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

চতুর্থ অধ্যায়
রাসায়নিক পরিবর্তন
Chemical Change

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

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 জৈবদ্রাবক ও ভারী ধাতুর প্রভাবক ব্যবহার করে আধুনিককালে অপরিহার্য ওষুধ, রাসায়নিক সার, কীটনাশক পদার্থ, টেক্সটাইল রঞ্জক, বিল্ডিংসামগ্রী ও পলিমার বস্তু বিভিন্ন রাসায়নিক শিল্পে উৎপাদিত হয়। এসব শিল্পের বিষাক্ত ও ক্ষতিকারক দ্রাবক, উপজাত, কিছু বিক্রিয়ক ও ধাতব প্রভাবক বায়ুতে ও স্থলভাগে বর্জ্যরূপে পরিবেশের মারাত্মক ক্ষতি করছে। তাই এসব শিল্পবর্জ্য দ্বারা পরিবেশের বিপজ্জনক ক্ষতির মাত্রা হ্রাস বা দূরীকরণে বিশ্বব্যাপী রসায়নবিদেরা বিভিন্ন শিল্পে তাত্ত্বিক ও ব্যবহারিক প্রয়োগে উন্নততর **'পরিবেশবান্ধব পদ্ধতি'** উদ্ভাবনে সচেষ্ট রয়েছেন; যা **গ্রিন কেমিস্ট্রি** (green chemistry) বা **সবুজ রসায়ন** নামে বর্তমানে পরিচিত।

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

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

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

শিখনফল **এ অধ্যায়ের পাঠশেষে 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 pH 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. কৃষিতে, রসায়নশিল্পে, টয়লেট্রিজ উৎপাদনে, ওষুধ সেবনে pH এর ভূমিকা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৭. pH পরিমাপ করে উপযুক্ত প্রসাধনসামগ্রী 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, বিল্ডিং সামগ্রী ও বিভিন্ন পলিমার বস্তু আসে বিভিন্ন রাসায়নিক শিল্প কারখানা থেকে। রসায়ন শিল্পের জীবন ঘনিষ্ঠ এ শুভ অবদানের পাশাপাশি রয়েছে শিল্পকারখানার পরিত্যক্ত বিষাক্ত বর্জ্যপদার্থ, যা পরিবেশের মারাত্মক ক্ষতিসাধন করে জীবজগতের অস্তিত্বকে সংকটে ফেলেছে। যেমন শিল্পকারখানায় জ্বালানি হিসেবে প্রাকৃতিক গ্যাস (CH_4) ও কয়লা পোড়ানো হয়। কয়লাতে সালফার থাকে। এসব জ্বালানির রাসায়নিক বিক্রিয়ার সমীকরণগুলো নিম্নরূপ :

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$$
$$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$$
$$S(s) + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g)$$

MCQ-4.1 : আন্তর্জাতিকভাবে রসায়নবিদদের দ্বারা অনুমোদিত সবুজ রসায়ন নীতি কয়টি?
(ক) 7 (খ) 10 (গ) 12 (ঘ) 13

তোমরা জানো, এসব বিক্রিয়ায় উৎপন্ন CO_2 ও SO_2 গ্যাস দুটো বাতাসে মিশে যায় এবং CO_2 ও SO_2 গ্যাস দুটিই হলো বায়ুদূষক। গ্রেট ব্রিটেন ও ইউরোপে শিল্পবিপ্লবের পর 1850 খ্রিষ্টাব্দ হতে শিল্পকারখানায় মোটরযানে পেট্রোল ব্যবহারের ফলে বায়ুমণ্ডলে CO_2 এর পরিমাণ ক্রমশ বেড়ে যাচ্ছে। এক্ষেত্রে CO_2 গ্যাস 'গ্রিন হাউস গ্যাস'রূপে গ্লোবাল ওয়ার্মিং ঘটায় এবং অম্লধর্মী SO_2 গ্যাস **'এসিড-বৃষ্টি'** ঘটাতে ভূমিকা রাখে। এরূপে উভয় গ্যাস প্রাকৃতিক দূষণ ঘটায়।

গ্রিন কেমিস্ট্রি : প্রাকৃতিক দূষণ নিয়ন্ত্রণে রসায়নবিদদের প্রচেষ্টা : 1700 খ্রিষ্টাব্দের শেষ দশকে গ্রেট ব্রিটেন তথা ইউরোপ ও আমেরিকায় শিল্প-বিপ্লবের বিস্তার লাভের পর বিশেষত 1850 খ্রিষ্টাব্দ হতে শিল্পকারখানায় জীবাশ্ম জ্বালানি কয়লা ও মোটরযানে পেট্রোল পোড়ানোর ফলে বায়ুমণ্ডলে CO_2 এর পরিমাণ দ্রুত বৃদ্ধি পায়। শিল্পক্ষেত্রে বিভিন্ন রাসায়নিক পদার্থ উৎপাদনকালে নির্গত বিষাক্ত গ্যাসীয় পদার্থ ও তরল বর্জ্য পদার্থ পরিবেশে সর্বাধিক দূষণ ঘটায়। এ শিল্পবর্জ্য দ্বারা পরিবেশ

দূষণ রসায়নবিদদের চিন্তার কারণ হয়ে ওঠে। রাসায়নিক শিল্পবর্জ্য দূষণ থেকে পরিবেশকে রক্ষার জন্য আমেরিকার EPA (Environmental Protection Agency) সংস্থা **1990 খ্রিষ্টাব্দে অগ্রণী** ভূমিকা পালন করে। তখন US সরকারের "Pollution Prevention Act of 1990" এর বাস্তবায়নের লক্ষ্যে EPA সংস্থায় কর্মরত রসায়নবিদগণ "Green Chemistry"–এ শব্দদ্বয়কে ব্যাপক অর্থবোধক ও রাসায়নিক পরিবেশ দূষণের 'প্রতিষেধক' ধারণারূপে গ্রহণ করে। তাই **1991 খ্রিষ্টাব্দে** Green Chemistry ধারণাকে ফলপ্রসূভাবে বাস্তবায়নে EPA সংস্থা US government, industry & academia (প্রাতিষ্ঠানিক রসায়নবিদগণ) সহযোগে সমন্বিত কার্যক্রম শুরু করে।

তখন 1995 খ্রিষ্টাব্দে Green Chemistry কার্যক্রমে প্রাতিষ্ঠানিক রসায়নবিদগণের ভূমিকা রাখার লক্ষ্যে EPA সংস্থা প্রস্তাবিত 'Presidential Green Chemistry Challenge Awards in 1996" প্রোগ্রামে অর্থায়নে তৎকালীন US President Bill Clinton এর সহযোগিতা লাভ করে। এ পুরস্কার ঘোষণার ফলে গ্রিন কেমিস্ট্রি ব্যাপারে সচেতনতা সরকার ও শিল্প মালিকদের মধ্যে বৃদ্ধি পায়। তখন 1998 খ্রিষ্টাব্দে EPA সংস্থার অন্যতম প্রধান রসায়নবিদ পাউল অ্যানাস্তাস (Paul Anastas) ও জন ওয়ার্নার (John Warner) বিভিন্ন শিল্পক্ষেত্রে পরিবেশ দূষণের বিভিন্ন দিক বিবেচনা করে গ্রিন কেমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়ন সহায়ক নিম্নোক্ত 12টি শিল্প-প্রয়োগ নীতি প্রণয়ন ও প্রকাশ করেন। এজন্য **পাউল অ্যানাস্তাসকে গ্রিন কেমিস্ট্রির জনক** বলা হয়। গ্রিন কেমিস্ট্রি দর্শন ও কার্যক্রম দ্বারা রাসায়নিক শিল্পক্ষেত্রে পরিবেশবান্ধব নতুন নতুন প্রযুক্তির শিল্প-কৌশল প্রয়োগ সম্পর্কিত রসায়নবিদ্যার বাস্তব রূপায়নকে বোঝানো হয়।

গ্রিন কেমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়নের সংজ্ঞা : পৃথিবীব্যাপী রসায়নবিদেরা শিল্পক্ষেত্রে তাত্ত্বিক ও ব্যবহারিক প্রয়োগে ক্ষতিকর বর্জ্য পদার্থ উৎপন্ন যথাসম্ভব হ্রাস করে নতুন ও উন্নততর পরিবেশবান্ধব পদ্ধতি উদ্ভাবনে সচেষ্ট রয়েছেন। পরিবেশবান্ধব এরূপ রাসায়নিক পদ্ধতিকে গ্রিন কেমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়ন বলা হয়। এ গ্রিন কেমিস্ট্রির উদ্দেশ্য বাস্তবায়নে ১২টি নীতি আন্তর্জাতিকভাবে রসায়নবিদদের দ্বারা নির্ধারিত হয়েছে। যেমন,

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

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

$$\% AE = \frac{\text{কাঙ্ক্ষিত উৎপাদের মোট মোল সংখ্যা} \times \text{সংকেত ভর} \times ১০০}{\text{সব বিক্রিয়কের বা উৎপাদের মোল সংখ্যাসহ সংকেত ভরের সমষ্টি}}$$

(৩) **ন্যূনতম ঝুঁকির পদ্ধতির ব্যবহার (Use less hazardous process) :** নন্‌টক্সিক বিকারক ও নন্‌টক্সিক বর্জ্য সংশ্লিষ্ট সংশ্লেষণ পদ্ধতি ব্যবহার। এর দ্বারা শিল্পক্ষেত্রে কর্মজীবীদের নিরাপত্তা বিধান ও পরিবেশ দূষণ হ্রাস পাবে।

যেমন, অ্যালাইল অ্যালকোহল ($CH_2{=}CHCH_2OH$) যৌগটি প্রোপিন থেকে দুটি পদ্ধতিতে উৎপাদন করা যায়।

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

$$CH_2{=}CH{-}CH_3 + Cl_2 \longrightarrow CH_2{=}CH{-}CH_2Cl + HCl$$

$$CH_2{=}CH{-}CH_2Cl + NaOH \longrightarrow CH_2{=}CH{-}CH_2OH + NaCl$$

RMDAC

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।

$$2CH_2{=}CH{-}CH_3 + 2CH_3{-}COOH + O_2 \xrightarrow{\Delta} 2CH_2{=}CH{-}CH_2O.OC{-}CH_3 + 2H_2O$$

$$CH_2{=}CH{-}CH_2O.OC{-}CH_3 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_2{=}CH{-}CH_2OH + CH_3{-}COOH$$

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

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

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

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

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

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

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

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

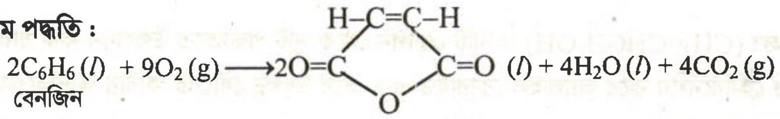
(১১) **যথাসময়ে দূষণ নিয়ন্ত্রণ (Monitor pollution in real time) :** টক্সিক উৎপাদের ক্ষেত্রে যথাসময়ে প্রক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ। বিষাক্ত পদার্থ যেন বায়ুমণ্ডলে ছড়িয়ে না পড়ে, তার যথাযথ নিয়ন্ত্রণ ব্যবস্থা মনিটরিং করতে হবে।

(১২) **দুর্ঘটনা প্রতিরোধ (Prevent accidents) :** রাসায়নিক পদার্থ ও পদ্ধতিগত অগ্নিসংঘটন, বিস্ফোরণ ও অন্য 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,

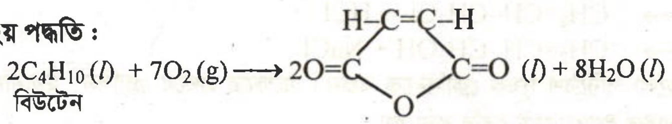
ম্যালেয়িক অ্যানহাইড্রাইড উৎপাদন, এটি হলো অন্যতম প্রধান শিল্প-কেমিক্যাল যা থেকে উৎপাদিত হয় ওষুধ, কীটনাশক, রঞ্জক, বিভিন্ন পলিমার ও অন্যান্য প্রয়োজনীয় প্রোডাক্ট। ম্যালেয়িক অ্যানহাইড্রাইড ($C_4H_2O_3$) সংশ্লেষণের দুটি পদ্ধতি আছে। একটি হলো– (১) বেনজিনের জারণ পদ্ধতি এবং অপরটি হলো (২) বিউটেনের জারণ পদ্ধতি।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

১ম পদ্ধতি :



ম্যালেয়িক অ্যানহাইড্রাইড ($C_4H_2O_3$)

২য় পদ্ধতি :



ম্যালেয়িক অ্যানহাইড্রাইড ($C_4H_2O_3$)

> **MCQ-4.2 : গ্রিন বা সবুজ রসায়নের মূলে রয়েছে—**
> (i) ক্ষতিকর বর্জ্য উৎপাদন রোধ
> (ii) সর্বাধিক উৎপাদ তৈরি
> (iii) নবায়নযোগ্য কাঁচামাল ব্যবহার।
> 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 তৈরি না করে বিক্রিয়াবিহীন থাকে। গ্রিন কেমিস্ট্রির অন্যতম নীতি এটম ইকন্যামি হলো

কাঙ্ক্ষিত উৎপাদে বিক্রিয়কের সর্বোচ্চ পরিমাণ পরমাণু অন্তর্ভুক্ত করা। কোনো বিক্রিয়ার শতকরা এটম ইকন্যামি (% AE) কে নিম্নোক্তভাবে প্রকাশ করা হয়।

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

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

১ম পদ্ধতির বেলায়; $\% \text{ এটম ইকন্যামি} = \frac{2 \text{ mol } C_4H_2O_3 \times 100}{(2 \text{ mol } C_4H_2O_3 + 4 \text{ mol } H_2O + 4 \text{ mol } CO_2)}$

$$= \frac{2 \times 98.06 \text{ g} \times 100}{(2 \times 98.06 \text{ g} + 4 \times 18.02 \text{ g} + 4 \times 44.01 \text{ g})} = 44.15\%$$

২য় পদ্ধতির বেলায়; $\% \text{ এটম ইকন্যামি} = \frac{2 \text{ mol } C_4H_2O_3 \times 100}{(2 \text{ mol } C_4H_2O_3 + 8 \text{ mol } H_2O)}$

$$= \frac{2 \times 98.06 \text{ g} \times 100}{(2 \times 98.06 \text{ g} + 8 \times 18.02 \text{ g})} = 57.63\%$$

