

লাল-সরুজে
দাগানো
TEXT BOOK



রসায়ন
১ম পত্র



উমেষ

মেডিকেল এন্ড ডেন্টাল এডমিশন কেয়ার

চতুর্থ অধ্যায়

রাসায়নিক পরিবর্তন

Chemical Change

তত্ত্বীয় আলোচনা	= ২০
শ্রেণি কর্মকাণ্ড	= ৮
মোট পিরিয়ড	= ২৮

ভূমিকা (Introduction)

আয়নিক ও পোলার যৌগসমূহ পানিতে দ্রবণের মাধ্যমে সাধারণত একমুখী বিক্রিয়া যেমন অধঃক্ষেপণ, অম্ল-ক্ষারক প্রশমন ও রিডক্স বিক্রিয়া সহযোগে সম্পন্ন হয়। সময়েজী কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের উভয়বীৰ সংশ্লেষণ, বিয়োজন, প্রতিস্থাপন ইত্যাদি বিক্রিয়া দ্বারা এবং ক্ষেত্রবিশেষে জৈব দ্রাবক ও ভারী ধাতুর প্রভাবক ব্যবহার করে আধুনিককালে অপরিহার্য ওমুখ, রাসায়নিক সার, কৌটনাশক পদার্থ, টেক্সটাইল রঞ্জক, বিস্তিৎ সামগ্রী ও পলিমার বস্তু বিভিন্ন রাসায়নিক শিল্পে উৎপাদিত হয়। এ সব শিল্পের বিষাক্ত ও ক্ষতিকারক দ্রাবক, উপজাত, কিছু বিক্রিয়ক ও ধাতব প্রভাবক বায়ুতে ও স্থলভাগে বর্জ্যাক্রান্তে পরিবেশের মারাত্মক ক্ষতি করছে। তাই এ সব শিল্প বর্জ্য দ্বারা পরিবেশের বিপদ্ধজনক ক্ষতির মাত্রাহ্রাস বা দূরীকরণে বিশ্বব্যাপী রসায়নবিদেরা বিভিন্ন শিল্পে তাত্ত্বিক ও ব্যবহারিক প্রয়োগে উন্নততর 'পরিবেশবান্ধব পদ্ধতি' উন্নাবলে সচেষ্ট রয়েছেন; যা শিল্প কেমিস্ট্রি (green chemistry) বা সবুজ রসায়ন নামে বর্তমানে পরিচিত।

অধ্যায়ের ধৰন শব্দসমূহ
(Key Words) : শিল্প কেমিস্ট্রি, বিক্রিয়ার হার, সক্রিয়ণ শক্তি, প্রভাবক, এনজাইম, সাম্যাবস্থা, সক্রিয় ভর, সাম্যাক্রিয়, পানির আয়নিক গুণফল, এসিড ও ক্ষারের বিয়োজন প্রক্রিয়া, অনুবন্ধন এসিড ও ক্ষারক, দ্রবণের pH, বাফার দ্রবণ, অভ্যন্তরীণ শক্তি, এনথালপি, প্রশমন তাপ, গঠনতাপ, বিক্রিয়া তাপ, দ্রবণ তাপ, বন্ধন শক্তি।



শিখনফল : এই অধ্যায়ের পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

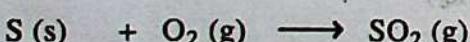
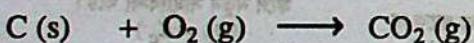
- বিক্রিয়া সংষ্টনে শিল্প কেমিস্ট্রি ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- বিক্রিয়ার দিক যেমন একমুখী ও উভয়বীৰ বিক্রিয়া বৰ্ণনা করতে পারবে।
- বিক্রিয়ার গতির ওপর তাপ, চাপ ও ঘনত্ব পরিবর্তনের প্রভাব মূল্যায়ন করতে পারবে।
- প্রভাবক ব্যবহার করে বিক্রিয়ার গতি নিয়ন্ত্রণে প্রভাবকের ক্রিয়া কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- উভয়বীৰ বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা ও গতিশীলতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- লা-শাতেলিয়ারের নীতি প্রয়োগ করে বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার কাজিক্ত পরিবর্তন ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- শিল্প উৎপাদনে লা-শাতেলিয়ারের নীতির শুরুত্ব বিশ্লেষণ করতে পারবে।

৮. ভর ক্রিয়ার সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৯. ভর ক্রিয়ার সূত্র থেকে সামান্যবক K_c , K_p এর রাশিমালা প্রতিপাদন ও এদের মধ্যে সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১০. পানির আয়নিক গুণফল (K_w), এসিডের বিয়োজন ফ্রুবক (K_a) ও ক্ষারকের বিয়োজন ফ্রুবক (K_b) এর ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১১. বিয়োজন ফ্রুবকের সাহায্যে এসিড ও ক্ষারকের তীব্রতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১২. দ্রবণের pH ও pOH ক্ষেত্র প্রতিষ্ঠা ও ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৩. বাকার দ্রবণ ও বাকার দ্রবণের ক্রিয়া কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৪. ব্যবহারিক : কার্বনেট বাকার দ্রবণ তৈরি ও এতে এসিড ও ক্ষার পৃথকভাবে যোগ করে এর কার্যকারিতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৫. মানুষের রক্তে pH এর শুরুত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৬. কৃষিতে, রসায়নশিল্পে, টয়লেটেজি উৎপাদনে, ওষুধ সেবনে pH এর ভূমিকা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৭. pH পরিমাপ করে উপযুক্ত প্রসাধন সামগ্রী নির্বাচন করতে পারবে।
১৮. ভর ও শক্তির নিয়ত্যা সূত্র এবং তাপীয় পরিবর্তন (বিক্রিয়া তাপ, অবস্থা পরিবর্তন তাপ, পরমাণুকরণ তাপ, দ্রবণ তাপ, প্রশমন তাপ) ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৯. তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ ফ্রুবক:-এর ব্যাখ্যা করতে পারবে।
২০. বঙ্গল শক্তি ব্যবহার করে বিক্রিয়া তাপ গণনা করতে পারবে।
২১. ল্যাঙ্গাসিয়ে ও হেসের সূত্র প্রয়োগ করে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় করতে পারবে।
২২. ব্যবহারিক : ক্যালরিমিতিক পদ্ধতিতে অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ নির্ণয় করতে পারবে।

৮.১ রাসায়নিক বিক্রিয়া ও ত্রিন কেমিস্ট্রি

Chemical Reactions & Green Chemistry

অতীতের চেয়ে বর্তমানে আমাদের জীবনের আয়ুকাল দীর্ঘতর, নিরাপদ ও আরামদায়ক হওয়ার মূলে রয়েছে রসায়নের অবদান। আমাদের প্রয়োজনে ব্যবহৃত ওষুধ, রাসায়নিক সার, কীটনাশক, টেক্সটাইল সামগ্রীর রঞ্জক পদার্থ, বিভিন্ন সামগ্রী ও বিভিন্ন পলিমার বস্তু আসে বিভিন্ন রাসায়নিক শিল্প কারখানা থেকে। রসায়ন শিল্পের জীবন ঘনিষ্ঠ এ শুভ অবদানের পাশাপাশি রয়েছে শিল্পকারখানার পরিয়ন্ত্রণ বিষাক্ত বর্জ্যপদার্থ, যা পরিবেশের মারাত্মক ক্ষতিসাধন করে জীবজগতের অস্তিত্বকে সংকটে ফেলেছে। যেমন শিল্প কারখানায় জ্বালানি হিসেবে প্রাকৃতিক গ্যাস (CH_4) ও কয়লা পোড়ানো হয়। কয়লাতে সালফার থাকে। এ সব জ্বালানির রাসায়নিক বিক্রিয়ার সমীকরণগুলো নিম্নরূপ :



MCQ-4.1 : আন্তর্জাতিকভাবে
রসায়নবিদদের দ্বারা অনুমোদিত
সবুজ রসায়ন নীতি কয়াটি?
(ক) ৭ (খ) ১০ (গ) ১২ (ঘ) ১৩

তোমরা জান, এ সব বিক্রিয়ায় উৎপন্ন CO_2 ও SO_2 গ্যাস দুটো বাতাসে মিশে যায় এবং CO_2 ও SO_2 গ্যাস দুটিই হলো বায়ুদূষক। এক্ষেত্রে CO_2 গ্যাস 'ত্রিন হাউজ গ্যাস'র পে গ্রোবাল ওয়ার্মিং ঘটায় এবং অন্যদীর্ঘ SO_2 গ্যাস 'এসিড-বৃষ্টি' ঘটাতে ভূমিকা রাখে। এরপে উভয় গ্যাস প্রাকৃতিক দৃশ্য ঘটায়।

ত্রিন কেমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়নের সংজ্ঞা : পৃথিবীব্যাপী রসায়নবিদেরা শিল্প ক্ষেত্রে তাত্ত্বিক ও ব্যবহারিক প্রয়োগে ক্ষতিকর বর্জ্য পদার্থ উৎপন্ন যথাসম্ভবত্ত্বাস করে নতুন ও উন্নততর পরিবেশবান্ধব পদ্ধতি উন্ভাবনে সচেষ্ট রয়েছেন। পরিবেশবান্ধব এক্সপ রাসায়নিক পদ্ধতিকে ত্রিন কেমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়ন বলা হয়। এ 'ত্রিন কেমিস্ট্রি'র উদ্দেশ্য বাস্তবায়নে ১২টি নীতি আন্তর্জাতিকভাবে রসায়নবিদদের দ্বারা নির্ধারিত হয়েছে। যেমন,

(১) বর্জ্য পদার্থ রোধকরণ (Prevent Waste) : শিল্প বিক্রিয়ায় বর্জ্য উৎপাদ রোধ হয় এমন পদ্ধতি ব্যবহার।

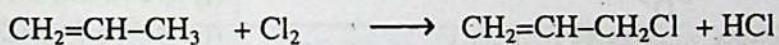
(২) **সর্বোত্তম এটম ইকন্যামি (Maximize atom-economy)** : বিক্রিয়কের সব বা সর্বাধিক পরমাণুকে কাঞ্চিত উৎপাদে সংরক্ষণ পদ্ধতি উভাবন। এক্ষেত্রে বিক্রিয়কে এরপে সংঘটিত করা হয়, যেন কাঞ্চিত উৎপাদে বিক্রিয়কের সর্বোচ্চ পরিমাণ পরমাণু যুক্ত থাকে। শিল্পক্ষেত্রে ব্যবহৃত কোনো পদ্ধতির বিক্রিয়ার শতকরা এটম ইকন্যামি (% AE) দ্বারা ঐ পদ্ধতির সফলতার মাত্রা জানা যায়। শতকরা এটম ইকন্যামিকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয়।

$$\% \text{ AE} = \frac{\text{কাঞ্চিত উৎপাদের মোট মোল সংখ্যা} \times \text{সংকেত ভর} \times 100}{\text{সব বিক্রিয়কের বা উৎপাদের মোল সংখ্যাসহ সংকেত ভরের সমষ্টি}$$

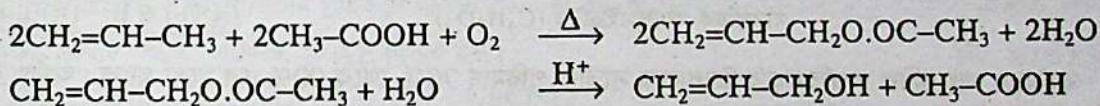
(৩) **ন্যূনতম ঝুঁকির পদ্ধতির ব্যবহার (Useless hazardous process)** : নন্টক্রিক বিকারক ও নন্টক্রিক বর্জ্য সংশ্লিষ্ট সংশ্লেষণ পদ্ধতি ব্যবহার। এর দ্বারা শিল্পক্ষেত্রে কর্মজীবীদের নিরাপত্তা বিধান ও পরিবেশ দূষণ হাস পাবে।

যেমন, অ্যালাইল অ্যালকোহল ($\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{OH}$) যৌগটি প্রোপিন থেকে দুটি পদ্ধতিতে উৎপাদন করা যায়।

১। **প্রচলিত পদ্ধতি** : প্রোপিনের ক্লোরিনেশন করে অ্যালাইল ক্লোরাইড এবং পরে উৎপন্ন যোগের ক্ষারীয় আর্দ্ববিশ্লেষণে অ্যালাইল অ্যালকোহল উৎপাদন করা হয় :



২। **গ্রিন পদ্ধতি** : এ পদ্ধতির উদ্দেশ্য হলো পরিবেশ দূষক ক্লোরিনকে বর্জন। এক্ষেত্রে প্রথমে প্রোপিন, ইথানয়িক এসিড ও অক্সিজেন এর বিক্রিয়ায় অ্যালাইল ইথানোয়েট তৈরি করা হয়।



পরে অ্যালাইল ইথানোয়েটের অমীয় আর্দ্ববিশ্লেষণে অ্যালাইল অ্যালকোহল ও ইথানয়িক এসিড উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়া শেষে উৎপন্ন ইথানয়িক এসিড পৃথক করে পুনরায় ব্যবহার করা যায়। এক্ষেত্রে ন্যূনতম ঝুঁকির পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়েছে।

(৪) **নিরাপদ কেমিক্যাল পরিকল্পনা (Design Safer Chemicals)** : কেমিক্যাল প্রোডাক্ট উৎপাদন পরিকল্পনায় বিকারক ন্যূনতম টক্সিক বা নির্দোষ হবে। এর দ্বারা কর্মজীবীদের স্বাস্থ্যের ক্ষতি এবং পরিবেশ দূষণ ঘটবে না।

(৫) **নিরাপদ দ্রাবক ব্যবহার (Use safer Solvents)** : বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত দ্রাবক ও সহায়ক পদার্থ নিরাপদ ও ন্যূনতম হবে।

(৬) **বিক্রিয়ার শক্তি দক্ষতা পরিকল্পনা (Design for energy efficiency)** : কক্ষতাপমাত্রায় বা ন্যূনতম শক্তি ব্যয়ে উৎপাদন প্রক্রিয়া অনুসরণ। এতে বিন্দুৎ ও তাপ শক্তির অপচয় রোধ হবে এবং শিল্পে উৎপাদন ব্যয় হাস পাবে।

(৭) **নবায়নযোগ্য কাঁচামাল ব্যবহার (Use renewable Feed stocks)** : সম্ভাব্য নবায়নযোগ্য কাঁচামাল ব্যবহার। বর্তমানে পেট্রোলিয়ামজাত মনোমার থেকে বিভিন্ন পলিমার উৎপাদন করা হয়। পেট্রোলিয়াম নবায়নযোগ্য কাঁচামাল নয়। এক্ষেত্রে উত্তিজ্জ কাঁচামাল ব্যবহার পদ্ধতি প্রয়োজন।

(৮) **ন্যূনতম উপজাতক (Minimize derivatives)** : সংশ্লেষণ পদ্ধতিতে ন্যূনতম ধাপ ও উপজাতক থাকবে। এজন্য ভৌত ও রাসায়নিক প্রক্রিয়ার পরিমার্জন এবং বিক্রিয়ার শর্তাবলি পরিবর্তনসহ শিল্প পদ্ধতিতে পরিবর্তন দরকার হবে।

(৯) **প্রভাবন প্রয়োগ (Use catalysts)** : বিক্রিয়ায় প্রয়োজনীয় প্রভাবক ব্যবহার। নতুন অধিক কার্যকর প্রভাবক উভাবনসহ শিল্প প্রক্রিয়ার উন্নয়ন করে উৎপাদ বৃদ্ধি করতে হবে।

(১০) **আকৃতিক রূপান্তর পরিকল্পনা (Design for bio-degradation)** : শিল্পজাত হতে হবে ব্যাকটেরিয়া-নাশ প্রবণ (biodegradable)। বর্তমানে উৎপাদিত অধিকাংশ পলিমার পেট্রোলিয়ামজাত হওয়ায় বায়োডিগ্রেডেবল নয়।

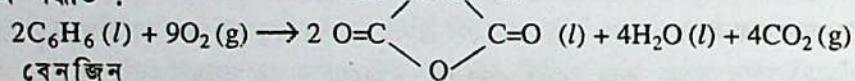
(১১) যথাসময়ে দৃশ্য নিয়ন্ত্রণ (Monitor pollution in real time) : টক্সিক উৎপাদের ক্ষেত্রে যথাসময়ে প্রক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ। বিশাল পদার্থ যেন বায়ুমণ্ডলে ছড়িয়ে না পড়ে, তার যথাযথ নিয়ন্ত্রণ ব্যবস্থা মনিটরিং করতে হবে।

(১২) দুর্ঘটনা প্রতিরোধ (Prevent accidents) : রাসায়নিক পদার্থ ও পদ্ধতিগত অগ্নিসংঘটন, বিস্ফোরণ ও অন্য দুর্ঘটনা রোধের যথাযথ ব্যবস্থা শিখলক্ষেত্রে থাকতে হবে।

নিচে গ্রিন কেমিস্ট্রি সহায়ক তিনটি নীতি সমর্থক যেমন— (১) বর্জ্য পদার্থ রোধকরণ, (২) সর্বোত্তম এটম ইকন্যামি অর্জন ও (৩) ন্যূনতম বুকির পদ্ধতি ব্যবহার অনুসরণে একটি শিল্প পদ্ধতি দেখানো হলো। যেমন,

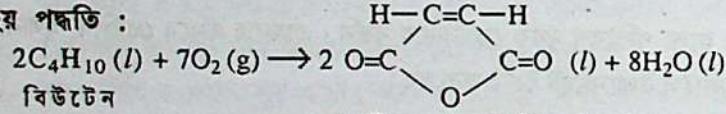
ম্যালেয়িক অ্যানহাইড্রাইড উৎপাদন, এটি হলো অন্যতম প্রধান শিল্প-কেমিক্যাল যা থেকে উৎপাদিত হয় ওষুধ, কাটনাশক, রঞ্জক, বিভিন্ন পলিমার ও অন্যান্য প্রয়োজনীয় প্রোডাক্ট। ম্যালেয়িক অ্যানহাইড্রাইড ($C_4H_2O_3$) সংশ্লেষণের দুটি পদ্ধতি আছে। একটি হলো (১) বেনজিনের জারণ পদ্ধতি এবং অপরটি হলো (২) বিউটেনের জারণ পদ্ধতি। যেমন—

১য় পদ্ধতি :



ম্যালেয়িক অ্যানহাইড্রাইড ($C_4H_2O_3$)

২য় পদ্ধতি :



ম্যালেয়িক অ্যানহাইড্রাইড ($C_4H_2O_3$)

MCQ-4.2 : গ্রিন বা সবুজ

রসায়নের মূলে রয়েছে—

- (i) ক্ষতিকর বর্জ্য উৎপাদন রোধ
- (ii) সর্বাধিক উৎপাদ তৈরি
- (iii) নবায়নযোগ্য কাঁচামাল ব্যবহার।
- (ক) i ও ii (খ) ii ও iii
- (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

বর্তমানে সাংশেষিক পদ্ধতিসমূহে উৎপাদের সর্বোচ্চ পরিমাণ 70% থেকে 90% এর মধ্যে থাকে। অর্থাৎ 30% থেকে 10% বিক্রিয়ক মূল উৎপাদ তৈরি না করে বিক্রিয়াবিহীন থাকে। গ্রিন কেমিস্ট্রির অন্যতম নীতি এটম ইকন্যামি হলো কাঞ্চিত উৎপাদে বিক্রিয়কের সর্বোচ্চ পরিমাণ পরমাণু অন্তর্ভুক্ত করা। কোনো বিক্রিয়ার শতকরা এটম ইকন্যামি (% AE) কে নিম্নোক্তভাবে প্রকাশ করা হয়।

$$\% AE = \frac{\text{কাঞ্চিত উৎপাদের মোট মোল সংখ্যা} \times \text{সংকেত ভর} \times 100}{\text{সব বিক্রিয়কের বা উৎপাদের মোল সংখ্যাসহ সংকেত ভরের সমষ্টি}$$

এখন শতকরা 'এটম ইকন্যামি' হিসাব করে উপরোক্ত উভয় পদ্ধতির 'দক্ষতা' তুলনা করা হলো :

$$\begin{aligned} \text{১য় পদ্ধতির বেলায়; \% এটম ইকন্যামি} &= \frac{2 \text{ mol } C_4H_2O_3 \times 100}{(2 \text{ mol } C_4H_2O_3 + 4 \text{ mol } H_2O + 4 \text{ mol } CO_2)} \\ &= \frac{2 \times 98.06 \text{ g} \times 100}{(2 \times 98.06 \text{ g} + 4 \times 18.02 \text{ g} + 4 \times 44.01 \text{ g})} = 44.15\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{২য় পদ্ধতির বেলায়; \% এটম ইকন্যামি} &= \frac{2 \text{ mol } C_4H_2O_3 \times 100}{(2 \text{ mol } C_4H_2O_3 + 8 \text{ mol } H_2O)} \\ &= \frac{2 \times 98.06 \text{ g} \times 100}{(2 \times 98.06 \text{ g} + 8 \times 18.02 \text{ g})} = 57.63\% \end{aligned}$$

সিদ্ধান্ত : শতকরা এটম ইকন্যামির মান থেকে সুস্পষ্ট যে,

(i) ২য় পদ্ধতিতে ম্যালেয়িক অ্যানহাইড্রাইড সংশ্লেষণ অধিকতর সুবিধাজনক; কারণ % পরিমাণে অধিক সংখ্যক বিক্রিয়ক-পরমাণু কাঞ্চিত উৎপাদে সংরক্ষিত হয়েছে।

(ii) ২য় পদ্ধতিতে ১য় পদ্ধতির মতো টক্সিক বেনজিন বিক্রিয়ক ব্যবহৃত হয়নি।

(iii) ২য় পদ্ধতিতে ১ম পদ্ধতির মতো CO_2 উৎপন্ন না হওয়ায় 'গ্লোবাল ওয়ার্মিং' থেকে মুক্ত এ ২য় পদ্ধতি হলো একটি পরিবেশবান্ধব 'গ্রিনার' পদ্ধতি।

গ্রিনার কেমিস্টগণ এখন শিল্পে পরিবেশবান্ধব জৈব দ্রাবক ব্যবহারে সচেষ্ট আছেন। বর্তমানে রাসায়নিক পেইন্টার্স, ক্লিনিং এজেন্ট, হেয়ার স্পেশ, লুভ্রিকেন্টস্, কুকিং অয়েলস্ ইত্যাদিতে উদ্ঘাস্তী জৈব দ্রাবক ব্যবহৃত হয়। এসব উদ্ঘাস্তী জৈব দ্রাবক পরিবেশে 'Smog' সৃষ্টি করে বায়ু দূষণ ঘটায় এবং স্বাস্থ্যে বিরুদ্ধ প্রভাব ফেলে। বাতাসে সৃষ্টি Smog এর বেলায় আর্দ্র-বায়ুতে pH প্রায় 2 হয়, এতে SO_2 গ্যাস থাকে। Smog শব্দটি 'smoke' ও 'fog' শব্দ থেকে সৃষ্টি। পরিবেশের বাতাসে Smog সৃষ্টি হলে লোক ব্রকাইটিস্ ও নিউমোনিয়ায় আক্রান্ত হয়। এজন্য গ্রিনার শিল্প প্রক্রিয়ায় দ্রাবকরূপে—

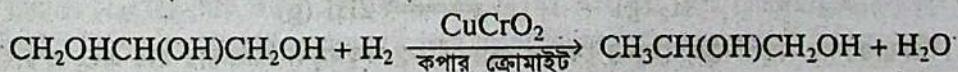
(১) অনুধাস্তী জৈব দ্রাবক ব্যবহার, (২) অজলীয় আয়নিক দ্রাবক উত্পাদন, (৩) জৈব দ্রাবকবিহীন উৎপাদন পদ্ধতি ও (৪) পানি ব্যবহারভিত্তিক পদ্ধতি প্রয়োগে রসায়নবিদেরা সচেষ্ট আছেন।

এছাড়া পেট্রোলিয়ামজাত মনোমার ইথিলিন ও প্রতিস্থাপিত ইথিলিন থেকে বিভিন্ন পলিমার উৎপাদন করা হয়। এর পরিবর্তে গ্রিন-কেমিস্টগণ শস্যদানা, ইক্সু বা সুগারকেন ও কাজু বাদামের খোসা থেকে পলিমার উৎপাদন পদ্ধতি উত্পাদন করেছেন। এসব উত্পাদিত পদ্ধতি হলো পরিবেশবান্ধব 'গ্রিনার' পদ্ধতি।

শিক্ষার্থীর কাজ-৪.১ : গ্রিন কেমিস্ট্রি ভিত্তিক :

সমস্যা-৪.১ : সবুজ রসায়ন কী? [কু. বো. ২০১৭; দি. বো. ২০১৭; চ. বো. ২০১৫; সি. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.২(ক) : ভিজিটেবল অয়েল থেকে বায়োডিজেল তৈরি করতে উপজাতকূপে গ্লিসারিন পাওয়া যায়। এ গ্লিসারিনকে নিম্ন সমীকরণ মতে প্রোপালিন গ্লাইকলে রূপান্তরিত করা হয়; যা অটোমোবাইল ইঞ্জিনে অ্যান্টিফ্রিজ ইথিলিন গ্লাইকল উৎপন্ন করে। এটি একটি গ্রিনার পদ্ধতি; এক্ষেত্রে % AE হিসাব কর। [উ: 80.85%]

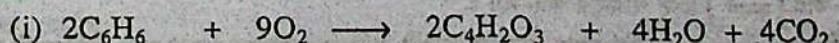


সমস্যা-৪.২(খ) : প্রচলিত পুরাতন পদ্ধতি ও নতুন গ্রিনার পদ্ধতিতে নিম্ন সমীকরণ মতে, ইথিলিন থেকে ইথিলিন অক্সাইড ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$) উৎপাদন করা হয়। ইথিলিন অক্সাইড ধূমজাল সৃষ্টিকারক এবং আর্দ্রবিশেষণে অ্যান্টিফ্রিজ ইথিলিন গ্লাইকল উৎপন্ন করে। প্রতিক্ষেত্রে % AE হিসাব কর।

(ক) পুরাতন পদ্ধতি : $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{Cl}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_4\text{O} + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ [উ: 25.43%]

(খ) গ্রিনার পদ্ধতি : $\text{C}_2\text{H}_4 + \frac{1}{2}\text{O}_2 \xrightarrow[250^\circ\text{C}]{\text{Ag-catalyst}} \text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ [উ: 100%]

সমস্যা-৪.২(গ) : ম্যালেয়িক অ্যানহাইড্রাইড সংশ্লেষণের দুটি পদ্ধতি হলো নিম্নরূপ :



কোনু পদ্ধতিটি গ্রিনার পদ্ধতি হবে, তা % এটম ইকল্যান্সি থেকে ব্যাখ্যা কর। [অনুধাবনভিত্তিক প্রশ্ন]

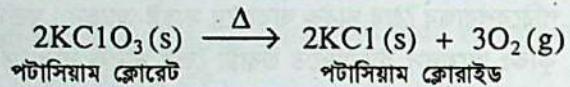
৪.২ বিক্রিয়ার দিক-একমুখী ও উভয়মুখী বিক্রিয়া

Reaction Direction-Irreversible and Reversible

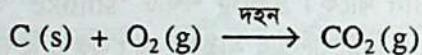
তোমরা নবম-দশম শ্রেণিতে পাঠ্যপুস্তকে জেনেছ, আবক্ষ পাত্রে চুনাপাথরের তাপীয় বিয়োজন একটি উভয়মুখী বিক্রিয়া। উপর্যুক্ত পরিবেশে সব বিক্রিয়াকে উভয়মুখী বলে গণ্য করা হয়। তবে অনেক বিক্রিয়ায় পশ্চাত্বর্তী বিক্রিয়ার হার সম্মুখযুক্ত বিক্রিয়ার হারের তুলনায় অত্যন্ত নংগণ্য। এ সব ক্ষেত্রে বাস্তবে ঐ বিক্রিয়াকে একমুখী বিক্রিয়া গণ্য করা হয়।

একমুখী বিক্রিয়া (Irreversible reaction) : কোনো বিক্রিয়ার সমস্ত বিক্রিয়ক পদার্থ ব্যবহৃত উৎপাদনে পরিণত হয় অর্ধাং বিক্রিয়াটি শুধু সম্মুখ দিকে ঘটতে থাকে, তখন ঐ বিক্রিয়াটিকে একমুখী বিক্রিয়া বলা হয়। এ

প্রকার বিক্রিয়ায় একটি সম্মুখমুখী তীর (\rightarrow) ব্যবহৃত হয়। যেমন, পটাসিয়াম ক্লোরেটকে উভপ করলে এটি বিয়োজিত হয়ে KC1 ও অ্রিজেন উৎপন্ন করে। বিপরীতভাবে KC1 ও অ্রিজেনের মধ্যে কোনো বিক্রিয়া ঘটে না।



অনুরূপভাবে, বাতাসে কার্বনের দহনের ফলে CO_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়; এটি একটি একমুখী বিক্রিয়া।

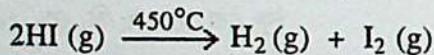


উভয়ৰূপী বিক্রিয়া (Reversible Reaction) : যদি কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া এক সাথে সম্মুখদিক ও পশ্চাত্যদিক থেকে সংঘটিত হয়, তবে সে বিক্রিয়াকে উভয়ৰূপী বিক্রিয়া বলা হয়। যেমন,

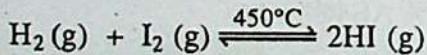
হাইড্রোজেন ও আয়োডিনকে একটি বন্ধ পাত্রে রেখে 450°C তাপমাত্রায় উত্পন্ন করা হলে দেখা যায় যে, নিম্নোক্ত বিক্রিয়ার মাধ্যমে কিছু হাইড্রোজেন আয়োডাইড উৎপন্ন হয়।



ଅନ୍ୟଦିକେ ବିଶୁଦ୍ଧ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଆୟୋଡ଼ାଇଡ ଗ୍ୟାସକେ ବନ୍ଧ ପାତ୍ରେ 450°C ତାପମାତ୍ରାୟ ଉତ୍ପଣ୍ଡ କରଲେ ତା ଥିକେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଓ ଆୟୋଡ଼ିନ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୁଁ । ଅର୍ଥାଏ ତଥିଲି ବିପରୀତ ବିକିଳ୍ୟା ଘଟେ ।



সুতরাং বন্ধপাত্রে হাইড্রোজেন ও আয়োডিনের গ্যাসীয় বিক্রিয়াটি একটি উভয়বীৰ বিক্রিয়া। একপ উভয়বীৰ বিক্রিয়াকে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মধ্যে দুটি বিপরীতমুখী অর্ধ তীর দিয়ে প্রকাশ কৰা যায়।



উত্তমুদ্ধী বিক্রিয়াগুলোর সম্মতিকে গমনের বেগকে অগ্রবর্তী বা সম্মুখমুদ্ধী বিক্রিয়ার হার এবং পশ্চাত্তিকে গমনের বেগকে পশ্চাত্ববর্তী বা বিপরীতমুদ্ধী বিক্রিয়ার হার বলে।

ଓଡ଼ିଆ ବିଜ୍ଞାନ ବୈଶିଷ୍ଟ୍ୟ

- (১) উভয়ুর্থী বিক্রিয়াগুলো উভয় দিক থেকে শুরু করা যায়।
 - (২) উভয়ুর্থী বিক্রিয়াগুলো সম্পূর্ণ হয় না। অর্থাৎ উভয়ুর্থী বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কের শত ভাগ উৎপাদে অথবা উৎপাদের শত ভাগ বিক্রিয়কে পরিগত হয় না।
 - (৩) উভয়ুর্থী বিক্রিয়াগুলোর সাম্যাবস্থায় আসার প্রবণতা আছে।
 - (৪) উভয়ুর্থী বিক্রিয়াকে সমীকরণ আকারে লিখতে সমান (=) চিহ্নের বা একযুক্তি তীর (\rightarrow) চিহ্নের পরিবর্তে বিপরীতযুক্তি দৃষ্টি অর্ধ-তীর ($\overleftarrow{=}$) চিহ্ন ব্যবহার করা হয়।
 - (৫) উভয়ুর্থী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার পক্ষাত্মকী বিক্রিয়ার হারের সমান হলে বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় উপনীত হয়।

* **তাত্ত্বিকভাবে** সব রাসায়নিক বিক্রিয়া উভয়ই; প্রকৃতপক্ষে একমুখী কোনো বিক্রিয়া হয় না। একমুখী বিক্রিয়াগুলোর ক্ষেত্রে সম্মুখযুক্তি বিক্রিয়ার গতি বিপরীতমুখী বিক্রিয়ার গতির তুলনায় এতই বেশি হয় যে, ঐ সব বিক্রিয়াকে আপাতদৃষ্টিতে একমুখী ঘনে হয়। যদি উপযুক্ত বিক্রিয়াকালীন অবস্থা সৃষ্টি করা যায়; তখন একমুখী বিক্রিয়া বলে ঘনে করা ঐ সব বিক্রিয়াকে উভয়ই করা সম্ভব হবে। কিন্তু বাস্তবে ঐ উপযুক্ত প্রয়োজনীয় অবস্থা সৃষ্টি করা এখনও সম্ভব হয়নি। তাই অনেক বিক্রিয়াকে একমুখী বিক্রিয়া বলে গণ্য করা হয়।

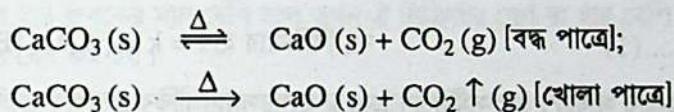
৪.৩.২ একযুক্তি ও উভযুক্তি বিক্রিয়ার পারস্পরিক রূপান্তর

Interconversion of Reversible & Irreversible Reactions

উভয়ী বিক্রিয়াকে একমুখী করার উপায় : উভয়ী বিক্রিয়া অসম্পূর্ণ। এ অসম্পূর্ণ বিক্রিয়াকে একমুখী বা সম্পূর্ণ করায়। নিচে উভয়ী বিক্রিয়াকে একমুখী করার তিনটি উপায় আলোচনা করা হলো :

(১) বন্ধ পাত্রে উভয় মুখী বিক্রিয়াকে খোলা পাত্রে একমুখীকরণ : খোলা পাত্রে থাকা বিক্রিয়কসমূহ যদি কঠিন বা তরল হয় এবং একটি উৎপাদ গ্যাসীয় হলে তা সহজেই বিক্রিয়া হতে অপসারিত হয়। ফলে বিক্রিয়াটি একমুখী হয়।

উদাহরণ : বন্ধ পাত্রে CaCO_3 এর বিযোজন উভয় মুখী; কিন্তু খোলা পাত্রে এ বিক্রিয়া চালালে উৎপাদ কার্বন ডাই অক্সাইড বিক্রিয়া স্থল হতে চলে যায়। ফলে বিক্রিয়াটি একমুখী হয়।



