্রন যুগলকে Fe^{3+} আয়ন গ্রহণ করে থাকে। এজন্য ফ্রিডেল-ক্রাফট অ্যালকাইলেশন বিক্রিয়ায় মিথাইল কার্বোনিয়াম আয়ন ($\overset{+}{C}H_3$) তৈরিতে অনার্দ্র $FeCl_3$ লুইস এসিডরূপে ব্যবহৃত হয়।

$$CH_3{\cdot\cdot}Cl + \underset{\text{লুইস এসিড}}{FeCl_3} \longrightarrow \underset{\text{কার্বোনিয়াম আয়ন}}{\overset{+}{C}H_3} + FeCl_4^-$$

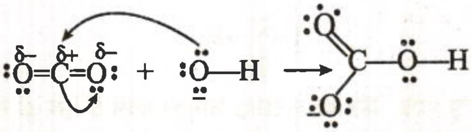
সমাধানকৃত সমস্যা– ১.৭৪ : লুইস এসিড-ক্ষারকভিত্তিক : নিচের প্রতিটি বিক্রিয়ায় লুইস এসিড ক্ষারক শনাক্ত করো :

(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 করো।

সমাধান : (ক) দ্বিবন্ধনযুক্ত কার্বন ডাইঅক্সাইড (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 অষ্টক পূর্ণ করে।

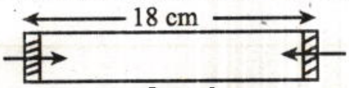
(গ) Fe^{3+} আয়ন হলো লুইস এসিড এবং $:CN^-$ আয়ন লুইস ক্ষারক। ছয়টি $:CN^-$ আয়নের প্রত্যেকটি একটি করে ছয়টি ইলেকট্রন জোড় Fe^{3+} আয়নের d^2sp^3 সংকরিত খালি ছয়টি সংকর অরবিটালে দান করে সন্নিবেশ বন্ধন গঠন করে।

(ঘ) এক্ষেত্রে লুইস এসিড হলো H^+ আয়ন এবং লুইস ক্ষারক হলো $\ddot{N}H_3$ অণু। $\ddot{N}H_3$ অণুর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল H^+ আয়ন গ্রহণ করে।

$$HCl\ (aq) \rightarrow H^+(aq) + Cl^-\ (aq);\ H^+(aq) + \ddot{N}H_3(g) \rightarrow NH_4^+,\ NH_4^+\ (aq) + Cl^-\ (aq) \rightarrow NH_4Cl(s)$$

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৭৫ : নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [দি. বো. ২০২১ অনুরূপ ; ব. বো. ২০২১]

[আংশিক পরিবর্তিত অভিন্ন বোর্ড প্রশ্ন ২০১৮]

(i) 

[এক্ষেত্রে X ও Y এর প্রোটন সংখ্যা যথাক্রমে 5 ও 7]

(ii) YH_3 (g) + এক ক্ষারীয় এসিড ⟶ লবণ

(ক) ভারী গ্যাসটি কত দূরত্বে হাল্‌কা গ্যাসটির সাথে মিলিত হবে? গাণিতিকভাবে তা প্রমাণ করো।

(খ) উদ্দীপকের গ্যাসীয় যৌগদ্বয়কে কোন মতবাদের আলোকে এসিড ও ক্ষারক হিসেবে চিহ্নিত করা যায় তা বিশ্লেষণ করো।

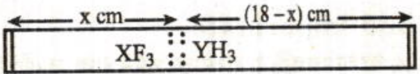
দক্ষতা : প্রশ্নের (ক) অংশের ক্ষেত্রে গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র এবং (খ) অংশের ক্ষেত্রে এসিড-ক্ষারকের লুইস তত্ত্ব প্রযোজ্য।

সমাধান : (ক) প্রশ্নমতে X ও Y এর প্রোটন সংখ্যা বা পারমাণবিক সংখ্যা হলো যথাক্রমে 5 ও 7; তাই XF_3 (g) হলো BF_3 (g) এবং YH_3 (g) হলো NH_3 (g)।

BF_3 এর আণবিক ভর = (10.8 + 57) = 67.8 এবং NH_3 এর আণবিক ভর = 17।

এক্ষেত্রে ভারী গ্যাসটি হলো BF_3। এর আণবিক ভর (M_1) = 67.8 এবং ব্যাপন হার হলো r_1। অপর হালকা গ্যাস NH_3 এর আণবিক ভর (M_2) = 17; এর ব্যাপন হার (r_2) বেশি হবে।

মনে করি, ভারী গ্যাস XF_3 কাচনলের ভেতরে x cm দূরত্বে এবং YH_3 গ্যাসটি (18 – x) cm দূরত্বে পরস্পর মিলিত হবে। সুতরাং গ্রাহামের ব্যাপন সূত্রমতে,



$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}};\ \text{বা,}\ \frac{x}{(18-x)} = \sqrt{\frac{17}{67.8}};\ \text{বা,}\ \frac{x}{(18-x)} = 0.50$$

বা, $x = 0.50 \times (18 - x)$; বা, $x = 9 - 0.5x$; বা, $1.5x = 9$; বা, $x = \frac{9}{1.5} = 6$

সুতরাং ভারী গ্যাস BF_3 বা XF_3 নলের 6 cm ভেতরে এবং হালকা গ্যাস NH_3 বা, YH_3 নলের $(18 - 6) = 12$ cm ভেতরে পরস্পর মিলিত হবে।

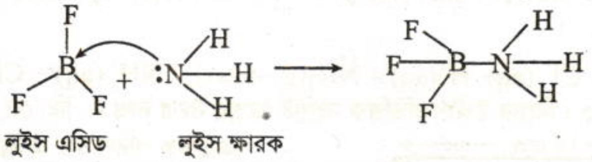
সমাধান : (খ) উদ্দীপকের গ্যাসীয় যৌগদ্বয় হলো XF_3 বা, BF_3 এবং YH_3 বা, NH_3। BF_3 যৌগের অণুর B পরমাণুর যোজ্যতাস্তরে অষ্টক অপূর্ণ অর্থাৎ ছয়টি ইলেকট্রন আছে। অপরদিকে $\ddot{N}H_3$ অণুতে অষ্টকপূর্ণ এবং নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল আছে। যেমন,

তাই এসিড–ক্ষারকের লুইস তত্ত্ব মতে, ইলেকট্রন জোড় দান ও গ্রহণভিত্তিক এসিড ক্ষারকের সংজ্ঞা থেকে পাই,

* এসিড হলো এমন যৌগ অণু বা ক্যাটায়ন যাদের খালি যোজ্যতাস্তরে (অষ্টক অপূর্ণ থাকায়) একটি ইলেকট্রন জোড় শেয়ার করে বন্ধন গঠন করতে পারে। তাই BF_3 হলো লুইস এসিড।

* ক্ষারক হলো এমন যৌগ অণু বা ঋণাত্মক আয়ন যাদের নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় থাকে এবং বন্ধন গঠনের জন্য ঐ ইলেকট্রন জোড় দান করতে পারে। এক্ষেত্রে $\ddot{N}H_3$ হলো লুইস ক্ষারক।

লুইস তত্ত্ব মতে নিম্নরূপে লুইস এসিড BF_3 অণুকে লুইস ক্ষারক NH_3 অণু একটি ইলেকট্রন জোড় দান করে গ্যাসীয় অবস্থায় সমযোজী বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ হয়েছে অর্থাৎ এসিড-ক্ষারক বিক্রিয়া ঘটেছে।



শিক্ষার্থী নিজে করো –১.১৩ : লুইস-এসিড ক্ষারক তত্ত্বভিত্তিক :

সমস্যা- ১.৯৪ : নিচের প্রত্যেকটি বিক্রিয়ায় লুইস এসিড ও লুইস ক্ষারক শনাক্ত করো :

(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) $[Fe(H_2O)_5OH]^{2+} + H^+ \longrightarrow [Fe(H_2O)_6]^{3+}$

সমস্যা – ১.৯৪ (ট) : সব ব্রনস্টেড-লাউরি এসিড হলো লুইস এসিড; কিন্তু সব লুইস এসিড ব্রনস্টেড-লাউরি এসিড নয়। –এর ব্যাখ্যা করো।

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%। মিঠা পানির উৎসগুলো এবং উৎসের মিঠা পানির শতকরা পরিমাণ নিম্নরূপ :

DAT : 19-20
MAT : 21-22

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 –1.36: পানির বিশুদ্ধতার মান-এর সাথে সংশ্লিষ্ট —
(i) DO (ii) BOD (iii) pH
নিচের 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 খাদে 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।

মিঠা পানির 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 ভূগর্ভস্থ মিঠা পানিকে সংগ্রহ করে প্রয়োজনমতো 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 বিদ্যুৎচালিত পাম্প মেসিন দ্বারা উত্তোলন করা হয়। মাঠের কৃষিকাজ ছাড়াও স্থলজ ও জলজ উদ্ভিদের জন্য এ মিঠা পানি 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।

জেনে নাও : তোমরা হয়তো 'কিউসেক' শব্দটি শুনেছো—নদীতে দেয়া বাঁধ যেমন তিস্তা নদীতে বাঁধ এবং কর্ণফুলি নদীর উৎসে দেয়া কর্ণফুলি জলবিদ্যুৎ প্রকল্পের কর্ণফুলি water dam–এ থাকা স্যুয়েজ গেইট ইত্যাদি দিয়ে বর্ষাকালে অতিরিক্ত পানি ছাড়ার সময় প্রতি সেকেন্ডে প্রবাহিত পানির পরিমাণ প্রকাশের জন্য কিউসেক (cusec) একক ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রে 1 cusec বলতে বোঝানো হয় প্রতি সেকেন্ডে প্রবাহিত মোট cubic feet পানির পরিমাণ।

1 foot = 30.48 cm $\therefore$ 1 cusec = 1 cubic feet = $(30.48 \text{ cm})^3$ = $28316.84659 \text{ cm}^3 \approx 28.317$ L.

১.১৮ সারফেস ওয়াটারের বিশুদ্ধতার মানদণ্ড

Purity Criteria of Surface water

শিল্পকারখানা ও কৃষিকাজে সারফেস ওয়াটারের ব্যবহারের পূর্বে এর বিশুদ্ধতার মানদণ্ডরূপে পানির pH, পানির খরতা, পানির DO, BOD, COD ও TDS জানা দরকার। পানির এসব মানদণ্ড সম্বন্ধে আমরা জানবো।

খর পানি (Hard Water) : মিঠা পানিতে পর্যাপ্ত পরিমাণে দ্বিধনাত্মক ক্যাটায়ন যেমন Ca^{2+}, Mg^{2+} ও Fe^{2+} আয়ন এর বাইকার্বনেট লবণ, ক্লোরাইড লবণ বা সালফেট লবণ দ্রবীভূত থাকলে ঐ পানিকে **খর পানি** (hard water) বলা হয়। এ খর পানির সব ধাতব আয়ন সাবানের জৈব অ্যানায়নের সাথে যুক্ত হয়ে পানিতে অদ্রবণীয় ভাসমান পদার্থ (soap scum) তৈরি করে ; সাবানের কোনো ফেনা তৈরি হয় না। 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 ধর্মের কারণে খর পানিতে সাবানের অপচয় ঘটে ; সহজে সাবানের ফেনা হয় না। 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।** উল্লেখ্য খর পানিতে Ca^{2+} আয়নের ঘনমাত্রা 100 – 300 ppm বা এর অধিক হয়ে থাকে।

অস্থায়ী খরতার পানিকে উচ্চতাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে বাইকার্বনেট লবণ তাপে বিয়োজিত 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 এসব পাত্রে তাপ পরিবহণ ক্ষমতা কমে যায়। লক্ষ্য 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 বিয়োজনে 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। ফলে $CaCO_3$ অধঃক্ষিপ্ত হয়ে পড়ে।

স্থায়ী ও অস্থায়ী খরতা দূরীকরণ : কারখানায় ব্যবহৃত সারফেস ওয়াটারের **স্থায়ী ও অস্থায়ী উভয় প্রকার খরতা দূর করতে পারমুটিট পদ্ধতি বা আয়ন এক্সচেঞ্জ** (ion exchange) পদ্ধতিতে দ্বিযোজী ক্যাটায়নগুলো দূর করা হয়। এক্ষেত্রে খর পানিকে সোডিয়াম সালফাইট আয়ন $SO_3^-Na^+$ যুক্ত রেজিন ($R\text{-}SO_3^-Na^+$) এর মধ্যে চালনা করা হয়।

$$2R\text{–}SO_3^-\overset{+}{Na}\,(s) + Ca^{2+}\,(aq) \longrightarrow (RSO_3^-)_2Ca^{2+}\,(s) + 2Na^+\,(aq)$$

নিষ্ক্রিয় আয়ন-বিনিময় রেজিনকে পরে KCl দ্রবণ দ্বারা সক্রিয় করা যায়।

পানির pH : পানিতে থাকা H^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রার ঋণাত্মক 10 বেস লগারিদমকে পানির pH বলে। অর্থাৎ $pH = -\log\,[H^+]$ 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। কৃষিকাজে ব্যবহৃত সারফেস ওয়াটারের pH এর মান 5.0 – 7.0 এর মধ্যে থাকতে হয়।

DAT: 24-25

WHO এর মানদণ্ড মতে, 25°C-এ পানযোগ্য পানির pH সীমা 6.5 – 8.5 এর মধ্যে থাকতে হবে। তখন পানি বর্ণহীন ও গন্ধহীন হবে। জলজ প্রাণীর জন্য পানির অনুকূল p^H হলো 7.0 – 7.5।

পানির DO : প্রতি লিটার নমুনা পানির অক্সিজেন সম্পৃক্তকরণে ঐ পানিতে দ্রবীভূত অক্সিজেনের (dissolved oxygen-এর) **পরিমাণকে ঐ পানির DO বলা হয়।** 15°C-এ অক্সিজেন সম্পৃক্ত পানিতে DO এর মান হয় 10 mg/L বা 10 ppm. [ppm = parts per million বা, per pico metre = 10^{-12} m]। 20°C-এ অক্সিজেন সম্পৃক্ত পানিতে DO এর মান 9.2 ppm হয়।

পানির DO এর মান নির্ণয় : অক্সিজেন সেনসর (sensor) যুক্ত Probe বা ইলেকট্রোডকে পানিতে ডুবিয়ে মিটারে DO এর মান জানা যায়। এছাড়া উইঙ্কলার (Winkler) আয়োডোমিতিক পদ্ধতিতে পানির DO নির্ণয় করা হয়। **সারফেস ওয়াটারে DO এর মান 5 mg/L এর সীমানায় বা এর ওপরে থাকতে হয়** এবং নদীর মোহনায় পানিতে DO এর মান 6 mg/L এর বেশি থাকে।

DO এর গুরুত্ব : (১) নদী ও পুকুরের পানিতে জৈব বস্তুর পচনের ফলে পানির DO কমে যায়; তখন বায়ুজীবী (aerobic) জলজ প্রাণী মাছ মারা যায়। কিন্তু অবায়ুজীবী (anaerobic) জলজ উদ্ভিদ ও কিছু ব্যাকটেরিয়া ঐ পানিতে বৃদ্ধি পায় এবং ব্যাকটেরিয়া আক্রান্ত মাছ মরে যায়। (২) পানিতে DO এর মান কম হলে পচনশীল জৈব বস্তুর অসম্পূর্ণ জারণ ঘটে। ফলে পানিতে মিথেন (CH_4), H_2S গ্যাস, ফসফিন (PH_3) ও অ্যামিন জাতীয় যৌগ উৎপন্ন হয়। তখন ঐ দূষিত পানি দুর্গন্ধ ছড়ায়। পয়ঃবর্জ্য, মলমূত্র, শিল্পকারখানার তরল বর্জ্য পচনশীল বর্জ্যরূপে পানির DO এর মান হ্রাস করে।

* 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 যেমন প্রতি লিটার সারফেস ওয়াটারের নমুনায় থাকা দূষক জৈব বস্তুকে 20°C তাপমাত্রায় পাঁচ দিন 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।**

পানিতে জৈব বস্তুর পরিমাণ তুলনার জন্য নমুনা পানির BOD নিম্নরূপে গণনা করা হয় :

$$\text{Initial DO} - \text{Final DO} = \text{BOD}$$

পচনশীল দূষক জৈব বস্তুতে থাকা $[C, H, S, N, O] + O_2 \xrightarrow{\text{ব্যাকটেরিয়া}} CO_2 + H_2O + H_2S + NH_3$

* পচনশীল দূষক জৈব বস্তুর প্রতি মিলিগ্রাম কার্বনকে ব্যাকটেরিয়া দ্বারা জারিত করতে 2.67 mg দ্রবীভূত অক্সিজেন ব্যয়িত বা খরচ হয়। এছাড়া ঐ জৈব দূষকের H, S, N ইত্যাদিকে জারিত করতে আরো অধিক O_2 প্রয়োজন হয়।

* **পানিতে BOD এর মান** 1–2 mg/L এর মধ্যে থাকলে খুবই ভালো; পান করার উপযোগী বিশুদ্ধ পানির BOD এর গ্রহণযোগ্য মান 1–2 mg/L বা, 1 – 2 ppm ধরা হয়। এর চেয়ে কম হলে আরো বেশি 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 6 mg/L এর কম হবে। BOD এর মান 10 mg এর বেশি হলে পানিতে দূষণমাত্রা খুব খারাপ ধরা হয়।

পানির BOD নির্ণয় : (১) অক্সিজেন সেনসরযুক্ত ইলেকট্রোডকে সংগৃহীত নমুনা পানিতে ডুবিয়ে ঐ পানির Initial DO নির্ণয় করা হয়। ধরা যাক, Initial DO হলো 8.5 ppm. (২) এরপর ঐ নমুনা পানি দ্বারা একটি বোতল পূর্ণ করে স্টপারযুক্ত অবস্থায় 20°C তাপমাত্রায় পাঁচ দিন অন্ধকারে রাখা হয়। এ সময়কে incubation period বলে। এ সময়ে ব্যাকটেরিয়া দ্বারা পচনশীল জৈব বস্তুর বিযোজন ও জারণ ঘটে। এর জন্য DO থেকে O_2 ব্যয়িত হয়। (৩) পাঁচ দিন পর ঐ বোতলের পানিতে অক্সিজেন সেন্সর ইলেকট্রোড ডুবিয়ে নমুনা পানির Final DO নির্ণয় করা হয়। ধরা যাক, Final DO হলো 5.5 ppm.

∴ নমুনা পানির BOD = (8.5 – 5.5) ppm = 3.0 ppm.

[MAT: 18-19, DAT: 18-19]

*** জেনে নাও :** কোনো নমুনা পানির BOD 5 mg/L বা 5 ppm 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 5 mg অক্সিজেন ব্যয় হয়। এর ফলে ঐ নমুনা পানির DO এর মান এ পরিমাণে কমে যায়।

BOD এর মান	পানির অবস্থা
1–2 mg/L বা, ppm	খুবই ভালো
3 mg/L বা, ppm	মোটামুটি ভালো
6 mg/L বা, ppm	WHO এর অনুমোদিত দূষণমাত্রা
10 mg/L বা, ppm	দূষণমাত্রা খারাপ
20 mg/L বা, ppm	দূষণমাত্রা খুবই খারাপ

অধিক জেনে নাও

পানির DO ও BOD নির্ণয় : উইঙ্কলার (Winkler) আয়োডোমিতিক পদ্ধতি : উইঙ্কলার পদ্ধতির মূল ভিত্তি হলো, (১) ক্ষারীয় মাধ্যমে $MnSO_4$ এর Mn^{2+} আয়নকে পানির DO দ্বারা জারিত করে হাইড্রেটেড ম্যাঙ্গানিজ (IV) অক্সাইডে $MnO(OH)_2$ পরিণত করা।

$$\underset{}{2Mn^{2+}(aq)} + \underset{1\ mol}{O_2(aq)} + 4OH^-(aq) \longrightarrow \underset{2\ mol}{2MnO(OH)_2(s)}\ (\text{বাদামি})$$

(২) গাঢ় HCl বা, H_2SO_4 এর অম্লীয় মাধ্যমে ম্যাঙ্গানিজ (IV) অক্সাইড দ্রবীভূত হয়ে সবল জারক Mn^{4+} আয়ন উৎপন্ন হয়, যা দ্বারা NaI এর আয়োডাইড (I^-) আয়ন জারিত হয়ে মাত্রিকভাবে I_2 মুক্ত হয়।

$$\underset{2\ mol}{2MnO(OH)_2(s)} + 8H^+(aq) + 4I^-(aq) \longrightarrow 2Mn^{2+}(aq) + \underset{2\ mol}{2I_2(aq)} + 6H_2O(l)$$

এক্ষেত্রে মুক্ত I_2 এর পরিমাণ নমুনা পানির মধ্যস্থ DO এর সমতুল্য।

(৩) মুক্ত আয়োডিনকে স্টার্চ নির্দেশকের উপস্থিতিতে 0.006 M $Na_2S_2O_3$ দ্রবণ দ্বারা টাইট্রেট করে DO এর পরিমাণ নির্ণয় করা হয়।

$$\underset{4\ mol}{4S_2O_3^{2-}(aq)} + \underset{2\ mol}{2I_2(aq)} \longrightarrow 2S_4O_6^{2-}(aq) + 4I^-(aq)$$

উপরোক্ত বিক্রিয়া মতে, 1 mol O_2 ≡ 2 mol $MnO(OH)_2$ ≡ 2 mol I_2 ≡ 4 mol $Na_2S_2O_3$

প্রয়োজনীয় বিকারক দ্রবণ : (১) $MnSO_4$ দ্রবণ 1M;

(২) (NaI + NaOH) → (6.75 g NaI + 25 g NaOH) কে 50 mL পানিতে দ্রবীভূত করা হয়;

(৩) 6 M H_2SO_4; (৪) স্টার্চ নির্দেশক → 100 mL পানিতে 1.0 g স্টার্চ ফুটানো হয়।

(৫) 0.006 M $Na_2S_2O_3$ দ্রবণ (0.06 M $Na_2S_2O_3$ দ্রবণকে লঘুকরণ)।

পদ্ধতির ১ম ধাপ : (১) একটি 350 mL বোতলে পরীক্ষাধীন জলাশয়ের ১ম নমুনা পানি যোগ করে পূর্ণ করা হয়।

(২) দাগাঙ্কিত পিপেট দ্বারা 2 mL 1 M $MnSO_4$ দ্রবণ ও 2 mL 1 M NaI (ক্ষার মিশ্রিত) দ্রবণকে বোতলের পানির ভেতরে যোগ করা হয়। তখন বোতলের ওপর অংশের 4 mL পানি বের হয়ে পড়ে। কিন্তু অধিক ঘনত্বের বিকারক দ্রবণ বোতলের তলদেশে নেমে যায়। বোতলের মুখ বন্ধ করে ওলোট–পালট করে ভেতরের দ্রবণকে মিশানো হয়। তখন বাদামি অধঃক্ষেপ দেখা দেয়। (৩) এখন সিংকে বোতলটি রেখে এর মুখ খুলে 4 mL 6 M H_2SO_4 পিপেটের সাহায্যে বোতলের ভেতরে যোগ করলে উপর থেকে 4 mL পানি বের হয়ে যায়। স্টপার লাগিয়ে বোতলটিকে ঝাঁকালে বাদামি অধঃক্ষেপ দ্রবীভূত হয়। (৪) এখন বোতল থেকে 100 mL নমুনা দ্রবণ কনিকেল ফ্লাস্কে নিয়ে 0.5 mL স্টার্চ যোগ করে 0.006 M $Na_2S_2O_3$ দ্রবণ দ্বারা সমস্ত আয়োডিনকে টাইট্রেট করা হয়। টাইট্রেশনের শেষবিন্দুতে মিশ্রণের নীল বর্ণ দূর হয়। মনে করি Y mL $Na_2S_2O_3$ দ্রবণ টাইট্রেশনে প্রয়োজন হয়েছে।

গণনা : আয়োডোমিতির সমীকরণ মতে, $4 \text{ mol } Na_2S_2O_3 \equiv 1 \text{ mol } O_2$

$\therefore$ 1000 mL 4 M $Na_2S_2O_3$ দ্রবণ $\equiv 32 \times 1000$ mg O_2

$\therefore$ Y mL 0.006 M $Na_2S_2O_3$ দ্রবণ $\equiv \dfrac{32 \times 1000 \times Y \times 0.006}{1000 \times 4}$ mg $O_2 = 0.048$ Y mg O_2

$\therefore$ 100 mL নমুনা পানিতে O_2 আছে $= 0.048 \times Y$ mg O_2

$\therefore$ প্রতিলিটার নমুনা পানির Initial DO $= \dfrac{0.048 \times Y \times 1000}{100}$ mg $O_2 = 0.48Y$ ppm

পদ্ধতির ২য় ধাপ : Final DO নির্ণয় : (১) পরীক্ষাধীন জলাশয়ের ২য় নমুনা পানি দ্বারা 350 mL এর একটি বোতল পূর্ণ করে স্টপারযুক্ত অবস্থায় পাঁচ দিন যাবৎ অন্ধকারে 20°C তাপমাত্রায় রাখা হয়। এ সময়ে ব্যাকটেরিয়া দ্বারা পচনশীল জৈব বস্তুর বিযোজন ও জারণ ঘটে। এর জন্যে DO থেকে O_2 ব্যয়িত হয়। (২) পাঁচ দিন পর ঐ বোতলের পানিতে পূর্বের মতো 2 mL $MnSO_4$ দ্রবণ, 2 mL NaI (ক্ষার মিশ্রিত) দ্রবণ ও 6 M H_2SO_4 এসিড যোগ করা হয়। (৩) এখন বোতল থেকে 100 mL নমুনা দ্রবণ কনিকেল ফ্লাস্কে নিয়ে স্টার্চ দ্রবণ যোগ করে 0.006 M $Na_2S_2O_3$ দ্রবণ দ্বারা টাইট্রেশন করা হয়। মনে করি এক্ষেত্রে Z mL $Na_2S_2O_3$ দ্রবণ টাইট্রেশনে প্রয়োজন হয়েছে।

$\therefore$ নমুনা পানির Final DO = 0.48 Z ppm. [পূর্বের মতো গণনা অনুসারে]

$\therefore$ নমুনা পানির BOD = Initial DO – Final DO = (0.48 Y – 0.48 Z) ppm = 0.48 (Y – Z) ppm.

পানির COD : পরিবেশ রসায়নে সারফেস ওয়াটারে রাসায়নিক অক্সিজেন চাহিদা (Chemical oxygen demand) বা COD এর মান দ্বারা ঐ নমুনা পানিতে পরোক্ষভাবে পচনশীল জৈববস্তু (biodegradable) ও অপচনশীল জৈবযৌগ (Non-biodegradable) এ উভয় প্রকার জৈববস্তু ও জৈবযৌগের 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 জৈববস্তু ও জৈবযৌগের পরিমাণ জানা যায় অর্থাৎ পানির বিশুদ্ধতার মান জানা যায়। WHO অনুমোদিত COD এর সর্বোচ্চ মাত্রা হলো 10 ppm.

পানির COD কে নিম্নরূপে সংজ্ঞায়িত করা হয় : প্রতি লিটার সারফেস ওয়াটারের নমুনায় থাকা দূষক পচনশীল জৈব-বস্তু ও অপচনশীল জৈবযৌগকে 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 জৈববস্তু ও অপচনশীল জৈবযৌগের 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: $C_2H_5O_1N_1 + (2 + 5/4 - 1/2 - 3 \times 1/4)\, O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 1NH_3 + (5/2 - 3 \times 1/2)\, H_2O$

$$C_2H_5O_1N_1 + 2O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 1NH_3 + H_2O$$

COD নির্ণয় : পরীক্ষাগারে লঘু H_2SO_4 এর উপস্থিতিতে M/60 $K_2Cr_2O_7$ দ্রবণ সহযোগে নমুনা সারফেস ওয়াটারে থাকা দূষক জৈবযৌগকে রিডক্স টাইট্রেশন করা হয়। নিম্নোক্ত বিক্রিয়ায় $K_2Cr_2O_7$ বিজারিত হয়ে উৎপন্ন Cr^{3+} এর পরিমাণ থেকে নমুনা পানিতে থাকা দূষক জৈবযৌগের 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 5 mL 85% ফসফরিক এসিড ও 7 – 8 ফোঁটা ডাইফিনাইল অ্যামিন ব্যবহৃত হয়। টাইট্রেশনের শেষবিন্দুতে গাঢ় বেগুনি নীল (purple) বর্ণ সৃষ্টি হয়।]

এছাড়া নমুনা পানিকে ফুটিয়ে জৈবযৌগের জারণে উৎপন্ন CO_2 এর পরিমাণকে IR অ্যানালাইজার দ্বারা নির্ণয় করে CO_2 এর অনুপাত থেকে COD গণনা করা যায়।

পানির TDS : কোনো নমুনা 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 ছোটো আণবিক ও আয়নিক সব পদার্থের সামগ্রিক পরিমাণকে বোঝানো হয়।

প্রধানত TDS নির্ণয়ের জন্য ব্যবহৃত পানির মধ্যে কৃষিজমির নির্গত পানি, নর্দমায় আসা বাসা-বাড়ির বর্জ্য পানি, বিভিন্ন শিল্পবর্জ্য 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।

MAT : 21-22

সারণি ১.১১ : বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থা (WHO) অনুমোদিত পানির গ্রহণযোগ্য মানদণ্ড

মানদণ্ড	(WHO) অনুমোদিত সর্বোচ্চ মাত্রা
১. pH	১. 6.5 – 8.5
২. DO	২. 5.0 – 6.0 ppm
৩. BOD	৩. 6.0 ppm (বা, mgL^{-1})
৪. COD	৪. 10.0 ppm (বা, mgL^{-1})
৫. TDS	৫. 500 ppm (বা, mgL^{-1})
৬. খরতা : Ca^{2+}	৬. 100 ppm (বা, mgL^{-1})
Mg^{2+}	150 ppm (বা, mgL^{-1})
৭. NaCl	৭. 500 ppm (বা, mgL^{-1})

TDS পরিমাপ পদ্ধতি : (১) উচ্চ TDS সম্পন্ন দূষিত পানিকে বাষ্পীভূত করে বাষ্পীভবন ও ভরমাত্রিক (gravimetric) পদ্ধতিতে TDS গণনা করা যায়। (২) নিম্ন TDS সম্পন্ন দূষিত পানির ক্ষেত্রে পরিবাহিতা পরিমাপ যন্ত্রের সাহায্যে পানির পরিবাহিতা মেপে TDS এর মান জানা যায়।

দূষিত পানির TDS কমানোর উপায়সমূহ

(১) **বাষ্পীভবন বা পাতন পদ্ধতি :** দূষিত পানিকে পাতন করে TDS এর অনুদ্বায়ী অজৈব পদার্থের কলয়েড কণা ও আয়নসমূহকে পৃথক করা যায়।

(২) **সক্রিয় কার্বনসহ ফিল্টার পদ্ধতি :** পানিতে মৃত উদ্ভিদ ও প্রাণীর দেহের পচনের ফলে উৎপন্ন জৈব হিউমিক পদার্থ (soil humus) যেমন লিগনিন, টারফেনয়েড, ফেনলিক এসিড, ডাইকার্বক্সিলিক এসিড, অ্যামাইনো এসিড, কার্বোহাইড্রেট ইত্যাদি মিশ্রিত হয়ে পানিকে দূষিত করে। ঐ পানিতে সক্রিয় কার্বন গুঁড়া বা activated charcoal মিশিয়ে কিছু সময় রেখে দিলে ঐসব জৈবযৌগ সক্রিয় কার্বন গুঁড়ার পৃষ্ঠতলে শোষিত হয়। পরে ঐ পানিকে ফিল্টার করে কার্বন গুঁড়া আলাদা করা হয়। এরূপে জৈব কলয়েড কণা ও যৌগসমূহ মুক্ত পানির TDS হ্রাস পায়।

(৩) **বিপরীত অভিস্রবণ (Reverse Osmosis) পদ্ধতি :** এ পদ্ধতিতে অবিশুদ্ধ নমুনা পানিকে উচ্চচাপ প্রয়োগ করে অর্ধভেদ্য পর্দার মধ্যদিয়ে চালনা করা হয়। তখন শুধুমাত্র পানি অণুসমূহ অর্ধভেদ্য পর্দার ছিদ্র দিয়ে বের হতে পারে; কিন্তু TDS উপাদানসমূহের বড়ো অণুসমূহ অর্ধভেদ্য পর্দার ওপরে আটকে জমা হয়ে থাকে। অজৈব কলয়েড TDS কণা অপসারণের জন্য এটি বেশ কার্যকরী পদ্ধতি।

(৪) **আয়ন বিমুক্তকরণ (Deionization) পদ্ধতি :** পানিতে দ্রবীভূত ক্যাটায়ন (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, Na^{+}) এবং অ্যানায়ন, (Cl^{-}, SO_4^{2-}, NO_3^{-}, CO_3^{2-}, OH^{-}) সমূহকে মুক্ত করার জন্য যথাক্রমে ক্যাটায়নমুক্তকারী রেজিন ও **অ্যানায়নমুক্তকারী রেজিন** স্তর ব্যবহৃত হয়। **ক্যাটায়নমুক্তকারী রেজিনে** থাকে জৈব ঋণাত্মক কার্যকরী মূলক, যা ধনাত্মক আয়নকে আকৃষ্ট করে রাখে। এরূপ রেজিন হলো cross linked polystyrene sulfonate রেজিন। **অ্যানায়নমুক্তকারী রেজিনে** থাকে জৈব ধনাত্মক কার্যকরীমূলক, যা ঋণাত্মক আয়ন বা অ্যানায়নকে আকৃষ্ট করে। এরূপ রেজিনে থাকে trimethyl ammonium group। শিল্পকারখানার ETP তে বর্জ্য পানিকে ক্যাটায়ন বিমুক্তকরণ রেজিনস্তর ও অ্যানায়ন বিমুক্তকরণ রেজিনস্তরের মধ্যদিয়ে চালনা করা হয়। ফলে পানিতে দ্রবীভূত ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন পৃথক হয়। নির্গত পানিকে আয়নমুক্ত পানি (deionized water, DI water) বলে। গবেষণার কাজে, মাইক্রোবিশ্লেষণে ও পণ্যের মান নিয়ন্ত্রণে DI water ব্যবহৃত হয়ে থাকে।

সংস্থা EPA (Environment Protection Agency) এর মতে পানির আদর্শ TDS এর মান হলো 500 ppm। সার্বিকভাবে TDS এর মান 1000 ppm এর মধ্যে হলে ভালো। কিন্তু তা 1000 ppm এর বেশি হলে সে পানি ব্যবহার অযোগ্য হয়।

অপরদিকে, বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থা (WHO) অনুমোদিত NaCl মাত্রা অনুযায়ী পানিতে 500 ppm এর বেশি লবণাক্ততা (NaCl) থাকলে তা পানের অযোগ্য হয়। কিন্তু অমাবস্যা ও পূর্ণিমা তিথিতে ভরা জোয়ারে সমুদ্রের লবণাক্ত পানি চট্টগ্রামের হালদা নদীসহ অনেক নদীর পানিতে মিশে তিন থেকে চার হাজার ppm লবণাক্ত হয়। তখন ঐ সব নদীর মাছ মরে যায়।

শিক্ষার্থী নিজে করো–১.১৪ : পানির DO, BOD, COD ও TDS ভিত্তিক :

সমস্যা – ১.৯৫ : (ক) পানির DO বলতে কী বুঝ?

(খ) পানির BOD বলতে কী বুঝ? [ব. বো. ২০১৫; সি. বো. ২০১৫; ঢা. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬]

(গ) কোনো নমুনা পানির BOD 5 mg/L বলতে কী বোঝায়? [চ. বো. ২০১৫, ২০১৭]

(ঘ) পানির BOD এর মান 6.0 ppm বলতে কী বোঝায়? [মাদ্রাসা. বো. ২০১৮]

(ঙ) প্রদত্ত উদ্দীপক (দূষিত নদী) এর নমুনা পানির BOD এর মান কীরূপে নির্ণয় করা যায় তা লেখ। [ঢা. বো. ২০১৭]

(চ) পানির COD বলতে কী বুঝ? [রা. বো. ২০১৫; কু. বো. ২০১৬]

(ছ) পানির TDS কী? [ঢা. বো. ২০১৬; চ. বো. ২০১৭]

১.১৯ শিল্পবর্জ্য ও পানি দূষণ
Industrial wastes and water Pollution

রাসায়নিক শিল্পবর্জ্য দ্বারা পানি দূষণ : শিল্পবর্জ্য দ্বারা পানি দূষণ খুবই মারাত্মক সমস্যা। শিল্পবর্জ্যের 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 মানুষের স্বাস্থ্যের জন্যে খুব ক্ষতিকর কিছু **ভারী ধাতু যেমন লেড, মারকারি, ক্যাডমিয়াম ও ক্রোমিয়াম** ইত্যাদির যৌগ থাকে।

তরল শিল্পবর্জ্যের দূষণ প্রভাব : তরল শিল্পবর্জ্যের 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 শিল্পবর্জ্যের প্রভাবে কর্ণফুলী নদীতে আগের মতো বিভিন্ন মাছ পাওয়া যায় না। কারণ **শিল্পবর্জ্যের কারণে বিনষ্ট হয়ে গেছে বিভিন্ন প্রজাতির মাছ।**

বর্তমানে চট্টগ্রামের হালদা নদীর হাটহাজারী অঞ্চলে ছোটো বড়ো বিভিন্ন শিল্প কারখানা স্থাপিত হয়েছে। এসব কারখানায় কোনোটিতে বিষাক্ত তরল শিল্পবর্জ্যের পরিশোধন ট্রিট্‌মেন্ট প্ল্যান্ট (ETP) নেই। ফলে স্বাভাবিকভাবে কারখানার বর্জ্য ছোটো ছোটো খাল হয়ে হালদা নদীতে আসে। **এ হালদা নদী বাংলাদেশের অন্যতম মৎস্য প্রজনন ক্ষেত্র**। সমুদ্রের রুই, কাতলা এ হালদা নদীতে ব্রিডিংকালে ডিম ছাড়ে। চট্টগ্রাম বিশ্ববিদ্যালয়ের মৎস্য বিজ্ঞানীরা মনে করেন শিল্পকারখানার বর্জ্য দ্বারা হালদা নদীর পানি দূষণের ফলে এ প্রাকৃতিক মৎস্য প্রজননক্ষেত্র 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 সেসব এলাকায় একেবারে বন্ধ হয়ে গেছে।

১.২০ পানি দূষণের কারণ অনুসন্ধান ও প্রতিকার

To find Causes of water Pollution and its Remedy

দূষক : যেসব কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থ বা শক্তি তরঙ্গ প্রাকৃতিক পরিবেশে অধিক ঘনমাত্রায় প্রবেশ করার ফলে জীবজগতের উদ্ভিদ ও প্রাণীর ক্ষতির কারণ হয়ে ওঠে, তখন ঐসব পদার্থ বা শক্তি-তরঙ্গকে **দূষক বা pollutant** বলা হয়। যেমন–শিল্পবর্জ্য থেকে নির্গত রাসায়নিক দূষকরূপে মানুষের স্বাস্থ্যের জন্য ক্ষতিকর পদার্থ হলো লেড, ক্যাডমিয়াম, ক্রোমিয়াম ও মারকারি ধাতু। এসব দূষক পানিকে দূষিত করে। এদেরকে **পানি দূষক** বলে।

শিল্পকারখানার চিমনি দিয়ে নির্গত SO_2 গ্যাস, NO_2 গ্যাস পরিবেশের বায়ুকে দূষিত করে। সূর্যের আলোতে থাকা UV রশ্মি প্রাকৃতিক বায়ুমণ্ডলে অধিক মাত্রায় প্রবেশে জীবকোষের ক্ষতিসাধন করে। উপরিউক্ত পদার্থের অধিকমাত্রায় পরিবেশে প্রবেশের ফলে এরা পানি ও বায়ু দূষকরূপে প্রাণিজগতের জন্য ক্ষতিকর প্রভাব সৃষ্টি করে।

পানি দূষণ : জীবের ওপর বিরূপ প্রভাব সৃষ্টিকারী কোনো এলাকার পানির যেকোনো 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। কোনো এলাকায় পানি দূষণের উৎসসমূহকে দু' শ্রেণিতে ভাগ করা যায়। যেমন,

(১) বিন্দু উৎস দূষণ (point source pollution), (২) অবিন্দু উৎস দূষণ (non-point source pollution)।

বিন্দু উৎস দূষণ : সহজে শনাক্তযোগ্য যে উৎস থেকে পানির দূষণ প্রথমে ঘটে, সে একক উৎসকে বিন্দু উৎস দূষণ বলে। যেমন– চামড়া শিল্পকারখানার ড্রেন বা পাইপ হতে নির্গত তরল বর্জ্য দ্বারা দূষণ। গৃহস্থালী বর্জ্য পানি দ্বারা দূষণ। বিন্দু উৎস থেকে প্রতিদিন বিপুল পরিমাণ বিষাক্ত রাসায়নিক পদার্থ খাল-বিল, নদ-নদী হয়ে সমুদ্রে পড়ে। এ দূষণের ফলে পানির DO হ্রাস পায়।

অবিন্দু উৎস দূষণ : বিভিন্ন বিন্দু উৎস দূষণ থেকে বিভিন্ন দূষিত তরল বর্জ্য পদার্থ একত্রে মিশে যখন কোনো এলাকার পানির দূষণ ঘটায়, তখন তাকে অবিন্দু উৎস দূষণ বলে। যেমন – কৃষিসংক্রান্ত রাসায়নিক দূষক পদার্থ মিশ্রিত পানি, বিভিন্ন এলাকার গৃহস্থালী বর্জ্য পানি ও শিল্প এলাকার বর্জ্য তরলের একত্রে মিশ্রিত হয়ে নদীর দূষণ।

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) কীটপতঙ্গনাশক (pesticides), (5) শিল্পবর্জ্য (industrial wastes), (৬) তেলজাতীয় পদার্থ (oils) ও (৭) তাপসংক্রান্ত পানি দূষণ।

পানি দূষণের এসব কারণ চট্টগ্রাম জেলাসহ বাংলাদেশের সব জনবহুল শিল্পশহরগুলোতে কম-বেশি 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-১.১২-এ পানি দূষণের প্রধান দূষক, দূষকের উৎস ও ফলাফল সংক্ষেপে দেখানো হলো :

সারণি–১.১২ : বিভিন্ন দূষক দ্বারা পানির দূষণ

দূষকসমূহ	দূষকের উৎস	দূষক দ্বারা দূষণের ফলাফল
১। নালা-নর্দমা : (sewage)	১। বাসাবাড়ি ও শিল্পকারখানার তরল বর্জ্য থেকে।	১। 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। পানি দুর্গন্ধ ছড়ায়। মিথেন গ্যাস উৎপন্ন হয়।
২। রাসায়নিক সার : (fertilizers)	২। বৃষ্টির পানি কৃষিজমির সার ধুয়ে আশেপাশের খাল, ঝিল, পুকুর ও হ্রদের পানিতে মিশে।	২। ঐ
৩। ডিটারজেন্ট : (detergents)	৩। বাসাবাড়ি ও শিল্প এলাকার ময়লা ধোয়া পানি।	৩। ঐ
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। শিল্পকারখানা বর্জ্য : (Industry waste)	৫। শিল্পকারখানার বর্জ্য ড্রেন থেকে।	৫। চারদিকের জমি ও নদী-নালার দূষণে পরিবেশ দূষিত হয়।
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। তাপসংক্রান্ত পানি দূষণ : (Heat)	৭। কারখানার বয়লারের গরম পানি ড্রেনের মধ্যদিয়ে 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 পচনশীল জৈব পদার্থের বর্জ্য, মানুষ ও অন্যান্য প্রাণীর বর্জ্য নালা-নর্দমায় ফেলা হচ্ছে। এসব 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 বড়ো ট্যাংকে পাম্প করে শোধন ব্যবস্থায় নিতে হবে। ঐ শোধন ট্যাংকে প্রচুর বাতাস চালনা করে ব্যাকটেরিয়া দ্বারা পচনশীল বর্জ্য দূষক পদার্থকে বিয়োজিত করে পানিকে দূষণমুক্ত করতে হবে। ব্যাকটেরিয়া দ্বারা পচনশীল জৈব দূষক পদার্থকে **বায়োডিগ্রেডেবল দূষক** বলে। ব্যাকটেরিয়া দ্বারা পচনশীল জৈব দূষকের বিয়োজনকে **বায়োডিগ্রেডেশন** বলে। এ প্রক্রিয়ায় জৈব যৌগের C, H, N, P প্রভৃতি জারিত হয়ে প্রথমে এদের অক্সাইড ও পরে বিভিন্ন লবণ উৎপন্ন করে। এর ফলে পানির DO হ্রাস পায়। জলজ উদ্ভিদ ও মাছ মরে যায়।

(২) **রাসায়নিক সার দ্বারা পানি দূষণ ও এর প্রভাব :** কৃষিজমির 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) **শিল্পকারখানার বর্জ্য দ্বারা পানিদূষণ ও এর প্রতিকার :** শিল্পবর্জ্য 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। এসব 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।

শিল্পবর্জ্যের পানি দূষণ ও এর প্রতিকার : শিল্পবর্জ্যের পানি দূষণের প্রতিকার করতে হলে শিল্পকারখানার তরল বর্জ্য পরিশোধন ব্যবস্থা ETP (effluent treatment plant) কার্যকর করতে হবে। শিল্পকারখানার বর্জ্যের ধরন অনুসারে পৃথক ETP না করে শিল্পাঞ্চল প্রতিষ্ঠা করে সব কারখানার তরল বর্জ্যকে একত্রিত করে সমন্বিত ETP ব্যবস্থায় সবচেয়ে ফলপ্রসূ হবে। [ETP এর জন্য ৫ম অধ্যায়ে অনুচ্ছেদ -৫.৯ দেখো।]

(৪) **তেলজাতীয় 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। আবার 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– শিল্পকারখানার 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 প্ল্যান্টে 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, নিকেল গ্ল্যান্স NiAsS; ওরপিমেন্ট As_2S_3; রিয়্যালগার As_4S_4, কোবাল্টাইট CoAsS; আর্সেনো পাইরাইটস FeAsS ও খনিজ অক্সাইড আর্সেনোলাইট As_2O_3 রূপে থাকে।

আর্সেনিক দূষণ ও দূষণের কারণ : অপধাতু As হলো প্রাকৃতিক বিষের রাজা। ভূগর্ভস্থ প্রাকৃতিক পানিতে আর্সেনিক যৌগের দ্রাব্যতা মাটিতে Al_2O_3 ও লোহার অক্সাইড, মাটির pH এবং আর্সেনিকের জারণ অবস্থার মানের ওপর নির্ভর করে। (১) লোহা ও Al-অক্সাইডের সংস্পর্শে আর্সেনিক যৌগের দ্রাব্যতা কমে যায় তখন আর্সেনিক দূষণ কম ঘটে; অর্থাৎ মাটিতে Al_2O_3 যুক্ত কাদার পরিমাণ কম হলে প্রাকৃতিক পানিতে আর্সেনিকের পরিমাণ বাড়ে। (২) মাটির pH কম হলে ও আর্সেনিক যৌগে জারণ অবস্থা কম হলে পানিতে দ্রবীভূত আর্সেনিকের পরিমাণ বাড়ে।

মাটিতে আর্সেনিকের রসায়ন : আর্সেনিকের সালফাইড আকরিক মাটিতে পানি ও O_2 দ্বারা জারিত হয়ে আর্সেনিক এসিড (H_3AsO_4) গঠন করে। তখন H_3AsO_4 অম্লীয় মাটিতে (pH 6.7) **ডাইহাইড্রোজেন আর্সেনেট** ($H_2AsO_4^-$) আয়নরূপে এবং ক্ষারীয় মাটিতে (pH 8.9) মনোহাইড্রোজেন আর্সেনেট ($HAsO_4^{2-}$) আয়নরূপে থাকে। উভয় আর্সেনেট আয়ন Fe^{3+}আয়ন ও Al^{3+} আয়নের সংস্পর্শে ধাতব আর্সেনেট অধঃক্ষেপরূপে মাটিতে আটকে থাকে।

$$As_2S_3 + 6H_2O + 7O_2 \longrightarrow [2H_3AsO_4 + 3H_2SO_4] \longrightarrow 2H_2AsO_4^- + 8H^+ + 3SO_4^{2-}$$

$$4FeAsS + 6H_2O + 13O_2 \longrightarrow [4H_3AsO_4 + 4FeSO_4] \longrightarrow 4H_2AsO_4^- + 4H^+ + 4Fe^{2+} + 4SO_4^{2-}$$

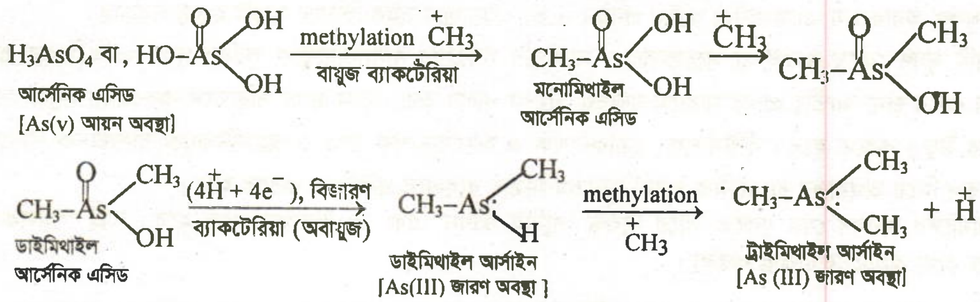
$$4Fe^{2+} + 2H_2O + O_2 \longrightarrow 4Fe^{3+} + 4OH^- \rightarrow 4Fe(OH)_3$$

$$\left.\begin{array}{l} 4Fe(OH)_3 + 6H_2AsO_4^- \longrightarrow 12H_2O + 4FeAsO_4 \\ 4Al(OH)_3 + 6H_2AsO_4^- \longrightarrow 12H_2O + \underset{\text{ধাতব আর্সেনেট}}{4AlAsO_4} \end{array}\right\} \text{ভূ-গর্ভের বিভিন্ন স্তরে অধঃক্ষিপ্ত থাকে।}$$

এসব অধঃক্ষিপ্ত ধাতব আর্সেনেট লবণ পরে ভূগর্ভস্থ ব্যাকটেরিয়া দ্বারা বিশ্লেষিত হয়ে দ্রবণীয় As^{3+} ও As^{5+} আয়নরূপে ভূগর্ভস্থ পানিতে মিশে থাকে। **তখন ভূগর্ভস্থ পানিতে আর্সেনিক দূষণ ঘটে।**

অপরদিকে বায়ুজ ব্যাকটেরিয়া দ্বারা H_3AsO_4 এর মিথাইলেশন প্রক্রিয়ায় প্রথমে 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।

মিথাইলেশন প্রক্রিয়ায় As(V) জারণ অবস্থা থেকে As(III) জারণ অবস্থায় রূপান্তর :



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 5.6 mg/kg। পানীয় জলে অজৈব আর্সেনিকের গড় পরিমাণ 2.5 ppb (parts per billion)। অর্থাৎ একজন পূর্ণবয়স্ক লোকে দিনে 1.6 লিটার পানি পান করলে ঐ লোকের শরীরে দৈনিক প্রায় 4.0 মাইক্রোগ্রাম (2.5×10^{-6} g $\times$ 1.6 = 4×10^{-6} g) আর্সেনিক জমা হয়।

বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থা (WHO) ঘোষিত পানীয় জলে **আর্সেনিকের সর্বোচ্চ সহনশীল মাত্রা হলো 0.05 mg/L বা, 0.05 ppm** অর্থাৎ ঐ লোক 1.6 লিটার পানি আর্সেনিকের প্রমাণমাত্রা 0.05 mg/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। WHO মতে পানীয় জলে As এর নিরাপদ মাত্রা (Safety Value) হলো 0.01 mg/L।

আর্সেনিক দূষণের সংজ্ঞা : জীবদেহে আর্সেনিক সহ্যসীমার (অর্থাৎ পানিতে 0.05 mg/L বা, 0.05 ppm) 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।

MAT: 19-20

WHO মতে As এর নিরাপদ মাত্রা (Safety Value)	মানব শরীরে সর্বোচ্চ সহনশীল মাত্রা Threshold Limiting Value (TLV)
$0.01\ mgL^{-1}$	$0.05\ mgL^{-1}$

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 প্রমাণমাত্রা বজায় থাকলে ঐ পানিকে পানের উপযোগী ধরা হয়। বর্তমানে **আর্সেনিকের আন্তর্জাতিক সর্বোচ্চ সহনশীল মাত্রা** (Threshold Limiting Value –TLV) বিস্তার হলো **0.04 – 0.05 ppm বাংলাদেশে পানীয় জলে আর্সেনিকের সর্বোচ্চ গ্রহণযোগ্য মাত্রা হলো 0.05 ppm।** MAT: 24-25

জার্মানিতে আর্সেনিকের দূষণ প্রবণতা বেশি হওয়ায় 1996 সালে জার্মান সরকার নিজ দেশের জন্য আর্সেনিকের সর্বোচ্চ মাত্রা আন্তর্জাতিক মাত্রার চেয়ে কমিয়ে 0.01 ppm সীমায় অনুমোদন দিয়েছে।

আমেরিকা যুক্তরাষ্ট্রে 1992 সালে আর্সেনিকের সর্বোচ্চ মাত্রা 0.002 ppm 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 64টি জেলায় 2022টি নলকূপের পানির নমুনা পরীক্ষা করে 61টি 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** (>1.0 ppm)। আর্সেনিক দূষণ জেলাগুলো হলো চাঁদপুর, গোপালগঞ্জ, মাদারিপুর, মুন্সিগঞ্জ, শরীয়তপুর, নোয়াখালী, সাতক্ষীরা, লক্ষ্মীপুর, ফরিদপুর, বাগেরহাট, 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।

*** TLV (সর্বোচ্চ নিরাপদ মাত্রা) :** পরিবেশের কোনো দূষকের যে নির্দিষ্ট মাত্রা অতিক্রম করলে পরিবেশ ও জীবজগৎ ক্ষতিগ্রস্ত হয়, ঐ নির্দিষ্ট মাত্রাকে ঐ দূষকের Threshold Limiting Value -TLV বলা হয়। যেমন, As এর বেলায় TLV হলো 0.05 mgL^{-1}; CO এর বেলায় TLV হলো 0.1 ppm।

মাটির উপাদানভিত্তিক আর্সেনিক দূষণ : মাটির গঠনে কাদামাটি কম অর্থাৎ Al_2O_3 উপাদান কম থাকলে আর্সেনেট (AsO_4^{3-}) আয়নের শোষণ কম ঘটে এবং তা ভূগর্ভস্থ পানিতে As^{3+} ও As^{5+} আয়নরূপে 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 আর্সেনিকযুক্ত 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 (ক) : হাতের তালুতে ক্রনিক আর্সেনিক রোগ

চিত্র ১.২৬ (খ) : ক্রনিক আর্সেনিক দূষণে ব্ল্যাকফুট 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 পরিপাকতন্ত্রের 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 গ্যাংগ্রিন 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 নালির সংকোচন ঘটে অর্থাৎ লুমেন ব্যাস কমে যায়। তখন খাদ্য ও অক্সিজেনের অভাবে ঐ সব কোষ মরে যায়।

[MAT: 18-19 DAT: 19-20]

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 জানবো। 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 পর্যায়ভুক্ত খাদক তৃণভোজী ও মাংসাশীও হতে পারে। যেমন স্থলজ বাস্তুতন্ত্রের মানুষ। অপরদিকে জলজ বাস্তুতন্ত্রের বড়ো 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।

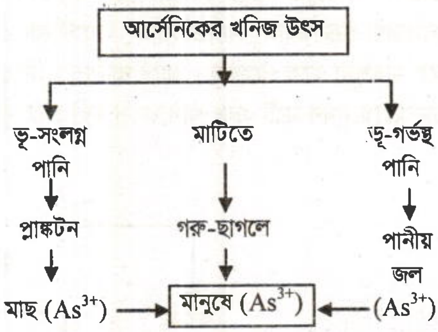
জীবের খাদ্য শৃঙ্খল : খাদ্য গ্রহণের অনুক্রম শুরু হয় খাদ্য উৎপাদক সবুজ উদ্ভিদ দ্বারা। সবুজ উদ্ভিদ মূলত-সূর্যালোকের উপস্থিতিতে CO_2, পানি, নাইট্রোজেন, ফসফরাস ও ম্যাগনেসিয়াম প্রভৃতি **রাসায়নিক পুষ্টি পদার্থের** সাহায্যে জৈব খাদ্য অণু সংশ্লেষণ করে। **ঐ জৈব খাদ্য অণুতে সৌরশক্তি বা তাপশক্তি রাসায়নিক বন্ধন বা স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকে।** অর্থাৎ সবুজ উদ্ভিদের উৎপাদিত **'খাদ্য' হচ্ছে সৌরশক্তি 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) খাদ্য-শৃঙ্খলে 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।

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/m^3 এর চেয়ে বেশি এবং শিল্প এলাকার বায়ুতে 1000 ng/m^3 এর চেয়েও বেশি থাকে। পানিতে আর্সেনিকের ঘনমাত্রা সাধারণত 10 μg/L এবং মানুষের দ্বারা আর্সেনিক দূষিত পানিতে আরো বেশি থাকে।



চিত্র-১.২৭ : খাদ্য-শৃঙ্খলে আর্সেনিকযুক্ত হওয়া ও ৩য় স্তরের খাদক মানুষের দেহে আর্সেনিক বিষক্রিয়া।

[ng (nanogram) = 10^{-9}g, μg (microgram) = 10^{-6}g]

খাদ্য শৃঙ্খলে আর্সেনিক দূষণের প্রভাব

* বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থা (WHO) মতে, জীবদেহে As এর সহ্যসীমা 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।

> **MCQ– 1.37 : বাংলাদেশে পানীয় জলে As এর গ্রহণযোগ্য মাত্রা কত?**
> [চ. বো. ২০১৬; মা. বো. ২০১৭]
> (ক) 0.1 ppm (খ) 0.05 ppm
> (গ) 0.5 g/L (ঘ) 0.01 ppm

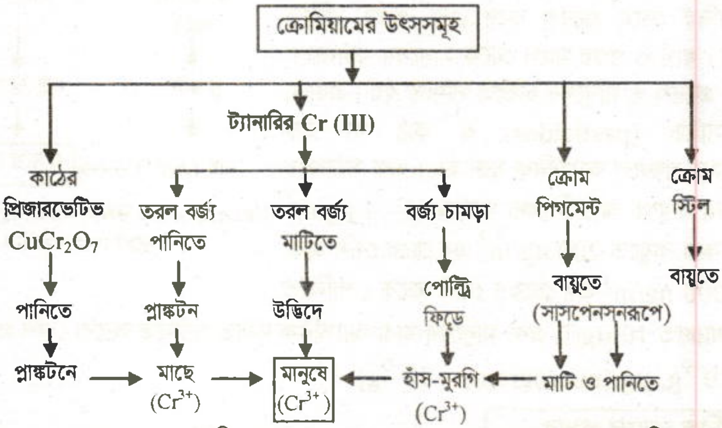
(৪) আর্সেনিকের **কারসিনোজেনিক প্রভাবে ক্যান্সার কোষের বৃদ্ধি সহজে ঘটে, তাই আর্সেনিক আক্রান্তদের মধ্যে ফুসফুস-ক্যান্সার ও স্কিন ক্যান্সারে মৃতের সংখ্যা বেশি**।

(২) খাদ্য শৃঙ্খলে ক্রোমিয়াম যুক্ত হওয়ার কারণ

উৎস : খাদ্য শৃঙ্খলে ক্রোমিয়াম যুক্ত হওয়ার উৎস হলো বিভিন্ন শিল্পে ক্রোমিয়াম যৌগ উৎপাদন এবং সেসব 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 কমলা রঙের ডাইক্রোমেট ($Cr_2O_7^{2-}$) আয়ন, স্টেইনলেস স্টিল-ওয়েল্ডিং ইত্যাদি ক্রোমিয়াম দূষণের অন্যতম কারণ।

খাদ্যশৃঙ্খলে Cr-এর প্রবেশ পথ : মানুষের দেহে ক্রোমিয়াম শ্বাস গ্রহণকালে বাতাস থেকে শ্বাসতন্ত্রে এবং ক্রোমিয়াম দূষিত পানি ও খাদ্য দ্বারা পরিপাকতন্ত্র ও প্রজননতন্ত্রের 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 বড়ো ট্যানারি এলাকা হাজারিবাগে প্রতিদিন 77 লক্ষ লিটার ক্রোমিক লবণ মিশ্রিত তরল বর্জ্য এবং 440 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 ক্রোমিয়ামযুক্ত হওয়া ও ৩য় স্তরের খাদক মানুষের দেহে ক্রোমিয়ামের বিষক্রিয়া।

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) দেহে ক্রোমিয়াম দূষণ দ্বারা মানুষের পরিপাকতন্ত্র, শ্বাসতন্ত্র, প্রজননতন্ত্র, রোগ প্রতিরোধ সিস্টেম প্রভৃতি আক্রান্ত হয়।

(২) Cr (VI) আয়ন মানুষের দেহে ক্যান্সার সৃষ্টিকারী 'কারসিনোজেন' হিসেবে গণ্য। দেহে ক্রোমিয়ামের প্রবেশ পথ অনুসারে ঐ 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 হিমোগ্লোবিন তৈরিতে বাধা সৃষ্টির কারণে অ্যানিমিয়া বা রক্তশূন্যতা রোগ হয়। এক্ষেত্রে হিমোগ্লোবিনের হিমে (heme)—এর অষ্টতলকীয় কমপ্লেক্সের 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 যাবে।

*(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 ব্যাক্টর (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।

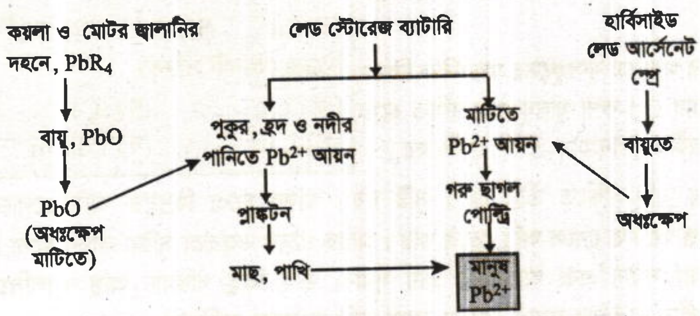
(৩) খাদ্য শৃঙ্খলে লেডযুক্ত হওয়ার কারণ

MAT 17-18

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 উদ্ভিদদেহে 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। এসব 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–1.38 : পানীয় জলে আর্সেনিকের গ্রহণযোগ্য মাত্রার পরিসর 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।

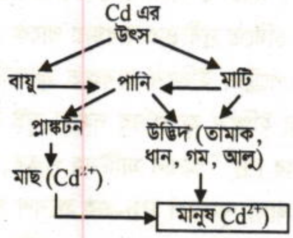
(২) এছাড়া Cr-এর মতো, লেড হিমোগ্লোবিন উৎপাদনে বাধা দেয়। ফলে অ্যানিমিয়া বা রক্তশূন্যতা দেখা দেয়।

(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। এসব ধাতু (Zn, Pb, Cu) আকরিক থেকে নিষ্কাশনকালে ক্যাডমিয়াম (Cd) শিল্পবর্জ্য হিসেবে শিল্পকারখানার নিকটস্থ কৃষিজমি 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।

MCQ–1.39 : যেটি রক্তে হিমোগ্লোবিন উৎপাদনে বাধা দেয়—

(i) Cd^{2+} (ii) Cr^{3+} (iii) Pb^{2+}

নিচের কোনটি সঠিক?

