

রাসায়নিক পরিবর্তন

Chemical Changes

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

ভূমিকা (Introduction)

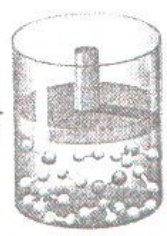
আয়নিক ও পোলার যৌগসমূহ পানিতে দ্রবণের মাধ্যমে সাধারণত একমুখী বিক্রিয়া যেমন অধঃক্ষেপণ, অম্ল-ক্ষারক প্রশমন ও রিডক্স বিক্রিয়া সহযোগে সম্পন্ন হয়। সমযোজী কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের উভমুখী সংশ্লেষণ, বিয়োজন, প্রতিস্থাপন ইত্যাদি বিক্রিয়া দ্বারা এবং ক্ষেত্রবিশেষে জৈব দ্রাবক ও ভারী ধাতুর প্রভাবক ব্যবহার করে আধুনিককালে অপরিহার্য ওষুধ, রাসায়নিক সার, কীটনাশক পদার্থ, টেক্সটাইল রঞ্জক, ব্লিডিং 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 বর্জ্যরূপে পরিবেশের মারাত্মক ক্ষতি করছে। তাই এ সব শিল্প বর্জ্য দ্বারা পরিবেশের বিপদজনক ক্ষতির মাত্রা হ্রাস বা দূরীকরণে বিশ্বব্যাপী রসায়নবিদেরা বিভিন্ন শিল্পে তাত্ত্বিক ও ব্যবহারিক প্রয়োগে উন্নততর পরিবেশ বান্দব পদ্ধতি উদ্ভাবনে সচেষ্ট রয়েছেন; যা গ্রিন কেমিস্ট্রি (green chemistry) বা সবুজ রসায়ন নামে বর্তমানে পরিচিত।

অধ্যায়ের প্রধান শব্দসমূহ (Key Words): গ্রিন কেমিস্ট্রি, বিক্রিয়ার হার, সক্রিয়ণ শক্তি, প্রভাবক, এনজাইম, সাম্যাবস্থা, সক্রিয় ভর, সাম্যপ্রবক, পানির আয়নিক গুণফল, এসিড ও ক্ষারের বিয়োজন প্রবক, অনুবন্ধী এসিড ও ক্ষারক, দ্রবণের pH, বাফার দ্রবণ, অভ্যন্তরীণ শক্তি, এনথালপি, প্রশমন তাপ, গঠনতাপ, বিক্রিয়া তাপ, দ্রবণ তাপ, বন্ধন শক্তি।



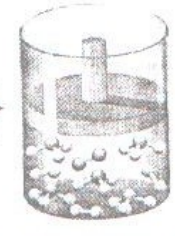
(A) সাম্যাবস্থায় N_2 , H_2 ও NH_3 গ্যাস
($Q_c = K_c$)

চাপ বাড়ালে
আয়তন কমে

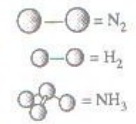


(B) চাপ বৃদ্ধি করতে
আয়তন হ্রাস পায়:
সাম্যাবস্থা থাকে না
($Q_c < K_c$)।

নীট বিক্রিয়ায়
উৎপাদ বৃদ্ধি



(C) নীট বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক উৎপাদ
তৈরী করে অণুর সংখ্যা কমায়,
ফলে নতুন সাম্যাবস্থা ঘটে।
($Q_c = K_c$)



শিখন ফল : এই অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

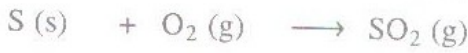
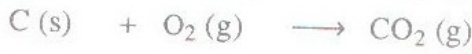
১. বিক্রিয়া সংঘটনে গ্রিন কেমিস্ট্রি ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
২. বিক্রিয়ার দিক যেমন একমুখী ও উভমুখী বিক্রিয়া বর্ণনা করতে পারবে।
৩. বিক্রিয়ার গতির ওপর তাপ, চাপ ও ঘনত্ব পরিবর্তনের প্রভাব মূল্যায়ন করতে পারবে।
৪. প্রভাবক ব্যবহার করে বিক্রিয়ার গতি নিয়ন্ত্রণে প্রভাবকের ক্রিয়া কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৫. উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা ও গতিশীলতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৬. লা-শাতেলিয়ারের নীতি প্রয়োগ করে বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার কাঙ্ক্ষিত পরিবর্তন ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৭. শিল্প উৎপাদনে লা-শাতেলিয়ারের নীতির গুরুত্ব বিশ্লেষণ করতে পারবে।
৮. ভর ক্রিয়ার সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।

৯. ভর ক্রিয়ার সূত্র থেকে সাম্যধ্রুবক K_c , K_p এর রাশিমালা প্রতিপাদন ও এদের মধ্যে সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১০. পানির আয়নিক গুণফল (K_w), এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক (K_a) ও ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক (K_b) এর ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১১. বিয়োজন ধ্রুবকের সাহায্যে এসিড ও ক্ষারকের তীব্রতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১২. দ্রবণের pH ও pOH স্কেল প্রতিষ্ঠা ও ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৩. বাফার দ্রবণ ও বাফার দ্রবণের ক্রিয়া কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৪. ব্যবহারিক : কার্বনেট বাফার দ্রবণ তৈরি ও এতে এসিড ও ক্ষার পৃথকভাবে যোগ করে এর কার্যকারিতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৫. মানুষের রক্তে pH এর গুরুত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৬. কৃষি, রসায়নশিল্প, টয়লেট্রিজ, ওষুধ সেবনে pH এর ভূমিকা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৭. pH পরিমাপ করে উপযুক্ত প্রসাধন সামগ্রী নির্বাচন করতে পারবে।
১৮. ভর ও শক্তির নিত্যতা 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 ধ্রুবক;-এর ব্যাখ্যা করতে পারবে।
২০. বন্ধন শক্তি ব্যবহার করে বিক্রিয়া তাপ গণনা করতে পারবে।
২১. ল্যাভয়সিয়ে ও হেসের সূত্র প্রয়োগ করে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় করতে পারবে।
২২. ব্যবহারিক : ক্যালরিমিতিক পদ্ধতিতে অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ নির্ণয় করতে পারবে।

৪.১ রাসায়নিক বিক্রিয়া ও গ্রিন কেমিস্ট্রি

Chemical Reactions & Green Chemistry

অতীতের চেয়ে বর্তমানে আমাদের জীবনের আয়ুষ্কাল 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 অবধানের পাশাপাশি রয়েছে শিল্পকারখানার পরিত্যক্ত 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 কয়টি?
(ক) 7 (খ) 10 (গ) 12 (ঘ) 13

তোমরা জান, এ সব বিক্রিয়ায় উৎপন্ন CO_2 ও SO_2 গ্যাস দুটো বাতাসে মিশে যায় এবং CO_2 ও SO_2 গ্যাস বায়ুদূষণের এরা প্রাকৃতিক দূষণ ঘটায়।

বর্তমানে পৃথিবীব্যাপী রসায়নবিদেরা বিভিন্ন শিল্পে তাত্ত্বিক ও ব্যবহারিক প্রয়োগে শিল্প ক্ষেত্রে ক্ষতিকর বর্জ্য পদার্থ উৎপন্ন যথাসম্ভব হ্রাস করে নতুন ও উন্নততর পরিবেশ বান্ধব পদ্ধতি উদ্ভাবনে সচেষ্ট রয়েছেন। এরূপ রাসায়নিক পদ্ধতিকে গ্রিন কেমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়ন বলা হয়। এ গ্রিন কেমিস্ট্রির 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 কাজিফত উৎপাদে সংরক্ষণ পদ্ধতি উদ্ভাবন। এক্ষেত্রে বিক্রিয়াকে একরূপে সংঘটিত করা হয়, যেন কাজিফত উৎপাদে বিক্রিয়কের সর্বোচ্চ পরিমাণ পরমাণু যুক্ত থাকে। শিল্পক্ষেত্রে ব্যবহৃত কোন পদ্ধতির বিক্রিয়ার শতকরা (%) এটম ইকন্যামি (% AE) দ্বারা ঐ পদ্ধতির সফলতার মাত্রা জানা যায়। শতকরা এটম ইকন্যামিকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয়।

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

(৩) ন্যূনতম ঝুঁকির পদ্ধতির ব্যবহার (Use less hazardous process) : ননটক্সিক বিকারক ও ননটক্সিক বর্জ্য সংশ্লিষ্ট সংশ্লেষণ পদ্ধতি ব্যবহার। এর দ্বারা শিল্পক্ষেত্রে কর্মজীবীদের নিরাপত্তা বিধান ও পরিবেশ দূষণ হ্রাস 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 যৌগের ক্ষারীয় অর্দ্রবিশ্লেষণে অ্যালাইল অ্যালকোহল উৎপাদন করা হয় :



২। গ্রিনার 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 অম্লীয় অর্দ্রবিশ্লেষণে 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 উৎপাদন প্রক্রিয়া অনুসরণ। এতে বিদ্যুৎ ও তাপ শক্তির অপচয় রোধ হবে এবং শিল্পে উৎপাদন ব্যয় হ্রাস পাবে।

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

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

(৯) প্রভাবন প্রয়োগ (Use catalysis) : বিক্রিয়ায় প্রভাবক ব্যবহার। নতুন অধিক কার্যকর প্রভাবক উদ্ভাবনসহ শিল্প প্রক্রিয়ার উন্নয়ন করে উৎপাদ বৃদ্ধি করতে হবে।

(১০) প্রাকৃতিক রূপান্তর পরিকল্পনা (Design for bio-degradation) : শিল্পজাত হতে হবে ব্যাকটেরিয়া-নাশক (biodegradable)। বর্তমানে উৎপাদিত অধিকাংশ পলিমার পেট্রোলিয়াম জাত হওয়ায় বায়োডিগ্রেডেবল নয়।

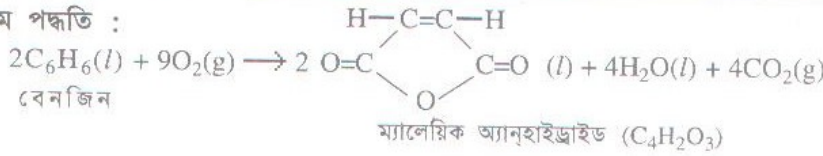
(১১) যথাসময়ে দূষণ নিয়ন্ত্রণ (Monitor pollution in real time) : টেকনিক উৎপাদের ক্ষেত্রে যথাসময়ে প্রক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ। বিষাক্ত পদার্থ যেন বায়ুমণ্ডলে ছড়িয়ে না পড়ে, তার যথাযথ নিয়ন্ত্রণ ব্যবস্থা মনিটরিং করতে হবে।

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

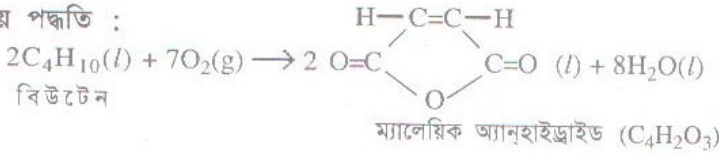
নিচে গ্রিন কেমিস্ট্রি সহায়ক তিনটি নীতি সমর্থক যেমন (১) বর্জ্য পদার্থ রোধকরণ, (২) সর্বোত্তম এটম ইকন্যামি অর্জন ও (৩) ন্যূনতম ঝুঁকির পদ্ধতি ব্যবহার অনুসরণে একটি শিল্প পদ্ধতি দেখানো হলো। যেমন,

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

১ম পদ্ধতি :



২য় পদ্ধতি :



MCQ-4.2 : গ্রিন বা সবুজ রসায়নের মূলে রয়েছে—

- (i) ক্ষতিকর বর্জ্য উৎপাদন রোধ
(ii) সর্বাধিক উৎপাদ তৈরি,
(iii) নবায়নযোগ্য কাঁচামাল ব্যবহার।

কোনটি সঠিক হবে?

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

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

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

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

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

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

সিদ্ধান্ত : শতকরা এটম ইকন্যামির মান থেকে সুস্পষ্ট যে,

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

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

(iii) ২য় পদ্ধতিতে ১ম পদ্ধতির CO₂ উৎপন্ন না হওয়ায় 'গ্লোবাল ওয়ার্মিং' থেকে মুক্ত এ ২য় পদ্ধতি হলো একটি 'হিনার' পদ্ধতি।

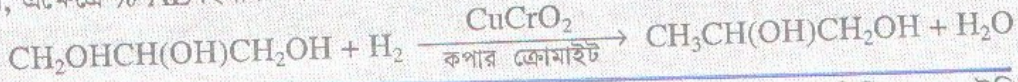
হিনার কেমিস্ট্রি এখন শিল্পে পরিবেশ বান্ধব জৈব দ্রাবক ব্যবহারে সচেষ্ট আছেন। বর্তমানে রাসায়নিক পেইন্টার্স, ক্লিনিং এজেন্ট, হেয়ার স্প্রে, লুব্রিকেন্টস্, কুকিং অয়েলস্ ইত্যাদিতে উদ্বায়ী জৈব দ্রাবক ব্যবহৃত হয়। এসব উদ্বায়ী জৈব দ্রাবক পরিবেশে 'Smog' সৃষ্টি করে বায়ু দূষণ ঘটায় এবং স্বাস্থ্যে বিরূপ প্রভাব ফেলে। Smog এর বেলায় আর্দ্র-বায়ুতে pH প্রায় ২ হয়, এতে SO₂ গ্যাস থাকে। Smog শব্দটি 'smoke' ও 'fog' শব্দ থেকে সৃষ্ট। পরিবেশ Smog সৃষ্টি হলে লোক ব্রকাইটস্ ও নিউমোনিয়া আক্রান্ত হয়। এজন্য হিনার শিল্প প্রক্রিয়ায় দ্রাবকরূপে—(১) অনুদ্বায়ী জৈব দ্রাবক ব্যবহার, (২) অজলীয় আয়নিক দ্রাবক উদ্ভাবন, (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-কেমিস্ট্রি শস্যাদানা, ইক্ষু বা সুগারকেন ও কাজু বাদামের খোসা থেকে পলিমার উৎপাদন পদ্ধতি উদ্ভাবন করেছেন। এসব উদ্ভাবিত পদ্ধতি হলো 'হিনার' পদ্ধতি।

শিক্ষার্থীর কাজ :

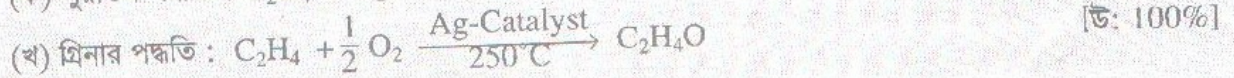
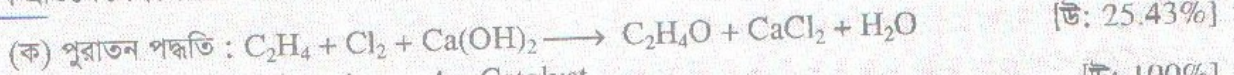
প্রশ্ন-৪.১ : সবুজ রসায়ন কী?

[চ. বো. ২০১৫; সি. বো. ২০১৫]

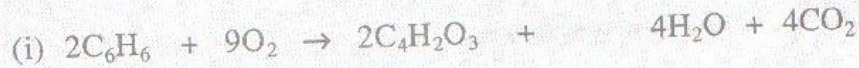
সমস্যা-৪.১ : ভিজিটেবল অয়েল থেকে বায়োডিজেল তৈরি করতে উপজাতরূপে গ্লিসারিন পাওয়া যায়। এ গ্লিসারিনকে নিম্ন সমীকরণ মতে প্রোপালিন গ্লাইকলে রূপান্তরিত করা হয়; যা অটোমোবাইল ইঞ্জিনে অ্যান্টিফ্রিজ রূপে ব্যবহৃত হয়। এটি একটি হিনার; এক্ষেত্রে % AE হিসাব কর। [উ: ৪০.৪৫%]



সমস্যা-৪.২ : প্রচলিত পুরাতন পদ্ধতি ও নতুন হিনার পদ্ধতিতে নিম্ন সমীকরণ মতে, ইথিলিন থেকে ইথিলিন অক্সাইড (C₂H₄O) উৎপাদন করা হয়। ইথিলিন অক্সাইড ধূমজাল সৃষ্টিকারক এবং আর্দ্রবিশ্লেষণে অ্যান্টিফ্রিজ ইথিলিন গ্লাইকল উৎপন্ন করে। এক্ষেত্রে % AE হিসাব কর।



সমস্যা-৪.৩ : ম্যালিক অ্যানহাইড্রাইড সংশ্লেষণের দুটি পদ্ধতি হলো নিম্নরূপ :



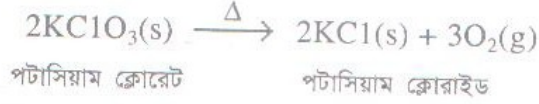
কোন পদ্ধতিটি হিনার পদ্ধতি হবে, তা % এটম ইকন্যামি থেকে ব্যাখ্যা কর। [অনুধাবনভিত্তিক প্রশ্ন]

৪.২ বিক্রিয়ার দিক-একমুখী ও উভমুখী বিক্রিয়া

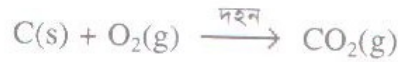
Reaction Direction-Irreversible and Reversible

তোমরা নবম-দশম শ্রেণিতে পাঠ্যপুস্তকে জেনেছ, আবদ্ধ পাত্রে চূনাপাথরের তাপীয় বিয়োজন একটি উভমুখী বিক্রিয়া। উপযুক্ত পরিবেশে সব বিক্রিয়াকে উভমুখী বলে গণ্য করা হয়। তবে অনেক বিক্রিয়ায় পশ্চাত্বর্তী বিক্রিয়ার হার সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার তুলনায় অত্যন্ত নগণ্য। এ সব ক্ষেত্রে বাস্তবে ঐ বিক্রিয়াকে একমুখী বিক্রিয়া গণ্য করা হয়।

একমুখী বিক্রিয়া (Irreversible reaction) : কোনো বিক্রিয়ার সমস্ত বিক্রিয়ক পদার্থ যখন উৎপাদে পরিণত হয় অর্থাৎ 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 উত্তপ্ত করলে এটি বিয়োজিত হয়ে KCl ও অক্সিজেন উৎপন্ন করে। বিপরীতভাবে KCl ও অক্সিজেনের মধ্যে কোনো বিক্রিয়া ঘটে না।



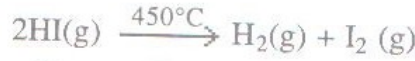
অনুরূপভাবে, বাতাসে কার্বনের দহনের ফলে CO_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়; এটি একটি একমুখী বিক্রিয়া।



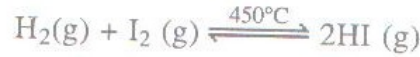
উভমুখী বিক্রিয়া (Reversible Reaction) : যদি কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া এক সাথে সম্মুখদিক ও পশ্চাদিক থেকে সংঘটিত হয়, তবে সে বিক্রিয়াকে উভমুখী বিক্রিয়া বলা হয়। যেমন, যদি হাইড্রোজেন ও আয়োডিনকে একটি বদ্ধ পাত্রে রেখে $450^\circ C$ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হলে দেখা যায় যে, নিম্নোক্ত বিক্রিয়ার মাধ্যমে কিছু হাইড্রোজেন আয়োডাইড উৎপন্ন হয়।



অন্যদিকে বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাসকে বদ্ধ পাত্রে $450^\circ C$ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে তা থেকে হাইড্রোজেন ও আয়োডিন উৎপন্ন হয়। অর্থাৎ তখন বিপরীত বিক্রিয়া ঘটে।



সুতরাং বদ্ধপাত্রে হাইড্রোজেন ও আয়োডিনের গ্যাসীয় বিক্রিয়াটি একটি উভমুখী বিক্রিয়া। এরূপ উভমুখী বিক্রিয়াকে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মধ্যে দুটি বিপরীতমুখী অর্ধ তীর দিয়ে প্রকাশ করা যায়।



উভমুখী বিক্রিয়াগুলোর সম্মুখদিকে গমনের বেগকে অগ্রবর্তী বা সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হার এবং পশ্চাদিকে গমনের বেগকে পশ্চাত্বর্তী বা বিপরীতমুখী বিক্রিয়ার হার বলে।

✱ উভমুখী বিক্রিয়ার বৈশিষ্ট্য

(১) এ বিক্রিয়াগুলো উভয় দিক থেকে শুরু করা যায়।
(২) এ বিক্রিয়াগুলো সম্পূর্ণ হয় না। অর্থাৎ বিক্রিয়কের শত ভাগ উৎপাদে অথবা উৎপাদের শত ভাগ বিক্রিয়কে পরিণত হয় না।

(৩) এ বিক্রিয়াগুলো সাম্যাবস্থায় আসার প্রবণতা আছে।

(৪) এ বিক্রিয়াকে সমীকরণ আকারে লিখতে সমান ($=$) চিহ্নের পরিবর্তে উভয়মুখী দুটি তীর (\rightleftharpoons) চিহ্ন ব্যবহার করা হয়।

(৫) এ ধরনের বিক্রিয়ার সম্মুখ বিক্রিয়ার হার পশ্চাত্বর্তী বিক্রিয়ার হারের সমান হলে বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় উপনীত হয়।

* তাত্ত্বিকভাবে সব রাসায়নিক বিক্রিয়া উভমুখী; প্রকৃতপক্ষে একমুখী কোনো বিক্রিয়া হয় না। একমুখী বিক্রিয়াগুলোর ক্ষেত্রে সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার গতি বিপরীতমুখী বিক্রিয়ার গতির তুলনায় এতই বেশি হয় যে, ঐ সব বিক্রিয়াকে আপাতদৃষ্টিতে একমুখী মনে হয়। যদি উপযুক্ত বিক্রিয়াকালীন অবস্থা সৃষ্টি করা যায়; তখন একমুখী বিক্রিয়া বলে মনে করা ঐ সব বিক্রিয়াকে উভমুখী করা সম্ভব হবে। কিন্তু বাস্তবে ঐ উপযুক্ত প্রয়োজনীয় অবস্থা সৃষ্টি করা এখনও সম্ভব হয় নি।

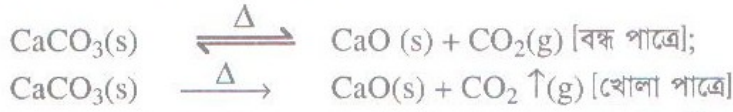
৪.২.১ একমুখী ও উভমুখী বিক্রিয়ার পারস্পরিক রূপান্তর

Inter conversion of Reversible & Irreversible Reactions

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

(১) খোলা পাত্রে বা উন্মুক্ত স্থানে বিক্রিয়া করে : 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 বিয়োজন উভমুখী; কিন্তু খোলা পাত্রে এ বিক্রিয়া চালালে উৎপাদ কার্বন ডাই অক্সাইড বিক্রিয়া স্থল হতে চলে যায়। ফলে বিক্রিয়াটি একমুখী হয়।



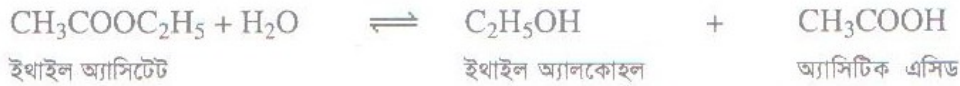
(২) বিক্রিয়াজাত অধঃক্ষেপ আলাদা করে : একটি উৎপাদ দ্রবণ হতে অধঃক্ষিপ্ত হলে বিক্রিয়াটি একমুখী হয়।

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



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

উদাহরণ : ইথাইল অ্যাসিটেটের সাথে পানির বিক্রিয়ায় ইথাইল অ্যালকোহল ও অ্যাসিটিক এসিড উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি একটি উভমুখী 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 গতি বা হার ও বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক

Rate of Reaction and Rate constant of a Reaction

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

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

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

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

DU+
Medical

৪.৩.১ বিক্রিয়ার হার সূত্র বা হার সমীকরণ

Rate Law or Rate Equation

একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় একটি বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার উপর নির্ভর করে। পরীক্ষা-পর্যবেক্ষণের মাধ্যমে এক বা একাধিক বিক্রিয়ক বিশিষ্ট বিভিন্ন বিক্রিয়ার হারও বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার সম্পর্ক নির্ণয় করা হয়েছে। একে বিক্রিয়ার হার সূত্র বা হার সমীকরণ বলে। বিক্রিয়ার হার সূত্রটি নিম্নরূপ :

বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার সমানুপাতিক এবং তা বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার ঘাত রূপে আসে। দুটি সাধারণ বিক্রিয়া মতে,



∴ বিক্রিয়ার হার $\propto [A]^n$

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



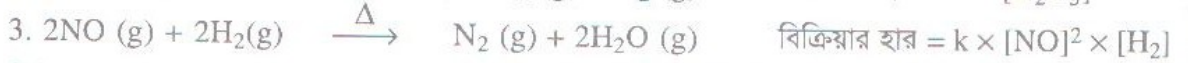
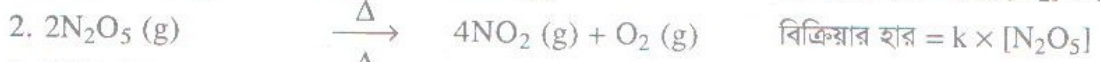
∴ বিক্রিয়ার হার $\propto [A]^a \times [B]^b$

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

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

উল্লেখ্য বিক্রিয়ার হার সমীকরণটি বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রা নির্ভরতা পরীক্ষার উপর ভিত্তি করে নির্ধারিত হয়। সুতরাং পরীক্ষালব্ধ ফলাফল ভিত্তিক যে সমীকরণ দ্বারা বিক্রিয়ার হার বা বেগ ও বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার সম্পর্ক প্রকাশ করা হয়, তাকে বিক্রিয়ার হার বা গতি সমীকরণ বলে।

উদাহরণ :



বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক : বিক্রিয়াকালে যে কোনো সময়ে বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়কের ঐ সময়ের ঘনমাত্রার ওপর নির্ভর করে। হার বিক্রিয়ার সূত্রমতে, তা প্রত্যেকটি বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার ঘাতের সমানুপাতিক হয়। ধরা যাক, একটি সাধারণ বিক্রিয়ায় 'm' mol A ও 'n' mol B বিক্রিয়া করে। যেমন, $mA + nB \rightarrow \text{উৎপাদ}$

এক্ষেত্রে বিক্রিয়ক A ও B এর মোলার ঘনমাত্রার ঘাত হলো যথাক্রমে $[A]^m$ ও $[B]^n$ ।

∴ বিক্রিয়ার হার $\propto [A]^m \times [B]^n$

বা, বিক্রিয়ার হার $= k \times [A]^m \times [B]^n$; এখানে k একটি ধ্রুবক।

এখন প্রতিটি বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা 1 মোলার হলে, $[A] = [B] = 1 \text{ mol L}^{-1}$ হয় এবং বিক্রিয়ার হার $= k \times 1 \times 1 = k$ হয়। অর্থাৎ বিক্রিয়ার হার সমান বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক। সুতরাং একক মোলার ঘনমাত্রার বিক্রিয়কসমূহের বিক্রিয়ার হারকে সে বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক বলে। একে আপেক্ষিক বিক্রিয়ার হারও (specific reaction rate) বলা হয়।

বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের বৈশিষ্ট্য :

① 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 মান ও পরিবর্তিত হয়।

② একই তাপমাত্রায় ভিন্ন ভিন্ন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক (k) এর মান ও ভিন্ন হয়।

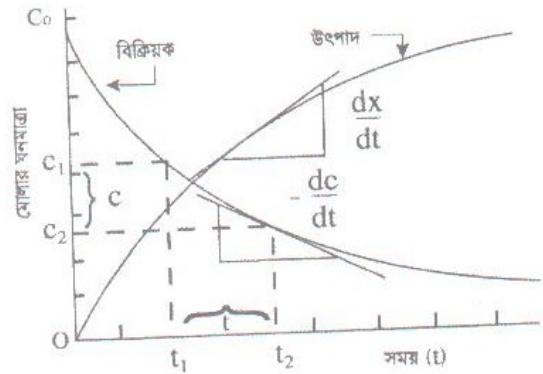
③ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান বেশি হলে তখন ঐ বিক্রিয়ার বেগ বা হার বেশি হয় এবং হার ধ্রুবকের মান কম হলে বিক্রিয়ার বেগ কম হয়।

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

বিক্রিয়ার হার	বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক
(১) প্রতি একক সময়ে কোন রাসায়নিক বিক্রিয়া যতটুকু সম্পন্ন হয়, তাকে ঐ বিক্রিয়ার বিক্রিয়ার-হার বলে।	(১) বিক্রিয়কগুলোর একক ঘনমাত্রার কোনো বিক্রিয়ার হারকে ঐ বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবক 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।

লেখচিত্রের সাহায্যে বিক্রিয়ার হার বা গতিবেগের ব্যাখ্যা :

1850 খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী L. Wilhetmy কর্তৃক প্রমাণিত হয়েছে যে, বিক্রিয়ার হার বা গতিবেগ প্রধানত বিক্রিয়কসমূহের ঘনমাত্রার ওপর নির্ভর করে। ধরা 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 শুরু করে; অপরদিকে উৎপাদের ঘনমাত্রা বাড়তে থাকে। তাই সময়ের সাথে বিক্রিয়ক অথবা উৎপাদের ঘনমাত্রাকে আলেখিত (plotting) করলে চিত্র 8.1 এর মতো লেখচিত্র পাওয়া যায়।



চিত্র 8.1 : সময়ের সাথে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রার পরিবর্তন।

সময়ের সাথে বিক্রিয়ক অথবা উৎপাদের ঘনমাত্রার পরিবর্তনের লেখ দুটিতে 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 $= (c_2 - c_1) = -\Delta c$

$$\therefore \text{বিক্রিয়ার গড় গতিবেগ} = \frac{(c_2 - c_1)}{(t_2 - t_1)} = \frac{-\Delta c}{\Delta t}$$

অতি ক্ষুদ্র সময়ের ক্ষেত্রে এ মান $\frac{-dc}{dt}$ এর সমান।

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। অনুরূপভাবে 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 বেশি থাকে; সময়ের বৃদ্ধির সাথে হার কমতে থাকে। অর্থাৎ যে কোনো বিক্রিয়ার হার নির্দিষ্ট নয় বরং সময়ের বিপরীতে মোলার ঘনমাত্রার ওপর নির্ভরশীল। \therefore বিক্রিয়ার গতিবেগ বা হার $= \frac{-dc}{dt} = \frac{dx}{dt}$

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

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

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

উদাহরণস্বরূপ, ডাইনাইট্রোজেন পেন্টাঅক্সাইড (N_2O_5) গ্যাসের তাপীয় বিয়োজনে বায়ুদূষক বাদামি NO_2 গ্যাস ও O_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়।



বর্ণহীন বাদামি বর্ণহীন

এ বিক্রিয়ায় 2 mol গ্যাসীয় বিক্রিয়ক (N_2O_5) থেকে 5 mol গ্যাসীয় উৎপাদ (NO_2 , O_2) উৎপন্ন হওয়ায়, সমস্তের 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 ৪.১ এ $55^\circ C$ তাপমাত্রায় ঘনমাত্রার পরিবর্তন দেখানো হলো।

সারণি ৪.১ : N_2O_5 এর বিয়োজনে ($55^\circ C$) 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
100	0.0169	0.0063	0.0016	N_2O_5 এর
200	0.0142	0.0115	0.0029	মোলারিটির হ্রাস ঘটছে
300	0.0120	0.0160	0.0040	এবং NO_2 ও O_2 এর
400	0.0101	0.0197	0.0049	মোলারিটি বৃদ্ধি
500	0.0086	0.0229	0.0057	পেয়েছে।

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১ A \rightarrow B বিক্রিয়াটিতে A এর প্রাথমিক ঘনমাত্রা 0.275 mol.L^{-1} এবং বিক্রিয়া শুরু হওয়ার 5 মিনিট 20 সেকেন্ড পরে A-এর ঘনমাত্রা হ্রাস পেয়ে 0.125 mol.L^{-1} হলো। এ সময়ে গড় বিক্রিয়ার হার নির্ণয় কর।

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

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

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

শিক্ষার্থী নিজে কর :

প্রশ্ন-৪.২। (ক) : বিক্রিয়ার হার কি?

[বি. বো. ২০১৫]

(খ) বিক্রিয়ার হার ও বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মধ্যে পার্থক্য কী?

[অনুধাবনভিত্তিক প্রশ্ন]

সমস্যা-৪.৪ : সারণি ৪.১ ব্যবহার করে 200 – 300s 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) $1.1 \times 10^{-5} \text{ M/s}$

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



এক্ষেত্রে সাধারণ বিক্রিয়ার হার নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয় :

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

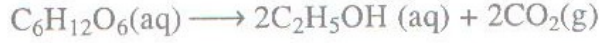


$$\text{এক্ষেত্রে, বিক্রিয়ার হার, } r = -\frac{d[N_2]}{dt} = -\frac{1}{3} \cdot \frac{d[H_2]}{dt} = +\frac{1}{2} \cdot \frac{d[NH_3]}{dt}$$

MCQ-4.3 : একটি বিক্রিয়কের আদি ঘনমাত্রা 0.1 mol L^{-1} । থেকে 20s পরে ঘনমাত্রা 0.05 mol L^{-1} হলে ঐ 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-৪.২ : বিক্রিয়ক ও উৎপাদ থেকে বিক্রিয়ার হার নির্ণয় :

অ্যালকোহলীয় পানীয়ের উপাদান ইথানল ও গ্যাসোলিনের অকটেন নাম্বার বৃদ্ধি সহায়ক এ তরলটি গ্লুকোজের ফারমেন্টেশনে উৎপন্ন হয়। 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 $= \frac{1}{2} \Delta[C_2H_5OH]/\Delta t$ 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-৪.৩ : নাইট্রোজেন পেন্টা অক্সাইড বিয়োজিত হয়ে NO_2 ও O_2 গ্যাস উৎপন্ন হয় :



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

$$\text{সমাধান : বিক্রিয়ার হার} = +\frac{1}{4} \frac{[NO_2]}{\Delta t}$$

$$\text{এক্ষেত্রে } [NO_2] = NO_2\text{-এর ঘনমাত্রা} = 3 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

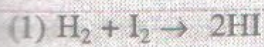
$$= \frac{1}{4} \times \frac{3.0 \times 10^{-3}}{6}$$

$$\Delta t = \text{সময়ের ব্যবধান} = 6 \text{ sec}$$

$$= 1.25 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ sec}^{-1}$$

শিক্ষার্থী নিজে কর :

সমস্যা-৪.৫ : নিচের সমীকরণ মতে, সাধারণ বিক্রিয়ার হার লেখ :



সমস্যা-৪.৬ : আর্সেনিক এসিড (H_3AsO_4) দ্বারা আয়োডাইড আয়নের জারণ বিক্রিয়ার সমতায়ুক্ত 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) ঐ একই সময়ে H^+ আয়নের বিক্রিয়ার হার কত হবে?

$$[\text{উ: } 3.2 \times 10^{-4} \text{ M/s}]$$

সমস্যা-৪.৭। $N_2O_5 (g)$ 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।

$$[\text{উ: } 9.722 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}\text{s}^{-1}]$$

সমস্যা-৪.৮ : ইথাইল অ্যাসিটেট ($CH_3COOC_2H_5$) এর অম্লীয় আর্দ্র বিশ্লেষণে 40 মিনিট সময়ে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা 1.0 mol L^{-1} থেকে 0.5 mol L^{-1} হয়।

$$[\text{উ: } 2.08 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}\text{s}^{-1}]$$

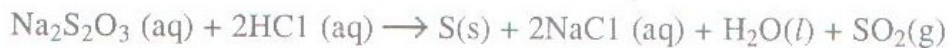
সমস্যা-৪.৯ : H_2O_2 এর 0.1 mol L^{-1} দ্রবণটি বিয়োজিত হয়ে 5 মিনিটে 0.08 mol L^{-1} দ্রবণে পরিণত হলো বিক্রিয়াটির হার কত?	[উ: $3.33 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$]
সমস্যা-৪.১০ : KI এর দ্রবণে নির্দিষ্ট ঘনমাত্রার H_2O_2 দ্রবণ যোগ করায় 5 মিনিটে $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ আয়োডিন মুক্ত হয়। এ জারণ বিক্রিয়ার হার কত?	[উ: $3.33 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$]
সমস্যা-৪.১১ : $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$; 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-৪.১২ : $N_2(g) + 3H_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$; 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।	[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-৪.১৩ : $4NH_3(g) + O_2(g) \xrightarrow{900^\circ\text{C, Pt}} 4NO(g) + 6H_2O(g)$; 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?	[উ: $NH_3 = 5.25 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$ এবং স্টিম = $7.875 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$]
সমস্যা-৪.১৪ : $2A \rightarrow 3B + C$ বিক্রিয়াটির বেলায়, B উৎপাদটি $2.75 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$ হারে উৎপন্ন হলে A ও C এর সাপেক্ষে বিক্রিয়া হার বের কর।	[উ: $A = 1.8332 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$; $C = 9.166 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$]

৪.৩.১ 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 ($Na_2S_2O_3$) এবং HCl এসিডের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে দেখা যায় 20°C তাপমাত্রায় সালফারের অধঃক্ষেপণ হার যত হয়; 30°C তাপমাত্রায় সালফারের অধঃক্ষেপণ হার দ্বিগুণের বেশি হয়।



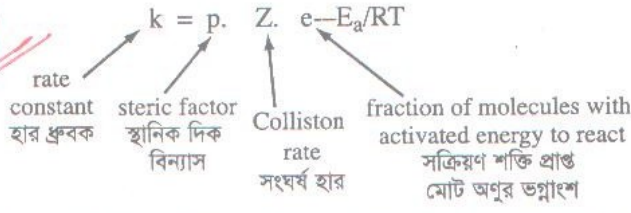
বিক্রিয়ার হারের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব ও এর ব্যাখ্যা (Impact of Temp. on Reaction Rate) : 1889 খ্রিষ্টাব্দে প্রখ্যাত বিজ্ঞানী এস. অ্যারহেনিয়াস, (S. Arrhenius) সর্বপ্রথম বিক্রিয়ার হারের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব অনুধাবন করেন। তিনি প্রমাণ করেন যে, সাধারণভাবে 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রায় সব বিক্রিয়ার 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 অণু বিক্রিয়ার জন্য প্রয়োজনীয় সক্রিয় শক্তি লাভ করে থাকে।

(ক) সক্রিয় শক্তি (activation energy) : কোনো বিক্রিয়ার বিক্রিয়কের একটি অংশ পারস্পরিক আণবিক সংস্পর্শ দ্বারা বা অন্য কোনো উপায়ে বিক্রিয়কের গড়শক্তি অপেক্ষা যে পরিমাণ অধিক শক্তি লাভ করে বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণে উপযুক্ততা অর্জন করে, তাকে ঐ বিক্রিয়ার সক্রিয় শক্তি বলে। বিক্রিয়কের যে অণুসমূহ উক্ত সক্রিয় শক্তি লাভ করে তাদেরকে বলা হয় সক্রিয় অণু (activated molecules)। সক্রিয় অণুগুলোই কেবল বিক্রিয়ায় অংশ নিতে পারে এবং অবশিষ্ট অণুগুলো সক্রিয়গত না হওয়া পর্যন্ত বিক্রিয়ায় অংশ নিতে পারে না।

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

MAT



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-

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

$T = \text{কেলভিন তাপমাত্রা}$

অ্যারহেনিয়াস সমীকরণের উভয় পাশে natural logarithm নিয়ে পাই,

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad \dots (১)$$

T_1 ও T_2 তাপমাত্রায় যদি বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক যথাক্রমে k_1 ও k_2 হয়; তবে সমীকরণ (১) থেকে পাই,

$$\ln k_1 = \ln A - E_a/RT_1 \quad \dots (২); \quad \ln k_2 = \ln A - E_a/RT_2 \quad \dots (৩)$$

এখন (৩) নং সমীকরণ থেকে (২) নং সমীকরণ বিয়োগ করে পাই-

$$\ln k_2 - \ln k_1 = -E_a/RT_2 + E_a/RT_1$$

$$\text{বা, } \ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{-E_a}{R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] \quad \dots (৪)$$

$$\text{বা, } \ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R} \times \left[\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right] \quad \dots (৫)$$

(খ) দুই ভিন্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়া হারের তুলনা :

মনে করি, কোনো বিক্রিয়ার অণুসমূহের প্রয়োজনীয় সক্রিয় শক্তি, $E_a = 50 \text{ kJmol}^{-1}$ বা, $50,000 \text{ Jmol}^{-1}$ ।

সুতরাং অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ মতে সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 300 K তাপমাত্রায় 50 kJmol^{-1} সক্রিয় 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 সক্রিয় শক্তি পেয়ে বিক্রিয়ায় অংশ নেয়। আবার 310 K তাপমাত্রায় একই বিক্রিয়ায় ঐ একই সক্রিয় 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 সক্রিয় শক্তি পেয়ে বিক্রিয়ায় অংশ নেয়।

সুতরাং 10 K বা 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে একই বিক্রিয়ায় দ্বিগুণ সংখ্যক বিক্রিয়ক অণু সক্রিয় শক্তি লাভ করে

একই বিক্রিয়ার হার প্রায় দ্বিগুণ বৃদ্ধি করেছে।

MCQ-4.4 : রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারের ওপর প্রভাব আছে—

(i) তাপমাত্রা (ii) ঘনমাত্রা (iii) চাপের কোনটি সঠিক হবে?

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

(গ) লেখচিত্র দ্বারা সক্রিয়ণ শক্তির গণনা : অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ অনুসারে,

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

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

$$\text{বা, } \log k = - \left(\frac{E_a}{2.303R} \right) \frac{1}{T} + \log A \dots (৬)$$

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

সুতরাং, $\log k$ বনাম $\frac{1}{T}$ এর লেখচিত্র অঙ্কন করলে একটি

সরলরেখা পাওয়া যায়, যার ঢাল $= -\frac{E_a}{2.303R}$ । 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 সরলরেখা পাওয়া যায়। চিত্রে এর ঢাল থেকে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি গণনা করা হয়।

* অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ শুধু সমসত্ত্ব গ্যাসীয় ক্ষেত্রে নয়; বরং দ্রবণে সংঘটিত বিক্রিয়া অথবা অসমসত্ত্ব বিক্রিয়ার ক্ষেত্রেও এটি সমভাবে প্রযোজ্য।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪ : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণভিত্তিক

গ্যাসীয় অবস্থায় HI এর বিয়োজন হার ধ্রুবক 283°C ও 508°C যথাক্রমে, $k_1 = 3.52 \times 10^{-7} \text{ (M}^{-1}\text{s}^{-1})$ এবং $k_2 = 3.95 \times 10^{-2} \text{ (M}^{-1}\text{s}^{-1})$ $2\text{HI (g)} \longrightarrow \text{H}_2\text{(g)} + \text{I}_2\text{(g)}$

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

(খ) 283°C হার ধ্রুবক ও (ক) থেকে নির্ণীত E_a এর মান থেকে 293°C এ বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক 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). $R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.

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

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

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

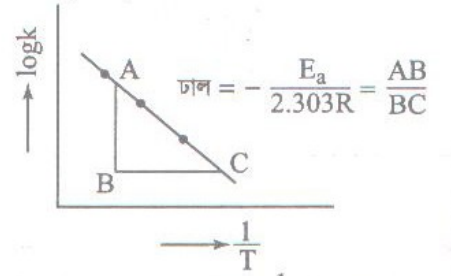
(খ) অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণে $k_1 = 3.52 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $T_1 = 556\text{K}$

$E_a = 1.87 \times 10^5 \text{ J/mol}$ এবং $T_2 = 566 \text{ K}$ বসিয়ে T_2 তাপমাত্রায় k_2 বের করতে হবে।

$$\ln \frac{k_2}{3.52 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}} = \frac{-1.87 \times 10^5 \text{ Jmol}^{-1}}{8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}} \times \left(\frac{556 - 566}{556 \times 566} \right) \text{ K}^{-1} = 0.715$$

$$\text{উভয় দিকে অ্যান্টিলন নিয়ে পাই : } \frac{k_2}{3.52 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}} = e^{0.715} = 2.04; \therefore k_2 = 7.18 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

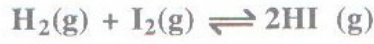
মন্তব্য : লক্ষ কর এক্ষেত্রে 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে বিক্রিয়াটির 'হার ধ্রুবক' এর মান দ্বিগুণ হয়েছে।



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

MCQ-4.5 : বিক্রিয়ার হারের একক কী?
(ক) $\text{mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (খ) mol L s^{-1}
(গ) $\text{mol dm}^3 \text{ s}^{-1}$ (ঘ) $\text{mol}^{-1} \text{ L s}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫ : H_2 ও I_2 এর বিক্রিয়ায় HI উৎপাদনের সমীকরণটি হলো—



$227^\circ C$ ও $257^\circ C$ তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির বেগ ধ্রুবকের মান যথাক্রমে $1.95 \times 10^{-4} L. mol^{-1}.s^{-1}$ ও $1.75 \times 10^{-3} L. mol^{-1}.s^{-1}$ 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।

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

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

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

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

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

এখানে, $k_1 = 227^\circ C$ তাপমাত্রায় বেগ ধ্রুবকের মান

$$= 1.95 \times 10^{-4} L. mol^{-1}.s^{-1}$$

$k_2 = 257^\circ C$ তাপমাত্রায় বেগ ধ্রুবকের মান

$$= 1.75 \times 10^{-3} L. mol^{-1}.s^{-1}$$

$T_1 =$ প্রাথমিক তাপমাত্রা $= (227 + 273)K = 500K$

$T_2 =$ শেষ তাপমাত্রা $= (257 + 273)K = 530K$

$R =$ মোলার গ্যাস ধ্রুবক $= 8.314 J mol^{-1}. K^{-1}$

$$= 8.314 \times 10^{-3} kJ mol^{-1}. K^{-1}$$

$E_a =$ সক্রিয়ণ শক্তি $= ?$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬ : $45^\circ C$ তাপমাত্রায় একটি বিক্রিয়ার বেগ ধ্রুবক $35^\circ C$ তাপমাত্রায় বেগ ধ্রুবকের তুলনায় কতগুণ বেশি হলে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি কত?

দক্ষতা : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

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

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

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

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

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

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

এখানে, $T_1 = (35 + 273) = 308K$

এবং $T_2 = (45 + 273) = 318K$

$R = 8.314 J mol^{-1}. K^{-1}$

মনে করি, T_1 তাপমাত্রায় বেগ ধ্রুবক $= k_1$

এবং T_2 তাপমাত্রায় বেগ ধ্রুবক $= 2k_1$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭ : নাইট্রোজেন পেন্টাঅক্সাইডের বিয়োজন ($N_2O_5 \rightarrow N_2O_4 + O_2$) হার ধ্রুবকের মান $25^\circ C$ ও $65^\circ C$ তাপমাত্রায় যথাক্রমে $3.46 \times 10^{-5} \text{ L mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ও $4.87 \times 10^{-3} \text{ L mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ । এ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মান কত হবে? ($R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

দক্ষতা : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\therefore E_a = 10.3549 \times 10^4 \text{ J} = 103.549 \text{ kJ mol}^{-1}$$

শিক্ষার্থী নিজে কর :

সমস্যা-৪.১৫ : (ক) বিজ্ঞানী অ্যারহেনিয়াস প্রমাণ করেন যে, $10^\circ C$ তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য বিক্রিয়ার হার দ্বিগুণ বৃদ্ধি পায়। এর কারণ ব্যাখ্যা কর। [অনুধাবনভিত্তিক]

(খ) অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ $k = p.z.e^{-E_a/RT}$ এর ক্ষেত্রে তাপমাত্রা T_1 ও T_2 এর বেলায় হার ধ্রুবক 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]

(গ) একটি বিক্রিয়ার ভিন্ন ভিন্ন তাপমাত্রায় বেগ ধ্রুবকের মান লেখচিত্র $\log k$ বনাম T^{-1} এর বিপরীতে স্থাপন করে সরলরেখা পাওয়া যায় তার ঢাল -2.872×10^3 । বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মান নির্ণয় কর। [উ : 55 kJ mol^{-1}]

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

সমস্যা-৪.১৬ : N_2O_5 এর বিয়োজন হার ধ্রুবক $25^\circ C$ ও $55^\circ C$ তাপমাত্রায় যথাক্রমে $3.7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

এবং $1.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ হয়। $2N_2O_5(\text{g}) \rightarrow 4NO_2(\text{g}) + O_2(\text{g})$

(ক) এ বিক্রিয়ায় প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি kJ/mol এককে কত হবে? [উ : 103.67 kJ/mol]

(খ) $35^\circ C$ তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক কত হবে? [উ : $1.44 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$]

সমস্যা-৪.১৭ : HI এর বিয়োজন হার ধ্রুবক 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 : $1.76 \times 10^2 \text{ kJ/mol}$]

(ক) $2\text{HI}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$ এর বিয়োজনের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 275°C ও 500°C তাপমাত্রার হার ধ্রুবকের 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 : $182.014 \text{ kJ mol}^{-1}$]

(খ) $2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightarrow 4\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ এ বিয়োজন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 27°C ও 37°C তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির বেগ ধ্রুবকের মান যথাক্রমে $2.25 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ও $4.75 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ হলে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তির মান নির্ণয় কর।

[উ : $57.799 \text{ kJ mol}^{-1}$]

সমস্যা-৪.১৮ : বিক্রিয়া $2\text{NOCl}(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$ এর E_a হলো $1.0 \times 10^2 \text{ kJ/mol}$ এবং 500K তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক হলো $0.286 \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ । তবে 490K তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক কত হবে?

[উ : $0.17505 \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$]

সমস্যা-৪.১৯ : 45°C তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক 35°C তাপমাত্রার হার ধ্রুবকের দ্বিগুণ হলে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি কত? ($R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

[উ : $56.44 \text{ kJ mol}^{-1}$]

সমস্যা-৪.২০ : $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightarrow \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$; এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 45°C ও 85°C -এ বিক্রিয়া হার ধ্রুবকের 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}]

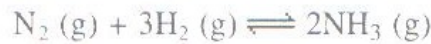
সমস্যা-৪.২১ : $\text{NO}_2(\text{g}) + \text{CO}(\text{g}) \rightarrow \text{NO}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$; এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 700K ও 800K তাপমাত্রায় বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান যথাক্রমে $1.3 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ ও $23.0 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ হয়। এ বিক্রিয়ার শক্তি kJ/mol 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 সঙ্কুচিত হয়। এতে অল্প আয়তনে অনুপুলকের মতো 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 :

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

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

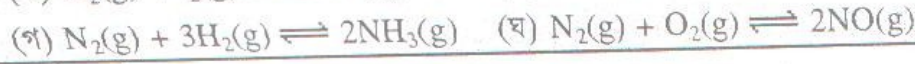
$$\therefore \text{P}_{\text{N}_2} = X_{\text{N}_2} \times P; \text{P}_{\text{H}_2} = X_{\text{H}_2} \times P; \text{P}_{\text{NH}_3} = X_{\text{NH}_3} \times P;$$

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

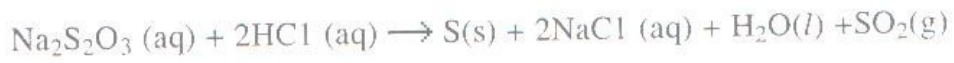
অর্থাৎ k_p এর সমীকরণে P^{-2} যেমন atm^{-2} বা N^{-2}m^4 জড়িত [\therefore চাপের একক = $1\text{Pa} = 1\text{Nm}^{-2}$]

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

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



(৩) বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা (concentration of reactants) : ভরক্রিয়া সূত্রানুসারে কোনো বিক্রিয়ার হার বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার সমানুপাতিক, সময় অতিক্রমের সাথে সাথে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার হ্রাস ঘটে। তাই সময় অতিক্রম হওয়ার সাথে বিক্রিয়ার হারও হ্রাস পায়। আবার বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করলে বিক্রিয়ার গতিবেগ বৃদ্ধি পায়। সোডিয়াম থায়োসালফেট ও HCl এসিডের মধ্যে বিক্রিয়াটির যে কোনো একটি বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করলে প্রতি সেকেন্ড সালফারের অধঃক্ষেপণ হার বৃদ্ধি পায়; সময় কম লাগে।



সারণি ৪.২ : অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়ার হারের ওপর $Na_2S_2O_3$ দ্রবণের ঘনমাত্রার প্রভাব

$Na_2S_2O_3$ দ্রবণের ঘনমাত্রা mol/L	0.01	0.02	0.04	0.08	0.1
অধঃক্ষেপণের সমাপ্তিকাল (s)	98	51	24	12	10

৪.৩.২ তাপোৎপাদী বিক্রিয়া ও তাপহারী বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি

Activation Energy of Exothermic & Endothermic Reactions

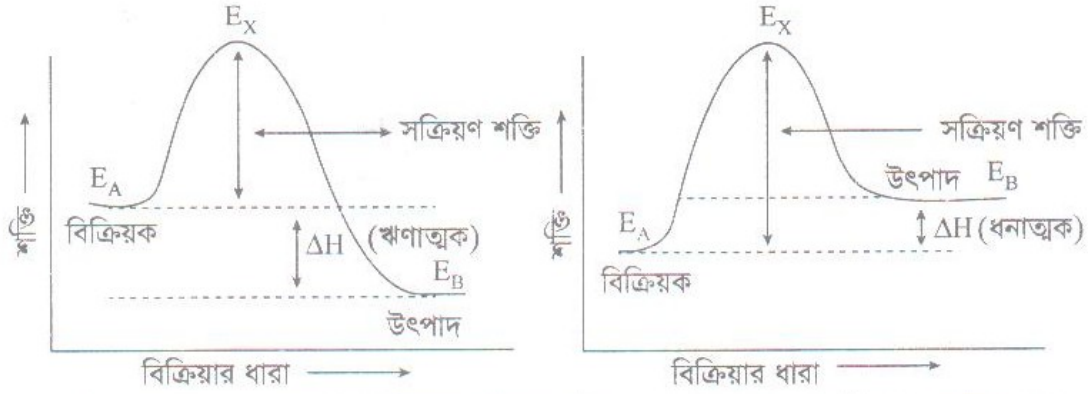
প্রতিটি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় নতুন পদার্থ উৎপন্ন হয়। নতুন পদার্থ উৎপন্ন হতে হলে পরমাণুগুলোর মধ্যে পুরাতন বন্ধন ভাঙতে হয় এবং নতুন বন্ধন গড়তে হয়। অর্থাৎ বিক্রিয়ক পদার্থ উৎপাদ পদার্থে পরিণত হওয়ারকালে বিক্রিয়ক অণু কণাগুলোতে একটি ন্যূনতম শক্তি লাভ করতে হয়। বিক্রিয়াকালে বিক্রিয়কের প্রয়োজনীয় এ 'ন্যূনতম শক্তি'কে সক্রিয়ণ শক্তি বা Activation energy বলে।

বিক্রিয়ার অংশগ্রহণকারী বস্তু কণার যে অংশ এ ন্যূনতম শক্তিমান অর্জন করতে পারে তারাই বিক্রিয়ার সক্রিয় কণা হিসেবে বিবেচিত হয়। ন্যূনতম শক্তিমান কণাগুলো বিক্রিয়ক ও উৎপাদের 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) পার্থক্য ($E_x - E_A$) সক্রিয়ণ শক্তি বলে। বিক্রিয়ার সক্রিয়করণ শক্তিকে চিত্র-৪.৩ এ দেখানো হলো। চিত্রমতে, বিক্রিয়ক থেকে উৎপাদ অণু গঠনকালে 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 সক্রিয়ণ শক্তি। অতএব বিক্রিয়া সংঘটিত হতে হলে কণাকে এ সক্রিয়ণ শক্তি অর্জন করতে হয়।

* সক্রিয়ণ শক্তি যত বেশি হয় এ শক্তি অর্জন করা তত কষ্টকর হয় বলে এ শক্তি অর্জনকারী বস্তু কণার সংখ্যা ও তত কম হয়। ফলে বিক্রিয়ার গতি কমে যায়।

* অপরপক্ষে, সক্রিয়ণ শক্তির মান কম হলে তুলনামূলকভাবে সহজে অধিক সংখ্যক বস্তুকণা এ শক্তি অর্জন করে এবং বিক্রিয়ার গতি বেশি হয়।

* যে সব বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি কম সেসব বিক্রিয়া সহজে কম তাপমাত্রায় ঘটে। অপরদিকে যেসব বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি বেশি সেগুলোর ক্ষেত্রে উচ্চ তাপমাত্রা প্রয়োজন হয়।



চিত্র-৪.৩ (ক) : তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি (খ) : তাপহারী বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি

যেসব বিক্রিয়ার বিক্রিয়কের শক্তি (E_A) উৎপন্ন দ্রব্যের শক্তির (E_B) চেয়ে বেশি হয়, সেসব ক্ষেত্রে অতিরিক্ত শক্তি ($E_A - E_B$) নির্গত হয় (চিত্র ৪.৩ (ক))। এ ধরনের বিক্রিয়াকে তাপোৎপাদী বিক্রিয়া বলে।

যদি বিক্রিয়কের শক্তি উৎপাদের শক্তির চেয়ে কম হয়, তবে বিক্রিয়ায় তাপ শোষিত হয় (চিত্র ৪.৩ (খ))। এ সব বিক্রিয়াকে তাপহারী বিক্রিয়া বলে। তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় নির্গত তাপ বা তাপহারী বিক্রিয়ায় শোষিত তাপকে বিক্রিয়া তাপ বা এনথালপির পরিবর্তন (ΔH) বলে। তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় ΔH ঋণাত্মক (চিত্র ৪.৩(ক)) এবং তাপহারী বিক্রিয়ায় ΔH ধনাত্মক হয় (চিত্র-৪.৩ (খ))।

তাপ উৎপাদী বিক্রিয়ার বিক্রিয়ক কণাগুলো দ্রুত গতিতে ছোটোছোটো করে এবং অধিক সংখ্যক কণা সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে। ফলে তাপ উৎপাদী বিক্রিয়া দ্রুত গতিতে 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-শক্তিও কম থাকে। এ জাতীয় বিক্রিয়ার হার তুলনামূলকভাবে কম হয়।

৪.৩.৩ 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 দ্রুপে বিক্রিয়কসমূহের বেলায়ও সমভাবে কার্যকরী প্রমাণিত হয়।

বিক্রিয়া সংঘটনের

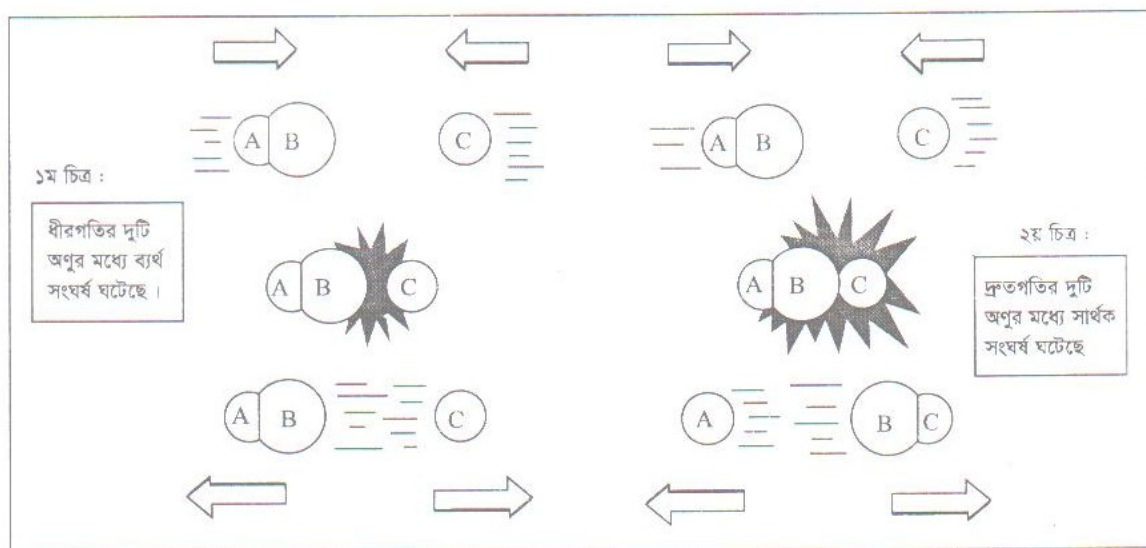
- (১) প্রথম শর্ত হলো → বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী কণাগুলো যেমন অণু, পরমাণু বা আয়ন-এর মধ্যে সংঘর্ষ হতে হবে।
- (২) দ্বিতীয় শর্ত হলো → বিক্রিয়ক পদার্থের মধ্যে সংঘটিত “সংঘর্ষ” অবশ্যই একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম শক্তি সহযোগে হতে হবে।
- (৩) তৃতীয় শর্ত হলো → বিক্রিয়ক পদার্থের মধ্যে সংঘর্ষ একটি নির্দিষ্ট দিক বিন্যাস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

উপরিউক্ত শর্তগুলোকে অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন—

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

rate constant হার ধ্রুবক → k
 steric factor [স্থানিক দিক বিন্যাস] → p
 collision rate [সংঘর্ষ হার] → Z
 activation energy [সক্রিয়ণ শক্তি] → $e^{-E_a/RT}$

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



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

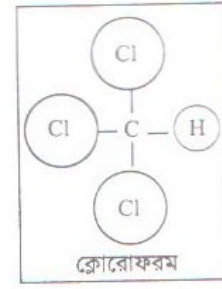
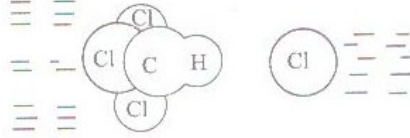
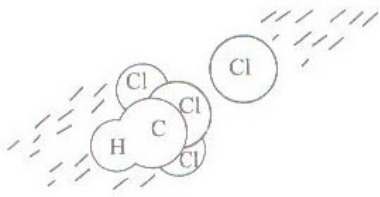
চিত্র থেকে সুস্পষ্ট যে, ১ম চিত্রে পর্যাপ্ত শক্তি সহকারে সংঘর্ষ না ঘটায় অণুর পুরাতন বন্ধনের ভাঙন ঘটেনি। অণুগুলো ফিরে গেছে পূর্বের অবস্থায়। কিন্তু ২য় চিত্রে পর্যাপ্ত শক্তি সহকারে উভয় অণুর মধ্যে সংঘর্ষ ঘটেছে। তাই A ও B এর মধ্যবর্তী পুরানো বন্ধন ভেঙে নতুনভাবে B ও C-এর মধ্যে বন্ধন সৃষ্টি হওয়ায় নতুন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

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

কোন 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; নতুবা 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 বিয়োজিত হলে অধিক সক্রিয় ক্লোরিন পরমাণু বা ফ্রি-রেডিকলে 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 তিনদিকে আক্রমণ করলে বিক্রিয়া ঘটবে না।



CHCl₃ অণুতে
পরমাণুগুলোর স্থানিক বিন্যাস

চিত্র-৪.৫ : CHCl₃ অণুর যেকোনো H-পরমাণু থাকে সেদিকে Cl পরমাণুর সার্থক সংঘর্ষ ঘটতে হবে।



ক্লোরিন অণু

কোরিন পরমাণু



সূত্রাং 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।

৪.৩.৪ রাসায়নিক বিক্রিয়ার অবস্থান্তর অবস্থা তত্ত্ব

Transition State Theory of Chemical Reaction

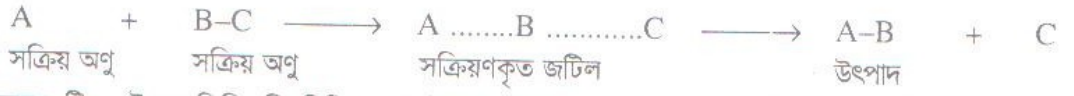
বিক্রিয়ার উপর তাপমাত্রার প্রভাব সম্পর্কীয় বিজ্ঞানী অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ $k = A \cdot e^{-E_a/RT}$ মতে, যেসব অণু বিক্রিয়ায় অংশ নেবে তাদেরকে বিক্রিয়কসমূহের গড় শক্তির চেয়ে বেশি এবং নির্দিষ্ট শক্তিসম্পন্ন হতে হবে; অন্যথায় বিক্রিয়কসমূহের মধ্যে কোনোরূপ বিক্রিয়া সম্ভবপর নয়। পারস্পরিক সংঘর্ষ দ্বারা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

(ক) সক্রিয়ণ শক্তির সংজ্ঞা :

কোন বিক্রিয়ায় পারস্পরিক আণবিক সংঘর্ষ দ্বারা বা অন্য কোন উপায়ে বিক্রিয়কের একটি অংশ বিক্রিয়কের গড়শক্তি অপেক্ষা যে পরিমাণ অধিক শক্তি লাভ করে বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণের উপযুক্ততা অর্জন করে, তাকে ঐ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি বলে। বিক্রিয়কের যে অণুসমূহ উক্ত সক্রিয়ণ 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।