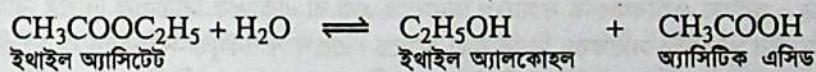
(২) বিক্রিয়াজাত অধঃক্ষেপ আলাদা করে : একটি উৎপাদ দ্রবণ হতে অধঃক্ষেপ হলে বিক্রিয়াটি একমুখী হয়।

উদাহরণ : NaCl দ্রবণে AgNO_3 দ্রবণ যোগ করলে AgCl এর অধঃক্ষেপ সৃষ্টি হয় এবং বিক্রিয়ার পরিবেশ হতে পৃথক হয়ে পড়ে। ফলে বিক্রিয়াটি একমুখী হয়।

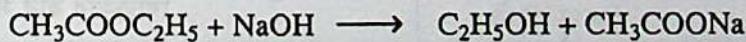


(৩) রাসায়নিকভাবে উৎপাদকে বিক্রিয়াস্থল থেকে আলাদা করে : কোনো উৎপাদকে রাসায়নিকভাবে বিক্রিয়াস্থল হতে সরিয়ে নেয়ার মাধ্যমেও উভয় মুখী বিক্রিয়াকে একমুখী করা যায়।

উদাহরণ : ইথাইল অ্যাসিটেটের সাথে পানির বিক্রিয়ায় ইথাইল অ্যালকোহল ও অ্যাসিটিক এসিড উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি একটি উভয় মুখী বিক্রিয়া।



বিক্রিয়া মাধ্যমে NaOH যোগ করলে তা উৎপন্ন এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে সোডিয়াম অ্যাসিটেট ও পানি উৎপন্ন করে। ফলে বিপরীত বিক্রিয়া সংঘটিত হতে পারে না। তখন সম্পূর্ণ বিক্রিয়াটি নিম্নরূপে একমুখী বিক্রিয়া হয়।



৪.৩ বিক্রিয়ার গতিবেগ বা বিক্রিয়ার হার ও বিক্রিয়ার হারের একক

Rate of Reaction and Unit of Rate of Reaction

কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া প্রতি একক সময়ে যে হারে সম্পূর্ণ হয়, তাকে বিক্রিয়ার হার বা গতিবেগ বলে। বিক্রিয়ার সাথে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার হাস এবং উৎপাদের ঘনমাত্রার বৃদ্ধি ঘটে; তাই বিক্রিয়ার হার ঘনমাত্রা পদের সাহায্যে নিম্নরূপে বর্ণনা করা হয়।

বিক্রিয়ার হার : প্রতি একক সময়ে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হাস বা বিক্রিয়ায় সৃষ্টি উৎপাদের ঘনমাত্রা বৃদ্ধির হারকে বিক্রিয়ার হার বলে। অর্থাৎ

$$\text{বিক্রিয়ার হার} = \frac{\text{বিক্রিয়ক বা উৎপাদের ঘনমাত্রার পরিবর্তন}}{\text{ঐ পরিবর্তন সংঘটনে ব্যয়িত সময়}}$$

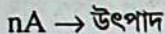
$$\therefore \text{বিক্রিয়ার হারের একক} = \frac{\text{মোল/লিটার}}{\text{সেকেন্ড}} = \text{মোল লিটার}^{-1} \text{ সেকেন্ড}^{-1} (\text{mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}) = (\text{Ms}^{-1})$$

৪.৩.১ বিক্রিয়ার গতি সূত্র বা বিক্রিয়ার হার সমীকরণ ও বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক

The Rate Law or The Rate Equation and Rate Constant of a Reaction

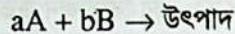
ভর ক্রিয়ার সূত্র থেকে বিক্রিয়ার হার : ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে, একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার যেকোনো মুহূর্তে বিক্রিয়ার হার ঐ বিক্রিয়ার সমতাকৃত সমীকরণ মতে প্রতিটি বিক্রিয়কের মোল-সংখ্যার ঘাতে উন্নীত 'সক্রিয় ভরের' সমানুপাতিক হয়। 'সক্রিয় ভর' বলতে বিক্রিয়কের দ্রবণের ক্ষেত্রে 'মোলার ঘনমাত্রা' (mol L^{-1}) এবং গ্যাসীয় বিক্রিয়কের

ক্ষেত্রে 'আংশিক চাপ' বোঝায়। সুতরাং বিক্রিয়ার হার প্রতিটি বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার সমানুপাতিক এবং তা বিক্রিয়কের মোলভিডিক ঘনমাত্রার ঘাতকৃপে আসে। এক্ষেত্রে দুটি সাধারণ বিক্রিয়ার সমীকরণ মতে,



$$\therefore \text{বিক্রিয়ার হার } \alpha [A]^n$$

$$\text{বা, } \frac{-dc}{dt} = k \times [A]^n \dots (1)$$



$$\therefore \text{বিক্রিয়ার হার } \alpha [A]^a \times [B]^b$$

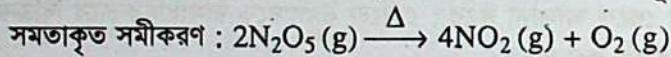
$$\text{বা, } \text{বিক্রিয়ার হার} = k \times [A]^a \times [B]^b \dots (2)$$

সমীকরণ (1) ও (2) হলো বিক্রিয়ার সাধারণ হার সমীকরণ এবং k হলো সমানুপাতিক ধ্রুবক।

একইভাবে ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে, $2A + B \rightarrow C + 3D$ বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে, বিক্রিয়ার-হার $= k \times [A]^2 \times [B]$ হয়।

ব্যতিক্রম: অনেক ক্ষেত্রে ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে বিক্রিয়ার হার-সমীকরণটি বিক্রিয়াটির প্রকৃত পরীক্ষালক্ষ ফলাফলভিডিক বিক্রিয়া-হার সমীকরণের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ বা একই নাও হতে পারে। যেমন,

উগ্ণে $N_2O_5(g)$ এর তাপীয় বিযোজন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সমতাযুক্ত সমীকরণ ও ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে হার সমীকরণটি প্রকৃত পরীক্ষালক্ষ ফলাফলভিডিক বিক্রিয়া-হার সমীকরণের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ নয়।



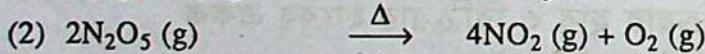
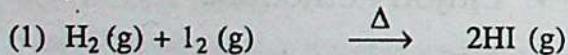
$$* \text{ ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে বিক্রিয়া-হার} = k \times [N_2O_5]^2;$$

$$* \text{ পরীক্ষালক্ষ ফলাফলভিডিক বিক্রিয়া-হার} = k \times [N_2O_5]$$

MCQ-4.3 : বিক্রিয়ার হারের একক
কী? [দি. বো. ২০১৭]
(ক) mol L^{-1} (খ) $\text{mol L}^{-1}s$
(গ) $\text{mol L}^{-1}s^{-1}$ (ঘ) $\text{mol}^{-1}\text{L}^{-1}s^{-1}$

বিক্রিয়ার গতি সূত্র : পরীক্ষা-পর্যবেক্ষণের ফলাফল অনুসারে এক বা একাধিক বিক্রিয়ক বিশিষ্ট বিভিন্ন বিক্রিয়ার হার ও বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার সম্পর্কের সমীকরণ নির্ণয় করা হয়েছে। এরূপ সম্পর্কযুক্ত সমীকরণকে সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়ার গতিসূত্র বা বিক্রিয়ার হার সমীকরণ বলে। সুতরাং কোনো বিক্রিয়ার পরীক্ষালক্ষ ফলাফলভিডিক যে সমীকরণ দ্বারা বিক্রিয়ার হার বা বেগ ও বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার সম্পর্ক প্রকাশ করা হয়, তাকে বিক্রিয়ার হার সমীকরণ বা বিক্রিয়ার গতি সূত্র বলে।

উদাহরণ :



বিক্রিয়ার হার সমীকরণ :

$$\text{বিক্রিয়ার হার} = k \times [H_2] \times [I_2]$$

$$\text{বিক্রিয়ার হার} = k \times [N_2O_5]$$

$$\text{বিক্রিয়ার হার} = k \times [NO]^2 \times [H_2]$$

* সমতাযুক্ত সাধারণ সমীকরণ হলো : $aA + bB \rightarrow cC + dD$

* ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে, বিক্রিয়ার হার, $r = k \times [A]^a \times [B]^b$

* পরীক্ষালক্ষ ফলাফল মতে, বিক্রিয়ার হার, $r = k \times [A]^m \times [B]^n$;

* এক্ষেত্রে m ও n হলো পরীক্ষালক্ষ বিক্রিয়ার হার মতে যথাক্রমে বিক্রিয়ক A ও B এর মোলার ঘনমাত্রার ঘাত বা power. তখন $(m+n)$ এর মোট মানকে বিক্রিয়াটির ক্রম বা reaction order বলে। উল্লেখ্য সমতাযুক্ত সাধারণ সমীকরণের সহগ (coefficients) a ও b -এর সাথে বিক্রিয়ার ক্রম নির্ধারণের ক্ষেত্রে কোনো সম্পর্ক থাকে না।

বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক : ধরা যাক, একটি সাধারণ বিক্রিয়া হলো $aA + bB = cC + dD$ । যদি এ বিক্রিয়ার পরীক্ষালক্ষ ফলাফলভিডিক A ও B এর মোলার ঘনমাত্রার ঘাত যথাক্রমে m ও n হয়; তবে বিক্রিয়ার গতি সূত্র মতে, বিক্রিয়ার-হার (r) $= k \times [A]^m \times [B]^n$; এখানে k একটি ধ্রুবক।

$$\therefore k = \frac{\text{বিক্রিয়ার হার} (\text{Ms}^{-1})}{[A]^m \times [B]^n}$$

এখন প্রতিটি বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা 1 মোলার হলে, $[A] = [B] = 1 \text{ mol L}^{-1}$ হয় এবং বিক্রিয়ার হার $= k \times 1 \times 1 = k$ (ধ্রুবক) হয় অর্থাৎ বিক্রিয়ার হার একটি ধ্রুবক মানের সমান হয়; একে বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক (rate constant) বলে।

বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের সংজ্ঞা : একক মোলার ঘনমাত্রার বিক্রিয়কসমূহের বিক্রিয়ার হারকে সে বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক বলে। একে আপেক্ষিক বিক্রিয়ার হারও (specific reaction rate) বলা হয়।

বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের বৈশিষ্ট্য :

- (১) একটি নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ঐ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের (k -এর) মান সব সময় নির্দিষ্ট থাকে। কিন্তু তাপমাত্রার পরিবর্তন হলে ঐ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মানও পরিবর্তিত হয়।
- (২) একই তাপমাত্রায় ভিন্ন ভিন্ন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক (k) এর মানও ভিন্ন হয়।
- (৩) বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান বেশি হলে তখন ঐ বিক্রিয়ার বেগ বা হার বেশি হয় এবং হার ধ্রুবকের মান কম হলে বিক্রিয়ার বেগ কম হয়।

* রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার ও বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের বৈশিষ্ট্যের মধ্যে নিম্নোক্ত মিল ও গরমিল দেখা যায়। যেমন—

বিক্রিয়ার হার (r)	বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক (k)
(১) প্রতি একক সময়ে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া যতটুকু সম্পূর্ণ হয়, তাকে ঐ বিক্রিয়ার বিক্রিয়ার-হার (r) বলে।	(১) বিক্রিয়কগুলোর একক মোলার ঘনমাত্রার কোনো বিক্রিয়ার হারকে ঐ বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবক (k) বলে।
(২) তাপমাত্রার পরিবর্তনে বিক্রিয়ার হার পরিবর্তিত হয়।	(২) তাপমাত্রার পরিবর্তনে বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান ও পরিবর্তিত হয়।
(৩) তাপমাত্রা স্থির রেখে বিক্রিয়কগুলোর ঘনমাত্রার পরিবর্তন করলে বিক্রিয়ার হারের পরিবর্তন ঘটে।	(৩) তাপমাত্রা স্থির রেখে বিক্রিয়কগুলোর ঘনমাত্রার পরিবর্তন করলেও হার ধ্রুবকের মানের কোনো পরিবর্তন ঘটে না।
(৪) বিক্রিয়ার হার (r) ঘনমাত্রার ওপর নির্ভর করে।	(৪) বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক (k) ঘনমাত্রার ওপর নির্ভর করে না। এটি একটি ধ্রুবক।
(৫) বিক্রিয়ার হারের একক $\text{mol L}^{-1}\text{s}^{-1}$ বা, Ms^{-1} । (গ্যাসীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে atm s^{-1})	(৫) হার ধ্রুবকের একক হার সূত্রমতে পরীক্ষানির্ভর বিক্রিয়ার ক্রম (reaction order) এর ওপর নির্ভর করে।

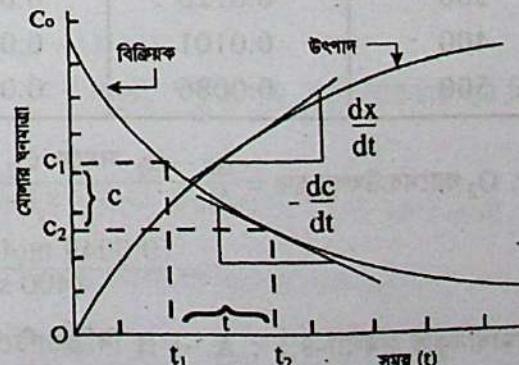
লেখচিত্রে সাহায্যে বিক্রিয়ার হার বা গতিবেগের ব্যাখ্যা :

1850 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী L. Wilhelmy কর্তৃক প্রমাণিত হয়েছে যে, বিক্রিয়ার হার বা গতিবেগ প্রধানত বিক্রিয়কসমূহের ঘনমাত্রার ওপর নির্ভর করে। ধৰা যাক, একটি সহজ বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো : $A \rightarrow B$, এ বিক্রিয়া সম্মুখদিকে অগ্রসর হতে থাকলে অর্থাৎ বিক্রিয়ক A থেকে উৎপাদ B সৃষ্টি হতে থাকলে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা কমতে পুরু করে; অপরদিকে উৎপাদের ঘনমাত্রা বাঢ়তে থাকে। তাই সময়ের সাথে বিক্রিয়ক অথবা উৎপাদের ঘনমাত্রাকে গ্রাফ পেপারে আলেখিত (plotting) করলে চিত্র-৪.১ এর মতো লেখচিত্র পাওয়া যায়।

সময়ের সাথে বিক্রিয়ক অথবা উৎপাদের ঘনমাত্রার পরিবর্তনের লেখ দৃঢ়িতে স্পর্শক অঙ্কন করে প্রতি ক্ষেত্রে ঢাল নির্ণয় করে বিক্রিয়ার হার নির্ণয় করা যায়।

লেখচিত্রে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার বক্ররেখা থেকে জানা যায়, $(t_2 - t_1)$ বা, Δt সময়ের ব্যবধানে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা পরিবর্তিত হয় $= (c_2 - c_1) = -\Delta c$

$$\therefore \text{বিক্রিয়ার গড় গতিবেগ} = \frac{(c_2 - c_1)}{(t_2 - t_1)} = \frac{-\Delta c}{\Delta t} \text{। অতি সূত্র সময়ের ক্ষেত্রে এ মান } \frac{-dc}{dt} \text{ এর সমান।}$$



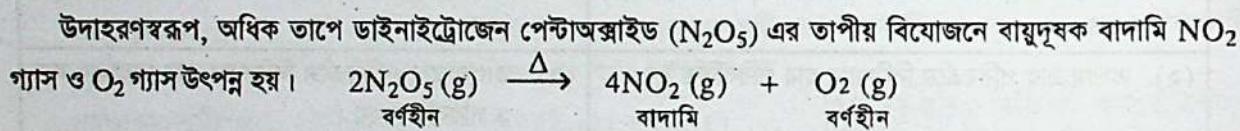
চিত্র-৪.১ : সময়ের সাথে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রার পরিবর্তন।

আবার নির্দিষ্ট t_2 সময়ের পর বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার বক্ররেখার নির্দিষ্ট বিন্দুতে একটি স্পর্শক টানলে ঐ সরলরেখার ঢালের মান $\frac{-dc}{dt}$ হবে এবং তা t_2 সময়ে বিক্রিয়ার হারের সমান হবে। অনুক্রমভাবে উৎপাদের বক্ররেখার ওপর কোনো বিন্দুতে স্পর্শক রেখা টেনে ঐ রেখার ঢালের মান $\frac{dx}{dt}$ পাওয়া যাবে। লেখচিত্র থেকে আরো বোঝা যায় শুরুর দিকে রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার বেশ থাকে; সময়ের বৃদ্ধির সাথে বিক্রিয়ার হার কমতে থাকে। অর্থাৎ যে কোনো বিক্রিয়ার হার নির্দিষ্ট নয় বরং সময়ের বিপরীতে মোলার ঘনমাত্রার ওপর নির্ভরশীল। \therefore বিক্রিয়ার গতিবেগ বা বিক্রিয়ার হার $= \frac{-dc}{dt} = \frac{dx}{dt}$

$c = t$ সময়ের পর বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা; $x = t$ সময়ে উৎপন্ন উৎপাদের ঘনমাত্রা।

ঝণাঞ্চক চিহ্নের তাৎপর্য : বিক্রিয়কের বিক্রিয়ার হারের বেলায় সমীকরণে ঝণাঞ্চক চিহ্ন ব্যবহারের অর্থ হলো—

- (i) সময়ের সাথে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হাস পায়। (ii) এছাড়া 'বিক্রিয়ার হার'-এর মান কখনো ঝণাঞ্চক হয় না। তাই বিক্রিয়ার হার-এর সমীকরণে ডানদিকে বিয়োগ চিহ্ন (-ve) দিয়ে 'বিক্রিয়ার হার' (i) এর মান ধনাঞ্চক করা হয়েছে।



এ বিক্রিয়ায় 2 mol গ্যাসীয় বিক্রিয়ক (N_2O_5) থেকে 5 mol গ্যাসীয় উৎপাদ (NO_2, O_2) উৎপন্ন হওয়ায়, সময়ের বৃদ্ধির সাথে গ্যাস মিশ্রণের চাপ বৃদ্ধি পায়। তাই গ্যাস মিশ্রণের চাপ বৃদ্ধি মেপে বিক্রিয়ক (N_2O_5) এর মোলার ঘনমাত্রার পরিবর্তন বের করা যায়। নিচের সারণি-8.১ এ 55°C তাপমাত্রায় ঘনমাত্রার পরিবর্তন দেখানো হলো।

সারণি-8.১ : N_2O_5 এর বিযোজনে (55°C) বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রার পরিবর্তন সময়ের বিপরীতে নিম্নরূপ :

সময় (s)	N_2O_5 (mol)	NO_2 (mol)	O_2 (mol)	মন্তব্য
0	0.020	0	0	লক্ষ্য কর সময়ের সাথে
100	0.0169	0.0063	0.0016	N_2O_5 এর বিযোজনে এর
200	0.0142	0.0115	0.0029	মোলারিটির হাস ঘটছে এবং
300	0.0120	0.0160	0.0040	উৎপাদ NO_2 ও O_2 এর
400	0.0101	0.0197	0.0049	মোলারিটি বৃদ্ধি
500	0.0086	0.0229	0.0057	পেয়েছে।

$$\therefore O_2 \text{ গ্যাসের উৎপন্ন হার} = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{(t_2 \text{ সময়ে } O_2 \text{ এর মোল}) - (t_1 \text{ সময়ে } O_2 \text{ এর মোল})}{t_2 - t_1}$$

$$= \frac{(0.0049 \text{ mol} - 0.0040 \text{ mol})}{(400 \text{ s} - 300 \text{ s})} = 9 \times 10^{-6} \text{ M/s}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.১ : $A \rightarrow B$ বিক্রিয়াটিতে A এর প্রাথমিক ঘনমাত্রা 0.275 mol L^{-1} এবং বিক্রিয়া তরঙ্গ হওয়ার 5 মিনিট 20 সেকেন্ড পরে A -এর ঘনমাত্রা হাস পেয়ে 0.125 mol L^{-1} হলো। এ সময়ে গড় বিক্রিয়ার হার নির্ণয় কর।

$$\text{সমাধান : গড় বিক্রিয়ার হার} = \frac{A\text{-এর ঘনমাত্রার পরিবর্তন}}{\text{পরিবর্তনের জন্য প্রয়োজনীয় সময়}} = -\frac{\Delta A}{\Delta t}$$

$$= -\frac{([A_2] - [A_1])}{\Delta t} = -\frac{(0.125 - 0.275) \text{ mol L}^{-1}}{320 \text{ s}} = 4.6875 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

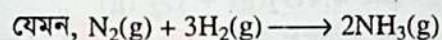
$$\therefore \text{গড় বিক্রিয়ার হার} = 4.6875 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

ভিন্ন মোল সংখ্যার বিক্রিয়ক ও উৎপাদের বেলায় বিক্রিয়ার হার: এক্ষেত্রে বিক্রিয়ার সাধারণ সমীকরণটি হলো নিম্নরূপ:



এক্ষেত্রে সাধারণ বিক্রিয়ার হার নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয় :

$$\text{বিক্রিয়ার হার}, r = -\frac{1}{a} \cdot \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \cdot \frac{d[B]}{dt} = +\frac{1}{c} \cdot \frac{d[C]}{dt} = +\frac{1}{d} \cdot \frac{d[D]}{dt}$$



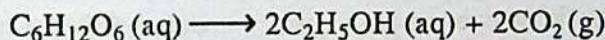
$$\text{এক্ষেত্রে, বিক্রিয়ার হার}, r = -\frac{d[N_2]}{dt} = -\frac{1}{3} \cdot \frac{d[H_2]}{dt} = +\frac{1}{2} \cdot \frac{d[NH_3]}{dt}$$

MCQ-4.4 : একটি বিক্রিয়কের আদি ঘনমাত্রা 0.1 mol L^{-1} থেকে 20 s পরে ঘনমাত্রা 0.05 mol L^{-1} হলে এই বিক্রিয়ার হার কত?

(ক) $1.5 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$
 (খ) $2.5 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$
 (গ) $2.05 \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$
 (ঘ) $2.05 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.২ : বিক্রিয়ক ও উৎপাদ থেকে বিক্রিয়ার হার নির্ণয় :

অ্যালকোহলীয় পানীয়ের উপাদান ইথানল যৌগটি গ্যাসোলিনের অকটেন নাম্বার বৃদ্ধির সহায়ক। এ তরলটি গ্লুকোজের ফারমেন্টেশনে উৎপন্ন হয়। এ বিক্রিয়ার সমতায়ুক্ত সমীকরণটি হলো :



(ক) গ্লুকোজের ফারমেন্টেশন থেকে ইথানলের উৎপাদন হার বের কর।

(খ) বিক্রিয়ার সমীকরণ মতে, $\Delta[C_2H_5OH]/\Delta t$ ও $\Delta[C_6H_{12}O_6]/\Delta t$ এর সম্পর্কটি লেখ।

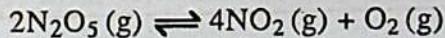
দক্ষতা (Strategy) : বিক্রিয়া হার নির্ণয়ে সমতায়ুক্ত সমীকরণে প্রত্যেক উপাদানের মোল সংখ্যা লক্ষ্য কর।

সমাধান (Solution) : (ক) সমীকরণ মতে, 2 mol ইথানল উৎপন্ন হয় 1 mol গ্লুকোজ থেকে। সুতরাং ইথানল উৎপাদনের হার গ্লুকোজ ফারমেন্টেশন হারের দ্বিগুণ। (খ) যেহেতু ইথানলের উৎপাদন হার হলো' $= \frac{1}{2} \Delta[C_2H_5OH]/\Delta t$ এবং গ্লুকোজের বিয়োজন হার $- \Delta[C_6H_{12}O_6]/\Delta t$; (লক্ষ্য কর বিয়োগ চিহ্ন)।

$$\therefore \text{বিক্রিয়ার হার}, r = \frac{1}{2} \times \frac{\Delta[C_2H_5OH]}{\Delta t} = \frac{-\Delta[C_6H_{12}O_6]}{\Delta t}$$

$$\therefore \text{উভয়ের মধ্যে সম্পর্ক হলো, } \Delta[C_2H_5OH]/\Delta t = -2 \times \Delta[C_6H_{12}O_6]/\Delta t$$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.৩ : অধিক তাপে নাইট্রোজেন পেট্রাইট্রাইড বিয়োজিত হয়ে NO_2 ও O_2 গ্যাস উৎপন্ন হয় :



এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে যদি 6 সেকেন্ডে NO_2 এর ঘনমাত্রা $3.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ বৃদ্ধি পায়, তবে বিক্রিয়ার হার নির্ণয় কর।

সমাধান :

$$\begin{aligned} \text{বিক্রিয়ার হার} &= +\frac{1}{4} \frac{[NO_2]}{\Delta t} & \text{এক্ষেত্রে } [NO_2] = NO_2\text{-এর ঘনমাত্রা} = 3 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \\ &= \frac{1}{4} \times \frac{3.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}}{6 \text{ sec}} & \Delta t = \text{সময়ের ব্যবধান} = 6 \text{ sec} \\ &= 1.25 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ sec}^{-1} \end{aligned}$$

শিক্ষার্থী নিজে কর-8.২ : বিক্রিয়ার হারভিত্তিক :

সমস্যা-8.৩(ক) : বিক্রিয়ার হার কী?

[ব. বো. ২০১৫]

সমস্যা-8.৩(খ) : বিক্রিয়ার হার ও বিক্রিয়ার হার প্রবক্তৰের মধ্যে পার্থক্য কী?

[অনুধাবনভিত্তিক প্রশ্ন]

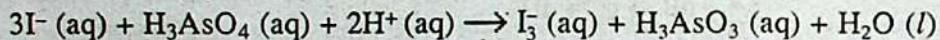
সমস্যা-8.৪ : সারণি-8.১ ব্যবহার করে 200 – 300 s সময়ের ব্যবধানে সংঘটিত (a) N_2O_5 এর বিয়োজন হার ও (b) O_2 গ্যাসের উৎপন্ন হার গণনা কর।

[উ: (a) $2.2 \times 10^{-5} \text{ M/s}$. (b) $1.1 \times 10^{-5} \text{ M/s}$]

সমস্যা-8.৫ : নিচের সমীকরণ মতে, সাধারণ বিক্রিয়ার হার লেখ :

- | | |
|---------------------------------------|--|
| (1) $H_2 + I_2 \rightarrow 2HI$ | (3) $4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O$ |
| (2) $2N_2O_5 \rightarrow 4NO_2 + O_2$ | (4) $A + 2B \rightarrow 2C + D$ |

সমস্যা-৮.৬ : আসেনিক এসিড (H_3AsO_4) দ্বারা আয়োডাইড আয়নের জারণ বিক্রিয়ার সমতাযুক্ত সমীকরণ হলো:



(ক) যদি - $\Delta[I^-]/\Delta t = 4.8 \times 10^{-4} \text{ M/s}$ হয়; ঐ সময়ে $\Delta[I_3^-]/\Delta t$ এর মান কত হবে? [উ: $1.6 \times 10^{-4} \text{ M/s}$]

(খ) এই একই সময়ে H^+ আয়নের বিক্রিয়ার হার কত হবে? [উ: $3.2 \times 10^{-4} \text{ M/s}$]

সমস্যা-৮.৭। $N_2O_5 (g)$ এর বিয়োজন সমীকরণ হলো $2N_2O_5 (g) \rightleftharpoons 4NO_2(g) + O_2 (g)$

এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে যদি বিক্রিয়া শুরু হওয়ার 2 মিনিট 15 সেকেন্ডে NO_2 এর ঘনমাত্রা $5.25 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ বৃদ্ধি পায়। তবে বিক্রিয়াটির হার কত হবে? [উ: $9.722 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$]

সমস্যা-৮.৮ : ইথাইল আসিটেট ($CH_3COOC_2H_5$) এর অমীয় আর্দ্ধবিশ্লেষণে 40 মিনিট সময়ে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা 1.0 mol L^{-1} থেকে 0.5 mol L^{-1} হয়। বিক্রিয়াটির হার কত? [উ: $2.08 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$]

সমস্যা-৮.৯ : H_2O_2 এর 0.1 mol L^{-1} দ্রবণটি বিয়োজিত হয়ে 5 মিনিটে 0.08 mol L^{-1} দ্রবণে পরিণত হলো। বিক্রিয়াটির হার কত? [উ: $3.33 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$]

সমস্যা-৮.১০ : KI এর দ্রবণে নির্দিষ্ট ঘনমাত্রার H_2O_2 দ্রবণ যোগ করায় 5 মিনিটে $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ আয়োডিন মূল্য হয়। এ জারণ বিক্রিয়ার হার কত? [উ: $3.33 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$]

সমস্যা-৮.১১ : $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$; এ বিক্রিয়ার বেলায় উৎপন্ন NH_3 এর ঘনমাত্রা 1 মিনিট 40 সেকেন্ডে $3.5 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ হলে ঐ বিক্রিয়ার হার কত? [উ: $1.75 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$]

সমস্যা-৮.১২ : $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$; এ বিক্রিয়ায় NH_3 উৎপাদন হার বা বিক্রিয়ার হার $4.25 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$ হলে; তখন N_2 ও H_2 কী হারে বিক্রিয়ায় অংশ নেয় তা নির্ণয় কর।

$$\text{[উ: } d[N_2]/dt = 2.125 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}; d[H_2]/dt = 6.375 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}]$$

সমস্যা-৮.১৩ : $4NH_3(g) + O_2(g) \xrightarrow[5.25 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}]{900^\circ C, Pt} 4NO(g) + 6H_2O(g)$; এক্ষেত্রে NO এর উৎপাদন হার $5.25 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$ হলে বিক্রিয়ক NH_3 এর বিক্রিয়া হার এবং স্টিমের উৎপাদন হার কত?

$$\text{[উ: } NH_3 = 5.25 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1} \text{ এবং স্টিম} = 7.875 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}]$$

সমস্যা-৮.১৪ : $2A \rightarrow 3B + C$ বিক্রিয়াটির বেলায়, B উৎপাদিত $2.75 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$ হারে উৎপন্ন হলে A ও C এর সাপেক্ষে বিক্রিয়া হার বের কর। [উ: $A = 1.8332 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$; $C = 9.166 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$]

অধিক জেনে নাও :

রাসায়নিক গতিবিদ্যায় (i) বিক্রিয়ার হার ও (ii) বিক্রিয়ার হার প্রবক্ত এর সাথে (iii) বিক্রিয়ার ক্রম (Order of reaction) নামে একটি প্রয়োজনীয় ‘পদ’ (term) আছে। **বিক্রিয়ার ক্রমের ওপর বিক্রিয়ার হার প্রবক্তের একক নির্ভর করে।**

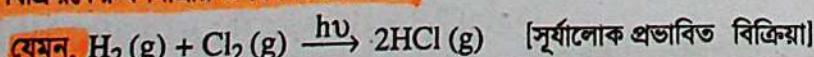
বিক্রিয়ার ক্রমের সংজ্ঞা : বিক্রিয়ার হার নির্ণয়ের পরীক্ষাভিত্তিক ফলাফল অনুসারে ঐ বিক্রিয়ার হার সমীকরণে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রাসমূহের ওপর যে সব ঘাত থাকে, তাদের সমষ্টিকে ঐ বিক্রিয়ার ক্রম বলে।

বিক্রিয়ার ক্রম নির্ণয় : ধরা যাক, একটি বিক্রিয়ার সাধারণ সমীকরণ হলো $aA + bB \rightarrow \text{উৎপাদ}$

পরীক্ষাভিত্তিক ফলাফল অনুসারে, বিক্রিয়ার হার = $k \times [A]^x \times [B]^y$

ধরি, $x + y = n$; সূতরাং বিক্রিয়াটির ক্রম হলো = n ।

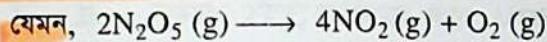
(১) $n = 0$ হলে (পরীক্ষার ফলাফল মতে), বিক্রিয়াটিকে শূন্যক্রম (zero order) বিক্রিয়া বলে। **শূন্যক্রম বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার ওপর নির্ভরশীল নয়।**



$$\therefore \text{বিক্রিয়ার হার} = k \times [H_2]^0 \times [Cl_2]^0 = k,$$

$$\therefore k \text{ এর একক} = \text{mol L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \text{ (হারের একক)}$$

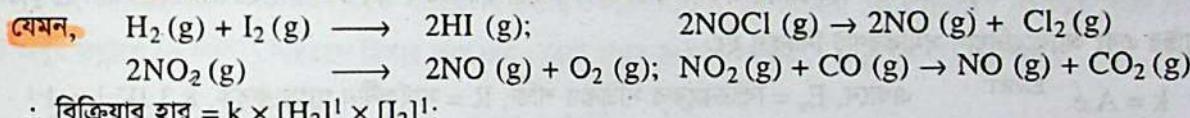
(২) $n = 1$ হলে (পরীক্ষার ফলাফল মতে), বিক্রিয়াটিকে প্রথম ক্রম (1st order) বিক্রিয়া বলে। প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার হার কোনো একটি বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার ১ম ঘাতের ওপর নির্ভরশীল হয়।



$$\therefore \text{বিক্রিয়ার হার} = k \times [\text{N}_2\text{O}_5]^1;$$

$$\therefore k \text{ এর একক} = \frac{\text{বিক্রিয়ার হারের একক}}{[\text{N}_2\text{O}_5] \text{ এর একক}} = \frac{\text{M.s}^{-1}}{\text{M}} = \text{s}^{-1}$$

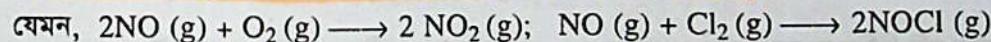
(৩) $n = 2$ হলে (পরীক্ষার ফলাফল মতে), বিক্রিয়াটিকে দ্বিতীয় ক্রম (2nd order) বিক্রিয়া বলে। দ্বিতীয় ক্রম বিক্রিয়ার হার একটি বা দুটি বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার ২য় ঘাতের ওপর নির্ভরশীল হয়।



$$\therefore \text{বিক্রিয়ার হার} = k \times [\text{H}_2]^1 \times [\text{I}_2]^1;$$

$$\therefore k \text{ এর একক} = \frac{\text{বিক্রিয়ার হারের একক}}{[\text{H}_2] \times [\text{I}_2] \text{ এর একক}} = \frac{\text{M.s}^{-1}}{\text{M}^2} = \text{M}^{-1}\text{s}^{-1}$$

(৪) $n = 3$ হলে (পরীক্ষার ফলাফল মতে), বিক্রিয়াটিকে তৃতীয় ক্রম (3rd order) বিক্রিয়া বলে। তৃতীয় ক্রম বিক্রিয়ার হার একটি বা দুটি রিক্রিয়কের ঘনমাত্রার ৩য় ঘাতের ওপর নির্ভরশীল হয়।



$$\therefore \text{বিক্রিয়ার হার} = k \times [\text{NO}]^2 \times [\text{O}_2]^1;$$

