রাসায়নিক পরিবর্তন

Chemical Change

ইউনিট ৫

ভূমিকা (Introduction)

আমাদের চারপাশে আমরা অনেক পরিবর্তন লক্ষ করি। যেমন– উদ্ভিদ, মানুষ ও অন্যান্য প্রাণীর বৃদ্ধি, ফল পেকে লাল বা হলুদ হওয়া, গাছের পাতা হলুদ হওয়া, লোহায় মরিচা সৃষ্টি ইত্যাদি সবই হচ্ছে রাসায়নিক পরিবর্তন। আর এসব রাসায়নিক পরিবর্তনের মূলে রয়েছে রাসায়নিক বিক্রিয়া। রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাথে সম্পর্কযুক্ত হচ্ছে পরিবেশ, উদ্ভিদ ও মানুষসহ অন্যান্য প্রাণী। মানুষসহ অন্যান্য প্রাণী, উদ্ভিদ ও পরিবেশের উপর রাসায়নিক বিক্রিয়ার প্রভাব ও কৌশল নিয়ে আলোচনা করা হয় সবুজ রসায়নে (Green Chemistry)। আমরা আমাদের দৈনন্দিন প্রয়োজনেও অনেক রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত করি। যেমন– ইট তৈরিতে ভাটায় কয়লা ও কাঠ পোড়ানো, মোমবাতি জ্বালানো, মোটর বাস-ট্রাক চালাতে সিএনজি গ্যাস, ডিজেল, পেট্রোল ইত্যাদির দহন, খাদ্য লবণ, খাবার সোডা, সাবান, ক্রিম, পাউডার ইত্যাদির শিল্পোৎপাদন। এসব রাসায়নিক বিক্রিয়ার অনেকগুলোই প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে পরিবেশ, উদ্ভিদ ও প্রাণীর জন্য ক্ষতিকর। এসব ক্ষতিকর বিক্রিয়া ও রাসায়নিক পদার্থ সম্পর্কে জানা ও তার ক্ষতিকর প্রভাব থেকে পরিবেশ ও প্রাণিকুলকে রক্ষা করা একান্ত জরুরি।

ইউনিট সমাপ্তির সময়	**ইউনিট সমাপ্তির সর্বোচ্চ সময় ৪ সপ্তাহ**

এই ইউনিটের পাঠসমূহ

পাঠ-৫.১ : রাসায়নিক বিক্রিয়া
পাঠ-৫.২ : রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতি
পাঠ-৫.৩ : বিক্রিয়ার হারের উপর প্রভাব বিস্তারকারী নিয়ামকসমূহ
পাঠ-৫.৪ : বিক্রিয়ার গতি ও প্রভাবক
পাঠ-৫.৫ : রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা
পাঠ-৫.৬ : রাসায়নিক বিক্রিয়ায় তাপের পরিবর্তন
পাঠ-৫.৭ : বন্ধন শক্তি ও বিক্রিয়া তাপ
পাঠ-৫.৮ : প্রশমন তাপ
পাঠ-৫.৯ : তাপ রাসায়নিক সূত্রাবলি

পাঠ-৫.১ রাসায়নিক বিক্রিয়া

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা-

- গ্রিন কেমিস্ট্রি সম্পর্কে বর্ণনা করতে পারবেন।
- একমুখী বিক্রিয়া বর্ণনা করতে পারবেন।
- উভমুখী বিক্রিয়া বর্ণনা করতে পারবেন।

মুখ্য শব্দ	গ্রিন কেমিস্ট্রি, লিমিটিং বিক্রিয়ক, বর্জ্য, উপজাত, ফ্রিয়ন।

রাসায়নিক বিক্রিয়া ও গ্রিন কেমিস্ট্রি (Chemical Reaction and Green Chemistry)

পূর্বে পরীক্ষা পদ্ধতির সীমাবদ্ধতার কারণে রাসায়নিক পদার্থের পরিবেশ ও প্রাণীর উপর ক্ষতিকর প্রভাব সম্পর্কে তেমন জানা যায়নি। বর্তমানে ব্যাপকভাবে ঝুঁকিপূর্ণ রাসায়নিক পদার্থের ব্যবহার ও তার ক্ষতিকর বিপজ্জনক প্রভাব স্পষ্ট হওয়ায় ও আধুনিক পরীক্ষা পদ্ধতির কল্যাণে বিষাক্ত ঝুঁকিপূর্ণ পদার্থ শনাক্তকরণ সহজ হয়েছে। তাই রসায়ন শিল্পকারখানায় ও গবেষণাগারে ক্ষতিকর রাসায়নিক পদার্থ উৎপাদন হ্রাস বা বন্ধ করা, ঝুঁকিপূর্ণ বর্জ্য হ্রাস, শ্রমিক ও ভোক্তাদের ঝুঁকিপূর্ণ পদার্থের ব্যবহার হ্রাস বা বন্ধ বা প্রতিস্থাপন করার জন্য সবুজ রসায়নে নতুন বিকল্প উৎপাদ অনুসন্ধান এবং সংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার আবিষ্কার, পরিবর্তন, পরিমার্জন, ডিজাইন ও প্রয়োগ অধ্যয়ন করা হয়।

লিমিটিং বিক্রিয়ক ও অতিরিক্ত বিক্রিয়ক (Limiting and Excess Reactant) :

কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় একাধিক বিক্রিয়ক থাকলে প্রত্যেক বিক্রিয়ক তুল্য পরিমাণে ব্যবহার করা সম্ভব না। কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় তুল্য পরিমাণ অপেক্ষা যে বিক্রিয়ক বেশি থাকে ঐ বিক্রিয়ক বিক্রিয়া শেষে কিছু পরিমাণ অবশিষ্ট থাকে। এ বিক্রিয়ককে 'অতিরিক্ত বিক্রিয়ক' (Excess reagent) বলে। আর যে বিক্রিয়ক তুল্য পরিমাণ অপেক্ষা কম থাকে ও বিক্রিয়ায় সম্পূর্ণরূপে বিক্রিয়া করে নিঃশেষ হয় তাকে 'লিমিটিং বিক্রিয়ক' (Limiting reagent) বলে। কাজেই বিক্রিয়া শেষে লিমিটিং বিক্রিয়ক শেষ হয়ে গেলেও অতিরিক্ত বিক্রিয়ক আর উৎপাদে পরিণত হতে পারে না। তাই অতিরিক্ত বিক্রিয়কের কিছু পরিমাণ হয় বর্জ্যে পরিণত হয় নতুবা উৎপাদের সাথে ভেজাল হিসেবে মিশ্রিত থাকে। যেমন– হাইড্রোজেন ও ক্লোরিনের বিক্রিয়া থেকে দেখা যায় 1 মোল হাইড্রোজেনের তুল্য পরিমাণ হচ্ছে 1 মোল ক্লোরিন। কিন্তু 1 মোল হাইড্রোজেনের সাথে 1·5 মোল ক্লোরিন নিয়ে বিক্রিয়া সম্পূর্ণ করলে হাইড্রোজেন সম্পূর্ণরূপে বিক্রিয়া করে নিঃশেষ হলেও 0·5 মোল ক্লোরিন অবশিষ্ট থাকে। এক্ষেত্রে হাইড্রোজেন লিমিটিং বিক্রিয়ক ও ক্লোরিন অতিরিক্ত বিক্রিয়ক যা উৎপাদ হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাসের সাথে ভেজাল হিসেবে মিশ্রিত থাকে। এ বর্জ্য হ্রাস ও বিশুদ্ধ উৎপাদ তৈরির প্রক্রিয়া সবুজ রসায়নের মূল প্রতিপাদ্য বিষয়।

চিন্তা করুন : 10 g বিশুদ্ধ লোহা 40 g H_2SO_4 এসিডের মধ্যে যোগ করা হলো। লিমিটিং বিক্রিয়ক কোনটি?

স্টয়কিওমেট্রি ও উৎপাদের শতকরা পরিমাণ (Stoichiometry and Percentage of Yield) :

কোনো নির্দিষ্ট একটি বিক্রিয়ক অপর কোনো বিক্রিয়কের সাথে নির্দিষ্ট অনুপাতে বিক্রিয়া করে নির্দিষ্ট পরিমাণ উৎপাদ তৈরি হয়। এক্ষেত্রে একটি বিক্রিয়কের সাথে অপর বিক্রিয়কের ভর অনুপাতে বা আয়তন অনুপাতে বা মোল অনুপাতে বিক্রিয়ায় উৎপাদ তৈরি হয়। রসায়নের যে শাখায় বিক্রিয়ার সমতাকৃত সমীকরণ ব্যবহার করে বিক্রিয়ক ও উৎপাদ অণুর সংখ্যা, মোল সংখ্যা, ভর বা আয়তন হিসাব করা হয় তাকে stoichiometry (গ্রিক Stoikhein অর্থ Clement ও metron অর্থ messure) বলে। Stoichiometry-তে বিক্রিয়কের পরিমাণ ও উৎপাদের পরিমাণের মধ্যকার সম্পর্ক নিয়ে আলোচনা করা হয়। এর সাহায্যে অতিরিক্ত বিক্রিয়কের পরিমাণ, লিমিটিং বিক্রিয়ক ও উৎপাদের শতকরা পরিমাণ নির্ণয় করা যায়।

কিন্তু রাসায়নিক বিক্রিয়ায় সব সময় বিশুদ্ধ বিক্রিয়ক ব্যবহার করা সম্ভব হয় না। শিল্পক্ষেত্রে বা সাধারণ রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় ভেজালযুক্ত রাসায়নিক পদার্থ ব্যবহৃত হয়। তাই কাঙ্ক্ষিত পরিমাণ উৎপাদ পাওয়া যায় না। সবচেয়ে বিশুদ্ধ রাসায়নিক পদার্থসমূহ

প্রায় 95·5% বিশুদ্ধ হয়। এদেরকে অ্যানালার (Analar) বলে। বিক্রিয়কের সাথে ভেজাল থাকায় উৎপাদের কাঙ্ক্ষিত পরিমাণ অপেক্ষা প্রাপ্ত উৎপাদের পরিমাণ সর্বদা কম হয়। Stoichiometry-তে সর্বদা লিমিটিং বিক্রিয়ক থেকে উৎপাদ ও অন্য বিক্রিয়কের পরিমাণ হিসাব করা হয়। কোনো বিক্রিয়ার উৎপাদের শতকরা পরিমাণ হিসাব করে বিক্রিয়কে ভেজালের পরিমাণ, সংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার দক্ষতা, বর্জ্য ব্যবস্থাপনা ইত্যাদি সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যায়।

$$\text{উৎপাদ} = \frac{\text{প্রাপ্ত উৎপাদের প্রকৃত পরিমাণ}}{\text{তাত্ত্বিকভাবে প্রাপ্য উৎপাদের পরিমাণ}} \times 100\%$$

অধিকাংশ ক্ষেত্রে উৎপাদের শতকরা পরিমাণ 65–90% হয় এবং 10–35% বিক্রিয়ক বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে না। সবুজ রসায়নে এমন পরিকল্পনা ও সংশ্লেষণ প্রক্রিয়া অবলম্বন করা হয় যেন বিক্রিয়ক সর্বোচ্চ পরিমাণে উৎপাদে পরিণত হয়। প্রয়োজনে সংশ্লেষণ ও বিশ্লেষণ পদ্ধতি পরিবর্তন ও পরিমার্জন করে বিষাক্ত ও পরিবেশ দূষণকারী উৎপাদ উপজাত বা সহউৎপাদ (By-Product) ও পার্শ্ব উৎপাদ (Side-Product) উৎপাদন রোধ বা হ্রাস করার উপর সবুজ রসায়নে (Green Chemistry) গুরুত্ব আরোপ করা হয়েছে। যেমন– অ্যালকাইল ক্লোরাইডের ক্ষারীয় আর্দ্রবিশ্লেষণে অ্যালকোহলের পাশাপাশি HCl উৎপন্ন হয় যা পরিবেশ দূষণকারী। কিন্তু অ্যালডিহাইড বা কিটোনের প্রভাবকীয় বিজারণে অ্যালকোহল সংশ্লেষণ করলে পরিবেশ দূষণকারী উপজাত HCl উৎপাদন হবে না।

$$R—Cl + H_2O \longrightarrow R—OH + HCl$$
$$R—CHO + [H] \longrightarrow R—CH_2OH$$

অপরদিকে সূর্যালোকের উপস্থিতিতে মিথেন ও ক্লোরিনের বিক্রিয়ায় মিথাইল ক্লোরাইড উৎপন্ন হওয়ার পাশাপাশি মিথেনের বিভিন্ন জাতক মিথিলিন ক্লোরাইড, ক্লোরোফর্ম ($CHCl_3$) ও CCl_4 উৎপন্ন হয় যেগুলো পরিবেশ দূষণকারী।

$$CH_4 + Cl_2 \longrightarrow CH_3Cl + HCl$$
$$CH_3Cl + Cl_2 \longrightarrow CH_2Cl_2 + HCl$$
$$CH_2Cl_2 + Cl_2 \longrightarrow CHCl_3 + HCl$$
$$CHCl_3 + Cl_2 \longrightarrow CCl_4 + HCl$$

কিন্তু মিথানলের সাথে লুকাস বিকারক (গাঢ় HCl ও অনার্দ্র $ZnCl_2$ এর মিশ্রণ) ব্যবহার করলে মিথাইল ক্লোরাইড উৎপন্ন হলেও অপ্রয়োজনীয় জাতক সৃষ্টি হবে না।

$$CH_3OH + HCl \xrightarrow{ZnCl_2} CH_3Cl + H_2O$$

CFC, বেনজিন, CCl_4, $CHCl_3$, পার-অক্সাইড ইত্যাদি দ্রাবক হিসেবে পরিবেশ ও প্রাণীর জন্য মারাত্মক ক্ষতিকর হওয়ায় বর্তমানে পরিবেশ ও টেকসই উন্নয়নের জন্য সুপারক্রিটিক্যাল CO_2 (31·5°C ও 72·9 atm চাপে তরল CO_2) ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত হচ্ছে। কারণ এটি সহজপ্রাপ্য, অদাহ্য, সাশ্রয়ী, নিম্ন সান্দ্রতা ও বিষাক্ততা এবং শূন্য পৃষ্ঠটান বিশিষ্ট। এছাড়া CFC এর মতো অপোলার ও এর বাষ্পীভবন তাপ নিম্ন।

উপর্যুক্ত বিষয়সমূহ বিবেচনা করে **১৯৯১ সালে Paul Anastas** সর্বপ্রথম গ্রিন কেমিস্ট্রি ধারণার অবতারণা করেন। সবুজ রসায়নে (Green Chemistry) মূলত পরিবেশবান্ধব যৌগ ও তার উৎপাদন কৌশল নিয়ে আলোচনা করা হয়। এটি মূলত রাসায়নিক গবেষণা ও প্রকৌশলের ক্ষেত্রে ক্ষতিকর যৌগের ব্যবহার ও উৎপাদন নিরুৎসাহিত করে। পরিবেশের উপর রাসায়নিক বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত বিক্রিয়ক ও উৎপন্ন উৎপাদের ক্ষতিকর প্রভাব হ্রাসকল্পে সবুজ রসায়নের অধ্যয়ন ও অনুশীলন আবশ্যক।

পল এনাসথাস এবং পরবর্তীতে United States Environment Protection Agency ও John C Warner সবুজ রসায়নের ১২টি নীতি প্রণয়ন করেন। নিচে এসব নীতিমালা আলোচনা করা হলো :

১. **প্রতিরোধ :** রাসায়নিক বর্জ্য সৃষ্টির পর বর্জ্য ব্যবস্থাপনা বা পরিষ্কার করার চেয়ে বর্জ্য সৃষ্টির পূর্বে তা প্রতিরোধ করা। শিল্প কল-কারখানা ও ল্যাবরেটরিতে সৃষ্ট বর্জ্য ব্যবস্থাপনা ব্যয়বহুল, জটিল, কষ্টসাধ্য ও সময় সাপেক্ষ। এছাড়া বর্জ্যের নিরাপদ নিঃসরণ সম্ভব না হলে তা প্রাণী ও পরিবেশের উপর বিরূপ প্রভাব ফেলে। এজন্য শিল্প কল-কারখানায় ও ল্যাবরেটরিতে ম্যাক্রো পদ্ধতির পরিবর্তে মাইক্রো ও সেমি মাইক্রো বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে পরিমিত পরিমাণ বিক্রিয়ক, দ্রাবক, বিকারক ও প্রভাবক ব্যবহার করলে রাসায়নিক বর্জ্য উৎপাদন বহুলাংশে হ্রাস পায়। এতে বর্জ্য ব্যবস্থাপনার আর্থিক শ্রম ও শক্তির অপচয় হ্রাস পায় এবং সময়ও বাঁচে।

২. **পরমাণু অর্থনীতির সর্বোচ্চকরণ :** পরমাণু অর্থনীতি হচ্ছে রাসায়নিক রূপান্তরকরণ দক্ষতার পরিমাপক। অর্থাৎ কোনো রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় সর্বোচ্চ কী পরিমাণে বিক্রিয়ক কী পরিমাণ উৎপাদ পরমাণুতে পরিণত হয় তা পরমাণু অর্থনীতি (Atom Economy–AE) থেকে জানা যায়। কোনো বিক্রিয়ার কাঙ্ক্ষিত উৎপাদের মোট পরমাণু সংখ্যা ও বিক্রিয়কের মোট পরমাণু সংখ্যার অনুপাতকে পরমাণু অর্থনীতি বলে।

$$\therefore \%\text{পরমাণু অর্থনীতি} = \frac{\text{কাঙ্ক্ষিত উৎপাদে মোট পরমাণু সংখ্যা}}{\text{বিক্রিয়কে মোট পরমাণুর সংখ্যা}} \times ১০০$$

$$\text{বা, } \%AE = \frac{\text{কাঙ্ক্ষিত উৎপাদের সংকেত ভর} \times ১০০}{\text{সকল বিক্রিয়কের সংকেত ভরের সমষ্টি}}$$

কোনো যৌগের সংশ্লেষণ পদ্ধতি এমনভাবে প্রণয়ন করা যেন বিক্রিয়ক কাঁচামাল সম্পূর্ণরূপে বা সর্বোচ্চ পরিমাণে উৎপাদে পরিণত হয়। যেমন– হেবার বোস পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদনের ক্ষেত্রে অত্যানুকূল তাপমাত্রা (400–500°C), 200 atm চাপ, Fe-চূর্ণ বা Fe_3O_4-প্রভাবক এবং KOH ও Al_2O_3 মিশ্রণ প্রভাবক সহায়ক হিসেবে ব্যবহার করলে বিক্রিয়ক N_2 ও H_2 সর্বোচ্চ পরিমাণে অ্যামোনিয়ায় পরিণত হয় এবং বর্জ্য সর্বনিম্ন হয়।

৩. **নিরাপদ উৎপাদ :** উৎপাদিত রাসায়নিক পদার্থ এমন হবে যেন তা মানুষ ও পরিবেশের জন্য ক্ষতিকর না হয় বা কম ক্ষতিকর হয়। অর্থাৎ উৎপাদিত রাসায়নিক পদার্থ মানুষ, উদ্ভিদ ও অন্যান্য প্রাণী ও পরিবেশের ক্ষতি করে এমন পদার্থের উৎপাদন, প্রয়োগ অথবা ব্যবহার সবুজ রসায়নে নিরুৎসাহিত করা হয়েছে। যেমন– CFC গ্যাস (ফ্রিয়ন-11-$CFCl_3$; ফ্রিয়ন-12-FC_2Cl_2) ওজোন স্তর ক্ষয় করে ফলে সূর্যের ক্ষতিকর uv-রশ্মি পৃথিবীতে এসে মানুষ ও পরিবেশের ব্যাপক ক্ষতিসাধন করে। এজন্য CFC, DDT ইত্যাদির ব্যবহার নিষিদ্ধ করা হয়েছে। অপরদিকে রাসায়নিকভাবে কম ক্ষতিকর পদার্থের ব্যবহার উৎসাহিত করা হয়েছে।