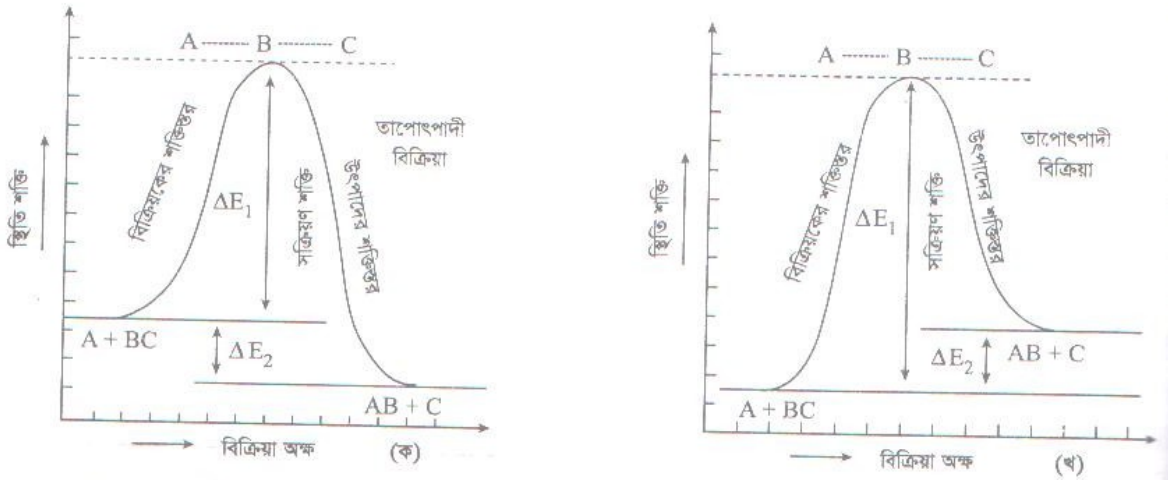
প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করার পর যখন দুটি সক্রিয় অণু পরস্পর নিকটে আসে, তখন তারা তাদের মধ্যস্থ পূর্বের বন্ধন ভেঙে নতুন বন্ধন গড়তে থাকে। উভয় সক্রিয় অণুর মধ্যস্থ বন্ধন ভাঙ্গা-গড়ার ক্ষণস্থায়ী এরূপ অবস্থাকে সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগ (Activated complex) গঠন অবস্থা বলে। রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার তাদের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

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



সক্রিয়গত জটিল যৌগের স্থিতিশক্তি বিক্রিয়ক বা উৎপাদ অপেক্ষা বেশি এবং সর্বোচ্চ। বিক্রিয়ক উৎপাদে পরিণত হবার সময় স্থিতিশক্তির পরিবর্তন ঘটে। $A + BC$ এবং সক্রিয়গত জটিল যৌগের মধ্যে শক্তির পার্থক্যই হলো সক্রিয়ণ শক্তি ΔE_1 ।

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 চূড়ান্ত 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 এরূপ অবস্থাকে বিক্রিয়ার অবস্থান্তর অবস্থা বলা হয়। বিক্রিয়ার এ অবস্থান্তর অবস্থাকে সক্রিয়গত জটিল গঠন অবস্থাও বলা হয়। শক্তি পর্বতের শীর্ষে সক্রিয়গত জটিল যৌগ এবং বামদিকের পাদদেশে বিক্রিয়ক এবং ডান দিকের পাদদেশে উৎপাদ অবস্থান করে। পাদদেশে অবস্থানকালে বিক্রিয়কের স্থিতিশক্তি ও উৎপাদের স্থিতিশক্তির পার্থক্য হলো বিক্রিয়ার এনথালপি ($\Delta E_2 = \Delta H$)। যদি বিক্রিয়কের স্থিতিশক্তি স্তর অপেক্ষা উৎপাদের স্থিতিশক্তি স্তর নিচে হয় [চিত্র : ৪.৬ (ক)] তবে বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী এবং বিক্রিয়কের স্থিতিশক্তি স্তর অপেক্ষা উৎপাদের স্থিতিশক্তি স্তর উপরে থাকলে বিক্রিয়াটি তাপহারী [চিত্র-৪.৬ (খ)] হবে। উভয় চিত্র থেকে স্পষ্ট যে, ΔH এর মান ($E_p - E_r$) সক্রিয়ণ শক্তির উপর নির্ভরশীল নয়।



চিত্র-৪.৬ : স্থিতিশক্তি বনাম বিক্রিয়া অক্ষ বা ধারা [বিক্রিয়কের সক্রিয়ণ শক্তি ও অবস্থান্তর অবস্থা]

(খ) বিক্রিয়ার হার ও সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রার মধ্যে সম্পর্ক : সক্রিয়গত জটিল যৌগ যে হারে গঠিত হবে সেই বিক্রিয়াটির পরীক্ষালব্ধ হার তার সমান হবে। অতএব, যে বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি বেশি হবে তার গতির হার কম হবে এবং যে বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি কম তার গতির হার বেশি হবে। কেননা, সক্রিয়ণ শক্তি বেশি হলে একটি অণুর পক্ষে সে পরমাণু শক্তি সংগ্রহ করা কষ্টকর হয়ে পড়ে। অন্যথায় বলা যায়, বিক্রিয়ক অণুসমূহের মধ্যে খুবই কমসংখ্যক অণু প্রয়োজনীয় অধিক 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 অণু প্রয়োজনীয় কম শক্তি সম্পন্ন হয়ে বিক্রিয়ার অংশগ্রহণ করতে পারে। ফলে ঐ বিক্রিয়ার হার বেশি হয়। সুতরাং বিক্রিয়ার হার সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রার ব্যস্তানুপাতিক।

৪.৪ 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 সংস্পর্শে উপস্থিত থেকে রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি বা হ্রাস করে এবং বিক্রিয়া শেষে নিজে গঠন ও ভরে অপরিবর্তিত থাকে, তাকে প্রভাবক বা অনুঘটক বলে। প্রভাবকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়ার গতি প্রভাবান্বিত করার প্রক্রিয়াকে প্রভাবন (catalysis) বলে।

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

* (১) প্রভাবক উভয়মুখী বিক্রিয়ার সম্মুখমুখী ও পশ্চাৎমুখী উভয় বিক্রিয়ার গতিকে বৃদ্ধি করে। প্রভাবকবিহীন কোনো বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ 'উৎপাদ' তৈরি হয়; ঐ বিক্রিয়ায় প্রভাবক ব্যবহার করে একই পরিমাণ 'উৎপাদ' তৈরি করা সম্ভব হয়; তবে ঐ বিক্রিয়াটি অধিকতর দ্রুত সম্পন্ন হয় মাত্র।

* (২) প্রতিটি প্রভাবক সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কের সক্রিয়ণ শক্তি (activation energy)-কে হ্রাস করে বিক্রিয়াটি নতুনভাবে, নিম্নশক্তির ধারায় বা মেকানিজমে সংঘটিত করে।

এছাড়া প্রভাবকের আরো বৈশিষ্ট্যের মধ্যে নিম্নোক্তগুলো উল্লেখযোগ্য।

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

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

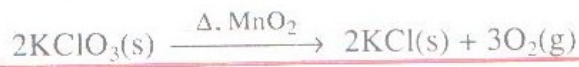
(৫) বিক্রিয়া শেষে প্রভাবকের ভরের বা গঠনের কোনো পরিবর্তন ঘটে না।

(৬) সামান্য পরিমাণ প্রভাবকে বিক্রিয়ার বেগ কাঙ্ক্ষিত মানে বৃদ্ধি বা হ্রাস করতে পারে।

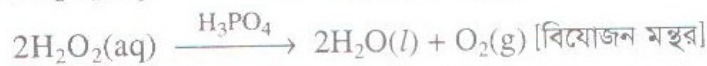
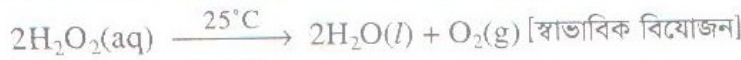
(৭) বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে প্রভাবক একটি সরলতম বিকল্প পথ সৃষ্টি করে যাতে সক্রিয়ণ শক্তি হ্রাস পায়।

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

১। ধনাত্মক প্রভাবক : যে প্রভাবক কোন রাসায়নিক বিক্রিয়ার স্বাভাবিক গতিকে আরো বৃদ্ধি করে, তাকে ধনাত্মক প্রভাবক বলে এবং এ বিষয়টিকে ধনাত্মক প্রভাবন বলে। যেমন, পটাশিয়াম ক্লোরেট ($KClO_3$) কে উত্তপ্ত করে O_2 গ্যাস হ্রাসকালে ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড (MnO_2) ধনাত্মক প্রভাবকরূপে ক্রিয়া করে।

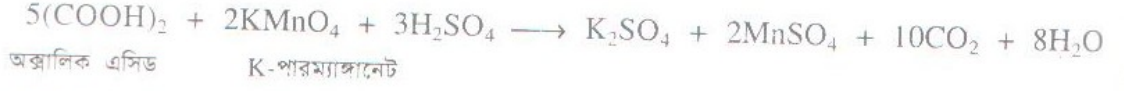


২। ঋণাত্মক প্রভাবক : যে প্রভাবক কোন রাসায়নিক বিক্রিয়ার স্বাভাবিক গতিকে হ্রাস করে, তাকে ঋণাত্মক প্রভাবক বলে এবং এ বিষয়টিকে ঋণাত্মক প্রভাবন বলে। যেমন, H_2O_2 কক্ষতাপমাত্রায় বিয়োজিত হয়ে পানি ও O_2 গ্যাস উৎপন্ন করে। কিন্তু কয়েক ফোঁটা ফসফরিক এসিড H_3PO_4 যোগ করলে H_2O_2 এর বিয়োজন হ্রাস পায়।

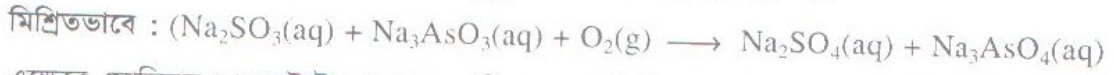
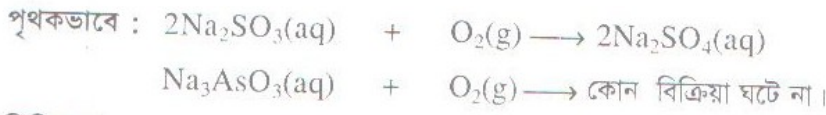


৩। অটো প্রভাবক বা স্ব-প্রভাবক : কোন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় উৎপন্ন পদার্থের একটি নিজেই প্রভাবকের ধর্ম সম্পন্ন এবং তা নিজেই ঐ বিক্রিয়ার গতিকে বৃদ্ধি করে, তাকে অটো প্রভাবক বা স্ব-প্রভাবক বলে এবং এ বিষয়টিকে অটো প্রভাবন বলা হয়। যেমন, অক্সালিক এসিডের দ্রবণে H_2SO_4 মিশ্রিত $KMnO_4$ দ্রবণ ফোঁটায় ফোঁটায় যোগ করলে প্রথমে শরম্যাঙ্গানেটের গোলাপী বর্ণ ধীরে ধীরে দূর হয়। কিন্তু কিছুক্ষণ পরেই দ্রবণে কিছু Mn^{2+} আয়ন উৎপন্ন হওয়া মাত্রই

KMnO₄ দ্রবণের গোলাপী বর্ণ দ্রুত দূর হয়। এক্ষেত্রে উৎপন্ন MnSO₄-এর ম্যাঙ্গানাস আয়ন (Mn²⁺) স্ব-প্রভাবকরূপে ক্রিয়া করে এবং এর ক্রিয়াকে স্ব-প্রভাবন বলা হয়।

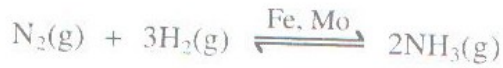


৪। আবিষ্ট প্রভাবক : কোন বিক্রিয়ার একটি বিশেষ বিক্রিয়াকের প্রভাবে তার অপর বিক্রিয়াকের সাথে তৃতীয় কোন পদার্থের বিক্রিয়া ঘটে; কিন্তু পৃথকভাবে তাদের মধ্যে কোন বিক্রিয়া ঘটে না। তখন ঐ বিশেষ বিক্রিয়াকটিকে পরের বিক্রিয়ার আবিষ্ট প্রভাবক বলে এবং তার এরূপ ক্রিয়াকে আবিষ্ট প্রভাবন বলা হয়। যেমন, সোডিয়াম সালফাইট (Na₂SO₃) এর দ্রবণে O₂ গ্যাস চালনা করলে Na₂SO₃ জারিত হয়ে Na₂SO₄ উৎপন্ন হয়; কিন্তু অনুরূপ অবস্থায় সোডিয়াম আর্সেনাইট (Na₃AsO₃) অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয় না। অথচ সোডিয়াম সালফাইট ও আর্সেনাইটের মিশ্র দ্রবণে O₂ গ্যাস চালনা করলে উভয়েই জারিত হয়।

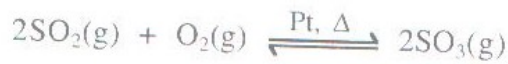


এক্ষেত্রে সোডিয়াম সালফাইটের প্রভাবে সোডিয়াম আর্সেনাইট জারিত হয়। তাই এক্ষেত্রে Na₂SO₃ হলো আবিষ্ট প্রভাবক।

প্রভাবক সহায়ক বা প্রভাবক প্রমোটার : যে সব রাসায়নিক পদার্থের উপস্থিতিতে বা প্রভাবে বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত কোনো প্রভাবকের প্রভাবন ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়, তাদেরকে প্রভাবক সহায়ক বা প্রমোটার বলে। যেমন, হেবার পদ্ধতিতে N₂ ও H₂ গ্যাস থেকে অ্যামোনিয়া (NH₃) উৎপাদনকালে লৌহচূর্ণ প্রভাবকের সাথে সামান্য পরিমাণে মলিবডেনাম ধাতুর (Mo) গুঁড়ো মিশানো হলে লৌহ প্রভাবকের প্রভাবন ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়। তাই এক্ষেত্রে Mo ধাতু হলো Fe প্রভাবকের সহায়ক বা প্রমোটার।



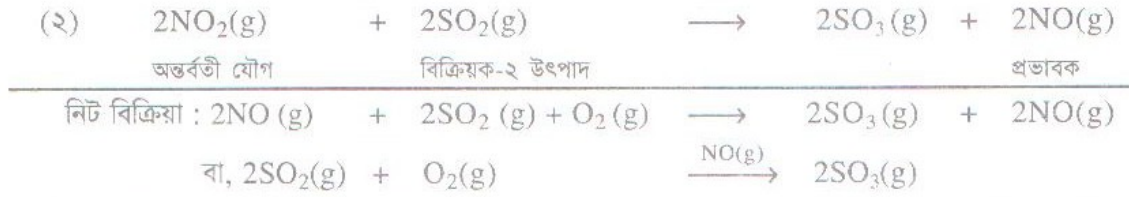
প্রভাবক বিষ : যে সব রাসায়নিক পদার্থের উপস্থিতিতে বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত কোনো প্রভাবকের প্রভাবন ক্রিয়া হ্রাসপ্রাপ্ত হয় অথবা একেবারে বন্ধ হয়ে যায়, তাদেরকে সংশ্লিষ্ট প্রভাবকের বিষ বলে। সাধারণত ধূলাবালি, সালফার গুঁড়া, আর্সেনিক অক্সাইড (As₂O₃) ইত্যাদি প্রভাবক বিষরূপে কাজ করে। স্পর্শ-পদ্ধতিতে SO₂ গ্যাস থেকে SO₃ গ্যাস উৎপাদনকালে SO₂ গ্যাসের সাথে সামান্য পরিমাণে আর্সেনিক অক্সাইড উপস্থিত থাকলে, তখন ঐ বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত প্রাটিনাম (Pt) প্রভাবকের প্রভাবন ক্রিয়াকে হ্রাস করে দেয়। অর্থাৎ এক্ষেত্রে As₂O₃ প্রভাবক বিষরূপে ক্রিয়া করে।



(খ) বিক্রিয়ক, উৎপাদক ও ব্যবহৃত প্রভাবকের ভৌত অবস্থাভিত্তিক প্রভাবকসমূহকে সমসত্ত্ব প্রভাবক ও অসমসত্ত্ব প্রভাবক এ দু'শ্রেণিতে ভাগ করা হয় :

১। সমসত্ত্ব প্রভাবন (Homogeneous Catalysis)

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



(খ) অসমসত্ত্ব প্রভাবনের ক্রিয়া কৌশল : অধিশোধনের মাধ্যমে প্রভাবন : অসমসত্ত্ব প্রভাবনের বেলায় অধিশোধন দ্বারা নিম্নোক্ত চার ধাপে প্রভাবন কৌশল শেষ হয়। সাধারণ বিক্রিয়া দ্বারা তা ব্যাখ্যা করা হলো।



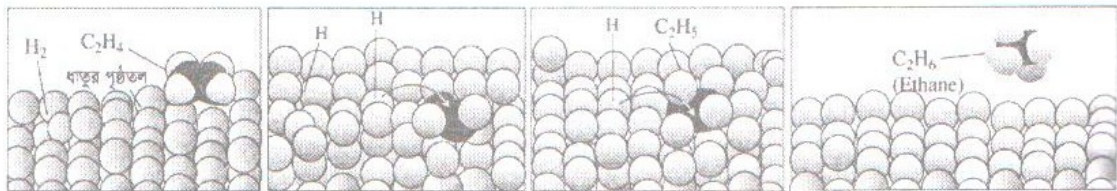
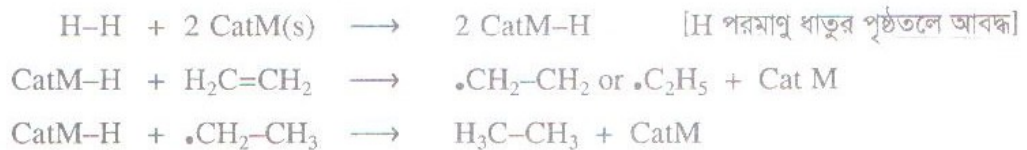
১ম ধাপ : গ্যাসীয় বিক্রিয়ক অণুগুলো (A_2 ও B_2) সঠিক স্থানিক বিন্যাস মতে প্রভাবক (CatM) এর পৃষ্ঠতলে অধিশোধিত হয়। অর্থাৎ ধাতুর খালি d অরবিটালের সাথে দুর্বল রাসায়নিক বন্ধনসহকারে এক-আণবিক স্তর সৃষ্টি করে।

২য় ধাপ : এ ধাপে অধিশোধিত অবস্থায় অণুর সমযোজী বন্ধন দুর্বল হয়ে পড়ে। সঠিক স্থানিক বিন্যাসের ফলে পাশাপাশি অণুর মধ্যে সার্থক সংঘর্ষ সংখ্যা বেড়ে যায় এবং নিম্নশক্তির সক্রিয়গত 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 পৃষ্ঠতল থেকে বিমুক্ত হয়।

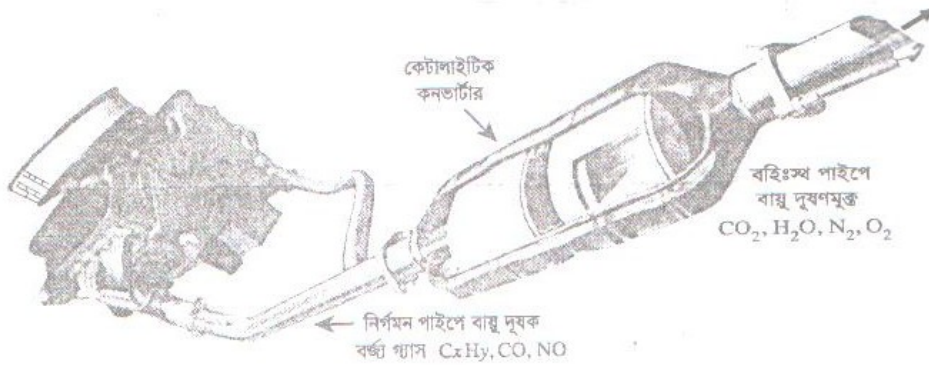
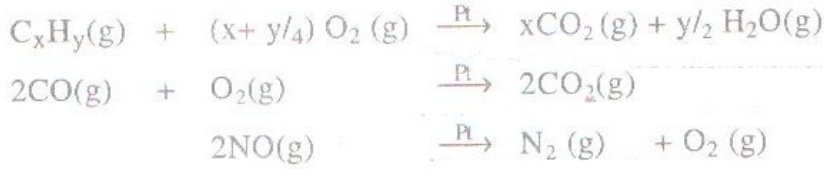
উদাহরণ : ফুড ইন্ডাস্ট্রিতে কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধন ($\text{C}=\text{C}$) যুক্ত অসম্পৃক্ত ভিজিটেবল অয়েল থেকে প্রভাবকীয় হাইড্রোজেনেশন প্রক্রিয়ায় কঠিন চবি বা মার্জারিন (কৃত্রিম মাখন) উৎপাদন করা হয়। এক্ষেত্রে প্রভাবকরূপে Ni অথবা Pt গুঁড়া ব্যবহৃত হয়। ($\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$) গ্যাসের হাইড্রোজেনেশন ও একই পদ্ধতিতে ঘটে। এসব ক্ষেত্রে ১ম ধাপে ধাতু তলদেশে বিক্রিয়ক অণুদ্বয় অধিশোধিত হয়। ২য় ধাপে H_2 অণুর সমযোজী বন্ধন H-H ভেঙ্গে নতুনভাবে হাইড্রোজেন পরমাণু ও ধাতুর পরমাণু (CatM) এর মধ্যে নিম্নশক্তির সক্রিয়গত CatM-H জটিল সৃষ্টি হয়। ৩য় ধাপে CatM-H জটিল অধিশোধিত $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$ এর একটি C-পরমাণুতে একটি H পরমাণু যোগান দেয় এবং ধাতব বন্ধনে আবদ্ধ C_2H_5 মূলক বা গ্রুপ সৃষ্টি হয়। এর পর ২য় H-পরমাণু একইভাবে যুক্ত হয়ে ইথেন অণু (C_2H_6) সৃষ্টি হয়। ৪র্থ ধাপে প্রভাবক পৃষ্ঠতল থেকে C_2H_6 অণু মুক্ত হয়।



চিত্র ৪.৭ : ইথিন গ্যাসের হাইড্রোজেনেশন-এর প্রস্তাবিত মেকানিজম

প্রভাবকের গুরুত্ব : (১) রাসায়নিক শিল্পে ও প্রাণরসায়নে প্রভাবকের ভূমিকার গুরুত্ব অপরিসীম। (২) প্রায় সব রাসায়নিক শিল্পে সম্ভাব্য কম তাপমাত্রায় কাজীকৃত শিল্পজাতক উৎপাদনে সহায়ক প্রভাবক ব্যবহৃত হয়; এতে উৎপাদন ব্যয় হ্রাস

পায়। (৩) পরিবেশ রসায়নে বায়ু দূষক সৃষ্টিতে NO গ্যাসের প্রভাবকীয় ভূমিকা আছে। কিন্তু অটোমোবাইল কেটালাইটিক কনভার্টারে ব্যবহৃত Pt ধাতুর ভূমিকা হলো বায়ু দূষণ প্রতিরোধক যোদ্ধারূপে। অটোমোবাইল ইঞ্জিনের নির্গমন পাইপের বর্জ্য গ্যাসে থাকে দহনমুক্ত হাইড্রোকার্বন (C_xH_y), CO, NO প্রভৃতি পরিবেশ দূষক গ্যাস। এক্ষেত্রে কেটালাইটিক কনভার্টার ঐ সব দূষক গ্যাসকে পানি, CO₂, N₂ ও O₂ গ্যাসে পরিণত করে।



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

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

সারণি ৪.৩ : বাণিজ্যিক শিল্পে অসমসত্ত্বীয় ও সমসত্ত্বীয় প্রভাবকের ব্যবহার :

V.V.I.

বিক্রিয়াসমূহ	ব্যবহৃত প্রভাবক	শিল্পে ধাপভিত্তিক ব্যবহার	কাজক্ষিত উৎপাদ ও ব্যবহার
(ক) অসমসত্ত্বীয় গ্যাসীয় : 1. $2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$ 2. $4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O$ 3. $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ 4. $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$	Pt বা V ₂ O ₅ Pt ও Rh Fe, K ₂ O ও Al ₂ O ₃ Ni	স্পর্শ পদ্ধতিতে H ₂ SO ₄ উৎপাদনে ২য় ধাপে। অসওয়াল্ড পদ্ধতিতে HNO ₃ উৎপাদনে ১ম ধাপে। হেবার পদ্ধতিতে NH ₃ উৎপাদনে। স্টিম-অ্যালকেন রিফরমিং পদ্ধতিতে H ₂ সংশ্লেষণ।	উৎপাদ H ₂ SO ₄ : বিভিন্ন কেমিক্যাল, রাসায়নিক সার, উৎপাদ HNO ₃ : বিস্ফোরক, সার, প্লাস্টিক, রঞ্জক ও বার্নিশ। উৎপাদ NH ₃ : সার ও HNO ₃ উৎপাদনে H ₂ গ্যাস: অ্যামোনিয়া, মিথানল উৎপাদন।
(খ) সমসত্ত্বীয় বিক্রিয়ায় : 1. প্রোপাইলিন, অক্সিডাইজার- 2. বিউটা-ডাই-ইন, HCN	Mo(VI) কমপ্লেক্স Ni/P যৌগ	প্রোপাইলিন অক্সাইড সংশ্লেষণ। এডিপোনাইট্রাইল	ব্যবহার: পলিএস্টার পলিইউরেথেন ফোম ব্যবহার: নাইলন, ফাইবার ও প্লাস্টিক উৎপাদন।

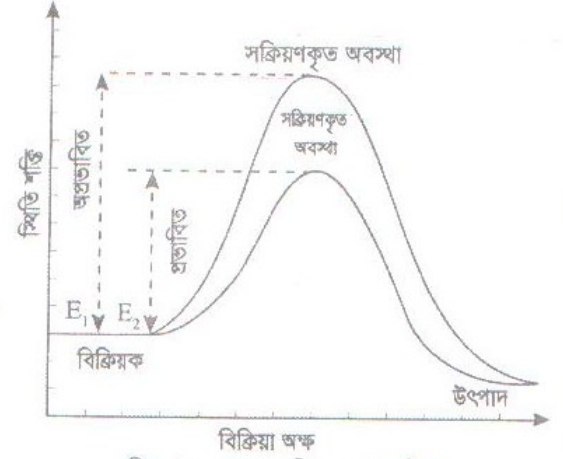


৪.৪.২ প্রভাবক দ্বারা প্রভাবিত বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি Activation Energy of Catalyzed Reaction

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 সরলতর 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 স্থিতিশক্তি বেশি, ফলে তা সৃষ্টি কষ্টকর। অপ্রভাবিত অবস্থায় বিক্রিয়কের প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রা বেশি হয়, এ কারণে বিক্রিয়া দ্রুত বেগে অনুষ্ঠিত হতে পারে না (চিত্র ৪.৯ দ্রষ্টব্য)।

অপরদিকে প্রভাবকসহকারে সামগ্রিক বিক্রিয়া তিন পথ ধরে সম্পন্ন হয়। এ পথে যে সক্রিয়ণকৃত অবস্থার সৃষ্টি হয়, তার স্থিতিশক্তি অপ্রভাবিত অবস্থার তুলনায় কম। অর্থাৎ প্রভাবকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়কের প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রা পূর্বের তুলনায় কম; এ কারণে বিক্রিয়া দ্রুততর বেগে সম্পন্ন হয়।



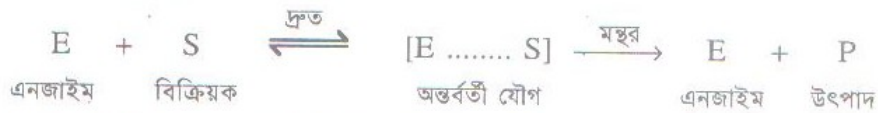
চিত্র ৪.৯ : অপ্রভাবিত ও প্রভাবিত বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রা।

৪.৪.৩ জৈব প্রভাবক এনজাইম

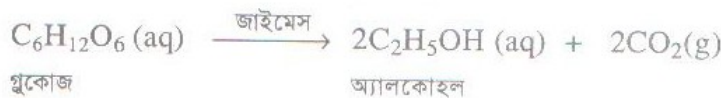
Bio-catalyst Enzyme

প্রাণিদেহে শত সহস্র রাসায়নিক বিক্রিয়া 'এনজাইম' নামক বৃহৎ প্রোটিন অণুর প্রভাবকীয় ক্রিয়া দ্বারা সংঘটিত হয়। এনজাইম হচ্ছে জীবন্ত 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।

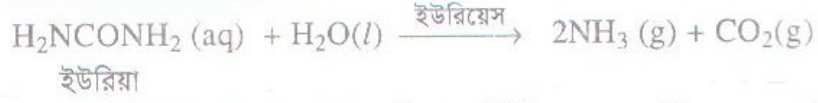
এনজাইমের ক্রিয়াকৌশল : এনজাইমরূপী বর্তুলাকার বা টারসিয়ারি প্রোটিন অণুর (E) বিভিন্ন ভাঁজের মধ্যে কতগুলো 'সক্রিয় স্থান' আছে। ঐ স্থানগুলোর জন্যই এনজাইম প্রভাবন ক্ষমতা ধারণ করে। এসব সক্রিয় স্থানে বিক্রিয়ক অণুগুলো (S) খুবই নিকটে এসে সহজে অস্থায়ী অন্তর্বর্তী যৌগ (E-S) গঠন করতে পারে এবং পরে বিযোজিত হয়ে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



(i) স্ট্রি নামক উদ্ভিদকোষ থেকে নিঃসৃত জাইমেস এনজাইম গ্লুকোজকে বিযোজিত করে অ্যালকোহল ও CO₂ গ্যাসে পরিণত করে।



(ii) সয়াবিনে উপস্থিত ইউরিয়াস্ এনজাইম ইউরিয়াকে বিয়োজিত করে NH₃ ও CO₂- এ পরিণত করে।



এনজাইমের বৈশিষ্ট্য : (১) প্রত্যেক এনজাইমের প্রভাবন ক্রিয়া সুনির্দিষ্ট। যেমন জাইমেস এনজাইম শুধু গ্লুকোজের বিয়োজনকে প্রভাবিত করে। (২) অত্যধিক কার্যকারিতা এনজাইমের অন্যতম প্রধান বৈশিষ্ট্য। যেমন এক অণু অ্যান্‌হাইড্রোজ এনজাইম এক মিনিটে কার্বনিক এসিড (H₂CO₃) এর 360 লক্ষ অণুকে বিয়োজিত করে। (৩) প্রভাবন ক্রিয়ার প্রধান শর্ত হলো তাপমাত্রা 37°C অথবা এর কাছাকাছি এবং PH এর মান 7এর কাছাকাছি থাকা প্রয়োজন।

শিক্ষার্থীর কাজ :

প্রশ্ন-৪.৩ : সমসত্ত্ব প্রভাবনের কৌশল ব্যাখ্যা কর।

[ব. বো. '১৫]

প্রশ্ন-৪.৪ : প্রভাবক কীরূপে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি করে?

[সি. বো. '১৫]

প্রশ্ন-৪.৫ : সক্রিয়ণ শক্তি বিক্রিয়ার হারকে প্রভাবিত করে। ব্যাখ্যা কর।

[য. বো. '১৫]

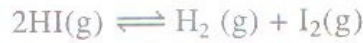
৪.৫ রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা Chemical Equilibrium

উভমুখী বিক্রিয়া কখনো শেষ হয় না; কোনো এক সময়ে সম্মুখমুখী ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার সমান হয়ে থাকে; এ অবস্থাকে রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা বলে।

যেমন, একটি আবদ্ধ পাত্রে তুল্য পরিমাণ হাইড্রোজেন ও গাঢ় বেগুনি বর্ণের আয়োডিন বাষ্প নিয়ে 450°C-এ রেখে দিলে হাইড্রোজেন ও আয়োডিন বিক্রিয়া করে 80% হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস উৎপন্ন করে এবং বিক্রিয়ক H₂ ও I₂ এর ঘনমাত্রা হ্রাস পেয়ে 20% হয়। ফলে মিশ্রণের বর্ণ হালকা বেগুনি হয়।

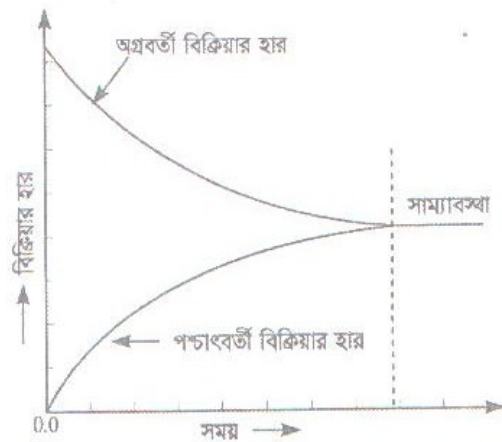


আবার নির্দিষ্ট পরিমাণ বর্ণহীন HI বদ্ধ পাত্রে নিয়ে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করে পূর্বের মতো তাপমাত্রা 450°C-এ রাখা হয়। তখন কাচের বদ্ধ পাত্রে হালকা বেগুনি বর্ণ দেখা যায়। এক্ষেত্রে HI এর বিয়োজনে H₂ গ্যাস ও I₂ বাষ্প উৎপন্ন হয়েছে। পূর্বের মতো এটিও একটি উভমুখী বিক্রিয়া।



ব্যাখ্যা : এক্ষেত্রে প্রথম পরীক্ষায় H₂ গ্যাস ও বাদামি I₂ বাষ্পকে বদ্ধপাত্রে উত্তপ্ত করার সময় বিক্রিয়া শুরু প্রাথমিক অবস্থায় HI থাকে না। এ সময় বাদামি I₂ এর ঘনমাত্রা H₂ গ্যাসসহ সবচেয়ে বেশি থাকে। ঘনমাত্রা বেশি থাকায় বিক্রিয়াটি সম্মুখদিকে প্রবলভাবে ঘটে। HI উৎপন্ন হয়ে এটির ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পেলে ঐ তাপমাত্রায় HI এর বিয়োজন ঘটতে থাকে, অর্থাৎ পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়া শুরু হয়। বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হ্রাসের ফলে সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হার হ্রাস পায়। অপরদিকে উৎপাদ HI এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধির ফলে পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি পায় উভয়দিকের বিক্রিয়ার হার যখন সমান হয়, তখন মিশ্রণটির বর্ণ হালকা বেগুনি হয় এবং বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা নির্দেশ করে।

একইভাবে দ্বিতীয় পরীক্ষায় তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে HI এর বিয়োজন সম্মুখদিকে দ্রুতগতিতে ঘটে; হালকা বেগুনি বাষ্প দেখা দেয়। এ সময় I₂ বাষ্প উৎপন্ন হয়েছে বোঝায়। এ অবস্থায় H₂ ও I₂ এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পেলে তখন পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ায় পুনরায় HI উৎপন্ন হতে থাকে। গ্যাস মিশ্রণের বর্ণ পূর্বের মতো হালকা বেগুনি অবস্থায় পরিবর্তিত থাকলে এক্ষেত্রেও পূর্বের মতো সাম্যাবস্থা নির্দেশ করে। মোলার ঘনমাত্রা গণনায় প্রমাণিত হয়েছে সাম্য মিশ্রণে 80% HI এবং 20% H₂ ও I₂ মিশ্রণ থাকে।



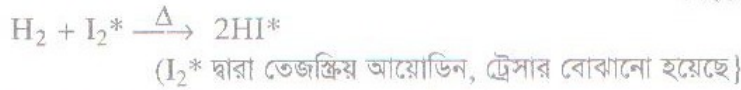
চিত্র ৪.১০ : সাম্যাবস্থায় H₂ ও I₂ থেকে HI এর সৃষ্টি এবং HI এর বিয়োজন থেকে H₂ ও I₂ এর সৃষ্টি সমহারে চলে।

৪.৫.১ সাম্যাবস্থার গতিশীলতা বা চলমান প্রকৃতি Dynamic Nature of Equilibrium

উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা একটি গতিশীল অবস্থা, স্থিতাবস্থা নয়। বর্তমানে বহু বিক্রিয়ায় ট্রেসার বা শনাক্তকারী হিসেবে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ ব্যবহার করে সাম্যাবস্থার চলমান প্রকৃতির প্রমাণ পাওয়া গেছে। নিম্নে এরূপ একটি পরীক্ষা দেওয়া হলো।

সাম্যাবস্থার চলমান প্রকৃতির প্রমাণ : আবদ্ধপাত্রে H_2 ও I_2 এর একটি মিশ্রণ নিয়ে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় দীর্ঘকাল রেখে দিলে, প্রথমদিকে H_2 ও I_2 দ্রুতহারে বিক্রিয়া করে HI উৎপন্ন করে। পরে এ সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হার কমতে থাকে এবং পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার অর্থাৎ HI এর বিয়োজন হার বাড়তে থাকে। একসময় মনে হয় বিক্রিয়াটি বন্ধ হয়ে গেছে প্রকৃতপক্ষে তখন সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয়েছে। উভয়দিকে সমান হারে উভয় বিক্রিয়া সংঘটিত হচ্ছে।

সাম্যাবস্থা অর্জনের পরে ট্রেসার হিসেবে অল্প পরিমাণ তেজস্ক্রিয় আয়োডিন $^{128}_{53}I_2$ পাত্রে প্রবেশ করানো হয়, তখন সাম্যাবস্থার বিশেষ কোনো পরিবর্তন হয় না, অর্থাৎ H_2 , I_2 ও HI এর পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকে। কিন্তু দেখা যায় যে, সাম্যাবস্থায় প্রথমদিকে সব HI-অণুর মধ্যে আয়োডিন পরমাণু অতেজস্ক্রিয় থাকলেও পরে কিছু HI-অণুর আয়োডিন তেজস্ক্রিয় হয় এবং এ ধরনের HI-এর পরিমাণ ক্রমশ বাড়তে বাড়তে একসময় একটি নির্দিষ্ট পরিমাণে পৌঁছায়। এ থেকে বোঝা যায় যে, সাম্যাবস্থা অর্জনের পর তেজস্ক্রিয় আয়োডিনের প্রবেশের ফলে নিম্নোক্ত বিক্রিয়া চলেছে :



যেহেতু HI এর সর্বমোট পরিমাণ (প্রায় ৪০%) অপরিবর্তিত থাকছে, সেহেতু তেজস্ক্রিয় HI^* উৎপন্ন হওয়ার সমান একই সাথে কিছু অতেজস্ক্রিয় HI-অণু বিয়োজিত হয়েছে। এ থেকে প্রমাণিত হয় যে, সাম্যাবস্থা অর্জনের পরেও সম্মুখমুখী ও পশ্চাৎমুখী উভয় বিক্রিয়া সমান হারে চলতে থাকে, তবে দুটি বিক্রিয়ার গতিবেগ সমান হওয়ায় তা বোঝা যায় না।

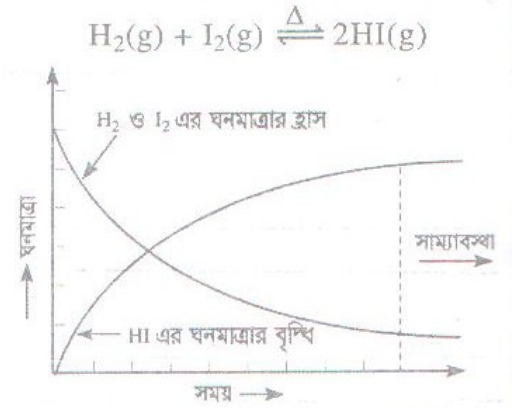


৪.৫.২ রাসায়নিক সাম্যাবস্থার শর্ত বা বৈশিষ্ট্য Characteristics of Chemical Equilibrium

রাসায়নিক সাম্যের বা সাম্যাবস্থার নিম্নোক্ত চারটি আবশ্যিকীয় বৈশিষ্ট্য বা শর্ত আছে। যেমন,

- | | |
|----------------------------|--|
| (ক) সাম্যের স্থায়িত্ব | (Stability of equilibrium) |
| (খ) উভয়দিক থেকে সুগম্যতা | (Easy approachability from both sides) |
| (গ) বিক্রিয়ার অসম্পূর্ণতা | (Incompleteness of reaction) |
| (ঘ) প্রভাবকের ভূমিকাহীনতা | (Ineffectiveness of catalysis) |

(ক) সাম্যের স্থায়িত্ব : কোন প্রক্রিয়া একবার সাম্যে পৌঁছালে তা চিরকাল একই অবস্থায় থাকবে, যদি কোন বাহ্যিক অবস্থার (চাপ, তাপমাত্রা ও ঘনমাত্রা) কোন পরিবর্তন ঘটানো না হয়। উদাহরণস্বরূপ এক মোল ইথানোয়িক এসিড ও এক মোল ইথানল নিয়ে $100^\circ C$ তাপমাত্রায় বিক্রিয়া ঘটালে সাম্যাবস্থায় পৌঁছার পরে উভয় বিক্রিয়কের ০.৬৬৭ অংশ বিক্রিয়া করে ০.৬৬৭ মোল ইথাইল ইথানোয়েট উৎপন্ন করে। অর্থাৎ $100^\circ C$ তাপমাত্রায় সাম্যাবস্থায় ০.৩৩৩ মোল ইথানোয়িক এসিড ও ০.৩৩৩ মোল ইথানল, ০.৬৬৭ মোল পানি ও ০.৬৬৭ মোল ইথাইল ইথানোয়েট মিশ্রণে থাকে।



চিত্র ৪.১১ : সাম্যাবস্থায় অগ্রবর্তী ও পশ্চাৎবর্তী উভয় বিক্রিয়া সমহারে চলমান প্রকৃতির।

	$\text{CH}_3\text{COOH(l)}$	+	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH(l)}$	\rightleftharpoons	$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5(l)$	+	$\text{H}_2\text{O(l)}$
	ইথানোয়িক এসিড		ইথানল		ইথাইল ইথানোয়েট		
প্রাথমিক অবস্থায় :	1 mol		1 mol	\rightleftharpoons	0 mol		0 mol
সাম্যাবস্থায় :	0.333 mol		0.333 mol		0.667 mol		0.667 mol

এ সাম্যাবস্থা অর্জনের পর একই তাপমাত্রায় বহুদিন রেখে দিলেও এ পরিমাণসমূহে কোন পরিবর্তন হয় না।

(খ) উভয়দিক থেকে সুগম্যতা : প্রকৃত সাম্যের এমন বৈশিষ্ট্য থাকে যে, বিক্রিয়ার উভয়দিক থেকে সাম্যাবস্থায় পৌঁছানো সম্ভব। তবে সাম্যাবস্থা নির্ধারণকারী বাহ্যিক অবস্থাগুলো অপরিবর্তনীয় থাকা প্রয়োজন।

যেমন, $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$

একই অবস্থায় এক আয়তন N_2 ও তিন আয়তন H_2 গ্যাস নিয়ে সেখানে বিদ্যুৎ স্কুলিঙ্গ ঘটালে মাত্র 7% গ্যাস মিশ্রণ অ্যামোনিয়া গ্যাসে পরিণত হয়; বাকি 93% গ্যাসই নাইট্রোজেন N_2 ও H_2 হিসেবে থেকে যায়। অন্যদিকে NH_3 গ্যাসের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ স্কুলিঙ্গ ঘটালে শুধু 7% NH_3 গ্যাস ছাড়া বাকি 93% NH_3 গ্যাস বিয়োজিত হয়ে N_2 ও H_2 গ্যাসে পরিণত হয়। সুতরাং এতে প্রমাণিত হয় যে, উপরিউক্ত বিক্রিয়াটি যে কোন দিক থেকে শুরু করে একই সাম্যাবস্থায় পৌঁছানো যায়।

(গ) বিক্রিয়ার অসম্পূর্ণতা : প্রকৃত সাম্যের অন্যতম বৈশিষ্ট্য হলো বিক্রিয়ার অসম্পূর্ণতা। সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদ উভয়ই থাকে। সাম্যাক্ষের মান থেকেই তা উপরকি করা যায়। কোন বিক্রিয়া সম্পূর্ণ হলো সাম্যাক্ষের মান (K_{eq}) শূন্য অথবা অসীম হতো। যেহেতু সাম্যাক্ষের মান ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র বা অতি বৃহৎ হতে পারে, কিন্তু শূন্য বা অসীম হয় না; সুতরাং বলা যায়, একটি উভমুখী বিক্রিয়া কখনও সমাপ্ত হয় না।

$$\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}; \therefore K_{eq} = \frac{[\text{C}] \times [\text{D}]}{[\text{A}] \times [\text{B}]}$$

(ঘ) প্রভাবকের ভূমিকাহীনতা : রাসায়নিক সাম্যাবস্থার উপর প্রভাবকের কোন ভূমিকা নেই। প্রভাবক উভয় দিকের বিক্রিয়াকে সমানুপাতিকভাবে দ্রুততর করে অর্থাৎ কম সময়ে সাম্যাবস্থায় দ্রুত উপনীত হতে সহায়তা করে, এর ফলে সাম্যাবস্থার কোনো পরিবর্তন হয় না। বিক্রিয়ক ও উৎপাদের কোনটিরও ঘনমাত্রার পরিবর্তন ঘটে না।

শিক্ষার্থীরা জেনে রাখো সাম্যাবস্থা চিহ্নিত করার উপায়

কোনো উভমুখী বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় স্থিত হয়েছে কিনা তা জানার উপায় হচ্ছে : (১) বিক্রিয়ক ও উৎপাদের বর্ণ পরিবর্তনের স্থিত অবস্থা, (২) অধঃক্ষেপের বর্ণের গাঢ়তা স্থিরকরণ, (৩) বিক্রিয়ার উভয় দিকের গতি নির্ণয়। যেমন, নাইট্রোজেন টেট্রাঅক্সাইড (N_2O_4) এর তাপীয় বিয়োজন একটি উভমুখী বিক্রিয়া। N_2O_4 বর্ণহীন; কিন্তু উৎপন্ন নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড (NO_2) বাদামি গ্যাস। প্রাথমিক অবস্থায় যখন বিক্রিয়াটি শুরু হওয়ার পথে তখন আবদ্ধ কাচপাত্রে বর্ণহীন N_2O_4 থাকে। কিছু সময় পর দেখা যায় কাচপাত্রের ভিতর হালকা বাদামি গ্যাস। আরও কিছু সময় পর গাঢ় বাদামি এবং আর বর্ণের পরিবর্তন হচ্ছে না। এক্ষেত্রে গাঢ় বাদামি বর্ণের স্থিরতা বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থা নির্দেশ করছে।



উল্লেখ্য সাম্যাবস্থায়, উৎপাদ NO_2 এর মোলার ঘনমাত্রার বর্গ ও বিক্রিয়ক N_2O_4 এর মোলার ঘনমাত্রার অনুপাতকে সাম্যক্রেবক (K_c) বলে। বিক্রিয়া শুরুর পর যে কোনো সময়ে পূর্বরূপ উৎপাদ ও বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাতকে বিক্রিয়া অনুপাত (Q_c) বা reaction quotient বলে। সাম্যাবস্থায়, $Q_c = K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$ হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ :

প্রশ্ন-৪.৬ : রাসায়নিক সাম্যাবস্থা গতিশীল; -ব্যাখ্যা কর।

[চ. বো. '২০১৫]

প্রশ্ন-৪.৭ : রাসায়নিক সাম্যাবস্থার গতিশীলতা বা চলমান প্রকৃতির প্রমাণের জন্য বাস্তব প্রমাণ উপস্থাপন কর।

৪.৬ লা-শাতেলিয়ারের নীতি Le-Chatelier's Principle

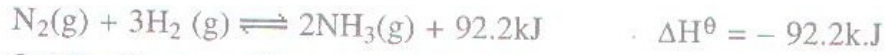
কোনো বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় পৌঁছানোর পর যদি বাহ্যিক অবস্থার পরিবর্তন করা না হয়, তবে সে সাম্যাবস্থা চিরকাল অপরিবর্তিত থাকবে। তাপমাত্রা, চাপ ও ঘনমাত্রা প্রভৃতি নিয়ামক (factor) সাম্যাবস্থা নিয়ন্ত্রণ করে। এসব নিয়ামকের যে কোনো একটি পরিবর্তন করলে বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার পরিবর্তন হয়, নতুন সাম্যাবস্থা গড়ে ওঠে অর্থাৎ বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রায় পরিবর্তন হয়। বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার ওপর এ সব নিয়ামক পরিবর্তনের ফলাফল লা-শাতেলিয়ারের নীতির সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। লা-শাতেলিয়ারের নীতিটি নিম্নরূপ :

কোনো উভমুখী বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় থাকাকালে যদি ঐ অবস্থার একটি নিয়ামক, যেমন তাপমাত্রা, চাপ অথবা ঘনমাত্রা পরিবর্তন করা হয়, তবে সাম্যের অবস্থান ডানে বা বামে এমনভাবে পরিবর্তিত হবে, যাতে নিয়ামক পরিবর্তনের ফলাফল প্রশমিত হয়। তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রেখে চাপ অথবা ঘনমাত্রার পরিবর্তন করলে সাম্যাবস্থার পরিবর্তন হয়, তবে সাম্যধ্রুবকের মানের পরিবর্তন হয় না। কিন্তু তাপমাত্রা পরিবর্তিত হলে সাম্যধ্রুবকের মানের পরিবর্তন ঘটে।

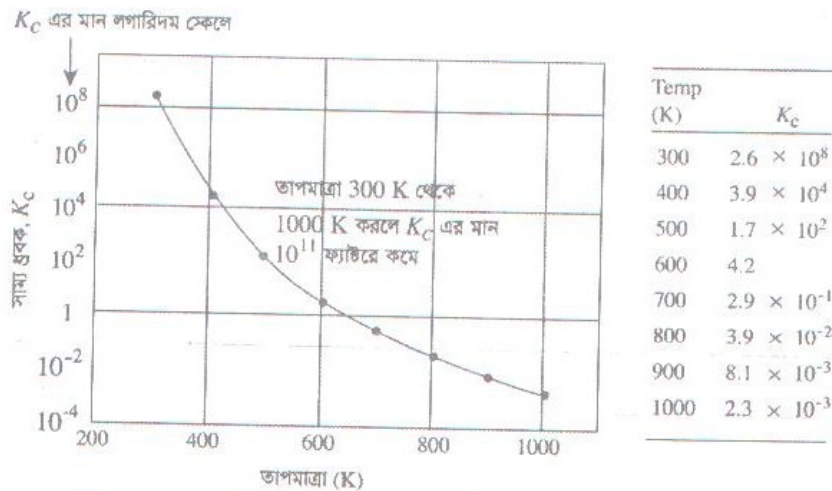
৪.৬.১ সাম্যাবস্থায় তাপমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাব

Effect of Temperature change on Equilibrium

সাম্যাবস্থা বিশৃঙ্খল বা নষ্ট করার তিনটি উপায় যেমন ঘনমাত্রা পরিবর্তন, চাপের পরিবর্তন অথবা তাপমাত্রার পরিবর্তন ইত্যাদির মধ্যে কেবল তাপমাত্রা পরিবর্তনই সাম্যধ্রুবকের মান পরিবর্তন করতে পারে। ঘনমাত্রা পরিবর্তন ও চাপের পরিবর্তন সাম্যাবস্থা পরিবর্তন করতে পারে; কিন্তু সে সব ক্ষেত্রে সাম্যধ্রুবকের মান স্থির থাকে। এর কারণ ব্যাখ্যার জন্য বিক্রিয়া তাপ (heat of reaction) গুরুত্ববহ। যেমন;



এক্ষেত্রে সম্মুখমুখী বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী (তাপ উৎপন্ন হয় $\Delta H^\theta < 0$); তাই পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়াটি তাপহারী (তাপ হ্রাস করে, $\Delta H^\theta > 0$ হওয়ার ব্যাপার)। সাম্যাবস্থার ক্ষেত্রে তাপ শক্তিকে একটি 'উপাদান' (component) হিসেবে গণ্য করা হয়। তখন তাপমাত্রা বৃদ্ধি বলতে তাপশক্তি 'যোগ করা' এবং তাপমাত্রা হ্রাস বলতে তাপশক্তি 'অপসারণ করা' বোঝায়। তাই ঘনমাত্রা ও চাপ পরিবর্তনের মতই তাপমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাব দূর করতে সাম্যাবস্থা ডানে বা বামে পরিবর্তিত হয়। চিত্র ৪.১২ থেকে তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া উৎপাদন ব্যাখ্যা করা হলো :



চিত্র ৪.১২ : অ্যামোনিয়া উৎপাদন বিক্রিয়ার K_c তাপমাত্রা নির্ভর।

নিম্নতাপমাত্রায়, সাম্য মিশ্রণে অধিক NH_3 থাকে, কারণ K_c এর মান বেশি যেমন 300K তাপমাত্রায় $K_c = 2.6 \times 10^8$ । কিন্তু উচ্চতাপমাত্রায়, K_c এর মান কম হয়; বিক্রিয়া বাম দিকে ঘটে। তখন N_2 ও H_2 মিশ্রণে বেশি থাকে। সাধারণভাবে, বিক্রিয়ার তাপ পরিবর্তন ΔH° এর ঋণাত্মক বা ধনাত্মক মানের ওপর সাম্যশ্রবক নির্ভর করে।

* তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায়, তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে মোলার সাম্য শ্রবক (K_c) এর মান হ্রাস পায়। $K_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2] \times [\text{H}_2]^3}$

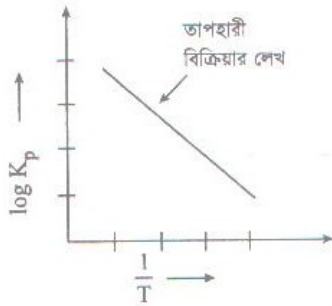
* তাপহারী বিক্রিয়ায়, তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে মোলার সাম্যশ্রবক (K_c) এর মান বৃদ্ধি পায়।

(ক) সাম্য শ্রবকের উপর তাপমাত্রার প্রভাব ব্যাখ্যায় ভ্যান্ট-হফ সমীকরণ : সাধারণত স্থির তাপমাত্রায় যেকোনো উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্য শ্রবক (K_c ও K_p) এর মান স্থির থাকে। কিন্তু তাপমাত্রা পরিবর্তন করলে সাম্যাবস্থার পরিবর্তনের মতো সাম্য শ্রবকের মানেরও পরিবর্তন ঘটে। তাপমাত্রার ওপর সাম্য শ্রবকের নির্ভরশীলতার ব্যাখ্যার জন্য বিজ্ঞানী ভ্যান্ট-হফ নিম্নোক্ত সমীকরণ উপস্থাপন করেন।

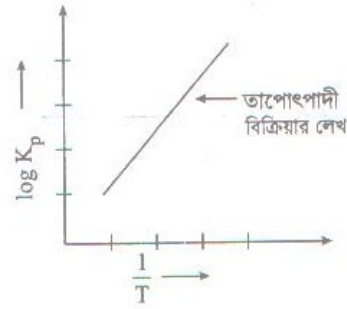
$$\log K_p = \frac{-\Delta H}{2.303R} \times \frac{1}{T} + \text{শ্রবক}$$

এখানে K_p হলো বিক্রিয়কের আংশিক চাপ; সাম্যশ্রবক,
 R = মোলার শ্রবক, T = কেলভিন তাপমাত্রা

এ ভ্যান্ট হফ সমীকরণটি সরলরেখার সাধারণ সমীকরণ $y = mx + c$ এর অনুরূপ। তাই $\log K_p$ বনাম $\frac{1}{T}$ দ্বারা অঙ্কিত লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হবে। তাপহারী বিক্রিয়া ও তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে লেখচিত্র ৪.১৩ (ক) ও ৪.১৩(খ) ভিন্ন ধরনের দুটি লেখচিত্র পাওয়া যায়।



চিত্র-৪.১৩ (ক) : তাপহারী বিক্রিয়ার $\log K_p$ বনাম $\frac{1}{T}$ লেখ



চিত্র-৪.১৩(খ) : তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার $\log K_p$ বনাম $\frac{1}{T}$ লেখ

(১) তাপহারী বিক্রিয়ার লেখ ৪.১৩(ক) থেকে বোঝা যায় যে, গ্যাসের তাপমাত্রা T বৃদ্ধি করলে তখন $\frac{1}{T}$ হ্রাস পায় (X অক্ষ বরাবর) এবং $\log K_p$ এর মানও সে অনুসারে বৃদ্ধি পায় (Y অক্ষ বরাবরে)। অর্থাৎ তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে তাপহারী বিক্রিয়ার সাম্যশ্রবক K_p এর মান বৃদ্ধি পায়।

তাপহারী বিক্রিয়ার এরূপ একটি উদাহরণ হলো N_2O_4 এর তাপীয় বিয়োজন। যেমন, $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \xrightarrow{\Delta} 2\text{NO}_2(\text{g})$ -তাপ এ বিয়োজন বিক্রিয়ার তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাম্য মিশ্রণে NO_2 গ্যাসের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। ফলে সাম্য শ্রবক K_p এর মানও বৃদ্ধি পায়।

$$K_p = \frac{P_{\text{NO}_2}}{P_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$

(২) তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার লেখ ৪.১৩(খ) থেকে বোঝা যায় যে, গ্যাসের তাপমাত্রা T বৃদ্ধি করলে তখন $\frac{1}{T}$ এর মান হ্রাস পায় (X অক্ষ বরাবর); এবং $\log K_p$ এর মানও হ্রাস পায় (Y অক্ষ বরাবর)। অর্থাৎ তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার সাম্যশ্রবক K_p এর মান হ্রাস পায়। এরূপ বিক্রিয়ার একটি উদাহরণ হলো N_2 ও H_2 থেকে NH_3 উৎপাদন; $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g}) + \text{তাপ}$

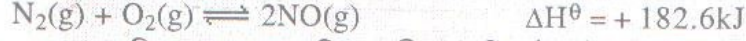
এক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে উৎপন্ন NH_3 বিয়োজিত হয়ে NH_3 উৎপাদন হ্রাস পায়। ফলে সাম্য শ্রবকের মানও হ্রাস পায়।

$$K_p = \frac{(P_{\text{NH}_3})^2}{P_{\text{N}_2} \times (P_{\text{H}_2})^3}$$

শিক্ষার্থী নিজে কর :

সমস্যা-৪.২২ : বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার ওপর প্রভাব সৃষ্টিকারী নিয়ামক কী কী এবং এদের কোনটির প্রভাব কীরূপ হয়ে থাকে? [অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-৪.২৩ : অটোমোবাইল ইঞ্জিনে উচ্চতাপমাত্রায় বাতাসের N_2 ও O_2 বিক্রিয়া করে বায়ু দূষক NO গ্যাস উৎপন্ন হয়।



তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে সাম্য মিশ্রণে NO এর পরিমাণে কীরূপ পরিবর্তন ঘটে?

সমস্যা-৪.২৪ : ফিংগার-নেইল পলিশ রিমুভাররূপে ব্যবহৃত ইথাইল অ্যাসিটেট প্রস্তুত করা হয় অ্যাসিটিক এসিড ও ইথানলের মধ্যে নিম্নরূপ বিক্রিয়া দ্বারা :



তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে ইথাইল অ্যাসিটেট উৎপাদন বৃদ্ধি বা হ্রাস পাবে কীনা? তাপমাত্রা হ্রাস করলে K_c এর কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে, তা লা-শাতেলিয়ার নীতি অনুসারে ব্যাখ্যা কর।

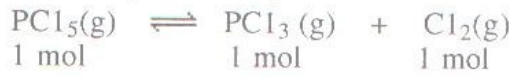
৪.৬.২ সাম্যাবস্থায় চাপের (আয়তনের) পরিবর্তনের প্রভাব

Effect of Pressure change on Equilibrium

কোনো গ্যাসীয় সিস্টেম সাম্যাবস্থায় থাকাকালে তার ওপর চাপ বাড়ালে অথবা চাপ কমালে তখন সাম্যাবস্থা এমনভাবে পরিবর্তিত হবে যাতে চাপ পরিবর্তনের প্রভাব প্রশমিত হয়। তবে-

(i) উৎপাদের মোল সংখ্যা বেশি হলে : যদি বিক্রিয়ক অপেক্ষা উৎপাদে গ্যাসীয় মোল সংখ্যা বেশি হয়, তখন আবদ্ধ পাত্রে একই আয়তনে চাপ বাড়ে। সে সব ক্ষেত্রে চাপ বৃদ্ধির ফলে উৎপাদন হ্রাস পায়। যেমন,

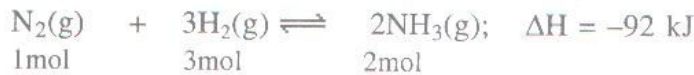
PCl_5 এর বিয়োজনের ক্ষেত্রে মোলসংখ্যা বাড়ে। অর্থাৎ গ্যাস মিশ্রণের মোলার আয়তন বাড়ে; সুতরাং আবদ্ধ পাত্রে একই আয়তনে এ বিক্রিয়ার ফলে গ্যাস মিশ্রণের চাপ বাড়ে।



লক্ষ কর, চাপ বাড়ালে গ্যাস মিশ্রণের আয়তন কমে, ঘনমাত্রা বাড়ে। আবার চাপ কমালে মিশ্রণের আয়তন বাড়ে, ঘনমাত্রা কমে। এখন বিক্রিয়া অনুপাত (বা reaction quotient), $Q_c = \frac{[PCl_3] \times [Cl_2]}{[PCl_5]}$ থেকে জানা যায়, যদি চাপ বাড়ার ফলে আয়তন অর্ধেক করা হয়; তখন ঘনমাত্রা দ্বিগুণ হয়। এক্ষেত্রে Q_c এর রাশিমালার 'লব' অংশে দুটি বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার গুণফল চারগুণ হয়; কিন্তু 'হর' অংশে ঘনমাত্রা দু'গুণ হয়। তখন $Q_c > K_c$ হয়। তাই Q_c এর মান হ্রাস করার জন্য PCl_5 এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করতে বিক্রিয়া বাম দিকে ঘটবে। সুতরাং এক্ষেত্রে চাপ বাড়ালে উৎপাদ হ্রাস পায়।

(ii) উৎপাদের মোল সংখ্যা কম হলে : যে বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক অপেক্ষা উৎপাদে গ্যাসীয় মোল সংখ্যা কম হয়, সেখানে চাপ বাড়ালে বিক্রিয়া সামনের দিকে অগ্রসর হবে। যেমন,

অ্যামোনিয়া সংশ্লেষণের ক্ষেত্রে বিক্রিয়ক অপেক্ষা উৎপাদের মোল সংখ্যা কম। ফলে আবদ্ধ পাত্রের একই আয়তনে গ্যাসের চাপ কমে। সুতরাং সাম্যাবস্থায় চাপ বাড়ালে অ্যামোনিয়ার উৎপাদন বাড়বে।



এখন সাম্যাবস্থার চাপ বৃদ্ধির প্রভাব লা-শাতেলিয়ারের নীতির আলোকে বিক্রিয়া অনুপাত (বা reaction quotient), Q_c এর সমীকরণ ও সাম্যধ্রুবক, K_c এর সাহায্যে ব্যাখ্যা করা হলো। মনে করি 700K তাপমাত্রায় সাম্যমিশ্রণে 0.5M N_2 , 3.0M H_2 এবং 1.98M NH_3 আছে।

$$\therefore Q_c = \frac{[NH_3]_t^2}{[N_2]_t \times [H_2]_t^3} = \frac{(1.98)^2}{(0.5) \times (3.0)^3} = 0.29 = K_c$$

MCQ-4.6 : কোনটি সাম্যাবস্থার বৈশিষ্ট্য নয়?