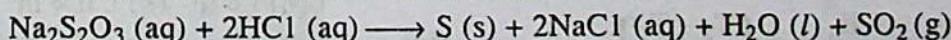
$$\therefore k \text{ এর একক} = \frac{\text{বিক্রিয়ার হারের একক}}{[\text{NO}]^2 \times [\text{O}_2] \text{ এর একক}} = \frac{\text{M.s}^{-1}}{\text{M}^3} = \text{M}^{-2}\text{s}^{-1}$$

৪.৩.২ বিক্রিয়ার হারের ওপর প্রভাব বিস্তারকারী নিয়ামকসমূহ

Factors that Affect the Rate of a Reaction

একই বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ার হারের ওপর প্রভাব বিস্তারকারী প্রধান নিয়ামকসমূহ হলো তাপমাত্রা, চাপ ও ঘনমাত্রা।

(১) তাপমাত্রা (Temperature) : সাধারণত তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে বিক্রিয়ার হারও বৃদ্ধি পায়। যেমন, সোডিয়াম থায়োসালফেট ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) এবং HC_1 এসিডের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে দেখা যায় 20°C তাপমাত্রায় সালফারের অধঃক্ষেপণ হার যতো হয়; 30°C তাপমাত্রায় সালফারের অধঃক্ষেপণ হার এর দ্বিগুণের বেশি হয়।



বিক্রিয়ার হারের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব ও এর ব্যাখ্যা (Impact of Temp. on Reaction Rate) : 1889 খ্রিস্টাব্দে প্রখ্যাত বিজ্ঞানী এস. অ্যারহেনিয়াস, (S. Arrhenius) সর্বপ্রথম বিক্রিয়ার হারের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব অনুধাবন করেন। তিনি প্রমাণ করেন যে, সাধারণভাবে 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রায় সব বিক্রিয়ার হার দ্বিগুণ বা তিনগুণ বৃদ্ধি পায়। এর কারণ হলো—

* (i) তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে বিক্রিয়ক অণু বা আয়নগুলোর গতিবেগ বৃদ্ধি পায়।

* (ii) অণুগুলোর মধ্যে সংঘর্ষের হার বৃদ্ধি পায়।

* (iii) অধিকতর সংখ্যক বিক্রিয়ক অণু বিক্রিয়ার জন্য প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে থাকে।

(ক) সক্রিয়ণ শক্তি (activation energy) : কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়কের একটি অংশ পারস্পরিক আণবিক সংঘর্ষ দ্বারা বা অন্য কোনো উপায়ে বিক্রিয়কের গড় শক্তি অপেক্ষা যে পরিমাণ অধিক শক্তি লাভ করে বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণের উপযুক্তা অর্জন করে, তাকে ঐ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি বলে। বিক্রিয়কের যে অণুসমূহ উক্ত সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে তাদেরকে বলা হয় সক্রিয় অণু (activated molecules)। সক্রিয় অণুগুলোই কেবল বিক্রিয়ায় অংশ নিতে পারে এবং অবশিষ্ট অণুগুলো সক্রিয়ণকৃত না হওয়া পর্যন্ত বিক্রিয়ায় অংশ নিতে পারে না।

বিজ্ঞানী অ্যারহেনিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সক্রিয়ণ শক্তি ও বিক্রিয়ার হারের বৃদ্ধি প্রকাশক একটি গাণিতিক সমীকরণ উন্নাবল করেন; এটি **অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ** নামে পরিচিত। অ্যারহেনিয়াস সমীকরণটি নিম্নরূপ:

$$k = p \cdot Z \cdot e^{-E_a/RT}$$

rate constant
 হার দ্রুতি
 বিন্যাস
 সংবর্ধ হার

steric factor
 স্থানিক দিক
 সংবর্ধ হার

collision rate
 সংঘর্ষ দর

fraction of molecules with activated energy to react
 সক্রিয়ণ শক্তি আশে
 মোট অপুর ভগ্নাংশ

আবার $p \times Z$ এ দুটি রাশিকে একত্রে A প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয়। তখন A কে বলা হয় অ্যারহেনিয়াস ফ্রিকুয়েন্সি ফ্যাক্টর এবং অ্যারহেনিয়াস সমীকরণটি নিম্নরূপ হয়—

$$k = A \cdot e^{-E_a/RT} \quad \text{এখানে, } E_a = \text{বিক্রিয়কের সক্রিয়ণ শক্তি}, R = \text{সার্বজনীন গ্যাস দ্রুতি}, 8.3 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

T = কেলভিন তাপমাত্রা

অ্যারহেনিয়াস সমীকরণের উভয় পার্শ্বে natural logarithm নিয়ে পাই,

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad \dots (1) \quad \text{অথবা, } \log k = \log A - \frac{E_a}{2.303 RT}$$

T_1 ও T_2 তাপমাত্রায় যদি বিক্রিয়ার হার দ্রুতি যথাক্রমে k_1 ও k_2 হয়; তবে সমীকরণ (1) থেকে পাই,

$$\ln k_1 = \ln A - \frac{E_a}{RT_1} \quad \dots (2); \quad \ln k_2 = \ln A - \frac{E_a}{RT_2} \quad \dots (3)$$

এখন (3) নং সমীকরণ থেকে (2) নং সমীকরণ বিয়োগ করে পাই—

$$\ln k_2 - \ln k_1 = -\frac{E_a}{RT_2} + \frac{E_a}{RT_1}$$

$$\text{বা, } \ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] \quad \dots (4)$$

$$\text{বা, } \ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R} \times \left[\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right] \quad \dots (5)$$

$$\text{বা, } \log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303 R} \times \left[\frac{T_2 - T_1}{T_1 \times T_2} \right] \quad \dots (6)$$

MCQ-4.5 : রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারের ওপর প্রভাব আছে—

- (i) তাপমাত্রা (ii) ঘনমাত্রা (iii) চাপের নিচের কোনটি সঠিক?
- (ক) i ও ii (খ) ii ও iii
- (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

(খ) দুই ভিন্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়া হারের তুলনা :

পরীক্ষার মাধ্যমে 27°C তাপমাত্রায় নির্ণীত অধিকাংশ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মান, $E_a = 55 \text{ kJ mol}^{-1}$ হয়। মনে করি, 27°C ও 37°C তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার হার দ্রুতি যথাক্রমে k_1 ও k_2 । এক্ষেত্রে 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে ঐ বিক্রিয়ার হারের তুলনা করা হলো—

অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ মতে,

$$\log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303 R} \times \left[\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right]$$

$$\text{এক্ষেত্রে, } E_a = 55 \text{ kJ mol}^{-1} = 55000 \text{ J mol}^{-1}$$

$$\text{গ্যাস দ্রুতি, } R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{তাপমাত্রা, } T_1 = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$$

$$\text{তাপমাত্রা, } T_2 = (37 + 273) \text{ K} = 310 \text{ K}$$

$$\therefore \log \frac{k_2}{k_1} = \frac{55000 \text{ J mol}^{-1} \times (310 - 300) \text{ K}}{2.303 \times 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 300 \times 310 \text{ K}^2}$$

$$\therefore \log \frac{k_2}{k_1} = 0.30887$$

$$\therefore \frac{k_2}{k_1} = \log^{-1}(0.30887) = 2.036 \approx 2 \text{ (প্রায়)}$$

$k_2 = 2k_1$; সুতরাং 27°C তাপমাত্রা থেকে 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে প্রায় সব বিক্রিয়ার হার দ্রুবক দিগ্নণ হয়ে থাকে।

উদাহরণ : 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে কোনো বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক অণুসমূহের কীরণ সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে তা গণনা করা হলো।

27°C -এ কোনো বিক্রিয়ার নির্ণিত অণুসমূহের প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি, $E_a = 50 \text{ kJ mol}^{-1}$ বা, $50,000 \text{ J mol}^{-1}$ ।

সুতরাং আয়ারহেনিয়াস সমীকরণ মতে সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 300 K তাপমাত্রায় 50 kJ mol^{-1} সক্রিয়ণ শক্তি প্রাপ্ত মোট অণুর ভগ্নাংশ ($e^{-E_a/RT}$) নিম্নরূপে হিসাব করা যায়। মোট অণুর ভগ্নাংশ ফ্যাক্টর, $f = e^{-E_a/RT}$ ধরা হয়।

$$\therefore f = e^{-E_a/RT} = e^{\frac{-50,000}{8.3 \times 300}} = e^{-20.08} = 1.90 \times 10^{-9} = \frac{19}{10^{10}}$$

অর্থাৎ 300 K তাপমাত্রায় 10^{10} টি অণুর মধ্যে 19টি অণু ঐ পরিমাণ সক্রিয়ণ শক্তি পেয়ে বিক্রিয়ায় অংশ নেয়। আবার 310 K তাপমাত্রায় একই বিক্রিয়ায় ঐ একই সক্রিয়ণ শক্তি প্রাপ্ত মোট অণুর ভগ্নাংশ ফ্যাক্টর হলো :

$$f = e^{-E_a/RT} = e^{\frac{-50,000}{8.3 \times 310}} = e^{-19.48} = 3.63 \times 10^{-9} = \frac{36.3}{10^{10}}$$

অর্থাৎ 310 K তাপমাত্রায় 10^{10} টি অণুর মধ্যে 36টি অণু ঐ সক্রিয়ণ শক্তি পেয়ে বিক্রিয়ায় অংশ নেয়।

সুতরাং 10 K বা 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে একই বিক্রিয়ায় দিগ্নণ সংখ্যক বিক্রিয়ক অণু সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে এবং বিক্রিয়ার হার প্রায় দিগ্নণ বৃদ্ধি করেছে।

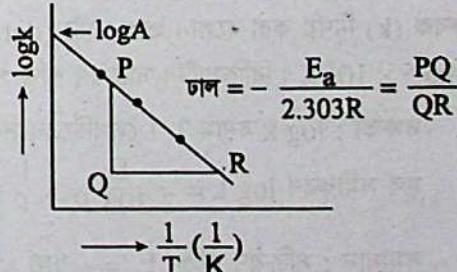
(গ) লেখচিত্র দ্বারা সক্রিয়ণ শক্তির গণনা :

আয়ারহেনিয়াসের সমীকরণ অনুসারে,

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}} \text{ বা, } \ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

$$\text{বা, } 2.303 \log k = 2.303 \log A - \frac{E_a}{RT}$$

$$\text{বা, } \log k = -\left(\frac{E_a}{2.303R}\right) \frac{1}{T} + \log A \dots \dots (6)$$



চিত্র-৪.২ : $\log k$ বনাম $\frac{1}{T}$ এর লেখচিত্র

(৬) নং সমীকরণটি সরলরেখার সমীকরণ, $y = mx + c$ নির্দেশ করে।

সুতরাং $\log k$ বনাম $\frac{1}{T}$ এর লেখচিত্র অঙ্কন করলে একটি সমরেখা পাওয়া যায়, যার ঢাল $= -\frac{E_a}{2.303R}$ হয়।

$$* \text{ এক্ষেত্রে ঢালের একক} = \frac{-E_a}{R} \text{ এর একক} = \frac{-J \cdot mol^{-1}}{J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}} = -K \text{ (কেলভিন)}$$

* লক্ষ্য কর, আয়ারহেনিয়াস সমীকরণের লেখচিত্রের ঢাল হলো ঋগাঞ্চক কেলভিন (K); কিন্তু সক্রিয়ণ শক্তি (E_a) এর মান ধনাঞ্চক। এ থেকে বোঝা যায়, কোনো প্রদত্ত তাপমাত্রা বৃদ্ধির ক্ষেত্রে কোনো নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার জন্য সক্রিয়ণ শক্তি যতোই বেশি হবে, লেখচিত্রে ঢাল ততোই খাড়া (steeper) হবে এবং বিক্রিয়ার হার দ্রুবক ততোই বেশি হবে।

$$* \log k \text{ বনাম } T^{-1} \text{ লেখচিত্রের বেলায়, যখন } \text{ ঢাল} = \frac{-E_a}{2.303R} \text{ হয়, তখন } E_a = -2.303R \times \text{ ঢালের মান (k)}$$

$$* \ln k \text{ বনাম } T^{-1} \text{ লেখচিত্রের বেলায়, যখন } \text{ ঢাল} = \frac{-E_a}{R} \text{ হয়, তখন } E_a = -R \times \text{ ঢালের মান (k)}$$

* কোনো বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি (E_a) নির্ণয় করতে হলে প্রথমে বিভিন্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবকের (k) মান নির্ণয় করে $\log k$ বনাম $\frac{1}{T}$ এর লেখচিত্র অঙ্কন করা হয়। এর ফলে যে সরলরেখা পাওয়া যায়। চিত্রে এর ঢাল থেকে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি গণনা করা হয়।

* অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ শুধু সমস্ত গ্যাসীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে নয়; বরং দ্রবণে সংষ্টিত বিক্রিয়া অথবা অসমস্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রেও এটি সমভাবে প্রযোজ্য।

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৪ : গ্যাসীয় অবস্থায় HI এর বিযোজন বিক্রিয়ায় ভিন্ন ভিন্ন কেলভিন তাপমাত্রায় (T) হার ধ্রুবক (k) নির্ণয় শেষে $\log k$ বনাম T^{-1} লেখচিত্র (গ্রাফ) অঙ্কন করে প্রাপ্ত সরলরেখার ঢাল পাওয়া গেল $-2.24 \times 10^4 \text{ K}$ বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি কতো?

দক্ষতা : $\log k$ বনাম T^{-1} লেখচিত্রের বেলায় সরলরেখার ঢাল $= \frac{-E_a}{R}$ হয়। কারণ তখন,

$$\text{মূল সমীকরণ } \log k = \frac{-E_a}{R} \times \frac{1}{T} + \ln A.$$

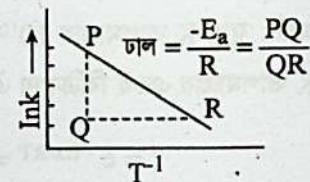
সমাধান : সক্রিয়ণ শক্তি, $E_a = -\text{ঢাল} \times R$

$$\therefore E_a = -(-2.24 \times 10^4 \text{ K}) \times 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{বা, } E_a = 18.62336 \times 10^4 \text{ Jmol}^{-1}$$

$$\text{বা, } E_a = 186.2336 \text{ kJmol}^{-1}$$

$$\therefore \text{বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি হলো, } E_a = 186.2336 \text{ kJmol}^{-1}.$$



$$\text{প্রশ্নমতে, ঢাল} = -2.24 \times 10^4 \text{ K}$$

$$R = 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৫ : গ্যাসীয় অবস্থায় N_2O_5 এর বিযোজন বিক্রিয়ায় ভিন্ন ভিন্ন কেলভিন তাপমাত্রায় (T) হার ধ্রুবক (k) নির্ণয় করা হলো। প্রাপ্ত ডাটা (data) থেকে $\log k$ বনাম T^{-1} লেখচিত্র অঙ্কন করে প্রাপ্ত সরলরেখার ঢাল হয় $-96.5 \times 10^2 \text{ K}$ । বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি গণনা কর।

দক্ষতা : $\log k$ বনাম T^{-1} লেখচিত্রের সরলরেখার ঢাল $= \frac{-E_a}{2.303 R}$ হয়। কারণ তখন,

$$\text{মূল সমীকরণ } \log k = \frac{-E_a}{2.303 R} \times \frac{1}{T} + \log A.$$

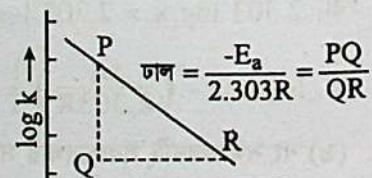
সমাধান : সক্রিয়ণ শক্তি, $E_a = -\text{ঢাল} \times 2.303 R$

$$\therefore E_a = -(-96.5 \times 10^2 \text{ K}) \times 2.303 \times 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{বা, } E_a = 1847.7 \times 10^2 \text{ Jmol}^{-1}$$

$$\text{বা, } E_a = 184.77 \text{ kJmol}^{-1}$$

$$\therefore \text{সক্রিয়ণ শক্তি, } E_a = 184.77 \text{ kJmol}^{-1}$$



$$\text{প্রশ্নমতে, ঢাল} = -96.5 \times 10^2 \text{ K}$$

$$R = 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৬ : গ্যাসীয় অবস্থায় HI এর বিযোজন হার ধ্রুবক 283°C ও 508°C -এ যথাক্রমে, $k_1 = 3.52 \times 10^{-7} (\text{M}^{-1}\text{s}^{-1})$ এবং $k_2 = 3.95 \times 10^{-2} (\text{M}^{-1}\text{s}^{-1})$ হয়। $2\text{HI(g)} \rightarrow \text{H}_2\text{(g)} + \text{I}_2\text{(g)}$

(ক) প্রদত্ত তাপমাত্রাদ্বয়ের হার ধ্রুবকের মান থেকে বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি বের কর।

(খ) 283°C -এ হার ধ্রুবক ও (ক) থেকে নির্ণীত E_a এর মান থেকে 293°C এ বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক (k_3) বের কর।

দক্ষতা (Strategy) : অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ, $\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{-E_a}{R} \times \left[\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right]$

এর মধ্যে T_1 ও T_2 এর সংশ্লিষ্ট মান বসিয়ে E_a (সক্রিয়ণ শক্তি) নির্ণয় সম্ভব।

সমাধান (Solution) : (ক) $k_1 = 3.52 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ এবং $T_1 = 556\text{K}$ (283°C)।

$k_2 = 3.95 \times 10^{-2} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ এবং $T_2 = 781\text{K}$ (508°C). $R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.

$$\therefore \ln \frac{3.95 \times 10^{-2} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}}{3.52 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}} = \frac{-E_a}{8.314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}} \times \left(\frac{556 - 781}{556 \times 781} \right) \text{ K}^{-1}$$

$$\text{বা, } 11.628 = \frac{-E_a \times \text{mol}}{8.314 \text{ J}} \times (-5.18 \times 10^{-4})$$

$$\text{বা, } E_a = 1.87 \times 10^5 \text{ J/mol} = 187 \text{ kJ/mol.}$$

(খ) অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণে $k_1 = 3.52 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$, $T_1 = 556\text{K}$

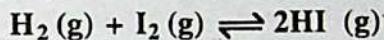
$E_a = 1.87 \times 10^5 \text{ J/mol}$ এবং $T_3 = 556 \text{ K}$ বসিয়ে T_3 তাপমাত্রায় k_3 বের করতে হবে।

$$\ln \frac{k_3}{3.52 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}} = \frac{-1.87 \times 10^5 \text{ Jmol}^{-1}}{8.314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}} \times \frac{(556 - 556)}{556 \times 556} \text{ K}^{-1} = 0.715$$

$$\text{উভয় দিকে অ্যান্টিলন নিয়ে পাই : } \frac{k_3}{3.52 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}} = e^{0.715} = 2.04; \therefore k_3 = 7.18 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$$

মন্তব্য : লক্ষ কর এক্ষেত্রে 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে বিক্রিয়াটির 'হার ক্রিবক' এর মান দ্বিগুণ হয়েছে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৭ : H_2 ও I_2 এর বিক্রিয়ায় HI উৎপাদনের সমীকরণটি হলো—



227°C ও 257°C তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির বেগ ক্রিবকের মান যথাক্রমে $1.95 \times 10^{-4} \text{ L. mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ ও $1.75 \times 10^{-3} \text{ L. mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ হলে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তির মান গণনা কর।

দক্ষতা : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ, $\log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R} \times \left[\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right]$ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : $\log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)$

$$\therefore \log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)$$

$$\log \frac{1.75 \times 10^{-3}}{1.95 \times 10^{-4}} = \frac{E_a \times 10^3}{2.303 \times 8.314} \left(\frac{530 - 500}{500 \times 530} \right)$$

$$\therefore E_a = 161.18 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

$$\therefore \text{বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি} = 161.18 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

এখানে, $k_1 = 227^\circ\text{C}$ তাপমাত্রায় বেগ ক্রিবকের মান
= $1.95 \times 10^{-4} \text{ L. mol}^{-1}\text{s}^{-1}$

$k_2 = 257^\circ\text{C}$ তাপমাত্রায় বেগ ক্রিবকের মান
= $1.75 \times 10^{-3} \text{ L. mol}^{-1}\text{s}^{-1}$

$T_1 = \text{প্রাথমিক তাপমাত্রা} = (227 + 273)\text{K} = 500\text{K}$

$T_2 = \text{শেষ তাপমাত্রা} = (257 + 273)\text{K} = 530\text{K}$

$R = \text{মোলার গ্যাস ক্রিবক} = 8.314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$
= $8.314 \times 10^{-3} \text{ kJmol}^{-1}\text{K}^{-1}$

$E_a = \text{সক্রিয়ণ শক্তি} = ?$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৮ : 45°C তাপমাত্রায় একটি বিক্রিয়ার বেগ ক্রিবক 35°C তাপমাত্রায় এর বেগ ক্রিবকের দ্বিগুণ হলে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি কত?

দক্ষতা : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : $\log \frac{k_1}{k_2} = \frac{-E_a}{2.303R} \left[\frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1} \right]$

$$\text{বা, } \log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R} \left[\frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1} \right]$$

$$\text{বা, } \log 2 = \frac{E_a}{2.303 \times 8.314} \times \frac{10}{318 \times 308}$$

এখানে, $T_1 = (35 + 273) = 308\text{K}$

এবং $T_2 = (45 + 273) = 318\text{K}$

$R = 8.314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$

মনে করি, T_1 তাপমাত্রায় বেগ ক্রিবক = k_1

এবং T_2 তাপমাত্রায় বেগ ক্রিবক = $2k_1$

$E_a = ?$

$$\text{বা, } E_a = \frac{0.301 \times 2.303 \times 8.314 \times 318 \times 308}{10}$$

$$\text{বা, } E_a = 56447.96 \text{ J/mol} ; \therefore E_a = 56.45 \text{ kJ/mol}$$

$$\therefore \text{সক্রিয়ণ শক্তি, } E_a = 56.45 \text{ kJ/mol}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৯ : নাইট্রোজেন পেন্টাওক্সাইডের বিযোজন ($2\text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow 4\text{N}_2\text{O}_4 + \text{O}_2$) হার ক্রমকের মান 25°C ও 65°C তাপমাত্রায় যথাক্রমে $3.46 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ও $4.87 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ । এ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মান কত হবে? ($R = 8.314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$)

দর্শকতা : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

$$\text{সমাধান : } \log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303 R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)$$

$$\text{বা, } \log \frac{4.87 \times 10^{-3}}{3.46 \times 10^{-5}} = \frac{E_a}{2.303 \times 8.314} \left(\frac{338 - 298}{298 \times 338} \right)$$

$$\text{বা, } \log 1.407 \times 10^2 = \frac{E_a}{19.147} \times \frac{40}{1.007 \times 10^5}$$

$$\text{বা, } 2.1482 = E_a \times 2.07459 \times 10^{-5}$$

$$\text{বা, } E_a = \frac{2.1482}{2.07459 \times 10^{-5}} = 10.3549 \times 10^4 \text{ Jmol}^{-1}$$

$$\therefore E_a = 10.3549 \times 10^4 \text{ Jmol}^{-1} = 103.549 \text{ kJmol}^{-1}$$

$$\text{এখানে, } T_1 = (25 + 273) = 298 \text{ K}$$

$$\text{এবং } T_2 = (65 + 273) = 338 \text{ K}$$

$$k_1 = 3.46 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

$$k_2 = 4.87 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

$$R = 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$E_a = ?$$

শিক্ষার্থীর কাজ-৮.৩ : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণভিত্তিক :

সমস্যা-৮.১৫ (ক) : বিজ্ঞানী অ্যারহেনিয়াস প্রমাণ করেন যে, 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য বিক্রিয়ার হার দিগ্ধণ বৃদ্ধি পায়। এর কারণ ব্যাখ্যা কর। [অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-৮.১৫ (খ) : অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ $k = p.z.e^{-E_a/RT}$ এর ক্ষেত্রে তাপমাত্রা T_1 ও T_2 এর বেলায় হার ক্রমক k_1 ও k_2 ধরে $\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{-E_a}{R} \times \left[\frac{T_1 - T_2}{T_1 \times T_2} \right]$ সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর। [অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-৮.১৫ (গ) : একটি বিক্রিয়ার ডিন্ডি ভিন্ডি তাপমাত্রায় বেগ ক্রমকের মান লেখচিত্র $\log k$ বনাম T^{-1} এর বিপরীতে স্থাপন করে যে সরলরেখা পাওয়া যায়। তার ঢাল $-2.872 \times 10^3 \text{ K}$ হয়। বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মান নির্ণয় কর। [উ: 55 kJ.mol^{-1}]

সমস্যা-৮.১৫ (ঘ) : $\text{Ag}_2\text{CO}_3(s) \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{O}(s) + \text{CO}_2(g)$ এ বিক্রিয়ার বিভিন্ন তাপমাত্রায় বেগ ক্রমকের মান নির্ণয় করে $\log k$ বনাম T^{-1} স্থাপন করে লেখচিত্র অঙ্কন করলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় তার ঢাল -82 K । বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তির মান গণনা কর। [উ: 1.57 kJmol^{-1}]

সমস্যা-৮.১৫ (ঙ) : $2\text{HI}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$ এ বিক্রিয়ায় রিভিন্ডি তাপমাত্রায় বেগ ক্রমকের মান নির্ণয় করে $\ln k$ বনাম T^{-1} এর বিপরীতে অঙ্কিত লেখচিত্রে যে সরলরেখা পাওয়া যায় তার ঢাল $-2.24 \times 10^4 \text{ K}$ হয়। বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি গণনা কর। [উ: $186.23 \text{ kJmol}^{-1}$]

সমস্যা-৮.১৬ : N_2O_5 এর বিযোজন হার ক্রমক 25°C ও 55°C তাপমাত্রায় যথাক্রমে $3.7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

এবং $1.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ হয়। $2\text{N}_2\text{O}_5(g) \rightleftharpoons 4\text{NO}_2(g) + \text{O}_2(g)$

(ক) এ বিক্রিয়ায় প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি kJ/mol এককে কত হবে?

[উ: 103.67 kJ/mol]

(খ) 35°C তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির হার ক্রমক কত হবে?

[উ: $1.44 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$]

সমস্যা-৮.১৭ (ক) : HI এর বিযোজন হার ক্রমক 500 K ও 600 K তাপমাত্রায় যথাক্রমে $9.51 \times 10^{-9} \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ ও $1.10 \times 10^{-5} \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ হয়। এ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি kJ/mol এককে কত হবে?

[উ: $1.76 \times 10^2 \text{ kJ/mol}$]

সমস্যা-৮.১৭ (খ) : $2\text{HI(g)} \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$ এর বিয়োজনের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 275°C ও 500°C তাপমাত্রার হার প্রভবকের মান যথাক্রমে $3.50 \times 10^{-7} \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ ও $3.92 \times 10^{-2} \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ । বিয়োজনের সক্রিয়ণ শক্তির মান নির্ণয় কর। [উ: $182.019 \text{ kJ mol}^{-1}$]

সমস্যা-৮.১৭ (গ) : $2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ এ বিয়োজন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 27°C ও 37°C তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির বেগ প্রভবকের মান যথাক্রমে $2.25 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ও $4.75 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ হলে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তির মান নির্ণয় কর। [উ: $57.775 \text{ kJ mol}^{-1}$]

সমস্যা-৮.১৮ : বিক্রিয়া $2\text{NOCl(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO(g)} + \text{Cl}_2(\text{g})$ এর E_a হলো $1.0 \times 10^2 \text{ kJ/mol}$ এবং 500K তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির হার প্রভবক হলো $0.286 \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ । তবে 490K তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির হার প্রভবক কত হবে? [উ: $0.17505 \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$]

সমস্যা-৮.১৯ : 45°C তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার হার প্রভবক 35°C তাপমাত্রায় হার প্রভবকের দ্বিগুণ হলে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি কত? ($R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$) [উ: $56.44 \text{ kJ mol}^{-1}$]

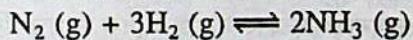
সমস্যা-৮.২০ : $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$; এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 45°C ও 85°C -এ বিক্রিয়ার হার প্রভবকের মান যথাক্রমে $2.25 \times 10^{-5} \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ ও $3.75 \times 10^{-5} \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ হয়। এ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি কত? [উ: 12.1 kJ mol^{-1}]

সমস্যা-৮.২১ : $\text{NO}_2(\text{g}) + \text{CO(g)} \rightleftharpoons \text{NO(g)} + \text{CO}_2(\text{g})$; এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 700K ও 800K তাপমাত্রায় বিক্রিয়ার হার প্রভবকের মান যথাক্রমে $1.3 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ ও $23.0 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ হয়। এ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি kJ/mol এককে কত? [উ: 133.76 kJ/mol]

(২) বিক্রিয়ার হারের ওপর চাপের প্রভাব (Affect of Pressure on Reaction Rate)

গ্যাসীয় মাধ্যমে বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে চাপ বৃদ্ধি করলে তখন গ্যাসের আয়তন সম্মুচ্চিত হয়। এতে অল্প আয়তনে তুলনামূলকভাবে বেশি সংখ্যক গ্যাসীয় অণু থাকে। ফলে পদার্থের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায়। ঘনমাত্রা বৃদ্ধির সাথে গ্যাসের অণুগুলোর মধ্যে সংঘর্ষের মাত্রা বৃদ্ধি পায়। তাই বিক্রিয়ার হারও বৃদ্ধি পায়।

হেবার সংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া গ্যাসের উৎপাদন সমীকরণ নিম্নরূপ :



এক্ষেত্রে ভর ক্রিয়া সূত্র মতে আংশিক চাপ প্রয়োগ করে সাম্যাবস্থায় পাই :

$$\therefore k_p = \frac{(\text{P}_{\text{NH}_3})^2}{\text{P}_{\text{N}_2} \times (\text{P}_{\text{H}_2})^3}, \text{ এখানে } \text{P}_{\text{NH}_3}, \text{P}_{\text{N}_2}, \text{P}_{\text{H}_2}, \text{ হলো } \text{সংশ্লিষ্ট উপাদানের আংশিক চাপ } [\text{সাম্যাবস্থায়}]$$

মনে করি, সাম্যাবস্থায় তাদের মৌল ভগ্নাংশ হলো X_{NH_3} , X_{N_2} , X_{H_2} এবং মোট চাপ হলো P ; তখন প্রত্যেকের আংশিক চাপ = মৌল ভগ্নাংশ \times মোট চাপ,

$$\therefore \text{P}_{\text{N}_2} = X_{\text{N}_2} \times P; \text{P}_{\text{H}_2} = X_{\text{H}_2} \times P; \text{P}_{\text{NH}_3} = X_{\text{NH}_3} \times P;$$

$$\therefore k_p = \frac{(X_{\text{NH}_3} \times P)^2}{X_{\text{N}_2} \times P \times (X_{\text{H}_2} \times P)^3} = \frac{(X_{\text{NH}_3})^2}{X_{\text{N}_2} \times (X_{\text{H}_2})^3 \times P^2}$$

অর্থাৎ k_p এর সমীকরণে P^{-2} যেমন atm^{-2} বা, N^{-2}m^4 জড়িত $[\because \text{চাপের একক} = 1\text{Pa} = 1\text{Nm}^{-2}]$

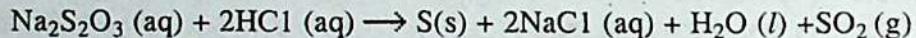
যেহেতু k_p হলো প্রভবক; তাই চাপ (P) বৃদ্ধির সাথে অ্যামোনিয়ার মৌল ভগ্নাংশ X_{NH_3} অবশ্যই বৃদ্ধি পেতে হবে এবং নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনের মৌল ভগ্নাংশ X_{N_2} ও X_{H_2} হ্রাস পেতে হবে। সুতরাং চাপমাত্রা যতোই বৃদ্ধি করা হবে, অ্যামোনিয়া গ্যাসের উৎপাদন ততোই বৃদ্ধি পাবে। তখন সময় কম লাগে।

চিন্তা কর : নিচের কোনু বিক্রিয়ায় নিম্ন চাপে উৎপাদ বেশি হবে?