৪. **উৎপাদের বিষক্রিয়া হ্রাস :** উৎপাদিত পদার্থের বিষক্রিয়া হ্রাসের সময় যেন তার কার্যকারিতা অক্ষুণ্ন থাকে।

৫. **নিরাপদ দ্রাবক ও সহায়ক পদার্থ :** দ্রাবক, পৃথকীকরণ বিকারক (Separating regent) প্রভৃতির অপ্রয়োজনীয় ব্যবহার যথাসম্ভব এড়িয়ে চলা এবং নিরাপদ দ্রাবক ও সহায়ক পদার্থ ব্যবহার করা। বিষাক্ত দ্রাবক ও সহায়ক পদার্থের (Auxiliaries বা Assisting substances) ব্যবহার নিরাপদ ও সাশ্রয়ী দ্রাবক ও সহায়ক পদার্থের দ্বারা প্রতিস্থাপন বা হ্রাস করা। যেমন– CFC, বেনজিন, পারঅক্সাইড, ক্লোরোফর্ম, CCl_4 এর পরিবর্তে নিরাপদ সবুজ দ্রাবক সুপারক্রিটিকাল CO_2, পানি, অ্যালকোহল ইত্যাদি ব্যবহার করা যায়।

৬. **শক্তির কর্মদক্ষতার পরিকল্পনা :** কোনো পদার্থের সংশ্লেষণ পদ্ধতি যেন SATP-তে সম্পন্ন হয় এবং উচ্চতর তাপমাত্রা সম্পন্ন পদ্ধতির ক্ষেত্রে পরিবেশগত এবং অর্থনৈতিক প্রভাব বিবেচনা করা। অর্থাৎ অর্থনৈতিক ও পরিবেশগত প্রভাব বিবেচনা করে যে সকল রাসায়নিক সংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় উচ্চ তাপমাত্রা ও চাপ প্রয়োজন হয়। ঐ সকল সংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার কর্মদক্ষতা বৃদ্ধি ও শক্তির অপচয় রোধ করার জন্য নতুন কার্যকর পদ্ধতিতে বিক্রিয়া সাধারণ তাপমাত্রা ও চাপে সম্পন্ন করা যায়। এতে বিদ্যুৎ ও জ্বালানি খরচ কম হবে এবং উৎপাদন ব্যয় হ্রাস পাবে।

৭. **নিরাপদ কাঁচামাল ব্যবহার :** যৌগ উৎপাদনের কাঁচামাল যতদূর সম্ভব নিরাপদ, নবায়নযোগ্য, সহজলভ্য ও সাশ্রয়ী বিবেচনা করা। বর্তমানে অনেক সংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার প্রাথমিক কাঁচামালের উৎস হচ্ছে পেট্রোলিয়াম ও পেট্রোলিয়ামের বিশোধনে প্রাপ্ত রাসায়নিক পদার্থ যা নবায়নযোগ্য, নিরাপদ ও সাশ্রয়ী নয়।

৮. **প্রভাবকীয় বিক্রিয়ক ব্যবহার :** Stoichiometric বিকারক ব্যবহারের চেয়ে প্রভাবকীয় বিকারক ব্যবহারে গুরুত্ব দেওয়া। কারণ প্রভাবক বিক্রিয়ার সক্রিয়ন শক্তি, তাপমাত্রা, বিকারক নির্ভর বর্জ্য, অনাকাঙ্ক্ষিত পার্শ্ব বিক্রিয়া হ্রাস করে ও বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি করতে পারে। এমনকি প্রয়োজনে বিক্রিয়ার গতি হ্রাসে প্রভাবক ব্যবহার করে বিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করা যায় ও সামান্য পরিমাণ প্রভাবক ব্যবহার করে বহুবার বিক্রিয়া ঘটানো যায়। কিন্তু সংখ্যানুপাতিক বিকারকের বিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করা যায় না যা শুধু নির্দিষ্ট সংখ্যানুপাতে বিক্রিয়া করে (যেমন– তীব্র এসিড-ক্ষার, জারক-বিজারকের বিক্রিয়া)।

৯. **ক্ষুদ্রাংশকরণ পরিকল্পনা :** ব্যবহৃত রাসায়নিক পদার্থ ব্যবহার শেষে যেন পরিবেশে জমা না হয় এবং ভেঙে গিয়ে পরিবেশের জন্য ক্ষতিকর নয় এমন পদার্থে পরিণত হয়। পলিমার পদার্থসমূহ ও তার তৈরি জিনিসপত্র, DDT ইত্যাদি বায়োডিগ্রেডেবল না হওয়ায় পরিবেশে জমা হয় এবং পুড়িয়ে ভাঙতে গেলে পরিবেশ, প্রাণী ও উদ্ভিদের জন্য ক্ষতিকর পদার্থে পরিণত হয়। এজন্য DDT নিষিদ্ধ ও পলিমার উৎপাদের অব্যবহৃত বর্জ্য পূনঃরুদ্ধার ও পূনঃব্যবহার করা হয়। এজন্য বায়োডিগ্রেডেবল উৎপাদ উৎপাদনের পরিকল্পনা করতে হবে।

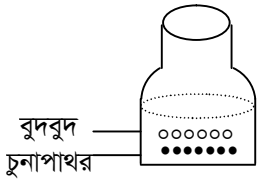
১০. বিক্রিয়ায় সময় অপ্রয়োজনীয় জাতক (Derivative) সৃষ্টি রোধ করা। এজন্য ন্যূনতম ধাপে বিক্রিয়া সংঘটন, ভৌত ও রাসায়নিক প্রক্রিয়া পরিমার্জন, বিক্রিয়ার শর্ত পরিবর্তন ইত্যাদি কার্যক্রম গ্রহণ করতে হবে।

১১. **যথাসময়ে দূষণ :** গবেষণাগারের বিশ্লেষণ পদ্ধতিসমূহ যেন সময়োপযোগী হয় এবং সেক্ষেত্রে ক্ষতিকর রাসায়নিক পদার্থ উৎপন্ন হচ্ছে কি না তা পর্যবেক্ষণ ও নিয়ন্ত্রণ উপযোগী হওয়া আবশ্যক।

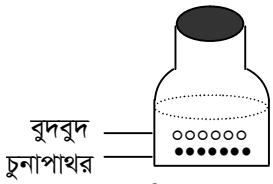
১২. দুর্ঘটনা প্রতিরোধ : কোনো রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত ও উৎপন্ন পদার্থ এমন হয় যেন রাসায়নিকভাবে কম তীব্র হয় এবং হঠাৎ নির্গত হওয়া বা বিস্ফোরণ ঘটা বা আগুন ধরে দুর্ঘটনা ঘটার সম্ভাবনা যেন না থাকে।

বিক্রিয়ার দিক– একমুখী ও উভমুখী বিক্রিয়া (Direction of Reaction : Irreversible and Reversible Reaction)

দুটি স্বচ্ছ ছিপিযুক্ত প্লাস্টিকের বোতল নিয়ে উভয় বোতলে lg পরিমাণ চুনাপাথর নিয়ে তাতে 2ml করে লঘু HCl যোগ করুন। একটি বোতল বায়ুরোধী করে ছিপি লাগান এবং অপর বোতলের মুখ খোলা রেখে পর্যবেক্ষণ করুন।



চিত্র-১.১ (ক)



চিত্র-১.১ (খ)

A ও B বোতলে সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া নিম্নরূপ–

$CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow CaCl_2(s) + H_2O(l) + CO_2(g)$

A ও B বোতলের গায়ে হাত দিয়ে চাপ প্রয়োগ করে লক্ষ করুন A বোতলে চাপ সৃষ্টি হয়নি কিন্তু B বোতলে চাপ সৃষ্টি হয়েছে। কারণ কী? একটু ভেবে দেখুন।

A বোতলে উৎপন্ন কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস বুদবুদ আকারে বের হচ্ছে কিন্তু B বোতলে ছিপিযুক্ত থাকায় উৎপন্ন গ্যাস বের হতে পারছে না। ফলে গ্যাস অণুগুলো বোতলের দেয়ালে বল প্রয়োগ করে বলে চাপ সৃষ্টি হয়। উৎপন্ন চাপের কারণে CO_2 গ্যাস কিছু পরিমাণে পুনরায় বিক্রিয়া মিশ্রণের পানি ও ক্যালসিয়াম ক্লোরাইডের সাথে বিক্রিয়া করে কার্বনেট ও হাইড্রোক্লোরিক এসিড উৎপন্ন করে। অপরদিকে A বোতলের উৎপাদ CO_2 বিক্রিয়া স্থান ত্যাগ করায় সবগুলো উৎপাদ সহাবস্থানে থাকে না। ফলে উৎপাদগুলো পুনরায় পরস্পরের সাথে যুক্ত হয়ে ক্যালসিয়াম কার্বনেট ও হাইড্রোক্লোরিক এসিড উৎপন্ন করতে পারে না।

উপরের পরীক্ষা থেকে দেখা যাচ্ছে যে, কোনো কোনো বিক্রিয়া তার পারিপার্শ্বিক অবস্থার কারণে শুধু বিক্রিয়ক থেকে উৎপাদে পরিণত হতে পারে। আবার তাপ, চাপ, ঘনমাত্রা প্রভৃতি পারিপার্শ্বিক নিয়ামক পরিবর্তন করে উৎপাদকে বিক্রিয়কে পরিণত করা যায়।

কোনো বিক্রিয়ার বিক্রিয়কগুলোর উৎপাদে পরিণত হওয়ার বিক্রিয়াকে সম্মুখমুখী বিক্রিয়া এবং উৎপাদগুলোর বিক্রিয়কে পরিণত হওয়ার বিক্রিয়াকে পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়া বলে।

সুতরাং যে বিক্রিয়া শুধু সম্মুখদিকে সংঘটিত হয় কিন্তু পশ্চাৎদিকে সংঘটিত হতে পারে না, তাকে একমুখী বিক্রিয়া বলে। অপরদিকে যে বিক্রিয়া সম্মুখ ও পশ্চাৎ উভয় দিকে সংঘটিত হতে পারে তাকে উভমুখী বিক্রিয়া বলে।

একমুখী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মধ্যে একমুখী তীর চিহ্ন ($\longrightarrow$) ব্যবহার করে বিক্রিয়ার সমীকরণ উপস্থাপন করা হয়। অপরদিকে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মধ্যে উভমুখী তীর চিহ্ন ($\rightleftharpoons$) ব্যবহার করে উভমুখী বিক্রিয়ার সমীকরণ উপস্থাপন করা হয়।

যেমন : A বোতলের একমুখী বিক্রিয়াটি নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায়–

$$CaCO_3(s) + 2HCl(l) \longrightarrow CaCl_2(s) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

এবং B বোতলের উভমুখী বিক্রিয়াটি নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায়–

$$CaCO_3(s) + 2HCl(l) \rightleftharpoons CaCl_2(s) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

সাধারণভাবে একমুখী ও উভমুখী বিক্রিয়া নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয়–

$A+B \longrightarrow C+D$ (একমুখী)

$A+B \rightleftharpoons C+D$ (উভমুখী)

সাধারণত একমুখী বিক্রিয়াসমূহ স্বতঃস্ফূর্তভাবে এবং দ্রুত ঘটে বিক্রিয়কগুলো প্রায় সম্পূর্ণরূপে উৎপাদে পরিণত হয়। অপরদিকে উভমুখী বিক্রিয়াগুলো ধীরে ধীরে ঘটে এবং বিক্রিয়ক কখনোই সম্পূর্ণরূপে উৎপাদে পরিণত হতে পারে না।

সার-সংক্ষেপ :

- **গ্রিন কেমিস্ট্রি :** কম পরিবেশ দূষণ করে ও সর্বনিম্ন পরিমাণে বর্জ্য উৎপন্ন হয় এমন সব প্রক্রিয়া ও উৎপাদন পদ্ধতি নিয়ে গবেষণা করা। নিরাপদ ও পরিবেশ বান্ধব উৎপাদ উৎপাদনের পদ্ধতিকে অনুসরণ করা, যেসব পদ্ধতির মাধ্যমে সর্বোচ্চ পরিমাণ উৎপাদ উৎপন্ন হয় এবং কোনো বর্জ্য যেন উৎপন্ন না হয়।
- **একমুখী বিক্রিয়া :** যেসব বিক্রিয়ায় একদিকের গতিবেগ অন্যদিকের গতিবেগের তুলনায় এতো কম যে তা হিসেবেই ধরা হয় না, সেসব বিক্রিয়াগুলোকে একমুখী বিক্রিয়া হিসেবে ধরা হয়ে থাকে।
- **উভমুখী বিক্রিয়া :** কোনো বিক্রিয়া একটি বিশেষ অবস্থায় উপনীত হয়ে যদি এক সাথে সম্মুখ ও পশ্চাৎদিকে সংঘটিত হয়, তবে ঐ বিক্রিয়াকে উভমুখী বিক্রিয়া বলা হয়ে থাকে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.১

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। কোনটি উভমুখী বিক্রিয়া নয়?

(ক) $C(s) + O(g) \rightleftharpoons CO_2(g)$ (খ) $CuSO_4(aq) + Fe(s) \rightleftharpoons FeSO_4(aq) + Cu(s)$

(গ) $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ (ঘ) $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$

২। CFC এর ট্রেড নাম কোনটি?

(ক) ফ্রিয়ন-11 (খ) ফ্রিয়ন-12 (গ) ফ্রিয়ন (ঘ) HCFC

৩। CFC এর বিকল্প হিসেবে ব্যবহৃত হয় কোনটি–

(ক) H_2O_2 (খ) গ্যাসোলিন (গ) HCFC (ঘ) CO_2

৪। সূর্যের অতি বেগুনি রশ্মিকে শোষণ করে কোনটি–

(ক) SO_2 (খ) CO_2 (গ) ফ্রিয়ন (ঘ) O_3

৫। গ্রিন কেমিস্ট্রির উদ্দেশ্য–

i. ক্ষতিকারক উৎপাদনের পরিমাণ সর্বনিম্ন পর্যায়ে নিয়ে আসা
ii. ক্ষতিকারক উপাদানের ব্যবহার নূন্যতম পর্যায়ে নিয়ে আসা
iii. দূষণের মূল উৎসকে নিবৃত করা

নিচের কোনটি সঠিক?

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

৬। উভমুখী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে–

i. বিক্রিয়া অসম্পূর্ণ ভাবে সম্পন্ন হয়
ii. বিক্রিয়া উভয় দিক থেকে শুরু করা যায়
iii. সাম্যবস্থা আসার প্রবণতা থাকে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

৭। উভমুখী বিক্রিয়াকে একমুখী করার উপায় হলো–

i. কোন একটি উৎপাদকে বিক্রিয়ক স্থল হতে সরিয়ে নিলে
ii. একটি উৎপাদ অধঃক্ষিপ্ত হলে
iii. মুক্তশক্তির পরিবর্তনের মান –ve করলে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

পাঠ-৫.২ রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতি

উদ্দেশ্য

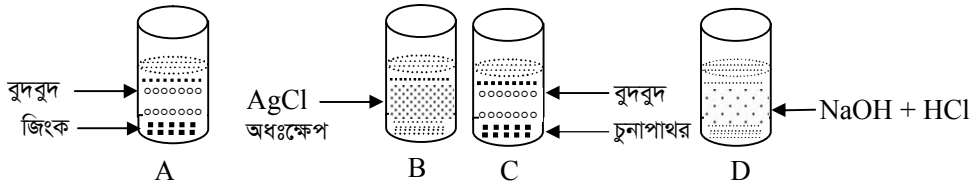
এ পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা-

- রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতি ও হার ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- বিক্রিয়ার হারের গাণিতিক ব্যাখ্যা প্রদান করতে পারবেন।
- বিক্রিয়ার হার ধ্রুবককে নির্ণয় করতে পারবেন।

মুখ্য শব্দ	বিক্রিয়ার হার, হার ধ্রুবক, ঘনমাত্রা, ব্যয়িত সময়।

বিক্রিয়ার গতি বা হার (Rate of Reaction)

A, B, C ও D চারটি টেস্টটিউবে যথাক্রমে ম্যাগনেসিয়াম বা জিংক ধাতুর টুকরা, সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ, চুনাপাথর ও পানি এবং কস্টিক সোডা দ্রবণ নিয়ে তাতে 2ml করে লঘু হাইড্রোক্লোরিক এসিড যোগ করে লক্ষ করুন কী ঘটে?



চিত্র-২.১

A ও C পাত্রে বেশ কয়েক মিনিট ধরে বুদবুদ উৎপন্ন হয়। B-পাত্রে তৎক্ষণাৎ সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে এবং D-পাত্রে কোনো বিক্রিয়া ঘটে বা ঘটছে কিনা বোঝা যায় না। এক্ষেত্রে A ও C টেস্টটিউবে যতক্ষণ পর্যন্ত জিংক বা চুনাপাথর বা হাইড্রোক্লোরিক এসিড শেষ না হয় ততক্ষণ বিক্রিয়া ঘটে এবং বুদবুদ আকারে A ও C টেস্টটিউবে যথাক্রমে হাইড্রোজেন ও কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস উৎপন্ন হয় এবং বিক্রিয়াটি কয়েক মিনিট যাবৎ চলতে থাকে। B- টেস্টটিউবে তৎক্ষণাৎ সিলভার ক্লোরাইডের সাদা অধঃক্ষেপ উৎপন্ন হয় এবং বিক্রিয়াটিতে আর কোনো পরিবর্তন লক্ষ করা যায় না। D-টেস্টটিউবে বিক্রিয়া ঘটে কিনা বোঝা যায় না। কারণ বিক্রিয়াটি খুব দ্রুত সংঘটিত হয় এবং এতে কোনো বুদবুদ বা অধঃক্ষেপ সৃষ্টি হয় না। ফলে বিক্রিয়াটি ঘটেছে কিনা তা বোঝা যায় না।

উপরের পরীক্ষা থেকে দেখা যায়, কোনো কোনো বিক্রিয়া ধীরে ঘটে আবার কোনো কোনো বিক্রিয়া খুবই দ্রুত সংঘটিত হয়। কোনো কোনো বিক্রিয়ায় বিভিন্ন বর্ণের অধঃক্ষেপ সৃষ্টি হয় বা বুদবুদ সৃষ্টি হয় অথবা বিক্রিয়ায় বর্ণের পরিবর্তন ঘটে।

আবার C-টেস্টটিউবের ক্ষেত্রে লক্ষ কর সময়ের সাথে সাথে চুনাপাথর টুকরাগুলোর আকার/আয়তন/পরিমাণ কমতে থাকে। এক্ষেত্রে বিক্রিয়ার প্রথমদিকে দ্রুত বুদবুদ উৎপন্ন হয় এবং চুনাপাথর টুকরাগুলোর আয়তনও দ্রুত হ্রাস পায়। কিছু সময় পর বুদবুদ খুব ধীরে উৎপন্ন হয় এবং টুকরাগুলোর আয়তনও ধীরে ধীরে হ্রাস পায়। অর্থাৎ বুদবুদ আকারে কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্নের পরিমাণ চুনাপাথরের টুকরাগুলোর আয়তন/পরিমাণ হ্রাসের সমানুপাতিক।