সিদ্ধান্ত : শতকরা এটম ইকন্যামির মান থেকে সুস্পষ্ট যে,

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

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

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

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

(১) অনুদ্বায়ী জৈবদ্রাবক 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-কেমিস্টগণ শস্যদানা, ইক্ষু বা সুগারকেন ও কাজু বাদামের খোসা থেকে পলিমার উৎপাদন পদ্ধতি উদ্ভাবন করেছেন। এসব উদ্ভাবিত পদ্ধতি হলো পরিবেশবান্ধব 'গ্রিনার' পদ্ধতি।

শিক্ষার্থীর কাজ-৪.১ : গ্রিন কেমিস্ট্রিভিত্তিক :

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

সমস্যা-৪.২(ক) : ভিজিটেবল অয়েল থেকে বায়োডিজেল তৈরি করতে উপজাতরূপে গ্লিসারিন পাওয়া যায়। এ গ্লিসারিনকে নিম্ন সমীকরণ মতে প্রোপালিন গ্লাইকলে রূপান্তরিত করা হয়; যা অটোমোবাইল ইঞ্জিনে অ্যান্টিফ্রিজরূপে ব্যবহৃত হয়। এটি একটি গ্রিনার পদ্ধতি; এক্ষেত্রে % AE হিসাব করো। [উ: 80.85%]

$$CH_2OHCH(OH)CH_2OH + H_2 \xrightarrow[\text{কপার ক্রোমাইট}]{CuCrO_2} CH_3CH(OH)CH_2OH + H_2O$$

সমস্যা-৪.২(খ) : প্রচলিত পুরাতন পদ্ধতি ও নতুন গ্রিনার পদ্ধতিতে নিম্ন সমীকরণ মতে, ইথিলিন থেকে ইথিলিন অক্সাইড (C_2H_4O) উৎপাদন করা হয়। ইথিলিন অক্সাইড ধূম্রজাল সৃষ্টিকারক এবং আর্দ্র-বিশ্লেষণে অ্যান্টিফ্রিজ ইথিলিন গ্লাইকল উৎপন্ন করে। প্রতি ক্ষেত্রে % AE হিসাব করো।

(ক) পুরাতন পদ্ধতি : $C_2H_4 + Cl_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow C_2H_4O + CaCl_2 + H_2O$ [উঃ 25.43%]

(খ) গ্রিনার পদ্ধতি : $C_2H_4 + \frac{1}{2} O_2 \xrightarrow[250^\circ C]{Ag\text{-}catalyst} C_2H_4O$ [উঃ 100%]

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

(i) $2C_6H_6 + 9O_2 \longrightarrow 2C_4H_2O_3 + 4H_2O + 4CO_2$

(ii) $2C_4H_{10} + 7O_2 \longrightarrow 2C_4H_2O_3 + 8H_2O$

কোন্ পদ্ধতিটি গ্রিনার পদ্ধতি হবে, তা % এটম ইকন্যামি থেকে ব্যাখ্যা করো। [অনুধাবনভিত্তিক প্রশ্ন]

৪.২ বিক্রিয়ার দিক–একমুখী ও উভমুখী বিক্রিয়া

Reaction Direction-Irreversible and Reversible

তোমরা নবম-দশম শ্রেণিতে পাঠ্যপুস্তকে জেনেছো, আবদ্ধ পাত্রে চুনাপাথরের তাপীয় বিযোজন একটি উভমুখী বিক্রিয়া। উপযুক্ত পরিবেশে সব বিক্রিয়াকে উভমুখী বলে গণ্য করা হয়। তবে অনেক বিক্রিয়ায় পশ্চাৎবর্তী বিক্রিয়ার হার সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হারের তুলনায় অত্যন্ত নগণ্য। এসব 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 ($\longrightarrow$) ব্যবহৃত হয়। যেমন, পটাসিয়াম ক্লোরেটকে উত্তপ্ত করলে এটি বিযোজিত হয়ে KCl ও অক্সিজেন উৎপন্ন করে। বিপরীতভাবে KCl ও অক্সিজেনের মধ্যে কোনো বিক্রিয়া ঘটে না।

$$\underset{\text{পটাসিয়াম ক্লোরেট}}{2KClO_3(s)} \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{পটাসিয়াম ক্লোরাইড}}{2KCl(s)} + 3O_2(g)$$

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

$$C(s) + O_2(g) \xrightarrow{\text{দহন}} CO_2(g)$$

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

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

$$H_2(g) + I_2(g) \xrightarrow{450^\circ C} 2HI(g)$$

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

$$2HI(g) \xrightarrow{450^\circ C} H_2(g) + I_2(g)$$

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।

$$H_2(g) + I_2(g) \overset{450^\circ}{\rightleftharpoons} 2HI(g)$$

উভমুখী বিক্রিয়াগুলোর সম্মুখদিকে গমনের বেগকে অগ্রবর্তী বা সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হার এবং পশ্চাৎদিকে গমনের বেগকে **পশ্চাৎবর্তী বা বিপরীতমুখী বিক্রিয়ার হার** বলে।

উভমুখী বিক্রিয়ার বৈশিষ্ট্য

(১) উভমুখী বিক্রিয়াগুলো উভয় দিক থেকে শুরু করা যায়।

(২) উভমুখী বিক্রিয়াগুলো সম্পূর্ণ হয় না। অর্থাৎ উভমুখী বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কের শত ভাগ উৎপাদে অথবা উৎপাদের শত ভাগ বিক্রিয়কে পরিণত হয় না।

(৩) উভমুখী বিক্রিয়াগুলোর সাম্যাবস্থায় আসার প্রবণতা আছে।

(৪) উভমুখী বিক্রিয়াকে সমীকরণ আকারে লিখতে সমান (=) চিহ্নের বা একমুখী তীর (⟶) চিহ্নের পরিবর্তে বিপরীতমুখী দুটি অর্ধ-তীর ($\rightleftharpoons$) চিহ্ন ব্যবহার করা হয়।

(৫) উভমুখী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার পশ্চাৎমুখী 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, ঐসব 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 হয়নি। তাই অনেক বিক্রিয়াকে একমুখী বিক্রিয়া বলে গণ্য করা হয়।

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) বদ্ধ পাত্রে উভমুখী বিক্রিয়াকে খোলা পাত্রে একমুখীকরণ : খোলা পাত্রে থাকা বিক্রিয়কসমূহ যদি কঠিন বা তরল হয় এবং একটি উৎপাদ গ্যাসীয় হলে তা সহজেই বিক্রিয়া হতে অপসারিত হয়। ফলে বিক্রিয়াটি একমুখী হয়।

উদাহরণ : বদ্ধ 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।

$$CaCO_3(s) \overset{\Delta}{\rightleftharpoons} CaO(s) + CO_2(g) \text{ [বদ্ধ পাত্রে];}$$

$$CaCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} CaO(s) + CO_2\uparrow(g) \text{ [খোলা পাত্রে]}$$

(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 পৃথক হয়ে পড়ে। ফলে বিক্রিয়াটি একমুখী হয়।

$$NaCl(aq) + AgNO_3(aq) \longrightarrow NaNO_3(aq) + AgCl(s)$$

(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।

$$\underset{\text{ইথাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3COOC_2H_5} + H_2O \rightleftharpoons \underset{\text{ইথাইল অ্যালকোহল}}{C_2H_5OH} + \underset{\text{অ্যাসিটিক এসিড}}{CH_3COOH}$$

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।

$$CH_3COOC_2H_5 + NaOH \longrightarrow C_2H_5OH + CH_3COONa$$

৪.৩ বিক্রিয়ার গতিবেগ বা বিক্রিয়ার হার ও বিক্রিয়ার হারের একক
Rate of Reaction and Unit of Rate of Reaction

কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া প্রতি একক সময়ে যে হারে 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

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

[MAT: 22-23]

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

৪.৩.১ বিক্রিয়ার গতিসূত্র বা বিক্রিয়ার হার সমীকরণ ও বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক
The Rate Law or The Rate Equation and Rate Constant of a Reaction

ভর ক্রিয়ার সূত্র থেকে বিক্রিয়ার হার : ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে, একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার যেকোনো **মুহূর্তে বিক্রিয়ার হার** ঐ বিক্রিয়ার সমতাকৃত সমীকরণ মতে প্রতিটি বিক্রিয়কের মোল-সংখ্যার ঘাতে উন্নীত 'সক্রিয় **ভরের' সমানুপাতিক হয়।** 'সক্রিয় ভর' বলতে বিক্রিয়কের দ্রবণের ক্ষেত্রে 'মোলার ঘনমাত্রা' (mol L^{-1}) এবং গ্যাসীয় বিক্রিয়কের ক্ষেত্রে 'আংশিক চাপ' বোঝায়। সুতরাং বিক্রিয়ার হার প্রতিটি বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার সমানুপাতিক এবং তা বিক্রিয়কের মোলভিত্তিক ঘনমাত্রার ঘাতরূপে আসে। এক্ষেত্রে দুটি সাধারণ বিক্রিয়ার সমীকরণ মতে,

$nA \rightarrow$ উৎপাদ

$\therefore$ বিক্রিয়ার হার $\alpha\ [A]^n$

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

$aA + bB \rightarrow$ উৎপাদ

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

বা, বিক্রিয়ার হার $= k \times [A]^a \times [B]^b$ ... (2)

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

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

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

উত্তপ্ত N_2O_5 (g) এর তাপীয় বিয়োজন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সমতাযুক্ত সমীকরণ ও ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে হার সমীকরণটি প্রকৃত পরীক্ষালব্ধ ফলাফলভিত্তিক বিক্রিয়া-হার সমীকরণের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ নয়।

সমতাকৃত সমীকরণ : $2N_2O_5(g) \xrightarrow{\Delta} 4NO_2(g) + O_2(g)$

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

* পরীক্ষালব্ধ ফলাফলভিত্তিক বিক্রিয়া-হার $= k \times [N_2O_5]$

MCQ-4.3 : বিক্রিয়ার হারের একক কী? [দি. বো. ২০১৭]

(ক) $molLs^{-1}$ (খ) $molL^{-1}s$

(গ) $molL^{-1}s^{-1}$ (ঘ) $mol^{-1}L^{-1}s^{-1}$

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

উদাহরণ :	বিক্রিয়ার হার সমীকরণ :
(1) $H_2(g) + I_2(g) \xrightarrow{\Delta} 2HI(g)$	বিক্রিয়ার হার $= k \times [H_2] \times [I_2]$
(2) $2N_2O_5(g) \xrightarrow{\Delta} 4NO_2(g) + O_2(g)$	বিক্রিয়ার হার $= k \times [N_2O_5]$

(3) $2NO(g) + 2H_2(g) \xrightarrow{\Delta} N_2(g) + 2H_2O(g)$ বিক্রিয়ার হার $= k \times [NO]^2 \times [H_2]$

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

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

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

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

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

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

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

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

বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের বৈশিষ্ট্য :

(১) একটি নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ঐ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের (k-এর) মান সব সময় নির্দিষ্ট থাকে। কিন্তু তাপমাত্রার পরিবর্তন হলে ঐ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মানও পরিবর্তিত হয়।

(২) একই তাপমাত্রায় ভিন্ন ভিন্ন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক (k) এর মানও ভিন্ন হয়।

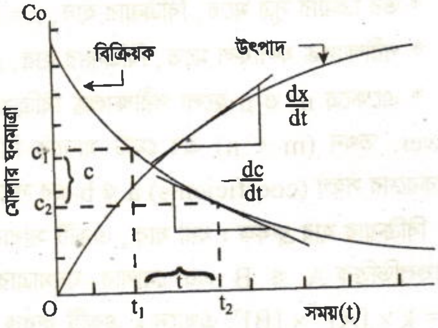
(৩) বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান বেশি হলে তখন ঐ বিক্রিয়ার বেগ বা হার বেশি হয় এবং হার ধ্রুবকের মান কম হলে বিক্রিয়ার বেগ কম হয়।

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

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

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 গ্রাফ পেপারে আলেখিত (plotting) করলে চিত্র-8.১ এর মতো লেখচিত্র পাওয়া যায়।



চিত্র-8.১ : 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 $= (c_2 - c_1) = -\Delta c$

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

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

$\therefore$ বিক্রিয়ার গতিবেগ বা বিক্রিয়ার হার $= \dfrac{-dc}{dt} = \dfrac{dx}{dt}$

$c = t$ 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, অধিক তাপে ডাইনাইট্রোজেন পেন্টাঅক্সাইড (N_2O_5) এর তাপীয় বিযোজনে বায়ুদূষক বাদামি NO_2 গ্যাস ও O_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{বর্ণহীন}}{2N_2O_5(g)} \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{বাদামি}}{4NO_2(g)} + \underset{\text{বর্ণহীন}}{O_2(g)}$$

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

সার ণী-৪.১ : N_2O_5 এর বিয়োজনে (55°C) বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রার পরিবর্তন সময়ের বিপরীতে নিম্নরূপ :

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

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

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

সমা ানকৃত সমস্যা-৪.১ : A → B বিক্রিয়াটিতে A এর প্রাথমিক ঘনমাত্রা 0.275 molL^{-1} এবং বিক্রিয়া শুরু হওয়ার 5 মিনিট :0 সেকেন্ড পরে A-এর ঘনমাত্রা হ্রাস পেয়ে 0.125 molL^{-1} হলো। এ সময়ে গড় বিক্রিয়ার হার নির্ণয় করো।

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

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

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

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

$$aA + bB \rightarrow cC + dD$$

এক্ষে ত্রে সাধারণ বিক্রিয়ার হার নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয় :

বিক্রি য়ার হার, $r = -\dfrac{1}{a} \cdot \dfrac{d[A]}{dt} = -\dfrac{1}{b} \cdot \dfrac{d[B]}{dt} = +\dfrac{1}{c} \cdot \dfrac{d[C]}{dt} = +\dfrac{1}{d} \cdot \dfrac{d[D]}{dt}$

যেমন, $N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$

এক্ষে ত্রে, বিক্রিয়ার হার, $r = -\dfrac{d[N_2]}{dt} = -\dfrac{1}{3} \cdot \dfrac{d[H_2]}{dt} = +\dfrac{1}{2} \cdot \dfrac{d[NH_3]}{dt}$