- (ক) $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI(g)}$ (খ) $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$
- (গ) $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ (ঘ) $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO(g)}$

(৩) বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা (concentration of reactants) : ভরক্রিয়া সূত্রানুসারে কোনো বিক্রিয়ার হার এর বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার সমানুপাতিক, সময় অতিক্রমের সাথে সাথে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার হ্রাস ঘটে। তাই সময় অতিক্রান্ত রসায়ন-১ম (চাসান)-১১০/ক।

হওয়ার সাথে বিক্রিয়ার হারও হ্রাস পায়। আবার বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করলে বিক্রিয়ার গতিবেগ বৃদ্ধি পায়। যেমন সোডিয়াম থায়োসালফেট ও HCl এসিডের মধ্যে বিক্রিয়াটির যে কোনো একটি বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করলে প্রতি ক্ষেত্রে সালফারের অধঃক্ষেপণ হার বৃদ্ধি পায়; সময় কম লাগে।



সারণি-৪.২ : অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়ার হারের ওপর $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ দ্রবণের ঘনমাত্রার প্রভাব

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ দ্রবণের ঘনমাত্রা mol/L	0.01	0.02	0.04	0.08	0.1
অধঃক্ষেপণের সমাপ্তিকাল (s)	98	51	24	12	10

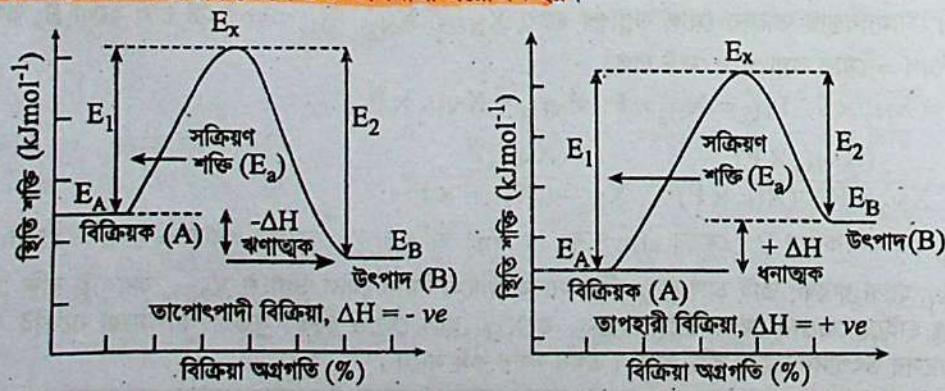
৪.৩.৩ তাপোৎপাদী বিক্রিয়া ও তাপহারী বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি

Activation Energy of Exothermic & Endothermic Reactions

সক্রিয়ণ শক্তি : প্রতিটি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় নতুন পদার্থ উৎপন্ন হয়। নতুন পদার্থ উৎপন্ন হতে হলে শক্তির প্রভাবে পরমাণুগুলোর মধ্যে পূরাতন বন্ধন ভাঙতে হয় এবং নতুন বন্ধন গড়তে হয়। অর্থাৎ কোনো বিক্রিয়ার বিক্রিয়ক পদার্থ উৎপাদ পদার্থে পরিণত হওয়ারকালে বিক্রিয়ক অণু বা কণাগুলোতে একটি ন্যূনতম শক্তি প্রয়োজন হয়। বিক্রিয়াকালে বিক্রিয়কের প্রয়োজনীয় এ 'ন্যূনতম শক্তি'কে সক্রিয়ণ শক্তি বা Activation energy বলে।

বিক্রিয়ার অংশহীনকারী বস্তু কণার যে অংশ এ ন্যূনতম শক্তিমান অর্জন করতে পারে তারাই বিক্রিয়ার সক্রিয় কণা হিসেবে বিবেচিত হয়। ন্যূনতম শক্তিমাত্রাযুক্ত কণাগুলো বিক্রিয়ক ও উৎপাদের শক্তির মধ্যবর্তী একটি অস্থায়ী জটিল অবস্থায় অবস্থান করে। প্রারম্ভিক অবস্থায় বিক্রিয়ক কণার গড় শক্তি (E_A) এবং অস্থায়ী জটিল অবস্থায় বস্তু কণার গড় শক্তি (E_x)-এর পার্থক্যকে ($E_x - E_A$) সক্রিয়ণ শক্তি বলে। বিক্রিয়ার সক্রিয়করণ শক্তিকে চিত্র-৪.৩ (ক, খ) এ দেখানো হলো। চিত্রমতে, বিক্রিয়ক থেকে উৎপাদ অণু গঠনকালে বিক্রিয়ক অণুকে শক্তির একটি বাধা (E_x চূড়া) অতিক্রম করতে হয়। আর এ বাধা অতিক্রম করতে হলে তাদের একটি ন্যূনতম শক্তি ($E_x - E_A$) লাভ করতে হয়। এ শক্তির নাম বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি। অতএব বিক্রিয়া সংঘটিত হতে হলে বিক্রিয়ক বস্তু কণাকে এ সক্রিয়ণ শক্তি অর্জন করতে হয়।

- * সক্রিয়ণ শক্তি যতো বেশি হয় এ শক্তি বিক্রিয়ক বস্তু কণার অর্জন করা ততো কষ্টকর হয় বলে এ শক্তি অর্জনকারী বস্তু কণার সংখ্যাও ততো কম হয়। ফলে বিক্রিয়ার গতি কমে যায়।
- * অপরপক্ষে, সক্রিয়ণ শক্তির মান কম হলে তুলনামূলকভাবে সহজে অধিক সংখ্যক বিক্রিয়ক বস্তুকণা এ শক্তি অর্জন করে। ফলে বিক্রিয়ার গতি বেশি হয়।
- * যে সব বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি কম সেসব বিক্রিয়া সহজে কম তাপমাত্রায় ঘটে। অপরদিকে যেসব বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি বেশি সে সব বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে উচ্চ তাপমাত্রা প্রয়োজন হয়।



চিত্র-৪.৩ (ক) : তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি লেখ

(খ) : তাপহারী বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি লেখ

যে ক্ষেত্রে বিক্রিয়কের হিতি শক্তি (E_A) উৎপন্ন দ্রব্যের বা, উৎপাদের হিতি শক্তির (E_B) চেয়ে বেশি হয়, ত্বরণযুক্ত প্রতিপক্ষ শক্তি ($E_A - E_B$) নির্গত হয়। (চিত্র ৪.৩ (ক))। এ ধরনের বিক্রিয়াকে তাপোৎপাদী যে ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার হিতি শক্তি উৎপাদের হিতি শক্তির চেয়ে কম হয় অর্থাৎ উৎপাদের হিতি শক্তি বেশি হয়, ত্বরণ দ্রুত প্রক্রিয়ায় তাপ প্রাপ্তি যুক্ত। এ সব বিক্রিয়াকে তাপহারী বিক্রিয়া বলে।

* তাপেৎপাদী বিক্রিয়ায় নির্গত তাপ বা তাপহারী বিক্রিয়ায় শোষিত তাপকে বিক্রিয়া তাপ বা এনথালপির পরিবর্তন (ΔH) বলে। তাপেৎপাদী বিক্রিয়া ΔH খণ্ডক [চিত্র-৪.৩(ক)] এবং তাপহারী বিক্রিয়া ΔH ধনাখক হয় [চিত্র-৪.৩(খ)]। তাপ উৎপাদী বিক্রিয়ার বিক্রিয়ক কণাগুলো দ্রুতগতিতে ছুটোছুটি করে এবং অধিক সংখ্যক কণা সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে। ফলে তাপ উৎপাদী বিক্রিয়া দ্রুতগতিতে সম্পন্ন হয়। অপরদিকে, তাপহারী বিক্রিয়ার বস্তু কণার প্রারম্ভিক শক্তি উৎপাদের শক্তির চেয়ে কম অর্থাৎ $E_A < E_B$ হয়। ফলে বিক্রিয়া সম্পাদিত হওয়ার সময় কিছু পরিমাণ শক্তি ($E_B - E_A$) শোষিত হয়। তাই স্বাভাবিক নিয়মে তাপমাত্রা কমে যায় এবং বস্তু কণার গতি-শক্তি কম থাকে। এ জাতীয় বিক্রিয়ার হার তুলনামূলকভাবে কম হয়।

* লেখচিত্র দ্বারা সক্রিয়ণ শক্তি গণনা : অনুচ্ছেদ-৪.৩.২ এর (গ) অংশে দেয়া সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪, ৪.৫ দেখো।

৪.৩.৮ রাসায়নিক বিক্রিয়ার সংঘর্ষ তত্ত্ব

Collision Theory of Chemical Reaction

সংঘর্ষ তত্ত্ব : গ্যাসীয় অবস্থায় দ্বি-আণবিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সংঘর্ষ তত্ত্ব দ্বারা বিক্রিয়ার ধারা ব্যাখ্যা করা প্রথমত সম্ভব হলেও তা দ্রবণে বিক্রিয়কসমূহের বেলায়ও সমভাবে কার্যকরী প্রমাণিত হয়।

বিক্রিয়া সংঘটনের

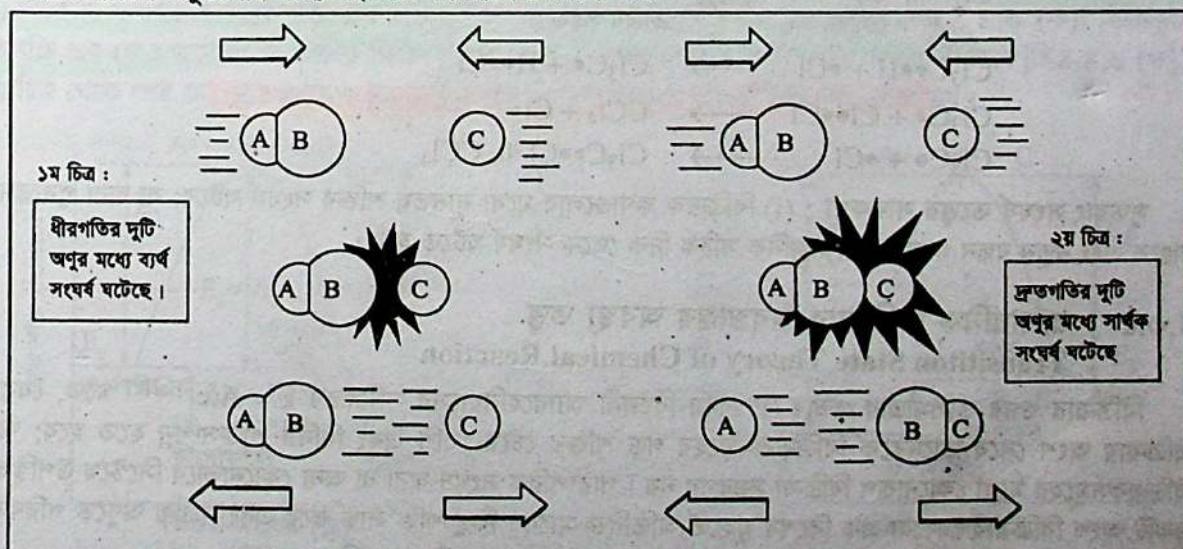
- (১) প্রথম শর্ত হলো → বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী কণাগুলো যেমন অণু, পরমাণু বা আয়ন-এর মধ্যে সংঘর্ষ হতে হবে।
- (২) দ্বিতীয় শর্ত হলো → বিক্রিয়ক পদার্থের মধ্যে সংঘটিত “সংঘর্ষ” অবশ্যই একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম শক্তি সহযোগে হতে হবে।
- (৩) তৃতীয় শর্ত হলো → বিক্রিয়ক পদার্থের মধ্যে সংঘর্ষ একটি নির্দিষ্ট দিক বিন্যাস সহযোগে হতে হবে।

উপরিউক্ত শর্তগুলোকে অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন—

$$\text{rate} = k \cdot p \cdot Z \cdot e^{-E_a/RT}$$

rate
 constant
 [হার ক্রবক]
 steric factor
 [স্থানিক দিক
 বিন্যাস]
 collision rate
 [সংঘর্ষ হার]
 activation energy
 [সক্রিয়ণ শক্তি]

ব্যাখ্যা : প্রথম শর্ত ও দ্বিতীয় শর্ত মতে বিক্রিয়কগুলোর মধ্যে সংঘর্ষ ঘটতে হবে এবং সংঘর্ষটি একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম শক্তিসহকারে হতে হবে। ফলে বিক্রিয়ক অণু বা কণাগুলো একে অপরের সাথে ধাক্কাখেয়ে পুরাতন বক্সন ভেঙে নতুন বক্সন সৃষ্টি করতে পারে। অণুগুলোর মধ্যে সংঘর্ষকে নিম্নরূপে দেখানো যায়—



চিত্র-৪.৪ : বিক্রিয়ক পদার্থের অণুগুলোর মধ্যে ব্যর্থ সংঘর্ষ ও সার্বক সংঘর্ষ

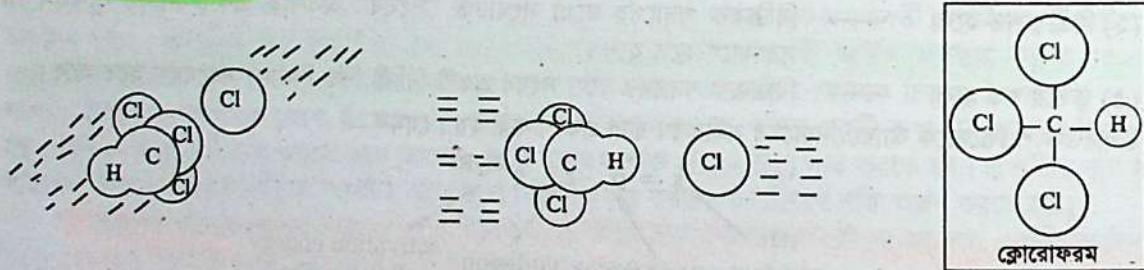
চিত্র থেকে সূম্পষ্ট যে, ১ম চিত্রে পর্যাণ শক্তি সহকারে সংঘর্ষ না ঘটায় অণুর পুরাতন বন্ধনের ভাঙন ঘটেনি। অণুগুলো ফিরে গেছে পূর্বের অবস্থায়। কিন্তু ২য় চিত্রে পর্যাণ শক্তিসহকারে উভয় অণুর মধ্যে সংঘর্ষ ঘটেছে। তাই A ও B এর মধ্যবর্তী পুরালো বন্ধন ভেঙে নতুনভাবে B ও C-এর মধ্যে বন্ধন সৃষ্টি হওয়ায় নতুন অণু BC উৎপন্ন হয়েছে। এক্ষেত্রে গতিশক্তি হিতিশক্তিরপে বন্ধন শক্তিতে রূপান্তরিত হয়েছে।

এখন তৃতীয় শর্ত মতে এ সংঘর্ষ উপযুক্ত শক্তিতে অণুর নির্দিষ্ট দিক থেকে ঘটতে হয়। এর ব্যাখ্যা নিম্নরূপ :

কোনো বিক্রিয়ক অণুর যে দিকে বড় গ্রুপ বা পরমাণু থাকে তার বিপরীত দিক থেকে কেন্দ্রীয় পরমাণুর সাথে অপর বিক্রিয়ক কণাগুলোর সংঘর্ষ ঘটলে তখন বিক্রিয়া ঘটতে পারে; নতুন বিক্রিয়া ঘটবে না। বড় গ্রুপের স্থানিক বিন্যাসের কারণে আক্রমণকারী বিক্রিয়ক যে বাধা পায়, একে বড় গ্রুপ কর্তৃক স্থানিক বাধা বা স্টেরিক বাধা (Steric hindrance) বলা হয়। যেমন—

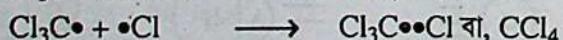
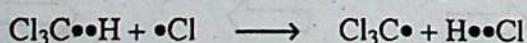
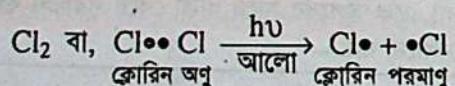
ক্লোরোফরম (CHCl_3) অণুতে একটি কার্বন পরমাণুর সাথে তিন দিক থেকে তিনটি বড় আকারের ক্লোরিন পরমাণু ও অপরদিকে একটি ছোট আকারের H-পরমাণু যুক্ত আছে; আলোর উপস্থিতিতে CHCl_3 এবং Cl_2 -এর বিক্রিয়াকালে প্রথমে ক্লোরিন অণু (Cl_2) আলো শক্তির প্রভাবে বিযোজিত হলে অধিক সক্রিয় ক্লোরিন পরমাণু বা ফ্রি-রেডিকেলে পরিণত হয়।

এখন অধিক সক্রিয় ক্লোরিন পরমাণু প্রত্যাশিত শক্তি নিয়ে CHCl_3 অণুকে আক্রমণ করলেও তাদের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটবে কী ঘটবে না তা নির্ভর করে সংঘর্ষকালীন ক্লোরোফরম অণুর H-পরমাণুর ও Cl -পরমাণুর সঠিক দিক বিন্যাসের উপর। ক্লোরোফরম অণুর যে দিকে H-পরমাণু থাকে সেদিকে Cl -পরমাণুর আক্রমণ ঘটলে, তবে বিক্রিয়া ঘটবে। অন্য তিনিদিকে আক্রমণ করলে বিক্রিয়া ঘটবে না।



CHCl_3 অণুতে
পরমাণুগুলোর স্থানিক বিন্যাস

চিত্র-৪.৫ : CHCl_3 অণুর যেদিকে H-পরমাণু থাকে সেদিকে Cl পরমাণুর সার্থক সংঘর্ষ ঘটতে হবে।



সূতরাং সংঘর্ষ তত্ত্বের সারকথা : (i) বিক্রিয়ক কণাগুলোর মধ্যে ন্যূনতম শক্তির সংঘর্ষ ঘটবে; যা দ্বারা পুরাতন বন্ধন ভাঙবে এবং নতুন বন্ধন গড়বে। (ii) স্থানিক সঠিক দিক থেকে সংঘর্ষ ঘটতে হবে।

৪.৩.৫ রাসায়নিক বিক্রিয়ার অবস্থান্তর অবস্থা তত্ত্ব

Transititon State Theory of Chemical Reaction

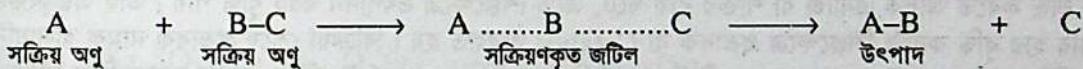
বিক্রিয়ার ওপর তাপমাত্রার প্রভাব সম্পর্কীয় বিজ্ঞানী আরহেনিয়াসের সমীকরণ $k = A \cdot e^{-E_a/RT}$ মতে, যেসব অণু বিক্রিয়ায় অংশ নেবে তাদেরকে বিক্রিয়কসমূহের গড় শক্তির চেয়ে বেশি এবং নির্দিষ্ট শক্তিসম্পন্ন হতে হবে; অন্যথায় বিক্রিয়কসমূহের মধ্যে কোনোরূপ বিক্রিয়া সম্ভবপ্র নয়। পারম্পরিক সংঘর্ষ দ্বারা বা অন্য কোনোভাবে সিস্টেমে উপস্থিত অণুর একটি অংশ বিক্রিয়ার কোনো এক বিশেষ মুহূর্তে অতিরিক্ত মানের কিছু শক্তি লাভ করে এবং সক্রিয় অণুতে পরিণত হয়। বিক্রিয়ার পূর্বে বিক্রিয়ক অণু দ্বারা লক্ষ এ অতিরিক্ত মানের শক্তিই হলো সক্রিয়ণ শক্তি।

(ক) সক্রিয় শক্তির সংজ্ঞা :

কোনো বিক্রিয়ায় পারম্পরিক আণবিক সংঘর্ষ দ্বারা বা অন্য কোনো উপায়ে বিক্রিয়কের একটি অংশ বিক্রিয়কের গড়শক্তি অপেক্ষা যে পরিমাণ অধিক শক্তি লাভ করে বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণের উপযুক্তা অর্জন করে, তাকে ঐ বিক্রিয়ার সক্রিয় শক্তি (activation energy, E_a) বলে। বিক্রিয়কের যে অণুসমূহ উক্ত সক্রিয় শক্তি লাভ করে তাদেরকে বলা হয় সক্রিয় অণু। সক্রিয় অণুগুলোই কেবল বিক্রিয়ায় অংশ নিতে পারে এবং অবশিষ্ট অণুগুলো সক্রিয়ণকৃত না হওয়া পর্যন্ত বিক্রিয়ায় অংশ নিতে পারে না।

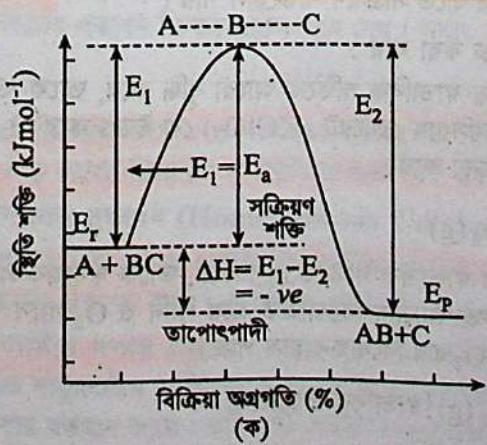
প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করার পর যখন দুটি সক্রিয় অণু পরম্পর নিকটে আসে, তখন তারা তাদের মধ্যস্থ পূর্বের বন্ধন ভেঙে নতুন বন্ধন গড়তে থাকে। উভয় সক্রিয় অণুর মধ্যস্থ বন্ধন ভাঙা-গড়ার ক্ষণস্থায়ী একপ অবস্থাকে সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগ (activated complex) গঠন অবস্থা বলে। রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার তাদের প্রতুতির উপর নির্ভর করে। পরে সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগ নির্দিষ্ট হারে বিযোজিত হয়ে উৎপাদ সৃষ্টি করে। উদাহরণস্বরূপ নিম্নোক্ত বিক্রিয়াটি বিবেচনা করা যাক।

এখনে A অণু যখন BC এর নিকটে আসতে থাকে তখন B ও C এর মধ্যকার বন্ধন ক্রমশ দূর্বল হবে এবং A ও B এর মধ্যে নতুন বন্ধন সৃষ্টি হতে থাকবে। শেষে A, B ও C একত্রে একটি সক্রিয়ণকৃত জটিল সৃষ্টি করবে, যা বিযোজিত হয়ে বিক্রিয়ার উৎপাদ তৈরি করবে।

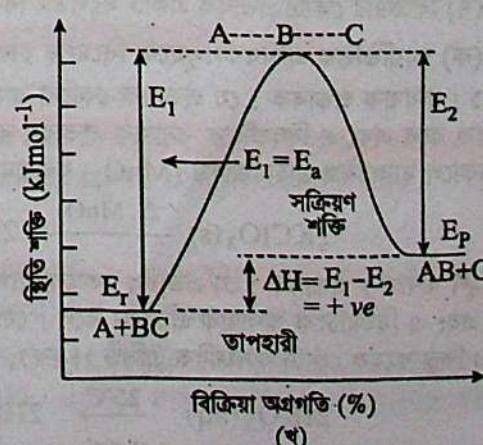


সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগের স্থিতিশক্তি বিক্রিয়ক বা উৎপাদ অপেক্ষা বেশি এবং সর্বোচ্চ। বিক্রিয়ক উৎপাদে পরিণত হবার সময় স্থিতিশক্তির পরিবর্তন ঘটে। ($\text{A} + \text{BC}$) এর বর্তমান শক্তি এবং সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগের শক্তির মধ্যে পার্থক্যই হলো সক্রিয়ণ শক্তি ΔE_a ।

বিক্রিয়ার অবস্থান্তর অবস্থা ও শক্তি-পর্বত : বিক্রিয়ক থেকে উৎপাদে পরিণত হতে হলে বিক্রিয়ককে অবশ্যই একটি 'শক্তির বাধা' অতিক্রম করতে হবে। শক্তির এ বাধাকে শক্তি-পর্বত (Energy-hill) বলে। সক্রিয় অণু দ্বারা 'শক্তি-পর্বত' অতিক্রমের ছড়ান্ত পর্যায়ে অর্থাৎ যে অবস্থায় সক্রিয় অণুগুলো উৎপাদ অণুতে রূপান্তরিত হতে শুরু করে সে মুহূর্তে একদিকে পরমাণুগুলোর মধ্যে পূর্বের বন্ধনের ভাঙন ঘটে; অপরদিকে ঐ সব পরমাণুর মধ্যে নতুন বন্ধন গঠন শুরু হয়। সক্রিয় অণুগুলোর মধ্যে পূর্বের বন্ধন ভাঙন ও নতুন বন্ধন গঠনের একপ অবস্থাকে বিক্রিয়ার অবস্থান্তর অবস্থা বলা হয়। বিক্রিয়ার এ অবস্থান্তর অবস্থাকে 'সক্রিয়ণকৃত জটিল গঠন' অবস্থা ও বলা হয়। শক্তি পর্বতের শীর্ষে সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগ এবং বামদিকের পাদদেশে বিক্রিয়ক এবং ডান দিকের পাদদেশে উৎপাদ অবস্থান করে। পাদদেশে অবস্থানকালে বিক্রিয়কের স্থিতিশক্তি ও উৎপাদের স্থিতিশক্তির পার্থক্য হলো বিক্রিয়ার এনখালপি $\Delta H = (E_1 - E_2)$ । যদি বিক্রিয়কের স্থিতিশক্তি স্তর (E_1) অপেক্ষা উৎপাদের স্থিতিশক্তি স্তর (E_p) নিচে হয় তবে বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী [চিত্র : ৪.৬ (ক)] বিক্রিয়কের স্থিতিশক্তি স্তর (E_1) অপেক্ষা উৎপাদের স্থিতিশক্তি স্তর (E_p) ওপরে থাকলে বিক্রিয়াটি তাপহারী হবে [চিত্র-৪.৬ (খ)]। উভয় চিত্র থেকে স্পষ্ট যে, ΔH এর মান ($E_1 - E_p$) এর মানের সক্রিয়ণ শক্তির উপর নির্ভরশীল নয়।



চিত্র-৪.৬ : স্থিতি শক্তি বনাম বিক্রিয়া অগ্রগতি (%) [বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি ও অবস্থান্তর অবস্থা]



(খ) বিক্রিয়ার হার ও সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রার মধ্যে সম্পর্ক : কোনো বিক্রিয়ায় সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে বিক্রিয়ক যে হারে সক্রিয়ণকৃত জটিল যোগ গঠন করে মোট বিক্রিয়াটির পরীক্ষালক্ষ হার তার সমান হয়। অতএব, যে বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি বেশি তার গতির হার কম হবে এবং যে বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি কম তার গতির হার বেশি হবে। কেননা, সক্রিয়ণ শক্তি বেশি হলে অণুসমূহের পক্ষে সে পরিমাণ শক্তি সংগ্রহ করা কষ্টকর হয়ে পড়ে। অন্য কথায় বলা যায়, বিক্রিয়ক অণুসমূহের মধ্যে খুবই কমসংখ্যক অণু প্রয়োজনীয় অধিক সক্রিয়ণ শক্তি সম্পন্ন হয়ে সক্রিয় অণুতে পরিণত হয় এবং বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে। ফলে ঐ বিক্রিয়ার হার কম হয়।

অপরদিকে সক্রিয়ণ শক্তি কম হলে একই সময়ে অনেক বেশি সংখ্যক বিক্রিয়ক অণু প্রয়োজনীয় করে সক্রিয়ণ শক্তি সম্পন্ন হয়ে বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে। ফলে ঐ বিক্রিয়ার হার বেশি হয়। সুতরাং বিক্রিয়ার হার সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রার ব্যাস্তানুপাতিক।

৪.৮ প্রভাবক ও প্রকারভেদ, প্রভাবক সহায়ক ও প্রভাবক বিষ

Catalysts & Their Classification, Promoter & Catalyst Poison

আমরা এর মধ্যে জেনেছি বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধিতে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা, তাপমাত্রা ও চাপের প্রভাব রয়েছে। তাপমাত্রা ও চাপের বৃদ্ধি করতে অধিক এনার্জি বা শক্তির ব্যয় ঘটে, এতে শিল্পক্ষেত্রে উৎপাদন খরচ বৃদ্ধি পায়। তাই এর বিকল্প হিসেবে বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি করতে শিল্পক্ষেত্রে প্রভাবক বা Catalyst ব্যবহৃত হয়। বিক্রিয়া শেষে প্রভাবক নামক রাসায়নিক পদার্থ অপরিবর্তিত থাকে। তাই যে সব রাসায়নিক পদার্থ বিক্রিয়কের সংশ্পর্শে উপস্থিত থেকে রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি বা হাস করে এবং বিক্রিয়া শেষে নিজে গঠন ও তরে অপরিবর্তিত থাকে, তাকে প্রভাবক বা অনুষ্টুক বলে। প্রভাবকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়ার গতি প্রভাবাবিত করার প্রক্রিয়াকে প্রভাবন (catalysis) বলে।

প্রভাবকের বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধির ক্ষেত্রে নিম্নোক্ত দুটো প্রধান ভূমিকা বা বৈশিষ্ট্য রয়েছে :

*(১) প্রতিটি প্রভাবক সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কের সক্রিয়ণ শক্তি (activation energy)-কে হাস করে বিক্রিয়াটি নতুনভাবে, নিম্নশক্তির ধারায় বা মেকানিজমে সংবচ্ছিত করে।

* (২) প্রভাবক উভয়মুখী বিক্রিয়ার সম্মুখমুখী ও পচামুখী উভয় বিক্রিয়ার গতিকে বৃদ্ধি করে। প্রভাবকবিহীন কোনো বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ ‘উৎপাদ’ তৈরি হয়; এ বিক্রিয়ায় প্রভাবক ব্যবহার করে একই পরিমাণ ‘উৎপাদ’ করে সময়ে তৈরি করা সম্ভব হয়। তখন ঐ বিক্রিয়াটি অধিকতর দ্রুত সম্পন্ন হয় মাত্র।

এছাড়া প্রভাবকের আরো বৈশিষ্ট্যের মধ্যে নিম্নোক্তগুলো উল্লেখযোগ্য।

(৩) প্রভাবক কোনো উভয়মুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থাকে পরিবর্তন করতে পারে না।

(৪) প্রভাবকের কার্যকারিতা অত্যন্ত সুনির্দিষ্ট। অর্থাৎ একটি নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার জন্য একটি নির্দিষ্ট প্রভাবক ব্যবহৃত হয়।

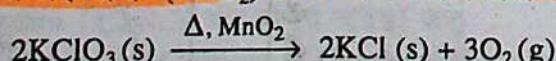
(৫) বিক্রিয়া শেষে প্রভাবকের ভরের বা গঠনের কোনো পরিবর্তন ঘটে না।

(৬) সামান্য পরিমাণ প্রভাবকে বিক্রিয়ার বেগ কার্তিত মানে বৃদ্ধি বাহাস করতে পারে।

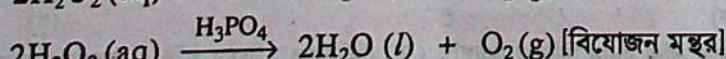
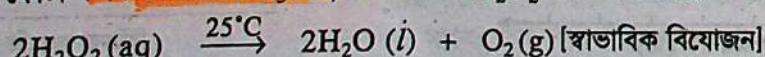
(৭) বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে প্রভাবক একটি সরলতম বিকল্প পথ সৃষ্টি করে যাতে সক্রিয়ণ শক্তি হাস পায়।

(ক) কার্যতাত্ত্বিক প্রভাবকসমূহকে নিম্নোক্ত চার শ্রেণিতে বিভক্ত করা যায় :

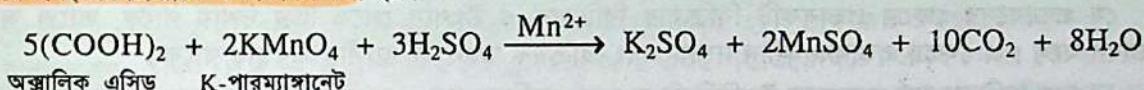
১। ধনাত্মক প্রভাবক : যে প্রভাবক কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার স্বাভাবিক গতিকে আরো বৃদ্ধি করে, তাকে ধনাত্মক প্রভাবক বলে এবং এ বিষয়টিকে ধনাত্মক প্রভাবন বলে। যেমন, KClO_3 ক্লোরেট (KClO_3) কে উৎপন্ন করে O_2 গ্যাস প্রস্তুতকালে MnO_2 ধনাত্মক প্রভাবকরূপে ক্রিয়া করে।



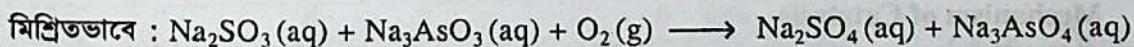
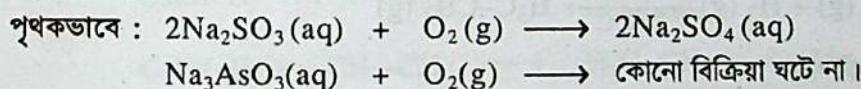
২। ঝনাত্মক প্রভাবক : যে প্রভাবক কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার স্বাভাবিক গতিকে আরো বৃদ্ধি করে, তাকে ঝনাত্মক প্রভাবক বলে এবং এ বিষয়টিকে ঝনাত্মক প্রভাবন বলে। যেমন, H_2O_2 কক্ষতাপমাত্রায় বিযোজিত হয়ে পানি ও O_2 গ্যাস উৎপন্ন করে। কিন্তু কয়েক ফোঁটা ফসফরিক এসিড H_3PO_4 যোগ করলে H_2O_2 এর বিযোজন হাস পায়।



৩। অটো প্রভাবক বা স্ব-প্রভাবক : কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় উৎপন্ন পদার্থের একটি নিজেই যখন প্রভাবকের ধর্ম সম্পন্ন হয় এবং তা নিজেই ঐ বিক্রিয়ার গতিকে বৃদ্ধি করে, তখন তাকে অটো প্রভাবক বলে এবং এ বিষয়টিকে অটো প্রভাবক বলা হয়। যেমন, অক্সালিক এসিডের দ্রবণ H_2SO_4 মিশ্রিত $KMnO_4$ দ্রবণ ফেঁটায় ফেঁটায় যোগ করলে প্রথমে পারম্যাঙ্গানেটের গোলাপী বর্ণ ধীরে ধীরে দূর হয়। কিন্তু কিছুক্ষণ পরেই দ্রবণে কিছু Mn^{2+} আয়ন উৎপন্ন হওয়া মাত্রেই $KMnO_4$ দ্রবণের গোলাপী বর্ণ দ্রুত দূর হয়। এক্ষেত্রে উৎপন্ন $MnSO_4$ -এর ম্যাঙ্গানাস আয়ন (Mn^{2+}) স্ব-প্রভাবকরূপে ক্রিয়া করে এবং এর ক্রিয়াকে স্ব-প্রভাবক বলা হয়।

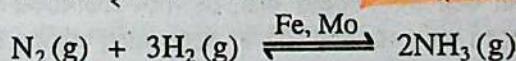


৪। আবিষ্ট প্রভাবক : কোনো বিক্রিয়ার একটি বিশেষ বিক্রিয়কের প্রভাবে যখন তার অপর বিক্রিয়কের সাথে তৃতীয় কোনো পদার্থের বিক্রিয়া ঘটে; কিন্তু পৃথকভাবে তাদের মধ্যে কোনো বিক্রিয়া ঘটে না; তখন ঐ বিশেষ বিক্রিয়কটিকে পরের বিক্রিয়ার আবিষ্ট প্রভাবক বলে এবং তার একাপ ক্রিয়াকে আবিষ্ট প্রভাবক বলা হয়। যেমন, সোডিয়াম সালফাইট (Na_2SO_3) এর দ্রবণ O_2 গ্যাস চালনা করলে Na_2SO_3 জারিত হয়ে Na_2SO_4 উৎপন্ন হয়। কিন্তু অনুরূপ অবস্থায় সোডিয়াম আর্সেনাইট (Na_3AsO_3) অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয় না। অথচ সোডিয়াম সালফাইট ও আর্সেনাইটের মিশ্র দ্রবণে O_2 গ্যাস চালনা করলে উভয়েই জারিত হয়।

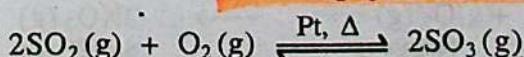


এক্ষেত্রে সোডিয়াম সালফাইটের প্রভাবে সোডিয়াম আর্সেনাইট জারিত হয়। তাই এক্ষেত্রে Na_2SO_3 হলো আবিষ্ট প্রভাবক।

প্রভাবক সহায়ক বা প্রভাবক প্রমোটর : যে সব রাসায়নিক পদার্থের উপস্থিতিতে বা প্রভাবে বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত কোনো প্রভাবকের প্রভাবন ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়, তাদেরকে প্রভাবক সহায়ক বা প্রমোটর বলে। যেমন, হেবুর পদ্ধতিতে N_2 ও H_2 গ্যাস থেকে অ্যামোনিয়া (NH_3) উৎপাদনকালে লৌহচূর্ণ প্রভাবকের সাথে সামান্য পরিমাণে মলিবডেনাম ধাতুর (Mo) উঁড়া মিশানো হলে লৌহ প্রভাবকের প্রভাবন ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়। তাই এক্ষেত্রে Mo ধাতু হলো Fe প্রভাবকের সহায়ক বা প্রমোটর।