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

(২) ক্যাডমিয়ামের ক্রনিক বিষক্রিয়ায় অস্থি-সন্ধিতে তীব্র যন্ত্রণা সৃষ্টি হয়। অস্থির মধ্যে ছিদ্রযুক্ত অস্টিওপোরোসিস (osteoporosis) **হয়ে '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 খ্রিষ্টাব্দে অস্থি 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 উচ্চরক্তচাপ 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 ক্যান্সার রিসার্স সংস্থা (IARC=International Agency for Research on Cancer)) 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 জিঙ্ক প্রতিস্থাপিত হয়ে এনজাইমের ক্রিয়া বিঘ্নিত করে।

(৬) ক্যাডমিয়ামের বিষক্রিয়ার ফলে **বিপাকীয় বা মেটাবোলিক অস্বাভাবিকতা সৃষ্টি হয়।** কারণ এক্ষেত্রে বিপাকীয় ক্রিয়ায় উপকারী Zn^{2+} আয়ন ও অপকারী Cd^{2+} আয়ন সমধর্মী ধাতব মৌল হওয়ায় এরূপ ঘটে।

জেনে নাও :

১। As^{3+} আয়ন দূষণের ফলে ব্ল্যাক ফুট ডিজিজ ও ত্বকে কালো দাগ বা কেরাটিনাইজেশন ঘটে।
২। Cr^{3+} আয়ন দূষণের ফলে রক্তে হিমোগ্লোবিন তৈরিতে বাধা সৃষ্টির কারণে অ্যানিমিয়া বা রক্তশূন্যতা রোগ হয়।
৩। Pb^{2+} আয়ন দূষণের ফলে রক্তে হিমোগ্লোবিন তৈরিতে বাধা সৃষ্টি করে। গর্ভবতী মহিলা মৃত সন্তান প্রসব করে। শিশুর IQ বা বুদ্ধিবৃত্তি হ্রাস পায়।
৪। Cd^{2+} আয়ন দূষণের ফলে অস্টিওপোরোসিস রোগে অস্থি ভঙ্গুর হয়। ফুসফুস ক্যান্সার আক্রান্ত হয় ; কিডনিতে পাথর সৃষ্টি ও কিডনি নষ্ট করে। শরীর থেকে Ca^{2+} ও Zn^{2+} আয়ন প্রস্রাবের সাথে বের হয়ে যায়।

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 দেখেছো, দ্রবণে সাধারণত দ্রাবকের পরিমাণ বেশি ও দ্রবের পরিমাণ কম থাকে। সব দ্রবণে এ পরিমাণগত দ্রাবক ও দ্রবের অনুপাত ঠিক থাকে না। যেকোনো অনুপাতে দ্রব ও দ্রাবক মিশ্রিত হতে পারে। আবার ভৌত অবস্থাভেদে বিভিন্ন প্রকার দ্রবণ হতে পারে।

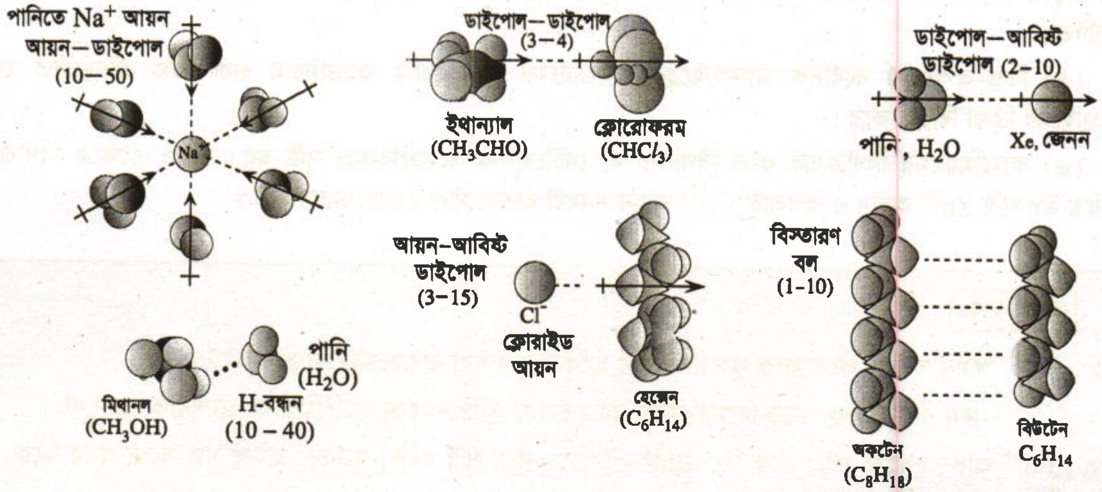
দ্রবণের শ্রেণিবিভাগ : দ্রাবক ও দ্রবের ভৌত অবস্থাভেদে নিম্নোক্ত শ্রেণির দ্রবণ আছে। যেমন,

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-1.40 : পানিতে দূষক পদার্থ দ্রবীভূত থাকার কৌশল কোনটি নয়?
(ক) বিস্তারণ (খ) H 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। এসব দূষক পদার্থের বায়ু ও পানিতে মিশ্রিত থাকা অথবা দ্রবীভূত থাকা নির্ভর করে দ্রাবক অণু ও দ্রব অণু বা আয়নের মধ্যে আন্তঃকণা 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 এককে।

রসায়ন ১ম পত্রের ৫ম অধ্যায়ে এ সম্বন্ধে তোমরা জেনেছো। এছাড়া ৩য় অধ্যায়ে বিভিন্ন প্রকার নন্-বন্ডিং আন্তঃকণা আকর্ষণ-বল বা ভ্যানডার ওয়ালস বল সম্বন্ধে জেনেছো। 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 পারবো।

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 ছোটো আয়ন যেমন Li^+ আয়ন চারটি পানি অণু দ্বারা ঘেরাও হয়ে চতুস্তলকীয়ভাবে এবং বড়ো 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।

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। এসব যৌগ শ্রেণির মধ্যে অ্যালকোহল (R-OH), অ্যামিন ($R-NH_2$) ও অ্যামাইনো এসিড ($RCH(NH_2)COOH$) ইত্যাদি রয়েছে। জীবকোষের সেল-ফ্লুইডের (cell-fluid) পানিতে বায়োঅণুগুলো H–বন্ধন দ্বারা আকৃষ্ট আছে। শিল্পক্ষেত্রে ব্যবহৃত বিভিন্ন পোলার জৈবযৌগ 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 ক্লোরোফরমে ($CHCl_3$ 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 বায়ুদূষক অপোলার জৈবযৌগের বাষ্পীভূত অণু যেমন বেনজিন ও যেকোনো হাইড্রোকার্বন ডাইপোল–আবিষ্ট ডাইপোল বল দ্বারা আকৃষ্ট থাকে। বায়ুদূষক 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 বল (dispersion)** 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 ওঠতে থাকে এবং স্থলভাগের দিকে 63 km/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, ডাল্টনের 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 ক্ষুদ্রকণা 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 হাউস গ্যাস** বলে। এরা গ্লোবাল ওয়ার্মিং ঘটায়।

এসিড বৃষ্টি : বায়ুতে SO_2, SO_3, NO_2 ইত্যাদি অম্লধর্মী গ্যাসের অধিক উপস্থিতির কারণে বৃষ্টির পানির সাথে এসব 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 যেকোনো 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 Fe^{2+} আয়ন বেশি থাকলে তাকে খর পানি বলে।

পানির DO, BOD : পানিতে দ্রবীভূত অক্সিজেনের পরিমাণকে DO বলে। 20°C-এ ৫ দিন যাবৎ কোনো সারফেস ওয়াটারের নমুনায় থাকা দূষক পচনশীল জৈববস্তুকে সম্পূর্ণ বিযোজিত করতে ঐ পানির DO থেকে যে পরিমাণ অক্সিজেন বায়ুজীবী জীবাণু দ্বারা ব্যয়িত হয়, তাকে ঐ নমুনা পানির BOD বলে।

পানি দূষণ ও ইউট্রোফিকেশন : শিল্পবর্জ্য দ্বারা পরিবেশের পানি দূষিত হওয়াকে পানি-দূষণ বলে। পানি দূষণের ফলে DO হ্রাস পায়। জলজ 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 শিল্পবর্জ্যকে বিপদমুক্ত করে পরিবেশে ফেলার প্রক্রিয়াকে ETP বলা হয়।

খাদ্যশৃঙ্খল : সবুজ উদ্ভিদ দ্বারা উৎপাদিত 'খাদ্য' হলো সৌরশক্তি ও পুষ্টি উপাদানের ভাণ্ডার। এ খাদ্য উদ্ভিদ থেকে ক্রমান্বয়ে ১ম, ২য় ও ৩য় পর্যায়ভুক্ত খাদক শ্রেণির জীবে প্রবাহিত হয়। প্রতিটি বাস্তুতন্ত্রের জীবগুলোর মাধ্যমে শক্তি ও পুষ্টি উপাদানের এরূপ প্রবাহকে জীবের খাদ্য-শৃঙ্খল বলে।

খাদ্য-শৃঙ্খলে ভারী ধাতু যুক্ত হওয়া : Cr, Pb, Cd ও As ধাতুর বিভিন্ন যৌগ মাটিতে খনিজরূপে ভূগর্ভস্থ পানিতে মিশে পানিকে দূষিত করে। আবার শিল্প বর্জ্যরূপে এসব যৌগ মাটি ও পানিতে মিশে পরিবেশকে দূষিত করে। পানি ও মাটি থেকে উদ্ভিদের মাধ্যমে খাদ্য-শৃঙ্খলে যুক্ত হয়ে পড়ে।

MCQ-এর উত্তরমালা

1.1 (ক)	1.2 (গ)	1.3 (গ)	1.4 (খ)	1.5 (খ)	1.6 (খ)	1.7 (ক)	1.8 (খ)
1.9 (ক)	1.10 (খ)	1.11 (খ)	1.12 (খ)	1.13 (গ)	1.14 (গ)	1.15 (ঘ)	1.16 (ক)
1.17 (গ)	1.18 (গ)	1.19 (গ)	1.20 (ক)	1.21 (ঘ)	1.22 (ঘ)	1.23 (গ)	1.24 (গ)
1.25 (ক)	1.26 (গ)	1.27 (ক)	1.28 (ঘ)	1.29 (গ)	1.30 (ক)	1.31 (ক)	1.32 (ঘ)
1.33 (ক)	1.34 (ক)	1.35 (ঘ)	1.36 (ঘ)	1.37 (খ)	1.38 (ঘ)	1.39 (খ)	1.40 (ঘ)

অনুশীলনী – ১ : পরিবেশ রসায়ন

(ক) বিভাগ : জ্ঞানস্তরভিত্তিক প্রশ্নাবলি (একনজরে)

(১) বায়ুমণ্ডলভিত্তিক প্রশ্নাবলি :

১। বায়ুমণ্ডল কী?
২। বায়ুমণ্ডলের সংযুক্তিগত গ্যাস কী?
৩। বায়ুমণ্ডলের অঞ্চলগুলো 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 সূত্রসমূহভিত্তিক প্রশ্নাবলি :

১। প্যাসকেল কী?
২। বয়েলের সূত্রটি বিবৃত করো।
৩। সমোষ্ণ লেখ বা আইসোথার্ম কী? [ঢা. বো. ২০২২; ব. বো. ২০২২]
৪। চার্লসের সূত্রটি বিবৃত করো। [ব. বো. ২০২১; রা. বো. ২০২১]
৫। আইসোবার বা সমচাপীয় লেখ কী? [দি. বো. ২০২৩]
৬। আইসোকোর বা সমআয়তনীয় লেখ কী?
৭। পরমশূন্য তাপমাত্রা কী? [ঢা. বো. ২০২১; চ. বো. ২০২৩; কু. বো. ২০২১; সি. বো. ২০২১; য. বো. ২০২১, ২০২২; ব. বো. ২০১৭; দি. বো. ২০২২]
৮। গে-লুসাকের চাপের সূত্রটি বিবৃত করো।
৯। গ্যাসের STP কী? [রা. বো. ২০১৫; দি. বো. ২০১৬]
১০। গ্যাসের SATP কী? [ব. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০২২; য. বো. ২০২২]
১১। আদর্শ গ্যাস সমীকরণ কী?
১২। গ্যাসধ্রুবক কী?
১৩। বোল্টজম্যান ধ্রুবক কী? [সি. বো. ২০১৭]
১৪। গ্যাসের আংশিক চাপ কী? [য. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০২১; য. বো. ২০২১; ম. বো. ২০২১]
১৫। ডাল্টনের আংশিক চাপের সূত্র কী? [দি. বো. ২০২১]
১৬। মোল ভগ্নাংশ কী?
১৭। গ্যাসের ব্যাপন কী? [মা. বো. ২০২২; য. বো. ২০১৯; ঢা. বো. ২০১৫]
১৮। গ্যাসের নিঃসরণ বা অনুব্যাপন কী? [য. বো. ২০১৯]
১৯। গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্র কী? [রা. বো. ২০২১; কু. বো. ২০১৯]
২০। গ্যাসের গতীয় সমীকরণটি লেখ। [দি. বো. ২০১৫]
২১। আদর্শ গ্যাস কী? [ঢা. বো. ২০১৫; চ. বো ২০১৬]
২২। অনাদর্শ বা বাস্তব গ্যাস কী? [কু. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০১৯; মা. বো. ২০২১; য. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০২২]
২৩। আণবিক সংঘর্ষ কী?
২৪। সংঘর্ষ ব্যাস কী?
২৫। গ্যাসের RMS বেগ কী? [ঢা. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০২২; অভিন্ন. প্রশ্ন ২০১৮; রা. বো ২০১৬]
২৬। অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা কী? [ব. বো. ২০২২]
২৭। অ্যামাগার বক্র লেখ কী? [সি. বো. ২০২৩]
২৮। বাস্তব গ্যাসের ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণ কী?
২৯। CNG কী?
৩০। LPG কী? [চ. বো. ২০১৯]
৩১। সংকট তাপমাত্রা বা সন্ধি তাপমাত্রা কী?
৩২। জুল-থমসন প্রভাব কী?

৩৩। বয়েল তাপমাত্রা কাকে বলে? [ম. বো. ২০২৩]
৩৪। উৎক্রম তাপমাত্রা কী?

(৩) বায়ুমণ্ডল, অম্ল-ক্ষারক, পানি ও মাটি দূষণ সংক্রান্ত প্রশ্নাবলি :

১। নাইট্রোজেন ফিক্সেশন কী? [ব. বো. ২০১৯; ঢা. বো. ২০১৭]
২। বায়োলজিক্যাল N ফিক্সেশন কী?
৩। গ্রিন হাউস গ্যাস কী?
৪। CFC কী? [সি. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৫]
৫। এসিড বৃষ্টি কী? [ব. বো. ২০২২; মা. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০২৩; য. বো. ২০১৫; কু. বো. ২০১৬]
৬। FGD প্ল্যান্ট কী?
৭। ব্রনস্টেড-লাউরি এসিড কী?
৮। ব্রনস্টেড-লাউরি ক্ষারক কী?
৯। অনুবন্ধী ক্ষারক কী? [চ. বো. ২০২৩, ২০২১; সি. বো. ২০২১; রা. বো. ২০১৫]
১০। অনুবন্ধী অম্ল কী? [চ. বো. ২০২২; দি. বো. ২০২২; য. বো. ২০২১; অভিন্ন. প্রশ্ন ২০১৮]
১১। লুইস এসিড কী? [য. বো. ২০২১; রা. বো. ২০২১]
১২। লুইস ক্ষারক কী?
১৩। মিঠা পানি কী?
১৪। (ক) পানির খরতা কী? [চ. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০২৩]
(খ) খর পানি কী? [ঢা. বো. ২০২২]
(গ) পানির স্থায়ী খরতা কী? [ম. বো. ২০২৩; সি. বো. ২০১৯]
১৫। পানির DO কী? [কু. বো. ২০২৩; মা. বো. ২০২২]
১৬। পানির BOD কী? [ঢা. বো. ২০২৩; ব. বো. ২০২২; কু. বো. ২০২১; দি. বো. ২০২১; মা. বো. ২০২৩]
১৭। পানির COD কী? [রা. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০১৯; য. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০১৬, ২০১৭; ব. বো. ২০১৯]
১৮। পানির TDS কী? [সি. বো. ২০২২; দি. বো. ২০১৭ ; চ. বো. ২০২৩; য. বো. ২০১৫; ঢা. বো. ২০১৬]
১৯। (ক) দূষক কী? [ব. বো. ২০২৩]
(খ) বায়োডিগ্রেডেবল দূষক কী? [মা. বো. ২০১৯]
২০। ইউট্রোফিকেশন কী?
২১। আর্সেনিক দূষণ কী?
২২। WHO ঘোষিত পানীয় জলে আর্সেনিকের প্রমাণ মাত্রা কত?
২৩। ব্ল্যাক-ফুট ডিজিজ কী?
২৪। অটোট্রপ কী?
২৫। হেটারোট্রপ কী?
২৬। জীবের খাদ্য-শৃঙ্খল কী?
২৭। চামড়া ট্যানিং কাজে কোন লবণ ব্যবহৃত হয়?
২৮। কোন জারণ অবস্থায় Cr ধাতুর বিষক্রিয়া অধিক মারাত্মক?
২৯। WHO এর রিপোর্ট মতে লেডের বিষক্রিয়ায় Pb এর পরিমাণ কত?
৩০। লেড বিষ-ক্রিয়ার লক্ষণ কী?
৩১। WHO এর তথ্য মতে মানুষের ক্ষেত্রে Cd এর লেথাল-ডোজ (lethal dose) কত?
৩২। ইটাই-ইটাই রোগ কী?
৩৩। ভারী ধাতুর আয়ন (Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cr^{3+}) দূষিত পানিতে দ্রবীভূত থাকে কী রূপে?
৩৪। ট্যানারিতে পশুর চামড়ার লোমনাশকরূপে ব্যবহৃত অ্যামিনসমূহ দূষিত পানিতে দ্রবীভূত থাকে কী রূপে?
৩৫। রক্তে O_2 অণু দ্রবীভূত থাকার কৌশল কী?

(খ) বিভাগ : অনুধাবনস্তরভিত্তিক প্রশ্নাবলি (একনজরে)

(১) বায়ুমণ্ডলভিত্তিক প্রশ্নাবলি :

১। বায়ুমণ্ডলের সংযুক্তির সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও।
২। বায়ুমণ্ডলের গ্যাসীয় বস্তুকণাগুলোর ভূমিকা কী?
৩। বায়ুমণ্ডলের ট্রপোস্ফিয়ারের গুরুত্ব আলোচনা করো।
৪। বায়ুমণ্ডলের স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারের গুরুত্ব আলোচনা করো।
৫। বায়ুমণ্ডলের চারটি অঞ্চলের পরিসর, চাপ ও তাপমাত্রার পরিবর্তনের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও।
৬। UV রশ্মি থেকে O_3 স্তর আমাদেরকে কীভাবে রক্ষা করে? ব্যাখ্যা করো। [চ. বো. ২০১৯]
৭। ঘূর্ণিঝড় সৃষ্টির কারণ ব্যাখ্যা করো।
৮। সামুদ্রিক জলোচ্ছ্বাস সৃষ্টির কারণ ব্যাখ্যা করো।

(২) গ্যাস সূত্রসমূহভিত্তিক প্রশ্নাবলি :

১। বয়েলের সূত্রের সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করো।
২। গ্যাসের V বনাম P, V বনাম P^{-1} ও PV বনাম P সমোষ্ণ লেখ অঙ্কন করে দেখাও।
৩। (ক) চার্লসের পরীক্ষা-নিরীক্ষার লেখচিত্র থেকে নতুন তাপমাত্রা স্কেল প্রতিষ্ঠিত হয়েছে, তা ব্যাখ্যা করো।
(খ) চার্লসের সূত্র থেকে কীভাবে পরমশূন্য তাপমাত্রার ধারণা প্রতিষ্ঠা করবে? [ঢা. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০২২]
৪। 1 mol গ্যাসকে 200 K থেকে 400 K তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে আয়তন দ্বিগুণ হয়। কিন্তু 200°C থেকে 400°C-এ ঐ আয়তন 1.42 গুণ বাড়ে;-গাণিতিকভাবে প্রমাণ করো।
৫। বয়েল ও চার্লসের সূত্র থেকে সমন্বয় সূত্র প্রতিষ্ঠা করো।
৬। গে-লুসাকের চাপের সূত্রের সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করো।
৭। গ্যাস সূত্র থেকে আদর্শ গ্যাস সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করো।
৮। ধ্রুবক R কে সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক বলা হয় কেন? [চ. বো. ২০২১]
৯। গ্যাস ধ্রুবক R এর তাৎপর্য কী?
১০। (ক) R এর মান L.atm এককে নির্ণয় করো। [ঢা. বো. ২০১৫, ২০১৬]
(খ) R এর মান SI এককে নির্ণয় করো। [ঢা. বো. ২০২২; রা. বো. ২০২৩; য. বো. ২০২২; সি. বো. ২০২১]
(গ) R এর মান C. G. S এককে নির্ণয় করো। [রা. বো. ২০২২; মা. বো. ২০২২]
১১। একটি পূর্ণবয়স্ক লোকের ফুসফুসে বায়ুর ধারণক্ষমতা 3.8 L 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 করো।
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 করো। [ব. বো. ২০১৫]
১৫। গ্রাহামের গ্যাস ব্যাপন সূত্রের আধুনিক প্রয়োগ আলোচনা করো।
১৬। গ্যাসের আণবিক গতিতত্ত্বের স্বীকার্যগুলো উপস্থাপন করো। [রা. বো. ২০১৫]
১৭। গ্যাসের কণার গতিশক্তি গণনার সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করো।
১৮। গ্যাসের গতিশক্তি নির্ণয়ে RMS বেগ অধিক উপযোগী কেন? [ঢা. বো. ১৭; চ. বো. ২০২১; য. বো. ২০২২]
১৯। আদর্শ গ্যাস ও বাস্তব গ্যাসের ২টি পার্থক্য লেখ। [মা. বো. ২০২২]
২০। বাস্তব গ্যাস যেমন CO_2, CH_4 ইত্যাদি আদর্শ গ্যাস সমীকরণ সঠিকভাবে মেনে চলে না কেন?
২১। বাস্তব গ্যাসের চাপ আদর্শ গ্যাসের চাপ অপেক্ষা কম কেন? [চ. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০১৬]

২২। বাস্তব গ্যাস কোন শর্তে আদর্শ গ্যাসের ন্যায় আচরণ করে ; ব্যাখ্যা করো। [কু. বো. ২০২১]

২৩। বাস্তব গ্যাসের জন্য বিজ্ঞানী কীরূপে নতুন সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন? [ঢা. বো. ২০২৩]

২৪। (ক) 64 g অক্সিজেনের জন্য ভ্যানডার ওয়ালসের সমীকরণটি লেখ। [চ. বো. ২০১৬]
(খ) 64 g O_2 এর জন্য বাস্তব গ্যাসের সমীকরণটি লেখ। [ব. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০২১]

২৫। 96 g অক্সিজেনের জন্য ভ্যানডার ওয়ালসের সমীকরণটি লেখ। [রা. বো ২০১৬]

২৬। মনে করো 300 K তাপমাত্রায় তুমি 0.60 L 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 $(P + an^2/V^2)$ ব্যবহার করার পক্ষে যুক্তি প্রতিষ্ঠিত করো। এক্ষেত্রে N_2 এর $a = 1.35$ atm L^2m^{-2} এবং $b = 0.0387$ $L.mol^{-1}$।

২৭। তোমার প্রাইভেট গাড়ির CNG সিলিন্ডারের ধারণক্ষমতা 60 L হলে 25° C-এ 220 bar চাপে কত মিটার কিউব গ্যাস ঐ সিলিন্ডারে ভর্তি করা সম্ভব তা গণনা করো।

২৮। সাধারণ তাপমাত্রায় H_2 গ্যাসে জুল-থমসন সম্প্রসারণে কীরূপে পরিবর্তন হয়? ব্যাখ্যা করো। [চ. বো. ২০১৯]

২৯। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে গ্যাসের চাপ বৃদ্ধি পায় কেন? [ব. বো. ২০১৯]

(৩) বায়ুমণ্ডলে দূষণ সম্পর্কীয় প্রশ্নাবলি :

১। বজ্র-বৃষ্টির ফলে মাটিতে নাইট্রেট সার প্রাকৃতিক নিয়মে যুক্ত হয়; এ উক্তির ব্যাখ্যা করো।

২। মটর, শিম ও ছোলাজাতীয় উদ্ভিদ চাষের পর মাটিতে নাইট্রোজেনের উপাদান বৃদ্ধি পায়; এ উক্তির ব্যাখ্যা করো।

৩। CO গ্যাসকে নীরব ঘাতক গ্যাস বলা হয় কেন, ব্যাখ্যা করো। [রা. বো. ২০১৯; ব. বো. ২০১৬]

৪। কলকারখানা অঞ্চলে এসিড বৃষ্টি হয়ে থাকে, এ উক্তির যথার্থতা ব্যাখ্যা করো।

৫। ফটোকেমিক্যাল স্মোগ বলতে কী বোঝায়?

৬। CFC পরিবেশের তাপমাত্রা বৃদ্ধির সহায়তা করে; ব্যাখ্যা করো। [রা. বো. ২০১৭]

৭। CO_2 ও CFC গ্যাসের মধ্যে বায়ুমণ্ডলে গ্লোবাল ওয়ার্মিং-এর তুলনামূলক আলোচনা করো।

৮। গ্লোবাল ওয়ার্মিং এ CO_2-এর ঘনত্ব বৃদ্ধির প্রভাব আলোচনা করো। [য. বো. ২০১৫]

৯। CFC দ্বারা ওজোনস্তর কীরূপে ক্ষয় হয়, তা ব্যাখ্যা করো। [য. বো. ২০১৭]

১০। ওজোনস্তর ক্ষয়রোধে 1987 সালের মন্ট্রিয়াল প্রোটোকল চুক্তির আলোকে করণীয় বিষয়ের আলোচনা করো।

১১। এসিড বৃষ্টির কারণ বুঝিয়ে লেখ। [সি. বো. ২০২৩; য. বো. ২০২১]

১২। জলজ প্রাণীর ওপর এসিড বৃষ্টির প্রভাব ব্যাখ্যা করো। [মা. বো. ২০২২]

১৩। কীরূপে এসিড বৃষ্টির প্রতিকার করা যায়, তা যুক্তিসহ ব্যাখ্যা করো।

(৪) এসিড–ক্ষারক তত্ত্বভিত্তিক প্রশ্নাবলি :

১। আরহেনিয়াসের এসিড–ক্ষারক তত্ত্বের সাফল্যসমূহ আলোচনা করো।

২। (ক) ব্রনস্টেড-লাউরি তত্ত্ব আরহেনিয়াস এসিড–ক্ষারক তত্ত্বের চেয়ে উন্নত তত্ত্ব কেন, তা ব্যাখ্যা করো।
(খ) ব্রনস্টেড লাউরি তত্ত্ব মতে এসিড ক্ষারকের সংজ্ঞা দাও। [ম. বো. ২০২২]

৩। (ক) উভধর্মী বা অ্যামফোটেরিক যৌগ কাকে বলে, তা উদাহরণসহ ব্যাখ্যা করো।
(খ) অথবা, পানি (H_2O) একটি উভধর্মী যৌগ; ব্যাখ্যা করো। [ঢ. বো. ২০২৩; ব. বো. ২০২২; ম. বো. ২০২২]

৪। নিচের ব্রনস্টেড–লাউরির প্রত্যেকটি ক্ষারকের অনুবন্ধী এসিডের নাম ও সংকেত লেখ :
(ক) HCO_3^- (খ) CO_3^{2-}।

৫। (ক) লুইসের ও ব্রনস্টেডের ক্ষারকের সংখ্যা একই। কিন্তু লুইস এসিডের সংখ্যার বৃদ্ধি ঘটেছে; তা ব্যাখ্যা করো।
(খ) দুর্বল এসিডের অনুবন্ধী ক্ষারক সবল হয় কেন? [ম. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০২২]
(গ) $HClO_4$ অতি সবল এসিড হলেও এর অনুবন্ধী ক্ষারকটি দুর্বল; ব্যাখ্যা করো। [ব. বো. ২০২২]

৬। (ক) অ্যামোনিয়া একটি ব্রনস্টেড লাউরি ও লুইস ক্ষারক; ব্যাখ্যা করো। [ব. বো. ২০২১; মা. বো. ২০১৮; দি. বো. ২০১৫]

(খ) $C_6H_5NH_2$ যৌগে $-\ddot{N}H_2$ মূলক ক্ষারধর্মী কেন; ব্যাখ্যা করো। [য. বো. ২০২১]

৭। BF_3 একটি লুইস অম্ল ; ব্যাখ্যা করো। [কু. বো. ২০২২; দি. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৭; ম. বো. ২০২৩]

৮। (ক) $AlCl_3$ একটি লুইস এসিড; ব্যাখ্যা করো। [য. বো. ২০২২; সি. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০১৭]

(খ) NaCl এর জলীয় দ্রবণের প্রকৃতি ব্যাখ্যা করো। [রা. বো. ২০২৩]

৯। HCO_3^- আয়ন উভধর্মী পদার্থ কেন ? [কু. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০২৩; যা. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০২১; ম. বো. ২০২১]

১০। HSO_4^- এর অনুবন্ধী ক্ষারক কী? তা ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০১৯]

১১। $FeCl_3$ কে লুইস এসিড বলা হয় কেন? [ম. বো. ২০২১; সি. বো. ২০১৯, ২০২২; দি. বো. ২০১৯]

১২। HSO_4^- আয়ন উভধর্মী পদার্থ কেন ? [রা. বো. ২০১৯, ২০২১; য. বো. ২০১৯]

১৩। $H_2PO_4^-$ আয়ন উভধর্মী পদার্থ কেন? [দি. বো. ২০২৩]

১৪। HS^- আয়ন উভধর্মী পদার্থ; ব্যাখ্যা করো। [কু. বো. ২০২১]

১৫। H_2O এর অনুবন্ধী অম্ল H_3O^+ হয় কেন ? ব্যাখ্যা করো। [ব. বো. ২০২৩; মা. বো. ২০১৯]

১৬। $NH_3 + HCl \rightleftharpoons NH_4^+ + Cl^-$ সমীকরণে অনুবন্ধী এসিড-ক্ষারক যুগল বুঝিয়ে লেখ। [য. বো. ২০২১]

(৫) মিঠা পানি ও পানির বিশুদ্ধতার মানদণ্ডভিত্তিক প্রশ্নাবলি :

১। (ক) পানির খরতার কারণ ব্যাখ্যা করো। [ব. বো. ২০১৫]

(খ) খর পানি সাবানের সাথে ফেনা তৈরি করে না কেন? [সি. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০২১]

(গ) পানির অস্থায়ী খরতা কীরূপে দূর করা যায়? [মা. বো. ২০২৩]

২। বয়লার স্কেল কীরূপে গঠিত হয়, তা সমীকরণসহ লেখ।

৩। পানির DO 5 ppm বলতে কী বুঝ? [কু. বো. ২০২১]

৪। পানির BOD এর মান 6.0 ppm বলতে কী বোঝায়? [ঢা. বো. ২০২১; কু. বো. ২০২৩; ব. বো. ২০২৩; য. বো. ২০২১; মা. বো. ২০১৮; দি. বো. ২০২২; ব. বো. ২০২২; সি. বো. ২০২২]

৫। পানির DO ও BOD এর মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক ব্যাখ্যা করো।

৬। নদীর পানির BOD এর মান কীরূপে নির্ণয় করা যায়? [ঢা. বো. ২০১৭]

৭। পানির COD 1.5 mgL^{-1} বলতে কী বুঝ? [রা. বো. ২০২২]

৮। প্রাকৃতিক পানির বিশুদ্ধতার মান জানার জন্যে COD জানার প্রয়োজন আছে; তা ব্যাখ্যা করো।

৯। নমুনা পানির COD এর মান BOD থেকে বেশি হয়; ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০২২; চ. বো. ২০২৩; ম. বো. ২০২৩; ব. বো. ২০২১; সি. বো. ২০১৯]

(৬) শিল্পবর্জ্য দ্বারা পানির দূষণভিত্তিক প্রশ্নাবলি :

১। শিল্পবর্জ্য পানিকে কীরূপে দূষিত করে তা উদাহরণসহ ব্যাখ্যা করো।

২। রাসায়নিক সার দ্বারা পানির দূষণ ও এর প্রভাব আলোচনা করো।

৩। ভূগর্ভস্থ পানিতে আর্সেনিক দূষণ কীভাবে ঘটে? ব্যাখ্যা করো। [য. বো. ২০১৯]

৪। আর্সেনিক দ্বারা পানির দূষণ ও মানুষের শরীরে এর প্রভাব ব্যাখ্যা করো। [কু. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৫]

৫। খাদ্য–শৃঙ্খলে ক্রোমিয়াম দূষণের কারণ ও প্রভাব ব্যাখ্যা করো। [কু. বো. ২০১৭]

৬। খাদ্য–শৃঙ্খলে ক্যাডমিয়াম দূষণের কারণ ও প্রভাব আলোচনা করো।

৭। ভারী ধাতুর আয়ন (Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cr^{3+}) সমূহ দূষকরূপে পানিতে কীরূপে দ্রবীভূত থাকে, তা ব্যাখ্যা করো।

(গ) বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

□ সাধারণ বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (Simple MCQ) :

(ক) বায়ুমণ্ডল ও গ্যাস সূত্রভিত্তিক

১। মেসোস্ফিয়ারের উচ্চতা কত কি.মি. পর্যন্ত বিস্তৃত? [কু. বো. ২০১৭]
(ক) 5 –10 km (খ) 10 – 40 km (গ) 50 – 100 km (ঘ) 150 – 200 km

২। বায়ুমণ্ডলের স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার স্তরের প্রধান উপাদান কোনটি? [ব. বো. ২০১৯ , ২০১৬]
(ক) অক্সিজেন (খ) নিয়ন (গ) ওজোন (ঘ) কার্বন ডাইঅক্সাইড

৩। বায়ুমণ্ডলের হোমোস্ফিয়ারে নিচের কোনটি থাকে না?
(ক) আর্গন (খ) O_2 (গ) O (ঘ) CH_4

৪। বায়ুমণ্ডলের কোন স্তরের তাপমাত্রা সর্বাপেক্ষা বেশি? [চ. বো. ২০১৫]
(ক) ট্রপোস্ফিয়ার (খ) স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার (গ) মেসোস্ফিয়ার (ঘ) থার্মোস্ফিয়ার

৫। বায়ুমণ্ডলের শীতলতম অঞ্চল কোনটি? [দি. বো. ২০১৯; ব. বো. ২০১৭]
(ক) মেসোস্ফিয়ার (খ) আয়নোস্ফিয়ার (গ) ট্রপোস্ফিয়ার (ঘ)) স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার

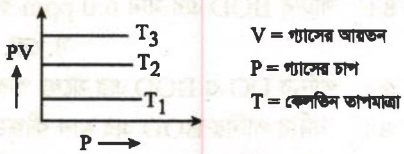
৬। ওজোনস্তর বায়ুমণ্ডলের কোন অঞ্চলে অবস্থিত? [মা. বো. ২০১৭]
(ক) ট্রপোস্ফিয়ার (খ) স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার (গ) মেসোস্ফিয়ার (ঘ) থার্মোস্ফিয়ার

৭। বায়ুমণ্ডলের কোন অঞ্চলে ঝড়-ঝঞ্ঝার উৎপত্তি ঘটে?
(ক) ট্রপোস্ফিয়ার (খ) স্ট্র্যাটোস্ফিয়ার (গ) মেসোস্ফিয়ার (ঘ) থার্মোস্ফিয়ার

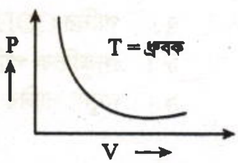
৮। সাইক্লোন তৈরি হতে সাগরের পানির তাপমাত্রায় সর্বনিম্ন কত থাকতে হয়?
(ক) 25°C (খ) 27°C (গ) 30°C (ঘ) 40°C

৯। নিচের কোন সমীকরণটি বয়েলের সূত্র প্রকাশ করে? [রা. বো. ২০১৫]
(ক) $P_1T_1 = P_2T_2$ (খ) $P_1/T_1 = P_2/T_2$ (গ) $P_1V_1 = P_2V_2$ (ঘ) $P_1/V_1 = P_2/V_2$

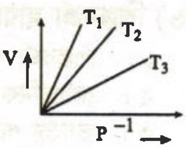
১০। পার্শ্বের লেখচিত্রটি কোন্ সূত্রের জন্য প্রযোজ্য? [ঢা. বো. ২০১৫]
(ক) অ্যাভোগাড্রোর সূত্র (খ) গ্রাহামের সূত্র
(গ) চার্লসের সূত্র (ঘ) বয়েলের সূত্র



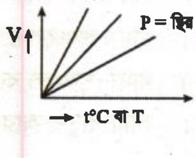
১১। পার্শ্বের লেখচিত্রটি কোন সূত্র সমর্থন করে? [দি. বো. ২০১৬]
(ক) চার্লসের সূত্র (খ) বয়েলের সূত্র
(গ) অ্যাভোগাড্রোর সূত্র (খ) গ্রাহামের সূত্র



১২। পার্শ্বের লেখচিত্রটি কোন গ্যাস সূত্রকে সমর্থন করে? [ঢা. বো. ২০১৭]
(ক) চার্লসের সূত্র (খ) বয়েলের সূত্র
(গ) ডাল্টনের সূত্র (খ) গে-লুসাকের সূত্র



১৩। উদ্দীপকের লেখচিত্রটি কোন্ সূত্রের জন্য প্রযোজ্য?
(ক) বয়েলের সূত্র (খ) গে-লুসাকের সূত্র
(গ) চার্লসের সূত্র (খ) ডাল্টনের সূত্র



১৪। কোনটি পরমশূন্য তাপমাত্রা? [মা. বো. ২০১৯; রা. বো. '১৬; য. বো. ২০১৬]
(ক) 0°C (খ) – 273°C (গ) 25°C (ঘ) 273K

১৫। তত্ত্বীয়ভাবে কোন তাপমাত্রায় গ্যাসের আয়তন শূন্য হয়? [রা. বো. ২০১৭]
(ক) –270°C (খ) –273°C (গ) –100°C (ঘ) –100 K

১৬। আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৬]
(ক) $PV = nRT$ (খ) $PV = \frac{1}{3} mNc^2$ (গ) $PV = RT$ (ঘ) $P_1V_1 = P_2V_2$

১৭। আদর্শ গ্যাসের গতীয় সমীকরণ কোনটি? [মা. বো. ২০১৭]
(ক) $PV = nRT$ (খ) $PV = \frac{1}{3} mNc^2$ (গ) $PV = RT$ (ঘ) $PV = P_1V_1$

১৮। SATP -তে কোনো গ্যাসের মোলার আয়তন কত? [সি. বো. ২০১৯; ঢা. বো. ২০১৬; কু. বো. ২০১৬]
(ক) 22.4 L (খ) 42.2 L (গ) 74.4 L (ঘ) 24.789 L

১৯। STP-তে 1 mol SO_2 গ্যাসের আয়তন কত? [ব. বো. ২০১৫]
(ক) 22.4 L (খ) 24.789 L (গ) 224 L (ঘ) 22400 dm^3

২০। গ্যাসের ঘনত্ব নির্ণয়ের সমীকরণ কোনটি? [ব. বো. ২০১৬]
(ক) $d = \frac{RM}{PT}$ (খ) $d = \frac{RT}{PM}$ (গ) $d = \frac{PM}{RT}$ (ঘ) $d = \frac{PT}{RM}$

২১। L.atm এককে R এর মান কোনটি?
(ক) 0.082 Latm mol^{-1} K^{-1} (খ) 8.314 J $mol^{-1}K^{-1}$
(গ) 8.32×10^7 erg mol^{-1} K^{-1} (ঘ) 1.987 cal mol^{-1} K^{-1}

২২। SI এককে R এর মান কোনটি? [সি. বো. ২০১৭]
(ক) 0.082 Latm mol^{-1} K^{-1} (খ) 8.314 J $mol^{-1}K^{-1}$
(গ) 8.32×10^7 erg mol^{-1} K^{-1} (ঘ) 1.987 cal mol^{-1} K^{-1}

২৩। C.G.S এককে R এর মান কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৭]
(ক) 8.316 erg K^{-1} mol^{-1} (খ) 8.316×10^7 erg mol^{-1} K^{-1}
(গ) 8.316 J mol^{-1} K^{-1} (ঘ) 8.316×10^2 erg K^{-1} mol^{-1}

২৪। মোলার গ্যাস ধ্রুবক (R) এর মাত্রা কোনটি? [কু. বো. ২০১৫]
(ক) কাজ$^{-1}$ K^{-1} মোল$^{-1}$ (খ) কাজ K^{-1} মোল$^{-1}$ (গ) কাজ K^{-1} মোল (ঘ) কাজ$^{-1}$ K মোল$^{-1}$

২৫। SI এককে বোল্টজম্যান ধ্রুবকের মান কত? [সি. বো. ২০১৬]
(ক) 6.023×10^{23} (খ) 6.023×10^{-23} (গ) 1.38×10^{-23} (ঘ) 1.36×10^{-25}

২৬। 1 atm = কত প্যাসকেল ? [কু. বো. ২০১৬]
(ক) 1.01325×10^2 (খ) 1.01325×10^{-2} (গ) 1.01325×10^5 (ঘ) 1.01325×10^{-5}

২৭। স্থির তাপমাত্রায় গ্যাসের চাপ বাড়ালে ঘনত্বের মান কীরূপ হয়? [রা. বো. ২০১৬]
(ক) বাড়ে (খ) কমে (গ) শূন্য হয় (ঘ) অপরিবর্তিত থাকে

২৮। 18°C তাপমাত্রায় 0.8 atm চাপে কোনো গ্যাসের ঘনত্ব 2.25 gL^{-1} হলে এর আণবিক ভর কত ? [চ. বো. ২০১৬]
(ক) 67.11 g mol^{-1} (খ) 36.24 g mol^{-1} (গ) 24.36 g mol^{-1} (ঘ) 36.63 g mol^{-1}

২৯। প্রমাণ অবস্থায় 1 mol গ্যাসের আয়তন কত? [য. বো. ২০১৫]
(ক) 22.4 m^3 (খ) 22.4×10^{-3} m^3 (গ) 22400 m^3 (ঘ) 22.4×10^3 m^3

৩০। 25°C তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের ক্ষেত্রে চাপ 1 atm হলে $\frac{1}{V}$ এর মান 0.05 L হয়। $\frac{1}{V}$ এর মান 0.042 হলে তখন চাপ (P) এর মান কত হবে? [কু. বো. ২০১৯; ঢা. বো. ২০১৬]

(ক) 0.05 atm (খ) 20 atm (গ) 0.035 atm (ঘ) 0.84 atm

৩১। A ও B গ্যাসের মোল সংখ্যা যথাক্রমে 10 ও 30 এর মিশ্রণের মোট চাপ 12 atm হলে A গ্যাসের আংশিক চাপ কত হবে? [কু. বো. ২০১৫]

(ক) 3.0 atm (খ) 9 atm (গ) 16 atm (ঘ) 48 atm

৩২। বায়ুমণ্ডলে N_2 এর আংশিক চাপ কত? [চ. বো. ২০১৫]

(ক) 1.0 atm (খ) 0.78 atm (গ) 0.21 atm (ঘ) 0.14 atm

৩৩। 1.032 g অক্সিজেন ও 0.573 g CO_2 এর মিশ্রণের CO_2 এর মোল ভগ্নাংশ কত?

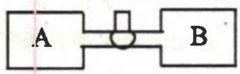
(ক) 0.713 (খ) 0.8323 (গ) 0.287 (ঘ) 0.1677

৩৪। সমভরের CH_4 ও H_2 -কে শূন্যপাত্রে 25°C এ রাখা হলো। H_2 এর আংশিক চাপ মোট চাপের ভগ্নাংশ কোনটি?

(ক) $\frac{1}{2}$ (খ) $\frac{1}{9}$ (গ) $\frac{8}{9}$ (ঘ) $\frac{16}{17}$

৩৫। পার্শ্বের গ্যাসপাত্রের স্টপ কক খোলা অবস্থায় মোট চাপ; P = 200 mm (Hg) হয় n_A = 6 mol, n_B =14 mol,

✧ উদ্দীপকের ক্ষেত্রে A গ্যাসের আংশিক চাপ হবে কত? [কু. বো. ২০১৬, ২০১৯]



(ক) 60 mm (Hg) (খ) 80 mm (Hg)

(গ) 120 mm (Hg) (ঘ) 140 mm (Hg)

৩৬। STP-তে 3.2 g একটি গ্যাস 2.24 L আয়তন দখল করলে গ্যাসটি হতে পারে কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৭]

(ক) CO (খ) CO_2 (গ) N_2 (ঘ) O_2

৩৭। 0.5 মোল N_2 এবং 0. 3 মোল O_2 একত্রে মেশানো হলো। O_2 এর মোল ভগ্নাংশ কত? [রা. বো. ২০১৭]

(ক) 0.089 (খ) 0.215 (গ) 0.317 (ঘ) 0.375

৩৮। 6 মোল O_2 এবং 14 মোল N_2 একত্রে মেশানো হলো। মিশ্রিত গ্যাসের চাপ 200 mm(Hg) হলে O_2 এর আংশিক চাপ কত? [রা. বো. ২০১৭]

(ক) 50 mm(Hg) (খ) 55 mm(Hg) (গ) 60 mm(Hg) (ঘ) 65 mm(Hg)

৩৯। গ্যাসের ব্যাপন হারের সাথে সম্পর্ক আছে কোনটি? [রা. বো. ২০১৬]

(ক) তুল্যভরের (খ) পারমাণবিক ভরের (গ) আণবিক ভরের (ঘ) গ্রা.পা.ভরের

৪০। 25 cm কাচ নলের ১ম মুখে HCl ও ২য় মুখে NH_3 গ্যাস একসাথে ঢুকলে NH_4Cl এর সাদা ধোঁয়া সৃষ্টি হয় কোথায় ?

(ক) নলের মাঝখানে (খ) ১ম মুখ থেকে 15 cm ভেতরে

(গ) ১ম মুখ থেকে 10 cm ভেতরে (ঘ) 12 cm ভেতরে

৪১। নিচের কোনটি গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র? [সি. বো. ২০১৬]

(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) $r \propto \sqrt{M}$

৪২। নিচের কোন গ্যাসটির ব্যাপন হার বেশি? [সি. বো. ২০১৬]

(ক) HCl (খ) NH_3 (গ) CH_4 (ঘ) Cl_2

৪৩। একই শর্তাধীন নিচের কোন গ্যাসটি ব্যাপিত হতে অধিক সময় লাগবে? [ঢা. বো. ২০১৬]

(ক) SO_2 (খ) CO_2 (গ) HCl (ঘ) NH_3

৪৪। নিচের কোন গ্যাসটির ব্যাপন হার সর্বাধিক? [কু. বো. ২০১৫]
(ক) NH_3 (খ) CH_4 (গ) N_2 (ঘ) CO

৪৫। নিচের কোন গ্যাসটির ব্যাপন হার সর্বাধিক? [সি. বো. ২০১৬]
(ক) CO_2 (খ) O_2 (গ) H_2 (ঘ) NH_3

৪৬। কোনটির ব্যাপন হার বেশি? [দি. বো. ২০১৬]
(ক) NH_3 (খ) C_2H_6 (গ) CO_2 (ঘ) O_2

৪৭। কোন গ্যাসদ্বয়ের ব্যাপন হার সমান? [সি. বো. ২০১৭]
(ক) N_2 ও CO (খ) C_2H_4 ও O_2 (গ) N_2 ও O_2 (ঘ) CO ও O_2

৪৮। 27°C তাপমাত্রায় কোন গ্যাসটির RMS গতিবেগ বেশি? [দি. বো. ২০১৬]
(ক) N_2 (খ) H_2 (গ) O_2 (ঘ) Cl_2

৪৯। STP-তে O_2 গ্যাসের RMS বেগ কত? [ব. বো. ২০১৯; ঢা. বো. ২০১৭]
(ক) 46.134 ms^{-1} (খ) 461.34 ms^{-1} (গ) 561.34 ms^{-1} (ঘ) 600.5 ms^{-1}

৫০। 27°C তাপমাত্রায় O_2 এর RMS বেগ কত? [দি. বো. ২০১৭]
(ক) 453.23 ms^{-1} (খ) 463.34 ms^{-1} (গ) 473.45 ms^{-1} (ঘ) 483.56 ms^{-1}

৫১। স্থির তাপমাত্রায় RMS বেগের সঠিক ক্রম কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৬]
(ক) $H_2 > N_2 > CO_2$ (খ) $CO_2 > N_2 > H_2$
(গ) $N_2 > CO_2 > H_2$ (ঘ) $N_2 > H_2 > CO_2$

৫২। কোন গ্যাসটি দ্রুত ব্যাপিত হবে? [য. বো. ২০১৬]
(ক) ফ্লোরিন (খ) অক্সিজেন (গ) নিয়ন (ঘ) ক্লোরিন

৫৩। 1 মোল গ্যাসের গতিশক্তি কোনটি? [ব. বো. ২০১৭]
(ক) $\frac{3RT}{2N_A}$ (খ) $\frac{3nRT}{2}$ (গ) $\frac{3 \times R}{2}$ (ঘ) $\frac{3RT}{2}$

৫৪। 17°C তাপমাত্রায় এক মোল N_2 এর গতিশক্তি কত? [চ. বো. ২০১৬]
(ক) 3606.59 জুল (খ) 3616.59 জুল (গ) 5936.16 জুল (ঘ) 5916.36 জুল

৫৫। কক্ষতাপমাত্রায় N_2 এর ১টি অণুর গতিশক্তি কত আর্গ? [সি. বো. ২০১৬]
(ক) 6.209×10^{-20} (খ) 6.580×10^{-18} (গ) 6.098×10^{-4} (ঘ) 6.17×10^{-14}

৫৬। কক্ষতাপমাত্রায় N_2 এর ১টি অণুর গতিশক্তি হয় কত? [চ. বো. ২০১৫]
(ক) 617.13×10^{23} J (খ) 617.13×10^{-23} J (গ) 671.13×10^{-23} J (ঘ) 671.13×10^{23} J

৫৭। 29°C তাপমাত্রায় 3.0 g N_2 এর মোট গতিশক্তি কত? [কু. বো. ২০১৫]
(ক) 403 J (খ) 806 J (গ) 831 J (ঘ) 1612 J

৫৮। দুটি গ্যাসের গড় গতিশক্তি কখন সমান হয়? [রা. বো. ২০১৫]
(ক) চাপ সমান (খ) আণবিক ভর সমান (গ) তাপমাত্রা সমান (ঘ) আয়তন সমান

৫৯। 44 g CO_2 এর জন্য আদর্শ গ্যাস সমীকরণ কোনটি? [চ. বো. ২০১৬]
(ক) PV = RT (খ) PV = 4RT (গ) PV = 2RT (ঘ) 2PV = RT

৬০। 8.0 g He গ্যাসের জন্য আদর্শ গ্যাস সমীকরণ কোনটি? [ব. বো. ২০১৯; দি. বো. ২০১৫]
(ক) PV = nRT (খ) PV = RT (গ) PV = 2RT (ঘ) 2PV = RT

৬১। 4.0 g H_2 গ্যাসের জন্য আদর্শ সমীকরণ কোনটি? [সি. বো. ২০১৭]

(ক) $PV = nRT$ (খ) $PV = RT$ (গ) $PV = 2RT$ (ঘ) $PV = 4RT$

৬২। 4.0 g He গ্যাসের জন্য ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণ কোনটি? [চ. বো. ২০১৭]

(ক) $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$ (খ) $\left(P + \frac{2a^2}{V^2}\right)(V - 2b) = 3RT$

(গ) $\left(P + \frac{4a}{V^2}\right)(V - 2b) = 2RT$ (ঘ) $\left(P + \frac{2a}{V^2}\right)(V - 2b) = 2RT$

৬৩। 28.0 g N_2 গ্যাসের জন্য ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণ কোনটি? [দি. বো. ২০১৭]

(ক) $\left(P + \frac{4a}{V^2}\right)(V - 2b) = 2RT$ (খ) $\left(P + \frac{n^2a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$

(গ) $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$ (ঘ) $\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = nRT$

৬৪। ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণের ধ্রুবক 'a' দ্বারা কী বোঝায়? [রা. বো. ২০১৬]

(ক) গ্যাসের গতিশক্তি (খ) আন্তঃআণবিক আকর্ষণ (গ) গ্যাসের আয়তন (ঘ) আন্তঃআণবিক বিকর্ষণ

৬৫। কোন শর্তে একটি বাস্তব গ্যাস আদর্শ গ্যাসের মতো আচরণ করে? [য. বো. ২০১৬; কু. বো. ২০১৯]

(ক) উচ্চতাপমাত্রা ও নিম্নচাপে (খ) উচ্চতাপমাত্রা ও উচ্চচাপে

(গ) নিম্নতাপমাত্রা ও উচ্চচাপে (ঘ) নিম্নতাপমাত্রা ও নিম্নচাপে

৬৬। আদর্শ গ্যাসের সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক, Z এর মান কোনটি? [ব. বো. ২০১৬]

(ক) 3.0 (খ) 2.0 (গ) 1.0 (ঘ) 0.5

৬৭। নিচের কোন গ্যাসটির সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক, $Z > 1$ হয়? [ব. বো. ২০১৬]

(ক) H_2 (খ) Cl_2 (গ) CO_2 (ঘ) NH_3

৬৮। নিচের কোন গ্যাসটির সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক, $Z < 1$ হয়?