> **MCQ-4.4 : একটি বিক্রিয়কের আদি ঘনমাত্রা 0.1 molL^{-1} থেকে 20 s পরে ঘনমাত্রা 0.05 molL^{-1} হলে ঐ বিক্রিয়ার হার কত?**
> (ক) 1.5×10^{-2} mol L^{-1} s^{-1}
> (খ) 2.5×10^{-3} mol L^{-1} s^{-1}
> (গ) 2.05 mol L^{-1} s^{-1}
> (ঘ) 2.05×10^{-2} mol L^{-1} s^{-1}

সমাধ নকৃত সমস্যা-৪.২ : বিক্রিয়ক ও উৎপাদ থেকে বিক্রিয়ার হার নির্ণয় :

অ্যাল কোহলীয় পানীয়ের উপাদান ইথানল যৌগটি গ্যাসোলিনের অকটেন নাম্বার বৃদ্ধির সহায়ক। এ তরলটি গ্লুকোজের ফারমেন্টে নে উৎপন্ন হয়। এ বিক্রিয়ার সমতাযুক্ত সমীকরণটি হলো :

$$C_6H_{12}O_6 \text{ (aq)} \longrightarrow 2C_2H_5OH \text{ (aq)} + 2CO_2 \text{ (g)}$$

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

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

দক্ষত (Strategy) : বিক্রিয়া হার নির্ণয়ে সমতাযুক্ত সমীকরণে প্রত্যেক উপাদানের মোল সংখ্যা লক্ষ্য করো।

সমাধান (Solution) : (ক) সমীকরণ মতে, 2 mol ইথানল উৎপন্ন হয় 1 mol গ্লুকোজ থেকে। সুতরাং ইথানল উৎপাদনের হার গ্লুকোজ ফারমেন্টেশন হারের দ্বিগুণ। (খ) যেহেতু ইথানলের উৎপাদন হার হলো $= \frac{1}{2}\ \Delta[C_2H_5OH]/\Delta t$ এবং গ্লুকোজের বিযোজন হার $-\Delta[C_6H_{12}O_6]/\Delta t$; (লক্ষ্য করো বিয়োগ চিহ্ন)।

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩ : অধিক তাপে নাইট্রোজেন পেন্টাঅক্সাইড বিযোজিত হয়ে NO_2 ও O_2 গ্যাস উৎপন্ন হয় :

$$2N_2O_5(g) \rightleftharpoons 4NO_2(g) + O_2(g)$$

এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে যদি 6 সেকেন্ডে NO_2 এর ঘনমাত্রা 3.0×10^{-3} molL^{-1} বৃদ্ধি পায়, তবে বিক্রিয়ার হার নির্ণয় করো।

সমাধান :

বিক্রিয়ার হার $= +\frac{1}{4}\frac{[NO_2]}{\Delta t}$ এক্ষেত্রে $[NO_2] = NO_2$-এর ঘনমাত্রা $= 3 \times 10^{-3}$ molL^{-1}

$= \frac{1}{4} \times \frac{3.0 \times 10^{-3}\ molL^{-1}}{6\ sec}$ Δt = সময়ের ব্যবধান = 6 sec

$= 1.25 \times 10^{-4}\ molL^{-1}\ sec^{-1}$

শিক্ষার্থী নিজে করো-৪.২ : বিক্রিয়ার হারভিত্তিক :

সমস্যা-৪.৩(ক) : বিক্রিয়ার হার কী? [ব. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.৩(খ) : বিক্রিয়ার হার ও বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মধ্যে পার্থক্য কী? [অনুধাবনভিত্তিক প্রশ্ন]

সমস্যা–৪.৪ : সারণি-৪.১ ব্যবহার করে 200 – 300 s সময়ের ব্যবধানে সংঘটিত (a) N_2O_5 এর বিযোজন হার ও (b) O_2 গ্যাসের উৎপন্ন হার গণনা করো। [উ: (a) 1.1×10^{-5} M/s. (b) 1.1×10^{-5} M/s]

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

(1) $H_2 + I_2 \rightarrow 2HI$ (3) $4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O$

(2) $2N_2O_5 \rightarrow 4NO_2 + O_2$ (4) $A + 2B \rightarrow 2C + D$

সমস্যা-৪.৬ : আর্সেনিক এসিড (H_3AsO_4) দ্বারা আয়োডাইড আয়নের জারণ বিক্রিয়ার সমতাযুক্ত সমীকরণ হলো:

$$3I^-(aq) + H_3AsO_4(aq) + 2H^+(aq) \longrightarrow I_3^-(aq) + H_3AsO_3(aq) + H_2O(l)$$

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

(খ) ঐ একই সময়ে H^+ আয়নের বিক্রিয়ার হার কত হবে? [উ: 3.2×10^{-4} M/s]

সমস্যা-৪.৭। $N_2O_5(g)$ এর বিযোজন 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 5.25×10^{-2} molL^{-1} বৃদ্ধি পায়। তবে বিক্রিয়াটির হার কত হবে? [উ: 9.722×10^{-5} molL^{-1}s^{-1}]

সমস্যা-৪.৮ : ইথাইল অ্যাসিটেট ($CH_3COOC_2H_5$) এর অম্লীয় আর্দ্রবিশ্লেষণে 40 মিনিট সময়ে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা 1.0 molL^{-1} থেকে 0.5 molL^{-1} হয়। বিক্রিয়াটির হার কত? [উ: 2.08×10^{-4} molL^{-1}s^{-1}]

সমস্যা-৪.৯ : H_2O_2 এর 0.1 molL^{-1} দ্রবণটি বিযোজিত হয়ে 5 মিনিটে 0.08 molL^{-1} দ্রবণে পরিণত হলো। বিক্রিয়াটির হার কত? [উ: 3.33×10^{-5} molL^{-1}s^{-1}]

সমস্যা-৪.১০ : KI এর দ্রবণে নির্দিষ্ট ঘনমাত্রার H_2O_2 দ্রবণ যোগ করায় 5 মিনিটে 1.0×10^{-2} molL^{-1} আয়োডিন মুক্ত হয়। এ জারণ বিক্রিয়ার হার কত? [উ: 3.33×10^{-5} molL^{-1} 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 3.5×10^{-3} $molL^{-1}$ হলে ঐ বিক্রিয়ার হার কত? [উঃ 1.75×10^{-5} $molL^{-1}$ s^{-1}]

সমস্যা-৪.১২ : $N_2 (g) + 3H_2 (g) \rightarrow 2NH_3 (g)$; এ বিক্রিয়ায় NH_3 উৎপাদন হার বা বিক্রিয়ার হার 4.25×10^{-2} $molL^{-1}$ s^{-1} হলে; তখন N_2 ও H_2 কী হারে বিক্রিয়ায় অংশ নেয় তা নির্ণয় করো।

[উঃ $d[N_2]/dt = 2.125 \times 10^{-2}$ $molL^{-1}s^{-1}$; $d[H_2]/dt = 6.375 \times 10^{-2}$ $molL^{-1}$ s^{-1}]

সমস্যা-৪.১৩ : $4NH_3 (g) + O_2 (g) \xrightarrow{900°C,\ Pt} 4NO (g) + 6H_2O (g)$; এক্ষেত্রে NO এর উৎপাদন হার 5.25×10^{-3} $molL^{-1}$ s^{-1} হলে বিক্রিয়ক NH_3 এর বিক্রিয়া হার এবং স্টিমের উৎপাদন হার কত?

[উঃ $NH_3 = 5.25 \times 10^{-3}$ $molL^{-1}$ s^{-1} এবং স্টিম $= 7.875 \times 10^{-3}$ $molL^{-1}$ s^{-1}]

সমস্যা-৪.১৪ : $2A \rightarrow 3B + C$ বিক্রিয়াটির বেলায়, B উৎপাদটি 2.75×10^{-2} $molL^{-1}$ s^{-1} হারে উৎপন্ন হলে A ও C এর সাপেক্ষে বিক্রিয়া হার বের করো। [উঃ $A = 1.8332 \times 10^{-2}$ $molL^{-1}s^{-1}$; $C = 9.166 \times 10^{-3}$ $molL^{-1}$ s^{-1}]

অধিক জেনে নাও :

রাসায়নিক গতিবিদ্যায় (i) বিক্রিয়ার হার ও (ii) বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক এর সাথে (iii) বিক্রিয়ার ক্রম (Order of reaction) নামে একটি প্রয়োজনীয় 'পদ' (term) আছে। বিক্রিয়ার ক্রমের ওপর বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের একক নির্ভর করে।

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

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

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

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

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

যেমন, $H_2 (g) + Cl_2 (g) \xrightarrow{h\upsilon} 2HCl (g)$ [সূর্যালোক প্রভাবিত বিক্রিয়া]

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

$\therefore$ k এর একক $= molL^{-1}.s^{-1}$ (হারের একক)

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

$$2N_2O_5 (g) \longrightarrow 4NO_2 (g) + O_2 (g)$$

$\therefore$ বিক্রিয়ার হার $= k \times [N_2O_5]^1$;

$$\therefore k \text{ এর একক} = \frac{\text{বিক্রিয়ার হারের একক}}{[N_2O_5] \text{ এর একক}} = \frac{M.s^{-1}}{M} = s^{-1}$$

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

$H_2 (g) + I_2 (g) \longrightarrow 2HI (g)$; $2NOCl (g) \rightarrow 2NO (g) + Cl_2 (g)$

$2NO_2 (g) \longrightarrow 2NO (g) + O_2 (g)$; $NO_2 (g) + CO (g) \rightarrow NO (g) + CO_2 (g)$

$\therefore$ বিক্রিয়ার হার $= k \times [H_2]^1 \times [I_2]^1$;

$\therefore$ k এর একক = $\frac{\text{বিক্রিয়ার হারের একক}}{[H_2] \times [I_2] \text{ এর একক}} = \frac{M.s^{-1}}{M^2} = M^{-1}.s^{-1}$

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

$$2NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g); \quad NO(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2NOCl(g)$$

$\therefore$ বিক্রিয়ার হার = $k \times [NO]^2 \times [O_2]^1$;

$\therefore$ k এর একক = $\frac{\text{বিক্রিয়ার হারের একক}}{[NO]^2 \times [O_2] \text{ এর একক}} = \frac{M.s^{-1}}{M^3} = M^{-2}s^{-1}$

(১) প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার সংজ্ঞা : যে বিক্রিয়ার হার একটি মাত্র বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার ১ম ঘাতের সমানুপাতিক হয়, তাকে ১ম ক্রম বিক্রিয়া বলে। অর্থাৎ $\frac{-dC}{dt} = \frac{dx}{dt} = k_1C^1$; এখানে C ও x হলো যথাক্রমে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রা।

*** প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক (k_1) এর রাশিমালা নির্ণয় :**

প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার সমীকরণরূপে নিচের সাধারণ সমীকরণটি বিবেচনা করা হলো :

	A (বিক্রিয়ক) $\longrightarrow$	উৎপাদ (B)
প্রাথমিক ঘনমাত্রা :	a mol L^{-1}	0 mol L^{-1}
t সময় পর ঘনমাত্রা :	(a – x) mol L^{-1}	x mol L^{-1}

সুতরাং যেকোনো 't' সময় পর ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে ১ম ক্রম বিক্রিয়ার হার হবে :

$\frac{dx}{dt} \propto (a-x)^1$; বা, $\frac{dx}{dt} = k_1 \times (a-x)$; বা, $\frac{dx}{(a-x)} = k_1 \times dt$; এখানে k_1 হলো বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক।

এখন সমীকরণটির উভয়দিকে সমাকলন করে পাই, $\int \frac{dx}{(a-x)} = k_1 \times \int dt$

বা, $-\ln(a-x) = k_1t + C_1$ (সমাকলন ধ্রুবক) ... (1)

বিক্রিয়ার শুরুতেই অর্থাৎ t = 0 হলে তখন x = 0 হয়; এ শর্ত (1) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই,

$-\ln a = C_1$ (সমাকলন ধ্রুবক)। এ মান (1) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই,

$-\ln(a-x) = k_1 \times t - \ln a$; বা, $k_1 \times t = \ln a - \ln(a-x)$

বা, $k_1 \times t = \ln\frac{a}{(a-x)}$; বা, $k_1 = \frac{1}{t} \times \ln\frac{a}{(a-x)}$; $\boxed{k_1 = \frac{2.303}{t} \times \log\frac{a}{(a-x)}}$ ... (2)

*** প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার ৩টি বৈশিষ্ট্য :**

(i) ১ম ক্রম বিক্রিয়া কখনো সম্পূর্ণভাবে শেষ হয় না।

(ii) ১ম ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধায়ু ($t_{1/2}$) বিক্রিয়কের প্রাথমিক ঘনমাত্রার ওপর নির্ভর করে না। কোনো বিক্রিয়ায় উপস্থিত বিক্রিয়কের অর্ধেক বা 50% উৎপাদে পরিণত হতে (বাকি অর্ধেক অবশিষ্ট রেখে) যে সময় লাগে, তাকে **বিক্রিয়াটির অর্ধায়ু** ($t_{1/2}$) বলে।

(iii) ১ম ক্রম বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক (k_1) বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার ওপর নির্ভর করে না। নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় k_1 এর মান ধ্রুব থাকে। কারণ $k_1 = \frac{2.303}{t} \times \log\frac{a}{(a-x)}$ এক্ষেত্রে 'a' ও '(a – x)' মোলার ঘনমাত্রার অনুপাত হিসেবে আছে।

*** প্রথম ক্রম বিক্রিয়া কখনো সম্পূর্ণভাবে শেষ হয় না কেন? এর ব্যাখ্যা :**

প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার প্রাথমিক মোলার ঘনমাত্রা 'a' এবং t সময় পরে উৎপাদের ঘনমাত্রা 'x' ধরে বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের সমীকরণ হয় :

$k_1 = \frac{1}{t} \ln \frac{a}{(a-x)}$; বা, $\ln \frac{a}{(a-x)} = k_1 \times t$; বা, $\ln \frac{(a-x)}{a} = -k_1 \times t$

বা, $\frac{(a-x)}{a} = e^{-k_1 \times t}$; বা, $(a-x) = a \times e^{-k_1 \times t}$

বিক্রিয়াটি সম্পূর্ণভাবে শেষ হলে $(a-x) = 0$ হতে হবে। বা, $0 = a \times e^{-k_1 \times t}$

বা, $0 = \frac{a}{e^{k_1 t}}$; বা, $e^{k_1 t} = \frac{a}{0} = \infty$ (অসীম)। এক্ষেত্রে $k_1 \neq 0$; তাই $t = \infty$ (অসীম) হবে। তাই ১ম ক্রম বিক্রিয়া সম্পূর্ণভাবে বা পরমভাবে শেষ হয় না।