- (ক) সাম্যের স্থায়িত্ব (খ) উভয় দিকে সুগম্যতা
(গ) বিক্রিয়ার হার (ঘ) বিক্রিয়ার অসম্পূর্ণতা

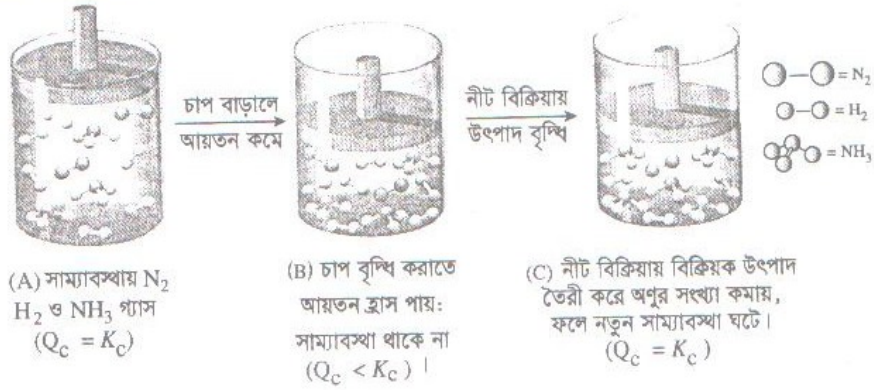
এ সাম্যাবস্থাকে বিশৃঙ্খল বা নষ্ট করার জন্য চাপ বৃদ্ধি করে আয়তন অর্ধেক করা হলো;

তখন প্রতিটি উপাদানের ঘনমাত্রা দ্বিগুণ হয়। $[\text{NH}_3]_t = 1.98 \times 2 = 3.96$,

$[\text{N}_2]_t = 0.5 \times 2 = 1.0$, $[\text{H}_2]_t = 3.0 \times 2 = 6.0$ হয়। এসব মান Q_c এর সমীকরণে বসিয়ে পাই :

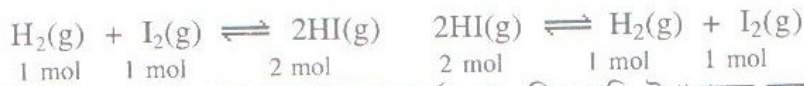
$$Q_c = \frac{[\text{NH}_3]_t^2}{[\text{N}_2]_t \times [\text{H}_2]_t^3} = \frac{(3.96)^2}{(1.0) \times (6.0)^3} = 0.0726 < K_c$$

তাই Q_c এর মান বৃদ্ধির জন্য বিক্রিয়া ডানদিকে অগ্রসর হয়ে অধিক NH_3 উৎপন্ন হয়। অ্যামোনিয়া সংশ্লেষণে উচ্চচাপ 130 – 300 atm প্রয়োগ করে সম্ভাব্য অধিক পরিমাণ NH_3 উৎপাদন করা হয়।



চিত্র ৪.১৪ : অ্যামোনিয়া উৎপাদনের বেলায় চাপ বৃদ্ধিতে উৎপাদন বৃদ্ধি।

(iii) বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মোল সংখ্যা সমান হলে : যে সব গ্যাসীয় বিক্রিয়ার উভয় দিকে বিক্রিয়ক ও উৎপাদ এর মোল সংখ্যা সমান থাকে, তাদের ক্ষেত্রে চাপের কোনো প্রভাব নেই। যেমন, HI প্রস্তুতকরণ বা HI-এর বিয়োজন উভমুখী বিক্রিয়াটিতে বিক্রিয়কের ও উৎপাদের মোল-সংখ্যা সমান থাকে।

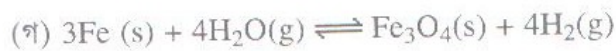
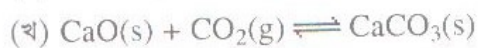


এক্ষেত্রে চাপ দ্বিগুণ করলে গ্যাস মিশ্রণের আয়তন অর্ধেক হয়; কিন্তু প্রতি উপাদানের ঘনমাত্রা দ্বিগুণ হয়। Q_c এর রাশিমালার ক্ষেত্রে 'লব' ও 'হর' উভয় দিকে দুটি করে পদ থাকায় উভয়ের অনুপাত অর্থাৎ Q_c এর মান অপরিবর্তিত থাকে। তাই এক্ষেত্রে চাপের কোনো প্রভাব পড়ে না।

$$Q_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2] \times [\text{I}_2]} = \frac{[\text{HI}] \times [\text{HI}]}{[\text{H}_2] \times [\text{I}_2]} ; Q_c = \frac{[\text{H}_2] \times [\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} = \frac{[\text{H}_2] \times [\text{I}_2]}{[\text{HI}] \times [\text{HI}]}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৮ : সাম্যাবস্থায় চাপের প্রভাব সম্পর্কীয় :

নিম্নোক্ত রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় চাপ হ্রাস করে গ্যাসীয় আয়তন বৃদ্ধি করলে বিক্রিয়া মিশ্রণে উৎপাদের মোল সংখ্যা বৃদ্ধি, হ্রাস অথবা একই থাকবে কীনা যুক্তি দেখাও :



দক্ষতা : লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে, সাম্যাবস্থায় গ্যাস মিশ্রণের চাপ হ্রাসের ফলে বিক্রিয়ার গতি সে দিকে যাবে, যেন গ্যাসীয় মোল সংখ্যা বৃদ্ধি পায়।

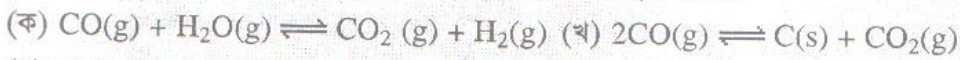
সমাধান : (ক) এক্ষেত্রে 1 mol বিক্রিয়ক গ্যাস বিয়োজনে 2 mol উৎপাদ গ্যাস উৎপন্ন হয়; তাই চাপ হ্রাসের প্রভাব বা আয়তন বৃদ্ধির প্রভাব দূর করতে উৎপাদের যেমন PCl_3 ও Cl_2 এর মোল সংখ্যা বৃদ্ধি পাবে।

(খ) এক্ষেত্রে সমতায়ুক্ত সমীকরণ মতে কেবল 1 mol গ্যাসীয় বিক্রিয়ক আছে; কোনো উৎপাদ গ্যাস নয়। তাই চাপ হ্রাসের প্রভাব বা আয়তন বৃদ্ধির প্রভাব দূর করতে উৎপাদ থেকে বিক্রিয়ক গ্যাস উৎপন্ন হবে। ফলে উৎপাদ $CaCO_3$ এর মোল সংখ্যা হ্রাস পাবে।

(গ) এক্ষেত্রে সমতায়ুক্ত সমীকরণ মতে বিক্রিয়ক ও উৎপাদ উভয় ক্ষেত্রে 2 mol গ্যাসীয় পদার্থ আছে; তাই চাপের হ্রাসের ফলে সাম্যমিশ্রণে মোল সংখ্যার কোনো পরিবর্তন ঘটবে না; একই থাকবে।

শিক্ষার্থী নিজে কর :

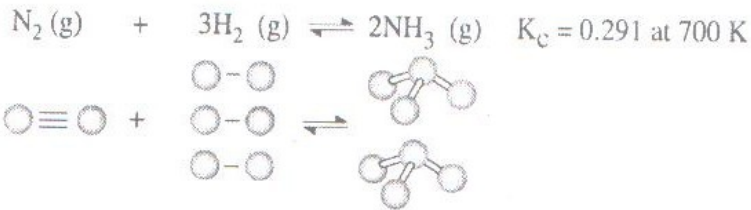
সমস্যা- 8.২৫ : নিম্নোক্ত রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় চাপ বৃদ্ধি করে গ্যাসীয় আয়তন হ্রাস করলে বিক্রিয়া মিশ্রণে প্রতিক্ষেত্রে উৎপাদের মোল সংখ্যা বৃদ্ধি, হ্রাস বা একই থাকবে কিনা যুক্তি দেখাও :



8.৬.৩ সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাব

Effect of Concentration change on Equilibrium

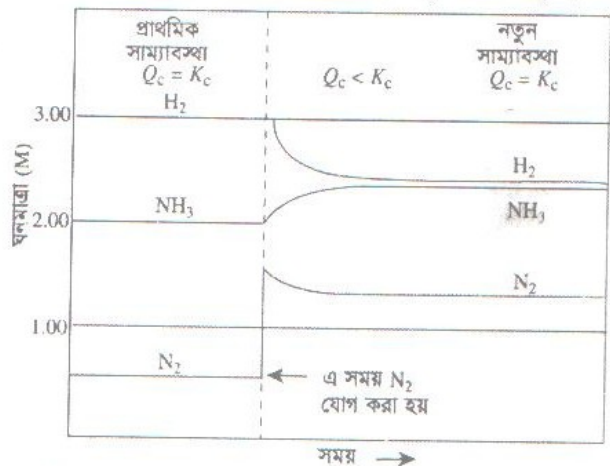
গ্যাসীয় সাম্যাবস্থায় N_2 গ্যাস ও H_2 গ্যাস থেকে হেবার পদ্ধতিতে NH_3 উৎপাদনের ক্ষেত্রে ঘনমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাব আলোচনা করা যাক :



চিত্র 8.১৫ : NH_3 সংশ্লেষণে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের আণবিক মডেল সমীকরণ

মনে করি, 700K (427°C) তাপমাত্রায়, এ বিক্রিয়ার সাম্যমিশ্রণে 0.5 M N_2 , 3.0 M H_2 ও 1.98 M NH_3 গ্যাস আছে। এখন ঐ সাম্যাবস্থা বিশৃঙ্খল বা নষ্ট করার জন্য N_2 এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করে 1.5M করা হলো। এখন লা-শাতেলিয়রের নীতি কী বলে? এ নীতি অনুসারে N_2 এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধিজনিত চাপ বা পীড়ন (stress) থেকে উপশমের জন্য কিছু N_2 গ্যাস H_2 গ্যাসসহ বিক্রিয়া করে আরো NH_3 গ্যাস উৎপন্ন করবে। তখন NH_3 এর পরিমাণ বাড়বে, N_2 ও H_2 এর পরিমাণ কমবে। চিত্র 8.১৬ থেকে তা সুস্পষ্ট হবে। সাধারণভাবে সাম্যমিশ্রণে কোনো বিক্রিয়ক বা উৎপাদ যুক্ত বা অপসারণ করলে সাম্যাবস্থা ডানে বা বামে দিক পরিবর্তন করে ঘনমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাব হ্রাস করবে।

N_2 ও H_2 এর ঘনমাত্রা কমেছে, NH_3 ঘনমাত্রা বেড়েছে



চিত্র 8.১৬ : সাম্যমিশ্রণে N_2 উপাদান যোগ করার পর সাম্য মিশ্রণে N_2 , H_2 , NH_3 এর ঘনমাত্রার পরিবর্তন।

* ঘনমাত্রার বৃদ্ধি ঘটলে, সিস্টেম বিক্রিয়া দ্বারা যুক্ত উপাদান কিছু হ্রাস করবে।

* ঘনমাত্রার হ্রাস ঘটলে, সিস্টেম বিক্রিয়া দ্বারা হ্রাসকৃত উপাদান কিছু বৃদ্ধি করবে।

এখন আমরা লা-শাতেলিয়ারের নীতির কার্যকারিতা বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবকের সহযোগে জানতে চেষ্টা করবো। বিক্রিয়ার তাপমাত্রায় (700K) প্রাথমিক সাম্যমিশ্রণে 0.50M N₂ গ্যাস, 3.0M H₂ গ্যাস ও 1.98M NH₃ গ্যাস সহযোগে বিক্রিয়া অনুপাত (বা reaction quotient), Q_c এর সমীকরণ ও সাম্যধ্রুবক K_c এর মান থেকে পাই;

$$Q_c = \frac{[\text{NH}_3]_t^2}{[\text{N}_2]_t \times [\text{H}_2]_t^3} = \frac{(1.98)^2}{(0.50)(3.0)^3} = 0.29 = K_c$$

যখন সাম্যাবস্থাকে বিশৃঙ্খল বা নষ্ট করার জন্য N₂ এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করে 1.5M করা হয়, তখন সাম্যধ্রুবক সমীকরণের 'হর' অংশের মান বৃদ্ধি পায়; ফলে Q_c এর মান হ্রাস পেয়ে K_c মান কম হয়।

$$Q_c = \frac{[\text{NH}_3]_t^2}{[\text{N}_2]_t \times [\text{H}_2]_t^3} = \frac{(1.98)^2}{(1.50) \times (3.0)^3} = 0.0968 < K_c$$

তাই নতুনভাবে সাম্যাবস্থা অর্জনের জন্য Q_c এর মান বৃদ্ধি করতে সাম্যধ্রুবকের সমীকরণের ডানদিকের অনুপাত রাশিতে 'হর' এর মান হ্রাস ও 'লব' এর মান বৃদ্ধি করতে হবে। এ জন্য কিছু N₂ ও H₂ কে NH₃ গ্যাসে পরিবর্তন করতে হয়। এটিই লা-শাতেলিয়ারের নীতির কথা। নতুন সাম্যাবস্থা লাভের পর (চিত্র ৪.১০ দেখ) সাম্যমিশ্রণের ঘনমাত্রায় 1.31 M N₂, 2.43 M H₂ ও 2.36M NH₃ থাকে। তখন Q_c ও K_c সমান হয়।

$$Q_c = \frac{[\text{NH}_3]_t^2}{[\text{N}_2]_t \times [\text{H}_2]_t^3} = \frac{(2.36)^2}{(1.31)(2.43)^3} = 0.296 = K_c$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৯ : সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাব

কয়লা ও প্রাকৃতিক গ্যাসে মিশে থাকা H₂S কে বায়ু সহযোগে জারিত করে প্রয়োজনীয় সালফার সংগ্রহ ও বায়ুদূষণ রোধ করা হয় :



কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে - (ক) O₂ যোগ করার পর [H₂O] এর; (খ) O₂ যোগ করার পর [H₂S] এর, (গ) H₂S এর অপসারণের পর [O₂] এর; (ঘ) S গুঁড়া যোগ করার পর [H₂S] এর ?

দক্ষতা : বিক্রিয়া অনুপাত (বা reaction quotient), Q_c বিবেচনা করে প্রতিটি পরিবর্তনের পর Q_c এর কী পরিবর্তন হবে এবং K_c এর সাথে কীরূপ পার্থক্য হয়, তা জানা যাবে। তা থেকে সাম্যাবস্থা কী ডান বা বাম কোন দিকে অগ্রসর হয়ে নতুন সাম্যাবস্থা অর্জন এবং প্রত্যেকের ঘনমাত্রা পরিবর্তন উভয়ই জানা যাবে।

সমাধান : বিক্রিয়া অনুপাত (বা reaction quotient), $Q_c = \frac{[\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{H}_2\text{S}]^2 \times [\text{O}_2]}$

(ক) মিশ্রণে O₂ যোগ করলে, Q_c এর হরের মান বাড়ে; তখন Q_c < K_c হবে। তাই সাম্যাবস্থা লাভের জন্য বিক্রিয়া ডান দিকে ঘটবে এবং [H₂O] বাড়বে।

(খ) যেহেতু O₂ যোগ করলে, Q_c < K_c হয়; তখন কিছু H₂S ঐ যোগ করা O₂ এর সাথে বিক্রিয়া করে, তখন সাম্যাবস্থা ডানদিকে অগ্রসর হবে এবং [H₂S] কমবে।

(গ) H₂S অপসারণের পর Q_c এর হরের মান কমবে; তখন Q_c > K_c হবে। তাই সাম্যাবস্থা বাম দিকে শিফটের জন্য কিছু H₂S ও O₂ উৎপন্ন হবে এবং [O₂] বাড়বে।

(ঘ) কঠিন বস্তু S এর ঘনমাত্রা 1 এবং অপরিবর্তিত ধরা হয় এবং বিক্রিয়া অনুপাত রাশি Q_c এর সমীকরণে কঠিন বস্তুকে গণ্য করা হয় না।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১০ : সাম্যাবস্থায় বিভিন্ন নিয়ামকের প্রভাব :

(ক) $A(g) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$: বিক্রিয়াটি একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সাম্যাবস্থায় আছে। বিক্রিয়াটিতে (১) প্রভাবক যোগ করলে অথবা (২) স্থির তাপমাত্রায় চাপ বৃদ্ধি করলে উৎপাদ $C(g)$ এর পরিমাণ বৃদ্ধি করা যাবে কি?

সমাধান : (১) অনুঘটক যোগ করে $C(g)$ এর পরিমাণ বাড়ানো যাবে না, কারণ সাম্যাবস্থার উপর অনুঘটকের কোনো প্রভাব নেই। (২) যেহেতু বিক্রিয়াটিতে আয়তনের কোনো পরির্তন হয় না, তাই বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থার ওপর চাপের কোনো প্রভাব নেই। কাজেই স্থির তাপমাত্রায় চাপবৃদ্ধি করে $C(g)$ এর উৎপাদন বাড়ানো সম্ভব নয়।

(খ) $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$ বিক্রিয়াটি একটি বদ্ধ পাত্রে আছে। যদি স্থির তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় বাইরে থেকে $CO_2(g)$ যোগ করা হয়, তাহলে সাম্যাবস্থার ওপর কী প্রভাব পড়বে?

সমাধান : প্রদত্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে $K_p = p_{CO_2}$ । স্থির তাপমাত্রার বাইরে থেকে CO_2 যোগ করলে CO_2 এর আংশিক চাপ (P_{CO_2}) বৃদ্ধি পাবে। কিন্তু নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় K_p এর মান ধ্রুবক। তাই, অতিরিক্ত CO_2 গ্যাস সম মোলার CaO এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে $CaCO_3$ উৎপন্ন করবে। যতক্ষণ না CO_2 এর আংশিক চাপ পূর্বের চাপের সমান হয়।

(গ) $C(s) + O_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g)$ বিক্রিয়াটি একটি বদ্ধপাত্রে সাম্যাবস্থায় আছে। যদি বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থার বাইরে থেকে $C(s)$ যোগ করা হয়, তাহলে সাম্যাবস্থার উপর কী প্রভাব পড়বে?

সমাধান : $C(s)$ একটি বিশুদ্ধ কঠিন পদার্থ। এ ধরনের পদার্থের সক্রিয়তার সর্বদা ধ্রুবক এবং এর মান পদার্থটির পরিমাপের ওপর নির্ভর করে না। কাজেই প্রদত্ত বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় $C(s)$ যোগ করলে সাম্যাবস্থার কোনো পরিবর্তন হবে না।

শিক্ষার্থী নিজে কর :

সমস্যা-৪.২৬ : ওয়াটার গ্যাস শিফট বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থা বিবেচনা করা যাক :



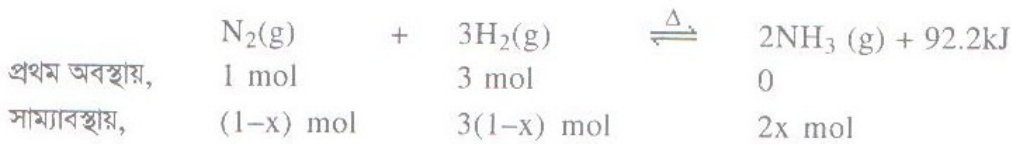
লা-শাতেলিয়ারের নীতিভিত্তিক ব্যাখ্যা কর নিচের পরিবর্তনসমূহের বেলায় H_2 এর ঘনমাত্রায় কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে; যখন সাম্য মিশ্রণে - (ক) CO যোগ করা হয়; (খ) CO_2 যোগ করা হয়; (গ) H_2O অপসারণ করা হয়; (ঘ) CO_2 অপসারণ করা হয়। বিক্রিয়া অনুপাত (বা reaction quotient), Q_c রাশি প্রয়োগ কর।

৪.৭ শিল্পোৎপাদনে লা-শাতেলিয়ারের নীতির প্রয়োগ

Use of Le-Chatelier's Principle in Industries

শিল্প উৎপাদনের ক্ষেত্রে লা-শাতেলিয়ারের নীতির ব্যাপক ব্যবহার রয়েছে। নিচে দুটি গুরুত্বপূর্ণ শিল্প প্রক্রিয়া সম্পর্কে নীতির আলোকে আলোচনা করা হলো।

(ক) অ্যামোনিয়া গ্যাস উৎপাদন : বাণিজ্যিক ভিত্তিতে হেবার-বোস পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদনের বিক্রিয়া নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় :



(১) চাপের প্রভাব : এ বিক্রিয়ায় চাপের প্রভাব K_p এর রাশিমালা থেকে জানা যায়। সমীকরণ মতে, সাম্যাবস্থায় মোট মোলসংখ্যা = $(1 - x + 3 - 3x + 2x) = (4 - 2x)$

$$\text{বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক, } K_p = \frac{(P_{NH_3})^2}{(P_{N_2}) \times (P_{H_2})^3}$$

গ্যাস মিশ্রণটির মোট চাপ P হলে; NH_3 এর আংশিক চাপ, $P_{\text{NH}_3} = \frac{2x \cdot P}{(4-2x)} = \frac{x \cdot P}{(2-x)}$

N_2 এর আংশিক চাপ, $P_{\text{N}_2} = \frac{(1-x)P}{(4-2x)}$ এবং H_2 এর আংশিক চাপ, $P_{\text{H}_2} = \frac{(3-3x)P}{(4-2x)}$

$$\therefore K_p = \frac{\left(\frac{x}{2-x} \cdot P\right)^2}{\left(\frac{1-x}{4-2x} \cdot P\right) \left(\frac{3-3x}{4-2x} \cdot P\right)^3}$$

$$= \frac{\frac{x^2 \times P^2}{(2-x)^2}}{\frac{(1-x) \times P}{2(2-x)} \times \frac{27(1-x)^3 \times P^3}{8(2-x)^3}}$$

$$\therefore K_p = \frac{16 x^2 (2-x)^2}{27 (1-x)^4 P^2}; \text{ যদি } x \ll P \text{ হয়।}$$

তখন $(1-x) = 1$ এবং $(2-x) = 2$ ধরে পাই;

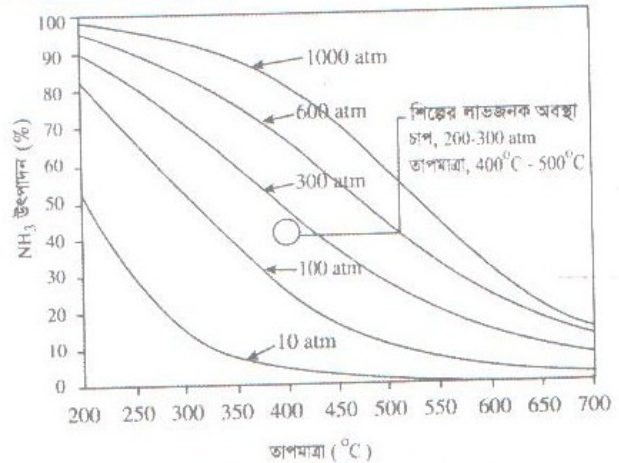
$$\therefore K_p = \frac{64}{27} \cdot \frac{x^2}{P^2}; \text{ বা } x^2 = \frac{27}{64} \cdot K_p P^2$$

চিন্তা কর : বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করলে সাম্যাবস্থা কোন্ দিকে সরে যায়?
(ক) ডানে (খ) স্থিত অবস্থায় থাকে
(গ) বামে (ঘ) অপরিবর্তিত থাকে

সমীকরণ মতে, স্থির তাপমাত্রায় মোট চাপ P এর মান যতই বৃদ্ধি করা যাবে উৎপাদ, x এর মান তত বৃদ্ধি পাবে অর্থাৎ NH_3 এর উৎপাদন ত্বরান্বিত হবে। কারণ, স্থির তাপমাত্রায় K_p এর মান ধ্রুবক। অর্থাৎ চাপ বৃদ্ধির ফলে NH_3 এর উৎপাদন বৃদ্ধি পাবে এবং চাপ হ্রাসের ফলে অ্যামোনিয়ার উৎপাদন হ্রাস পাবে। পরীক্ষামূলক ডাটা থেকে দেখা যায়, চাপ $130 - 300$ atm এর মধ্যে রাখলে উৎপাদন বাড়ে। বাস্তবে অ্যামোনিয়া উৎপাদনে 200 atm অত্যনুকূল চাপরূপে প্রয়োগ করা হয়।

(২) তাপমাত্রার প্রভাব : অ্যামোনিয়া উৎপাদন বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী। সুতরাং লা শাতেলিয়ার নীতি অনুসারে

তাপমাত্রা যত কম হবে, অ্যামোনিয়ার উৎপাদন তত বেশি হবে। কিন্তু শিল্প কারখানায় অর্থনৈতিক লাভের জন্য উৎপাদনের পরিমাণের সাথে সময়ের হিসাবটাও দরকার। নিম্ন তাপমাত্রায় অ্যামোনিয়া উৎপাদনের হার বা গতি হ্রাস পায় এবং উচ্চ তাপমাত্রায় বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি পায়। অপরিবর্তিত তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে সাম্যাবস্থায় অ্যামোনিয়ার শতকরা উৎপাদন হ্রাস পায়। এ দুটি বিপরীত শর্তের কারণে এমন একটি তাপমাত্রা নির্বাচন করতে হয়, যে তাপমাত্রায় যথোপযুক্ত কম সময়ে আশানুরূপ উৎপাদন লাভ করা যায়। প্রতিটি তাপোৎপাদী শিল্প প্রক্রিয়ায় এমন একটি সর্বনিম্ন তাপমাত্রা আছে, যাতে প্রক্রিয়া সম্পাদন



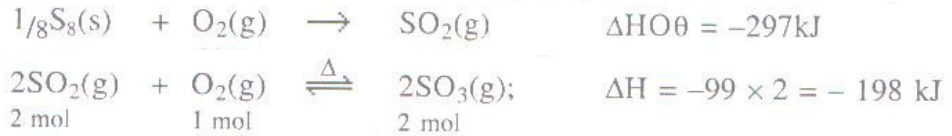
চিত্র ৪.১৭ : বিভিন্ন চাপ ও তাপমাত্রায় NH_3 এর উৎপাদন।

লাভজনক হয়। এ তাপমাত্রাকে অত্যনুকূল তাপমাত্রা (optimum temperature) বলা হয়। শিল্পোৎপাদনে যে কোনো প্রভাবক রাসায়নিক বিক্রিয়ার বেগ ত্বরান্বিত করে। কিন্তু সাম্য অবস্থার ওপর এর প্রভাব নেই। এ কারণে শিল্পোৎপাদনে অধিকাংশ ক্ষেত্রে প্রভাবকের সাহায্য গ্রহণ করা হয়। অত্যনুকূল তাপমাত্রা বিভিন্ন প্রভাবকের জন্য বিভিন্ন হয়। তবে এ বিক্রিয়ায় Fe গুঁড়া প্রভাবকের সাথে MgO, SiO₂ ও Al₂O₃ মিশ্রণকে প্রভাবক সহায়ক বা প্রমোটর (promoter) হিসেবে ব্যবহার করা হয় এবং অত্যনুকূল তাপমাত্রা হয় 400°C।

বিক্রিয়াটিতে আয়তন হ্রাস পায় বলে উচ্চচাপে NH₃ এর উচ্চ উৎপাদন আশা করা সম্ভব, যা এ বিক্রিয়ার K_p এর সমীকরণ থেকেও স্পষ্ট। তাই এ বিক্রিয়ার জন্য 200 atm চাপ প্রয়োগ করা হয়ে থাকে।

(খ) সালফিউরিক এসিড শিল্পোৎপাদনের

ক্ষেত্রে SO₂-এর জারণ বা SO₃ উৎপাদন : বাণিজ্যিক ভিত্তিতে সালফিউরিক এসিড প্রস্তুতির একটি গুরুত্বপূর্ণ ধাপ হচ্ছে SO₂-এর জারণ। উৎপন্ন SO₃ পানির বিক্রিয়া ঘটিয়ে সালফিউরিক এসিড প্রস্তুত করা হয়। পানিতে SO₃ এর দ্রবণীয়তা কম বলে 98% H₂SO₄ এ SO₃ শোষিত করা হয়।



উপরিউক্ত সমীকরণ থেকে জানা যায়, SO₃ উৎপাদন বিক্রিয়াটি-

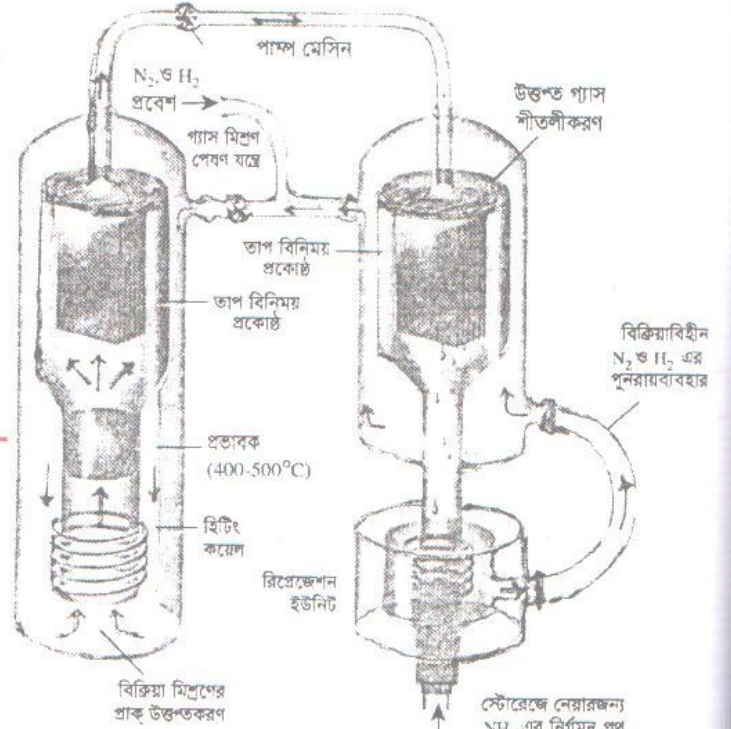
লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে, নিম্ন তাপমাত্রায় ও উচ্চ চাপে সম্মুখ দিকে ঘটবে। কিন্তু উচ্চচাপে সালফিউরিক এসিড তৈরিতে ডাইঅক্সাইড তরলীভূত হয় এবং নিম্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়ার গতি হ্রাস পায়। এ কারণে, নিম্নোক্ত শর্তাবলি প্রয়োগ করে প্রভাবকীয় জারণ প্রক্রিয়ায় সর্বোচ্চ পরিমাণ SO₃ উৎপাদন করা হয়।

(i) বিক্রিয়াটি উভমুখী এবং তাপোৎপাদী, তাই নিম্ন তাপমাত্রায় SO₃ এর উৎপাদন বাড়বে। তবে নিম্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়া ধীরগতিতে অগ্রসর হয় বলে উচ্চ তাপমাত্রার প্রয়োজন হয়।

(ii) প্রভাবক ব্যবহার করেও বিক্রিয়ার গতি বাড়ানো হয়। এক্ষেত্রে ভ্যানাডিয়াম পেন্টোক্সাইড (V₂O₅) চূর্ণ প্রভাবক নিষ্ক্রিয় সিলিকা জালিরূপে ব্যবহার করে 400-500°C তাপমাত্রা এ ক্ষেত্রে অত্যনুকূল তাপমাত্রা হয়।

(iii) বাতাসের অক্সিজেন যেহেতু সহজলভ্য, সেহেতু শিল্পক্ষেত্রে এ বিক্রিয়ার জন্য হিসাবকৃত পরিমাণের তুলনায় প্রায় তিনগুণ বাতাস বিক্রিয়াস্থলে প্রবেশ করানো হয় যাতে অধিক পরিমাণ SO₂ জারিত হয়।

(iv) বিক্রিয়ার সমীকরণ থেকে বোঝা যায়, বিক্রিয়াটি মোলার আয়তন হ্রাসের মাধ্যমে সংঘটিত হয় অর্থাৎ যতই চাপ বাড়ানো যায় ততই SO₃ এর উৎপাদনের শতকরা হার বাড়ানো যায়। তবে 1.7 atm চাপেই উপরোল্লিখিত অবস্থায় প্রায় 99.5% SO₂ জারিত হয়। এ কারণে আর অতিরিক্ত চাপ প্রয়োগ করা হয় না।



চিত্র ৪.১৮ : হেবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদন

(v) H_2SO_4 উৎপাদনের তিনটি ধাপের প্রতিটি হলো তাপোৎপাদী। যেমন S_8 এর দহনে $\Delta H^\theta = -297\text{kJ/mol}$; $SO_2(g)$ এর জারণে $\Delta H^\theta = -99\text{kJ/mol}$ ও $SO_3(g)$ এর হাইড্রেশনে $\Delta H^\theta = -132\text{kJ/mol}$ হয়। তাই তিন-চতুর্থাংশ উৎপন্ন তাপ স্টিম হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

৪.৮ ভরক্রিয়ার সূত্র

Law of Mass Action

নরওয়ের রসায়নবিদ গুল্ডবার্গ (C.M Guldberg) ও পি. ভাগে (P. Wage) বিভিন্ন উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার ওপর পরীক্ষা-পর্যবেক্ষণ করেন। নাইট্রোজেন টেট্রো অক্সাইডের বিয়োজন একরূপ একটি উভমুখী বিক্রিয়া। এ বিক্রিয়ার ওপর পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণ ডাটা নিম্নরূপ :

সারণি ৪.৮ : 25°C তাপমাত্রায় N_2O_4 বিয়োজনের মোলার ঘনমাত্রা ডাটা $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

পরীক্ষার ক্রমিক নং	প্রাথমিক ঘনমাত্রা (M)		সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা (M)		সাম্যাবস্থার সমীকরণ $K_c = [NO_2]^2/[N_2O_4]$
	$[N_2O_4]$	$[NO_2]$	$[N_2O_4]$	$[NO_2]$	
1	0.04	0.00	0.0337	0.0125	4.64×10^{-3}
2	0.00	0.08	0.0337	0.0125	4.64×10^{-3}
3	0.06	0.00	0.0522	0.0156	4.66×10^{-3}
4	0.00	0.06	0.0246	0.0107	4.65×10^{-3}
5	0.02	0.06	0.0429	0.0141	4.63×10^{-3}

পরীক্ষার ক্রমিক নং 1 ও 2 এর ডাটা থেকে সুস্পষ্ট যে, পরীক্ষা 1 এর বেলায় N_2O_4 এর 0.04 মোলসহকারে পরীক্ষাটি শুরু করা হয় এবং পরীক্ষা নং 2 এর বেলায় NO_2 এর দ্বিগুণ ঘনমাত্রায় যেমন 0.08 মোলসহকারে বিপরীত পরীক্ষাটি শুরু করা হয়। প্রতিক্ষেত্রে N ও O পরমাণুর সংখ্যা সমান রাখায় ঘনমাত্রা একই রয়েছে। অপর তিনটি পরীক্ষা 3, 4, 5-এর বেলায় N_2O_4 ও NO_2 এর প্রাথমিক মোলার ঘনমাত্রায় N ও O পরমাণুর মোট সংখ্যা ভিন্ন রেখে করা হয়েছে। তাই সাম্যাবস্থায় N_2O_4 ও NO_2 -এর মোলার ঘনমাত্রা ভিন্ন হয়েছে। তবে সব পরীক্ষার ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মোলার ঘনমাত্রার মধ্যে একটি আনুপাতিক সম্পর্ক রয়েছে। সারণি ৪.৮ এর $[NO_2]^2/[N_2O_4]$ এর অনুপাত প্রতিক্ষেত্রে প্রায় একই মানের যেমন 4.64×10^{-3} হয়েছে। এ ধ্রুবক মান সমতায়ুক্ত সমীকরণ $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ এর সাথে সম্পর্কযুক্ত, যা উৎপাদের মোল সংখ্যাকে উৎপাদের মোলার ঘনমাত্রার ঘাত ও বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাত প্রকাশ করে।

১৮৬৭ খ্রিস্টাব্দে রসায়নবিদ গুল্ডবার্গ ও পি.ভাগে তাঁদের বিভিন্ন পরীক্ষালব্ধ এসব তথ্য সমন্বয় করে উভমুখী বিক্রিয়ার জন্য ভরক্রিয়া সূত্র উপস্থাপন করেন। ভরক্রিয়ার সূত্রটি নিম্নরূপ :

নির্দিষ্ট তাপমাত্রায়, নির্দিষ্ট সময়ে যে কোনো বিক্রিয়ার হার ঐ সময়ে উপস্থিত বিক্রিয়কগুলোর সক্রিয় ভরের (অর্থাৎ মোলার ঘনমাত্রা বা আংশিক চাপের) সমানুপাতিক হয়। একাধিক বিক্রিয়কের বেলায়, বিক্রিয়ার হার প্রত্যেকটি বিক্রিয়কের সক্রিয় ভরের গুণফলের সমানুপাতিক হয়। সক্রিয় ভর বলতে সাধারণত প্রতি লিটার দ্রবণে পদার্থটির দ্রবীভূত মোল সংখ্যাকে বোঝায় এবং গ্যাসের ক্ষেত্রে আংশিক চাপ বোঝায়।

ভরক্রিয়া সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ : K_c এর রাশিমালা প্রতিপাদন

উভমুখী বিক্রিয়ার নিম্নরূপ সাধারণ সমীকরণ থেকে ভরক্রিয়া সূত্রের গাণিতিক রূপ প্রতিপাদন করা যায় :



মনে করি A, B, C ও D এর মোলার ঘনমাত্রায় সক্রিয় ভর হলো যথাক্রমে [A], [B], [C] ও [D]। সূত্রাং ভরক্রিয়ার সূত্র মতে, সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার গতিবেগ, $r_f = k_1 [A] \times [B]$;

পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার গতিবেগ, $r_b = k_2 [C] \times [D]$;

এখানে k_1 ও k_2 হলো যথাক্রমে সম্মুখমুখী ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক।

উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায়, সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হার ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার সমান হয়।

অর্থাৎ, $r_f = r_b$

$$\therefore k_1 \times [A] \times [B] = k_2 \times [C] \times [D],$$

$$\therefore \frac{k_1}{k_2} = \frac{[C] \times [D]}{[A] \times [B]} ; \text{ অথবা, } \frac{[C] \times [D]}{[A] \times [B]} = \frac{k_1}{k_2} = K_c \text{ (আরেকটি ধ্রুবক)।}$$

K_c কে এ বিক্রিয়ার মোলার সাম্যধ্রুবক বা সাম্যধ্রুবক বলা হয়। সাম্যধ্রুবক K_c এর কোনো একক নেই। কারণ সাম্যধ্রুবকের সমীকরণে উৎপাদ (লব) ও বিক্রিয়ক (হর) প্রতিক্ষেত্রে ঘনমাত্রা পদকে প্রত্যেকের মোলারিটি (1M) দ্বারা ভাগ করা হয়। (Thermodynamic Standard State মতে) ফলে এককসমূহ কাটা যায়; ঘনমাত্রার অনুপাত ও K_c উভয়ের কোনো একক থাকে না। যেমন সারণি ৪.৪ এর সাম্য ধ্রুবকের বেলায় :

$$K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{\left(\frac{0.0125\text{M}}{1\text{M}}\right)^2}{\left(\frac{0.0337\text{M}}{1\text{M}}\right)} = 4.64 \times 10^{-3}; \quad \begin{array}{l} \text{['Thermodynamic Standard} \\ \text{State' রূপে দ্রবণে দ্রবের ঘনমাত্রা 1M,} \\ \text{প্রতিটি গ্যাসের চাপ 1 atm ও তাপমাত্রা} \\ \text{25°C ধরা হয়।]} \end{array}$$

5°C)

অনুরূপভাবে K_a , K_b , K_w হলো এককবিহীন।

[Reference : Chemistry : Martin S. Silberberg, Published by Mc. Graw Hill (Higher Education). এই বইটি আমেরিকার ক্যালিফোর্নিয়া ইউনিভারসিটিতে একাদশ-দ্বাদশ শ্রেণিতে পাঠ্য পুস্তক।]

৪.৯.১ বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক K_c ও K_p

Equilibrium Constant K_c and K_p

সাম্যধ্রুবক : স্থির তাপমাত্রায় ও স্থির চাপে একটি উভমুখী বিক্রিয়ায় উৎপন্ন পদার্থসমূহের সক্রিয় ভর যেমন মোলার ঘনমাত্রা বা আংশিক চাপ-এর গুণফল এবং বিক্রিয়কসমূহের সক্রিয় ভরের গুণফলের অনুপাত একটি স্থির রাশি হয়ে থাকে। এ রাশিকে সাম্যধ্রুবক বলে। সাম্যধ্রুবক দু'প্রকার; যেমন মোলার সাম্যধ্রুবক, K_c ও আংশিক চাপে সাম্যধ্রুবক, K_p ।

মোলার সাম্যধ্রুবক, K_c : কোনো উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় ভরক্রিয়ার সূত্র মতে উৎপাদসমূহের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল ও বিক্রিয়কসমূহের মোলার ঘনমাত্রার গুণফলের অনুপাতকে মোলার সাম্যধ্রুবক বলা হয়। একে K_c দ্বারা প্রকাশ করা হয়। বিভিন্ন মোল সংখ্যা (a, b) বিশিষ্ট বিক্রিয়ক (A, B) ও উৎপাদ (L, M) সহকারে নিম্নলিখিত সাধারণ বিক্রিয়াটি হলো :

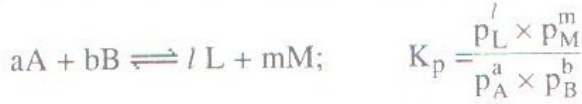


ভরক্রিয়ার সূত্র মতে উপরোক্ত উভমুখী বিক্রিয়ার মোলার সাম্যধ্রুবক নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয় :

$$K_c = \frac{[L]^l \times [M]^m}{[A]^a \times [B]^b} ; \text{ অথবা, } K_c = \frac{C_L^l \times C_M^m}{C_A^a \times C_B^b}$$

এখানে C দ্বারা মোলার ঘনমাত্রা এবং মোলার সাম্যক্ষুবককে K_c দ্বারা প্রকাশ করা হয়েছে।

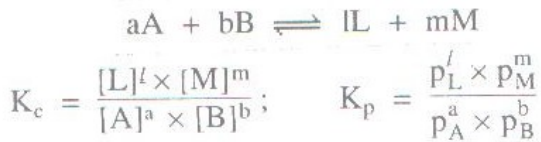
আংশিক চাপে সাম্যক্ষুবক K_p : উভমুখী বিক্রিয়ার পদার্থসমূহ গ্যাসীয় হলে তাদের প্রত্যেকের সক্রিয় ভর আংশিক চাপ P দ্বারা প্রকাশ করা যায়। ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে উভমুখী বিক্রিয়ার উৎপাদসমূহের আংশিক চাপের গুণফল ও বিক্রিয়কসমূহের আংশিক চাপের গুণফলের অনুপাতকে ঐ বিক্রিয়ার আংশিক চাপ সাম্যক্ষুবক বলে। একে K_p দ্বারা নির্দেশ করা হয়। সুতরাং নিম্নলিখিত সাধারণ উভমুখী গ্যাসীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে আংশিক চাপে সাম্যক্ষুবক K_p কে নিম্নরূপে লেখা হয়।



এক্ষেত্রে বিক্রিয়ক A, B এবং উৎপাদ L, M এর আংশিক চাপ হলো যথাক্রমে P_A, P_B এবং P_L, P_M । সমীকরণে তাদের মোল সংখ্যাকে আংশিক চাপে স্ব-স্ব ঘাতে প্রকাশ করা হয়েছে।

কোনো গ্যাস মিশ্রণের কোনো উপাদান গ্যাসের আংশিক চাপ বলতে ঐ উপাদানের মোল ভগ্নাংশ ও গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপের গুণফলকে বোঝায়।

জেনে নাও : K_c ও K_p এর মান শূন্য বা অসীম হতে পারে না। K_c ও K_p হলো উভমুখী বিক্রিয়ার উৎপাদ ও বিক্রিয়কের যথাক্রমে মোলার ঘনমাত্রা ও আংশিক চাপের অনুপাত। যেমন-



উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্য মিশ্রণে উৎপাদ ও বিক্রিয়ক উভয়ই সব সময় বর্তমান থাকে। তাই সাম্য ক্ষুবক K_c বা K_p এর মান অর্থাৎ উৎপাদ ও বিক্রিয়কের মাত্রিক অনুপাত কখনো শূন্য অথবা অসীম হতে পারে না।

(a) K_c বা K_p এর মান শূন্য হতে হলে উৎপাদের পরিমাণ শূন্য হয়, যা উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় অসম্ভব।

(b) K_c বা K_p এর মান অসীম হতে হলে বিক্রিয়কের পরিমাণ শূন্য হয়, যা উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় অসম্ভব।

৪.৯.২ K_c ও K_p -এর মধ্যে সম্পর্ক

Relation between K_c and K_p

গ্যাসীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে K_c ও K_p এর মধ্যে সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠার জন্য একটি সাধারণ গ্যাসীয় উভমুখী বিক্রিয়া ধরা যাক।
যেমন, $aA + bB \rightleftharpoons lL + mM$

এখানে বিক্রিয়ক পদার্থ A, B এবং উৎপাদ পদার্থ L, M; এদের মোলার ঘনমাত্রা যথাক্রমে [A], [B] এবং [L], [M] ধরা হলো। তখন বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় মোলার সাম্যক্ষুবক K_c এর মান নিম্নরূপে লেখা যায় :

$$K_c = \frac{[L]^l \times [M]^m}{[A]^a \times [B]^b} = \frac{C_L^l \times C_M^m}{C_A^a \times C_B^b}$$

আবার গ্যাসীয় বিক্রিয়ক ও উৎপাদ পদার্থের আংশিক চাপ যথাক্রমে P_A, P_B এবং P_L, P_M ইত্যাদি ধরা হলো। তখন বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় আংশিক চাপে সাম্যক্ষুবক K_p এর মান নিম্নরূপে লেখা যায় :

$$K_p = \frac{P_L^l \times P_M^m}{P_A^a \times P_B^b}$$

আমরা জানি, একটি আদর্শ গ্যাস মিশ্রণে যে কোনো একটি গ্যাসের n মোলের আংশিক চাপ P হলে এবং গ্যাসটি T তাপমাত্রায় V লিটার আয়তন দখল করলে আদর্শ গ্যাসের সূত্রানুসারে-

$$PV = nRT, \text{ বা, } P = \frac{n}{V} RT = CRT \dots\dots\dots (1)$$

এখানে, $C = \frac{n}{V}$ = একক লিটার আয়তনে মোল সংখ্যা বা মোলার ঘনমাত্রা।

সমীকরণ (1) এর মান নিচের সমীকরণে বসালে আমরা পাই,

$$K_p = \frac{p_L^l \times p_M^m}{p_A^a \times p_B^b}, \quad \text{বা, } K_p = \frac{(C_L RT)^l \times (C_M RT)^m}{(C_A RT)^a \times (C_B RT)^b}$$

$$\therefore K_p = \frac{(C_L^l \times C_M^m) \times (RT)^{l+m}}{(C_A^a \times C_B^b) \times (RT)^{a+b}} = K_c (RT)^{(l+m) - (a+b)}$$

$$\therefore K_p = K_c (RT)^{\Delta n}; \quad \text{এখানে } \Delta n = (l+m) - (a+b)$$

Δn

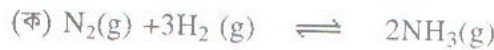
= বিক্রিয়াকালে বিক্রিয়ক ও উৎপাদসমূহের মোল সংখ্যার পরিবর্তন।

= উৎপাদসমূহের মোল সংখ্যা - বিক্রিয়কসমূহের মোল সংখ্যা

যখন বিক্রিয়ায় উৎপাদ ও বিক্রিয়কসমূহের মোল সংখ্যার কোনো পরিবর্তন না ঘটে; তখন $\Delta n = 0$ হয়। তখন, $K_p = K_c (RT)^0 \therefore K_p = K_c$; কারণ $(RT)^0 = 1$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১১ : সাম্যাবস্থার সমীকরণ লেখা :

নিচের প্রত্যেকটি বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার সমীকরণ লেখ।



দক্ষতা : উৎপাদের মোলার ঘনমাত্রা রাশিকে লব ও বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রা রাশিকে হররূপে লেখা হয়। প্রতিক্ষেত্রে মোল সংখ্যাকে মোলার ঘনমাত্রার পাওয়ার বা ঘাতরূপে লেখা হয়।

$$\text{সমাধান : (ক) } K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \times [H_2]^3};$$

$$(খ) K'_c = \frac{[N_2] \times [H_2]^3}{[NH_3]^2} = \frac{1}{K_c}$$

MCQ-4.8 : 4.25 mol H_2 ও 4.75 mol I_2 বাষ্পকে উত্তপ্ত করলে সাম্যাবস্থায় H_2 , I_2 ও HI এর ঘনমাত্রা 0.86, 1.36 ও 6.78 mol L^{-1} হয়। K_c এর মান কত?
(ক) 36 (খ) 32.67 (গ) 33.5 (ঘ) 39.3

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১২ : সাম্যধ্রুবক K_c গণনা :

500K তাপমাত্রায়, অ্যামোনিয়া উৎপাদনের বেলায় সাম্য মিশ্রণে নিম্নরূপ ঘনমাত্রা যেমন : $[N_2] = 3.0 \times 10^{-2} M$; $[H_2] = 3.7 \times 10^{-2} M$; $[NH_3] = 1.6 \times 10^{-2} M$ হয়। আগের সমস্যা ৪.৫ এর উভয় বিক্রিয়ার জন্য ঐ তাপমাত্রায় সাম্যধ্রুবক গণনা কর।

দক্ষতা : সাম্য সমীকরণে, সাম্যাবস্থায় উৎপাদ ও বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার মান বসিয়ে সাম্যাক্রমিক গণনা করা।

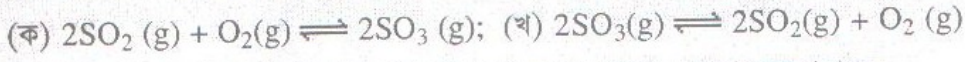
সমাধান : (ক) $K_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2] \times [\text{H}_2]^3} = \frac{(1.6 \times 10^{-2})^2}{(3.0 \times 10^{-2}) \times (3.7 \times 10^{-2})^3} = 1.7 \times 10^2$

(খ) $K'_c = \frac{[\text{N}_2] \times [\text{H}_2]^3}{[\text{NH}_3]^2} = \frac{(3.0 \times 10^{-2}) \times (3.7 \times 10^{-2})^3}{(1.6 \times 10^{-2})^2} = 5.9 \times 10^{-3}$

লক্ষ কর যে, K'_c হলো K_c এর ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ $5.9 \times 10^{-3} = \frac{1}{1.7 \times 10^2}$

শিক্ষার্থী নিজে কর :

সমস্যা-৪.২৭ : সালফিউরিক এসিডের শিল্পোৎপাদনে সালফার ডাইঅক্সাইডকে জারিত করে সালফার ট্রাই অক্সাইড উৎপাদন করা হয়। নিচের প্রত্যেক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার সমীকরণ লেখ।



সমস্যা-৪.২৮ : ৪০০K তাপমাত্রায়, SO_3 উৎপাদনের সাম্যাবস্থায় মোলার ঘনমাত্রা হয়

$[\text{SO}_2] = 3.0 \times 10^{-3} \text{ M}$; $[\text{O}_2] = 3.5 \times 10^{-3} \text{ M}$; $[\text{SO}_3] = 5.0 \times 10^{-2} \text{ M}$; উপরের সমস্যা ৪.২৭ এর উভয় বিক্রিয়ার জন্য ৪০০K তাপমাত্রায় সাম্যাক্রমিক গণনা কর। [উ: (ক) 7.9×10^4 ; (খ) 1.26×10^{-5}]

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৩ : সাম্যাক্রমিক K_c ও K_p সম্পর্কীয় :

স্টিম-হাইড্রোকার্বন রিফরমিং প্রক্রিয়ায় অধিক পরিমাণ H_2 গ্যাস শিল্পে উৎপাদন করা হয়। এক্ষেত্রে প্রথম ধাপের বিক্রিয়াটি হলো : $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CH}_4(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$

(ক) যদি এক্ষেত্রে $K_c = 3.8 \times 10^{-3}$, তাপমাত্রা ১০০০K হয়; তবে ঐ তাপমাত্রায় K_p এর মান কত?

(খ) যদি এক্ষেত্রে $K_p = 6.1 \times 10^4$, তাপমাত্রা ১১২৫°C হয়; তবে ঐ তাপমাত্রায় K_c এর মান কত?

(গ) কোন্ ধরনের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে (i) $K_p > K_c$ এবং (ii) $K_p < K_c$ হবে? উদাহরণ দাও।

দক্ষতা : সম্পর্ক $K_p = K_c \times (\text{RT})^{\Delta n}$ ব্যবহৃত হবে; $R = 0.08206 \text{ L.atm}/(\text{K.mol})$, কেলভিন এককে T , $\Delta n = (\text{গ্যাসীয় উৎপাদের মোল সংখ্যা} - \text{বিক্রিয়কের মোল সংখ্যা})$

সমাধান : (ক) এ বিক্রিয়ায়, $\Delta n = (1 + 3) - (1 + 1) = 2$

$\therefore K_p = K_c \times (\text{RT})^{\Delta n} = (3.8 \times 10^{-3}) \times (0.08206 \times 1000)^2 = 26$

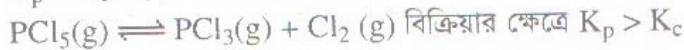
(খ) এক্ষেত্রে $K_p = K_c (\text{RT})^2$ সমাধান করে K_c এর মান বের হবে :

$K_c = K_p / (\text{RT})^2 = 6.1 \times 10^4 / (0.08206 \times 1398)^2 = 4.6$

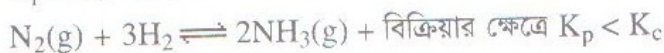
লক্ষ কর, এখানে $T = (1125 + 273) = 1398\text{K}$

(গ) আমরা জানি, $K_p = K_c (\text{RT})^{\Delta n}$; এখানে, $\Delta n = \text{বিক্রিয়ার গ্যাসীয় উৎপাদের মোট মোল সংখ্যা} - \text{গ্যাসীয় বিক্রিয়কের মোট মোল সংখ্যা}$ ।

১। $K_p > K_c$ হবে, যদি বিক্রিয়ায় $\Delta n > 0$ হয়। যেমন,



২। $K_p < K_c$ হবে, যদি বিক্রিয়ায় $\Delta n < 0$ হয়। যেমন,



MCQ-4.9 : $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons 3\text{D}$ সমীকরণ মতে বিক্রিয়াটির K_p ও K_c এর সম্পর্ক হবে—

(ক) $K_p = K_c(\text{RT})$ (খ) $K_p = K_c \times (\text{RT})^{-1}$

(গ) $K_c = K_p(\text{RT})$ (ঘ) $K_c = K_p \times (\text{RT})^2$

শিক্ষার্থী নিজে কর :

সমস্যা-৪.২৯ : (ক) সাম্যক্ষুবক K_c ও K_p এর কোনো একক নেই; এর কারণ ব্যাখ্যা কর।

(খ) K_p ও K_c এর মধ্যে গাণিতিক সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

[অনুধাবনভিত্তিক]

(গ) $A_2(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g)$; এ উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির জন্য K_p ও K_c এর মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করে।

[চ. বো. ২০১৫]

(ঘ) $2A_2O_5(g) \rightleftharpoons 4AO_2(g) + O_2(g)$; এ উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির K_p রাশিমালা প্রতিপাদন কর।

[কু. বো. ২০১৫]

(ঙ) N_2O_4 এর বিয়োজনের K_p রাশিমালা বের কর।

[রা. বো. ২০১৫]

(চ) K_c এর মান শূন্য বা অসীম হতে পারে না; ব্যাখ্যা কর।

[কু. বো. ২০১৫; দি. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.৩০ : স্টিম হাইড্রোকার্বন রিফরমিং প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন ওয়াটার গ্যাস মিশ্রণ (CO ও $3H_2$) কে অধিকতর H_2 গ্যাস সমৃদ্ধ করতে CO গ্যাসকে স্টিমসহ প্রভাবকীয় বিক্রিয়া ঘটানো হয়, এ ওয়াটার-গ্যাস শিফট বিক্রিয়াটি হলো :



700K তাপমাত্রায়, চারটি গ্যাসের এ মিশ্রণে আংশিক চাপসমূহ হলো CO গ্যাসের 1.31 atm, H_2O বাষ্পের 10.0 atm, CO_2 গ্যাসের 6.12 atm এবং H_2 গ্যাসের 20.3 atm। ঐ তাপমাত্রায় K_p কত হবে? [উ: 9.48]

সমস্যা-৪.৩১ : অসওয়াল্ড পদ্ধতিতে নাইট্রিক এসিড উৎপাদনে ২য় ধাপে নাইট্রিক অক্সাইডকে অক্সিজেনসহ জারিত করে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড উৎপাদন করা হয় : $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

(ক) যদি $227^\circ C$ -এ $K_c = 6.9 \times 10^5$ হয়, ঐ তাপমাত্রায় K_p এর মান কত হবে? [উ: (ক) $K_p = 1.68 \times 10^4$]

(খ) যদি $1000K$ -এ $K_p = 1.3 \times 10^{-2}$ হয়, ঐ তাপমাত্রায় K_c এর মান কত হবে? [উ: (খ) $K_c = 1.066$]

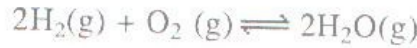
৪.৯.৩ সাম্যক্ষুবক K_c এর তাৎপর্য

Significance of K_c

কোনো উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যক্ষুবকের মান জেনে আমরা কী সুবিধা পাব?

- (১) আমরা বিক্রিয়াটির ব্যাপ্তি (extent) বিচার করব, (২) বিক্রিয়াটির দিক (direction) সম্বন্ধে ধারণা পাব,
- (৩) প্রাথমিক ঘনমাত্রা থেকে সাম্যাবস্থার মিশ্রণের উপাদানের ঘনমাত্রা গণনা করতে পারব।

(১) বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি (Extent) বিচার : সাম্যক্ষুবকের অধিক মান উভমুখী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে প্রায় সম্পূর্ণতার দিকে নির্দেশ করে। বিপরীতমুখী বিক্রিয়া নগণ্য অবস্থায় থাকে। যেমন, H_2 ও O_2 এর মধ্যে বিক্রিয়ায় H_2O উৎপন্ন হয়; এক্ষেত্রে $500K$ ($227^\circ C$) তাপমাত্রায় সাম্যক্ষুবক অত্যধিক মানের ($K_c = 2.4 \times 10^{47}$) হয়।



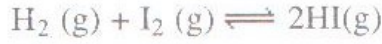
সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার বেলায়, $500K$ তাপমাত্রায়, $K_c = \frac{[H_2O]^2}{[H_2]^2 \times [O_2]} = 2.4 \times 10^{47}$

\therefore পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার বেলায় ঐ তাপমাত্রায়, $K'_c = \frac{[H_2]^2 \times [O_2]}{[H_2O]^2} = \frac{1}{K_c} = \frac{1}{2.4 \times 10^{47}} = 4.2 \times 10^{-48}$

এক্ষেত্রে 4.2×10^{-48} হলো খুবই নগণ্য সংখ্যা। অর্থাৎ পানির বিয়োজনে বাস্তবে H_2 ও O_2 গ্যাস পাওয়া যায় না।

আমরা এখন দুটি উভমুখী বিক্রিয়া যেমন (i) H_2 সংশ্লেষণ ও (ii) N_2O_4 বিয়োজনের সাম্যক্ষুবক নিয়ে বিচার করব।

(i) H_2 গ্যাস ও I_2 বাষ্পের বিক্রিয়ায়, $700K$ তাপমাত্রায় $K_c = 57$ হয়;



$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2] \times [\text{I}_2]} = 57.0 \text{ (at } 700\text{K)}$$

এক্ষেত্রে, H_2 ও I_2 এর ঘনমাত্রা 0.01M হলে সাম্যাবস্থায় HI এর ঘনমাত্রা পাওয়া যায় 0.075 M. যেমন-

$$[\text{HI}]^2 = K_c \times [\text{H}_2] \times [\text{I}_2]; \text{ বা, } [\text{HI}] = \sqrt{57.0 \times 0.01 \times 0.01} = 0.075\text{M}$$

এক্ষেত্রে সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা 0.01M ও উৎপাদের ঘনমাত্রা 0.075M বাস্তবমুখী ও গণনারযোগ্য।

(ii) আবার N_2O_4 এর বিয়োজনের সাম্যধ্রুবক K_c এর মান খুব বড় বা ছোট নয়, $K_c = 4.64 \times 10^{-3}$ (at 25°C)।

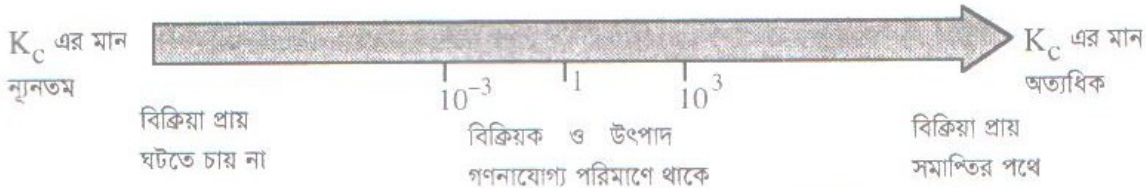
সাম্যাবস্থায় N_2O_4 এবং NO_2 এর ঘনমাত্রা গণনাযোগ্য হয়। যেমন, 0.0337 M ও 0.0125 M (সারণি, 8.8 দেখ)।

সাধারণ সিদ্ধান্ত : (i) K_c এর মান 10^{-3} থেকে 10^3 এর মধ্যে থাকলে সাম্য মিশ্রণে বিক্রিয়ক ও উৎপাদ গণনাযোগ্য পরিমাণে থাকে।

(ii) যদি $K_c > 10^3$; তখন সাম্যমিশ্রণে বিক্রিয়কের চেয়ে উৎপাদ বেশি হয়। আবার K_c এর মান খুব বেশি হলে, স্বল্পমুখী বিক্রিয়া শেষ প্রান্তে বোঝায়।

(iii) যদি $K_c < 10^{-3}$; তখন সাম্য মিশ্রণে উৎপাদনের চেয়ে বিক্রিয়ক বেশি থাকে। আবার K_c এর মান খুব কম হলে, স্বল্পমুখী বিক্রিয়া ঘটতে চায় না বোঝায়।

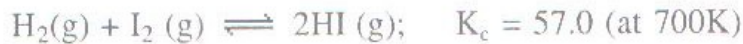
নিচের 8.১৯ নং চিত্রে K_c এর মানভিত্তিক বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি বিচার দেখানো হলো :



চিত্র 8.১৯ : K_c এর মানভিত্তিক বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি বিচার

(২) বিক্রিয়ার দিক সম্বন্ধে প্রাক ধারণা : হাইড্রোজেন গ্যাস ও আয়োডিন বাষ্প থেকে 700K (427°C) তাপমাত্রায়

সংশ্লেষণ বিক্রিয়াটির K_c এর মান নিয়ে আলোচনা করা যাক :



ধরা যাক, বিক্রিয়া শুরুর t সময় পরে বিক্রিয়া মিশ্রণে 700K তাপমাত্রায় $\text{H}_2(\text{g})$, $\text{I}_2(\text{g})$ ও $\text{HI}(\text{g})$ এর ঘনমাত্রা

$[\text{H}_2]_t = 0.10\text{M}$, $[\text{I}_2]_t = 0.20\text{M}$ এবং $[\text{HI}]_t = 0.40\text{M}$ পাওয়া গেল। এ সময়ে বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় পৌঁছায়নি।

এখন এসব মোলার ঘনমাত্রার মান সাম্যধ্রুবকের সমীকরণে বসিয়ে যে মান পাই, তাকে বিক্রিয়া অনুপাত (Q_c) বা reaction quotient বলে।

$$\therefore \text{বিক্রিয়া অনুপাত, } Q_c = \frac{[\text{HI}]_t^2}{[\text{H}_2]_t \times [\text{I}_2]_t} = \frac{(0.40)^2}{(0.10) \times (0.20)} = 8.0$$

উল্লেখ্য K_c এর অনুরূপভাবে Q_c কে সংজ্ঞায়িত করা হয়। উপরের সম্পর্ক থেকে বোঝা যায় Q_c (8.0) এর মান K_c

(57.0) এর মান থেকে অনেক কম। তাই $Q_c = K_c$ হতে হলে t সময়ের পরেও বিক্রিয়াটি সম্মুখ দিকে অনেক সময় নিয়ে

সম্পন্ন হতে হবে। এখানে বোঝা গেল বিক্রিয়া অনুপাত, Q_c এর বিশেষ গুরুত্ব রয়েছে। সুতরাং Q_c ও K_c রাশি দুটির মান

সম্পর্কে বিক্রিয়ার দিক সম্বন্ধে নিম্নরূপ সিদ্ধান্ত মিলে-

- (i) যদি $Q_c < K_c$ হয়; তখন বিক্রিয়াটি সম্মুখদিকে অগ্রসর হবে, উৎপাদ বাড়তে থাকবে।
(ii) যদি $Q_c > K_c$ হয়; তখন বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় আসার জন্য পশ্চাৎমুখী হবে; উৎপাদের বিয়োজন ঘটবে।
(iii) যদি $Q_c = K_c$ হয়; বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় পৌঁছে গেছে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৪ : বিক্রিয়ার দিকের ধারণাভিত্তিক :

500K তাপমাত্রায় 20L বিক্রিয়া পাত্রে 1.57 mol N_2 , 1.92 mol H_2 এবং 8.13 mol NH_3 মিশ্রিত করা হলো। ঐ তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির যেমন $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ এর জানা K_c এর মান 1.7×10^2 হলে বর্তমানে মিশ্রিত গ্যাসসহকারে কোন দিকে অগ্রসর হবে?