(ক) H_2 (খ) He (গ) CH_4 (ঘ) Ne

৬৯। CNG স্টেশনে ব্যবহৃত প্রাকৃতিক গ্যাসে মিথেনের পরিমাণ কত? [চ. বো. ২০১৭]

(ক) 79% (খ) 88% (গ) 90% (ঘ) 96%

৭০। বজ্রপাতের সময় বায়ুমণ্ডলের কোন্ গ্যাসটি সক্রিয় হয় ?

(ক) CO_2 (খ) N_2 (গ) H_2 (ঘ) Ar

৭১। বজ্রপাতের সময় যেকোনো স্থানের বায়ুমণ্ডলে কোন এসিডটি উৎপন্ন হয়?

(ক) H_2SO_4 (খ) $HClO_3$ (গ) H_3PO_4 (ঘ) HNO_3

(খ) পরিবেশ দূষণ ও এর প্রভাবভিত্তিক :

৭২। নিচের কোনটি প্রাইমারি দূষক?

(ক) SO_3 (খ) N_2O_5 (গ) NO (ঘ) HNO_3

৭৩। নিচের কোনটি সেকেন্ডারি দূষক? [সি. বো. ২০১৬]

(ক) CO_2 (খ) CO (গ) SO_2 (ঘ) O_3

৭৪। ফটোকেমিক্যাল স্মোগ তৈরিতে কোন বায়ুদূষক ভূমিকা রাখে না?

(ক) হাইড্রোকার্বন (খ) NO_2 (গ) O_3 (ঘ) CFC

৭৫। গ্রিন হাউস গ্যাসসমূহের মধ্যে নিচের কোনটি বায়ুমণ্ডলে সবচেয়ে বেশি থাকে? [ব. বো. ২০১৫]

(ক) CH_4 (খ) CO_2 (গ) O_3 (ঘ) CFC

৭৬। নিচের কোনটি গ্রিন হাউস গ্যাস হিসাবে অধিক দায়ী? [চ. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬]

(ক) CFC (খ) CO_2 (গ) CH_4 (ঘ) O_3

৭৭। বায়ুমণ্ডলে তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে কোন গ্যাসটির ভূমিকা সবচেয়ে বেশি? [ব. বো. ২০১৬]

(ক) CO_2 (খ) NO_2 (গ) CH_4 (ঘ) NH_3

৭৮। বৈশ্বিক উষ্ণতা সৃষ্টিতে প্রধান ভূমিকা রাখে কোনটি? [রা. বো. ২০১৫; সি. বো. ২০১৭]

(ক) CO_2 (খ) CFC (গ) জলীয়বাষ্প (ঘ) ওজোন

৭৯। ফ্রিয়ন-12 এর সংকেত কোনটি?

(ক) CF_3Cl (খ) CCl_3F (গ) CCl_2F_2 (ঘ) $F_2ClC{-}CClF_2$

৮০। ওজোন ক্ষয় করে কোনটি?

(ক) CF_2Cl_2 (খ) HCl (গ) HFC (ঘ) HCFC

৮১। এসিড বৃষ্টির বেলায় অধঃক্ষেপণ বৃষ্টিতে pH মান কত থাকে?

(ক) 5.2 (খ) 6.5 (গ) 6.1 (ঘ) 2.7

৮২। এসিড বৃষ্টির জন্য দায়ী কোনটি? [য. বো. ২০১৫]

(ক) O_2 (খ) CO (গ) CO_2 (ঘ) SO_2

৮৩। কোন এসিডটি বেশি তীব্র এসিড? [চ. বো. ২০১৬]

(ক) CH_3COOH (খ) CH_3CH_2COOH (গ) $CH_3CH_2CH_2COOH$ (ঘ) $H{-}COOH$

৮৪। HCO_3^- এর অনুবন্ধী ক্ষারক কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০১৫]

(ক) H_2CO_3 (খ) CO (গ) CO_3^{2-} (ঘ) CO_2

৮৫। সবচেয়ে তীব্র এসিডের pK_a এর মান কোনটি? [ব. বো. ২০১৭]

(ক) 1 (খ) 2 (গ) 3 (ঘ) 4

৮৬। নিচের কোন জোড়া লুইস এসিড? [রা. বো. ২০১৯; সি. বো. ২০১৭]

(ক) H_2O ও $AlCl_3$ (খ) $AlCl_3$ ও BCl_3 (গ) BF_3 ও NH_3 (ঘ) NH_3 ও $AlCl_3$

৮৭। কোনটি তীব্র এসিড? [মা. বো. ২০১৭]

(ক) HNO_3 (খ) HNO_2 (গ) H_2SO_4 (ঘ) H_2SO_3

৮৮। লুইস এসিডের উদাহরণ কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৭]

(ক) $AlCl_3$ (খ) H_2SO_4 (গ) H_2O (ঘ) NH_3

৮৯। NO_2^- এর অনুবন্ধী এসিড কোনটি? [ব. বো. ২০১৬]

(ক) HNO_3 (খ) HNO_2 (গ) HNO_2^- (ঘ) NO_3^-

৯০। নিচের কোনটি লুইস ক্ষারক? [য. বো. ২০১৫]

(ক) $AlCl_3$ (খ) CO (গ) $FeCl_3$ (ঘ) SO_3

৯১। $HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons$ উৎপাদ; এ বিক্রিয়ায় H_2O এর অনুবন্ধী অম্ল কোনটি? [কু. বো. ২০১৫]

(ক) HCO_3^- (খ) H_2CO_3 (গ) CO_3^{2-} (ঘ) H_3O^+

৯২। $H_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + H_3O^+$; এ বিক্রিয়ার অনুবন্ধী অম্ল জোড় কোনটি? [ব. বো. ২০১৫]
(ক) H_2CO_3, HCO_3^- (খ) H_3O^+, H_2CO_3 (গ) H_3O^+, H_2O (ঘ) H_2O, HCO_3^-

৯৩। $H_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + H_3O^+$; এ বিক্রিয়ার H_2CO_3 এর অনুবন্ধী ক্ষারক কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৯]
(ক) HCO_3^- (খ) H_2CO_3 (গ) H_3O^+ (ঘ) H_2O

৯৪। $NH_3 + HCl \rightleftharpoons NH_4^+ + Cl^-$; এ বিক্রিয়ায় অনুবন্ধী অম্ল কোনটি? [ব. বো. ২০১৫]
(ক) NH_3 (খ) Cl^- (গ) HCl (ঘ) NH_4^+

৯৫। বাংলাদেশে মিঠা পানির প্রধান উৎস কোনটি? [রা. বো. ২০১৬]
(ক) সমুদ্রের পানি (খ) ভূগর্ভস্থ পানি (গ) নদীর পানি (ঘ) পুকুরের পানি

৯৬। একটি পুকুরের পানির DO এর মান 4.0 হলে পানিটি হবে কোনটি? [রা. বো. ২০১৬]
(ক) বিশুদ্ধ পানি (খ) দূষিত পানি (গ) মৃদু পানি (ঘ) খর পানি

৯৭। মাঝে মাঝে পুকুরের মাছ পানির ওপরের অংশে হা করে শ্বাস নেয়। এ অবস্থার কারণ কী? [ঢা. বো. ২০১৫]
(ক) পানির pH এর মান 7 এর বেশি (খ) পানিতে DO এর মান খুব কম
(গ) পানির TDS এর মান কম (ঘ) পানির খরতার মান বেশি

৯৮। কোন ধরনের দূষক পানির DO এর মান হ্রাস করে? [রা. বো. ২০১৫]
(ক) অজৈব দূষক (খ) জৈব দূষক (গ) তেজস্ক্রিয় দূষক (ঘ) কণাজাতীয় দূষক

৯৯। কৃষিকাজে সারফেস ওয়াটারের উপযুক্ততার মানদণ্ড কোনটি? [সি. বো. ২০১৭]
(ক) TDS (খ) pH এর মান (গ) COD (ঘ) BOD

১০০। CO_2 এর দুটি প্রধান সিংক (Sink) নিচের কোনটি? [য. বো. ২০১৭]
(ক) উদ্ভিদ ও বাতাস (খ) সমুদ্র ও উদ্ভিদ (গ) বনভূমি ও মাটি (ঘ) উদ্ভিদ ও জীবাশ্ম জ্বালানি

১০১। বাংলাদেশে পানীয় জলে আর্সেনিকের গ্রহণযোগ্য মাত্রা কত? [চ. বো. ২০১৬; মা. বো. ২০১৬]
(ক) 0.10 ppm (খ) 0.05 ppm (গ) 0.05 g/L (ঘ) 0.01 ppm

১০২। WHO এর নির্দেশনা মতে পানিতে আর্সেনিকের নিরাপদ মাত্রা কত? [রা. বো. ২০১৭]
(ক) 0.01 ppm (খ) 0.04 ppm (গ) 0.05 ppm (ঘ) 0.06 ppm

১০৩। WHO এর মতে পানিতে আর্সেনিকের সর্বোচ্চ সহনীয় মাত্রা কত ppm? [ঢা. বো. ২০১৯]
(ক) 0.05 ppm (খ) 0.01 ppm (গ) 0.005 ppm (ঘ) 0.001 ppm

১০৪। বায়ুতে H_2S এর কত ppm মাত্রা মানুষের মৃত্যু ঘটাতে পারে? [সি. বো. ২০১৬]
(ক) 20 ppm (খ) 30 ppm (গ) 40 ppm (ঘ) 50 ppm

১০৫। CO এর সহনীয় মাত্রা কত? [চ. বো. ২০১৬]
(ক) 40 ppm (খ) 0.15 ppm (গ) 500 ppm (ঘ) 1000 ppm

১০৬। মানব শরীরে নিচের কোন ধাতুর আয়নের আধিক্যে রক্তে হিমোগ্লোবিন উৎপাদন বাধা প্রাপ্ত হয়? [কু. বো. ২০১৫]
(ক) Cd (খ) Cr (গ) Fe (ঘ) As

১০৭। মানব শরীরে কোন ভারী ধাতুর আয়নের কারণে ব্ল্যাক-ফুট ডিজিজ হয়?
(ক) Pb (খ) As (গ) Cd (ঘ) Cr

১০৮। মানব শরীরে কোন ধাতুর আয়নের আধিক্যের কারণে হাড় ভঙ্গুর বা, অস্টিওপোরোসিস রোগ হয়? [কু. বো. ২০১৯]
(ক) As^{3+} (খ) Cr^{3+} (গ) Pb^{2+} (ঘ) Cd^{2+}

১০৯। কোন ভারী ধাতুর আয়নের পানীয় জল দূষণের কারণে শিশুর বুদ্ধিবৃত্তি বা IQ হ্রাস পায়?
(ক) As^{3+} (খ) Cr^{3+} (গ) Pb^{2+} (ঘ) Cd^{2+}

বিভিন্ন বিশ্ববিদ্যালয়, বুয়েট ও মেডিকেলে ভর্তি পরীক্ষায় MCQ's

১১০। কোন অবস্থায় বাস্তব গ্যাস বয়েলের সূত্র মেনে চলে? [মেডিকেল ২০১৬]
(ক) নিম্নতাপমাত্রায় (খ) 0°C তাপমাত্রায় (গ) কক্ষতাপমাত্রায় (ঘ) উচ্চতাপমাত্রায়

১১১। অ্যাভোগাড্রো সূত্রের গাণিতিক রূপ কোনটি? [জা. বি. ২০১৬]
(ক) $P \alpha T$ (n, V স্থির) (খ) $V\alpha \frac{1}{p}$ (n, T স্থির) (গ) $V\alpha T$ (n, P স্থির) (ঘ) $V \alpha n$ (P,T স্থির)

১১২। গে-লুসাকের চাপের সূত্রের গাণিতিক রূপ কোনটি? [জা. বি. ২০১৬]
(ক) $V \alpha n$ (P, T স্থির) (খ) $P \alpha T$ (n, V স্থির) (গ) $V \alpha T$ (n, P স্থির) (ঘ) $V \alpha \frac{1}{p}$ (n,T স্থির)

১১৩। নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের চাপ অর্ধেকে হ্রাস ও তাপমাত্রা দ্বিগুণ করা হলে আয়তন কত হবে? [রা. বি. ২০১৬]
(ক) পূর্বের সমান (খ) পূর্বের দ্বিগুণ (গ) এক-চতুর্থাংশ (ঘ) কোনোটিই নয়

১১৪। স্থির তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে নির্দিষ্ট ভরের অক্সিজেন গ্যাসের আয়তন 3.15 L হয়। 2.5 atm চাপে ঐ গ্যাসের আয়তন কত হবে? [রা. বি. ২০১৬]
(ক) 1.62 L (খ) 216 L (গ) 621 L (ঘ) 1.26 L

১১৫। নিচের কোন সূত্রটি আদর্শ গ্যাসের জন্য গুরুত্বপূর্ণ নয়? [বুয়েট ২০১৬]
(ক) গে-লুসাকের সূত্র (খ) রাউল্টের সূত্র (গ) গ্রাহামের সূত্র (ঘ) অ্যাভোগোড্রো সূত্র

১১৬। নিচের কোন সমীকরণটি গ্যাসের গতিতত্ত্ব থেকে উদ্ভূত? [বুয়েট ২০১৬]
(ক) $c = \sqrt{\frac{3R}{M}}$ (খ) $PV = \frac{2K}{3}$ (গ) $V = \sqrt{\frac{8R}{M}}$ (ঘ) $PV = \frac{1}{3} mNc^2$

১১৭। ভ্যানডার ওয়ালস সমীকরণে ধ্রুবক 'a' এর সাথে সম্পর্কযুক্ত কোনটি? [বুয়েট ২০১৬]
(ক) আন্তঃআণবিক আকর্ষণ (খ) আন্তঃআণবিক বিকর্ষণ
(গ) অণুসমূহের প্রকৃত আয়তন (ঘ) এক্ষেত্রে (খ) ও (গ) উভয়েই

১১৮। বোল্টজম্যান ধ্রুবকের একক কোনটি? [ঢা. বি. ২০১৬]
(ক) $J. (molecule)^{-1}$ (খ) J.s (গ) $J.K^{-1}$ (ঘ) gcm^{-1}

১১৯। 300 K তাপমাত্রায় বাতাসের N_2 অণুর RMS বেগ কত? [য. বো. ২০১৯; ঢা. বি. ২০১৬]
(ক) $450\ ms^{-1}$ (খ) $516\ ms^{-1}$ (গ) $400\ ms^{-1}$ (ঘ) $600\ ms^{-1}$

১২০। নিচের কোনটি ওজোনস্তর ধ্বংসের জন্য দায়ী নয়? [ঢা. বি. ২০১৬]
(ক) UV-রশ্মি (খ) CFC-12 (গ) Cl (ঘ) CO

১২১। নিচের কোন যৌগটি ফ্রিয়ন-12 নামে পরিচিত? [জা. বি. ২০১৬]
(ক) CF_2Cl_2 (খ) $CFCl_3$ (গ) CHF_2Cl (ঘ) $CHFCl_2$

১২২। ফটোকেমিকেল স্মোগ তৈরিতে কোন বায়ু দূষক ভূমিকা রাখে না? [মেডিকেল ২০১৬]
(ক) NO_2 (খ) CFC (গ) হাইড্রোকার্বন (ঘ) O_3

১২৩। কোনটিকে নীরব ঘাতক বলা হয়? [জা. বি. ২০১৬]
(ক) CO (খ) SO_2 (গ) $KMnO_4$ (ঘ) NH_3

১২৪। নিচের কোনটি লুইস এসিড? [ঢা. বি. ২০১৭]
(ক) HNO_3 (খ) H_2SO_4 (গ) $AlCl_3$ (ঘ) NH_3

২০১৮ সালের সকল শিক্ষা বোর্ডের অভিন্ন প্রশ্ন (MCQ's)

১২৫। তাপমাত্রার সাথে গ্যাসের আয়তনের পরিবর্তন হয় কোনটিতে? [অভিন্ন প্রশ্ন. ২০১৮]
(ক) বয়েলের সূত্র (খ) চার্লসের সূত্র (গ) ডাল্টনের আংশিক চাপ সূত্র (ঘ) গ্রাহামের ব্যাপন সূত্র

১২৬। (i) $HCl + HCO_3^- \rightleftharpoons H_2CO_3 + Cl^-$; (ii) $HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + CO_3^{2-}$
উদ্দীপক অনুসারে উভধর্মী পদার্থ কোনটি? [কু. বো. ২০১৯; অভিন্ন প্রশ্ন. ২০১৮]
(ক) HCl (খ) H_2O (গ) HCO_3^- (ঘ) CO_3^-

১২৭। নিচের কোনটি লুইস এসিড? [অভিন্ন প্রশ্ন. ২০১৮]
(ক) NH_3 (খ) $AlCl_3$ (গ) H_2O (ঘ) C_2H_4

১২৮। FGD প্লান্টের মাধ্যমে কোনটি দূর করা যায় না? [অভিন্ন প্রশ্ন. ২০১৮]
(ক) SO_x (খ) NO_x (গ) CO_2 (ঘ) CO

১২৯। নিচের কোন মানটি দূষিত পানির নির্দেশক? [অভিন্ন প্রশ্ন. ২০১৮]
(ক) p^H মান 6.4 – 7.4 (খ) DO মান 6 mgL^{-1} (গ) BOD মান 2 mgL^{-1} (ঘ) COD মান 100 mgL^{-1}

১৩০। STP-তে 1.0 L গ্যাসের ভর 1.43 g হলে গ্যাসটি হবে কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৯]
(ক) H_2 (খ) O_2 (গ) N_2 (ঘ) Cl_2

১৩১। He এর উৎক্রম তাপমাত্রা কত? [ঢা. বো. ২০১৯]
(ক) 240°C (খ) 80°C (গ) – 80°C (ঘ) – 240°C

১৩২। $V_t = (V_o + V_o \times t/273)$ সমীকরণে $V_o/273$ কে কী বলা হয়? [ঢা. বো. ২০১৯]
(ক) তাপ প্রসারাঙ্ক (খ) আয়তন প্রসারাঙ্ক (গ) পরম আয়তন (ঘ) পরম তাপমাত্রা

১৩৩। হাইড্রোকার্বন দূষকযুক্ত বায়ুকে দূষক মুক্ত করতে নিচের কোন মাধ্যমে চালনা করা উচিত? [ঢা. বো. ২০১৯]
(ক) এসিড (খ) ক্ষার (গ) তেল (ঘ) পানি

১৩৪। পানির অস্থায়ী খরতার জন্য দায়ী কোনটি? [রা. বো. ২০১৯]
(ক) SO_4^{2-} (খ) CO_3^{2-} (গ) Cl^- (ঘ) HCO_3^-

১৩৫। অ্যামাগা বক্ররেখার মূলভিত্তি কোনটি? [রা. বো. ২০১৯]
(ক) $V\alpha \frac{1}{P}$ (খ) $V\alpha T$ (গ) $V\alpha \frac{1}{\sqrt{d}}$ (ঘ) $P\alpha T$

১৩৬। অনুবন্ধী অম্লক্ষারক যুগলের মধ্যে পার্থক্য কী ? [য. বো. ২০১৯]
(ক) ১টি H পরমাণু (খ) ১টি H^+ আয়ন (গ) ১ অণু পানি (ঘ) ১টি OH^- আয়ন

১৩৭। WHO কর্তৃক অনুমোদিত পানীয় জলের p^H মাত্রা কত ? [সি. বো. ২০১৯]
(ক) 3.5 – 6.4 (খ) 6.5 – 8.5 (গ) 7.5 – 9.4 (ঘ) 9.5 – 10.5

১৩৮। CO_2 গ্যাসের সন্ধিচাপ কত atm ? [সি. বো. ২০১৯]
(ক) 31.1 (খ) 72.9 (গ) 76 (ঘ) 760

❑ বহুপদি সমাপ্তিসূচক প্রশ্ন (Multiple Completion MCQ) :

(ক) বায়ুমণ্ডল ও গ্যাস সূত্রভিত্তিক :

১৫১। ট্রপোস্ফিয়ারে বায়ু-দূষণের প্রধান কারণ হলো—
(i) জীবাশ্ম জ্বালানির দহনে উৎপন্ন SO_2, CO_2, NO_2 গ্যাস; (ii) পারক্সি অ্যাসাইল নাইট্রেট মিশ্র বায়ু দূষক;
(iii) ক্লোরিন মনোঅক্সাইড মুক্ত মূলক;

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১৫২। ট্রপোস্ফিয়ারের বৈশিষ্ট্যের মধ্যে—

(i) 12 km উচ্চতায়-বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা – 55°C হয়; (ii) এতে তাপমাত্রা ওপর দিকে কমতে থাকে;

(iii) এতে চাপমাত্রা ক্রমাগত কমতে থাকে;

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৫৩। স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে জেট বিমান চলাচলের কারণ—

(i) এ অঞ্চলে ঝড়-বৃষ্টি থাকে না; (ii) বায়ুর চাপ 10 mm(Hg) থেকে 1 mm(Hg) থাকে;

(iii) বায়ুর ঘনত্ব কম হওয়ায় জেট বিমানে বায়ুর ঘর্ষণ কম হয়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৫৪। ওজোন স্তর—

(i) স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে 20 – 40 km ওপরে থাকে:

(ii) UV রশ্মির প্রভাবে O_2 থেকে O_3 গঠিত হয়

(iii) ওজোন গ্যাস ট্রপোস্ফিয়ারে কম উচ্চতায় বায়ু দূষকরূপে কাজ করে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৫৫। ঘূর্ণিঝড়ের জন্য দায়ী উপাদান— [ঢা. বো. ২০১৫]

(i) বায়ুর চাপ (ii) বায়ুর ঘনত্ব (iii) তাপমাত্রা

নিচের কোনটি সঠিক?

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

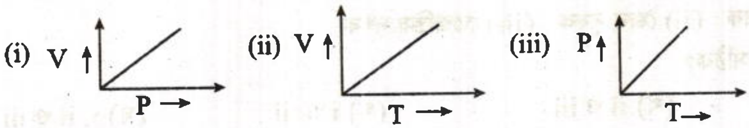
১৫৬। নির্দিষ্ট চাপে নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন তত্ত্বীয়ভাবে শূন্য হয়— [ব. বো. ২০১৫; রা. বো. ২০১৭]

(i) 0 K তাপমাত্রায় (ii) – 273°C তাপমাত্রায় (iii) 0°C তাপমাত্রায়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

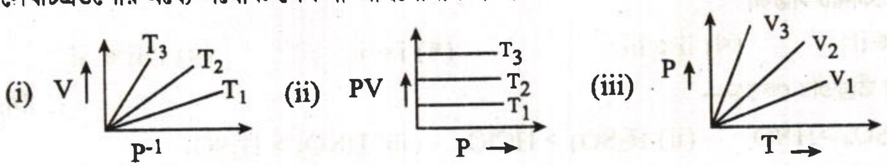
১৫৭। নিচের তিনটি লেখচিত্র লক্ষ্য করো; গ্যাস সূত্র মতে নিচের লেখচিত্রগুলো— [ব. বো. ২০১৭]



নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৫৮। নিচের লেখচিত্রগুলোর মধ্যে সমোষ্ণ লেখ বা আইসোথার্ম হলো—



নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৫৯। আদর্শ গ্যাসসমূহের জন্য— [য. বো. ২০১৭]

(i) গ্যাস অণুগুলোর মধ্যে আকর্ষণ বল থাকে না (ii) STP-তে এক মোল গ্যাসের আয়তন 22.4 L হয়

(iii) পাত্রের আয়তনের তুলনায় গ্যাস অণুসমূহের মোট আয়তন নগণ্য

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৬০। ডাল্টনের আংশিক চাপ সূত্র কার্যকর হবে— [রা. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৬]

(i) উচ্চচাপে (ii) নিম্ন চাপে (iii) স্থিরতাপমাত্রায়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

(খ) পরিবেশ দূষণ ও এর প্রভাবভিত্তিক :

১৬১। সারফেস ওয়াটারের বিশুদ্ধতায় মানদণ্ড— [য. বো. ২০১৬]

(i) পানির খরতা (ii) পানির p^H (iii) পানির TDS

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৬২। বায়ুদূষণের কারণ— [ঢা. বো. ২০১৫]

(i) দাবানল (ii) ডিডিটি (iii) ফটোকেমিক্যাল স্মোগ

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৬৩। FGD প্লান্টে ফ্লু-গ্যাসের SO_2 গ্যাস শোষণ বিক্রিয়া হলো—

(i) $Ca(OH)_2 + SO_2 \longrightarrow CaSO_3 + H_2O$ (ii) $2H_2S + SO_2 \longrightarrow 2H_2O + 3S$

(iii) $CaCO_3 + SO_2 \longrightarrow CaSO_3 + CO_2$

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১৬৪। নিচের দূষক পানির DO এর পরিমাণ কমায়— [কু. বো. ২০১৬]

(ii) অজৈব দূষক (ii) জৈব দূষক (iii) তেজস্ক্রিয় দূষক

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৬৫। প্রাকৃতিক গ্যাস + $O_2 \longrightarrow A + H_2O$; A যৌগটি— [দি. বো. ২০১৫]

(i) গ্রিন হাউস প্রভাবের কারণ (ii) ইউরিয়া উৎপাদনে ব্যবহৃত হয় (iii) নিরপেক্ষ অক্সাইড

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৬৬। এসিডের তীব্রতার ক্ষেত্রে— [সি. বো. ২০১৬]

(i) $H_2SO_4 > HNO_2$ (ii) $H_2SO_4 > HClO_4$ (iii) $HNO_3 > H_2SO_3$

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৬৭। ব্রনস্টেড-লাউরি এসিড হলো — [রা. বো. ২০১৫]

(i) H_3O^+ (ii) NH_4^+ (iii) H_2O

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৬৮। NH_3 ক্ষারধর্মী যৌগ; কারণ — [চ. বো. ২০১৬]

(i) জোড়া ইলেকট্রন দাতা (ii) এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে (iii) প্রোটন গ্রহীতা

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৬৯। খাদ্য শৃঙ্খলে ভারী ধাতুর আয়ন যুক্ত হলে মানুষের শরীরে—

(i) Cr^{3+} আয়ন দূষণের ফলে অ্যানিমিয়া রোগ হয়

(ii) Pb^{2+} আয়ন দূষণের ফলে শিশুর IQ বা বুদ্ধিবৃত্তি হ্রাস পায়

(iii) Cd^{2+} আয়ন দূষণের ফলে অস্থি ভঙ্গুর রোগ হয়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৭০। মানবদেহে Cd^{2+} আয়ন দ্বারা Ca^{2+} আয়নের প্রতিস্থাপনের ফলে— [সি. বো. ২০১৫]

(i) হাড় ক্ষয়প্রাপ্ত হয় (ii) হাড় ভঙ্গুর হয় (iii) হাড়ের প্রাণ-রাসায়নিক ক্রিয়া ব্যাহত হয়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৭১। Cd^{2+} আয়ন দ্বারা Ca^{2+} আয়নের প্রতিস্থাপনের ফলে মানবদেহে—

(i) জাপানে 'ইটাই ইটাই' রোগ দেখা দেয় (ii) অস্থির মধ্যে ছিদ্রযুক্ত অস্টিওপোরোসিস রোগ হয়

(iii) ব্লাড ক্যান্সার হতে পারে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৭২। লেডের বিষক্রিয়া—

(i) WHO মতে লেডের পরিমাণ 50 ppb এর বেশি হলে লেডের বিষক্রিয়া ঘটে

(ii) As এর মতো Pb এর বিষক্রিয়ায় গর্ভবতী মহিলা মৃত সন্তান জন্ম দেয়

(iii) Cr এর মতে Pb হিমোগ্লোবিন উৎপাদনে বাধা দেয়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৭৩। আর্সেনিকের বিষক্রিয়া—

(i) WHO মতে As এর জীবদেহে সহ্যসীমা 0.5 ppm (ii) আর্সেনিকের ক্রনিক বিষক্রিয়ায় 'ব্ল্যাক-ফুট ডিজিজ' হয়

(iii) আর্সেনিকের দূষণে ফুসফুস ক্যান্সার হয়ে থাকে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৭৪। দূষক পদার্থ বায়ুতে ও পানিতে দ্রবীভূত হওয়ার কৌশল—

(i) CO_2 , SO_2 , SO_3 , Cr^{3+} আয়নসমূহ দূষিত পানিতে আয়ন ডাইপোল বল দ্বারা আকৃষ্ট থাকে

(ii) ট্যানারির লোমনাশক অ্যামিন ($R-NH_2$) পানিতে H বন্ধন দ্বারা আকৃষ্ট থাকে

(iii) বায়ু দূষক CO_2, SO_2, SO_3 এর সাথে N_2 ও O_2 এর মধ্যে ডাইপোল-আবিষ্ট ডাইপোল বল কার্যকর থাকে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৭৫। বৈশ্বিক উষ্ণতা হ্রাসে— [ঢা. বো. ২০১৯]

(i) পেট্রোলিয়াম জ্বালানির ব্যবহার বাড়াতে হবে (ii) কার্বন নিঃসরণ কমাতে হবে

(iii) অধিক হারে বনায়ন করতে হবে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৭৬। টেক্সটাইল শিল্প —বর্জ্য পানি→ নদী ; তখন নদীর পানিতে— [কু. বো. ২০১৯]

(i) DO হ্রাস পায় (ii) BOD হ্রাস পায় (iii) TDS বাড়ে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৭৭। খাদ্য শৃঙ্খলের মাধ্যমে মানুষের শরীরে Cd ধাতুর অনুপ্রবেশের ফলে— [য. বো. ২০১৯]

(i) উচ্চ রক্তচাপ (ii) অস্থি ভঙ্গুরতা (iii) ফুসফুস আক্রান্ত হয়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৭৮। গ্যাসের গতিশক্তি নির্ভর করে— [য. বো. ২০১৯]

(i) তাপমাত্রার ওপর (ii) P ও V এর ওপর (iii) গ্যাসের প্রকৃতির ওপর

নিচের কোনটি সঠিক?

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

❐ অভিন্ন তথ্যভিত্তিক প্রশ্ন (Situation Set MCQ)

** নিচের উদ্দীপক অনুসারে ১৮০ ও ১৮১ নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

সমআয়তনবিশিষ্ট চারটি ফ্লাস্কে যথাক্রমে He, Ne, Ar ও Kr গ্যাস আছে। প্রতি ফ্লাস্কে গ্যাসের চাপ সমান। [ঢা. বো. ২০১৬]

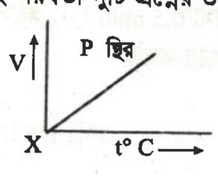
১৮০। কোন ফ্লাস্কে গ্যাসের ঘনত্ব সবচেয়ে বেশি?

(ক) ১ম (খ) ২য় (গ) ৩য় (ঘ) ৪র্থ

১৮১। কোন ফ্লাস্কে সবচেয়ে বেশি সংখ্যক পরমাণু থাকবে?

(ক) ১ম (খ) ২য় (গ) ৩য় (ঘ) সব ফ্লাস্কে সমান

** নিচের উদ্দীপকটি অনুধাবন করো এবং পরবর্তী দুটি প্রশ্নের উত্তর দাও : [ঢা. বো. ২০১৬; রা. বো. ২০১৬]



১৮২। 'X' বিন্দুতে তাপমাত্রা কত?

(ক) −300°C (খ) −273°C (গ) −100°C (ঘ) 0°C

১৮৩। 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 করো এবং ১৮৪ ও ১৮৫ নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [ব. বো. ২০১৫]

পাত্র-A	পাত্র-B	পাত্র-C
10 g N_2 t = 25°C	10 g O_2 t = 25°C	10 g CO_2 t = 25°C

১৮৪। উদ্দীপকে প্রদত্ত গ্যাসের অণুসমূহের গতিশক্তির ক্রম নিচের কোনটি?

(ক) $N_2 > O_2 > CO_2$ (খ) $O_2 > CO2 > N2$ (গ) $O_2 > N_2 > CO_2$ (ঘ) $CO_2 > N_2 > O_2$

১৮৫। B পাত্রের গ্যাসটির অণুর r.m.s বেগ কত?

(ক) 481.94 ms^{-1} (খ) 471.86 ms^{-1} (গ) 15.24 cms^{-1} (ঘ) 0.1513 cms^{-1}

**17°C তাপমাত্রায় 105 kPa চাপে 0.60 L H_2 গ্যাস পানির ওপর সংগ্রহ করা হলো। 17°C এ জলীয়বাষ্পের চাপ 3.25 kPa হয়। ওপরের তথ্য থেকে নিচের ১৮৬ ও ১৮৭ নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

১৮৬। শুষ্ক H_2 গ্যাসের চাপ কত হবে?

(ক) 105 kPa (খ) 101.325 kPa (গ) 101.750 kPa (ঘ) 108.25 kPa

১৮৭। STP -তে ঐ H_2 গ্যাসের আয়তন কত হবে?

(ক) 0.06 L (খ) 0.567 L (গ) 0.65 L (ঘ) 0.569 L

বহুনির্বাচনি প্রশ্নাবলির উত্তরমালা

❐ **সাধারণ বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তর :**

১। গ	২। গ	৩। ঘ	৪। ঘ	৫। ক	৬। খ	৭। ক	৮। খ	৯। গ	১০। ঘ
১১। খ	১২। খ	১৩। গ	১৪। খ	১৫। খ	১৬। ক	১৭। খ	১৮। ঘ	১৯। ক	২০। গ
২১। ক	২২। খ	২৩। খ	২৪। খ	২৫। গ	২৬। গ	২৭। ক	২৮। ক	২৯। খ	৩০। ঘ
৩১। ক	৩২। খ	৩৩। গ	৩৪। গ	৩৫। ক	৩৬। ঘ	৩৭। ঘ	৩৮। গ	৩৯। গ	৪০। গ
৪১। ক	৪২। গ	৪৩। ক	৪৪। খ	৪৫। গ	৪৬। ক	৪৭। ক	৪৮। খ	৪৯। খ	৫০। ঘ
৫১। ক	৫২। গ	৫৩। ঘ	৫৪। খ	৫৫। ক	৫৬। খ	৫৭। ক	৫৮। গ	৫৯। ক	৬০। গ
৬১। গ	৬২। ক	৬৩। গ	৬৪। খ	৬৫। ক	৬৬। গ	৬৭। ক	৬৮। গ	৬৯। ঘ	৭০। খ
৭১। ঘ	৭২। গ	৭৩। ঘ	৭৪। ঘ	৭৫। খ	৭৬। খ	৭৭। ক	৭৮। ক	৭৯। গ	৮০। ক
৮১। ক	৮২। ঘ	৮৩। ঘ	৮৪। গ	৮৫। ক	৮৬। খ	৮৭। গ	৮৮। ক	৮৯। খ	৯০। খ
৯১। ঘ	৯২। খ	৯৩। ক	৯৪। ঘ	৯৫। খ	৯৬। ক	৯৭। খ	৯৮। খ	৯৯। খ	১০০। খ
১০১। খ	১০২। ক	১০৩। ক	১০৪। ঘ	১০৫। খ	১০৬। খ	১০৭। খ	১০৮। ঘ	১০৯। গ	১১০। ঘ
১১১। ঘ	১১২। খ	১১৩। ঘ	১১৪। ঘ	১১৫। খ	১১৬। ঘ	১১৭। ক	১১৮। ক	১১৯। খ	১২০। ঘ
১২১। ক	১২২। খ	১২৩। ক	১২৪। গ	১২৫। খ	১২৬। গ	১২৭। খ	১২৮। ঘ	১২৯। ঘ	১৩০। খ
১৩১। ঘ	১৩২। খ	১৩৩। গ	১৩৪। ঘ	১৩৫। ক	১৩৬। খ	১৩৭। খ	১৩৮। খ		

❑ বহুপদি সমাপ্তিসূচক প্রশ্নের উত্তর :

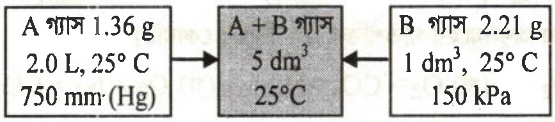
১৫১। ক ১৫২। ঘ ১৫৩। ঘ ১৫৪। ঘ ১৫৫। ঘ ১৫৬। ক ১৫৭। খ ১৫৮। ক ১৫৯। ঘ ১৬০। খ
১৬১। ঘ ১৬২। গ ১৬৩। ঘ ১৬৪। ক ১৬৫। ক ১৬৬। গ ১৬৭। ঘ ১৬৮। ঘ ১৬৯। ঘ ১৭০। ঘ
১৭১। ক ১৭২। ঘ ১৭৩। খ ১৭৪। ঘ ১৭৫। খ ১৭৬। গ ১৭৭। খ ১৭৮। গ

❑ অভিন্ন তথ্যভিত্তিক প্রশ্নের উত্তর :

১৮০। ঘ ১৮১। ঘ ১৮২। খ ১৮৩। খ ১৮৪। ক ১৮৫। ক ১৮৬। গ ১৮৭। খ

(ঘ) বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [সি. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬]



এক্ষেত্রে A গ্যাস ও B গ্যাস দুটি আদর্শ গ্যাসের মতো আচরণ করে।

(ক) পরমশূন্য তাপমাত্রা কী?

(খ) Pb ধাতু কীভাবে রক্তের হিমোগ্লোবিন তৈরিতে বাধা দেয়?

(গ) উদ্দীপকের A গ্যাস ও B গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ নির্ণয় করো। [উঃ 0.68344 atm]

(ঘ) A গ্যাস ও B গ্যাসের মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি হবে? তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

২। উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [চ. বো. ২০২১; য. বো. ২০২১]

(ক) লুকাস বিকারক কী?

(খ) দেখাও যে, 1F = 96500 কুলম্ব।

(গ) উদ্দীপকের স্টপকক খুলে দিলে গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ নির্ণয় করো।

(ঘ) CH_4 গ্যাসের ব্যাপন হার 'A' গ্যাসের ব্যাপন হারের 1.66 গুণ; গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

৩। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [অনুরূপ: ঢা. বো. ২০২২; ব. বো. ২০১৬]

1.0 atm, 300 mL A = 0.39 g t = 30° C	1.5 atm, 500 mL B = 0.85 g t = 30° C

(ক) COD কী?

(খ) পানি একটি উভধর্মী যৌগ; ব্যাখ্যা করো।

(গ) A গ্যাস ও B গ্যাসকে এক লিটার পাত্রে রাখা হলে মিশ্রিত গ্যাসের মোট চাপ কত হবে? [উঃ 1.05 atm]

(ঘ) A গ্যাস ও B গ্যাস দুটির মধ্যে কোনটির ব্যাপন হার বেশি হবে.তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

৪। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [কু. বো. ২০২৩]

A গ্যাস 20°C-এ 0.745 g 576 mm (Hg) 600 mL	B গ্যাস STP-তে ঘনত্ব 1.75 g L^{-1}

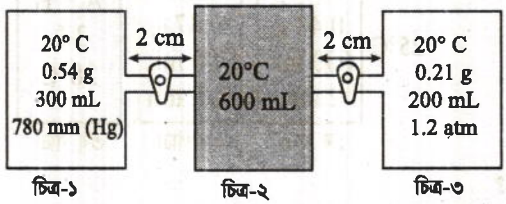
(ক) কাইরাল কার্বন কাকে বলে?

(খ) মোলার দ্রবণের ঘনমাত্রা তাপমাত্রা নির্ভরশীল; ব্যাখ্যা করো।

(গ) 30° C-এ 2 L আয়তনের পাত্রে A ও B গ্যাসদ্বয়কে মিশ্রিত করলে তখন গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ নির্ণয় করো।

(ঘ) 1.0 মিটার দৈর্ঘ্যের কাচনলের দুই প্রান্ত দিয়ে A ও B গ্যাস প্রবেশ করালে নলের ভেতরে ঠিক কোন দূরত্বে গ্যাস দুটি মিলিত হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

৫। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [ঢা. বো. ২০১৯]



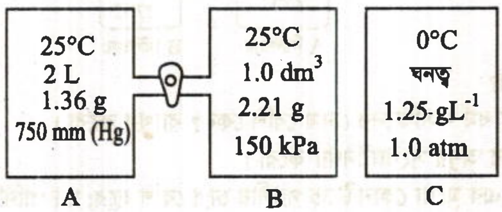
(ক) ন্যানোকণা কাকে বলে?

(খ) HSO_4^- এর অনুবন্ধী ক্ষারক কী? ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপকের পাত্র-১ এর গ্যাসের অণুর সংখ্যা নির্ণয় করো।

(ঘ) স্টপকক্ খোলা অবস্থায় পাত্র-১ ও পাত্র-২ হতে পাত্র-৩ এ কোন গ্যাসটি আগে পৌছবে? গাণিতিকভাবে তা বিশ্লেষণ করো। [সমাধানকৃত সমস্যা-১.৫৭ দেখো]

৬। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [সি. বো. ২০২২; রা. বো. ২০১৯]



(ক) মোলার দ্রবণ কাকে বলে?

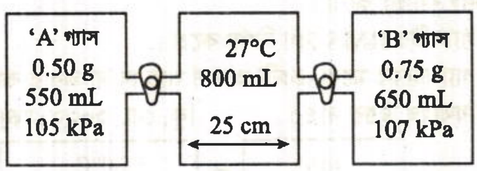
(খ) কার্বন মনোক্সাইডকে নীরব ঘাতক বলা হয় কেন?

(গ) 30°C তাপমাত্রায় A ও B গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ নির্ণয় করো।

(ঘ) একই তাপমাত্রায় ও প্রদত্ত চাপে B ও C পাত্রের গ্যাসদ্বয়ের মধ্যে কোনটি অধিক হারে ব্যাপিত হবে; তা বিশ্লেষণ করো।

[উঃ $M_B = 36.48$, $M_C = 28$; $r_B = 1.29\, r_c$]

৭। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [য. বো. ২০১৯]



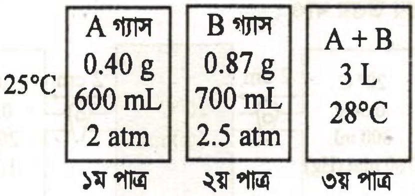
(ক) ব্যাপনের সংজ্ঞা লেখ।

(খ) HSO_4^- আয়ন উভধর্মী; ব্যাখ্যা করো।

(গ) একই সময়ে স্টপকক খুলে দিলে গ্যাসদ্বয় কত দূরত্বে মিলিত হবে? ব্যাখ্যা করো।

(ঘ) মিশ্রিত অবস্থায় কোন গ্যাসটি বেশি চাপ দিবে, তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

৮। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [চ. বো. ২০২৩]



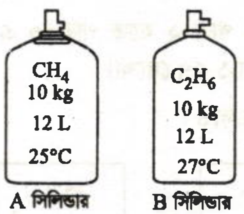
(ক) পরমশূন্য তাপমাত্রা কী?

(খ) নমুনা পানির COD এর মান BOD অপেক্ষা বেশি হয় কেন? ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপকের ৩য় পাত্রে গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ কত হবে? গণনা করো।

(ঘ) উদ্দীপকের কোন গ্যাসটির ব্যাপন হার বেশি হবে? গাণিতিক যুক্তি দাও।

৯। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [মা. বো. ২০১৯]



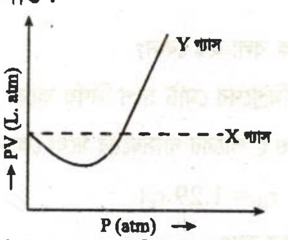
(ক) এসিড বৃষ্টি কাকে বলে?

(খ) অ্যামোনিয়ার ক্ষারকীয় ধর্ম ফসফিনের চেয়ে বেশি কেন? ব্যাখ্যা করো।

(গ) 'A' সিলিন্ডারে গ্যাসের অণুর সংখ্যা নির্ণয় করো।

(ঘ) 'A' ও 'B' সিলিন্ডার এর মধ্যে কোনটিতে গ্যাসীয় চাপ বেশি হবে; তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

১০। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের যথাযথ উত্তর দাও : [দি. বো. ২০১৯]



['Y' গ্যাস চুনাপাথরের বিয়োজনে উৎপন্ন হয়।]

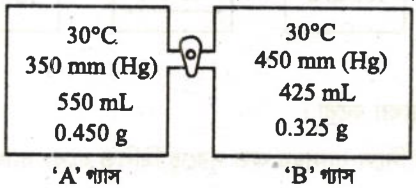
(ক) COD কাকে বলে?

(খ) $FeCl_3$ লুইস এসিড কেন? ব্যাখ্যা করো।

(গ) 27°C তাপমাত্রায় 'Y' গ্যাসটির RMS বেগ নির্ণয় করো।

(ঘ) উদ্দীপকের 'X' ও 'Y' গ্যাসদ্বয়ের মধ্যে একটি আদর্শ আচরণ না করার কারণ সমীকরণসহ বিশ্লেষণ করো।

১১। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের যথাযথ উত্তর দাও : [কু. বো. ২০২২; অনুরূপ: চ. বো. ২০২২; সি. বো. ২০১৯]



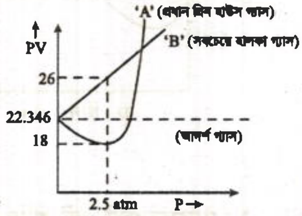
(ক) অনুরণন কী?

(খ) মোলার দ্রবণ তাপমাত্রার ওপর নির্ভরশীল কীনা তা ব্যাখ্যা করো।

(গ) স্টপকক্ খোলা অবস্থায় 40°C তাপমাত্রায় গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ নির্ণয় করো।

(ঘ) উদ্দীপকের 'A' ও 'B' গ্যাসের মধ্যে কোনটি আদর্শ গ্যাসের আচরণ হতে বিচ্যুতি বেশি দেখাবে তা বিশ্লেষণ করো।

১২। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের যথাযথ উত্তর দাও : [চ. বো. ২০১৯]



[0°C-এ প্রতি মোল গ্যাসের PV বনাম P লেখ]

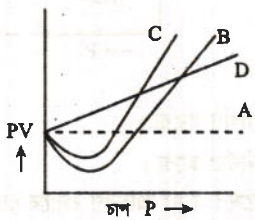
(ক) লুকাস বিকারক কী?

(খ) সাধারণ তাপমাত্রায় H_2 গ্যাসে জুল থম্‌সন সম্প্রসারণে কী পরিবর্তন হয়; তা ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপকের 'A' গ্যাসটির RMS বেগ নির্ণয় করো।

(ঘ) উদ্দীপক মতে, আদর্শ গ্যাসের আচরণ থেকে 'A' ও 'B' গ্যাসের বিচ্যুতির প্রকৃতি গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

১৩। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [রা. বো. ২০২৩]



[এক্ষেত্রে 'B' গ্যাসটি চুনাপাথর বিয়োজনে উৎপন্ন হয়]

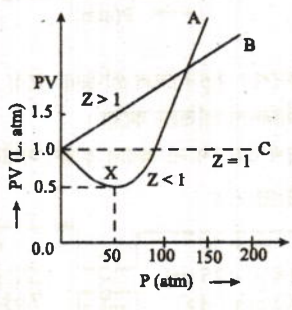
(ক) টটোমারিজম কী?

(খ) NaCl এর জলীয় দ্রবণের প্রকৃতি ব্যাখ্যা করো।

(গ) 27°C তাপমাত্রায় 11g B গ্যাসের গতিশক্তি নির্ণয় করো।

(ঘ) উদ্দীপকের A গ্যাস থেকে B, C, D গ্যাসের বিচ্যুতির কারণ ব্যাখ্যা করো।

১৪। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের যথাযথ উত্তর দাও : [রা. বো. ২০১৯]



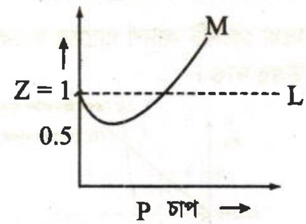
(ক) বাস্তব গ্যাস কাকে বলে?

(খ) HSO_4^- আয়ন উভধর্মী কেন?

(গ) STP-তে X বিন্দুতে গ্যাসের আয়তন নির্ণয় করো।

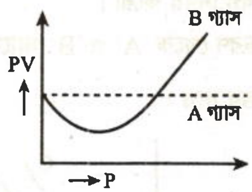
(ঘ) উদ্দীপকের A, B ও C গ্যাসের সংকোচনশীলতা গুণাঙ্ক (Z) এর মানের ভিন্নতার কারণ বিশ্লেষণ করো।

১৫। নিচের চিত্রের M গ্যাসটি চুনাপাথরের তাপ বিয়োজনে উৎপন্ন হয়। [সদৃশ য. বো. ২০২৩; ব. বো. ২০১৭]



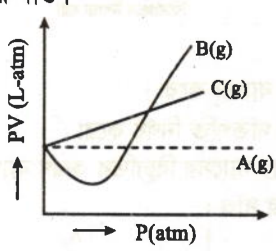
(ক) SATP কী?
(খ) পানির স্থায়ী ক্ষমতার কারণ কী?
(গ) 27°C তাপমাত্রায় উদ্দীপকের 5.5 g M গ্যাসের মোট গতিশক্তি বের করো।
(ঘ) উদ্দীপকের একটি গ্যাস আদর্শ আচরণ না করার কারণ সমীকরণসহ বিশ্লেষণ করো।

১৬। উদ্দীপকের B গ্যাসটি গ্রিন হাউস প্রভাব সৃষ্টির জন্য দায়ী। [ঢা. বো. ২০২১, ২০২২; অনুরূপ: রা. বো. ২০২২; দি. বো. ২০২২]



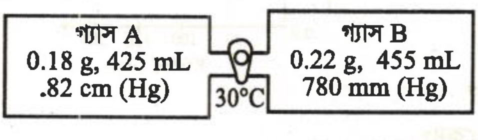
(ক) আংশিক চাপ কাকে বলে?
(খ) HCO_3^- একটি উভধর্মী পদার্থ; ব্যাখ্যা করো।
(গ) 27° C-এ B গ্যাসের গতিশক্তি নির্ণয় করো। [উঃ 374.13 J mol^{-1}]
(ঘ) কোন কোন শর্তে B গ্যাস A গ্যাসের ন্যায় আচরণ করবে? তা ব্যাখ্যা করো।

১৭। নিচের উদ্দীপক মতে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ঢা. বো. ২০২৩]



(ক) লুকাস বিকারক কী?
(খ) চার্লসের সূত্র থেকে তাপমাত্রা প্রকাশের নতুন স্কেল প্রতিষ্ঠা করো।
(গ) উদ্দীপকের A গ্যাসের অবস্থার সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করো।
(ঘ) উদ্দীপকের B ও C গ্যাসের আদর্শ আচরণ না করার কারণ সমীকরণসহ বিশ্লেষণ করো।

১৮। নিচের উদ্দীপক ভিত্তিকসংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [ব. বো. ২০২৩]



(ক) দূষক কাকে বলে?
(খ) ইথান্যাল অ্যালডল ঘনীভবন বিক্রিয়া দেয়; ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপকের A গ্যাসটির আণবিক ভর হিসাব করো।

(ঘ) উদ্দীপকের গ্যাস মিশ্রণের চাপ 110 kPa হলে গ্যাস দুটি আদর্শ আচরণ করবে কীনা; বিশ্লেষণ করো।

১৯। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [কু. বো. ২০১৯]

$$(1)\ N_2(g) + O_2(gy) \xrightarrow{\text{বজ্রপাত}} B(g) \xrightarrow[50^\circ C]{O_2} D(g)$$

$$(2)\ CuS(s) + O_2(g) \xrightarrow{\Delta} CuO(s) + E(g)$$

$$(3)\ CH_4(g) + O_2(g) \xrightarrow{\Delta} H_2O(l) + Z(g)$$

(ক) কার্যকরী মূলক কাকে বলে?

(খ) ফুয়েল সেল পরিবেশবান্ধব কেন?

(গ) 30°C তাপমাত্রায় 'Z' গ্যাসের RMS বেগ নির্ণয় করো।

(ঘ) উদ্দীপকের (1) ও (2) নং বিক্রিয়ায় উৎপন্ন গ্যাসের মধ্যে কোনটি পরিবেশের জন্য উপকারী? বিশ্লেষণ করো।

[মূল পাঠ্যবই, রসায়ন –দ্বিতীয় পত্রের অনুচ্ছেদ–১.৯ দেখো]

২০। উদ্দীপকটির আলোকে নিচের প্রশ্নের উত্তর দাও : [য. বো. ২০১৫]

20°C তাপমাত্রায় একটি LPG গ্যাস সিলিন্ডারে 12 kg বিউটেন গ্যাস ভর্তি আছে। সিলিন্ডারটির আয়তন 20 L।

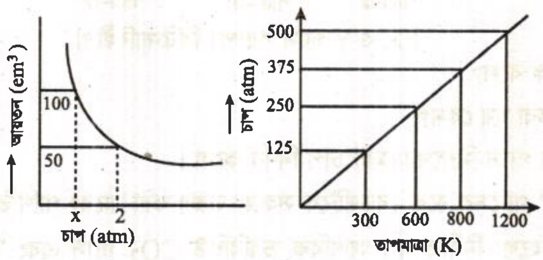
(ক) মোল ভগ্নাংশ কী?

(খ) বাস্তব গ্যাসের চাপ আদর্শ গ্যাসের চাপ অপেক্ষা কম কেন?

(গ) উদ্দীপক মতে গ্যাস সিলিন্ডারটির চাপ নির্ণয় করো। [উঃ 248.54 atm]

(ঘ) উদ্দীপকে উল্লিখিত সিলিন্ডারে গ্যাস ভর্তির সময় গ্যাসের কোন সূত্রের প্রয়োগ ঘটবে? তা ব্যাখ্যা করো।

২১। উদ্দীপক মতে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও: [সি. বো. ২০২৩]



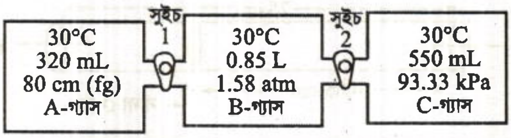
(ক) টাইটার কী?

(খ) অম্লীয় $KMnO_4$ জারক কেন? ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপক হতে X এর মান গণনা করো। গ্যাস সূত্রটি লেখ।

(ঘ) উদ্দীপকের লেখচিত্রগুলো বিশ্লেষণ করে প্রাপ্ত সূত্রদ্বয়ের তুলনা করো।

২২। নিচের উদ্দীপক মতে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [দি. বো. ২০২৩]



[A ও B গ্যাসের পাত্রদ্বয় 105 cm (Hg) চাপসহ্য করতে পারে]

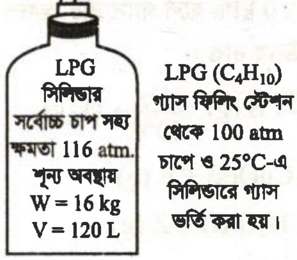
(ক) ফ্রি-রেডিকেল কাকে বলে?

(খ) ডেসিমোলার দ্রবণ প্রমাণ দ্রবণ কী; ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপকের A গ্যাসের গতিশক্তি নির্ণয় করো।

(ঘ) উদ্দীপকের সুইচ দুটির কোনটি প্রথমে খুলে দিলে দুর্ঘটনা ঘটতে পারে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

২৩। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের যথাযথ উত্তর দাও : [চ. বো. ২০১৯]



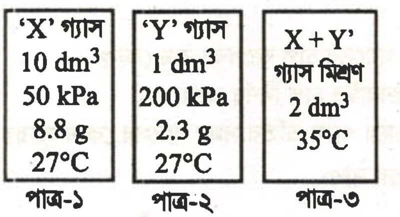
(ক) সংকট তাপমাত্রার সংজ্ঞা লেখ।

(খ) O_3 স্তর আমাদেরকে কীভাবে UV রশ্মি থেকে রক্ষা করে? ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপক মতে, গ্যাসভর্তি অবস্থায় সিলিন্ডারের ভর নির্ণয় করো।

(ঘ) কক্ষতাপমাত্রায় রক্ষিত গ্যাসভর্তি সিলিন্ডারটি 85°C তাপমাত্রায় বিস্ফোরিত হবে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। [সমাধানকৃত সমস্যা–১.৭১ দেখো]

২৪। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [দি. বো. ২০১৯]



[X ও Y গ্যাস পরস্পর বিক্রিয়াবিহীন]

(ক) ন্যানো পার্টিকেল কাকে বলে?