*** প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধায়ু ($t_{1/2}$) প্রাথমিক ঘনমাত্রা নির্ভর নয় কেন? এর ব্যাখ্যা :**

প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের সমীকরণে $t = t_{1/2}$ এবং $x = a/2$ বসিয়ে পাই,

$k_1 = \frac{1}{t} \times \ln \frac{a}{(a-x)}$; বা, $t_{1/2} = \frac{1}{k_1} \times \ln \frac{a}{(a-a/2)}$

বা, $t_{1/2} = \frac{1}{k_1} \times \ln \frac{a}{a/2}$; বা, $t_{1/2} = \frac{1}{k_1} \times \ln 2$; বা, $t_{1/2} = \frac{0.693}{k_1}$ । এ অর্ধায়ুর সমীকরণে বিক্রিয়কের প্রাথমিক ঘনমাত্রা 'a' নিই। তাই ১ম ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধায়ু k_1 নির্ভর ধ্রুব থাকে।

প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধায়ুর তাৎপর্য : $t_{1/2} = 0.693/k_1$ সমীকরণ মতে, কোনো ১ম ক্রম বিক্রিয়ায় কোনো প্রদত্ত আয়তনে 1 mol কোনো বিক্রিয়ককে 0.5 mol পরিমাণে পরিণত করতে যে সময় লাগে, একই আয়তনে অবশিষ্ট 0.5 mol বিক্রিয়ককে 0.25 mol পরিমাণে পরিণত করতে ঐ একই সময় লাগে। একইভাবে ঐ নির্দিষ্ট আয়তনে 0.25 mol কে 0.125 mol এ পরিণত করতে একই সময় লাগে। এটিই হলো ১ম ক্রম বিক্রিয়ার $t_{1/2}$ এর তাৎপর্য।

(২) দ্বিতীয় ক্রম বিক্রিয়ার সংজ্ঞা : যে বিক্রিয়ার হার একটি মাত্র বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার বর্গের বা ২য় ঘাতের সমানুপাতিক অথবা দুটি বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার গুণফলের সমানুপাতিক হয়, তাকে ২য় ক্রম বিক্রিয়া বলে।

অর্থাৎ, $\frac{-dC}{dt} = \frac{dx}{dt} = k_2C^2$ ।

*** দ্বিতীয় ক্রম বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক (k_2) এর রাশিমালা নির্ণয় :**

(ক) একটিমাত্র বিক্রিয়ক (A) সহযোগে ২য় ক্রম বিক্রিয়ার সমীকরণটি নিম্নরূপ :

	2A (বিক্রিয়ক)	$\rightarrow$	উৎপাদ (B)
প্রাথমিক ঘনমাত্রা :	a mol L^{-1}		0 mol L^{-1}
t সময় পর ঘনমাত্রা :	(a – x) mol L^{-1}		x mol L^{-1}

সুতরাং যেকোনো 't' সময় পর ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে ২য় ক্রম বিক্রিয়ার হার হবে :

$\frac{dx}{dt} \propto (a-x)^2$; বা, $\frac{dx}{dt} = k_2 \times (a-x)^2$; এখানে k_2 হলো ২য় ক্রম বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক।

$\therefore \frac{dx}{(a-x)^2} = k_2 \times dt$; এ সমীকরণের উভয় দিকে সমাকলন করে পাই,

$\int \frac{dx}{(a-x)^2} = k_2 \int dt$; বা, $\frac{1}{(a-x)} = k_2 \times t + C_2$ (সমাকলন ধ্রুবক) ... (1)

যখন বিক্রিয়ার শুরুতে $t = 0$, তখন $x = 0$ হয়। এ মানগুলো (1) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই, $C_2 = \frac{1}{a}$ ।

এখন C_2 এর মান (1) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই, $k_2 \times t = \frac{1}{(a-x)} - \frac{1}{a}$; বা, $\boxed{k_2 = \frac{1}{t} \times \frac{x}{a(a-x)}}$

এটিই হলো একটি বিক্রিয়কভিত্তিক ২য় ক্রম বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক (k_2) এর সমীকরণ।

* দ্বিতীয় ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধায়ু ($t_{1/2}$) একটি মাত্র বিক্রিয়কের প্রাথমিক ঘনমাত্রা (a mol L^{-1}) ব্যস্তানুপাতিক হয়।

$k_2 = \frac{1}{t} \times \frac{x}{a(a-x)}$ সমীকরণে $t = t_{1/2}$; $x = a/2$ বসিয়ে সরল করে পাই,

$t_{1/2} = \frac{1}{k_2} \times \frac{1}{a}$; বা, $t_{1/2} \propto \frac{1}{a}$; [এক্ষেত্রে $\frac{1}{k_2}$ হলো ধ্রুবক]

গাণিতিক সমস্যা-১। কোনো প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধায়ু 15 min হলে বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক কত?

সমাধান : প্রশ্নমতে, $t_{1/2} = 15$ min

আমরা জানি, $t_{1/2} = \frac{0.693}{k}$; $\therefore k = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{15} = 4.62 \times 10^{-2}\ min^{-1}$ **(উত্তর)**।

গাণিতিক সমস্যা-২। কোনো প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধেক পরিমাণ পদার্থ 400 s-এ বিয়োজিত হয়। কতক্ষণ পরে মাত্র এক-অষ্টমাংশ পদার্থ অবশিষ্ট থাকবে?

সমাধান : প্রশ্নমতে, $t_{1/2} = 400$ s

আমরা জানি, প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার $t_{1/2} = \frac{0.693}{k}$ $\therefore k = \frac{0.693}{400} = 1.7325 \times 10^{-3}\ s^{-1}$

প্রাথমিক ঘনমাত্রা a হলে, এক-অষ্টমাংশ পদার্থ অবশিষ্ট থাকলে অর্থাৎ $(a - x) = a/8$

আমরা জানি, $t = \frac{2.303}{k} \log\frac{a}{a-x} = \frac{2.303}{k} \log\frac{a}{a/8}$

$$= \frac{2.303}{1.7325 \times 10^{-3}} \log 8 = 1.3293 \times 10^{-3} \times 0.90309 = 1200\ s.$$ **(উত্তর)**।

গাণিতিক সমস্যা-৩। একটি প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার 30% সম্পন্ন হয় 60 মিনিটে। উক্ত বিক্রিয়াটির অর্ধায়ু এবং হার ধ্রুবক নির্ণয় করো।

সমাধান : এখানে উৎপাদ, $x = 30\%\ a = 0.3a$. মোট সময়, $t = 60$ min.

প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক, $k = \frac{2.303}{t} \log\frac{a}{a-x}$; বা, $k = \frac{2.303}{60\ min} \log\frac{a}{a-0.3a}$;

বা, $k = \frac{2.303}{60\ min} \log\frac{10}{7} = \frac{2.303 \times 0.1549}{60\ min} = 5.946 \times 10^{-3}\ min^{-1}$

আবার, প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধায়ু, $t_{1/2} = \frac{0.693}{k} = \frac{0.693}{5.946 \times 10^{-3}\ min^{-1}} = 116.55$ min **(উত্তর)**।

গাণিতিক সমস্যা-৪। একটি ১ম ক্রম বিক্রিয়ার প্রারম্ভিক ঘনমাত্রা 0.6 mol^{-1} থেকে 0.2 mol L^{-1} ঘনমাত্রায় হ্রাস পেতে 5 min সময় লাগে। বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক কত?

সমাধান : প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার বেলায়,

$$k = \frac{2.303}{t} \times \log \frac{a}{a-x}$$

$$= \frac{2.303}{5} \times \log \frac{0.6}{0.2}$$

$= 0.2198\ min^{-1}$ (উত্তর)।

প্রশ্নমতে, বিক্রিয়কের প্রারম্ভিক ঘনমাত্রা, $a = 0.6\ mol\ L^{-1}$

5 min পর ঘনমাত্রা, $(a - x) = 0.2\ mol\ L^{-1}$

মোট সময়, $t = 5$ min

বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক, $k = ?$

গাণিতিক সমস্যা-৫। 35°C তাপমাত্রায় CCl_4 মাধ্যমে নাইট্রোজেন পেন্টঅক্সাইড ঘনমাত্রা এক-তৃতীয়াংশ হ্রাস পেতে কত সময় লাগবে? ঐ তাপমাত্রার $k = 1.35 \times 10^{-4}\ s^{-1}$।

সমাধান : এখানে $x = a/3$, $k = 1.35 \times 10^{-4}\ s^{-1}$; $t = t_{1/3} = ?$

প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের সমীকরণ মতে, $k = \frac{2.303}{t} \log \frac{a}{a-x}$; বা, $t = \frac{2.303}{k} \log \frac{a}{a-x}$

$$\therefore t_{1/3} = \frac{2.303}{1.35 \times 10^{-4}} \log \frac{a}{a - a/3} = \frac{2.303}{1.35 \times 10^{-4}} \log 3/2 = 3004\ s = 50.05\ min$$ (উত্তর)।

গাণিতিক সমস্যা-৬। একটি ১ম ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধেক পরিমাণ বিক্রিয়ক বিয়োজিত হয় 300 সেকেন্ডে। কতক্ষণ পর ঐ বিক্রিয়কের এক-অষ্টমাংশ অবশিষ্ট থাকবে?

সমাধান : প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধায়ু,

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{k}$$

বা, $k = \frac{0.693}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{300\ s}$

বা, $k = 2.31 \times 10^{-3}\ s^{-1}$

প্রশ্নমতে, বিক্রিয়ার অর্ধায়ু, $t_{1/2} = 300$ s

বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক, $k = ?$

প্রাথমিক ঘনমাত্রা = a (ধরে)

t সময়ের পর অবশিষ্ট থাকে, $(a - x) = a/8$

প্রয়োজনীয় সময়, $t = ?$

প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের সমীকরণ :

$$k = \frac{2.303}{t} \times \log \frac{a}{(a-x)}\ ;\ \text{বা, } t = \frac{2.303}{k} \times \log \frac{a}{a/8}\ ;\ \text{বা, } t = \frac{2.303}{2.31 \infty 10^{-3}} \times \log 8$$

বা, $t = \frac{2.303 \times 10^3\ s}{2.31} \times 0.90309 = 900.4s$ (প্রায়)

গাণিতিক সমস্যা-৭। দেখাও যে, একটি ১ম ক্রম বিক্রিয়ার বিক্রিয়কটির 99.9% শেষ হতে যে সময় লাগে, তা বিক্রিয়কটির অর্ধেক শেষ হওয়ায় সময়ের প্রায় 10 গুণ হয়। [বুয়েট: ২০১৪–১৫]

সমাধান : ১ম ক্ষেত্রে $a = 100\ mol\ L^{-1}$, $x = 99.9\ mol\ L^{-1}$ ধরে k_1 ও 't' সময়ের সম্পর্ক বের করতে হবে। ২য় ক্ষেত্রে বিক্রিয়াটির $t_{1/2}$ বের করে শেষে উভয় সময়ের তুলনা করতে হবে।

১ম ক্ষেত্রে : $k_1 = \frac{1}{t} \times \ln \frac{a}{(a-x)} = \frac{1}{t} \times \ln \frac{100}{(100-99.9)} = \frac{1}{t} \times \ln \frac{100}{0.1}$

$$\therefore k_1 = \frac{1}{t} \times \ln 1000 = \frac{6.908}{t} \quad \ldots (1)$$

২য় ক্ষেত্রে : বিক্রিয়াটির অর্ধায়ু ($t_{1/2}$) এর সমীকরণ মতে,

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{k_1} \;;\; \text{বা, } k_1 = \frac{0.693}{t_{1/2}} \quad \ldots \quad (2)$$

সমীকরণ (1) ও (2) থেকে পাই, $\frac{6.908}{t} = \frac{0.693}{t_{1/2}}$; $\therefore \frac{t}{t_{1/2}} = \frac{6.908}{0.693} = 9.97 \approx 10$ (প্রায়) প্রমাণিত।

গাণিতিক সমস্যা-৮। 500°C তাপমাত্রায় সাইক্লো বিউটেন (C_4H_8) এর বিয়োজন একটি ১ম ক্রম বিক্রিয়া। এ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক $9.2 \times 10^{-3}\ s^{-1}$। উক্ত নমুনার 1.0 M দ্রবণের 90% বিয়োজন হতে কত সময় লাগবে?

[চুয়েট: ২০১৪–১৫]

সমাধান : এক্ষেত্রে $a = 1.0$ mol, $x = 0.9$ mol, $(a - x) = (1 - 0.9) = 0.1$ mol

$k_1 = 9.2 \times 10^{-3}\ s^{-1}$ । সময়, $t = ?$

$$\therefore k_1 = \frac{1}{t} \times \ln\frac{a}{(a-x)} \;;\; t = \frac{1}{9.2 \times 10^{-3}\ s^{-1}} \times \ln\frac{1.0}{0.1} \;;\; \text{বা, } t = \frac{2.303 \times 10^3\ s}{9.2} = 250.33\ s \text{ (উত্তর)।}$$

গাণিতিক সমস্যা-৯। গ্যাসীয় অবস্থায় সাইক্লোপ্রোপেন থেকে সাইক্লোপ্রোপিন তৈরি একটি ১ম ক্রম বিক্রিয়া। 500°C-এ $k_1 = 6.7 \times 10^{-4}\ s^{-1}$ হয়। [কুয়েট: ২০১৬–১৭]

(ক) সাইক্লোপ্রোপেনের প্রাথমিক ঘনমাত্রা 0.25 M হলে 8.8 min পর এর ঘনমাত্রা কত হবে?

(খ) সাইক্লোপ্রোপেনের ঘনমাত্রা 0.25 M থেকে হ্রাস পেয়ে 0.15 M হতে কত সময় লাগবে?