দক্ষতা : Q_c এর মান নির্ণয় করে তা প্রদত্ত K_c এর মানের সাথে তুলনা করতে হবে।

সমাধান : N_2 এর মোলার ঘনমাত্রা $[N_2] = 1.57 \text{ mol}/20L = 0.0785M$ ।

অনুরূপভাবে, $[H_2] = 1.92 \text{ mol}/20L = 0.096M$; $[NH_3] = 8.13 \text{ mol}/20L = 0.406M$;

এ মানসমূহ সাম্যধ্রুবকের সমীকরণে বসিয়ে পাই :

$$Q_c = \frac{[NH_3]_t^2}{[N_2]_t \times [H_2]_t^3} = \frac{(0.406)^2}{(0.0785) \times (0.096)^3} = 2.37 \times 10^3$$

যেহেতু Q_c এর মান K_c (1.7×10^2) এর মানের চেয়ে বড়, তাই সাম্যধ্রুবকের মানের সমান মান করতে বর্তমান অবস্থায় বিক্রিয়াটি বাম দিকে অগ্রসর হতে হবে অর্থাৎ কিছু NH_3 বিয়োজিত হয়ে N_2 ও H_2 এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করতে হবে, যেন $Q_c = K_c = 1.7 \times 10^2$ হয়।

(৩) প্রাথমিক ঘনমাত্রা থেকে সাম্য মিশ্রণে উপাদানের ঘনমাত্রা গণনা :

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৫ : 700K তাপমাত্রায় 1.0 mol H_2 ও 1.0 mol I_2 মিশ্রণকে 10L বিক্রিয়া পাত্রে নেয়া হলো। ঐ তাপমাত্রায় সাম্যধ্রুবক $K_c = 57$ হলে সাম্যাবস্থায় H_2 , I_2 ও HI এর ঘনমাত্রা কত হবে? সাম্য মিশ্রণে মোল এককে প্রতিটি উপাদান গণনা কর।

সমাধান : নিম্নোক্ত পাঁচ ধাপে সমস্যাটি সমাধান করা হবে :

১ম ধাপ : শুদ্ধ সমতায়ুক্ত সমীকরণ : $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$

২য় ধাপ : প্রদত্ত প্রাথমিক ঘনমাত্রা, $[H_2] = [I_2] = 1.0/10L = 0.1M$, মনে করি t সময় পরে x mol/L H_2 ও x mol/L I_2 বিক্রিয়া করে 2x mol/L HI উৎপন্ন করেছে। এতে H_2 ও I_2 এর ঘনমাত্রা হ্রাস পেয়ে $(0.1-x)$ mol/L হয় :

	$H_2(g)$	+	$I_2(g)$	\rightleftharpoons	$2HI(g)$
প্রাথমিক ঘনমাত্রা (M) :	0.1		0.1		0
ঘনমাত্রার পরিবর্তন (M) :	-x		-x		+2x
সাম্য ঘনমাত্রা (M) :	$(0.1-x)$		$(0.1-x)$		2x

৩য় ধাপ : সাম্যাবস্থায় $K_c = 57$ ধরে, সাম্যধ্রুবক সমীকরণ মতে পাই :

$$Q_c = K_c = 57 = \frac{[HI]^2}{[H_2] \times [I_2]} = \frac{(2x)^2}{(0.1-x)(0.1-x)} = \frac{4x^2}{(0.1-x)^2}$$

$$\therefore \text{বর্গমূল করে পাই; } \sqrt{57} = \pm 7.55 = \frac{2x}{(0.1-x)}$$

MCQ-4.10 : সাম্যাবস্থায় $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ বিক্রিয়াটির বেলায়- (i) সর্বদা গতিশীল (ii) সিস্টেম স্থির থাকলে বিক্রিয়া শেষ হয় না (iii) উৎপাদ বৃদ্ধি পায় না কোনটি সঠিক হবে?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

ঘনাত্মক মান নিয়ে পাই;

$$7.55 \times (0.1 - x) = 2x$$

$$\text{বা, } 0.755 = 7.55x + 2x$$

$$\text{বা, } x = 0.755/9.55 = 0.0791M$$

ঋণাত্মক মান নিয়ে পাই;

$$-7.55 \times (0.1 - x) = 2x$$

$$\text{বা, } -0.755 = 2x - 7.55x$$

$$\text{বা, } x = (-0.755)/(-5.55) = 0.136M$$

যেহেতু প্রাথমিক অবস্থায়, H_2 ও I_2 এর ঘনমাত্রা $0.10M$ ছিল; x এর মান $0.10M$ এর বেশি হতে পারে না। সুতরাং $x = 0.0791M$ গ্রহণীয়; অপরটা নয়।

৪র্থ ধাপ : x -এর মান বসিয়ে সাম্যাবস্থায় উপাদানের ঘনমাত্রা নির্ণয় :

$$[H_2] = [I_2] = (0.10 - x) = (0.10 - 0.0791) = 0.021M$$

$$[HI] = 2x = 2 \times 0.0791 = 0.158M$$

৫ম ধাপ : সাম্যাবস্থার সমীকরণে ঐ সব মান বসিয়ে ফলাফল যাচাই :

$$K_c = 57.0 = \frac{[HI]^2}{[H_2] \times [I_2]} = \frac{(0.158)^2}{(0.021)(0.021)} = 57$$

সাম্যমিশ্রণে মোল সংখ্যা গণনা :

মোল সংখ্যা = মোলারিটি \times বিক্রিয়া পাত্রের আয়তন লিটারে

$$\therefore H_2 \text{ এর মোল সংখ্যা} = I_2 \text{ এর মোল সংখ্যা} = (0.021 \text{ mol/L}) \times (10L) = 0.21 \text{ mol}$$

$$HI \text{ এর মোল সংখ্যা} = (0.158 \text{ mol/L}) \times (10L) = 1.58 \text{ mol.}$$

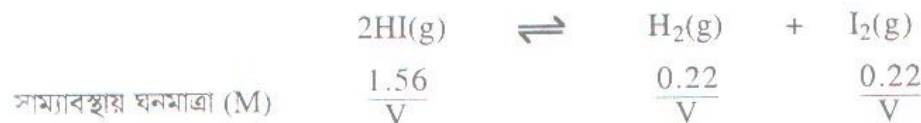
সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৬ : একটি আবদ্ধ নলে $440^\circ C$ তাপমাত্রায় 2 mol HI(g) সাম্যাবস্থায় পৌছানো অবধি উত্তপ্ত করা হলো। দেখা গেল যে, $HI(g)$ ২২% বিয়োজিত হয়েছে। বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবক গণনা করো।

সমাধান : শর্ত অনুসারে সমীকরণ $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$

প্রশ্নমতে, $HI(g)$ ২২% বিয়োজিত হলে 2 mol HI(g) থেকে $2 \times 0.22 = 0.44 \text{ mol HI(g)}$ বিয়োজিত হয়েছে। সুতরাং সাম্য মিশ্রণে অবিয়োজিত $HI(g)$ আছে = $(2 - 0.44) = 1.56 \text{ mol}$.

বিক্রিয়ার সমীকরণ থেকে দেখা যায়, 2 mol HI(g) এর বিয়োজনে $1 \text{ mol H}_2(g)$ ও $1 \text{ mol I}_2(g)$ উৎপন্ন হয়। সুতরাং 0.44 mol HI(g) এর বিয়োজনে $H_2(g)$ ও $I_2(g)$ প্রতিটির 0.22 mol উৎপন্ন হয়।

যদি আবদ্ধ নলের আয়তন VL হয়, তবে সাম্যাবস্থায় বিভিন্ন উপাদানের মোলার ঘনমাত্রা হবে নিম্নরূপ :



$$\therefore K_c = \frac{[H_2] \times [I_2]}{[HI]^2} = \frac{\frac{0.22}{V} \times \frac{0.22}{V}}{\left(\frac{1.56}{V}\right)^2} = 0.018$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৭ : $470^\circ C$ তাপমাত্রায় $AB(g)$ যৌগটির ৪৫% বিয়োজিত হয়। উক্ত বিয়োজনের সাম্যধ্রুবক K_c গণনা কর। সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াটি হলো : $2AB(g) \rightleftharpoons A_2(g) + B_2(g)$

সমাধান : সংশ্লিষ্ট সমীকরণ : $2AB(g) \rightleftharpoons A_2(g) + B_2(g)$

প্রশ্নমতে, $AB(g)$ ৪৫% বিয়োজিত হয়। তখন সমীকরণ মতে 2 mol AB(g) থেকে $2 \times 0.45 = 0.90 \text{ mol AB(g)}$ বিয়োজিত হয়েছে। সুতরাং সাম্যমিশ্রণে অবিয়োজিত $AB(g)$ আছে = $(2 - 0.90) = 1.10 \text{ mol}$ । বিক্রিয়ার সমীকরণ থেকে দেখা যায় 2 mol AB(g) এর $1 \text{ mol A}_2(g)$ ও $1 \text{ mol B}_2(g)$ উৎপন্ন হয়। সুতরাং 0.90 mol

AB (g) বিয়োজনে A₂(g) ও B₂(g) প্রতিটির 0.45 mol উৎপন্ন হয়। যদি আবদ্ধ পাত্রের আয়তন VL হয়, তবে সাম্যাবস্থায় উপাদানগুলোর মোলার ঘনমাত্রা হবে নিম্নরূপ :

$$2AB(g) \rightleftharpoons A_2(g) + B_2(g)$$

সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা (M) $\frac{1.10}{V}$ $\frac{0.45}{V}$ $\frac{0.45}{V}$

$$\therefore \text{সাম্যক্রমিক, } K_c = \frac{[A_2] \times [B_2]}{[AB]^2} = \frac{\frac{0.45}{V} \times \frac{0.45}{V}}{\left(\frac{1.10}{V}\right)^2} = 2.066 \times 10^{-3}$$

$$\therefore K_c = 2.066 \times 10^{-3}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৮ : 4.05 mol হাইড্রোজেন এবং 4.65 আয়োডিন 444°C তাপমাত্রায় 1L ফ্লাস্কে রেখে তাপ দিলে 6.75 mol HI উৎপন্ন হলো। H₂ + I₂ \rightleftharpoons 2HI বিক্রিয়াটির সাম্যক্রমিক K_c ও K_p নির্ণয় কর।

সমাধান :	H ₂ (g)	+	I ₂ (g)	$\xrightleftharpoons{\Delta}$	2HI(g)	এখানে, a = 4.05 mol
প্রাথমিক অবস্থায় :	a mol		b mol		0 mol	b = 4.65 mol
সাম্যাবস্থায় :	(a - α) mol		(b - α) mol		2α mol	α = $\frac{6.75}{2} = 3.375 \text{ mol}$
						V = 1L

∴ বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় :

$$[H_2] = (a - \alpha) = (4.05 - 3.375) = 0.675 \text{ (M)}$$

$$[I_2] = (b - \alpha) = (4.65 - 3.375) = 1.275 \text{ (M)}$$

$$[HI] = 2\alpha = 2 \times 3.375 = 6.75 \text{ (M)}$$

K_c এর সমীকরণের জন্য প্রত্যেক উপাদানের মোলার ঘনমাত্রার 1M দিয়ে ভাগ করে পাই-

$$\therefore K_c = \frac{[HI]^2}{[I_2][H_2]} = \frac{(6.75)^2}{(1.275)(0.675)} = \frac{45.5625}{0.860625} = 52.94$$

আবার, যেহেতু এ বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মোল সংখ্যা সমান, সেহেতু K_p = K_c = 52.94

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৯ : 298K তাপমাত্রায় সাম্যাবস্থায় N₂O₄ এর বিয়োজন মিশ্রণে N₂O₄ এর আংশিক চাপ 0.8 atm এবং বিক্রিয়াটির K_p = 0.008। বিক্রিয়াটির K_c ও NO₂ এর আংশিক চাপ নির্ণয় কর।

সমাধান : সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়াটির সমীকরণ হলো : N₂O₄(g) \rightleftharpoons 2NO₂(g)

$$\text{এক্ষেত্রে } K_p = \frac{(P_{NO_2})^2}{P_{N_2O_4}}; \text{ বা } (P_{NO_2})^2 = K_p \times P_{N_2O_4} \text{ [বর্জনগুণন করে]}$$

$$\text{বা, } (P_{NO_2})^2 = 0.008 \times \frac{0.8 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 0.0064$$

$$\therefore P_{NO_2} = \sqrt{0.0064} = 0.08$$

$$\text{আবার, } K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$$

$$\therefore K_c = \frac{K_p}{(RT)^{\Delta n}}$$

$$\text{বা, } K_c = \frac{0.008}{(0.082 \text{ K}^{-1} \times 298 \text{ K})^1}$$

$$\text{এখানে, } K_p = 0.008$$

$$K_c = ?$$

$$\text{এক্ষেত্রে, } R = \frac{0.082 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}}{\text{L mol}^{-1} \cdot \text{atm}}$$

$$T = 298 \text{ K}$$

$$\Delta n = (2 - 1) = 1$$

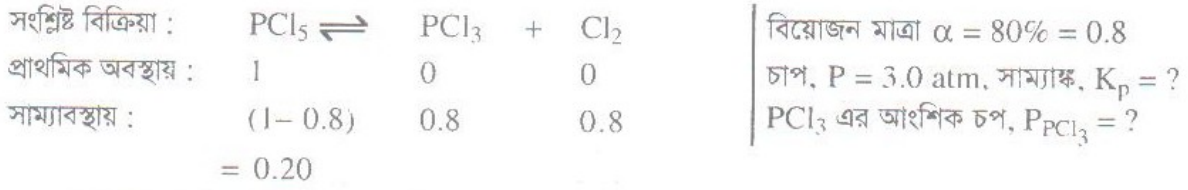
বা, $K_c = \frac{0.008}{24.436} = 3.274 \times 10^{-4}$

$\therefore K_c = 3.274 \times 10^{-4}$

[দ্রষ্টব্য K_c ও K_p -এর সমীকরণে সংশ্লিষ্ট প্রত্যেক রাশিকে প্রযোজ্য ক্ষেত্রে 1M ও 1atm দিয়ে ভাগ করে নিতে হবে। কারণ K_c ও K_p এর একক নেই।]

সমাধানকৃত সমস্যা-8.২০ : 25°C তাপমাত্রায় 3.0 atm চাপে PCl_5 80% বিয়োজিত হয়ে PCl_3 এবং Cl_2 উৎপন্ন করে। PCl_3 ও Cl_2 এর আংশিক চাপ এবং K_p নির্ণয় কর।

সমাধান :



\therefore সাম্যাবস্থায় মোট মোল সংখ্যা = $(0.20 + 0.8 + 0.8) = 1.8$

$\therefore \text{PCl}_5$ এর আংশিক চাপ, $P_{\text{PCl}_5} = \frac{0.20}{1.8} \times 3 = 0.33 \text{ atm}$

PCl_3 এর আংশিক চাপ, $P_{\text{PCl}_3} = \frac{0.8}{1.8} \times 3 = 1.332 \text{ atm} = \frac{1.332 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 1.332$

Cl_2 এর আংশিক চাপ, $P_{\text{Cl}_2} = \frac{0.8}{1.8} \times 3 = 1.332 \text{ atm} = \frac{1.332 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 1.332$

\therefore বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক, $K_p = \frac{P_{\text{PCl}_3} \times P_{\text{Cl}_2}}{P_{\text{PCl}_5}} = \frac{1.332 \times 1.332}{0.33} = 5.33$

$\therefore K_p$ এর মান 5.33

PCl_3 এর আংশিক চাপ = 1.332 atm

Cl_2 এর আংশিক চাপ = 1.332 atm

সমাধানকৃত সমস্যা-8.২১ : একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় $2A + B \rightleftharpoons 2C$ বিক্রিয়ায় সাম্যধ্রুবকের মান 8.0×10^{-4} । যদি ঐ তাপমাত্রায় বিপরীত বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান $1.24 \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ হয়, তবে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান কত হবে?

সমাধান : সাম্যধ্রুবক, $K = \frac{\text{সম্মুখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক}}{\text{বিপরীত বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক}}$

\therefore সম্মুখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক = $K \times \text{বিপরীত বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক}$
 $= 8 \times 10^{-4} \times 1.24 \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$
 $= 9.92 \times 10^{-4} \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.২২ : 25°C তাপমাত্রায় $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ বিক্রিয়ার $K_p = 3 \times 10^{24}$ হলে এর K_c এর মান কত?

সমাধান : প্রদত্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে, $\Delta n = [2 - (2 + 1)] = -1$

প্রশ্নানুসারে $K_p = 3 \times 10^{24}$ এবং $T = (273 + 25) = 298\text{K}$, $R = \frac{0.082 \text{ L atm mol}^{-1}\text{K}^{-1}}{1 \text{ L atm mol}^{-1}}$ (এক্ষেত্রে)

$K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$ সমীকরণে এ মানগুলো বসিয়ে পাই

$3 \times 10^{24} = K_c (0.082 \text{ K}^{-1} \times 298 \text{ K})^{-1}$

$\therefore K_c = (3 \times 10^{24}) \times (0.082 \times 298)$
 $= 7.33 \times 10^{25}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৩ : $A_2(g) + 3B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_3(g)$; 630K তাপমাত্রা এবং 25 atm চাপে সাম্যাবস্থার মিশ্রণে 22% A_2 এবং 17% AB_3 থাকলে বিক্রিয়াটির K_p এবং K_c এর মান নির্ণয় কর।

সমাধান : এখানে মোট চাপ $P = 25 \text{ atm}$



সাম্যাবস্থায় : 22% 61% 17%

প্রশ্ন মতে, $B_2 = (100 - 22 - 17)\% = 61\%$

সাম্যাবস্থায় A_2 এর আংশিক চাপ, $P_{A_2} = \frac{22}{100} \times 25 \text{ atm} = 5.5 \text{ atm} = \frac{5.5 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 5.5$

সাম্যাবস্থায় B_2 এর আংশিক চাপ, $P_{B_2} = \frac{61}{100} \times 25 \text{ atm} = 15.25 \text{ atm} = \frac{15.25 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 15.25$

সাম্যাবস্থায় AB_3 এর আংশিক চাপ, $P_{AB_3} = \frac{17}{100} \times 25 \text{ atm} = 4.25 \text{ atm} = \frac{4.25 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 4.25$

$$\therefore K_p = \frac{(P_{AB_3})^2}{P_{A_2} \times (P_{B_2})^3} = \frac{(4.25)^2}{5.5 \times (15.25)^3} = 9.26 \times 10^{-4}$$

আবার আমরা জানি, $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$ (i)

এখানে, $K_p = 9.26 \times 10^{-4}$, $T = 630K$, $\Delta n = 2 - (1 + 3) = -2$, $R = \frac{0.082 \text{ Latm mol}^{-1} K}{\text{Latm mol}^{-1}}$

$$K_p = K_c (RT)^{-2}$$

$$\therefore K_c = K_p (RT)^2 = 9.26 \times 10^{-4} \times (0.082 \times 630)^2$$

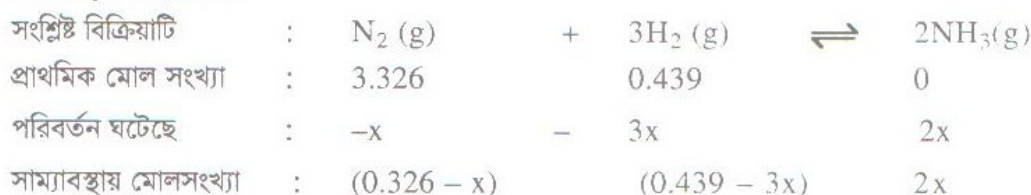
$$\therefore K_c = 2.63$$

$$K_p = 9.26 \times 10^{-4} \text{ এবং } K_c = 2.63$$

দ্রষ্টব্য : K_p ও K_c সমীকরণে প্রত্যেক রাশিকে প্রযোজ্য ক্ষেত্রে 1 atm ও 1M একক দিয়ে ভাগ করে নিতে হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৪ : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় 1L একটি পাত্রে 0.326 mol N_2 এবং 0.439 mol H_2 উত্তপ্ত করায় সাম্যাবস্থায় মিশ্রণের মোট মোল সংখ্যা পাওয়া যায় 0.657 mol। বিক্রিয়াটির K_c নির্ণয় কর।

সমাধান : মনে করি বিক্রিয়াটির $x \text{ mol } N_2$ এবং $3x \text{ mol } H_2$ পরস্পরের সাথে বিক্রিয়া করে সাম্যাবস্থায় $2x \text{ mol}$ পরিমাণ NH_3 উৎপন্ন করে।



প্রশ্নমতে সাম্যাবস্থায় মিশ্রণের মোট মোল সংখ্যা

$$= (0.326 - x) + (0.439 - 3x) + 2x = 0.657 \text{ mol}$$

$$\text{বা, } 0.765 - 2x = 0.657$$

$$\text{বা, } 0.765 - 0.657 = 2x$$

$$\text{বা, } x = 0.054$$

সুতরাং সাম্যাবস্থায় N_2 এর মোলসংখ্যা = $(0.326 - 0.054) = 0.272 \text{ mol}$

$$\therefore \text{সাম্যাবস্থায় } N_2 \text{ এর ঘনমাত্রা, } [N_2] = \frac{0.272}{1} \text{ (M)} = 0.272 \text{ (M)}$$

সাম্যাবস্থায় H_2 এর মোলসংখ্যা = $(0.439 - 0.054 \times 3) = 0.275 \text{ mol}$:

H_2 এর ঘনমাত্রা, $[H_2] = 0.275 \text{ (M)}$

" NH_3 " এর মোল সংখ্যা = $2 \times 0.054 = 0.108 \text{ mol}$

" NH_3 " ঘনমাত্রা $[NH_3] = \frac{0.108}{1} \text{ (M)} = 0.108 \text{ (M)}$

$$K_c = \frac{[NH_3]^2}{[H_2][H_2]^3} = \frac{(0.108)^2}{0.272 \times (0.275)^3} = \frac{0.01665}{0.00567} = 2.937$$

[দ্রষ্টব্য : K_c এর সমীকরণে প্রত্যেক উপাদানের ঘনমাত্রাকে 1M দিয়ে ভাগ করে নিতে হবে. K_c ও K_p একক শূন্য।

শিক্ষার্থী নিজে কর :

সমস্যা-৪.৩২ : উভমুখী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে Q_c ও K_c এর তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর।

[অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-৪.৩৩ : 427°C -এ বিক্রিয়া পাত্রে $[H_2] = 0.10\text{M}$ এবং $[I_2] = 0.20\text{M}$ আছে। ঐ তাপমাত্রায় বিক্রিয়া, $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ এর সাম্যধ্রুবক, $K_c = 57.0$ (427°C তাপমাত্রায়)। সাম্যমিশ্রণে H_2 , I_2 , HI এর ঘনমাত্রা বের কর।

[উ: $[H_2] = 0.006\text{M}$, $[I_2] = 0.106\text{M}$, $[HI] = 0.188\text{M}$]

সমস্যা-৪.৩৪ : 25°C তাপমাত্রায়, একটি বিক্রিয়া পাত্রে 0.050 M ঘনমাত্রার N_2O_4 গ্যাস আছে। ঐ তাপমাত্রায় বিয়োজন বিক্রিয়া, $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ এর সাম্যধ্রুবক K_c এর মান 4.64×10^{-3} । সাম্যাবস্থায় মিশ্রণের N_2O_4 ও NO_2 এর ঘনমাত্রা বের কর।

[উ: $[N_2O_4] = 0.0429\text{M}$; $[NO_2] = 0.0141\text{M}$]

সমস্যা-৪.৩৫ : 25°C তাপমাত্রায় N_2O_4 এর বিয়োজন সাম্যমিশ্রণে N_2O_4 এর আংশিক চাপ 0.8 atm এবং $K_p = 0.008$ হয়। বিক্রিয়াটির K_c ও NO_2 এর আংশিক চাপ গণনা কর। [উ: $K_c = 3.274 \times 10^{-4}$; $P_{NO_2} = 0.08 \text{ atm}$]

সমস্যা-৪.৩৬ : 25°C তাপমাত্রায়, বিক্রিয়া পাত্রে $[N_2O_4] = 0.02\text{M}$ এবং $[NO_2] = 0.03\text{M}$ আছে। $K_c = 4.64 \times 10^{-3}$ হলে সাম্য মিশ্রণে উপাদানের ঘনমাত্রা বের কর। [উ: $[N_2O_4] = 0.0292 \text{ M}$; $[NO_2] = 0.0116\text{M}$]

সমস্যা-৪.৩৭ : এক রাসায়নবিদ ফসফরাস হ্যালাইডের ওপর পরীক্ষা করতে গিয়ে 0.50L ফ্লাস্কে 0.105 mol PCl_5 সহ 0.045 mol Cl_2 এবং 0.045 mol PCl_3 কে মিশ্রিত করলেন। 250°C এ বিক্রিয়াটির $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ সাম্যধ্রুবক, $K_c = 4.2 \times 10^{-2}$ হয়। (ক) তুমি বিক্রিয়াটির দিক নির্ধারণ কর।

(খ) যদি সাম্য মিশ্রণে $[PCl_5] = 0.2065\text{M}$ হয়; তবে অন্য সব উপাদানের ঘনমাত্রা বের কর।

[উ: (ক) সম্মুখদিকে; (খ) $[PCl_3] = [Cl_2] = 0.093\text{M}$]

সমস্যা- ৪.৩৮ : এক অজৈব রাসায়নবিদ ফসফরাস ক্লোরাইডের বিয়োজন সম্পর্কীয় পরীক্ষায় 1 mol PCl_5 বিক্রিয়া ফ্লাস্কে 250°C ও 1atm চাপে রাখলেন। এতে 80% PCl_5 বিয়োজিত হয়ে থাকে :

$PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ । এক্ষেত্রে PCl_3 ও Cl_2 এর আংশিক চাপ, K_p ও K_c গণনা কর।

[উ: $K_c = 4.1 \times 10^{-2}$, $K_p = 1.76$; PCl_3 ও Cl_2 এর আংশিক চাপ 0.44 atm .]

সমস্যা-৪.৩৯ (ক) : 30°C তাপমাত্রায় ও 1.5 atm চাপে 15.6% PCl_5 বিয়োজিত হয়। ঐ বিয়োজন বিক্রিয়ার K_p এর মান বের কর।

[উ: $K_p = 0.0374$]

(খ) 30°C তাপমাত্রায় ও 1.5 atm চাপে 15.6% PCl_5 বিয়োজিত হয়। উক্ত বিয়োজনে K_p এর মান নির্ণয় কর।

[উ : 0.0374145]

(গ) 250°C তাপমাত্রায় ও 3 atm চাপে 80% PCl_5 বিয়োজিত হয়ে PCl_3 ও PCl_2 উৎপন্ন হয়। PCl_3 ও Cl_2 এর আংশিক চাপ ও K_p নির্ণয় কর। [উ : 1.33atm এবং $K_p = 5.36$]

(ঘ) 450°C তাপমাত্রায় ও $1.01 \times 10^5 \text{Nm}^{-2}$ চাপে 1L ফ্লাস্কে 1mol H_2 ও 1 mol I_2 মিশ্রিত করা হলো। সাম্য মিশ্রণে 1.56mol HI উৎপাদ থাকলে ঐ তাপমাত্রায় K_p নির্ণয় কর। [উ : $K_p = 50.28$]

(ঙ) 425°C তাপমাত্রায় 4.25 mol H_2 এবং 4.75 mol I_2 কে 1L ফ্লাস্কে রেখে তাপ দিলে 6.70 mol HI উৎপন্ন হয়। $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ বিক্রিয়াভিত্তিক সাম্যধ্রুবক K_c ও K_p নির্ণয় কর। [উ : $K_c = K_p = 35.627$]

(চ) 445°C তাপমাত্রায় 41.14g H_2 এবং 1325.88g I_2 বাষ্পের মিশ্রণকে 1L ফ্লাস্কে উত্তপ্ত করা হলো। ফলে 1308.16g HI উৎপন্ন হলে এ বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক গণনা কর। [উ : $K_c = K_p = 62.061$]

(ছ) 425°C তাপমাত্রায় 15mol H_2 এবং 5.2 mol I_2 এর মিশ্রণকে 1L আবদ্ধ পাত্রে উত্তপ্ত করলে 10 mol HI উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবক গণনা কর। [উ : $K_c = K_p = 50$]

(জ) 37°C তাপমাত্রায় HI 35% বিয়োজিত হয়। এ বিয়োজনের K_p ও K_c গণনা কর।

$$[\text{উ: } K_p = 0.07248; K_c = 0.07248]$$

সমস্যা-8.80 : $\text{X}_2(\text{g}) + \text{Y}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{XY}(\text{g})$ বিক্রিয়াটি 2L পাত্রে 1 atm চাপে ও নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সম্পন্ন করা হয়। X_2 ও Y_2 প্রত্যেকের প্রাথমিক ঘনমাত্রা 2mol এবং সাম্যাবস্থায় 3.12 mol উৎপাদন উৎপন্ন হলে K_p ও K_c এর মান বের কর। [উ : $K_p = K_c = 50.28$] [ব. বো. ২০১৫]

সমাধানকৃত সমস্যা-8.২৫ : আয়রন আকরিক থেকে আয়রন নিষ্কাশনে, $\text{FeO}(\text{s})$ ও CO গ্যাসের রিডক্স বিক্রিয়ায় আয়রন ও CO_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়।



1000K তাপমাত্রায় সংঘটিত বিক্রিয়ায়, সাম্যধ্রুবক $K_p = 0.259$ হয়। বিক্রিয়া তাপমাত্রায় উভয় গ্যাসের প্রাথমিক আংশিক চাপ $P_{\text{CO}} = 1.0 \text{ atm}$ এবং $P_{\text{CO}_2} = 0.5 \text{ atm}$ হয়। সাম্যমিশ্রণে CO ও CO_2 এর আংশিক চাপ গণনা কর।

সমাধান : ১ম ধাপ : সমতায়ুক্ত সমীকরণ : $\text{FeO}(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$

২য় ধাপ : মনে করি বিক্রিয়ার পর CO গ্যাসের আংশিক চাপ কমল $x \text{ atm}$.



প্রাথমিক চাপ (atm) :	1.0	0.5
পরিবর্তন (atm) :	- x	+ x
সাম্যাবস্থায় চাপ (atm) :	(1 - x)	(0.5 + x)

৩য় ধাপ : সাম্যধ্রুবকের সমীকরণে মানগুলো বসিয়ে পাই :

$$K_p = 0.259 = P_{\text{CO}_2}/P_{\text{CO}} = \frac{0.5 + x}{1.0 - x}; \text{ [কঠিন বস্তু FeO, Fe এর পদ বাদ}$$

যাবে]

$$\text{বা, } 0.259 - 0.259x = 0.5 + x;$$

$$\text{বা } x = -0.241/1.259 = -0.191$$

৪র্থ ধাপ : x এর মান 'সাম্যাবস্থায় চাপ' এর সম্পর্কে বসিয়ে পাই:

$$P_{\text{CO}} = (1.0 - x) = 1.0 - (-0.191) = 1.191 \text{ atm}$$

$$P_{\text{CO}_2} = (0.5 + x) = 0.5 + (-0.191) = 0.309 \text{ atm}$$

৫ম ধাপ : সাম্য ধ্রুবকের সমীকরণে মানগুলো বসিয়ে ফলাফল যাচাই;

$$K_p = 0.259 = P_{\text{CO}_2}/P_{\text{CO}} = 0.309/1.191 = 0.259$$

MCQ-4.11 : K_c এর মানের তাৎপর্য কী?

- (i) বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি বোঝায়
- (ii) বিক্রিয়ার দিক বোঝায়
- (iii) সাম্যমিশ্রণে উপাদানের ঘনমাত্রা আদি ঘনমাত্রা থেকে বের করা যায়।

কোনটি সঠিক হবে?

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

x এর ঋণাত্মক মান থেকে বোঝা যায় উৎপাদ বিক্রিয়কে পরিণত হয়ে সাম্যাবস্থা লাভ করে। এর যুক্তি হলো প্রাথমিক বিক্রিয়া অনুপাত $Q_p = 0.50/1.0 = 0.50$ সাম্যধ্রুবক $K_p (0.259)$ থেকে বড়। যখন $Q_p > K_p$, তখন বিক্রিয়া ডানদিক থেকে বাম দিকে গিয়ে সাম্যাবস্থা লাভ করে।

শিক্ষার্থী নিজে কর :

সমস্যা-8.81 : ওয়াটার গ্যাস উৎপাদন বিক্রিয়া : $C (s) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2(g)$ এর 1000K তাপমাত্রায় সাম্যধ্রুবক $K_p = 2.44$ হয়। যদি প্রাথমিক অবস্থায় H_2 , CO , H_2O এর আংশিক চাপ $P_{H_2O} = 1.2 \text{ atm}$, $P_{CO} = 1.0 \text{ atm}$ ও $P_{H_2} = 1.4 \text{ atm}$ হলে সাম্যাবস্থায় এদের আংশিক চাপ বের কর।

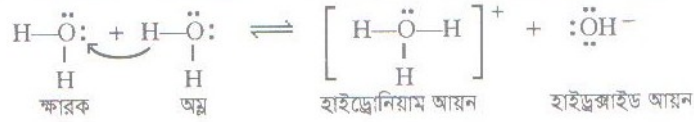
[উ: $P_{H_2O} = 0.9 \text{ atm}$, $P_{CO} = 1.3 \text{ atm}$, $P_{H_2} = 1.7 \text{ atm}$]

সমস্যা-8.82 : $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ এ বিক্রিয়ায় নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সাম্যধ্রুবক $K_p = 4.75$ হয়। সাম্যাবস্থায় SO_2 ও SO_3 এর আংশিক চাপ যথাক্রমে 0.25 atm ও 0.45 atm হলে O_2 এর আংশিক চাপ কত হবে?

[উ: 0.6821 atm]

8.10.1 পানির আয়নিক গুণফল : পানির অটো আয়নিকরণ *DU + Medical* Ionic Product of Water : Auto ionization of water

বিজ্ঞানী কোলরাস্ ও হেডউইলার (Kohlrausch ও Heydweiller 1894) বিশুদ্ধ পানির পরিবাহিতা নির্ণয় করে দেখান যে, অতি বিশুদ্ধ পানি অতি সামান্য বিদ্যুৎ পরিবহন করে। অর্থাৎ পানি হলো একটি অতি দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থ। এতে প্রমাণিত হয় পোলার পানি অণু নিজেই অতি স্বল্পমাত্রায় আয়নিত হয়ে ধনাত্মক আয়ন ও ঋণাত্মক আয়ন যেমন হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) ও হাইড্রক্সাইড আয়ন (OH^-) উৎপন্ন করে। একে পানির অটো-আয়নিকরণ বলে। এ ক্ষেত্রে একটি পানি অণু অম্ল বা প্রোটন দাতা ও অপর পানি অণু ক্ষারক বা প্রোটন গ্রহীতারূপে ক্রিয়া করে।



ভরক্রিয়া সূত্র মতে, $K = \frac{[H_3O^+] \times [OH^-]}{[H_2O]^2}$; প্রকৃতপক্ষে সামান্য পরিমাণে বিয়োজনের ফলে পানির ঘনমাত্রায় বিশেষ পরিবর্তন ঘটে না। তাই পানির মোলার ঘনমাত্রা $[H_2O]$ এর মান ধ্রুবক ধরা হয়।

অতএব $K \times [H_2O]^2 = [H_3O^+] \times [OH^-]$; এখানে $K \times [H_2O]^2 = K_w$ ধরা হয়।

$$\therefore K_w = [H_3O^+] \times [OH^-]$$

K_w কে পানির আয়নিক গুণফল বলা হয়।

পানির অটো আয়নিকরণ বা বিয়োজন গতিশীল সাম্যাবস্থায় থাকে। এতে দুটি বৈশিষ্ট্য আমরা জানতে পারি। যেমন :

* (১) প্রথমত সম্মুখমুখী ও পশ্চাৎমুখী উভয় বিক্রিয়া দ্রুত চলে। এক্ষেত্রে H_2O অণু, H_3O^+ আয়ন ও OH^- আয়নসমূহের মধ্যে আন্তঃপরিবর্তন দ্রুতগতিতে সব সময় চলতে থাকে।

* (২) দ্বিতীয়ত সাম্যের অবস্থান বামে দূরতম প্রাণীয় অবস্থায় থাকে। অতি স্বল্প সংখ্যক H_2O অণু আয়নিত হয়ে H_3O^+ আয়ন ও OH^- আয়ন উৎপন্ন করে।

25°C তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানির বিয়োজনে উৎপন্ন H₃O⁺ আয়নের ঘনমাত্রা বিভিন্ন পরীক্ষার মাধ্যমে নির্ণয় করে 1.0 × 10⁻⁷ M পাওয়া গেছে। যেহেতু H₂O এর আয়নিকরণে সমসংখ্যক H₃O⁺ আয়ন ও OH⁻ আয়ন উৎপন্ন হয়; তাই বিশুদ্ধ পানিতে OH⁻ আয়নের ঘনমাত্রাও 25°C তাপমাত্রায় 1.0 × 10⁻⁷ M হবে।

$$\therefore [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ M (at } 25^\circ\text{C)}$$

$$\therefore 25^\circ\text{C এ পানির আয়নিক গুণফল, } K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = (1.0 \times 10^{-7})(1.0 \times 10^{-7}) \\ = 1.0 \times 10^{-14} \text{ (এককবিহীন)}$$

আবার 25°C বিশুদ্ধ পানির মোলার ঘনমাত্রা; প্রায় 55.5M হয়: $\left(\text{যেহেতু } \frac{1000\text{g/L}}{18.02\text{g}} \right)$

আবার [H₃O⁺] এর মান ও বিশুদ্ধ পানির মোলার ঘনমাত্রার মান থেকে বিয়োজিত ও অবিয়োজিত পানি অণুর অনুপাত পাই 1.0 × 10⁻⁷ M / 55.5 M = 1.8 × 10⁻⁹; অর্থাৎ (1.0/1.8) × 10⁹ টি পানি অণুর মধ্যে একটি আয়নিত হয়। অর্থাৎ 5555 লক্ষ পানি অণুর মধ্যে 1টি পানি অণু বিয়োজিত হয়ে সাম্য অবস্থায় থাকে। তাই বিয়োজিত ও অবিয়োজিত পানি অণুর অনুপাত হলো 1: 5555 × 10⁵

(ক) পানির আয়নিক গুণফল (K_w)-এর বৈশিষ্ট্য :

(১) পানির আয়নিক গুণফল, K_w এর সমীকরণের প্রযোজ্যতা

K_w = [H₃O⁺] × [OH⁻]; এ সমীকরণটি বিশুদ্ধ পানি এবং যেকোনো জলীয় দ্রবণ যেমন নিরপেক্ষ, অম্লীয় বা ক্ষারীয় দ্রবণের জন্য প্রযোজ্য হয়। সুতরাং একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানি বা যেকোনো জলীয় দ্রবণের ক্ষেত্রে H₃O⁺ ও OH⁻ আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল সর্বদা ধ্রুবক এবং এর মান ঐ তাপমাত্রা K_w এর সমান হয়।

(২) পানির আয়নিক গুণফলের (K_w) ওপর তাপমাত্রা প্রভাব : অন্যান্য সাম্যধ্রুবকের মতো K_w এর মান স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট এবং তাপমাত্রার পরিবর্তনে K_w এর মানও পরিবর্তিত হয়। পানির অটো আয়নিকরণ বা স্ব-আয়নিকরণ প্রক্রিয়াটি হলো একটি তাপহারী প্রক্রিয়া :



তাই তাপমাত্রার বৃদ্ধিতে H₃O⁺ ও OH⁻ আয়নের ঘনমাত্রা তথা K_w এর মান বৃদ্ধি পায়। বিভিন্ন তাপমাত্রায় K_w এর মান নিচে দেয়া হলো :

তাপমাত্রা (°C)	10°C	25°C	30°C	50°C	100°C
K _w এর মান	0.292 × 10 ⁻¹⁴	1.0 × 10 ⁻¹⁴	1.465 × 10 ⁻¹⁴	5.474 × 10 ⁻¹⁴	8.7 × 10 ⁻¹⁴

(৩) পানির স্ব-আয়নিকরণ ধ্রুবক (K_d) ও আয়নিক গুণফলের (K_w) সম্পর্ক :

$$K_d = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]^2} = \frac{K_w}{[\text{H}_2\text{O}]^2} \therefore K_w = K_d \times [\text{H}_2\text{O}]^2$$

সুতরাং, পানির স্ব-আয়নিকরণ ধ্রুবক (K_d) ও আয়নিক গুণফল এক নয়।

এখন 1L বিশুদ্ধ পানি H₂O এর মোল সংখ্যা = $\frac{1000}{18} = 55.55$ (পানির ঘনত্ব 1 g.cm⁻³ ধরে)

সুতরাং, বিশুদ্ধ পানির মোলার ঘনমাত্রা, [H₂O] = 55.55 mol. L⁻¹

∴ K_w = K_d × (55.55)² এই সমীকরণটি পানির স্ব-আয়নিকরণ ধ্রুবক ও আয়নিক গুণফলের মধ্যে সম্পর্ক প্রকাশ করে।

(৪) বিশুদ্ধ পানির H₃O⁺ ও OH⁻ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা : বিশুদ্ধ পানির স্ব-আয়নিকরণ সমীকরণটি নিম্নরূপ :



এ সমীকরণ থেকে দেখা যায়, বিশুদ্ধ পানি (H_2O) অণুগুলোর স্বল্প আয়নিতভাবে উৎপন্ন H_3O^+ ও OH^- আয়নের সংখ্যা তথা মোলার ঘনমাত্রা সমান। অর্থাৎ বিশুদ্ধ পানিতে, $[H_3O^+] = [OH^-]$

$$\text{সুতরাং } K_w = [H_3O^+] \times [OH^-] = [H_3O^+]^2 = [OH^-]^2$$

$$\therefore \text{বিশুদ্ধ পানিতে, } [H_3O^+] = [OH^-] = \sqrt{K_w}$$

(i) $25^\circ C$ তাপমাত্রায় $K_w = 10^{-14}$ । সুতরাং $25^\circ C$ তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানিতে, $[H_3O^+] = [OH^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7} M$ । অর্থাৎ এক কোটি লিটার বিশুদ্ধ পানিতে, 1 মোল H_3O^+ ও 1 মোল OH^- আয়ন বর্তমান।

(ii) $100^\circ C$ তাপমাত্রায় $K_w = 8.7 \times 10^{-14}$ । সুতরাং, $100^\circ C$ তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানিতে $[H_3O^+] = [OH^-] = \sqrt{8.7 \times 10^{-14}} = 2.95 \times 10^{-7} M$

(খ) পানির অটো-আয়নিকরণ ও এসিড-বেস কেমিস্ট্রি সম্পর্ক :

জলীয় দ্রবণে H_3O^+ আয়ন ও OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রার সম্পর্ক : আমরা দুটো বৈশিষ্ট্য লক্ষ করবো এসিড-বেস বা অম্ল-ক্ষারক জলীয় দ্রবণে :

(১) লা-শাতেলিয়ালের নীতি অনুসারে দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য ও গতিশীল পানির আয়নিক সাম্যাবস্থায় যে কোনো আয়নের ঘনমাত্রা পরিবর্তন করলে সাম্যের অবস্থান পরিবর্তিত হয়; কিন্তু সাম্যক্ষরক স্থির থাকে। তাই পানিতে অম্ল এসিড (যেমন HCl) যোগ করলে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায়, ফলে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা হ্রাস পায়। অপরদিকে অম্ল ক্ষার (যেমন $NaOH$) যোগ করলে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায় ফলে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা হ্রাস পায়। পানিতে H_3O^+ আয়ন বা OH^- আয়ন যোগ করলে প্রতিক্ষেত্রে H_2O উৎপন্ন হয়; ফলে K_w এর মান স্থির থাকে। সুতরাং $[H_3O^+]$ পরিবর্তনের ফলে বিপরীত ক্রমে $[OH^-]$ পরিবর্তিত হয়।

$$\text{Higher } [H_3O^+] \Rightarrow \text{Lower } [OH^-] \text{ এবং } \text{Higher } [OH^-] \Rightarrow \text{Lower } [H_3O^+]$$

(২) সব অম্লীয় দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা কম থাকে। আবার সব ক্ষারীয় দ্রবণে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা কম থাকে। সব জলীয় দ্রবণে উভয় প্রকার আয়ন বর্তমান থাকে। পানির অটো আয়নিকরণ ও গতিশীল আয়নিক সাম্যাবস্থায় উপস্থিত $[H_3O^+]$ পরিমাণ ও $[OH^-]$ পরিমাণের ওপর ভিত্তি করে 'অম্লীয় দ্রবণ' ও 'ক্ষারীয় দ্রবণ' সংজ্ঞায়িত করা হয়। যেমন,

$$\begin{array}{l} \text{অম্লীয় দ্রবণে, } [H_3O^+] > [OH^-] > \sqrt{K_w} \\ \text{নিরপেক্ষ দ্রবণে, } [H_3O^+] = [OH^-] = \sqrt{K_w} \\ \text{ক্ষারীয় দ্রবণে, } [H_3O^+] < [OH^-] < \sqrt{K_w} \end{array}$$

জলীয় দ্রবণে H_3O^+ আয়ন ও OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা নির্ণয় : একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় K_w এর মান নির্দিষ্ট এবং ঐ তাপমাত্রায় জলীয় দ্রবণে H_3O^+ আয়ন ও OH^- আয়নের মধ্যে কোনো একটির মোলার ঘনমাত্রার মান জানা থাকলে অপরটির মোলার ঘনমাত্রার মান নিচের সমীকরণ থেকে বের করা যায় :

$$[H_3O^+] = \frac{K_w}{[OH^-]}; [OH^-] = \frac{K_w}{[H_3O^+]}$$

যেমন $25^\circ C$ তাপমাত্রায় কোনো জলীয় দ্রবণের $[H_3O^+]$ অথবা $[OH^-]$ এর যে কোনো একটির পরিমাণ জানা থাকলে, তখন K_w এর মান থেকে অপরটির মান বের করা যায়। যেমন,

$$\text{যেহেতু, } [H_3O^+] \times [OH^-] = K_w = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$\therefore [H_3O^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[OH^-]}; \text{ এবং } [OH^-] = \frac{1 \times 10^{-14}}{[H_3O^+]}$$

✓ সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৬ : K_w এর মান থেকে দ্রবণে H_3O^+ ও OH^- আয়ন গণনা :

লেমন জুসের নমুনায় H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা $2.5 \times 10^{-3} M$ আছে। এতে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা কত হবে? দ্রবণটি অম্লীয়, নিরপেক্ষ বা ক্ষারীয় হবে কীনা ব্যাখ্যা কর।

দক্ষতা : $[H_3O^+]$ জানা থাকায়, $[OH^-] = K_w/[H_3O^+]$ সম্পর্ক থেকে বের করা যাবে।

$$\text{সমাধান : } [OH^-] = \frac{K_w}{[H_3O^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{2.5 \times 10^{-3}} = 4.0 \times 10^{-12} M$$

যেহেতু $[H_3O^+] > [OH^-]$, দ্রবণটি অম্লীয় হবে। [কারণ $2.5 \times 10^{-3} > 4.0 \times 10^{-12}$]

শিক্ষার্থী নিজে কর :

সমস্যা ৪.৪৩ : $25^\circ C$ -এ পানির আয়নিক গুণফল (K_w) এর মান ও মোলার ঘনমাত্রা থেকে বিয়োজিত ও অবিয়োজিত পানি অণুর অনুপাত বের কর।

[অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা ৪.৪৪ : কোনো সামুদ্রিক পানির OH^- আয়নের ঘনমাত্রা $5.0 \times 10^{-6} M$ হলে এতে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা কত হবে তা বের কর। দ্রবণটি অম্লীয়, নিরপেক্ষ অথবা ক্ষারীয় হবে কীনা ব্যাখ্যা কর।

[উ: $[H_3O^+] = 2.0 \times 10^{-9} M$]; দ্রবণটি ক্ষারীয়।]

সমস্যা-৪.৪৫ : $50^\circ C$ তাপমাত্রায় $K_w = 5.5 \times 10^{-14}$; ঐ নিরপেক্ষ দ্রবণে $50^\circ C$ তাপমাত্রায় H_3O^+ ও OH^- আয়নের ঘনমাত্রা বের কর।

[উ: $2.345 \times 10^{-7} M$]

(ক) $50^\circ C$ তাপমাত্রায় পানির আয়নিক গুণফলের মান $25^\circ C$ তাপমাত্রায় আয়নিক গুণফলের মান অপেক্ষা বেশি কেন?

[উ : তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে K_w এর মান বৃদ্ধি পায়।]

(খ) $25^\circ C$ তাপমাত্রায় একটি জলীয় দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা $2 \times 10^{-5} M$ হলে ঐ দ্রবণে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা কত?

[উ : $5 \times 10^{-10} M$]

(গ) তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিশুদ্ধ পানির OH^- আয়নের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায় কেন? এর ফলে বিশুদ্ধ পানি কি ক্ষারীয় হয়? ব্যাখ্যা কর।

[উ : ক্ষারীয় হয় না।]

৪.১০.২। অম্ল ও ক্ষারকের বিয়োজন মাত্রার সাথে ঘনমাত্রার সম্পর্ক : অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র

Relation between Degree of Dissociation & Concentration of Acid & Base :
Ostwald's Dillution Law

তীব্র অম্ল ও তীব্র ক্ষারক জলীয় দ্রবণে প্রায় সম্পূর্ণরূপে আয়নিত হয়। অপরদিকে, মৃদু বা দুর্বল অম্ল ও ক্ষারক পানিতে আংশিকভাবে আয়নিত হয়। তখন আয়নিত ও অ-আয়নিত অণুসমূহের মধ্যে একটি সাম্যাবস্থা বিরাজ করে। একটি অম্ল বা ক্ষারকের নির্দিষ্ট দ্রাবকে আয়নিত হওয়ার পরিমাণকে 'বিয়োজন মাত্রা' দ্বারা বোঝানো হয়।

(ক) অম্ল ও ক্ষারকের বিয়োজন মাত্রার সংজ্ঞা হলো : "একটি দ্রবণে উপস্থিত কোন অম্ল বা ক্ষারক-এর মোল সংখ্যার যে ভগ্নাংশ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, তাকে ঐ বা ক্ষারকের বিয়োজন-মাত্রা বলে।" অর্থাৎ

$$\text{অম্ল বা ক্ষারকের বিয়োজন-মাত্রা} = \frac{\text{বিয়োজিত অম্ল বা ক্ষারকের মোলসংখ্যা}}{\text{দ্রবীভূত ঐ অম্ল বা ক্ষারকের মোট মোল সংখ্যা}}$$

মৃদু অম্ল ও ক্ষারকের তথা তড়িৎ বিশ্লেষণ পদার্থের দ্রবণ লঘু করলে অর্থাৎ ঘনমাত্রা হ্রাসের ফলে বিয়োজন মাত্রা বৃদ্ধি পায়। তখনও দ্রবণে মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষণ সম্পূর্ণ রূপে আয়নিত হয় না, ১৮৮৮ খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী অসওয়াল্ড মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষণের লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রে উভমুখী সাম্যাবস্থায় ভরক্রিয়া সূত্র প্রয়োগ করে বিয়োজন মাত্রা ভিত্তিক একটি সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন, যা অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র নামে পরিচিত।

(খ) অস্ওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র : লঘু দ্রবণে মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য যেমন মৃদু অম্ল ও ক্ষারকের বিয়োজন-মাত্রা ঐ অম্ল ও ক্ষারকের দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রার বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক। এটিই অস্ওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র নামে পরিচিত।

(গ) লঘুকরণ সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ : মনে করি, HA একটি মৃদু অম্ল। এর একটি দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা C এবং এর বিয়োজন মাত্রা α । তখন 1 মোল HA বিয়োজিত হলে α মোল H^+ আয়ন ও α মোল A^- আয়ন উৎপন্ন হয়। তখন C মোল HA বিয়োজনের ফলে αC মোল H^+ এবং αC মোল A^- আয়ন উৎপন্ন হবে। সাম্যাবস্থায় দ্রবণে $(1-\alpha)C$ মোল HA অম্ল অবিয়োজিত অবস্থায় থাকবে। অর্থাৎ,



সাম্যাবস্থায় : $(1-\alpha)C$ αC αC

এখন ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে, HA অম্লের বিয়োজন ধ্রুবক হবে,

$$K_a = \frac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]} = \frac{\alpha C \times \alpha C}{(1-\alpha)C} = \frac{\alpha^2 C}{(1-\alpha)}$$

মৃদু অম্ল যেমন ইথানোয়িক এসিড (CH_3COOH) এর বেলায় α এর মান খুবই কম এবং এজন্য α এর মানকে 1(এক) এর তুলনায় নগণ্য ধরে উপরিউক্ত সমীকরণে $(1-\alpha)$ কে 1 ধরা হয়। তখন,

$$\text{বা, } K_a = \alpha^2 C$$

$$\text{বা, } \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{K_a} \cdot \frac{1}{\sqrt{C}}$$

অনুরূপভাবে, একটি দুর্বল ক্ষারক যেমন NH_3 অথবা মিথাইল অ্যামিন (CH_3NH_2) এর বেলায় α এর মান খুবই কম হয়। তখন সেক্ষেত্রে $K_b = \alpha^2 C$ এবং $\alpha = \sqrt{K_b} \cdot \frac{1}{\sqrt{C}}$ পাওয়া যায়। অর্থাৎ $\alpha \propto \frac{1}{\sqrt{C}}$

উপরিউক্ত সমীকরণ দ্বারা মৃদু অম্ল ও ক্ষারকের বিয়োজন মাত্রা ও দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রার সম্পর্ক প্রতিষ্ঠিত হয়। এটি অস্ওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ।

(ঘ) প্রযোজ্যতা : (১) মৃদু অম্ল, মৃদু ক্ষারক ও মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণের বেলায় অস্ওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র প্রযোজ্য। দ্রবণের লঘুকরণের সাথে ঐ সব পদার্থের বিয়োজন মাত্রা বাড়তে থাকে।

(২) অসীম লঘুতায় মৃদু অম্ল ও মৃদু ক্ষারক সম্পূর্ণরূপে বিয়োজিত হয়। তীব্র অম্ল ও তীব্র ক্ষারক মোলার ঘনমাত্রার সম্পূর্ণরূপে বিয়োজিত হয়। ফলে তাদের ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থা থাকে না বলে লঘুকরণ সূত্র প্রযোজ্য হয় না।

8.১০.৩ অম্ল বা এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক (K_a)

Acid Dissociation Constant, K_a

ব্রনস্টেড-লাউরির মতবাদ অনুসারে, যে কোনো দুর্বল অম্লকে পানিতে দ্রবীভূত করলে নিম্নরূপে বিয়োজিত হয়ে সাম্যাবস্থায় থাকে।



$$\therefore \text{সাম্যাবস্থায়, } K_c = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[HA] \times [H_2O]} ; \text{ [এক্ষেত্রে } [H_2O] \text{ ধ্রুব থাকে।]}$$

$$\therefore K_c \times [H_2O] = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[HA]}$$

$$\therefore K_a = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[HA]} ; \text{ এখানে } K_a = K_c \times [H_2O]$$

উপরিউক্ত সাম্যাক্ষ K_a কে অম্লের বিয়োজন ধ্রুবক বলে। K_a এর কোনো একক নেই। (দ্রষ্টব্য অনুচ্ছেদ ৪.৮, K_c)
 সুতরাং প্রতি লিটার জলীয় দ্রবণে উপস্থিত কোনো অম্লের মোল সংখ্যার যে ভগ্নাংশ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, তাকে ঐ অম্লের বিয়োজন ধ্রুবক, K_a বলা হয়। অম্লকে তড়িৎ বিশ্লেষ্যরূপে গণ্য করা হয়।

পানিতে অম্ল ও ক্ষার তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থরূপে আয়নে বিভক্ত হয়। সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য জলীয় দ্রবণে শতভাগ আয়নিত হয়; কিন্তু দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য জলীয় দ্রবণে আংশিক আয়নিত হয়। অনুরূপভাবে সবল অম্ল পানিতে প্রায় সম্পূর্ণভাবে আয়নিত হয়ে সর্বাধিক হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) ও অ্যানায়নে পরিণত হয়। যেমন,



সবল অম্লের বেলায়, জলীয় দ্রবণে কোনো অবিয়োজিত অম্ল বা এসিড অণু (HA) থাকে না।

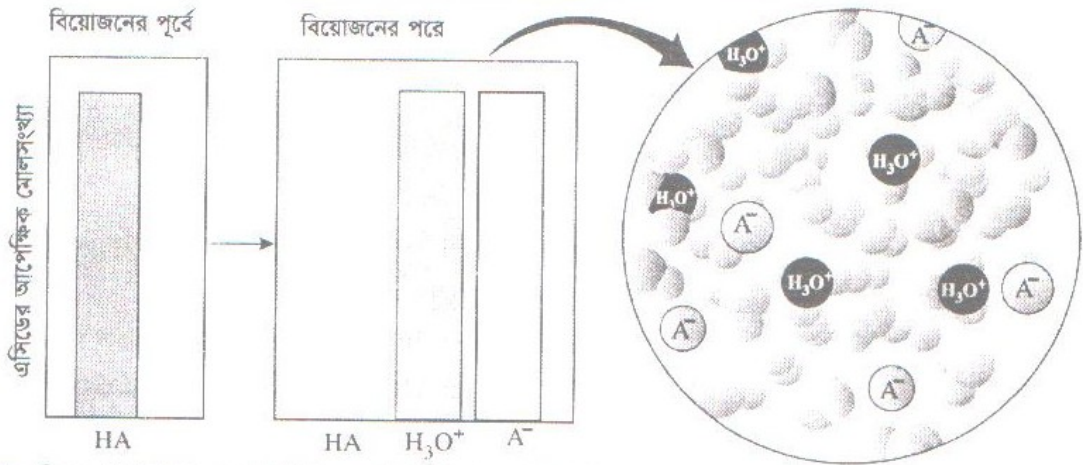
অর্থাৎ $[H_3O^+] = [HA]$ (প্রাথমিক); অপর কথায়, $[HA]_{eq} \approx 0$ হয়।

$$\therefore Q_c = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[HA] \times [H_2O]} ; \text{ এক্ষেত্রে } Q_c = K_c \gg 1$$

দুর্বল অম্লের বেলায়, খুব কম সংখ্যক অম্লের অণু HA পানিতে আয়নিত হয়। তখন $[H_3O^+] \ll [HA]$ হয় এবং সাম্যাবস্থায় $Q_c = K_c \ll 1$ ।

সুতরাং সবল অম্ল বা এসিডের সাম্যাবস্থায় $[H_3O^+]$ এর পরিমাণ সবচেয়ে বেশি হয় এবং K_a এর মানও বেশি হয়।

সবল এসিড \rightarrow অধিকতর $[H_3O^+]$ \rightarrow উচ্চতর K_a



চিত্র ৪.২০ : সবল এসিডের বিয়োজন মাত্রা।

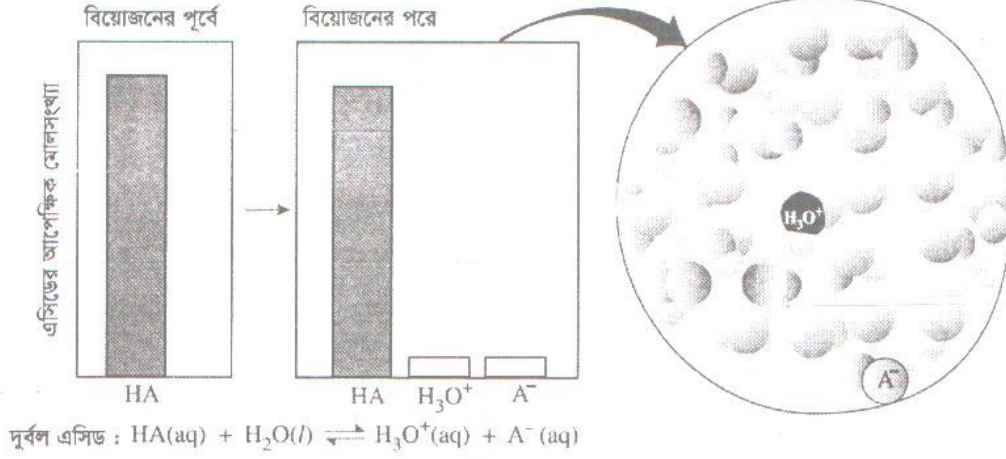
দুর্বল এসিডের শক্তিমাত্রা প্রকাশে K_a ছাড়া শতকরা বিয়োজন মান ও ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রে 1M এসিড দ্রবণে $[H_3O^+]$ এর % পরিমাণ ধরা হয়। যেমন, 1.0 M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণে H_3O^+ এর মোলার ঘনমাত্রা = $4.2 \times 10^{-3} M$ হয়।

$$\therefore \text{অ্যাসিটিক এসিডের \% বিয়োজন} = \frac{[CH_3COOH] \text{ বিয়োজিত} \times 100\%}{[CH_3COOH] \text{ প্রাথমিক}}$$

$$= \frac{4.2 \times 10^{-3} M \times 100\%}{1.0 M} = 0.42\%$$

K_a -এর তাৎপর্য : (১) K_a -এর মান যত বেশি হয় অম্লটি তত শক্তিশালী হয়। HCl, HNO₃, H₂SO₄ প্রভৃতি এসিড পানিতে সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত হয় বিধায় এদেরকে তীব্র এসিড বলে।

(২) অপরদিকে CH_3COOH (অ্যাসিটিক এসিড) ও অন্যান্য জৈব এসিড কম বিয়োজিত হয় বিধায় এদেরকে দুর্বল এসিড বলা হয়।



চিত্র ৪.২১ : দুর্বল এসিডের বিয়োজন মাত্রা।

৪.১০.৪ ক্ষারকের বা ক্ষারের বিয়োজন ধ্রুবক (K_b)

Base Dissociation Constant, K_b

ব্রনস্টেড-লাউরির অম্ল-ক্ষারকের প্রোটনীয় মতবাদ অনুসারে, দুর্বল ক্ষারক যেমন অ্যামোনিয়া (NH_3) পানি অণু থেকে প্রোটন গ্রহণ করে ক্ষারকের অনুবন্ধী এসিড ও OH^- আয়ন উৎপন্ন করে।



একইভাবে যে কোনো ক্ষারক (B) পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় পানি অণু (H_2O) থেকে একটি প্রোটন গ্রহণ করে ক্ষারকের অনুবন্ধী অম্ল (BH^+) ও OH^- আয়ন উৎপন্ন করে। এক্ষেত্রে H_2O প্রোটন দাতা বা অম্লরূপে ক্রিয়া করে :



ক্ষারক অম্ল

সাম্যাবস্থায়, $K_b = \frac{[\text{BH}^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{B}] \times [\text{H}_2\text{O}]}$; এক্ষেত্রে $[\text{H}_2\text{O}]$ ধ্রুব থাকে;

$$\therefore K_b = \frac{[\text{BH}^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{B}]}$$

এ সাম্যাক K_b কে ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক বলা হয়। K_b এর কোনো একক নেই। [দ্রষ্টব্য অনুচ্ছেদ-৪.৮, K_c]

সুতরাং প্রতি লিটার জলীয় দ্রবণে উপস্থিত কোনো ক্ষারকের মোল সংখ্যার যে ভগ্নাংশ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, তাকে ঐ ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক, K_b বলা হয়।

K_b -এর তাপর্ষ : K_b -এর মান যত বেশি হয় ঐ ক্ষারক তত শক্তিশালী হয়। NaOH , KOH প্রভৃতি জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত হয় বিধায় এদেরকে তীব্র ক্ষারক বলে। NH_4OH -এর বিয়োজন মাত্রা কম বিধায় একে দুর্বল ক্ষারক বলা হয়।

৪.১১ বিয়োজন ধ্রুবক ও এসিড ক্ষারের তীব্রতা Dissociation Constants & Acid Base Strength

K_a এর গুরুত্ব : নিচে দুর্বল এসিড বা অম্লের বিয়োজন ধ্রুবক K_a এর মানের পরিসর দ্বারা পানিতে এসিড অণু (HA) এর মোল সংখ্যার আয়নিত ভগ্নাংশ সম্বন্ধে ধারণা পাওয়া যায়।

(১) দুর্বল এসিডের মধ্যে তুলনামূলক উচ্চমানের K_a ($\sim 10^{-2}$) এর বেলায়, 1M এসিড দ্রবণে 10% HA (এসিড) অণু আয়নিত হয়। যেমন, ক্লোরাস এসিড (HClO_2) এর 1M দ্রবণের $K_a = 1.1 \times 10^{-2}$ অর্থাৎ 1M HClO_2 পানিতে 10% বিয়োজিত হয়।

(২) দুর্বল এসিডের মধ্যে তুলনামূলক মধ্যম মানের K_a ($\sim 10^{-5}$) এর বেলায়, 1M এসিড দ্রবণে প্রায় $\sim 0.3\%$ HA (এসিড) অণু আয়নিত হয়। যেমন, অ্যাসিটিক এসিড (CH_3COOH) এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ অর্থাৎ 1M CH_3COOH পানিতে প্রায় 0.42% আয়নিত হয়।


(৩) দুর্বল এসিডের মধ্যে তুলনামূলক নিম্নমানের K_a ($\sim 10^{-10}$) এর বেলায়, 1M এসিড দ্রবণে প্রায় $\sim 0.001\%$ HA (এসিড) অণু আয়নিত হয়। যেমন, হাইড্রোসায়ানিক এসিড (HCN) এর $K_a = 6.2 \times 10^{-10}$ অর্থাৎ 1M HCN পানিতে প্রায় 0.0025% আয়নিত হয়।

সুতরাং দুর্বল এসিডের বেলায়, সাম্যাবস্থায় K_a এর মান যত কম হবে, HA (এসিড) এর শতকরা হারে বিয়োজন তত কম হবে।

নিম্নতর মানের $K_a \rightarrow$ HA এর % বিয়োজন নিম্নতর \rightarrow দুর্বলতর এসিড

নিচে কিছু সংখ্যক এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক K_a , নাম সংকেত ও গাঠনিক সংকেত দেয়া হলো।

সারণি- ৪.৫ : কিছু এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক, 25°C

নাম (সংকেত)	গাঠনিক সংকেত	K_a	অপেক্ষাকৃত সবল এসিড
১. হাইড্রোক্লোরিক এসিড (HCl)	H-Cl	2×10^6	 <p>দুর্বলতর এসিড চিত্র ৪.২২ : এসিডের শক্তিক্রম</p>
২. ফসফরাস এসিড (H_3PO_3)	$\text{HPO}(\text{OH})_2$	3×10^{-2}	
৩. সালফিউরাস এসিড (H_2SO_3)	$\text{O} = \text{S}(\text{OH})_2$	1.4×10^{-2}	
৪. ফসফরিক এসিড (H_3PO_4)	$\text{O} = \text{P}(\text{OH})_3$	7.2×10^{-3}	
৫. নাইট্রাস এসিড (HNO_2)	$\text{O} = \text{NOH}$	4.5×10^{-4}	
৬. হাইড্রোফ্লোরিক এসিড (HF)	H-F	3.5×10^{-4}	
৭. ফরমিক এসিড (HCO_2H)	$\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{H}$	1.8×10^{-4}	
৮. অ্যাসিটিক এসিড ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$)	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{H}$	1.8×10^{-5}	

* এসিডের শক্তিমাত্রার নির্ভরশীলতা : এসিডের তীব্রতা বা শক্তিমাত্রা নিম্নোক্ত বিষয়ের ওপর নির্ভর করে :

- * (১) এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক,
- * (২) হাইড্রোসায়ানিক অণুর আকার,
- * (৩) কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ অবস্থা,
- * (৪) কেন্দ্রীয় পরমাণুর আকার,
- * (৫) দ্রাবকের প্রকৃতি।

(১) এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক : এসিডের K_a এর মান যত বেশি হয় এসিডটি তত বেশি শক্তিশালী হয়। HCl, HBr, HI, HNO_3 ও H_2SO_4 প্রভৃতি এ সব এসিড জলীয় দ্রবণে প্রায় সম্পূর্ণরূপে (অর্থাৎ 99 – 100%) বিয়োজিত হয়ে থাকে, এদেরকে তীব্র এসিড বলা হয়। এদের K_a মান খুবই বেশি। যেমন, HCl এর $K_a = 2.5 \times 10^7$, HBr এর $K_a = 3.2 \times 10^9$, HI এর $K_a = 1 \times 10^{10}$ । H_2SO_4 এর প্রথম বিয়োজন ($H_2SO_4 \rightleftharpoons H^+ + HSO_4^-$) এর জন্য $K_a = 10^3$ হয়ে থাকে। সুতরাং H_2SO_4 হলো তীব্র এসিড।

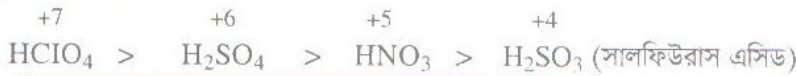
অপরদিকে অ্যাসিটিক এসিড (CH_3COOH) এর 0.1M ঘনমাত্রার দ্রবণে মাত্র 5% বিয়োজিত হয়; এবং

$K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ । সুতরাং অ্যাসিটিক এসিডকে মৃদু বা দুর্বল এসিড বলা হয়।



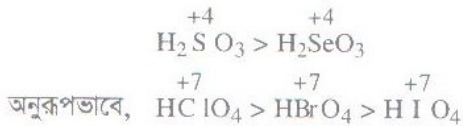
(২) ঋণাত্মক আয়নের আকার : হাইড্রোসিডের অল্পধর্মের তীব্রতা এদের অণুস্থিত ঋণাত্মক আয়নের আকারের ওপর নির্ভর করে। ঋণাত্মক আয়নের আকার যত বড় হয়, অণুর বিয়োজন তত বেশি হয় অর্থাৎ এসিডের তীব্রতা তত বেশি হয়। Cl^- আয়নের আকারের চেয়ে ৪র্থ পর্যায়ের Br^- আয়নের আকার বড় এবং ৫ম পর্যায়ের I^- এর আকার আরও বড়। তাই এসব এসিডের তীব্রতার ক্রম হলো $HI > HBr > HCl$ ।

(৩) কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ সংখ্যা : অক্সোএসিডসমূহের অর্থাৎ অক্সিজেন পরমাণুযুক্ত এসিডসমূহের কেন্দ্রীয় পরমাণুর ধনাত্মক জারণ সংখ্যা যত বেশি ঐ এসিডের তীব্রতা তত বেশি হয়। যেমন,



(৪) কেন্দ্রীয় পরমাণুর আকার : অক্সোএসিডসমূহের কেন্দ্রীয় পরমাণুর ধনাত্মক জারণ সংখ্যা সমান হলে তখন যেটির কেন্দ্রীয় পরমাণুর আকার ছোট হবে এবং চার্জ ঘনত্বের ক্রম বৃদ্ধি অনুসারে সে এসিডের তীব্রতা বেশি হয়। যেমন, HNO_3 ও H_3PO_4 উভয় এসিডের কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ সংখ্যা সমান (+5)। তবে ২য় পর্যায়ভুক্ত N-পরমাণুর আকার ৩য় পর্যায়ভুক্ত P-পরমাণুর আকারের চেয়ে ছোট বলে P-পরমাণুর তুলনায় N পরমাণুর চার্জ ঘনত্ব বেশি। ফলে উভয় এসিডের তীব্রতার ক্রম হলো $HNO_3 > H_3PO_4$ । একই কারণেই $HNO_2 > H_3PO_3$ ।

একইভাবে সালফিউরাস এসিড (H_2SO_3) ও সেলেনাস এসিড (H_2SeO_3) এর বেলায়, উভয়ের কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ সংখ্যা +4; কিন্তু ৩য় পর্যায়ভুক্ত S পরমাণুর আকার ৪র্থ পর্যায়ের Se পরমাণুর আকারের চেয়ে ছোট হওয়ায় H_2SO_3 এসিডের তীব্রতা বেশি হয়।



MCQ-4.12 : নিচের কোন্ এসিডটি সবচেয়ে বেশি তীব্র এসিড হবে?