প্রভাবক বিষ : যে সব রাসায়নিক পদার্থের উপস্থিতিতে বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত কোনো প্রভাবকের প্রভাবন ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়, তাদেরকে সংশ্লিষ্ট প্রভাবকের বিষ বলে। সাধারণত ধূলাবালি, সালফার উঁড়া, আর্সেনিক অক্সাইড (As_2O_3) ইত্যাদি প্রভাবক বিষরূপে কাজ করে। যেমন, স্পর্শ পদ্ধতিতে SO_2 গ্যাস থেকে SO_3 গ্যাস উৎপাদনকালে SO_2 গ্যাসের সাথে সামান্য পরিমাণে আর্সেনিক অক্সাইড উপস্থিত থাকলে, তখন ঐ বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত প্লাটিনাম (Pt) প্রভাবকের প্রভাবন ক্রিয়াকে হাস করে দেয়। অর্থাৎ এক্ষেত্রে As_2O_3 প্রভাবক বিষরূপে ক্রিয়া করে।

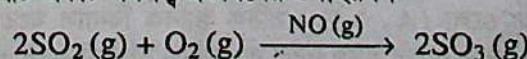


(ব) **বিক্রিয়ক, উৎপাদ ও ব্যবহৃত প্রভাবকের ভৌত অবস্থাভিত্তিক প্রভাবকসমূহকে সমস্ত প্রভাবক ও অসমস্ত প্রভাবক এবং এদের ক্রিয়াকে দু'শ্ৰেণিতে ভাগ করা হয়; যেমন— (১) সমস্ত প্রভাবন ও (২) অসমস্ত প্রভাবন।**

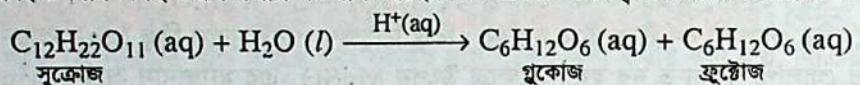
১। সমস্ত প্রভাবন (Homogeneous Catalysis)

যে প্রভাবনের ক্ষেত্রে প্রভাবকসহ বিক্রিয়ার সব পদার্থ একই ফেস (Phase) বা ভৌত অবস্থায় বর্তমান থাকে তাকে সমস্ত প্রভাবন বলে। এ ক্ষেত্রে প্রভাবক, বিক্রিয়ক ও উৎপাদ সবই গ্যাস বা তরল বা দ্রবণে থাকে।

(i) **গ্যাসীয় দশার ক্ষেত্রে :** লেড প্রকোষ্ঠ পদ্ধতিতে H_2SO_4 উৎপাদনে নাইট্রিক অক্সাইড (NO) প্রভাবকের উপস্থিতিতে বায়ুমণ্ডলীয় অক্সিজেন দ্বারা সালফার ডাইঅক্সাইডের জারণ ঘটে। এক্ষেত্রে প্রভাবক, বিক্রিয়ক ও উৎপাদ সবই গ্যাসীয় দশায় বর্তমান আছে। তাই এটি একটি সমস্ত প্রভাবনের উদাহরণ।



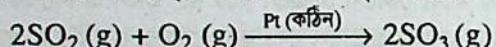
(ii) তরল দশার ক্ষেত্রে : সুক্রোজ বা ইক্সুচিনির আর্দ্ধ বিশ্লেষণে খনিজ এসিড প্রভাবক হিসেবে কাজ করে। এক্ষেত্রে প্রভাবক, বিক্রিয়ক এবং উৎপাদ সবই তরল দশায় বর্তমান আছে। এটি একটি সমসত্ত্ব প্রভাবনের উদাহরণ।



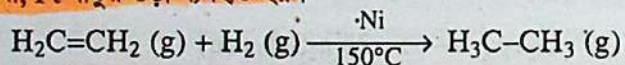
২। অসম্মিলিত প্রভাবন (Heterogeneous Catalysis)

যে প্রভাবনের ক্ষেত্রে প্রভাবকটি বিক্রিয়ার বিক্রিয়ক ও উৎপাদ থেকে ভিন্ন দশায় থাকে, তাকে অসমসত্ত্ব প্রভাবন বলে। এ ক্ষেত্রে প্রভাবক কঠিন দশায় এবং বিক্রিয়ক তরল বা গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে।

(i) সূক্ষ্ম প্লাটিনাম চূর্ণ প্রভাবকের উপস্থিতিতে সংশ্রেষ্ণ পদ্ধতিতে SO_2 -এর জারণ ঘটে। এক্ষেত্রে প্রভাবক, বিক্রিয়ক ও উৎপাদ ভিন্ন ভিন্ন ভৌত দশায় আছে। এটি একটি অসমস্তু প্রভাবনের উদাহরণ।



(ii) কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধন ($C=C$) যুক্ত ইথিন গ্যাস ও অসম্পূর্ণ ডিজিটেবল অয়েল এর প্রভাবকীয় হাইড্রোজেনেশন থেকে ইথেন এবং ভিজিটেবল অয়েল যেমন সয়াবিন তৈল থেকে ডালডা ঘি বা মার্জারিন উৎপাদন প্রক্রিয়া হলো। অসমসত্ত্ব প্রভাব। এতে Ni বা, Pt ধাতুর উঁড়া ব্যবহৃত হয়।



৪.৪.২ প্রভাবনের ক্রিয়া-কৌশল

Mechanism of Catalysis

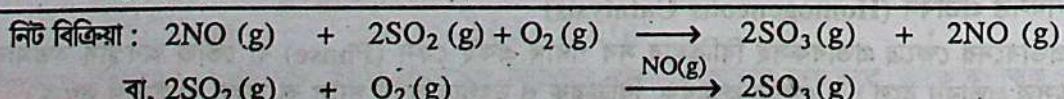
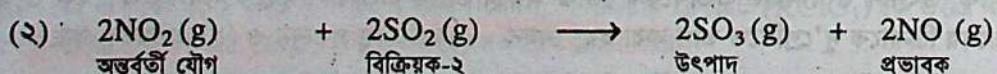
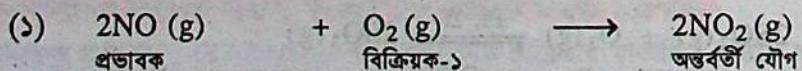
ତୋମରା ନିଶ୍ଚଯାଇ ଅବାକ ହୁୟେ ଭାବରୁ ପ୍ରଭାବକ କୋଣୋ ବିକ୍ରିଯା ଅଂଶଧରଣ ନା କରେଓ କିଭାବେ ତା ବିକ୍ରିଯାକେ ପ୍ରଭାବାବିତ କରେ । ପ୍ରକୃତପକ୍ଷେ ପ୍ରଭାବକସମ୍ମୁଦ୍ର ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକ୍ରିଯାର ମଧ୍ୟମେ ପ୍ରଭାବନ କାଜ କରେ । ଏସବ ପ୍ରକ୍ରିଯାକେ ଦୃଢ଼ ଭାଗେ ଭାଗ କରା ଯାଏ ।

(ক) অতর্বর্তী যোগ গঠন প্রক্রিয়া (Formation of intermediate compound)

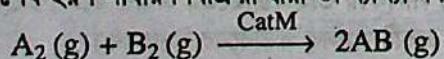
(খ) অধিশোষণের মাধ্যমে প্রভাবন (Catalysis through adsorption)

(ক) সমসত্ত্ব প্রভাবনের ক্রিয়া কৌশল : অন্তর্বর্তী যোগ গঠন : সমসত্ত্ব প্রভাবনের ক্ষেত্রে অন্তর্বর্তী যোগ গঠন কৌশল কার্যকর। এ কৌশলের মূলে রয়েছে প্রভাবক কোনো একটি বিক্রিয়কের সাথে অস্থায়ী অন্তর্বর্তী যোগ গঠন করে। এরপর এ যোগটি অন্য বিক্রিয়কের সাথে বিক্রিয়া করে উৎপাদ তৈরি করে, সে সাথে প্রভাবকের পুনর্জন্ম (regeneration) হয়। এ প্রভাবক আবার একই সাথে বিক্রিয়া করে। অর্থাৎ সামগ্রিক বিক্রিয়া কয়েক ধাপে অনুষ্ঠিত হয়। প্রথম ধাপে প্রভাবক নিঃশেষিত হয়। শেষ ধাপে তা পুনরায় সৃষ্টি হয়। ফলে প্রভাবকের সামগ্রিক পরিমাণ ঠিক থাকে। যেমন,

NO গ্যাস প্রভাবকের উপস্থিতিতে বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা SO_2 এর জারণ বিক্রিয়া অন্তর্ভূতী যোগ গঠন কোশল দ্বারা ঘটে। প্রথম ধাপে নাইট্রিক অক্সাইড প্রথম বিক্রিয়ক অক্সিজেনের সাথে বিক্রিয়া করে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করে। এই নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড হচ্ছে অন্তর্ভূতী যোগ। এটি দ্বিতীয় বিক্রিয়ক SO_2 এর সাথে বিক্রিয়া করে মূল উৎপাদ সালফার ট্রাইঅক্সাইড (SO_3) উৎপন্ন করে, সাথে নাইট্রিক অক্সাইড পুনরায় সৃষ্টি হয়।



(৪) অসমস্ত প্রভাবনের ক্রিয়া কৌশল : অধিশোষণের মাধ্যমে প্রভাবন : অসমস্ত প্রভাবনের বেলায় অধিশোষণ দ্বারা নিম্নোক্ত চার ধাপে প্রভাবন কৌশল শেষ হয়। সাধারণ বিক্রিয়া দ্বারা তা ব্যাখ্যা করা হলো—



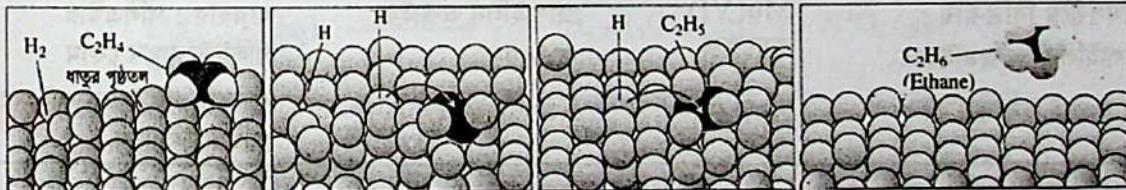
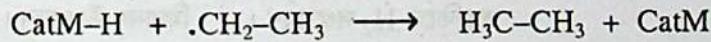
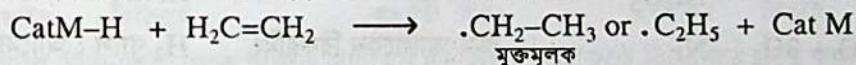
୧ୟ ଧାପ : ଗ୍ୟାସିଯ ବିକ୍ରିଯକ ଅଣୁଶ୍ଲୋ (A₂ ଓ B₂) ସଠିକ ଶ୍ଵାନିକ ବିନ୍ୟାସ ମତେ ପ୍ରଭାବକ (CatM) ଏର ପୃଷ୍ଠତଳେ ଅଧିଶୋଭିତ ହୁଏ । ଅର୍ଥାତ୍ ଧାତୁର ଖାଲି d ଅରବିଟାଲେର ସାଥେ ଦୂର୍ବଲ ରାସାୟନିକ ବନ୍ଦନଶକ୍ତାରେ ଏକ-ଆଗବିକ ତର ସୃଷ୍ଟି କରେ ।

২য় ধাপ : এ ধাপে অধিশোষিত অবস্থায় অণুর সময়োজী বন্ধন দুর্বল হয়ে পড়ে। সঠিক স্থানিক বিন্যাসের ফলে পাশাপাশি অণুর মধ্যে সার্থক সংঘর্ষ সংখ্যা বেড়ে যায় এবং নিম্নশক্তির সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগ CatM-A গঠন করে।

৩য় ধাপ : এ ধাপে অপর বিক্রিয়ক অণু (B_2) ও CatM-A এর নতুন বন্ধন দ্বারা A-B অণু সৃষ্টি হয় এবং প্রভাবক পৃষ্ঠে তখনো আটকে থাকে। বিক্রিয়ায় উৎপন্ন শক্তি ধাতব প্রভাবকে শোষিত এবং পরে তা বিক্রিয়ক অণুকে যোগান দেয়।

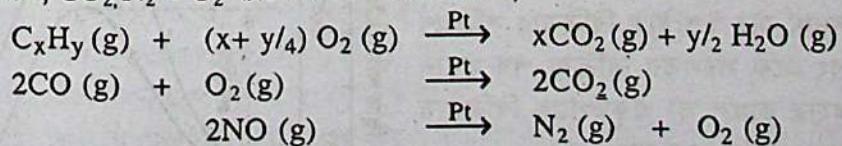
৪র্থ বা শেষ ধাপ : শেষ ধাপে উৎপাদ অণুসমূহ ($2AB$) প্রভাবকের পৃষ্ঠাতল থেকে বিমুক্ত হয়।

উদাহরণ : ফুড ইভাস্ট্রিতে কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধন ($C=C$) যুক্ত অসম্পূর্ণ ভিজিটেবল অয়েল থেকে প্রভাবকীয় হাইড্রোজেনেশন প্রক্রিয়ায় কঠিন চর্বি বা মার্জারিন (কৃত্রিম মাখন) উৎপাদন করা হয়। এক্ষেত্রে প্রভাবকরূপে Ni অথবা Pt এর গুঁড়া ব্যবহৃত হয়। ইথিন ($H_2C=CH_2$) গ্যাসের হাইড্রোজেনেশন ও একই পদ্ধতিতে ঘটে। এসব ক্ষেত্রে ১ম ধাপে ধাতুর তলদেশে বিক্রিয়ক অণুসমূহ অধিশোষিত হয়। ২য় ধাপে H_2 অণুর সময়োজী বন্ধন H-H ভেঙ্গে নতুনভাবে হাইড্রোজেন পরমাণু ও ধাতুর পরমাণু (CatM) এর মধ্যে নিম্নশক্তির সক্রিয়ণকৃত CatM-H জটিল সৃষ্টি হয়। ৩য় ধাপে CatM-H জটিল অপর অধিশোষিত $H_2C=CH_2$ এর একটি C-পরমাণুতে একটি H পরমাণু যোগান দেয় এবং ধাতব বন্ধনে আবদ্ধ C_2H_5 মূলক বা গ্রহণ সৃষ্টি হয়। এরপর ২য় H-পরমাণু একইভাবে যুক্ত হয়ে ইথেন অণু (C_2H_6) সৃষ্টি হয়। ৪র্থ ধাপে প্রভাবকের পৃষ্ঠাতল থেকে সৃষ্টি C_2H_6 অণু মুক্ত হয়।



চিত্র-৪.৭ : ইথিন গ্যাসের হাইড্রোজেনেশন-এর প্রস্তাবিত যোকানিজম

প্রভাবকের গুরুত্ব : (১) রাসায়নিক শিল্পে ও প্রাণরসায়নে প্রভাবকের ভূমিকার গুরুত্ব অপরিসীম। (২) আয় সব রাসায়নিক শিল্পে সম্ভাব্য কর তাপমাত্রায় কার্ডিন্স শিল্পজাতক উৎপাদনে সহায়ক প্রভাবক ব্যবহৃত হয়; এতে উৎপাদন ব্যয়হ্রাস পায়। (৩) পরিবেশ রসায়নে বায়ু দূষক সৃষ্টিতে NO গ্যাসের প্রভাবকীয় ভূমিকা আছে। কিন্তু অটোমোবাইল কেটালাইটিক কনভার্টারে ব্যবহৃত Pt ধাতুর ভূমিকা হলো বায়ু দূষণ প্রতিরোধক যোদ্ধাকরূপে। অটোমোবাইল ইঞ্জিনের নির্গমন পাইপের বর্জ্য গ্যাসে থাকে দহনযুক্ত হাইড্রোকার্বন (C_xH_y), CO, NO প্রভৃতি পরিবেশ দূষক গ্যাস। এক্ষেত্রে কেটালাইটিক কনভার্টার ঐ সব দূষক গ্যাসকে পানি, CO_2 , N_2 ও O_2 গ্যাসে পরিণত করে। যেমন,



চিত্র-৪.৮ : অটোমোবাইল ইঞ্জিন থেকে নির্গত বায়ু দূষক গ্যাসকে কেটালাইটিক কনভার্টারে শোধন।

(৪) রাসায়নিক শিল্পে ব্যবহৃত প্রায় সব প্রভাবক হলো অসমস্তীয়। তাই বিক্রিয়ার কাঞ্চিত উৎপাদ প্রভাবক মিশ্রণ থেকে সহজে পৃথক হয়ে পড়ে। তবে পলিমার উৎপাদনে কিছু সমস্তীয় প্রভাবক ব্যবহৃত হয়। নিচে ৪.৩ নং সারণিতে বাণিজ্যিক শিল্পে ব্যবহৃত অসমস্তীয় ও সমস্তীয় প্রভাবকের ব্যবহার দেখানো হলো :

সারণি-৪.৩ : বাণিজ্যিক শিল্পে অসমস্তীয় ও সমস্তীয় প্রভাবকের ব্যবহার :

বিক্রিয়াসমূহ	ব্যবহৃত প্রভাবক	শিল্পে ধাপভিত্তিক ব্যবহার	কাঞ্চিত উৎপাদ ও ব্যবহার
(ক) অসমস্তীয় গ্যাসীয় :	Pt বা, V_2O_5	স্পর্শ পদ্ধতিতে H_2SO_4 উৎপাদনে ২য় ধাপে।	উৎপাদ H_2SO_4 : বিভিন্ন কেমিক্যাল, রাসায়নিক সার,
1. $2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$			
2. $4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O$	Pt ও Rh	অসওয়াল্ড পদ্ধতিতে HNO_3 উৎপাদনে ১ম ধাপে।	উৎপাদ HNO_3 : বিক্ষেপক, সার, প্লাস্টিক, রঞ্জক ও বার্নিশ।
3. $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$	Fe, K_2O ও Al_2O_3	হেবার পদ্ধতিতে NH_3 উৎপাদনে।	উৎপাদ NH_3 : সার ও HNO_3 উৎপাদনে।
4. $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$	Ni	ষিম-অ্যালকেন রিফরমিং পদ্ধতিতে H_2 সংশ্লেষণ।	H_2 গ্যাস : অ্যামোনিয়া, মিথানল উৎপাদন।
(খ) সমস্তীয় বিক্রিয়া :	Mo(VI)	প্রোপাইলিন অক্সাইড	ব্যবহার : পলিএস্টার পলিইউরেথেন ফোম
1. প্রোপাইলিন, অক্সিডাইজার-	কমপ্রেস্র	সংশ্লেষণ।	
2. বিউটা-ডাই-ইন, HCN	Ni/P মৌগ	এডিপোনাইট্রাইল	ব্যবহার : নাইলন, ফাইবার ও প্লাস্টিক উৎপাদন।

৪.৪.২ প্রভাবক দ্বারা প্রভাবিত বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি

Activation Energy of Catalyzed Reaction

চিত্র-৪.৯ থেকে দেখা যায় যে, প্রভাবিত বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ

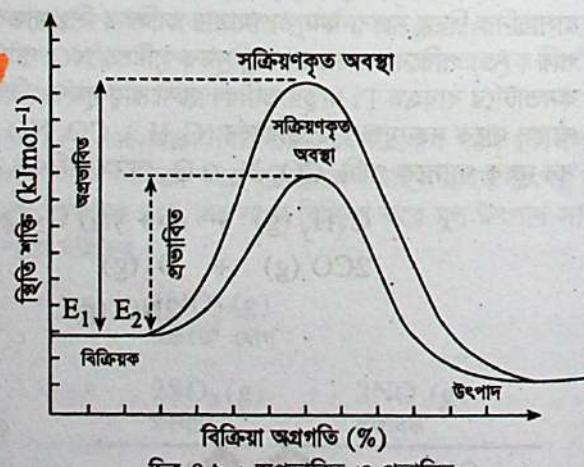
শক্তি অপ্রভাবিত বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি অপেক্ষা কম। অর্থাৎ

প্রভাবকের উপস্থিতির কারণে বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি কমে।

অতএব প্রভাবকের সাধারণ পরিচয় হলো— প্রভাবক এমন একটি রাসায়নিক পদার্থ যার উপস্থিতি বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি হ্রাস করে এবং একে সরলতার বিক্রিয়া পথ প্রদান করে। প্রভাবক ব্যবহার করলে তা প্রকৃতপক্ষে বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে আবার পুনর্জন্ম প্রাপ্ত হয়।

প্রভাবক ব্যবহার না করে বিক্রিয়া ঘটালে যে সক্রিয়ণকৃত অবস্থার মাধ্যমে বিক্রিয়া সম্পন্ন হয়, তার সক্রিয়ণ শক্তি (E_1) বেশি। ফলে তা সৃষ্টি কষ্টকর। অপ্রভাবিত অবস্থায় বিক্রিয়াকের প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রা (E_1) বেশি হয়, এ কারণে বিক্রিয়া দ্রুত বেগে অনুষ্ঠিত হতে পারে না (চিত্র-৪.৯ দ্রষ্টব্য)।

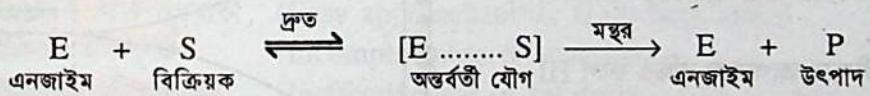
অপরদিকে প্রভাবকসহকারে সামগ্রিক বিক্রিয়া ভিন্ন পথ ধরে সম্পন্ন হয়। এ পথে যে সক্রিয়ণকৃত অবস্থার সৃষ্টি হয়, তার সক্রিয়ণ শক্তি (E_2) অপ্রভাবিত অবস্থার তুলনায় কম। অর্থাৎ প্রভাবকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়কের প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রা (E_2) পূর্বের তুলনায় কম; এ কারণে বিক্রিয়া দ্রুততর বেগে সম্পন্ন হয়। প্রভাবক ব্যবহারে বিক্রিয়ায় সক্রিয়ণ শক্তি প্রভাবক দ্বারা হ্রাস পায় = $(E_1 - E_2)$ kJ mol⁻¹.



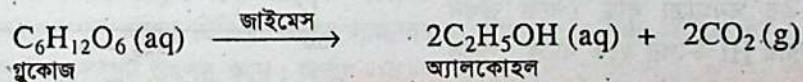
৪.৪.৩ জৈব প্রভাবক এনজাইম Bio-catalyst Enzyme

প্রাণিদেহে শত সহস্র রাসায়নিক বিক্রিয়া ‘এনজাইম’ নামক বৃহৎ প্রোটিন অণুর প্রভাবকীয় ক্রিয়া দ্বারা সংঘটিত হয়। এনজাইম হচ্ছে জীবস্ত উদ্ভিদকোষ ও প্রাণিকোষ থেকে উৎপন্ন, উচ্চ আণবিক ভরবিশিষ্ট নাইট্রোজেনযুক্ত বর্তুলাকার টারসিয়ারি প্রোটিন নামক জটিল জৈব পদার্থ। পানিতে এরা কোলয়েড তৈরি করে এবং কার্যকরী জৈব প্রভাবক। এনজাইম নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার জন্য কার্যকরী।

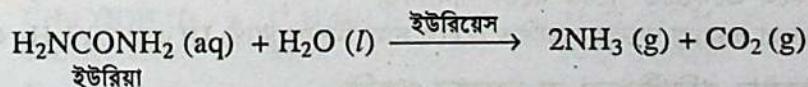
এনজাইমের ক্রিয়াকোশল : এনজাইমসমূহ বর্তুলাকার বা টারসিয়ারি প্রোটিন অণুর (E) বিভিন্ন ভাঁজের মধ্যে কতগুলো 'সক্রিয় স্থান' আছে। এই স্থানগুলোর জন্যই এনজাইম প্রভাবল ক্ষমতা ধারণ করে। এসব সক্রিয় স্থানে বিক্রিয়ক অণুগুলো (S) খুবই নিকটে এসে সহজে অঙ্গুয়ালী অন্তর্বর্তী যোগ (E-S) গঠন করতে পারে এবং পরে বিযোজিত হয়ে উৎপন্দে (P) পরিণত হয়। এনজাইম অণু বিক্রিয়ক জৈব অণুকে 'সক্রিয় স্থান' যোগান দিয়ে বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রাকে হ্রাস করে এবং বিক্রিয়াকে দ্রুততর করে। যেমন,



(i) ইন্ট’ল নামক উদ্ভিদকোষ থেকে নিঃস্তুত জাইমেস এনজাইম গ্লুকোজকে বিয়োজিত করে অ্যালকোহল ও CO_2 গ্যাসে পরিণত করে।



(ii) ସୟାବିନେ ଉପଶ୍ଥିତ ଇଉରିୟୋସ୍ ଏନଜାଇମ ଇଉରିୟାକେ ବିଯୋଜିତ କରେ NH_3 ଓ CO_2 -ଏ ପରିଣତ କରେ ।



এনজাইমের বৈশিষ্ট্য : (১) প্রত্যেক এনজাইমের প্রভাবন ক্রিয়া সুনির্দিষ্ট। যেমন জাইমেস এনজাইম শুধু গ্লুকোজের বিয়োজনকে প্রভাবিত করে। (২) অত্যধিক কার্য্যাত্মক এনজাইমের অন্যতম প্রধান বৈশিষ্ট্য। যেমন এক অগু আয়ানাহাইড্রেজ এন্জাইম এক মিনিটে কার্বনিক এসিড (H_2CO_3) এর 360 লক্ষ অণুকে বিয়োজিত করে। (৩) প্রভাবন ক্রিয়ার প্রধান শর্ত হলো তাপমাত্রা $37^{\circ}C$ অথবা এর কাছাকাছি এবং pH এর মান 7 এর কাছাকাছি থাকা প্রয়োজন।

শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৪ : প্রভাবনভিত্তিক :

समस्या-४.२१(क) : समस्त प्रभावनेर कोशल बाख्या कर।

[ব. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.২২(খ) : অসমসত্ত্ব প্রভাবনের কৌশল ব্যাখ্যা কর।

[সি. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.২২(গ) : প্রভাবক কীরণে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি করে?

সমস্যা-৪.২২(ঘ) : সক্রিয়ণ শক্তি বিক্রিয়ার হারকে কীরুপ প্রভাবিত করে; ব্যাখ্যা কর।

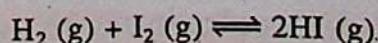
মিদ্রাসা বো. ২০১৭;

ୟ. ବୋ. ୨୦୧୯]

৪.৫ রাসায়নিক বিত্রুণি সাম্যাবস্থা Chemical Equilibrium

~~কোনো উত্তমুদ্ধী বিক্রিয়া কখনো শেষ হয় না। যে কোনো সময় পূর্বমুদ্ধী ও পশ্চাত্মুদ্ধী বিক্রিয়ার হার সমান হয়ে থাকে; এ অবস্থাকে রাসায়নিক বিক্রিয়ার সামাবস্তু বলে।~~

যেমন, একটি আবক্ষ পাত্রে তুল্য পরিমাণে হাইড্রজেন ও গাঢ় বেঁচে রাখের আয়োডিন বাষ্প নিয়ে 450°C -এ রেখে দিলে হাইড্রজেন ও আয়োডিন বিত্তীভূতভাবে ৮০% হাইড্রজেন আয়োডাইড গ়াস উৎপন্ন করে এবং বিক্রিয়ক H_2 ও I_2 এর ঘনমাত্রাভাস পেয়ে ২০% হয়। এই মিশনের বর্ণ হালকা বেগুনি হয়।



৪.১৮ ভর ও শক্তির নিত্যতা সূত্র

Law of Conservation of Mass and Energy

তোমরা নবম-দশম শ্রেণির রসায়ন বইতে পড়েছ, রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদ ভরের নিয়তা সূত্র মেনে চলে। কারণ বিক্রিয়ক অণ্টে থাকা পরমাণুগুলো বিক্রিয়া পরিবেশে তাপ আদান প্রদান করে পুরাতন বক্সন ভঙ্গে নতুন বক্সন দ্বারা উৎপাদ অণ্ট তৈরি করে। বিক্রিয়াকালে পরমাণুগুলো স্থান পরিবর্তন করে মাত্র। এখন আমরা রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে ভরের নিয়তা সূত্রের সাথে শক্তির নিয়তা সূত্রও আলোচনা করব।

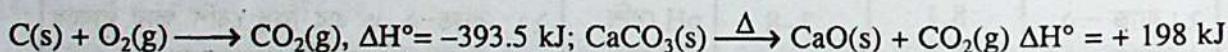
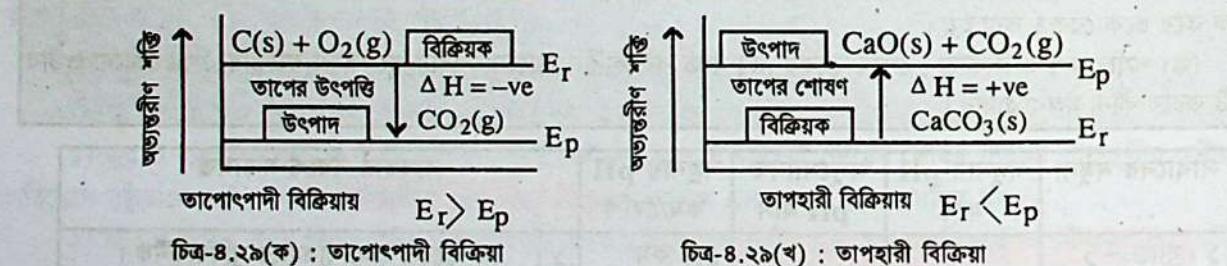
মনে রাখবে, যখন কোনো রাসায়নিক পরিবর্তন বা বিক্রিয়া সংঘটিত হয়, তাতে হয় তাপশক্তি শোষিত হবে, না হয় শক্তি বর্জিত হবে; অবশ্য এ শক্তি আলো বা অন্য কোনো প্রকারেরও হতে পারে। তবে সব ক্ষেত্রে মোট শক্তির রূপান্তর স্থির থাকে। রাসায়নিক বা বিক্রিয়ার শক্তির যে পরিবর্তন ঘটে, তা তাপগতিবিজ্ঞানের প্রথম সূত্র দ্বারা প্রকাশ করা হয়। সূত্রটি নিম্নরূপ : “শক্তি এক রূপ থেকে অন্যরূপে পরিবর্তিত হতে পারে; কিন্তু একে কখনো সৃষ্টি বা ধ্রংস করা যায় না।”

যেমন, মিথেন গ্যাসের দহনে যে শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়, তাকে পদাৰ্থের অভ্যন্তরীণ শক্তি বলা হয়।
অভ্যন্তরীণ শক্তিৰ ওপৰ নিৰ্ভৰ কৰে বিক্ৰিযাকালে শক্তিৰ শোষণ বা উত্তৰ ঘটতে পাৰে।

তাপের শোষণ বা বর্জনের ওপর ভিত্তি করে রাসায়নিক পরিবর্তনকে দ্রুভাগে ভাগ করা যায়—

(i) তাপোৎপন্নী পরিবর্তন বা বিক্রিয়া ও (ii) তাপহারী পরিবর্তন বা বিক্রিয়া।

তাপোংপাদী বিক্রিয়ায় উৎপাদের অভ্যন্তরীণ শক্তি বিক্রিয়কের অভ্যন্তরীণ শক্তির চেয়ে কম হয়। আবার তাপহারী বিক্রিয়ায় উৎপাদের অভ্যন্তরীণ শক্তি (E_p) বিক্রিয়কের অভ্যন্তরীণ শক্তির (E_t) চেয়ে বেশি হয়।



অভ্যন্তরীণ শক্তি : সব বস্তুকগার মধ্যে স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তি রূপে শক্তি সঞ্চয়িত থাকে। বস্তুকগার মোট স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তিকে সিটেমের বা বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি বা Internal energy বলে।

বস্তুতে অণু, পরমাণু, আয়ন প্রভৃতি একে অপরের সাপেক্ষে যে অবস্থান ঘটণ করে তার ওপর ঐ বস্তুর অভ্যন্তরীণ স্থিতিশক্তি নির্ভর করে। বন্ধন ভাঙ্গন ও বন্ধন গড়ন প্রক্রিয়ায় স্থিতিশক্তির পরিবর্তন ঘটে। অপরদিকে বস্তুর অণু, পরমাণু, আয়ন প্রভৃতি বিভিন্ন কণার কম্পন, ঘূর্ণন ও স্থানান্তর গতির ওপর বস্তুর অভ্যন্তরীণ গতিশক্তি নির্ভর করে।

উদ্দেশ্য কোনো বস্তু পারিপার্শ্বিক বস্তু থেকে তাপ শক্তি শোষণ করলে তার অভ্যন্তরীণ শক্তির মান বেড়ে যায়। যদি কোনো বস্তু পারিপার্শ্বিক বস্তুতে শক্তি ছেড়ে দেয়; তবে ঐ বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তির মান কমে যায়।

কোনো বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তির প্রকৃত মান (E) কখনো মাপা যায় না; তবে বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তনের পরিমাণ ΔE মাপা যায়। স্থির চাপে, কোনো বিক্রিয়ার অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন (ΔE) নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায়। $\Delta E = E_p - E_r$
[এখানে ' Δ ' উচ্চারণ 'ডেল্টা', অর্থ = মাপনযোগ্য পরিবর্তন]

ছির চাপে বিক্রিয়া তাপ : পরীক্ষাগারে সাধারণত ছির বায়ুমণ্ডল চাপে অধিকাংশ বিক্রিয়া খোলাপাত্র যেমন বিকার, টেক্টিউব ইত্যাদিতে ঘটানো হয়। তখন কোনো বিক্রিয়ায় গ্যাস উৎপন্ন হলে এর আয়তন বৃদ্ধি ঘটে বলে উৎপন্ন গ্যাসটিকে বায়ুমণ্ডল চাপের বিপরীতে কাজ করতে হয়। এজন্য শক্তি ব্যয়িত হয়। সুতরাং ছির চাপে শোষিত তাপশক্তি (q_p) এর পরিমাণ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তির বৃদ্ধি (ΔE) এবং আয়তন বৃদ্ধিজনিত কাজ ($P \times \Delta V$) এর যোগফলের সমান হয়।

$$\therefore q_p = \Delta E + P \times \Delta V$$

ଆବାର ଅଭ୍ୟନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିର ବୃଦ୍ଧି ଓ ଏ ବସ୍ତୁ ଦ୍ୱାରା ସମ୍ପନ୍ନ କାଜ-ଏ ଉଭୟ ରାଶିକେ ଏକତ୍ରେ ପ୍ରକାଶ କରାର ଜନ୍ୟ ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନେ ଏନ୍‌ଥାଲପି (enthalpy) ନାମକ ଏକଟି ରାଶି ବ୍ୟବହତ ହୁଏ, ଏକେ H ପ୍ରତୀକ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରା ହୁଏ ।

$$\therefore q_p = \Delta E + P \times \Delta V = \Delta H$$

$$\therefore \Delta H = \Delta E + P \times \Delta V$$

ଉଲ୍ଲେଖ ଗ୍ରିକ ଶବ୍ଦ enthalpein ଅର୍ଥାତ୍ 'to warm in' ଥିକେ ଏନ୍‌ଥାଲପି ଶବ୍ଦରେ ଉଂପନ୍ତି ହେବେ । ଏନ୍‌ଥାଲପିକେ ଧୃତ ତାପ ବଲା ହୁଏ ।

ଏନ୍‌ଥାଲପିର ସଂଜ୍ଞା : ସ୍ଥିର ଚାପେ କୋନୋ ସିଟେମେର ଅଭ୍ୟନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତି (U) ଏର ସାଥେ ସିଟେମେର ଚାପ ଓ ଆୟତନେର ଗୁଣଫଳ (P × V) ଶକ୍ତି ଯୋଗ କରଲେ ଯେ ମୋଟ ଶକ୍ତି ହୁଏ, ତାକେ ସିଟେମେର ଏନ୍‌ଥାଲପି ବା ଧୃତ ତାପ ବଲେ । ଏନ୍‌ଥାଲପିକେ 'H' ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରା ହୁଏ । ଅର୍ଥାତ୍

$$H = U + P \times V; \quad \text{যେଥାନେ, } P = \text{ସିଟେମେର ଚାପ}$$

$$V = \text{ସିଟେମେର ଆୟତନ}$$

MCQ-4.39 : 0.01(M) NaOH

ଦ୍ୱରାପରେ pH କତ?