সমাধান : (ক) এক্ষেত্রে, $a = 0.25$ M, $t = 8.8$ min, $k_1 = 6.7 \times 10^{-4}\ s^{-1}$, $(a - x) = ?$

$$\therefore k_1 = \frac{1}{t} \times \ln\frac{a}{(a-x)} \;;\; \text{বা, } 6.7 \times 10^{-4}\ s^{-1} = \frac{1}{8.8 \times 60\ s} \times \ln\frac{0.25}{(a-x)}$$

বা, $0.35376 = \ln\frac{0.25}{(a-x)}$; উভয় দিকে anti-ln নিয়ে পাই,

$1.4244 = \frac{0.25}{(a-x)}$; বা, $(a-x) = \frac{0.25}{1.4244} = 0.175$ M **(উত্তর)**।

(খ) এক্ষেত্রে, $a = 0.25$ M এবং $(a - x) = 0.15$ M; $t = ?$; $k_1 = 6.7 \times 10^{-4}\ s^{-1}$

$$\therefore k_1 = \frac{1}{t} \times \ln\frac{a}{(a-x)} \;;\; \text{বা, } t = \frac{t}{6.7 \times 10^{-4}\ s^{-1}} \times \ln\frac{0.25}{0.15} = \frac{0.5108 \times 10^4\ s}{6.7}$$

বা, $t = 762.4$ sec $= 12.7$ min **(উত্তর)**।

৪.৩.২ বিক্রিয়ার হারের ওপর প্রভাব বিস্তারকারী নিয়ামকসমূহ

Factors that Affect the Rate of a Reaction

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

(১) তাপমাত্রা (Temperature) : সাধারণত তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে বিক্রিয়ার হারও বৃদ্ধি পায়। যেমন, সোডিয়াম থায়োসালফেট ($Na_2S_2O_3$) এবং HCl এসিডের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে দেখা যায় 20°C তাপমাত্রায় সালফারের অধঃক্ষেপণ হার যত হয়; 30°C তাপমাত্রায় সালফারের অধঃক্ষেপণ হার এর দ্বিগুণের বেশি হয়।

$$Na_2S_2O_3\,(aq) + 2HCl\,(aq) \longrightarrow S\,(s) + 2NaCl\,(aq) + H_2O\,(l) + SO_2\,(g)$$

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—

[MAT: 8-9]

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

* (i) অণুগুলোর মধ্যে সংঘর্ষের হার বৃদ্ধি পায়।
* (ii) অধিকতর সংখ্যক বিক্রিয়ক অণু বিক্রিয়ার জন্য প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে থাকে।

(ক) সক্রিয়ণ শক্তি (activation energy) : কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার বিক্রিয়কের একটি অংশ পারস্পরিক আণবিক সংঘর্ষ দ্বারা বা অন্য কোনো উপায়ে বিক্রিয়কের গড় শক্তি 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** (activated molecules)। সক্রিয় অণুগুলোই কেবল বিক্রিয়ায় অংশ নিতে পারে এবং অবশিষ্ট অণুগুলো সক্রিয়ণকৃত না হওয়া পর্যন্ত বিক্রিয়ায় অংশ নিতে পারে না।

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

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

[MAT: 20-21]

- k : rate constant [হার ধ্রুবক]
- p : steric factor [স্থানিক দিক বিন্যাস]
- Z : collision rate [সংঘর্ষ হার]
- $e^{-E_a/RT}$: fraction of molecules with activation energy [সক্রিয়ণ শক্তি প্রাপ্ত মোট অণুর ভগ্নাংশ]

আবার p × z এ দুটি রাশিকে একত্রে A প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয়। তখন A কে বলা হয় অ্যারহেনিয়াস ফ্রিক্যুয়েন্সি ফ্যাক্টর এবং অ্যারহেনিয়াস সমীকরণটির নতুন রূপ হয় : $k = A.e^{-Ea/RT}$

এখানে, E_a = বিক্রিয়কের সক্রিয়ণ শক্তি, R = সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক, 8.3 $JK^{-1}mol^{-1}$ T = কেলভিন তাপমাত্রা

অ্যারহেনিয়াস সমীকরণের উভয় পার্শ্বে natural logarithm নিয়ে পাই,

RMDAC

$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$ ... (১) অথবা, $\log k = \log A - \frac{E_a}{2.303\ RT}$

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

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

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

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

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

বা, $\ln\frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R} \times \left[\frac{T_1 - T_2}{T_1T_2}\right]$ ... (৫)

বা, $\log\frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303\ R} \times \left[\frac{T_2 - T_1}{T_1 \times T_2}\right]$ ... (৬)

> **MCQ-4.5 : রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারের ওপর প্রভাব আছে—**
> (i) তাপমাত্রা (ii) ঘনমাত্রা (iii) চাপের
> নিচের কোনটি সঠিক?
> (ক) i ও ii (খ) ii ও iii
> (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

(খ) দুই ভিন্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়া হারের তুলনা : পরীক্ষার মাধ্যমে 27°C তাপমাত্রায় নির্ণীত অধিকাংশ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মান, E_a = 55 $kJmol^{-1}$ বা, 55000 $Jmol^{-1}$ হয়। মনে করি, 27°C ও 37°C তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক যথাক্রমে k_1 ও k_2। এক্ষেত্রে 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে ঐ বিক্রিয়ার হারের তুলনা করা হলো :

অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ মতে,

$$\log\frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303\ R} \times \left[\frac{T_2 - T_1}{T_1T_2}\right]$$

এক্ষেত্রে, E_a = 55 $kJmol^{-1}$ = 55000 J mol^{-1}

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

তাপমাত্রা, T_1 = (27 + 273) K = 300 K

তাপমাত্রা, T_2 = (37 + 273) K = 310 K

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

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

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

$\therefore k_2 = 2k_1$; সুতরাং 27°C তাপমাত্রা থেকে 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে প্রায় সব বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক দ্বিগুণ হয়ে থাকে।

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

27°C-এ কোনো অধিকাংশ বিক্রিয়ার নির্ণীত প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি, $E_a = 50\ \text{kJmol}^{-1}$ বা, $50,000\ \text{Jmol}^{-1}$।

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

$$\therefore f = e^{-Ea/RT} = e^{\frac{-50.000}{8.3 \times 300}} = e^{-20.08} = 1.90 \times 10^{-9} = \frac{19}{10^{10}}$$

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

$$f = e^{-Ea/RT} = e^{\frac{-50.000}{8.3 \times 310}} = e^{-19.48} = 3.63 \times 10^{-9} = \frac{36.3}{10^{10}}$$

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

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

(গ) লেখচিত্র দ্বারা সক্রিয়ণ শক্তির গণনা :

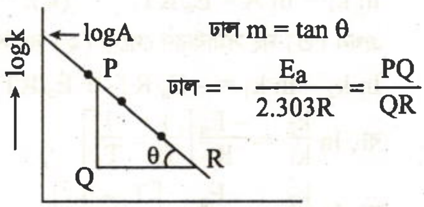
অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ অনুসারে,

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

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

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

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



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

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

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

* লক্ষ্য করো, অ্যারহেনিয়াস সমীকরণের লেখচিত্রের ঢাল হলো ঋণাত্মক কেলভিন (K); কিন্তু সক্রিয়ণ শক্তি (E_a) এর মান ধনাত্মক। এ থেকে বোঝা যায়, **কোনো প্রদত্ত তাপমাত্রা বৃদ্ধির ক্ষেত্রে কোনো নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার জন্য সক্রিয়ণ শক্তি যতই বেশি হবে; লেখচিত্রে ঢাল ততই খাড়া (steeper) হবে এবং বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক ততই বেশি হবে।**

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

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

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪ : গ্যাসীয় অবস্থায় HI এর বিয়োজন বিক্রিয়ায় ভিন্ন ভিন্ন কেলভিন তাপমাত্রায় (T) হার ধ্রুবক (k) নির্ণয় শেষে lnk বনাম T^{-1} লেখচিত্র (গ্রাফ) অঙ্কন করে প্রাপ্ত সরলরেখার ঢাল পাওয়া গেল -2.24×10^4K বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি কত?

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

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

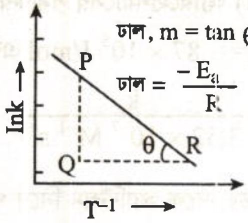
সমাধান : সক্রিয়ণ শক্তি, $E_a = -$ ঢাল $\times$ R

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

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

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

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



প্রশ্নমতে, ঢাল, $m = -2.24 \times 10^4$ K
$R = 8.314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫ : গ্যাসীয় অবস্থায় N_2O_5 এর বিয়োজন বিক্রিয়ায় ভিন্ন ভিন্ন কেলভিন তাপমাত্রায় (T) হার ধ্রুবক (k) নির্ণয় করা হলো। প্রাপ্ত ডাটা (data) থেকে log k বনাম T^{-1} লেখচিত্র অঙ্কন করে প্রাপ্ত সরলরেখার ঢাল হয় -96.5×10^2 K। বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি গণনা করো।

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

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

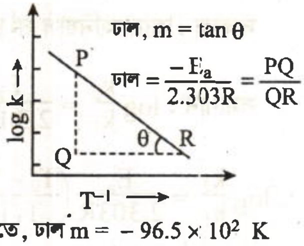
সমাধান : সক্রিয়ণ শক্তি, $E_a = -$ ঢাল $\times$ 2.303 R

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

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

বা, $E_a = 184.77 \text{ kJmol}^{-1}$

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



প্রশ্নমতে, ঢাল $m = -96.5 \times 10^2$ K
$R = 8.314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬ : গ্যাসীয় অবস্থায় HI এর বিয়োজন হার ধ্রুবক 283°C ও 508°C-এ যথাক্রমে, $k_1 = 3.52 \times 10^{-7} (M^{-1}s^{-1})$ এবং $k_2 = 3.95 \times 10^{-2} (M^{-1}s^{-1})$ হয়। $2HI(g) \longrightarrow H_2(g) + I_2(g)$

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

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

দক্ষতা (Strategy) : অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ, $\ln\frac{k_2}{k_1} = \frac{-E_a}{R} \times \left[\frac{T_1 - T_2}{T_1T_2}\right]$

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

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

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

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

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

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

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

$E_a = 1.87 \times 10^5\ J/mol$ এবং $T_3 = 566\ K$ বসিয়ে T_3 তাপমাত্রায় k_3 বের করতে হবে।

$$\ln\frac{k_3}{3.52 \times 10^{-7}\ M^{-1}\ s^{-1}} = \frac{-1.87 \times 10^5\ Jmol^{-1}}{8.314\ Jmol^{-1}\ K^{-1}} \times \frac{(556 - 566)}{556 \times 566} K^{-1} = 0.715$$

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

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

> **MCQ-4.6 : বিক্রিয়ার হারের একক কী?** [সি. বো. ২০১৭]
>
> (ক) $molL^{-1}\ s^{-1}$ (খ) $molL\ s^{-1}$
>
> (গ) $mol\ dm^3\ s^{-1}$ (ঘ) $mol^{-1}Ls$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭ : H_2 ও I_2 এর বিক্রিয়ায় HI উৎপাদনের সমীকরণটি হলো—

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$$

227°C ও 257°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 করো।

দক্ষতা : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ, $\log\frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R} \times \left[\frac{T_2 - T_1}{T_1T_2}\right]$ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : $\log\frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1T_2}\right)$

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

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

T_1 = প্রথম তাপমাত্রা = (227 + 273) K = 500 K

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

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

E_a = সক্রিয়ণ শক্তি = ?

$$\therefore \log\frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1T_2}\right)$$

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

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৮ : 45°C তাপমাত্রায় একটি বিক্রিয়ার বেগ ধ্রুবক 35°C তাপমাত্রায় এর বেগ ধ্রুবকের দ্বিগুণ হলে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি কত?

দক্ষতা : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : $\log\frac{k_1}{k_2} = \frac{-E_a}{2.303R}\left[\frac{T_2 - T_1}{T_2T_1}\right]$

বা, $\log\frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R}\left[\frac{T_2 - T_1}{T_2T_1}\right]$

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

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

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

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

এখানে, $T_1 = (35 + 273) = 308$ K

এবং $T_2 = (45 + 273) = 318$ K

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

মনে করি, T_1 তাপমাত্রায় বেগ ধ্রুবক $= k_1$

এবং T_2 তাপমাত্রায় বেগ ধ্রুবক $= 2k_1$

$E_a = ?$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৯ : নাইট্রোজেন পেন্টাক্সাইডের বিযোজন ($2N_2O_5 \rightarrow 4N_2O_4 + O_2$) হার ধ্রুবকের মান 25°C ও 65°C তাপমাত্রায় যথাক্রমে 3.46×10^{-5} s^{-1} ও 4.87×10^{-3} s^{-1}। এ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মান কত হবে? ($R = 8.314$ $JK^{-1}mol^{-1}$)

দক্ষতা : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : $\log\frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303\ R}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1T_2}\right)$

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

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

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

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

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

এখানে, $T_1 = (25 + 273) = 298$ K

এবং $T_2 = (65 + 273) = 338$ K

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

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

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

$E_a = ?$

শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৩ : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণভিত্তিক :

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

সমস্যা-৪.১৫ (খ) : অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ $k = p.z.e^{-Ea/RT}$ এর ক্ষেত্রে তাপমাত্রা T_1 ও T_2 এর বেলায় হার ধ্রুবক k_1 ও k_2 ধরে $\ln\frac{k_2}{k_1} = \frac{-Ea}{R} \times \left[\frac{T_1 - T_2}{T_1 \times T_2}\right]$ সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করো। [অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-৪.১৫ (গ) : একটি বিক্রিয়ার ভিন্ন ভিন্ন তাপমাত্রায় বেগ ধ্রুবকের মান লেখচিত্র logk বনাম T^{-1} এর বিপরীতে স্থাপন করে যে সরলরেখা পাওয়া যায় তার ঢাল -2.872×10^3 K হয়। বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মান নির্ণয় করো। [উঃ 55 $kJ.mol^{-1}$]

সমস্যা-৪.১৫ (ঘ) : $Ag_2CO_3 (s) \rightleftharpoons Ag_2O (s) + CO_2 (g)$ এ বিক্রিয়ার বিভিন্ন তাপমাত্রায় বেগ ধ্রুবকের মান নির্ণয় করে logk বনাম T^{-1} স্থাপন করে লেখচিত্র অঙ্কন করলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় তার ঢাল –82 K। বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তির মান গণনা করো। [উঃ $1.57\ kJmol^{-1}$]

সমস্যা-৪.১৫ (ঙ) : $2HI (g) \rightleftharpoons H_2 (g) + I_2 (g)$ এ বিক্রিয়ায় বিভিন্ন তাপমাত্রায় বেগ ধ্রুবকের মান নির্ণয় করে lnk বনাম T^{-1} এর বিপরীতে অঙ্কিত লেখচিত্রে যে সরলরেখা পাওয়া যায় তার ঢাল -2.24×10^4 K হয়। বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি গণনা করো। [উঃ $186.23\ kJmol^{-1}$]