(ক) H_2SeO_3 (খ) H_2SO_4 (গ) $HClO_4$ (ঘ) HIO_4

* দুর্বল এসিডসমূহের মধ্যে আয়োডিক এসিড (HIO_3) এর $K_a = 1.7 \times 10^{-1}$, CH_3COOH এর $K_a = 1.76 \times 10^{-5}$ । H_2S এর প্রথম $K_a = 9.1 \times 10^{-8}$ । এ সব মান হতে এদের শক্তির ধারণা পাওয়া যায়।

(৫) দ্রাবকের প্রকৃতি : দ্রাবকের প্রোটন গ্রহণ করার ক্ষমতা বা ক্ষারকত্ব বেশি হলে এতে দ্রবীভূত এসিডের আয়নিকরণ বৃদ্ধি পায়। যেমন পানিতে অ্যাসিটিক এসিড (CH_3COOH) একটি দুর্বল এসিড। কিন্তু অ্যামোনিয়া দ্রবণে এটি একটি তীব্র এসিড। অপরদিকে ক্ষারকের বেলায় এর বিপরীত সম্পর্ক। অর্থাৎ দ্রাবকের ক্ষারকত্ব বেশি হলে এতে দ্রবীভূত ক্ষারকের বিয়োজন হ্রাস পায়। ফলে ক্ষারকের তীব্রতাও হ্রাস পায়। আবার দ্রাবকের ক্ষারকত্ব কম হলে এতে দ্রবীভূত ক্ষারকের তীব্রতা বৃদ্ধি পায়।

* ক্ষারকের শক্তিমাত্রার নির্ভরশীলতা : ক্ষারকের তীব্রতা বা শক্তিমাত্রা নিম্নোক্ত ৩টি বিষয়ের ওপর নির্ভর করে :

- *(১) ধাতুর অক্সাইড ও হাইড্রক্সাইডের পানিতে দ্রবণীয়তা,
- *(২) ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক,
- *(৩) যৌগের নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন প্রদানের ক্ষমতা।

পানিতে অধিক দ্রবণীয় ধাতুর অক্সাইড ও হাইড্রক্সাইডকে সবল ক্ষারক বলে এবং কম দ্রবণীয় ধাতুর অক্সাইড ও হাইড্রক্সাইডকে দুর্বল ক্ষারক বলে।

১। সবল ক্ষারক : অক্সাইড (O^{2-}) ও হাইড্রক্সাইড (OH^-) আয়নযুক্ত পানিতে দ্রবণীয় যৌগসমূহ সবল ক্ষারক হয়। এই সব যৌগে অধিক সক্রিয় ধাতুর ক্যাটায়ন থাকে। যেমন,

(i) M_2O , MOH যৌগসমূহ, এক্ষেত্রে $M =$ গ্রুপ IA(1) ধাতু, Li, Na, K, Rb, Cs.

(ii) MO , $M(OH)_2$ যৌগসমূহ, এক্ষেত্রে $M =$ গ্রুপ 2A(2) ধাতু, Ca, Sr, Ba; এসব ক্ষারকের K_b এর মান বেশি।

২। ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক (K_b) : K_b -এর মান যত বেশি হয় ক্ষারকটি ততই শক্তিশালী হয়। $NaOH$, KOH প্রভৃতি ক্ষারক জলীয় দ্রবণে প্রায় সম্পূর্ণরূপে বিয়োজিত থাকে; সুতরাং এরা তীব্র ক্ষারক। এদের K_b এর মান খুবই বেশি।

দুর্বল ক্ষারক : নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল যুক্ত NH_3 ও প্রতিস্থাপিত অ্যামোনিয়া যৌগসমূহ যেমন অ্যামিনসমূহ দুর্বল ক্ষারক হয়। এদের K_b এর মান কম হয়। NH_4OH সাধারণ ঘনমাত্রার দ্রবণে খুব কম পরিমাণে বিয়োজিত হয়; সুতরাং NH_4OH একটি মৃদু বা দুর্বল ক্ষারক। যেমন,

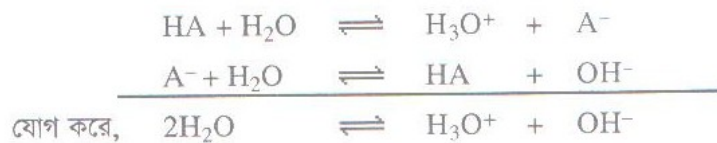


* NH_4OH , NH_2OH (হাইড্রক্সিল অ্যামিন), NH_2-NH_2 (হাইড্রাজিন) এর K_b এর মান যথাক্রমে 1.79×10^{-5} , 1.07×10^{-8} , এবং 1.7×10^{-6} । অনুরূপভাবে মিথাইল অ্যামিন (CH_3NH_2) এর $K_b = 3.7 \times 10^{-4}$, ডাইমিথাইল অ্যামিন, $(CH_3)_2NH$ এর $K_b = 5.4 \times 10^{-4}$ হয়। এ সব মান হতে এদের শক্তি মাত্রার ধারণা পাওয়া যায়।

৪.১১.১ অনুবন্ধী অম্ল ও ক্ষারকের K_a ও K_b এর সম্পর্ক

Relation between K_a and K_b of a Conjugate Acid-Base

যে কোনো এসিড (HA) এর K_a এবং ঐ এসিডের অনুবন্ধী ক্ষারক (A^-) এর K_b মধ্যে একটি উল্লেখযোগ্য সম্পর্ক আছে। এখন এসিড (HA) ও এর অনুবন্ধী ক্ষারক (A^-) উভয়ের বিয়োজন সমীকরণ দু'টো যোগ করে দেখা যাক :



এখন সুস্পষ্ট হলো যে, ঐ দুটো বিয়োজন বিক্রিয়ার ফলাফল পানির অটো আয়নিকরণ (auto-ionization)। সুতরাং বিক্রিয়ার K_a ও K_b এর গুণফল থেকে নিম্নরূপ সম্পর্ক পাওয়া যায় :

$$K_a \times K_b = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[HA]} \times \frac{[HA] \times [OH^-]}{[A^-]} = [H_3O^+] \times [OH^-] = K_w$$

$$\therefore K_a \times K_b = K_w$$

উভয়দিকে ঋণাত্মক লগারিদম নিয়ে পাই,

$$-\log K_a - \log K_b = -\log K_w = -\log (1.0 \times 10^{-14})$$

$$\text{বা, } pK_a + pK_b = 14; \therefore pK_b = 14 - pK_a$$

যেমন, HF এসিডের $K_a = 6.8 \times 10^{-4}$ (প্রায়)। এ থেকে HF এর অনুবন্ধী ক্ষারক F^- এর K_b এর মান নিম্ন মতে বের করা যায়।

$$(HF\text{-এর } K_a) \times (F^-\text{ এর } K_b) = K_w$$

$$\text{বা, } F^-\text{ এর } K_b = \frac{K_w}{HF\text{ এর } K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{6.8 \times 10^{-4}} = 1.5 \times 10^{-11}$$

লক্ষ কর HF এসিডের $K_a = 6.8 \times 10^{-4}$ (প্রায়)

কিন্তু HF এর অনুবন্ধী ক্ষারক (F^-) এর $K_b = 1.5 \times 10^{-11}$

এ থেকে সিদ্ধান্ত নাও যে, এসিড যত সবল হবে, এর অনুবন্ধী ক্ষারক এর চেয়ে তত দুর্বল হবে। কারণ,

উভয়ের $K_a \times K_b = K_w = 1 \times 10^{-14}$ মান ঠিক থাকবে।

সমস্যা সমাধান : বিয়োজন মাত্রা (α), K_a , K_b , pK_a , pK_b ভিত্তির গণনা :

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৭ : 0.02 M H-COOH এর শতকরা কতভাগ বিয়োজিত হবে গণনা কর। ($K_a = 1.8 \times 10^{-4}$)।

সমাধান : আমরা জানি, সাম্যপ্রবক, $K_a = \frac{\alpha^2 C}{1 - \alpha}$ । মৃদু তড়িৎবিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে $(1 - \alpha) = 1$

$$\therefore K_a = \alpha^2 C \therefore \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \left(\frac{1.8 \times 10^{-4}}{0.02} \right)^{1/2} = 9.4868 \times 10^{-2} \quad \text{এখানে, } K_a = 1.8 \times 10^{-4}$$

$$\therefore \text{শতকরা বিয়োজিত হয়} = 9.4868 \times 10^{-2} \times 100 = 9.4868 \text{ ভাগ} \quad \text{ঘনমাত্রা, } C = 0.02 \text{ M}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৮ : 25°C তাপমাত্রায় মৃদু এক-ক্ষারকীয় অম্ল (HA) এর বিয়োজন প্রবকের মান 1.6×10^{-4} হলে ঐ তাপমাত্রায় 0.1 M HA এর জলীয় দ্রবণে ঐ অম্লের বিয়োজন মাত্রা (α) কত?

সমাধান : অম্লের বিয়োজন মাত্রা (α) = $\sqrt{\frac{K_a}{C}}$ প্রশ্নমতে,

$$\therefore \text{বিয়োজন মাত্রা } (\alpha) = \sqrt{\frac{1.6 \times 10^{-4}}{0.1}} = 0.04 \quad K_a = 1.6 \times 10^{-4}$$

$$\therefore \text{শতকরা বিয়োজন মাত্রা} = 0.04 \times 100 = 4\% \quad C = 0.1 \text{ M}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৯ : 25°C তাপমাত্রায় $0.1 \text{ M CH}_3\text{COOH}$ এসিড 1.34% আয়নিত হয়। এসিডটির বিয়োজন প্রবক (K_a) কত?

সমাধান : মৃদু এসিডের বিয়োজন প্রবক, $K_a = \frac{\alpha^2 C}{(1 - \alpha)}$

$$\therefore K_a = \frac{\alpha^2 C}{(1 - \alpha)}$$

$$\text{বা, } K_a = \frac{(1.34 \times 10^{-2})^2 \times 0.1}{(1 - 1.34 \times 10^{-2})}$$

$$\therefore K_a = 1.8199 \times 10^{-5}$$

প্রশ্নমতে,

ঘনমাত্রা, $C = 0.1 \text{ M}$

$$\text{বিয়োজন মাত্রা, } \alpha = \frac{1.34}{100} = 1.34 \times 10^{-2}$$

জেনে নাও : সব জলীয় দ্রবণে কম বেশি H_3O^+ ও OH^- আয়ন থাকে।

- * বিশুদ্ধ পানিতে H_3O^+ ও OH^- আয়নের সংখ্যা বা ঘনমাত্রা সমান থাকে।
- * অম্লীয় দ্রবণে H_3O^+ আয়নের সংখ্যা বা ঘনমাত্রা বেশি এবং OH^- আয়নের ঘনমাত্রা কম থাকে।
- * ক্ষারীয় দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা বেশি এবং H_3O^+ এর ঘনমাত্রা কম থাকে।
- * $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-]$ মতে H_3O^+ ও OH^- আয়নের যে কোনটির মান শূন্য হতে পারে না।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩০। $0.01M$ CH_3COOH এসিডের জলীয় দ্রবণে ঐ এসিডের বিয়োজনমাত্রা 4.2% হলে ঐ এসিড দ্রবণে হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) এর মোলার ঘনমাত্রা কত?

সমাধান : CH_3COOH হলো মৃদু এক-ক্ষারীয় এসিড। মৃদু এসিডের বেলায় $[H_3O^+] = \alpha C$ । এখানে α হলো এসিডের বিয়োজন মাত্রা এবং C হলো মোলার ঘনমাত্রা।

প্রশ্নমতে বিয়োজন মাত্রা 4.2%

$$\therefore \alpha = \frac{4.2}{100} = 4.2 \times 10^{-2} \text{ এবং } C = 0.01M$$

$$\begin{aligned} \therefore 0.01MCH_3COOH \text{ দ্রবণে } [H_3O^+] &= \alpha C \\ &= 4.2 \times 10^{-2} \times 0.01 \\ &= 4.2 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩১ : $30^\circ C$ তাপমাত্রায় $1.5 \times 10^{-2}M$ NH_4OH দ্রবণে NH_4OH এর বিয়োজন 3.5% । NH_4OH এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান নির্ণয় কর।

সমাধান : NH_4OH দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা, $C = 1.5 \times 10^{-2}M$

NH_4OH এর বিয়োজন মাত্রা, $\alpha = \frac{3.5}{100} = 0.035$

দ্রবণে NH_4OH এর বিয়োজনের সাম্যাবস্থা : $NH_4OH(aq) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$

সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা : $C(1 - \alpha)$ $C\alpha$ $C\alpha$

$$\begin{aligned} \therefore \text{সাম্যাবস্থায় } NH_4OH \text{ এর ঘনমাত্রা, } [NH_4OH] &= C(1 - \alpha) = 1.5 \times 10^{-2} \times (1 - 0.035) \\ &= 1.4475 \times 10^{-2}M \end{aligned}$$

সাম্যাবস্থায় NH_4^+ আয়নের ঘনমাত্রা $[NH_4^+] = C\alpha = 1.5 \times 10^{-2} \times 0.035 = 5.25 \times 10^{-4}M$

সাম্যাবস্থায় OH^- আয়নের ঘনমাত্রা, $[OH^-] = c\alpha = 1.5 \times 10^{-2} \times 0.035 = 5.25 \times 10^{-4}M$

$$\begin{aligned} NH_4OH \text{ এর বিয়োজন ধ্রুবক, } K_b &= \frac{[NH_4^+] \times [OH^-]}{[NH_4OH]} \\ &= \frac{[5.25 \times 10^{-4}] \times [5.25 \times 10^{-4}]}{[1.4475 \times 10^{-2}]} = 1.90414 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

$[K_b$ এর সমীকরণে প্রত্যেক উপাদানের ঘনমাত্রাকে $1M$ দিয়ে ভাগ করে পাই]

$$\therefore NH_4OH \text{ এর বিয়োজন ধ্রুবক, } K_b = 1.90414 \times 10^{-5}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩২। $1.0 M$ অ্যাসিটিক এসিডের জলীয় দ্রবণ H^+ আয়নের ঘনমাত্রা $4.25 \times 10^{-3} M$ । ঐ এসিড দ্রবণে অ্যাসিটিক এসিডের শতকরা বিয়োজন মাত্রা, বিয়োজন ধ্রুবক (K_a) এবং pK_a এর মান গণনা কর।

সমাধান : $CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$

$$\begin{aligned} \therefore \text{এসিডটির শতকরা বিয়োজনমাত্রা} &= \frac{\text{বিয়োজিত মোল সংখ্যা} \times 100}{\text{দ্রবণে মোট মোল সংখ্যা}} \\ &= \frac{4.25 \times 10^{-3} \times 100}{1.0} = 0.425\% \end{aligned}$$

$\therefore 0.425\%$ অ্যাসিটিক এসিড জলীয় দ্রবণে বিয়োজিত হয়। তাই $1.0M$ দ্রবণে অ্যাসিটিক এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক হলো:

$$K_a = \frac{[H^+] \times [CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

এখানে, $[H^+] = 4.25 \times 10^{-3}M$

বা, $K_a = \frac{4.25 \times 10^{-3} \times 4.25 \times 10^{-3}}{(1 - \alpha)}$

$[CH_3COO^-] = 4.25 \times 10^{-3}M$

বা, $K_a = \frac{1.806 \times 10^{-5}}{(1.0 - 0.00425)}$

$[CH_3COOH] = 1.0M$

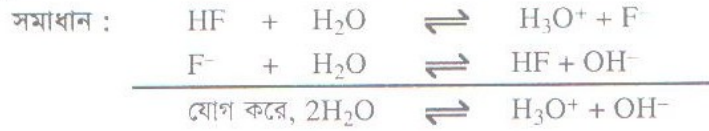
$= \frac{1.806 \times 10^{-5}}{0.99575} = 1.814 \times 10^{-5}$

$(1 - \alpha) = (1.0 - 0.00425)M$

আমরা জানি, $pK_a = -\log K_a$

বা, $pK_a = -\log (1.814 \times 10^{-5}) = 4.74$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৩ : HF একটি মৃদু অম্ল; এর $K_a = 6.8 \times 10^{-4}$; এর অনুবন্ধী ক্ষারক F^- এর K_b ও pK_b গণনা কর। এ সব মান থেকে অম্ল ও অনুবন্ধী ক্ষারকের শক্তির সম্পর্ক ব্যাখ্যা কর।



উপরোক্ত সমীকরণ মতে, K_a ও K_b থেকে K_w বের করি :

$$K_a \times K_b = \frac{[H_3O^+] \times [F^-]}{[HF]} \times \frac{[HF] \times [OH^-]}{[F^-]}; [H_2O] \text{ বাদ দেয়া হয়েছে।}$$

$\therefore K_a \times K_b = [H_3O^+] \times [OH^-] = K_w$

$\therefore K_a \times K_b = K_w$

এক্ষেত্রে F^- আয়নের $K_b = \frac{K_w}{HF \text{ এর } K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{6.8 \times 10^{-4}} = 1.5 \times 10^{-11}$

HF এর K_a এর মান 6.8×10^{-4} এবং HF এর অনুবন্ধী ক্ষারক F^- আয়নের K_b এর মান 1.5×10^{-11} । উভয় মান থেকে বোঝা যায় যে, HF এর অনুবন্ধী ক্ষারকের K_b এর মান খুবই নিম্ন। অর্থাৎ অম্ল যত তীব্র হবে এটির অনুবন্ধী ক্ষারক তত দুর্বল হবে। আবার HF এর $pK_a = -\log K_a = -\log 6.8 \times 10^{-4} = 3.17$

এবং F^- এর $pK_b = -\log K_b = -\log 1.5 \times 10^{-11} = 10.82$

সুতরাং pK_a ও pK_b এর উভয় মান থেকে বোঝা যায় যে, সবল এসিডের pK_a এর মান থেকে ঐ এসিডের দুর্বল অনুবন্ধী ক্ষারকের pK_b এর মান বেশি হয়।

শিক্ষার্থী নিজে কর : K_a, K_b, pK_a, pK_b সম্পর্কীয় :

প্রশ্ন-৪: HF দুর্বল এসিড; কিন্তু HCl সবল এসিড কেন-ব্যাখ্যা কর।

[রা. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.৪৬ : (ক) ট্রাইমিথাইল অ্যামিনের $K_b = 6.5 \times 10^{-5}$ হলে তুমি ট্রাইমিথাইল অ্যামোনিয়াম আয়ন, $(CH_3)_3NH^+$ এর K_a এর মান বের কর।

[উ: 1.5×10^{-10}]

(খ) HCN এসিডের K_a হলো 4.9×10^{-10} ; এ এসিডের অনুবন্ধী ক্ষারক CN^- আয়নের K_b এর মান বের কর।

[উ: 2×10^{-5}]

(গ) পিরিডিন (C_5H_5N) নামক জৈব দ্রাবকের $pK_b = 8.74$ হলে এর পিরিডিনিয়াম আয়ন ($C_5H_5NH^+$) এর pK_a

[উ: 5.26]

কত?

- (ঘ) ফরমিক এসিড (HCOOH) এর $pK_a = 3.74$ হলে এর ফরমেট আয়ন (HCOO⁻) এর pK_b কত? [উ: 10.26]
- (ঙ) 25°C তাপমাত্রায় NH₃ এর জলীয় দ্রবণে গঠিত আয়নিক সাম্যবস্থায় NH₃, NH₄⁺ ও OH⁻ এর ঘনমাত্রা যথাক্রমে $9.6 \times 10^{-3}M$, $4.0 \times 10^{-4}M$ ও $4.0 \times 10^{-4}M$ । এই তাপমাত্রায় NH₃ বিয়োজন ধ্রুবকের মান নির্ণয় কর। [উ: $K_b = 1.67 \times 10^{-5}$]
- (চ) 25°C তাপমাত্রায় 0.1M অ্যাসিটিক এসিডের দ্রবণে 1.34% বিয়োজিত হয়। এসিডটির বিয়োজন ধ্রুবকের মান গণনা কর। [উ: $K_a = 1.82 \times 10^{-5}$]
- (ছ) 25°C তাপমাত্রায় মৃদু এক ক্ষারীয় এসিড HA এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান 1.6×10^{-4} । ঐ তাপমাত্রায় 0.1MHA এর জলীয় দ্রবণে এসিডটির বিয়োজন ধ্রুবকের মাত্রা কত হবে? [উ: 0.004]
- (জ) একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় 3টি মৃদু এসিড HA, HB ও HC এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান যথাক্রমে 4.0×10^{-5} , 5.2×10^{-4} এবং 8.6×10^{-3} । প্রতিটি এসিডের জলীয় দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা সমান হলে এসিডগুলোকে তীব্রতার মান ক্রমানুসারে সাজাও এবং এর কারণ ব্যাখ্যা কর। [উ: HA < HB < HC]

8.১১.২ অম্লের ক্ষারকত্ব ও ক্ষারকের অম্লত্ব

Basicity of an acid & Acidity of a Base

অম্ল বা এসিডের ক্ষারকত্ব : এক মোল কোনো অম্ল দ্বারা যত মোল এক-অম্লীয় ক্ষারক বা মনোপ্রোটিক ক্ষারক (যেমন NaOH, KOH ইত্যাদি) পূর্ণ প্রশমিত হয়; ক্ষারকের ঐ মোল সংখ্যাকে ঐ অম্ল বা এসিডের ক্ষারকত্ব বলে।

যেমন, এক মোল HCl এসিড দ্বারা এক মোল NaOH পূর্ণ প্রশমিত হয়। তাই HCl এর ক্ষারকত্ব হলো 1.0।



অনুরূপভাবে, H₂SO₄ এর ক্ষারকত্ব হলো 2, H₃PO₄ এর ক্ষারকত্ব হলো 3। কিন্তু H₃PO₃ এর ক্ষারকত্ব হলো 2। কারণ H₃PO₃ অণুতে দুটি H পরমাণু O-H মূলকরূপে যুক্ত আছে; যা থেকে H⁺ আয়ন পানিতে আয়নিত হয়।



এসিডের মতো অম্লধর্মী অক্সাইডের ক্ষারকত্ব আছে। যেমন CO₂ এর ক্ষারকত্ব হলো 2 এবং P₂O₅ এর ক্ষারকত্ব হলো 6। নিচের বিক্রিয়ায় NaOH এর মোল সংখ্যা দেখ।



ক্ষারকের অম্লত্ব : এক মোল কোনো ক্ষারক দ্বারা যত মোল এক-ক্ষারকীয় অম্ল বা মনোপ্রোটিক এসিড (যেমন HCl) পূর্ণ প্রশমিত হয়, অম্ল বা এসিডের ঐ মোল সংখ্যাকে ঐ ক্ষারকের অম্লত্ব বলে। যেমন, এক মোল NaOH দ্বারা এক মোল HCl এসিড পূর্ণ প্রশমিত হয়। তাই NaOH এর অম্লত্ব হলো 1.0। অনুরূপভাবে CaO এর অম্লত্ব হলো 2, Al(OH)₃ এর অম্লত্ব হলো 3 এবং Al₂O₃ এর অম্লত্ব হলো 6। নিচের বিক্রিয়ায় HCl এর মোল সংখ্যা দেখ।



৪.১২ দ্রবণের pH, pH স্কেল

pH of a Solution, pH Scale

প্রাণবিজ্ঞান, প্রাণ-রসায়ন ও চিকিৎসা বিজ্ঞানের বিভিন্ন রাসায়নিক পরীক্ষাকার্যে অম্ল ও ক্ষারের লঘু দ্রবণ যেমন ডেসিমোলার ($10^{-1} \text{ mol L}^{-1}$) দ্রবণ ও এর চেয়ে কম ঘনমাত্রার দ্রবণও ব্যবহৃত হয়। আবার পানির আয়নিক গুণফল, K_w এর মান 1×10^{-14} ধরা হয়। কিন্তু 10 এর ঋণাত্মক ঘাত হিসেবে H^+ ও OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রায় এরূপ প্রকাশরীতি বেশ অসুবিধা। তাই 1909 খ্রিস্টাব্দে ড্যানিশ প্রাণ-রসায়নবিদ সোরেনসেন অম্ল ও ক্ষারের জলীয় দ্রবণে H^+ আয়ন ও OH^- আয়নের ঘনমাত্রা প্রকাশের জন্য pH স্কেল নামক একটি নতুন পদ্ধতি প্রকাশ করেন। এ pH প্রতীকটি "Puissance of hydrogen" অর্থাৎ power of hydrogen প্রকাশ করছে।

কোনো দ্রবণের হাইড্রোজেন আয়ন (H^+) বা হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) এর মোলার ঘনমাত্রার ঋণাত্মক বেস-10 লগারিদমকে ঐ দ্রবণের pH বলে। H^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রাকে $[H_3O^+]$ দ্বারা প্রকাশ করলে বীজগণিতের ভাষায় লেখা যায়,

$$pH = -\log [H_3O^+] \text{ বা, } [H_3O^+] = \text{antilog } (-pH) = 10^{-pH}$$

কোনো দ্রবণে H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা দশভাগ হ্রাস পেলে pH এক একক বৃদ্ধি পায়। সুতরাং যে দ্রবণের pH = 5 তা অপেক্ষা যে দ্রবণের pH = 4 তাতে H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা 10 গুণ বেশি হয়। কোনো দ্রবণের pH = 3 হলে তাতে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা = $10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ হয়। কোনো দ্রবণের H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা যত কমতে থাকে, এর pH তত বাড়তে থাকে।

আবার OH^- আয়নের ক্ষেত্রে লগারিদমীয় প্রকাশকে নিম্নরূপে লেখা যায় :

$$pOH = -\log [OH^-] \text{ বা, } [OH^-] = 10^{-pOH}$$

pH স্কেল : 25°C তাপমাত্রায় পানির আয়নিক গুণফল,

$$K_w = [H_3O^+] \times [OH^-] = 1 \times 10^{-14} \text{ ধরা হয়।}$$

$$\therefore [H_3O^+] \times [OH^-] = 10^{-14}$$

$$\text{উভয়দিকে log নিয়ে পাই, } \log [H_3O^+] \times [OH^-] = \log 10^{-14}$$

$$\text{বা, } \log [H_3O^+] + \log [OH^-] = -14$$

$$\text{বা, } -pH - pOH = -14, \text{ বা, } pH + pOH = 14 \dots \dots (5)$$

$$\text{সুতরাং ক্ষারীয় দ্রবণের } pH = 14 - pOH = 14 - (-\log [OH^-])$$

বিশুদ্ধ পানিতে শুধুমাত্র পানির বিয়োজন থেকে H_3O^+ ও OH^- তৈরি হয়।

যেহেতু এক অণু পানি থেকে একটি H_3O^+ আয়ন ও একটি OH^- আয়ন তৈরি হয়; সেহেতু বিশুদ্ধ পানিতে তাদের ঘনমাত্রা সমান। অর্থাৎ

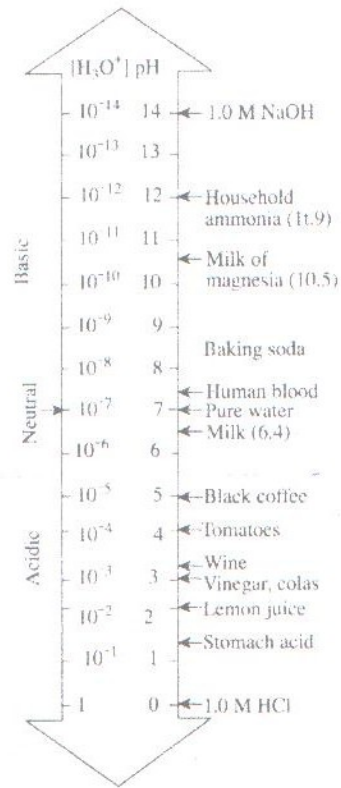
$$[H_3O^+] = [OH^-]; \therefore [H_3O^+] \times [OH^-] = [H_3O^+]^2 = 10^{-14}$$

$$\text{বা, } [H_3O^+] = 10^{-7}; \therefore pH = 7$$

সুতরাং বিশুদ্ধ পানিতে pH এর মান 7।

আমরা জানি, 1M HCl দ্রবণে $[H_3O^+] = 1 \text{ mol H}^+ \text{ ion L}^{-1}$ ।

$$\therefore 1M \text{ HCl দ্রবণের ক্ষেত্রে পাই, } pH = -\log [H_3O^+] = -\log 1 \\ = -\log 10^0 = 0 \text{। যেহেতু } 1M \text{ HCl এর } pH = 0, \text{ সুতরাং } pOH = 14 \text{।}$$



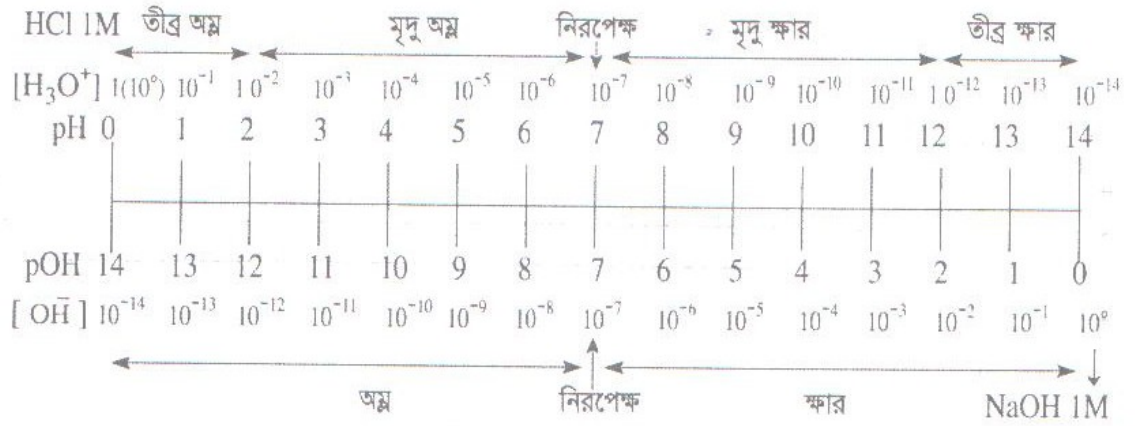
চিত্র ৪.২৩ : সাধারণ বস্তুর pH মান

আবার, 1M NaOH দ্রবণের pH = 14; pOH = 0। সুতরাং যে কোনো জলীয় দ্রবণের pH(ও pOH) এর মান 0 থেকে 14 এর মধ্যে থাকবে। বিভিন্ন pH বা, pOH এর মানের দ্রবণের অবস্থা নিম্নোক্ত চিত্র দ্বারা সহজে বোঝা যায়। সাধারণভাবে গবেষণাগারে 1M দ্রবণের বেশি ঘনমাত্রার দ্রবণ ব্যবহার করা হয় না।

লক্ষ কর, এক্ষেত্রে $[H_3O^+]$ এর সাধারণ log নেয়া হয়েছে। $[H_3O^+]$ এর এককবিহীন সংখ্যা হিসেবে গণ্য করা হয়। কারণ এটিকে প্রকৃত ঘনমাত্রা ও প্রমাণ অবস্থায় ঘনমাত্রা (1M) এর অনুপাতরূপে গণ্য করা হয়।

আবার লক্ষ কর, $[H_3O^+] = 2.5 \times 10^{-3} M$ ধরে তোমার ক্যালকুলেটরে সংখ্যাগুলো দিলে তুমি দেখবে,
 $pH = -\log(2.5 \times 10^{-3}) = (-1)(\log 10^{-3} + \log 2.5) = (3 - 0.39794) = 2.60206$

কিন্তু pH এর মান দশমিকের পর দুই ডিজিটে অর্থবোধক করে লিখতে হবে। তখন লেমন জুসের pH হবে 2.60।
 চিত্র 8.২৩-এ কিছু সাধারণ বস্তুর pH মান pH স্কেলে দেখানো হলো।



চিত্র 8.২৪ : pH স্কেল।

দ্রবণের pH সংক্রান্ত গুরুত্বপূর্ণ তথ্য :

বিশুদ্ধ পানিতে কিছু অম্ল যেমন HCl দ্রবণ যোগ করলে এর বিয়োজন থেকে দ্রবণে H_3O^+ এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায়। সুতরাং ঐ দ্রবণের pH তখন 7 অপেক্ষা কম হয়। তখন দ্রবণটি অম্লীয় হবে। অপরদিকে বিশুদ্ধ পানিতে কোনো ক্ষারক যেমন NaOH দ্রবণ যোগ করলে তা থেকে দ্রবণে OH^- এর পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। সুতরাং ভরক্রিয়া সূত্র অনুযায়ী H_3O^+ এর ঘনমাত্রা হ্রাস পায়; অর্থাৎ pH এর মান 7 থেকে বেশি হয়। তখন দ্রবণটি ক্ষারীয় হবে।

∴ কোনো দ্রবণের pH = 7 হলে, তা হবে নিরপেক্ষ বা প্রশমিত দ্রবণ।

কোনো দ্রবণের pH < 7 হলে, তা হবে অম্লীয় দ্রবণ।

কোনো দ্রবণের pH > 7 হলে, তা হবে ক্ষারীয় দ্রবণ।

MCQ-4.13 : নিচের কোন্ pH মানের দ্রবণটিতে H^+ আয়নের ঘনমাত্রা সবচেয়ে বেশি?
 (ক) 9.5 (খ) 7.4 (গ) 2.3 (ঘ) 5.5

(২) দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পেলে এর pH হ্রাস পায় এবং দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা হ্রাস পেলে এর pH এর মান বৃদ্ধি পায়।

(৩) বিশুদ্ধ পানিতে বা কোনো জলীয় দ্রবণে $pH + pOH = pK_w$

(৪) 25°C তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানিতে বা জলীয় দ্রবণে $pH + pOH = pK_w = 14$

pH স্কেল প্রয়োগ : p-স্কেল নিম্নোক্ত কাজেও ব্যবহৃত হয়। যেমন, (১) হাইড্রোক্সাইড আয়নের মোলার ঘনমাত্রা, $[OH^-]$ প্রকাশে $pH = -\log[OH^-]$ লেখা হয়। অম্লীয় দ্রবণের pOH মান ক্ষারীয় দ্রবণের চেয়ে বেশি হবে। (২) সাম্য ধ্রুবকের মানকে p স্কেলে প্রকাশ করা হয়। যেমন $pK_a = -\log K_a$ এক্ষেত্রে অম্লের সাম্যধ্রুবকের মান যত বাড়বে pK_a এর মান তত বিপরীতভাবে তত কমবে।

চিন্তা কর : 25°C-এ পানির $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ এবং পানির pH = 7 হয়। পানির pH মান সব সময় কী 7 বা ধ্রুব থাকে? না, পানির pH মান তাপমাত্রা নির্ভরশীল K_w এর মানের ওপর নির্ভর করে এবং পরিবর্তনশীল। যেমন, 50°C-এ পানির $K_w = 5.5 \times 10^{-14}$ হয়। তখন H_3O^+ ও OH^- আয়নের ঘনমাত্রা বেড়ে $2.345 \times 10^{-7} M$ হয় (সমস্যা ৪৫ নং দেখ)। অর্থাৎ 50°C-এ পানির $pH = -\log [H_3O^+] = -\log 2.345 \times 10^{-7} = 6.63$ । অর্থাৎ 100°C-এ পানির $K_w = 8.70 \times 10^{-14}$ এবং H_3O^+ ও OH^- এর ঘনমাত্রা $2.95 \times 10^{-7} M$ হয়, তখন 100°C-এ পানির pH হ্রাস পেয়ে 6.53 হয়। পানির বিয়োজন তাপহারী হওয়ায়, তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে K_w এর মান ও $[H_3O^+]$ ঘনমাত্রা বাড়ে। তাই তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে পানির pH মান হ্রাস পায়।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৪ : এসিড বৃষ্টির ক্ষতিকর প্রভাবে পানির pH হ্রাস পেয়ে 4.5-5.0 হলে তখন মাছ মরে যায়। এসিড বৃষ্টির পর কোনো হ্রদের পানির pH 4.5 হলে ঐ পানিতে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা বের কর।

দক্ষতা : pH এর মানের ঋণাত্মক অ্যান্টিলগ নিলে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা পাওয়া যায়।

সমাধান : $[H_3O^+] = \text{antilog}(-pH) = 10^{-pH} = 10^{-4.5} = 3.16 \times 10^{-5} M$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৫ :

জলীয় অ্যামোনিয়া দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা $1.9 \times 10^{-3} M$ হলে এর pH কত হবে?

দক্ষতা : প্রথমে OH^- এর ঘনমাত্রা থেকে H_3O^+ এর ঘনমাত্রা বের করে, শেষে এর ঋণাত্মক log নেয়া হবে।

সমাধান : আমরা জানি, $[H_3O^+] = K_w/[OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}/1.9 \times 10^{-3} = 5.3 \times 10^{-12} M$

$\therefore pH = -\log [H_3O^+] = -\log (5.3 \times 10^{-12}) = (-1) (\log 10^{-12} + \log 5.3) = (12 - 0.72) = 11.28$

উল্লেখ্য pH এর মান দশমিকের পর দু'ডিজিট পর্যন্ত নিতে হয়। একই নিয়মে H_3O^+ ও OH^- আয়নের ঘনমাত্রা দশমিকের পর দু'ডিজিট পর্যন্ত নিতে হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৬ : পাকস্থলীতে পাচকরসে pH এর মান 1.4 হলে ঐ রসে H^+ বা H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত হবে?

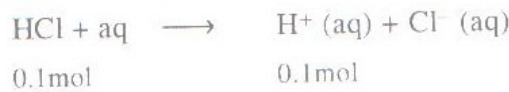
দক্ষতা : pH এর মানের ঋণাত্মক অ্যান্টিলগ নিলে H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা পাওয়া যায়।

সমাধান : $[H_3O^+] = \text{antilog}(-pH) = 10^{-pH} = 10^{-1.4} = 0.04 M$

\therefore পাচক রসে H^+ আয়ন বা H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা = 0.04M

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৭ : (ক) 0.1M HCl, (খ) 0.2M HCl, (গ) 0.01M HCl দ্রবণের pH নির্ণয় কর।

সমাধান : (ক) 0.1M HCl দ্রবণে $[H^+] = 0.1 \text{ mol } H^+ \text{ ionL}^{-1}$ । কারণ 0.1M HCl দ্রবণে HCl পূর্ণ আয়নিত হয়।



$\therefore pH = -\log [H^+] = -\log 0.1 = -\log 10^{-1} = 1$ (উ :)

(খ) 0.2M HCl দ্রবণে $[H^+] = 0.2 \text{ mol } H^+ \text{ ionL}^{-1}$ কারণ 0.2M HCl পূর্ণ আয়নিত হয়।

$\therefore pH = -\log [H^+] = -\log (0.2) = -(-0.699) = 0.699$ (প্রায়) (উ :)

(গ) 0.01M HCl দ্রবণে $[H^+] = 0.01 \text{ mol } H^+ \text{ ionL}^{-1}$ । কারণ 0.01M HCl পূর্ণ আয়নিত হয়।

$\therefore pH = -\log [H^+] = -\log (0.01) = -\log 10^{-2} = 2$ (উ :)

দেখা যাচ্ছে দ্রবণে অম্লের পরিমাণ যত বেশি, pH এর মান তত কম।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৮ : 0.005 M M_2SO_4 এসিডের pH গণনা কর।

সমাধান : জলীয় দ্রবণে 0.005M H_2SO_4 এর পূর্ণ বিয়োজন ঘটে এবং দ্বিগুণ সংখ্যক H^+ আয়ন তৈরি করে।



$$\therefore [H^+] = 2 \times 0.005 \text{ mol } H^+ \text{ ionL}^{-1} = 0.01 \text{ mol } H^+ \text{ ionL}^{-1}$$

$$\therefore pH = -\log [H^+] = -\log 0.01 = -\log 10^{-2} = -(-2) = 2 \text{ (উঃ)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৯ : 0.01M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণের pH হিসাব কর। দেয়া আছে, উপরোক্ত ঘনমাত্রায় ঐ অম্ল বা এসিডের বিয়োজন মাত্রা 12.5%।



এসিডটি 12.5% বিয়োজিত হয়েছে। তাই 0.01M দ্রবণে $[H^+]$ আছে—

$$= 0.01 \times 0.125 = 1.25 \times 10^{-3} \text{ mol } H^+ \text{ ionL}^{-1}$$

$$\therefore pH = -\log[H^+] = -\log(1.25 \times 10^{-3}) = -\log 1.25 - \log 10^{-3} \\ = -0.097 + 3 = 2.903 \text{ (উঃ)}$$

সাধারণভাবে বলা যায় যে, একই ঘনমাত্রার তীব্র এসিড অপেক্ষা দুর্বল এসিড দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়নের ঘনমাত্রা কম হবে। সুতরাং সেক্ষেত্রে pH বেশি হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪০ : $1.0 \times 10^{-2}M$ ঘনমাত্রার ফরমিক এসিড ($H-COOH$) এর বিয়োজন ধ্রুবক (K_a) এর মান গণনা কর। ঐ দ্রবণের pH হলো 2.90।



$$K_a = \frac{[H^+] \times [HCOO^-]}{[H-COOH]}; \text{ এক্ষেত্রে } [H^+] = [HCOO^-]$$

$$\frac{[H^+] \times [H^+]}{[H-COOH]} = \frac{[H^+]^2}{[HCOOH]}$$

$$\text{দেয়া আছে, } [HCOOH] = 1.0 \times 10^{-2}M$$

$$pH = 2.90$$

$$[H^+] = ?$$

$$K_a = ?$$

$$\text{আমরা জানি, } [H^+] = \text{antilog}(-pH)$$

$$\text{বা, } [H^+] = 10^{-pH} = 10^{-2.9} = 1.2589 \times 10^{-3}M$$

$$\therefore K_a = \frac{[H^+]^2}{[H-COOH]} = \frac{(1.2589 \times 10^{-3})^2}{1.0 \times 10^{-2}} = 1.5848 \times 10^{-4}$$

$$\therefore K_a = 1.5848 \times 10^{-4}$$

সমাধানকৃত সমস্যা : ৪.৪১ : 298K বা, 25°C তাপমাত্রায় একটি 0.1M ইথানোয়িক এসিড দ্রবণের p নির্ণয় কর। [$K_a = 1.76 \times 10^{-5}$]



$$\therefore K_a = \frac{[CH_3COO^-] \times [H^+]}{[CH_3COOH]}; \text{ এক্ষেত্রে দ্রবণে } [CH_3COO^-] = [H^+] \text{ হয়।}$$

আবার ইথানোয়িক এসিড দুর্বল এসিড হওয়ায় অতি অল্প পরিমাণে আয়নিত হয়। তাই দ্রবণে অবিয়োজিত CH_3CO এর ঘনমাত্রা 0.1 molL^{-1} ধরা যায়।

$$\text{তখন, } K_a = \frac{[CH_3COO^-] \times [H^+]}{[CH_3COOH]} = \frac{[H^+]^2}{0.1}$$

বা, $[H^+]^2 = K_a \times 0.1 = (1.76 \times 10^{-5}) \times 0.1 = 1.76 \times 10^{-6}$ [প্রশ্নমতে, $K_a = 1.76 \times 10^{-5}$]

$$\therefore [H^+] = \sqrt{1.76 \times 10^{-6}} = 1.33 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log(1.33 \times 10^{-3}) = 2.88 \text{ (উ :)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.8২ : কোন জলীয় দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়নের ঘনমাত্রা $3 \times 10^{-5} \text{ molL}^{-1}$ হলে ঐ দ্রবণের pH কত হবে। দ্রবণটির প্রকৃতি অম্লীয় হবে নাকি ক্ষারীয় হবে?

সমাধান : প্রশ্নমতে, $[H^+] = 3 \times 10^{-5} \text{ molL}^{-1}$

$$\therefore \text{pH} = -\log [H^+] = -\log(3 \times 10^{-5})$$

$$= -[\log 3 - 5\log 10] = -0.4771 + 5 = 4.52$$

\therefore দ্রবণের pH = 4.52; যেহেতু দ্রবণের pH এর মান 7 এর চেয়ে কম, তাই দ্রবণটি অম্লীয় হবে। (উ:)

সমাধানকৃত সমস্যা-8.8৩ : (ক) 1M NaOH, (খ) 0.1M NaOH, (গ) 0.02M NaOH, (ঘ) 0.001M NaOH দ্রবণের pH হিসাব কর।

সমাধান : যেহেতু NaOH একটি তীব্র ক্ষার, উপরিউক্ত লঘু দ্রবণসমূহে NaOH সম্পূর্ণরূপে বিয়োজিত থাকবে।

সূত্রাং এর ঘনমাত্রা দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রার সমান। $\text{NaOH (aq)} \rightarrow \text{Na}^+ \text{(aq)} + \text{OH}^-\text{(aq)}$

(ক) 1M NaOH এর ক্ষেত্রে $[\text{OH}^-] = 1 \text{ mol OH}^- \text{ ion L}^{-1}$; $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] = -\log 1 = 0$

সূত্রাং $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 0 = 14$ (উ :)

(খ) 0.1M NaOH এর বেলায় $[\text{OH}^-] = 0.1 \text{ mol OH}^- \text{ ionL}^{-1}$;

$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] = -\log 0.1 = 1$; $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 1 = 13$ (উ :)

(গ) 0.02M NaOH দ্রবণের বেলায় $[\text{OH}^-] = 0.02 \text{ mol OH}^- \text{ ionL}^{-1}$;

$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log 0.02 = 1.7$

$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = (14 - 1.7) = 12.3$ (উ :)

(ঘ) 0.001M NaOH এর বেলায় $[\text{OH}^-] = 10^{-3} \text{ mol OH}^- \text{ ion L}^{-1}$;

$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log 10^{-3} = 3$; $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 3 = 11$ (উ :)

সমাধানকৃত সমস্যা-8.88 : 2.5% NaOH দ্রবণের pH নির্ণয় কর।

সমাধান : 2.5% NaOH দ্রবণে NaOH সম্পূর্ণরূপে আয়নিত থাকে।

2.5% NaOH দ্রবণের 100 mL দ্রবণে 2.5g NaOH দ্রবীভূত থাকে।

\therefore 1000 mL ঐ দ্রবণে $(2.5 \times 10) = 25 \text{ g NaOH}$ দ্রবীভূত থাকবে।

NaOH এর গ্রাম-আণবিক ভর = 40g. $\therefore 25 \text{ g NaOH} = \frac{25}{40} \text{ mol NaOH}$.

\therefore 1000 mL NaOH দ্রবণে $\frac{25}{40} \text{ mol}$ আছে = 0.625 mol NaOH আছে।

\therefore 0.625 M NaOH এর ক্ষেত্রে $[\text{OH}^-] = 0.625 \text{ mol OH}^- \text{ L}^{-1}$

$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log 0.625 = 0.204$ (প্রায়)

$\therefore \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 0.204 = 13.796$ (উ :)

সমাধানকৃত সমস্যা-8.8৫ : একটি দ্রবণের হাইড্রক্সাইড আয়ন (OH^-) এর ঘনমাত্রা $8.2 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$ হলে উক্ত দ্রবণের pH এর মান কত?

সমাধান : প্রশ্নমতে, $[\text{OH}^-] = 8.2 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$

$\therefore \text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log(8.2 \times 10^{-4})$

$$= -[\log 8.2 - 4 \log 10] = -0.9138 + 4 = 3.09$$

$$\therefore \text{ঐ ক্ষার দ্রবণের pH} = (14 - \text{pOH}) = (14 - 3.09) = 10.91 \text{ (উ :)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.8৬ : NH_3 এর অনুবন্ধী অম্ল (NH_4^+) এর $K_a = 5.8 \times 10^{-10}$ হলে NH_3 এর K_b এর মান কত?

সমাধান : অনুবন্ধী বা কনজুগেট অম্ল-ক্ষারক সম্পর্ক হলো, $K_a \times K_b = 10^{-14}$

$$\text{প্রশ্নমতে, } K_a = 5.8 \times 10^{-10}; \therefore K_b = \frac{10^{-14}}{5.8 \times 10^{-10}} = 1.72 \times 10^{-5} \text{ molL}^{-1} \text{ (উ :)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.8৭ : 25°C তাপমাত্রায় জৈব ক্ষারক ডাইমিথাইল অ্যামিনের $1.00 \times 10^{-2} \text{ molL}^{-1}$ জলীয় দ্রবণের pH এর মান 7.64 হলে ঐ ক্ষারকের বিয়োজন প্রবলক K_b এর মান কত হবে?

সমাধান : ক্ষারকটির বিয়োজন সমীকরণ নিম্নরূপ :



$$\therefore K_b = \frac{[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+] \times [\text{OH}^-]}{[(\text{CH}_3)_2\text{NH}]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{1.0 \times 10^{-2}}; \quad \{[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+] = [\text{OH}^-]\}$$

$$\text{প্রশ্নমতে, pH} = 7.64; \therefore \text{pOH} = (14.0 - 7.64) = 6.36$$

$$\therefore [\text{OH}^-] = \text{anti log} (-6.36) = 4.37 \times 10^{-7} \text{ molL}^{-1}$$

$$\therefore K_b = (4.37 \times 10^{-7})^2 / (1.0 \times 10^{-2}) = 1.91 \times 10^{-11} \text{ molL}^{-1} \text{ (উ :)}$$

সমাধান সমস্যা-8.8৮ : 25°C তাপমাত্রায় একটি দ্রবণের pH 5.50 হলে ঐ দ্রবণের OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত?

সমাধান : আমরা জানি, কোনো দ্রবণের $\text{pH} + \text{pOH} = 14.00$

$$\therefore \text{pOH} = 14.00 - \text{pH} \quad \text{দেয়া আছে,}$$

$$\text{বা, pOH} = (14.00 - 5.00) = 8.50 \quad \text{pH} = 5.50$$

$$\text{বা, } -\log [\text{OH}^-] = 8.50 \text{ বা, } \log [\text{OH}^-] = -8.50 \quad [\text{OH}^-] = ?$$

$$\text{বা, } [\text{OH}^-] = \text{antilog} (-8.50) = 3.16 \times 10^{-9} \text{M}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.8৯ : একটি ফলের রসে H^+ আয়নের ঘনমাত্রা $3.3 \times 10^{-2} \text{ M}$ হলে ঐ ফলের রসের pH কত? ঐ ফলের রসটি অম্লীয় না ক্ষারীয় প্রকৃতির হবে?

সমাধান : আমরা জানি, $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ দেয়া আছে,

$$\therefore \text{pH} = -\log (3.3 \times 10^{-2}) = 1.48 \quad [\text{H}^+] = 3.3 \times 10^{-2} \text{M}$$

\therefore ফলের রসের pH = 1.48, যেহেতু এ ফলের রসের pH এর মান 7 থেকে কম; তাই ফলের রসটি অম্লীয় প্রকৃতির হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-8.৫০ : pH = 3 এবং pH = 6 মাত্রার দুটি দ্রবণ দেয়া আছে। কোনটি বেশি অম্লীয় এক কতগুণ বেশি অম্লীয়?

সমাধান : আমরা জানি,

$$\text{pH} = -\log (\text{H}_3\text{O}^+) \quad \therefore [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \text{ g. ionL}^{-1}$$

যখন $\text{pH} = 3$, তখন $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3} \text{ g. ionL}^{-1}$

যখন $\text{pH} = 6$, তখন $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-6} \text{ g. ionL}^{-1}$

সুতরাং $\text{pH} = 3$ এবং $\text{pH} = 6$ মাত্রার দ্রবণ দুটির মধ্যে প্রথম দ্রবণে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা দ্বিতীয়টি অনেক বেশি। কাজেই $\text{pH} = 3$ মাত্রার দ্রবণটি বেশি অম্লীয় হবে।

গণনা করে দেখা যায়, $\text{pH} = 3$ মানবিশিষ্ট দ্রবণে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা, $\text{pH} = 6$ মানবিশিষ্ট দ্রবণে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা অপেক্ষা $\frac{10^{-3}}{10^{-6}} = 10^3$ গুণ বেশি। সুতরাং, প্রথম দ্রবণটির অম্লের শক্তিমাত্রা দ্বিতীয় দ্রবণ অপেক্ষা 1000 গুণ বেশি।

শিক্ষার্থী নিজে কর :

সমস্যা-8.8৭ : (ক) সমুদ্রের পানির OH^- ঘনমাত্রা 1.58×10^{-6} হলে এর pH কত? [উ: 8.20]

(খ) এসিড বৃষ্টির পানিতে H_3O^+ ঘনমাত্রা 6.0×10^{-5} হলে এর pH কত? [উ: 4.22]

(গ) $0.05 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ দ্রবণের pH কত? [উ: 1]

(ঘ) 0.01 M HCl দ্রবণের pH কত হবে? [উ: 2]

(ঙ) 25°C -এ $0.1 \text{ M CH}_3\text{COOH}$ এর pH কত? এটির $K_a = 1.76 \times 10^{-5}$. [উ: 2.88]

দ্রষ্টব্য : এক্ষেত্রে $[\text{H}^+] = [\text{CH}_3\text{COO}^-] \therefore [\text{H}^+] \times [\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}^+]^2$ হয়।

(চ) 0.2 M NaOH দ্রবণের pH কত? [উ: 13.3]

(ছ) $2.5\% \text{ NaOH}$ দ্রবণের pH কত? [উ: 13.79]

(জ) অ্যাসিটিক এসিডের বিয়োজন মাত্রা 12.5% হলে $0.01 \text{ M CH}_3\text{COOH}$ দ্রবণের pH কত? [উ: 0.903]

দ্রষ্টব্য : 12.5% বিয়োজিত 0.01 M এসিড দ্রবণে $[\text{H}^+] = 0.01 \times 12.5 \text{ M}$ ।

সমস্যা-8.8৮ : (ক) মানুষের রক্তে pH 7.40 হলে এতে H_3O^+ ও OH^- ঘনমাত্রা কত?

[উ: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 4.0 \times 10^{-8} \text{ M}$; $[\text{OH}^-] = 2.5 \times 10^{-7} \text{ M}$]

(খ) কোকা-কোলা পানীয়ে pH 2.8 হলে এতে H_3O^+ ও OH^- ঘনমাত্রা কত হবে?

[উ: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1.58 \times 10^{-3} \text{ M}$; $[\text{OH}^-] = 6.3 \times 10^{-12} \text{ M}$]

(গ) কমলা লেবুর রসে pH 3.80 হলে ঐ রসে H^+ ও OH^- এর ঘনমাত্রা কত?

[উ: $1.58 \times 10^{-4} \text{ M}$; $6.31 \times 10^{-11} \text{ M}$]

সমস্যা-8.8৯ : চারশিল্প প্রকল্পের মেরামত কাজের অধিকর্তা কপার প্লেটে নক্সার কাজে ব্যবহারের জন্য গাঢ় HNO_3 কে লঘুকরণে (ক) 2.0 M ও (খ) 0.30 M এসিড দ্রবণ তৈরি করল। ঐ দ্রবণে $[\text{H}_3\text{O}^+]$, pH , $[\text{OH}^-]$ ও pOH গণনা কর।

[উ: (ক) $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2.0 \text{ M}$, $\text{pH} = -0.30$, $[\text{OH}^-] = 5.0 \times 10^{-15} \text{ M}$, $\text{pOH} = 14.30$;

(খ) $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0.30 \text{ M}$, $\text{pH} = 0.52$, $[\text{OH}^-] = 3.3 \times 10^{-14} \text{ M}$, $\text{pOH} = 13.48$]

(গ) কোনো সফট ড্রিংকের $\text{pH} = 4.80$ হলে এতে H_3O^+ আয়ন ও OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত?

[উ: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1.5848 \times 10^{-5} \text{ M}$; $[\text{OH}^-] = 6.309 \times 10^{-10} \text{ M}$]

(ঘ) একটি নমুনা HCl দ্রবণের pH 3 হলে ঐ দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা কত হবে? [উ: $1.0 \times 10^{-3} \text{ M}$]

(ঙ) একটি নমুনা NaOH দ্রবণের pH 11 হলে ঐ দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা কত হবে? [উ: $1.0 \times 10^{-3} \text{ M}$]

(চ) $10.8 \times 10^{-2} \text{ M HCl}$ দ্রবণের pH কত হবে? [উ: 0.97]

(ছ) $2.5 \times 10^{-2} \text{ M H}_2\text{SO}_4$ দ্রবণের pH কত হবে? [উ: 1.30]

- (জ) কোনো নমুনা এসিডের জলীয় দ্রবণের pH 3.60 হলে ঐ দ্রবণের প্রতি লিটারে H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা ও সংখ্যা কত হবে? [উ : $[H_3O^+] = 2.512 \times 10^{-4}M$; H_3O^+ আয়নের সংখ্যা = 15.127×10^{19} টি]
- (ঝ) কোনো নমুনা এসিড দ্রবণের pH 5.65 হলে ঐ দ্রবণের প্রতি লিটারে OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা ও OH^- আয়নের সংখ্যা কত হবে? [উ : $[OH^-] = 4.47 \times 10^{-9}M$; OH^- আয়নের সংখ্যা = 2.692×10^{15} টি]
- (ঞ) $25^\circ C$ তাপমাত্রায় 0.5M মিথাইল অ্যামিন (CH_3NH_2) দ্রবণের pH কত হবে? [$K_b = 4.8 \times 10^{-4}$] [উ : 12.19]
- (ট) 0.25M ঘনমাত্রার CH_3COOH দ্রবণের pH = 2.68 হলে ঐ এসিডের বিয়োজন ধ্রুবকের মান কত হবে? [উ : 1.75×10^{-5}]
- (ঠ) 0.25M ঘনমাত্রার HCN দ্রবণের pH = 5 হলে ঐ এসিডের বিয়োজন ধ্রুবকের মান কত হবে? [উ : 4.0×10^{-10}]
- (ড) $25^\circ C$ তাপমাত্রায় কোনো নমুনা NH_4OH দ্রবণের ঘনমাত্রা হলো 0.25M। ঐ NH_4OH এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান 1.76×10^{-5} হলে ঐ দ্রবণের pH মান কত হবে? [উ : 11.32]

জেনে নাও : কোনো দ্রবণের pH এর মান 0 থেকে কম অথবা 14 থেকে বেশি হতে পারে কি?