(କ) 1 (ଖ) 2 (ଗ) 12 (ଘ) 13

ଏନ୍‌ଥାଲପି ଏକଟି ତାପଗତୀୟ ଅପେକ୍ଷକ ବା ଅବସ୍ଥାନିର୍ଭବ ରାଶି ଅର୍ଥାତ୍ ଏର ମାନ ବସ୍ତୁର ଭୌତିକ ଅବସ୍ଥା, ତାପମାତ୍ରା ଓ ଚାପେର ମାନେର ଉପର ନିର୍ଭର କରେ; କିନ୍ତୁ ଏର ମାନ ପରିବର୍ତ୍ତନେ ଦ୍ୱାରା ବା ପଥେର ଉପର ନିର୍ଭର କରେ ନା । ଏକୃତପକ୍ଷେ କୋନୋ ରାସାୟନିକ ବିକ୍ରିଯାର ତାପ ପରିବର୍ତ୍ତନକେ ΔH ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରା ହୁଏ ।

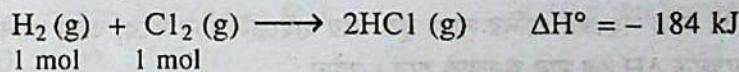
ଯଦି ତାପ ଶୋଷଣକାଳେ ବସ୍ତୁର ଆୟତନେର କୋନୋ ପରିବର୍ତ୍ତନ ନା ଘଟେ; ଅର୍ଥାତ୍ $\Delta V = 0$ ହୁଏ, ତବେ $\Delta H = \Delta E$ ହୁଏ । ଯେମନ କଠିନ ବସ୍ତୁର ବେଳାୟ ତାପମାତ୍ରା ବୃଦ୍ଧି କରଲେ ଏର ΔV ଏର ମାନ ଖୁବ ବେଳି ହୁଏ ନା । ତଥବା ΔH ଏବଂ ΔE ଏର ମାନ ପ୍ରାୟ ସମାନ ଧରା ଯାଏ । ପ୍ରକୃତପକ୍ଷେ କୋନୋ ବିକ୍ରିଯା ତାପ ଉଂପନ୍ନ ହୁଲେ ΔH ଝଗାତ୍କ ଏବଂ ତାପ ଶୋଷିତ ହୁଲେ ΔH ଧନାତ୍ମକ ହୁଏ । ଯେମନ, ଓପରେ 8.29(କ)-ଚିତ୍ରେ କାର୍ବନେର ଦହନ ବିକ୍ରିଯା ତାପ ଉଂପନ୍ନ ହେଯାଇ ΔH କେ ଝଗାତ୍ମକ ଏବଂ 8.29(ଘ)-ଚିତ୍ରେ CaCO_3 ବିଯୋଜନ କାଳେ ତାପ ଶୋଷଣ ହେଯାଇ ΔH କେ ଧନାତ୍ମକ ଧରା ହେବେ ।

8.18.1 ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାର ତାପୀୟ ବା ଏନ୍‌ଥାଲପି ପରିବର୍ତ୍ତନ

Different Types of Enthalpy or Heat Change

ସେ ସବ ପ୍ରକ୍ରିଯାଯାର ତାପେର ଶୋଷଣ ଅଥବା ଉତ୍ତବ ଘଟେ, ସେ ସବ କ୍ଷେତ୍ରେ ତାପୀୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଘଟେ । ଏକମେକ ପ୍ରକାର ତାପୀୟ ପରିବର୍ତ୍ତନେର ସଂଜ୍ଞା ନିମ୍ନେ ଦେଇ ଦେଇଲେ :

(୧) ବିକ୍ରିଯା ତାପ : କୋନୋ ବିକ୍ରିଯାର ସମତାଯୁକ୍ତ ସମୀକରଣ ମତେ ବିକ୍ରିଯକସମୂହେର ସଂଖ୍ୟାନ୍ତାତିକ ମୋଲ ପରିମାଣେ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ବିକ୍ରିଯାର ଫଳେ ଉଂପନ୍ନ ଅଥବା ଶୋଷିତ ତାପେର ପରିମାଣକେ ବିକ୍ରିଯା ତାପ ବଲା ହୁଏ । ଯେହେତୁ ପ୍ରାୟ ସବ ବିକ୍ରିଯା ସ୍ଥିର ଚାପେ ଘଟେ, ତାଇ ବିକ୍ରିଯା ତାପ ପରିବର୍ତ୍ତନ (ΔH) ବିକ୍ରିଯା ତାପେର ସମାନ । ଯେମନ,



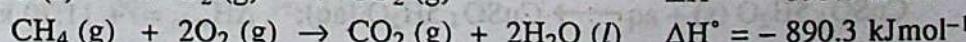
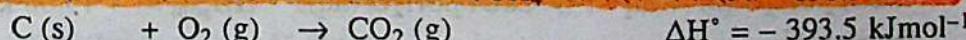
ସୁତରାଂ ଏକ୍ଷେତ୍ରେ ବିକ୍ରିଯା ତାପ ହଲେ -184 kJ । ଆବାର ସ୍ଥିର ଆୟତନେର ବେଳାୟ $\Delta H = \Delta E$ ଅର୍ଥାତ୍ ବିକ୍ରିଯାର ଅଭ୍ୟନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିର ପରିବର୍ତ୍ତନ (ΔE) ଏର ମାନ ଏବଂ ସ୍ଥିର ଆୟତନେ ବିକ୍ରିଯା ତାପ (ΔH) ଏର ମାନ ସମାନ ହୁଏ । ସୁତରାଂ ଏକ୍ଷେତ୍ରେ ବିକ୍ରିଯା ତାପ ପରିବର୍ତ୍ତନ ସମାନ ବିକ୍ରିଯାଯାର ଅଭ୍ୟନ୍ତରୀଣ ଶକ୍ତିର ପରିବର୍ତ୍ତନ ।

$$\therefore \text{ବିକ୍ରିଯା ତାପ, } \Delta H^\circ = (\text{ଉଂପନ୍ନ ଗଠନ ତାପ}) - (\text{ବିକ୍ରିଯକେ ଗଠନ ତାପ})$$

ଯୌଗେର ପ୍ରମାଣ ଗଠନ ତାପ : ପ୍ରମାଣ ଅବସ୍ଥାଯ, ଉପାଦାନ ମୋଲ ଥିକେ ଏକ ମୋଲ ଯୋଗ ଗଠନକାଳେ ଏନ୍‌ଥାଲପିର ପରିବର୍ତ୍ତନକେ ଏ ଯୌଗେର ପ୍ରମାଣ ଗଠନ ତାପ ବଲେ । ଯେମନ, $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H^\circ = -393.5 \text{ kJ mol}^{-1}$

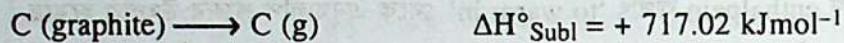
$$\therefore \text{CO}_2 \text{ ଏର ପ୍ରମାଣ ଗଠନ ତାପ ହଲେ } -393.5 \text{ kJ mol}^{-1}$$

ଦହନ ତାପ : ସ୍ଥିର ଚାପମାତ୍ରାଯ ଏକ ମୋଲ ପରିମାଣ ଯେ କୋନୋ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥକେ ପର୍ଯ୍ୟାନ୍ତ ଅଭିଜ୍ଞେନେ ଉପାସ୍ତିତିତେ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ଦହନ କରଲେ ଯେ ପରିମାଣ ତାପ ଶକ୍ତି ନିର୍ଗତ ବା ଉଂପନ୍ନ ହୁଏ, ତାକେ ଏ ପଦାର୍ଥରେ ଦହନ ତାପ ବଲେ । ପ୍ରମାଣ ଅବସ୍ଥାୟ ଅର୍ଥାତ୍ 1 atm ଚାପେ ଓ 25°C ତାପମାତ୍ରାଯ ସଂଘଟିତ ଏକମ ଜାରଣ ବିକ୍ରିଯାଯ ତାପେର ଉତ୍ତବକେ ପ୍ରମାଣ ଦହନ ତାପ ବଲେ । ଯେମନ, କାର୍ବନେର ପ୍ରମାଣ ଦହନ ତାପ ହଲେ $-393.5 \text{ kJ mol}^{-1}$ ଏବଂ CH_4 ଏର ଦହନ ତାପ ହଲେ $-890.3 \text{ kJ mol}^{-1}$ ।



(২) অবস্থা পরিবর্তন তাপ : অবস্থা পরিবর্তন তাপ বলতে পদার্থের ভৌত অবস্থাসমূহ যেমন কঠিন, তরল ও গ্যাসীয়-এ তিনি অবস্থার মধ্যে পারম্পরিক পরিবর্তনকালে তাপের যে শোষণ অথবা উৎগরণ ঘটে, তাকে বোঝানো হয়। যেমন—

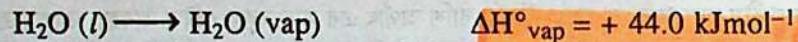
(ক) উর্ধপাতন তাপ (**Heat of Sublimation**) : এক মোল পরিমাণ কঠিন পদার্থ যে তাপ শোষণ করে সরাসরি গ্যাসীয় অবস্থায় রূপান্তরিত হয়, তাকে উর্ধপাতন তাপ বলা হয়। এক্ষেত্রে ΔH° ধনাত্মক হয়। যেমন—



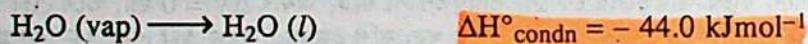
(খ) গলন তাপ (**Heat of Fusion**) : এক মোল কঠিন পদার্থ এর গলনাকে যে পরিমাণ তাপ শোষণ করে তরল অবস্থা প্রাপ্ত হয়, তাকে গলন তাপ বলা হয়। যেমন, **বরফের গলন তাপ**। এক্ষেত্রে ΔH° ধনাত্মক হয়। যেমন,



(গ) বাস্পীকরণ তাপ (**Heat of Vaporization**) : এক মোল তরল পদার্থ এর স্ফুটনাকে 1 atm চাপে যে পরিমাণ তাপ শোষণ করে বাস্পে পরিণত হয়, তাকে ঐ পদার্থের বাস্পীকরণ তাপ বলা হয়। যেমন,



উল্লেখ্য এক মোল পরিমাণ জলীয় বাস্পকে তরলে পরিণত করতে যে পরিমাণ তাপের উৎগরণ ঘটে, তাকে পানি বা জলীয় বাস্পের ঘনীভবন তাপ বলে। এ তাপের পরিবর্তন বাস্পীকরণের বিপরীত হবে। যেমন—



(৩) পরমাণুকরণ তাপ (**Heat of Atomization**) : এক মোল পদার্থকে সম্পূর্ণরূপে গ্যাসীয় অবস্থায় পরমাণুতে পরিণত করতে যে তাপ শোষণ করে, তাকে পরমাণুকরণ তাপ বলা হয়। এক্ষেত্রে ΔH° ধনাত্মক হয়। যেমন,

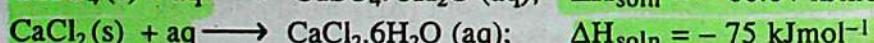
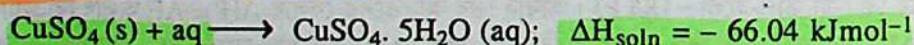


লক্ষণীয়, এক্ষেত্রে এতি মোল ক্লোরিন পরমাণুকে বোঝায়; প্রতি মোল ক্লোরিন অণু নয়।

(৪) দ্রবণ তাপ (**Heat of Solution**) : একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় যথেষ্ট পরিমাণ দ্রাবকে 1 মোল দ্রবকে দ্রবীভূত করে যদি দ্রবণ প্রস্তুত করা হয় এবং তাতে যদি আরো দ্রাবক যোগ করেও তাপীয় অবস্থার কোনো পরিবর্তন ঘটানো না যায় তবে ঐ দ্রবণ প্রস্তুত করতে তাপের যে পরিবর্তন ঘটে, তাকে ঐ দ্রবের দ্রবণ তাপ বলে।

সাধারণভাবে 200–450 মোল দ্রাবকে 1 মোল দ্রব দ্রবীভূত করে যে দ্রবণ প্রস্তুত হয়, তাতে আরো দ্রাবক যোগ করলেও দ্রবণের তাপীয় অবস্থার পরিবর্তন ঘটে না।

যে সব অনন্ত লবণ অতি সহজেই পানির সাথে যুক্ত হয়ে হাইড্রেট গঠন করে, তারা পানিতে দ্রবীভূত হবার সময় তাপ উৎপন্ন হয়। অর্থাৎ সেক্ষেত্রে ΔH এর মান ঋণাত্মক হবে। যেমন,

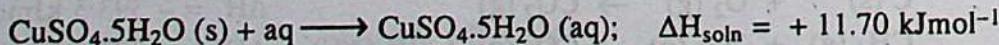
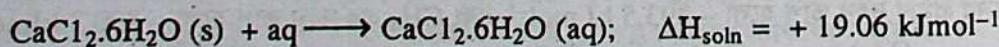


দ্রবণ তাপের বৈশিষ্ট্য :

(i) কোনো দ্রব দ্রবীভূত হওয়ার সময় দ্রব ও দ্রাবকের মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত না হলে, তখন ঐ দ্রবের দ্রবণ তাপ (ΔH) এর মান ধনাত্মক হয়।

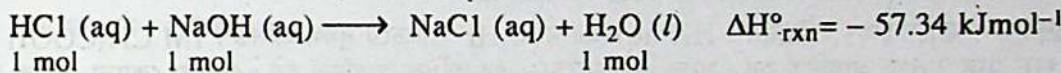
(ii) কিন্তু দ্রব ও পানির মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত হলে ঐ দ্রবের দ্রবণ তাপ (ΔH) এর মান ঋণাত্মক হয়।

(iii) যে সব হাইড্রেট লবণ পানির সাথে নতুনভাবে হাইড্রেট গঠন করে না, তারা পানিতে দ্রবীভূত হবার সময় তাপ শোষণ করে। অর্থাৎ এক্ষেত্রে ΔH এর মান ধনাত্মক হয়। হাইড্রেট লবণ (যেমন, গাঢ় নীল $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) পানির সাথে যুক্ত হয় না তারা তাপ শোষণ করে পানিতে দ্রবীভূত হয়। যেমন—



(৫) প্রশমন তাপ (Heat of Neutralisation)

সাধারণ কক্ষতাপমাত্রা যেমন, 25°C বা, 298K তাপমাত্রায় এসিড ও ক্ষারের বিক্রিয়ায় 1 মোল পানি উৎপন্ন হতে যে পরিমাণ তাপের উন্নত ঘটে, তাকে প্রশমন তাপ বলা হয়। প্রশমন একটি তাপোৎপন্নী বিক্রিয়া। যেমন, 25°C তাপমাত্রায় এক মোল পরিমাণ লব্দি HCl কে এক মোল লব্দি NaOH দ্বারা প্রশমিত করলে 57.34 kJ তাপ উৎপন্ন হয়।

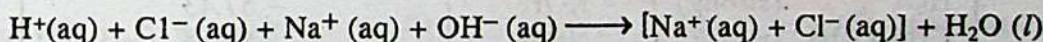


৪.১৯ তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ

Heat of Neutralisation of Strong Acid and Alkali

(ক) সব তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপের মান প্রায় সমান এবং এর গড় মান - 57.34 kJ। এর কারণ সহজেই ব্যাখ্যা করা যায়। এসিড ও ক্ষারের আয়নিক তত্ত্বানুযায়ী সব তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষার লব্দি দ্রবণে সম্পূর্ণভাবে আয়নিত হয়ে যায়। যেমন, $\text{HCl (aq)} \longrightarrow \text{H}^+ (\text{aq}) + \text{Cl}^- (\text{aq})$; $\text{NaOH (aq)} \longrightarrow \text{Na}^+ (\text{aq}) + \text{OH}^- (\text{aq})$

মিশ্রণে এদের মধ্যে সত্যিকার বিক্রিয়া হচ্ছে নিম্নরূপ :



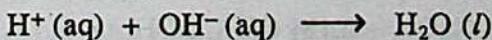
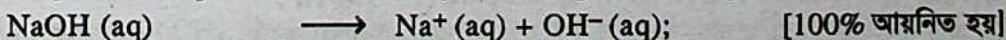
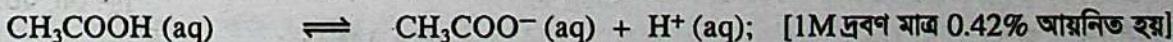
অর্থাৎ এ ক্ষেত্রে সত্যিকার বিক্রিয়া হচ্ছে $\text{H}^+ (\text{aq}) + \text{OH}^- (\text{aq}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O (l)}$ এবং সমগ্র বিক্রিয়ার বিক্রিয়া-তাপ হলো প্রকৃতপক্ষে এ প্রশমন-বিক্রিয়ার তাপ।

যেহেতু সব তীব্র ক্ষার ও সব তীব্র এসিড পানিতে সম্পূর্ণরূপে আয়নিত হয়ে যথাক্রমে সর্বাধিক OH^- আয়ন ও H^+ আয়ন দেয়; তাই সব তীব্র ক্ষার ও তীব্র এসিডের মধ্যে প্রকৃতপক্ষে একই প্রশমন-বিক্রিয়া অনুষ্ঠিত হয়।

যেমন, $\text{H}^+ (\text{aq}) + \text{OH}^- (\text{aq}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O (l)}$ । সূতরাং সব তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ হ্রাস হবে অর্থাৎ -57.34 kJ হয়। ৪.৬-নং সারণিতে কিছু সংখ্যক তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ দেয়া হলো।

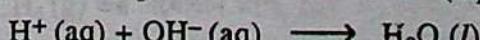
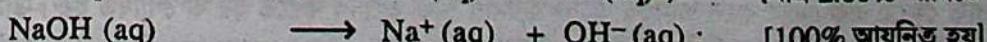
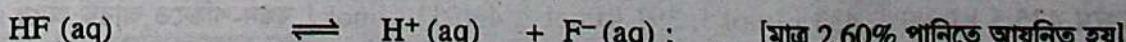
* ব্যতিক্রম : এসিড অথবা ক্ষার যে কোনো একটি দুর্বল হলে প্রশমন তাপ - 57.34 kJ থেকে কম হয়। অথবা ঝণাঝক আয়নের হাইড্রেশন এনথালপি বেশি হলে প্রশমন তাপ - 57.34 kJ থেকে বেশি হয়। যেমন—

(খ) দুর্বল আসিটিক এসিড ও সবল NaOH এর প্রশমন তাপ হিসেব মান (-57.34 kJ) থেকে প্রায় 2.2 kJ হ্রাস পেয়ে -55.14 kJ হয়। এর কারণ দুর্বল আসিটিক এসিড (CH_3COOH) এর পানিতে অসম্পূর্ণ বিয়োজন :



যেহেতু NaOH তীব্র ক্ষার, তাই পূর্ণ বিয়োজনে সৃষ্টি OH^- আয়ন এবং CH_3COOH এর আংশিক বিয়োজনে সৃষ্টি H^+ আয়নকে যথন প্রশমিত করে; তখনই অবিয়োজিত CH_3COOH অণু পুনরায় বিয়োজিত হয়ে H^+ আয়ন উৎপন্ন করে। আসিটিক এসিড সম্পূর্ণভাবে প্রশমিত না হওয়া পর্যন্ত উভয় বিক্রিয়া পাশাপাশি অগ্রসর হতে থাকে। তখন অবিয়োজিত অবশিষ্ট CH_3COOH এর বিয়োজনে কিছু তাপ শক্তি যেমন 2.2 kJ প্রয়োজন হয়; এ কারণেই প্রশমন তাপের মান 2.2 kJ কমে গিয়ে -55.14 kJ হয়।

(গ) দুর্বল হাইড্রোফ্লোরিক এসিড (HF) ও সবল NaOH এর প্রশমন তাপ হিসেব মান (-57.34 kJ) থেকে প্রায় 11.26 kJ বৃদ্ধি পেয়ে -68.60 kJ হয়। এর কারণ সবচেয়ে আকারে ছোট ঝণাঝক ফ্লোরাইড আয়ন (F^-) এর অত্যধিক হাইড্রেশন এনথালপি। দুর্বল HF এসিড ($K_a = 6.8 \times 10^{-4}$) পানিতে আংশিক বিয়োজিত হয় :



দুর্বল HF এসিড ও সবল NaOH এর প্রশমন তাপ – 57.34 kJ থেকে কিছু কম হয়। কিন্তু দ্রবণে উপস্থিত ফ্লোরাইড (F^-) আয়নের আকার সবচেয়ে ছোট হওয়ায় এতে চার্জ ঘনত্ব বেশি হয়। তাই F^- আয়নের সাথে পোলার পানি অণুর মধ্যে পানিযোজন তাপ বা হাইড্রেশন শক্তি অন্যান্য ঝণাঝক আয়নের চেয়ে বেশি হয়। সূতরাং F^- আয়নের অভিরিক্ষ পানিযোজন তাপ প্রশমন তাপের সাথে যোগ হয়ে – 48.6 kJ হয়। উল্লেখ্য দ্রবণে মোল পরিমাণে ধনাঝক ও ঝণাঝক আয়ন পানি অণুর সাথে সংযোগের ফলে নির্গত তাপ শক্তিকে হাইড্রেশন শক্তি বলে।

দ্রষ্টব্য : হ্যালোজেন হাইড্রাসিড $HX(aq)$ এর মধ্যে HF সবচেয়ে দুর্বল এসিড। 1M CH_3COOH মাত্র 0.42% এবং HF মাত্র 2.6% আয়নিত হয়। সবল এসিড 75% এর অধিক আয়নিত হয়। কোনো কোনো লেখক HF কে সবল এসিড বলে এর ব্যাখ্যা করেছেন; এটি তথ্যগত ভুল।

সারণি-৮.৬ : $25^{\circ}C$ তাপমাত্রায় তীব্র এসিড, দুর্বল এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ, ΔH

এসিড	তীব্র ক্ষার	প্রশমন তাপ, ΔH_{rxn}° (kJmol $^{-1}$)
HCl (strong)	NaOH	- 57.34
H_2SO_4 (strong)	NaOH	- 57.44
HNO_3 (strong)	NaOH	- 57.35
HCl (strong)	KOH	- 57.43
CH_3COOH (weak)	NaOH	- 55.14
CH_3COOH (weak)	NH_4OH	- 50.40
HF (weak)	NaOH	- 68.60

শিক্ষার্থী নিজে কর-৮.১৫ : প্রশমন তাপভিত্তিক :

সমস্যা-৮.৫২(ক) : তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপের মান ক্রব-ব্যাখ্যা কর। [চা. বো. ২০১৫; য. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৮.৫২(খ) : HF এসিড ও NaOH এর প্রশমন তাপের মান –57.34 kJ থেকে বেশি কেন—ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৮.৫২(গ) : দুর্বল এসিড (CH_3COOH) ও সবল ক্ষার (NaOH) এর প্রশমন তাপ –57.34 kJ থেকে কম কেন? ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬; দি. বো. ২০১৬]

সমস্যা-৮.৫৩(ক) : (1) 0.1M HCl + 0.1M NaOH; (2) 0.1M HF + 0.1M NaOH; বিকল্পিয়া (1) ও (2) এর প্রশমন-তাপ একই হবে কীনা ব্যাখ্যা কর। [কু. বো. ২০১৭]

সমস্যা-৮.৫৩(খ) : (1) 1M KOH + 1M HNO_3 ; (2) 1M NaOH + 1M HF; বিকল্পিয়া (1) ও (2) এর মধ্যে কোনটিতে প্রশমন-তাপ বেশি হবে এবং কেন তা ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৭]

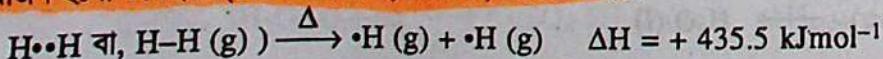
সমস্যা-৮.৫৩(গ) : (1) 1M NaOH + 1M H_2SO_4 ; (2) 1M NaOH + 0.1M CH_3COOH ; বিকল্পিয়া (1) ও (2) এর মধ্যে প্রশমন-তাপ ভিন্ন হওয়ার কারণ ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০১৭]

সমস্যা-৮.৫৩(ঘ) : 1M HCl + 1M NaOH \rightarrow NaCl + H_2O ; $\Delta H = - 57.34$ kJ; উপরোক্ত বিকল্পিয়ায় HCl এর স্থলে HF এসিড ব্যবহৃত হলে, তখন ΔH এর মানের পরিবর্তন ঘটবে কীনা ব্যাখ্যা কর। [মাদ্রাসা বো. ২০১৭]

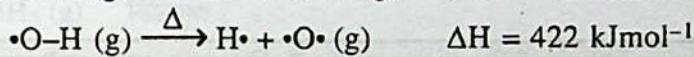
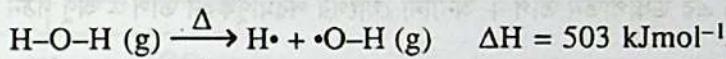
৮.২০ বন্ধন শক্তি ও বিকল্পিয়া তাপ

Bond Energy & Heat of Reaction

বন্ধন শক্তি : সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ কোনো অণুতে সমযোজী বন্ধন শক্তি নির্ভর করে উভয় পরমাণুর নিউক্লিয়াস ও শেয়ারকৃত ইলেক্ট্রনের মধ্যে আকর্ষণের মাত্রার ওপর। যেমন H–H, H–Cl, N–H, C–H ইত্যাদি ক্ষেত্রে উভয় পরমাণু যথাক্রমে 435.5 kJmol^{-1} , 433 kJmol^{-1} , 391 kJmol^{-1} , 430.53 kJmol^{-1} বন্ধন-শক্তিতে আবদ্ধ আছে। সূতরাং গ্যাসীয় অবস্থায় প্রতি ক্ষেত্রে এক মোল বন্ধন ভাঙতে এই সমপরিমাণ শক্তি প্রয়োগ করতে হয় বা শোষিত হয়। তাই বন্ধন-বিযোজন হলো তাপহারী (endothermic) বিকল্পিয়া; $\Delta H > 0$ হয়।



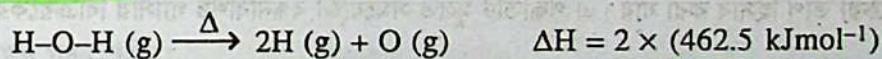
আবার কোনো যৌগ অণুতে একই প্রকার দুই বা ততোধিক সময়োজী বন্ধন থাকলে তখন প্রত্যেক বন্ধন ধাপে ধাপে ভাস্তে ভিন্ন ভিন্ন পরিমাণ তাপ শক্তির প্রয়োজন হয়। তখন ঐ সব বন্ধন ভাস্তের তাপ শক্তিসমূহের গড় মানকে ঐ যৌগে ঐ বন্ধনের গড় বন্ধন শক্তি (average bond energy) বলা হয়। যেমন পানি (H_2O) অণুতে দুটি O-H (অক্সিজেন-হাইড্রোজেন) বন্ধন আছে। পানি (H-O-H) অণুর ঐ দুটি বন্ধন ধাপে ধাপে ভাস্তে যথাক্রমে 503 kJmol^{-1} এবং 422 kJmol^{-1} প্রয়োজন হয়। যেমন,



$$\therefore H_2O \text{ অণুতে } O-H \text{ বন্ধনের গড় বন্ধন শক্তি} = \frac{(503 + 422)}{2} \text{ kJmol}^{-1} = 462.5 \text{ kJmol}^{-1}$$

বন্ধন শক্তির সংজ্ঞা : গ্যাসীয় বা বাষ্পীয় অবস্থায় কোনো পদার্থের এক মোল অণুর নির্দিষ্ট দুটি পরমাণুর মধ্যস্থ একই প্রকার এক মোল বন্ধনকে অর্থাৎ 6.022×10^{23} টি বন্ধনকে ভেঙে মুক্ত পরমাণু বা মূলকে পরিণত করতে যে পরিমাণ গড় শক্তির প্রয়োজন হয়, তাকে সংশ্লিষ্ট বন্ধনের বন্ধন শক্তি বলে। সব 'বন্ধন-শক্তি'র মান ধনাত্মক। যেমন,

এক মোল পানি (H_2O) অণুতে দুই মোল সময়োজী O-H বন্ধন আছে। ঐ দুই মোল সময়োজী বন্ধনকে তাপ প্রয়োগে ভেঙে H ও O মুক্ত পরমাণুতে পরিণত করতে 462.5 kJmol^{-1} তাপ শক্তি শোষিত হয়। সুতরাং পানি অণুতে O-H বন্ধন শক্তি হলো $+ 462.5 \text{ kJmol}^{-1}$.