সুতরাং **একক সময়ে কোনো বিক্রিয়ার বিক্রিয়কসমূহের ঘনমাত্রা বা পরিমাণ হ্রাসের হারকে অথবা উৎপাদ পদার্থের ঘনমাত্রা বা পরিমাণ বৃদ্ধির হারকে ঐ বিক্রিয়ার হার বা গতি বলে।**

$$\text{অর্থাৎ বিক্রিয়ার হার} = \frac{\text{বিক্রিয়ক এর ঘনমাত্রা হ্রাস}}{\text{ঐ ঘনমাত্রা হ্রাসে ব্যয়িত সময়}}$$

$$= \frac{\text{উৎপাদের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি}}{\text{ঐ ঘনমাত্রা বৃদ্ধিতে ব্যয়িত সময়}}$$

বিক্রিয়ার হারের গাণিতিক প্রকাশ :

ধরি, একটি সাধারণ বিক্রিয়া $P \rightarrow Q$

যদি বিক্রিয়ার শুরুর t_1 সময় পরে P বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা c_1 এবং t_2 সময় পরে ঘনমাত্রা c_2 হয় তা হলে সময়ের পরিবর্তন $\Delta t = t_2 - t_1$ এবং ঘনমাত্রার পরিবর্তন $-\Delta c = c_2 - c_1$ [ঋণাত্মক চিহ্ন দ্বারা ঘনমাত্রা হ্রাস বোঝায়।]

সুতরাং বিক্রিয়কের সম্পর্কে বিক্রিয়ার হার, $r = -\frac{\Delta c}{\Delta t}$

আবার বিক্রিয়ার শুরুর t_1 সময় পরে Q উৎপাদের ঘনমাত্রা s_1 এবং t_2 সময় পরে ঘনমাত্রা s_2 হলে $\Delta t = t_2 - t_1$ সময় পরে উৎপাদের ঘনমাত্রার পরিবর্তন, $\Delta s = s_2 - s_1$

সুতরাং উৎপাদ সম্পর্কে বিক্রিয়ার হার, $r = +\frac{\Delta s}{\Delta t}$

যেহেতু কোনো নির্দিষ্ট সময়ে কোনো কোনো নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার হার নির্দিষ্ট। তাই $r = -\frac{\Delta c}{\Delta t} = +\frac{\Delta s}{\Delta t}$

সাধারণভাবে $aA + bB \longrightarrow pP + qQ$ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে A, B, P, Q এর সাপেক্ষে বিক্রিয়ার হার হবে নিম্নরূপ–

$$r = -\frac{1}{a}\cdot\frac{\Delta C_A}{\Delta t} = -\frac{1}{b}\cdot\frac{\Delta C_B}{\Delta t} = +\frac{1}{p}\cdot\frac{\Delta C_P}{\Delta t} = +\frac{1}{q}\cdot\frac{\Delta C_Q}{\Delta t}$$

বিক্রিয়ার হারের একক :

বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার একক $mol.L^{-1}$ এবং সময়ের একক s (সেকেন্ড) হলে বিক্রিয়ার হার = ঘনমাত্রা.সময়$^{-১}$ = $mol.L^{-1}s^{-1}$

নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো নির্দিষ্ট সময়ে বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার নির্দিষ্ট ঘাতের সমানুপাতিক।

$mM + nN \longrightarrow P$ বিক্রিয়ার হার–

$r \propto [M]^m \times [N]^n$

বা, $r = K[M]^m \times [N]^n$

বা, $K = \frac{r}{[M]^m \times [N]^n}$

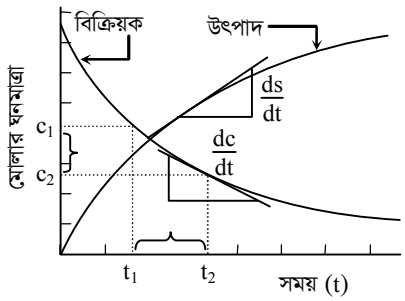
যেখানে, [M] = M-এর মোলার ঘনমাত্রা
[N] = N-এর মোলার ঘনমাত্রা
m ও N যথাক্রমে M ও N-এর ঘনমাত্রার ঘাত
এবং K সমানুপাতিক ধ্রুবক।

এখন [M] ও [N] যদি 1 mol L^{-1} হয়, তাহলে, K = r

অর্থাৎ, কোনো বিক্রিয়ার বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা 1 $mol.L^{-1}$ হলে ঐ বিক্রিয়ার হারকে বিক্রিয়ার **হার ধ্রুবক** বলে। একে k দ্বারা প্রকাশ করা হয়। কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার হার বা হার ধ্রুবক নির্দিষ্ট এবং তাপমাত্রা পরিবর্তন করলে বিক্রিয়ার হার বা হার ধ্রুবক পরিবর্তিত হয়। তবে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বা চাপের কারণে বিক্রিয়ার হার পরিবর্তন হলেও বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক পরিবর্তন হয় না। একই তাপমাত্রায় বিভিন্ন বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক বিভিন্ন হয়।

বিক্রিয়ার হারের সময় ও ঘনমাত্রার লেখচিত্র :

X-অক্ষ বরাবর সময় এবং Y-অক্ষ বরাবর ঘনমাত্রার লেখচিত্র অঙ্কন করলে পাশের চিত্রের ন্যায় বক্র রেখা পাওয়া যায়।



চিত্র-২.২ : সময়ের সাথে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রার পরিবর্তন

কোনো নির্দিষ্ট সময়ে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার বক্র রেখার কোনো বিন্দুতে স্পর্শক অঙ্কন করলে ঐ স্পর্শকের ঢাল হবে $-\frac{\Delta c}{\Delta t}$, যা এ সময়ের বিক্রিয়ার হারের সমান। আবার একইভাবে উৎপাদের বক্ররেখার কোনো বিন্দুতে স্পর্শক অঙ্কন করলে ঐ স্পর্শকের ঢাল হবে $+\frac{\Delta s}{\Delta t}$, যা ঐ সময়ের বিক্রিয়ার হারের সমান।

সার-সংক্ষেপ :

- **বিক্রিয়ার গতি :** একক সময়ে কোনো বিক্রিয়ার বিক্রিয়কসমূহের ঘনমাত্রা বা পরিমাণ হ্রাসের হারকে অথবা উৎপাদ পদার্থের ঘনমাত্রা বা পরিমাণ বৃদ্ধির হারকে ঐ বিক্রিয়ার গতি বলে।
- **বিক্রিয়ার হার :** প্রতি একক সময়ে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হ্রাসে বা বিক্রিয়ায় সৃষ্ট উৎপাদের ঘনমাত্রার বৃদ্ধির মাত্রাকে বিক্রিয়ার হার বলা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.২

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। বিক্রিয়ার হারের পূর্বে ঋণাত্মক চিহ্ন কী নির্দেশ করে?
(ক) বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার হ্রাস (খ) উৎপাদের ঘনমাত্রার হ্রাস
(গ) বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি (ঘ) বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার স্থির মান

২। হার ধ্রুবক হলো–
(ক) একক সময়ে ঘনমাত্রার পরিবর্তন (খ) একক সময়ে ভরের পরিবর্তন
(গ) একক সময়ে আয়তনের পরিবর্তন (ঘ) মোট সময়ে ঘনমাত্রার পরিবর্তন

৩। প্রতি 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিক্রিয়ার হার কী পরিমাণ বৃদ্ধি পায়?
(ক) চার গুণ (খ) দ্বিগুণ (গ) পাঁচ গুণ (ঘ) তিন গুণ

৪। বিক্রিয়ার হার–
i. চাপ বৃদ্ধি পেলে পায়
ii. তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে বৃদ্ধি পায়
iii. ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পেলে বৃদ্ধি পায়
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

৫। কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারের উপর সক্রিয়ণ শক্তির প্রভাব হলো–
i. সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রা কম হলে বিক্রিয়ার হার বেশি হয়
ii. সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রা বেশি হলে বিক্রিয়ার হার কম হবে
iii. বিক্রিয়ার হারের উপর সক্রিয়ণ শক্তির কোন প্রভাব নেই
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

পাঠ-৫.৩ বিক্রিয়ার হারের উপর প্রভাব বিস্তারকারী নিয়ামক সমূহ

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা-

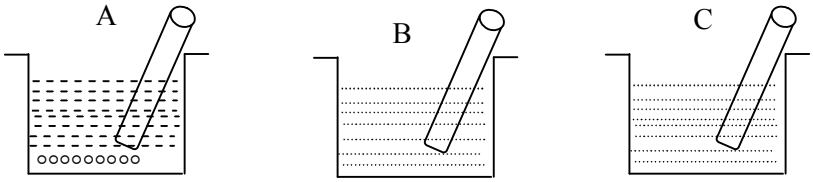
- বিক্রিয়ার গতির উপর তাপমাত্রার প্রভাব বর্ণণা করতে পারবেন।
- আরহেনিয়াসের সমীকরণ বর্ণনা করতে পারবেন।
- সক্রিয়ন শক্তি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- বিক্রিয়ার গতির উপর চাপের প্রভাবে ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

মুখ্য শব্দ	সংঘর্ষ, সক্রিয়ন শক্তি, ঢাল, একক আয়তন।

বিক্রিয়ার গতির উপর তাপমাত্রার প্রভাব (Affect of Temperature on the Rate of Reaction)

তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি পায়। এটি বোঝার জন্য নিচের পরীক্ষাটি সম্পন্ন করুন।

A, B ও C তিনটি টেস্টটিউবে সমান ঘনমাত্রার সোডিয়াম থায়োসালফেট দ্রবণ 3ml করে নিয়ে তাদেরকে যথাক্রমে বরফ শীতল পানি, স্বাভাবিক তাপমাত্রার পানি ও গরম পানির বীকারে নিম্নরূপে স্থাপন করুন।



চিত্র-৩.১

এরপর প্রত্যেকটি টেস্টটিউবে সমান ঘনমাত্রার 2ml HCl একইসাথে যোগ করুন এবং লক্ষ করুন। কোন টেস্টটিউবটি আগে ঘোলা হয়? কোন টেস্টটিউবটি পরে ঘোলা হয়? কারণ কী? দ্রবণ ঘোলা হওয়ার কারণ কী?

টেস্টটিউবগুলোতে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে–

$$Na_2S_2O_3(aq) + 2HCl(aq) \longrightarrow 2NaCl(aq) + H_2O(l) + S(s)$$

এক্ষেত্রে বিক্রিয়ায় কঠিন সালফার উৎপন্ন হয় যা পানিতে অদ্রবণীয় হওয়ায় দ্রবণগুলো ক্রমশ ঘোলাটে হয়। C টেস্টটিউবটি সবচেয়ে দ্রুত ঘোলা হয়। কারণ এ টেস্টটিউবের তাপমাত্রা বেশি থাকায় বিক্রিয়ক অণুগুলোর গড় গতিবেগ বেশি থাকে। বিক্রিয়ার শর্ত হচ্ছে, বিক্রিয়ক অণুগুলো পরস্পরের সাথে একটা ন্যূনতম শক্তি নিয়ে ধাক্কা বা সংঘর্ষ হতে হবে। C টেস্টটিউবের তাপমাত্রা বেশি থাকায় বিক্রিয়ার জন্য ন্যূনতম শক্তি অর্জনকারী অণুর সংখ্যা বেশি থাকে। ফলে এ টেস্টটিউবে সংঘর্ষের হার সবচেয়ে বেশি হয়। তাই এ টেস্টটিউবের দ্রবণ দ্রুত ঘোলা হয়। সুতরাং দেখা যাচ্ছে, তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি পায়।

আরহেনিয়াস সমীকরণ এবং সক্রিয়ণ শক্তি

১৯৮৯ সালে বিজ্ঞানী আরহেনিয়াস বিক্রিয়ার হারের উপর তাপমাত্রার প্রভাব পরীক্ষা করে দেখতে পান যে সাধারণভাবে প্রতি ১০° সে. তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে প্রায় সব বিক্রিয়ার হার দ্বিগুণ থেকে তিন গুণ বৃদ্ধি পায়।

এর কারণ হচ্ছে, তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে বিক্রিয়ক অণুসমূহের গতিবেগ বৃদ্ধি পায়। ফলে একক সময়ে বিক্রিয়কের অণুসমূহের সংঘর্ষ হার বৃদ্ধি পায় এবং অধিক সংখ্যক অণু বিক্রিয়ার জন্য প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি অর্জন করে। বিক্রিয়ক অণুসমূহের সকল সংঘর্ষই

বিক্রিয়ায় রূপান্তরিত হয় না। বিক্রিয়ক অণুসমূহ একটি ন্যূনতম শক্তির চেয়ে কম শক্তি নিয়ে সংঘর্ষে অংশগ্রহণ করলে বিক্রিয়া সংঘটিত হয় না। এক্ষেত্রে ঐ ন্যূনতম শক্তি বা তার বেশি শক্তি নিয়ে বিক্রিয়ক অণুসমূহের সংঘর্ষ ঘটলে তবেই বিক্রিয়া সংঘটিত হয়। সুতরাং ন্যূনতম যে শক্তি নিয়ে বিক্রিয়ক অণুসমূহ পরস্পরের সাথে সংঘর্ষ এ লিপ্ত হলে বিক্রিয়া সংঘটিত হয় ঐ ন্যূনতম শক্তিকে সক্রিয়ণ (Activation Energy) শক্তি বলে। একে E_a দ্বারা প্রকাশ করা হয়। সাধারণত কোনো বিক্রিয়ার E_a নির্দিষ্ট এবং তা তাপমাত্রার সাথে পরিবর্তিত হয় না। কিন্তু প্রভাবক E_a-কে প্রভাবিত করে।

বিজ্ঞানী আরহেনিয়াস বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক, তাপমাত্রা ও সক্রিয়ণ শক্তির মধ্যকার সম্পর্কের একটি সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন, যা আরহেনিয়াস সমীকরণ নামে পরিচিত।

কোনো বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি E_a, কেলভিন তাপমাত্রা T বৃদ্ধির সাথে বিক্রিয়া হারের Exponential বৃদ্ধির সম্পর্ক হচ্ছে–

বিক্রিয়ার হার $\propto e^{-E_a/RT}$

আবার তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে বিক্রিয়ক অণুসমূহের কার্যকর সংঘর্ষ সংখ্যাও বৃদ্ধি পায় এবং বিক্রিয়ার হার সমানুপাতিক হারে বৃদ্ধি পায়।

অর্থাৎ বিক্রিয়ার হার $\propto N$ এখানে, N = কার্যকর সংঘর্ষ সংখ্যা

সামগ্রিকভাবে বিক্রিয়ার হার $\propto N.e^{-E_a/RT}$

বা বিক্রিয়ার হার $= PNe^{-E_a/RT}$ (P = ধ্রুবক)

আবার বিক্রিয়কের তাপমাত্রাসহ ঘনমাত্রা স্থির থাকলে বিক্রিয়ার হার ও স্থির এবং তা বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের সমানুপাতিক। অর্থাৎ বিক্রিয়ার হার $\propto K$.

অতএব, $K = P.N\, e^{-E_a/RT} = A.\, e^{-E_a/RT}$ ..... (i)

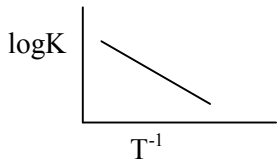
এখানে K = বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক
R = সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক
A = আরহেনিয়াস ফ্যাক্টর = PN
P = স্টেরিক ফ্যাক্টর

(i) নং সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে বিক্রিয়ক অণুসমূহের মধ্যকার কার্যকর সংঘর্ষ সংখ্যাও বৃদ্ধি পায় ফলে বিক্রিয়ার হার সমানুপাতিকভাবে বাড়ে। একইভাবে তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিক্রিয়ক অণুসমূহের সক্রিয়ণ শক্তি অর্জন করা সহজ হয় বলে তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিক্রিয়ার হারও বৃদ্ধি পায়।

(i) নং সমীকরণের উভয় পাশে ln নিয়ে পাই

$\ln K = \ln A - E_a/RT$

or, $\log K = \log A - E_a/(2{\cdot}303)RT$ ..... (ii)



(ii) নং সমীকরণটি একটি সরল রেখার সমীকরণ। এক্ষেত্রে logK বনাম T^{-1} এর লেখচিত্র অঙ্কন করলে একটি সরল রেখা পাওয়া যায়। $y = mx + c$ সরল রেখার সমীকরণের সাথে (ii) নং সমীকরণ তুলনা করে লেখচিত্রের ঢাল পাওয়া যায়। এক্ষেত্রে সরল রেখার ঢাল $m = -E_a/2{\cdot}303R$ ..... (iii)। সুতরাং লেখচিত্র থেকে ঢাল এর মান নির্ণয় করে (iii) নং সমীকরণে বসিয়ে বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি E_a গণনা করা যায়।

যদি দুটি ভিন্ন ভিন্ন তাপমাত্রা T_1 ও T_2 এ বিক্রিয়ার বেগ ধ্রুবক যথাক্রমে K_1 ও K_2 হয় তা হলে সেক্ষেত্রে নিম্নরূপে সক্রিয়ণ শক্তির মান নির্ণয় করা যায়।

$\log K_1 = \log A - E_a/(2{\cdot}303)RT_1$ .... (iv)

এবং $\log K_2 = \log A - E_a/(2{\cdot}303)RT_2$ ..... (v)

(v) নং সমীকরণ হতে (iv) নং সমীকরণ বিয়োগ করে পাই,

$\log K_2 - \log K_1 = [\log A - E_a/(2{\cdot}303)RT_2] - [\log A - E_a/(2{\cdot}303)RT_1]$

বা, $\log (K_2/K_1) = \dfrac{E_a}{2{\cdot}303R} \cdot \left(\dfrac{1}{T_1} - \dfrac{1}{T_2}\right)$ ..... (vi)

সমস্যা : তাপমাত্রা প্রতি 10° সে. তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে বিক্রিয়ার হার প্রায় দ্বিগুণ বা তিন গুণ বৃদ্ধি পায়। গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা করুন।

সমাধান : ধরি 27° C তাপমাত্রায় বা 300 K তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি $E_a = 55\ kJmol^{-1} = 55000\ Jmol^{-1}$।

সুতরাং সক্রিয়ণ অণুর ভগ্নাংশ $= e^{-E_a/RT} = e^{-55000/(8{\cdot}314\times300)} = 2{\cdot}66 \times 10^{-10} = 266{\cdot}0 \times 10^{-12} = 266/10^{12}$

অর্থাৎ 10^{12} টি বিক্রিয়ক অণুর মধ্যে মাত্র 266 টি অণু সক্রিয়ণ শক্তি অর্জন করে বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে।
আবার 37° C তাপমাত্রায় ঐ বিক্রিয়ায় সক্রিয়ণ শক্তি প্রাপ্ত অণুর ভগ্নাংশ = $e^{-E_a/RT} = e^{-55000/(8\cdot314\times310)}$
$= 5\cdot46 \times 10^{-10} = 546\cdot0 \times 10^{-12} = 546/10^{12}$
অর্থাৎ 10^{12} টি বিক্রিয়ক অণুর মধ্যে মাত্র 546টি অণু সক্রিয়ণ শক্তি অর্জন করে বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে; যা 300 K তাপমাত্রায় বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী অণুর প্রায় 2·05 গুণ। সুতরাং এক্ষেত্রে প্রতি 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিক্রিয়ার হার প্রায় 2·05 গুণ বৃদ্ধি পায়।

বিক্রিয়ার গতির উপর চাপের প্রভাব (Affect of Pressure on the Rate of Reaction)