হ্যাঁ, কোনো দ্রবণের pH এর মান 0 থেকে কম এবং 14 থেকে বেশি হতে পারে। কারণ pH স্কেল প্রতিষ্ঠাকালে 1M HCl দ্রবণের pH = 0 এবং 1M NaOH দ্রবণের pH = 14 - pOH = 14 - 0 = 14 ধরে pH স্কেল স্থির করা হয়েছে। তাই 1M HCl এর বেশি ঘনমাত্রার যেমন 2M HCl দ্রবণের বেলায়, $[H_3O^+] = 2 \text{ mol } H_3O^+$ হয়; pH = -log 2 = -0.30 হয়। অনুরূপভাবে 2M NaOH এর বেলায়, pH = [14 - pOH] = [14 - (-0.3)] = 14.3 হবে। তবে pH স্কেল প্রতিষ্ঠার ধারণা ছিল 1M দ্রবণের চেয়ে অতি লঘু দ্রবণ যেমন 0.01M ইত্যাদি দ্রবণের ঘনমাত্রা সংক্ষেপে প্রকাশ করা। তাই pH পদটি বিশেষত অতি লঘু দ্রবণের ঘনমাত্রা প্রকাশে ব্যবহৃত হয়।

8.১৩ বাফার দ্রবণ

Buffer Solutions

অনুচ্ছেদ 8.১২ থেকে আমরা জেনেছি যে, নিরপেক্ষ পানিতে 2/1 ফোঁটা সবল এসিড বা ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে দ্রবণের pH এর যথেষ্ট পরিবর্তন ঘটে। কিন্তু অনেক রাসায়নিক শিল্প ও জীববিদ্যা সম্পর্কীয় রাসায়নিক প্রক্রিয়া আছে যেখানে pH স্থিতি রাখা আবশ্যিক। যেমন মানুষের রক্তের pH হলো 7.4। অধিক অম্লজাতীয় খাদ্য গ্রহণ বা ওষুধ গ্রহণের কারণে রক্তের pH এর মান স্বাভাবিক মান থেকে 0.5 এর বেশি পরিবর্তিত হলে জীবন সংকটাপন্ন হয়। তাই সব ওষুধ ও ইন্জেকশন প্রস্তুতিতে pH এর গুরুত্ব অধিক। তাই এসব ক্ষেত্রে এমন বিশেষ দ্রবণ প্রস্তুত করা হয় যার মধ্যে অল্প পরিমাণে সবল এসিড বা ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে মিশ্রণের pH এর তেমন পরিবর্তন ঘটে না। এরূপ বিশেষ প্রকারের দ্রবণকে 'বাফার দ্রবণ' বলা হয়।

বাফার দ্রবণের সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

যে দ্রবণে সামান্য পরিমাণ সবল এসিড বা ক্ষার দ্রবণ যোগ করার পরও দ্রবণের pH এর মান বিশেষ পরিবর্তন হয় না, প্রায় স্থির থাকে; তাকে বাফার দ্রবণ বলে। বাফার দ্রবণের নিজস্ব pH স্থির রাখার ক্ষমতা থাকে। বাফার (buffer) শব্দের অর্থ প্রতিরোধ বা resist করা।

এক্ষেত্রে দ্রবণের pH বলতে $[H_3O^+]$ এর পরিবর্তনকে প্রতিরোধ করা বোঝায়। বাফার দ্রবণ হলো মূলত একটি সবল এসিড ও এর অনুবন্ধী ক্ষারকের দ্রবণের মিশ্রণ, একে অম্লীয় বাফার দ্রবণ বলে। আবার দুর্বল ক্ষারক দ্রবণ ও এর অনুবন্ধী এসিডের মিশ্র-দ্রবণকে ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ বলা হয়। অর্থাৎ বাফার দ্রবণ দুশ্রেণিতে বিভক্ত; অম্লীয় বাফার দ্রবণ ও ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ।

MCQ-4.14 : 0.05M H_2SO_4 এর pH কত?

(ক) 0.5 (খ) 1.0 (গ) 1.5 (ঘ) 2.0

DU
+
Medical

অম্লীয় বাফার দ্রবণ : [দুর্বল এসিড + অনুবন্ধী ক্ষারক] উদাহরণ : (i) $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H} + \text{CH}_3\text{CO}_2^-$ আয়ন,

(ii) $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{HPO}_4^{2-}$ আয়ন,

ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ : [দুর্বল ক্ষারক + অনুবন্ধী এসিড] উদাহরণ : (i) $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCO}_3^-$ আয়ন,

(ii) $\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4^+$ আয়ন,

বাফার দ্রবণ প্রস্তুতি : (ক) অম্লীয় বাফার দ্রবণগুলো সাধারণত মৃদু এসিড ও ঐ এসিডের সাথে তীব্র ক্ষার সহযোগে সৃষ্ট লবণ হতে প্রস্তুত করা হয়; যথা : CH_3COOH ও CH_3COONa দ্রবণের মিশ্রণ। (খ) ক্ষারীয় বাফার দ্রবণগুলো মৃদু ক্ষারক ও ঐ ক্ষারকের সাথে সাধারণত তীব্র এসিড সহযোগে সৃষ্ট কোনো লবণ হতে প্রস্তুত করা হয়; যথা : NH_4OH ও NH_4Cl দ্রবণের মিশ্রণ দ্বারা বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়। হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ (Henderson Hasselbalch) সমীকরণ প্রয়োগ করে বিভিন্ন pH এর বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা যায়।

বাফার দ্রবণ প্রস্তুতিতে হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণ

Henderson Hasselbach equation for Preparation of Buffer Solutions

(ক) অম্লীয় দ্রবণের pH গণনার সমীকরণ : অম্লীয় প্রকৃতির বাফার দ্রবণে যেমন, CH_3COOH ও CH_3COONa এর মিশ্রণে মৃদু অম্ল যেমন, CH_3COOH থাকে। মৃদু অম্লটি নিম্নরূপে আয়নিত হয়।



এক্ষেত্রে সাম্যধ্রুবক $K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$; বা, $[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \times \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$

এক্ষেত্রে CH_3COOH হলো মৃদু অম্ল। তাই এটি জলীয় দ্রবণে কম আয়নিত হয়। আবার তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য CH_3COONa এর উপস্থিতিতে এর বিয়োজন আরও হ্রাস পায়। তাই অবিয়োজিত $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ এর মান CH_3COOH এর প্রারম্ভিক ঘনমাত্রার প্রায় কাছাকাছি থাকে। অপরদিকে $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ এর মান এর লবণের অর্থাৎ CH_3COONa এর প্রারম্ভিক ঘনমাত্রার সমান হবে। সুতরাং পূর্বের সমীকরণটিকে নিম্নরূপে লেখা যায় :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \times \frac{[\text{অম্ল}]}{[\text{লবণ}]} ; \text{ বা, } \log[\text{H}_3\text{O}^+] = \log K_a + \log \frac{[\text{অম্ল}]}{[\text{লবণ}]} ;$$

$$\text{বা, } -\text{pH} = -\text{p}K_a - \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} ; \therefore \log \frac{A}{B} = -\log \frac{B}{A}$$

$$\text{বা, } \boxed{\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}} ; \text{ এই সমীকরণটিকে হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণ বলে।}$$

এ সমীকরণের সাহায্যে যে কোনো অম্লীয় বাফার দ্রবণের pH গণনা করা যায়।

(খ) ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের pH গণনার সমীকরণ : ক্ষারীয় প্রকৃতির বাফার দ্রবণ যেমন দুর্বল ক্ষার NH_4OH ও দুর্বল ক্ষারটির সাথে সবল এসিড HCl এর লবণ NH_4Cl এর মিশ্র দ্রবণে দুর্বল ক্ষার NH_4OH আংশিকভাবে নিম্নরূপে আয়নিত হয় :



এক্ষেত্রে সাম্যধ্রুবক, $K_b = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]}$; $[\text{OH}^-] = K_b \times \frac{[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]}$

এখন উভয় দিকে, \log নিয়ে পাই, $\log[\text{OH}^-] = \log K_b + \log \frac{[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]}$

এবার -1 দিয়ে গুণ করে পাই, $-\log[\text{OH}^-] = -\log K_b - \log \frac{[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]}$

বা, $\text{pOH} = \text{pK}_b + \log \frac{[\text{NH}_4^+]}{[\text{NH}_4\text{OH}]}$; বা, $(14 - \text{pH}) = \text{pK}_b + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{ক্ষার}]}$

$\therefore \text{pH} = 14 - \text{pK}_b - \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{ক্ষার}]}$; এ সমীকরণের সাহায্যে ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের pH গণনা করা যায়।

হেভারসন সমীকরণের প্রয়োগ : (১) অজানা pH এর বাফার দ্রবণের pH গণনা করা যায়।

(২) নির্দিষ্ট pH এর বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে সংশ্লিষ্ট মৃদু অম্ল ও এর লবণের দ্রবণ কত মোলার অনুপাতে মিশ্রিত করা দরকার তা গণনা করা যায়।

(৩) হেভারসন সমীকরণ থেকে জানা যায় যে, অম্লীয় বাফারের pH সংশ্লিষ্ট দুর্বল এসিডটির pK_a মানের কাছাকাছি হয়; কেবল অতিরিক্ত মান $\log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$ এ থেকে আসে। যখন,

$[\text{লবণ}]/[\text{অম্ল}] = 1$ হয়; তখন $\log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = 0$ হয় এবং $\text{pH} = \text{pK}_a$ হয়।

(৪) সাধারণত ঈঙ্গিত বাফারের pH এর কাছাকাছি pK_a বিশিষ্ট দুর্বল এসিডটি বেছে নেয়া হয়। এরপর হেভারসন সমীকরণ মতে $[\text{লবণ}]/[\text{অম্ল}]$ অনুপাত ঠিক করা হয়। যেমন,

(i) pH 7 এর কাছাকাছি বাফার তৈরি করতে হলে H_2PO_4^- ও HPO_4^{2-} এর অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক যুগল নেয়া হয়।

কারণ H_2PO_4^- এসিডের pK_a এর মান হলো $\text{pK}_a = -\log [6.2 \times 10^{-8}] = 7.21$

(ii) একইভাবে pH 9 এর ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ তৈরির জন্য NH_4Cl ও NH_3 এর অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক যুগল নেয়া হয়। এক্ষেত্রেও অম্লীয় বাফারের হেভারসন সমীকরণ ব্যবহার করা যায়। কারণ NH_4^+ আয়নের pK_a এর মান 9.25 হয়। $\text{pK}_a = \log (5.6 \times 10^{-10}) = 9.25$ । মোদা কথায়, বাফারের দুর্বল এসিডটির pK_a বাফারের ঈঙ্গিত pH থেকে $\pm 1\text{pH}$ ব্যবধানের মধ্যে থাকবে।

(৫) যেহেতু বিভিন্ন বাফার দ্রবণ ল্যাবরেটরিতে ও মেডিসিন প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়, তাই প্যাকেটজাত বিভিন্ন বাফার মিশ্রণ গুঁড়া ও দ্রবণ বাণিজ্যিকভাবে সহজলভ্য। এসব ক্ষেত্রে বাফার সিস্টেমে সঠিক pK_a ও $[\text{লবণ}]/[\text{অম্ল}]$ এর অনুপাত সঠিকভাবে অনুসরণ করা হয়।

MCQ-4.15 : কোনো দ্রবণের $[\text{OH}^-] = 3.4 \times 10^{-1}$ হলে এর pH কত?
(ক) 9.53 (খ) 7.53 (গ) 8.93 (ঘ) 13.53

৪.১৩.১ বাফার দ্রবণের ক্রিয়া কৌশল

Mechanism of Buffer Action

বাফার ক্রিয়া (buffer action) : যে রাসায়নিক ক্রিয়া কৌশলের মাধ্যমে কোনো বাফার দ্রবণ স্বল্প মাত্রায় এসিড বা ক্ষারক দ্রবণ মিশ্রিত করার পরও এর pH পরিবর্তন প্রতিরোধ করে তাকে বাফার ক্রিয়া বলে।

কোনো একটি বাফার দ্রবণের অত্যাৱশ্যক বৈশিষ্ট্য হলো (১) দ্রবণটিতে এসিড (HA) ও এর অনুবন্ধী ক্ষারক (A^-) উভয় উপাদানের উচ্চ ঘনমাত্রা থাকতে হয়। (২) বাফার দ্রবণের উপাদান দুটির ঘনমাত্রার চেয়ে কম পরিমাণে H_3O^+ অথবা OH^- আয়ন যোগ করলে ঐ সব আয়ন বাফার দ্রবণের একটি উপাদানকে অপর উপাদানে পরিণত করে। ফলে উভয় বাফার উপাদানের একটির ঘনমাত্রা কিছুটা কমে ও অপরটি কিছুটা বাড়ে। এরূপে যোগ করা H_3O^+ অথবা OH^- আয়ন বাফার উপাদান দ্বারা শোষিত হয় বলে দ্রবণের pH প্রায় অপরিবর্তিত থাকে। [চিত্র ৪.১৯ দ্রষ্টব্য]

বাফার ক্রিয়ার কৌশল : বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল ব্যাখ্যা করার জন্য সোডিয়াম বাইকার্বনেট (NaHCO₃) ও সোডিয়াম কার্বনেট (Na₂CO₃) দ্বারা প্রস্তুত ক্ষারীয় প্রকৃতির বাফার দ্রবণটি নেয়া হলো। এতে দুর্বল ক্ষারক হলো কার্বনেট (CO₃²⁻) আয়ন এবং এর অনুবন্ধী এসিডটি হলো বাইকার্বনেট (HCO₃⁻) আয়ন।

এখানে Na₂CO₃ ও NaHCO₃ আয়নিক লবণ সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য হওয়ায় শতভাগ আয়নিত হয়। কিন্তু HCO₃⁻ আয়ন দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য হওয়ায় উভমুখিতায় আংশিক বিয়োজিত হয়।



বাইকার্বনেট আয়ন (HCO₃⁻) এর বিয়োজন সাম্যকoefficient (K_a) নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয় :

$$K_a = \frac{[\text{CO}_3^{2-}] \times [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCO}_3^-]} ; \text{ বা, } [\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \times \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} \dots (1)$$

MCQ-4.16 : A(H₂O) $\xrightarrow{\text{H}^+}$ B(H₃O⁺) এ উদ্দীপক মতে,
 (i) A ও B এর আকৃতি একই (ii) উভয়ের কেন্দ্রীয় পরমাণুর সংকরণ একই (iii) 25°C এ বিশুদ্ধ A এর pH = 7 কোনটি সঠিক হবে?
 (ক) i ও ii (খ) ii ও iii
 (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

(1) নং সমীকরণ মতে K_a ধ্রুব হওয়ায়, বাফার দ্রবণের H₃O⁺ আয়নের ঘনমাত্রা বাফার উপাদানদ্বয়ের ঘনমাত্রার অনুপাতের সমানুপাতিক হয়। যেমন, $\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} = \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]} = \frac{[\text{দুর্বল অম্ল}]}{[\text{অনুবন্ধী ক্ষারক}]}$

(i) কোন কারণে যখন [HA]/[A⁻] অনুপাত বাড়ে, তখন [H₃O⁺] বাড়ে, pH কমে।

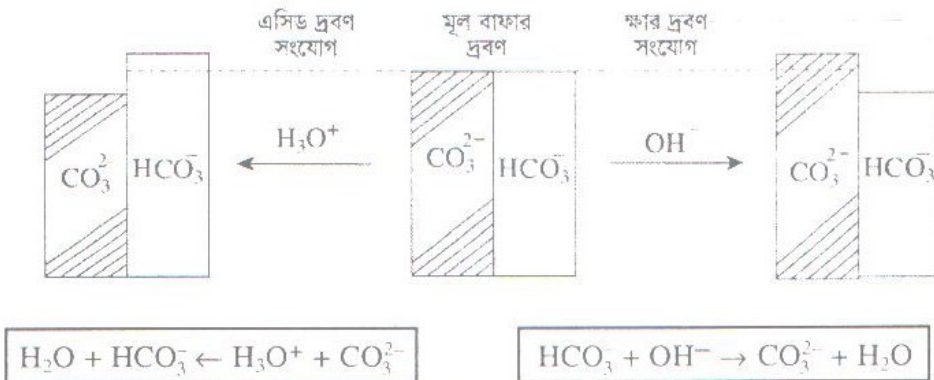
(ii) কোন কারণে যখন [HA]/[A⁻] অনুপাত কমে, তখন [H₃O⁺] কমে, pH বাড়ে।

এখন এ ক্ষারীয় বাফার দ্রবণে অম্ল সবল এসিড (HCl) অথবা ক্ষার (NaOH) দ্রবণ সংযোগের ফলে বাফার দ্রবণের pH মান প্রায় স্থির থাকার ব্যাখ্যা করা হলো :

(ক) এসিড (H₃O⁺) সংযোগ : অম্ল সবল এসিড (HCl) যোগ করলে তা থেকে উৎপন্ন H₃O⁺ আয়নসমূহ বাফারের সমসংখ্যায় কার্বনেট (CO₃²⁻) আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে সমসংখ্যক HCO₃⁻ আয়ন উৎপন্ন করে। যেমন,

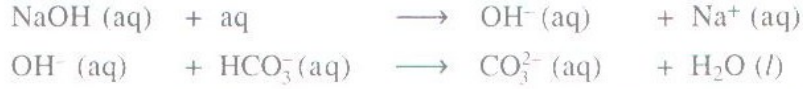


তখন [H₃O⁺] এর সমপরিমাণে [CO₃²⁻] আয়ন কমে এবং [HCO₃⁻] সমপরিমাণে বাড়ে। ফলে (1) নং সমীকরণের বাফার উপাদানদ্বয়ের ঘনমাত্রার অনুপাত যেমন [HCO₃⁻]/[CO₃²⁻] অনুপাত সামান্য বাড়ে। অর্থাৎ [H₃O⁺] সামান্য বাড়ে। (ওপরের (i) নং শর্ত মতে)। নিচের চিত্র-৪.২৫ এর বাম দিক থেকে তা সহজে বোঝা যায়।



চিত্র ৪.২৫ : বাফারের উপাদানদ্বয়ের ঘনমাত্রার অনুপাতের পরিবর্তন।

(খ) ক্ষার (OH^-) সংযোগ : অল্প NaOH যোগ করলে পূর্বের বিপরীত অবস্থা ঘটে। ক্ষার থেকে উৎপন্ন OH^- আয়নসমূহ বাফারের সমসংখ্যায় বাইকার্বনেট আয়ন (HCO_3^-) এর সাথে বিক্রিয়া করে সমসংখ্যক কার্বনেট (CO_3^{2-}) আয়ন বৃদ্ধি করে।



ফলে (1) নং সমীকরণের বাফার উপাদানদ্বয়ের ঘনমাত্রার অনুপাত কমে অর্থাৎ $[\text{H}_3\text{O}^+]$ সামান্য কমে। এক্ষেত্রে বাফার দ্রবণে অল্প H_3O^+ অথবা OH^- আয়ন যোগ করা হলে প্রতি ক্ষেত্রে $[\text{H}_3\text{O}^+]$ এর পরিবর্তন খুবই কম হওয়ায় বাফারের pH পরিবর্তন খুব কম বা প্রায় অপরিবর্তিত থাকে। [যেমন রক্তের বাইকার্বনেট বাফার সিস্টেম মতে, স্বাভাবিক অবস্থায় রক্তের pH 7.4 হলেও বিভিন্ন কারণে রক্তের pH ± 5 কম বেশি হতে পারে।]

বিকল্প পদ্ধতি : বাফার দ্রবণের ক্রিয়া কৌশল

[পুরাতন পদ্ধতিতে বাফার দ্রবণের বাফার ক্রিয়াকৌশল নিম্নরূপে ব্যাখ্যা করা হয়।]

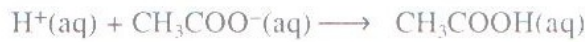
(১) অম্লীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল

অম্লীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল ব্যাখ্যা করার জন্য ইথানোয়িক এসিড বা অ্যাসিটিক এসিড (CH_3COOH) ও সোডিয়াম ইথানোয়েট বা অ্যাসিটেট (CH_3COONa) দ্বারা প্রস্তুত অম্লীয় প্রকৃতির বাফার দ্রবণটি বর্ণনা করা যায়। এ বাফার দ্রবণের উপাদানদ্বয় দ্রবণে নিম্নরূপে বিয়োজিত হয়ে থাকে।



(ক) অল্পমাত্রায় এসিড সংযোগ :

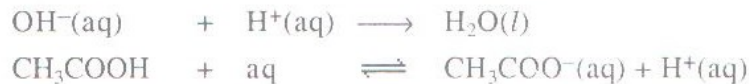
যদি সামান্য পরিমাণ এসিড অর্থাৎ H^+ আয়ন এ বাফার দ্রবণে যোগ করা হয়, তখন প্রদত্ত H^+ আয়নগুলো দ্রবণে বিদ্যমান CH_3COO^- আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে নিম্নরূপে মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য CH_3COOH অণু উৎপন্ন করে।



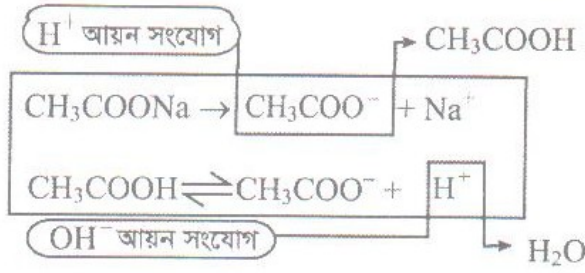
যেহেতু অ্যাসিটিক এসিড মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য, তাই অ্যাসিটিক এসিড অতি সামান্য পরিমাণে বিয়োজিত হয়; (বিশেষ করে তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য সোডিয়াম অ্যাসিটেটের উপস্থিতিতে) সেহেতু এই বাফার দ্রবণে প্রদত্ত অল্প বা এসিড দ্বারা H^+ আয়নের বা হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) এর ঘনমাত্রা বিশেষ বাড়ে না। অর্থাৎ pH এর মান প্রায় অপরিবর্তিত থাকে।

(খ) অল্প মাত্রায় ক্ষারক সংযোগ :

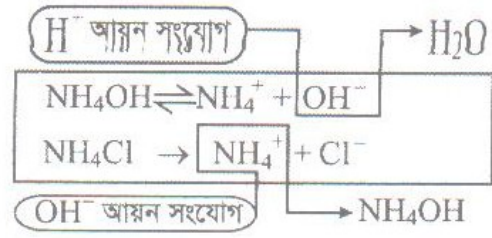
সামান্য পরিমাণ ক্ষারক অর্থাৎ OH^- আয়ন এই বাফার দ্রবণটিতে যোগ করলে প্রদত্ত OH^- আয়নগুলো দ্রবণে বিদ্যমান H^+ এর সাথে বিক্রিয়া করে অতীব মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য পানি অণু (H_2O) সৃষ্টি করে। তখন ইথানোয়িক এসিডের সাম্যাবস্থা ডানদিকে সরে গিয়ে H^+ আয়ন তৈরি করে বিক্রিয়ারত H^+ আয়নের অভাব পূরণ করে।



অতএব দেখা যায় যে, বাফার দ্রবণে সামান্য পরিমাণ তীব্র এসিড বা ক্ষারক হিসেবে যথাক্রমে H^+ আয়ন অথবা OH^- আয়ন এর যে কোন একটি যোগ করা হোক না কেন, তা বাফার দ্রবণের উপাদানের আন্তঃক্রিয়ার ফলে অপসারিত হয় এবং কোন ক্ষেত্রেই H^+ আয়নের ঘনমাত্রা তথা pH এর মান বিশেষ পরিবর্তিত হয় না।



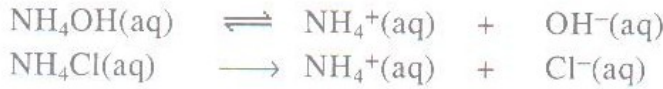
চিত্র ৪.২৬(ক) : অম্লীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল



চিত্র ৪.২৬(খ) : ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল

(২) ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল

যদি বাফার দ্রবণটি মৃদু ক্ষারক যেমন NH_4OH ও তার লবণ যেমন NH_4Cl সমবায়ে গঠিত হয় তবে উপাদানদ্বয় নিম্নরূপে আয়নিক হয়।



(ক) অম্ল মাত্রায় এসিড সংযোগ : এ বাফার দ্রবণে অম্ল মাত্রায় তীব্র এসিড যোগ করা হলে তা অ্যামোনিয়াম লবণ ও পানি উৎপন্ন করে।



(খ) অম্ল মাত্রায় ক্ষারক সংযোগ : এ দ্রবণে অম্ল মাত্রায় তীব্র ক্ষারক যোগ করলে লবণ ও NH_4OH উৎপন্ন হয়।

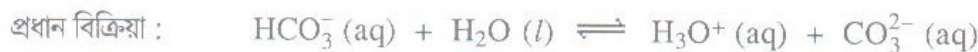


সুতরাং এ দ্রবণে তীব্র অম্ল বা তীব্র ক্ষারক যাই যোগ করা হোক না কেন, ঐ মিশ্রিত অম্ল বা ক্ষারকের পরিমাণ বেশি না হলে তখন H^+ আয়নের ঘনমাত্রা বা pH এর বিশেষ কোন পরিবর্তন হয় না।

বাফার রেঞ্জ (buffer range) : কোন বাফার দ্রবণের বাফার রেঞ্জ বলতে বাফার দ্রবণের সেই pH সীমার পরিসর বুঝায়, যে pH পরিবর্তন সীমার মধ্যে ঐ বাফার দ্রবণের বাফার ক্রিয়া সুষ্ঠুভাবে কার্যকর থাকে। এটি বাফার দ্রবণের উপাদানদ্বয়ের মোলার ঘনমাত্রার ওপর নির্ভর করে। হেন্ডারসন সমীকরণের [লবণ]/[অম্ল] এর অনুপাত বেড়ে 10 গুণ অথবা ঐ অনুপাত কমে 0.1 গুণ পরিমাণের মধ্যে থাকলে তবেই বাফার ক্ষমতা কার্যকর থাকে। $\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = \text{pK}_a + \log 10 = \text{pK}_a + 1$ আবার $\text{pH} = \text{pK}_a + \log 0.1 = \text{pK}_a - 1$ । তাই বাফারের ঈঙ্গিত pH মান ব্যবহৃত দুর্বল অম্লটির pK_a এর মান থেকে ± 1 pH ব্যবধান রাখা হয়। নতুবা ঐ বাফার দ্রবণের বাফার ক্রিয়া সুষ্ঠুভাবে কার্যকর হবে না। তখন ঐ বাফার দ্রবণকে একটি নিম্নমান বাফার দ্রবণ বলা হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫১ : 0.10M সোডিয়াম বাইকার্বনেট ও 0.10M সোডিয়াম কার্বনেট বাফার দ্রবণে 0.01mol NaOH যোগ করলে এ ক্ষারীয় বাফারের pH কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে তা দেখব। এসিডের (HCO_3^- এর) $K_a = 5.6 \times 10^{-11}$

দক্ষতা : প্রথমে ক্ষারীয় বাফারের pH গণনা কর। ক্ষার মিশানোর পূর্বে মূল বাফারের বেলায় :



সাম্য ঘনমাত্রা (M) : 0.10 - x

0.10 + x

$$\text{সাম্যাবস্থায়, } K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \therefore [\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \times \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]}$$

লক্ষ্য কর, Na_2CO_3 সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য হওয়ায় CO_3^{2-} আয়নটির ঘনমাত্রা Na_2CO_3 এর মতো 0.1M হবে। আবার HCO_3^- দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য হওয়ায় অল্প আয়নিত হয়ে অল্প CO_3^{2-} আয়ন মিশ্র দ্রবণে বৃদ্ধি করবে।

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \times \frac{(0.10 - x)}{(0.10 + x)} = K_a \times \frac{0.10}{0.10} = K_a$$

$$\therefore [\text{H}_3\text{O}^+] = 5.6 \times 10^{-11} \text{ হবে। যেহেতু } K_a = 5.6 \times 10^{-11}$$

এক্ষেত্রে x এর মান খুবই কম হয়, তাই $(0.10 - x)$ ও $(0.10 + x)$ প্রত্যেকটিকে প্রাথমিক ঘনমাত্রায় তুল্য ধরা হয়েছে। $\therefore \text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log (5.6 \times 10^{-11}) = 10.25$

সমাধান : 0.01mol NaOH যোগ করলে এর সাথে প্রশমন বিক্রিয়ার পর অবশিষ্ট $[\text{H}_3\text{O}^+]$ হিসাব করতে হবে :



$$\text{প্রশমনের পূর্বে (mol) : } \quad 0.10 \quad + 0.01 \quad \quad 0.10$$

$$\text{পরিবর্তন ঘটে (mol) : } \quad - 0.01 \quad - 0.01 \quad \quad + 0.01$$

$$\text{প্রশমনের পরে (mol) : } \quad 0.09 \quad \quad 0.0 \quad \quad 0.11$$

প্রশমনের পর সামগ্রিক দ্রবণের আয়তন ধ্রুব বা 1.00L ধরে বাফার উপাদানদ্বয়ের মোলার ঘনমাত্রা হয় :

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{0.09 \text{ mol}}{1.00 \text{ L}} = 0.09 \text{ M}; [\text{CO}_3^{2-}] = \frac{0.11 \text{ mol}}{1.00 \text{ L}} = 0.11 \text{ M}$$

এসব ঘনমাত্রার মান নিচের $[\text{H}_3\text{O}^+]$ এর সমীকরণে বসিয়ে পাই :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \times \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} = 5.6 \times 10^{-11} \frac{(0.09)}{0.11} = 4.58 \times 10^{-11} \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log (4.58 \times 10^{-11}) = 10.34$$

লক্ষ্য কর, 0.01 mol NaOH বাফার দ্রবণে যোগ করায়, বাফারের pH পরিবর্তন 10.25 থেকে 10.34 হয়েছে অর্থাৎ 0.09 পরিমাণ pH বেড়েছে; যা নগণ্য। এক্ষেত্রে বাফার উপাদানদ্বয়ের ঘনমাত্রা অনুপাত [দুর্বল এসিড]/[অনুবন্ধীক্ষারক] খুব অল্প। যেমন $[\text{HCO}_3^-]/[\text{CO}_3^{2-}]$ এর বেলায় 1.0 থেকে 9/11 তে (চিত্র 8.২৫-এ) পরিবর্তন হয়েছে, যা এ pH পরিবর্তনে ভূমিকা রেখেছে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫২ : হেভারসন-হেসেলবাখ সমীকরণভিত্তিক :

pH 7.00 বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে কী অনুপাতে $[\text{NH}_3]/[\text{NH}_4^+]$ প্রয়োজন হবে? pH 7.00 বাফার প্রস্তুতির ক্ষেত্রে NH_3 ও NH_4Cl বাফার যুগল ব্যবহার একটি নিম্ন-মান নির্বাচন, তা ব্যাখ্যা কর। এক্ষেত্রে NH_3 এর $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$

দক্ষতা : হেভারসন-হেসেলবাখ সমীকরণ মতে $[\text{NH}_3]/[\text{NH}_4^+]$ অনুপাত গণনা করব।

সমাধান : যেহেতু NH_3 এর $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$; তাই NH_4^+ এর K_a হবে নিম্নরূপ :

$$K_a = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} = 5.6 \times 10^{-10}; \therefore \text{p}K_a = -\log (5.6 \times 10^{-10}) = 9.25$$

$$\text{আবার } \log \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = (\text{pH} - \text{p}K_a) = (7.00 - 9.25) = -2.25$$

$$\therefore \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = \text{antilog} (-2.25) = 10^{-2.25} = \frac{5.6 \times 10^{-3} \text{ (M)}}{1.0 \text{ (M)}}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{pH} &= \text{p}K_a + \log [\text{NH}_3]/[\text{NH}_4^+] \\ &= (9.25 - 2.25) \\ &= 7.0 \end{aligned}$$

নিম্নমান বাফার : যদি $[\text{NH}_4^+]$ এর নমুনা ঘনমাত্রা 1.0M নেয়া হয়, তখন $[\text{NH}_3]$ এর ঘনমাত্রা 0.0056 M (বা $5.6 \times 10^{-3} \text{ M}$) নিতে হয়। এ অবস্থায় NH_3 ও NH_4Cl বাফার দ্রবণ একটি নিম্নমান বাফার হবে; কারণ (i) এ দ্রবণটি

দ্বারা যোগ করা এসিডকে শোষণ করার ক্ষমতা কম। (ii) আবার $[\text{NH}_3]/[\text{NH}_4^+]$ অনুপাত মাত্রা কার্যকর বাফার রেঞ্জ সীমার অনুপাত সর্বোচ্চ 10 গুণ ও সর্বনিম্ন অনুপাত 0.1 গুণ থেকে অনেক বেশি পার্থক্যে আছে; তাই অল্প H_3O^+ বা OH^- আয়ন যোগ করার পর মিশ্রণে pH পরিবর্তন উল্লেখযোগ্য মাত্রায় বেশি হয়।

তাই pH 7.0 বাফার দ্রবণের জন্য $\text{NH}_3 - \text{NH}_4^+$ বাফার দ্রবণটি একটি নিম্নমান বাফার দ্রবণ হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-8.৫৩ : (ক) সম আয়তনের 0.1M অ্যাসিটিক এসিড ও 0.1M সোডিয়াম অ্যাসিটেট বিশিষ্ট বাফার দ্রবণের pH হিসাব কর। (খ) উক্ত দ্রবণের হাইড্রোজেন আয়নের ঘনমাত্রা কত?

$$[K_a = 1.0 \times 10^{-6}]$$

সমাধান : (ক) হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণ থেকে আমরা জানি,

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}; \text{প্রশ্নমতে, এখানে } K_a = 1.0 \times 10^{-5}$$

$$\text{সুতরাং } \text{p}K_a = -\log K_a = -\log 1.0 \times 10^{-5} = -(\log 1 + \log 10^{-5}) = -(0 - 5) = 5$$

প্রশ্নমতে, $[\text{লবণ}] = 0.1$; এবং $[\text{অম্ল}] = 0.1$; এখন মান বসিয়ে পাই-

$$\therefore \text{pH} = 5 + \log \frac{0.1}{0.1} = 5 + \log 1 = (5 + 0) = 5 \text{ (উ :)}$$

$$\text{(খ) আবার } [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-5}$$

$$= 10^{-5} \text{ molL}^{-1} \text{ (উ :)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.৫৪ : 25°C তাপমাত্রায় অ্যাসিটিক এসিডের $\text{p}K_a = 4.76$ । 5.0 pH-এর বাফার দ্রবণ কীভাবে প্রস্তুত করা যায়?

$$\text{সমাধান : হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণ মতে, } \text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$$

$$\text{বা, } \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = \text{pH} - \text{p}K_a = 5.0 - 4.76 = 0.24$$

$$\text{বা, } \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = \text{anti log } 0.24 = 1.738 = \frac{1.738}{1.0}$$

অর্থাৎ এমন পরিমাণ সোডিয়াম অ্যাসিটেট ও অ্যাসিটিক এসিড নিতে হবে যেন তাদের মোলের অনুপাত 1.738 : 1.0 হয়। যেমন 1.738 mol সোডিয়াম অ্যাসিটেট ও 1 mol অ্যাসিটিক এসিড 1L দ্রবণে দ্রবীভূত করলে উপরোক্ত দ্রবণ তৈরি হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-8.৫৫ : কোন বাফার দ্রবণে ইথানোয়িক এসিড ও সোডিয়াম ইথানোয়েটের ঘনমাত্রা যথাক্রমে 0.1 mol L^{-1} এবং 0.15 mol L^{-1} হলে ঐ বাফারের pH নির্ণয় কর। ইথানোয়িক এসিডের $K_a = 1.77 \times 10^{-5}$ ।

সমাধান : হেন্ডারসন সমীকরণ হতে আমরা জানি,

$$\text{বাফার দ্রবণের, } \text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{এসিড}]}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log K_a + \log \frac{[\text{CH}_3\text{COONa}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

$$\text{বা, } \text{pH} = -\log (1.77 \times 10^{-5}) + \log \frac{0.15}{0.10}$$

$$\text{বা, } \text{pH} = (4.7521 + 0.1761) = 4.9282$$

$$\therefore \text{pH} = 4.93 \text{ (উ :)}$$

দেয়া আছে,

$$K_a = 1.77 \times 10^{-5}$$

$$[\text{CH}_3\text{COONa}] = 0.15\text{M}$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = 0.1\text{M}$$

$$\text{pH} = ?$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৬ : 10mL 0.1M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণে 4mL 0.1M NaOH দ্রবণ যোগ করলে উৎপন্ন দ্রবণের pH কত হবে? [$pK_a = 4.76$]

সমাধান : 4mL 0.1M NaOH দ্রবণ 4mL 0.1M অ্যাসিটিক এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে 4mL 0.1M সোডিয়াম অ্যাসিটেট তৈরি করবে।

$$\begin{array}{ccccccc} \text{CH}_3\text{COOH} & + & \text{NaOH} & \longrightarrow & \text{CH}_3\text{COONa} & + & \text{H}_2\text{O} \\ 0.1\text{M} & & 0.1\text{M} & & 0.1\text{M} & & \end{array}$$

সুতরাং $(10 - 4) = 6\text{mL}$ 0.1M অ্যাসিটিক এসিড অবশিষ্ট থাকবে। অর্থাৎ এক্ষেত্রে লবণ ও এসিডের ঘনমাত্রার অনুপাত 4 : 6 হবে। হেন্ডারসন সমীকরণ থেকে-

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = 4.76 + \log \frac{4}{5} = 4.584 \therefore \text{দ্রবণের pH} = 4.584 \text{ (উ :)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৭ : 20 mL 0.2M NaOH দ্রবণের সাথে 50mL 0.2M CH_3COOH মিশিয়ে 70mL দ্রবণ তৈরি করা হলো। ঐ মিশ্র দ্রবণের pH কত হবে? [CH_3COOH এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$]

সমাধান : NaOH দ্রবণ ও CH_3COOH দ্রবণ মিশ্রিত করলে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে :



সুতরাং 20mL 0.2M NaOH এর সাথে 20mL 0.2M এসিডের বিক্রিয়ার পর 70mL মিশ্র দ্রবণে প্রকৃত পক্ষে $(50 - 20)\text{mL} = 30\text{mL}$ তুল্য 0.2M CH_3COOH এসিড থাকে এবং তুল্য 20 mL 0.2M CH_3COONa থাকে।

$$\therefore 70\text{mL} \text{ মিশ্র দ্রবণে থাকা } \text{CH}_3\text{COOH} \text{ এর মোল সংখ্যা} = \frac{0.2 \times 30}{1000} = 0.006$$

$$\text{এবং } 70 \text{ mL মিশ্র দ্রবণে থাকা } \text{CH}_3\text{COONa} \text{ এর মোল সংখ্যা} = \frac{0.2 \times 20}{1000} = 0.004$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{বাফার দ্রবণটির } \text{pH} &= \text{pK}_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} \\ &= -\log K_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log (1.8 \times 10^{-5}) + \log \frac{0.004}{0.006}$$

$$\text{বা, pH} = -\log 1.8 - \log 10^{-5} + \log 4 - \log 6$$

$$\text{বা, pH} = (-0.255 - 5 + 0.602 - 0.778) = 4.56787$$

$$\therefore \text{pH} = 4.57 \text{ (উ :)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৫.৫৮ : একটি বিকারে 50mL 0.1 M BOH ক্ষার রয়েছে। অপর একটি বিকারে রয়েছে 0.1M ঘনমাত্রা বিশিষ্ট 150mL HA এসিড। HA এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ । বিকারকদ্বয়ের দ্রবণকে মিশ্রিত করলে মিশ্রণের pH কত হবে?

সমাধান : বিকারকদ্বয়ের ক্ষার ও এসিডের দ্রবণকে মিশ্রিত করলে 50 mL 0.1 M BOH ক্ষারকটি 50mL 0.1MHA এর সাথে বিক্রিয়ায় 50mL 0.1M HA এসিডের লবণ (BA) তৈরি করবে। সুতরাং $(150 - 50)\text{mL} = 100\text{mL}$ 0.1M HA এসিড দ্রবণে অপ্রশমিত থাকবে। অর্থাৎ লবণ ও এসিডের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাত হবে 50 : 100 বা 1 : 2।

হেন্ডারসন সমীকরণ মতে,

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{এসিড}]}$$

দেয়া আছে, $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$

মিশ্র দ্রবণের pH = ?

$$\text{বা, pH} = -\log(1.8 \times 10^{-5}) + \log \frac{1}{2}$$

$$\text{বা, pH} = (4.745 - 0.301) = 4.444$$

∴ মিশ্রণে pH মান = 4.44

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৯ : 4.0 pH এর বাফার দ্রবণ তৈরি করতে 60mL 0.05M ফরমিক এসিডের দ্রবণে কত mL 0.1M সোডিয়াম ফরমেট দ্রবণ যোগ করতে হবে। [HCOOH এর $pK_a = 3.8$]

$$\text{সমাধান : হেন্ডারসন সমীকরণ মতে, pH} = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$$

মনে করি, x mL 0.1M সোডিয়াম ফরমেট (HCOONa) প্রয়োজন।

$$\begin{aligned} \therefore x \text{ mL } 0.1M \text{ HCOONa লবণের দ্রবণে HCOONa এর মোলসংখ্যা} &= \frac{0.1 \times x \text{ mol}}{1000} \\ &= 0.0001 \times x \text{ mol} \end{aligned}$$

$$60\text{mL } 0.05 \text{ M HCOOH এসিড দ্রবণে HCOOH এর মোলসংখ্যা} = \frac{0.05 \times 60}{1000} = 0.003 \text{ mol}$$

প্রশ্নমতে, দ্রবণের pH = 4 এবং HCOOH এসিডের $pK_a = 3.8$; এখন সমীকরণে মানগুলো বসিয়ে পাই,

$$4 = 3.8 + \log \frac{0.0001x}{0.003}; \text{ বা, } \log \frac{0.0001x}{0.003} = (4 - 3.8) = 0.2 = \log 1.5849$$

$$\text{বা, } 0.0001x = 0.003 \times 1.5849$$

$$\therefore x = \frac{0.003 \times 1.5849\text{mL}}{0.0001} = 47.547 \text{ mL} = 47.55\text{mL (প্রায়)}$$

∴ সোডিয়াম ফরমেট প্রয়োজন = 47.55mL (প্রায়) (উ :)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬০ : 0.25M ইথানোয়িক এসিডের 200mL দ্রবণে কত গ্রাম সোডিয়াম ইথানোয়েট মিশ্রিত করলে দ্রবণটিতে H_3O^+ এর ঘনমাত্রা $1.5 \times 10^{-5} \text{ g. ion. L}^{-1}$ হবে। $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ ।

$$\text{সমাধান : বাফার দ্রবণের হেন্ডারসন সমীকরণ মতে, pH} = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$$

$$\text{বা, } \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = \text{pH} - pK_a = -\log [H_3O^+] + \log K_a = -\log (1.5 \times 10^{-5}) + \log (1.8 \times 10^{-5})$$

$$\text{বা, } \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = (4.8239 - 4.7447) = 0.079172$$

$$\begin{aligned} \text{বা, } \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} &= \log^{-1}(0.07912) = 1.1998 \therefore [\text{লবণ}] = 1.1998 \times [\text{অম্ল}] = 1.1998 \times 0.25M \\ &= 0.29995M \end{aligned}$$

$$\therefore 1M \text{ ঘনমাত্রার } 1000 \text{ mL দ্রবণে সোডিয়াম ইথানোয়েট থাকে} = 82g$$

$$0.29995M \text{ ঘনমাত্রার } 200 \text{ mL দ্রবণে সোডিয়াম ইথানোয়েট থাকে} = \frac{82 \times 200 \times 0.29995}{1000} = 4.9199g$$

∴ দ্রবণটিতে 4.9199g সোডিয়াম ইথানোয়েট যোগ করতে হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬১ : দুটি দ্রবণের মধ্যে প্রত্যেকটির pH = 9। এদের মধ্যে একটি বাফার দ্রবণ এবং অপরটি NaOH দ্রবণ। তুমি দ্রবণ দুটিকে কীভাবে শনাক্ত করবে, তা ব্যাখ্যা কর।

সমাধান : বাফার দ্রবণের সংজ্ঞা মতে, উভয় দ্রবণের মধ্যে যে দ্রবণে কয়েক ফোঁটা সবল 0.1M HCl এসিড অথবা কয়েক ফোঁটা 0.1M NaOH দ্রবণ যোগ করলে দ্রবণটির pH মান অপরিবর্তিত থাকে, সেটি হবে বাফার দ্রবণ এবং অপর

দ্রবণটিতে কয়েক ফোঁটা 0.1M HCl বা 0.1M NaOH দ্রবণ যোগ করলে ঐ দ্রবণের pH মান যথাক্রমে হ্রাস ও বৃদ্ধি ফেলে সেটি হবে NaOH দ্রবণ।

শিক্ষার্থী নিজে কর :

সমস্যা- 8.৫০ : (ক) হেন্ডারসন সমীকরণ ব্যবহার করে 0.20M NaHCO₃ ও 0.10M Na₂CO₃ দ্রবণের সম আয়তন মিশ্রণের বাফার দ্রবণের pH গণনা কর। [K_{a1} = 4.3 × 10⁻⁷; K_{a2} = 5.6 × 10⁻¹¹] [উ: pH = 9.95]

(খ) 0.1 M CH₃COOH দ্রবণে সমআয়তনের 0.1 M CH₃COONa দ্রবণ মিশানো আছে। সৃষ্ট বাফার দ্রবণে pH কত? K_a = 1.8 × 10⁻⁵. [উ: 4.74]

(গ) 25 mL 0.2 M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণে 20 mL 0.2 M NaOH দ্রবণ মিশানো আছে। উৎপন্ন বাফার দ্রবণের pH কত? K_a = 1.0 × 10⁻⁵। [উ: 5.60]

সমস্যা-8.৫১ : (ক) তুমি কীভাবে pH 10.40 বিশিষ্ট NaHCO₃ - Na₂CO₃ বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করবে? [K_a = 4.7 × 10⁻¹¹] [উ: Na₂CO₃ : NaHCO₃ = 1.18 : 1.0]

(খ) 4.0 pH বিশিষ্ট বাফার দ্রবণ তৈরি করতে 60 mL 0.05 M ফরামিক এসিড দ্রবণে কত mL 0.1 M সোডিয়াম ফরমেট দ্রবণ যোগ করতে হবে? এক্ষেত্রে pK_a = 3.8। [উ: 47.55 mL]

দ্রষ্টব্য : এক্ষেত্রে ব্যবহৃত সমীকরণের [লবণ]/[অম্ল] এর ক্ষেত্রে x mL 0.1 M HCOONa এর মোল সংখ্যা = 0.1 × x(mol)/1000 = 0.0001x mol এবং 60 mL 0.05 M HCOOH এর মোল সংখ্যা = 0.05 × 60 (mol)/1000 = 0.003 mol]

(গ) pH 5 বিশিষ্ট বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে ইথানয়িক এসিড ও সোডিয়াম ইথানয়েট কী মোলার অনুপাতে মিশ্রিত করতে হবে, তা গণনা কর। pK_a = 4.8। [উ: এসিড : লবণ = 1 : 1.6 বা, 0.63 : 1]

দ্রষ্টব্য : pH = pK_a + log ([লবণ]/[অম্ল]); বা, (5.0 - 4.8) = log ([লবণ]/[অম্ল]) বা, 0.2 = log ([লবণ]/[অম্ল]), antilog(0.2) = [লবণ]/[অম্ল]

(ঘ) কোনো বাফার দ্রবণে 0.1 mol L⁻¹ ঘনমাত্রার ইথানয়িক এসিড এর সাথে 0.1 mol L⁻¹ সোডিয়াম ইথানয়েট দ্রবণ মিশানো আছে। ঐ বাফার দ্রবণের pH হিসাব কর। (K_a = 1.8 × 10⁻⁵ mol L⁻¹) [উ : 4.75]

(ঙ) কোনো বাফার দ্রবণে ইথানয়িক এসিড ও সোডিয়াম ইথানয়েটের ঘনমাত্রা যথাক্রমে 0.1 mol L⁻¹ এবং 0.15 mol L⁻¹ হলে ঐ বাফার দ্রবণের pH নির্ণয় কর। ইথানয়িক এসিডের K_a = 1.77 × 10⁻⁵। [উ : 4.93]

(চ) কোনো বাফার দ্রবণে ইথানয়িক এসিডের ঘনমাত্রা 0.10 mol L⁻¹ এবং সোডিয়াম ইথানয়েটের ঘনমাত্রা 0.20 mol L⁻¹ আছে। ইথানয়িক এসিডে K_a = 1.80 × 10⁻⁵ হলে ঐ বাফার দ্রবণের pH কত হবে? [উ : 5.05]

(ছ) একটি জলীয় দ্রবণে ইথানয়িক এসিডের ঘনমাত্রা 0.2 mol L⁻¹ এবং সোডিয়াম ইথানয়েটের ঘনমাত্রা 0.3 mol L⁻¹। ইথানয়িক এসিডের K_a = 1.80 × 10⁻⁵ হলে ঐ বাফার দ্রবণের pH নির্ণয় কর। [উ : 4.92]

(জ) কোনো একটি ক্ষারীয় বাফার দ্রবণে NH₄OH আছে 0.015 mol L⁻¹ এবং NH₄Cl আছে 0.025 mol L⁻¹। ঐ বাফার দ্রবণে pH কত হবে? NH₄OH দ্রবণের K_b = 1.77 × 10⁻⁵। [উ : 9.03]

(ঝ) pH = 4.6 বিশিষ্ট একটি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে যে অনুপাতে সোডিয়াম অ্যাসিটেট ও অ্যাসিটিক এসিড মিশাতে হবে তা নিরূপণ কর। দেয়া আছে, pK_a = 4.17। [উ : লবণ : এসিড = 0.708 : 1]

(ঞ) 15mL 0.15M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণে 6 mL 0.15 M NaOH দ্রবণ যোগ করা হলো। মিশ্রিত দ্রবণের pH কত হবে? [pK_a = 4.76] [উ : 4.58]

(ট) 1.0M CH₃-COOH দ্রবণের মধ্যে প্রয়োজনীয় CH₃-COONa যোগ করে 4.95 pH মানের একটি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। বাফার দ্রবণে CH₃-COONa এর ঘনমাত্রা নির্ণয় কর। (pK_a = 4.7447)। [উ : 1.604M]

(ঠ) 1L আয়তনের CH₃ - COOH দ্রবণের মধ্যে 0.3057 CH₃ - COONa যোগ করে 4.23 pH মানের বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। বাফার দ্রবণে CH₃ - COONa ঘনমাত্রা নির্ণয় কর। (pK_a = 4.7447) [উ : 1.0M]

(ড) 50mL 0.175 M মিথানোনিক এসিড দ্রবণে 50mL 0.09M কস্টিক সোডার দ্রবণ যোগ করে বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। দ্রবণের pH মান গণনা কর। ($K_a = 1.8 \times 10^{-4} \text{molL}^{-1}$) [উ : 3.77]

(ঢ) 5pH মানের একটি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে ইথানোনিক এসিড ও সোডিয়াম ইথানোয়েট কী অনুপাতে মিশাতে হবে। ($K_a = 1.8 \times 10^{-5}$) [উ : এসিড : লবণ = 0.555 : 1]

বাফার ক্ষমতা (buffer capacity or buffer index) : এক লিটার বাফার দ্রবণের pH এর মান এক একক (1 unit) পরিবর্তন করতে যতো মোল সংখ্যার সবল এসিড বা ক্ষার মিশ্রিত বা যোগ করতে হয়, তাকে ঐ বাফার দ্রবণের বাফার ক্ষমতা বলে।

∴ বাফার ক্ষমতা = $\frac{\text{প্রতি লিটার বাফার দ্রবণে মিশ্রিত এসিড বা ক্ষারের মোল সংখ্যা}}{\text{pH মানের পরিবর্তন}}$

যেহেতু $\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$; তাই (i) $[\text{লবণ}]/[\text{অম্ল}]$ এর অনুপাত 1 হলে ঐ বাফার দ্রবণের ক্ষমতা সবচেয়ে বেশি হয়। (ii) তখন অম্লীয় বাফারের বেলায় $\text{pH} = \text{pK}_a$ এবং ক্ষারীয় বাফারের বেলায় $\text{pOH} = \text{pK}_b$ হয়। (iii) বাফার দ্রবণের উভয় উপাদানের মোলার ঘনমাত্রা যত বেশি হবে ঐ বাফার দ্রবণের বাফার ক্ষমতা তত বেশি হবে। তখন যোগ করা HCl এসিড বা NaOH দ্রবণকে ঐ বাফার দ্রবণ সহজেই শোষণ করতে পারবে।

ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় চারজনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতি সহকারে উপরোক্ত ধাপ অনুসরণ করে নিচের চিত্রমতে কার্বনেট বাফার দ্রবণ তৈরি এবং এর কার্যকারিতা প্রমাণ কর।

পরীক্ষা নং-১৩

তারিখ :

পরীক্ষার সময় : ২ পিরিয়ড

৪.১৪ পরীক্ষার নাম : কার্বনেট বাফার দ্রবণ তৈরি ও এর কার্যকারিতা প্রমাণ করা

মূলনীতি : কার্বনেট বাফার তৈরিতে দুর্বল এসিডরূপে সোডিয়াম বাইকার্বনেট (NaHCO_3) ও অনুবন্ধী ক্ষাররূপে সোডিয়াম কার্বনেট (Na_2CO_3) ব্যবহার করা হবে।

পরিকল্পনা : pH 10 বিশিষ্ট 0.5L ($\text{NaHCO}_3 - \text{Na}_2\text{CO}_3$) বাফার দ্রবণ তৈরি করা হবে।

প্রয়োজনীয় রাসায়নিক পদার্থ : (১) NaHCO_3 , (২) Na_2CO_3 , (৩) পাতিত পানি, (৪) লঘু HCl, (৫) লঘু NaOH দ্রবণ।

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) ২টি 500 mL মেজরিং ফ্লাস্ক, (২) ফানেল, (৩) কেমিক্যাল ব্যালেস, (৪) ওয়াস বোতল, (৫) pH মিটার, (৬) বিকার।

কাজের ধারা : (১) প্রথমে 500 mL মেজরিং ফ্লাস্কে 0.20 M NaHCO_3 তৈরি করি।

1 mol $\text{NaHCO}_3 = (23 + 1 + 12 + 48) = 84 \text{g NaHCO}_3$

∴ 1000 mL 1M $\text{NaHCO}_3 = 84 \text{g NaHCO}_3$

500 mL 0.2 $\text{NaHCO}_3 = \frac{84 \times 500 \times 0.2}{1000} \text{g NaHCO}_3$

= 8.4g NaHCO_3

(২) কেমিক্যাল ব্যালেসে 8.4g NaHCO_3 ওজন করে 500 mL ফ্লাস্কে দ্রবণ

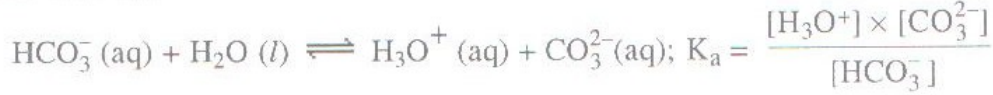
তৈরি করা হলো।



চিত্র ৪.২৭ : কেমিক্যাল ব্যালেসে NaHCO_3 এর ওজন নেয়া।

(৩) প্রয়োজনীয় বাফার উপাদান Na_2CO_3 এর পরিমাণ নির্ণয় :

pH 10 এর সংশ্লিষ্ট বাফার উপাদান ঘনমাত্রা অনুপাত সম্পর্ক থেকে নিম্নমতে CO_3^{2-} আয়নের বা Na_2CO_3 এর মোলার ঘনমাত্রা নির্ণয় করি।



$$\begin{aligned} \therefore [\text{CO}_3^{2-}] &= K_a \times \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_3\text{O}^+]} \\ &= \frac{(5.6 \times 10^{-11}) \times (0.20)}{1.0 \times 10^{-10}} \\ &= 0.112 \text{ M} \end{aligned}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-10} = 1.0 \times 10^{-10} \text{ M}$$

\therefore ঈঙ্গিত বাফার দ্রবণের pH 10

\therefore HCO_3^- এর $K_a = 5.6 \times 10^{-11}$ [পরিশিষ্টে সারণি থেকে]

সুতরাং 500 mL বাফার দ্রবণের জন্য প্রয়োজনীয় Na_2CO_3 হবে নিম্নরূপ :

Na_2CO_3 এর মোল সংখ্যা = দ্রবণের আয়তন (লিটারে) \times Na_2CO_3 এর মোলারিটি (M)

$$= 0.5 \text{ L দ্রবণ} \times \frac{0.112 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ L দ্রবণ}} = 0.056 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3$$

$$\therefore \text{গ্রাম একক Na}_2\text{CO}_3 \text{ এর ভর} = \frac{106 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 \times 0.056 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3} = 5.94 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 \text{ (প্রায়)}$$

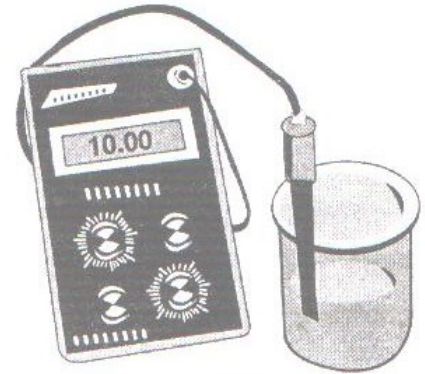
(৪) এখন 5.94g Na_2CO_3 কেমিক্যাল ব্যালেসে ওজন করা হলো।

(৫) দ্বিতীয় 500mL ফ্লাস্কে ওজন করা 5.94g Na_2CO_3 কে ফানেলের সাহায্যে নেয়া হলো। পূর্বে প্রস্তুত করা 500mL 0.20M NaHCO_3 দ্রবণটি এ ফানেলের মুখে ঢেলে সমস্ত Na_2CO_3 কে ফ্লাস্কে স্থানান্তর করা হলো। 0.20M NaHCO_3 দ্রবণ ঢেলে দ্বিতীয় ফ্লাস্কের 500mL আয়তন পূর্ণ করা হলো। এরূপে কার্বনেট বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো।

প্রস্তুত বাফার দ্রবণে pH পরীক্ষা : pH মিটারের ইলেকট্রোড বা probe কে বিকারে নেয়া 200 mL প্রস্তুত বাফার দ্রবণে ডুবিয়ে pH মিটারে pH মান 10 রিডিং পাওয়া গেল। সুতরাং প্রস্তুত বাফার দ্রবণের ঈঙ্গিত pH সঠিক আছে

কার্যকারিতা পরীক্ষা : এবার বিকারে নেয়া 200 mL প্রস্তুত বাফার দ্রবণে 2 mL 0.1 M HCl এসিড দ্রবণ মিশিয়ে pH মিটারে pH মান 10 রিডিং পাওয়া গেল। অনুরূপভাবে ২য় বিকারে 200 mL বাফার দ্রবণ নিয়ে ঐ বাফার দ্রবণে 2 mL 0.1 M NaOH ক্ষার দ্রবণ মিশিয়ে দেখা গেল এবারও pH মিটারে pH মান 10 রিডিং দিচ্ছে। প্রস্তুত কার্বনেট বাফার দ্রবণ অল্প HCl ও অল্প NaOH দ্রবণ যোগ করার পরও pH এর মান স্থির থাকায় প্রস্তুত বাফার দ্রবণের কার্যকারিতা প্রমাণিত হলে

বিভিন্ন জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ায়, মানুষের রক্তে, কৃষি ক্ষেত্রে, রসায়ন শিল্প ক্ষেত্রে, টয়লেট্রিজ ও রাসায়নিক বিশ্লেষণে pH এর মান নিয়ন্ত্রণ করা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ।



চিত্র ৪.২৮ : pH মিটার দ্বারা বাফার দ্রবণের pH পরীক্ষা।

8.15 মানুষের রক্তের pH pH of Human Blood

Medical.