(খ) শিল্পে ETP ব্যবহার করা হয় কেন?

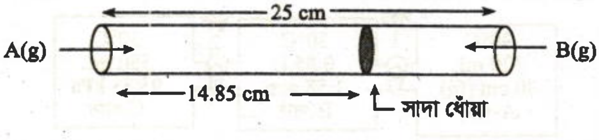
(গ) উদ্দীপকের ৩নং পাত্রে গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ নির্ণয় করো।

(ঘ) উদ্দীপকের 'X' ও 'Y' গ্যাসের মধ্যে কোনটিকে সহজে তরল করা যাবে? গাণিতিকভাবে তা বিশ্লেষণ করো।

[এক্ষেত্রে 'X' গ্যাস হলো নির্গীত 44 আণবিক ভরবিশিষ্ট CO_2 গ্যাস এবং 'Y' গ্যাস হলো 28.6 আণবিক ভরবিশিষ্ট N_2 গ্যাস।] [সমাধানকৃত সমস্যা– ১.৭২ দেখো। এক্ষেত্রে 'X' হবে 'C' গ্যাস 'Y' হবে 'B' গ্যাস]

২৫। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [রা. বো. ২০২২; অনুরূপঃ ব. বো. ২০২২; চ. বো. ২০১৬; মা. বো. ২০২৩]

$$NH_4Cl + CaO \xrightarrow{\Delta} A(g) + CaCl_2 + H_2O;\ C_2H_5OH + PCl_5 \longrightarrow B(g) + C_2H_5Cl + POCl_3$$



(ক) RMS বেগ কী?

(খ) SI এককে R এর মান গণনা করো।

(গ) উদ্দীপকের নলটিতে সংঘটিত বিক্রিয়ায় অনুবন্ধী এসিড ও ক্ষারকের ব্যাখ্যা করো।

(ঘ) উদ্দীপকটির গ্যাসের বিক্রিয়ায় সৃষ্ট সাদা ধোঁয়ার অবস্থান গ্যাসের কোন্ সূত্রকে সমর্থন করে তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

২৬। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [য. বো. ২০১৯]

উদ্দীপক : একটি বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্রে জ্বালানি হিসেবে 5% সালফারযুক্ত কয়লা ব্যবহার করা হয়। কারখানাটি প্রতি ঘণ্টায় 250 kg কয়লা ব্যবহার করে। বিদ্যুৎ উৎপাদনে চুল্লিতে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে :

কয়লা + O_2 (g) ⟶ A(g) [রৈখিক অণু] + B (g) ; A(g) + কলিচুন দ্রবণ ⟶ সাদা অধঃক্ষেপ

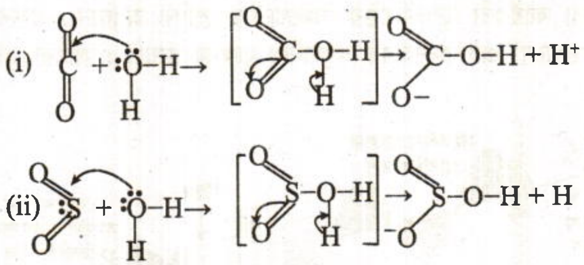
(ক) আংশিক পাতন কাকে বলে?

(খ) ভূ-গর্ভস্থ পানিতে আর্সেনিক দূষণ কীভাবে ঘটে? ব্যাখ্যা করো।

(গ) 25°C তাপমাত্রায় কারখানাটিতে প্রতিদিন কত ঘনমিটার 'B' যৌগ উৎপন্ন হচ্ছে?

(ঘ) উদ্দীপকের 'A' ও 'B' যৌগদ্বয় পরিবেশের জন্য হুমকিস্বরূপ; তা যুক্তিসহ ব্যাখ্যা করো।

২৭। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [ব. বো. ২০১৯]



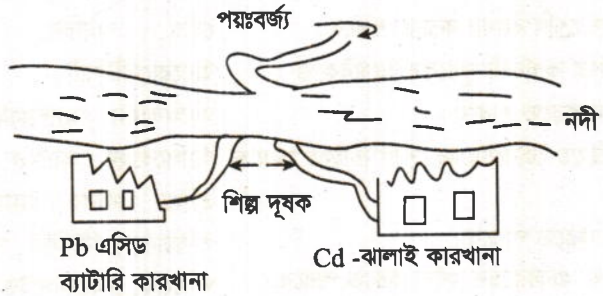
(ক) COD কাকে বলে?

(খ) হাকেল নীতি বলতে কী বুঝ?

(গ) কোন্ মতবাদ অনুসারে উদ্দীপকের বিক্রিয়া দুটিকে অম্ল-ক্ষারক বিক্রিয়ারূপে চিহ্নিত করা যায় তা ব্যাখ্যা করো।

(ঘ) পরিবেশের ওপর উদ্দীপকের গ্যাস দুটির বিরূপ প্রভাব সম্পর্কে তুলনামূলক বিশ্লেষণ করো।

২৮। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [ঢা. বো. ২০১৭]



(ক) এসিড বৃষ্টি কী?

(খ) গ্যাসের গতিশক্তি নির্ণয়ে r.m.s বেগ গড় বেগ অপেক্ষা অধিক উপযোগী কেন?

(গ) উদ্দীপকের নমুনা পানির BOD এর মান কীভাবে নির্ণয় করা যায়?

(ঘ) উদ্দীপকের অজৈব কঠিন দূষকসমূহ খাদ্য শৃঙ্খলে কীরূপে প্রভাব ফেলে তা ব্যাখ্যা করো।

$E_{cell} > 0$ বা ধনাত্মক হলে, তখন কোষ বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্ত হয়।

$E_{cell} = 0$ হলে, কোষ বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় রয়েছে; তখন ঐ কোষটি নিষ্ক্রিয় বা মৃত হয়েছে (The Cell is dead)।

$E_{cell} < 0$ বা ঋণাত্মক হলে, তখন কোষ বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্ত নয়।

SI এককে, তড়িৎ-বিভব হলো ভোল্ট (V) এবং বৈদ্যুতিক চার্জের একক হলো কুলম্ব (C)। শক্তি বা কাজের সংজ্ঞা মতে, এক ভোল্ট বিভব পার্থক্যের দুটি ইলেকট্রোডের মধ্যে এক কুলম্ব বিদ্যুৎ চার্জ প্রবাহের ফলে এক জুল (J) শক্তি-মুক্ত হয় বা সমতুল্য কাজ সম্পাদিত হয়। তাই 1V = 1J/C, ∴ 1J (কাজ) = 1V(তড়িৎ-বিভব) × 1C (তড়িৎ চার্জ)

কয়েকটি গ্যালভানিক বা ভোল্টায়িক কোষের কোষ বিভব হলো নিম্নরূপ :

(১) শুষ্ক কোষ বা ড্রাই ব্যাটারি (ফ্লাশ লাইট) : 1.50 V

(২) লেড-এসিড কার ব্যাটারি (6 সেল =12 V) : 2.00 V

(৩) ক্যালকুলেটর ব্যাটারি (মার্কারি) : 1.30 V

(৪) ক্যালকুলেটর সিলভার বাটন ব্যাটারি : 1.60 V

(৫) লিথিয়াম-আয়ন ল্যাপটপ ব্যাটারি : 3.70 V

(৬) হাইড্রোজেন ফুয়েল সেল ব্যাটারি : 1.23 V

৪.১০ তড়িৎদ্বার ও কোষের বিভব সংক্রান্ত নার্নস্ট সমীকরণ MAT: 23-24

Nernst Equation Related to EMF of Electrodes & Cell

প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব মান থেকে প্রমাণ কোষ বিভব গণনা করা সহজ। কিন্তু অধিকাংশ কোষের বেলায় সব উপাদান (components) প্রমাণ অবস্থায় বা standard states-এ থাকে না। এছাড়া কোষ বিক্রিয়া শুরুর সাথে দ্রবণের ঘনমাত্রা ও তাপমাত্রার পরিবর্তন ঘটে। আবার বিভিন্ন ব্যাটারিতে বিক্রিয়কসমূহের ঘনমাত্রা প্রমাণ অবস্থায় থাকে না। তাই জার্মান **রসায়নবিদ নার্নস্ট** প্রমাণ অবস্থায় অর্থাৎ তাপমাত্রা 25°C ও বিক্রিয়কের এক মোলার ঘনমাত্রায় (1 M) (standard states-এ) নির্ণীত ইলেকট্রোডের বিভব মান (E°)-এর সাথে অপ্রমাণ অবস্থায় (non-standard states-এ) ঐ ইলেকট্রোডের বিজারণ বিভব (E) মানের সম্পর্ক স্থাপন করেন। যেমন, **নার্নস্ট সমীকরণ** মতে, ডেনিয়েল কোষে অপ্রমাণ অবস্থায় **জিঙ্ক ইলেকট্রোড ও কপার ইলেকট্রোডের বিজারণ বিভব সম্পর্ক হলো নিম্নরূপ :**

$$E_{Zn^{2+}/Zn} = E^0_{Zn^{2+}/Zn} + \frac{RT}{2F} \ln [Zn^{2+}(aq)]$$

$$E_{Cu^{2+}/Cu} = E^o_{Cu^{2+}/Cu} + \frac{RT}{2F} \ln [Cu^{2+}(aq)]$$

MCQ-4.17: সক্রিয়তা সিরিজ মতে নিচের কোনটি সঠিক? [ব. বো. ২০১৫]
(ক) Al > Ni (খ) Zn > Mg
(গ) Fe > Na (ঘ) Cu > Sn

ডেনিয়েল কোষ বিক্রিয়াটি হলো : $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \xrightarrow[\text{or, 2F}]{2e^-} Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$

কোষ বিভব, $E_{cell} = E_{cathode(red)} - E_{anode(red)}$

$$\therefore E_{cell} = \left\{E^o_{Cu^{2+}/Cu} + \frac{RT}{2F} \ln [Cu^{2+}(aq)]\right\} - \left\{E^0_{Zn^{2+}/Zn} + \frac{RT}{2F} \ln [Zn^{2+}(aq)]\right\}$$

$$= \left\{E^o_{Cu^{2+}/Cu} - E^0_{Zn^{2+}/Zn}\right\} + \frac{RT}{2F} \ln \frac{[Cu^{2+}(aq)]}{[Zn^{2+}(aq)]}$$

$$\therefore E_{cell} = E^0_{cell} - \frac{2.303RT}{2F} \log \frac{[Zn^{2+}(aq)]}{[Cu^{2+}(aq)]} ;$$

(ক) তড়িৎকোষ বিভবের নার্নস্ট সমীকরণ

যেকোনো কেলভিন তাপমাত্রা (T) এবং অর্ধকোষদ্বয়ের তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের যেকোনো মোলার ঘনমাত্রাসহকারে তৈরি করা তড়িৎকোষের বিভব (E) এর সাথে প্রমাণ অবস্থায় ঐ অর্ধকোষ দ্বারা সৃষ্ট প্রমাণ কোষ বিভব (E°) এর সম্পর্কযুক্ত এক সমীকরণ **রসায়নবিদ নার্নস্ট** প্রতিষ্ঠা করেন। **কোষ বিভব সংক্রান্ত নার্নস্ট সমীকরণটি নিম্নরূপ :**

$$E_{cell} = E^{\circ}_{cell} - \frac{RT}{nF}\ \ln Q = E^{\circ}_{cell} - \frac{2.303RT}{nF}\ \log Q,\ \text{এক্ষেত্রে}\ Q = \frac{[\text{উৎপাদ আয়ন}]^x}{[\text{বিক্রিয়ক আয়ন}]^y}$$

x ও y হলো জারণ-বিজারণ (REDOX) সমীকরণে উভয় আয়নের সহগ।

এখানে $R = 8.314\ JK^{-1}\ (mol\ r \times n)^{-1}$, $[r \times n = reaction]$; $T = 298\ K$, প্রতি মোল বিক্রিয়ার মোল ইলেকট্রন সংখ্যা, $F = 96500\ C = 96500\ J.\ (V.\ mol.\bar{e}\ )^{-1}$ ধরে $2.303\ RT/F = 0.0592\ V$ হয়। উপরোক্ত সমীকরণে মান বসিয়ে পাই,

$$\therefore\ E_{cell} = E^{0}_{cell} - \frac{0.0592V}{n} \times \log Q$$

উদাহরণ-১। ডেনিয়েল কোষের বেলায়, কোষ ডায়াগ্রাম: $Zn\ (s)\ /\ Zn^{2+}\ (aq)\ |\ Cu^{2+}\ (aq)\ /\ Cu\ (s)$

ডেনিয়েল কোষের বিক্রিয়া : $Zn\ (s) + Cu^{2+}\ (aq) \xrightarrow[\text{or, 2F}]{2e^-} Zn^{2+}\ (aq) + Cu\ (s)$

$\therefore$ নার্নস্ট সমীকরণ মতে, $E_{cell} = E^{0}_{cell} - \dfrac{0.0592\ V}{2}\ \log \dfrac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$; এখানে, $Q = \dfrac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$

প্রমাণ অবস্থায়, অর্থাৎ $T = 298\ K$ এবং $[Zn^{2+}] = [Cu^{2+}] = 1\ M$ হলে $Q = 1$,

তখন ডেনিয়েল কোষটির বিভব হবে, $E_{cell} = E^{\circ}_{cell} - \dfrac{0.0592V}{2}\ \log \dfrac{1M}{1M}$; বা, $E_{cell} = E^{\circ}_{cell} + 0$

প্রমাণ অবস্থায় ডেনিয়েল কোষের বিভব, $E^{\circ}_{cell} = 1.10\ V$।

যদি $[Zn^{2+}] < [Cu^{2+}]$ তখন $Q < 1$ এবং কোষটির বিভব 1.10V থেকে বেশি হবে। যেমন, যদি $[Zn^{2+}] = 1.0 \times 10^{-4}\ M$ এবং $[Cu^{2+}] = 2.0\ M$ হয়, তখন **ডেনিয়েল কোষটির কোষ বিভব হবে :**

$$E_{cell} = E^{\circ}_{cell} - \frac{0.0592V}{2}\ \log \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]} = 1.10V - \frac{0.0592\ V}{2} \times \log \frac{1.0 \times 10^{-4}}{2.0}$$

$$E_{cell} = 1.10V - 0.0296 \times (-4.30)\ V = 1.10V + 0.127\ V = \boxed{1.23\ V}$$

উদাহরণ-২। একযোজী ও দ্বিযোজী আয়নবিশিষ্ট তড়িৎকোষের বেলায় কোষ ডায়াগ্রাম, কোষ বিক্রিয়া ও নার্নস্ট সমীকরণ মতে e. m. f প্রকাশ নিম্নরূপে করা হয় :

কোষ ডায়াগ্রাম : $Ni\ (s)\ /Ni^{2+}\ (aq)\ |\ Ag^{+}\ (aq)\ /\ Ag(s)$

কোষ বিক্রিয়া : $Ni\ (s) + 2Ag^{+}\ (aq) \xrightarrow{2e^-} Ni^{2+}\ (aq) + 2Ag\ (s)$

উপরিউক্ত তড়িৎকোষের বিভব (e. m. f) নিম্নরূপে লেখা হয়। যেমন,

$$E_{cell} = E^{0}_{cell} - \frac{0.0592\ V}{2}\ \log \frac{[Ni^{2+}\ (aq)]}{[Ag^{+}\ (aq)]^2}$$

* তড়িৎ রাসায়নিক কোষের উভমুখী সাধারণ বিক্রিয়াকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায় :

MCQ-4.18 : কোষের emf নির্ভর করে– [চ. বো. ২০১৫]
(i) আয়নের ঘনমাত্রার ওপর
(ii) গ্যাসের চাপের ওপর
(iii) ইলেকট্রোডের বিভব মানের ওপর
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

$$xA\ (s) + yB^{m+}\ (aq) \xrightleftharpoons{xne^-} xA^{n+}\ (aq) + yB\ (s)$$

উপরিউক্ত বিক্রিয়ার রাসায়নিক কোষের ক্ষেত্রে নার্নস্ট সমীকরণ মতে ঐ কোষের বিভব সমীকরণ নিম্নরূপ হয় :

$E_{cell} = E^0_{cell} - \frac{2.303RT}{\chi nF} \log \frac{[A^{n+}]^x}{[B^{m+}]^y}$; [প্রমাণ অবস্থায় কঠিন পদার্থের সক্রিয়তা = 1; তাই শুধু উৎপাদ ও বিক্রিয়কের আয়নের ঘনমাত্রা বিবেচ্য]। এক্ষেত্রে, E_{cell} = কোষ বিভব (অপ্রমাণ অবস্থায়) ; E^0_{cell} = কোষের প্রমাণ বিভব; $R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$, T = কেলভিন তাপমাত্রা; এক্ষেত্রে xn = my = স্থানান্তরিত ইলেকট্রন।

n = প্রতি মোল বিক্রিয়ায় স্থানান্তরিত ইলেকট্রনের মোলসংখ্যা; F = 96500 C, [ ] = মোলার ঘনমাত্রা।

জেনে নাও : **** অপ্রমাণ অবস্থায় অর্ধকোষের তড়িৎদ্বার বিভব সম্পর্কিত নার্নস্টের সমীকরণ :**

(১) তড়িৎদ্বারে জারণ ক্রিয়া সংঘটিত হলে, তখন IUPAC নিয়ম মতে তড়িৎদ্বারের জারণ বিভবের মান থেকে অর্ধকোষের তড়িৎদ্বার বিজারণ বিভব, E_{red} প্রকাশ করা হয়। যেমন, একটি অর্ধকোষের জারণ বিক্রিয়া :

$$M_1 \longrightarrow M_1^{n+} + ne^- \text{ .... (1)}$$

নার্নস্টের সমীকরণ মতে অর্ধকোষটির $E_{ox} = E^0_{ox} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[M_1^{n+}]}{M_1}$

IUPAC নিয়ম মতে ধাতুর সক্রিয় ভর $M_1 = 1$ ধরা হয়। তখন 25°C তাপমাত্রায়—

$$E_{ox} = E^0_{ox} - \frac{0.0592V}{n} \log [M_1^{n+}]$$

সুতরাং IUPAC নিয়ম মতে, অর্ধকোষটির তড়িৎদ্বার (বিজারণ) বিভব হবে, $E_{red} = -E^0_{ox}$ হয়,

$$\therefore E_{red} = -E_{ox} = -E^0_{ox} + \frac{0.0592\ V}{n} \log [M_1^{n+}]$$

$$\therefore E_{red} = E^0_{red} + \frac{0.0592\ V}{n} \log [M_1^{n+}] \text{ ....(2)}$$

এখন সক্রিয়তা সিরিজ, সারণি-৪.৪ থেকে ধাতব তড়িৎদ্বারটির বিজারণ বিভব (E°) এর মান, (1) নং সমীকরণ থেকে 'n' (ত্যাগ করা ইলেকট্রন সংখ্যা)-এর মান এবং M_1^{n+} আয়নের মোলার ঘনমাত্রার মান (2) নং সমীকরণে বসালে অপ্রমাণ অবস্থায় অর্ধকোষটির তড়িৎদ্বার (বিজারণ) বিভব (E_{red}) এর মান পাওয়া যায়। [সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩১ দেখো।]

MCQ-4.19 : লবণ সেতুতে তড়িৎ-বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহৃত হয় কোনটি? [চ. বো. ২০১৭]
(ক) KCl, KNO_3, NH_4Cl
(খ) KCl, K_2SO_4, Na_2SO_4
(গ) KCl, NH_4Cl, Na_2CO_3
(ঘ) KCl, NH_4Cl, $NaNO_3$

(২) $Zn/Zn^{2+} \| H^+/H_2$, Pt কোষের EMF গণনায় নার্নস্টের সমীকরণ :

অ্যানোডে জারণ :	Zn	$\longrightarrow$	$Zn^{2+} + 2e^-$
ক্যাথোডে বিজারণ :	$2H^+ + 2e^-$	$\longrightarrow$	H_2
কোষ বিক্রিয়া :	$Zn + 2H^+$	$\longrightarrow$	$Zn^{2+} + H_2$

$\therefore E_{cell} = E^0_{cell} - \frac{0.0592\ V}{2} \log \frac{[Zn^{2+}] \times P_{H_2}}{[H^+]^2}$; P_{H_2} = atm এককে H_2 এর চাপ।

সমাধানকৃত সমস্যা–৪.৩১ : 25° C তাপমাত্রায় 0.5 M $ZnSO_4$ দ্রবণে Zn তড়িৎদ্বার ডুবালে তখন ঐ তড়িৎদ্বারের বিভব কত হবে নির্ণয় করো। [$E^0_{Zn/Zn^{2+}} = +0.76$ V]

সমাধান : নার্নস্টের তত্ত্ব মতে, Zn দণ্ডটি Zn^{2+} আয়নের দ্রবণে ডুবালে জারণ ক্রিয়া ঘটবে।

$$Zn\ (s) \longrightarrow Zn^{2+}\ (aq) + 2e^-$$

$\therefore$ নার্নস্টের সমীকরণ মতে, $E_{ox} = E^0_{ox} - \frac{0.0592V}{n} \log [M^{n+}]$ [25°C তাপমাত্রায়]

$\therefore E_{Zn/Zn^{2+}} = 0.76\ V - \frac{0.0592\ V}{2} \times \log 0.5$ প্রশ্নমতে, $[M^{n+}] = 0.5\ (M),\ n = 2$

$\therefore E_{Zn/Zn^{2+}} = 0.76\ V - (-0.00891)\ V = 0.7689\ V$ **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩২ : 25°C তাপমাত্রায় নিচের কোষটির কোষ বিভব গণনা করো।

$$\mathbf{Ni\ (s)/Ni^{2+}\ (0.1\ M)\ ||\ Ag^{+}\ (0.2\ M)\ /\ Ag\ (s)}$$

দেয়া আছে, $E^0_{Ni^{2+}/Ni} = -0.25\ V;\ E^0_{Ag^{+}/Ag} = +0.80\ V$

দক্ষতা : উভয় আয়নের ঘনমাত্রা দেয়া থাকায় কোষের নার্নস্ট সমীকরণ প্রয়োগ করতে হবে।

সমাধান : নার্নস্টের সমীকরণ মতে তড়িৎকোষের কোষ বিভব সমীকরণ :

$E_{cell} = E^0_{cell} - \frac{0.0592\ V}{n} \log Q,\ Q = \frac{[\text{উৎপাদ আয়ন}]^x}{[\text{বিক্রিয়ক আয়ন}]^y}$, x ও y হলো উভয় আয়নের সহগ।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া হলো নিম্নরূপ:

অ্যানোডে জারণ : $Ni\ (s) \longrightarrow Ni^{2+}\ (aq) + 2e^-$

ক্যাথোডে বিজারণ : $2Ag^{+}\ (aq) + 2e^- \longrightarrow 2Ag\ (s)$

সমগ্র কোষ বিক্রিয়া : $Ni\ (s) + 2Ag^{+}\ (aq) \xrightarrow{2e^-} Ni^{2+}\ (aq) + 2Ag\ (s)$

এক্ষেত্রে, n = 2, [উৎপাদ আয়ন] = $[Ni^{2+}] = 0.1M$ (প্রশ্নমতে), সমীকরণে সহগ x = 1, y = 2

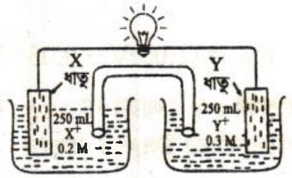
[বিক্রিয়ক আয়ন] = $[Ag^{+}] = 0.2M$ (প্রশ্নমতে)

$\therefore E_{cell} = E^0_{cell} - \frac{0.0592\ V}{2} \log \frac{[Ni^{2+}]}{[Ag^{+}]^2}$; $E_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode} - 0.0296\ V \log \frac{0.1}{(0.2)^2}$

$\therefore E_{cell} = [0.80 - (-0.25)]\ V - 0.0296\ V \times (0.3979)$

$= 1.05\ V - 0.011777\ V = 1.038\ V$; $\therefore$ কোষটির বিভব হলো 1.038 V **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা- ৪.৩৩ : নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের সমাধান করো। [দি. বো. ২০২৩]



X ও Y এর পা: সংখ্যা যথাক্রমে 28, 47

$E^0_{x^{2+}/x} = -0.25\ V$ $E^0_{y^{+}/y} = +0.80\ V$

(গ). উদ্দীপকের ডান পাত্রটিতে কী পরিমাণ Y^+ আয়ন আছে হিসাব করো।

(ঘ) কোষটির Y^+ আয়নের ঘনমাত্রা 1.5 M হলে বৈদ্যুতিক বাতিটির উজ্জ্বলতার পরিবর্তন হবে কী-না; তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

সমাধান (গ) : Y^+ আয়নের পরিমাণ নির্ণয় :

উদ্দীপক মতে ডান পাত্রটিতে 250 mL 0.3M Y^+ আয়ন আছে। Y মৌলের পারিমাণবিক সংখ্যা 47 হওয়ায় Y মৌলটি Ag ধাতু। Y^+ আয়ন হলো Ag^+ আয়ন।

আমরা জানি, 1000 mL 1 M Ag^+ আয়নের দ্রবণে থাকে = 1 mol Ag^+ = 107.9 g Ag^+

$\therefore$ 250 mL 0.3 M Ag^+ আয়নের দ্রবণে Ag^+ থাকে $= \frac{107.9\ g \times 250 \times 0.3}{1000 \times 1} = 2.7\ g\ Ag^+$

সমাধান (ঘ) : বৈদ্যুতিক বাতির উজ্জ্বলতা পরিবর্তন :

উদ্দীপকের কোষটির অপ্রমাণ অবস্থায় ভিন্ন ঘনমাত্রার দুটি তড়িৎদ্বার রয়েছে। তাই নার্নস্টের সমীকরণ প্রয়োগ করে কোষটির বিভব গণনা করতে হবে।

উদ্দীপক মতে, X^{2+} আয়নের পাঃ সংখ্যা 28 হওয়ায়, X^{2+} আয়ন হলো Ni^{2+} এবং Y^+ আয়নের পাঃ সংখ্যা 47 হওয়ায় Y^+ আয়ন হলো Ag^+ আয়ন]

কোষটির সংকেত, $Ni(s) / Ni^{2+} (0.2\ M) \| Ag^+ (0.3\ M)\ Ag(s)$

দেয়া আছে, $E^\circ_{Ni^{2+}/Ni} = -0.25\ V$ এবং $E^\circ_{Ag^{2+}/Ag} = +0.80\ V$

$E_{cell} = E^\circ_{cell} - \frac{0.0592V}{n} \log Q$; এখানে $Q = \frac{[\text{উৎপাদ আয়ন}]^x}{[\text{বিক্রিয়ক আয়ন}]^y}$, [x ও y হলো উভয় আয়নের সহগ।]

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াটি হলো :

অ্যানোডে জারণ : $Ni(s) \longrightarrow Ni^{2+} (aq) + 2e^-$

ক্যাথোডে বিজারণ : $2Ag^+(aq) + 2e^- \longrightarrow 2Ag(s)$

সমগ্র কোষ বিক্রিয়া : $Ni(s) + 2Ag^+ (aq) \xrightarrow{2e^-} Ni^{2+} (aq) + 2Ag(s)$

এক্ষেত্রে n = 2, [উৎপাদ আয়ন] = $[Ni^{2+}] = 0.2\ M$, [বিক্রিয়ক আয়ন] = $[Ag^+] = 0.3\ M$

সমীকরণে সহগ, x = 1, y = 2

$$E_{cell} = E^\circ_{cell} - \frac{0.0592\ V}{n} \log \frac{[Ni^{2+}]}{[Ag^+]^2},\ E_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode} - 0.0296\ V \times \log \frac{0.2}{(0.3)^2}$$

$$\therefore E_{cell} = [0.80 - (-0.25)]\ V - 0.029\ V \times (0.346)$$

$$= (1.05V - 0.01V) = \boxed{1.04\ V}$$

কিন্তু Y^+ আয়নের বা Ag^+ আয়নের ঘনমাত্রা 1.5 M হলে, তখন কোষটির বিভব হবে নিম্নরূপ :

$$E_{cell} = 1.05\ V - 0.0296\ V) \times \log \frac{0.2}{(1.5)^2} = 1.05\ V - 0.0296\ V \times (-1.05)$$

$$\therefore E_{cell} = (1.05\ V + 0.031\ V) = \boxed{1.081\ V}$$

বিশ্লেষণ : Y^+ আয়ন বা Ag^+ আয়নের ঘনমাত্রা 1.5 M করা হলে কোষটির বিভব 1.04 V থেকে বেড়ে 1.081V হবে। ফলে বাতির উজ্জ্বলতা বাড়বে।

সমাধানকৃত সমস্যা- ৪.৩৪ : 25°C তাপমাত্রায় নিচের কোষটির কোষ বিভব (emf) গণনা করো।

$$\mathbf{Cd/Cd^{2+} (0.02M) \| H^+ (0.2M) / H_2 (0.5\ atm), Pt}$$

দেয়া আছে, $E^0_{Cd^{2+}/Cd} = -0.402\ V$

দক্ষতা : H তড়িৎদ্বার সংবলিত নার্নস্টের কোষ বিভবের সমীকরণ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : নার্নস্টের সমীকরণ মতে তড়িৎকোষের কোষ বিভব সমীকরণ হলো :

$$E_{cell} = E^0_{cell} - \frac{0.0592\ V}{n} \log \frac{[Cd^{2+}] \times P_{H_2}}{[H^+]^2}$$; P_{H_2} = atm এককে H_2 এর চাপ

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া হলো নিম্নরূপ :

অ্যানোডে জারণ : $Cd \longrightarrow Cd^{2+} + 2e^-$

ক্যাথোডে বিজারণ : $2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$

সমগ্র কোষ বিক্রিয়া : $Cd + 2H^+ \xrightarrow{2e} Cd^{2+} + H_2$

এক্ষেত্রে, $n = 2$, $[Cd^{2+}] = 0.02M$, $[H^+] = 0.2M$, $P_{H_2} = 0.5$ atm

$E^0_{Cd^{2+}/Cd} = -0.402$ V, $E^0_{2H^+/H_2} = 0.0$ V

$$\therefore E_{cell} = E^0_{cell} - \frac{0.0592 \text{ V}}{2} \log \frac{0.02 \times 0.5}{(0.2)^2}$$

বা, $E_{cell} = [0.0 - (-0.402)]$ V $- 0.0296$ V $\times \log 0.25$

বা, $E_{cell} = 0.402$ V $- (-0.01782)$ V $= 0.41982$ V

$\therefore$ কোষটির বিভব মান হলো = 0.41982 V (উত্তর)

> **MCQ-4.20 : Pt, H_2/H^+ ($E^0 = 0.0V$) এর সাথে ক্যাথোড হিসেবে ব্যবহৃত হয় কোনটি?** [চ. বো. ২০১৭]
>
> (ক) Zn^{2+}/Zn (খ) Mg^{2+}/Mg
> (গ) Cu^{2+}/Cu (ঘ) Fe^{2+}/Fe

সমাধানকৃত সমস্যা–৪.৩৫ : 25°C তাপমাত্রায় নিচের কোষটির কোষ বিভব গণনা করো।

$Cr(s)/Cr^{3+}(0.3M) \,||\, Cu^{2+}(0.15 M)/Cu(s)$

দেয়া আছে, $E^0_{Cr^{3+}/Cr} = -0.74$ V, $E^0_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34$ V

দক্ষতা : উভয় আয়নের ঘনমাত্রা দেয়া থাকায় কোষের নার্নস্ট সমীকরণ প্রয়োগ হবে।

সমাধান : নার্নস্টের সমীকরণ মতে তড়িৎকোষের কোষ বিভব সমীকরণটি হলো :

$$E_{cell} = E^0_{cell} - \frac{0.0592 \text{ V}}{n} \log Q, \text{ এখানে } Q = \frac{[\text{উৎপাদ আয়ন}]^x}{[\text{বিক্রিয়ক আয়ন}]^y}$$

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া হলো নিম্নরূপ :

অ্যানোডে জারণ : $Cr(s) \longrightarrow Cr^{3+}(aq) + 3e^-$ .... × 2

ক্যাথোডে বিজারণ : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$ .... × 3

সমগ্র কোষ বিক্রিয়া : $2Cr(s) + 3Cu^{2+}(aq) \xrightarrow{6e^-} 2Cr^{3+}(aq) + 3Cu(s)$

এক্ষেত্রে, $n = 6$, $[Cr^{3+}] = 0.3$ M, $[Cu^{2+}] = 0.15$ M ; উৎপাদ আয়ন $x = 2$, বিক্রিয়ক আয়ন, $y = 3$

$$\therefore E_{cell} = E^0_{cell} - \frac{0.0592 \text{ V}}{6} \log \frac{[Cr^{3+}]^2}{[Cu^{2+}]^3} ; E_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode} - 0.00987 \text{ V} \times \log \frac{(0.3)^2}{(0.15)^3}$$

$\therefore E_{cell} = [0.34 - (-0.74)]$ V $- 0.00987$ V $\times 1.426 = (1.08 - 0.014)$ V $= 1.066$ V

$\therefore$ কোষটির বিভব মান = 1.066 V (উত্তর)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৬ : নিচের ডেনিয়েল কোষটির কোষ বিভব গণনা করো।

$Zn/ZnSO_4 (0.1M) \,||\, CuSO_4 (0.05M)/Cu$

25°C-এ $E^0_{Zn^{2+}/Zn} = -0.76$ V এবং $E^0_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34$ V

দক্ষতা : উভয় আয়নের ঘনমাত্রা দেয়া থাকায় কোষের নার্নস্ট সমীকরণটি প্রয়োগ করতে হবে।

সমাধান : নার্নস্ট সমীকরণ মতে তড়িৎকোষের বিভব (EMF) সমীকরণ নিম্নরূপ :

$$E_{cell} = E^0_{cell} - \frac{2.303RT}{nF} \log \frac{\text{উৎপাদ আয়নের ঘনমাত্রা } [Zn^{2+}]}{\text{বিক্রিয়ক আয়নের ঘনমাত্রা } [Cu^{2+}]}$$

$$= E^0_{Cu^{2+}/Cu} - E^0_{Zn^{2+}/Zn} - \frac{2.303RT}{nF} \log \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$$

গ্যাস ধ্রুবক, $R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$
তাপমাত্রা, $T = (25 + 273) = 298\ K$
ইলেকট্রনের মোলসংখ্যা, $n = 2$
বিদ্যুৎ চার্জ, $F = 96500\ C$
কোষের তড়িচ্চালক বল, $E_{cell} = ?$

প্রশ্নমতে, $[Zn^{2+}] = 0.10\ molL^{-1}$; $[Cu^{2+}] = 0.05\ molL^{-1}$

$E^0_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34\ V$ (প্রশ্নে দেয়া আছে)

$E^0_{Zn^{2+}/Zn} = -0.76\ V$ (প্রশ্নে দেয়া আছে);

∴ মান বসিয়ে পাই;

$$E_{cell} = 0.34V - (-0.76)V - \frac{2.303 \times 8.314 \times 298V}{2 \times 96500} \log \frac{0.10}{0.05}$$

$$= (1.10 - 0.02956 \times \log 2)V = (1.10 - 0.02956 \times 0.301)V$$

$$= (1.10 - 0.008\,897)V = 1.0911V$$

∴ এ কোষটির বিভব (EMF) = 1.0911V

শিক্ষার্থীর কাজ-৪.১০ : কোষ বিভব নির্ণয় : নার্নস্ট সমীকরণভিত্তিক গণনা :

সমস্যা–৪.৩৬ : নিচে রাসায়নিক বিক্রিয়ার তড়িৎকোষটির কোষ বিভব গণনা করো।

$Mg(s) + 2Ag^+(aq) \longrightarrow Mg^{2+}(aq) + 2Ag(s)$; $E^o_{Ag^+/Ag} = +0.80V$ এবং $E^o_{Mg^{2+}/Mg} = -2.36V$

এক্ষেত্রে $[Mg^{2+}] = 0.13M$ এবং $[Ag^+] = 1.0 \times 10^{-4}M$। 25°C এ [উঃ 2.9495V]

সমস্যা–৪.৩৭ : নিচে দেয়া কোষ ডায়াগ্রাম মতে কোষটির emf বের করো।

$A/A^{3+}(0.05M) || B^{3+}(0.01M)/B^{2+}$; $E^o_{A/A^{3+}} = 1.66V$; $E^o_{B^{2+}/B^{3+}} = +0.77V$ [উঃ 0.7973V]

সমস্যা–৪.৩৮ : নিচে দেয়া কোষ ডায়াগ্রাম মতে কোষটির emf বের করো।

$Al/Al^{3+}(0.1M) | Ag^+(0.01M)/Ag$; $E^o_{Al^{3+}/Al} = -1.66V$; $E^o_{Ag^+/Ag} = +0.80V$ [উঃ 2.361V]

সমস্যা–৪.৩৯ : নিচে দেয়া কোষ ডায়াগ্রাম মতে কোষটির emf গণনা করো। [ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) $Fe/Fe^{2+}(1.0M) || Cu^{2+}(2.0M)/Cu$; $E^o_{Fe^{2+}/Fe} = -0.44V$; $E^o_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34V$, $T = 298\ K$

(খ) $Mg/Mg^{2+}(0.001M) || Cu^{2+}(0.0001M)/Cu$ [মাদ্রাসা. বো. ২০১৮]

দেয়া আছে, $E^0_{Mg/Mg^{2+}} = +2.37V$; $E^0_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34V$; [উঃ 2.71 V]

সমস্যা–৪.৪০ : 25°C তাপমাত্রায় নিম্নোক্ত কোষের emf গণনা করো।

(ক) $All(s) / Al^{3+}(0.25M) || Sn^{2+}(0.15M) / Sn(s)$ [রা. বো. ২০১৬]

দেয়া আছে, $E^0_{Al^{3+}/Al} = -1.66V$; $E^0_{Sn^{2+}/Sn} = -0.14V$ [উঃ 1.517 V]

(খ) $Cr(s)/Cr^{3+}(0.2M)||Sn^{2+}(0.15M)/Sn(s)$

দেয়া আছে, $E^0_{Cr^{3+}/Cr} = -0.74\ V$; $E^0_{Sn^{2+}/Sn} = -0.14V$ [উ: 0.5894 V]

(গ) $Zn(s)/Zn^{2+}(0.25M)||Au^{3+}(0.2M)/Au(s)$

দেয়া আছে, $E^0_{Zn^{2+}/Zn} = -0.76V$; $E^0_{Au^{3+}/Au} = +1.42V$ [উ: 2.184 V]

(ঘ) $Fe(s)/Fe^{2+}(0.2M)||H^+(0.2M)/H_2(0.5\ atm), Pt$

দেয়া আছে, $E^0_{Fe^{2+}/Fe} = -0.44V$ [উ: 0.428 V]

(ঙ) $Cr(s)/Cr^{3+}(0.05M)||H^+(0.25M)/H_2(0.6\ atm), Pt$ [উ: 0.7322 V]

দেয়া আছে, $E^0_{Cr^{3+}/Cr} = -0.74V$

৪.১১ তড়িৎদ্বার ও এর প্রকারভেদ

Electrodes & Their Types

তড়িৎদ্বার বা ইলেকট্রোড বলতে অর্ধকোষে নিমজ্জিত ধাতব পাত বা দণ্ডকে বোঝানো হয়। যেমন ডেনিয়েল কোষে ব্যবহৃত Zn দণ্ড ও Cu দণ্ড হলো ঐ কোষের দুটি তড়িৎদ্বার। এদেরকে অ্যানোড ও ক্যাথোড বলা হয়। এরা সক্রিয় তড়িৎদ্বার, কারণ কোষ বিক্রিয়ায় এরা ইলেকট্রন আদান-প্রদান করে। এছাড়া H-তড়িৎদ্বারে নিষ্ক্রিয় তড়িৎদ্বাররূপে Pt তার ব্যবহৃত হয়। তবে এক্ষেত্রে তড়িৎদ্বার বলতে অর্ধকোষকে বোঝানো হয়েছে। অর্ধকোষসমূহ গঠন অনুসারে পাঁচ প্রকার।

(১) ধাতু ও ধাতুর আয়ন অর্ধকোষ, (২) ধাতু ও ধাতুর অদ্রবণীয় লবণ অর্ধকোষ, (৩) ধাতু-অ্যামালগাম ও ধাতুর আয়ন অর্ধকোষ, (৪) একই ধাতুর দুটি ভিন্ন আয়নের জারণ-বিজারণ অর্ধকোষ, (৫) গ্যাস অর্ধকোষ।

১। ধাতু ও ধাতুর আয়ন অর্ধকোষ : এরূপ অর্ধকোষে কোনো ধাতুর সংস্পর্শে ঐ ধাতুর আয়নের দ্রবণ থাকে। এ প্রকার অর্ধকোষকে $M(s)/M^{2+}(aq)$ প্রতীক দ্বারা লেখা হয়। ডেনিয়েল কোষের অর্ধকোষ দুটি এ শ্রেণির উদাহরণ; যেমন– $Zn(s)/Zn^{2+}(aq) : Cu(s)/Cu^{2+}(aq)$

এক্ষেত্রে অর্ধকোষ বিক্রিয়া হলো :

$M(s) \rightleftharpoons M^{n+}(aq) + ne^-$

জারণ : $Zn(s) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

বিজারণ : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cu(s)$

২। ধাতু ও ধাতুর অদ্রবণীয় লবণ অর্ধকোষ : এরূপ অর্ধকোষে কোনো ধাতুকে এর কোনো অদ্রবণীয় লবণের মধ্যে ঢুকিয়ে রেখে ঐ অদ্রবণীয় লবণের অ্যানায়ন সম্বলিত একটি যৌগের দ্রবণ যোগ করা হয়। যেমন, Ag তারকে অদ্রবণীয় AgCl (s) এর মধ্যে ঢুকিয়ে রেখে এতে HCl বা, NaCl দ্রবণ যোগ করে সৃষ্ট অর্ধকোষটি হয় :

$Ag(s), AgCl(s)/Cl^-(aq)$। এ শ্রেণির ক্যালোমেল অর্ধকোষটি হলো : $Hg(l), Hg_2Cl_2(s)/Cl^-(aq)$

অ্যানোডরূপে ক্যালোমেল অর্ধকোষ বিক্রিয়া : $2Hg(l) + 2Cl^-(aq) \rightleftharpoons Hg_2Cl_2(s) + 2e^-$

ক্যাথোডরূপে ক্যালোমেল অর্ধকোষ বিক্রিয়া : $Hg_2Cl_2(s) + 2e^- \rightleftharpoons 2Hg(l) + 2Cl^-(aq)$

৩। ধাতু-অ্যামালগাম ও ধাতুর আয়ন অর্ধকোষ : অধিক সক্রিয় ধাতু ও পারদের (Hg) মিশ্রণ দ্বারা তৈরি ধাতু-অ্যামালগাম দণ্ডকে ঐ ধাতুর লবণের দ্রবণে ডুবিয়ে এরূপ অর্ধকোষ তৈরি করা হয়। তবে অ্যামালগাম ব্যবহার করায় ধাতুটির জারণ দ্বারা ধাতব আয়নে রূপান্তর নিয়ন্ত্রিত হয়। যেমন-সোডিয়াম অ্যামালগাম অর্ধকোষ $Na.Hg(s)/Na^+(aq)$

এক্ষেত্রে অর্ধকোষ বিক্রিয়া হলো : $Na.Hg(s) \rightleftharpoons Na^+(aq) + e^- + Hg(l)$

৪। জারণ-বিজারণ অর্ধকোষ : কোনো অবস্থান্তর ধাতুর দুটি ভিন্ন জারণ-সংখ্যাবিশিষ্ট দুটি লবণের দ্রবণে একটি নিষ্ক্রিয় ধাতুর (Pt বা, Au) তার বৈদ্যুতিক পরিবাহীরূপে ডুবিয়ে এরূপ অর্ধকোষ তৈরি করা হয়। যেমন,

অর্ধকোষ : DAT: 17-18

$Pt, Fe^{2+} (aq)/Fe^{3+} (aq)$

$Au, Sn^{2+} (aq)/Sn^{4+} (aq)$

জারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া :

$Fe^{2+} (aq) \rightleftharpoons Fe^{3+} (aq) + e^-$

$Sn^{2+} (aq) \rightleftharpoons Sn^{4+} (aq) + 2e^-$

৫। গ্যাস অর্ধকোষ : এরূপ অর্ধকোষে নিষ্ক্রিয় ধাতুর (Pt) তারকে H_2 বা Cl_2 গ্যাসের যৌগের দ্রবণে ডুবিয়ে রেখে 25°C ও 1 atm চাপে ঐ গ্যাসটিকে ঐ দ্রবণে বুদবুদ আকারে চালনা করা হয়। যেমন হাইড্রোজেন অর্ধকোষ।

অর্ধকোষ :

$Pt, H_2 (g) (1atm)/H^+ (aq) (1M)$

$Pt, Cl_2 (g) (atm)/Cl^- (aq) (1M)$

জারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া :

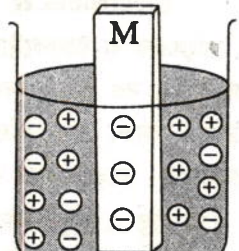
$H_2 (g) \rightleftharpoons 2H^+ (aq) + 2e^-$

$2Cl^- (aq) \rightleftharpoons Cl_2 (g) + 2e^-$

৪.১২ ধাতু-ধাতব আয়ন তড়িৎদ্বার গঠন

Metal-Metal-ion Electrode Formation

কোনো ধাতুর পাত বা দণ্ডকে ঐ ধাতুর লবণের দ্রবণে ডুবালে তখন ধাতব দণ্ডের কেলাসে থাকা ধাতুর আয়ন ল্যাটিস বা কেলাস জালি ত্যাগ করে ক্যাটায়নরূপে দ্রবণে প্রবেশের প্রবণতা দেখায়। একে **'দ্রবণ চাপ'** বলে। এ অবস্থায় ক্যাটায়নের চার্জের সমসংখ্যক ইলেকট্রন ধাতব দণ্ডে অতিরিক্ত থাকে। তাই ধাতব দণ্ডটি **ঋণাত্মক চার্জযুক্ত** হয়। ক্যাটায়নসমূহ পানি অণুর সাথে যুক্ত হয়ে হাইড্রেটেড আয়নরূপে থাকে। অপরদিকে লবণের দ্রবণে থাকা হাইড্রেটেড ক্যাটায়নসমূহ ধাতব দণ্ডে থাকা অতিরিক্ত ইলেকট্রন গ্রহণ করে ধাতব দণ্ডে পরমাণুরূপে যুক্ত হতে চায়। একে ক্যাটায়নের **'অসমোটিক চাপ'** বলে। এরূপ প্রবণতার ফলে কম সক্রিয় ধাতুর দণ্ডটি **ধনাত্মক চার্জযুক্ত** হতে পারে।



চিত্র-৪.১৬: ধাতু-ধাতব আয়ন তড়িৎদ্বার।

$$M (s) \rightleftharpoons M^{n+} (aq) + n\bar{e}$$

প্রতিটি তড়িৎদ্বারে ধনাত্মক আয়ন ও ধাতব পরমাণুর মধ্যে স্বতঃ জারণ-বিজারণ এ দুটি বিপরীতমুখী প্রবণতার পরিমাণ কখনো সমান হয় না। তাই ধাতব দণ্ড ও এর লবণের দ্রবণের ক্যাটায়নের মধ্যে একটি **তড়িৎ-বিভব** সৃষ্টি হয়। এ বিভবকে **তড়িৎদ্বার বিভব** বলে। অধিক সক্রিয় ধাতুর বেলায় দ্রবণ চাপ বেশি ও অসমোটিক চাপ কম হয়। তখন তড়িৎদ্বারটি অ্যানোডরূপে কাজ করে; যেমন জিঙ্ক তড়িৎদ্বার। অপরদিকে, কম সক্রিয় ধাতুর বেলায় 'দ্রবণ চাপ' কম ও অসমোটিক চাপ বেশি হয়। ফলে তড়িৎদ্বারটি ক্যাথোডরূপে কাজ করে; যেমন কপার তড়িৎদ্বার।

ব্যবহারিক (Practical)

শিক্ষার্থীর কাজ : **সময় : ১ পিরিয়ড**

পরীক্ষা নং-১৬

তারিখ :

পরীক্ষার নাম : ধাতু-ধাতব আয়ন তড়িৎদ্বার গঠন।

মূলনীতি : পরিষ্কার জিঙ্ক ধাতুর পাতকে জিঙ্ক সালফেট ($ZnSO_4$) এর দ্রবণে ডুবালে জিঙ্ক ধাতুর পাত ও জিঙ্ক লবণের দ্রবণের সংযোগস্থলে Zn পরমাণু ও Zn^{2+} আয়নের মধ্যে রিডক্স বিক্রিয়ার ফলে তড়িৎ-বিভব সৃষ্টি হয়। এরূপ Zn ধাতু ও

Zn^{2+} আয়নের সমাবেশকে জিঙ্ক-জিঙ্ক আয়ন তড়িৎদ্বার বলা হয়। অদ্রূপ Cu ধাতুর পাত ও $CuSO_4$ দ্রবণের বেলায় Cu ধাতু ও Cu^{2+} আয়নের সমাবেশকে কপার-কপার আয়ন তড়িৎদ্বার বলে।

প্রয়োজনীয় উপকরণ :

(১) এক প্রান্তে ছিদ্র করা জিঙ্ক ধাতুর পাত বা দণ্ড, একটি (4 ইঞ্চি), (২) জিঙ্ক সালফেট ($ZnSO_4$), (৩) এক প্রান্তে ছিদ্র করা কপার ধাতুর পাত বা দণ্ড—একটি (4 ইঞ্চি), (৪) কপার সালফেট ($CuSO_4$), (৪) পানি।

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি :

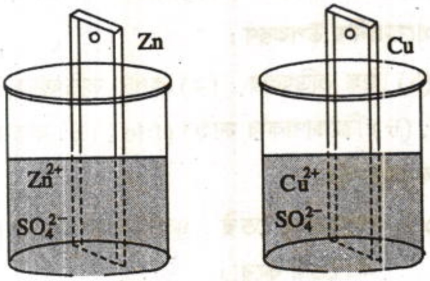
(১) বিকার-২টি (250 mL), (২) ব্যালেন্স, (৩) মেজারিং সিলিন্ডার 200 –500 mL, (৪) গ্লাস রড।

কাজের ধারা :

১। জিঙ্ক-তড়িৎদ্বার তৈরি করার জন্য 200 mL 0.1M $ZnSO_4$ দ্রবণ প্রস্তুত করো। এর জন্য 1 mol $ZnSO_4$ (=161.4 g) এর এক-পঞ্চাশাংশ (1/50) পরিমাণ অর্থাৎ (161.4 ÷ 50) = 3.23 g $ZnSO_4$ পল-বুঙ্গি ব্যালেন্স (বা 2-ডিজিট ব্যালেন্স)-এ মেপে নাও।

২। অনুরূপভাবে কপার-তড়িৎদ্বার তৈরি করার জন্য 200 mL 0.1M $CuSO_4$ দ্রবণ প্রস্তুত করো। এর জন্য 1 mol $CuSO_4$ (= 159.6 g) এর এক-পঞ্চাশাংশ (1/50) পরিমাণ অর্থাৎ (159.6 ÷ 50 =) 3.20 g $CuSO_4$ পল-বুঙ্গি ব্যালেন্স (বা 2 ডিজিট ব্যালেন্স)-এ মেপে নাও।

৩। প্রথম 250 mL বিকারে 3.23 g $ZnSO_4$ নাও এবং দ্বিতীয় 250 mL বিকারে 3.20 g $CuSO_4$ নাও। এখন প্রতিটি বিকারে মেজারিং সিলিন্ডার দ্বারা 200 mL পানি যোগ করো এবং গ্লাস রড দিয়ে নেড়ে $ZnSO_4$ লবণ দ্রবীভূত করো। এরপর গ্লাস রডটি ধুয়ে নাও এবং একইভাবে $CuSO_4$ দ্রবণটি তৈরি করো। লক্ষ্য করো $ZnSO_4$ দ্রবণটি বর্ণহীন; কিন্তু $CuSO_4$ দ্রবণটি হালকা নীল।



চিত্র-৪.১৭ : জিঙ্ক-জিঙ্ক আয়ন তড়িৎদ্বার (Zn/Zn^{2+}) ও কপার-কপার আয়ন তড়িৎদ্বার

৪। এখন হালকা নীল বর্ণের $CuSO_4$ এর দ্রবণে কপার পাত বা কপার দণ্ডটি ডুবাও। বর্ণহীন $ZnSO_4$ এর দ্রবণে জিঙ্কের পাত বা জিঙ্ক দণ্ডটি ডুবাও। এরূপে জিঙ্ক ধাতু-জিঙ্ক আয়ন (Zn/Zn^{2+}) তড়িৎদ্বার এবং কপার ধাতু-কপার আয়ন (Cu/Cu^{2+}) তড়িৎদ্বার দুটি তৈরি হয়ে গেল।

৫। এ তড়িৎদ্বার দুটি সংরক্ষণ করো। পরবর্তী পরীক্ষার জন্য এ তড়িৎদ্বার দুটি ব্যবহার করা যাবে।

৪.১৩ রাসায়নিক কোষ গঠন করে রাসায়নিক শক্তিকে বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তর

To Convert Chemical Energy into Electrical Energy by Forming a Cell

ভোল্টায়িক সেল বা গ্যালভানিক সেলে সংঘটিত স্বতঃস্ফূর্ত রাসায়নিক বিক্রিয়া থেকে বিদ্যুৎ শক্তি উৎপন্ন হয়। কোষ বিক্রিয়া মতে, উচ্চশক্তির বিক্রিয়কসমূহ এবং নিম্নশক্তির উৎপাদসমূহের মধ্যে রাসায়নিক অভ্যন্তরীণ শক্তির পার্থক্য যত বেশি হয়, সে পরিমাণ রাসায়নিক অভ্যন্তরীণ শক্তি বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। প্রতিটি ধাতু-ধাতব আয়ন অর্ধকোষের প্রমাণ বিজারণ বিভব নির্ণীত আছে। উভয় অর্ধকোষের প্রমাণ বিজারণ বিভব থেকে নিম্ন সমীকরণ মতে কোষ বিভব (E^o_{cell}) গণনা করা যায়। $E^o_{cell} = E^o_{cathode\ (red)} - E^o_{anode\ (red)}$

ব্যবহারিক (Practical)

শিক্ষার্থীর কাজ : **সময় : ১ পিরিয়ড**

পরীক্ষা নং-১৭

তারিখ : ....