বিক্রিয়ক পদার্থ কঠিন বা তরল হলে ঐ বিক্রিয়ার গতির উপর চাপের তেমন কোনো প্রভাব নেই। তবে বিক্রিয়ক যদি গ্যাসীয় হয় অথবা একটি বিক্রিয়ক গ্যাস ও অপর বিক্রিয়ক কঠিন বা তরল হয় তা হলে চাপ বৃদ্ধির সাথে সাথে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি পায়। কারণ চাপ বৃদ্ধিতে গ্যাসের আয়তন সংকুচিত হয়। এতে একক আয়তনে গ্যাসের অণুর সংখ্যা বৃদ্ধি পায় অর্থাৎ ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায়। ফলে বিক্রিয়ক সংঘর্ষ হার বৃদ্ধি পায়। তাই বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি পায়।
এক্ষেত্রে নিচের পরীক্ষাটি সম্পন্ন করুন।

চিত্র- ৩.২

উপরের চিত্রের অনুরূপে CO_2 গ্যাস প্রস্তুত করে একটি ইঞ্জেকশনের সিরিঞ্জের সাহায্যে সিলিন্ডারের চুনের পানির উপর কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাস সংগ্রহ করি। পরে সিলিন্ডারের মধ্যে পিস্টন নিয়ে আস্তে চাপ প্রয়োগ করলে দেখা যাবে চুনের পানি ঘোলা হচ্ছে। পিস্টনের উপর চাপ যত বাড়ানো যায় চুনের পানি তত দ্রুত ও বেশি পরিমাণে ঘোলা হয়।

সার-সংক্ষেপ :

- **সক্রিয়ণ শক্তি :** যে পরিমাণ শক্তি অর্জন করে বিক্রিয়ক অণু বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে তাকে সক্রিয়ন শক্তি বলা হয়।
- **আরহেনিয়াস সমীকরণ :** বিজ্ঞানী আরহেনিয়াস বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক, তাপমাত্রা ও সক্রিয়ণ শক্তির মধ্যকার সম্পর্কের একটি সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন, যা আরহেনিয়াস সমীকরণ নামে পরিচিত।
- কোনো বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি E_a, কেলভিন তাপমাত্রা T বৃদ্ধির সাথে বিক্রিয়া হারের Exponential বৃদ্ধির সম্পর্ক হচ্ছে– বিক্রিয়ার হার $\propto e^{-E_a/RT}$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.৩

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। স্থির তাপমাত্রায় গ্যাসীয় ধারার বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে চাপের বৃদ্ধির ফলে বিক্রিয়ায় হারের বৃদ্ধি ঘটে কেন?
(ক) বেশির ভাগ গ্যাসীয় কণা সক্রিয়ন শক্তির মানকে অতিক্রম করে
(খ) গ্যাসীয় কণাগুলো পরিভ্রমণের ক্ষেত্রে অধিক জায়গা পায়
(গ) কণাগুলো দ্রুত গতিতে পরিভ্রমণ করে
(ঘ) গ্যাসীয় কণাগুলোর মধ্যে সংঘর্ষ সংখ্যা খুব দ্রুত বৃদ্ধি ঘটে

২। $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$; $\Delta H = -92{\cdot}38$ kJ; বিক্রিয়াটিতে তাপ প্রয়োগ করলে উৎপাদন হ্রাস পায় কেন?
(ক) বিক্রিয়া সামনের দিকে অগ্রসর হয়
(খ) বিক্রিয়াটি পশ্চাৎমুখী হয়
(গ) বিক্রিয়াটি তাপহারী ফলে প্রয়োগকৃত তাপ শোষণ করে
(ঘ) প্রয়োগকৃত তাপ শোষণের জন্য বিক্রিয়াটি পশ্চাৎমুখী হয়

৩। তাপোৎপাদী গ্যাসীয় উভমুখী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে তাপমাত্রা বাড়ালে কেমন পরিবর্তন ঘটবে–
(ক) বিক্রিয়াটি সম্মুখদিকে অগ্রসর হবে (খ) বিক্রিয়াটি পশ্চাৎমুখী হবে
(গ) বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় থাকবে (ঘ) বিক্রিয়াটির সাম্যবস্থা বিনষ্ট হবে

৪। $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ সাম্যাবস্থায় Cl_2 এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করলে–
i. PCl_5 এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পাবে
ii. K_p এর মান পরিবর্তিত হবে
iii. সাম্যাবস্থা বাম দিকে স্থানান্তরিত হবে
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

পাঠ-৫.৪ বিক্রিয়ার গতি ও প্রভাবক

উদ্দেশ্য

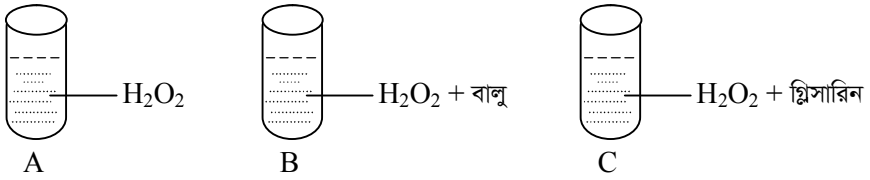
এ পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা-

- প্রভাবক সম্পর্কে ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- প্রভাবকের শ্রেণি বিভাগ করতে পারবেন।
- বিক্রিয়ার গতির উপর প্রভাবকের প্রভাব বর্ণনা করতে পারবেন।

মুখ্য শব্দ	প্রভাবক, অটো প্রভাবক, আবিষ্ট প্রভাবক, প্রভাক বিষ।

প্রভাবক ও এর প্রকারভেদ (Catalyst and Its Classification)

প্রথমে হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড টেস্টটিউবে (A) নিয়ে উত্তপ্ত করুন। অতঃপর অপর একটি টেস্টটিউবে (B) একই পরিমাণ হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড নিয়ে তাতে একটু বালু মিশিয়ে উত্তপ্ত করুন। এবার তৃতীয় আরেকটি টেস্টটিউবে একই পরিমাণ হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড নিয়ে তাতে কয়েক ফোঁটা গ্লিসারিন মিশিয়ে উত্তপ্ত করুন।



চিত্র-৪.১

A টেস্টটিউবে হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড (H_2O_2) খুব ধীরে বিয়োজিত হয়। B টেস্টটিউবে H_2O_2 দ্রুত বিয়োজিত হয়। এক্ষেত্রে বালু বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি করে। আবার C টেস্টটিউবে বিয়োজন সবচেয়ে ধীরে হয়। কারণ এক্ষেত্রে গ্লিসারিন বিক্রিয়ার গতি হ্রাস করে।

$$2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$$

উপরের উদাহরণগুলোতে বালু ও গ্লিসারিন প্রভাবক হিসেবে কাজ করে। বিক্রিয়া শেষে বালু ও গ্লিসারিন ভর, ধর্ম ও সংযুক্তিতে অপরিবর্তিত থাকে।

যেসব বিক্রিয়া খুব দ্রুত সংঘটিত হয় অনেক সময় সেসব বিক্রিয়ার গতি হ্রাস করার প্রয়োজন হয়। আবার যেসব বিক্রিয়া খুব ধীরে সংঘটিত হয় অনেক সময় উৎপাদন বৃদ্ধির জন্য সেসব বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি করার প্রয়োজন হয়।

এক্ষেত্রে **বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য যেসব পদার্থ ব্যবহার করা হয় এবং ভর ও সংযুক্তিতে যারা অপরিবর্তিত থাকে তাদেরকে প্রভাবক বলে। প্রভাবক দ্বারা বিক্রিয়ার গতি হ্রাস-বৃদ্ধি করার প্রক্রিয়াকে প্রভাবন (Catalysis) বলে।**

বৈশিষ্ট্য :

১। প্রভাবক কোনো বিক্রিয়াকে প্রভাবিত করার সময় বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে আবার নাও পারে। তবে প্রভাবন শেষে প্রভাবক ভর, ধর্ম, গঠন ও সংযুক্তিতে অপরিবর্তিত থাকে।

২। কোনো বিক্রিয়ায় প্রভাবক হিসেবে খুব সামান্য পরিমাণে প্রভাবক পদার্থ ব্যবহার করা হয়।

৩। প্রভাবক পদার্থ বিক্রিয়া প্রভাবিত করলেও বিক্রিয়া শুরু করতে পারে না। আবার উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় অবস্থানও পরিবর্তন করতে পারে না।

৪। কোনো নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার প্রভাবকও নির্দিষ্ট অর্থাৎ যেকোনো প্রভাবক যেকোনো বিক্রিয়াকে প্রভাবিত করতে পারে না।

৫। প্রভাবক সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি হ্রাস বা বৃদ্ধি ঘটিয়ে বিক্রিয়ার বিকল্প পথ সৃষ্টি করে।

প্রভাবকের শ্রেণিবিভাগ (Classification of Catalyst)

প্রভাবনের প্রকৃতির উপর ভিত্তি করে প্রভাবক চার প্রকার। যথা–

(ক) ধনাত্মক প্রভাবক : কোনো প্রভাবক যখন কোনো বিক্রিয়ার হারকে বৃদ্ধি করে তখন ঐ প্রভাবককে **ধনাত্মক প্রভাবক** বলে। যেমন– পটাশিয়াম ক্লোরেটের তাপীয় বিযোজনের ক্ষেত্রে MnO_2 ধনাত্মক প্রভাবক হিসেবে কাজ করে।

$$2KClO_3 + [MnO_2] \longrightarrow 2KCl + 3O_2 + [MnO_2]$$

(খ) ঋণাত্মক প্রভাবক : যে প্রভাবক বিক্রিয়ার হার হ্রাস করে তাকে **ঋণাত্মক প্রভাবক** বলে। যেমন– সোডিয়াম সালফাইটের সাথে অক্সিজেনের বিক্রিয়ায় গ্লিসারিন ঋণাত্মক প্রভাবক হিসেবে কাজ করে। এক্ষেত্রে প্রভাবক বিক্রিয়কের সাথে যুক্ত হয়ে এমন যৌগ উৎপন্ন করে যার সক্রিয়তা কম বা সহজে বিয়োজিত হয় না বা অন্য বিক্রিয়কের সাথে সহজে বিক্রিয়া করে না।

$$Na_2SO_3 + O_2 + [\text{গ্লিসারিন}] \longrightarrow Na_2SO_4$$

(গ) স্ব-প্রভাবক : কিছু কিছু রাসায়নিক বিক্রিয়া প্রথমে ধীরে ঘটলেও পরে ক্রমান্বয়ে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি পায়। কারণ বিক্রিয়ায় উৎপন্ন কোনো একটি উৎপাদ ঐ বিক্রিয়ার প্রভাবক হিসেবে কাজ করে। এই প্রভাবককে **স্ব-প্রভাবক** বলে।

অক্সালিক এসিড দ্রবণকে $KMnO_4$ দ্বারা টাইট্রেশনের সময় সালফিউরিক এসিডযুক্ত অক্সালিক এসিড দ্রবণে ফোঁটার ফোঁটায় $KMnO_4$ যোগ করা হয়। এক্ষেত্রে প্রথমদিকে $KMnO_4$ বর্ণ ধীরে ধীরে লুপ্ত হয়। কিন্তু কিছুক্ষণ পর এই বর্ণ দ্রুত নষ্ট হতে থাকে। কারণ বিক্রিয়ায় উৎপন্ন ম্যাঙ্গানাস আয়ন (Mn^{2+}) স্ব-প্রভাবকরূপে কাজ করে।

$$HOOC - COOH + H_2SO_4 + KMnO_4 \longrightarrow K_2SO_4 + MnSO_4 + CO_2 + H_2O$$

(ঘ) আবিষ্ট প্রভাবক : একটি বিক্রিয়কের প্রভাবে যখন অপর কোনো বিক্রিয়কের বিক্রিয়া প্রভাবিত হয় তখন প্রভাবক বিক্রিয়কটিকে **আবিষ্ট প্রভাবক** বলে। যেমন- সোডিয়াম আর্সেনাইট দ্রবণ অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয় না। তবে সোডিয়ামে সালফাইট ও সোডিয়াম আর্সেনাইট দ্রবণের মিশ্রণের মধ্যে বায়ু চালনা করলে উভয়েই জারিত হয়। এক্ষেত্রে সোডিয়াম আর্সেনাইটের জারণের ক্ষেত্রে সোডিয়াম সালফাইট আবিষ্ট প্রভাবক হিসেবে কাজ করে।

$$2Na_2SO_3 + O_2 \longrightarrow 2Na_2SO_4$$
$$Na_2AsO_3 + O_2 \longrightarrow \text{বিক্রিয়া করে না}$$
$$Na_2SO_3 + Na_3A_sO_3 + O_2 \longrightarrow Na_2SO_4 + Na_3AsO_4$$

সমসত্ত্ব প্রভাবক ও অসমসত্ত্ব প্রভাবক (Homogeneous and Heterogeneous catalyst)

আবার বিক্রিয়কসমূহের ভৌত অবস্থা ও প্রভাবকের ভৌত অবস্থার উপর নির্ভর করে প্রভাবক দুই প্রকার। যথা–

(ক) সমসত্ত্ব প্রভাবক (Homogeneous Catalyst) : যে বিক্রিয়ায় প্রভাবকসহ বিক্রিয়ক ও উৎপাদসমূহ একই ভৌত অবস্থায় থাকে তাকে সমসত্ত্ব প্রভাবন ক্রিয়া বলে এবং উপস্থিত প্রভাবকটিকে সমসত্ত্ব প্রভাবক বলে।

যদি A ও B দুটি বিক্রিয়ক এবং C প্রভাবক ও উৎপাদ P হয়, এগুলো ভৌত অবস্থার হলে সমসত্ত্ব প্রভাবন বিক্রিয়াটি নিম্নরূপে লেখা যায়–

$$A(g) + B(g) + [C(g)] \longrightarrow P(g) \text{ [ধরি সবগুলো গ্যাসীয় অবস্থায় আছে]}$$

বিক্রিয়ার কৌশল :

এক্ষেত্রে প্রভাবক বিক্রিয়কের সাথে যুক্ত হয়ে প্রথমে একটি অন্তর্বর্তী যৌগ গঠন করে। পরে অন্তর্বর্তী জটিল যৌগটি বিয়োজিত হয়ে বা অপর বিক্রিয়কের সাথে বিক্রিয়া করে উৎপাদ গঠন করে এবং প্রভাবক মুক্ত হয়। এ কৌশলটিকে **অন্তর্বর্তী যৌগ গঠন তত্ত্ব** বলে।

উপরের সাধারণ বিক্রিয়াটির কৌশল নিম্নরূপ :

$$\text{(i) } A + C \longrightarrow AC \text{ (অন্তর্বর্তী অস্থায়ী জটিল যৌগ)}$$
$$\text{(ii) } AC + B \longrightarrow P + C$$

উদাহরণ :

১। চেম্বার পদ্ধতিতে সালফিউরিক এসিড প্রস্তুতির ক্ষেত্রে নাইট্রিক অ-াইড প্রভাবকের উপস্থিতিতে বায়ুর অ-িজেন দ্বারা সালফার ডাইঅ-াইডের জারণ।

$$2SO_2 + O_2 + [NO] \longrightarrow 2SO_3 + [NO]$$

কৌশল : $2NO + O_2 \longrightarrow 2NO_2$

$$2NO_2 + 2SO_2 \longrightarrow 2SO_3 + 2NO$$

২। **নাইট্রিক অক্সাইডের উপস্থিতিতে ওজোন স্তরের ওজোন বিয়োজিত হয়ে অক্সিজেনে পরিণত হয়।**

$$2O_3 + NO \longrightarrow 3O_2$$

কৌশল : $NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$

$$NO_2 + O_3 \longrightarrow NO + 2O_2$$

[উল্লেখ্য সুপারসনিক বিমান, নিউক্লিয়ার বিক্রিয়া, ঝড়ের সময় বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গের কারণে বায়ুমণ্ডলে NO উৎপন্ন হয়।]

(খ) অসমসত্ত্ব (Heterogeneous Catalyst) : যে বিক্রিয়ায় প্রভাবকসহ বিক্রিয়ক ও উৎপাদসমূহ ভিন্ন ভৌত অবস্থায় থাকে তাকে অসমসত্ত্ব প্রভাবন ক্রিয়া বলে এবং উপস্থিত প্রভাবকটিকে অসমসত্ত্ব প্রভাবক বলে। এক্ষেত্রে সাধারণ গ্যাস বা তরল বিক্রিয়ক কঠিন প্রভাবকের পৃষ্ঠতলে পরিশোষণের মাধ্যমে বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে।

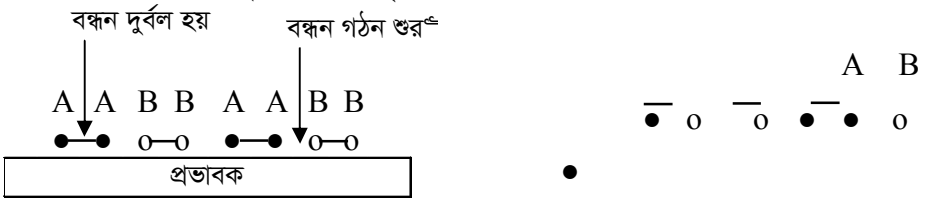
সাধারণ অসমসত্ত্ব প্রভাবন বিক্রিয়া নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায় :

$$A_2(g) + B_2(g) + [C(s)] \longrightarrow 2AB(g) + [C(s)]$$

প্রভাবক (সংযোজন বিক্রিয়া]

অথবা, $AB(l) + [C(s)] \longrightarrow A(g) + B(l) + [C(s)]$ [বিয়োজন]

কৌশল : এক্ষেত্রে প্রথমে বিক্রিয়কসমূহ প্রভাবকের পৃষ্ঠতলে অধিশোষিত হয়।



ফলে প্রভাবক পৃষ্ঠতল ও বিক্রিয়ক অণুর মধ্যে এক প্রকার দুর্বল বন্ধন গঠন করে। প্রকৃতপক্ষে প্রভাবক পৃষ্ঠতলের এক বা একাধিক সক্রিয়স্থানের পরমাণুগুলো ও বিক্রিয়ক অণু সক্রিয়িত জটিল যৌগ গঠন করে। উক্ত সক্রিয়িত যৌগগুলো পৃষ্ঠতলে কিছুক্ষণ পরিশোষিত থেকে পরে বিয়োজিত হয়ে উৎপাদ গঠন করে।

উদাহরণ : $2SO_2(g) + O_2(g) + [Pt] \longrightarrow 2SO_3(g) + [Pt]$

$$3H_2(g) + N_2(g) + [Fe_2O_3] \longrightarrow 2NH_3(g) + [Fe_2O_3]$$

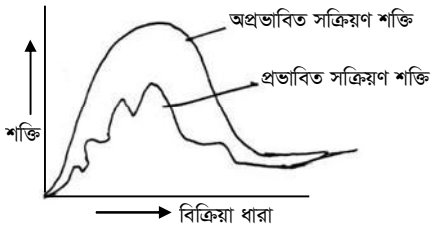
প্রভাবক বিষ ও প্রভাবক সহায়ক (Catalyst Poison and Promotor) : কিছু পদার্থ প্রভাবকের প্রভাবন ক্রিয়া নষ্ট বা হ্রাস করে। এদেরকে প্রভাবক বিষ বলে। যেমন– SO_2-এর জারণ বিক্রিয়ায় Pt প্রভাবক হিসেবে কাজ করে। Pt-এর সাথে সামান্য পরিমাণ As_2O_3 যোগ করলে Pt-এর প্রভাবন ক্রিয়া বন্ধ হয়ে যায়। এক্ষেত্রে As_2O_3 প্রভাবক বিষ হিসেবে কাজ করে। প্রভাবকের পৃষ্ঠতলের সক্রিয় স্থানগুলোতে প্রভাবক বিষ দৃঢ়ভাবে অধিশোষিত হওয়ায় বিক্রিয়ক অণু প্রভাবক পৃষ্ঠতলে অধিশোষিত হতে পারে না। ফলে প্রভাবকের প্রভাবন ক্রিয়া নষ্ট হয়।