MCQ-4.17 : সুস্থ মানুষের রক্তের pH কত? [ঢা. বো. ২০১৫]
(ক) 6.4 (খ) 7.4 (গ) 8.3 (ঘ) 9.4

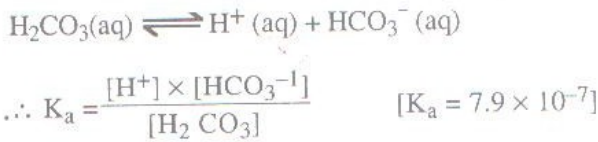
মানুষের রক্ত এবং অন্যান্য তরল অংশ এমনভাবে গঠিত যে তাদের বাফার ক্ষমতা আছে। এর ফলে অ্যামাইনো এসিডসমূহ সুনির্দিষ্ট রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে বিভিন্ন জৈবিক রাসায়নিক কাজ সম্পন্ন করে।

দেহের বিভিন্ন তরল পদার্থের মধ্যে রক্ত একটি উৎকৃষ্ট বাফার দ্রবণ; রক্তে বাইকার্বনেট-কার্বনিক এসিড বাফার বিদ্যমান। স্বাভাবিক অবস্থায় রক্তের pH = 7.4 এর কাছাকাছি থাকে। তাই রক্ত সামান্য ক্ষারীয় প্রকৃতির বাফার দ্রবণ। রক্তের স্বাভাবিক pH থেকে 0.1 pH ইউনিট পরিবর্তন সীমার মধ্যে থাকলে রক্ত দ্বারা অক্সিজেন পরিবহন সুষ্ঠুভাবে ঘটে। তবে রক্তের pH কোনো কারণে 0.5 এর বেশি পরিবর্তিত হলে জীবন সংকটাপন্ন হয়। তবে বিভিন্ন কারণে রক্তের pH এর মান 7 থেকে 7.8 এর মধ্যে পরিবর্তিত হতে পারে।

মানুষের রক্তের pH নিয়ন্ত্রণ : মানুষের রক্তের pH নিয়ন্ত্রণ প্রক্রিয়ায় নিম্নোক্ত বাফার সিস্টেম প্রত্যক্ষ ও পরোক্ষভাবে জড়িত। যেমন, (১) রক্তে বাইকার্বনেট বাফার, (২) আন্তঃকোষীয় ফসফেট বাফার এবং (৩) প্রোটিন বাফার।

তবে ফসফেট বাফার সিস্টেম ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 - \text{NaH}_2\text{PO}_4$; $\text{pK}_a = 6.8$) হলো আন্তঃকোষীয় বাফার। রক্তের প্লাজমা তরলে নিম্ন ঘনমাত্রার জন্য বিশেষ ভূমিকা রাখে না। প্রোটিন বাফার সিস্টেমটি প্লাজমা প্রোটিন ও হিমোগ্লোবিন প্রোটিন সমন্বয়ে গঠিত। অ্যামাইনো এসিডের pK_a এর মানের ওপর প্রোটিন বাফারের দক্ষতা নির্ভর করে। হিমোগ্লোবিনে পর্যাপ্ত পরিমাণে ক্ষারীয় অ্যামাইনো এসিড হিস্টিডিন (35%) থাকায় এটির pK_a মান প্রায় 7। হিমোগ্লোবিন উৎকৃষ্ট বাফাররূপে রক্তের 'বাইকার্বনেট-কার্বনিক এসিড বাফার'-এর সামান্য (2%) নিয়ন্ত্রণ করে।

(১) রক্তের বাইকার্বনেট বাফার সিস্টেম : মানুষের রক্তে কার্যকর থাকে সোডিয়াম বাইকার্বনেট-কার্বনিক এসিড বাফার সিস্টেম ($\text{NaHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$, $\text{pK}_a = 6.1$)। এটি বহিঃকোষীয় এবং রক্তের প্লাজমা তরলের অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ বাফার সিস্টেম। এক্ষেত্রে কার্বনিক এসিডের বিয়োজন নিম্নরূপ :



$$\therefore [\text{H}^+] = \frac{K_a \times [\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{HCO}_3^-]} \quad \text{pK}_a = 6.1$$

$$\text{বা, } \text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \quad \therefore \text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{এসিড}]}$$

MCQ-4.18 : 0.05 M H_2SO_4 এর pH কত? [কু. বো. ২০১৫]
(ক) 1.0 (খ) 1.5
(গ) 2.0 (ঘ) 2.5

MCQ-4.19 : 0.01 M NaOH এর pH কত? [দি. বো. ২০১৫]
(ক) 1 (খ) 2
(গ) 12 (ঘ) 13

এক্ষেত্রে রক্তের প্লাজমা তরলে বাইকার্বনেট লবণ (HCO_3^-) এর ঘনমাত্রা হলো প্রায় 24 m mol/L এবং কার্বনিক এসিড (H_2CO_3) এর ঘনমাত্রা অর্থাৎ CO_2 এর জলীয় দ্রবণের ঘনমাত্রা হলো CO_2 গ্যাসের আংশিক চাপ (40 mmHg) এবং এর দ্রাব্যতা গুণফল ধ্রুবক মানের গুণফলের সমান। এক্ষেত্রে CO_2 এর দ্রাব্যতা গুণফল ধ্রুবক 0.03।

$$\therefore \text{প্লাজমা তরলে } \text{H}_2\text{CO}_3 \text{ এর ঘনমাত্রা} = 40 \times 0.03 \text{ m mol/L} = 1.2 \text{ m mol/L}$$

$$\text{এখন মান বসিয়ে পাই, } \therefore \text{pH} = 6.1 + \log \frac{24}{1.2} = (6.1 + \log 20) = (6.1 + 1.3) = 7.4$$

অল্পজাতীয় খাদ্য যেমন অধিক লেবুর রস গ্রহণে অথবা রক্তে কোনো এসিড জাতীয় দ্রবণ শোষিত হলে তা নিম্নোক্ত বিক্রিয়া অনুসারে প্রশমিত হয়।

$H^+ (aq) + HCO_3^- (aq) \longrightarrow H_2CO_3 (aq)$; উৎপন্ন অস্থায়ী কার্বনিক এসিড পরে বিয়োজিত হয়ে পানি ও CO_2 গ্যাসে পরিণত হয়। ফুসফুসের মাধ্যমে নিঃশ্বাসে CO_2 মুক্ত হয়। অপরদিকে রক্তে OH^- আয়ন বৃদ্ধি পেলে নিম্নোক্ত বিক্রিয়া দ্বারা তা প্রশমিত হয়। $OH^- (aq) + H_2CO_3 (aq) \longrightarrow HCO_3^- (aq) + H_2O (l)$

তাই যে সব ওষুধ ট্যাবলেটরূপে সেবন ও ইনজেকশনরূপে মানবদেহে প্রয়োগ করা হয়, এদেরকে এমনভাবে তৈরি করে নেয়া হয়, যাতে এরা সহজেই রক্তের হাইড্রোনিয়াম আয়নের মোলার ঘনমাত্রার $[H_3O^+]$ সাথে সাম্যাবস্থায় পৌঁছায় এবং রক্তের pH-এর কোনোরূপ পরিবর্তন না ঘটায়।

৪.১৬.১ কৃষি উৎপাদনে pH এর গুরুত্ব **MEDICAL**

Importance of pH in Agriculture

কৃষি উৎপাদনে ও মাটির pH নিয়ন্ত্রণ গুরুত্বপূর্ণ। মাটির pH একটি সুনির্দিষ্ট সীমার মধ্যে হলেই গাছপালা মাটি থেকে প্রয়োজনীয় খাদ্য গ্রহণ করতে পারে, নতুবা নয়। pH এর মান 3 এর চেয়ে কম হলে অর্থাৎ মাটি অধিক অম্লীয় হলে গাছপালা মরে যায়। যেমন, এসিড বৃষ্টির ফলে pH এর মান হ্রাস পাওয়ায় অনেক স্থানে গাছপালা মরে গিয়ে মরণপ্রক্রিয়া সৃষ্টি হয়। লালমনিরহাট এলাকার অম্লধর্মী মাটিতে চুন (CaO) ও ডলোমাইট ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$) গুঁড়া দেয়ার পর ঐ মাটির pH বৃদ্ধি পায়। ফলে ঐ মাটিতে গম, ভুট্টা, চীনাবাদাম চাষ করা সম্ভব হচ্ছে। আবার ক্ষারকীয় মাটির বেলায় মাটির pH এর মান 9.5 এর উপরে হলে মাটির উর্বরতা বিনষ্ট হয়। কারণ তখন মাটির উর্বরতা সহায়ক অণুজীব মরে যায়। মাটির অণুজীব বৃদ্ধির সহায়ক pH হলো 6.6 – 7.3. বিভিন্ন অণুজীব মাটির উর্বরতা বৃদ্ধির উপাদান N,S,P মৌল যোগান দেয়। সুতরাং কৃষি জমিতে মাটির pH এর বিস্তার কৃষি কাজের অবস্থাভেদে বিভিন্ন অঞ্চলে 3~9.5 এর মধ্যে রাখা হয়।

তাই (১) অম্লধর্মী মাটির pH বাড়াতে চুন এবং ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেসিয়াম প্রভৃতির সার ব্যবহৃত হয়। অপরদিকে (২) ক্ষারকীয় মাটির pH কমাবার জন্য বিভিন্ন নাইট্রেট সার যেমন, KNO_3 , NH_4NO_3 এবং ফসফেট সার যেমন টি. এস. পি বা মনো ক্যালসিয়াম ফসফেট, $Ca(H_2PO_4)_2$ ও সুপার ফসফেট ইত্যাদি ব্যবহৃত হয়। সুপার ফসফেট হলো মনো ক্যালসিয়াম ফসফেট মনোহাইড্রেট [$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$], $(NH_4)_2 HPO_4$ ও জিপসাম [$2(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$] গুঁড়ার মিশ্রণ।

৪.১৬.২ রসায়ন শিল্পে pH এর গুরুত্ব

Importance of pH in Chemical Industries

বিভিন্ন শিল্প প্রক্রিয়ায়ও pH এর অতি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা আছে। বিভিন্ন ওষুধ উৎপাদনে, ফার্মেন্টেশন বা গাঁজন প্রক্রিয়ায় অ্যালকোহল উৎপাদনে, বেকারিতে, লজেস জাতীয় মিষ্টিদ্রব্য প্রস্তুতিতে pH এর প্রয়োজনীয় নির্দিষ্ট মান রক্ষা করা অতীব প্রয়োজন। এ ছাড়া চামড়ার ট্যানিং, বায়োলজিক্যাল কালচার প্রস্তুতিতে, মৃত্তিকা রসায়নে pH এর নিয়ন্ত্রণ গুরুত্বপূর্ণ। সুগার মিলে আখের রস থেকে সুগার বা চিনি উৎপাদনের বেলায় দ্রবণের pH নিয়ন্ত্রণে রাখা হয়। ফলে চিনি বা সুক্রোজ অণু আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে ইনভার্ট চিনি অর্থাৎ সমমোলার গ্লুকোজ ও ফ্রুক্টোজে রূপান্তর বা সুক্রোজের ইনভারশন (inversion) রোধ হয়। কাপড়ের সুতার বিরঞ্জে ও ডায়িং কাজে বিভিন্ন ডাই বা রঞ্জকের দ্বারা প্রিন্ট কাপড় উৎপাদনে বিভিন্ন pH মান বিভিন্ন রঞ্জকের বেলায় নিয়ন্ত্রণ করতে হয়। রঞ্জকের pH মান নিয়ন্ত্রণ করা না হলে প্রিন্ট-কাপড়ের ক্ষতি হয়। এছাড়া কলমের কালি, ধাতু নিষ্কাশনে তৈল-ফেনা প্রক্রিয়ায় সালফাইড আকরিক গাঢ়ীকরণে, শিল্প বর্জ্য শোধনে ETP-তে pH মান নিয়ন্ত্রণ অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ।

৪.১৬.৩ টয়লেট্রিজ উৎপাদনে pH এর গুরুত্ব

Importance of pH in Toiletries

বর্তমানে টয়লেট্রিজ বলতে টয়লেট সাবান, শ্যাম্পু, ফেস-ওয়াশ ও টুথপেস্ট ইত্যাদিকে বোঝায়। এ সব সামগ্রী দেহের ত্বক, মাথার চুল ও চুলের গোড়া পরিচর্যায় এবং মুখের ভিতরে দাঁত-মাটির পরিচর্যায় ব্যবহৃত হয়। ত্বক দেহের তাপমাত্রা নিয়ন্ত্রণে ভূমিকা রাখে। এছাড়া বাইরের ক্ষতিকর ফাংগাস, ভাইরাস, ব্যাকটেরিয়াসহ বিভিন্ন রোগজীবাণুর আক্রমণ প্রতিরোধ করে। এসব ক্ষতিকর রোগজীবাণুর প্রতিরোধে অম্লীয় পরিবেশ কার্যকর। তাই প্রাকৃতিক নিয়মেই ত্বকের নিচে থাকা সেবাসিয়াস গ্ল্যান্ড থেকে নিঃসৃত সেবাম (sebum) নামক তৈল জাতীয় পদার্থ বহিঃত্বকের (epidermis) উপরে মসৃণ এসিড আবরণ (acid mantle) সৃষ্টি করে। তখন বয়স্ক লোকের ত্বকের pH মান সাধারণত 4.0 – 5.5 পরিসরে থাকে। তবে ২-১ মাসের শিশুর কোমল ত্বকের pH অনেক বেশি (7 – 8) থাকে। বহিঃত্বকের এ এসিড-আবরণটি ত্বকের অর্দ্রতা বজায় রাখা কোষসমূহের মধ্যে সংযোগ রক্ষা করা, ত্বকের কমনীয়তা ও দৃঢ়তা দান ইত্যাদি ভূমিকা পালন করে। তাই কোনো কারণে ত্বকের এসিড আবরণ নষ্ট হলে ত্বকের সামগ্রিক ক্ষতি হয়। যেমন কাপড় কাচা সাবান, ডিটারজেন্ট ও বাসনপত্র ধোয়ার সাবানে অধিক ক্ষার থাকে, এদের দ্রবণে pH মান 11-13 হয়। এ সব সাবান ব্যবহারকারীর হাতের বহিঃত্বকের ক্ষতি হয়। ত্বক শুষ্ক, অমসৃণ ও রক্ষ হতে থাকে। তাই বিভিন্ন টয়লেট্রিজ উৎপাদনে pH মান নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে রাখতে হয়। যেমন,

(i) ত্বককে ব্যাকটেরিয়ার আক্রমণ থেকে রক্ষা করতে ত্বকের pH 4.0 – 5.5 এ রাখতে হবে। এক্ষেত্রে অ্যান্টি অক্সিডেন্টসমূহ যেমন ভিটামিন A, C, E এবং সবুজ চা পান কার্যকর ভূমিকা রাখে।

- (ii) গোসল করার সাবানের pH মান 7-8 এর মধ্যে রাখা হয়।
- (iii) চুলের শ্যাম্পুতে pH মান 5-7 এর মধ্যে রাখা হয়।
- (iv) ফেস-ওয়াশ এর বেলায় 6-8 এর মধ্যে রাখা হয়।
- (iv) টুথপেস্টের pH এর মান 8 এ রাখা হয়।

MCQ-4.20 : মাটির pH কমানোর জন্য কোনটি ব্যবহৃত হয়? [সি. বো. ২০১৫]

(ক) CaCO_3 (খ) $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$
 (গ) $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (ঘ) CaO

৪.১৬.৪ ওষুধ সেবনে pH এর গুরুত্ব

Importance of pH in Taking Medicine

মানুষের শরীরের প্রতিটি তন্ত্রের কোষগুলোতে শারীরবৃত্তীয় বিভিন্ন বিক্রিয়াগুলো এনজাইম দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় এবং প্রতিটি তন্ত্রের তরলের সুনির্দিষ্ট pH মান রয়েছে। যেমন, (১) চোখের পানির pH = 4.8-7.5; (২) মুখের লাল বা স্যালিভার pH = 6.35-6.68, (৩) মাতৃদুগ্ধের pH = 6.6-6.9, (৪) প্রস্রাবের pH = 4.8-7.5; (৫) রক্তের pH 7.4 এবং (৬) মুখ গহ্বরের পর পাকস্থলীর বিভিন্ন জীবাণুনাশক সবচেয়ে বেশি অম্লীয় পরিবেশের pH (1.4-2.0) থাকে। ফলে পাকস্থলীর এনজাইম পেপসিন সক্রিয় থাকে। এরপর ক্ষুদ্রান্ত্রের শুরুতে পিত্তরসের ক্ষারীয় পরিবেশে pH = (7.4-8.0) পর্যন্ত থাকে।

শারীরবৃত্তীয় pH মানভিত্তিক কোনো প্রক্রিয়ায় ব্যতিক্রম ঘটলে আমরা শারীরিকভাবে অসুস্থ হই। অসুস্থ শরীরকে সুস্থ করতে ওষুধ নামক বিভিন্ন রাসায়নিক পদার্থ মুখে অথবা ইনজেকশনরূপে গ্রহণ করি। মুখে গেলা ওষুধ ও চোখে দেয়া ড্রপ-প্রতিক্ষেত্রে আন্তঃকোষে শোষিত হয় এবং রক্ত প্রবাহে মিশে অসুস্থ তন্ত্রে ক্রিয়া করে সুস্থতা স্থিত করে।

ওষুধ সেবনের বেলায় চিকিৎসকের পরামর্শ মতে সঠিক মাত্রায় ওষুধ গ্রহণ করতে হবে। সঠিক মাত্রায় গৃহীত ওষুধ অসুস্থ তন্ত্রের pH পরিসরে সঠিকভাবে শোষিত হয়ে কার্যকর ভূমিকা রাখতে পারে। ওষুধের শোষণ শরীরের প্রতিটি প্রবেশ পথের ত্বক দ্বারা ঘটে। ওষুধ বা ড্রাগ (drug) অণুর শোষণ প্রক্রিয়াটি এদের দ্রাব্যতা, আয়নিকরণ বা বিয়োজন মাত্রা ও pH এর মান ইত্যাদির ওপর নির্ভর করে।

প্রতিটি ওষুধ বা ড্রাগ পানিতে কম বেশি দ্রবীভূত হতে হয় এবং এদের বিয়োজন মাত্রাও ভিন্ন হয়। প্রতিটি ড্রাগ-অণু অবিয়োজিত অণু ও বিয়োজিত আয়নরূপে দ্রবণে থাকে।

গৃহীত ড্রাগ বা ওষুধ = অবিয়োজিত অণু + বিয়োজিত আয়নদ্বয়

অবিয়োজিত ড্রাগ বা ওষুধ অণুসমূহ অধিক কার্যকরভাবে শোষিত হয়। যেমন,

(১) জ্বর ও ব্যথা নিবারক ওষুধ অ্যাস্পিরিন, প্যারাসিটামল ইত্যাদি অম্লধর্মী ওষুধের শোষণ প্রক্রিয়া পাকস্থলীর অম্লীয় পরিবেশে সূচুভাবে ঘটে। কারণ পাকস্থলীয় pH (1.4–2.0) পরিবেশে এসব ওষুধ কম আয়নিত হয়।

(২) আবার জ্বরের ওষুধ ক্লোরোকুইন মৃদু ক্ষারধর্মী হওয়ায় ক্ষুদ্রান্ত্রের pH (7.5–8.0) পরিসরে আয়নিকরণ কম ঘটে এবং অণুরূপে সঠিকমাত্রায় শোষিত হয়।

সুতরাং অসুস্থ শরীরে ওষুধ সেবন এবং ওষুধের কার্যকারিতা সম্পূর্ণরূপে দেহ মাধ্যমের pH পরিসরের ওপর নির্ভরশীল।

8.১৭ pH পরিমাপ করে উপযুক্ত প্রসাধন সামগ্রী নির্বাচন

Selection of Proper pH-Cosmetics after Testing

আমাদের প্রাত্যহিক ব্যবহার্য সাধারণ প্রসাধন সামগ্রীর মধ্যে উল্লেখযোগ্য হলো- (১) টয়লেট সাবান, (২) টুথপেস্ট, (৩) কোল্ড ক্রীম/স্নো, (৪) ট্যালকম পাউডার ইত্যাদি। এসব প্রসাধনীর মধ্যে টুথপেস্ট দাঁত ও মুখের ভিতরে পরিষ্কার করার কাজে ব্যবহৃত হয়। অন্যসব সামগ্রী যেমন টয়লেট সাবান, কোল্ড ক্রীম/স্নো ও পাউডার ত্বকের পরিচর্যার জন্য ব্যবহৃত হয়।

বড়দের ত্বকের ওপর অম্লীয় পরিবেশ থাকে; ত্বকের pH 4-6 এর মধ্যে থাকে। কিন্তু নবজাতকের ত্বকের pH 7 এর কাছাকাছি হয়। তাই বড়দের জন্য যে প্রসাধনী ব্যবহৃত হয়, তা শিশুদের জন্য প্রযোজ্য নয়। এতে শিশুর ত্বকের মারাত্মক ক্ষতি হতে পারে। আবার মুখের ভিতর অম্লীয় পরিবেশ থাকে। মুখে দুর্গন্ধ, দাঁতের গোড়ায় বেদনা হলে জীবাণু নাশকরূপে 'এন্টিসেপটিক মাউথ ওয়াশ' ব্যবহৃত হয়। এতে pH 5.5 লেখা থাকে। যা মুখের লালার pH 6.35–6.68 এর কাছাকাছি থাকে। কিন্তু খাবার গ্রহণের পর এক ঘণ্টার মধ্যে মুখের লালার pH 3 এর নিচে আসে। কারণ আমাদের খাবারের চিনি থেকে এসিড উৎপন্ন হয়। তাই অধিক অম্লীয় পরিবেশকে কিছুটা প্রশমিত করার জন্য টুথপেস্টের pH 8 এর কাছাকাছি রাখা হয়। এখন আমরা সাধারণ কমমেটিক বা প্রসাধনীর pH অনুসন্ধান পরীক্ষা করে উপযুক্ত প্রসাধন সামগ্রী ব্যবহারের জন্য নির্বাচন করতে সক্ষম হব।

শিক্ষার্থীর কাজ : ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীরা গ্রুপ করে এ কাজ করবে।

সাধারণ 'কসমেটিক'-এর pH পরিমাপ ও কসমেটিক নির্বাচন

পরীক্ষা নং-১ : বাজারের বিভিন্ন ব্র্যান্ডের টয়লেট সাবান-এর pH পরীক্ষা ও ব্যবহার যোগ্যতা নির্ধারণ

তারিখ :

সময় : ২ পিরিয়ড

(ক) উদ্দেশ্য : বাজারজাত টয়লেট সাবানে pH সঠিকভাবে নিয়ন্ত্রণ করা হয়েছে কিনা, তা জানা।

(খ) প্রয়োজনীয় বস্তু : বিভিন্ন ব্র্যান্ডের টয়লেট সাবান যেমন, Lux, Tibet, Nirma

(গ) pH পরিমাপের জন্য প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) বিকার, (২) গ্লাস রড, (৩) ওয়াশ বোতল, (৪) pH মিটার, অথবা সার্বজনীন নির্দেশক (ইউনিভার্সেল ইন্ডিকেটর), সার্বজনীন নির্দেশক-এর বিভিন্ন pH পরিসরে বর্ণ পরিবর্তন সারণি নিম্নরূপ :

সারণি-৪.৫ : সার্বজনীন নির্দেশকের বিভিন্ন pH-এর বর্ণ :

pH	3.4	5.6	7	8, 9, 10	11, 12	1.2	13, 14
সার্বজনীন নির্দেশকের বর্ণ :	লাল Red	কমলা Orange	হলুদ Yellow	সবুজ Green	নীল-সবুজ Blue-Green	নীল Blue	বেগুনি Violet

(ঘ) কাজের ধারা : (১) পৃথক বিকারে পানিতে প্রতিটি ব্র্যান্ডের টয়লেট সাবানের দ্রবণ তৈরি করা হয়।

(২) প্রতিটি সাবানের দ্রবণে pH মিটার-এর ইলেকট্রোড ডুবানো হয়। মিটার রিডিং নিচের ছকে রেকর্ড করা হয়।
অথবা সাবানের দ্রবণে সার্বজনীন নির্দেশক কাগজ (বা দ্রবণ) যোগ করা হয়। নির্দেশকের বর্ণ পরিবর্তন দেখে pH মান ঠিক করে ছকে রেকর্ড করা হয়।
(ঙ) পর্যবেক্ষণ ও সিদ্ধান্ত : শেষে ত্বকের pH মতে পরীক্ষাধীন ব্র্যান্ডের সাবান ত্বকের বা স্বাস্থ্যের ওপর কোনো প্রভাব সৃষ্টি করবে কিনা মন্তব্য প্রদান।

সাবানের নমুনা	নমুনার pH মান	অনুমোদিত pH মান	নমুনা pH কম/বেশি	ব্যবহার সম্বন্ধে মতামত
১। ব্র্যান্ড - ১	7		pH কম	১। শুষ্ক ত্বকের জন্য ব্যবহারে সুবিধাজনক।
২। ব্র্যান্ড - ২	8.1	7-8	pH বেশি	২। ব্র্যান্ড - ২, ৩ এর কিছু বেশি ক্ষার থাকায়
৩। ব্র্যান্ড - ৩	8.2		pH বেশি	তৈলাক্ত ত্বকের জন্য সুবিধাজনক।

পরীক্ষা নং-২ :

বাজারের বিভিন্ন ব্র্যান্ডের টুথপেস্ট এর pH পরীক্ষা ও ব্যবহার যোগ্যতা নির্ধারণ

(ক) উদ্দেশ্য : বাজারজাত টুথপেস্টে pH সঠিকভাবে নিয়ন্ত্রণ করা হয়েছে কিনা; তা জানা।

(খ) প্রয়োজনীয় বস্তু : বিভিন্ন ব্র্যান্ডের টুথপেস্ট যেমন Pepsodent, White plus, Colgate

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) pH মিটার বা সার্বজনীন নির্দেশক, (২) বিকার, (৩) গ্লাস রড, (৪) ওয়াস বোতল।

(ঘ) কাজের ধারা : পূর্বের পরীক্ষার মতো।

(ঙ) পর্যবেক্ষণ ও সিদ্ধান্ত : পূর্বের পরীক্ষার মতো।

টুথপেস্টের নমুনা	নমুনার pH মান	অনুমোদিত pH মান	নমুনা pH কম/বেশি
১। ব্র্যান্ড - ১	8	8	ব্র্যান্ড-১ ও ব্র্যান্ড-২ এর pH অনুমোদিত
২। ব্র্যান্ড - ২	8		pH বজায় রেখেছে। তাই সকলের
৩। ব্র্যান্ড - ৩	8.5		ব্যবহারযোগ্য। ব্র্যান্ড-৩ এর pH কিছুটা
			বেশি, তাই শিশুদের ব্যবহার অযোগ্য হবে।

পরীক্ষা নং-৩ : বাজারের বিভিন্ন ব্র্যান্ডের কোল্ড ক্রিম/স্নো এর pH পরীক্ষা ও ব্যবহার যোগ্যতা নির্ধারণ

উপরের পরীক্ষার মতো শিক্ষার্থীরা গ্রুপ করে এ পরীক্ষাটি কর।

৩.১৮ 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 নিত্যতা সূত্র মেনে কাজ করে। কারণ বিক্রিয়ক অণুতে থাকা পরমাণুগুলো বিক্রিয়া পরিবেশে তাপ আদান প্রদান করে পুরাতন বন্ধন ভেঙ্গে নতুন বন্ধন গঠন করে। উৎপাদ অণু তৈরি করে। বিক্রিয়াকালে পরমাণুগুলো স্থান পরিবর্তন করে মাত্র। এখন আমরা রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে ভর ও শক্তির নিত্যতা সূত্রের সাথে শক্তির নিত্যতা সূত্রও আলোচনা করব।

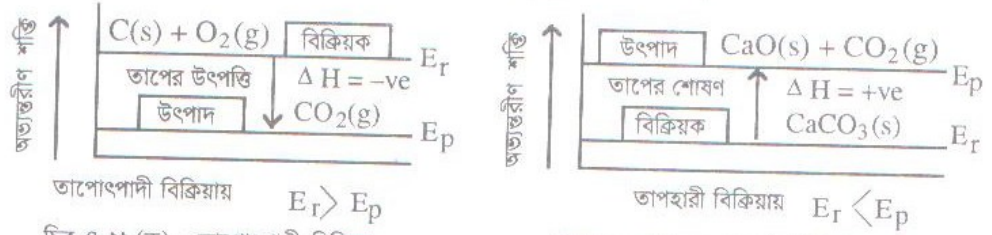
মনে রাখবে, যখন কোনো রাসায়নিক পরিবর্তন বা বিক্রিয়া সংঘটিত হয়, তাতে হয় তাপশক্তি শোষিত হবে, না হয় শক্তি নির্গত হবে; অবশ্য এ শক্তি আলো বা অন্য কোনো প্রকারেরও হতে পারে। তবে সব ক্ষেত্রে মোট শক্তির রূপান্তর স্থির থাকে। রাসায়নিক বা বিক্রিয়ার শক্তির যে পরিবর্তন ঘটে, তা তাপগতিবিজ্ঞানের প্রথম সূত্র দ্বারা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

যেমন, মিথেন গ্যাসের দহনে যে শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়, তাকে পদার্থের অভ্যন্তরীণ শক্তি বলা হয় অভ্যন্তরীণ শক্তির ওপর নির্ভর করে বিক্রিয়াকালে শক্তির শোষণ বা উদ্ভব ঘটতে পারে।

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

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

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



চিত্র ৪.২৯(ক) : তাপোৎপাদী বিক্রিয়া

চিত্র ৪.২৯(খ) : তাপহারী বিক্রিয়া

$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$, $\Delta H^\circ = -393.5 \text{ kJ}$; $CaCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} CaO(s) + CO_2(g)$, $\Delta H^\circ = +198 \text{ kJ}$

অভ্যন্তরীণ শক্তি : সব বস্তুকণার মধ্যে স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তি রূপে শক্তি সঞ্চিত থাকে। বস্তুকণার মোট স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তিকে সিস্টেমের বা বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি বা Internal energy বলে।

বস্তুতে অণু, পরমাণু, আয়ন প্রভৃতি একে অপরের সাপেক্ষে যে অবস্থান গ্রহণ করে তার ওপর ঐ বস্তুর অভ্যন্তরীণ স্থিতিশক্তি নির্ভর করে। বন্ধন ভাঙন 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।

উল্লেখ্য 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]

স্থির চাপে বিক্রিয়া তাপ : পরীক্ষাগারে সাধারণত স্থির বায়ুমণ্ডল চাপে অধিকাংশ বিক্রিয়া খোলাপাত্র যেমন বিকার, টেস্টটিউব 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 স্থির চাপে শোষিত তাপশক্তি (q_p) এর পরিমাণ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তির বৃদ্ধি (ΔE) এবং আয়তন বৃদ্ধিজনিত কাজ ($P \times \Delta V$) এর যোগফলের সমান হয়।

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

আবার অভ্যন্তরীণ শক্তির বৃদ্ধি ও ঐ বস্তু দ্বারা সম্পন্ন কাজ-এ উভয় রাশিকে একত্রে প্রকাশ করার জন্য তাপগতি বিজ্ঞানে এন্থালপি (enthalpy) নামক একটি রাশি ব্যবহৃত হয়, একে H প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

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

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

উল্লেখ্য গ্রিক শব্দ enthalpein অর্থাৎ 'to warm in' থেকে এন্থালপি শব্দের উৎপত্তি হয়েছে। এন্থালপিকে ধৃত তাপও বলা হয়।

এন্থালপির সংজ্ঞা : স্থির চাপে কোন সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি (U) এর সাথে সিস্টেমের চাপ ও আয়তনের গুণফল ($P \times V$) শক্তি যোগ করলে যে মোট শক্তি হয়, তাকে সিস্টেমের এন্থালপি বা ধৃত তাপ বলে। এন্থালপিকে 'H' দ্বারা প্রকাশ করা হয়। অর্থাৎ,

$$H = U + P \times V;$$

যেখানে, $P =$ সিস্টেমের চাপ

$V =$ সিস্টেমের আয়তন

এনথালপি একটি তাপগতীয় অপেক্ষক বা অবস্থানির্ভর রাশি অর্থাৎ এর মান বস্তুর ভৌত অবস্থা, তাপমাত্রা ও চাপের মানের উপর নির্ভর করে; কিন্তু এর মান পরিবর্তনের ধারা বা পথের উপর নির্ভর করে না। প্রকৃতপক্ষে কোন রাসায়নিক বিক্রিয়ার তাপ পরিবর্তনকে ΔH দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

যদি তাপ শোষণকালে বস্তুর আয়তনের কোনো পরিবর্তন না ঘটে; অর্থাৎ $\Delta V = 0$ হয়, তবে $\Delta H = \Delta E$ হয়। যেমন কঠিন বস্তুর বেলায় তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে এর ΔV এর মান খুব বেশি হয় না। তখন ΔH এবং ΔE এর মান প্রায় সমান ধরা যায়। প্রকৃতপক্ষে কোনো বিক্রিয়ায় তাপ উৎপন্ন হলে ΔH ঋণাত্মক এবং তাপ শোষিত হলে ΔH ধনাত্মক হয়। যেমন, উপরের বিক্রিয়ায় কার্বনের দহন বিক্রিয়ায় তাপ উৎপন্ন হওয়ায় ΔH কে ঋণাত্মক এবং CaCO_3 বিয়োজন কালে তাপ শোষণ হওয়ায় ΔH কে ধনাত্মক ধরা হয়েছে।

১৮.১ বিভিন্ন প্রকার তাপীয় বা এনথালপি পরিবর্তন

Different Types of Enthalpy or Heat Change

যে সব প্রক্রিয়ায় তাপের শোষণ অথবা উদ্ভব ঘটে, সে সব ক্ষেত্রে তাপীয় পরিবর্তন ঘটে। এরূপ কয়েক প্রকার তাপীয় পরিবর্তনের সংজ্ঞা নিম্নে দেয়া হলো :

(১) বিক্রিয়া তাপ : কোনো বিক্রিয়ার সমতায়ুক্ত সমীকরণ মতে বিক্রিয়কসমূহের সংখ্যানুপাতিক মোল পরিমাণে সম্পূর্ণরূপে বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন অথবা শোষিত তাপের পরিমাণকে বিক্রিয়া তাপ বলা হয়। যেহেতু প্রায় সব বিক্রিয়া স্থির তাপে ঘটে, তাই বিক্রিয়ায় তাপ পরিবর্তন (ΔH) বিক্রিয়া তাপের সমান। যেমন,



সুতরাং এক্ষেত্রে বিক্রিয়া তাপ হলো -184 kJ । আবার স্থির আয়তনের বেলায় $\Delta H = \Delta E$ অর্থাৎ বিক্রিয়ার অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন (ΔE) এর মান এবং স্থির আয়তনে বিক্রিয়া তাপ (ΔH) এর মান সমান হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে বিক্রিয়ায় তাপ পরিবর্তন সমান বিক্রিয়ায় অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন।

∴ বিক্রিয়া তাপ, $\Delta H^\theta =$ (উৎপাদের গঠন তাপ) $-$ (বিক্রিয়কের গঠন তাপ)

প্রমাণ অবস্থায়, উপাদান মৌল থেকে এক মোল যৌগ গঠনকালে এনথালপির পরিবর্তনকে ঐ যৌগের প্রমাণ গঠন তাপ বলা হয়। যেমন,



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

(ক) উর্ধ্বপাতন তাপ (Heat of Sublimation) : এক মোল পরিমাণ কঠিন পদার্থ যে তাপ শোষণ করে সরাসরি গ্যাসীয় অবস্থায় রূপান্তরিত হয়, তাকে উর্ধ্বপাতন তাপ বলা হয়। যেমন—



(খ) গলন তাপ (Heat of Fusion) : এক মোল কঠিন পদার্থ এর গলনাক্ষেে যে পরিমাণ তাপ শোষণ করে তরল অবস্থায় প্রাপ্ত হয়, তাকে গলন তাপ বলা হয়। যেমন, বরফের গলন তাপ।

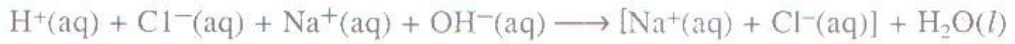


৪.১৯ তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ

Heat of Neutralisation of Strong Acid and Alkali

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 লঘু 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 :



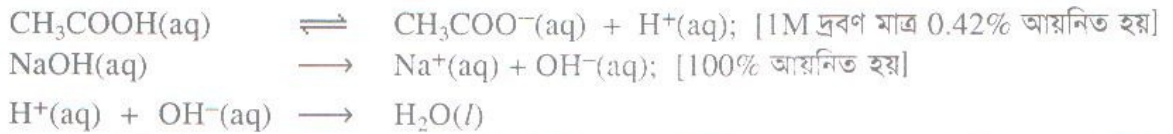
অর্থাৎ এ ক্ষেত্রে সত্যিকার বিক্রিয়া হচ্ছে $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ এবং সমগ্র বিক্রিয়ার বিক্রিয়া-তাপ হলো প্রকৃতপক্ষে এ বিক্রিয়ার তাপ।

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 বিক্রিয়া অনুষ্ঠিত হয়।

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

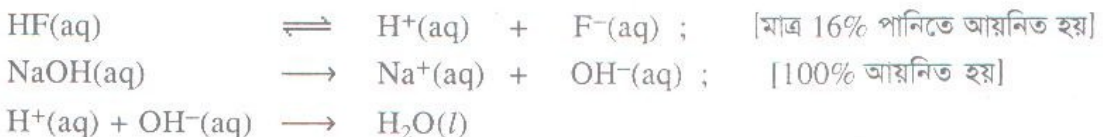
* ব্যতিক্রম : এসিড অথবা ক্ষার যে কোনো একটি দুর্বল হলে প্রশমন তাপ - 57.34 kJ থেকে কম হয়। অথবা ঋণাত্মক আয়নের হাইড্রেশন এনথালপি বেশি হলে প্রশমন তাপ - 57.34 kJ থেকে বেশি হয়। যেমন

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



যেহেতু NaOH তীব্র ক্ষার, তাই পূর্ণ বিয়োজনে সৃষ্ট OH^- আয়ন CH_3COOH এর আংশিক বিয়োজনে সৃষ্ট H^+ আয়নকে যখন প্রশমিত করে; তখনই অবিয়োজিত CH_3COOH অণু পুনরায় বিয়োজিত হয়ে H^+ আয়ন উৎপন্ন করে। অ্যাসিটিক এসিড সম্পূর্ণভাবে প্রশমিত না হওয়া পর্যন্ত উভয় বিক্রিয়া পাশাপাশি অগ্রসর হতে থাকে। তখন 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।

(খ) দুর্বল হাইড্রোফ্লোরিক এসিড (HF) ও সবল NaOH এর প্রশমন তাপ স্থির মান (-57.34 kJ) থেকে প্রায় 11.26 kJ বৃদ্ধি পেয়ে 68.60 kJ হয়। এর কারণ সবচেয়ে আকারে ছোট ঋণাত্মক 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 ঋণাত্মক আয়নের চেয়ে বেশি হয়। সুতরাং F^- আয়নের অতিরিক্ত পানিযোজন তাপ প্রশমন তাপের সাথে যোগ হয়ে - 68.6 kJ হয়। উল্লেখ্য দ্রবণে মোল পরিমাণে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়ন পানি অণুর সাথে সংযোগের ফলে নির্গত তাপ শক্তিকে হাইড্রেশন শক্তি বলে।

[দ্রষ্টব্য : হ্যালোজেন হাইড্রাসিড HX(aq) এর মধ্যে HF সবচেয়ে দুর্বল এসিড। 1M CH₃COOH মাত্র 0.42% এবং HF মাত্র 16% আয়নিত হয়। সবল এসিড 75% এর অধিক আয়নিত হয়। কোনো কোনো লেখক HF কে সবল এসিড বলে এর ব্যাখ্যা করেছেন; এটি তথ্যগত ভুল।]

সারণি ৪.৬ : 25°C তাপমাত্রায় তীব্র এসিড, দুর্বল এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ, ΔH

তীব্র এসিড	তীব্র ক্ষার	প্রশমন তাপ, ΔH _{rxn} ^o কিলোজুল (kJ)
HCl	NaOH	- 57.34
H ₂ SO ₄	NaOH	- 57.44
HNO ₃	NaOH	- 57.35
HCl	KOH	- 57.43
CH ₃ COOH	NaOH	- 55.14
HF	NaOH	- 68.60

Medical

প্রশ্ন-৪.৮ : তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপের মান প্রব-ব্যাখ্যা কর।

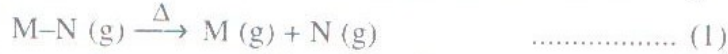
[ঢা. বো. ২০১৫; য. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-৪.৯ : HF এসিড ও NaOH এর প্রশমন তাপের মান-57.34KJ থেকে বেশি কেন-ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৫]

৪.২০ বন্ধন শক্তি ও বিক্রিয়া তাপ

Bond Energy & Heat of Reaction

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। যেমন, কোনো যৌগের M-N বন্ধনটি ভেঙে M ও N মুক্ত পরমাণুতে পরিণত হলো :



এখন M-N বন্ধনের শক্তি হবে (1) নং বিক্রিয়ার তাপশক্তি ΔH এর সমান। এ বিক্রিয়া শক্তিকে M-N বন্ধনের শক্তি বলা হয়।

গুরুত্ব : উল্লেখ্য বন্ধন শক্তি বলতে বন্ধন গঠন শক্তি ও বন্ধন বিয়োজন শক্তি উভয়কে বোঝানো হয়। উভয়ের সংখ্যামান একই থাকে; তবে বন্ধন গঠন তাপ হলো ঋণাত্মক। কারণ বন্ধন গঠন একটি তাপোৎপাদী প্রক্রিয়া এবং বন্ধন বিয়োজন ধনাত্মক। কারণ বন্ধন বিয়োজন একটি তাপহারী বিক্রিয়া। আবার এ যাবৎ প্রায় 4 কোটি যৌগ সম্বন্ধে জানা গেলেও তবে খুব কম সংখ্যক যৌগের গঠন তাপ জানা গেছে। তাই বন্ধন বিয়োজন শক্তি গণনা থেকে বন্ধন গঠন শক্তি জানা যায়।

(ক) বন্ধন শক্তি গণনা : যে যৌগের বন্ধন শক্তি গণনা করতে হবে তার গঠন শক্তি ও বন্ধন গঠনকারী মৌলগুলোর পরমাণুকরণ শক্তি ব্যবহার করে যৌগটির বন্ধন শক্তি গণনা করা যায়। একটি যৌগের অণুতে একাধিক একই জাতীয় বন্ধন থাকলে; গড় বন্ধন শক্তি = মোট বন্ধন বিয়োজন শক্তি ÷ বন্ধন সংখ্যা

∴ বন্ধন শক্তি = উর্ধ্বপাতন শক্তি + পরমাণুকরণ শক্তি - গঠন শক্তি (গ্রা:) এর উর্ধ্বপাতন শক্তি + অন্য সব মৌলের পরমাণুকরণ শক্তি

- যৌগের গঠন শক্তি - (C-H বন্ধন শক্তি × 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 Σ(BE)_{বিক্রিয়ক} > Σ(BE)_{উৎপাদ} হয়, তবে ΔH^o > 0 হয় এবং বিক্রিয়াটি তাপহারী হয়।

বিপরীত ক্ষেত্রে, অর্থাৎ যদি $\Sigma(BE)_{\text{বিক্রিয়ক}} < \Sigma(BE)_{\text{উৎপাদ}}$ হয়, তবে $\Delta H^\circ < 0$ হয় এবং বিক্রিয়াটি তপোৎপাদী হয়।
এখানে BE = বন্ধন শক্তি (Bond Energy)

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

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

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



দেয়া আছে C-H বন্ধন শক্তি $430.53 \text{ kJmol}^{-1}$, Cl-Cl বন্ধন শক্তি $242.90 \text{ kJmol}^{-1}$ 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	$(3 \times 430.53) = 1291.59$
1Cl-Cl	242.90	1C-Cl	328
	1965.02	1H-Cl	433
			2052.59

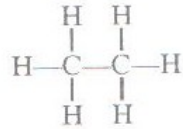
\therefore বিক্রিয়া তাপ, $\Delta H = (1965.02 - 2052.59) \text{ kJmol}^{-1} = -87.57 \text{ kJmol}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬২ : কার্বনের উর্ধ্বপাতন তাপ $717.02 \text{ kJmol}^{-1}$, H_2 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 হিসেবে কর।

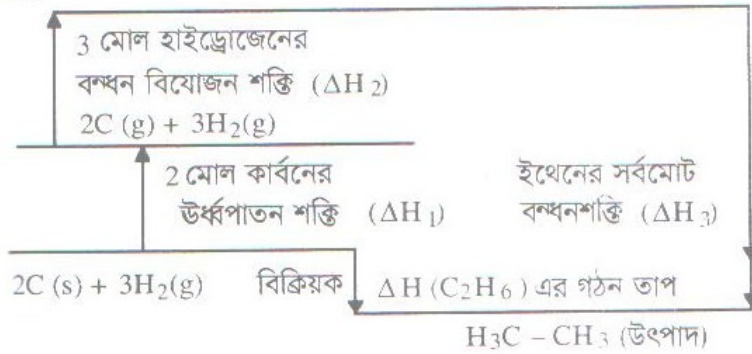
সমাধান : ইথেনের গঠন বিক্রিয়া নিম্নরূপ : $2\text{C}(s) + 3\text{H}_2(g) \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_6(g)$;

এক্ষেত্রে 2 mol কার্বনের উর্ধ্বপাতন ঘটে ও তিনটি H-H বন্ধন ভেঙে যায়।

একটি C-C বন্ধন ও ছয়টি C-H বন্ধন সৃষ্টি হয়। এ বিক্রিয়াটি সংঘটনের বিভিন্ন ধারা দেখানো



হয়েছে।



সারণি ৪.৭ : বিভিন্ন গড় বন্ধন-শক্তি

বন্ধন	kJ mol^{-1}
H-H	435.5
H-F	564
H-Cl	433
H-Br	366
H-I	299
C-H	430.53
C-Cl	328
Cl-Cl	242.90
O=O	498.4
O-H	462.5
N-H	391.0
C-C	343.9
C=C	615.0
C≡C	812.0
C=O	724.0

শক্তি চিত্র হতে বোঝা যায়, $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$

[এখানে ΔH_1 ও ΔH_2 এর ধনাত্মক ও ΔH_3 এর ঋণাত্মক মান নিতে হবে।]

সুতরাং বন্ধন শক্তি নিম্নরূপে হিসাব করা যায়।

বিক্রিয়ক	কিলোজুল (kJ)
$2\text{C}(s) \longrightarrow 2\text{C}(g)$	$2 \times 717.02 = 1434.04$ (ΔH_1)
$3\text{H}-\text{H}(g) \longrightarrow 6\text{H}(g)$	$3 \times 435.5 = 1306.5$ (ΔH_1)

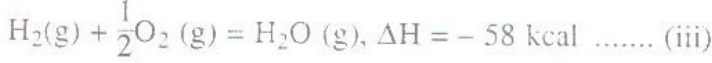
	2740.54
উৎপাদ	কিলোজুল (kJ)
1C-C	343.9
6 C-H $6 \times 430.53 =$	2583.18
	2937.08(ΔH_3) (বন্ধন শক্তি ঋণাত্মক)

অতএব, 1 মোল ইথেনের গঠন তাপ

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৩ : বিক্রিয়া তাপ হতে বন্ধন শক্তি নির্ণয় :

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



সমাধান : (ii) সমীকরণকে 2 দিয়ে ভাগ করে পাই, $\frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{O}(\text{g}), \Delta H = 60 \text{ kcal} \dots\dots (iv)$

(i) ও (iv) যোগ করে, $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}(\text{g}) + \text{O}(\text{g}), \Delta H = (104 + 60) = 164 \text{ kcal} \dots\dots (v)$

(iii) নং সমীকরণকে বিপরীতভাবে লিখে পাই, $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}), \Delta H = 58 \text{ kcal} \dots\dots (vi)$

(v) ও (vi) নং সমীকরণ যোগ করে পাই, $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = 2\text{H}(\text{g}) + \text{O}(\text{g}), \Delta H = 222 \text{ kcal}$

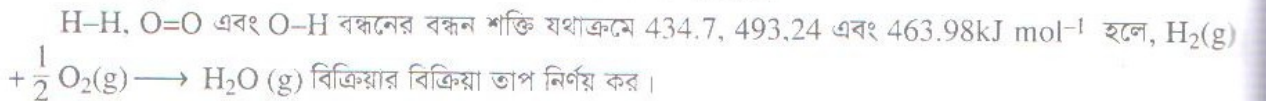
এক অণু পানিতে দুটি O-H বন্ধন আছে। সুতরাং, 1 মোল পানিতে 2 মোল সংখ্যক O-H বন্ধন আছে।

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

∴ 1 mol সংখ্যক O-H বন্ধনকে ভাঙ্গার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি = 111 kcal

অর্থাৎ O-H বন্ধনের বন্ধন শক্তি = 111 kcal/mol.

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪৬ : বন্ধনশক্তি থেকে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় :



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

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

দেয়া আছে, $\Delta H(\text{O}-\text{H}) = 463.98 \text{ kJ mol}^{-1}$, $\Delta H(\text{H}-\text{H}) = 434.7 \text{ kJ mol}^{-1}$, $\Delta H(\text{O}=\text{O}) = 493.24 \text{ kJ mol}^{-1}$

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

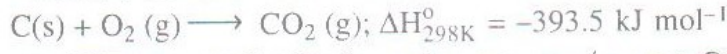
∴ বিক্রিয়াটির বিক্রিয়া তাপ = $-246.64 \text{ kJ mol}^{-1}$

৪.২০.১ প্রমাণ গঠন এন্থালপি

Standard Enthalpy of Formation

সংজ্ঞা : প্রমাণ অবস্থায় (298K তাপমাত্রায় ও 1atm 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° দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এর একক হচ্ছে কিলোজুল প্রতি মোল

উদাহরণস্বরূপ 25°C তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে কার্বন ও অক্সিজেন বিক্রিয়া করে কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করে।



এখন বিক্রিয়ার এনথালপি পরিবর্তন = যৌগ CO₂ এর গঠন এনথালপি = H_f^o

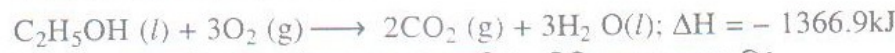
$$H_f^{\circ} = [\text{কার্বন ডাইঅক্সাইডের গঠন এনথালপি}] - [\text{কার্বনের এনথালপি} + \text{অক্সিজেনের এনথালপি}]$$

$$= H(CO_2) - [H(C) + H(O_2)] \text{ [এখানে H দ্বারা প্রত্যেক পদার্থের গঠন এনথালপি বোঝানো হয়েছে।]}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.৬৫ : প্রমাণ অবস্থায়, CO₂ (g) এবং H₂O (l) এর গঠন এনথালপি যথাক্রমে -393.5kJ এবং -286kJ। 25°C তাপমাত্রায় তরল ইথানলের দহন বিক্রিয়ার এনথালপি -1366.9kJ হলে

তরল ইথানলের গঠন এনথালপি নির্ণয় কর।

সমাধান : ইথানলের দহনের তাপ রাসায়নিক সমীকরণকে নিম্নরূপে লেখা যায়—



বিক্রিয়ার এনথালপি ΔH = [উৎপাদের এনথালপি] - [বিক্রিয়কের এনথালপি]

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

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

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

দেয়া আছে, H_(CO₂) = -393.5kJ এবং H_(H₂O) = -286kJ, ΔH = -1366.9kJ

মনে করি, H_(C₂H₅OH) = xkJ

এখন (1) নং সমীকরণের যথাযথ মানসমূহ বসিয়ে,

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

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

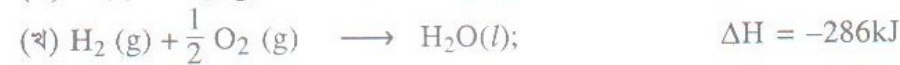
$$\text{বা, } x = (-787 - 858 + 1366.91 \text{ kJ}) = (-1645 + 1366.9) \text{ kJ}$$

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

সুতরাং তরল ইথানলের প্রমাণ গঠন এনথালপি = তরল ইথানলের এনথালপি

$$= -278.1 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ (উঃ)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.৬৬ : নিম্নলিখিত তথ্যাদি থেকে অ্যাসিটিলিনের গঠন এনথালপি হিসাব কর :



সমাধান :

সমীকরণ (ক) ও (খ) হতে দেখা যায় যে, CO₂ ও H₂O এর গঠন এনথালপি = -393.5 ও -286 kJmol⁻¹।

ধরা যাক, অ্যাসিটিলিনের গঠন এনথালপি = xkJmol⁻¹

আমরা জানি, বিক্রিয়া তাপ, ΔH = (উৎপাদের গঠন এনথালপি) - (বিক্রিয়কের গঠন এনথালপি)

সুতরাং সমীকরণ (গ) হতে পাই

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

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

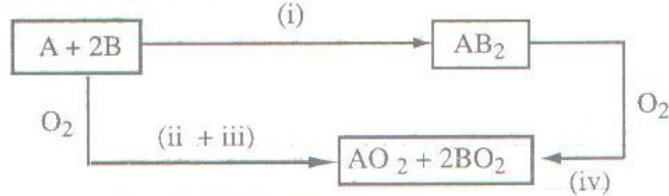
$$\text{বা, } -1304 = [-787.0 - 286] \text{ kJ} - x \text{ kJ}$$

বা, $x = [-1073.0 + 1304] \text{kJ} = +231 \text{kJ}$

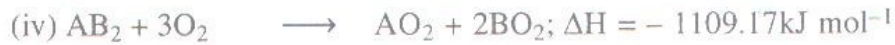
$\therefore x = +231 \text{kJ mol}^{-1}$

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৭ : A, B ও B₂ এর দহন এনথালপি যথাক্রমে -394.55kJ , -594.78kJ ও -1109.17kJ হলে AB₂ এর ΔH_f নির্ণয় কর।



সমাধান : বিভিন্ন ধাপে সংঘটিত বিক্রিয়া এবং তাদের ΔH মান :



(i) কাঙ্ক্ষিত বিক্রিয়ার উৎপাদ হচ্ছে AB₂।

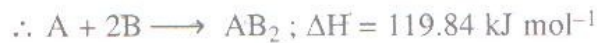
সুতরাং (iv) নং বিক্রিয়াটিকে উল্টাতে হবে :



সমীকরণ ১, ২, ৩ এর যোগ করে পাই— :



উভয় দিক থেকে সদৃশ উপাদান বাদ দিয়ে পাই—

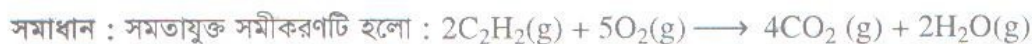


সুতরাং গঠন এনথালপি $\Delta H_f = 119.84 \text{kJ mol}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৮ : যৌগের গঠন তাপ থেকে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় :

অক্সি-অ্যাসিটিলিন ওয়েল্ডিং টর্চে অ্যাসিটিলিন গ্যাসের দহন ঘটে। C₂H₂(g), H₂O(g) ও CO₂(g) এর গঠন তাপ যথাক্রমে 227.4kJ mol^{-1} , $-241.8 \text{kJ mol}^{-1}$ ও $-393.5 \text{kJ mol}^{-1}$ হলে অ্যাসিটিলিনের প্রমাণ দহন বিক্রিয়া তাপ বের কর।

দক্ষতা : প্রথমে সমতায়ুক্ত বিক্রিয়া সমীকরণ লেখ।



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

$$\Delta H^\circ = [4 \Delta H_f^\circ (\text{CO}_2) + 2 \Delta H_f^\circ (\text{H}_2\text{O})] - [2 \Delta H_f^\circ (\text{C}_2\text{H}_2)] \quad [\text{মৌল} = \text{O}_2 \text{ এর গঠন তাপ শূন্য}]$$

$$= 4 \text{mol} \times (-393.5 \text{kJ/mol}) + 2 \text{mol} \times (-241.8 \text{kJ/mol}) - 2 \text{mol} \times 227.4 \text{kJ/mol}$$

$$= -1602.8 \text{kJ}$$

শিক্ষার্থী নিজে কর :

সমস্যা-৪.৫২ : কার্বন ডাইসালফাইড, সালফার ও কার্বনের দহন তাপের মান যথাক্রমে -1060.4 kJ , -296.1 kJ ও -393.5 kJ । কার্বন ডাইসালফাইডের গঠন তাপ নির্ণয় কর। [উ: $+74.7 \text{ kJmol}^{-1}$]

সমস্যা-৪.৫৩ : অ্যাসিটিক এসিড, কার্বন ও হাইড্রোজেনের প্রমাণ দহন তাপ যথাক্রমে -871.5 kJ , -393.7 kJ এবং 285.85 kJ । এ সব উপাত্ত থেকে অ্যাসিটিক এসিডের গঠন তাপ নির্ণয় কর। [উ: $-487.6 \text{ kJmol}^{-1}$]

সমস্যা-৪.৫৪ : $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$, $\text{C}(s)$ ও $\text{H}_2(g)$ এর দহন তাপের মান যথাক্রমে $-1367 \text{ kJ mol}^{-1}$, $-393.5 \text{ kJ mol}^{-1}$ ও $-285.85 \text{ kJ mol}^{-1}$ হলে ইথানল ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) এর গঠন তাপ নির্ণয় কর। [উ: $-62.2 \text{ kJ mol}^{-1}$]

সমস্যা-৪.৫৫ : 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: $24\text{g}; 67.2\text{L}$]

সমস্যা-৪.৫৬ : $\text{CH}_4(g)$, $\text{C}_2\text{H}_6(g)$, $\text{CO}_2(g)$ এবং $\text{H}_2\text{O}(g)$ এর প্রমাণ গঠন এনথালপি যথাক্রমে -74.89 , -84.52 , -393.30 এবং $-220.20 \text{ kJmol}^{-1}$ । প্রদত্ত ডাটার সাহায্যে হিসাব করে জ্বালানি হিসেবে CH_4 এবং C_2H_6 গ্যাসের মধ্যে কোনটি অধিক উপযোগী হবে তা ব্যাখ্যা কর।

[উ: 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-৪.৫৭ : সিমেন্ট উৎপাদনে ব্যবহৃত চুন (CaO) চূনাপাথর (CaCO_3) থেকে উৎপাদন করা হয়। $\text{CaCO}_3(s)$, $\text{CaO}(s)$ ও $\text{CO}_2(g)$ এর গঠন তাপ যথাক্রমে -1207.6 kJ/mol , -634.9 kJ/mol ও -393.5 kJ/mol । সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াটির বিক্রিয়া তাপ গণনা কর। [উ: 179.2 kJ (বিক্রিয়াটি তাপহারী)]

সমস্যা-৪.৫৮ : 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 প্রস্তুতির বিক্রিয়া তাপ গণনা কর। [উ: -174.18 kJ]

৪.২১ ল্যাভয়সিয়ে ও হেসের সূত্র

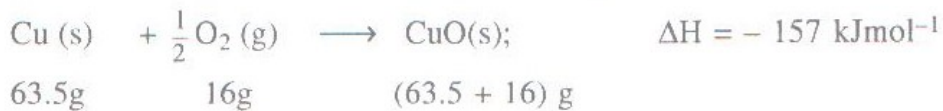
রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে পদার্থের ভর ও শক্তির নিত্যতা সূত্রের ওপর ভিত্তি করে তাপ রসায়নে বিক্রিয়া এনথালপির পরিবর্তন ধারা ব্যাখ্যার জন্য দুটি সূত্র আছে। এ দুটি সূত্রকে তাপ রাসায়নিক সূত্র বলা হয়। যেমন-

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

(২) হেসের ধ্রুব 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; ঐ বিক্রিয়াটি বিপরীত দিকে সংঘটিত হলেও ঐ একই পরিমাণ এনথালপির পরিবর্তন ঘটে থাকে, তবে চিহ্ন বিপরীত হয়।” অর্থাৎ কোনো একটি যৌগকে তার উপাদান থেকে তৈরি করতে যে পরিমাণ তাপশক্তি নির্গত হয়, ঐ যৌগটিকে তার উপাদানে বিয়োজিত করতে একই পরিমাণ তাপশক্তি শোষিত হয়। আবার বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ভর প্রতিক্ষেত্রে ধ্রুব 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।

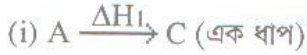
উপরিউক্ত উভয় বিক্রিয়ার তাপশক্তির পরিবর্তনের প্রকারভেদের ব্যাখ্যা স্বরূপ বলা হয় যে, প্রথম বিক্রিয়ায় CuO অণু গঠনকালে Cu পরমাণু এবং O পরমাণুর মধ্যে নতুন বন্ধন সৃষ্টি হয়েছে। বন্ধন গঠন প্রক্রিয়াটি তাপোৎপাদী প্রক্রিয়া, তাই ΔH এর মান ঋণাত্মক হয়েছে। দ্বিতীয় বিক্রিয়ায় CuO অণুর বন্ধন বিয়োজন ঘটেছে।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

(২) হেসের সূত্র (Hess's Law) : বহু বছরের নিরলস গবেষণার ফসল হিসেবে 1840 খ্রিস্টাব্দে রুশ বিজ্ঞানী জি. এইচ. হেস (G. H. Hess) তাপ রসায়নের একটি গুরুত্বপূর্ণ সূত্র আবিষ্কার করেন। তাঁর আবিষ্কৃত এ সূত্রটি হেসের তাপ সমষ্টির নিত্যতার সূত্র বা ধ্রুব 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 প্রতিক্ষেত্রেই 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 উৎপাদ, C তে রূপান্তরিত হয়।

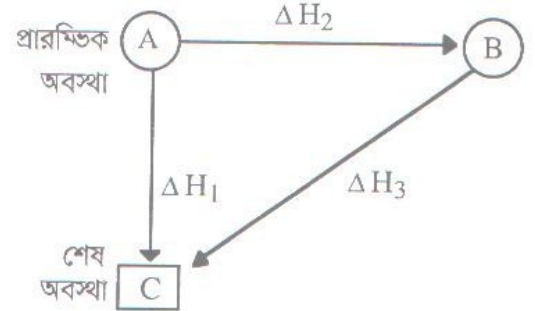


চিত্রমতে, (১ম ধারা), $\Delta H = \Delta H_1$

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

হেসের সূত্র মতে ১ম ধারা = ২য় ধারা;

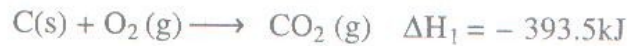
$$\therefore \Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$$



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 উত্তপ্ত করলে CO গ্যাস উৎপন্ন হয়। শেষে ঐ CO গ্যাসকে অল্প অক্সিজেনে পোড়ালে তা CO_2 গ্যাসে পরিণত হয়। উভয় বিক্রিয়া তাপোৎপাদী। 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 উৎপাদ 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-4.21 : নিচের কোনটির মান সব সময় ঋণাত্মক 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

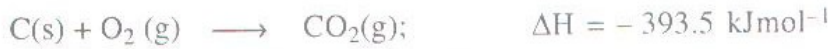
হেসের সূত্রের বহুবিধ প্রয়োগ আছে। হেসের সূত্রের বৈশিষ্ট্য হচ্ছে—

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

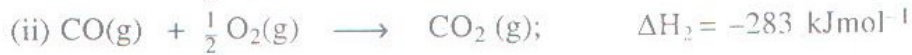
(খ) বিক্রিয়ার ধীরগতি বা অসম্পূর্ণতার জন্য যে সব রাসায়নিক বিক্রিয়ার এনথালপি পরীক্ষার মাধ্যমে সরাসরি নির্ণয় করা যায় না, তাদের ক্ষেত্রেও হেসের সূত্র প্রয়োগ করে পরোক্ষভাবে বিক্রিয়া এনথালপি নির্ণয় করা যায়।

(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 পোড়িয়ে কার্বন মনোক্সাইডে 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 $-393.5 \text{ kJmol}^{-1}$



হেসের সূত্রানুযায়ী এ বিক্রিয়া দুধাপে সংঘটিত করা যেতে পারে,



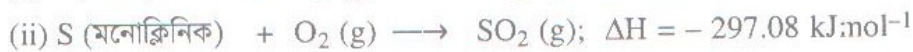
$$\text{অতএব, } -393.5 = [x + (-283)]$$

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

অতএব, কার্বন হতে কার্বন মনোক্সাইড উৎপাদনকালে $-110.5 \text{ kJmol}^{-1}$ 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,

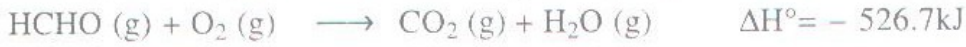
রশ্মিক সালফার থেকে মনোক্লিনিক সালফারে পরিবর্তন এত ধীরে সংঘটিত হয় যে, এক্ষেত্রে তাপ পরিবর্তনের মান পরীক্ষাগারে সরাসরি নির্ণয় করা অসম্ভব; কিন্তু হেসের সূত্র প্রয়োগ করে পরোক্ষভাবে তা সহজেই হিসাব করা যায়। রশ্মিক সালফার ও মনোক্লিনিক সালফারের দহন তাপ যথাক্রমে $-296.79 \text{ kJmol}^{-1}$ ও $-297.08 \text{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



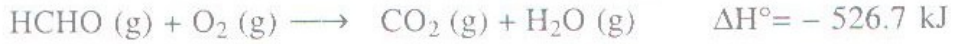
(i) হতে (ii) বিয়োগ করে পাওয়া যায় : $\text{S (রশ্মিক)} \longrightarrow \text{S (মনোক্লিনিক)} \quad \Delta H = +0.29 \text{ kJmol}^{-1}$

সুতরাং রশ্মিক সালফারকে মনোক্লিনিক সালফারে পরিণত করতে $+0.29 \text{ kJmol}^{-1}$ তাপ শোষিত হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৯ : প্রাকৃতিক গ্যাস মিথেন অক্সিজেনসহ দহন বিক্রিয়ায় CO_2 ও পানি উৎপন্ন করে। নিচের তথ্য ব্যবহার করে মিথেনের দহন তাপ (ΔH°) নির্ণয় কর।



দক্ষতা : হেসের সূত্র ব্যবহার করতে হবে।



সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭০ : মিথেনের দহন এনথালপি $-890.3 \text{ kJmol}^{-1}$ হলে 1500 kJ তাপ উৎপন্ন করতে কী পরিমাণ অক্সিজেন মিথেনের দহনে প্রয়োজন হবে?

সমাধান : মিথেনের দহন বিক্রিয়ার তাপ রাসায়নিক সমীকরণ নিম্নরূপ :



1 mol 2 mol

$$= 2 \times 32 \text{ g}$$

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

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

$$= 3.36965 \text{ মোল } \text{O}_2$$

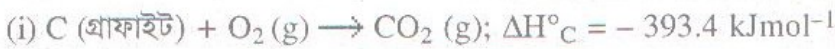
আবার 1 মোল অক্সিজেন = 32 g অক্সিজেন।

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

= 107.8288 g অক্সিজেন (উ :)

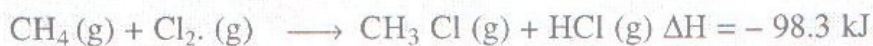
শিক্ষার্থী নিজে কর :

সমস্যা-৪.৫৯ : গ্রাফাইট কার্বনকে হীরকে রূপান্তর করতে তাপের পরিবর্তন কত হবে প্রদত্ত তথ্যের সাহায্যে তা হিসাব কর। [উ: 1.9 kJmol^{-1}]



সমস্যা-৪.৬০ : শিল্প ক্ষেত্রে ব্যবহৃত গ্রিজ 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।



(ক) লেড-এসিড সঞ্চয় ব্যাটারিতে ডিসচার্জের সময় মিলোক্ত রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত হয়



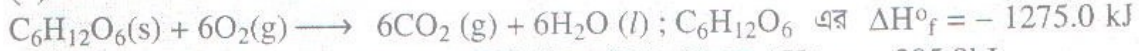
নিচের বিক্রিয়ায় ব্যবহার করে ডিসচার্জ বিক্রিয়াটির এনথালপি নির্ণয় কর।





[উ : -549kJmol^{-1}]

(খ) নিম্নোক্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে প্রমাণ দহন এনথালপি নির্ণয় কর।



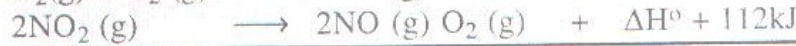
O_2 এর $\Delta H^\circ_f = 0$; CO_2 এর $\Delta H^\circ_f = -393.5\text{kJ}$; $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ এর $\Delta H^\circ_f = -285.8\text{kJ}$

(উ : $-2801\text{kJ/mol glucose}$]

(গ) NO_2 এর সংশ্লেষণ বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো নিম্নরূপ :



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



(উ : $+68\text{kJ}$]

ব্যবহারিক (Practical)

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

পরীক্ষা নং-১৪

পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড

তারিখ :

৪.২২ পরীক্ষার নাম : ক্যালরিমিতি পদ্ধতিতে অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ নির্ণয়

(ক) মূলনীতি : পর্যাপ্ত পরিমাণ দ্রাবকে এক মোল দ্রব দ্রবীভূত করলে যে তাপ শোষিত বা উদ্গিরিত হয়, তাকে ঐ দ্রবের দ্রবণ তাপ বলে। এক মোল অক্সালিক এসিডকে পর্যাপ্ত পরিমাণ পানিতে দ্রবীভূত করে এক কিলোগ্রাম দ্রবণ তৈরির বেলায় প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রার পরিবর্তনের জন্য তাপের পরিবর্তন ঘটে এক কিলো ক্যালরি অর্থাৎ ৪.২ কিলোজুল (৪.২ kJ)। সুতরাং 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 ০.১ মোল অক্সালিক এসিড দ্বারা ১০০g দ্রবণ তৈরি করা হলে সেক্ষেত্রে-

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

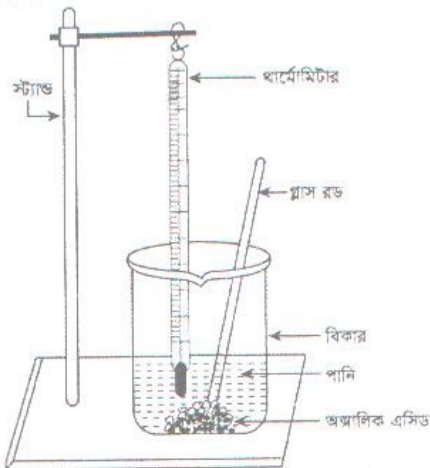
∴ অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ হবে = $\frac{0.42 \times t\text{ kJ}}{0.1} = 0.42 \times t \times 10\text{ kJ}$.