সমস্যা-৪.১৬ : N_2O_5 এর বিয়োজন হার ধ্রুবক 25°C ও 55°C তাপমাত্রায় যথাক্রমে $3.7 \times 10^{-5}\ s^{-1}$ এবং $1.7 \times 10^{-3}\ s^{-1}$ হয়। $2N_2O_5 (g) \rightleftharpoons 4NO_2 (g) + O_2 (g)$

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

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

সমস্যা-৪.১৭ (ক) : HI এর বিয়োজন হার ধ্রুবক 500 K ও 600 K তাপমাত্রায় যথাক্রমে $9.51 \times 10^{-9}\ L\ mol^{-1}s^{-1}$ ও $1.10 \times 10^{-5}\ L.\ mol^{-1}s^{-1}$ হয়। এ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি kJ/mol এককে কত হবে? [উঃ 1.76×10^2 kJ/mol]

সমস্যা-৪.১৭ (খ) : $2HI (g) \rightleftharpoons H_2 (g) + I_2 (g)$ এর বিয়োজনের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 275°C ও 500°C তাপমাত্রার হার ধ্রুবকের মান যথাক্রমে $3.50 \times 10^{-7}\ L\ mol^{-1}s^{-1}$ ও $3.92 \times 10^{-2}\ L\ mol^{-1}s^{-1}$। বিয়োজনের সক্রিয়ণ শক্তির মান নির্ণয় করো। [উঃ $182.019\ kJ.mol^{-1}$]

সমস্যা-৪.১৭ (গ) : $2N_2O_5 (g) \rightleftharpoons 4NO_2 (g) + O_2 (g)$ এ বিয়োজন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 27°C ও 37°C তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির বেগ ধ্রুবকের মান যথাক্রমে $2.25 \times 10^{-3}\ s^{-1}$ ও $4.75 \times 10^{-3}\ s^{-1}$ হলে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তির মান নির্ণয় করো। [উঃ $57.775\ kJ.mol^{-1}$]

সমস্যা-৪.১৮ : বিক্রিয়া $2NOCl (g) \rightleftharpoons 2NO (g) + Cl_2 (g)$ এর E_a হলো 1.0×10^2 kJ/mol এবং 500 K তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক হলো $0.286\ L.\ mol^{-1}s^{-1}$। তবে 490 K তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক কত হবে? [উঃ $0.17505\ L.\ mol^{-1}s^{-1}$]

সমস্যা-৪.১৯ : 45°C তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক 35°C তাপমাত্রায় হার ধ্রুবকের দ্বিগুণ হলে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি কত? ($R = 8.314\ JK^{-1}\ mol^{-1}$) [উঃ $56.44\ kJmol^{-1}$]

সমস্যা-৪.২০ : $PCl_5 (g) \rightleftharpoons PCl_3 (g) + Cl_2 (g)$; এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 45°C ও 85°C-এ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান যথাক্রমে $2.25 \times 10^{-5}\ L.mol^{-1}s^{-1}$ ও $3.75 \times 10^{-5}\ L.mol^{-1}s^{-1}$ হয়। এ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি কত? [উঃ $12.1\ kJmol^{-1}$]

সমস্যা-৪.২১ : $NO_2 (g) + CO (g) \rightleftharpoons NO (g) + CO_2 (g)$; এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 700 K ও 800 K তাপমাত্রায় বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান যথাক্রমে $1.3\ M^{-1}s^{-1}$ ও $23.0\ M^{-1}s^{-1}$ হয়। এ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি kJ/mol এককে কত? [উঃ 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 তুলনামূলকভাবে বেশি সংখ্যক গ্যাসীয় অণু থাকে। ফলে পদার্থের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায়। ঘনমাত্রা বৃদ্ধির সাথে গ্যাসের অণুগুলোর মধ্যে **সংঘর্ষের মাত্রা** বৃদ্ধি পায়। তাই বিক্রিয়ার হারও বৃদ্ধি পায়।

হেবার সংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া গ্যাসের উৎপাদন সমীকরণ নিম্নরূপ :

$$N_2 (g) + 3H_2 (g) \rightleftharpoons 2NH_3 (g)$$

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

$\therefore K_p = \frac{(P_{NH_3})^2}{P_{N_2} \times (P_{H_2})^3}$, এখানে P_{NH_3}, P_{N_2}, P_{H_2}, 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 × মোট চাপ,

$\therefore P_{N_2} = X_{N_2} \times P;\ P_{H_2} = X_{H_2} \times P;\ P_{NH_3} = X_{NH_3} \times P;$

$$\therefore K_p = \frac{(X_{NH_3} \times P)^2}{X_{N_2} \times P \times (X_{H_2} \times P)^3} = \frac{(X_{NH_3})^2}{X_{N_2} \times (X_{H_2})^3 \times P^2}$$

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

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 করো : নিচের কোন্ বিক্রিয়ায় নিম্ন চাপে উৎপাদ বেশি হবে?

(ক) $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ (খ) $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

(গ) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ (ঘ) $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$

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

$$Na_2S_2O_3(aq) + 2HCl(aq) \longrightarrow S(s) + 2NaCl(aq) + H_2O(l) + SO_2(g)$$

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

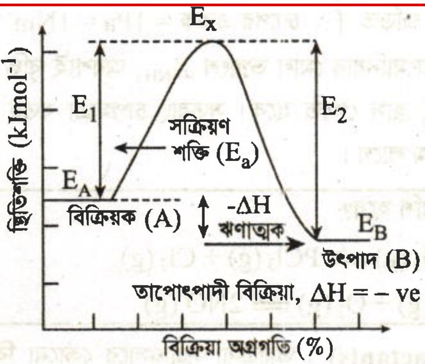
৪.৩.৩ তাপোৎপাদী বিক্রিয়া ও তাপহারী বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি
Activation Energy of Exothermic & Endothermic Reactions

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

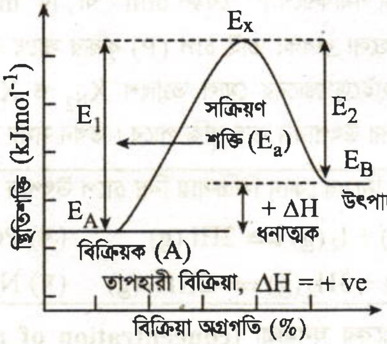
বিক্রিয়ার অংশগ্রহণকারী বস্তু কণার যে অংশ এ ন্যূনতম শক্তিমান অর্জন করতে পারে তারাই বিক্রিয়ার সক্রিয় কণা হিসেবে বিবেচিত হয়। ন্যূনতম শক্তিমাত্রাযুক্ত কণাগুলো বিক্রিয়ক ও উৎপাদের শক্তির মধ্যবর্তী একটি অস্থায়ী জটিল অবস্থায় অবস্থান করে। **প্রারম্ভিক অবস্থায়** বিক্রিয়ক কণার গড় শক্তি (E_A) এবং **অস্থায়ী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

অতিক্রম করতে হলে তাদের একটি ন্যূনতম শক্তি ($E_x - E_A$) লাভ করতে হয়। এ শক্তির নাম বিক্রিয়ার **সক্রিয়ণ শক্তি**। অতএব বিক্রিয়া সংঘটিত হতে হলে বিক্রিয়ক বস্তু কণাকে এ সক্রিয়ণ শক্তি অর্জন করতে হয়।

* সক্রিয়ণ শক্তি যত বেশি হয় এ শক্তি বিক্রিয়ক বস্তু কণার অর্জন করা তত কষ্টকর হয় বলে এ শক্তি অর্জনকারী বস্তু কণার সংখ্যাও তত কম হয়। ফলে বিক্রিয়ার গতি কমে যায়।
* অপরপক্ষে, সক্রিয়ণ শক্তির মান কম হলে তুলনামূলকভাবে সহজে অধিক সংখ্যক বিক্রিয়ক বস্তুকণা এ শক্তি অর্জন করে। ফলে বিক্রিয়ার গতি বেশি হয়।
* যেসব বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি কম সেসব বিক্রিয়া সহজে কম তাপমাত্রায় ঘটে। অপরদিকে যেসব বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি বেশি সেসব বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে উচ্চতাপমাত্রা প্রয়োজন হয়।



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



চিত্র-৪.৩ (খ) : তাপহারী বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি লেখ

* যেসব বিক্রিয়ার বিক্রিয়কের স্থিতিশক্তি (E_A) উৎপন্ন দ্রব্যের বা, উৎপাদের স্থিতিশক্তির (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।
* যেসব বিক্রিয়ার বিক্রিয়কের স্থিতিশক্তি উৎপাদের স্থিতিশক্তির চেয়ে কম হয় অর্থাৎ উৎপাদের স্থিতিশক্তি বেশি হয়, তবে ঐ বিক্রিয়ায় তাপ শোষিত হয় [(চিত্র-৪.৩(খ)]। এসব 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 দ্রুতগতিতে ছুটোছুটি করে এবং অধিক সংখ্যক কণা সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে। ফলে তাপ উৎপাদী বিক্রিয়া দ্রুতগতিতে সম্পন্ন হয়। অপরদিকে, তাপহারী বিক্রিয়ার বস্তু কণার প্রারম্ভিক শক্তি উৎপাদের শক্তির চেয়ে কম অর্থাৎ $E_A < E_B$ হয়। ফলে বিক্রিয়া সম্পাদিত হওয়ার সময় কিছু পরিমাণ শক্তি ($E_B - E_A$) শোষিত হয়। তাই স্বাভাবিক নিয়মে তাপমাত্রা কমে যায় এবং বস্তু কণার গতি-শক্তিও কম থাকে। এ জাতীয় বিক্রিয়ার হার তুলনামূলকভাবে কম হয়।

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

৪.৩.৪ রাসায়নিক বিক্রিয়ার সংঘর্ষ তত্ত্ব

Collision Theory of Chemical Reaction

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

বিক্রিয়া সংঘটনের,

(১) প্রথম শর্ত হলো ⟶ বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী কণাগুলো যেমন অণু, পরমাণু বা আয়ন-এর মধ্যে সংঘর্ষ হতে হবে।

(২) দ্বিতীয় শর্ত হলো ⟶ বিক্রিয়ক পদার্থের মধ্যে সংঘটিত "সংঘর্ষ" অবশ্যই একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম শক্তি সহযোগে হতে হবে।

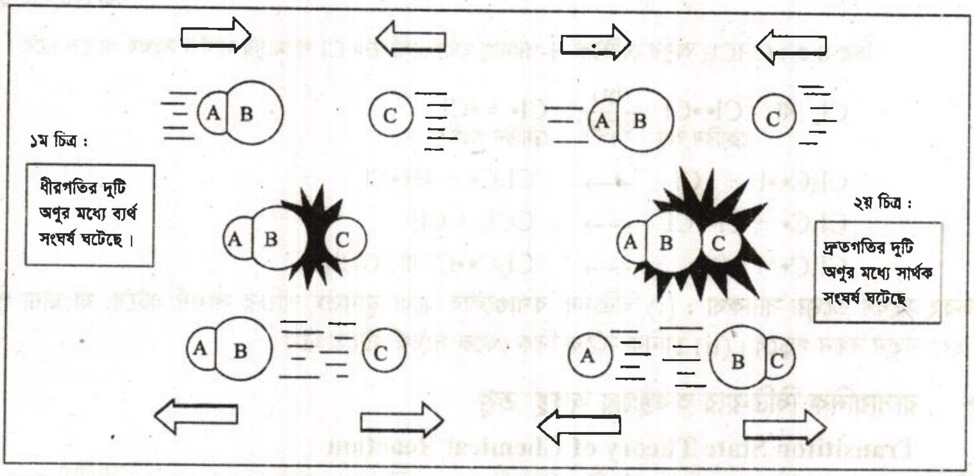
(৩) তৃতীয় শর্ত হলো ⟶ বিক্রিয়ক পদার্থের মধ্যে সংঘর্ষ একটি নির্দিষ্ট দিক বিন্যাস সহযোগে হতে হবে।

উপর্যুক্ত শর্তগুলোকে অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন—

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

k: rate constant [হার ধ্রুবক]; p: steric factor [স্থানিক দিক বিন্যাস]; Z: collision rate [সংঘর্ষ হার]; E_a: activation energy [সক্রিয়ণ শক্তি]

ব্যাখ্যা : প্রথম শর্ত ও দ্বিতীয় শর্ত মতে বিক্রিয়কগুলোর মধ্যে সংঘর্ষ ঘটতে হবে এবং সংঘর্ষটি একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম শক্তিসহকারে হতে হবে। ফলে বিক্রিয়ক অণু বা কণাগুলো একে অপরের সাথে 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

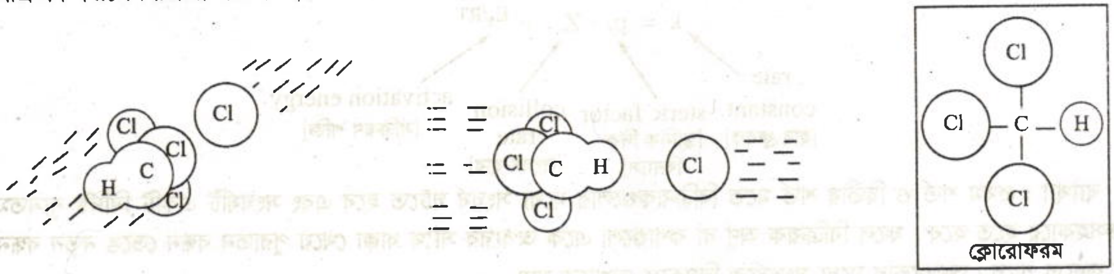
চিত্র থেকে সুস্পষ্ট যে, ১ম চিত্রে পর্যাপ্ত শক্তিসহকারে সংঘর্ষ না ঘটায় অণুর পুরাতন বন্ধনের ভাঙন ঘটেনি। অণুগুলো ফিরে গেছে পূর্বের অবস্থায়। কিন্তু ২য় চিত্রে পর্যাপ্ত শক্তিসহকারে উভয় অণুর মধ্যে সংঘর্ষ ঘটেছে। তাই A ও B এর মধ্যবর্তী পুরানো বন্ধন ভেঙে নতুনভাবে B ও C-এর মধ্যে বন্ধন সৃষ্টি হওয়ায় নতুন অণু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