আবার, যে সকল রাসায়নিক পদার্থের উপস্থিতি প্রভাবকের প্রভাবন ক্ষমতা বৃদ্ধি করে তাদেরকে প্রভাবক সহায়ক বলে। যেমন– হেবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদনের ক্ষেত্রে Mo বা KOH প্রভাবক লৌহচূর্ণের প্রভাবন ক্ষমতা বৃদ্ধি করে। সুতরাং Mo ধাতু বা KOH এক্ষেত্রে প্রভাবক সহায়ক।

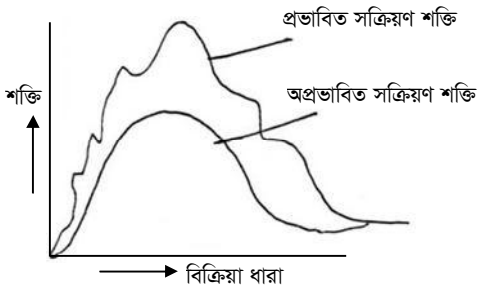
বিক্রিয়ার গতির উপর প্রভাবকের প্রভাব (Affect of Catalyst on the Rate of Reaction)

আমরা জানি, প্রভাবক বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি বা হ্রাস করে। যেসব প্রভাবক বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি করে তাদের ক্ষেত্রে প্রথম বিক্রিয়ক ও প্রভাবকের মধ্যে সংযোগের মাধ্যমে যে মধ্যবর্তী জটিল যৌগ বা **সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগ** সৃষ্টি হয় তার সক্রিয়তা বিক্রিয়কসমূহের সক্রিয়তা অপেক্ষা বেশি। ফলে তা অন্য বিক্রিয়কের সাথে সহজে বিক্রিয়া করে বা বিয়োজিত হয়ে উৎপাদে পরিণত হয়। অর্থাৎ প্রভাবক বিক্রিয়া ঘটার জন্য একটি সহজ বিকল্প পথ সৃষ্টি করে। এ বিকল্প পথে বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি হ্রাস পায়। ফলে বিক্রিয়ক অণুসমূহ সহজে সক্রিয়ণ শক্তি অর্জন করতে পারে বলে বিক্রিয়ার হার বাড়ে।

অপরদিকে, গঠিত মধ্যবর্তী বা সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগের সক্রিয়তা অনেক কম হলে তা অপর বিক্রিয়কের সাথে সহজে বিক্রিয়া করে না বা সহজে বিয়োজিত হয় না। ফলে বিক্রিয়ার বিকল্প পথটি দুরূহ। এ বিকল্প পথে সক্রিয়ণ শক্তি বৃদ্ধি পায়। ফলে বিক্রিয়ক অণুসমূহের পক্ষে সক্রিয়ণ শক্তি অর্জন কঠিন হয়ে পড়ে। তাই বিক্রিয়ার হার হ্রাস পায়।



চিত্র : ৪.২ (ক)



চিত্র : ৪.২ (খ)

শিক্ষার্থীর কাজ	H_2O_2 এর বিয়োজন হার গ্লিসারিন হ্রাস করলেও বালু বৃদ্ধি করে কেন? বিশ্লেষণ করুন।

সার-সংক্ষেপ :

- **প্রভাবক :** বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য যেসব পদার্থ ব্যবহার করা হয় এবং ভর ও সংযুক্তিতে যারা অপরিবর্তিত থাকে তাদেরকে প্রভাবক বলে।
- **প্রভাবন :** প্রভাবক দ্বারা বিক্রিয়ার গতি হ্রাস-বৃদ্ধি করার প্রক্রিয়াকে প্রভাবন (Catalysis) বলে।
- **ধনাত্মক প্রভাবক :** কোনো প্রভাবক যখন কোনো বিক্রিয়ার হারকে বৃদ্ধি করে তখন ঐ প্রভাবককে **ধনাত্মক প্রভাবক** বলে।
- **ঋণাত্মক প্রভাবক :** যে প্রভাবক বিক্রিয়ার হার হ্রাস করে তাকে **ঋণাত্মক প্রভাবক** বলে।
- **স্ব-প্রভাবক :** কিছু কিছু রাসায়নিক বিক্রিয়া প্রথমে ধীরে ঘটলেও পরে ক্রমান্বয়ে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি পায়। কারণ বিক্রিয়ায় উৎপন্ন কোনো একটি উৎপাদ ঐ বিক্রিয়ার প্রভাবক হিসেবে কাজ করে। এই প্রভাবককে **স্ব-প্রভাবক** বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.৪

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। বিক্রিয়ার শেষে প্রভাবকের ভর–
(ক) পরিবর্তিত হয় (খ) আংশিক পরিবর্তিত হয়
(গ) স্থির থাকে (ঘ) হ্রাস ঘটে

২। কোনটি ধনাত্মক প্রভাবক?
(ক) V_2O_5 (খ) গ্লিসারিন
(গ) MnO_2 (ঘ) As_2O_3

৩। $2SO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g)$; এ বিক্রিয়াটিতে-
i. প্রভাবক Pt?
ii. প্রভাবক বিষ As_2O_3
iii. V_2O_5 প্রভাবকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি পায়
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

পাঠ-৫.৫ রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা-

- ভর-ক্রিয়া সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- রাসায়নিক সাম্যাবস্থায় ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- সাম্যাবস্থায় রাসায়নিক বিক্রিয়া গতিশীল তা প্রমাণ করতে পারবেন।
- রাসায়নিক সাম্যাবস্থায় বৈশিষ্ট্য বর্ণনা করতে পারবেন।

মুখ্য শব্দ	সক্রিয় ভর, সম্মুখ বিক্রিয়া, পশ্চাৎ বিক্রিয়া, সাম্যের স্থায়িত্ব, প্রশমিত, সাম্যাঙ্ক।

ভরক্রিয়া সূত্র ও সূত্রের প্রয়োগ (Law of mass action and application of the law)

পরীক্ষার মাধ্যমে দেখা যায় যে, কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিবেগ বিক্রিয়ক পদার্থের পরিমাণের উপর নির্ভর করে। অর্থাৎ বিক্রিয়কের সক্রিয় ভরের উপর নির্ভর করে। বিক্রিয়ক পদার্থ একাধিক হলে বিক্রিয়ার গতিবেগ প্রতিটি বিক্রিয়কের সক্রিয় ভরের উপর নির্ভর করে। বিক্রিয়কের সক্রিয় ভর যত বেশি হয় বিক্রিয়ার গতিবেগ তত অধিক হয়। বিক্রিয়কের সক্রিয় ভর কম হলে বিক্রিয়ার গতিবেগও কম হয়। উভমুখী বিক্রিয়া পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার গতিবেগের ক্ষেত্রেও একই বিষয় প্রযোজ্য হয়।

বিজ্ঞানী জি. ডব্লিউ. গুল্ডবার্গ (G. W. Guldberg) ও পি, ভাগে (P. waage) রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিবেগ সংক্রান্ত একটি সূত্র প্রতিষ্ঠিত করেন যা ভরক্রিয়া সূত্র নামে পরিচিত।

"নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো বিশেষ মুহূর্তে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়ক পদার্থগুলোর প্রতিটির সক্রিয় ভরের সমানুপাতিক।"

সক্রিয় ভর : কোনো বিক্রিয়কের সক্রিয় ভর বলতে সাধারণভাবে বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রাকে বোঝায়। মোলার ঘনমাত্রাকে মোল লিটার$^{-১}$ বা গ্রাম-অণু লিটার$^{-১}$ এককে প্রকাশ করা হয়। উপাদানের সক্রিয় ভরকে বিভিন্নভাবে প্রকাশ করা যায়। যেমন–

i. দ্রবণের ক্ষেত্রে বিক্রিয়কগুলোর সক্রিয় ভর হবে এদের নিজ নিজ মোলার ঘনমাত্রার সমান।
ii. গ্যাস মিশ্রণে কোনো উপাদানের সক্রিয় ভরকে এই উপাদানের আংশিক চাপের সাহায্যে সাধারণত প্রকাশ করা হয়।
iii. বিশুদ্ধ কঠিনের সক্রিয় ভরকে সব সময় একক ধরা হয়।

ভরক্রিয়া সূত্রকে যদি গাণিতিকভাবে প্রকাশ করা হয় তবে সেক্ষেত্রে অতি সাধারণ সমীকরণ–

মনে করি, A ও B দুটি বিক্রিয়কের প্রতিটির একটি করে অণু বিক্রিয়া করে উৎপাদ C ও D এর একটি করে অণু উৎপন্ন করে। সেক্ষেত্রে রাসায়নিক সমীকরণটি–

$$A + B \longrightarrow C + D$$

বিক্রিয়ার কোনো এক বিশেষ মুহূর্তে A ও B এর সক্রিয় ভর যথাক্রমে [A] ও [B]। সুতরাং ভরক্রিয়া সূত্রানুসারে কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় এই মুহূর্তে বিক্রিয়ার হার $R \propto [A]$ যখন [B] স্থির এবং $R \propto [B]$ যখন [A] স্থির।

$\therefore R \propto [A] \times [B]$. যখন [A] ও [B] উভয়েই পরিবর্তনশীল।

বা, $R = k [A] \times [B]$

এখানে k = বিক্রিয়ার বেগ ধ্রুবক বা হার ধ্রুবক।

নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী উপাদানগুলোর প্রত্যেকের সক্রিয় ভর এক একক হলে বিক্রিয়াটির যে হার হয় তাকে ওই তাপমাত্রায় ওই রাসায়নিক বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক বলা হয়।

উভমুখী বিক্রিয়ার সম্মুখ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো বিশেষ মুহূর্তে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়ক উপাদানগুলোর প্রত্যেকের সক্রিয় ভরের সমানুপাতিক। একইভাবে পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো বিশেষ মুহূর্তে পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার উৎপাদ পদার্থগুলোর প্রত্যেকের সক্রিয় ভরের সমানুপাতিক হয়। একটি সাধারণ উভমুখী বিক্রিয়া

$A + B \rightleftharpoons C + D$

এ উভমুখী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিক্রিয়াটির কোনো এক বিশেষ মুহূর্তে A ও B বিক্রিয়ক দুটির সক্রিয় ভর যথাক্রমে [A] ও [B] এবং C ও D উৎপাদ দুটির সক্রিয় ভর [C] ও [D]। যদি ওই বিশেষ মুহূর্তে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার R_f এবং পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার R_b হয়। সুতরাং ভরক্রিয়া সূত্রানুসারে

সম্মুখ বিক্রিয়ার হার, $R_f \propto [A] \times [B]$.

বা, $R_f = k_f [A] \times [B]$.

পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার, $R_b \propto [C] \times [D]$.

বা, $R_b = k_b [C] \times [D]$.

এখানে k_f হলো সম্মুখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক এবং k_b হলো পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক।

ভরক্রিয়া সূত্রের প্রয়োগ দ্বারা সাম্য ধ্রুবক নির্ণয়

মনে করি, $A + B \rightleftharpoons C + D$ একটি সাধারণ উভমুখী বিক্রিয়া।

বিক্রিয়ার শুরুতে বিক্রিয়ক A ও B এর ঘনমাত্রা সবচেয়ে বেশি এবং উৎপাদ C ও D এর ঘনমাত্রা শূন্য। ফলে বিক্রিয়ার শুরুতে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার সবচেয়ে বেশি এবং পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার শূন্য হয়। সম্মুখ বিক্রিয়ার হার সবচেয়ে বেশি হওয়ায় সময়ের সাথে A ও B এর ঘনমাত্রা কমতে থাকে এবং C ও D এর ঘনমাত্রা বাড়তে থাকে। A ও B এর ঘনমাত্রা কমতে থাকায় সময়ের সাথে সাথে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার কমতে থাকে এবং C ও D এর ঘনমাত্রা বাড়তে থাকায় পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার বাড়তে থাকে। এভাবে বিক্রিয়াটি চলতে থাকলে এমন একটা সময় আসে যখন A ও B এর ঘনমাত্রা কমে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার এবং C ও D এর ঘনমাত্রা বেড়ে পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার সমান হয়ে যায়। এ অবস্থাকে উভমুখী বিক্রিয়াটির রাসায়নিক সাম্যাবস্থা বলে।

উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় A ও B বিক্রিয়ক উপাদান দুটির সক্রিয় ভর যথাক্রমে [A] ও [B] এবং C ও D উৎপাদ উপাদান দুটির সক্রিয় ভর যথাক্রমে [C] ও [D]।

সাম্যাবস্থায় সম্মুখ বিক্রিয়ার হার, R_f = পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার, R_b.

ভরক্রিয়া সূত্র প্রয়োগ করে, সম্মুখ বিক্রিয়ার হার, $R_f \propto [A] \times [B]$

বা, $R_f = k_f [A] \times [B]$ ---------- (i)

এখানে, k_f = সম্মুখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক।

পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার, $R_b \propto [C] \times [D]$

বা, $R_b = k_b [C] \times [D]$ ---------- (ii)

এখানে, k_b = পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক,

উভমুখী বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় $R_f = R_b$

$\therefore k_f [A] \times [B] = k_b [C] \times [D]$

বা, $\frac{k_f}{k_b} = \frac{[C] \times [D]}{[A] \times [B]}$

কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় K_f ও K_b ধ্রুবক রাশি। সুতরাং $\frac{k_f}{k_b}$ অনুপাতটি ও অবশ্যই একটি ধ্রুবক রাশি হবে। এ রাশিকে K দ্বারা প্রকাশ করলে,

$$K = \frac{k_f}{k_b} = \frac{[C] \times [D]}{[A] \times [B]}$$

$$\therefore K = \frac{[C] \times [D]}{[A] \times [B]} \text{ ---------- (iii)}$$

iii নং সমীকরণটি হলো $A + B \rightleftharpoons C + D$. এ উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়াটির ভরক্রিয়া সূত্রের গাণিতিক রূপ।

আবার, $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ এ ধরনের একটি উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবক, $K = \frac{[C]^c \times [D]^d}{[A]^a \times [B]^b}$

বিভিন্ন উভমুখী সাম্য বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের বিভিন্ন ভৌত অবস্থার উপর ভিত্তিকরে বিভিন্নভাবে সাম্য ধ্রুবককে প্রকাশ করা হয়। এক্ষেত্রে সাম্য ধ্রুবকগুলোকে তিনভাবে প্রকাশ করা হয়। এরা হলো K_c, K_p ও K_x।

সাম্য ধ্রুবক K_c এর প্রকাশ

i. কোনো উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ককে উৎপাদের সক্রিয় ভরকে এদের মোলার ঘনমাত্রা প্রকাশ করলে যে সাম্য ধ্রুবক পাওয়া যায় তাকে K_c দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

ii. কোনো উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের সক্রিয় ভরকে এদের আংশিক চাপ দ্বারা প্রকাশ করলে যে সাম্য ধ্রুবক পাওয়া যায় তাকে K_p দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

iii. কোনো উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের সক্রিয় ভরকে এদের মোল ভগ্নাংশ দ্বারা প্রকাশ করে যে সাম্য ধ্রুবক পাওয়া যায় তাকে K_x দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

তবে গ্যাসীয় উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবককে K_c, ও K_p ও K_x এ তিনভাবেই প্রকাশ করা যায়। দ্রবণে দ্রবীভূত উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবককে শুধু K_c ও K_x এ দুইভাবে প্রকাশ করা যায়।

উদাহরণের মাধ্যমে বিষয়টির ব্যাখ্যা দেওয়া যাক।

মনে করি, কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একটি উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় অবস্থান করছে।

এ উভমুখী বিক্রিয়ার সমীকরণটি–

$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$

যদি সাম্যাবস্থায় A, B, C ও D এর মোলার ঘনমাত্রা অর্থাৎ সক্রিয় ভর যথাক্রমে [A], [B], [C] ও [D] হয়।

$\therefore$ বিক্রিয়াটির সাম্য ধ্রুবক, $K_c = \frac{[C]^c \times [D]^d}{[A]^a \times [B]^b}$

এবার মনে করি, কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একটি গ্যাসীয় উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় অবস্থান করছে।

এ উভমুখী বিক্রিয়ার সমীকরণটি–

$aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$.

সাম্যাবস্থায় A, B, C ও D এর আংশিক চাপ যথাক্রমে P_A, P_B, B_C ও P_D.

$\therefore$ বিক্রিয়াটির সাম্য ধ্রুবক, $K_p = \frac{P_C{}^c \times P_D{}^d}{P_A{}^a \times P_B{}^b}$

পুনরায় মনে করি, কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একটি উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় অবস্থান করছে। এ উভমুখী বিক্রিয়ার সমীকরণটি–

$aA+ bB \rightleftharpoons cC + dD$

সাম্যাবস্থায় A, B, C ও D এর মোল ভগ্নাংশ যথাক্রমে X_A, X_B, X_C ও X_D

$\therefore$ সাম্য বিক্রিয়াটির সাম্য ধ্রুবক, $K_x = \frac{X_C{}^c \times X_D{}^d}{X_A{}^a \times X_B{}^b}$

প্রকৃতপক্ষে $aA+ bB \rightleftharpoons cC + dD$. এ উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে–

সাম্য ধ্রুবক, $K_c = \frac{k_f(c)}{k_b(c)} = \frac{[C]^c \times [D]^d}{[A]^a \times [B]^b}$

এখানে, $k_f(c)$ হলো সম্মুখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক এবং $k_b(c)$ হলো পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক।

সাম্য ধ্রুবক, $K_p = \frac{k_f(p)}{k_b(p)} = \frac{P_C{}^c \times P_D{}^d}{P_A{}^a \times P_B{}^b}$

এখানে, $k_f(p)$ হলো সম্মুখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক এবং $k_b(p)$ হলো পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক।

সাম্য ধ্রুবক, $K_x = \frac{k_f(x)}{k_b(x)} = \frac{X_C{}^c \times X_D{}^d}{X_A{}^a \times X_B{}^b}$

এখানে, $k_f(x)$ হলো সম্মুখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক এবং $k_b(x)$ হলো পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক।

এ আলোচনার আলোকে সাম্য ধ্রুবককে দুইভাবে সংজ্ঞায়িত করা যায়।

প্রথমত :

কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রার কোনো উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় পূর্ণ বিক্রিয়ার সমীকরণ অনুযায়ী অণুসংখ্যার ঘাতে উন্নীত প্রতিটি উৎপাদের সক্রিয় ভরের গুণফল এবং পূর্ণ সমীকরণ অনুযায়ী অণুসংখ্যার ঘাতে উন্নীত প্রতিটি বিক্রিয়কের সক্রিয় ভরের গুণফলের অনুপাত একটি ধ্রুবক সংখ্যা। এ ধ্রুবক সংখ্যাকে ওই নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়াটির সাম্য ধ্রুবক বলে।

দ্বিতীয়ভাবে প্রকাশ করলে :

কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রার কোনো উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় সম্মুখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের অনুপাত একটি ধ্রুবক সংখ্যা। এ ধ্রুবক সংখ্যাকে ওই নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ওই উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবক বলে।

রাসায়নিক সাম্যাবস্থার বৈশিষ্ট্য (Characteristic of Chemical Equilibrium)

i. স্থায়িত্ব :

সাম্যাবস্থায় বাহ্যিক শর্তগুলো যেমন তাপমাত্রা, চাপ, প্রভাবক ইত্যাদি অপরিবর্তিত থাকলে সময়ের সাথে সাম্যাবস্থার কোনো পরিবর্তন ঘটে না। অর্থাৎ বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে।

ii. সাম্যাবস্থায় শর্তের পরিবর্তন :