পরীক্ষার নাম : কোষ গঠন করে রাসায়নিক শক্তিকে বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তর।

মূলনীতি : জিঙ্ক-জিঙ্ক আয়ন তড়িৎদ্বারকে অ্যানোডরূপে ও কপার-কপার আয়ন তড়িৎদ্বারকে ক্যাথোডরূপে লবণ সেতুর মাধ্যমে সংযোগ দিয়ে পরে অ্যানোড প্রান্তকে কপার তার দিয়ে ভোল্টমিটারের ঋণাত্মক প্রান্তে এবং ক্যাথোড প্রান্তকে ভোল্টমিটারের ধনাত্মক প্রান্তে সংযোগ করলে উভয় তড়িৎদ্বারে ধাতু-ধাতব আয়নের মধ্যে সংঘটিত রিডক্স বিক্রিয়ার নির্গত রাসায়নিক শক্তি বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এ বিদ্যুৎ প্রবাহ ভোল্টমিটারে শক্তি প্রকাশ করে; বিদ্যুৎ বালবে আলো দেয়।

জারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া : $(Zn/Zn^{2+}) : Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

বিজারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া : $(Cu^{2+}/Cu) : Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$

$(Zn, Zn^{2+} || Cu^{2+}, Cu)$ এর কোষ বিক্রিয়া : $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$

প্রয়োজনীয় উপকরণ :

(১) জিঙ্ক তড়িৎদ্বার, (২) কপার তড়িৎদ্বার, (৩) লবণসেতু, (৪) কপার তার, (৫) ভোল্টমিটার, (৬) বিকার, (৭) তুলো, (৮) ত্রিকোণাকার ফাইল (file), (৯) কাচনল, (১০) বার্নার, (১১) KCl লবণ।

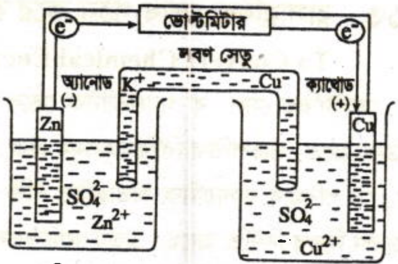
কাজের ধারা :

১। **লবণ সেতু তৈরি :** একটি কাচ নল নাও। বুনসেন বার্নারে কাচ নলটিকে উত্তপ্ত করে চিত্রের মতো U আকৃতির নল তৈরি করো।

২। পটাশিয়াম ক্লোরাইড (KCl) এর 100 mL 0.1M দ্রবণ তৈরি করো। এজন্য 0.75 g KCl ওজন করে বিকারে নিয়ে 100 mL পানিতে দ্রবণ তৈরি করো। এখন U আকৃতির নলের মধ্যে ঐ 0.1M KCl দ্রবণ ঢেলে পূর্ণ করো এবং নলের দু'মুখে তুলোর প্যাড দিয়ে বন্ধ করো। লবণ সেতু তৈরি হয়ে গেল।

৩। **তড়িৎকোষ গঠন :** আগের দিনের পরীক্ষায় (পরীক্ষা নং-১৬) তৈরি করা জিঙ্ক ধাতু-জিঙ্ক আয়ন তড়িৎদ্বার ও কপার ধাতু-কপার আয়ন তড়িৎদ্বার দুটির মধ্যে চিত্র মতে লবণ সেতু দিয়ে সংযোগ স্থাপন করো।

৪। চিত্র মতে জিঙ্ক তড়িৎদ্বারকে কপার তার দিয়ে ভোল্টমিটারের ঋণাত্মক প্রান্তে সংযোগ দাও এবং কপার তড়িৎদ্বারকে কপার তার দিয়ে ভোল্টমিটারের ধনাত্মক প্রান্তের সাথে সংযোগ দাও।



চিত্র-৪.১৮ : জিঙ্ক-কপার তড়িৎকোষ।

৫। এবার লক্ষ্য করো, ভোল্টমিটারে বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘটেছে এবং 1.1V রেকর্ড হয়েছে। কিছুক্ষণ পর লক্ষ্য করো, জিঙ্ক তড়িৎদ্বারটিতে জারণ ক্রিয়ার ফলে এটি ক্ষয় হয়ে যাচ্ছে এবং কপার তড়িৎদ্বারটিতে কপার পরমাণু জমা হয়ে আকারে বেড়ে ওঠছে। এক্ষেত্রে Cu^{2+} আয়ন বিজারিত হয়ে কপার তড়িৎদ্বারে জমা হয়েছে। সুতরাং তড়িৎকোষে বিদ্যুৎ উৎপাদন Redox বিক্রিয়ার শক্তির পরিবর্তন বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়েছে।

৪.১৪ এক ও দুই প্রকোষ্ঠবিশিষ্ট তড়িৎ রাসায়নিক কোষ

Electrochemical Cells with Single & Double Compartments

তড়িৎকোষের প্রকারভেদ : তড়িৎকোষ দু প্রকারের হয়। যেমন,

(১) তড়িৎ রাসায়নিক কোষ (Electrochemical Cells) : এরা এক ও দ্বিপ্রকোষ্ঠবিশিষ্ট হতে পারে।

(২) তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষ (Electrolytic Cells) : এরা এক প্রকোষ্ঠবিশিষ্ট হয়ে থাকে।

তড়িৎ রাসায়নিক কোষের সংজ্ঞা : যে কোষে রাসায়নিক জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার ফলে রাসায়নিক শক্তি তড়িৎ শক্তিতে পরিণত হয়, তাকে **তড়িৎ রাসায়নিক কোষ** বলে। এ ধরনের কোষকে গ্যালভানিক কোষ বা ভোল্টায়িক কোষও বলে। এ ধরনের কোষের উদাহরণ হলো—(১) ডেনিয়েল কোষ, (২) শুষ্ক কোষ বা ড্রাই সেল।

তড়িৎ রাসায়নিক কোষ গঠনের দিক থেকে দু শ্রেণিতে বিভক্ত। যেমন,

(১) এক প্রকোষ্ঠবিশিষ্ট তড়িৎ রাসায়নিক কোষ হলো শুষ্ক কোষ বা ড্রাইসেল।

(২) দু প্রকোষ্ঠবিশিষ্ট তড়িৎ রাসায়নিক কোষ হলো গ্যালভানিক কোষ।

আবার রাসায়নিক কোষকে স্বতঃস্ফূর্ততার দিক থেকে দু শ্রেণিতে ভাগ করা যায়। যেমন,

(১) প্রাইমারি কোষ বা প্রাথমিক কোষ; যেমন গ্যালভানিক কোষ, শুষ্ক কোষ।

(২) গৌণ বা সেকেন্ডারি কোষ বা সঞ্চয়ী কোষ ; যেমন লেড-এসিড স্টোরেজ ব্যাটারি, নিকেল অক্সাইড সঞ্চয়ী কোষ।

প্রাইমারি কোষ : যে তড়িৎ রাসায়নিক কোষ নিজের রাসায়নিক শক্তি থেকে সরাসরি তড়িৎ বা বিদ্যুৎ উৎপন্ন করে তড়িৎ প্রবাহ বজায় রাখে, তাকে প্রাথমিক কোষ বা **প্রাইমারি কোষ** বলে। যেমন ডেনিয়েল কোষ, শুষ্ক কোষ।

সেকেন্ডারি কোষ বা সঞ্চয়ী কোষ : যে তড়িৎ রাসায়নিক কোষে বাইর থেকে বিদ্যুৎ প্রবাহিত করে বিদ্যুৎ শক্তিকে রাসায়নিক শক্তিরূপে সঞ্চিত করা হয় এবং পরে ঐ রাসায়নিক শক্তিকে পুনরায় বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়, তাকে গৌণ বা **সেকেন্ডারি কোষ** বা **সঞ্চয়ী কোষ** বলে। যেমন লেড-এসিড স্টোরেজ ব্যাটারি।

(ক) দুই প্রকোষ্ঠবিশিষ্ট তড়িৎ রাসায়নিক কোষ : গ্যালভানিক কোষ

গ্যালভানিক কোষের সাধারণ গঠন ও কার্যপ্রণালি:

(১) গ্যালভানিক কোষে সাধারণত দুটি পাত্র ব্যবহৃত হয়। প্রতিটি পাত্রে একটি উপযুক্ত তড়িৎ-বিশ্লেষ্য ও একটি ধাতব তড়িৎদ্বার আংশিক নিমজ্জিত থাকে।

(২) প্রতিটি পাত্রে ব্যবহৃত তড়িৎ-বিশ্লেষ্য ও অর্ধনিমজ্জিত তড়িৎদ্বার সমন্বয়ে একটি **অর্ধকোষ** সৃষ্টি হয়। যেমন ডেনিয়েল কোষে অর্ধকোষ দুটি হলো Zn (s) /$ZnSO_4$ (aq) এবং Cu (s)/$CuSO_4$ (aq)। জিঙ্ক তড়িৎদ্বার অ্যানোড ও কপার তড়িৎদ্বার ক্যাথোডরূপে কাজ করে।

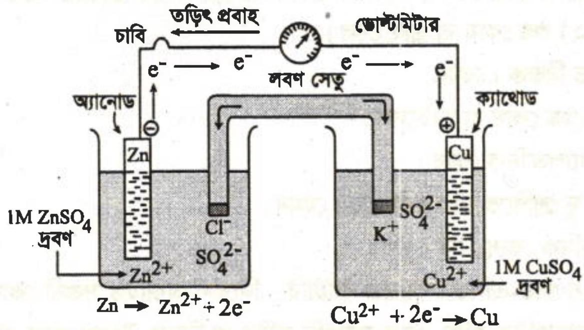
(৩) অর্ধকোষ দুটিকে একটি লবণ সেতু (KCl দ্রবণ ভর্তি U টিউব) দ্বারা এবং তড়িৎদ্বার দুটিকে একটি পরিবাহী (যেমন কপার তার) দ্বারা যুক্ত করলে পরিবাহী তারের মধ্যদিয়ে তড়িৎ প্রবাহ (ইলেকট্রন প্রবাহ) শুরু হয়। ডেনিয়েল কোষে জিঙ্ক তড়িৎদ্বার থেকে মুক্ত ইলেকট্রন পরিবাহীর মধ্যদিয়ে কপার তড়িৎদ্বারের দিকে দেখানো হয়। **কিন্তু বাস্তবে এবং প্রচলিত নিয়ম মতে বহির্বর্তনী দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ ক্যাথোড (Cu তড়িৎদ্বার) থেকে অ্যানোড (Zn তড়িৎদ্বার) এর দিকে ঘটে।**

(৪) তড়িৎ প্রবাহ চলাকালীন দু অর্ধকোষের যেটিতে জারণ ঘটে, তাকে জারণ অর্ধকোষ (যেমন Zn তড়িৎদ্বার) এবং যে অর্ধকোষে বিজারণ ঘটে, তাকে বিজারণ অর্ধকোষ (যেমন Cu তড়িৎদ্বার)। জারণ অর্ধকোষ থেকে নির্গত ইলেকট্রন বিজারণ অর্ধকোষে শোষিত হয়।

(৫) এরূপে তড়িৎ রাসায়নিক কোষে জারণ-বিজারণ দ্বারা রাসায়নিক শক্তি তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। নিচে গ্যালভানিক কোষের উদাহরণস্বরূপ ডেনিয়েল কোষের গঠন ও কার্য প্রণালি বর্ণনা করা হলো।

ডেনিয়েল কোষের গঠন ও কার্যপ্রণালি :

কোষের গঠন : ডেনিয়েল কোষে দুটি অর্ধকোষের জন্য দুটি বিকার ব্যবহার করা হয়। একটি বিকারে 1.0 M $ZnSO_4$ দ্রবণ নিয়ে এর মধ্যে একটি Zn দণ্ড আংশিকভাবে ডোবানো হয়। অপর বিকারে 1.0 M $CuSO_4$ দ্রবণ নিয়ে এর মধ্যে একটি Cu দণ্ড আংশিকভাবে ডোবানো হয়। উভয় বিকারের দ্রবণে একটি লবণ সেতু (KCl দ্রবণ ভর্তি) উল্টোভাবে ডুবিয়ে দ্রবণ দুটির মধ্যে সংযোগ করা হয়। এবার Cu ধাতু ও Zn ধাতুর দণ্ড দুটিকে কপার তার দ্বারা একটি ভোল্টমিটার ও চাবির মাধ্যমে যুক্ত করা হয়। এখন কোষটিতে **রিডক্স বিক্রিয়া** চলতে থাকবে।



চিত্র-৪.১৯ : ডেনিয়েল কোষ

MAT: 17-18

MCQ-4.21 ক্যালোমেল কোনটি? [চ. বো. ২০১৭]

(ক) $HgCl_2$ (খ) Hg_2Cl_2
(গ) HgF_2 (ঘ) Hg_2I_2

ডেনিয়েল কোষের কার্যপ্রণালি :

ডেনিয়েল কোষে $Zn/ZnSO_4$ অর্ধকোষটি জারণ অর্ধকোষ এবং $CuSO_4/Cu$ অর্ধকোষটি বিজারণ অর্ধকোষ।

জারণ অর্ধকোষে বিক্রিয়া : জারণ অর্ধকোষে Zn দণ্ডের Zn পরমাণু দুটি করে ইলেকট্রন Zn দণ্ডে রেখে Zn^{2+} আয়নরূপে $ZnSO_4$ দ্রবণে দ্রবীভূত হতে থাকলে Zn দণ্ডটি ক্ষয়প্রাপ্ত হয়। তখন Zn পরমাণুর জারণ ঘটে। Zn দণ্ডটি তড়িৎকোষের অ্যানোডরূপে কাজ করে।

অ্যানোডে জারণ বিক্রিয়া : $Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

অ্যানোডে জমাকৃত ইলেকট্রন পরিবাহী দিয়ে ক্যাথোড বা Cu দণ্ডের দিকে প্রবাহিত হবে।

বিজারণ অর্ধকোষে বিক্রিয়া : বিজারণ অর্ধকোষে $CuSO_4$ দ্রবণের Cu^{2+} আয়ন Cu দণ্ডে আগত ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়ে কপার দণ্ডে জমা হতে থাকে। তখন Cu দণ্ডটির ভর বৃদ্ধি পায়। কপার দণ্ডটি থেকে Cu^{2+} আয়ন ইলেকট্রন গ্রহণ করায় Cu দণ্ডটিতে ইলেকট্রন শোষিত হয়। তাই Cu-দণ্ডটি ক্যাথোডরূপে কাজ করে।

ক্যাথোডে বিজারণ বিক্রিয়া : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$

ডেনিয়েল কোষে সংঘটিত কোষ বিক্রিয়া :

জারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া : $Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

বিজারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$

মোট কোষ বিক্রিয়া : $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$

ডেনিয়েল কোষের কোষ বিভব : যেহেতু এক্ষেত্রে তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ঘনমাত্রা 1M আছে, সেহেতু 25°C তাপমাত্রায় কোষটির ভোল্টমিটারে 1.1 V প্রদর্শিত হবে।

ডেনিয়েল কোষে লবণ সেতুর ভূমিকা :

(১) লবণ সেতুটি দুটি অর্ধকোষের মধ্যে সংযোগ স্থাপন করে একটি পূর্ণ কোষ গঠন করেছে।

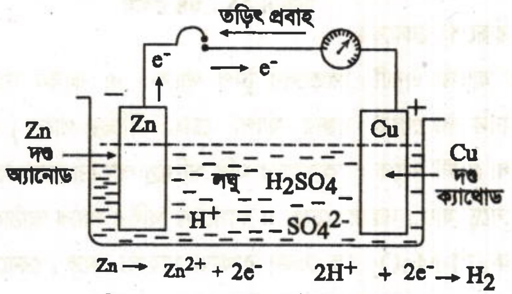
(২) কোষ বিক্রিয়া চলতে থাকলে, তখন অ্যানোডে $ZnSO_4$ এর দ্রবণে Zn পরমাণু Zn^{2+} আয়নরূপে দ্রবীভূত হওয়ার কারণে ধনাত্মক Zn^{2+} আয়নের ঘনমাত্রা ঋণাত্মক SO_4^{2-} আয়নের ঘনমাত্রার চেয়ে বেশি থাকে।

অপরদিকে ক্যাথোডে $CuSO_4$ দ্রবণে Cu^{2+} আয়ন বিজারিত হয়ে Cu পরমাণুরূপে Cu দণ্ডে জমা হওয়ায় ঐ দ্রবণে ধনাত্মক Cu^2 আয়নের তুলনায় ঋণাত্মক SO_4^{2-} আয়নের ঘনমাত্রা বেশি থাকে। এর ফলে অ্যানোডে ধনাত্মক চার্জযুক্ত আয়নের এবং ক্যাথোডে ঋণাত্মক চার্জযুক্ত আয়নের ঘনমাত্রা বেশি হয়। তখন উভয় তড়িৎ-বিশ্লেষ্য দ্রবণে তড়িৎ-নিরপেক্ষতা থাকে না। তাই তড়িৎ-বিশ্লেষ্য দুটিতে **তড়িৎ-নিরপেক্ষতা স্থির রাখার** জন্য লবণ সেতুর মধ্যে থাকা তড়িৎ-বিশ্লেষ্য দ্রবণের ঋণাত্মক আয়ন (যেমন Cl^- আয়ন) অ্যানোডের দ্রবণে এবং এর ধনাত্মক আয়ন (যেমন K^+ আয়ন) ক্যাথোডের দ্রবণে প্রবেশ করে। ফলে উভয় তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের তড়িৎ নিরপেক্ষতা বজায় থাকে।

(৩) লবণ সেতু কোষের তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্যে তড়িৎ-নিরপেক্ষতা বজায় রেখে তড়িৎ প্রবাহ অক্ষুণ্ন রাখতে সাহায্য করেছে।

(খ) এক-প্রকোষ্ঠবিশিষ্ট তড়িৎ রাসায়নিক কোষ : সরল ভোল্টায়িক কোষ

কোষের গঠন : (১) সরল ভোল্টায়িক কোষে (Simple Voltaic Cell-এ) একটিমাত্র পাত্র যেমন একটি বিকার ব্যবহার করা হয়। (২) বিকারের মধ্যে একটি তড়িৎ-বিশ্লেষ্য যেমন লঘু H_2SO_4 দ্রবণ নিয়ে ঐ দ্রবণে দুটি তড়িৎদ্বার যেমন Zn দণ্ড ও Cu দণ্ডকে আংশিক নিমজ্জিত করে রাখা হয়। (৩) এরপর ঐ তড়িৎদ্বার দুটিকে পরিবাহী তার (যেমন Cu তার) দ্বারা যুক্ত করলে এক প্রকোষ্ঠবিশিষ্ট তড়িৎ রাসায়নিক কোষ গঠিত হয়। এখন রিডক্স বিক্রিয়ার ফলে তড়িৎ প্রবাহ ঘটে।



চিত্র-৪.২০ : সরল ভোল্টায়িক কোষ

> **MCQ-4.22 : 1 মোল Cu ক্যাথোডে সঞ্চিত করতে $CuSO_4$ দ্রবণে কত বিদ্যুৎ চালনা করতে হবে?** [চ. বো. ২০১৭]
> (ক) 1 F (খ) 2 F
> (গ) 3 F (ঘ) 4F

কোষের কার্য-প্রণালি : সরল ভোল্টায়িক কোষে $Zn(s)/H^+(aq)$ অর্ধকোষটি জারণ অর্ধকোষ এবং $H^+(aq)/Cu\ (s)$ অর্ধকোষটি বিজারণ অর্ধকোষরূপে কাজ করে।

জারণ অর্ধকোষে বিক্রিয়া : লঘু H_2SO_4 এসিড জলীয় দ্রবণে আয়নিত হয়ে H^+ আয়ন ও SO_4^{2-} আয়নরূপে থাকে

$$H_2SO_4\,(aq) \longrightarrow 2H^+\,(aq) + SO_4^{2-}\,(aq)$$

এসিড দ্রবণে H^+ আয়নের সংস্পর্শে Zn দণ্ডের Zn পরমাণু দুটি করে ইলেকট্রন Zn. দণ্ডে রেখে Zn^{2+} আয়নরূপে এসিড দ্রবণে দ্রবীভূত হয়। তখন Zn পরমাণুর জারণ ঘটে এবং Zn দণ্ডটি অ্যানোডরূপে কাজ করে।

$$\text{অ্যানোডে জারণ : } Zn\,(s) \longrightarrow Zn^{2+}\,(aq) + 2e^-$$

অ্যানোডে জমাকৃত ইলেকট্রন পরিবাহী দিয়ে ক্যাথোড বা Cu দণ্ডের দিকে প্রবাহিত হয়।

বিজারণ অর্ধকোষে বিক্রিয়া : বিজারণ অর্ধকোষে লঘু H_2SO_4 এসিড দ্রবণের H^+ আয়ন Cu দণ্ডে আগত ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়ে প্রথমে H পরমাণু এবং পরে H_2 অণুরূপে মুক্ত হয়। যেহেতু Cu দণ্ডে ইলেকট্রন শোষিত হয়, সেহেতু Cu দণ্ড ক্যাথোডরূপে কাজ করে।

ক্যাথোডে বিজারণ : $2H^+ (aq) + 2e^- \longrightarrow H_2 (g)$

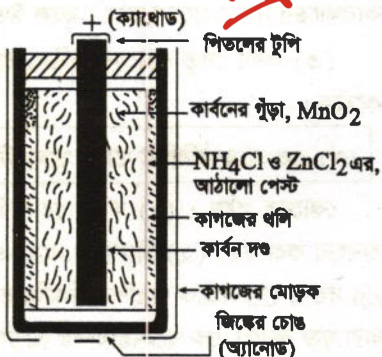
MCQ-4.23 : শুষ্ক কোষের emf কত? [চ. বো. ২০১৭]
(ক) 1.1 V (খ) 1.2 V
(গ) 1.5 V (ঘ) 1.8 V

কোষের সামগ্রিক বিক্রিয়া :

অ্যানোডে জারণ	:	$Zn (s) \longrightarrow$	$Zn^{2+} (aq) + 2e^-$
ক্যাথোডে বিজারণ	:	$2H^+ (aq) + 2e^- \longrightarrow$	$H_2 (g)$
মোট কোষ বিক্রিয়া	:	$Zn (s) + 2H^+ (aq) \longrightarrow$	$Zn^{2+} (aq) + H_2 (g)$

(গ) এক-প্রকোষ্ঠবিশিষ্ট শুষ্ক কোষ বা ড্রাই সেল (Dry Cell)

শুষ্ক কোষ হলো একটি প্রাথমিক কোষ বা প্রাইমারি সেল, যা লেকল্যান্স বিদ্যুৎ কোষের একটি ভিন্ন রূপ। এ বিশেষ লেকল্যান্স কোষে বিদ্যুৎ উত্তেজক হিসেবে NH_4Cl এর পেস্ট এবং ক্যাথোডের গায়ে H_2 গ্যাস দ্বারা পোলারন বা ছদন নিবারক হিসেবে জারকরূপে কঠিন ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড (MnO_2) ব্যবহৃত হয় বলে একে শুষ্ক কোষ বলে।



চিত্র-৪.২১ : শুষ্ক কোষ

কোষের গঠন : শুষ্ক বিদ্যুৎ কোষে জিঙ্ক অর্থাৎ দস্তার তৈরি একটি একমুখ বদ্ধ ফাঁপা চোঙকে বহিঃপাত্র হিসেবে ব্যবহার করা হয় যা ঋণাত্মক পাত বা অ্যানোড হিসেবে কাজ করে। চোঙটিকে একটি কাগজের মোড়কে ঢেকে রাখা হয়। এ চোঙের ঠিক মাঝখানে একটি কার্বন দণ্ড (কোষের নিষ্ক্রিয় তড়িৎদ্বাররূপে) কোষের ধনাত্মক পাত বা ক্যাথোড হিসেবে কাজ করে। কার্বন দণ্ডের মাথায় একটি পিতলের টুপি থাকে। এ কার্বন দণ্ডটি আলকাতরাযুক্ত কাগজের ওপর খাড়াভাবে বসানো থাকে, ফলে কার্বন দণ্ড থেকে দস্তার ফাঁপা চোঙ বিচ্ছিন্ন থাকে। এর চারপাশে কাগজের থলিতে MnO_2 ও গুঁড়া কার্বনের একটি আঠালো পেস্ট থাকে। কাগজের থলি সচ্ছিদ্র পাত্রের কাজ করে এবং কার্বন গুঁড়া ব্যবহারের ফলে ক্যাথোডের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল বেড়ে যায়। দস্তার চোঙ ও কাগজের থলির মাঝে আঠালো স্টার্চের গুঁড়া, NH_4Cl ও সামান্য $ZnCl_2$ এর একটি পেস্ট থাকে, যা MnO_2 কে ভেজা রাখতে সাহায্য করে। কোষের উপরের মুখে পিচ বা গালা স্তর থাকে। এ কোষের E.M.F. প্রায় 1.5 Volt।

কোষ বিক্রিয়া :

অ্যানোডে পরিবর্তন	:	$Zn (s) \longrightarrow$	$Zn^{2+}(aq) + 2e^-$
ক্যাথোডে পরিবর্তন	:	$2NH_4^+ (aq) + 2e^- \longrightarrow$	$2NH_3 (g) + H_2(g)$
সামগ্রিক কোষ বিক্রিয়া	:	$Zn (s) + 2NH_4^+ (aq) \longrightarrow$	$Zn^{2+} (aq) + 2NH_3 (g) + H_2(g)$

উৎপন্ন H_2 গ্যাস MnO_2 দ্বারা জারিত হয়ে পানি এবং উৎপন্ন NH_3 পানিতে দ্রবীভূত হয়।

$$2MnO_2 (s) + H_2 (g) \longrightarrow Mn_2O_3 (s) + H_2O (l)$$

সুতরাং শুষ্ক কোষের কোষ সংকেত বা সেল ডায়াগ্রাম নিম্নরূপ :

$$Zn (s)/Zn^{2+} (aq) \mid 2NH_4^+ (aq), [2NH_3(aq) + H_2(g)] /C (gr); \quad E = 1.5 V.$$

শুষ্ক কোষের ব্যবহার : সাইকেলের আলো, রেডিও, টর্চ লাইট প্রভৃতিতে এটি ব্যবহৃত হয়।

৪.১৪.১ এক-প্রকোষ্ঠবিশিষ্ট তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষ
Electrolytic Cell with Single Compartment

তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষের সংজ্ঞা : যে তড়িৎকোষে কোনো তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের গলিত তরলে অথবা জলীয় দ্রবণে বাহ্যিক উৎস থেকে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করে তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের আয়নগুলোকে জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার মাধ্যমে নতুন পদার্থে পরিণত করা হয়, তাকে **তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষ** বলে। এ প্রক্রিয়াটিকে **তড়িৎ-বিশ্লেষণ** বলে। **তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষে তড়িৎ শক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তর করা হয়।**

তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষের গঠন : (১) তড়িৎ অপরিবাহী একটি পাত্রে যথোপযুক্ত দুটি তড়িৎদ্বার বা ইলেকট্রোড বিন্যস্ত করে রাখা হয়। ইলেকট্রোড হিসেবে গ্রাফাইট দণ্ড, লোহার দণ্ড, নিকেল দণ্ড ও ক্ষেত্রবিশেষে ক্যাথোডরূপে মারকারি ব্যবহৃত হয়। (২) ঐ পাত্রে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য যৌগের গলিত তরল অথবা জলীয় দ্রবণ রেখে বাইরে থেকে তড়িৎ চালনা করে তড়িৎ-বিশ্লেষণ ঘটানো হয়।

(৩) এক্ষেত্রে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষের অ্যানোড ও ক্যাথোডকে যথাক্রমে তড়িৎ উৎসের (যেমন ব্যাটারির) ধনাত্মক প্রান্ত ও ঋণাত্মক প্রান্তের সাথে যুক্ত করা হয়। [দ্রষ্টব্য তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষের তড়িৎদ্বারের ধনাত্মক (+ ve) ও ঋণাত্মক (– ve) প্রান্ত তড়িৎ রাসায়নিক কোষের বিপরীত হয়। এক্ষেত্রে ধনাত্মক অ্যানোডে ঋণাত্মক আয়নের ইলেকট্রন বর্জনের মাধ্যমে জারণ ঘটে। তাই ঋণাত্মক আয়নকে **অ্যানায়ন** বলে। অনুরূপভাবে ঋণাত্মক ক্যাথোডে ধনাত্মক আয়নের ইলেকট্রন গ্রহণের মাধ্যমে বিজারণ ঘটে। তাই ধনাত্মক আয়নকে **ক্যাটায়ন বলে**।] উদাহরণস্বরূপ :

(i) বিগলিত NaCl এর তড়িৎ-বিশ্লেষণে Na ধাতু ও Cl_2 গ্যাস উৎপন্ন করা হয়।

(ii) NaCl এর গাঢ় জলীয় দ্রবণ বা ব্রাইনের তড়িৎ-বিশ্লেষণে NaOH, H_2 ও Cl_2 গ্যাস উৎপন্ন করা হয়।

(ক) বিগলিত NaCl এর তড়িৎ-বিশ্লেষণ : Na ধাতু ও Cl_2 উৎপাদন : ডাউন পদ্ধতি

মূলনীতি : আধুনিক ডাউন পদ্ধতিতে বিগলিত সোডিয়াম ক্লোরাইডকে তড়িৎ-বিশ্লেষণ করা হয়। ফলে ক্যাথোডে সোডিয়াম ধাতু ও অ্যানোডে ক্লোরিন গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$NaCl\,(l) \longrightarrow Na^+\,(l) + Cl^-\,(l)$$

ক্যাথোডে বিজারণ : $Na^+\,(l) + e^- \longrightarrow Na\,(l)$

অ্যানোডে জারণ : $2Cl^-\,(l) \longrightarrow Cl_2\,(g) + 2e^-$

> **MCQ-4.24 : শুষ্ক কোষের অ্যানোড কোনটি?** [চ. বো. ২০১৭]
> (ক) NH_4Cl (খ) MnO_2
> (গ) Zn (ঘ) C-দণ্ড

NaCl এর গলনাঙ্ক 801°C। এত উচ্চতাপমাত্রায় উৎপন্ন সোডিয়াম ধাতু (স্ফুটনাঙ্ক 883°C) বাষ্পীভূত হয়ে থাকে। তাই NaCl এর সাথে বিগালকরূপে $CaCl_2$ মিশ্রিত করলে 600°C তাপমাত্রায় NaCl এর বিগলিত তরল উৎপন্ন হয়। ফলে বিভিন্ন অসুবিধা দূর হয়। নিম্নতর তাপমাত্রা বহাল রাখা কম ব্যয়সাধ্য।

পদ্ধতির বর্ণনা : লোহার তৈরি একটি ট্যাংকে সোডিয়াম ক্লোরাইড (42%) ও ক্যালসিয়াম ক্লোরাইডের (58%) একটি মিশ্রণ নিয়ে বৈদ্যুতিক পদ্ধতিতে 600°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করে গলানো হয়। একটি শক্ত ও প্রশস্ত গ্রাফাইট কার্বন অ্যানোড হিসেবে ট্যাংকের নিচ থেকে ভেতরের দিকে প্রবেশ করানো থাকে। এ অ্যানোডকে বেষ্টন করে কিছু দূরে একটি বৃত্তাকার শক্ত লোহার পাত ক্যাথোড হিসেবে কাজ করে।

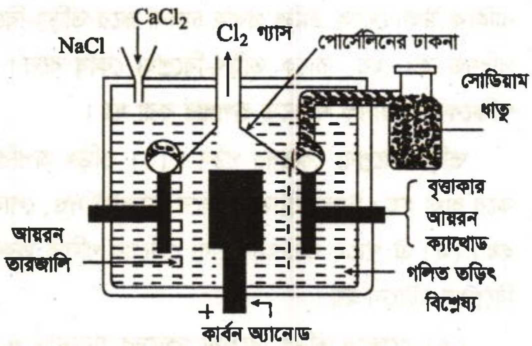
ক্যাথোডের ওপরের অংশটুকু একটি ঢাকনার সাহায্যে আবৃত করে রাখা হয়। এ ঢাকনার ওপরে একটি পাইপ থাকে, যেন উৎপন্ন সোডিয়াম এ পাইপ দিয়ে বাইরে কেরোসিন পূর্ণ পাত্রে জমা হয়। পোর্সেলিনের একটি বড়ো গম্বুজাকৃতি ঢাকনাকে অ্যানোডের ঠিক ওপরে রাখা হয়। এর ভেতর দিয়ে উৎপন্ন Cl_2 গ্যাস বের হয়। অ্যানোড ও ক্যাথোডের মাঝখানে একটি

তারজালি থাকে, যেন ক্যাথোডে উৎপন্ন সোডিয়াম অ্যানোডের দিকে যেতে না পারে। এ তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষের মধ্যদিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত করলে ক্যাথোডে সোডিয়াম আয়ন বিজারিত হয়ে সোডিয়াম ধাতুতে পরিণত হয়। অপরদিকে অ্যানোডে ক্লোরাইড আয়ন জারিত হয়ে ক্লোরিন গ্যাস নির্গম পথে বের হয়।

তড়িৎ-বিশ্লেষণ চলার সময় লোহার ট্যাংকের ওপরের একটি পথ দিয়ে নতুন NaCl যোগ করে গলিত মিশ্রণের পরিমাণ একই রাখা হয়।

সোডিয়াম ধাতু সংরক্ষণ : সোডিয়াম ধাতুকে নিষ্ক্রিয় তরল কেরোসিনের মধ্যে সংরক্ষণ করা হয়। /প্যারাফিন তরল

জেনে নাও NaCl এর পরিবর্তে $CaCl_2$ ব্যবহার করে Ca এবং $MgCl_2$ ব্যবহার করে Mg ধাতু নিষ্কাশন সম্ভব।



চিত্র-৪.২২ : গলিত NaCl থেকে সোডিয়াম ধাতুর নিষ্কাশন

(খ) NaCl এর গাঢ় জলীয় দ্রবণের তড়িৎ-বিশ্লেষণ : NaOH, Cl_2, H_2 উৎপাদন : MAT: 18-19

মূলনীতি : সোডিয়াম ক্লোরাইড বা খাদ্য লবণ (NaCl) এর গাঢ় জলীয় দ্রবণকে ব্রাইন বলে। এ দ্রবণে NaCl সোডিয়াম আয়ন ও ক্লোরাইড আয়নরূপে পৃথক হয়। একই সাথে পানিও কিছুটা বিয়োজিত হয়। যেমন, MAT: 11-12

$$NaCl\,(aq) \longrightarrow Na^+\,(aq) + Cl^-\,(aq)$$
$$H_2O\,(l) \longrightarrow H^+\,(aq) + OH^-\,(aq)$$

NaCl-এর জলীয় দ্রবণে Na^+, Cl^-, H^+ এবং OH^- বর্তমান থাকে। NaCl এর গাঢ় জলীয় দ্রবণে তড়িৎ প্রবাহিত করলে দ্রবণে উপস্থিত ধনাত্মক সোডিয়াম আয়ন (Na^+) ও হাইড্রোজেন আয়ন (H^+) ক্যাথোডে আকৃষ্ট হয়; H^+ এর বিজারণ বিভব বেশি হওয়ায় ক্যাথোড থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয় এবং H_2 গ্যাসে পরিণত হয়। কিন্তু ব্রাইনে OH^- আয়নের তুলনায় Cl^- আয়নের ঘনমাত্রা অনেক বেশি হওয়ায় অ্যানোডে OH^- আয়ন জারিত না হয়ে Cl^- আয়ন জারিত হয়ে Cl_2 গ্যাসরূপে মুক্ত হয়।

ক্যাথোডে বিজারণ : $2H^+\,(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2\,(g)$

অ্যানোডে জারণ : $2Cl^-\,(aq) \longrightarrow Cl_2\,(g) + 2e^-$

ক্যাথোডের কাছে দ্রবণে ক্রমাগতভাবে সঞ্চিত Na^+ আয়ন ও OH^- আয়ন সংযোগে NaOH উৎপন্ন হয়।

$$Na^+\,(aq) + OH^-\,(aq) \longrightarrow NaOH\,(aq)$$

অসুবিধা : এ প্রক্রিয়ার অসুবিধা হলো অ্যানোডে উৎপন্ন Cl_2 গ্যাস এবং ক্যাথোডে উৎপন্ন NaOH দ্রবণ পরস্পরের সংস্পর্শে সোডিয়াম ক্লোরাইড (NaCl) ও সোডিয়াম হাইপোক্লোরাইট (NaClO) সৃষ্টি করে। ফলে NaOH এর অপচয় ঘটে।

$$2NaOH\,(aq) + Cl_2\,(aq) \xrightarrow{25°C} NaCl\,(aq) + NaClO\,(aq) + H_2O\,(l)$$

অপচয় রোধ : NaOH এর এরূপ পরিচয় রোধ করার জন্য বিশেষ তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষ যেমন নেলসন সেলে ক্যাথোড ও অ্যানোডকে পরস্পর থেকে অ্যাস্‌বেস্টস কাগজের ডায়াফ্রাম বা পর্দা দ্বারা পৃথক করে রাখা হয়।

জেনে নাও : ধাতুর লবণের জলীয় দ্রবণে যেমন NaCl এর জলীয় দ্রবণে দুটি করে ক্যাটায়ন (Na^+, H^+) ও দুটি অ্যানায়ন (Cl^-, OH^-) থাকে। তাই ধাতব লবণের জলীয় দ্রবণের তড়িৎ-বিশ্লেষণে সারণি-৪.২ অনুসারে বিভিন্ন উৎপাদ পাওয়া যায়। যেমন;

(১) তড়িৎ রাসায়নিক সিরিজে (সারণি ৪.২) ক্যাটায়নের অবস্থান H^+ আয়নের ওপরে হলে ক্যাথোডে H_2 উৎপন্ন হয়।

(২) কিন্তু ক্যাটায়নের অবস্থান H^+ আয়নের নিচে হলে ক্যাথোডে ধাতু জমা হয় যেমন, Cu^{2+}, Ag^+, Au^{3+} আয়ন।

(৩) মধ্যম সক্রিয় ধাতুর আয়ন যেমন, Zn^{2+}, Fe^{2+} এর গাঢ় জলীয় দ্রবণের বেলায় ধাতুর ক্যাটায়নের ঘনমাত্রা বেশি থাকার কারণে ক্যাথোডে ধাতু জমা হয়, H_2 উৎপন্ন হয় না।

(৪) ধাতুর ক্লোরাইড, ব্রোমাইড ও আয়োডাইডের গাঢ় জলীয় দ্রবণের তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের বেলায় অ্যানোডে যথাক্রমে Cl_2, Br_2 ও I_2 উৎপন্ন হয়।

(৫) ধাতুর নাইট্রেট ও সালফেট (NO_3^-, SO_4^{2-}) আয়নের লঘু জলীয় দ্রবণে অ্যানোডে O_2 গ্যাস মুক্ত হয়।

৪.১৪.২ তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষ ও গ্যালভানিক কোষের বৈশিষ্ট্য ও পার্থক্য

Differential Properties of Electrolytic Cell & Galvanic Cell

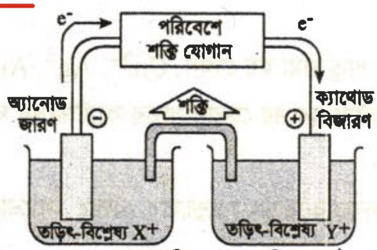
এক-প্রকোষ্ঠবিশিষ্ট ইলেকট্রোলাইটিক সেল বা তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষ এবং দ্বিপ্রকোষ্ঠবিশিষ্ট গ্যালভানিক কোষ বা ভোল্টায়িক কোষে নিম্নরূপ বৈশিষ্ট্য ও পার্থক্য আছে।

(১) গ্যালভানিক কোষে **স্বতঃস্ফূর্ত** রিডক্স বিক্রিয়ার রাসায়নিক শক্তি বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। তড়িৎকোষ বিক্রিয়া মতে উভয় তড়িৎদ্বারের রাসায়নিক বিভব পার্থক্যই বিদ্যুৎ প্রবাহ সৃষ্টি করে। এক্ষেত্রে উচ্চশক্তির বিক্রিয়কসমূহ থেকে নিম্নশক্তির উৎপাদ সৃষ্টি এবং অতিরিক্ত নির্গত রাসায়নিক শক্তি বিদ্যুৎশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এ প্রক্রিয়ায় 'উৎপন্ন বিদ্যুৎশক্তি' পরিবেশের ওপর ক্রিয়া করে (the system does work on the surroundings) অর্থাৎ পরিবেশে শক্তি যোগান দেয়। যেমন গ্যালভানিক কোষের এ বিদ্যুৎশক্তি টর্চ লাইট, CD-প্লেয়ার ও বিভিন্ন বৈদ্যুতিক যন্ত্রের বিদ্যুৎ চাহিদা (load) পূরণ করতে ব্যাটারিরূপে ব্যবহৃত হয়।

(২) ইলেকট্রোলাইটিক সেলে বা তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষে **অস্বতঃস্ফূর্ত** রিডক্স বিক্রিয়াকে বাহ্যিক বিদ্যুৎশক্তি দ্বারা সক্রিয় করা হয়। এক্ষেত্রে তড়িৎকোষ বিক্রিয়ায় নিম্নশক্তির বিক্রিয়কসমূহে বাহ্যিক উৎসের বিদ্যুৎশক্তি যোগান দিয়ে উচ্চশক্তির উৎপাদে পরিণত করা হয়। তখন ঐ রিডক্স বিক্রিয়াটি ঘটাতে বাহ্যিক বিদ্যুৎ শক্তি ব্যয়িত হয়। অর্থাৎ এক্ষেত্রে 'বাহ্যিক পরিবেশ শক্তি' তড়িৎবিশ্লেষ্য কোষের প্রক্রিয়ার ওপর ক্রিয়া করে ; (the surroundings do work on the system)। যেমন ইলেকট্রোপ্লেটিং, Al-ধাতু নিষ্কাশন, ব্লিস্টার কপার তড়িৎ-বিশোধন ইত্যাদিতে ইলেকট্রোলাইটিক সেল ব্যবহৃত হয়। [উভয় শ্রেণির তড়িৎকোষে গঠনগত কিছু সাদৃশ্য চিত্র-৪.২৩ (ক. খ) থেকে বোঝা যাবে।]

(১) প্রত্যেক তড়িৎকোষে সংশ্লিষ্ট তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের জলীয় দ্রবণে দু'টি করে তড়িৎদ্বার বা ইলেকট্রোড ডুবানো থাকে। এ তড়িৎদ্বার দুটির মাধ্যমে গ্যালভানিক কোষের বেলায় বিদ্যুৎ বাহ্যিক পরিবেশে এবং তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষের বেলায় ঐ তড়িৎকোষে প্রবাহিত হয়। কোষের অর্ধ-বিক্রিয়ার প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে তড়িৎদ্বার দুটিকে অ্যানোড ও ক্যাথোডরূপে চিহ্নিত করা হয়।

গ্যালভানিক কোষ	ইলেকট্রোলাইটিক কোষ বা তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষ
(i) স্বতঃস্ফূর্ত রিডক্স বিক্রিয়া থেকে গ্যালভানিক কোষে শক্তি উৎপন্ন হয়।	(i) অস্বতঃস্ফূর্ত রিডক্স বিক্রিয়া ঘটাতে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষে শক্তি শোষিত হয়।
(ii) সিস্টেম (এর শক্তি) পরিবেশের ওপর ক্রিয়া করে।	(ii) পরিবেশ (বিদ্যুৎ সাপ্লাই) সিস্টেমের ওপর ক্রিয়া করে।



চিত্র-৪.২৩(ক): গ্যালভানিক কোষ(দ্বিপ্রকোষ্ঠ)।

চিত্র-৪.২৩(খ): ইলেকট্রোলাইটিক কোষ (এক-প্রকোষ্ঠ)।

গ্যালভানিক কোষ:

(iii) জারণ অর্ধ-বিক্রিয়া (অ্যানোডে) :

$$X(s) \longrightarrow X^+(aq) + e^-$$

বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া (ক্যাথোডে) :

$$Y^+(aq) + e^- \longrightarrow Y(s)$$

সমগ্র কোষ বিক্রিয়া :

$$X(s) + Y^+(aq) \longrightarrow X^+(aq) + Y(s)$$

এক্ষেত্রে X হলো অধিক সক্রিয় বিজারক এবং Y^+ হলো অধিক সক্রিয় জারক।

ইলেকট্রোলাইটিক কোষ:

(iii) জারণ অর্ধ-বিক্রিয়া (অ্যানোডে) :

$$A^-(aq) \longrightarrow A(s) + e^-$$

বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া (ক্যাথোডে) :

$$B^+(aq) + e^- \longrightarrow B(s)$$

সমগ্র কোষ বিক্রিয়া :

$$A^-(aq) + B^+(aq) \longrightarrow A(s) + B(s)$$

এক্ষেত্রে A^- ও B^+ আয়নদ্বয় হলো তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের বিদ্যুৎ পরিবাহী আয়ন।

(২) গ্যালভানিক কোষে, জারণ অর্ধ-বিক্রিয়া **ঋণাত্মক অ্যানোডে** ঘটে। অধিক সক্রিয় বিজারক বা সক্রিয় ধাতু ইলেকট্রন ত্যাগ করে জারিত হয় এবং ঐ সব ইলেকট্রন অ্যানোড থেকে বাইরে পরিবাহীর মাধ্যমে কোষ ত্যাগ করে।

বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া ধনাত্মক ক্যাথোডে ঘটে। অ্যানোড থেকে পরিবাহীর মাধ্যমে আসা ইলেকট্রন ক্যাথোডের মাধ্যমে কোষে প্রবেশ করে এবং জারক পদার্থ (ধাতব আয়ন) ঐ ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়।

অপরদিকে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষে জারণ অর্ধ-বিক্রিয়া **ধনাত্মক অ্যানোডে** ঘটে, তখন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ঋণাত্মক আয়ন ধনাত্মক অ্যানোডে ইলেকট্রন বর্জন করে। আবার এক্ষেত্রে বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া ঋণাত্মক ক্যাথোডে ঘটে; তখন বাইরের বিদ্যুৎ সাপ্লাই থেকে আসা ইলেকট্রনকে তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ধনাত্মক আয়ন শোষণ করে।

(৩) চিত্র-৪.২৩ (ক) ও (খ) থেকে জানা যায় গ্যালভানিক কোষ ও তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষের অ্যানোড ও ক্যাথোডে বিদ্যুৎ চার্জের প্রকৃতি ভিন্ন। **গ্যালভানিক কোষে অ্যানোড ঋণাত্মক কিন্তু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষে অ্যানোড ধনাত্মক।** উভয় কোষে ধাতব পরমাণু ও ধাতব আয়নের জারণ প্রক্রিয়ায় নির্গত **ইলেকট্রনের উৎস ভিন্ন** হওয়ায় এরূপ পার্থক্য ঘটেছে। উভয় কোষের জারণ অর্ধ-বিক্রিয়া থেকে তা সুস্পষ্ট হবে। যেমন, গ্যালভানিক কোষে অ্যানোড **ঋণাত্মক;** কিন্তু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষে অ্যানোড **ধনাত্মক** হয়। গ্যালভানিক কোষে ক্যাথোড **ধনাত্মক;** কিন্তু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষে ক্যাথোড **ঋণাত্মক** হয়।

৪.১৫ রিচার্জেবল (লেড স্টোরেজ ও লিথিয়াম) ব্যাটারি

Rechargeable (Lead Storage & Lithium) Battery

তোমরা নবম-দশম শ্রেণির রসায়নে ড্রাইসেল বা ব্যাটারি সম্বন্ধে জেনেছো। এটি **প্রাইমারি কোষ;** এটিকে রিচার্জ করা যায় না। প্রাইমারি কোষের উপাদানসমূহ এদের সাম্য-ঘনমাত্রায় পৌঁছলে এটি নিষ্ক্রিয় বা মৃত (dead) হয়।

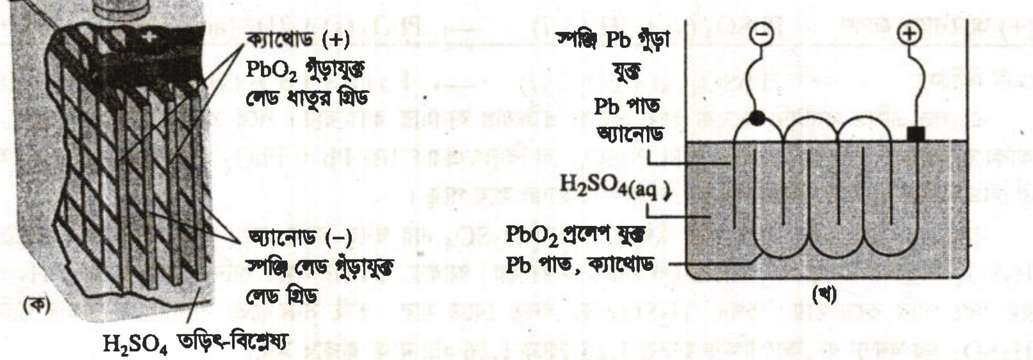
অপরদিকে লেড স্টোরেজ ব্যাটারি, লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারি হলো রিচার্জেবল ব্যাটারি; এদেরকে সেকেন্ডারি ব্যাটারি বা গৌণ কোষ বা **সঞ্চয়ী কোষ** বলে। সেকেন্ডারি ব্যাটারি প্রথমত গ্যালভানিক কোষরূপে ক্রিয়াশীল; কিন্তু রিচার্জের বেলায়

ইলেকট্রোলাইটিক কোষ শ্রেণিভুক্ত হয়। তখন বাইর থেকে বিদ্যুৎশক্তি প্রবাহিত করে অস্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়াকে সংঘটিত করে বিদ্যুৎশক্তিকে রাসায়নিক শক্তিরূপে সঞ্চিত করা হয়। পরে ঐ সঞ্চিত রাসায়নিক শক্তিকে কোষ বিক্রিয়ারূপে পুনরায় বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করে ব্যবহার করা হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে কোষ বিক্রিয়াটির উভমুখিতা অবস্থা নির্ভর হয়ে থাকে। এখন লেড-এসিড ব্যাটারি ও লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারির গঠন, কার্যপ্রণালি ও রিচার্জ প্রক্রিয়া আলোচনা করা হবে।

(১) লেড-এসিড স্টোরেজ ব্যাটারি (Lead-Acid Storage Battery)

এ শ্রেণিভুক্ত লেড-এসিড কার ব্যাটারিতে ছয়টি কোষ সমান্তরাল সংযোগে যুক্ত থাকে। প্রতিটি কোষ থেকে প্রায় 2.0V হিসেবে মোট প্রায় 12V বিদ্যুৎ কার-ব্যাটারিতে উৎপন্ন হয়। **লেড-এসিড কার ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ প্রায় 0.001 ওম।**

DAT: 22-23



চিত্র-৪.২৪ : লেড-এসিড স্টোরেজ ব্যাটারি।

কোষের গঠন : প্রতিটি কোষে ইলেকট্রোডরূপে দুটি লেড ধাতুর গ্রিড (grid) বা লেড ধাতুর ঝাঁঝরি জালি থাকে। অ্যানোডরূপে ব্যবহৃত গ্রিডে অধিক পৃষ্ঠতল ক্ষেত্রযুক্ত স্পঞ্জি Pb ধাতুর গুঁড়া এবং ক্যাথোডরূপে ব্যবহৃত অধিক পৃষ্ঠতল ক্ষেত্রযুক্ত PbO_2 গুঁড়া Pb গ্রেডে যুক্ত থাকে। এসব গ্রিড ডুবানো অবস্থায় থাকে তড়িৎ-বিশ্লেষ্যরূপে ব্যবহৃত প্রায় 4.5M H_2SO_4 দ্রবণে (বা, 38% w/w H_2SO_4 দ্রবণ, ঘনত্ব 1.29 g/cm³)। গ্লাস-ফাইবার শিট দ্বারা গ্রিডগুলো পৃথক ও অন্তরীত অবস্থায় থাকে। তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টির সময় অ্যানোডের Pb ধাতু জারিত হয়ে লেড (II) সালফেটরূপে অ্যানোডে লেগে থাকে। উভয় ইলেকট্রোড H_2SO_4 এর দ্রবণে ডুবানো থাকে বলে এ কোষটির ডায়াগ্রাম বা, কোষ সংকেত হলো :

$$Pb, PbSO_4/H_2SO_4\,(aq)/PbO_2, Pb$$

কার্যপ্রণালি : (১) কোষটি থেকে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হওয়ার সময় বা ডিস্‌চার্জের সময় গ্যালভানিক কোষ হিসেবে নিম্নরূপ অর্ধ-বিক্রিয়া ও কোষ বিক্রিয়া ঘটে :

(–) অ্যানোডে জারণ : $Pb\,(s) + HSO_4^-\,(aq) \longrightarrow PbSO_4\,(s) + H^+\,(aq) + 2e^-$ $E^o = 0.3V$

(+) ক্যাথোডে বিজারণ : $PbO_2\,(s) + 3H^+\,(aq) + HSO_4^-\,(aq) + 2e^- \longrightarrow PbSO_4\,(s) + 2H_2O\,(l)$, $E^o = 1.7V$

কোষ বিক্রিয়া : $Pb\,(s) + PbO_2\,(s) + 2H^+\,(aq) + 2HSO_4^-\,(aq) \longrightarrow 2PbSO_4\,(s) + 2H_2O\,(l)$, $E^o = 2.0V$

লক্ষ্যণীয় : (১) উভয় বিক্রিয়াতে HSO_4^- আয়ন অংশগ্রহণ করেছে। SO_4^{2-} আয়ন অংশ নেয়নি; কারণ সবল এসিড দ্রবণে SO_4^{2-} মূলক প্রোটনযুক্ত থাকে।

(২) উভয় অর্ধ-বিক্রিয়ায় উৎপাদরূপে Pb^{2+} আয়ন উৎপন্ন হয়েছে। অ্যানোডে Pb এর জারণে Pb^{2+} আয়ন এবং ক্যাথোডে PbO_2 এর বিজারণে Pb^{2+} আয়ন উৎপন্ন হয়েছে। পরে Pb^{2+} আয়ন HSO_4^- এর সাথে বিক্রিয়া করে উভয় ইলেকট্রোডে অদ্রবণীয় $PbSO_4\,(s)$ রূপে উৎপন্ন হয়ে লেগে থাকে।

রিচার্জ প্রক্রিয়া : ব্যবহারের ফলে ব্যাটারির emf. 1.17V এর কম হলে রিচার্জ করা হয়। কোষটির রিচার্জের সময়, ইলেকট্রোলাইটিক কোষের মতো বাহ্যিক একমুখী বিদ্যুৎশক্তি (বা direct current) কোষে প্রবাহিত করে অস্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়াটিকে সংঘটিত করা হয়। তখন ব্যাটারির ইলেকট্রোড দুটিকে পাওয়ার সাপ্লাইয়ের সাথে পূর্বের বিপরীত ক্রমে যুক্ত করা হয়। পূর্বের অ্যানোডে বিদ্যুৎ যোগান (supply) হওয়ায় এতে বিজারণ ঘটে। তাই এটি হবে ঋণাত্মক ও ক্যাথোড। এ বিক্রিয়াটি গ্যালভানিক কোষে সংঘটিত বিক্রিয়ার বিপরীত। এ বিক্রিয়ার সফলতার মূলে রয়েছে কঠিন উৎপাদ $PbSO_4$ ইলেকট্রোডে লেগে থাকার কারণে। যেমন,

(–) ক্যাথোডে বিজারণ : $PbSO_4(s) + H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow Pb(s) + HSO_4^-(aq)$

(+) অ্যানোডে জারণ : $PbSO_4(s) + 2H_2O(l) \longrightarrow PbO_2(s) + 3H^+(aq) + HSO_4^-(aq) + 2e^-$

মোট বিক্রিয়া : $2PbSO_4(s) + 2H_2O(l) \longrightarrow Pb(s) + PbO_2(s) + 2H^+(aq) + 2HSO_4^-(aq)$

এ লেড-এসিড ব্যাটারি কয়েক বছর রিচার্জ প্রক্রিয়ায় ব্যবহার করা যায়। পরে ক্রমান্বয়ে স্পঞ্জি $PbSO_4$এর কেলাস আকারে বড়ো ও শক্ত হয়ে ওঠে। তখন $PbSO_4$ কে বিদ্যুৎ প্রবাহ দ্বারা Pb ও PbO_2 এ রূপান্তর করা সম্ভব হয় না; অর্থাৎ ঐ লেড-এসিড ব্যাটারি রিচার্জেবল থাকে না; পরিত্যাজ্য হয়ে পড়ে।

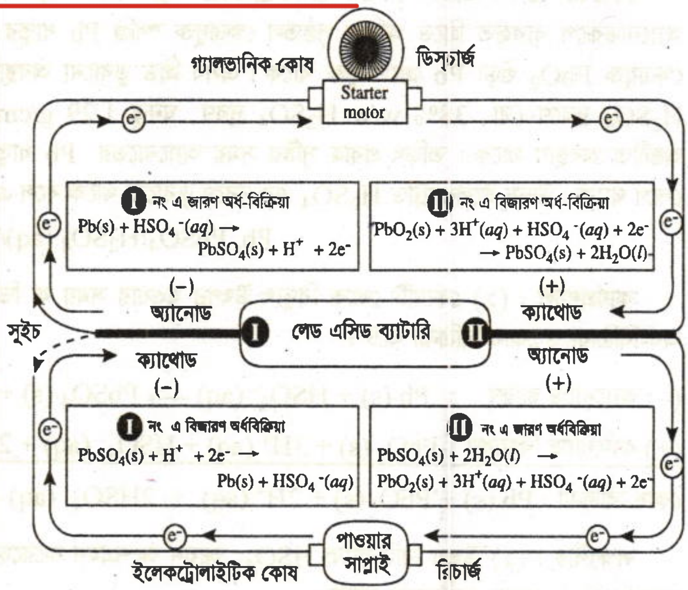
ব্যাটারির ডিস্‌চার্জের সময় পানি উৎপন্ন হওয়ায় H_2SO_4 এর ঘনত্ব কমে যায়। তাই সময়মতো হাইড্রোমিটার দিয়ে H_2SO_4 মিশ্রণের ঘনত্ব বা, আপেক্ষিক গুরুত্ব দেখা হয়। আবার রিচার্জের সময় পানি বিশ্লেষিত হয়ে H_2 ও O_2 উৎপন্ন হয় এবং পানি কমে যায়। তখন H_2SO_4 এর ঘনত্ব বেড়ে যায়। তাই সময়মতো ব্যাটারিতে বিশুদ্ধ পানি যোগ করে **H_2SO_4 এর ঘনত্ব বা, আপেক্ষিক গুরুত্ব 1.25 থেকে 1.26 এর মধ্যে রাখতে হয়।**

* হাইড্রোমিটারে H_2SO_4 এর আপেক্ষিক গুরুত্ব 1.21 দেখালে ব্যাটারির emf 1.17V এর নিচে বোঝায়। তাই H_2SO_4 এর ঘনত্ব কখনো 1.21 এর কাছাকাছি হলে ব্যাটারি পুনরায় চার্জ করতে হয়।

লক্ষ্য করো : এক্ষেত্রে দুটি ইলেকট্রোডের অবস্থান ও ইলেকট্রন প্রবাহের দিক বিপরীত হয়। এটি বোঝার জন্য e^- এর উৎস কোথায় দেখো।

(১) গ্যালভানিক কোষে অ্যানোডে জারণ ক্রিয়ায় e^- উৎপন্ন হয় (generate); তাই এটি ঋণাত্মক। ক্যাথোডে e^- ব্যয় হয় (consume); তাই এটি ধনাত্মক।

(২) ইলেকট্রোলাইটিক কোষের বাইরের উৎস থেকে e^- পূর্বের অ্যানোডে যোগান (supply) হয় এবং বিজারণ ঘটায়; তাই এটি ক্যাথোড ও ঋণাত্মক। পূর্বের ক্যাথোড থেকে এখন e^- অপসারিত (remove) হয়; তাই এটি অ্যানোড ও ধনাত্মক হয়।



চিত্র-৪.২৫ : লেড-এসিড ব্যাটারিতে গ্যালভানিক কোষ ও ইলেকট্রোলাইটিক কোষদ্বয়ে বিক্রিয়াসমূহ।

অধিক জেনে নাও : 25°C-এ হাইড্রোমিটারে H_2SO_4 এর আ. গুরুত্ব (specific gravity) এর সাথে লেড এসিড ব্যাটারির চার্জিত হওয়ার সম্পর্ক :

Charged	sp. gr. of H_2SO_4
100%	1.265 —1.255
75%	1.235 —1.215
50%	1.200 —1.180
25%	1.165 —1.155
0%	1.130 —1.110

For temperature adjustment get a sp. gr. reading and adjust to temp. by adding 0.004 for every 10°F (বা, 5.5°C) above 80°F and subtracting 0.004 for every 10°F below 80°F.