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

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

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

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



$CHCl_3$ অণুতে পরমাণুগুলোর স্থানিক বিন্যাস

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

Cl_2 বা, Cl••Cl (ক্লোরিন অণু) $\xrightarrow[\text{আলো}]{h\upsilon}$ Cl• + •Cl (ক্লোরিন পরমাণু)

$Cl_3C{\bullet\bullet}H + {\bullet}Cl \longrightarrow Cl_3C{\bullet} + H{\bullet\bullet}Cl$

$Cl_3C{\bullet} + Cl{\bullet\bullet}Cl \longrightarrow CCl_4 + Cl{\bullet}$

$Cl_3C{\bullet} + {\bullet}Cl \longrightarrow Cl_3C{\bullet\bullet}Cl$ বা, CCl_4

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

৪.৩.৫ রাসায়নিক বিক্রিয়ার অবস্থান্তর অবস্থা তত্ত্ব
Transititon State Theory of Chemical Reaction

বিক্রিয়ার ওপর তাপমাত্রার প্রভাব সম্পর্কীয় বিজ্ঞানী অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ $k = A.e^{-Ea/RT}$ 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 কোনোভাবে সিস্টেমে উপস্থিত অণুর একটি অংশ বিক্রিয়ার কোনো এক বিশেষ মুহূর্তে অতিরিক্ত মানের কিছু শক্তি লাভ করে এবং সক্রিয় অণুতে পরিণত হয়। বিক্রিয়ার পূর্বে বিক্রিয়ক অণু দ্বারা লব্ধ এ অতিরিক্ত মানের শক্তিই হলো **সক্রিয়ণ শক্তি**।

(ক) সক্রিয়ণ শক্তির সংজ্ঞা :

কোনো বিক্রিয়ায় পারস্পরিক আণবিক সংঘর্ষ দ্বারা বা অন্য কোনো উপায়ে বিক্রিয়কের একটি অংশ বিক্রিয়কের গড়শক্তি অপেক্ষা যে পরিমাণ অধিক শক্তি লাভ করে বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণের উপযুক্ততা অর্জন করে, তাকে ঐ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি (activation energy, E_a) 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।

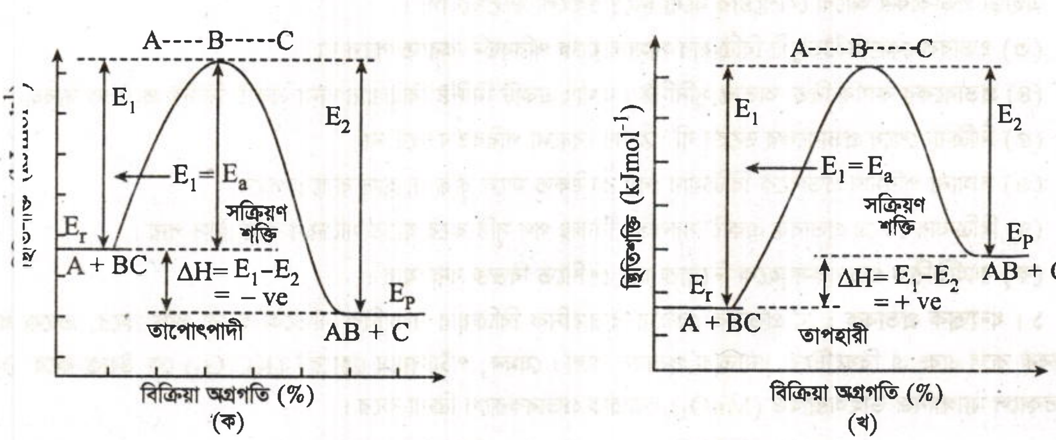
প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করার পর যখন দুটি সক্রিয় অণু পরস্পর নিকটে আসে, তখন তারা তাদের মধ্যস্থ পূর্বের বন্ধন ভেঙে নতুন বন্ধন গড়তে থাকে। উভয় সক্রিয় অণুর মধ্যস্থ বন্ধন ভাঙ্গা-গড়ার ক্ষণস্থায়ী এরূপ অবস্থাকে **সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগ** (activated complex) গঠন অবস্থা বলে। রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার তাদের প্রস্তুতির ওপর নির্ভর করে। পরে সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগ নির্দিষ্ট হারে বিযোজিত 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 বিযোজিত হয়ে বিক্রিয়ার উৎপাদ তৈরি করবে।

$$\underset{\text{সক্রিয় অণু}}{A} + \underset{\text{সক্রিয় অণু}}{B{-}C} \longrightarrow \underset{\text{সক্রিয়ণকৃত জটিল}}{A\ldots\ldots B\ldots\ldots\ldots C} \longrightarrow \underset{\text{উৎপাদ}}{A{-}B} + C$$

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

বিক্রিয়ার অবস্থান্তর অবস্থা ও শক্তি-পর্বত : বিক্রিয়ক থেকে উৎপাদে পরিণত হতে হলে বিক্রিয়ককে অবশ্যই একটি 'শক্তির বাধা' অতিক্রম করতে হবে। শক্তির এ বাধাকে **শক্তি-পর্বত** (Energy-hill) বলে। সক্রিয় অণু দ্বারা 'শক্তি-পর্বত' অতিক্রমের 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 **'সক্রিয়ণকৃত জটিল গঠন'** অবস্থাও বলা হয়। শক্তি পর্বতের শীর্ষে সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগ এবং বামদিকের পাদদেশে বিক্রিয়ক এবং ডানদিকের পাদদেশে উৎপাদ অবস্থান করে। পাদদেশে অবস্থানকালে বিক্রিয়কের স্থিতিশক্তি ও উৎপাদের স্থিতিশক্তির পার্থক্য হলো বিক্রিয়ার এনথালপি $\Delta H = (E_1 - E_2)$। যদি বিক্রিয়কের স্থিতিশক্তি স্তর (E_r) অপেক্ষা উৎপাদের স্থিতিশক্তি স্তর (E_p) নিচে হয় তবে **বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী** [চিত্র : ৪.৬ (ক)] বিক্রিয়কের স্থিতিশক্তি স্তর (E_r) অপেক্ষা উৎপাদের স্থিতিশক্তি স্তর (E_p) ওপরে থাকলে **বিক্রিয়াটি তাপহারী** হবে [চিত্র-৪.৬ (খ)] । উভয় চিত্র থেকে স্পষ্ট যে, ΔH এর মান $(E_r - E_p)$ এর মানের সক্রিয়ণ শক্তির ওপর নির্ভরশীল নয়।



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

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

অপরদিকে সক্রিয়ণ শক্তি কম হলে একই সময়ে অনেক বেশি সংখ্যক বিক্রিয়ক অণু প্রয়োজনীয় কম সক্রিয়ণ শক্তি সম্পন্ন হয়ে বিক্রিয়ায় 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 **যেসব 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) প্রতিটি প্রভাবক সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়ায় **বিক্রিয়কের সক্রিয়ণ শক্তি** (activation energy)**-কে হ্রাস করে** বিক্রিয়াটি নতুনভাবে, **নিম্নশক্তির ধারায় বা মেকানিজমে সংঘটিত করে।**

*(২) 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' কম সময়ে তৈরি করা সম্ভব হয়। তখন **ঐ বিক্রিয়াটি অধিকতর দ্রুত সম্পন্ন হয় মাত্র।**

RMDAC

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 কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার স্বাভাবিক গতিকে আরো বৃদ্ধি করে, তাকে ধনাত্মক প্রভাবক বলে এবং এ বিষয়টিকে ধনাত্মক প্রভাবন বলে। যেমন, পটাসিয়াম ক্লোরেট ($KClO_3$) কে উত্তপ্ত করে O_2 গ্যাস প্রস্তুতকালে ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড (MnO_2) ধনাত্মক প্রভাবকরূপে ক্রিয়া করে।

$$2KClO_3(s) \xrightarrow{\Delta,\ MnO_2} 2KCl(s) + 3O_2(g)$$

[MAT: 20-21]

২। **ঋণাত্মক প্রভাবক** : যে প্রভাবক কোনো 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।

$$2H_2O_2(aq) \xrightarrow{25^\circ C} 2H_2O(l) + O_2(g) \text{ [স্বাভাবিক বিয়োজন]}$$

$$2H_2O_2(aq) \xrightarrow{H_3PO_4} 2H_2O(l) + O_2(g) \text{ [বিয়োজন মন্থর]}$$

৩। **অটো প্রভাবক বা স্ব-প্রভাবক** : কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় উৎপন্ন পদার্থের একটি নিজেই যখন প্রভাবকের ধর্ম সম্পন্ন হয় এবং তা নিজেই ঐ বিক্রিয়ার গতিকে বৃদ্ধি করে, তখন তাকে অটো প্রভাবক 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 পারম্যাঙ্গানেটের গোলাপী বর্ণ ধীরে ধীরে দূর হয়। কিন্তু কিছুক্ষণ পরেই দ্রবণে কিছু Mn^{2+} আয়ন উৎপন্ন হওয়া মাত্রই $KMnO_4$ দ্রবণের গোলাপী বর্ণ দ্রুত দূর হয়। এক্ষেত্রে উৎপন্ন $MnSO_4$-এর ম্যাঙ্গানাস আয়ন (Mn^{2+}) স্ব-প্রভাবক রূপে ক্রিয়া করে এবং এর ক্রিয়াকে স্ব-প্রভাবন বলা হয়।

$$\underset{\text{অক্সালিক এসিড}}{5(COOH)_2} + \underset{\text{K-পারম্যাঙ্গানেট}}{2KMnO_4} + 3H_2SO_4 \xrightarrow{Mn^{2+}} K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 10CO_2 + 8H_2O$$

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

পৃথক ভাবে : $2Na_2SO_3(aq) + O_2(g) \longrightarrow 2Na_2SO_4(aq)$

$Na_3AsO_3(aq) + O_2(g) \longrightarrow$ কোনো বিক্রিয়া ঘটে না।

মিশ্রভাবে : $Na_2SO_3(aq) + Na_3AsO_3(aq) + O_2(g) \longrightarrow Na_2SO_4(aq) + Na_3AsO_4(aq)$

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

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

$$N_2(g) + 3H_2(g) \xrightleftharpoons{Fe, Mo} 2NH_3(g)$$

[DAT: 17-18]

* **প্রভাবক বিষ** : যেসব রাসায়নিক পদার্থের উপস্থিতিতে বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত কোনো প্রভাবকের প্রভাবন ক্রিয়া হ্রাসপ্রাপ্ত হয় অথবা একেবারে বন্ধ হয়ে যায়, তাদেরকে সংশ্লিষ্ট প্রভাবকের বিষ বলে। সাধারণত ধুলাবালি, সালফার গুঁড়া, আর্সেনিক অক্সাইড (As_2O_3) ইত্যাদি প্রভাবক বিষরূপে কাজ করে। যেমন, স্পর্শ পদ্ধতিতে SO_2 গ্যাস থেকে SO_3 গ্যাস উৎপাদনকালে SO_2 গ্যাসের সাথে সামান্য পরিমাণে আর্সেনিক অক্সাইড উপস্থিত থাকলে, তখন ঐ বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত প্লাটিনাম (Pt) প্রভাবকের প্রভাবন ক্রিয়াকে হ্রাস করে দেয়। অর্থাৎ এক্ষেত্রে As_2O_3 প্রভাবক বিষরূপে ক্রিয়া করে।

$$2SO_2(g) + O_2(g) \xrightleftharpoons{Pt, \Delta} 2SO_3(g)$$

(খ) বিক্রিয়ক, উৎপাদ ও ব্যবহৃত প্রভাবকের ভৌত অবস্থাভিত্তিক প্রভাবকসমূহকে সমসত্ত্ব প্রভাবক ও অসমসত্ত্ব প্রভাবক এবং এদের ক্রিয়াকে দু'শ্রেণিতে ভাগ করা হয়; যেমন— (১) সমসত্ত্ব প্রভাবন ও (২) অসমসত্ত্ব প্রভাবন।

১। সমসত্ত্ব প্রভাবন (Homogeneous Catalysis)

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

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

[MAT: 16-17]

$$2SO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{NO(g)} 2SO_3(g)$$

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

$$\underset{\text{সুক্রোজ}}{C_{12}H_{22}O_{11}(aq)} + H_2O(l) \xrightarrow{H^+(aq)} \underset{\text{গ্লুকোজ}}{C_6H_{12}O_6(aq)} + \underset{\text{ফ্রুক্টোজ}}{C_6H_{12}O_6(aq)}$$

২। অসমসত্ত্ব প্রভাবন (Heterogeneous Catalysis)

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

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

$$2SO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{Pt\text{ (কঠিন)}} 2SO_3(g)$$

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

$$H_2C{=}CH_2(g) + H_2(g) \xrightarrow[150°C]{Ni} H_3C{-}CH_3(g)$$

৪.৪.১ প্রভাবনের ক্রিয়া-কৌশল
Mechanism of Catalysis

তোমরা নিশ্চয়ই অবাক হয়ে ভাবছো প্রভাবক কোনো বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ না করেও কীভাবে তা বিক্রিয়াকে প্রভাবান্বিত করে। প্রকৃতপক্ষে প্রভাবকসমূহ বিভিন্ন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে প্রভাবন কাজ করে। এসব প্রক্রিয়াকে দুটি ভাগে ভাগ করা যায়।

(ক) অন্তর্বর্তী যৌগ গঠন প্রক্রিয়া (Formation of intermediate compound)

(খ) অধিশোষণের মাধ্যমে প্রভাবন (Catalysis through adsorption)

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

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

(১) $2NO(g)$ (প্রভাবক) + $O_2(g)$ (বিক্রিয়ক-১) $\longrightarrow$ $2NO_2(g)$ (অন্তর্বর্তী যৌগ)

(২) $2NO_2(g)$ (অন্তর্বর্তী যৌগ) + $2SO_2(g)$ (বিক্রিয়ক-২) $\longrightarrow$ $2SO_3(g)$ (উৎপাদ) + $2NO(g)$ (প্রভাবক)

মোট বিক্রিয়া : $2NO(g) + 2SO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g) + 2NO(g)$