বাহ্যিক শর্তগুলোর যেমন তাপমাত্রা, চাপ, প্রভাবক এর মধ্যে যেকোনো একটি বা একের অধিক শর্তের পরিবর্তন ঘটলে উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার স্থায়িত্ব বিঘ্নিত হয়। ফলে সময়ের সাথে সাথে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রার পরিবর্তন ঘটে।

iii. সাম্যাবস্থার গতিশীলতা :

কোনো উভমুখী বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় উপনীত হলেও বিক্রিয়াটি থেমে থাকে না। সম্মুখ বিক্রিয়া ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়া সমহারে অনবরত একই সাথে চলতে থাকে। ফলে সময়ের সাথে সাথে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রার কোনো পরিবর্তন হয় না।

iv. বিক্রিয়ায় অসম্পূর্ণতা :

কোনো উভমুখী বিক্রিয়ার সম্মুখ বিক্রিয়ায় হার ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার যখন সমান হয় তখন বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় উপনীত হয়। সাম্যাবস্থায় সম্মুখ বা পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার কোনো একটি যদি 100% সম্পূর্ণ হয়, তবে সাম্যাবস্থার কোনো অস্তিত্বই থাকবে না।

v. সাম্যাবস্থায় উপনীত হওয়ার সময় :

বিভিন্ন উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ায় সাম্যাবস্থায় উপনীত হওয়ার ক্ষেত্রে বিভিন্ন সময়ের প্রয়োজন হয়। উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার সম্মুখ বিক্রিয়ার গতিবেগ ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার গতিবেগ তথা বিক্রিয়ার হার বেশি হলে ওই উভমুখী বিক্রিয়াটি খুব দ্রুত সাম্যাবস্থায় উপনীত হয়। আর যদি সম্মুখ বিক্রিয়ার গতিবেগ ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার কম হয় তবে সেক্ষেত্রে উভমুখী বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় উপনীত হতে অধিক সময়ের প্রয়োজন হয়।

vi. সাম্যাবস্থাকে উভয়দিক থেকে অর্জন করা যায় :

কোনো একটি নির্দিষ্ট উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিক্রিয়ক নিয়ে বিক্রিয়া শুরু করলে যে সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয়, উৎপাদ নিয়ে বিক্রিয়া শুরু করলে ওই একই সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয়।

উদাহরণস্বরূপ : 25°C তাপমাত্রায় সমমোল $CH_3—CH_2OH$ ও $CH_3—COOH$ এর মিশ্রণ নিয়ে বিক্রিয়া ঘটিয়ে বিক্রিয়াটিকে সাম্যাবস্থায় নিয়ে দেখা যায় 65% $CH_3—COOCH_2—CH_3$ ও 65% H_2O উৎপন্ন হয়। 35% $CH_3—CH_2OH$ ও 35% $CH_3—COOH$ অবিকৃত অবস্থায় থেকে যায়।

$$CH_3—COOH + CH_3—CH_2OH \rightleftharpoons CH_3—COOCH_2—CH_3 + H_2O$$

বিক্রিয়ার পূর্বে :	100%	100%	0	0
সাম্যাবস্থায় :	35%	35%	65%	65%

পুনরায় একই 25°C তাপমাত্রায় সমমোল পরিমাণ $CH_3—COOCH_2—CH_3$ ও H_2O নিয়ে বিক্রিয়া ঘটালে দেখা যায় সাম্যাবস্থায় 35% $CH_3—COOH$ ও 35% $CH_3—CH_2OH$ উৎপন্ন হয়। সাম্যাবস্থায় 65% $CH_3—COOCH_2—CH_3$ ও 65% H_2O অবিকৃত অবস্থায় থেকে যায়।

$$CH_3—COOCH_2—CH_3 + H_2O \rightleftharpoons CH_3—COOH + CH_3—CH_2OH.$$

বিক্রিয়ার পূর্বে :	100%	100%	0	0
সাম্যাবস্থায় :	65%	65%	35%	35%

সুতরাং বাহ্যিক শর্ত ঠিক রেখে যেকোনো উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়া বামদিক বা ডানদিক যেকোনো দিক থেকে শুরু করলে বিক্রিয়াটি একই সাম্যাবস্থায় উপনীত হয়।

(vii) প্রভাবকের প্রভাব :

প্রভাবকের উপস্থিতিতে কোনো উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা দ্রুত প্রতিষ্ঠিত হয়। নির্দিষ্ট বাহ্যিক শর্তে প্রভাবকের অনুপস্থিতিতে কোনো উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রা যদি একই শর্তে প্রভাবকের উপস্থিতিতে ওই একই উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রা একই থাকে তবে প্রথম ক্ষেত্রে বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় উপনীত হতে যে সময়ের প্রয়োজন হয় প্রভাবকের উপস্থিতিতে অপেক্ষাকৃত কম সময়ের প্রয়োজন হয়।

সার-সংক্ষেপ :

- **ভর ক্রিয়ার সূত্র :** কোনো নির্দিষ্ট সময়ে যেকোনো বিক্রিয়ার হার ঐ সময়ে উপস্থিত বিক্রিয়কগুলোর সক্রিয় ভরের সমানুপাতিক।
- **রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা :** উভমুখী বিক্রিয়ার সম্মুখ ও পশ্চাৎ বিক্রিয়ার হার পরস্পর সমান হলে ঐ অবস্থাকে রাসায়নিক সাম্যাবস্থা বলে। সাম্যাবস্থা তাপ, চাপ, ঘনমাত্রার সাথে পরিবর্তিত হলেও সাম্যধ্রুবক K_P ও K_C শুধু তাপমাত্রার সাথে পরিবর্তিত হয়।
- **লা-শাতেলিয়ের নীতি :** কোনো সাম্যাবস্থার তাপমাত্রা, চাপ বা ঘনমাত্রা পবিবর্তন করলে সাম্যাবস্থার অবস্থান ডানে বা বামে এমনভাবে পরিবর্তিত হবে যেন তাপ, চাপ ও ঘনমাত্রার পরিবর্তনের ফলাফল প্রশমিত হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.৫

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। সঠিক উত্তরগুলো চিহ্নিত করুন :

একটি বদ্ধ পাত্রে $NaNO_3$কে উত্তপ্ত করলে O_2 গ্যাস এবং কঠিন $NaNO_2$ উৎপন্ন হয়।

$2NaNO_3(s) \rightleftharpoons 2NaNO_2(s) + O_{2(g)}$. সাম্যাবস্থায়–

(ক) তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে সম্মুখ বিক্রিয়ার গতিবেগ বেড়ে যাবে

(খ) $NaNO_2$ যোগ করলে পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়াটি অধিক হারে ঘটবে

(গ) $NaNO_2$ যোগ করলে সম্মুখ বিক্রিয়াটি অধিক হারে ঘটবে

(ঘ) চাপ বৃদ্ধি করলে পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি পাবে

২। সঠিক উত্তরটি চিহ্নিত করুন :

(ক) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ $K_p = K_c(RT)^{-2}$

(খ) $2HgO(s) \rightleftharpoons Hg(L) + O_2(g)$ $K_p = Kc(RT)^{-2}$

(গ) $2AB_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g) + B_2(g)$ $K_p = K_c$

(ঘ) $3Fe(s) + 4H_2O(g) \rightleftharpoons Fe_3O_4(s) + 4H_2(g)$ $K_p = K_c$

৩। সঠিক উত্তরটি চিহ্নিত করুন :

(ক) $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$ K_c এর একক $mol^{-2}.L^2$

(খ) $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ K_c এর একক $mol^{-1}.L$

(গ) $\frac{1}{2}N_2(g) + \frac{3}{2}H_2(g) \rightleftharpoons NH_3(g)$ K_c এর একক $mol^{-1}.L$

(ঘ) $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ K_c এর একক $mol.L^{-1}$

পাঠ-৫.৬ রাসায়নিক বিক্রিয়ায় তাপের পরিবর্তন

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা-

- উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক K_p ও K_c গাণিতিক ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- K_p ও K_c এর মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করতে পারবেন।
- K_p ও K_c এর তাৎপর্য বর্ণনা করতে পারবেন।

মুখ্য শব্দ	সমাণুপাতিক ধ্রুবক, সাম্যাঙ্ক, আংশিক চাপ, মোল সংখ্যা, একক।

বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক (K_c ও K_p (Equilibrium Constants, K_c and K_p)

কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রা ও চাপে কোনো বিক্রিয়ার উৎপাদসমূহের সক্রিয় ভরের গুণফল (মোলার ঘনমাত্রা বা আংশিক চাপ) এবং বিক্রিয়কসমূহের সক্রিয় ভরের গুণফলের অনুপাত নির্দিষ্ট বা ধ্রুবক হয়। এ ধ্রুবককে **সাম্যধ্রুবক বা সাম্যাঙ্ক** বলে।

এক্ষেত্রে সক্রিয় ভর মোলার ঘনমাত্রায় প্রকাশ করলে সাম্যধ্রুবককে K_c দ্বারা এবং সক্রিয় ভর আংশিক চাপে প্রকাশ করলে সাম্যধ্রুবককে K_p দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

K_c এর রাশিমালা প্রতিপাদন

মনে করি, একটি সাধারণ উভমুখী বিক্রিয়া নিম্নরূপ :

$$aA + bB + ... \rightleftharpoons cC + dD + ... \quad (i)$$

ভর ক্রিয়া সূত্রানুসারে,

$$r_f \propto C_A^a \cdot C_B^b ..... \quad \text{এবং} \quad r_b \propto C_C^c \cdot C_D^d .....$$

$$\text{বা, } r_f = k_1 C_A^a \cdot C_B^b ..... \quad \text{বা, } r_b = k_2 C_C^c \cdot C_D^d .....$$

এক্ষেত্রে C_A, C_B, C_C ও C_D যথাক্রমে A, B, C ও D এর মোলার ঘনমাত্রা এবং k_1 ও k_2 সমানুপাতিক ধ্রুবক। রাসায়নিক সাম্যাবস্থার ক্ষেত্রে, সম্মুখ বিক্রিয়ার হার = পশ্চাৎ বিক্রিয়ার হার

$$\text{বা, } r_f = r_b$$

$$\text{বা } k_1 C_A^a \cdot C_B^b ..... = k_2 C_C^c C_D^d .....$$

$$\text{বা } \frac{k_1}{k_2} = \frac{C_C^c \cdot C_D^d .....}{C_A^a \cdot C_B^b .....}$$

$$\text{বা } K_c = \frac{C_C^c \cdot C_D^d .....}{C_A^a \cdot C_B^b .....} ..... \quad (ii) \quad [\text{ধ্রুবকের অনুপাত } \frac{k_1}{k_2} = \text{ধ্রুবক } K_c]$$

এটিই মোলার সাম্যধ্রুবক K_c গাণিতিক সমীকরণ।

শিক্ষার্থীর কাজ	$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$ বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক K_c এর সমীকরণ নির্ণয় কর।

K_p এর রাশিমালা প্রতিপাদন

যদি (i) নং বিক্রিয়ার A, B, C ও D এর আংশিক চাপ যথাক্রমে P_A, P_B, P_C ও P_D হয় তা হলে

ভর ক্রিয়ার সূত্রানুসারে, $r_f \propto P_A^a \cdot P_B^b .....$ এবং $r_b \propto P_C^c \cdot P_D^d .....$

$\text{বা, } r_f \propto k_1 P_A^a \cdot P_B^b .....$ $\text{বা, } r_b \propto k_2 P_C^c \cdot P_C^d .....$

সুতরাং সাম্যাবস্থায়, $r_f = r_b$

বা, $k_1 P_A^a \cdot P_B^b \ldots\ldots = k_2 P_C^c \cdot P_D^d \ldots\ldots$

বা, $\frac{k_1}{k_2} = \frac{P_C^c \cdot P_D^d \ldots\ldots}{P_A^a \cdot P_B^b \ldots\ldots} = K_p$ [$\because \frac{k_1}{k_2} = K_p$]

এটিই K_p এর গাণিতিক রাশিমালা।

K_c ও K_p এ সম্পর্ক (Relation between K_c and K_p)

আমরা জানি, একটি গ্যাস মিশ্রণে কোনো একটি গ্যাসের আংশিক চাপ P, তাপমাত্রা T ও পাত্রের দখলকৃত আয়তন V হলে, আদর্শ গ্যাস সমীকরণ অনুসারে,

$PV = nRT$

বা, $P = \frac{n}{V} RT$

বা, $P = CRT$ [C = মোলার ঘনমাত্রা]

$\therefore$ (i) নং বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে,

$P_A = C_A RT$, $P_B = C_B RT$.....

$P_C = C_C RT$, $P_D = C_D RT$.....

(iii) নং সমীকরণে এই মানগুলো বসিয়ে পাই,

$$K_p = \frac{(C_C RT)^c \cdot (C_D RT)^d \ldots\ldots}{(CaRT)^a \cdot (C_B RT)^b \ldots\ldots}$$

বা, $K_p = \frac{C_C^c \cdot C_D^d \ldots\ldots}{C_A^a \cdot C_B^b \ldots\ldots} \times \frac{(RT)^{c+d+\ldots\ldots}}{(RT)^{a+b+\ldots\ldots}}$

বা, $K_p = K_c \times (RT)^{(c+d+\ldots) - (a+b+\ldots)}$ [(ii) নং , দ্বারা]

বা, $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}(g)$ .....(iv)

এক্ষেত্রে $\Delta n = (c + d + \ldots\ldots) - (a + b + \ldots\ldots)$

= উৎপাদের মোল সংখ্যা – বিক্রিয়কের মোল সংখ্যা

(iv) নং সমীকরণটি K_c ও K_p এর সম্পর্ক প্রকাশকারী সমীকরণ।

শিক্ষার্থীর কাজ	১। $PCl_5 \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ বিক্রিয়াটির K_p এর রাশিমালা প্রতিপাদন করুন। এই বিক্রিয়ার K_c ও K_p এর সম্পর্ক কিরূপ? ব্যাখ্যা কর। ২। $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ এই বিক্রিয়ার K_p ও K_c এর রাশিমালা প্রতিপাদন করুন। বিক্রিয়াটির K_c ও K_p এর সম্পর্ক কিরূপ? ব্যাখ্যা করুন।

K_c ও K_p এর তাৎপর্য (Significance of K_p and K_c)

(i) কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার সাম্যাঙ্ক নির্দিষ্ট সুতরাং তাপমাত্রা পরিবর্তনের সাথে সাম্যাঙ্কের মান পরিবর্তিত হবে।

(ii) বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রা ও চাপ পরিবর্তন করলে সাম্যাঙ্কের মানের কোনো পরিবর্তন ঘটে না যদিও সাম্যাবস্থার পরিবর্তন ঘটে।

(iii) কোনো কোনো বিক্রিয়ার K_c ও K_p একই হয়, আবার কোনো কোনো বিক্রিয়ার জন্য K_c ও K_p এর মান ভিন্ন হয়।

(iv) কোনো বিক্রিয়া কোনো নির্দিষ্ট শর্তে কতটুকু সম্পন্ন হবে তা সাম্যধ্রুবকের মান থেকে বোঝা যায়। সাম্যধ্রুবকের মান যত বেশি হবে তার দ্বারা বোঝাবে বিক্রিয়ক থেকে তত বেশি পরিমাণে উৎপাদ তৈরি হয়েছে। অপরদিকে সাম্যাঙ্কের মান খুব কম হলে বুঝতে হবে উৎপাদ তেমন তৈরি হয়নি। তাই শিল্পোৎপাদনের জন্য K_c ও K_p এর ক্ষুদ্রতর মান লাভজনক উৎপাদনের অনুকূলে নয়।

(v) কোনো বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক K_c বা K_p এর মান কখনো শূন্য বা অসীম হতে পারে না। যেমন– A, B, C ও D এর মোলার ঘনমাত্রা C_A, C_B, C_C ও C_D হলে,

$A + B \rightleftharpoons C + D$

বিক্রিয়াটির জন্য মোলার সাম্যাঙ্ক, $K_c = \frac{C_C \times C_D}{C_A \times C_B}$

(a) $K_c = 0$ হতে হলে (v) নং সমীকরণে C_C ও C_D এর মান শূন্য হতে হবে। অর্থাৎ $C_C \times C_D = 0$ হতে হবে। তা হলে $K_c = \frac{0}{C_A \times C_B} = 0$ হবে, কিন্তু কোনো বিক্রিয়ার উৎপাদ শূন্য হতে পারে না। তাই K_c এর মান কখনো শূন্য হতে পারে না।

(b) আবার $K_c = \infty$ হতে হলে $C_A \times C_B = 0$ হতে হবে তা হলে $K_c = \frac{C_C \times C_D}{0} = \infty$ হবে। কিন্তু উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় উৎপাদ থেকে বিক্রিয়ক উৎপন্ন হয়। তাই বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা শূন্য হতে পারে না এবং K_c এর মান কখনো অসীম হতে পারে না।

(vi) a. গ্যাসীয় বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের আংশিক চাপের একক atm হলে K_p-এর একক হবে $(atm)^{\Delta n}$।

b. দ্রবণের ক্ষেত্রে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রার একক $molL^{-1}$ হলে K_c-এর একক হবে $(molL^{-1})^{\Delta n}$।

c. বিক্রিয়ার $\Delta n = 0$ হলে সাম্য ধ্রুবকের কোনো একক থাকে না।

(vii) কোনো বিক্রিয়ার $\Delta n = 0$ হলে $K_p = K_c$ ও Δn ধনাত্মক হলে $K_p > K_c$ এবং Δn ঋণাত্মক হলে $K_p < K_c$ হয়।

সার-সংক্ষেপ :

- **সাম্যধ্রুবক :** বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় উৎপাদের সক্রিয় ভরের গুণফল ও বিক্রিয়কের সক্রিয় ভরের গুণফলের অনুপাতকে সাম্য ধ্রুবক বলা হয়।
- **সাম্যাবস্থা :** উভমুখী বিক্রিয়ায় যখন সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হার ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার সমান হয়, সে অবস্থাকে বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা বলে। সাম্যাবস্থা উভমুখী বিক্রিয়ার গতিশীল অবস্থা থাকে।
- **সক্রিয় ভর :** বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রা ও আংশিক চাপকে সক্রিয় ভর বলা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.৬

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। নিচের কোন সাম্য বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে $K_p = K_c$?

(ক) $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$ (খ) $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

(গ) $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ (ঘ) $3Fe(s) + 4H_2O(g) \rightleftharpoons Fe_3O_4(s) + 4H_2(g)$

২। উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবক K_p ও K_c এর মান নিচের কোনটি দ্বারা প্রভাবিত হয়?

(ক) বিক্রিয়কের প্রাথমিক ঘনমাত্রা (খ) চাপ (গ) তাপমাত্রা (ঘ) চাপ ও তাপমাত্রা

৩। $2A(g) + B(g) \rightleftharpoons 3L(g) + M(g)$ বিক্রিয়ার শুরুতে A ও B এর প্রতিটির 2 mol করে নেওয়া হলো। সাম্যাবস্থায় নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) [A] = [B] (খ) [A] > [B] (গ) [A] < [B] (ঘ) [A] = [L]

৪। সাম্যধ্রুবকের মানের পরিবর্তন ঘটে যদি–

(ক) তাপমাত্রা পরিবর্তিত হয় (খ) ঘনমাত্রা পরিবর্তিত হয়

(গ) চাপ পরিবর্তিত হয় (ঘ) সবগুলোই সঠিক

৫। কোন বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মোল সংখ্যা সমান হলে K এর একক কী হবে?