বন্ধন শক্তির শুরুত্ব : উল্লেখ্য কোনো যৌগ অণুর বন্ধন শক্তি বলতে বন্ধন গঠন শক্তি ও বন্ধন বিযোজন শক্তি উভয়কে বোঝানো হয়। উভয়ের সংখ্যামান একই থাকে। তবে (১) বন্ধন গঠন তাপ হলো ঝণাঝক; কারণ বন্ধন গঠন একটি তাপোৎপাদী প্রক্রিয়া। (২) বন্ধন বিযোজন তাপ হলো ধনাত্মক; কারণ বন্ধন বিযোজন একটি তাপহারী প্রক্রিয়া। আবার এ যাবৎ প্রায় 4 কোটি যৌগ সংখকে জানা গেলেও তবে খুব কম সংখ্যক যৌগের গঠন তাপ জানা গেছে। তাই বন্ধন বিযোজন শক্তি গণনা থেকে বন্ধন গঠন শক্তি জানা যায়।

(ক) **বন্ধন শক্তি গণনা :** যে যৌগের অণুর বন্ধন শক্তি গণনা করতে হবে তার 'অণু গঠন তাপ' এবং বন্ধন গঠনকারী মৌলগুলোর 'পরমাণুকরণ শক্তি' ব্যবহার করে যৌগের বন্ধন শক্তি গণনা করা যায়। একটি যৌগের অণুতে একাধিক একই জাতীয় বন্ধন (যেমন CH_4 অণুতে) থাকলে তখন ঐ যৌগের ক্ষেত্রে গড় বন্ধন শক্তি নির্ণয় করা হয়—

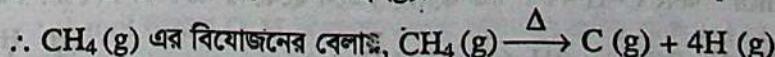
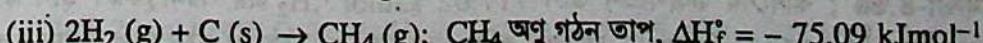
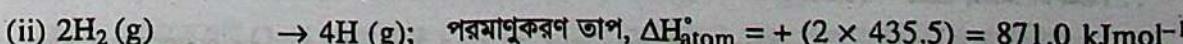
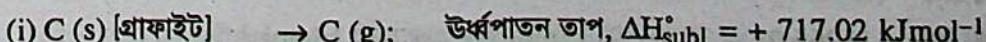
$$(1) \text{ গড় বন্ধন শক্তি} = (\text{সব বন্ধন বিযোজন শক্তি} \div \text{বন্ধন সংখ্যা})$$

$$(2) \text{ অণুর বন্ধন বিযোজন শক্তি} = \text{অণুর বন্ধন গঠন শক্তি} = [\text{উর্ধপাতন তাপ} + \text{পরমাণুকরণ তাপ} - \text{অণু গঠন তাপ}]$$

$$(3) \text{ গড় বন্ধন শক্তি} = [\text{উর্ধপাতন তাপ} + \text{পরমাণুকরণ তাপ} - \text{অণু গঠন তাপ}] \div \text{বন্ধন সংখ্যা}$$

[এক্ষেত্রে গ্রাফাইট কার্বনের বেলায় উর্ধপাতন তাপ এবং অন্য সব মৌলের বেলায় পরমাণুকরণ তাপ হবে।]

উদাহরণ : CH_4 এর C-H বন্ধন শক্তি গণনা করা যাক, এক্ষেত্রে নিম্নরূপ তাপীয় পরিবর্তন ঘটে :



$$\therefore CH_4(g) \text{ এর বিযোজন তাপ}, \Delta H^{\circ} = (\text{উর্ধপাতন তাপ} + \text{পরমাণুকরণ তাপ} - \text{অণু গঠন তাপ})$$

$$= (717.02 + 871.0) - (- 75.09) = 1663.11 \text{ kJmol}^{-1}$$

অতএব, C–H বন্ধন শক্তি = $(1663.11 \div 4) \text{ kJmol}^{-1}$ [যেহেতু CH₄ এ চারটি C–H আছে]।

$$= 415.78 \text{ kJmol}^{-1}$$

যে সব জৈব যৌগে C–H বন্ধন ছাড়াও C–O বা, C–C বা অন্য কোনো বন্ধন থাকে, তখন তাদের বন্ধন শক্তি নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে হিসাব করা যায় :

বন্ধন শক্তি, $\Delta H = [\text{কার্বন গ্রাম} (\text{গ্রাম}) \text{ এর উর্ধপাতন তাপ} + \text{অন্যান্য যৌগের পরমাণুকরণ তাপ} - \text{অণু গঠন তাপ} - (\text{C–H বন্ধন শক্তি} \times \text{C–H বন্ধন সংখ্যা})]$

জেনে রাখ : কোনো গ্যাসীয় রাসায়নিক বিক্রিয়ার বিক্রিয়ক অণুগুলোতে উপস্থিত বন্ধনগুলোর মোট বন্ধন শক্তির মান যদি উৎপাদ অণুগুলোতে উপস্থিত বন্ধনগুলোর মোট বন্ধন শক্তির মানের চেয়ে বেশি হয়, তবে বিক্রিয়াটি তাপহারী বিক্রিয়া হয়।

অর্থাৎ যদি $\Sigma(\text{BE})_{\text{reactants}} > \Sigma(\text{BE})_{\text{product}}$ হয়, তবে $\Delta H^\circ > 0$ অর্থাৎ ধনাত্মক হয়; বিক্রিয়াটি তাপহারী হয়।

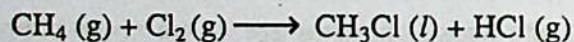
আবার যদি $\Sigma(\text{BE})_{\text{reactants}} < \Sigma(\text{BE})_{\text{product}}$ হয়, তবে $\Delta H^\circ < 0$ অর্থাৎ ঋণাত্মক হয়; বিক্রিয়াটি তাপোৎপন্ন হয়।

এখানে BE = বন্ধন শক্তি (Bond Energy)

(খ) বন্ধন শক্তির সাহায্যে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় : সব যৌগেই একটি নির্দিষ্ট বন্ধন শক্তি (যেমন C–H) প্রায় সমান। এর ওপর ভিত্তি করে যে কোনো যৌগের ক্ষেত্রে বিক্রিয়কের মোট বন্ধন বিযোজন তাপ থেকে উৎপাদের মোট বন্ধন গঠন তাপ বিয়োগ করে বিক্রিয়া তাপ হিসাব করা যায়। এ পদ্ধতিটি মূলত সমযোজী বন্ধনবিশিষ্ট গ্যাসীয় বিক্রিয়কের ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা যায়।

বিক্রিয়া তাপ, $\Delta H = (\text{বিক্রিয়কের মোট বন্ধন বিযোজন তাপ}) - (\text{উৎপাদের মোট বন্ধন গঠন তাপ})$

যেমন, নিম্নলিখিত বিক্রিয়ায় বন্ধন শক্তি ব্যবহার করে বিক্রিয়া-তাপ হিসাব করা যায়।



দেয়া আছে C–H বন্ধন শক্তি 430.53 kJmol⁻¹, Cl–Cl বন্ধন শক্তি 242.90 kJmol⁻¹ এবং C–Cl বন্ধন শক্তি 328 kJmol⁻¹; H–Cl বন্ধন শক্তি 433 kJmol⁻¹।

সমাধান : প্রদত্ত বিক্রিয়ার বন্ধন শক্তি নিম্নরূপ :

বিক্রিয়ক	কিলোজুল (kJ)	উৎপাদ	কিলোজুল (kJ)
4C–H	$4(430.53) = 1722.12$	3C–H	$(3 \times 430.53) = 1291.59$
1C–Cl	$= 242.90$	1C–Cl	$= 328.00$
		1H–Cl	$= 433.00$

∴ বিক্রিয়কের বন্ধন বিযোজন তাপ = 1965.02

∴ উৎপাদের বন্ধন গঠন তাপ = 2052.59

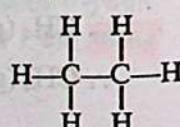
∴ বিক্রিয়া তাপ, $\Delta H = (\text{বিক্রিয়কের মোট বন্ধন বিযোজন তাপ} - \text{উৎপাদের মোট বন্ধন গঠন তাপ})$

∴ বিক্রিয়া তাপ, $\Delta H = (1965.02 - 2052.59) \text{ kJmol}^{-1} = - 87.57 \text{ kJmol}^{-1}$

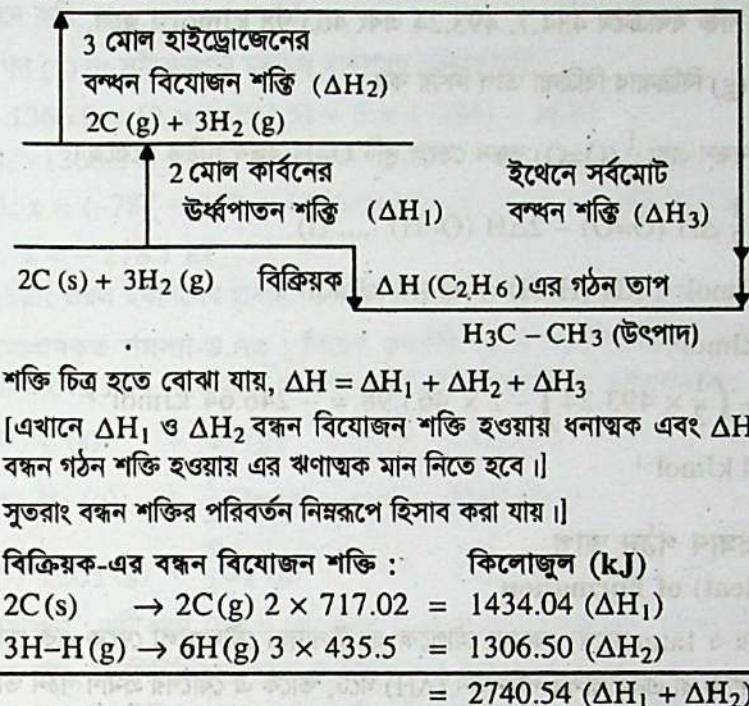
সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৬৯ : কার্বনের উর্ধপাতন তাপ 717.02 kJmol⁻¹, H₂ এর পরমাণুকরণ তাপ 435.5 kJmol⁻¹, C–C বন্ধন শক্তি 343.9 kJmol⁻¹ এবং C–H বন্ধন শক্তি 430.53 হলে ইথেনের গঠন তাপ হিসাব কর।

সমাধান : ইথেনের গঠন বিক্রিয়া নিম্নরূপ : $2\text{C}(\text{s}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$;

এক্ষেত্রে 2 mol কার্বনের উর্ধপাতন ঘটে ও তিনটি H–H বন্ধন ভেঙে যায়।



একটি C-C বন্ধন ও ছয়টি C-H বন্ধন গঠন হয়। এ বিক্রিয়াটি সংষ্টুতের বিভিন্ন ধারা হলো নিম্নরূপ :



$$\text{শক্তি চিত্র হতে বোধা যায়, } \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

[এখানে ΔH_1 ও ΔH_2 বন্ধন বিযোজন শক্তি হওয়ায় ধনাত্মক এবং ΔH_3 বন্ধন গঠন শক্তি হওয়ায় এর ঋণাত্মক মান নিতে হবে।]

সূতরাং বন্ধন শক্তির পরিবর্তন নিম্নরূপে হিসাব করা যায়।]

বিক্রিয়ক-এর বন্ধন বিযোজন শক্তি : কিলোজুল (kJ)

$$2C(s) \rightarrow 2C(g) \quad 2 \times 717.02 = 1434.04 \quad (\Delta H_1)$$

$$3H-H(g) \rightarrow 6H(g) \quad 3 \times 435.5 = 1306.50 \quad (\Delta H_2)$$

$$= 2740.54 \quad (\Delta H_1 + \Delta H_2)$$

উৎপাদ-এর বন্ধন গঠন শক্তি : কিলোজুল (kJ)

$$1C-C = 343.90$$

$$6 C-H \rightarrow 6 \times 430.53 = 2583.18$$

$$= 2937.08 \quad (\Delta H_3) \quad (\text{বন্ধন গঠন শক্তি ঋণাত্মক})$$

অতএব, 1 মোল ইথেনের গঠন তাপ হবে :

$$\Delta H = (2740.54 - 2937.08) \text{ kJmol}^{-1} = - 196.54 \text{ kJmol}^{-1}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭০ : বিক্রিয়া তাপ হতে বন্ধন শক্তি নির্ণয় :

নিচের বিক্রিয়াগুলোর তাপের মান থেকে O-H বন্ধনের বন্ধন শক্তি কিলোক্যালরি ও কিলোজুলে নির্ণয় করো-

$$H_2(g) \rightarrow 2H(g), \quad \Delta H = 104 \text{ kcal} \quad \dots \quad (i)$$

$$O_2(g) \rightarrow 2O(g), \quad \Delta H = 120 \text{ kcal} \quad \dots \quad (ii)$$

$$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(g), \quad \Delta H = - 58 \text{ kcal} \quad \dots \quad (iii)$$

$$\text{সমাধান : (ii)-নং সমীকরণকে 2 দিয়ে ভাগ করে পাই, } \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow O(g), \quad \Delta H = 60 \text{ kcal} \quad \dots \quad (iv)$$

$$(i) \text{ ও (iv) যোগ করে, } H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow 2H(g) + O(g), \quad \Delta H = (104 + 60) = 164 \text{ kcal} \quad \dots \quad (v)$$

$$(iii) \text{ নং সমীকরণকে বিপরীতভাবে লিখে পাই, } H_2O(g) \rightarrow H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g), \quad \Delta H = 58 \text{ kcal} \quad \dots \quad (vi)$$

$$(v) \text{ ও (vi) নং সমীকরণ যোগ করে পাই, } H_2O(g) \rightarrow 2H(g) + O(g), \quad \Delta H = 222 \text{ kcal}$$

এক অণু পানিতে দুটি O-H বন্ধন আছে। সূতরাং, 1 মোল পানিতে 2 মোল সংখ্যক O-H বন্ধন আছে।

কাজেই 2 mol সংখ্যক O-H বন্ধনকে ভাঙার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি = 222 kcal

$$\therefore 1 \text{ mol সংখ্যক O-H বন্ধনকে ভাঙার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি} = 111 \text{ kcal}$$

$$\text{অর্থাৎ O-H বন্ধনের বন্ধন শক্তি} = 111 \text{ kcal/mol} \quad [উল্লেখ্য, } 1 \text{ kcal} \doteq 4.186 \text{ kJ}]$$

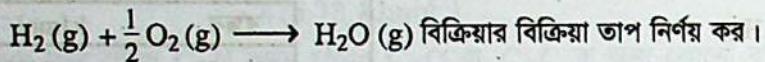
$$\therefore \text{কিলোজুল এককে O-H বন্ধন শক্তি} = 111 \times 4.186 \text{ kJmol}^{-1} = 464.65 \text{ kJmol}^{-1}$$

সারণি ৪.৭ : বিভিন্ন গড় বন্ধন-শক্তি

বন্ধন	kJmol^{-1}
H-H	435.50
H-F	564.00
H-Cl	433.00
H-Br	366.00
H-I	299.00
C-H	430.53
C-Cl	328.00
Cl-Cl	242.90
O=O	498.40
O-H	462.50
N-H	391.00
C-C	343.90
C=C	615.00
C≡C	812.00
C=O	724.00

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭১ : বক্সনশক্তি থেকে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় :

$H-H$, $O=O$ এবং $O-H$ বক্সনের বক্সন শক্তি যথাক্রমে 434.7 , 493.24 এবং $463.98 \text{ kJ mol}^{-1}$ হলে,



সমাধান : প্রশ্নমতে, বিক্রিয়ায় ১টি $H-H$ বক্সন এবং $\frac{1}{2}(O=O)$ বক্সন ভেঙ্গে দুটি $O-H$ বক্সন গঠিত হয়েছে।

$$\therefore \text{বিক্রিয়া তাপ}, \Delta H = \Delta H(H-H) + \frac{1}{2} \Delta H(O=O) - 2\Delta H(O-H) \dots \dots \text{(i)}$$

দেয়া আছে, $\Delta H(O-H) = 463.98 \text{ kJ mol}^{-1}$, $\Delta H(H-H) = 434.7 \text{ kJ mol}^{-1}$,

$$\Delta H(O=O) = 493.24 \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$\therefore \text{(i) নং হতে পাই}, \Delta H = +434.7 + \left(\frac{1}{2} \times 493.24\right) - 2 \times 463.98 = -246.64 \text{ kJ mol}^{-1}$$

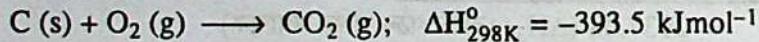
$$\therefore \text{বিক্রিয়াটির বিক্রিয়া তাপ} = -246.64 \text{ kJ mol}^{-1}$$

৪.২০.১ প্রমাণ গঠন এন্থালপি বা প্রমাণ গঠন তাপ

Standard Enthalpy (or Heat) of Formation

সংজ্ঞা : প্রমাণ অবস্থায় ($298K$ তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে) কোনো যৌগকে এর উপাদান মৌলগুলো থেকে এক মোল পরিমাণে উৎপন্ন করার সময়ে যে পরিমাণ তাপ শক্তি বা এন্থালপির পরিবর্তন (ΔH) ঘটে, তাকে ঐ যৌগের প্রমাণ গঠন তাপ বা এন্থালপি বলে। প্রমাণ গঠন এন্থালপিকে H_f^0 দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এর একক হচ্ছে কিলোজুল প্রতি মোল।

উদাহরণস্বরূপ $25^\circ C$ তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে কার্বন ও অক্সিজেন বিক্রিয়া করে কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করে।



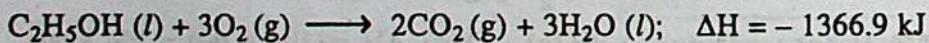
এখন বিক্রিয়ার এন্থালপি পরিবর্তন = যৌগ CO_2 এর গঠন এন্থালপি = H_f^0

$$H_f^0 = [\text{কার্বন ডাইঅক্সাইডের গঠন এন্থালপি}] - [\text{কার্বনের এন্থালপি} + \text{অক্সিজেনের এন্থালপি}]$$

$$= H(CO_2) - [H_C + H_{O_2}]; \quad [\text{এখানে } H \text{ দ্বারা প্রত্যেক পদার্থের গঠন এন্থালপি বোঝানো হয়েছে।]$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭২ : প্রমাণ অবস্থায়, $CO_2(g)$ এবং $H_2O(l)$ এর গঠন এন্থালপি যথাক্রমে -393.5 kJ এবং -286 kJ । $25^\circ C$ তাপমাত্রায় তরল ইথানলের দহন বিক্রিয়ার এন্থালপি -1366.9 kJ হলে তরল ইথানলের গঠন তাপ বা এন্থালপি নির্ণয় কর।

সমাধান : ইথানলের দহনের তাপ রাসায়নিক সমীকরণকে নিম্নরূপে লেখা যায়—



বিক্রিয়ার এন্থালপি ΔH = [উৎপাদের এন্থালপি] – [বিক্রিয়কের এন্থালপি]

$$\therefore \Delta H = (2 \times H(CO_2) + 3 \times H(H_2O)) - [H(C_2H_5OH) + 3 \times H(O_2)]$$

$$= [2 \times H(CO_2) + 3 \times H(H_2O) - [H(C_2H_5OH) + 0]]$$

$$= [2 \times H(CO_2) + 3 \times H(H_2O)] - H(C_2H_5OH) \dots \dots \text{(1)}$$

দেয়া আছে, $H(CO_2) = -393.5 \text{ kJ}$ এবং $H(H_2O) = -286 \text{ kJ}$, $\Delta H = -1366.9 \text{ kJ}$

$$\text{মনে করি, } H_{(C_2H_5OH)} = x \text{ kJ}$$

এখন (1) নং সমীকরণের যথাযথ মানসমূহ বসিয়ে পাই,

$$-1366.9 = [2 \times (-393.5) + 3 \times (-286) - x] \text{ kJ}$$

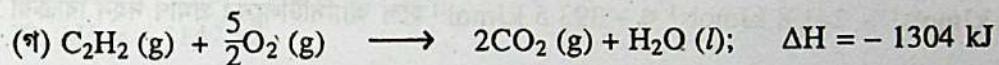
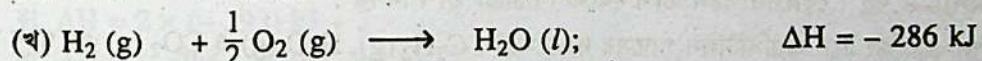
$$\text{বা, } -1366.9 = (-787 - 858 - x) \text{ kJ}$$

$$\text{বা, } x = (-787 - 858 + 1366.9) \text{ kJ} = (-1645 + 1366.9) \text{ kJ}$$

$$\therefore x = -278.1 \text{ kJ}$$

সুতরাং তরল ইথানলের প্রমাণ গঠন তাপ বা এন্থালপি = $-278.1 \text{ kJ mol}^{-1}$ (উ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৩ : নিচের তথ্যাদি থেকে অ্যাসিটিলিনের গঠন তাপ বা এন্থালপি হিসাব কর এবং অ্যাসিটিলিনের গঠন বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী না তাপহারী তা বিশ্লেষণ কর।



সমাধান : সমীকরণ (ক) ও (খ) মতে, CO_2 ও H_2O এর গঠন এন্থালপি = -393.5 ও -286 kJ mol^{-1}

ধরা যাক, অ্যাসিটিলিনের গঠন এন্থালপি = $x \text{ kJ mol}^{-1}$

আমরা জানি, বিক্রিয়া তাপ, $\Delta H = (\text{উৎপাদের গঠন তাপ বা এন্থালপি}) - (\text{বিক্রিয়কের গঠন তাপ বা এন্থালপি})$

সুতরাং সমীকরণ (গ) হতে পাই,

$$\Delta H = [2 \times H_{(CO_2)} + H_{(H_2O)}] - [H_{(C_2H_2)} + \frac{5}{2} \times H_{(O_2)}]$$

$$\text{বা, } -1304 = [2 \times (-393.5) + (-286)] \text{ kJ} - \left[x + \frac{5}{2} \times 0 \right] \text{ kJ}$$

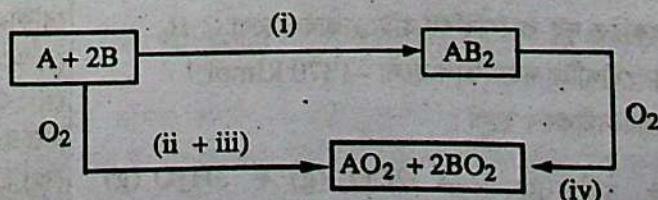
$$\text{বা, } -1304 = [-787.0 - 286] \text{ kJ} - x \text{ kJ}$$

$$\text{বা, } x = [-1073.0 + 1304] \text{ kJ} = +231 \text{ kJ}; \quad \therefore x = +231 \text{ kJ mol}^{-1}$$

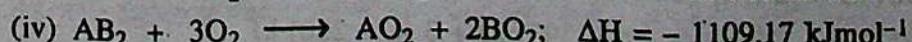
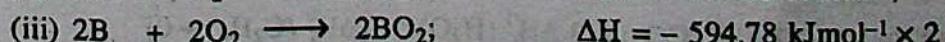
∴ অ্যাসিটিলিনের গঠন তাপ = $+231 \text{ kJ mol}^{-1}$

বিশ্লেষণ : নির্ণিত গঠন তাপ ধনাত্মক যেমন $\Delta H = +231 \text{ kJ mol}^{-1}$ হওয়ায় অ্যাসিটিলিনের গঠন বিক্রিয়াটি হলো তাপহারী বিক্রিয়া।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৪ : A, B ও AB_2 এর দহন এন্থালপি যথাক্রমে $-394.55 \text{ kJ mol}^{-1}$, $-594.78 \text{ kJ mol}^{-1}$ ও $-1109.17 \text{ kJ mol}^{-1}$ হলে AB_2 এর ΔH_f নির্ণয় কর।



সমাধান : বিভিন্ন ধাপে সংষ্টিত বিক্রিয়া এবং তাদের ΔH মান :



MCQ-4.40 : মানুষের রক্তে কোন বাক্সার দ্রবণ আছে [সি. বো. ২০১৬]

(ক) $NaHCO_3$, H_2CO_3

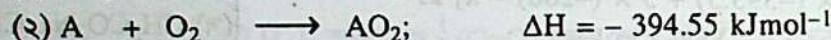
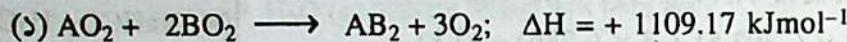
(খ) CH_3CO_2Na , CH_3CO_2H

(গ) Na_2HPO_4 , H_3PO_4

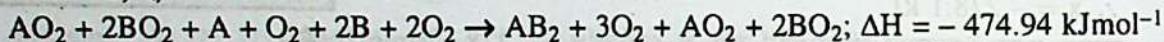
(ঘ) NH_4Cl , NH_4OH

ডায়াগ্রাম মতে, (i) কাঞ্জিত বিক্রিয়ার উৎপাদ হচ্ছে AB_2

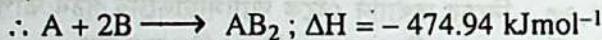
সুতরাং (iv) নং বিক্রিয়াটিকে উল্টাতে হবে তখন AB_2 উৎপাদ হবে :



সমীকরণ ১, ২, ৩ এর যোগ করে পাই—



উভয় দিক থেকে সদৃশ উপাদান বাদ দিয়ে পাই—

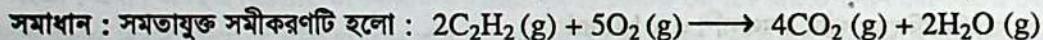


সুতরাং AB_2 এর গঠন এনথালপি $\Delta H_f = - 474.94 \text{ kJmol}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৫ : যৌগের গঠন তাপ থেকে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় :

অক্সি-অ্যাসিটিলিন ওয়েভিং টর্চে অ্যাসিটিলিন গ্যাসের দহন ঘটে। $C_2H_2(g)$, $H_2O(g)$ ও $CO_2(g)$ এর গঠন তাপ যথাক্রমে $-227.4 \text{ kJmol}^{-1}$, $-241.8 \text{ kJmol}^{-1}$ ও $-393.5 \text{ kJmol}^{-1}$ হলে অ্যাসিটিলিনের প্রমাণ দহন বিক্রিয়া তাপ বের কর।

দক্ষতা : প্রথমে সমতাযুক্ত দহন বিক্রিয়ার সমীকরণ লেখ।



সংশ্লিষ্ট যৌগের গঠন তাপ নিচের সমীকরণে ব্যবহার করে অ্যাসিটিলিনের দহন তাপ, ΔH° গণনা করা হলো : এক্ষেত্রে প্রমাণ বিক্রিয়া তাপ হলো দহন তাপ : বিক্রিয়া তাপ, $\Delta H^\circ = (\text{উৎপাদের গঠন তাপ}) - (\text{বিক্রিয়কের গঠন তাপ})$

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= [4 \Delta H_f^0(CO_2) + 2 \Delta H_f^0(H_2O)] - [2 \Delta H_f^0(C_2H_2)] [\text{মৌল } O_2 \text{ এর গঠন তাপ শূন্য}] \\ &= 4 \text{ mol} \times (-393.5 \text{ kJ/mol}) + 2 \text{ mol} \times (-241.8 \text{ kJ/mol}) - 2 \text{ mol} \times (-227.4) \text{ kJ/mol} \\ &= -1602.8 \text{ kJ} \end{aligned}$$

সমীকরণ মতে, 2 mol C_2H_2 এর দহন বিক্রিয়া তাপ -1602.8 kJ

$$\therefore 1 \text{ mol } C_2H_2 \text{ এর দহন বিক্রিয়া তাপ} = (-1602.8 \div 2) = 801.4 \text{ kJ}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৬ : দুই কার্বনবিশিষ্ট দুটি হাইড্রোকার্বন P ও Q যথাক্রমে sp^3 ও sp^2 সংকরণ দ্বারা গঠিত। এক্ষেত্রে Q যৌগ, $CO_2(g)$, $H_2O(l)$ এর প্রমাণ গঠন তাপ যথাক্রমে -84 , -393 ও -220 kJmol^{-1} হয়। হাইড্রোকার্বন P এর প্রমাণ দহন তাপ -1370 kJmol^{-1} হয়। [চ. বো. ২০১৬]

(ক) হাইড্রোকার্বন P এর প্রমাণ গঠন তাপ নির্ণয় কর।

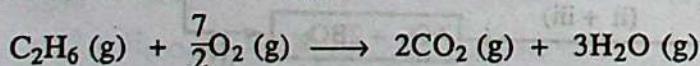
(খ) উদ্বিগ্নের P ও Q যৌগের মধ্যে কোনটি উৎকৃষ্ট জ্বালানি হবে, তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (ক) P যৌগের প্রমাণ গঠন তাপ নির্ণয় কর :

উদ্বিগ্ন মতে, sp^3 সংকরিত দুই কার্বনবিশিষ্ট হাইড্রোকার্বন হলো C_2H_6

প্রশ্ন মতে, C_2H_6 বা P যৌগটির দহন তাপ হলো -1370 kJmol^{-1} ।

C_2H_6 এর দহন বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো :



C_2H_6 এর দহন তাপ থেকে C_2H_6 যৌগের গঠন তাপ ΔH_f^0 গণনা করা হলো :

বিক্রিয়া তাপ, $\Delta H^\circ = (\text{উৎপাদের গঠন তাপ}) - (\text{বিক্রিয়কের গঠন তাপ})$

$$\therefore (-1370) \text{ kJ} = [2 \Delta H_f^0(CO_2) + 3 \Delta H_f^0(H_2O)] - [\Delta H_f^0(C_2H_6) + 0]$$

$$\therefore \Delta H_f^0(C_2H_6) = 1370 \text{ kJ} + 2 \times (-393) \text{ kJ} + 3 \times (-220) \text{ kJ}$$

MCQ-4.41 : সক্রিয় ভর বলতে

বোঝায়— [অভিন্ন পত্র ২০১৮]

(i) আধিশিক তাপ (ii) আণবিক ভর

(iii) মোলার ঘনমাত্রা

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i, ii (খ) ii, iii

(গ) i, iii (ঘ) i, ii, iii

$$\text{বা, } \Delta H_f^0(C_2H_6) = (1370 - 1446) \text{ kJ} = -76 \text{ kJ}$$

$$\therefore \Delta H_f^0(C_2H_6) = -76 \text{ kJmol}^{-1}$$

$$\therefore C_2H_6 \text{ এর প্রমাণ গঠন তাপ} = -76 \text{ kJmol}^{-1} \text{ (উ.)}$$

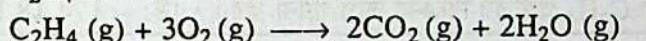
সমাধান-(খ) : P ও Q যৌগের মধ্যে কোনটি উৎকৃষ্ট জ্বালানি হবে?

উদ্বীপক মতে, sp^3 সংকরিত দুই কার্বনবিশিষ্ট হাইড্রোকার্বন হলো C_2H_6

এবং sp^2 সংকরিত দুই কার্বনবিশিষ্ট হাইড্রোকার্বন হলো C_2H_4 ।

প্রশ্নে প্রদত্ত ডাটা থেকে C_2H_4 এর দহন তাপ (ΔH) নির্ণয় করতে হবে।

C_2H_4 এর দহন বিক্রিয়ার সমীকরণ :



$$\therefore \Delta H = 2\Delta H_f^0(CO_2) + 2\Delta H_f^0(H_2O) - \Delta H_f^0(C_2H_4) + 0$$

$$\text{বা, } \Delta H = 2 \times (-393) \text{ kJ} + 2 \times (-220) \text{ kJ} + 84 \text{ kJ}$$

$$\text{বা, } \Delta H = (-786 - 440 + 84) \text{ kJ} = (-1226 + 84) \text{ kJ}$$

$$\text{বা, } \Delta H = -1142 \text{ kJ}$$

C_2H_4 এর গ্রাম আণবিক ভর হলো 28 g

$$\therefore 28 \text{ g } C_2H_4 \text{ এর দহনে তাপ উৎপন্ন হয়} = 1142 \text{ kJ}$$

$$\therefore 1 \text{ g } C_2H_4 \text{ এর দহনে তাপ উৎপন্ন হয়} = (1142 \div 28) = 40.78 \text{ kJ/g}$$

আবার প্রশ্নে দেয়া C_2H_6 এ দহন তাপ হলো $(-1370 \text{ kJmol}^{-1})$

C_2H_6 এর গ্রাম আণবিক ভর = 30 g

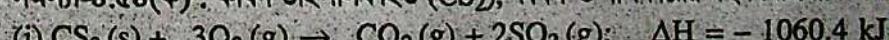
$$\therefore 30 \text{ g } C_2H_6 \text{ এর দহনে তাপ উৎপন্ন হয়} = 1370 \text{ kJ}$$

$$\therefore 1 \text{ g } C_2H_6 \text{ এর দহনে তাপ উৎপন্ন হয়} = (1370 \div 30) = 45.67 \text{ kJ/g}$$

বিশ্লেষণ : সূতৰাং প্রতি গ্রাম P ও Q এর দহনে তাপ উৎপন্ন হয় যথাক্রমে 45.67 kJ ও 40.78 kJ। তাই উভয় হাইড্রোকার্বনের মধ্যে উৎকৃষ্ট জ্বালানি হবে 45.67 kJ/g তাপ উৎপন্নকারী P যৌগ বা C_2H_6 (ইথেন)।

শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.১৬ : বিক্রিয়া তাপভিত্তিক :

সমস্যা-৪.৫৪(ক) : কার্বন ডাইসালফাইড (CS_2), কার্বন ও সালফারের দহন বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো : [ক. বো. ২০১৭]



(a) উদ্বীপকের (ii) নং বিক্রিয়া মতে 1200 kJ তাপ উৎপন্ন করতে STP-তে কত লিটার O_2 প্রয়োজন হবে?

$$[\text{উ}: 68.31 \text{ L } O_2]$$

(b) উদ্বীপকের ডাটা ব্যবহার করে CS_2 এর গঠন তাপ নির্ণয় কর এবং সংশ্লিষ্ট গঠন বিক্রিয়াটি তাপেৰণী না তাপহারী তা ব্যাখ্যা কর।

$$[\text{উ}: \Delta H = +74.7 \text{ kJmol}^{-1}; \text{ তাপহারী}]$$

সমস্যা-৪.৫৪(খ) : অ্যাসিটিক এসিড, কার্বন ও হাইড্রোজেনের প্রমাণ দহন তাপ যথাক্রমে -871.5 kJ , -393.7 kJ এবং -85.85 kJ । এ সব উপাত্ত থেকে অ্যাসিটিক এসিডের গঠন তাপ নির্ণয় কর।

$$[\text{উ}: -487.6 \text{ kJmol}^{-1}]$$

সমস্যা-৪.৫৪(গ) : $C_2H_5OH(l)$, C (s) ও $H_2(g)$ এর দহন তাপের মান যথাক্রমে -1367 kJmol^{-1} , $-393.5 \text{ kJmol}^{-1}$ ও $-285.85 \text{ kJmol}^{-1}$ হলে ইথানল (C_2H_5OH) এর গঠন তাপ নির্ণয় কর।

$$[\text{উ}: -277.55 \text{ kJmol}^{-1}]$$

সমস্যা-৪.৫৪(ঘ) : মিথেনের দহন তাপ $-890.3 \text{ kJmol}^{-1}$ হলে 1335.45 kJ তাপ উৎপন্ন করতে কত গ্রাম মিথেন (CH_4) এবং STP-তে কত লিটার অক্সিজেন প্রয়োজন হবে? [উ: 245.67 গ্রাম]

MCQ-4.42 : বিক্রিয়ার হার বলতে বোঝায়— [ব. বো. ২০১৭]

(i) বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হাসের হার

(ii) প্রভাবকের পরিমাণ বৃদ্ধির হার

(iii) উৎপাদের ঘনমাত্রা বৃদ্ধির হার

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i, ii (খ) ii, iii

(গ) i, iii (ঘ) i, ii, iii

MCQ-4.43 : $A_2(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g); \Delta H = +ve$ [সি. বো. ২০১৬]

(i) বিক্রিয়টি তাপহারী (ii) $K_p = K_c$

(iii) চাপের প্রভাব নেই

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i, ii (খ) ii, iii

(গ) i, iii (ঘ) i, ii, iii

সমস্যা-৮.৫৫ : $\text{CH}_4(\text{g})$, $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$, $\text{CO}_2(\text{g})$ এবং $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ এর পরিমাণ গঠন এনথালপি যথাক্রমে -74.89 , -84.52 , -393.30 এবং $-220.20 \text{ kJ mol}^{-1}$ । পদ্ধতি ডাটার সাহায্যে হিসাব করে জ্বালানি হিসেবে CH_4 এবং C_2H_6 গ্যাসের মধ্যে কোনটি অধিক উপযোগী হবে তা ব্যাখ্যা কর।

উত্তর: CH_4 এর দহন তাপ -47.43 kJ/g . C_2H_6 এর দহন তাপ -45.42 kJ/g . সুতরাং CH_4 অধিক উপযোগী।

সমস্যা-৮.৫৬(ক) : সিমেন্ট উৎপাদনে ব্যবহৃত চুন (CaO) চুনাপাথর (CaCO_3) থেকে উৎপাদন করা হয়। $\text{CaCO}_3(\text{s})$, $\text{CaO}(\text{s})$ ও $\text{CO}_2(\text{g})$ এর গঠন তাপ যথাক্রমে -1207.6 kJ/mol , -634.9 kJ/mol ও -393.5 kJ/mol । সর্পিল বিক্রিয়াটির প্রকৃতি ও বিক্রিয়া তাপ গণনা কর। [উত্তর: 179.2 kJ (বিক্রিয়াটি তাপহারী)]

সমস্যা-৮.৫৬(খ) : অ্যাসিটিলিন (C_2H_2), H_2 ও ইথিলিন (C_2H_4) এর দহন তাপ যথাক্রমে -1299 , -286.18 ও $-1411 \text{ kJ mol}^{-1}$ হলে C_2H_2 থেকে C_2H_4 প্রক্রিয়িত বিক্রিয়া তাপ গণনা কর। [উত্তর: -174.18 kJ]

৪.২১ ল্যাভয়সিয়ে ও হেসের সূত্র

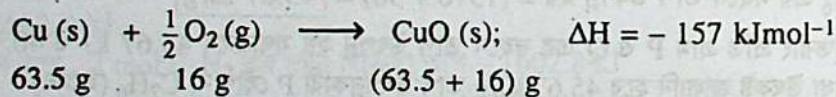
রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে পদার্থের ভর ও শক্তির নিয়ততা সূত্রের ওপর ভিত্তি করে তাপ রসায়নে বিক্রিয়া এনথালপির পরিবর্তন ধারা ব্যাখ্যার জন্য দুটি সূত্র আছে। এ দুটি সূত্রকে তাপ রাসায়নিক সূত্র বলা হয়। যেমন-

(১) ল্যাভয়সিয়ে ও ল্যাপলাসের সূত্র (Lavoisier & Laplace's Law)