(২) লিথিয়াম ব্যাটারি ও লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারি (Lithium & Lithium-Ion Batteries, LIB)

লিথিয়াম ব্যাটারি ও লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারি নামে দু'ধরনের ব্যাটারি আছে।

লিথিয়াম ব্যাটারি : লিথিয়াম ব্যাটারি প্রাইমারি ব্যাটারি এবং রিচার্জেবল নয়। লিথিয়াম ব্যাটারিতে লিথিয়ামকে অ্যানোড ও ইলেকট্রোলাইট বা তড়িৎবিশ্লেষ্যরূপে অজলীয় জৈব দ্রাবকে (যেমন, ইথেন নাইট্রাইল বা, অ্যাসিটোনাইট্রাইলে CH_3CN) লিথিয়াম পারক্লোরেট, $LiClO_4$ দ্রবণ এবং ক্যাথোডরূপে প্রায় ক্ষেত্রে MnO_2 অথবা সিলভার ভ্যানাডিয়াম অক্সাইড ($Ag_2V_4O_{11}$) ব্যবহৃত হয়। এসব ধাতুর অক্সাইডের কেলাস গঠনে অসংখ্য Li^+ আয়ন শোষিত (absorb) থাকে। (Energy/mass) অনুপাত অনুসারে লিথিয়াম ব্যাটারির উচ্চকোষ বিভব, (E°) মান রয়েছে; মাত্র 6.94 g লিথিয়াম থেকে 1 mol ইলেকট্রন বা 1F বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয়। প্রাইমারি লিথিয়াম ব্যাটারির ইলেকট্রোড বিক্রিয়ায় অ্যানোডে লিথিয়াম ধাতুর জারণ ঘটে এবং ক্যাথোডে MnO_2 এর বিজারণ ঘটে।

কার্যপ্রণালি : অ্যানোডে লিথিয়াম ধাতুর জারণের পর সৃষ্ট সলভেটেড লিথিয়াম আয়ন Li^+(soln) কোষের ভেতরে অ্যানোড থেকে ক্যাথোডের দিকে যায়। তখন বহিঃবর্তনী দিয়ে ইলেকট্রন প্রবাহিত হয়। এক্ষেত্রে x = মোলসংখ্যা।

অ্যানোডে জারণ : $xLi\,(s) \longrightarrow xLi^+\,(soln) + xe^-$

ক্যাথোডে বিজারণ : $MnO_2\,(s) + xLi^+\,(soln) + xe^- \longrightarrow Li_xMnO_2\,(s)$

সামগ্রিক কোষ বিক্রিয়া : $MnO_2\,(s) + xLi\,(s) \longrightarrow Li_x\,MnO_2\,(s)$

সিলভার ভ্যানাডিয়াম অক্সাইড (SVO) ক্যাথোডরূপে ব্যবহৃত হলে ইলেকট্রোড বিক্রিয়া নিম্নরূপ হয় :

অ্যানোডে জারণ : $7Li\,(s) \longrightarrow 7Li^+\,(soln) + 7e^-$

ক্যাথোডে বিজারণ : $Ag_2V_4O_{11}\,(s) + 7Li^+\,(soln) + 7e^- \longrightarrow Li_7Ag_2V_4O_{11}\,(s)$

সামগ্রিক কোষ বিক্রিয়া : $Ag_2V_4O_{11}\,(s) + 7\,Li\,(s) \longrightarrow Li_7Ag_2V_4O_{11}\,(s)$

কিন্তু লিথিয়াম ব্যাটারি রিচার্জেবল নয় এবং দাহ্য ইলেকট্রোলাইট থাকায় এটির কিছু বিপজ্জনক অসুবিধাও রয়েছে। লিথিয়াম ব্যাটারি হালকা, পরিবেশ দূষণ কম ঘটায় ও কয়েক বছর দীর্ঘস্থায়ী। ক্যালকুলেটর, ঘড়ি ইত্যাদিতে ব্যবহৃত হয়। হার্টপেচমেকাররূপে লিথিয়াম SVO ব্যাটারি ব্যবহৃত হয়।

MAT: 16-17

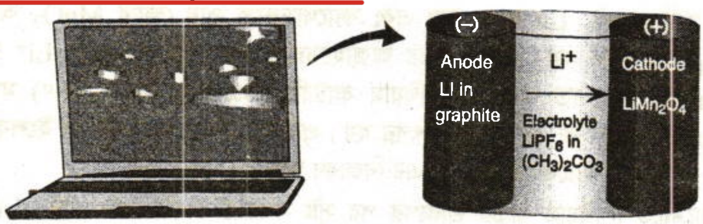
চিত্র-৪.২৬ : SVO ক্যাথোডযুক্ত লিথিয়াম ব্যাটারি।

লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারি : সেকেন্ডারি লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারি রিচার্জেবল ব্যাটারি। এটি হলো লিথিয়াম ব্যাটারির সেকেন্ডারি সংস্করণ। লিথিয়াম-ব্যাটারি ও লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারির মধ্যে পার্থক্য হলো অ্যানোডের প্রকৃতিতে।

লিথিয়াম ব্যাটারিতে **অ্যানোড হলো** লিথিয়াম (Li) ধাতু। অপরদিকে **লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারিতে অ্যানোড হলো** দু গ্রাফাইট শিটে আবদ্ধ Li-পরমাণু অর্থাৎ লিথিয়ামযুক্ত গ্রাফাইট (Li_xC_6); যাতে Li পরমাণু ইলেকট্রন ত্যাগ করে Li^+ আয়নে পরিণত হয় এবং এ কারণে লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারি নামকরণ হয়েছে।

লিথিয়াম ব্যাটারিতে **ক্যাথোড হলো** MnO_2 অথবা SVO। অপরদিকে **লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারিতে ক্যাথোড হলো** লিথিয়াম মেটাল অক্সাইড যেমন লিথিয়াম ম্যাঙ্গানিজ অক্সাইড ($LiMn_2O_4$) অথবা লিথিয়াম কোবাল্ট অক্সাইড ($LiCoO_2$) অথবা লিথিয়াম আয়রন ফসফেট ($LiFePO_4$)।

অজলীয় তড়িৎ-বিশ্লেষ্য বা ইলেকট্রোলাইট হলো জৈব দ্রাবক যেমন ডাইমিথাইল কার্বনেট ও ইথাইল মিথাইল কার্বনেট মিশ্রণে লিথিয়াম হেক্সাফ্লোরো ফসফেট ($LiPF_6$) এর 1M দ্রবণ।



চিত্র-৪.২৭ : লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারি।

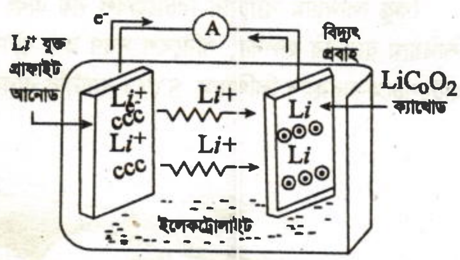
কার্যপ্রণালি : ডিস্‌চার্জিংকালে অধিক সক্রিয় Li পরমাণু ইলেকট্রন ত্যাগ করে Li^+ আয়নে পরিণত হলে সলভেটেড লিথিয়াম আয়ন [Li^+ (soln)] যখন কোষের ভেতরে অ্যানোড থেকে ক্যাথোডের দিকে যায় তখন বহিঃবর্তনী দিয়ে ইলেকট্রন প্রবাহিত হয়, [চিত্র-৪.২৭(ক)]। তখন নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে :

(–) অ্যানোডে জারণ : $Li_xC_6(s) \longrightarrow xLi^+(soln) + 6C(s) + xe^-$ $\quad E^\circ = 3.04$ V

(+) ক্যাথোডে বিজারণ : $Li_{1-x}CoO_2(s) + xLi^+(soln) + xe^- \longrightarrow LiCoO_2(s)$ $\quad E^\circ = 0.66$ V

ডিস্‌চার্জিং কোষ বিক্রিয়া : $Li_xC_6(s) + Li_{1-x}CoO_2(s) \longrightarrow LiCoO_2(s) + 6C(s)$ $\quad E^\circ_{cell} = 3.7$ V

রিচার্জ প্রক্রিয়া : রিচার্জের বেলায়, কোষ বিক্রিয়াটি বিপরীতভাবে ঘটে। যেমন, বাহ্যিক সার্কিটের মধ্যদিয়ে বাহ্যিক উৎস থেকে পাওয়ার সাপ্লাই করে কোষের অ্যানোডে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি করা হলে ঐ কোষের প্রক্রিয়ার ওপর প্রয়োজনীয় কাজ সম্পাদিত হয়। তখন ধনাত্মক ক্যাথোডে ও ঋণাত্মক অ্যানোডে নিম্নোক্ত জারণ ও বিজারণ ঘটে। রিচার্জিংকালে ক্যাথোড তড়িৎদ্বার $LiCoO_2$ হতে Li^+ আয়ন মুক্ত হয়ে সলভেটেড লিথিয়াম আয়নরূপে ক্যাথোড থেকে অ্যানোডের দিকে যায়; তখন বহিঃবর্তনী দিয়ে ইলেকট্রন অ্যানোডের দিকে প্রবাহিত হয়। রিচার্জিং প্রক্রিয়াটি ডিস্‌চার্জিং প্রক্রিয়ার সম্পূর্ণ বিপরীত হয়।



চিত্র-৪.২৭ (ক) : লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারির ডিসচার্জিং প্রক্রিয়া

রিচার্জিংকালে ক্যাথোডে জারণ : $LiCoO_2(s) \longrightarrow Li_{1-x}CoO_2(s) + xLi^+(soln) + xe^-$

রিচার্জিংকালে অ্যানোডে বিজারণ : $xLi^+(soln) + 6C(s) + xe^- \longrightarrow Li_xC_6(s)$

রিচার্জিং কোষ বিক্রিয়া : $LiCoO_2(s) + 6C(s) \longrightarrow Li_xC_6(s) + Li_{1-x}CoO_2(s)$

∴ ডিস্চার্জিং ও রিচার্জিংকালে সামগ্রিক কোষ বিক্রিয়াটি উভমুখী নিম্নরূপ হয় :

$$Li_xC_6(s) + Li_{1-x}CoO_2(s) \underset{\text{রিচার্জিং}}{\overset{\text{ডিসচার্জিং}}{\rightleftharpoons}} LiCoO_2(s) + 6C(s)$$

* **অধিক জেনে নাও :** লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারিতে, ডিসচার্জিংকালে সলভেটেড $Li^+(soln)$ আয়ন কোষের ভেতরে অ্যানোড থেকে ক্যাথোডের দিকে যায়; কিন্তু রিচার্জিংকালে Li^+ আয়ন বিপরীতভাবে কোষের ভেতরে ক্যাথোড থেকে অ্যানোডের দিকে যায়।

* লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারিতে ক্যাথোডের $LiCoO_2$ এর অবস্থান্তর ধাতু কোবাল্ট (Co) আয়নটিতে যথাক্রমে ডিস্চার্জিং কালে বিজারণ (Co^{4+} থেকে Co^{3+}) এবং রিচার্জিংকালে জারণ (Co^{3+} থেকে Co^{4+}) ঘটে। যেমন ডিস্চার্জিংকালে অ্যানোডের গ্রাফাইট শিটের মধ্যস্থ Li পরমাণুর ত্যাগ করা ইলেকট্রন বহিঃবর্তনী দিয়ে ক্যাথোডে পৌঁছলে $LiCoO_2$ এর Co^{4+} আয়ন তা শোষণ করে Co^{3+} আয়নে বিজারিত হয়। আবার রিচার্জিংকালে অ্যানোডে বিভব পার্থক্য ঘটলে তখন পূর্বের Co^{3+} আয়ন ইলেকট্রন বিমুক্ত করে জারিত হয়ে Co^{4+}আয়নে পরিণত হয়।

ডিস্চার্জিংকালে ক্যাথোডে বিজারণ : $Co^{4+} + e^- \longrightarrow Co^{3+}$

রিচার্জিংকালে ক্যাথোডে জারণ : $Co^{3+} \longrightarrow Co^{4+} + e^-$

ব্যবহার : লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারি ব্যবহৃত হয় সেল ফোন, ল্যাপটপ-কম্পিউটার, ডিজিট্যাল ক্যামেরা ও পাওয়ার টুলস্ বা যন্ত্রপাতিতে। লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারির ভোল্টেজ হলো 3.7V। বর্তমানে লেড এসিড ব্যাটারির পরিবর্তে LIB ব্যবহৃত হয়। (যেমন, Tesla Motors electric car -এ, এর speed 130 mph)।

শিক্ষার্থীর কাজ-৪.১১ : তড়িৎকোষভিত্তিক সমস্যা :

সমস্যা-৪.৪১ : নিম্নোক্ত কোষের অর্ধ-বিক্রিয়া ও কোষ বিক্রিয়া লেখ।

(ক) $Zn(s)/Zn^{2+}(aq) \| H^+(aq)/H_2(g), Pt$

(খ) লেড-এসিড রিচার্জেবল ব্যাটারি,

(গ) $Zn(s)/Zn^{2+}(aq)$ এবং $Ag(s)/Ag^+(aq)$ **ইলেকট্রোডসহ কোষ গঠন ও কোষ বিক্রিয়া লেখ। এক্ষেত্রে** $E^0_{Zn^{2+}/Zn} = -0.76V; E^0_{Ag/Ag} = +0.80V;$

(ঘ) প্রাইমারি লিথিয়াম ব্যাটারি,

(ঙ) লিথিয়াম-আয়ন রিচার্জেবল ব্যাটারি

৪.১৬ লেড-স্টোরেজ এবং লিথিয়াম ব্যাটারি ব্যবহারের সুবিধা ও অসুবিধা

Advantages & Disadvantages in Lead-Storage & Lithium Batteries

(ক) লেড-স্টোরেজ ব্যাটারি ব্যবহারে সুবিধাসমূহ (Advantages of Lead storage Battery)

(১) নিম্ন অভ্যন্তরীণ রোধ (Low internal resistance) : লেড-স্টোরেজ ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ প্রায় 0.001 ohms। অপরদিকে ঘড়িতে ব্যবহৃত **লিথিয়াম ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ প্রায়** 100 ohms। অভ্যন্তরীণ রোধ কম হওয়ায়, লেড স্টোরেজ ব্যাটারি থেকে শুরুতে উচ্চবিদ্যুৎশক্তি পাওয়া যায়। কার-ইঞ্জিনে প্রয়োজনীয় উচ্চবিদ্যুৎশক্তি লেড স্টোরেজ ব্যাটারি থেকে পাওয়া যায় বলে কার-ইঞ্জিন স্টার্ট করা সহজ হয়। কিন্তু লেড স্টোরেজ ব্যাটারির 12V এর সমতুল্য আটটি **1.5V ড্রাইসেল বা শুষ্ক কোষ (AA) এর অভ্যন্তরীণ রোধ বেশি হওয়ায় এর থেকে কার ইঞ্জিন স্টার্ট করার প্রয়োজনীয় বিদ্যুৎ শুরুতেই পাওয়া যায় না বলে শুষ্ক কোষ এক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয় না।**

(২) রিচার্জেবল ব্যাটারি (Rechargeable) : সাধারণ ব্যাটারি যেমন শুষ্ক কোষ, অ্যালকালাইন কোষ ইত্যাদিকে রিচার্জ করা যায় না। লেড-এসিড ব্যাটারিকে রিচার্জ করে বার বার ব্যবহার করা সম্ভব।

(৩) চার্জ লেভেল পরীক্ষা (Checking charge levels) : অ্যালকালাইন ব্যাটারি, লিথিয়াম অথবা নিকেল-ক্যাডমিয়াম ব্যাটারি ইত্যাদি চার্জ লেভেল পরীক্ষা করে ব্যাটারির অবস্থা জানার সুবিধা নেই; কিন্তু লেড-স্টোরেজ ব্যাটারির চার্জ লেভেল জানা যায়। কারণ এর মধ্যে ব্যবহৃত H_2SO_4 এর ঘনত্ব হাইড্রোমিটার দ্বারা মেপে চার্জ লেভেল জানা যায়। **একটি পূর্ণ চার্জযুক্ত লেড স্টোরেজ ব্যাটারিতে H_2SO_4 এর ঘনত্ব 1.29 g/cm^3 থাকে।** H_2SO_4 এর ঘনত্ব কমলে ব্যাটারির চার্জ লেভেল কমার নির্দেশ করে।

(৪) সহজ প্রাপ্যতা (Availability) : তুলনামূলক কম দামে লেড স্টোরেজ ব্যাটারি সর্বত্র পাওয়া যায়।

(খ) লেড-স্টোরেজ ব্যাটারি ব্যবহারে অসুবিধাসমূহ (Disadvantages in Lead-storage Battery)

(১) এসিড বার্ন বিপদ : লেড-স্টোরেজ ব্যাটারিতে 36 – 38% (w/w) H_2SO_4 এর জলীয় দ্রবণ ব্যবহৃত হয়। এ H_2SO_4 এর সংস্পর্শে ত্বকের বার্ন ক্ষত হওয়ার সম্ভাবনা থাকে। তাই লেড-স্টোরেজ ব্যাটারি ব্যবহারে অত্যধিক সতর্ক থাকা উচিত।

(২) রিচার্জকালে দাহ্য H_2 গ্যাস নির্গমন : লেড-স্টোরেজ ব্যাটারি রিচার্জের সময় কিছু পরিমাণ ইলেকট্রোলাইট বাষ্পীভূত হয়ে যায় এবং ব্যাটারির খোলা মুখ দিয়ে দাহ্য H_2 গ্যাস বের হতে পারে। তাই রিচার্জকালে লেড-স্টোরেজ ব্যাটারির নিকটে আগুন বা জ্বলন্ত শিখা রাখা যাবে না।

(৩) ইলেকট্রোলাইট লেভেল সমস্যা (Electrolyte Levels) : লেড-স্টোরেজ ব্যাটারিতে H_2SO_4 এসিড ঢালার একটি মুখ থাকে। ব্যাটারির রিচার্জের সময় এ ইলেকট্রোলাইট কোনো একটি সেলে কিছু পরিমাণে বাষ্পীভূত হয়ে এসিড লেভেল সাধারণ অবস্থা থেকে কমে গেলে তখন ব্যাটারি সঠিকভাবে কাজ করে না। তখন ডিস্টিল্ড ওয়াটার ঐ সেলে যোগ করে এসিড লেভেল ঠিক রাখতে হয়।

(৪) ভারী ব্যাটারি বহন করতে সমস্যা (Troubles to Carry Heavy Battery) : লেড-স্টোরেজ ব্যাটারিতে 38% H_2SO_4 এসিড দ্রবণে অনেকগুলো লেড ধাতুর পাত ও লেড অক্সাইড ইলেকট্রোড নিমজ্জিত থাকে। লেড-স্টোরেজ ব্যাটারির ওজন 30 – 60 পাউন্ড হয়ে থাকে। এত ভারী লেড ব্যাটারিকে তুলতে গিয়ে অসতর্কতাবশত পেশিতে ব্যথা বা আহত হওয়ার সম্ভাবনা থাকে।

(৫) পরিবেশের দূষণ (Environmental Pollution) : লেড-স্টোরেজ ব্যাটারি বর্জ্যরূপে ফেলে দিলে লেড ধাতু মাটিতে দূষণ সৃষ্টি করে। **লেড আয়ন (Pb^{2+}) মাটি থেকে খাদ্য শৃঙ্খলে প্রবেশ করে মানুষের দেহে বিভিন্ন প্রকার রোগ সৃষ্টি করে থাকে।**

৪.১৬.১ লিথিয়াম ব্যাটারি ব্যবহারে সুবিধা ও অসুবিধাসমূহ
Advantages & Disadvantages in Lithium Batteries

লিথিয়াম ব্যাটারি দু'প্রকার; যেমন প্রাইমারি লিথিয়াম ব্যাটারি যেখানে লিথিয়াম ধাতু অ্যানোডরূপে ব্যবহৃত হয়। এটি রিচার্জেবল নয়। অপরটি হলো লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারি। এটিতে অ্যানোড হলো লিথিয়ামযুক্ত গ্রাফাইট (Li_xC_6); এটি রিচার্জেবল ব্যাটারি।

(ক) লিথিয়াম ব্যাটারির সুবিধাসমূহ (Advantages in Lithium Battery)

(১) ওজনে হালকা (Lightness) : লেড ধাতু ও নিকেল ধাতু দিয়ে তৈরি ব্যাটারির তুলনায় লিথিয়াম ব্যাটারি হাল্কা। তাই মোটরকারে এটি ব্যবহারযোগ্য।

(২) পরিবেশ দূষণ, পাওয়ার ও স্থায়িত্ব (Pollution, Power, Durability) : নিকেল ও লেড ধাতু থেকে তৈরি ব্যাটারির তুলনায় লিথিয়াম ব্যাটারি দীর্ঘস্থায়ী হওয়ায়, এটি তুলনামূলক কম বর্জ্যরূপে মাটিতে যুক্ত হয়। লিথিয়াম ব্যাটারির পাওয়ার (power) অন্য যেকোনো ব্যাটারির পাওয়ারের তুলনায় বেশি।

(খ) লিথিয়াম ব্যাটারির অসুবিধাসমূহ (Disadvantages in Lithium Battery)

(১) রিচার্জেবল নয় (Not Rechargeable) : লিথিয়াম ব্যাটারি রিচার্জেবল না হওয়ায়, একবার ব্যবহার শেষে পরিত্যাজ্য বা বর্জ্য হয়। আবার ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতিতে যুক্ত থাকলে, তখন এটি প্রতিস্থাপন করা যায় না। ফলে ইলেকট্রনিক যন্ত্রটিই বর্জ্য হয়ে যায়।

(২) বিপজ্জনক ফুটা বা লীক্ (Leak) হওয়া : বৈদ্যুতিক যন্ত্রে ব্যবহৃত অবস্থায় লিথিয়াম ব্যাটারিতে লীক্ বা ফুটা হলে ঐ বৈদ্যুতিক যন্ত্র উত্তপ্ত ও পরে আগুন জ্বলে ওঠে। যেমন 2006 সালে Dell Computer Company এদের ল্যাপটপের একটি ব্যাচ বাজার থেকে তুলে নিতে বাধ্য হয়; কারণ ঐ ল্যাপটপে ব্যবহৃত লিথিয়াম ব্যাটারিতে ফুটা হওয়ার প্রবণতা দেখা গিয়েছিল।

(৩) কমার্শিয়াল স্টোরেজে অসুবিধা : লিথিয়াম ব্যাটারিগুলো সংস্পর্শে থাকলে ফ্রিকশন বা সংঘর্ষের কারণে পরিবেশে বিষাক্ত গ্যাস সৃষ্টি করে। পানি-বাষ্পের সংস্পর্শে করোশন (corrosion) বা ধাতুক্ষয় ঘটে এবং H_2 গ্যাস নির্গত করে।

(গ) লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারি ব্যবহারে সুবিধাসমূহ (Advantages in Lithium-Ion Battery)

(১) বহনযোগ্য ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতিতে লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারি সবচেয়ে বেশি ব্যবহৃত হয়। লেড-এসিড ব্যাটারি ভারী এবং সহজে বহনযোগ্য নয়; কিন্তু লিথিয়াম-আয়ন রিচার্জেবল ব্যাটারি সহজে বহনযোগ্য।

(২) লেড-এসিড ব্যাটারির সমপরিমাণ ভোল্টেজ বিদ্যুৎ লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারি থেকে পাওয়া যায়। তাই যান্ত্রিক গঠন কৌশল অপরিবর্তিত রেখে লেড-এসিড ব্যাটারির পরিবর্তে লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারি ব্যবহার সহজে করা যায়।

(ঘ) লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারি ব্যবহারে অসুবিধাসমূহ (Disadvantages in Lithium-Ion Battery)

লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারিতে দাহ্য প্রকৃতির ইলেকট্রোলাইট অধিক চাপে থাকে। তাই এটি অবস্থাভেদে বিপজ্জনক হতে পারে। তাই এটিতে গঠনগত নিরাপদ ব্যবস্থা রয়েছে। তবুও কোনো কোনো কোম্পানির তৈরি লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারি থেকে দুর্ঘটনার সংবাদে ঐ কোম্পানির লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারির ব্যাচ বাজার থেকে তুলে নেয়া হয়েছে। লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারি ব্যবহার শেষে আগুনে ফেলা যাবে না। এতে বিস্ফোরণ ঘটবে।

৪.১৭ ফুয়েল সেল ও এর প্রকারভেদ
Fuel Cells & Their Types

ফুয়েল সেলের সংজ্ঞা : ফুয়েল সেল হলো এক প্রকার গ্যালভানিক সেল। ফুয়েল সেলের বিক্রিয়ক দুটির মধ্যে একটি বিক্রিয়ক হলো জ্বালানি উপাদান বা ফুয়েল যেমন H_2 গ্যাস অথবা মিথানল (CH_3OH)। অপরটি হলো অক্সিজেন গ্যাস। এক্ষেত্রে রিডক্স বিক্রিয়ায় ফুয়েল বা জ্বালানির রাসায়নিক শক্তি সরাসরি বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

হাইড্রোকার্বন জ্বালানি মিথেন, প্রোপেন, বিউটেন ইত্যাদিকে সরাসরি ফুয়েল সেলে ব্যবহার করা যায় না।

ফুয়েল H_2 ও CH_3OH উৎপাদন : স্টিম-হাইড্রোকার্বন রিফরমিং পদ্ধতিতে স্টিম [$H_2O(g)$] ও মিথেন (CH_4) গ্যাস মিশ্রণকে 1100°C-এ Ni প্রভাবকের উপস্থিতিতে প্রথমে **সংশ্লেষ গ্যাস** ($CO + 3H_2$) এবং পরে **ওয়াটার গ্যাস শিফ্ট বিক্রিয়া** দ্বারা 400°C-এ অধিক H_2 গ্যাস ও CO_2 গ্যাসে পরিণত করা হয়। সবশেষে ক্ষার দ্বারা CO_2 শোষণ করা হয়।

অপরদিকে **ওয়াটার গ্যাস** ও H_2 গ্যাস থেকে 200 atm চাপে ও 300°C-এ প্রভাবক ZnO, Cr_2O_3 এর উপস্থিতিতে 99% মিথানল ফুয়েল উৎপাদন করা হয়।

(১) ফুয়েল H_2 গ্যাস উৎপাদন : বর্তমানে CH_4 গ্যাস থেকে **স্টিম-হাইড্রোকার্বন রিফরমিং প্রক্রিয়ায় অধিক H_2 গ্যাস উৎপাদন করা হয়।** এ প্রক্রিয়াটি নিম্নোক্ত ৩ ধাপে সম্পন্ন হয় :

(i) ১ম ধাপে, **সংশ্লেষ গ্যাস উৎপাদন :** স্টিম ও মিথেন গ্যাসের মিশ্রণ থেকে 1000°C তাপমাত্রায় Ni প্রভাবকের উপস্থিতিতে CO ও H_2 গ্যাসের মিশ্রণ বা সংশ্লেষ গ্যাস উৎপন্ন হয়। এ গ্যাস মিশ্রণ থেকে মিথানল ও তরল জ্বালানি সংশ্লেষণ করা যায় বলে এরূপ নামকরণ হয়েছে।

$$H_2O\,(g) + CH_4\,(g) \xrightarrow[Ni]{1100°C} [CO\,(g) + 3H_2\,(g)]$$
সংশ্লেষ গ্যাস

(ii) ২য় ধাপে, ওয়াটার গ্যাস শিফট বিক্রিয়া দ্বারা সংশ্লেষ গ্যাসের বিষাক্ত CO গ্যাসকে স্টিম দ্বারা CO_2 গ্যাসে রূপান্তর ও অধিক H_2 গ্যাস উৎপাদন করা হয়। স্টিম দ্বারা বিষাক্ত CO গ্যাসকে CO_2 রূপান্তর করা হয়েছে বলে বিক্রিয়াটির এরূপ নামকরণ হয়েছে।

$$[CO\,(g) + 3H_2\,(g)] + H_2O\,(g) \xrightarrow[CoO,\,Fe_2O_3]{400°C} CO_2\,(g) + 4H_2\,(g)$$

(iii) শেষ ধাপে উৎপন্ন গ্যাস মিশ্রণকে ক্ষারীয় দ্রবণে যেমন, $K_2CO_3/Ca(OH)_2$ এর মধ্যে অথবা 20 atm চাপে শীতল পানিতে চালনা করলে CO_2 শোষিত হয়; H_2 গ্যাস নির্গত হয়।

ফুয়েল H_2 গ্যাস উৎপাদনে স্টিমের সাথে বিজারকরূপে আয়রন, কার্বন অথবা CH_4 শিল্পক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়।

$$4H_2O\,(g) + 3Fe\,(s) \xrightarrow{800°C} Fe_3O_4\,(s) + 4H_2\,(g) \quad \Delta H = -151\ kJ$$
$$H_2O\,(g) + C\,(s) \xrightarrow{1000°C} CO\,(g) + H_2\,(g) \quad \Delta H = +131\ kJ$$
$$H_2O\,(g) + CH_4\,(g) \xrightarrow[Ni]{1100°C} CO\,(g) + 3H_2\,(g) \quad \Delta H = +206\ kJ$$

(২) ফুয়েল CH_3OH উৎপাদন : লোহিত তপ্ত (1400°C) কোক কার্বনের ওপর দিয়ে স্টিম চালনা করলে ওয়াটার গ্যাস উৎপন্ন হয়। পরে ঐ ওয়াটার গ্যাসের সাথে এর আয়তনের অর্ধেক পরিমাণ H_2 গ্যাসের মিশ্রণকে 200 atm ও 300°C-এ ZnO ও ক্রোমিক অক্সাইড প্রভাবক মিশ্রণের ওপর চালনা করলে 99% বিশুদ্ধ মিথানল উৎপন্ন হয়।

$$C\,(s) + H_2O\,(g) \xrightarrow{1400°C} CO\,(g) + H_2\,(g)$$

$$[CO\,(g) + H_2\,(g)] + H_2\,(g) \xrightarrow[ZnO,\ Cr_2O_3]{300°C,\ 200\ atm} CH_3OH\,(g)$$
ওয়াটার গ্যাস — মিথানল

***ফুয়েল সেল ও সাধারণ ব্যাটারির মধ্যে গঠনগত পার্থক্য হলো—**

(১) ব্যাটারি বা কোষের মধ্যে নির্দিষ্ট পরিমাণ জারক ও বিজারক আবদ্ধ থাকে।

(২) কিন্তু ফুয়েল সেলে বিক্রিয়ক দুটিকে বাইরের কনটেইনার থেকে অনবরত প্রবাহিত করা হয়।

(৩) ব্যাটারির 'জীবনকাল' (Life time) নির্দিষ্ট; কিন্তু ফুয়েল সেলের 'জীবনকাল' ফুয়েল প্রবাহের ওপর নির্ভরশীল ও অনির্দিষ্ট।

(ক) ফুয়েলভিত্তিক ফুয়েল সেলের শ্রেণিবিভাগ

ফুয়েল সেল দু'প্রকার ; যেমন,
(১) হাইড্রোজেন-অক্সিজেন ফুয়েল সেল ও
(২) মিথানল-অক্সিজেন ফুয়েল সেল।

MCQ. 4.25: তড়িৎকোষের অ্যানোডে কী ঘটে?
(ক) ধাতব আয়ন আগমন (খ) বিজারণ
(গ) ধাতব আয়ন নির্গমন (ঘ) জারণ

প্রাথমিক অবস্থায় হাইড্রোজেন-অক্সিজেন ফুয়েল সেলে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য বা ইলেকট্রোলাইটরূপে জলীয় KOH দ্রবণ 80°C-এ ব্যবহৃত হয়। বর্তমানে-এ উত্তপ্ত জলীয় KOH দ্রবণের পরিবর্তে বিশেষ পলিমার মেমব্রেন (membrane) ব্যবহৃত হয়; যা অ্যানোড (–ve) থেকে প্রোটনকে ক্যাথোডে বহন করে নিয়ে যায়। এজন্য হাইড্রোজেন-অক্সিজেন ফুয়েল সেলকে প্রোটন-এক্সচেঞ্জ মেমব্রেন (PEM) ফুয়েল সেল বলা হয়। [PEM fuel cell = Proton Exchange membrane fuel cell]

অনুরূপভাবে মিথানল-অক্সিজেন ফুয়েল সেলে সরাসরি মিথানল (CH_3OH) এর জলীয় দ্রবণ ফুয়েল হিসেবে অ্যানোডে ব্যবহৃত হয় বলে এটিকে 'direct methanol fuel cell (DMFC) বলা হয়।

DMFC এর সুবিধাসমূহ : ওজনে হালকা DMFC এ ব্যবহৃত ফুয়েল সহজলভ্য এবং নিরাপদ হওয়ায় H_2 গ্যাসের তুলনায় বাণিজ্যিক সংরক্ষণে অধিক সুবিধাজনক। এছাড়া সাধারণ ব্যবহৃত ব্যাটারির তুলনায় DMFC এর রয়েছে উচ্চ এনার্জি ঘনত্ব (energy density)।

উল্লেখ্য, ফুয়েলরূপে হাইড্রোকার্বন সরাসরি ব্যবহার করা যায় না। এদেরকে প্রথমে স্টিম-হাইড্রোকার্বন রিফরমিক প্রক্রিয়ায় H_2 গ্যাসে পরিণত করতে হয়।

(খ) ইলেকট্রোলাইটভিত্তিক ফুয়েল সেলের শ্রেণিবিভাগ

ফুয়েল সেলকে ব্যবহৃত ইলেকট্রোলাইট ও তাপমাত্রার ওপর ভিত্তি করে নিম্নোক্ত শ্রেণিতে বিভক্ত করা হয়।

ফুয়েল সেলের প্রকার	ব্যবহৃত ইলেকট্রোলাইট ও তাপমাত্রা	ব্যবহৃত ফুয়েল	তড়িৎদ্বারে জ্বালানি (ফুয়েল)সহ অর্ধ-বিক্রিয়া
১। হাইড্রোজেন অক্সিজেন ফুয়েল সেল বা PEM ফুয়েল সেল	১। পলিমার মেমব্রেন, PEM তাপমাত্রা : 80°C	বিজারক : H_2 জারক : O_2	অ্যানোডে : $2H_2(g) \rightarrow 4H^+(aq) + 4e^-$ ক্যাথোডে : $O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(g)$
২। মিথানল অক্সিজেন ফুয়েল সেল DMFC	২। পলিমার মেমব্রেন, PEM তাপমাত্রা : 80°C	বিজারক : CH_3OH জারক : O_2	অ্যানোডে : $2CH_3OH + 2H_2O \rightarrow 2CO_2 + 12H^+ + 12e^-$ ক্যাথোডে : $3O_2 + 12H^+ + 12e^- \rightarrow 6H_2O$
৩। Alkali Fuel cell বা, AFC	৩। KOH দ্রবণ, তাপমাত্রা : 150°C	বিজারক : H_2 জারক : O_2	অ্যানোডে : $2H_2(g) + 4OH^-(aq) \rightarrow 4H_2O(g) + 4e^-$ ক্যাথোডে : $O_2(g) + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)$
৪। Phosphoric acid ফুয়েল সেল, PAFC	H_3PO_4 এসিড তাপমাত্রা : 180°C	বিজারক : H_2 জারক : O_2	অ্যানোডে : $2H_2(g) \longrightarrow 4H^+(aq) + 4e^-$ ক্যাথোডে : $O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(g)$
৫। Molten carbonate Fuel Cell, MCFC	৫। লিথিয়াম-পটাসিয়াম কার্বনেট, $LiKCO_3$ তাপমাত্রা : 650°C	বিজারক : H_2 জারক : O_2	অ্যানোডে: $2H_2 + 2CO_3^{2-}(l) \rightarrow 2H_2O + 2CO_2 + 4e^-$ ক্যাথোডে: $O_2 + 2CO_2 + 4e^- \rightarrow 2CO_3^{2-}(l)$
৬। Solid Oxide Fuel Cell, SOFC	এ সেলে নিকেল সিরামিক কম্পোজিট অ্যানোড ও লিথিয়াম স্ট্রনসিয়াম ম্যাগনেটাইট ক্যাথোডরূপে এবং 800°C–1000°C এ ইলেকট্রোলাইটরূপে জিরকোনিয়াম অক্সাইড (ZrO_2) ব্যবহৃত হয়। একমাত্র এ সেলে অক্সাইড আয়ন (O^{2-}) ক্যাথোড থেকে অ্যানোডে ইলেকট্রোলাইট দ্বারা বাহিত হয়। অ্যানোডে জারণ : $H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$. ক্যাথোডে বিজারণ : $\frac{1}{2} O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$		

৪.১৭.১ ফুয়েল সেলের অ্যানোড, ক্যাথোড ও ফুয়েল : ফুয়েল সেল ও ব্যাটারির মধ্যে তুলনা

Anode, Cathode & Fuel in Fuel Cells : Comparison between Fuel Cell & Battery

ফুয়েল সেল হলো এক প্রকার যান্ত্রিক কৌশল (device); এর মধ্যে রাসায়নিক শক্তিকে বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তর করা হয়। সাধারণ গ্যালভানিক কোষের মতো ;

প্রতিটি ফুয়েল সেলে (১) দুটি ইলেকট্রোড বা তড়িৎদ্বার থাকে। একটি হলো অ্যানোড বা ঋণাত্মক তড়িৎদ্বার এবং অপরটি হলো ক্যাথোড বা ধনাত্মক তড়িৎদ্বার।

এছাড়া (২) একটি বিজারক (H_2/CH_3OH) ও একটি জারক (O_2) থাকে (চিত্র-৪.২৮)।

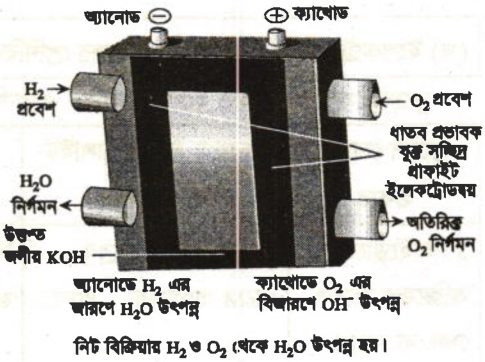
(৩) ইলেকট্রোড দুটিতে সংঘটিত রিডক্স বিক্রিয়া দ্বারা ফুয়েল থেকে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয়।

এছাড়া ব্যতিক্রম হলো,

(১) প্রত্যেক ফুয়েল সেলে একটি ইলেকট্রোলাইট বা তড়িৎ-বিশ্লেষ্য তরল পদার্থ থাকে। এটি ফুয়েল সেলের ভেতরে চার্জযুক্ত কণাকে যেমন H^+ আয়নকে এক ইলেকট্রোড (যেমন অ্যানোড) থেকে অপর ইলেকট্রোডে (যেমন ক্যাথোডে) পরিবহণ করে।

(২) গ্রাফাইট কার্বন নির্মিত অ্যানোড ও ক্যাথোড প্রত্যেক ইলেকট্রোডে বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি হ্রাসের জন্য একটি প্রভাবকের সূক্ষ্ম কণা যেমন ন্যানো কণার ধাতব প্রভাবক Pt/Ni থাকে।

(৩) অ্যানোডে ফুয়েল হিসেবে হাইড্রোজেন গ্যাস অথবা মিথানলের দ্রবণ ব্যবহৃত হয়। জারক হিসেবে ক্যাথোডে অক্সিজেন গ্যাস ব্যবহৃত হয়।



চিত্র-৪.২৮ : ফুয়েল সেল।

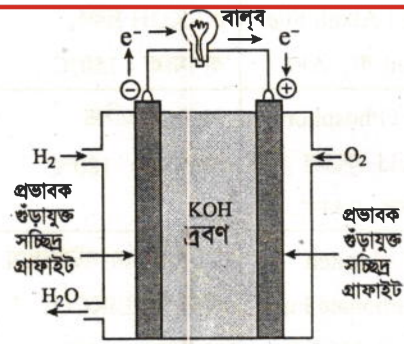
৪.১৮ হাইড্রোজেন ফুয়েল সেলের গঠন ও সংঘটিত বিক্রিয়া

Construction of H_2–Fuel Cell & Its Reaction

MAT : 23-24

চাঁদে অবতরণকারী এপোলো নভোযানে বিদ্যুতের উৎসরূপে হাইড্রোজেন অক্সিজেন ফুয়েল সেল সর্বপ্রথম ব্যবহৃত হয়।

H_2 ফুয়েল সেলের গঠন : H_2–O_2 ফুয়েল সেল বা জ্বালানি কোষ 'বেকোন কোষ' (Becon Cell) নামেও পরিচিত। ফুয়েল সেলে সূক্ষ্ম ছিদ্রের (Porous) গ্রাফাইট ইলেকট্রোড দুটিতে Ni, Pt, Ag ধাতুর গুঁড়া অথবা, CoO প্রভাবকরূপে আবদ্ধ থাকে। পৃথক দুটি ইলেকট্রোড কম্পার্টমেন্টের মধ্যে একটি H_2 গ্যাস ও অপরটিতে O_2 গ্যাস চালনা করা হয়। উভয় ইলেকট্রোড উত্তপ্ত (150°C) জলীয় KOH দ্রবণে (ইলেকট্রোলাইট) ডুবানো অবস্থায় থাকে; [চিত্র-৪.২৯] (i) ফুয়েল H_2 গ্যাস ধাতব প্রভাবক দ্বারা শোষিত হয়ে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য KOH দ্রবণের সংস্পর্শে আসলে অ্যানোডে H_2 এর জারণ ঘটে এবং ইলেকট্রন বহিঃস্থবর্তনী দিয়ে প্রবাহিত হয়। ক্যাথোডে O_2 বিজারিত হয়।



চিত্র-৪.২৯ : হাইড্রোজেন-অক্সিজেন ফুয়েল সেল।

হাইড্রোজেন ফুয়েল সেলের অর্ধ-বিক্রিয়া ও কোষ বিক্রিয়ার সমীকরণ নিম্নরূপ। সমগ্র কোষ বিক্রিয়ায় H_2 ও O_2 গ্যাস থেকে পানি উৎপন্ন হয়।

অ্যানোডে জারণ : $2H_2(g) + 4OH^-(aq) \longrightarrow 4H_2O(l) + 4e^-$ $E^o = +0.83V$

ক্যাথোডে বিজারণ : $O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \longrightarrow 4OH^-(aq)$ $E^o = +0.40V$

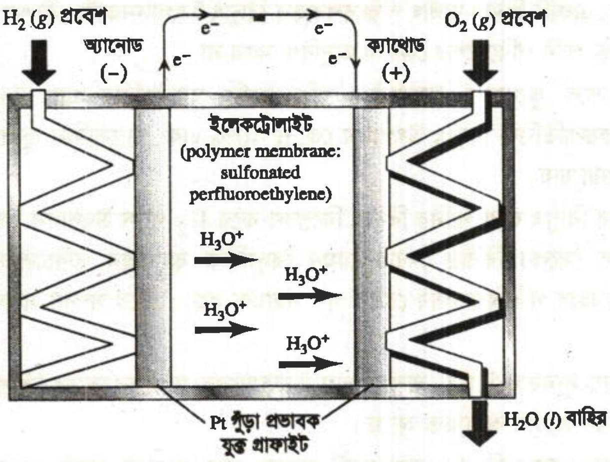
সামগ্রিক কোষ বিক্রিয়া : $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$ $E^o = +1.23V$

MAT : 22-23

৪.১৮.১ PEM ফুয়েল সেল : পরিবেশবান্ধব H_2 ফুয়েল সেল

Proton Exchange Membrane Fuel Cell

বর্তমানে পরিবেশবান্ধব এবং ইলেকট্রিক যানবাহনে ব্যবহারযোগ্য H_2 ফুয়েল সেলে **ইলেকট্রোলাইট** জলীয় KOH এর পরিবর্তে বিশেষ পলিমার মেমব্রেন (membrane) ব্যবহৃত হয়; যা প্রোটনকে অ্যানোড থেকে বহন করে ক্যাথোডে নিয়ে যায় (চিত্র-৪.৩০)। **এরূপ ফুয়েল সেলকে প্রোটন এক্সচেঞ্জ মেমব্রেন (PEM) ফুয়েল সেল বলা হয়।**



চিত্র-৪.৩০ : PEM ফুয়েল সেল।

MCQ-4.26 : H_2 ফুয়েল সেলে অ্যানোড ও ক্যাথোডরূপে নিচের কোনটি ব্যবহৃত হয়? [সি. বো. ২০১৫]

(ক) Ni (খ) Ag
(গ) Pt (ঘ) গ্রাফাইট

MCQ-4.27: H_2 ফুয়েল সেলের বেলায়–

(i) অ্যানোড গ্রাফাইটের
(ii) ক্যাথোড গ্রাফাইটের
(iii) Pt ন্যানো কণা প্রভাবক

নিচের কোনটি সঠিক?

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

PEM fuel Cell (Proton Exchange Membrane fuel Cell)-এ ফুয়েল হিসেবে H_2 গ্যাসকে 80°C তাপমাত্রায় বিজারকরূপে ব্যবহার করা হয়। **PEM ফুয়েল সেলের অর্ধ-বিক্রিয়া ও কোষ বিক্রিয়া হলো নিম্নরূপ :**

অ্যানোডে (H_2 ইলেকট্রোড) : $2H_2(g) \xrightarrow[Pt]{80°C} 4H^+(aq) + 4e^-$

ক্যাথোডে (O_2 ইলেকট্রোড) : $O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \longrightarrow 2H_2O(l)$

সামগ্রিক কোষ বিক্রিয়া : $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$ $E^o = 1.23V$

PEM ফুয়েল সেলে গ্রাফাইটের উভয় তড়িৎদ্বারে Pt ধাতুর ন্যানোকণা মিশ্রিত থাকে। উভয় ইলেকট্রোড পলিমার ইলেকট্রোলাইট পারফ্লোরো ইথিলিন $(–F_2C–CF_2–)_n$ শিকল মেমব্রেন দ্বারা যুক্ত থাকে। এ শিকলে সালফোনিক এসিড মূলক (RSO_3^-) যুক্ত থাকে; এ ঋণাত্মক মূলকটি অ্যানোড থেকে প্রোটনকে H_3O^+ আয়নরূপে ক্যাথোডে পরিবহণ করে।

PEM ফুয়েল সেলে বিক্রিয়ার মেকানিজম : অ্যানোডে Pt ধাতু দ্বারা শোষিত প্রতি দু অণু H_2 বিয়োজিত ও জারিত হয়ে চারটি H^+ আয়ন ও চারটি ইলেকট্রন (e^-) উৎপন্ন হয়। উৎপন্ন ইলেকট্রন বহিঃবর্তনীতে এবং H^+ আয়ন পানিযুক্ত হয়ে হাইড্রোনিয়াম (H_3O^+) আয়নরূপে ইলেকট্রোলাইটের মাধ্যমে ক্যাথোডে স্থানান্তরিত হয়।

ক্যাথোডে, Pt-ধাতু প্রভাবক দ্বারা শোষিত প্রতি অণু O_2 একটি ইলেকট্রন ক্যাথোড থেকে গ্রহণ করে $\bar{O_2}$ আয়নে পরিণত হয় এবং H_3O^+ আয়ন থেকে একটি প্রোটন গ্রহণ করে HO_2 বা, H–O–O গঠন করে। এরপর দ্বিতীয় ইলেকট্রন ও প্রোটন গ্রহণ করে H_2O অণু ও O পরমাণু সৃষ্টি করে। ঐ O পরমাণু একই নিয়মে প্রথমে $\bar{O}H$ আয়ন এবং পরে দ্বিতীয় H_2O অণু সৃষ্টি করে। উৎপন্ন H_2O সেল থেকে মুক্ত হয়।

৪.১৮.২ হাইড্রোজেন-ফুয়েল সেলের সুবিধা

Advantages in Hydrogen Fuel Cell

(১) ক্রমাগত শক্তির উদ্ভব : জ্বালানি কোষ বা ফুয়েল সেলে যতক্ষণ জ্বালানি সরবরাহ করা হয় ততক্ষণই ক্রমাগত বিদ্যুৎ শক্তি উৎপন্ন হতে থাকে। মহাকাশ অভিযানে ব্যবহৃত কৃত্রিম উপগ্রহে বছরের পর বছর যাবৎ বিদ্যুৎ ও বিশুদ্ধ পানি সরবরাহ এ হাইড্রোজেন ফুয়েল সেল থেকে পাওয়া গেছে।

(২) দূষণমুক্ত কার্য : হাইড্রোজেন ফুয়েল সেল হলো **একটি গ্রিনার অর্থাৎ পরিবেশবান্ধব বিদ্যুৎ উৎপাদনকারী কৌশল** বা জেনারেটর। হাইড্রোজেন ফুয়েল সেল থেকে নির্গত বিশুদ্ধ পানি পরিবেশের কোনো অসুবিধা করে না।

(৩) উচ্চ কার্যক্ষমতা : হাইড্রোজেন ফুয়েল সেলে ফুয়েলের রাসায়নিক শক্তি অর্থাৎ বন্ধনশক্তির প্রায় 75% ব্যবহারযোগ্য বিদ্যুৎশক্তিতে পরিণত হয়। অপরদিকে কয়লাভিত্তিক বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্রে 40% এবং গ্যাসোলিন জ্বালানি ব্যবহৃত কার ইঞ্জিনে মাত্র 25% ব্যবহারযোগ্য শক্তি পাওয়া যায়।

(৪) নবায়নযোগ্য জ্বালানির উৎস : এক্ষেত্রে সোলার বিদ্যুৎ দ্বারা পানির বিদ্যুৎ বিশ্লেষণ করে H_2 গ্যাস উৎপাদন উত্তম ফলদায়ক হবে। নিকট ভবিষ্যতে হাইড্রোজেন ফুয়েল সেলের বিভিন্ন ক্ষেত্রে যেমন বৈদ্যুতিক যানবাহন পরিচালনায়, বাণিজ্যিক প্রতিষ্ঠানে, আবাসিক বাসাবাড়ি প্রভৃতিতে ব্যবহার পরিবেশ দূষণ রোধে পূর্ণ সহায়ক হবে। তবে সম্পূর্ণ সাফল্য নির্ভর করে ফুয়েল H_2 গ্যাসের উৎসের ওপর।

(৫) এছাড়া হাইড্রোজেন ফুয়েল সেল উৎপাদন-ব্যয় ন্যূনতম সীমায় আনার জন্য উন্নতমানের মেমব্রেন তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পরিবাহী ও অধিক কার্যকর ইলেকট্রোড-ক্যাটালিস্ট উদ্ভাবন প্রচেষ্টা অব্যাহত আছে।

(৬) বর্তমানে জাপানে টোকিও ইলেকট্রিক পাওয়ার কোম্পানি 11 মেগাওয়াট ফুয়েল সেল পাওয়ার প্ল্যান্ট কার্যকর করেছে এবং এ পাওয়ার প্ল্যান্ট থেকে 4000 বাসাবাড়িতে বিদ্যুৎ সরবরাহ করা হচ্ছে।

শিক্ষার্থীর কাজ–৪.১২ : ফুয়েল সেলভিত্তিক প্রশ্ন :

প্রশ্ন-৪.৯ : ফুয়েল সেল ও ব্যাটারির মধ্যে কী কী সাদৃশ্য এবং কী কী বৈসাদৃশ্য রয়েছে তা ব্যাখ্যা করো।

প্রশ্ন-৪.১০ : নিম্নোক্ত ফুয়েল সেলের প্রমাণ কোষ বিভব কত?

(ক) এপোলো নভোযানে ব্যবহৃত হাইড্রোজেন অক্সিজেন ফুয়েল সেল।

(খ) বৈদ্যুতিক যানবাহনে ব্যবহৃত PEM ফুয়েল সেল।

প্রশ্ন-৪.১১ : হাইড্রোজেন ফুয়েল সেল একটি পরিবেশবান্ধব গ্রিনার ; —এর ব্যাখ্যা দাও।

প্রশ্ন-৪.১২ : জীবাশ্ম জ্বালানির তুলনায় হাইড্রোজেন ফুয়েল সেল ব্যবহার অধিক সুবিধাজনক, ব্যাখ্যা করো।

হাইড্রোজেন ফুয়েল সেলভিত্তিক গণনা

সমাধানকৃত সমস্যা– ৪.৩৭ : একটি হাইড্রোজেন ফুয়েল সেলে H_2 ও O_2 গ্যাসের রিডক্স বিক্রিয়ার ফলে বিদ্যুৎশক্তি উৎপন্ন হয়। এক্ষেত্রে কোষের অ্যানোডে H_2 গ্যাস জারিত ও ক্যাথোডে O_2 গ্যাস বিজারিত হয়। STP-তে 112L H_2 গ্যাস ফুয়েল সেলে 18 মিনিট যাবৎ বিক্রিয়া করলে উৎপন্ন তড়িৎ প্রবাহের গড় মান কত হবে?

দক্ষতা : H_2 ফুয়েল সেলের কোষ বিক্রিয়া লিখতে হবে।

সমাধান : H_2 ফুয়েল সেলে জারণ-বিজারণের অর্ধকোষ বিক্রিয়া হলো :

অ্যানোডে জারণ	: $2H_2$	+	$4OH^-$	$\longrightarrow$	$4H_2O + 4e^-$
ক্যাথোডে বিজারণ	: O_2	+	$2H_2O + 4e^-$	$\longrightarrow$	$4OH^-$
সমগ্র কোষ বিক্রিয়া	: $2H_2$	+	O_2	$\longrightarrow$	$2H_2O$

আমরা জানি, STP-তে 22.4 L H_2 = 1 mol H_2

$\therefore$ STP-তে 112 L $H_2 = \frac{1 \times 112 \text{ mol}}{22.4} = 5 \text{ mol } H_2$

H_2 ফুয়েল সেলের অ্যানোডে জারণ বিক্রিয়া মতে,

2 mol H_2 এর জারণে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয় = 4F = 4×96500 C

$\therefore$ 5 mol H_2 এর জারণে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয় = $\frac{4 \times 96500 \times 5 \text{ C}}{2}$

= 965000 C

আবার পরিবাহীতে প্রবাহিত মোট তড়িৎ, Q = I × t

$\therefore$ তড়িৎ প্রবাহের গড় মান, $I = \frac{Q}{t} = \frac{965000 \text{ C}}{18 \times 60\text{s}} = 893.5$ Amp.

MCQ-4.28 : হার্টপেচমেকাররূপে কোনটি ব্যবহৃত হয়?

(ক) লিথিয়াম ব্যাটারি
(খ) লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারি
(গ) লিথিয়াম SVO ব্যাটারি
(ঘ) H_2 ফুয়েল সেল

MCQ-4.29 : H_2 ফুয়েল সেলে—

(i) কার্যক্ষমতা 60% (ii) জ্বালানি হলো H_2
(iii) KOH এর ঘনমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে
নিচের কোনটি সঠিক?

(গ) i ও ii (ঘ) ii ও iii
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও i

সমাধানকৃত সমস্যা- ৪.৩৮ : একটি H_2 জ্বালানি কোষে H_2 ও O_2 গ্যাসের রিডক্স বিক্রিয়ায় বিদ্যুৎশক্তি উৎপন্ন হয়। STP তে 65 L H_2 গ্যাস ঐ কোষে 15 মিনিট যাবৎ বিক্রিয়া করলে উৎপন্ন তড়িৎ প্রবাহের গড়মান কত হবে? উৎপন্ন তড়িৎ প্রবাহের সবটাই $CuSO_4$ দ্রবণে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষে চালনা করলে ক্যাথোডে কী পরিমাণ Cu ধাতু জমা হবে?

দক্ষতা : H_2 ফুয়েল সেল মতে উৎপন্ন বিদ্যুৎ-এর পরিমাণ গণনা করে শেষে Cu^{2+} আয়নের বিজারণ বিক্রিয়া ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : H_2 ফুয়েল সেলের বিক্রিয়া হলো নিম্নরূপ :

অ্যানোডে জারণ : $2H_2 + 4OH^- \longrightarrow 4H_2O + 4e^-$

ক্যাথোডে বিজারণ : $O_2 + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow 4OH^-$

সমগ্র কোষ বিক্রিয়া : $2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$

আমরা জানি, STP-তে 22.4 L H_2 = 1 mol H_2

$\therefore$ STP-তে 65 L $H_2 = \frac{1 \times 65 \text{ mol}}{22.4} = 2.90 \text{ mol } H_2$

H_2 ফুয়েল সেলের অ্যানোডে জারণ বিক্রিয়া মতে,

2 mol H_2 এর জারণে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয় = 4F = 4×96500 C

$\therefore$ 2.9 mol H_2 এর জারণে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয় $= \frac{4 \times 96500 \times 2.9}{2}$ C = 559700 C

আবার পরিবাহীতে প্রবাহিত মোট তড়িৎ, Q = I × t

$\therefore$ তড়িৎ প্রবাহের গড় মান, $I = \frac{Q}{t} = \frac{559700\text{C}}{15 \times 60\text{s}} = 621.89\text{A}$

তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষে বিজারণ বিক্রিয়া হলো : $Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$

2F 63.55 g

$\therefore$ 2F বা 2×96500C তড়িৎ প্রবাহে ক্যাথোডে জমা হয় 63.55 g Cu

$\therefore$ 559700 C তড়িৎ প্রবাহে ক্যাথোডে Cu জমা হয় $= \frac{63.55 \times 559700}{2 \times 96500}$ g

= 184.295 g Cu

উত্তর : তড়িৎ প্রবাহের গড় মান 621.89A; সঞ্চিত Cu = 184.295 g

MCQ-4.30 : লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারি হলো— [চ. বো. ২০১৭]

(i) প্রাইমারি নির্দেশক কোষ
(ii) রিচার্জেবল ব্যাটারি
(iii) ব্যবহৃত হয় সেলফোনে, ল্যাপটপে
নিচের কোনটি সঠিক?