(ক) $mol\ L^{-1}$ (খ) $mol^{-1}L$ (গ) mol L (ঘ) একক থাকে না

৬। সাম্যধ্রুবক–

i. একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে

ii. তাপমাত্রা বাড়ালে বা কমালে পরিবর্তন হয় না

iii. এর মান থেকে কোনো বিক্রিয়া প্রদত্ত শর্ত অবস্থায় কতটুকু সম্পন্ন হবে তা বোঝা যায়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

পাঠ-৫.৭ বন্ধন শক্তি ও বিক্রিয়া তাপ

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা-

- বন্ধন শক্তি ও শক্তির তাৎপর্য ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- বিক্রিয়া তাপের ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- বন্ধন শক্তির সাহায্যে বিক্রিয়ার তাপ নির্ণয় করতে পারবেন।

মুখ্য শব্দ	বন্ধন শক্তি, এনথালপি, শক্তির নিত্যতা, শক্তির শোষণ, শক্তির বর্জন।

বন্ধন শক্তি ও বিক্রিয়া তাপ (Bond Energy and Heat of Reaction)

কোনো নির্দিষ্ট দুটি পরমাণু A ও B এর মধ্যকার বন্ধন A—B ভাঙতে শক্তি প্রয়োগ করতে হয়। কারণ A ও B পরমাণু দুটি একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি দ্বারা পরস্পরের সাথে আবদ্ধ। আবার A ও B পরমাণু দুটি পরস্পরের সাথে যুক্ত হয়ে A—B বন্ধন গঠন করতে তাপ শক্তি নির্গত হয়। কারণ বন্ধন গঠনকালে A ও B তাদের নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি ত্যাগ করে অপেক্ষাকৃত কম শক্তি সম্পন্ন A—B অণু গঠন করে। তাই কোনো নির্দিষ্ট বন্ধন গড়তে যে পরিমাণ শক্তি নির্গত হয় ঐ বন্ধনকে ভাঙতেও একই পরিমাণ শক্তি প্রয়োগ করতে হয়।

$$A(g) + B(g) \longrightarrow A - B(g) \quad ; \Delta H^\circ = -X \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$A—B(g) \longrightarrow A(g) + B(g) \quad ; \Delta H^\circ = +X \text{ kJ mol}^{-1}$$

সুতরাং কোনো গ্যাসীয় বিচ্ছিন্ন অণুর কোনো নির্দিষ্ট দুটি পরমাণুর মধ্যকার 1·0 মোল বন্ধন ভাঙতে যে পরিমাণ গড় শক্তি প্রয়োগ করতে হয় অথবা ঐ 1·0 মোল বন্ধন গড়তে যে পরিমাণ গড় শক্তি নির্গত হয় তাকে ঐ নির্দিষ্ট বন্ধনের **বন্ধন শক্তি** বলে।

নিচে বিভিন্ন বন্ধন শক্তির মান দেওয়া হলো :

বন্ধন	বন্ধন শক্তি $kJmol^{-1}$	বন্ধন	বন্ধন শক্তি $kJmol^{-1}$
H—H	435·5	O—H	463
Cl—Cl	243	H—Cl	433
C—C	344	H—Br	366
C=C	615	H—I	299
C≡C	812	N—H	391
O=O	498	C—Cl	328
C—H	431.5	C=O	724

উদাহরণ : CH_4 অণুর মধ্যে 4টি C—H বন্ধন আছে। এ চারটি C—H ভাঙ্গতে 4টি ধাপে যে শক্তির প্রয়োজন হয় তা নিম্নরূপ :

i. $$H—\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle H}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}—H(g) \longrightarrow H—\overset{\displaystyle H}{\underset{\displaystyle H}{\overset{|}{\underset{|}{C^{\bullet}}}}}(g) + H^{\bullet}(g) \quad ; \Delta H^\circ_{298K} = +426{\cdot}788 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

ii. $$H—\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle H}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}(g) \longrightarrow H—\overset{\displaystyle H}{\underset{\displaystyle \bullet}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}}(g)\ H^\circ(g) \ ; \Delta H^\circ_{298K} = +439{\cdot}32 \text{ kJ mol}^{-1}$$

iii. $H-\overset{H}{\overset{|}{\underset{\bullet}{C}}}\bullet\ (g) \longrightarrow H-\dot{\underset{\bullet}{C}}\bullet\ (g) + H^+(g)\ ;\ \Delta H°_{298k} = +451{\cdot}88\ kJ\ mol^-$

iv. $H-\dot{\underset{\bullet}{C}}\bullet\ (g) \longrightarrow \bullet\dot{\underset{\bullet}{C}}\bullet\ (g) + H^+\ (g)\ ;\ \Delta H°_{298k} = +347{\cdot}28\ kJ\ mol^{-1}$

$CH_4(g) \longrightarrow C(g) + 4H(g)\ ;\ \Delta H°_{298k} = 1665{\cdot}26\ kJ\ mol^{-1}$

$\therefore$ CH_4 অণুর গড় বন্ধন শক্তি $= 1665{\cdot}26 \div 4 = 416{\cdot}32\ Kj\ mol^{-1}$

বন্ধন শক্তির সাহায্যে বিক্রিয়ার তাপ নির্ণয় :

ভিন্ন ভিন্ন যৌগের কোনো নির্দিষ্ট বন্ধন ভাঙতে বা নির্দিষ্ট বন্ধন গড়তে একই পরিমাণ শক্তির শোষণ বা বর্জন হয়। কোনো বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কের বন্ধন ভেঙে উৎপাদের বন্ধন গঠিত হয়। বিক্রিয়ার উৎপাদসমূহের বন্ধন গড়তে যে শক্তির উদ্ভব হয়, তা থেকে বিক্রিয়কের বন্ধন ভাঙতে যে শক্তির শোষণ ঘটে তা বিয়োগ করলে যে শক্তি পাওয়া যায় তা-ই বিক্রিয়া তাপ। অর্থাৎ–

বিক্রিয়া তাপ = (উৎপাদসমূহের বন্ধন গড়তে প্রয়োজনীয় শক্তির সমষ্টি) – (বিক্রিয়কসমূহের বন্ধন ভাঙনের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তির সমষ্টি) ।

নিম্নের বিক্রিয়াটি বিবেচনা করি–

$$H_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2HCl(g)$$

এ বিক্রিয়ায় একটি H—H এবং একটি Cl—Cl বন্ধন ভেঙে দুটি H—Cl বন্ধনের সৃষ্টি হয়েছে। H—H, Cl—Cl এবং H—Cl-এর বন্ধন শক্তি যথাক্রমে 435·5, 243·0 এবং 433·0 kJ mol^{-1} হলে বিক্রিয়াটি বিক্রিয়া তাপ হবে নিম্নরূপ–

$$\Delta H = H_r - H_p$$
$$= [1 \times (H–H) + 1 \times (Cl—Cl)] - [2 \times (H—Cl)]$$
$$= (1 \times 435{\cdot}5 + 1 \times 243{\cdot}0) - 2 \times 433{\cdot}0 \quad = -187{\cdot}5\ kJ\ mol^{-1}$$

সার-সংক্ষেপ :

- **বন্ধন শক্তি :** বাষ্পীয় অবস্থায় পদার্থের অণুর নির্দিষ্ট দুটি পরমাণুর মধ্যস্থ একই প্রকার এক মোল বন্ধনকে ভেঙে পরমাণু বা আয়নে পরিণত করতে যে পরিমাণ গড় শক্তির প্রয়োজন হয়, তাকে সংশ্লিষ্ট বন্ধনের বন্ধন শক্তি বলা হয়।
- **বিক্রিয়া তাপ :** কোনো বিক্রিয়ার সমতাযুক্ত সমীকরণ মতে বিক্রিয়কসমূহের সংখ্যানুপাতিক মোল পরিমাণে সম্পূর্ণরূপে বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন বা শোষিত তাপের পরিমাণকে বিক্রিয়া তাপ বলা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.৭

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। 1.0 g mol পরিমাণ কোনো পদার্থ তার উপাদান মৌল হতে উৎপন্ন করতে যে পরিমাণ তাপশক্তির পরিবর্তন হয়, তাকে কী বলে?

(ক) দহন তাপ (খ) দ্রবণ তাপ (গ) সংগঠন তাপ (ঘ) অধঃক্ষেপণ তাপ

২। CH_4 এর বন্ধন শক্তি কত?

(ক) +1665.23 kJ/mole (খ) +416.31 kJ/mole (গ) +999.8 kJ/mole (ঘ) +461.13 kJ/mole

৩। সংগঠন বিক্রিয়া একটি–

(ক) তাপোৎপাদী বিক্রিয়া (খ) তাপহারী বিক্রিয়া (গ) তাপের কোন পরিবর্তন হয় না (ঘ) বিয়োজন বিক্রিয়া

৪। যেকোনো মৌলের গঠন এনথালপির মান কত?

(ক) এক joule (খ) একশত joule (গ) একহাজার joule (ঘ) শূন্য

পাঠ-৫.৮ প্রশমন তাপ

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা-

- তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপের ব্যাখ্যা দিতে পারবেন।
- এসিডের তীব্রতা ও ক্ষারের তীব্রতা পরিবর্তনের সাথে প্রশমন তাপের ভিন্নতা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

মুখ্য শব্দ	গ্রামতুল্য, বিয়োজিত, পূর্ণ প্রশমন, স্থিরমান।

প্রশমন তাপ: 25°C তাপমাত্রায় এসিড ও ক্ষারের বিক্রিয়ায় এক মোল পানি উৎপন্ন হওয়ার সময় যে পরিমাণ তাপের উদ্ভব ঘটে, তাকে প্রশমন তাপ বলা হয়। সব প্রশমন প্রক্রিয়াই তাপোৎপাদী বিক্রিয়া। কারণ প্রশমনের ক্ষেত্রে জলীয় দ্রবণে এসিডের হাইড্রোজেন আয়ন (H^+) তথা হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) ও ক্ষারের হাইড্রোক্সিল আয়ন (OH^-) যুক্ত হয়ে নিরপেক্ষ যৌগ পানি উৎপন্ন করে।

$H^+ + OH^- = H_2O$

$H_3O^+ + OH^- = 2H_2O$

উদাহরণস্বরূপ : 25°C তাপমাত্রায় এক মোল পরিমাণ লঘু HCl কে এক মোল লঘু NaOH দ্বারা প্রশমিত করার ক্ষেত্রে 57.34 kJ তাপ উৎপন্ন হয়। এ বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :

$HCl(aq) + NaOH\ (aq) \longrightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$

1 mol 1 mol 1 mol

এক্ষেত্রে প্রশমন তাপের মান, $\Delta H_{298K} = -57.34$ kJ

মৃদু এসিড ও তীব্র এসিড :

যে সব এসিড জলীয় দ্রবণে আংশিকভাবে বিয়োজিত হয় তাকে মৃদু এসিড বলা হয়। বিভিন্ন জৈব এসিড যেমন মিথানোয়িক এসিড (H—COOH), ইথানোয়িক এসিড (CH_3—COOH), প্রোপানোয়িক এসিড(CH_3—CH_2—COOH),, কার্বোনিক এসিড (H_2CO_3), নাইট্রাস এসিড (HNO_2), হাইড্রোসায়ানিক এসিড (HCN) প্রভৃতি মৃদু এসিডের উদাহরণ। এসব এসিডের বিয়োজনের ক্ষেত্রে উভমুখী চিহ্ন দ্বারা বিয়োজনকে প্রকাশ করা হয়।

$$CH_3—COOH(aq) \rightleftharpoons CH_3—COO^-(aq) + H^+$$

তীব্র এসিড জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণভাবে আয়নিত হয়। এদের বিয়োজনকে তীর চিহ্ন ($\rightarrow$) দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন– HCl, HNO_3, H_2SO_4 ইত্যাদি তীব্র এসিড।

$HCl(aq) \longrightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$

প্রকৃতপক্ষে কোনো এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক, Ka এর মান যত কম এসিডটি ততো কম শক্তিশালী বা মৃদু এসিড হয়। বিয়োজন ধ্রুবক, Ka এর মান যত বেশি হয় এসিডটি ততো বেশি শক্তিশালী বা তীব্র এসিড হয়।

বিয়োজন ধ্রুবক :

মনে করুন AB একটি মৃদু তড়িৎবিশ্লেষ্য। দ্রবণে AB এর বিয়োজন সাম্য নিম্নরূপ :

$$AB \rightleftharpoons A^+ + B^-$$

এ উভমুখী বিয়োজনে ভরক্রিয়া সূত্র প্রযোজ্য হয়। সুতরাং ভরক্রিয়া সূত্রানুসারে AB তড়িৎবিশ্লেষ্যের বিয়োজন পক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবক, $K = \frac{[A^+] \times [B^-]}{[AB]}$ সমীকরণ $[A^+]$, $[B^-]$ ও [AB] হলো সাম্যাবস্থায় A^+ ও B^- আয়ন এবং AB তড়িৎবিশ্লেষ্যের ঘনমাত্রা। সাম্যধ্রুবক, K কে মৃদু AB তড়িৎবিশ্লেষ্যের বিয়োজন ধ্রুবক বলা হয়। তাপমাত্রা পরিবর্তনের ফলে তড়িৎবিশ্লেষ্যের বিয়োজনের

পরিবর্তন ঘটে। ফলে তাপমাত্রা পরিবর্তনের ফলে বিয়োজন ধ্রুবক K এর মানেরও পরিবর্তন ঘটে। কিন্তু স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট তড়িৎবিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে K এর মান নির্দিষ্ট থাকে।

মৃদু ক্ষার ও তীব্র ক্ষার :

যেসব ক্ষার জলীয় দ্রবণে আংশিকভাবে বিয়োজিত হয় তাকে মৃদু ক্ষার বলা হয়। যেমন– NH_4OH, $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$, $Zn(OH)_2$ ইত্যাদি মৃদু ক্ষারের উদাহরণ । এসব ক্ষারের বিয়োজনের ক্ষেত্রে উভমুখী চিহ্ন দ্বারা বিয়োজনকে প্রকাশ করা হয়।

$$NH_4OH(aq) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$$

তীব্র ক্ষার জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণভাবে আয়নিত হয়। এদের বিয়োজনকে তীব্র চিহ্ন ($\rightarrow$) দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন– NaOH, KOH, $Ba(OH)_2$ ইত্যাদি তীব্র ক্ষারের উদাহরণ।

$$NaOH\ (aq) \longrightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq)$$

প্রকৃতপক্ষে কোনো ক্ষারের বিয়োজন ধ্রুবক, K_b এর মান যত কম ক্ষারটি ততো কম শক্তিশালী বা মৃদু ক্ষার হয়। বিয়োজন ধ্রুবক, K_b এর মান যত বেশি হয় ক্ষারটি ততো বেশি শক্তিশালী বা তীব্র ক্ষার হয়।

এসিড ও ক্ষারের বিক্রিয়ার প্রশমন তাপের মান :

এক গ্রাম তুল্য ভর পরিমাণ এসিডের লঘু দ্রবণকে এক তুল্য ভর পরিমাণ ক্ষারের লঘু দ্রবণ দ্বারা প্রশমিত করতে বিক্রিয়া সিস্টেমের যে তাপের পরিবর্তন ঘটে তাকে প্রশমন তাপ বলে।

তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের বিক্রিয়ার প্রশমনের ক্ষেত্রে প্রশমন তাপের মান সবসময় ধ্রুবক হয় এবং এর মান – 57·34 kJ বা –13·7 kCal। কারণ তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষার উভয়েই জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণভাবে আয়নিত হয়। ফলে এক গ্রাম তুল্য পরিমাণ তীব্র এসিড ক্ষরীয় দ্রবণে এক গ্রাম তুল্য পরিমাণ H^+ আয়ন তথা H_3O^+ আয়ন উৎপন্ন করে।

একইভাবে এক গ্রাম তুল্য পরিমাণ তীব্র ক্ষার জলীয় দ্রবণে এক গ্রাম তুল্য পরিমাণ OH^- আয়ন উৎপন্ন করে। এ এক গ্রাম তুল্য পরিমাণ H^+ আয়ন ও এক গ্রাম তুল্য পরিমাণ OH^- আয়ন যুক্ত হয়ে এক মোল পানি উৎপন্ন হতে 57·34 kJ তাপ উৎপন্ন হয়।

$H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O(l)$, $\Delta H = -57{\cdot}34$ kJ বা, $-13{\cdot}7$ kCal

$HCl(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$, $\Delta H = -57{\cdot}34$ kJ.
(এক গ্রাম তুল্য) (এক গ্রাম তুল্য)

$HNO_3(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow NaNO_3(aq) + H_2O(l)$, $\Delta H = -57{\cdot}34$ kJ
(এক গ্রাম তুল্য) (এক গ্রাম তুল্য)

তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষার তাদের লঘু জলীয় দ্রবণে 100 ভাগ আয়নিত অবস্থায় থাকে। যেমন : $HCl(aq) \longrightarrow H^+(aq) + Cl(aq)$ এবং $NaOH(aq) \longrightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq)$

তীব্র এসিড HCl ও তীব্র ক্ষার NaOH এর পরস্পরের মূল বিক্রিয়া হলো– $H^+ + Cl^- + Na^+ + OH^- \longrightarrow (Na^+ + Cl^-) + (H^+ + OH^-) \longrightarrow (Na^+(aq) + Cl^-(aq) + H_2O(l)$।

একটি এসিড – ক্ষারের মূল বিক্রিয়া হলো– $H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O(l)$।

সব তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষার অভিন্ন বিক্রিয়ার মাধ্যমেই পানি উৎপন্ন করে। যেহেতু সকল তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের মধ্যে একই বিক্রিয়া ঘটে। তাই সকল তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ ধ্রুবক হয়। এ তাপের মান – 57·34 kJ.mol$^-$

তীব্র এসিড HF ও তীব্র ক্ষার NaOH এর প্রশমন তাপের মান স্থির মানের চেয়ে কিছুটা বেশি হয়।

$HF(aq) + NaOH\ (aq) \longrightarrow H^+(aq) + F^-(aq) + Na^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow Na^+(aq) + F^-(aq) + H_2O(l)$

HF ও NaOH এর বিক্রিয়ায় উৎপন্ন লবণ NaF পানিতে আয়নিত অবস্থায় থাকে। F^- আয়নের আকার যথেষ্ট ছোট। F^- আয়নের চার্জ ঘনত্ব অন্যান্য আয়নের তুলনায় অপেক্ষাকৃত বেশি হওয়ায় F^- আয়নের সাথে দ্রাবক H_2O এর মধ্যে নতুন বন্ধনের সৃষ্টি হয়। ফলে তাপশক্তি নির্গত হয়।

এ মান 57·34 KJ mol^{-1} বৃদ্ধি পেয়ে প্রশমন তাপের মান দাড়ায় – 68·60 kJ.mol^{-1}।

দুর্বল এসিড $CH_3—COOH$ ও তীব্র ক্ষার NaOH এর প্রশমন তাপের মান –57·34 kJ.mol^{-1} স্থির থাকে না। কারণ তীব্র ক্ষার NaOH সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত হয়ে OH^- আয়ন দান করলেও দুর্বল $CH_3 – COOH$ আংশিকভাবে বিয়োজিত হয়।

তীব্র ক্ষার, $NaOH(aq) \longrightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq)$ (সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত)

দুর্বল এসিড, $CH_3—COOH(aq) \rightleftharpoons CH_3—COO^-(aq) + H^+(aq)$ (আংশিকভাবে বিয়োজিত)

ক্ষারের OH^- আয়ন এসিডের H^+ আয়নকে সম্পূর্ণ প্রশমিত করে, তখনই অবিয়োজিত $CH_3—COOH$ পুনরায় বিয়োজিত হয়ে H^+ আয়ন উৎপন্ন করে। $CH_3—COOH$ এর সম্পূর্ণ প্রশমিত না হওয়া পর্যন্ত $CH_3—COOH$ এর বিয়োজন চলতে থাকে। অবিয়োজিত $CH_3—COOH$ এর বিয়োজনের জন্য কিছু শক্তির প্রয়োজন হয়। এ তাপশক্তি পূর্বের উৎপন্ন তাপ – 57·34 kJ. mol^{-1} হতে আসে। পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণিত হয়েছে এ শোষিত তাপের মান 2·2 kJ. mol^{-1}. এ কারণে পূর্ণ প্রশমনের ক্ষেত্রে তাপের মান দাড়ায় $(–57·34 + 2·2) = –55·14$ kJ.mol^{-1}।

সার-সংক্ষেপ :

- **প্রশমন তাপ :** এক গ্রাম তুল্য ভর পরিমাণ এসিডের লঘু দ্রবণকে এক তুল্য ভর পরিমাণ ক্ষারের লঘু দ্রবণ দ্বারা প্রশমিত করতে বিক্রিয়া সিস্টেমের যে তাপের পরিবর্তন ঘটে তাকে প্রশমন তাপ বলা হয়।
- **মৃদু এসিড :** যে সব এসিড জলীয় দ্রবণে আংশিকভাবে বিয়োজিত হয় তাকে মৃদু এসিড বলা হয়। বিভিন্ন জৈব এসিড যেমন মিথানোয়িক এসিড (H—COOH), ইথানোয়িক এসিড ($CH_3—COOH$)।
- **তীব্র এসিড :** যে সব এসিড জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণভাবে আয়নিত হয় তাকে তীব্র এসিড বলে। এদের বিয়োজনকে তীর চিহ্ন ($\rightarrow$) দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন– HCl, HNO_3, H_2SO_4 ইত্যাদি তীব্র এসিড।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.৮

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। সাধারণ তাপমাত্রায় অর্থাৎ প্রমাণ অবস্থায় এসিড ও ক্ষারের বিক্রিয়ায় 1 mole পানি উৎপন্ন হতে যে পরিমাণ তাপের উদ্ভব ঘটে, তাকে কী বলে?