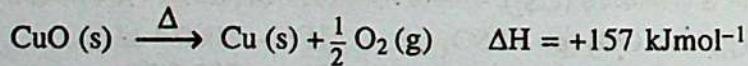
(২) হেসের দ্রুব তাপ সমষ্টিকরণ সূত্র (Hess's Law of Constant heat Summation)

(১) ল্যাভয়সিয়ে ও ল্যাপলাসের সূত্র : 1780 খ্রিস্টাব্দে প্রকাশিত ল্যাভয়সিয়ে ও ল্যাপলাসের সূত্রটি নিম্নরূপ :

“কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ এনথালপির পরিবর্তন ঘটে; এ বিক্রিয়াটি বিপরীত দিকে সংঘটিত হলেও এই একই পরিমাণ এনথালপির পরিবর্তন ঘটে থাকে, তবে চিহ্ন বিপরীত হয়।” অর্থাৎ কোনো একটি যৌগকে তার উৎপাদন থেকে তৈরি করতে যে পরিমাণ তাপশক্তি নির্গত হয়, ঐ যৌগটিকে তার উৎপাদনে বিযোজিত করতে একই পরিমাণ তাপশক্তি শোষিত হয়। আবার বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ভর প্রতিক্রিয়ে দ্রুব বা স্থির থাকে। যেমন,



এক্ষেত্রে 1 মোল কপার ধাতু $\frac{1}{2}$ মোল অক্সিজেন গ্যাসের সাথে বিক্রিয়া করে 1 মোল কিউপ্রিক অক্সাইড (CuO) গঠনকালে 157 kJ তাপশক্তি নির্গত হয়। এর বিপরীত বিক্রিয়াটি হচ্ছে নিম্নরূপ :



এক্ষেত্রে পূর্বের বিক্রিয়াটি বিপরীত দিকে সংঘটিত হওয়ায় 157 kJ তাপশক্তি শোষিত হয়েছে।

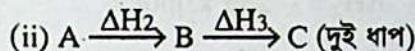
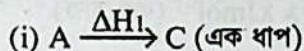
উপরিউক্ত উভয় বিক্রিয়ার তাপশক্তির পরিবর্তনের প্রকারভেদের ব্যাখ্যা স্বরূপ বলা হয় যে, প্রথম বিক্রিয়ায় CuO অণু গঠনকালে Cu পরমাণু এবং O পরমাণুর মধ্যে নতুন বন্ধন সৃষ্টি হয়েছে। বন্ধন গঠন প্রক্রিয়াটি তাপোৎপাদনী প্রক্রিয়া, তাই ΔH এর মান ঋণাত্মক হয়েছে। বিপরীত বিক্রিয়ায় CuO অণুর বন্ধন বিযোজন ঘটেছে। বন্ধন বিযোজন প্রক্রিয়াটি তাপহারী প্রক্রিয়া, তাই ΔH এর মান ধনাত্মক হয়েছে। একই অণুর বন্ধন গঠন ও বন্ধন বিযোজন শক্তির পরিমাণ সমান হওয়ায় প্রতিক্রিয়ে তাপের পরিমাণ 157 kJ হয়েছে।

(২) হেসের সূত্র (Hess's Law) : বহু বছরের নিরলস গবেষণার ফসল হিসেবে 1840 খ্রিস্টাব্দে রশ বিজানী জি. এইচ. হেস (G. H. Hess) তাপ রসায়নের একটি শুরুত্তপূর্ণ সূত্র আবিষ্কার করেন। তাঁর আবিস্কৃত এ সূত্রটি হেসের তাপ সমষ্টির নিয়ততার সূত্র বা দ্রুব তাপ সমষ্টিকরণ সূত্র নামে পরিচিত। হেসের সূত্রটি নিম্নরূপ :

“যদি কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার প্রারম্ভিক ও শেষ অবস্থা স্থির বা একই থাকে; তবে সে বিক্রিয়া এক বা একাধিক ধাপে সংঘটিত হোক না কেন প্রতিক্রিয়েই বিক্রিয়া এনথালপি বা বিক্রিয়া তাপ সমান থাকবে।”

অর্থাৎ বিক্রিয়া এনথালপির মান বিক্রিয়া কীভাবে ঘটানো হলো তার ওপর নির্ভর করে না; তবে বিক্রিয়ার প্রারম্ভিক ও শেষ অবস্থার ওপর নির্ভর করে।

ধরা যাক, কোনো বিক্রিয়ক, A নিম্নলিখিত দুটি ভিন্ন পথে বা ধারায় উৎপন্ন, C তে রূপান্তরিত হয়।

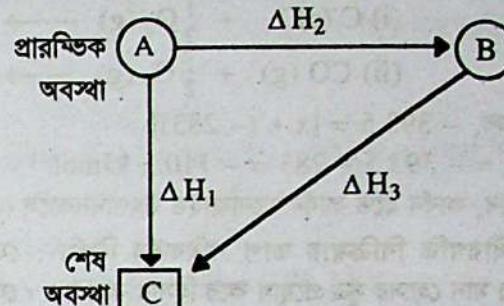


চিত্রমতে, (১ম ধারা), $\Delta H = \Delta H_1$

এবং (২য় ধারা), $\Delta H = \Delta H_2 + \Delta H_3$

হেসের সূত্র মতে ১ম ধারা = ২য় ধারা;

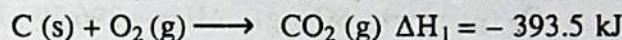
$$\therefore \Delta H_1 = (\Delta H_2 + \Delta H_3).$$



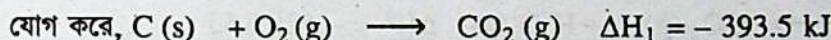
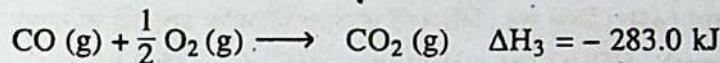
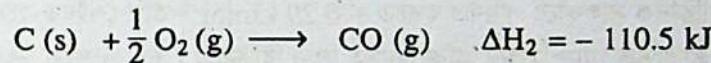
চিত্র-৪.৩০ : চিত্রের সাহায্যে হেসের সূত্রের ব্যাখ্যা।

উদাহরণ : কার্বন থেকে CO_2 নিম্নোক্ত দুই পথে বা ধাপে প্রস্তুত করা যায়।

(i) প্রথমত অধিক অক্সিজেনে কার্বনকে পোড়ালে তখন CO_2 গ্যাসসহ 393.5 kJ তাপ উৎপন্ন হয়।



(ii) দ্বিতীয়ত কার্বনকে প্রথমে অল্প অক্সিজেনে উৎপন্ন করলে CO গ্যাস উৎপন্ন হয়। শেষে এ CO গ্যাসকে অধিক অক্সিজেনে পোড়ালে তা CO_2 গ্যাসে পরিণত হয়। উভয় বিক্রিয়া তাপোৎপন্নাদী। যেমন :



সুতরাং দ্বিতীয় ধাপে সংঘটিত উভয় বিক্রিয়ার মোট বিক্রিয়া এনথালপি, $\Delta H_1 = -393.5 \text{ kJ}$ যা প্রথম ধাপে সরাসরি উৎপন্ন CO_2 এর বেলায় বিক্রিয়া এনথালপি ΔH_1 এর মানের সমান। উভয় ধাপে বিক্রিয়ার প্রারম্ভিক অবস্থায় বিক্রিয়ক হলো C এবং O_2 গ্যাস এবং শেষ অবস্থায় উৎপন্ন হলো CO_2 গ্যাস। বিক্রিয়া তাপ হলো,

$$\Delta H_1 = (\Delta H_2 + \Delta H_3)$$

$$-393.5 \text{ kJ} = (-110.5 - 283.0) \text{ kJ} = -393.5 \text{ kJ}$$

সুতরাং এ উদাহরণ দ্বারা হেসের তাপ সমষ্টিকরণ সূত্র গাণিতিকভাবে প্রমাণিত হলো।

MCQ-4.44 : নিচের কোনটির মান

সব সময় ব্যাপক হয়? (য. বো. ২০১৫)

(ক) দহন তাপ (খ) বিক্রিয়া তাপ

(গ) সংগঠন তাপ (ঘ) দ্রবণ তাপ

৪.২১.১ হেসের সূত্রের প্রয়োগ

Application of Hess's law

হেসের সূত্রের বহুবিধ প্রয়োগ আছে। হেসের সূত্রের বৈশিষ্ট্য হচ্ছে-

(ক) তাপ রাসায়নিক সমীকরণের ক্ষেত্রে যোগ, বিয়োগ, ওণ প্রভৃতি সাধারণ প্রক্রিয়াসমূহ প্রয়োগ করা যায়।

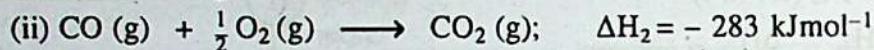
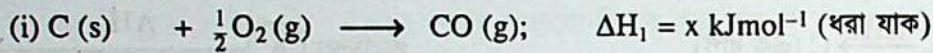
(খ) বিক্রিয়ার ধীরগতি বা অসম্পূর্ণতার জন্য যে সব রাসায়নিক বিক্রিয়ার এনথালপি পরীক্ষার মাধ্যমে সরাসরি নির্ণয় করা যায় না, তাদের ক্ষেত্রেও হেসের সূত্র প্রয়োগ করে পরোক্ষভাবে বিক্রিয়া এনথালপি নির্ণয় করা যায়।

(i) **বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় :** যে সব রাসায়নিক বিক্রিয়ার বিক্রিয়া তাপ পরীক্ষার মাধ্যমে নির্ণয় করা যায় না, হেসের সূত্র প্রয়োগ করে পরোক্ষভাবে সেসব রাসায়নিক বিক্রিয়ার বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় করা যায়। যেমন,

কার্বনকে অক্সিজেনে পোড়ায়ে কার্বন মনোআইডে পরিণত করলে যে তাপের পরিবর্তন হয় তা পরীক্ষার মাধ্যমে নির্ণয় করা খুবই কষ্টসাধ্য ব্যাপার। কিন্তু কার্বনকে অধিক অক্সিজেনে পুড়িয়ে কার্বন ডাইঅক্সাইডে পরিণত করলে যে তাপ উৎপন্ন হয় তার মান সর্বদা সমান থাকে এবং উক্ত মান সর্বদা $-393.5 \text{ kJ mol}^{-1}$ ।



হেসের সূত্রানুযায়ী এ বিক্রিয়া দুধাপে সংঘটিত করা যেতে পারে,



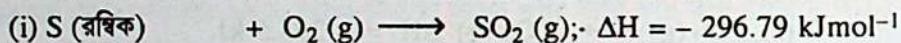
$$\text{অতএব, } -393.5 = [x + (-283)]$$

$$\therefore x = -393.5 + 283 = -110.5 \text{ kJmol}^{-1}$$

অতএব; কার্বন হতে কার্বন মনোক্সাইড উৎপাদনকালে (-) 110.5 kJmol⁻¹ তাপ উৎপন্ন হয়।

(ii) ধীরগতি বিক্রিয়ায় তাপ পরিবর্তন নির্ণয় : যে সব বিক্রিয়া অতি ধীরগতিতে সংঘটিত হয় তাদের তাপ পরিবর্তনের মান হেসের সূত্র প্রয়োগ করে হিসাব করা যায়। যেমন,

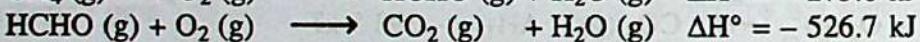
রাষ্ট্রিক সালফার থেকে মনোক্লিনিক সালফারে পরিবর্তন এত ধীরে সংঘটিত হয় যে, এক্ষেত্রে তাপ পরিবর্তনের মান পরীক্ষাগারে সরাসরি নির্ণয় করা অসম্ভব; কিন্তু হেসের সূত্র প্রয়োগ করে পরোক্ষভাবে তা সহজেই হিসাব করা যায়। রাষ্ট্রিক সালফার ও মনোক্লিনিক সালফারের দহন তাপ যথাক্রমে -296.79 kJmol⁻¹ ও -297.08 kJmol⁻¹



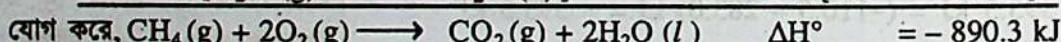
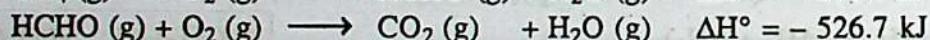
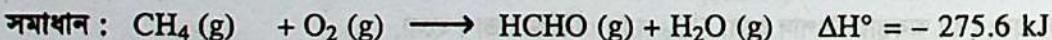
$$(i) \text{ হতে } (ii) \text{ বিয়োগ করে পাওয়া যায় : S(\text{রাষ্ট্রিক}) \longrightarrow S(\text{মনোক্লিনিক}) \Delta H = +0.29 \text{ kJmol}^{-1}$$

সূত্রাঃ রাষ্ট্রিক সালফারকে মনোক্লিনিক সালফারে পরিণত করতে + 0.29 kJmol⁻¹ তাপ শেষিত হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৭ : প্রাকৃতিক গ্যাস মিথেন অক্সিজেনসহ দহন বিক্রিয়ায় CO₂ ও পানি উৎপন্ন করে। নিচের তথ্য ব্যবহার করে মিথেনের দহন তাপ (ΔH°) নির্ণয় কর। বিক্রিয়াটি তাপেোৎপাদনী নাকি তাপহারী তা ব্যাখ্যা কর।



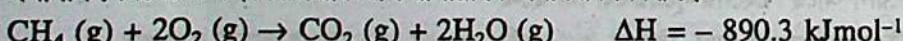
দক্ষতা : হেসের সূত্র ব্যবহার করতে হবে।



ব্যাখ্যা : CH₄ ও O₂ এর দহন বিক্রিয়ার ফলাফল অনুসারে $\Delta H = -890.3 \text{ kJmol}^{-1}$ অর্থাৎ ΔH এর মান ঋণাত্মক হওয়ায় এটি হলো তাপেোৎপাদনী বিক্রিয়া।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৮ : মিথেনের দহন এনথালপি - 890.3 kJmol⁻¹ হলে 1500 kJ তাপ উৎপন্ন করতে কী পরিমাণ অক্সিজেন মিথেনের দহনে প্রয়োজন হবে?

সমাধান : মিথেনের দহন বিক্রিয়ার তাপ রাসায়নিক সমীকরণ নিম্নরূপ :



$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ mol} & & 2 \text{ mol} \\ & & \\ & & = 2 \times 32g \end{array}$$

সমীকরণ মতে, 890.3 kJ তাপ মিথেন দহনে উৎপন্ন করতে 2 মোল অক্সিজেন প্রয়োজন হয়।

$$\therefore 1500 \text{ kJ তাপ মিথেন দহনে উৎপন্ন করতে } \frac{2 \times 1500}{890.3} \text{ মোল } O_2 \text{ প্রয়োজন হবে।}$$

$$= 3.36965 \text{ মোল } O_2 \text{ প্রয়োজন হবে।}$$

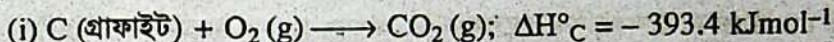
আবার 1 মোল অক্সিজেন = 32 g অক্সিজেন।

$$\therefore 3.36965 \text{ মোল অক্সিজেন} = 32 \times 3.36965 \text{ g অক্সিজেন।}$$

$$= 107.8288 \text{ g অক্সিজেন (উ:)}.$$

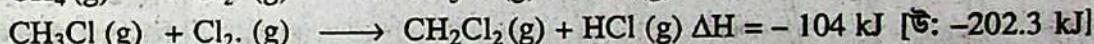
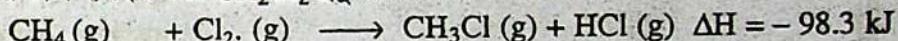
শিক্ষার্থী নিজে কর-৮.১৭ : হেসের সূত্রাভিস্থিক :

সমস্যা-৮.৫৭ : গ্রাফাইট কার্বনকে হীরকে রূপান্তর করতে তাপের পরিবর্তন কত হবে প্রদত্ত তথ্যের সাহায্যে তা হিসাব কর। [উ: 1.9 kJ mol^{-1}]

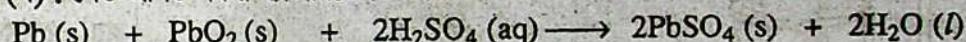


সমস্যা-৮.৫৮ (ক) : শিল্প ক্ষেত্রে ব্যবহৃত প্রিজ দূর করতে ব্যবহৃত মিথিলিন ক্লোরাইড (CH_2Cl_2) দ্রাবক মিথেন ও Cl_2 এর বিক্রিয়ায় প্রস্তুত করা হয়: $\text{CH}_4 (\text{g}) + 2\text{Cl}_2 (\text{g}) \longrightarrow \text{CH}_2\text{Cl}_2 (\text{g}) + 2\text{HCl} (\text{g})$

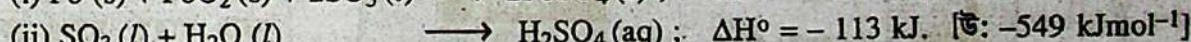
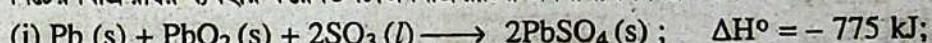
নিচের ডাটা ব্যবহার করে CH_2Cl_2 প্রস্তুতির বিক্রিয়া তাপ বের কর।



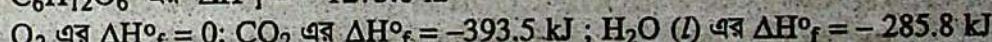
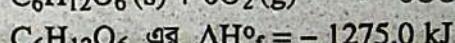
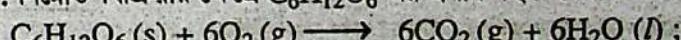
সমস্যা-৮.৫৮ (খ) : লেড-এসিড সঞ্চয় ব্যাটারিতে ডিসচার্জের সময় নিম্নোক্ত রাসায়নিক বিক্রিয়া সংষ্টিত হয়



নিচের বিক্রিয়ায় ব্যবহার করে ডিসচার্জ বিক্রিয়াটির এনথালপি নির্ণয় কর।

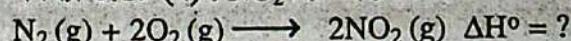


সমস্যা-৮.৫৮ (গ) : নিম্নোক্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ এর প্রমাণ দহন এনথালপি নির্ণয় কর।

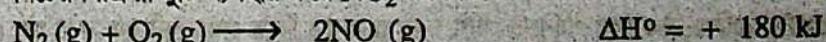


[উ: $-2801 \text{ kJ/mol glucose}$]

সমস্যা-৮.৫৮ (ঘ) : NO_2 এর সংশ্লেষণ বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো নিম্নরূপ :



নিচের বিক্রিয়া দুটি ব্যবহার করে NO_2 এর বিক্রিয়া তাপ গণনা কর :



ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় চারজনের ফ্র্যুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতি সহকারে কাজের ধারা অনুসরণ করে নিচের চিত্রমতে ক্যালরিমিতি পদ্ধতিতে অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ নির্ণয় কর।

পরীক্ষা নং-১৪

তারিখ :

পরীক্ষার সময় : ১ শিলিঙ্গ

৮.২২ পরীক্ষার নাম : ক্যালরিমিতি পদ্ধতিতে অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ নির্ণয়

(ক) মূলনীতি : পর্যাণ পরিমাণ দ্রাবকে এক মোল দ্রব দ্রবীভূত করলে যে তাপ শোষিত বা উৎপন্ন করে নিম্নোক্ত মূলনীতি সহকারে কাজের প্রতি ডিপ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রার পরিবর্তনের জন্য তাপের পরিবর্তন ঘটে এক কিলো ক্যালরি অর্থাৎ 4.2 kJ । সূতরাং এক মোল অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তৈরিতে তাপমাত্রার মোট পরিবর্তন $t^\circ\text{C}$ হলে তখন অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ হবে $4.2 \times t \text{ kJ}$ । আবার 0.1 মোল অক্সালিক এসিড দ্বারা 100 g দ্রবণ তৈরি করা হলে সেক্ষেত্রে-

$$\text{তাপের পরিবর্তন হবে} = 0.42 \times t \text{ kJ}$$

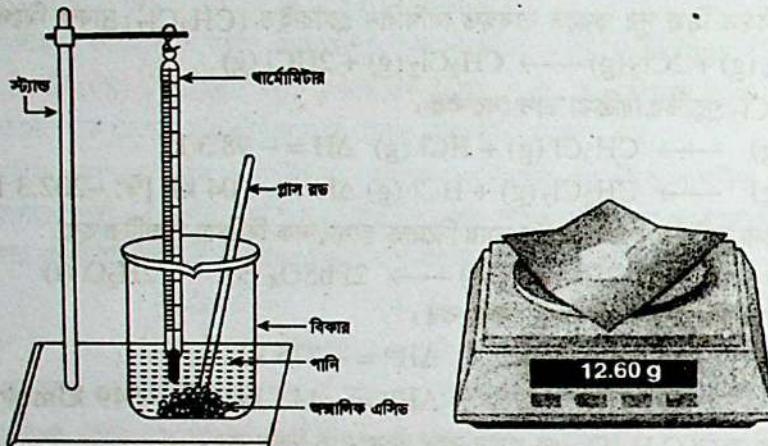
$$\therefore \text{অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ হবে} = \frac{0.42 \times t \text{ kJ}}{0.1} = 0.42 \times t \times 10 \text{ kJ.}$$

(৬) অয়োজনীয় রাসায়নিক বস্তু : (১) অক্সালিক এসিড ($C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$); (২) পানি।

(গ) অয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) একটি বিকার (250 mL); (২) থার্মোমিটার; (৩) স্ট্যান্ড;

(৪) 2-ডিজিটাল ইলেকট্রনিক ব্যালেন্স।

(ঘ) কাজের ধারা :



চিত্র-৪.৩১ : ক্যালরিমিটি পদ্ধতিতে অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ নির্ণয়।

ক্যালরিমিটি কী? তাপশক্তির, একক হলো 'ক্যালরি', 'মিতি' অর্থ পরিমাপ। যে যান্ত্রিক পদ্ধতিতে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় উৎপন্ন বা শোষিত তাপের পরিমাণ পরিমাপ করা হয়, তাকে ক্যালরিমিটি বলে। ব্যবহৃত যন্ত্রের যে অংশটিতে তাপের বিকিরণ রূপ করার ব্যবস্থা থাকে, তাকে ক্যালরিমিটার বলে।

- (১) আর্দ্র অক্সালিক এসিড ($HOOC-COOH \cdot 2H_2O$) এর আণবিক ভর হলো 126; তাই গুঁড়া অক্সালিক এসিড অর্থাৎ 12.6 g গুঁড়া অক্সালিক এসিড ওজন করে নেয়া হয়।
- (২) একটি 250 mL বিকারে 87.4 g পানি নেয়া হয়।
- (৩) এখন একটি থার্মোমিটারকে স্ট্যান্ড থেকে সুতা দিয়ে ঝুলিয়ে ঐ বিকারের পানিতে ডুবানো হয়। এ অবস্থায় পানির তাপমাত্রা ($t_1^{\circ}\text{C}$) রেকর্ড করা হয়।
- (৪) এখন ওজন করা 12.6 g অক্সালিক এসিড বিকারের পানিতে যোগ করে গ্লাস রড দিয়ে নেড়ে দ্রবীভূত করা হয়।
- (৫) সমস্ত অক্সালিক এসিডের গুঁড়া দ্রবীভূত হওয়ার সাথে সাথে দ্রবণের তাপমাত্রা ($t_2^{\circ}\text{C}$) রেকর্ড করা হয়।
- (৬) এবার দ্রবণ তাপ হিসাব করা হয়।

পর্যবেক্ষণ ডাটা :

গৃহীত আর্দ্র অক্সালিক এসিডের পরিমাণ	$= 0.1$ মোল বা, 12.6 g
ব্যবহৃত পানির পরিমাণ	$= 87.4\text{ g}$
দ্রবণের ঘনমাত্রা	$= 1\text{ M}$
পানির প্রাথমিক তাপমাত্রা	$= t_1^{\circ}\text{C} = x$ (মনে করি)
দ্রবণের তাপমাত্রা	$= t_2^{\circ}\text{C} = y$ (মনে করি)

MCQ-4.45 : কোনটি তাপোৎপন্নী? [দি. বো. ২০১৫]
(ক) $H_2O(l) \rightarrow H_2O(g)$
(খ) $H_2O(g) \rightarrow H_2O(l)$
(গ) $H_2O(s) \rightarrow H_2O(l)$
(ঘ) $H_2O(s) \rightarrow H_2O(g)$

গণনা : তাপমাত্রার পরিবর্তন হলো $= t^{\circ}\text{C} = (t_1 - t_2)^{\circ}\text{C} = (x - y) = z^{\circ}\text{C}$

\therefore আর্দ্র অক্সালিক এসিডের নির্ণীত দ্রবণ তাপ, $\Delta H = 0.42 \times t \times 10 \text{ kJ mol}^{-1} = 0.42 \times z \times 10 \text{ kJ mol}^{-1}$

আর্দ্র অক্সালিক এসিডের নির্ণীত দ্রবণ তাপ, $\Delta H = + 18.94 \text{ kJ mol}^{-1}$

সতর্কতা : (১) অক্সালিক এসিডের গুঁড়কে গ্লাস রড দিয়ে ভালোভাবে নেড়ে যথাশীতেই দ্রবীভূত করা উচিত।

(২) গ্লাস রডের আঘাতে যেন থার্মোমিটার বাল্ব ভেঙে না যায়।

(৩) পরীক্ষাকালে মিশ্রণের আলোড়ন যেন সুব্রহ্ম হয়।

অধ্যায়ের সার-সংক্ষেপ (Recapitulations)

- * গ্রিন কেমিস্ট্রি : গ্রিন কেমিস্ট্রি হলো আন্তর্জাতিকভাবে অনুমোদিত বারটি নীতি সমন্বয়ে রসায়ন শিল্পের একটি গাইড লাইন, যা অনুসরণের মাধ্যমে গ্লোবাল ওয়ার্ল্ড হাস করে উন্নততর পরিবেশ সৃষ্টি হবে।
- * বিক্রিয়ার হার : বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হাস বা উৎপাদের ঘনমাত্রা বৃদ্ধির হারকে বিক্রিয়ার হার বলে।
- * সক্রিয়ণ শক্তি : যে পরিমাণ শক্তি অর্জন করে বিক্রিয়ক অণু বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করতে পারে সেটিই সক্রিয়ণ শক্তি।
- * প্রভাবক : প্রভাবক বিক্রিয়ার গতিকে বৃদ্ধি করে, নিজে গঠন ও ভরে অপরিবর্তিত থাকে।
- * এনজাইম : এনজাইম হলো জীবকোষে উৎপন্ন টারসিয়ারি প্রোটিন, যা জৈব বিক্রিয়ার গতিকে প্রভাবিত করে থাকে।
- * সাম্যাবস্থা : উভয়ুৰী বিক্রিয়ায় যখন সমুখযুৰী বিক্রিয়ার হার ও পচাত্ত্বযুৰী বিক্রিয়ার হার সমান হয়, সে অবস্থাকে বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা বলে। সাম্যাবস্থা উভয়ুৰী বিক্রিয়ার গতিশীল অবস্থায় থাকে।
- * সক্রিয় ভর : বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রা ও আংশিক চাপকে সক্রিয় ভর বলা হয়।
- * সামুদ্রিক প্রভাবক : বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় উৎপাদের সক্রিয় ভরের গুণফল ও বিক্রিয়কের সক্রিয় ভরের গুণফলের অনুপাতকে সামুদ্রিক বলা হয়।
- * পানির আয়নিক গুণফল : দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য পানি অণু (H_2O) থেকে সৃষ্টি হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) ও হাইড্রক্সিল (OH^-) আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফলকে পানির আয়নীকরণ গুণফল (K_w) বলে।
- * এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক : প্রতি লিটার জলীয় দ্রবণে উপস্থিত কোনো এসিডের মোল সংখ্যার যে ভগ্নাংশ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, তাকে ঐ এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক (K_a) বলে।
- * ক্ষারের বিয়োজন ধ্রুবক : প্রতি লিটার জলীয় দ্রবণে উপস্থিত কোনো ক্ষারের মোল সংখ্যার যে ভগ্নাংশ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, তাকে ঐ ক্ষারের বিয়োজন ধ্রুবক (K_b) বলে।
- * অনুবন্ধী ক্ষারক : অন্ন একটি প্রোটিন ত্যাগ করলে সৃষ্টি ঝণাঝক আয়নকে ঐ অন্নের অনুবন্ধী ক্ষারক বলে।
- * অনুবন্ধী অম : ক্ষারক একটি প্রোটিন গ্রহণ করার পর যা সৃষ্টি হয়, তাকে অনুবন্ধী অম বলে।
- * দ্রবণের pH : হাইড্রোজেন আয়নের মোলার ঘনমাত্রার ঝণাঝক বেস-10 লগারিদমকে ঐ দ্রবণের pH বলে।
- * বাফার দ্রবণ : যে মিশ্র দ্রবণে খুব স্বল্প মাত্রায় সবল এসিড বা সবল ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে ঐ মিশ্র দ্রবণের pH প্রায় অপরিবর্তিত থাকে, তাকে বাফার দ্রবণ বলে।
- * অভ্যন্তরীণ শক্তি : কোনো বস্তুতে সম্ভিত অভ্যন্তরীণ স্থিতিশক্তি ও অভ্যন্তরীণ গতিশক্তি মিলে মোট শক্তিকে অভ্যন্তরীণ শক্তি বলে।
- * এনথালপি : কোনো বস্তুকে উত্পন্ন করলে এর অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায় এবং কিছু শক্তি ঐ বস্তু দ্বারা সম্পন্ন কাজে ব্যয় হয়। এ উভয় প্রকার শক্তিকে তাপগতি বিজ্ঞানে এনথালপি বা বিক্রিয়া তাপ (ΔH) বলে।
- * পরমাণুকরণ তাপ : এক মোল একক বদ্ধনে আবদ্ধ অণুকে গ্যাসীয় অবস্থায় পরমাণুতে পরিণত করতে যে তাপ শোষণ করে, তাকে ঐ পদার্থের পরমাণুকরণ তাপ বলে।
- * বিক্রিয়া তাপ : কোনো বিক্রিয়ার সমতাযুক্ত সমীকরণ মতে বিক্রিয়কসমূহের সংখ্যানুপাতিক মোল পরিমাণে সম্পূর্ণরূপে বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন বা শোষিত তাপের পরিমাণকে বিক্রিয়া তাপ বলে।
- * গঠন তাপ : প্রমাণ অবস্থায় কোনো যৌগের এক মোল পরিমাণ ঐ যৌগের মৌলসমূহ থেকে উৎপন্ন হতে তাপের যে পরিবর্তন ঘটে, তাকে ঐ যৌগের গঠন তাপ বলে।

* দ্রবণ তাপ : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ঘটে পরিমাণ (200 – 450 mol) দ্রাবকে এক মোল দ্রব দ্রবীভূত করে প্রস্তুত দ্রবণে যদি আরো দ্রাবক যোগ করলে তাপীয় অবস্থার কোনো পরিবর্তন না ঘটে, তবে ঐ দ্রবণ প্রস্তুতকরণে তাপের যে পরিবর্তন ঘটে, তাকে ঐ দ্রবের দ্রবণ তাপ বলে।

* প্রশমন তাপ : কক্ষ তাপমাত্রায় এসিড ও স্কারের বিক্রিয়ায় এক মোল পানি উৎপন্ন হতে যে পরিমাণ তাপের উত্তোলন ঘটে, তাকে প্রশমন তাপ বলে।

* বৰুন শক্তি : গ্যাসীয় বা বাল্পীয় অবস্থায় সমযোজী পদার্থের অণুর নির্দিষ্ট দুটি পরমাণুর মধ্যস্থ একই প্রকার এক মোল বক্সকে ভেঙে পরমাণুতে পরিণত করতে যে পরিমাণ গড় শক্তির প্রয়োজন হয়, তাকে সংশ্লিষ্ট বক্সনের বক্স শক্তি বলে।

* ল্যাভয়সিলে 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 প্রতিক্রিয়ে বিক্রিয়া তাপ সমান থাকবে।

* ক্যালরি : এক গ্রাম পানির তাপমাত্রা 1°C ($14.5^{\circ}\text{C} - 15.5^{\circ}\text{C}$) বাড়াতে যে পরিমাণ তাপশক্তি প্রয়োজন হয়, তাকে এক ক্যালরি বলে। আবার $1 \text{ ক্যালরি} = 4.186 \text{ J}$ (জুল)।

MCQ-এর উত্তরমালা :

- 4.1 (গ), 4.2 (ঘ), 4.3 (গ), 4.4 (খ), 4.5 (ঘ), 4.6 (ক), 4.7 (গ), 4.8 (গ), 4.9 (ঘ), 4.10 (খ),
 4.11 (ঘ), 4.12 (ক), 4.13 (ঘ), 4.14 (গ), 4.15 (খ), 4.16 (খ), 4.17 (ঘ), 4.18 (ক), 4.19 (গ),
 4.20 (গ), 4.21 (ঘ), 4.22 (গ), 4.23 (গ), 4.24 (ঘ), 4.25 (ক), 4.26 (খ), 4.27 (ঘ), 4.28 (খ),
 4.29 (খ), 4.30 (গ), 4.31 (খ), 4.32 (গ), 4.33 (গ), 4.34 (ক), 4.35 (গ), 4.36 (ঘ), 4.37 (খ),
 4.38 (গ), 4.39 (গ), 4.40 (ক), 4.41 (গ), 4.42 (গ), 4.43 (ঘ), 4.44 (ক), 4.45 (খ)।

অনুশীলনী-৮

ক-বিভাগ : জ্ঞানস্তরভিত্তিক প্রশ্নাবলি (এক নজরে)

(১) রাসায়নিক বিক্রিয়া ও ত্রিন কেমিস্ট্রি :

- ১। ত্রিন কেমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়ন কী? [দি. বো. ২০১৭; য. বো. ২০১৬; চ. বো. ২০১৫; কু. বো. ২০১৭; ব. বো. ২০১৯]
- ২। এটম ইকন্যামি কী? [য. বো. ২০১৭]
- ৩। ত্রিনার পদ্ধতি কী?
- ৪। ম্যালেরিক অ্যানহাইড্রাইডের গাঠনিক সংকেত লেখ।
- ৫। একমুখী বিক্রিয়া কী?
- ৬। উভমুখী বিক্রিয়া কী?

(২) বিক্রিয়ার হার বা গতি :

- ১। বিক্রিয়ার গতি বা হার কী? [চ. বো. ২০১৯; কু. বো. ২০১৯; সি. বো. ২০১৭; ব. বো. ২০১৫]
- ২। বিক্রিয়ার হার দ্রবক কী?
- ৩। বিক্রিয়ার হারের উপর প্রভাব সৃষ্টিকারী নিয়ামকগুলো কী?