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

শিক্ষার্থীর কাজ–৪.১৩ : H_2 ফুয়েল সেলভিত্তিক সমস্যা :

সমস্যা–৪.৪২ : H_2 ফুয়েল সেলে H_2 ও O_2 গ্যাসের জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার ফলে বিদ্যুৎ শক্তি উৎপন্ন হয়। ফুয়েল গ্যাসের পরিমাণের ওপর উৎপন্ন বিদ্যুৎ-এর পরিমাণ নির্ভর করে। নিম্নোক্ত অবস্থায় H_2 ফুয়েল সেলে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হওয়ার গড় মান হিসাব করো।

(ক) STP-তে 89.6 L H_2 গ্যাস 20 মিনিট যাবৎ H_2 ফুয়েল সেলে প্রবাহিত করলে উৎপন্ন তড়িৎ প্রবাহের গড় মান কত হবে? [উঃ 643.33 A]

(খ) STP-তে কত আয়তনের H_2 গ্যাস 30 মিনিট যাবৎ ফুয়েল সেলে প্রবাহিত করলে তড়িৎ প্রবাহের গড় মান 680 A হবে? [উঃ 142. 06 L H_2]

(গ) SATP-তে কত আয়তনের H_2 গ্যাস 15 মিনিট যাবৎ ফুয়েল সেলে প্রবাহিত করলে উৎপন্ন তড়িৎ প্রবাহের গড় মান 650 A হবে? [উঃ 75.13546 L H_2]

(ঘ) 20°C তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে 96.16 L H_2 কত সময় ধরে ফুয়েল সেলে চালনা করলে উৎপন্ন তড়িৎ প্রবাহের গড় মান 857.8 A হবে? [উঃ 899.98 sec]

(ঙ) STP-তে 67 L H_2 গ্যাস 15 মিনিট ধরে ফুয়েল সেলে চালনা করলে উৎপন্ন তড়িৎ প্রবাহের গড় মান কত? উৎপন্ন তড়িৎ প্রবাহের সমস্তটাই $CuSO_4$ দ্রবণে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষে চালনা করলে ক্যাথোডে কী পরিমাণ কপার ধাতু জমা পড়বে? [উঃ 641.4 A; Cu = 190.078 g]

৪.১৯ pH মিটারের সাহায্যে কোনো দ্রবণের pH নির্ণয় কৌশল

Measurement of pH of a solution by pH Meter

pH মিটারের গঠন : কোনো দ্রবণের অম্লত্ব বা pH মাপার সহজতম পদ্ধতি হচ্ছে pH মিটারের ব্যবহার। pH মিটার হচ্ছে একটি যন্ত্র, যার ভেতর একটি তড়িৎ রাসায়নিক কোষ সৃষ্টি হয়। এর একটি ইলেকট্রোড যেমন গ্লাস ইলেকট্রোড হাইড্রোজেন আয়নের প্রেক্ষিতে উভমুখী, এ গ্লাস ইলেকট্রোডকে **কোনো দ্রবণে নিমজ্জিত করলে যে ইলেকট্রোড বিভবের সৃষ্টি হয়, তা দ্রবণের হাইড্রোজেন আয়নের ঘনমাত্রার বা pH-এর ওপর নির্ভরশীল**। এক্ষেত্রে নার্নস্ট সমীকরণভিত্তিক 'concentration cell' এর মূলনীতি কার্যকর রয়েছে। এ যন্ত্রে এ বিভব মাপার জন্য সূক্ষ্ম ভোল্টমিটার যুক্ত থাকে এবং এতে এমন ব্যবস্থা থাকে যেন রেকর্ডারে এ বিভব বা পটেনসিয়াল মান না দেখিয়ে সরাসরি pH-এর মান দেখানো হয়।

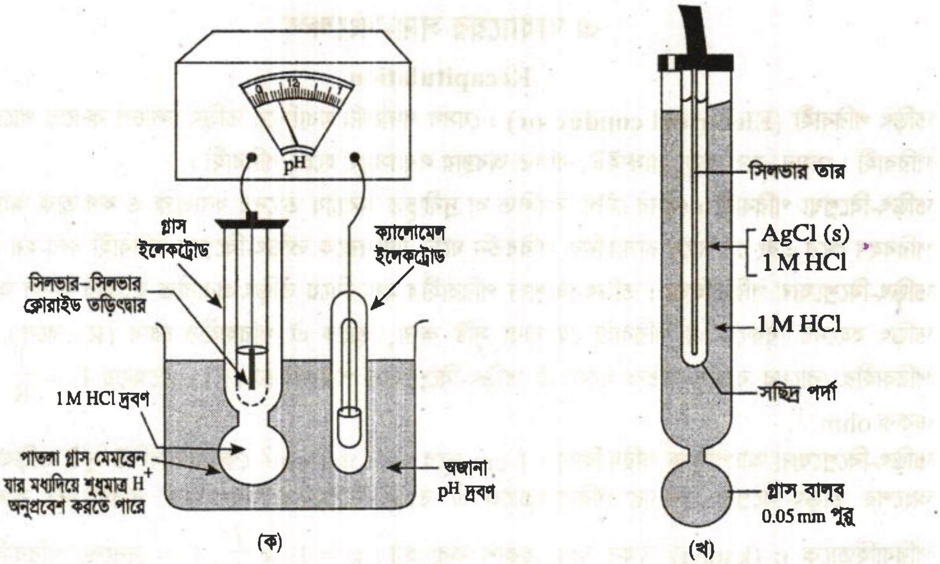
গ্লাস ইলেকট্রোড pH মিটার : একটি গ্লাস ইলেকট্রোড ও একটি প্রমাণ ক্যালোমেল ইলেকট্রোড (নির্দেশক ইলেকট্রোড) সমন্বয়ে কোষ গঠন করে এতে সূক্ষ্ম ভোল্টমিটার সংযোগ করা থাকে এবং রেকর্ডারে ভোল্ট এককের পরিবর্তে pH দেখানো হয় বলে তাকে গ্লাস ইলেকট্রোড pH মিটার বলে। প্রাথমিকভাবে সাধারণত একটি জ্ঞাত pH বিশিষ্ট দ্রবণে pH মিটারের গ্লাস ইলেকট্রোড নিমজ্জিত করে রেকর্ডারকে ক্রমাঙ্কিত বা প্রমিতকরণ করা হয় এবং পরে অজ্ঞাত pH বিশিষ্ট দ্রবণে এ ইলেকট্রোড নিমজ্জিত করে রেকর্ডার হতে দ্রবণে pH মান পাঠ করা হয়। এ গ্লাস ইলেকট্রোডের গ্লাস মেমব্রেনটি 0.05 mm পুরু হয় এবং বিশেষ উপাদানের যেমন 72% SiO_2, 22% Na_2O এবং 6% CaO এর তৈরি কাচ দ্বারা গঠিত।

এরূপ pH মিটার যন্ত্রে ব্যবহৃত গ্লাস ইলেকট্রোড তৈরিতে গ্লাস মেমব্রেন (বা গ্লাসের পাতলা সচ্ছিদ্র পর্দা) যুক্ত একটি পাত্রে নির্দিষ্ট pH এর অম্লীয় দ্রবণ (1M HCl) নিয়ে এর মধ্যে সিলভার-সিলভার ক্লোরাইড (Ag/AgCl(s) তড়িৎদ্বার স্থাপন করা হয়। গ্লাস মেমব্রেন দিয়ে শুধুমাত্র H^+ আয়ন অনুপ্রবেশ করতে পারে।

pH মিটারের গ্লাস ইলেকট্রোড ও নির্দেশক ক্যালোমেল ইলেকট্রোড সমন্বয়ে গঠিত কোষটিকে নিম্নরূপে লেখা হয়।

Ag (s), AgCl (s)/HCl (1M) (glass) (পরীক্ষণীয় অজানা pH দ্রবণ) 1 KCl (1M)/Hg_2Cl_2 (s), Hg (l)

pH মিটারের ব্যবহার : অজানা pH দ্রবণের pH নির্ণয়ের সময় এ pH মিটারটি সরাসরি ঐ দ্রবণে স্থাপন করা হয় এবং রেকর্ডার থেকে সরাসরি দ্রবণের pH জানা যায়।



চিত্র-৪.৩১ (ক) : গ্লাস ইলেকট্রোড ও নির্দেশক ক্যালোমেল ইলেকট্রোড সমন্বয়ে pH মিটার। (খ) গ্লাস ইলেকট্রোড।

pH নির্ণয় : যে দ্রবণের pH নির্ণয় করা হবে তার মধ্যে ভোল্টমিটার যুক্ত ইলেকট্রোড দুটি স্থাপন করা হয়। পরীক্ষাধীন দ্রবণের ও গ্লাস ইলেকট্রোডের মধ্যে pH পার্থক্য ঘটলে বৈদ্যুতিক বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়। নির্দেশক ও গ্লাস ইলেকট্রোডের মধ্যকার বিভব পরীক্ষাধীন দ্রবণের pH এর সাথে পরিবর্তিত হতে থাকে। এ বিভবের মান pH মিটারের অন্তর্গত ভোল্টমিটার হতে সরাসরি pH মানরূপে পাওয়া যায়। তারপর গৃহীত pH মানটি pH এর সমীকরণে ব্যবহার করে দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রাও নির্ণয় করা যায়। যেহেতু $pH = -\log [H^+]$

সারণি-৪.৫ : আয়ন সিলেকটিভ ইলেকট্রোড দ্বারা পরিমাপযোগ্য আয়ন

নির্দিষ্ট আয়ন		বিশেষ নমুনায় উপস্থিত
(1) NH_3, NH_4^+	:	শিল্প বর্জ্য-পানি, সামুদ্রিক পানি
(2) CO_2, HCO_3^-	:	রক্ত, ভূপৃষ্ঠের পানি
(3) F^- আয়ন	:	পানীয় জল, প্রস্রাব, মাটি, শিল্পে আবদ্ধ গ্যাস
(4) Br^- আয়ন	:	শস্য, উদ্ভিদ কোষ
(5) I^- আয়ন	:	দুধ, ফার্মাসিউটিক্যাল
(6) NO_3^- আয়ন	:	পানীয় জল, মাটি, সার
(7) K^+ আয়ন	:	রক্তের সিরাম, মাটি, মদ
(8) H^+ আয়ন	:	ল্যাবরেটরি দ্রবণ, প্রাকৃতিক পানি, মাটি

pH ইলেকট্রোড বা গ্লাস ইলেকট্রোড হলো আয়ন-সিলেকটিভ ইলেকট্রোড (ion-selective or ion specific electrode)। এক্ষেত্রে Specialized membrane ব্যবহার করা হয়। বায়োলজিকেল, শিল্পক্ষেত্রের ও পরিবেশ সংশ্লিষ্ট বিভিন্ন আয়নের ঘনমাত্রা পরিমাপের জন্য বিভিন্ন আয়ন সিলেকটিভ ইলেকট্রোড তৈরি করা হয়। বর্তমানে পিকোমোলার থেকে ফেম্‌টোমোলার ($10^{-12} - 10^{-15}$ M) ঘনমাত্রার আয়ন পরিমাপের ইলেকট্রোড ব্যবহৃত হয়। ৪.৪নং সারণিতে বিভিন্ন নমুনায় শনাক্তকরণ ও পরিমাপযোগ্য নির্দিষ্ট আয়ন উল্লেখ করা হলো।

এ অধ্যায়ের সার-সংক্ষেপ

Recapitulation

- **তড়িৎ পরিবাহী (Electrical conductor) :** যেসব পদার্থের মধ্যদিয়ে তড়িৎ চলাচল করতে পারে, তারা তড়িৎ পরিবাহী। যেমন, সব ধাতু, গ্রাফাইট, গলিত অবস্থায় লবণসমূহ হচ্ছে পরিবাহী।
- **তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পরিবাহী :** যেসব যৌগ বিগলিত বা দ্রবীভূত অবস্থায় তাদের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়ন দ্বারা তড়িৎ পরিবহণ করে এবং সে সাথে রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটে, তাদেরকে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পরিবাহী বলা হয়।
- **তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা :** তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হওয়ার কালে আয়নগুলো দ্বারা তড়িৎ বহনের বিরুদ্ধে ঐ পরিবাহী যে বাধা সৃষ্টি করে, তাকে ঐ পরিবাহীর রোধ (R) বলে। তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পরিবাহীর রোধের ব্যস্তানুপাতিক হলো ঐ তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা (L)। এক্ষেত্রে $L = \frac{1}{R}$। পরিবাহিতার একক ohm^{-1}.
- **তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের আপেক্ষিক পরিবাহিতা :** 1 cm দূরে থাকা ও 1 cm^2 ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট দুটি তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী অংশের তড়িৎ-বিশ্লেষ্য দ্রবণের পরিবাহিতাকে ঐ তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের আপেক্ষিক পরিবাহিতা বলে। আপেক্ষিক পরিবাহিতাকে κ (kappa) অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। $\kappa = L \times \frac{l}{A}$, L = দ্রবণের পরিবাহিতা, l = দুই তড়িৎদ্বারের দূরত্ব, A = প্রতিটি তড়িৎদ্বারের cm এককে ক্ষেত্রফল (cm^2)।
- **তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের তুল্য পরিবাহিতা :** কোনো তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের এক গ্রাম তুল্যভর পরিমাণের দ্রবণকে এক সেন্টিমিটার দূরত্বে থাকা দুটি উপযুক্ত তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী স্থানে রাখলে তড়িৎ প্রবাহে দ্রবণটির যে পরিবাহিতা হয়, তাকে ঐ তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের তুল্য পরিবাহিতা বলে। তুল্য পরিবাহিতাকে Λ (Lamda) অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এক্ষেত্রে $\Lambda = \kappa \times V$ হয়। $\Lambda = \kappa \times \frac{1000\ cm^3}{C}$.
- **তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মোলার পরিবাহিতা :** তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের এক মোল পরিমাণের দ্রবণকে এক সেন্টিমিটার দূরত্বে থাকা দুটি উপযুক্ত তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী স্থানে রাখলে তড়িৎ প্রবাহে দ্রবণটির যে পরিবাহিতা হয়, তাকে ঐ তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মোলার পরিবাহিতা বলে। মোলার পরিবাহিতাকে Λ_m প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

  এক্ষেত্রে $\Lambda_m = \kappa \times \frac{1000\ cm^3}{M}$
- **অসীম লঘুতায় তুল্য পরিবাহিতা :** তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণকে পানি যোগ করে লঘু করতে থাকলে এর তুল্য পরিবাহিতা ক্রমশ বৃদ্ধি পেয়ে এমন একটি স্থির মানে পৌঁছে যে, ঐ দ্রবণটিকে আরো লঘু করলে সেটির তুল্য পরিবাহিতা মান আর বৃদ্ধি পায় না। তখন ঐ শেষ পরিবাহিতা মানটিকে ঐ তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের অসীম লঘুতায় তুল্য পরিবাহিতা (Λ_o) বলে। এক্ষেত্রে, $\Lambda_C = \Lambda_o - b\sqrt{C}$; b হলো ঐ তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের একটি ধ্রুবক রাশি।
- **পরিবাহিতা কোষ :** একটি নির্দিষ্ট আয়তনের তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের রোধ মাপার জন্য নির্দিষ্ট ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট দুটি তড়িৎদ্বারকে নির্দিষ্ট ব্যবধানে কাচের পাত্রে রেখে যে কোষ ব্যবহার করা হয়, তাকে পরিবাহিতা কোষ বলে।
- **পরিবাহিতা কোষ ধ্রুবক :** কোনো পরিবাহিতা কোষের দু তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী দূরত্ব (l) এবং তড়িৎদ্বারের ক্ষেত্রফলের অনুপাতকে কোষ ধ্রুবক বলে। পরিবাহিতা কোষের কোষ ধ্রুবক $= \frac{l}{A}$।
- **তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের রোধ :** তরল মাধ্যমে তড়িৎ প্রবাহিত হওয়ার কালে তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের আয়নগুলোর গতির বাধাকে এ তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের রোধ বলে।

- **ফ্যারাডে (Faraday) :** এক মোল ইলেকট্রন প্রবাহ দ্বারা যে মোট ঋণাত্মক বিদ্যুৎ চার্জ উৎপন্ন হয়, তাকে এক ফ্যারাডে বা ফ্যারাডে ধ্রুবক বলে। 1F = 96500 C
- **ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজ :** ধাতুসমূহের ইলেকট্রন ত্যাগের প্রবণতা ক্রমানুসারে ধাতুসমূহকে ওপর থেকে নিচের দিকে একটি সারিতে বিন্যস্ত করা হয়েছে; ধাতুসমূহের এ সারিকে ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজ বলে।
- **জারণ অর্ধকোষ :** তড়িৎকোষের যে অর্ধকোষে জারণ ঘটে, তাকে জারণ অর্ধকোষ বলে।
- **বিজারণ অর্ধকোষ :** তড়িৎকোষের যে অর্ধকোষে বিজারণ ঘটে, তাকে বিজারণ অর্ধকোষ বলে।
- **লবণসেতু :** দুটি অর্ধকোষের মধ্যে পরোক্ষ সংযোগের জন্য একটি বিশেষ লবণ যেমন KCl, KNO_3, Na_2SO_4, NH_4NO_3 ইত্যাদির সম্পৃক্ত দ্রবণ ভর্তি U-আকৃতির কাচনলের উভয় মুখে তুলা বদ্ধ করে অর্ধকোষদ্বয়ের মধ্যে উল্টোভাবে ডুবিয়ে রাখা হয়। অর্ধকোষদ্বয়ের এরূপ পরোক্ষ সংযোগ মাধ্যমকে লবণসেতু বলে। লবণসেতু উভয় অর্ধকোষে বৈদ্যুতিক নিরপেক্ষতা বজায় রাখে।
- **তড়িৎদ্বার বিভব :** অর্ধকোষের তড়িৎদ্বার ও তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের আয়নের মধ্যে উভমুখী জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার ফলে যে বিভব তড়িৎদ্বারে সৃষ্টি হয়, তাকে তড়িৎদ্বার বিভব বলে।
- **প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব :** প্রমাণ অবস্থায় অর্থাৎ 25° C এ (গ্যাসের বেলায় 1 atm চাপে) 1 M তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের সাথে তড়িৎদ্বারের যে বিভব সৃষ্টি হয়, তাকে প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব বলা হয়।
- **কোষ বিভব :** তড়িৎকোষের অ্যানোডের জারণ বিভব ও ক্যাথোডের বিজারণ বিভবের সমষ্টিকে কোষ বিভব বলে।
- **প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারের বিভব :** যেহেতু পূর্ণ তড়িৎকোষের e.m.f বা তড়িচ্চালক বল ঐ তড়িৎকোষে ব্যবহৃত তড়িৎদ্বারের বিজারণ বিভবের পার্থক্যের সমান, তাই অজানা তড়িৎদ্বারের বিভব মান গণনার সুবিধার্থে প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারের বিভবের মান শূন্য ধরা হয়। তখন হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বার যুক্ত তড়িৎকোষের তড়িচ্চালক বল বা e.m.f এর মানই ঐ কোষে যুক্ত অজানা তড়িৎদ্বারটির বিভব মান বোঝায়। হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয়—

$$Pt, H_2(g)\ (latm)\ |\ H^+(aq\ 1M\ HCl), \qquad E^o = 0.0\ V$$

- **প্রাইমারি কোষ :** যে তড়িৎকোষে রাসায়নিক শক্তি স্বতঃস্ফূর্তভাবে বিদ্যুৎশক্তিতে রূপান্তরিত হয়, তাকে প্রাইমারি কোষ বলে।
- **সেকেন্ডারি কোষ :** যে তড়িৎকোষে বাইর থেকে বিদ্যুৎ প্রবাহিত করে বিদ্যুৎশক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তর করে সঞ্চিত রাখা হয়, তাকে সেকেন্ডারি কোষ বলে।
- **ফুয়েল সেল :** ফুয়েল সেল হলো বিশেষ ধরনের গ্যালভানিক সেল। এরূপ সেলে ফুয়েল হিসেবে H_2 গ্যাস অথবা মিথানলকে Ni অথবা Pt ধাতুযুক্ত গ্রাফাইট অ্যানোডে প্রভাবকীয় জারণ ঘটানো হয় এবং ক্যাথোডে O_2 গ্যাসকে চালনা করে প্রভাবকীয় বিজারণ ঘটিয়ে পানি তৈরি করা হয়। ফুয়েল সেলে ব্যবহৃত জারক ও বিজারকের (ফুয়েলের) প্রবাহমানতার কারণে ফুয়েল সেলকে flow battery বলা হয়।

MCQ-এর উত্তরমালা :
4.1 (ক), 4.2 (খ), 4.3 (গ), 4.4 (ঘ), 4.5 (ক). 4.6 (ঘ), 4.7 (খ), 4.8 (ক), 4.9 (ঘ), 4.10 (গ), 4.11 (ক), 4.12 (গ), 4.13 (গ), 4.14 (ঘ), 4.15 (খ), 4.16 (ঘ), 4.17 (ক) 4.18 (ঘ) 4.19 (খ), 4.20 (গ), 4.21 (খ) 4.22 (খ), 4.23 (গ), 4.24 (গ), 4.25 (ঘ) 4.26 (ঘ), 4.27 (ঘ), 4.28 (গ), 4.29 (খ), 4.30 (গ)।

অনুশীলনী–৪ : তড়িৎ রসায়ন

(ক) বিভাগ : জ্ঞানস্তরভিত্তিক প্রশ্নাবলি (একনজরে)

(১) তড়িৎ পরিবাহী সংক্রান্ত প্রশ্নাবলি :

১। তড়িৎ পরিবাহী কী?

২। তড়িৎ অপরিবাহী বা ইনসুলেটর কী?

৩। তড়িৎ সুপরিবাহী কী?

৪। অর্ধপরিবাহী বা সেমিকন্ডাক্টর কী?

৫। সুপার কন্ডাক্টর কী?

৬। তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পরিবাহী কী?

৭। তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কাকে বলে? [রা. বো. ২০২১]

৮। দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কাকে বলে?

৯। তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা কাকে বলে?

১০। তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের আপেক্ষিক পরিবাহিতা কী? [কু. বো. ২০২১]

১১। তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের তুল্যপরিবাহিতা কী?

১২। তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মোলার পরিবাহিতা কী?

১৩। পরিবাহিতা কোষ কী?

১৪। পরিবাহিতা কোষ ধ্রুবক কী?

১৫। তড়িৎ বা বিদ্যুৎ পরিমাপের একক কী?

১৬। তড়িৎ প্রবাহের একক কী?

১৭। কুলম্ব কী?

১৮। ফ্যারাডে ধ্রুবক বা ফ্যারাডে কী? [কু. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০২১; সি. বো. ২০২২]

১৯। এক জুল বলতে কী বুঝ?

(২) তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফ্যারাডের সূত্র ও কোষসংক্রান্ত প্রশ্নাবলি :

১। তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের বিয়োজন বিভব কী?

২। ফ্যারাডের প্রথম সূত্র কী? [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮; ঢা. বো. ২০২১; চ. বো. ২০২১; কু. বো. ২০২১, ২০২২; য. বো. ২০২২; ব. বো. ২০১৯, ২০২২]

৩। মৌলের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক কী? [মা. বো. ২০২৩; ব. বো. ২০২২ ; সি. বো. ২০২২]

৪। যৌগের তুল্যভর কী?

৫। ধাতুর তুল্যভর কী?

৬। সক্রিয়তা সিরিজ কী?

৭। জারণ বিভব কী? [য. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০২২]

৮। বিজারণ বিভব কী?

৯। (ক) অর্ধকোষ কী? [য. বো. ২০২৩; ব. বো. ২০২১]

(খ) তড়িৎদ্বার কী? [মা. বো. ২০২৩]

১০। (ক) জারণ অর্ধকোষ কী?

(খ) বিজারণ অর্ধকোষ কী?

১১। তড়িৎ রাসায়নিক কোষ বা গ্যালভানিক কোষ বা ভোল্টার কোষ কী? [ঢা. বো. ২০১৯; য. বো. ২০২২]

১২। গ্যালভানিক কোষের অ্যানোড কোন্‌টি?

১৩। গ্যালভানিক কোষের ক্যাথোড কোন্‌টি?

১৪। লবণ সেতু কী? [সি. বো. ২০২১, ২০২২; ম. বো. ২০২১; ব. বো. ২০১৫, ২০২২]

১৫। বিদ্যুৎ প্রবাহ মাপার যন্ত্রকে কী বলে?

১৬। কোষ বিভব বা কোষের তড়িচ্চালক বল বা emf কী? [রা. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০২১; কু. বো. ২০২১, ২০২২; ব. বো. ২০২১; সি. বো. ২০১৯]

১৭। প্রমাণ কোষ বিভব কী?

১৮। একক তড়িৎদ্বার বিভব কী? [কু. বো. ২০২১]

১৯। প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব কী? [ম. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০২১; রা. বো. ২০১৫; চ. বো. ২০১৯]

২০। (ক) প্রাইমারি নির্দেশক তড়িৎদ্বার কী? [ঢা. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০২৩]

(খ) সেকেন্ডারি বা গৌণ নির্দেশক তড়িৎদ্বার কী?

২১। প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বার কী? [ঢা. বো. ২০২২; ব. বো. ২০১৭]

২২। তড়িৎ রাসায়নিক সারি বা তড়িৎ-বিভব সিরিজ কী? [ঢা. বো. ২০২৩]

২৩। তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষ বা ইলেকট্রোলাইটিক সেল কাকে বলে?

২৪। প্রাইমারি কোষ কী?

২৫। গৌণ কোষ বা সেকেন্ডারি তড়িৎকোষ বা, ব্যাটারি কী? [চ. বো. ২০১৯]

২৬। লিথিয়াম ব্যাটারি কোন্ শ্রেণির কোষ?

২৭। লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারি কোন্ শ্রেণির কোষ?

২৮। ফুয়েল সেল কী? [রা. বো. ২০১৭; য. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৯]

২৯। Flow battery কী?

৩০। PEM fuel cell কী?

৩১। DMFC কী?

৩২। SOFC কী? [দি. বো. ২০১৭]

৩৩। ফুয়েল সেলে মেমব্রেনের ভূমিকা কী?

৩৪। ফুয়েল সেলের অ্যানোড ও ক্যাথোড কিসের তৈরি?

৩৫। ফুয়েল সেলের অ্যানোডে কোন ফুয়েল থাকে?

৩৬। ফুয়েল সেলের ক্যাথোডে কোন ফুয়েল থাকে?

৩৭। ফুয়েল সেলের উভয় ইলেকট্রোডের মাঝখানে কী থাকে?

৩৮। H_2 ফুয়েল সেল বিক্রিয়াটি লেখ।

৩৯। PEM ফুয়েল সেলে ব্যবহৃত পলিমার মেমব্রেনের নাম কী?

৪০। গ্লাস ইলেকট্রোড pH মিটার কী?

৪১। গ্লাস ইলেকট্রোড কোন শ্রেণির ইলেকট্রোড?

৪২। pH ইলেকট্রোড কোন্ শ্রেণির ইলেকট্রোড?

(খ) বিভাগ : অনুধাবনস্তরভিত্তিক প্রশ্নাবলি (একনজরে)

(১) পরিবাহীসংক্রান্ত প্রশ্নাবলি :

১। সুপার কন্ডাক্টরের বৈশিষ্ট্যসমূহ আলোচনা করো।

২। ইলেকট্রনীয় পরিবাহীর বৈশিষ্ট্যসমূহ আলোচনা করো।

৩। তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পরিবাহীসমূহের বৈশিষ্ট্য আলোচনা করো।

৪। ধাতব পরিবাহী বা ইলেকট্রনীয় পরিবাহী ও তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পরিবাহীর মধ্যে পার্থক্যসমূহ লেখ।

৫। তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পরিবাহীকে আয়নিক পরিবাহী বলা হয় কেন? [দি. বো. ২০২৩]

৬। তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কীরূপে তড়িৎ পরিবহণ করে তা ব্যাখ্যা করো।

৭। 0.1 M HCl দ্রবণ তড়িৎ পরিবহণ করে, কিন্তু 0.1 M গ্লুকোজ দ্রবণ তড়িৎ পরিবহণ করে না; ব্যাখ্যা করো।

৮। NaCl এর জলীয় দ্রবণ তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পরিবাহী হয়, ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০১৯; মা. বো. ২০২২; কু. বো. ২০১৫]

(২) ফ্যারাডের সূত্র ও কোষসংক্রান্ত প্রশ্নাবলি :

১। ফ্যারাডের ১ম সূত্রের গাণিতিক ব্যাখ্যা দাও।

২। তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক কাকে বলে? [সি. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০২৩]

৩। (ক) হাইড্রোজেনের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0.000010447 g/coulomb-এর ব্যাখ্যা করো।

(খ) কপারের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0.000329 g C^{-1} বলতে কী বুঝ? [কু. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০২১]

(গ) Ag-এর তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0.001118 g/coul; এর ব্যাখ্যা দাও। [ঢা. বো. ২০২১; সি. বো. ২০২১; ম. বো. ২০২৩; ব. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০২৩; য. বো. ২০২২; ব. বো. ২০১৫]

৪। ফ্যারাডের সূত্রের প্রযোজ্যতা আলোচনা করো।

৫। ফ্যারাডের সূত্রের সীমাবদ্ধতা ব্যাখ্যা করো।

৬। (ক) ফ্যারাডের সূত্রের সাহায্যে ইলেকট্রনের চার্জ গণনা করো। [রা. বো. ২০২২; ব. বো. ২০২১]

(খ) দেখাও যে, 1F = 96,500 কুলম্ব। [চ. বো. ২০২১]

৭। তড়িৎ-বিশ্লেষণে এক মোল বিভিন্ন ধাতু সঞ্চিত করতে প্রয়োজনীয় বিদ্যুতের ফ্যারাডে এককে সম্পর্ক স্থাপন করো।

৮। তড়িৎ-বিশ্লেষণ একটি জারণ-বিজারণ বা Redox প্রক্রিয়া; ব্যাখ্যা করো। [দি. বো. ২০২১; রা. বো. ২০২১, ২০২২; ঢা. বো. ২০২৩; য. বো. ২০২৩; সি. বো. ২০২১; মা. বো. ২০১৯; অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]

৯। (ক) তড়িৎদ্বার বা ইলেকট্রোড কাকে বলে? [মা. বো. ২০২৩]

(খ) প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব বলতে কী বোঝায়?

১০। প্রাইমারি নির্দেশক তড়িৎদ্বারের গঠন প্রণালি আলোচনা করো।

১১। একক-প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া দ্বারাই ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজ তৈরি হয়েছে; তা ব্যাখ্যা করো।

১২। স্বতঃস্ফূর্ত রিডক্স বিক্রিয়া থেকেই গ্যালভানিক কোষ তৈরি হয়েছে; তা ব্যাখ্যা করো।

১৩। লবণ সেতুর ব্যবহার বা ভূমিকা ব্যাখ্যা করো। [ম. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০২২; য. বো. ২০২১, ২০২২; মা. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০১৯; ব. বো. ২০১৯; সি. বো. ২০১৯]

১৪। তড়িৎদ্বার বিভব কীরূপে সৃষ্টি হয়, তা ব্যাখ্যা করো।

১৫। প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বার একটি প্রাইমারি নির্দেশক তড়িৎদ্বার; ব্যাখ্যা করো। [ব. বো. ২০১৯]

১৬। (ক) ধাতুর ক্ষয় বা করোসান হলো একটি রাসায়নিক প্রক্রিয়া, ব্যাখ্যা করো। [দি. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০১৯]

(খ) $Na \rightarrow Na^+ + e^-$ বিক্রিয়াটি জারণ অর্ধবিক্রিয়া, ব্যাখ্যা করো। [য. বো. ২০২১]

১৭। তড়িৎকোষ বিভবের নার্নস্ট সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করো।

১৮। ডেনিয়েল কোষের কোষ বিক্রিয়া লেখ। [সি. বো. ২০২১]

১৯। (ক) প্রমাণ অবস্থায়, ডেনিয়েল কোষের emf = 1.1V হয়। $[Zn^{2+}] = 1.0 \times 10^{-4}$ M এবং $[Cu^{2+}] = 2.0$ M হলে তখন ডেনিয়েল কোষের emf কত হবে?

(খ) ডেনিয়েল কোষের emf গণনা করো ; যখন $[Zn^{2+}] = 0.1$ M এবং $[Cu^{2+}] = 0.05$ M.

25°C-এর $E^0_{Zn/Zn^{2+}} = 0.76$ V এবং $E^0_{Cu/Cu^{2+}} = -0.34$ V হয়।

২০। ডেনিয়েল সেলে Zn দণ্ড বিজারক হিসেবে কাজ করে কেন? [সি. বো. ২০১৯]

২১। (ক) জিঙ্ক তড়িৎদ্বারের প্রমাণ জারণ বিভব +0.76V বলতে কী বোঝায়? [য. বো. ২০২৩; ব. বো. ২০২১]

(খ) Al ধাতুর পাত্রে $ZnSO_4$ দ্রবণ সংরক্ষণ করা যাবে কীনা; বিশ্লেষণ করো।

এক্ষেত্রে $Zn/Zn^{2+} = 0.76V$, $Al/Al^{3+} = 1.66$ V [ঢা. বো. ২০২৩]

২২। কপারের প্রমাণ বিজারণ বিভব +0.34 V বলতে কী বুঝ? [চ. বো. ২০২৩; সি. বো. ২০২২, ২০২৩]

২৩। গ্যালভানিক কোষ কয় প্রকোষ্ঠবিশিষ্ট কোষ? ব্যাখ্যা করো।

২৪। (ক) গ্যালভানিক কোষ ও তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষের ভিত্তি হলো বিপরীত; তা ব্যাখ্যা করো।

(খ) তড়িৎ রাসায়নিক কোষ ও তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষের মধ্যে ২টি পার্থক্য লেখ। [মা. বো. ২০২৩]

২৫। এক প্রকোষ্ঠবিশিষ্ট ইলেকট্রোলাইটিক কোষ ও দ্বিপ্রকোষ্ঠবিশিষ্ট গ্যালভানিক কোষের মধ্যে পার্থক্যসমূহ লেখ।

২৬। লেড-এসিড স্টোরেজ ব্যাটারির বেলায় গ্যালভানিক কোষ বিক্রিয়াটি লেখ।

২৭। লেড-এসিড স্টোরেজ ব্যাটারির বেলায় ইলেকট্রোলাইটিক কোষ বিক্রিয়াটি লেখ।

২৮। লিথিয়াম–আয়ন ব্যাটারির কার্যপ্রণালি সমীকরণসহ লেখ।

২৯। লেড-স্টোরেজ ব্যাটারির অসুবিধাসমূহ ব্যাখ্যা করো।

৩০। লেড-স্টোরেজ ব্যাটারির সুবিধাসমূহ লেখ।

৩১। লিথিয়াম–আয়ন ব্যাটারির সুবিধা ও অসুবিধাসমূহ লেখ।

৩২। লিথিয়াম ব্যাটারির সুবিধা ও অসুবিধাসমূহ লেখ।

৩৩। ফুয়েল সেল ও সাধারণ ব্যাটারির মধ্যে পার্থক্য কী?

৩৪। ফুয়েল সেলের সাধারণ বৈশিষ্ট্যসমূহ লেখ।

৩৫। অ্যালকালি H_2–ফুয়েল সেলের গঠন ও কার্যপ্রণালি লেখ।

৩৬। PEM–H_2 ফুয়েল সেলের গঠন ও কার্যপ্রণালি লেখ।

৩৭। H_2–ফুয়েল সেলের সুবিধাসমূহ লেখ।

৩৮। ফুয়েল সেল পরিবেশবান্ধব, ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০১৯]

৩৯। p^H মিটারের গঠন বর্ণনা করো।

৪০। p^H মিটারে দ্রবণের p^H নির্ণয় কীরূপে করা হয়?

(গ) বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

❐ সাধারণ বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (Simple MCQ)

(ক) পরিবাহী ও ফ্যারাডের সূত্রভিত্তিক :

১। চিনি ও গ্লুকোজ দ্রবণ হলো নিচের কোনটি?
(ক) তড়িৎ-বিশ্লেষ্য (খ) ইলেকট্রনীয় পরিবাহী (গ) তড়িৎ অবিশ্লেষ্য (ঘ) অধাতব পরিবাহী

২। গলিত NaCl এর পরিবাহিতার কারণ কী? [ঢা. বো. ২০১৯]
(ক) মুক্ত ইলেকট্রন (খ) মুক্ত পরমাণু (গ) মুক্ত আয়ন (ঘ) মুক্ত অণু

৩। সেমিকন্ডাক্টররূপে কোন্ মৌলটি ব্যবহৃত হয়? [ঢা. বো. ২০১৭]
(ক) Cu (খ) Al (গ) Zn (ঘ) Ge

৪। Zn এর তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক কত? [দি. বো. ২০১৭]
(ক) $3.388 \times 10^{-4}\ gC^{-1}$ (খ) $3.30 \times 10^{-4}\ gC^{-1}$ (গ) $3.29 \times 10^{-4}\ gC^{-1}$ (ঘ) $3.22 \times 10^{-4}\ gC^{-1}$

৫। তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক কোনটির সবচেয়ে বেশি? [দি. বো. ২০১৯]
(ক) Ag (খ) Cu (গ) Fe (ঘ) Cr

৬। 1F বিদ্যুৎ দ্বারা কোন ধাতুর আয়ন ক্যাথোডে অধিক পরিমাণে সঞ্চিত হবে? [ব. বো. ২০১৭]
(ক) Zn (খ) Al (গ) K (ঘ) Ca

৭। ক্যাথোডে 1 mol Cu ধাতু জমা করতে $CuSO_4$ দ্রবণে কত ফ্যারাডে বিদ্যুৎ চালনা করতে হবে? [চ. বো. ২০১৭]
(ক) 1F (খ) 2F (গ) 3F (ঘ) 4F

৮। যদি 5A বিদ্যুৎ 30 s ধরে একটি ইলেকট্রোডের মধ্যদিয়ে চলে, তবে মোট চার্জ কত হবে? [রা. বো. ২০১৭]
(ক) 60 কুলম্ব (খ) 95.52 কুলম্ব (গ) 120 কুলম্ব (ঘ) 150 কুলম্ব

৯। 1 mol Ag ক্যাথোডে জমা করতে $AgNO_3$ দ্রবণে কত ফ্যারাডে বিদ্যুৎ চালনা করতে হবে? [মা. বো. ২০১৭]
(ক) 1F (খ) 2F (গ) 3F (ঘ) 4F

১০। $AgNO_3$ দ্রবণে 60 মিনিট 5A বিদ্যুৎ চালনা করলে ক্যাথোডে কত গ্রাম Ag জমা হবে? [সি. বো. ২০১৬]
(ক) 8.766 g (খ) 16.812 g (গ) 20.145 g (ঘ) 24.854 g

১১। $AgNO_3$ দ্রবণে 1.2A বিদ্যুৎ কতক্ষণ চালনা করলে ক্যাথোডে 1.61 g Ag জমা হবে? [ব. বো. ২০১৫]
(ক) 40 মিনিট (খ) 30 মিনিট (গ) 25 মিনিট (ঘ) 20 মিনিট

১২। $CuSO_4$ দ্রবণে 5000 mA বিদ্যুৎ 1.0 ঘণ্টা চালনা করলে ক্যাথোডে কী পরিমাণ Cu জমা হবে? [কু. বো. ২০১৬]
(ক) 5.5222 g (খ) 5.7222 g (গ) 5.8222 g (ঘ) 5.9222 g

১৩। $CuSO_4$ দ্রবণে 1F চার্জ দ্বারা ক্যাথোডে কত গ্রাম Cu জমা হবে? [সি. বো. ২০১৬]
(ক) 23.0 g (খ) 26.52 g (গ 31.75 g (ঘ) 33.68 g

১৪। $CuSO_4$ দ্রবণে 0.16A বিদ্যুৎ প্রবাহ 40 মিনিট চালনা করলে ক্যাথোডে সঞ্চিত Cu পরমাণু সংখ্যা কত? [রা. বো. ২০১৯]
(ক) 1.198×10^{21} (খ) 1.342×10^{21} (গ) 1.546×10^{21} (ঘ) 1.921×10^{21}

১৫। $ZnSO_4$ দ্রবণে 1.0 C বিদ্যুৎ চালনা করলে অ্যানোডে দ্রবীভূত Zn এর পরিমাণ কত? [রা. বো. ২০১৬]
(ক) 3.47 g (খ) 0.0034 g (গ) 32.7 g (ঘ) 0.0348 g

১৬। ক্রোমিয়াম সালফেট দ্রবণে 3F বিদ্যুৎ দ্বারা ক্যাথোডে কত গ্রাম Cr জমা হবে? [Cr = 52] [ঢা. বো. ২০১৫]
(ক) 17.33 g (খ) 52.0 g (গ) 104 g (ঘ) 156 g

১৭। $Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$, এ বিক্রিয়ায় 9 g Al উৎপাদনে কী পরিমাণ বিদ্যুৎ দরকার হবে? [কু. বো. ২০১৫]
(ক) 1 F (খ) 3 F (গ) 9 F (ঘ) 27 F

১৮। এক মোল বা, 27 g Al ক্যাথোডে জমা করতে কী পরিমাণ বিদ্যুৎ লাগবে? [ঢা. বো. ২০১৬; কু. বো. ২০১৯]

(ক) 1 F (খ) 3 F (গ) 13.5 F (ঘ) 27 F

১৯। বিগলিত NaCl, $MgCl_2$, $AlCl_3$ ও $SnCl_4$ এর মধ্যে 1F বিদ্যুৎ চালনা করলে ক্যাথোডে কোন্ ধাতুর সর্বাধিক মোল সংখ্যার পরিমাণে জমা হবে? [সি. বো. ২০১৫]

(ক) Na (খ) Mg (গ) Al (ঘ) Sn

(খ) বিভিন্ন প্রকার তড়িৎকোষভিত্তিক :

২০। নিচের কোন্ তড়িৎদ্বার জারণ প্রক্রিয়া বোঝায়?

(ক) Zn^{2+}/Zn (খ) Zn/Zn^{2+} (গ) Cu^{2+}/Cu (ঘ) H^+/H_2,Pt

২১। নিচের কোন্ তড়িৎদ্বার বিজারণ প্রক্রিয়া বোঝায়?

(ক) Fe/Fe^{2+} (খ) Cu^{2+}/Cu (গ) Zn/Zn^{2+} (ঘ) Pt. H_2/H^+

২২। অ্যানোডরূপী Zn/Zn^{2+} ($E^\theta = +0.76V$) এর সাথে নিচের কোন্‌টিকে ক্যাথোডরূপে ব্যবহার করা যাবে?

(ক) Co/Co^{2+} ($E^\theta = +0.28$) (খ) Mg/Mg^{2+} ($E^\theta = +2.36$)

(গ) Ca/Ca^{2+} ($E^\theta = +2.87$) (ঘ) Al^{3+}/Al ($E^\theta = -1.66$)

২৩। Zn ও Ag তড়িৎদ্বারের জারণ বিভব যথাক্রমে + 0.76 V ও – 0.80 V তবে; $Zn/Zn^{2+}|Ag^+/Ag$ কোষের emf হবে কোনটি?

(ক) – 1.56 V (খ) – 0.04 V (গ) + 0.04 V (ঘ) 1.56 V

২৪। Pt, H_2/H^+ অর্ধকোষটি কী প্রকারের অর্ধকোষ হবে?

(ক) অধাতব অর্ধকোষ (খ) গ্যাস অর্ধকোষ (গ) জারণ অর্ধকোষ (ঘ) জারণ-বিজারণ অর্ধকোষ

২৫। ক্যালোমেল তড়িৎদ্বারে কোনটি ব্যবহৃত হয়? [ক্যালোমেল-এর সংকেত কী?] [কু. বো. ২০১৭; চ. বো. '১৭, ২০১৯]

(ক) $HgCl_2$ (খ) Hg_2Cl_2 (গ) MnO_2 (ঘ) NH_4Cl

২৬। $E_{Zn/Zn^{2+}} = +0.76V$ এবং $E_{Ag/Ag^+} = -0.799V$. তড়িৎকোষটির মোট বিভব কত? [ঢা. বো. ২০১৬; মা. বো. ২০১৯]

(ক) 1.559 V (খ) 1.459 V (গ) 1.669 V (ঘ) 2.559 V

২৭। প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বার নিচের কোনটির সাথে ক্যাথোড হিসেবে কাজ করে? [কু. বো. ২০১৯]

(ক) $Zn(s)/Zn^{2+}(aq)$ (খ) $Ag(s)/Ag^+(aq)$ (গ) $Cu(s)/Cu^{2+}(aq)$ (ঘ) $Au(s)/Au^{3+}(aq)$

২৮। Pt, H_2/H^+ এর সাথে কোনটি অ্যানোড হিসাবে উপযুক্ত?

(ক) Zn^{2+}/Zn (খ) Ag^+/Ag (গ) Cu^{2+}/Cu (ঘ) Hg^{2+}/Hg

২৯। কোনটি প্রাইমারি নির্দেশক তড়িৎদ্বার? [ঢা. বো. ২০১৬; মা. বো. ২০১৯]

(ক) ক্যালোমেল (খ) গ্যাস তড়িৎদ্বার (গ) হাইড্রোজেন (ঘ) জারণ-বিজারণ

৩০। কোনটি জারণ-বিজারণ অর্ধকোষ বা, ইলেকট্রোড? [ঢা. বো. ২০১৯, ২০১৬]

(ক) Pt, Cl_2/Cl^- (খ) Ag, $AgCl(s)/Cl^-$ (গ) Na, Hg/Na^+ (ঘ) Pt/Fe^{2+}, Fe^{3+}

৩১। কোনটি প্রাইমারি নির্দেশক তড়িৎদ্বার? [রা. বো. ২০১৬; ব. বো. ২০১৭]

(ক) ক্যালোমেল তড়িৎদ্বার (খ) Ag/AgCl (গ) Zn তড়িৎদ্বার (ঘ) H_2 গ্যাস তড়িৎদ্বার

৩২। কোনটি মুখ্য অনির্দেশক তড়িৎদ্বার? [ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) প্রমাণ H_2 তড়িৎদ্বার (খ) ক্যালোমেল তড়িৎদ্বার (গ) গ্লাস তড়িৎদ্বার (ঘ) ক্যাডমিয়াম তড়িৎদ্বার

৩৩। মুখ্য নির্দেশক তড়িৎদ্বার হিসেবে ব্যবহৃত হয় কোনটি? [রা. বো. ২০১৫]

(ক) প্রমাণ H_2 তড়িৎদ্বার (খ) ক্যালোমেল তড়িৎদ্বার (গ) গ্লাস তড়িৎদ্বার (ঘ) ক্যাডমিয়াম তড়িৎদ্বার

৩৪। প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারের বিভব মান কত?
(ক) + 1.0 V (খ) – 1.34 V (গ) 0.0 V (ঘ) – 0.76 V

৩৫। গ্যাস ইলেকট্রোডে কোন ধাতুযুগল ব্যবহৃত হয়? [সি. বো. ২০১৬]
(ক) Hg, Au (খ) Hg, Pt (গ) Pt, Au (ঘ) Pt, V

৩৬। প্রমাণ H_2 তড়িৎদ্বারে এসিড দ্রবণের ঘনমাত্রা কত? [কু. বো. ২০১৬]
(ক) 1.0 M (খ) 0.1 M (গ) 0.01 M (ঘ) 0.001 M

৩৭। নিচের কোনটি শক্তিশালী বিজারক? [কু. বো. ২০১৬]
(ক) Na (খ) Li (গ) K (ঘ) Ag

৩৮। তড়িৎ-বিশ্লেষণকালে কোনটি আগে চার্জ মুক্ত হবে? [ব. বো. ২০১৯]
(ক) Cu^{+2} (খ) H^+ (গ) Au^{3+} (ঘ) Ag^+

৩৯। তড়িৎ-বিশ্লেষণকালে কোন আয়নটি আগে চার্জমুক্ত হবে? [ব. বো. ২০১৬]
(ক) Br^- (খ) NO_3^- (গ) OH^- (ঘ) Cl^-

৪০। নিচের কোনটি সবচেয়ে কম সক্রিয় ধাতু? [চ. বো. ২০১৫]
(ক) গোল্ড (খ) প্লাটিনাম (গ) সিলভার (ঘ) ক্রোমিয়াম

৪১। নিচের কোনটি ধাতু-ধাতব আয়ন তড়িৎদ্বার? [ব. বো. ২০১৬]
(ক) Ag(s), AgCl(s)/NaCl(aq) (খ) Hg(*l*), Hg_2Cl_2(s)/KCl(aq)
(গ) Ag(s)/$AgNO_3$(aq) (ঘ) Pt(s)/Fe^{2+}(aq),Fe^{3+}(aq)

৪২। সক্রিয়তা সিরিজে কোনটির অবস্থান ওপরে? [চ. বো. ২০১৭]
(ক) Pb (খ) Cu (গ) Ag (ঘ) Ca

৪৩। তড়িৎ রাসায়নিক সক্রিয়তা সিরিজে নিচের কোনটি সঠিক? [ব. বো. ২০১৫]
(ক) Al > Ni (খ) Zn > Mg (গ) Fe > Na (ঘ) Cu > Sn

৪৪। তামার প্রমাণ বিজারণ বিভব কত? [দি. বো. ২০১৬]
(ক) + 0.34 V (খ) + 0.80 V (গ) + 1.30 V (ঘ) + 1.36 V

৪৫। জিঙ্কের প্রমাণ জারণ বিভব কোনটি?
(ক) – 0.76 V (খ) + 0.76 V (গ) – 0.74 V (ঘ) + 0.74 V

৪৬। অ্যানোড তড়িৎদ্বারের কী ঘটে? [য. বো. ২০১৫]
(ক) ধাতব আয়নের আগমন (খ) ধাতব আয়নের নির্গমন (গ) বিজারণ (ঘ) জারণ

৪৭। ডেনিয়েল সেল তৈরিতে অ্যানোডরূপে ব্যবহৃত তড়িৎদ্বার হলো কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৭]
(ক) Zn (s)/Zn^{2+}(aq) (খ) Fe^{2+}(aq)/Fe (s) (গ) Zn(s)/Zn^+(aq) (ঘ) Cu^{2+} (aq)/Cu (s)

৪৮। লবণ সেতুতে নিচের কোন লবণ ব্যবহার করা হয়? [সি. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০১৫]
(ক) $CaCl_2$ (খ) $CuCl_2$ (গ) KCl (ঘ) $Al_2(SO_4)_3$

৪৯। লবণ সেতুকে নিচের কোনটির দ্রবণ ব্যবহার করা যায়? [দি. বো. ২০১৫]
(ক) KNO_3 (খ) KNO_2 (গ) $KMnO_4$ (ঘ) $K_2Cr_2O_7$

৫০। লবণ সেতুতে উপযুক্ত তড়িৎ-বিশ্লেষ্য হিসেবে কোনগুলো ব্যবহার করা হয়? [চ. বো. ২০১৭]
(ক) KCl, KNO_3, NH_4Cl (খ) KCl, K_2SO_4, Na_2SO_4
(গ) KCl, NH_4Cl, Na_2CO_3 (ঘ) KCl, NH_4Cl, $NaNO_3$

৫১। $Zn (s) | Zn^{2+} (aq) \| Cu^{2+} (aq) | Cu (s)$; কোষটির ক্যাথোডে কোন বিক্রিয়াটি ঘটে? [চ. বো. ২০১৫; দি. বো. ২০১৬]

(ক) $Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ (খ) $Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$
(গ) $Zn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Zn$ (ঘ) $Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2e^-$

৫২। কোষের emf নির্ণয়ের সূত্র কোনটি? [দি. বো. ২০১৬]

(ক) $E_{cell} = E_{anode\,(ox)} + E_{cathode(ox)}$ (খ) $E_{cell} = E_{anode\,(ox)} + E_{cathode\,(red)}$
(গ) $E_{cell} = E_{cathode(ox)} - E_{anode\,(ox)}$ (ঘ) $E_{cell} = E_{anode\,(red)} - E_{cathode\,(red)}$

৫৩। $E^o_{M_1{}^{2+}/M_1} = 0.34$ V, এবং $E^o_{M^{2+}/M} = 2.30$ V; এ অর্ধকোষ দুটি দ্বারা গঠিত কোষের বিভব কত? [কু. বো. ২০১৫]

(ক) – 1.96 V (খ) + 1.96 V (গ) – 2.64 V (ঘ) + 2.65 V

৫৪। $E^o_{Zn/Zn^{2+}} = 0.76$ V, $E^o_{H/H^+} = 0.0$ V, তড়িৎদ্বার দ্বারা গঠিত তড়িৎকোষের কোষ-সংকেত কোনটি? [দি. বো. ২০১৫]

(ক) $Zn (s)/Zn^{2+}(aq) \| H^+(aq)/H_2,Pt$
(খ) $Zn (s)/Zn^{2+}(aq) \| H^+ (aq)/H_2$, (atm), Pt
(গ) Pt, (1 atm) $H_2/H^+ (aq) \| Zn^{2+} (aq)/Zn (s)$
(ঘ) $Pt/H_2/H^+(aq) \| Zn^{2+}(aq)/Zn (s)$

৫৫। লেড-স্টোরেজ ব্যাটারিতে ব্যবহৃত হয় কোনটি? [কু. বো. ২০১৬]

(ক) HNO_3 (খ) H_2SO_4 (গ) HCl (ঘ) CH_3COOH

৫৬। লেড সঞ্চয়ী কোষে কোনটি তড়িৎ-বিশ্লেষ্য হিসেবে ব্যবহৃত হয়? [য. বো. ২০১৬]

(ক) H_2SO_4 (খ) $PbSO_4$ (গ) PbO (ঘ) PbO_2

৫৭। লেড সঞ্চয়ী কোষে ব্যবহৃত H_2SO_4 এর আপেক্ষিক গুরুত্ব কত? [সি. বো. ২০১৯; চ. বো. ২০১৫]

(ক) 1.25 (খ) 1.20 (গ) 1.15 (ঘ) 1.10

৫৮। লেড সঞ্চয়ী ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ কত ও'ম? [য. বো. ২০১৫]

(ক) 0.80 ohm (খ) 0.50 ohm (গ) 0.02 ohm (ঘ) 0.001 ohm

৫৯। মোটর গাড়িতে ব্যবহৃত লেড সঞ্চয়ী কোষে মাঝে মাঝে পানি দেয়া হয় কেন? [রা. বো. ২০১৫]

(ক) কোষ শীতল রাখার জন্য (খ) দ্রবণের p^H সঠিক রাখার জন্য
(গ) কোষের কার্যক্ষমতা ঠিক রাখার জন্য (ঘ) H_2SO_4 এর আপেক্ষিক গুরুত্ব সঠিক রাখতে

৬০। স্টোরেজ ব্যাটারির মাধ্যমে কোন ভারী ধাতু খাদ্য-শৃঙ্খলে প্রবেশ করে? [সি. বো. ২০১৫]

(ক) Cd (খ) As (গ) Pb (ঘ) Cr

৬১। শুষ্ক কোষের বিভব মান (emf) কত? [চ. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৭; দি. বো. ২০১৭]

(ক) + 0.34 V (খ) + 0.76 V (গ) + 1.00 V (ঘ) + 1.5 V

৬২। শুষ্ক কোষের অ্যানোড কোনটি? [চ. বো. ২০১৭]

(ক) NH_4Cl (খ) MnO_2 (গ) Zn (ঘ) কার্বন দণ্ড

৬৩। কোনটি লেড-স্টোরেজ ব্যাটারির সংকেত বা কোষ ডায়াগ্রাম? [দি. বো. ২০১৭]

(ক) $Pb (s)/Pb^{2+} \| Cu^{2+}/Cu (s)$ (খ) Pb, $PbSO_4/H_2SO_4(aq)/PbO_2$,Pb
(গ) $Zn (s)/Zn^{2+} \| Pb^{2+}/Pb (s)$ (ঘ) $Pb/Pb^{2+} \| H^+/H_2$

৬৪। কোনটি রিচার্জ করা যায়? [দি. বো. ২০১৭; য. বো. ২০১৬]
(ক) শুষ্ক কোষ (খ) অ্যালকালি জ্বালানি কোষ (গ) লিথিয়াম ব্যাটারি (ঘ) লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারি

৬৫। নিচের কোন্ ব্যাটারিটি হার্টের পেসমেকারে ব্যবহৃত হয়? [ঢা. বো. ২০১৭]
(ক) লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারি (খ) PEM আয়ন ব্যাটারি (গ) লিথিয়াম SVO ব্যাটারি (ঘ) ড্রাইসেল ব্যাটারি