(ক) বিক্রিয়া তাপ (খ) প্রশমন তাপ (গ) কঠিন তাপ (ঘ) ল্যাটিস তাপ

২। HF ও NaOH প্রশমন তাপের মান স্থির মান থেকে–

(ক) – 57.34 kJ (খ) – 57.34 k cal (গ) – 55.14 kJ (ঘ) – 55.14 k cal

৩। যেসব অনার্দ্র লবণ অতি সহজেই পানির সাথে যুক্ত হয়ে হাইড্রেট গঠন করে, তারা পানিতে দ্রবীভূত হওয়ার সময়–

(ক) তাপ শোষণ করে (খ) তাপ উৎপন্ন করে (গ) তাপের কোনো পরিবর্তন ঘটায় না (ঘ) একটিও সঠিক নয়

৪। কোনটি পানিতে দ্রবীভূত হওয়ার সময় পানি উত্তপ্ত হয়?

(ক) KNO_3 (খ) অক্সালিক এসিড (গ) CaO (ঘ) $Ca(OH)_2$

৫। প্রশমন তাপের ΔH এর মান–

i. $HCl + NaOH; \Delta H = – 57.34$ kJ mol^{-1}

ii. $HCl + KOH; \Delta H = – 55.38$ kJ mol^{-1}

iii. $HF + NaOH; \Delta H = – 68.6$ kJ mol^{-1}

নিচের কোনটি সঠিক?

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

পাঠ-৫.৯ তাপ রাসায়নিক সূত্রাবলি

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা-

- ল্যাভয়সিয়ের সূত্র বর্ণনা করতে পারবেন।
- যৌগের গঠন তাপ ও বিয়োজন তাপের ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- হেসের তাপ সমষ্টিকরণ সূত্রের ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

মুখ্য শব্দ	ল্যাভয়সিয়ে, সংগঠন, বিয়োজন, হেস, বন্ধন ভাঙ্গন, বন্ধন সৃষ্টি।

ল্যাভয়সিয়ে ও হেসের সূত্র (Lavoisier and Hess's Laws)

শক্তির নিত্যতা সূত্রের উপর ভিত্তি করে তাপ রসায়নে বিক্রিয়ার এনথালপি পরিবর্তন ব্যাখ্যার জন্য দুটি সূত্র আছে। যেমন–

১। **ল্যাভয়সিয়ের সূত্র (Law of Lavoisier) :** ১৭৮০ সালে বিজ্ঞানী ল্যাভয়সিয়ে ও ল্যাপলাস সূত্রটি প্রকাশ করেন। এ সূত্রানুসারে, **"কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ এনথালপির পরিবর্তন ঘটে ঐ বিক্রিয়াটি বিপরীত দিকে সংঘটিত হলেও ঐ একই পরিমাণ এনথালপির পরিবর্তন ঘটে, তবে চিহ্ন বিপরীত হয়।"**

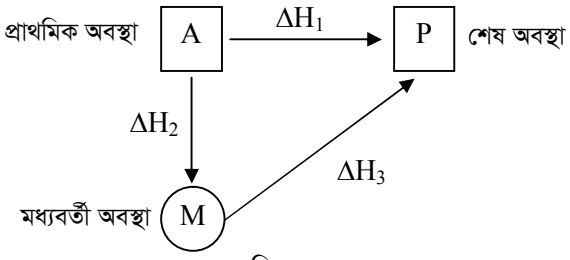
(i) $N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$; $\Delta H = -92{\cdot}2$ kJ
(ii) $2NH_3(g) \longrightarrow N_2(g) + 2H_2(g)$; $\Delta H = +92{\cdot}2$ kJ

উপরের উদাহরণে, (i) নং বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক N_2 ও $3H_2$ এর মোট বন্ধন শক্তি উৎপাদের, $2NH_3$ মোট বন্ধন শক্তি অপেক্ষা কম।

আমরা জানি, যেকোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া বন্ধন ভাঙন ও বন্ধন গঠনের মাধ্যমে ঘটে। এক্ষেত্রে বিক্রিয়কের বন্ধন ভাঙতে শক্তি প্রয়োজন হয় এবং উৎপাদের বন্ধন গঠনের সময় শক্তি নির্গত হয়। তাই (i) নং বিক্রিয়ার N_2 ও $3H_2$ এর মোট বন্ধন ভাঙতে প্রয়োজনীয় শক্তির চেয়ে $2NH_3$ এর বন্ধন গঠনে নির্গত শক্তি বেশি হওয়ায় বিক্রিয়াটিতে $-92{\cdot}2$ kJ তাপ উৎপন্ন হয়। অপরদিকে (ii) নং বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক $2NH_3$ এর বন্ধন ভাঙতে প্রয়োজনীয় শক্তি উৎপাদ N_2 ও $3H_2$ এর মোট বন্ধন গঠনে নির্গত শক্তির চেয়ে বেশি হওয়ায় বিক্রিয়ায় তাপ শোষিত হয়।

সুতরাং কোনো যৌগের গঠন তাপ তার বিয়োজন তাপের সমান কিন্তু বিপরীত।

২। **হেসের সূত্র (Law of Hess) :** ১৮৪০ সালে বিজ্ঞানী জি.এইচ. হেস তাপ রসায়নের যে সূত্রটি প্রকাশ করেন তা হেসের তাপ সমষ্টিকরণ সূত্র নামে পরিচিত। সূত্রটি হচ্ছে- **"যদি কোনো বিক্রিয়ার বিক্রিয়ক ও উৎপাদ স্থির থাকে (তাদের ভৌত অবস্থাও একই) তবে বিক্রিয়াটি এক বা একাধিক ধাপে সংঘটিত হোক না কেন মোট তাপ শক্তি পরিবর্তন সর্বদা একই হবে।"**
অর্থাৎ কোনো বিক্রিয়ার তাপের পরিবর্তন ঐ বিক্রিয়ার প্রারম্ভিক অবস্থা ও শেষ অবস্থার উপর নির্ভর করে। বিক্রিয়ার পদ্ধতি বা বিক্রিয়া কীভাবে সম্পন্ন করা হলো তার উপর নির্ভর করে না। যেমন– কোনো একটি বিক্রিয়ক A এবং উৎপাদ P। এক্ষেত্রে বিক্রিয়ক A সরাসরি P-তে পরিণত হতে পারে। আবার A হতে উৎপাদ B গঠন করতে পারে যা পরবর্তীতে P-তে পরিণত হতে পারে।
প্রথম পথে $A \longrightarrow P$ এক ধাপে সম্পন্ন হয় এবং তাপের পরিবর্তন ΔH_1।



চিত্র-৯.১

দ্বিতীয় পথের প্রথম ধাপে A ⟶ M বিক্রিয়ার জন্য ΔH_2 পরিমাণ তাপের পরিবর্তন ঘটে। আবার দ্বিতীয় ধাপে M ⟶ P এর জন্য ΔH_3 পরিমাণ তাপের পরিবর্তন ঘটে। সুতরাং দ্বিতীয় পথে মোট তাপের পরিবর্তন $\Delta H_2 + \Delta H_3$।

১ম পথ : $A \xrightarrow{\Delta H_1} P$

২য় পথ : $A \xrightarrow{\Delta H_2} M \xrightarrow{\Delta H_3} P$

হেসের সূত্রানুসারে, $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$

ল্যাভয়সিয়ে ও হেসের সূত্র প্রয়োগ করে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয়

সাধারণত যেসব রাসায়নিক বিক্রিয়ার তাপ সরাসরি পরীক্ষার মাধ্যমে নির্ণয় করা যায় না তাদের ক্ষেত্রে হেসের সূত্র ব্যবহার করে পরোক্ষভাবে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় করা যায়। যেমন, ধীরগতিসম্পন্ন বা অসম্পূর্ণ বিক্রিয়াসমূহের বিক্রিয়া এনথালপি নির্ণয় করতে হেসের সূত্র প্রয়োগ করা হয়। মাটির নিচে গ্রাফাইট কার্বন ধীরে ধীরে হীরকে পরিণত হতে দীর্ঘ দিন সময় লাগে। এক্ষেত্রে পরীক্ষার মাধ্যমে গ্রাফাইট থেকে হীরকে পরিণত হওয়ার এই ধীরগতির বিক্রিয়ার তাপের পরিবর্তন নির্ণয় করা যায় না। কিন্তু নিচের বিক্রিয়ার সাহায্যে পরোক্ষভাবে গ্রাফাইট কার্বন হীরকে পরিণত হওয়ায় তাপের পরিবর্তন নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ :

(i) C (গ্রাফাইট) + $O_2(g)$ ⟶ $CO_2(g)$; $\Delta H°(g) = -393{\cdot}5$ kJ mol^{-1}

(ii) C (হীরক) + $O_2(g)$ ⟶ $CO_2(g)$; $\Delta H°(D) = -395{\cdot}5$ kJ mol^{-1}

(i) থেকে (ii) বিয়োগ করে,

C (গ্রাফাইট) ⟶ C (হীরক) ; $\Delta H°(g) = (-393{\cdot}5 + 395{\cdot}5)$ kJ mol^{-1}

অর্থাৎ গ্রাফাইট কার্বনকে হীরকে পরিণত করতে + 2 kJ mol^{-1} শক্তি শোষিত হয়।

গঠন তাপ (Heat of Formation) :

প্রমাণ অবস্থায় কোনো যৌগের উপাদান মৌল সমূহ থেকে ঐ যৌগের এক মোল উৎপাদনকালে তাপের যে পরিবর্তন ঘটে তাকে যৌগটির প্রমাণ গঠন তাপ বলা হয়। প্রমাণ অবস্থা বলতে 25°C ও 1 atm চাপকে বুঝায় এবং গঠন তাপকে H_f দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এর একক কিলোজুল প্রতি মোল বা $kJmol^{-1}$।

উদাহরণ : কার্বন ডাই-সালফাইড, কার্বন ও সালফারের দহন তাপের মান যথাক্রমে $-1109{\cdot}2$ kJ mol^{-1}, $-393{\cdot}5$ kJ mol^{-1} ও $-297{\cdot}4$ kJ mol^{-1}। কার্বন ডাই-সালফাইডের গঠন তাপ হিসাব করুন।

সমাধান :

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াসমূহ হচ্ছে–

i) $CS_2(s) + 3O_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + 2SO_2(g)$; $\Delta H_1^\circ = -1109{\cdot}2$ kJ mol^{-1}

ii) $C(s) + O_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g)$; $\Delta H_2^\circ = -393{\cdot}5$ kJ mol^{-1}

iii) $S(s) + O_2(g) \rightleftharpoons SO_2(g)$; $\Delta H_3^\circ = -297{\cdot}4$ kJ mol^{-1}

এক্ষেত্রে, কার্বনের দহন তাপ = কার্বন ডাইঅক্সাইডের গঠন তাপ = $-393{\cdot}5$ kJ mol^{-1}

সালফারের দহন তাপ = সালফার ডাইঅক্সাইডের গঠন তাপ = $-297{\cdot}4$ kJ mol^{-1}

ধরি, কার্বন ডাইসালফাইডের গঠন তাপ = X kJ mol^{-1}

(i) নং বিক্রিয়ার এনথালপি,

ΔH_1 = (উৎপাদের মোট গঠন এনথালপি) – (বিক্রিয়কের মোট গঠন এনথালপি)

বা, $\Delta H_1 = (\Delta H_2^\circ + 2\Delta H_3^\circ) - (\Delta H_{cs_2}^\circ + \Delta H_{O_2}^\circ)$

বা, $-1109{\cdot}2 = \{-393{\cdot}5 + 2(-297{\cdot}4)\} - (x + 0)$

বা, $x = (1109{\cdot}2 - 988{\cdot}3)$ kJ mol^{-1}

$= 120{\cdot}9$ kJ mol^{-1}

∴ মৌলের গঠন এনথালপি শূন্য।

∴ $\Delta H_{O_2}^\circ = 0$

উত্তর : কার্বন ডাইসালফাইডের গঠন তাপ $120{\cdot}9$ kJ mol^{-1}।

সার-সংক্ষেপ :

- **ল্যাভয়সিয়ে সূত্র :** কোনো বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ তাপের পরিবর্তন ঘটে, ঐ বিক্রিয়াটি বিপরীত দিকে ঘটলে একই পরিমাণ তাপের পরিবর্তন ঘটে থাকে; তবে তাপ পরিবর্তনের চিহ্ন বিপরীত হয়।
- **হেসের সূত্র :** যদি কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার প্রারম্ভিক ও শেষ অবস্থা একই থাকে, তবে বিক্রিয়াটি এক বা একাধিক ধাপে সংঘটিত হোক না কেন প্রতিক্ষেত্রে বিক্রিয়া তাপ সমান থাকবে।
- **গঠন তাপ :** প্রমাণ অবস্থায় কোনো যৌগের উপাদান মৌল সমূহ থেকে ঐ যৌগের এক মোল উৎপাদনকালে তাপের যে পরিবর্তন ঘটে তাকে যৌগটির প্রমাণ গঠন তাপ বলা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.৯

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। তাপ রসায়নের সূত্র কয়টি?

(ক) ১টি (খ) ২টি (গ) ৩টি (ঘ) ৪টি

২। "কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ এনথালটিপর পরিবর্তন ঘটে ঐ বিক্রিয়াটি বিপরীত দিকে সংঘটিত হলেও ঐ একই পরিমাণ এনথালপির পরিবতন ঘটে থাকে, তবে চিহ্ন বিপরীত হয়।"– এটি কার সূত্র হিসাবে পরিচিত?

(ক) ল্যাভয়সিয়ের সূত্র (খ) হেসের সূত্র (গ) ল্যাপলাসের সূত্র (ঘ) ল্যাভয়সিয়ের ও ল্যাপলাসের সূত্র

৩। রাসায়নিক বিক্রিয়ায় তাপ পরিবর্তন বা এনথালপি কীসের ওপর নির্ভর করে?

(ক) বিক্রিয়ার প্রাথমিক অবস্থার উপর (খ) বিক্রিয়ার শেষ অবস্থার ওপর

(গ) বিক্রিয়ার পদ্ধতির ওপর (ঘ) বিক্রিয়ার প্রাথমিক ও শেষ অবস্থার ওপর

৪। 1 mol H–H বন্ধন ভাঙতে 435 kJ mol এবং O–O বন্ধন ভাঙতে 498 kJ তাপ শক্তি শোষিত হয়। আবার 1 mol O–H বন্ধন গঠনে 462.5 kJ তাপ শক্তি নির্গত হলে নিম্নোক্ত বিক্রিয়ায় ΔH এর মান কত হবে?

$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(l),\ \Delta H = ?$

(ক) +933 kJ (খ) +24 kJ (গ) –24 kJ (ঘ) –63 kJ

৫। হেসের সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়–

i. বিক্রিয়া তাপ

ii. দ্রুতগতি বিক্রিয়ার তাপ পরিবর্তন

iii. ধীর গতির তাপ পরিবর্তন

নিচের কোনটি সঠিক?

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

চূড়ান্ত মূল্যায়ন

সৃজনশীল প্রশ্ন-১

১। $AX_5(g) \rightleftharpoons AX_3(g) + X_2(g) - \text{তাপ}$।

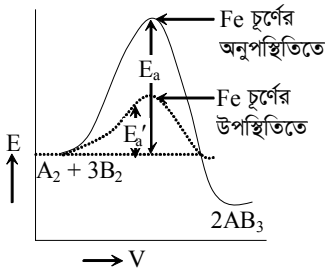
ক. ভর-ক্রিয়া সূত্রটি কী? ১

খ. সাম্য ধ্রুবক K_c এর মান কখনো শূন্য বা অসীম হতে পারে না– ব্যাখ্যা করুন। ২

গ. 35°C তাপমাত্রায় 1·0 atm চাপে AX_5 এর বিয়োজন মাত্রা 65% হলে উদ্দীপকের সাম্য বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে K_p এর মান নির্ণয় করুন। ৩

ঘ. উদ্দীপকের বিয়োজনের উপর তাপ ও চাপের প্রভাব আলোচনা করুন। ৪

সৃজনশীল প্রশ্ন-২



ক. বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক কী? ১

খ. কখন $K_p > K_c$ হয়– উদাহরণসহ ব্যাখ্যা করুন। ২

গ. উদ্দীপকের সাম্য বিক্রিয়াটি 2 L আয়তনের পাত্রে সম্পন্ন করায় 20% AB_3 উৎপন্ন হয় এবং মিশ্রণের চাপ 16 atm হয়। K_p এর মান গণনা করুন। ৩

ঘ. উদ্দীপকের সক্রিয়ণ শক্তির ভিন্নতার কারণ বিশ্লেষণ করুন। ৪

উত্তরমালা

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.১ :	১। ক	২। গ	৩। গ	৪। ঘ	৫। ঘ	৬। ঘ	৭। ঘ
পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.২ :	১। ক	২। ক	৩। খ	৪। ক	৫। ঘ	৬। ক	
পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.৩ :	১। ঘ	২। ঘ	৩। খ	৪। ঘ			
পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.৪ :	১। গ	২। গ	৩। ঘ				
পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.৫ :	১। ক	২। ঘ	৩। গ				
পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.৬ :	১। ঘ	২। গ	৩। গ	৪। ক	৫। ঘ	৬। গ	
পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.৭ :	১। গ	২। খ	৩। ক	৪। ঘ			
পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.৮ :	১। খ	২। গ	৩। খ	৪। গ	৫। খ		
পাঠোত্তর মূল্যায়ন-৫.৯ :	১। খ	২। ঘ	৩। ঘ	৪। গ	৫। ঘ		