(খ) প্রয়োজনীয় রাসায়নিক বস্তু : (১) অক্সালিক এসিড ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); (২) পানি।

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) একটি বিকার (২৫০ mL); (২) থার্মোমিটার; (৩) স্ট্যান্ড;

(৪) ২-ডিজিটাল ইলেকট্রনিক ব্যালেন্স।

(ঘ) কাজের ধারা :



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

চিত্র ৪.৩১ : ক্যালরিমিতি পদ্ধতিতে অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ নির্ণয়।

(১) অর্ধ অক্সালিক এসিড ($\text{HOOC-COOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) এর আণবিক ভর হলো 126; তাই গুঁড়া করা 0.1 মোল 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 बुলিয়ে ঐ বিকারের পানিতে ডুবানো হয়। এ অবস্থায় পানির তাপমাত্রা ($t_1^\circ\text{C}$) রেকর্ড করা হয়।

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

গণনা : তাপমাত্রার পরিবর্তন হলো = $1^\circ\text{C} = (t_1 - t_2)^\circ\text{C} = (x - y) = z^\circ\text{C}$

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

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

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

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

(৩) পরীক্ষাকালে মিশ্রণের আলোড়ন যেন সুমম হয়।

Reading.

অধ্যায়ের সার-সংক্ষেপ (Recapitulations)

* গ্রিন কেমিস্ট্রি : গ্রিন কেমিস্ট্রি হলো আন্তর্জাতিকভাবে অনুমোদিত বারটি নীতি সমন্বয়ে রসায়ন শিল্পের একটি গাইডলাইন, যা অনুসরণের মাধ্যমে গ্লোবাল ওয়ার্মিং হ্রাস করে উন্নততর পরিবেশ সৃষ্টি হবে।

* বিক্রিয়ার হার : বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হ্রাস বা উৎপাদের ঘনমাত্রা বৃদ্ধির হারকে বিক্রিয়ার হার বলে।

* সক্রিয় শক্তি : যে পরিমাণ শক্তি অর্জন করে বিক্রিয়ক অণু বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করতে পারে।

* প্রভাবক : প্রভাবক বিক্রিয়ার গতিকে বৃদ্ধি করে, নিজে গঠন ও ভরে অপরিবর্তিত থাকে।

* এনজাইম : জীবকোষে উৎপন্ন টারসিয়ারি প্রোটিন, যা জৈব বিক্রিয়ার গতিকে প্রভাবিত করে থাকে।

* সাম্যাবস্থা : উভমুখী বিক্রিয়ায় যখন সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হার ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার সমান হয়, সে অবস্থাকে বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা বলে। সাম্যাবস্থা উভমুখী বিক্রিয়ার গতিশীল অবস্থায় থাকে।

* সক্রিয় ভর : বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রা ও আংশিক চাপকে সক্রিয় ভর বলা হয়।

* সাম্যক্ষুবক : বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় উৎপাদের সক্রিয় ভরের গুণফল ও বিক্রিয়কের সক্রিয় ভরের গুণফলের অনুপাতকে সাম্য ক্ষুবক বলা হয়।

* পানির আয়নিক গুণফল : দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য পানি থেকে সৃষ্ট হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) ও হাইড্রক্সিল আয়ন (OH^-) আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফলকে পানির আয়নিকরণ 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।

MCQ-4.22 : কোনটি

তাপোৎপাদী? [দি. বো. ২০১৫]

(ক) $\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$

(খ) $\text{H}_2\text{O}(g) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$

(গ) $\text{H}_2\text{O}(s) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$

(ঘ) $\text{H}_2\text{O}(s) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(g)$

- * 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 : অম্ল একটি প্রোটন ত্যাগ করলে সৃষ্ট ঋণাত্মক আয়নকে ঐ অম্লের অনুবন্ধী ক্ষারক বলে।
- * অনুবন্ধী অম্ল : ক্ষারক একটি প্রোটন গ্রহণ করার পর যা সৃষ্টি হয়, তাকে অনুবন্ধী অম্ল বলে।
- * দ্রবণের pH : হাইড্রোজেন আয়নের মোলার ঘনমাত্রার ঋণাত্মক 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 সঞ্চিত অভ্যন্তরীণ স্থিতিশক্তি ও অভ্যন্তরীণ গতিশক্তি মিলে মোট শক্তিকে অভ্যন্তরীণ শক্তি বলে।
- * এনথালপি : কোনো বস্তুকে উত্তপ্ত 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 বন্ধনে আবদ্ধ অণুকে গ্যাসীয় অবস্থায় পরমাণুতে পরিণত করতে যে তাপ শোষণ করে, তাকে ঐ পদার্থের পরমাণুকরণ তাপ বলে।
- * বিক্রিয়া তাপ : কোনো বিক্রিয়ার সমতায়ুক্ত 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 যথেষ্ট 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 ক্ষারের বিক্রিয়ায় এক মোল পানি উৎপন্ন হতে যে পরিমাণ তাপের উদ্ভব ঘটে, তাকে প্রশমন তাপ বলে।
- * বন্ধন শক্তি : বাষ্পীয় অবস্থায় পদার্থের অণুর নির্দিষ্ট দুটি পরমাণুর মধ্যস্থ একই প্রকার এক মোল বন্ধনকে ভেঙ্গে পরমাণু বা আয়নে পরিণত করতে যে পরিমাণ গড় শক্তির প্রয়োজন হয়, তাকে সংশ্লিষ্ট বন্ধনের বন্ধন শক্তি বলে।
- * ল্যভয়সিয়ে সূত্র : কোনো বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ তাপের পরিবর্তন ঘটে, ঐ বিক্রিয়াটি বিপরীত দিকে ঘটলে একই পরিমাণ তাপের পরিবর্তন ঘটে থাকে; তবে তাপ পরিবর্তনের চিহ্ন বিপরীত হয়।
- * হেসের সূত্র : যদি কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার প্রারম্ভিক ও শেষ অবস্থা একই থাকে, তবে বিক্রিয়াটি এক বা একাধিক ধাপে সংঘটিত হোক না কেন প্রতিক্ষেত্রে বিক্রিয়া তাপ সমান থাকবে।
- * 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 ক্যালরি = 4.186 J (জুল)।

অনুশীলনী-৪

(ক) জ্ঞানস্তর ভিত্তিক প্রশ্নাবলি (এক নজরে) :

(১) রাসায়নিক বিক্রিয়া ও গ্রিন কেমিস্ট্রি

- ১। গ্রিন কেমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়ন কী? [দি. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬; চ. বো. ২০১৫; সি. বো. ২০১৫]
- ২। এটম ইকন্যামি কী?
- ৩। গ্রিনার পদ্ধতি কী?
- ৪। ম্যালেয়িক 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. ২০১৬; সি. বো. ২০১৬; ব. বো. ২০১৫]
- ২। বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক কী?
- ৩। বিক্রিয়ার হারের ওপর প্রভাব সৃষ্টিকারী নিয়ামকগুলো কী কী?
- ৪। সক্রিয়ণ শক্তি কী? [ব. বো. ২০১৬; র. বো. ২০১৬]
- ৫। অ্যারহেনিয়াস সমীকরণটি লেখ।
- ৬। সমসত্ত্ব প্রভাবন কী?
- ৭। অসমসত্ত্ব প্রভাবন কী
- ৮। প্রভাবক সহায়ক [দি. বো. ২০১৬]
- ৯। এনজাইম কী? [চ. বো. ২০১৫]

(৩) রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা :

- ১। রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা কী? [দি. বো. ২০১৬]
- ২। লা-শাতেলিয়ালের নীতি কী? [ব. বো. ২০১৬; রা. বো. ২০১৫]
- ৩। বিক্রিয়া অনুপাত (Q_c) কী?
- ৪। সাম্য ধ্রুবক (K_c) কী? [সি. বো. ২০১৫]
- ৫। ভর ক্রিয়ার সূত্রটি বিবৃত কর। [চ. বো. ২০১৬, ২০১৫; ব. বো. ২০১৫]
- ৬। বিক্রিয়ার K_c বা মোলার সাম্য ধ্রুবক কী?
- ৭। বিক্রিয়ার K_p বা আংশিক চাপে সাম্য ধ্রুবক কী?

(৪) পানির অটো আয়নিকরণ, অম্ল ও ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক

- ১। পানির অটো আয়নিকরণ কী?
- ২। পানির আয়নিক গুণফল কী?
- ৩। অম্লের বিয়োজন ধ্রুবক K_a কী?
- ৪। ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক K_b কী?
- ৫। সবল অম্ল কী?
- ৬। দুর্বল অম্ল কী?

- ৭। সবল ক্ষার কী?
- ৮। দুর্বল ক্ষার কী?
- ৯। অনুবন্ধী ক্ষারক কী?
- ১০। অনুবন্ধী অম্ল কী?

(৫) দ্রবণের pH, বাফার দ্রবণ :

- ১। দ্রবণের pH কী? [য. বো. ২৬১৬]
- ২। বাফার দ্রবণ কী? [চ. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৬; ব. বো. ২০১৬;]
- ৩। অম্লীয় বাফার দ্রবণের উদাহরণ দাও।
- ৪। ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের উদাহরণ দাও।
- ৫। বাফার রেঞ্জ কী?
- ৬। বাফার ক্ষমতা কী?
- ৭। অম্লীয় বাফার দ্রবণের হেন্ডারসন সমীকরণটি লেখ।
- ৮। ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের হেন্ডারসন সমীকরণটি লেখ।
- ৯। নিম্নমান বাফার দ্রবণ কী?
- ১০। ETP কী?

(৬) ভর ও শক্তির নিত্যতা সূত্র :

- ১। এনথালপি কী?
- ২। বিক্রিয়া তাপ কী?
- ৩। দ্রবণ তাপ কী? [চ. বো. ২০১৫]
- ৪। প্রশমন তাপ কী?
- ৫। বন্ধন শক্তি কী?
- ৬। হেসের সূত্রটি বিবৃত কর। [র. বো. ২০১৫]

(খ) অনুধাবন স্তরভিত্তিক প্রশ্নাবলি (এক নজরে) :

(১) রাসায়নিক বিক্রিয়া ও গ্রিন বা সবুজ রসায়ন কেমিস্ট্রি :

- ১। ইথিলিন অক্সাইড (C_2H_4O) উৎপাদনের দুটি সমীকরণ নিম্নরূপ :
 (i) $C_2H_4 + Cl_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow C_2H_4O + CaCl_2 + H_2O$
 (ii) $C_2H_4 + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{Ag, 250^\circ C} C_2H_4O$
 এ দুটি পদ্ধতির মধ্যে কোনটি গ্রিনার পদ্ধতি হবে, তা ব্যাখ্যা কর।

(২) বিক্রিয়ার হার বা গতি :

- ১। বিক্রিয়ার হার ও বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মধ্যে পার্থক্য কী, তা ব্যাখ্যা কর।
- ২। অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ প্রতিষ্ঠার মূলে বিক্রিয়ায় তাপমাত্রার প্রভাব রয়েছে, তার কারণ ব্যাখ্যা কর।
- ৩। অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ $k = p. z. e^{-E_a/RT}$ থেকে $\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} \left[\frac{T_2 - T_1}{T_1 \times T_2} \right]$ সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।
- ৪। $10^\circ C$ তাপমাত্রা বৃদ্ধি ($27^\circ C - 37^\circ C$) জনিত কোনো বিক্রিয়ার হার প্রায় দ্বিগুণ হয়; যখন বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি $= 50 kJ mol^{-1}$ হয়; গাণিতিকভাবে তা প্রমাণ কর।

- ৫। HI এর বিয়োজন 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। এক্ষেত্রে সক্রিয়ণ শক্তি E_a এর মান কত হবে তা বের কর।
- ৬। ফুড ইন্ডাস্ট্রিতে ভিজিটেবল অয়েল থেকে কৃত্রিম মাখন উৎপাদনে CatM ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রে সংঘটিত প্রভাবক বিক্রিয়ায় মেকানিজম ব্যাখ্যা কর।
- ৭। শিল্পক্ষেত্রে অসমসত্ত্ব প্রভাবকের ব্যবহারের গুরুত্ব আলোচনা কর।
- ৮। প্রভাবক করিমে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি করে? [সি. বো. ২০১৫]
- ৯। সমসত্ত্ব প্রভাবনের কৌশল ব্যাখ্যা কর। [ব. বো. ২০১৫]

(৩) রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা :

- ১। বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়া বন্ধ হয়ে যায় না; তা উদাহরণ সহ প্রমাণ কর।
বা, রাসায়নিক সাম্যাবস্থার গতিশীলতা ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৫]
- ২। বিক্রিয়ায় Q_c ও K_c এর মধ্যে পার্থক্য কী, তা ব্যাখ্যা কর।
- ৩। $2\text{H}_2\text{S} (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{S} (\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O} (\text{g})$; এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে-
(ক) O_2 যোগ করার পর $[\text{H}_2\text{O}]$ এর ঘনমাত্রা;
(খ) O_2 যোগ করার পর $[\text{H}_2\text{S}]$ এর ঘনমাত্রা;
(গ) H_2S অপসারণের পর $[\text{O}_2]$ ঘনমাত্রা;
(ঘ) S যোগ করার পর $[\text{H}_2\text{S}]$ এর ঘনমাত্রা ব্যাখ্যা কর।
- ৪। বিক্রিয়ার K_p ও K_c এর মধ্যে সম্পর্ক সমসীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।
- ৫। নিচের কোন্ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে K_p ও K_c সমান হবে তা ব্যাখ্যা কর।
(i) $\text{PCl}_5 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3 (\text{g}) + \text{Cl}_2 (\text{g})$;
(ii) $\text{H}_2 (\text{g}) + \text{I}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI} (\text{g})$
- ৬। সাম্য ধ্রুবক K_e এর মান শূন্য বা অসীম হতে পারে না কেন? ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৫]
- ৭। 4.25 mol H_2 ও 4.75 mol I_2 বাষ্পকে উত্তপ্ত করলে সাম্যাবস্থায় H_2 , I_2 ও HI এর ঘনমাত্রা 0.86 , 1.36 ও 6.78 molL^{-1} হয়। K_c এর মান কত হবে তা বের কর।
- ৮। বিক্রিয়ার Q_c ও K_c এর মান থেকে বিক্রিয়ার দিক সম্বন্ধে প্রাক্ ধারণা মিলে; তা ব্যাখ্যা কর।
- ৯। K_c এর মানভিত্তিক বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি আলোচনা কর।

(৪) পানির অটো-আয়নিকরণ, অম্ল ও ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক

- ১। পানির অটো-আয়নিকরণের বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যা কর।
- ২। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে পানির আয়নিক গুণফল বৃদ্ধি পায় কেন? [সি. বো. ২০১৬]
- ৩। পানির অটো-আয়নিকরণ ও এসিড-বেস সম্পর্ক ব্যাখ্যা কর।
- ৪। লেমন-জুসের নমুনার $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2.5 \times 10^{-3}\text{M}$ হলে এতে $[\text{OH}^-]$ কত হবে; তা ব্যাখ্যা কর।
- ৫। এসিডের তীব্রতা ব্যাখ্যায় K_a এর ভূমিকা ব্যাখ্যা কর।
- ৬। অক্সো এসিডের তীব্রতা ব্যাখ্যায় কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ সংখ্যা ও আকারের ভূমিকা ব্যাখ্যা কর।
- ৭। HNO_3 ও H_3PO_4 এর মধ্যে কোনটি অধিক তীব্র এসিড? [ব. বো. ২০১৬]
- ৮। HNO_3 ও H_2SO_3 এর মধ্যে কোনটি অধিক সবল এসিড? [ঢা. বো. ২০১৬]
- ৯। HClO_4 ও HBrO_4 এর মধ্যে কোনটি অধিক সবল এসিড; ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৬]

(৫) দ্রবণের pH ও বাফার দ্রবণ

- ১। বিশুদ্ধ পানিতে কয়েক ফোঁটা লঘু HCl ও লঘু NaOH দ্রবণ পৃথকভাবে যোগ করলে প্রতিক্ষেত্রে pH এর মান কীরূপ হবে তা ব্যাখ্যা কর।
- ২। বিশুদ্ধ পানির pH এর মান 7 হয় কেন? [চ. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৫]
- ৩। 25°C -এ $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ এবং 50°C-এ $K_w = 5.5 \times 10^{-14}$ এ দুটি মান থেকে ব্যাখ্যা কর যে, বিশুদ্ধ পানির pH তাপমাত্রা নির্ভর।
- ৪। pH স্কেল 0 থেকে 14 এর মধ্যে সীমাবদ্ধ কেন? [রা. বো. ২০১৬]
- ৫। কোনো দ্রবণের pH এর মান 0 থেকে কম এবং 14 থেকে বেশি হতে পারে কিনা তা ব্যাখ্যা কর।
- ৬। CH_3COOH ও CH_3COONa থেকে বাফার দ্রবণ তৈরির বেলায় হেণ্ডারসন সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।
- ৭। নিম্নমান বাফার বলতে কী বোঝায়; তা ব্যাখ্যা কর।
- ৮। কৃষি জমির অধিক অম্লধর্মী ও ক্ষারীয় মাটিকে কীরূপে কৃষিযোগ্য করা হয়; তা ব্যাখ্যা কর।
- ৯। মানুষের রক্তের মূল বাফার দ্রবণের মেকানিজম ব্যাখ্যা কর। [দি. বো. ২০১৬]
- ১০। টয়লেট্রিজ উৎপাদনে pH এর মান গুরুত্ব সহকারে নিয়ন্ত্রিত হয়; তা উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।
- ১১। ওষুধ সেবনের পর এর কার্যকারিতা শরীরের বিভিন্ন অংশের তরলের pH মানের ওপর নির্ভর করে শোষিত হয়; তা ব্যাখ্যা কর।

(৬) ভর ও শক্তির নিত্যতা সূত্র

- ১। স্থির চাপে কোনো বিক্রিয়ায় শোষিত তাপশক্তি থেকে $\Delta H = \Delta E + P \times \Delta V$ এ সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।
- ২। তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ সবক্ষেত্রে প্রায় স্থির থাকে; এর ব্যাখ্যা দাও। [দি. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬; চা. বো. ২০১৫]
- ৩। HF ও NaOH এর প্রশমন তাপ ধ্রুবক মানের চেয়ে বেশি হয় কেন? [ব. বো. ২০১৬; রা. বো. ২০১৬]
- ৪। দুর্বল এসিড (CH_3COOH) ও সবল ক্ষার (NaOH) এর প্রশমন তাপ ধ্রুবক মান থেকে কম হয় কেন? [রা. বো. ২০১৬]
- ৫। হেসের তাপ সমষ্টিকরণ সূত্রটি লেখ ও ব্যাখ্যা কর। [দি. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬]
- ৩। $C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g); \Delta H_1 = -393.5 kJ$
 $C(s) + \frac{1}{2} O_2(g) \longrightarrow CO(g); \Delta H_2 = -110.5 kJ$
 $CO(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \longrightarrow CO_2(g); \Delta H_3 = -283.0 kJ$
 উপরোক্ত তাপ-রাসায়নিক সমীকরণ দ্বারা যে সূত্রটি প্রমাণিত হয়; তা বিবৃত কর এবং ব্যাখ্যা কর।

ক-বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

□ সাধারণ বহুনির্বাচনি প্রশ্ন :

- ১। 4.25 mol H_2 ও 4.75 mol I_2 মিশ্রণকে উত্তপ্ত করে 6.7 mol HI উৎপন্ন হলে, K_c এর মান কত হবে?
 (ক) 2.22 (খ) 33.64 (গ) 37.61 (ঘ) 35.15
- ২। $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g); 25^\circ C$ -এ বিক্রিয়ায় N_2O_4 ও NO_2 এর আংশিক চাপ যথাক্রমে 0.69 atm ও 0.31 atm হলে, K_p এর মান কত?
 (ক) 0.156 atm (খ) 0.139 atm (গ) 0.145 atm (ঘ) 0.126 atm

- ৩। $0.005M H_2SO_4$ দ্রবণের pH কত হবে?
 (ক) 5 (খ) 3 (গ) 2 (ঘ) 4
- ৪। একটি দ্রবণের pH হলো 6। ঐ দ্রবণে আরো HCl দ্রবণ যোগ করে দ্রবণের $pH = 3$ করা হলো। শেষ দ্রবণে H^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা বৃদ্ধি ঘটেছে।
 (ক) 10^2 times (খ) 10^3 times (গ) 10^{-3} times (ঘ) 10^{-2} times
- ৫। $10^{-9}M NaOH$ এর pH এর মান নিচের কোনটির নিকটতম হবে?
 (ক) 10 (খ) 7 (গ) 5 (ঘ) - 10
- ৬। নিচের কোনটি দিয়ে ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ তৈরি করা যাবে?
 (ক) CH_3COOH ও CH_3COONa (খ) Na_2SO_4 ও H_2SO_4
 (গ) NH_4Cl ও NH_4OH (ঘ) $NaOH$ ও $NaCl$
- ৭। কোনো বাফার দ্রবণে সম ঘনমাত্রার X^- ও HX আছে। HX এর $K_a = 10^{-8}$ হলে বাফার দ্রবণটির pH হবে—
 (ক) 3 (খ) 8 (গ) 11 (ঘ) 14
- ৮। গ্রিন কেমিস্ট্রির ১২টি নীতির মধ্যে নিচের কোনটি সঠিক নয়?
 (ক) বর্জ্য পদার্থ রোধকরণ (খ) সর্বোত্তম এটম ইকোন্যামি
 (গ) শ্রমিকদের স্বাস্থ্য সেবা (ঘ) দুর্ঘটনা প্রতিরোধ
- ৯। Al_2O_3 এর অম্লত্ব নিচের কোনটি সঠিক? [যশোর বোর্ড-২০১৫]
 (ক) 2 (খ) 3 (গ) 5 (ঘ) 6
- ১০। তাপমাত্রার সাথে বিক্রিয়ার হারের সম্পর্ক কিরূপ [ব. বো. ২০১৫]
 (ক) ব্যস্তানুপাতিক (খ) অধিবৃত্তীয় (গ) সমানুপাতিক (ঘ) পরাবৃত্তীয়
- ১১। মানব রক্তে কোন্ বাফার দ্রবণ বিদ্যমান [ব. বো. ২০১৫]
 (ক) $NaHCO_3 + H_2CO_3$ (খ) $CH_3COONa + CH_3COOH$
 (গ) $Na_2HPO_4 + H_3PO_4$ (ঘ) $NH_4Cl + NH_4OH$
- ১২। কোনো দ্রবণের OH^- আয়নের ঘনমাত্রা 3.5×10^{-4} হলে এর pH কতো? [ব. বো. ২০১৫]
 (ক) 3.55 (খ) 13.55 (গ) 12.55 (ঘ) 10.54
- ১৩। তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারকের প্রশমন তাপ কত? [ব. বো. ২০১৫]
 (ক) $-57.34 kJ/mol$ (খ) $-55.26 kJ/mol$ (গ) $-66.8 kJ/mol$ (ঘ) $-12.6 kJ/mol$
- ১৪। $FeCl_3$ এর জলীয় দ্রবণের pH কত হবে? [ব. বো. ২০১৫]
 (ক) > 7 (খ) < 7 (গ) $= 7$ (ঘ) 0
- ১৫। $A + B \rightleftharpoons 3D$ বিক্রিয়াটিতে K_p এর K_c এর সম্পর্কের সমীকরণ কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৫]
 (ক) $K_p = K_c (RT)^{-1}$ (খ) $K_c = K_p (RT)$ (গ) $K_p = K_c (RT)$ (ঘ) $K_c = K_p (RT)^2$
- ১৬। সবল এসিড এবং সবল ক্ষারের প্রশমন তাপের নাম ($kJ mol^{-1}$) কত? [ঢা. বো. ২০১৫]
 (ক) -55.22 (খ) -55.37 (গ) -57.37 (ঘ) -68.60
- ১৭। নিচের কোন pH মানের দ্রবণটিতে H^+ এর ঘনমাত্রা বেশি? [ঢা. বো. ২০১৫]
 (ক) 9.5 (খ) 7.4 (গ) 5.5 (ঘ) 2.3
- ১৮। কোনটি সাম্যাবস্থার বৈশিষ্ট্য নয়? [ঢা. বো. ২০১৫]
 (ক) সাম্যের স্থায়িত্ব (খ) উভয় দিক থেকে সুগম্যতা
 (গ) বিক্রিয়ার হার (ঘ) বিক্রিয়ার অসম্পূর্ণতা
- ১৯। মানুষের রক্তের pH কত? [ঢা. বো. ২০১৫]
 (ক) 9.4 (খ) 8.3 (গ) 7.4 (ঘ) 6.4

- ২০। কোন বিক্রিয়ার হার সবচেয়ে বেশি? [রা. বো. ২০১৫]
 (ক) $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl}$ (খ) $\text{Na}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{NaCl}$
 (গ) $\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow \text{MgO}$ (ঘ) $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CuSO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$
- ২১। $\text{Cl}(\text{g}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^-$; $\Delta H = -362 \text{kJ mol}^{-1}$ ΔH কে বলা যায়- [রা. বো. ২০১৫]
 (ক) সক্রিয়ণ শক্তি (খ) সংগঠন তাপ (গ) বিক্রিয়া তাপ (ঘ) ইলেকট্রন আসক্তি
- ২২। মানুষের রক্তের pH 7.45 এর বেশি হলে, রোগটির নাম- [রা. বো. ২০১৫]
 (ক) ইন্টারভেনোসিস (খ) অ্যাসিডোসিস (গ) অ্যালকালোসিস (ঘ) অ্যাসিনোকোসিস
- ২৩। 0.005M H_2SO_4 দ্রবণের pH কত? [রা. বো. ২০১৫]
 (ক) 1.5 (খ) 2.5 (গ) 2.3 (ঘ) 3.0
- ২৪। বিশুদ্ধ পানিতে (H^+) এর মান কত?
 (ক) 10^6mol/L (খ) 10^{-4}mol/L (গ) 10^{-7}mol/L (ঘ) 10^7mol/L
- ২৫। মানুষের রক্তের pH কত? [দি. বো. ২০১৫]
 (ক) 3.2 (খ) 5.7 (গ) 7.0 (ঘ) 7.4
- ২৬। কোন পরিবর্তনটি তাপোৎপাদী? [দি. বো. ২০১৫]
 (ক) $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ (খ) $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 (গ) $\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ (ঘ) $\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- ২৭। 1% NaOH দ্রবণের pH কত? [দি. বো. ২০১৫]
 (ক) 0.6 (খ) 1.0 (গ) 13.0 (ঘ) 13.4
- ২৮। নিচের কোনটি অদাহ্য পদার্থ? [দি. বো. ২০১৫]
 (ক) বেনজিন (খ) নাইট্রোজেন (গ) ইথার (ঘ) হাইড্রোজেন
- ২৯। $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) = 2\text{NH}_3(\text{g})$ বিক্রিয়াটিতে K_p ও K_c এর মধ্যে সম্পর্ক কোনটি? [কু. বো. ২০১৫]
 (ক) $K_p = K_c (\text{RT})^2$ (খ) $K_p = K_c (\text{RT})$ (গ) $K_p = K_c (\text{RT})^{-2}$ (ঘ) $K_c = K_p (\text{RT})$
- ৩০। বিক্রিয়ার বেগ হ্রাসের জন্য কোন তথ্যটি সঠিক? [কু. বো. ২০১৫]
 (ক) বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি (খ) তাপমাত্রা বৃদ্ধি
 (গ) সক্রিয়ণ শক্তি বৃদ্ধি (ঘ) বিক্রিয়কের পৃষ্ঠতল বৃদ্ধি
- ৩১। $2\text{AB}_2 = \text{B}_2 \rightleftharpoons 2\text{AB}_3$; $\Delta H = 192.46 \text{kJ}$ বিক্রিয়াটিতে সর্বোচ্চ উৎপাদনের শর্ত কোনটি? [কু. বো. ২০১৫]
 (ক) উচ্চতাপমাত্রা ও উচ্চচাপ (খ) নিম্নতাপমাত্রা ও উচ্চচাপ
 (গ) উচ্চতাপমাত্রা ও নিম্নচাপ (ঘ) নিম্নতাপমাত্রা ও নিম্নচাপ
- ৩২। নিচের কোন দ্রবণের ক্ষেত্রে pH এর মান সর্বাধিক? [কু. বো. ২০১৫]
 (ক) 0.01M HCl (খ) 0.01M HNO_3 (গ) 0.01M H_2SO_4 (ঘ) 0.01M H_2CO_3
- ৩৩। 0.05M H_2SO_4 দ্রবণের pH কত? [কু. বো. ২০১৫]
 (ক) 1 (খ) 1.88 (গ) 2.3 (ঘ) 3.5
- ৩৪। একটি দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়নের মোলার ঘনমাত্রা 1×10^{-9} হলে, হাইড্রোক্সিল আয়নের মোলার ঘনমাত্রা হবে- [কু. বো. ২০১৫]
 (ক) 1×10^{-3} (খ) 1×10^{-4} (গ) 1×10^{-5} (ঘ) 1×10^{-6}
- ৩৫। 25°C তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানির আয়নিক গুণফল কত? [চ. বো. ২০১৫]
 (ক) 10^{-14} (খ) 10^{-7} (গ) 10^7 (ঘ) 10^{14}
- ৩৬। তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন এনথালপি কত? [চ. বো. ২০১৫]
 (ক) $-55.14 \text{kJ mol}^{-1}$ (খ) 57.34kJ mol^{-1} (গ) $-57.34 \text{kJ mol}^{-1}$ (ঘ) $-68.22 \text{kJ mol}^{-1}$

- ৩৭। $\text{COCl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$ বিক্রিয়াটির K_p -এর একক কোনটি? [চ. বো. ২০১৫]
 (ক) একক বিহীন (খ) atm^2 (গ) atm^{-1} (ঘ) atm^{-2}
- ৩৮। $0.05 \text{ mol dm}^{-3} \text{ H}_2\text{SO}_4$ দ্রবণের pH কত? [চ. বো. ২০১৫]
 (ক) 0.05 (খ) 0.1 (গ) 0.5 (ঘ) 1.0
- ৩৯। H_2SO_4 -এর অনুবন্ধী এসিড কোনটি? [চ. বো. ২০১৫]
 (ক) H_2SO_4 (খ) H_2SO_3 (গ) SO_4^{2-} (ঘ) HSO_3^-
- ৪০। নিম্নের কোন জোড়া অম্লীয় বাফার দ্রবণ তৈরি করে? [চ. বো. ২০১৫]
 (ক) NaOH ও HCl (খ) CH_3COOH ও NH_4OH
 (গ) NH_4OH ও HCl (ঘ) CH_3COOH ও NaOH
- ৪১। $1 \text{ mol C}_2\text{H}_5\text{OH}$ -এর পূর্ণ দহনে কত মোল CO_2 উৎপন্ন হয়? [চ. বো. ২০১৫]
 (ক) 1 mol (খ) 2 mol (গ) 3 mol (ঘ) 4 mol
- ৪২। দু'টি অম্লীয় দ্রবণের pH যথাক্রমে 3.0 এবং 6.0 প্রথম দ্রবণটি দ্বিতীয়টি অপেক্ষা কতগুণ বেশি অম্লীয়? [সি. বো. ২০১৫]
 (ক) 50 (খ) 100 (গ) 1000 (ঘ) 10,000
- ৪৩। মাটির pH মান কমানোর জন্য, কোনটি ব্যবহৃত করা হয়? [সি. বো. ২০১৫]
 (ক) $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$ (খ) $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (গ) $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (ঘ) CaO
- ৪৪। নিচের কোনটি উভধর্মী? [সি. বো. ২০১৫]
 (ক) NH_3 (খ) HCO_3^- (গ) H_3O^+ (ঘ) CO_3^{2-}
- ৪৫। অম্লি অম্লের তীব্রতার ক্ষেত্রে কোন নির্দেশনাটি সঠিক? [সি. বো. ২০১৫]
 (ক) $\text{HClO}_3 > \text{HNO}_2 > \text{HClO}$ (খ) $\text{HNO}_3 > \text{H}_3\text{PO}_3 > \text{H}_2\text{SO}_3$
 (গ) $\text{H}_3\text{PO}_3 > \text{HNO}_2 > \text{HClO}$ (ঘ) $\text{HNO}_2 > \text{H}_2\text{SO}_3 > \text{HClO}$
- ৪৬। HSO_4^- আয়নের অনুবন্ধী ক্ষারক কোনটি? [য. বো. ২০১৫]
 (ক) H^+ (খ) H_2SO_4 (গ) SO_4^{2-} (ঘ) SO_3^{2-}
- ৪৭। নিচের কোনটির মান সর্বদা ঋণাত্মক? [য. বো. ২০১৫]
 (ক) দহন তাপ (খ) বিক্রিয়া (গ) সংগঠন তাপ (ঘ) দ্রবণ তাপ
- ৪৮। $\text{A}_2(\text{g}) + 3\text{B}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{AB}_3(\text{g})$ বিক্রিয়াটিতে K_p ও K_c এর সম্পর্ক কোনটি? [য. বো. ২০১৫]
 (ক) $K_c = K_p (\text{RT})^2$ (খ) $K_p = K_c (\text{RT})^{-2}$ (গ) $K_c = K_p (\text{RT})^{-2}$ (ঘ) $K_c = K_p$
- ৪৯। নিচের কোনটি তাপহারী বিক্রিয়া?
 (ক) $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ (খ) $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$
 (গ) $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ (ঘ) $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- ৫০। রাসায়নিক বিক্রিয়ায় কখন $\Delta H = \Delta E$ হয়?
 (ক) তাপমাত্রা স্থির হলে (খ) আয়তন স্থির হলে (গ) চাপ স্থির হলে (ঘ) মোল সংখ্যা সমান হলে
- ৫১। জীবতাত্ত্বিক (Biological) pH রেঞ্জ কোনটি?
 (ক) 6 – 9 (খ) 6.9 – 7.1 (গ) 6.4 – 7.9 (ঘ) 6.9 – 7.4
- ৫২। 0.1M HCl এর pOH এর মান কত?
 (ক) 1 (খ) 14 (গ) 2 (ঘ) 13
- ৫৩। কোনটি ঋণাত্মক প্রভাবক?
 (ক) Na (খ) SO_2 (গ) SO_3 (ঘ) গ্লিসারিন
- ৫৪। K_w হলো মূলত—
 (ক) সামাংক ধ্রুবক (খ) দ্রাব্যতা গুণাংক (গ) হার ধ্রুবক (ঘ) পানির আয়নিক গুণক

- ৫৫। 2% (w/v) Na_2CO_3 দ্রবণের pH কত?
 (ক) 13.3 (খ) 13.6 (গ) 14.6 (ঘ) 14
- ৫৬। কোনটি অ্যাম্পিপ্রোটিক প্রজাতি-
 (ক) H_3PO_4 (খ) H_3O^- (গ) H_2SO_4 (ঘ) HSO_4^-
- ৫৭। আন্তর্জাতিকভাবে রসায়নবিদ দ্বারা স্বীকৃত সবুজ রসায়নের মূলনীতি কয়টি?
 (ক) ১০ (খ) ১২ (গ) ১৪ (ঘ) ১৫
- ৫৮। পাকস্থলীর পাচক রসের pH = 4.74 হলে ঘনমাত্রা কত?
 (ক) 1.4M (খ) 0.398M (গ) 0.0398M (ঘ) 0.000018M
- ৫৯। মানুষের চোখের পানির pH কত?
 (ক) 7.4 (খ) 4.8–7.5 (গ) 1.4–2.0 (ঘ) 6.6– 6.9
- ৬০। অম্লীয় মাটিতে নিচের কোন রাসায়নিক পদার্থ ব্যবহার করে—
 (ক) ইউরিয়া সার (খ) এম ও পি সার (গ) ডলো চুন (ঘ) জৈব সার
- ৬১। শক্তির বিবেচনায় নিচের কোন ক্রমটি সঠিক?
 (ক) $\text{HF} < \text{HCl} < \text{HBr} < \text{HI}$ (খ) $\text{KCl} < \text{HF} < \text{HBr} < \text{HI}$
 (গ) $\text{HF} < \text{HCl} > \text{HBr} < \text{HI}$ (ঘ) $\text{HF} > \text{HCl} < \text{HBr} < \text{HI}$
- ৬২। ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ তৈরিতে নিচের কোন যুগলটি ব্যবহার করা হয়?
 (ক) NaOH ও NaCl (খ) KOH ও KCl
 (গ) NH_4OH ও NH_4Cl (ঘ) CH_3COOH ও CH_3COONa
- ৬৩। 0.005M H_2SO_4 এর pH কত? [চ. বো. ২০১৬]
 (ক) 1 (খ) 2 (গ) 3 (ঘ) 4
- ৬৪। নিচের কোনটি উভধর্মী যৌগ?
 (ক) NH_3 (খ) HCl (গ) H_2O (ঘ) H_2SO_4
- ৬৫। 0.01M NaOH দ্রবণের pH কত?
 (ক) 1 (খ) 2 (গ) 12 (ঘ) 13
- ৭ বছরপূর্ণ সমাপ্তিসূচক প্রশ্ন
- ৬৬। তাপোৎপাদী বিক্রিয়া হলো- [চ. বো. ২০১৫]
 i. $\text{A} + \text{B} + \text{তাপ} \rightarrow \text{উৎপাদ}$
 ii. $\text{L} + \text{M} \rightarrow \text{উৎপাদ} + \text{তাপ}$
 iii. $\text{X} + \text{Y} \rightarrow \text{উৎপাদ}; \Delta\text{H} = -ve$
 নিচের কোনটি সঠিক?
 (ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii
- ৬৭। সক্রিয়ণ শক্তি বৃদ্ধিতে- [রা. বো. ২০১৫]
 i. সংঘর্ষ সংখ্যা বৃদ্ধি
 ii. বিক্রিয়া হার হ্রাস পায়
 iii. সাম্যাবস্থা দেরিতে প্রাপ্ত হয়
 নিচের কোনটি সঠিক?
 (ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

৬৮। সাম্যাবস্থায় কোনো বিক্রিয়া-

[রা. বো. ২০১৫]

- সিস্টেম অপরিবর্তনে কখনো শেষ হয় না
 - সর্বদা গতিশীল
 - উৎপাদ উৎপন্ন হয় না
- নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii

(খ) i ও iii

(গ) ii ও iii

(ঘ) i, ii ও iii

৬৯। প্রভাবক কোন বিক্রিয়ায়—

[রা. বো. ২০১৫]

- বিক্রিয়ক অণুর গতিশক্তি বৃদ্ধি করে
 - সক্রিয়ণ শক্তি হ্রাস করে
 - বিক্রিয়ক অণুতে অধিশোষিত হয়
- নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii

(খ) i ও iii

(গ) ii ও iii

(ঘ) i, ii ও iii

৭০। $A_2(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g); \Delta H = +ve$

[কু. বো. ২০১৫]

- বিক্রিয়াটি তাপহারী
 - সাম্যধ্রুবক K_p ও K_c এর মান সমান
 - সাম্যবস্থার উপর চাপের প্রভাব নেই
- নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii

(খ) i ও iii

(গ) ii ও iii

(ঘ) i, ii ও iii

৭১। দেহের রক্তের pH অপরিবর্তিত রাখার জন্য যে বাফার সিস্টেম কাজ করে-

[সি. বো. ২০১৫]

- হাইড্রোজেন আয়ন
 - হাইড্রক্সিল আয়ন
 - বাইকার্বনেট আয়ন
- নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii

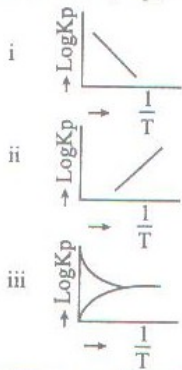
(খ) i ও iii

(গ) ii ও iii

(ঘ) i, ii ও iii

৭২। সাম্যাংক (K_p)-এর উপর তাপমাত্রার প্রভাব লেখচিত্র-

[সি. বো. ২০১৫]



নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii

(খ) i ও iii

(গ) ii ও iii

(ঘ) i, ii ও iii

৭৩। কোন বিক্রিয়ায় আয়তনের সংকোচন ঘটে?

[সি. বো. ২০১৫]

- $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$
- $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$
- $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$

নিচের কোনটি সঠিক?

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

৭৪। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি পায়, কারণ- [য. বো. ২০১৫]

- i. সংঘর্ষের হার বৃদ্ধি পায়
ii. গতিশক্তি কমে যায়
iii. সক্রিয়ণ শক্তি হ্রাস পায়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

৭৫। রাসায়নিক সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়কের 'সক্রিয় ভর' দ্বারা কি বোঝানো হয়? [য. বো. ২০১৫]

- i. মোলার ঘনমাত্রা
ii. মোলার আয়তন
iii. আংশিক চাপ

নিচের কোনটি সঠিক?

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

৭৬। $aA + dD \rightleftharpoons mM$ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার হার হলো- [চ. বো. ২০১৬]

- i. $-\frac{1}{a} \frac{\Delta[A]}{\Delta t}$
ii. $-\frac{1}{a} \frac{\Delta D}{\Delta t}$
iii. $-\frac{1}{m} \frac{\Delta M}{\Delta t}$

নিচের কোনটি সঠিক?

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

৭৭। $2SO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{NO(g)} 2SO_3(g)$; এ বিক্রিয়াটি- [চ. বো. ২০১৬]

- i. সমসত্ত্ব প্রভাবন ঘটেছে
ii. NO অধিশোষণের মাধ্যমে বিক্রিয়াকে প্রভাবিত করে
iii. NO গ্যাসটি বিক্রিয়ার হার পরিবর্তন করে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

৭৮। রাসায়নিক সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়কের 'সক্রিয় ভর' দ্বারা কী বোঝানো হয়?

- i. মোলার ঘনমাত্রা
ii. মোলার আয়তন
iii. আংশিক চাপ

কোনটি সঠিক হবে?

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

৭৯। বিক্রিয়ার হারের ওপর প্রভাব সৃষ্টিকারী নিয়ামক হলো-

- i. তাপমাত্রা
ii. চাপ
iii. বিক্রিয়কের পৃষ্ঠতল

কোন কোনটি হেবার পদ্ধতিতে NH_3 উৎপাদনে কার্যকরী?

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

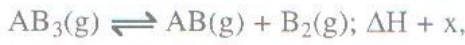
৮০। শিল্পক্ষেত্রে প্রভাবক ব্যবহারে উৎপাদন ব্যয় হ্রাস পায়, এর কারণগুলো-

- i. বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি হ্রাস করে
ii. বিক্রিয়া সহজ বিকল্প পথে ঘটে
iii. বিক্রিয়ার হার অধিক বৃদ্ধি পায়
কোনটি সঠিক হবে?

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

□ অভিন্ন তথ্যভিত্তিক প্রশ্ন

** নিচের উদ্দীপকটি লক্ষ কর এবং নিচের ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও।



বিক্রিয়াটি ২ লিটার একটি পাত্রে সংঘটিত করা হয়। সাম্যাবস্থায় AB_3 এর বিয়োজনের পরিমাণ ৪০%.

৮১। বিক্রিয়াটিতে K_c এর মান কত?

[চ. বো. ২০১১]

- (ক) ০.০৪ (খ) ০.০০৪ (গ) ০.১৩৩ (ঘ) ০.১৩৩

৮২। উদ্দীপকে উল্লিখিত বিক্রিয়াটি AB এর উৎপাদন বৃদ্ধিতে গৃহীত পদক্ষেপ-

[চ. বো. ২০১১]

- i. তাপমাত্রা বাড়াতে হবে
ii. চাপ বাড়াতে হবে
iii. AB কে বিক্রিয়া পাত্র থেকে সরিয়ে দিতে হবে
নিচের কোনটি সঠিক?

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

** নিচের গ্যাসীয় উভমুখী বিক্রিয়াটি লক্ষ কর এবং পরবর্তী দুইটি প্রশ্নে উত্তর দাও :



৮৩। বিক্রিয়াটিতে চাপ বাড়ালে কি হবে?

[দি. বো. ২০১১]

- (ক) উৎপাদের ঘনমাত্রা বাড়বে (খ) K_p এর মান বাড়বে
(গ) বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বাড়বে (ঘ) চাপের কোনো প্রভাব নেই

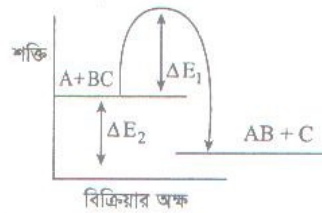
৮৪। বিক্রিয়াটিতে তাপমাত্রা বাড়লে কি হবে?

[দি. বো. ২০১১]

- i. K_p এর মান বাড়বে
ii. সাম্যাবস্থার পরিবর্তন হবে না
iii. সাম্যাবস্থা ডান দিকে সরে যাবে
নিচের কোনটি সঠিক?

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

** নিচের উদ্দীপকটি পড় এবং নিচের ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও।



৮৫। বিক্রিয়াটি সক্রিয়ণ শক্তি কোনটি?

[দি. বো. ২০১১]

- (ক) ΔE_1 (খ) ΔE_2 (গ) $\Delta E_1 + \Delta E_2$ (ঘ) $\Delta E_1 - \Delta E_2$

[দি. বো. ২০১৫]

৮৬। উদ্দীপকের কতিপয় তথ্য নিম্নরূপ-

- এনথালপির পরিবর্তন হলো ΔE_2
 - বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী
 - বিক্রিয়কের শক্তি $>$ উৎপাদের শক্তি
- নিচের কোনটি সঠিক?

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

** উদ্দীপকটি লক্ষ কর এবং নিচের ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও :

25°C তাপমাত্রায় 1.0 atm চাপে 80% PCl_5 বিয়োজিত হয়ে PCl_3 এবং Cl_2 উৎপন্ন হয়।

[য. বো. ২০১৫]

৮৭। K_p এর মান কত?

(ক) 1.67 (খ) 1.70 (গ) 1.78 (ঘ) 1.90

[য. বো. ২০১৫]

৮৮। যদি বিক্রিয়ায় Cl_2 যোগ করা হয়, তবে-

- বিক্রিয়া সম্মুখ দিকে অগ্রসর হয়
 - বিক্রিয়া পশ্চাৎ দিকে অগ্রসর হবে
 - সাম্যাবস্থায় পরিবর্তন ঘটবে
- নিচের কোনটি সঠিক?

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

** নিচের উদ্দীপকটি পড় এবং নিচের ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও।



[ব. বো. ২০১৫]

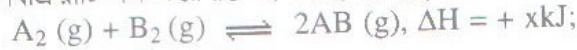
৮৯। বিক্রিয়াটিতে অনুবন্ধী অম্ল ক্ষারক যুগল কোনটি?

(ক) HA, H_2O (খ) HA, A^- (গ) A^-, H_3O^+ (ঘ) H_2O, A^-

৯০। 1L আয়তনবিশিষ্ট পাত্রে সংঘটিত বিক্রিয়ায় অম্লের বিয়োজন মাত্রা 70% হলে, K_c এর মান কত? [ব. বো. ২০১৫]

(ক) 1.00 (খ) 1.30 (গ) 1.53 (ঘ) 1.63

* নিচের উভমুখী গ্যাসীয় বিক্রিয়াটি লক্ষ করে ৯১ নং ও ৯২ নং প্রশ্নের উত্তর দাও।



৯১। উদ্দীপকের বিক্রিয়াটিতে চাপের প্রভাব কীরূপ হবে?

(ক) চাপ বাড়ালে উৎপাদ বাড়ে (খ) চাপ কমলে উৎপাদ বাড়ে (গ) চাপের প্রভাব নেই (ঘ) K_p বাড়বে

৯২। তাপমাত্রা বাড়ালে উদ্দীপকের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থার কী হবে?

- সাম্যাবস্থা ঠিক থাকে
 - সাম্যাবস্থার মান বাড়বে
 - সাম্যাবস্থা ডানদিকে সরে যাবে
- নিচের কোনটি সঠিক ?

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

উত্তরমালা :

১। (ক)	২। (খ)	৩। (গ)	৪। (খ)	৫। (গ)	৬। (গ)	৭। (খ)	৮। (গ)	৯। (ঘ)	১০। (গ)
১১। (ক)	১২। (ঘ)	১৩। (ক)	১৪। (খ)	১৫। (গ)	১৬। (গ)	১৭। (ঘ)	১৮। (গ)	১৯। (গ)	২০। (ক)
২১। (ঘ)	২২। (গ)	২৩। (খ)	২৪। (গ)	২৫। (ঘ)	২৬। (খ)	২৭। (ঘ)	২৮। (খ)	২৯। (গ)	৩০। (গ)
৩১। (খ)	৩২। (ঘ)	৩৩। (ক)	৩৪। (গ)	৩৫। (ক)	৩৬। (গ)	৩৭। (ক)	৩৮। (ঘ)	৩৯। (ক)	৪০। (ঘ)
৪১। (খ)	৪২। (গ)	৪৩। (গ)	৪৪। (খ)	৪৫। (ক)	৪৬। (গ)	৪৭। (ক)	৪৮। (খ)	৪৯। (খ)	৫০। (খ)
৫১। (ঘ)	৫২। (ঘ)	৫৩। (ঘ)	৫৪। (ঘ)	৫৫। (ক)	৫৬। (ঘ)	৫৭। (খ)	৫৮। (ঘ)	৫৯। (খ)	৬০। (গ)
৬১। (ক)	৬২। (গ)	৬৩। (খ)	৬৪। (গ)	৬৫। (গ)	৬৬। (গ)	৬৭। (গ)	৬৮। (ক)	৬৯। (ঘ)	৭০। (ঘ)
৭১। (খ)	৭২। (ক)	৭৩। (খ)	৭৪। (খ)	৭৫। (খ)	৭৬। (ক)	৭৭। (খ)	৭৮। (গ)	৭৯। (ঘ)	৮০। (ঘ)
৮১। (গ)	৮২। (খ)	৮৩। (ঘ)	৮৪। (খ)	৮৫। (ক)	৮৬। (ঘ)	৮৭। (গ)	৮৮। (গ)	৮৯। (খ)	৯০। (ঘ)
৯১। (গ)	৯২। (গ)								

খ বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। গ্যাসীয় হাইড্রোজেন আয়োডাইডের বিয়োজনের ক্ষেত্রে নিচের মানগুলো পাওয়া গেল—

- (ক) হেভারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণটি লিখ। ১
 (খ) রক্তের মূল বাফারিং সিস্টেমটির ব্যাখ্যা কর। ২
 (গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির K_c এর গাণিতিক রাশিমালা নির্ণয় কর। ৩
 (ঘ) প্রাপ্ত ডাটা থেকে গাণিতিক যুক্তি দিয়ে দেখাও, 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক এর মান দ্বিগুণ হয়েছে। ৪

তাপমাত্রা	বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক
283°C	$3.52 \times 10^{-7} \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$
293°C	—
508°C	$3.95 \times 10^{-2} \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$

২। পার্শ্বের উদ্দীপকটি অনুধাবন কর। এরপর নিচের সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

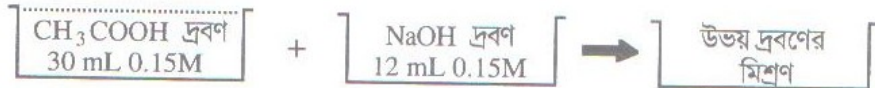
- (ক) লা-শাতেলিয়ারের নীতি কী? ১
 (খ) তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ ধ্রুব কেন, ব্যাখ্যা কর। ২
 (গ) উদ্দীপক মতে, ক্ষার দ্রবণ ও এসিড দ্রবণদ্বয়ের pH গণনা কর। ৩
 (ঘ) উদ্দীপক হতে, মিশ্র-দ্রবণ C এর মধ্যে পৃথকভাবে A এবং B এর সামান্য পরিমাণ যোগ করলে C মিশ্র দ্রবণের pH এর কোনো পরিবর্তন ঘটবে কিনা তা ব্যাখ্যা কর। ৪

KOH ----- 0.01M A	H ₂ SO ₄ ----- 0.01M B	0.1 M Na ₂ CO ₃ ----- 0.1 M NaHCO ₃ C
----------------------------	---	---

৩। পরীক্ষাগারে ড. টমাস 10 mL 0.1 M CH₃COOH দ্রবণের মধ্যে কিছু পরিমাণ 0.15 M NaOH দ্রবণ যোগ করত 4.584 pH মানের একটি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করলেন। [CH₃COOH এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$]

- (ক) ভরক্রিয়ার সূত্রটি লিখ।
 (খ) অক্সোএসিডসমূহের তীব্রতা কোন কোন বিষয়ের উপর নির্ভরশীল তা কারণসহ ব্যাখ্যা কর।
 (গ) ক্ষার দ্রবণটির ও এসিড দ্রবণটির pH কত তা নির্ণয় করে দেখাও।
 (ঘ) গাণিতিক যুক্তি দিয়ে, যোগকৃত ক্ষারের আয়তন বের কর।

৪। নিচের চিত্রভিত্তিক উদ্দীপকটি অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।



- (ক) হেসের সূত্রটি লেখ।
 (খ) বিক্রিয়ার এটম ইকন্যামি বলতে কী বোঝ তা উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।
 (গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়ক এসিডের $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ হলে উভয় দ্রবণের মিশ্রণটির pH গণনা কর।
 (ঘ) উদ্দীপকের মিশ্রণ দ্রবণটিতে কয়েক ফোঁটা লঘু HCl দ্রবণ যোগ করলে ঐ দ্রবণের pH মানের কোনো পরিবর্তন ঘটবে কিনা তা বিশ্লেষণ কর।
- ৫। প্রকৌশলী সুমন নাগ ঢাকায় একটি প্রাকৃতিক গ্যাস ভিত্তিক শিল্প কারখানা কর্মরত। তাদের কারখানাটিতে প্রতিদিন মিথেন (দহন এনথালপি -890.3 kJ/mol) থেকে $1.5 \times 10^5 \text{ kJ}$ তাপশক্তি উৎপন্ন করে থাকে। কিন্তু বাসা বাড়ি গ্যাস সংযোগ না থাকায় তিনি রান্নার কাজে বাজার থেকে ক্রয়কৃত সিলিভারের গ্যাস (C₄H₁₀) ব্যবহার করে থাকেন। [CH₄, C₄H₁₀, CO₂, H₂O এর প্রমাণ গঠন এনথালপি যথাক্রমে -74.89 , -124.7 , -393.3 এবং -220 kJ/mol]
- (ক) অ্যামোনিয়া উৎপাদনে অত্যনুকূল তাপমাত্রা কত?
 (খ) শিল্পক্ষেত্রে ব্যবহৃত প্রভাবকের অসমসত্ত্ব প্রভাবনের ক্রিয়া কৌশল ব্যাখ্যা কর।

(গ) উল্লিখিত কারখানায় প্রতিদিন কী পরিমাণ মিথেনকে দহন করা হয় তা নির্ণয় করে দেখাও। ৩

(ঘ) প্রতি kJ তাপশক্তি উৎপাদনে উদ্দীপকের কোন জ্বালানিটি অধিক উপযোগী? হবে তা গাণিতিক যুক্তিসহ ব্যাখ্যা কর। ৪

৯। পার্শ্বে দেয়া পর্যায় সারণির অংশবিশেষ অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

[কু. বো. ২০১৫]

- (ক) বাফার দ্রবণ কী? ১
 (খ) NH_3 একটি লিগ্যান্ড, ব্যাখ্যা কর। ২
 (গ) উদ্দীপকের AC যৌগে বিদ্যমান বন্ধনসমূহ ব্যাখ্যা কর। ৩
 (ঘ) উদ্দীপকের B মৌলের হাইড্রক্সাইডের সাথে AC ও AD যৌগের পূর্ণ বিক্রিয়ায় প্রশমন তাপ অভিন্ন কীনা ব্যাখ্যা কর। ৪

পর্যায় \ গ্রুপ	1	17
১ম	A	
২য়		C
৩য়	B	D

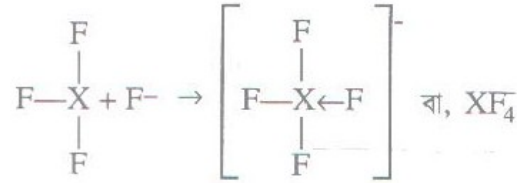
১০। $A_2(g)$ ও $B_2(g)$ দুটি গ্যাস মিশ্রণ $500^\circ C$ তাপমাত্রায় ও 50 atm

চাপে বিক্রিয়া করে সাম্যাবস্থায় 25% $AB_3(g)$ উৎপন্ন করে এবং 92 kJ তাপ উৎপন্ন করে। [চা. বো. ২০১৫]

- (ক) ভর ক্রিয়া সূত্রটি বর্ণনা কর। ১
 (খ) খাদ্য সংরক্ষণের কেস হার্ডেনিং কাকে বলে? ব্যাখ্যা কর। ২
 (গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটি K_p -এর মান নির্ণয় কর। ৩
 (ঘ) লা-শ্যাটেলিয়ার নীতি প্রয়োগ করে কীভাবে সর্বোচ্চ পরিমাণ উৎপাদ উৎপন্ন করা যায় উদ্দীপকের আলোকে আলোচনা কর। ৪

১১। দ্বিতীয় পর্যায়, গ্রুপ-IIIIV এর একটি মৌল, X-এর ফ্লোরাইড, XF_3 নিম্নরূপে XF_4^- অ্যানায়ন গঠন করে :

[চ. বো. ২০১৫]



- (ক) পরিষ্কারক মিশ্রণ কী? ১
 (খ) Na^+ গঠিত হলেও Na^{++} গঠিত হয় না কেন? ২
 (গ) XF_3 ও F^- এর মধ্যে কোন প্রকারের বন্ধন গঠিত হয়? ব্যাখ্যা কর। ৩
 (ঘ) উদ্দীপকের বিক্রিয়ার মাধ্যমে X এর সংরক্ষণ পরিবর্তিত হয় কিনা যাচাই কর। ৪

১২। $A_2(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g)$; $\Delta H = +q$ উক্ত বিক্রিয়ার আলোকে নিম্নের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও [চ. বো. ২০১৫]

- (ক) পলির বর্জন নীতি কি? ১
 (খ) রাসায়নিক সাম্যাবস্থা গতিশীল-ব্যাখ্যা কর। ২
 (গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির জন্য K_p ও K_c এর মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর। ৩
 (ঘ) AB কে তরলে পরিণত করা হলে বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থার উপর কি প্রভাব পড়বে-বিশ্লেষণ কর। ৪

১৩। $2A_2O_5 \rightleftharpoons 4O_2 + O_2$; $\Delta H = +ve$ ।

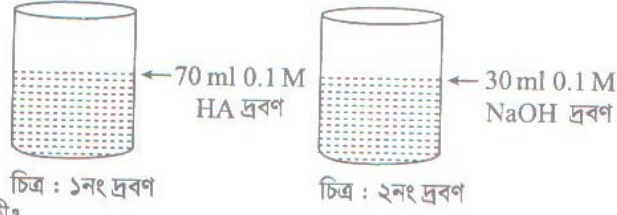
[কু. বো. ২০১৫]

- (ক) প্রভাবক বিষ কি? ১
 (খ) সালফেট আয়নের শনাক্তকরণ $BaCl_2$ এর পরিবর্তে $Ba(NO_3)_2$ ব্যবহার উত্তম কেন? ২
 (গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির K_p এর রাশিমালা প্রতিপাদন কর। ৩
 (ঘ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটিতে সর্বোচ্চ পরিমাণ উৎপাদ পাওয়ার কৌশল আলোচনা কর। ৪

১৪। একটি বিক্রিয়া হলো : $A_2B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_2(g)$ $\Delta H = +ve$; উক্ত বিক্রিয়া নিম্নরূপ দুটি অবস্থায় বিয়োজিত হয়—

(i) $25^\circ C$ তাপমাত্রায় ও 2.0 atm চাপে; (ii) $80^\circ C$ তাপমাত্রায় 6.0 atm চাপে। [য. বো. ২০১৫]

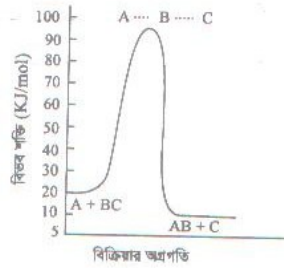
- (ক) হিন কেমিস্ট্রি কি? ১
 (খ) পানিতে এসিড যোগ করলে pH এর মান হ্রাস পায়-ব্যাখ্যা কর। ২
 (গ) উদ্দীপকে বর্ণিত বিক্রিয়ার জন্য K_p ও K_c এর মধ্যে সম্পর্ক প্রতিপাদন কর। ৩
 (ঘ) উদ্দীপকের (i) ও (ii) নং অবস্থার মধ্যে কোন ক্ষেত্রে উৎপাদের পরিমাণ সর্বাধিক হবে? মূল্যায়ন কর। ৪



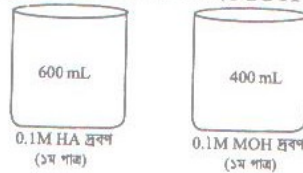
- (ক) ক্রোমাটোগ্রাফি কী?
 (খ) মোলারিটি তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল কেন?
 (গ) ১নং দ্রবণে pH এর মান কত? ($K_a = 1.8 \times 10^{-5}$)
 (ঘ) ১নং দ্রবণের মধ্যে ২নং দ্রবণ সম্পূর্ণরূপে মিশ্রিত করা হলো। উক্ত মিশ্রণের pH গণনার সমীকরণ যুক্তিসঙ্গত উপস্থাপন কর।

১৩। $H_2(g) + Y_2(g) \rightleftharpoons 2XY(g)$ বিক্রিয়ার 2L আয়তনের একটি পাত্রে 1 atm চাপ সম্পন্ন করা হলো।

- (ক) গ্রিন কেমিস্ট্রি কী?
 (খ) সমসত্ত্ব প্রভাবনের কৌশল ব্যাখ্যা কর।
 (গ) উদ্দীপকে উল্লিখিত বিক্রিয়ার বিক্রিয়ক X ও Y উভয়ের প্রাথমিক ঘনমাত্রা 2 মোল এবং সাম্যাবস্থায় 3.12 মোল উৎপাদ উৎপন্ন হলে K_a ও K_c এর মান নির্ণয় কর।
 (ঘ) উদ্দীপকে উল্লিখিত বিক্রিয়াটি 1.5 গুণ চাপে সম্পন্ন করলে সাম্যধ্রুবক K_p এর মানের কি পরিবর্তন হবে-ব্যাখ্যা কর।



- (ক) পোলায়ন কি?
 (খ) পানি একটি উভধর্মী পদার্থ-কেন?
 (গ) উদ্দীপকের লেখচিত্র হতে সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়ার সক্রিয় শক্তি ও বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় কর।
 (ঘ) উদ্দীপকের লেখচিত্র বিক্রিয়াটিতে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক প্রভাব সংযোগ করলে বিক্রিয়ার হার কীভাবে প্রভাবিত হয়?
 ১৫। পাত্রে দ্রবণ দুটি লক্ষ কর। যেখানে HA একটি জৈব এসিড এবং MOH একটি তীব্র ক্ষার।



- (ক) R_f কি?
 (খ) Zn ধাতুকে অবস্থান্তর মৌল বলা হয় না কেন?
 (গ) HA এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ হলে প্রথম পাত্রে দ্রবণের pH এর মান নির্ণয় কর।
 (ঘ) উভয় পাত্রে দ্রবণকে একত্রে মিশ্রিত করে প্রাপ্ত দ্রবণে সামান্য এসিড যোগ করলে pH এর কিরূপ পরিবর্তন ঘটে-বিশ্লেষণ কর।