৬৬। H_2-ফুয়েল সেলের emf কত? [ঢা. বো. ২০১৫; চ. বো. ২০১৯]
(ক) 0.76 V (খ) 1.10 V (গ) 1.23 V (ঘ) 2.03 V

৬৭। H_2-ফুয়েল সেলে অ্যানোড ও ক্যাথোড হিসেবে কোনটি ব্যবহৃত হয়? [সি. বো. ২০১৭]
(ক) Ni (খ) Ag (গ) Pt (ঘ) গ্রাফাইট

৬৮। ফুয়েল সেলের ক্যাথোডে জ্বালানি হিসেবে ব্যবহৃত গ্যাসটি হলো কোনটি? [কু. বো. ২০১৬]
(ক) H_2 গ্যাস (খ) ওয়াটার গ্যাস (গ) O_2 গ্যাস (ঘ) CO_2 গ্যাস

৬৯। নিচের কোন্ ফুয়েল সেলে তরল ইলেকট্রোলাইট থাকে না? [চ. বো. ২০১৫]
(ক) PEMFC (খ) AFC (গ) PAFC (ঘ) MCFC

৭০। H_2 ফুয়েল সেলে প্রভাবক হিসেবে কোনটি ব্যবহৃত হয়? [মাদ্রাসা বোর্ড ২০১৭]
(ক) Ni (খ) Pt (গ) Fe (ঘ) Mo

৭১। নিচের কোনটি পরিবেশবান্ধব? [ঢা. বো. ২০১৫]
(ক) ফুয়েল সেল (খ) লেড সঞ্চয়ী কোষ (গ) ক্যাডমিয়াম ব্যাটারি (ঘ) লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারি

৭২। M(III) সালফেট দ্রবণে 0.1A বিদ্যুৎ কত সময় ধরে চালনা করলে ক্যাথোডে 1.0 g M ধাতু জমা হয়? [M এর পা. ভর = 40] [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]
(ক) 20 s (খ) 1206 s (গ) 24, 125 s (ঘ) 72, 375 s

৭৩। কোনটিতে বিদ্যুৎশক্তি উৎপন্ন হয় না? [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]
(ক) তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষ (খ) লেড সঞ্চয়ক কোষ (গ) লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারি (ঘ) গ্যালভানিক কোষ

৭৪। লেড-স্টোরেজ সেলে কোনটি বিজারিত হয়? [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]
(ক) Pb (খ) PbO (গ) $PbSO_4$ (ঘ) PbO_2

□ বিভিন্ন বিশ্ববিদ্যালয়, বুয়েট ও মেডিকেলে ভর্তি পরীক্ষায় প্রশ্ন (MCQ)

৭৫। NaCl এর জলীয় দ্রবণের তড়িৎ-বিশ্লেষণে কোনটি উৎপন্ন হয় না? [ঢা. বি. ২০১৬]
(ক) Na (খ) Cl_2 (গ) H_2 (ঘ) NaOH

৭৬। নিচের কোনটি সবল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য? [জা. বি. ২০১৬]
(ক) KOH (খ) HF (গ) $C_{12}H_{22}O_{11}$ (ঘ) C_2H_5OH

৭৭। কোন কোষে তড়িৎশক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়? [বুয়েট: ২০১৬]
(ক) তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষ (খ) গ্যালভানিক কোষ (গ) জ্বালানি কোষ (ঘ) ডেনিয়েল কোষ

৭৮। নিচের কোনটি শুষ্ক কোষে ক্যাথোড হিসাবে ব্যবহৃত হয়? [বুয়েট ২০১৬]
(ক) জিঙ্ক (খ) MnO_2 (গ) কার্বন দণ্ড (ঘ) NH_4Cl

৭৯। নিচের কোনটি লবণ সেতুতে উৎকৃষ্ট? [ঢা. বি. ২০১৬]
(ক) KNO_3 (খ) KI (গ) KBr (ঘ) KCl

৮০। লোহাকে মরিচা পড়া থেকে রক্ষার জন্য কোন ধাতুর প্রলেপ দেয়া হয়? [ঢা. বি. ২০১৬]
(ক) Zn (খ) Pb (গ) Hg (ঘ) Ti

৮১। ধাতু ক্ষয়প্রাপ্ত হয় কোন ধরনের বিক্রিয়া দ্বারা? [জা. বি. ২০১৬]

(ক) জারণ-বিজারণ (খ) প্রশমন (গ) পলিমারকরণ (ঘ) কোনোটিই নয়

৮২। ইলেকট্রনীয় তড়িৎ পরিবাহী কোনটি? [জা. বি. ২০১৬]

(ক) $FeSO_4$ দ্রবণ (খ) NaCl (গলিত) (গ) $CuSO_4$ দ্রবণ (ঘ) Cu ধাতু

৮৩। গলিত NaCl এর মধ্যদিয়ে IF তড়িৎ চালনা করলে ক্যাথোডে কত গ্রাম Na ধাতু জমা হবে? [ঢা. বি. ২০১৭]

(ক) 2.3 g (খ) 23.0 g (গ) 46.0 g (ঘ) 11.5 g

৮৪। নিচের কোন কোষ ডায়াগ্রাম সঠিক? [ঢা. বি. ২০১৭]

(ক) $Zn^{2+}(aq)/Zn(s) \,||\, Cu(s)/Cu^{2+}(aq)$ (খ) $Zn(s)/Zn^{2+}(aq) \,||\, Cu^{2+}(aq)/Cu(s)$

(গ) $Zn^{2+}(aq)/Zn(s) \,||\, Cu^{2+}(aq)/Cu(s)$ (ঘ) $Zn^{2+)}/Zn(s) \,||\, Cu^{1+}(aq)/Cu^{2+}(aq)$

❑ বহুপদি সমাপ্তিসূচক প্রশ্ন (Multiple Completion MCQ) :

১০১। ফ্যারাডের সূত্রটি প্রযোজ্য— [কু. বো. ২০১৯]

(i) ইলেকট্রনের চার্জ গণনায় (ii) ধাতুর পরিমাণ নির্ণয়ে (iii) তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পরিবাহীর ক্ষেত্রে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১০২। A^+, B^{2+} ও C^{3+} আয়নের দ্রবণে পৃথকভাবে 1.0 F বিদ্যুৎ চালনা করলে— [ঢা. বো. ২০১৯]

i. 1 mol A^+ চার্জমুক্ত হবে, ii. 2 mol B ক্যাথোডে জমা হবে iii. $\frac{1}{3}$ mol C^{3+} দ্রবণ হতে তড়িৎদ্বারে সঞ্চিত হবে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১০৩। তড়িৎ রাসায়নিক কোষে—

(i) রাসায়নিক শক্তি তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তর (ii) অ্যানোড ধনাত্মক হয়

(iii) অ্যানোড থেকে মুক্ত ইলেকট্রন বর্তনীতে প্রবাহিত হয়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১০৪। কপার ও জিঙ্কের প্রমাণ বিজারণ বিভব যথাক্রমে + 0.34 V ও – 0.76 V হলে— [ঢা. বো. ২০১৬]

(i) কপার জিঙ্কের চেয়ে শক্তিশালী জারক (ii) $CuSO_4$ দ্রবণে Zn যোগ করলে Cu অধঃক্ষিপ্ত হয়

(iii) কোষে জিঙ্ক অ্যানোড হয়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১০৫। তড়িৎকোষের তড়িচ্চালক বল (emf)— [চ. বো. ২০১৫]

(i) আয়নের ঘনমাত্রার ওপর নির্ভরশীল (ii) গ্যাসের চাপের ওপর নির্ভরশীল

(iii) জারণ ও বিজারণ বিভবের ওপর নির্ভরশীল

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১০৬। $E^o_{Ag/Ag^+} = +1.32$ V, $E^o_{H/H^+} = 0.0$ V; তড়িৎদ্বার দুটি দ্বারা গঠিত কোষের সংকেত— [সি. বো. ২০১৬]

(i) $Ag(s)/Ag^+(aq) \,||\, H^+(1M)/H_2(g)$, 1 atm. Pt

(ii) Ag (s)/Ag^+ (aq) ∥ H^+ (aq)/H_2(g), 1 atm, Pt

(iii) Ag (s)/Ag^+ (aq) ∥ H^+/H_2(g), Pt

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১০৭। প্রমাণ হাইড্রোজেন গ্যাস তড়িৎদ্বারের শর্ত— [কু. বো. ২০১৫]

(i) দ্রবণের ঘনমাত্রা 1 moL^{-1} (ii) গ্যাসের চাপ 1 atm (iii) তাপমাত্রা 298 K

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১০৮। সেকেন্ডারি নির্দেশক তড়িৎদ্বার— [সি. বো. ২০১৫]

(i) Pt, H_2 (1atm/H^+ (1M) (ii) Ag (s), AgCl (s)/HCl (aq)

(iii) Hg (*l*), Hg_2Cl_2 (s)/KCl (aq)

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১০৯। কোষের স্বতঃস্ফূর্ততার শর্ত— [য. বো. ২০১৫]

(i) E^o_{cell} এর মান + (ve) হলে (ii) ΔG^o এর মান – (ve) হলে

(iii) ΔG^o এর মান + (ve) হলে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১১০। হাইড্রোজেন ফুয়েল সেলে— [দি. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৯]

(i) কার্যদক্ষতা 65% (ii) জ্বালানি হলো H_2 গ্যাস (iii) অ্যালকালির ঘনমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১১১। লেড সঞ্চয়ী কোষে— [ঢা. বো. ২০১৭]

(i) Pd পাত অ্যানোড (ii) PbO_2 প্রলেপযুক্ত Pd পাত ক্যাথোডে (iii) 30% H_2SO_4 তড়িৎ-বিশ্লেষ্য

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১১২। রিচার্জেবল ব্যাটারি হলো— [কু. বো. ২০১৭]

(i) লেড-স্টোরেজ ব্যাটারি (ii) লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারি (iii) লিথিয়াম ব্যাটারি

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১১৩। লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারি হলো— [চ. বো. ২০১৭]

(i) প্রাইমারি নির্দেশক কোষ (ii) রিচার্জেবল ব্যাটারি (iii) ব্যবহৃত হয় সেলফোন, ল্যাপটপ ইত্যাদিতে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১১৪। লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারি— [সি. বো. ২০১৯]

(i) চার্জিংকালে Co^{3+} আয়ন Co^{4+} এ জারিত হয় (ii) ডিসচার্জিংকালে Co^{4+} আয়ন Co^{3+} এ বিজারিত হয়

(iii) ভোল্টেজ হলো 1.23V

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১১৫। ফুয়েল সেলের অ্যানোডে ব্যবহৃত ফুয়েল হলো— [ব. বো. ২০১৭]

(i) H_2 গ্যাস (ii) মিথানল দ্রবণ (iii) O_2 গ্যাস

নিচের কোনটি সঠিক?

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

□ অভিন্ন তথ্যভিত্তিক প্রশ্ন (Situation Set MCQ) :

** নিচের কোষ বিক্রিয়ার আলোকে ১৩১ ও ১৩২ নম্বর প্রশ্নের উত্তর দাও। [দি. বো. ২০১৫]

$Zn\,(s) + Cu^{2+}\,(aq) \longrightarrow Zn^{2+}\,(aq) + Cu\,(s);\quad E^o = +\,1.1V$

১৩১। বিক্রিয়াটি কোন ধরনের কোষের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য?

(ক) শুষ্ক কোষ (খ) লেকল্যান্স কোষ (গ) ডেনিয়েল কোষ (ঘ) তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কোষ

১৩২। কোষটিতে, $E^o_{Zn^{2+}/Zn} = -\,0.67$ V হলে—

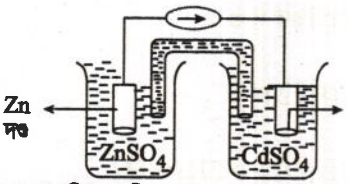
(i) $E^o_{Cu^{2+}/Cu} = +\,0.43$ V হলে, (ii) Zn দণ্ড থেকে Cu দণ্ডে তড়িৎ প্রবাহিত হয়

(iii) কোষটিকে উভমুখী কোষে পরিণত করা যায়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

**নিচের উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং ১৩৩ ও ১৩৪ নং প্রশ্নের উত্তর দাও। [ব. বো. ২০১৫]



দেয়া আছে,

$E^o_{Zn^{2+}/Zn} = -\,0.76$ V

$E^o_{Cd^{2+}/Cd} = -\,0.40$ V

১৩৩। উদ্দীপকের কোষটির তড়িচ্চালক বলে মান কত?

(ক) 1.16 Volt (খ) 0.76 Volt (গ) 0.40 Volt (ঘ) 0.36 Volt

১৩৪। প্রদত্ত কোষের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য হবে—

(i) ক্যাডমিয়াম পাত্রে জিঙ্ক আয়নের দ্রবণ রাখা যাবে (ii) Zn অ্যানোড হিসেবে কাজ করে

(iii) কোষটির কোষ ডায়াগ্রাম $Zn\,(s)/Zn^{2+}(aq) \,||\, Cd\,(s)/Cd^{2+}(aq)$

নিচের কোনটি সঠিক?

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

** নিচের উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং ১৩৫ ও ১৩৬ নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [রা. বো. ২০১৫]

$Zn\,(s)/Zn^{2+}(aq);\ E^o = -\,0.76$ V; $Fe\,(s)/Fe^{2+}(aq);\ E^o = +\,0.44$ V

$Cu\,(s)/Cu^{2+}(aq);\ E^o = -\,0.34$ V;

তড়িৎদ্বার তিনটি দ্বারা গঠিত দুটি কোষ হলো,

$Zn\,(s)/Zn^{2+}(aq) \,||\, Fe^{2+}\,(aq)/Fe\,(s)\ ;\ Zn(s)/Zn^{2+}(aq) \,||\, Cu^{2+}(aq)/Cu\,(s)$

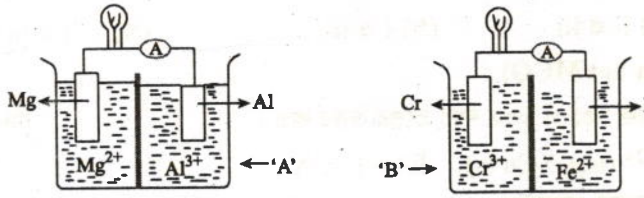
১৩৫। গঠিত কোষ দুটিতে কোন্ তড়িৎদ্বার হতে ধনাত্মক আয়ন দ্রবণে প্রবেশ করবে?

(ক) $Cu\,(s)/Cu^{2+}\,(aq)$ এবং $Fe\,(s)/Fe^{2+}\,(aq)$ (খ) $Cu\,(s)/Cu^{2+}(aq)$

(গ) $Fe\,(s)/Fe^{2+}(aq)$ (ঘ) $Zn\,(s)/Zn^{2+}(aq)$

১৩৬। কোষ দুটিতে কোষ বিভবের মান (emf) যথাক্রমে কোন সেট হবে?
(ক) + 1.20 V, + 0.42 V (খ) + 0.32 V, + 0.42 V (গ) + 0.32 V, + 1.10 V (ঘ) – 0.32 V, – 0.10 V

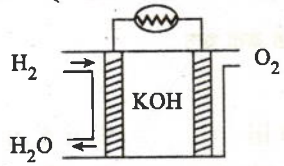
**নিচের উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং ১৩৭ ও ১৩৮ নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [য. বো. ২০১৫]



$E^o_{Mg/Mg^{2+}} = +2.37(V)$
$E^o_{Cr/Cr^{3+}} = +0.77\ (V)$
$E^o_{Al/Al^{3+}} = +1.66\ (V)$
$E^o_{Fe/Fe^{2+}} = +1.44\ (V)$

১৩৭। উদ্দীপক মতে—
(i) 'A' উজ্জ্বল আলো দেয় (ii) 'B' উজ্জ্বল আলো দেয় (iii) উভয় ক্ষেত্রে তাপশক্তি তড়িৎ শক্তিতে পরিণত হয়
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৩৮। উদ্দীপকের ধাতব পরমাণুসমূহের অধাতব প্রকৃতির ক্রম কোনটি সঠিক?



(ক) Al > Fe > Cr > Mg (খ) Mg > Al > Cr > F (গ) Al > Cr > Fe > Mg (ঘ) Fe > Cr > Al > Mg

** নিচের উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং ১৩৯ ও ১৪০ নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [ঢা. বো. ২০১৫]

১৩৯। কোষটির emf কত?
(ক) 0.76 V (খ) 1.10 V (গ) 1.23 V (ঘ) 2.03 V

১৪০। কোষটির সঠিক কোষ বিক্রিয়া কোনটি?
(ক) $2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$ (খ) $2H_2O \longrightarrow 2H_2 + O_2$
(গ) $H_2 + O_2 \longrightarrow H_2O_2$ (ঘ) $H_2O + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow H_2O_2$

** নিচের উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং ১৪১ ও ১৪২ নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [ব. বো. ২০১৬]

জিঙ্কের পাত্রে $FeSO_4$ দ্রবণ রাখা হলো। জিঙ্ক ও আয়রনের প্রমাণ বিজারণ বিভব: –0.76 V এবং – 0.44 V

১৪১। উদ্দীপকে সৃষ্ট কোষটির কোষ বিভব মান কোনটি?
(ক) + 0.32 V (খ) – 0.32 V (গ) + 1.20 V (ঘ) – 1.20 V

১৪২। উদ্দীপকে সৃষ্ট কোষটির ক্ষেত্রে—
(i) জিঙ্ক পাত্রটি ক্যাথোড হিসেবে কাজ করে (ii) কোষ বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে (iii) জিঙ্ক পাত্রটি ক্ষয়প্রাপ্ত হবে
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

** নিচের উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং ১৪৩ ও ১৪৪ নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [রা. বো. ২০১৬]

কোষ বিক্রিয়া : $H_2 (g) + Cu^{2+} (aq) \longrightarrow 2H^+ (aq) + Cu (s)$

১৪৩। উদ্দীপক কোষে অ্যানোডে জারণ বিক্রিয়া কোনটি?
(ক) $2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$ (খ) $Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2e^-$
(গ) $H_2 \longrightarrow 2H^+ + 2e^-$ (ঘ) $Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu$

১৪৪। $E^o_{Cu/Cu^{2+}}$ তড়িৎদ্বারের বিভব মান কত?
(ক) + 0.34 V (খ) – 0.34 V (গ) + 0.17 V (ঘ) – 0.17 V

* * নিচের উদ্দীপকের আলোকে ১৪৫ ও ১৪৬নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [য. বো. ২০১৬]

(i) $M^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow M(s)$; $E^o_{M^{2+}/M} = +0.34$ V

(ii) $N(s) \longrightarrow N^{2+}(aq) + 2e^-$; $E^o_{N/N^{2+}} = -0.80$ V

১৪৫। কোন কোষ ডায়াগ্রামটি সঠিক?

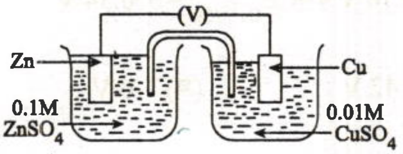
(ক) $M(s), M^{2+}(aq) \| N^{2+}(aq), N(s)$ (খ) $M(s), M^{2+}(aq) \| N(s), N^{2+}(aq)$

(গ) $N(s), N^{2+}(aq) \| M^{2+}(aq), M(s)$ (ঘ) $N(s), N^{2+}(aq) \| M(s), M^{2+}(aq)$

১৪৬। কোষটির emf কত?

(ক) 1.14 V (খ) 0.46 V (গ) – 0.46 V (ঘ) – 1.20 V

** নিচের উদ্দীপকের আলোকে ১৪৭ ও ১৪৮নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [সি. বো. ২০১৬]



$E^o_{Zn/Zn^{2+}} = +0.76$ V

$E^o_{Cu/Cu^{2+}} = -0.34$ V

$E^o_{Fe/Fe^{2+}} = +0.44$ V

১৪৭। উদ্দীপকের কোষটির জন্য—

(i) $E_{cell} = E^o_{Zn/Zn^{2+}} + E^o_{Cu/Cu^{2+}}$ (ii) $E_{cell} = E^o_{Zn/Zn^{2+}} - E^o_{Cu^{2+}/Cu}$ (iii) $E_{cell} = E^o_{Cu^{2+}/Cu} - E^o_{Zn^{2+}/Zn}$

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৪৮। ডান অর্ধকোষ উপেক্ষা করে $Fe/FeSO_4$ অর্ধকোষ ব্যবহার করা হলে কোষ বিভব কত ভোল্ট হবে?

(ক) + 1.2 V (খ) – 1.2 V (গ) + 0.32 V (ঘ) – 0.32 V

** নিচের উদ্দীপক অনুসারে ১৪৯ ও ১৫০নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [কু. বো. ২০১৬]

জিঙ্ক ও আয়রন ইলেকট্রোড দ্বারা একটি তড়িৎকোষ গঠন করা হলো। জিঙ্ক ইলেকট্রোড ও আয়রন ইলেকট্রোড-এর প্রমাণ বিজারণ বিভব হলো যথাক্রমে – 0.76 V এবং – 0.44 V

১৪৯। উদ্দীপকের কোষটির কোষ বিভব (emf) কত?

(ক) + 0.32 V (খ) – 0.32 V (গ) + 1.20 V (ঘ) – 1.20 V

১৫০। উদ্দীপকে উল্লেখিত তথ্যের আলোকে—

(i) আয়রনের পাত্রে জিঙ্ক লবণের দ্রবণ দীর্ঘকাল রাখা যাবে না

(ii) কোষবিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটবে (iii) Zn ক্ষয়প্রাপ্ত হবে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

**একটি গ্যালভানিক কোষের নিম্নরূপ দুটি অর্ধকোষ রয়েছে— [ব. বো. ২০১৭]

$Cl_2(g) + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-(aq)$; $E^o + 1.36$ V; $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$, $E^o = +0.34$ V

উপরের উদ্দীপক মতে ১৫১ ও ১৫২নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

১৫১। উদ্দীপকের কোষটির কোষ বিভব (E^o_{cell}) কত?

(ক) + 1.7 V (খ) + 1.02 V (গ) – 1.02 V (ঘ) – 1.7 V

১৫২। উদ্দীপক কোষটির সঠিক কোষ সংকেত নিচের কোনটি?

(ক) $Cu(s)/Cu^+(aq) \| Cl_2(g)/2Cl^-(aq)$ (খ) $Cu(s), Cu^{2+}((aq) \| Cl_2(g)/2Cl^-(aq)$, Pt

(গ) $Cu(s)/Cu^{2+}(aq) \| Cl_2(g)/2Cl^-(aq)$, Pt (s) (ঘ) $Cu(s)/Cu^{2+}(aq) \| 2Cl^-(aq)/Cl_2$, Pt (s)

** নিচের উদ্দীপক অনুসারে ১৫৩ ও ১৫৪ নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [সি. বো. ২০১৭]

$M/M^{2+} \parallel N^+/N;\ E^o_{M/M^{2+}} = 0.76\ V,\ E^o_{N/N^+} = -0.40\ V$

১৫৩। কোষটিতে 'M' ধাতু—

(i) বিজারিত হয় (ii) অ্যানোড হিসেবে কাজ করে (iii) 'N' এর চেয়ে অধিক সক্রিয়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৫৪। কোষটির emf কত?

(ক) – 1.16 V (খ) – 0.36 V (গ) + 0.36 V (ঘ) + 1.16 V

** নিচের উদ্দীপকের আলোকে ১৫৫ ও ১৫৬নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [মাদ্রাসা বোর্ড ২০১৭]

$Zn(s)/Zn^{2+}(aq)/Cu^{2+}/(aq)/Cu(s)$; এখানে $E^o_{Zn/Zn^{2+}} = +0.76\ V$ এবং $E^o_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34\ V$

১৫৫। কোষটির প্রমাণ emf কত?

(ক) + 0.42 V (খ) + 1.10 V (গ) + 0.42 V (ঘ) 1.0 V

১৫৬। উদ্দীপকের কোষটিতে—

(i) Zn জারিত হয়েছে (ii) Cu^{2+} আয়ন জারক (iii) বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

নিচের উদ্দীপক মতে পরবর্তী দুটি প্রশ্নের উত্তর দাও : [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]

$Zn\ (s) + FeSO_4\ (aq) \longrightarrow ZnSO_4\ (aq) + Fe\ (s)$

এক্ষেত্রে $Zn\ (s)/\ Zn^{2+}(aq) = +0.76\ V;\ Fe\ (s)/\ Fe^{2+}\ (aq) = +0.44\ V$

১৫৭। উদ্দীপকের সেলটির কোষ বিভব কত?

(ক) – 0.42 V (খ) – 1.20 V (গ) + 0.42 V (ঘ) +1.20 V

১৫৮। উদ্দীপক বিক্রিয়ার জন্য সঠিক তথ্য হলো—

i. আয়রন পাত্রে জিঙ্ক লবণের দ্রবণ রাখা যাবে ii. জিঙ্ক পাত্রে আয়রন লবণের দ্রবণ রাখা যাবে

iii. কোষ বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্ত হবে

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i (খ) ii (গ) i ও iii (ঘ) ii ও iii

বহুনির্বাচনি প্রশ্নাবলির উত্তরমালা

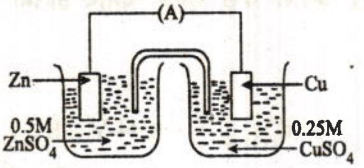
□ সাধারণ বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তর : ১। (গ) ২। (গ) ৩। (ঘ) ৪। (ক) ৫। (ক) ৬। (গ) ৭। (খ)
৮। (খ) ৯। (ক) ১০। (গ) ১১। (ঘ) ১২। (ঘ) ১৩। (গ) ১৪। (ক) ১৫। (খ) ১৬। (খ) ১৭। (ক)
১৮। (খ) ১৯। (ক) ২০। (খ) ২১। (খ) ২২। (ক) ২৩। (ঘ) ২৪। (খ) ২৫। (খ) ২৬। (ক) ২৭। (ক)
২৮। (খ) ২৯। (ক) ৩০। (ঘ) ৩১। (ঘ) ৩২। (ঘ) ৩৩। (ক) ৩৪। (গ) ৩৫। (গ) ৩৬। (ক) ৩৭। (খ)
৩৮। (গ) ৩৯। (গ) ৪০। (ক) ৪১। (গ) ৪২। (ঘ) ৪৩। (ক) ৪৪। (ক) ৪৫। (খ) ৪৬। (ঘ) ৪৭। (ক)
৪৮। (গ) ৪৯। (ক) ৫০। (খ) ৫১। (খ) ৫২। (খ) ৫৩। (খ) ৫৪। (খ) ৫৫। (খ) ৫৬। (ক) ৫৭। (ক)
৫৮। (ঘ) ৫৯। (ঘ) ৬০। (গ) ৬১। (ঘ) ৬২। (গ) ৬৩। (খ) ৬৪। (ঘ) ৬৫। (গ) ৬৬। (গ) ৬৭। (ঘ)
৬৮। (গ) ৬৯। (ক) ৭০। (খ) ৭১। (ক) ৭২। (ঘ) ৭৩। (ক) ৭৪। (ঘ) ৭৫। (ক) ৭৬। (ক) ৭৭। (ক)
৭৮। (গ) ৭৯। (ঘ) ৮০। (ক) ৮১। (ক) ৮২। (ঘ) ৮৩। (খ) ৮৪। (খ)

□ বহুপদি সমাপ্তিসূচক বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তর : ১০১। (ঘ) ১০২। (গ) ১০৩। (গ) ১০৪। (খ) ১০৫। (ঘ)
১০৬। (ক) ১০৭। (ঘ) ১০৮। (খ) ১০৯। (ক) ১১০। (খ) ১১১। (ক) ১১২। (ক) ১১৩। (খ) ১১৪। (ক) ১১৫। (ক)

□ অভিন্ন তথ্যভিত্তিক বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তর : ১৩১।(গ) ১৩২।(ক) ১৩৩।(ঘ) ১৩৪। (ক) ১৩৫।(ঘ)
১৩৬। (গ) ১৩৭। (ক) ১৩৮। (ঘ) ১৩৯। (গ) ১৪০। (ক) ১৪১। (ক) ১৪২। (খ) ১৪৩। (গ) ১৪৪।(ক)
১৪৫। (ক) ১৪৬। (খ) ১৪৭। (গ) ১৪৮। (গ) ১৪৯। (ক) ১৫০। (ঘ) ১৫১। (খ) ১৫২। (ঘ) ১৫৩।(ঘ)
১৫৪। (ঘ) ১৫৫। (খ) ১৫৬। (ঘ) ১৫৭। (গ) ১৫৮।(ক)

(ঘ) বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

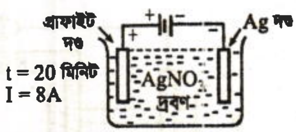
১। প্রদত্ত উদ্দীপকটি অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [ঢা. বো. ২০১৭]



$E^0_{Zn/Zn^{2+}} = 0.76$ V,
$E^0_{Cu^{2+}/Cu} = 0.34$ V , t = 25°C

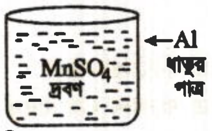
(ক) নির্দেশক তড়িৎদ্বার কী?
(খ) ফুয়েল সেল পরিবেশবান্ধব কেন?
(গ) উদ্দীপকের কোষটির তড়িচ্চালক বল নির্ণয় করো।
(ঘ) কোষটির শ্রেণিগত বৈশিষ্ট্যভিত্তিক অধিক সময় ধরে তড়িৎ উৎপাদনের ক্ষেত্রে কোনো বাধা সৃষ্টি হবে কি; তা বিশ্লেষণ করো।

২। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [য. বো. ২০২৩]



(ক) আংশিক চাপ কাকে বলে?
(খ) $K_4[Fe(CN)_6]$ যৌগে কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণসংখ্যা নির্ণয় করো।
(গ) উদ্দীপকের কোষে অনুসৃত সূত্রটি বিবৃত ও ব্যাখ্যা করো।
(ঘ) উদ্দীপকের Ag দণ্ডে কতটি Ag পরমাণু সঞ্চিত হবে? গাণিতিকভাবে তা বিশ্লেষণ করো। [Ag এর পাঃ ভর = 108]

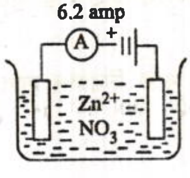
৩। প্রদত্ত উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [য. বো. ২০১৭]



দেয়া আছে,
$E^0_{Mn/Mn^{2+}} = 1.18$ V; $E^0_{Al/Al^{3+}} = +1.66$ V

(ক) প্রমাণ H^- তড়িৎদ্বার কী?
(খ) তড়িৎ রাসায়নিক কোষের লবণ সেতু ব্যবহার করা হয় কেন?
(গ) উদ্দীপকে Al পাত্রে সংঘটিত কোষ বিক্রিয়া লেখ।
(ঘ) উদ্দীপকে উল্লেখিত পাত্রটি কিছুদিন পর ছিদ্র হয়ে যাবে কীনা বিশ্লেষণ করো।

৪। প্রদত্ত উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [চ. বো. ২০১৭]



$E^0_{Zn^{2+}/Zn} = 0.76$ V;
$E^0_{M^{2+}/M} = +0.126$ V

(ক) তড়িচ্চালক বল কী?

(খ) তড়িৎ-বিশ্লেষণ একটি রিডক্স বিক্রিয়া কেন তা ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপকের দ্রবণের মধ্যদিয়ে কতক্ষণ বিদ্যুৎ প্রবাহিত করলে ক্যাথোডের ভর 1.0 g বৃদ্ধি পাবে?

(গ) উদ্দীপকের তড়িৎ-বিশ্লেষ্য দ্রবণটি দীর্ঘদিন 'M' ধাতুর তৈরি পাত্রে সংরক্ষণ করার সম্ভাব্যতা গাণিতিকভাবে যাচাই করো।

৫। উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ব. বো. ২০২১]

(ক) চার্লসের সূত্রটি লেখ।

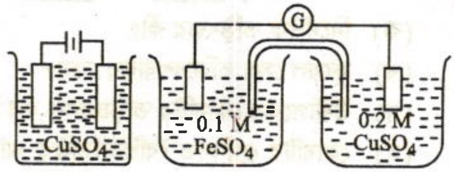
(খ) বিউটিন-2 কোন ধরনের সমাণুতা প্রদর্শন করে? ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপক মতে তড়িৎকোষটিতে বিদ্যুৎ চালনা করলে ক্যাথোডে কয়টি Ni পরমাণু জমা হবে ? তা গণনা করো।

(ঘ) ঐ দ্রবণে থাকা অবশিষ্ট Ni^{2+} কে তড়িৎদ্বারে জমা করতে কত কুলম্ব বিদ্যুৎ চালনা করতে হবে? তা গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা করো।

৬। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [দি. বো. ২০২২]

$E^o_{Fe^{2+}/Fe} = -0.44$ V ; $E^o_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34$ V



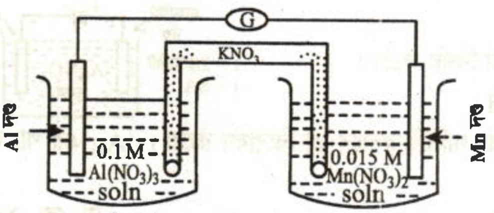
(ক) তড়িৎ-বিশ্লেষ্য কী?

(খ) পানির BOD 5 ppm বলতে কী বুঝ?

(গ) উদ্দীপকের P কোষে 5 A বিদ্যুৎ 10 মিনিট যাবৎ চালনা করলে ক্যাথোডে কী পরিমাণ ধাতু সঞ্চিত হবে?

(ঘ) উদ্দীপকের Q কোষের কোষ বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটবে কী? গাণিতিকভাবে তা বিশ্লেষণ করো।

৭। প্রদত্ত উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [রা. বো. ২০১৯]



[এক্ষেত্রে $E^o_{Mn/Mn^{2+}} = +1.18V$;
$E^o_{Al/Al^{3+}} = +1.66V$; $E^o_{Zn/Zn^{2+}} = +0.76V$]

(ক) মুখ্য নির্দেশক তড়িৎদ্বার কাকে বলে?

(খ) করোসান একটি রাসায়নিক প্রক্রিয়া; ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপকের কোষটিতে সংঘটিত অর্ধকোষ বিক্রিয়া ও কোষ বিক্রিয়া লেখ।

(ঘ) উদ্দীপকের অ্যানোডের দ্রবণটি দীর্ঘদিন Zn ধাতুর পাত্রে সংরক্ষণ করা যাবে কীনা, তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

৮। নিচে প্রদত্ত তিনটি তড়িৎদ্বার সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [ঢা. বো. ২০২১]

(i) Zn/Zn^{2+} : $E^o = +0.76$ V
(ii) Fe/Fe^{2+} : $E^o = +0.44$ V
(iii) Cu/Cu^{2+} : $E^o = -0.34$ V

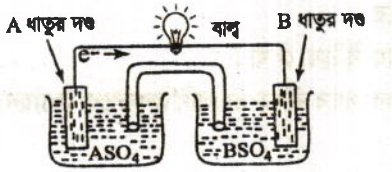
(ক) প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব কী?

(খ) 64 g O_2 এর জন্য বাস্তব গ্যাসের সমীকরণটি লেখ।

(গ) উদ্দীপকের (i) ও (iii) নং তড়িৎদ্বার দুটিকে একটি লবণ সেতু দ্বারা যুক্ত করলে সৃষ্ট কোষটির কোষ বিভব গণনা করো।

(ঘ) $FeSO_4$ দ্রবণ Zn ও Cu এর দুটি পাত্রের একটিতে রাখা নিরাপদ হলেও অপরটিতে রাখা নিরাপদ নয়; এ উক্তির গাণিতিক ব্যাখ্যা করো।

৯। নিচের চিত্রভিত্তিক উদ্দীপকটি অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও :



$E^0_{A/A^{2+}} = 0.80$ V $\quad E^0_{B/B^{2+}} = 0.40$ V

[$E^0_{Zn/Zn^{2+}} = +0.76$V]

(ক) জারণ অর্ধকোষ কী?

(খ) প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড কোষের গঠন ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপকের তড়িৎ রাসায়নিক কোষটির প্রমাণ তড়িচ্চালক বল গণনা করো।

(ঘ) উদ্দীপকের বিজারণ অর্ধকোষের তড়িৎ-বিশ্লেষ্য দ্রবণটিকে জিঙ্ক ধাতুর পাত্রে রাখা যাবে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

১০। নিচের উদ্দীপকের মর্ম মতে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [অনুরূপ : ঢা. বো. ২০২২; ব. বো. ২০১৫; কু. বো. ২০১৯]

রসায়ন ল্যাব প্রদর্শক মহোদয় তামার পাত্রে নিকেল লবণের 50 mL 1 M একটি দ্রবণকে সংরক্ষণ করতে বললে ল্যাব সহকারী ভুল করে তা একটি দস্তার পাত্রে রেখে দিলেন। নিকেল ও দস্তার জারণ বিভব যথাক্রমে + 0.25 V এবং 0.76 V।

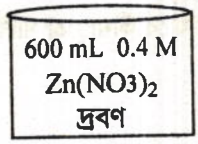
(ক) লবণ সেতু কী?

(খ) সিলভারের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0.001118 gC^{-1} বলতে কী বোঝায়?

(গ) উদ্দীপকের লবণের দ্রবণে 60 মিনিট যাবৎ 0.1A বিদ্যুৎ চালনা করলে ক্যাথোডে কী পরিমাণ ধাতু জমা হবে এবং দ্রবণের ঘনমাত্রার কীরূপ পরিবর্তন হবে?

(ঘ) উদ্দীপকে উল্লেখিত তড়িৎ-বিশ্লেষ্যটি দীর্ঘ দিন জিঙ্কের পাত্রে সংরক্ষণ করা যাবে কি? তা কোষের emf এর সাহায্যে ব্যাখ্যা করো।

১১। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [কু. বো. ২০২৩]



A-পাত্র

* একটি তড়িৎকোষের কোষ সংকেত নিম্নরূপ :

A/A^{2+} (0.05 M) || B^+ (0.01 M) / B

[এক্ষেত্রে A ও B তড়িৎদ্বারের জারণ বিভব যথাক্রমে + 1.18 V এবং – 0.80 V)

(ক) সেমিমোলার দ্রবণ কী?

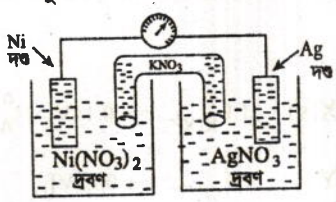
(খ) HCO_3^- একটি উভধর্মী আয়ন, ব্যাখ্যা করো।

(গ) 30°C-এ উদ্দীপকের কোষটির emf নির্ণয় করো।

(ঘ) উদ্দীপকের A পাত্রের দ্রবণে 10A বিদ্যুৎ 15 মিনিট ধরে চালনা করার পর ঐ দ্রবণের ঘনমাত্রা কত হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

[সি. বো. ২০১৬]

১২। নিচের উদ্দীপকটি অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও :



Ni, Ag ও Zn এর প্রমাণ বিজারণ বিভব হলো যথাক্রমে, – 0.25 V, + 0.799 V, – 0.77 V

(ক) প্রাইমারি কোষ কী?

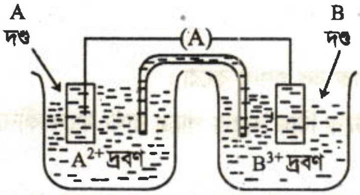
(খ) ফ্যারাডের সূত্রের সাহায্যে ইলেকট্রনের চার্জ গণনা করো।

(গ) উদ্দীপকের কোষটিতে সংঘটিত অর্ধকোষ বিক্রিয়া ও কোষ বিক্রিয়া লেখো।

(ঘ) উদ্দীপকের অ্যানোডের দ্রবণকে Zn-পাত্রে সংরক্ষণ করা যাবে কীনা তা গাণিতিকভাবে মূল্যায়ন করো।

১৩। প্রদত্ত উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [চ. বো. ২০১৯]

(ক) প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব কী?



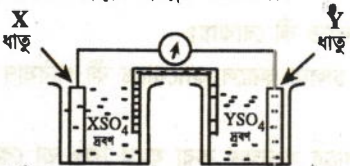
$E^0_{A/A^{2+}} = 2.36\ V$ $E^0_{B/B^{3+}} = +0.74\ V$

(খ) তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে ইলেকট্রনীয় পরিবাহীর তড়িৎ প্রবাহ হ্রাস পায় কেন?

(গ) উদ্দীপক সেলের তড়িচ্চালক বল (emf) নির্ণয় করো।

(ঘ) উদ্দীপকের B^{3+} আয়নের দ্রবণ দস্তার পাত্রে সংরক্ষণ করা যাবে কীনা, তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। [A ও B এর পা: সংখ্যা 12 ও 14]

১৪। প্রদত্ত উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [দি. বো. ২০১৯]



[$E^0_{X/X^{2+}} = +0.79\ V$, $E^0_{Y^{2+}/Y} = -0.36\ V$, $E^0_{D^{2+}/D} = +1.66\ V$]

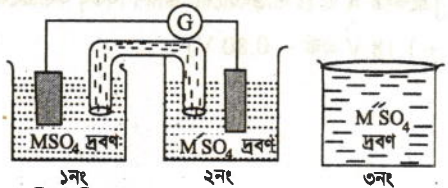
(ক) কার্বানায়ন কাকে বলে?

(খ) C_3H_6O যৌগটি টটোমারিজম প্রদর্শন করে; ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপকের কোষটির কোষ বিক্রিয়া উল্লেখপূর্বক কোষের emf নির্ণয় করো।

(ঘ) উদ্দীপক কোষের অ্যানোডের দ্রবণকে 'D' পাত্রে সংরক্ষণ করা যাবে কীনা, তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

১৫। নিচের উদ্দীপকটি অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [দি. বো. ২০১৬]



$E^0_{M/M^{2+}} = +0.76\ V$, $E^0_{M'/M'^{2+}} = -0.36\ V$,
$E^0_{M''/M''^{2+}} = +1.66\ V$

(ক) তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের আপেক্ষিক পরিবাহিতা কী?

(খ) H_2 ফুয়েল সেলের সুবিধাগুলো লেখ।

(গ) উদ্দীপকের তড়িৎকোষটির কোষবিভব গণনা করো।

(ঘ) উদ্দীপকে ২ নং দ্রবণকে সরিয়ে ঐ স্থানে ৩ নং দ্রবণের পাত্র রাখা যাবে কিনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

১৬। প্রদত্ত উদ্দীপক মতে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [সি. বো. ২০১৯]

কোষ-1 : $Al(s)/Al^{3+}(aq) \| X^{2+}(aq)/X(s)$

কোষ-2 : $Al(s)/Al^{3+}(aq) \| Y^{2+}(aq)/Y$

[$E^0_{X/X^{2+}} = +0.14V$; $E^0_{Al/Al^{3+}} = +1.66V$; $E^0_{Y/Y^{2+}} = +0.25V$]

(ক) অ্যানিলিং কী?

(খ) পেপ্‌টাইড বন্ধন কীভাবে গঠিত হয়, তা ব্যাখ্যা করো।

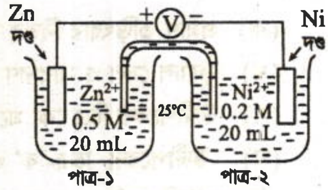
(গ) উদ্দীপকের 'কোষ-1' এর অ্যানোডের তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্যদিয়ে 0.2A বিদ্যুৎ 25 মিনিট যাবৎ চালনা করলে কী পরিমাণ ধাতু ক্যাথোডে জমা হবে?

(ঘ) উদ্দীপকের 'কোষ-1' ও 'কোষ-2' এর মধ্যে কোনটি অধিক তড়িৎশক্তি উৎপন্ন করবে, তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

১৭। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [চ. বো. ২০২৩]

$E^0_{Zn^{2+}/Zn} = -0.76$ V

$E^0_{Ni^{2+}/Ni} = 0.25$ V



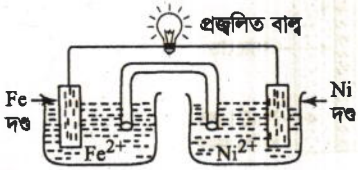
(ক) পানির খরতা কাকে বলে?

(খ) ন্যাফথ্যালিন একটি অ্যারোমেটিক যৌগ–ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপকের ১নং পাত্রের ধাতব আয়নটির অর্ধেক পরিমাণ ক্যাথোডে সঞ্চিত করতে 2A বিদ্যুৎ কত সময় প্রবাহিত করতে হবে? গণনা করো।

(ঘ) উদ্দীপকের কোষ বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটবে কি? তা গাণিতিক যুক্তি দাও।

১৮। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [মা. বো. ২০১৯]



$E^0_{Fe/Fe^{2+}} = 0.44$ V,

$E^0_{Ni/Ni^{2+}} = 0.22$ V

(ক) জারণ বিভব কাকে বলে?

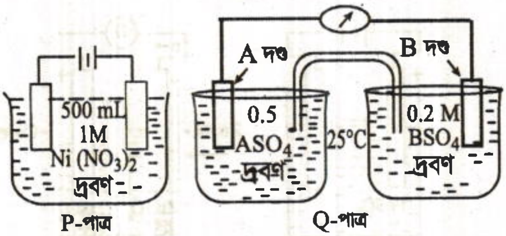
(খ) তড়িৎ-বিশ্লেষণ একটি জারণ-বিজারণ প্রক্রিয়া, বিশ্লেষণ করো।

(গ) উদ্দীপকের কোষটির কোষ বিক্রিয়া লেখ।

(ঘ) উভয় অর্ধকোষের দ্রবণদ্বয় স্থান বিনিময় করলে বিদ্যুৎ বাল্বটি জ্বলতে থাকবে কীনা, তা তোমার মতামতের পক্ষে গাণিতিক যুক্তি উপস্থাপন করো।

১৯। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [রা. বো. ২০২৩]

t = 2 ঘণ্টা
I = 2.5 A



$E^o_{A/A^{2+}} = 0.44$ V ; $E^o_{B/B^{2+}} = -0.34$V

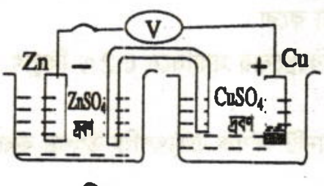
(ক) এনানসিওমার কী?

(খ) SI এককে R এর মান বের করো।

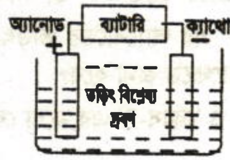
(গ) বিদ্যুৎ প্রবাহের পরে P পাত্রের দ্রবণের পরিবর্তিত ঘনমাত্রা নির্ণয় করো।

(ঘ) কোষ বিক্রিয়া উল্লেখ করে Q কোষের e.m.f নির্ণয় করো।

২০। নিচের উদ্দীপকের চিত্র দুটি অনুধাবন করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [রা. বো. ২০১৫]



চিত্র : ক



চিত্র : খ

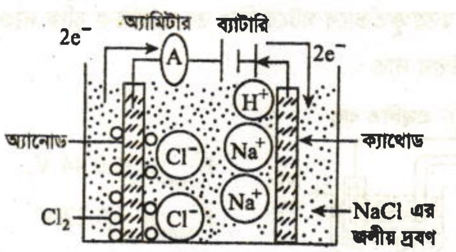
(ক) প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব কী?

(খ) ফুয়েল সেল ও সাধারণ ব্যাটারির মধ্যে সাদৃশ্য ও বৈসাদৃশ্যসমূহ কী?

(গ) উদ্দীপকের চিত্র-'ক' মতে রাসায়নিক শক্তি বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তর ঘটেছে, এ উক্তির ব্যাখ্যা করো।

(ঘ) উদ্দীপকের চিত্র-'ক' ও চিত্র -'খ' উভয় তড়িৎ কোষের বৈশিষ্ট্যসমূহের তুলনামূলক আলোচনা করো।

২১। নিচের উদ্দীপকটি অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [ঢা. বো. ২০১৬]



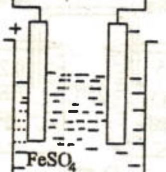
(ক) লবণ সেতু কী?

(খ) NaCl দ্রবণ তড়িৎ-বিশ্লেষণ পরিবাহী হয় ; ব্যাখ্যা করো।

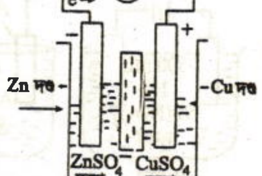
(গ) উদ্দীপকে $CaCl_2$ ব্যবহৃত হলে তখন কী কী উৎপন্ন হতো? কোষ বিক্রিয়ার মাধ্যমে তা দেখাও।

(ঘ) উদীপকের দ্রবণে যে ক্ষার উৎপন্ন হয়, তার তড়িৎ-বিশ্লেষণের মূলনীতি লেখ এবং তড়িৎকোষে সম্পাদিত বিক্রিয়া বিশ্লেষণ করো।

২২। নিচের উদ্দীপকটি অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [চ. বো. ২০২১; কু. বো. ২০১৬]



চিত্র-(১)



চিত্র-(২)

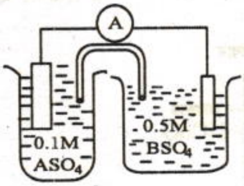
(ক) পরিবাহিতা কোষ ধ্রুবক কী?

(খ) সিলভারের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $0.001118\ g\ C^{-1}$ বলতে কী বুঝ?

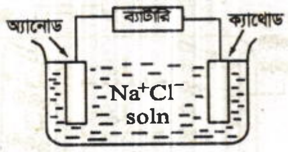
(গ) উদ্দীপকের চিত্র ১ নং কোষে 50 A বিদ্যুৎ 10 মিনিট চালনা করলে ক্যাথোডে কী পরিমাণ ধাতু সঞ্চিত হবে?

(ঘ) উদ্দীপক চিত্র ১ নং ও চিত্র ২ নং দুটি তড়িৎকোষ হলেও এদের শক্তির রূপান্তরের ধরন ভিন্ন, তা বিশ্লেষণ করো।

২৩। প্রদত্ত উদ্দীপক অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [সি. বো. ২০১৭]



চিত্র-১



চিত্র-২

$E^o_{A/A^{2+}} = +1.18 V$

$E^o_{B^{2+}/B} = +0.34 V$

(ক) তড়িৎ রাসায়নিক কোষ কী?

(খ) জারণ অর্ধ কোষ বলতে কী বুঝ?

(গ) উদ্দীপকের চিত্র-১নং কোষটির তড়িচ্চালক বল (emf) গণনা করো।

(ঘ) উদ্দীপকের চিত্র-১ ও চিত্র-২ এর কোষদ্বয়ের মধ্যে পার্থক্য কোষ বিক্রিয়াসহকারে বিশ্লেষণ করো।

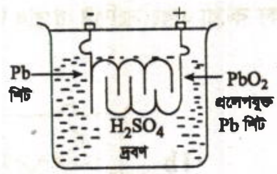
২৪। উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [মাদ্রাসা. বো. ২০১৭]

(ক) তড়িচ্চালক বল কী?

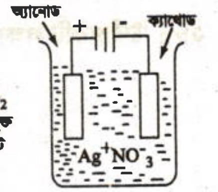
(খ) প্রাইমারি নির্দেশক তড়িৎদ্বারের গঠন বর্ণনা করো।

(গ) উদ্দীপকের দ্রবণে 6 A বিদ্যুৎ 40 মিনিট চালনা করলে ক্যাথোডে কী পরিমাণ সংশ্লিষ্ট ধাতু সঞ্চিত হবে?

(ঘ) উদ্দীপকে উল্লেখিত A কোষ ও B কোষদ্বয়ের মধ্যে তুলনামূলক বিশ্লেষণ করো।



A-কোষ



B-কোষ

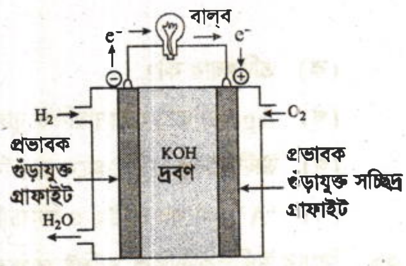
২৫। রিডক্স বিক্রিয়ার মাধ্যমে গ্যালভানিক কোষে বিদ্যুৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা সম্ভব হলেও বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হ্রাসের সাথে বিদ্যুতের ভোল্টেজও হ্রাস পায়। তাই বর্তমানে বিদ্যুৎ কোষে ডিজাইনে ও বিক্রিয়ক ব্যবহারে পরিবর্তন ঘটিয়ে অবিরত নির্দিষ্ট ভোল্টেজের বিদ্যুৎ উৎপাদনের গ্রিনার পদ্ধতি ব্যবহৃত হচ্ছে। নিচে এরূপ একটি বিদ্যুৎকোষ দেখানো হলো।

(ক) ফ্যারাডে কী?

(খ) সেকেন্ডারি লিথিয়াম আয়ন ব্যাটারির কার্যপ্রণালি সমীকরণসহ লেখ।

(গ) উদ্দীপকের কোষটির অ্যানোড, ক্যাথোড ও ব্যবহৃত বিক্রিয়কের বিক্রিয়াসহ ব্যাখ্যা করো।

(ঘ) উদ্দীপকের কোষটির তড়িৎদ্বার, তড়িৎ-বিশ্লেষ্য-এর সাথে গ্যালভানিক কোষের তড়িৎদ্বার ও তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের তুলনামূলক আলোচনা করো।



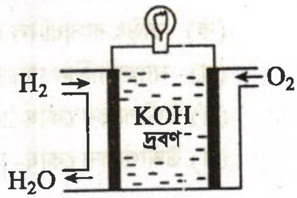
২৬। উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [দি. বো. ২০১৭]

(ক) ফ্যারাডে কী?

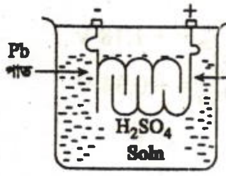
(খ) জিঙ্ক ইলেকট্রোডের প্রমাণ জারণ বিভব $E^o_{Zn/Zn^{2+}} = +0.76 V$ বলতে কী বুঝ?

(গ) উদ্দীপকের কোষের অ্যানোড, ক্যাথোড এবং সামগ্রিক কোষ বিক্রিয়া লেখ।

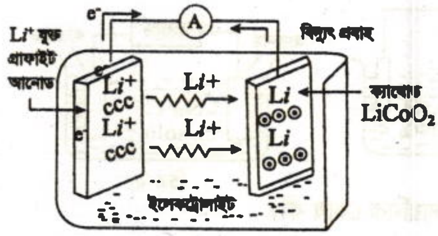
(ঘ) উদ্দীপকের কোষটি যদিও পরিবেশবান্ধব তবুও এটি কি লাভজনক হবে, তা তোমার উত্তরের যথার্থতা মূল্যায়ন করো।



২৭। উদ্দীপকের অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [সি. বো. ২০১৭]



চিত্র-A



চিত্র-B

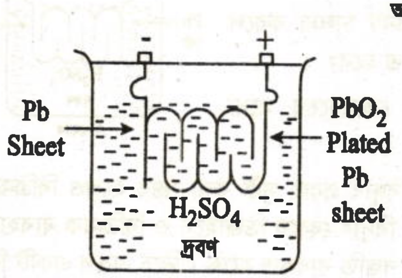
(ক) সুপার কন্ডাক্টর কী?

(খ) তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা বলতে কী বুঝ?

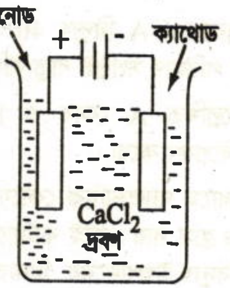
(গ) উদ্দীপকের চিত্র-B কোষের চার্জিং ও ডিস্‌চার্জিং-এর কোষ বিক্রিয়া সমীকরণসহ লেখ।

(ঘ) উদ্দীপকের চিত্র-A ও চিত্র-B এর কোষ দুটির সুবিধা ও অসুবিধাসমূহের তুলনামূলক বিচার করো।

২৮। উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [কু. বো. ২০১৭]



A-কোষ



B-কোষ

(ক) তড়িৎদ্বার কী?

(খ) Ag-এর তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0.001118 gC^{-1} বলতে কী বুঝ?

(গ) উদ্দীপকের 'B' কোষে 5A বিদ্যুৎ 10 মিনিট চালনা করলে ক্যাথোডে সঞ্চিত পদার্থের ভর হিসাব করো।

(ঘ) 'A' কোষের চার্জিং ও ডিসচার্জিং প্রক্রিয়া দেখিয়ে ঐ কোষটি সচল রাখার কৌশল ব্যাখ্যা করো।

২৯। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [ঢা. বো. ২০১৯]

কোষ–1 এর উপাদান : Pb, PbO_2, H_2SO_4

কোষ–2 এর উপাদান: Li^{2+}, $LiCoO_2$, ইথিলিন কার্বনেট

কোষ–3 এর উপাদান : H_2, O_2, KOH দ্রবণ

(ক) তড়িৎ রাসায়নিক কোষ কাকে বলে?

(খ) ন্যাফথ্যালিন অ্যারোমেটিক যৌগ কী? ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপকের কোষ-2-এর চার্জিং ও ডিসচার্জিং প্রক্রিয়া বর্ণনা করো।

(ঘ) উদ্দীপকের কোষ–1 ও কোষ–2 এর মধ্যে কোন কোষটির পরিবেশ দূষণে ভূমিকা বেশি? তা বিশ্লেষণ করো।