বা, $2SO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{NO(g)} 2SO_3(g)$

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

$$A_2(g) + B_2(g) \xrightarrow{CatM} 2AB(g)$$

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

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

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

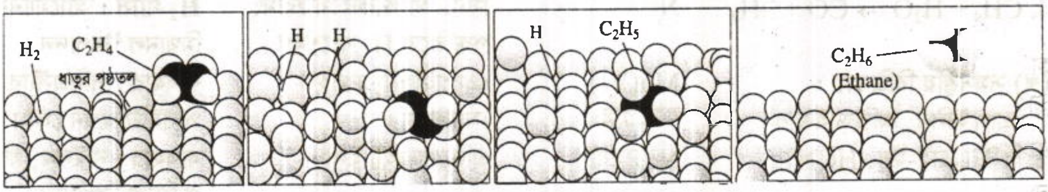
৪র্থ বা শেষ ধাপ : শেষ ধাপে উৎপাদ অণুসমূহ (2AB) প্রভাবকের পৃষ্ঠতল থেকে বিমুক্ত হয়।

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

$H–H + 2\ CatM(s) \longrightarrow 2\ CatM–H$ [H পরমাণু ধাতুর পৃষ্ঠতলে আবদ্ধ]

$CatM–H + H_2C=CH_2 \longrightarrow .CH_2–CH_3$ or $.C_2H_5$ + Cat M (মুক্তমূলক)

$CatM–H + .CH_2–CH_3 \longrightarrow H_3C–CH_3 + CatM$



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 কাঙ্ক্ষিত 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, CO_2, N_2 ও O_2 গ্যাসে পরিণত করে। যেমন,

$$C_xH_y(g) + (x + y/_4)\,O_2(g) \xrightarrow{Pt} xCO_2(g) + y/_2\,H_2O(g)$$
$$2CO(g) + O_2(g) \xrightarrow{Pt} 2CO_2(g)$$
$$2NO(g) \xrightarrow{Pt} N_2(g) + O_2(g)$$

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

(৪) **রাসায়নিক শিল্পে ব্যবহৃত প্রায় সব প্রভাবক হলো অসমসত্ত্বীয়।** তাই বিক্রিয়ার কাঙ্ক্ষিত 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 :

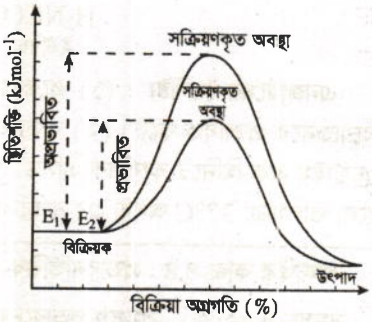
RMDAC _

সারণি-৪.৩ : বাণিজ্যিক শিল্পে অসমসত্ত্বীয় ও সমসত্ত্বীয় প্রভাবকের ব্যবহার :

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

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

চিত্র-8.৯ 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 প্রকৃত পক্ষে বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে আবার পুনর্জন্ম প্রাপ্ত হয়।**



চিত্র-8.৯ : অপ্রভাবিত ও প্রভাবিত বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রা।

প্রভাবক ব্যবহার না করে বিক্রিয়া ঘটালে যে সক্রিয়ণকৃত অবস্থার মাধ্যমে বিক্রিয়া সম্পন্ন হয়, তার সক্রিয়ণ শক্তি (E_1) বেশি। ফলে তা সৃষ্টি কষ্টকর। অপ্রভাবিত অবস্থায় বিক্রিয়কের প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রা (E_1) বেশি হয়, এ কারণে বিক্রিয়া দ্রুত বেগে অনুষ্ঠিত হতে পারে না (চিত্র-8.৯ দ্রষ্টব্য)।

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

8.8.৩ 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 ক্রিয়া-কৌশল : 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 বিয়োজিত হয়ে উৎপাদে (P) পরিণত হয়। এনজাইম অণু বিক্রিয়ক জৈব অণুকে 'সক্রিয় স্থান' যোগান দিয়ে বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রাকে হ্রাস করে এবং বিক্রিয়াকে দ্রুততর করে। যেমন,

$$\underset{\text{এনজাইম}}{E} + \underset{\text{বিক্রিয়ক}}{S} \underset{}{\overset{\text{দ্রুত}}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{অন্তর্বর্তী যৌগ}}{[E \ldots\ldots S]} \xrightarrow{\text{মন্থর}} \underset{\text{এনজাইম}}{E} + \underset{\text{উৎপাদ}}{P}$$

(i) ইস্ট নামক উদ্ভিদকোষ থেকে নিঃসৃত জাইমেস (zymase) এনজাইম গ্লুকোজকে বিয়োজিত করে অ্যালকোহল ও CO_2 গ্যাসে পরিণত করে। [MAT: 19-20]

$$\underset{\text{গ্লুকোজ}}{C_6H_{12}O_6(aq)} \xrightarrow{\text{জাইমেস}} \underset{\text{অ্যালকোহল}}{2C_2H_5OH(aq)} + 2CO_2(g)$$

(ii) সয়াবিনে উপস্থিত ইউরিয়েস্ (urease) এনজাইম ইউরিয়াকে বিযোজিত করে NH_3 ও CO_2-এ পরিণত করে।

$$\underset{\text{ইউরিয়া}}{H_2NCONH_2\ (aq)} + H_2O\ (l) \xrightarrow{\text{ইউরিয়েস}} 2NH_3\ (g) + CO_2\ (g)$$ [MAT: 16-17]

এনজাইমের বৈশিষ্ট্য : (১) প্রত্যেক এনজাইমের প্রভাবন ক্রিয়া সুনির্দিষ্ট। যেমন জাইমেস এনজাইম শুধু গ্লুকোজের বিযোজনকে প্রভাবিত করে। (২) অত্যধিক কার্যকারিতা এনজাইমের অন্যতম প্রধান বৈশিষ্ট্য। যেমন এক অণু অ্যানহাইড্রেজ এনজাইম এক মিনিটে কার্বনিক এসিড (H_2CO_3) এর 360 লক্ষ অণুকে বিযোজিত করে। (৩) প্রভাবন ক্রিয়ার প্রধান শর্ত হলো তাপমাত্রা 37°C অথবা এর কাছাকাছি এবং pH এর মান 7 এর কাছাকাছি থাকা প্রয়োজন।

শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৪ : প্রভাবনভিত্তিক :

সমস্যা-৪.২২(ক) : সমসত্ব প্রভাবনের কৌশল ব্যাখ্যা করো। [ব. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.২২(খ) : অসমসত্ব প্রভাবনের কৌশল ব্যাখ্যা করো।

সমস্যা-৪.২২(গ) : প্রভাবক কীরূপে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি করে? [সি. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.২২(ঘ) : সক্রিয়ণ শক্তি বিক্রিয়ার হারকে কীরূপ প্রভাবিত করে; ব্যাখ্যা করো। [মা. বো. ২০১৭ ; য. বো. ২০১৫]

৪.৫ রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা
Chemical Equilibrium

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

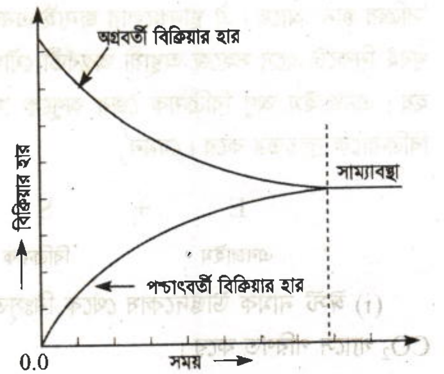
যেমন, একটি আবদ্ধ পাত্রে তুল্য পরিমাণ হাইড্রোজেন ও গাঢ় বেগুনি বর্ণের আয়োডিন বাষ্প নিয়ে 450°C-এ রেখে দিলে হাইড্রোজেন ও আয়োডিন বিক্রিয়া করে 80% হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস উৎপন্ন করে এবং বিক্রিয়ক H_2 ও I_2 এর ঘনমাত্রা হ্রাস পেয়ে 20% হয়। ফলে মিশ্রণের বর্ণ হালকা বেগুনি হয়।

$$H_2\ (g) + I_2\ (g) \rightleftharpoons 2HI\ (g)$$

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 বিযোজনে H_2 গ্যাস ও I_2 বাষ্প উৎপন্ন হয়েছে। পূর্বের মতো এটিও একটি উভমুখী বিক্রিয়া।

$$2HI\ (g) \rightleftharpoons H_2\ (g) + I_2\ (g)$$

ব্যাখ্যা : এক্ষেত্রে প্রথম পরীক্ষায় H_2 গ্যাস ও বাদামি I_2 বাষ্পকে বদ্ধপাত্রে উত্তপ্ত করার সময় বিক্রিয়া শুরুর প্রাথমিক অবস্থায় HI থাকে না। এ সময় বাদামি I_2 এর ঘনমাত্রা H_2 গ্যাসসহ সবচেয়ে বেশি থাকে। ঘনমাত্রা বেশি থাকায় বিক্রিয়াটি সম্মুখদিকে প্রবলভাবে ঘটে। HI উৎপন্ন হয়ে এটির ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পেলে ঐ তাপমাত্রায় HI এর বিযোজন 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।



চিত্র-৪.১০ : সাম্যাবস্থায় H_2 ও I_2 থেকে HI এর সৃষ্টি এবং HI এর বিযোজন থেকে H_2 ও I_2 এর সৃষ্টি সমহারে চলে।

একইভাবে দ্বিতীয় পরীক্ষায় তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে HI এর বিয়োজন সম্মুখদিকে দ্রুতগতিতে ঘটে; হালকা বেগুনি বাষ্প দেখা দেয়। এ সময় I_2 বাষ্প উৎপন্ন হয়েছে বোঝায়। এ অবস্থায় H_2 ও I_2 এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পেলে তখন পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ায় পুনরায় HI উৎপন্ন হতে থাকে। গ্যাস মিশ্রণের বর্ণ পূর্বের মতো **হালকা বেগুনি অবস্থায়** অপরিবর্তিত থাকলে এক্ষেত্রেও পূর্বের মতো সাম্যাবস্থা নির্দেশ করে। মোলার ঘনমাত্রা গণনায় প্রমাণিত হয়েছে সাম্য মিশ্রণে 80% HI এবং 20% H_2 ও I_2 মিশ্রণ থাকে।

৪.৫.১ সাম্যাবস্থার গতিশীলতা বা চলমান প্রকৃতি

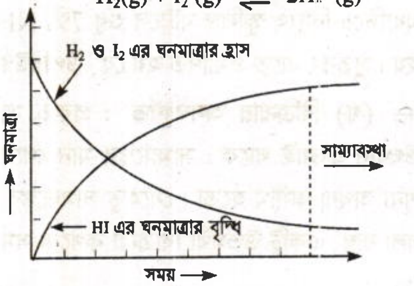
Dynamic Nature of Equilibrium

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 দেয়া হলো।

সাম্যাবস্থার চলমান প্রকৃতির প্রমাণ : আবদ্ধপাত্রে H_2 ও I_2 এর একটি মিশ্রণ নিয়ে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় দীর্ঘক্ষণ 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 :

$H_2(g) + I_2(g) \overset{\Delta}{\rightleftharpoons} 2HI\,(g)$



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

$$H_2\,(g) + I_2^*\,(g) \xrightarrow{\Delta} 2HI^*\,(g)$$

(I_2^* দ্বারা তেজস্ক্রিয় আয়োডিন, ট্রেসার বোঝানো হয়েছে)

যেহেতু HI এর সর্বমোট পরিমাণ (প্রায় 80%) অপরিবর্তিত থাকছে, সেহেতু তেজস্ক্রিয় HI^* উৎপন্ন হওয়ার সময় 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।

$$2HI\,(g) \xrightarrow{\Delta} H_2\,(g) + I_2\,(g)$$

৪.৫.২ রাসায়নিক সাম্যাবস্থার শর্ত বা বৈশিষ্ট্য

Characteristics of Chemical Equilibrium

রাসায়নিক সাম্যের বা সাম্যাবস্থার নিম্নোক্ত চারটি আবশ্যকীয় 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 catalyst)

(ক) সাম্যের স্থায়িত্ব : কোনো প্রক্রিয়া একবার সাম্যে পৌছালে তা চিরকাল একই অবস্থায় থাকবে, যদি কোনো বাহ্যিক অবস্থার (চাপ, তাপমাত্রা ও ঘনমাত্রা) কোনো পরিবর্তন ঘটানো না হয়। উদাহরণস্বরূপ এক মোল ইথানোয়িক এসিড ও এক মোল ইথানল নিয়ে 100°C তাপমাত্রায় বিক্রিয়া ঘটালে সাম্যাবস্থায় পৌছার পরে উভয় বিক্রিয়কের 0.667 অংশ বিক্রিয়া করে 0.667 মোল ইথাইল ইথানোয়েট উৎপন্ন করে। অর্থাৎ 100°C তাপমাত্রায় সাম্যাবস্থায় 0.333 মোল ইথানোয়িক এসিড, 0.333 মোল ইথানল, 0.667 মোল পানি ও 0.667 মোল ইথাইল ইথানোয়েট মিশ্রণে থাকে।

	$CH_3COOH\ (l)$ ইথানোয়িক এসিড	+ $C_2H_5OH\ (l)$ ইথানল	$\rightleftharpoons$ $CH_3COOC_2H_5\ (l)$ ইথাইল ইথানোয়েট	+ $H_2O\ (l)$
প্রাথমিক অবস্থায় :	1 mol	1 mol	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 কোনো পরিবর্তন হয় না।

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

যেমন, $$N_2\ (g) + 3H_2\ (g) \rightleftharpoons 2NH_3\ (g)$$

একই অবস্থায় এক আয়তন N_2 ও তিন আয়তন H_2 গ্যাস নিয়ে সেখানে বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গ 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 মধ্যদিয়ে বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গ 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 যেকোনো দিক থেকে শুরু করে একই সাম্যাবস্থায় পৌছানো যায়।

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

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

(ঘ) প্রভাবকের ভূমিকাহীনতা : রাসায়নিক সাম্যাবস্থার ওপর প্রভাবকের কোনো 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 কোনোটিরও ঘনমাত্রার পরিবর্তন ঘটে না।

শিক্ষার্থীরা জেনে রাখো সাম্যাবস্থা চিহ্নিত করার উপায়

কোনো উভমুখী বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় স্থিত হয়েছে কীনা 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 টেট্রোঅক্সাইড (N_2O_4) এর তাপীয় বিযোজন একটি উভমুখী বিক্রিয়া। (1) N_2O_4 বর্ণহীন; কিন্তু উৎপন্ন নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড (NO_2) বাদামি গ্যাস। (2) প্রাথমিক অবস্থায় যখন বিক্রিয়াটি শুরু হওয়ার পথে তখন আবদ্ধ কাচপাত্রে বর্ণহীন N_2O_4 থাকে। (3) কিছু সময় পর দেখা যায় কাচপাত্রের ভেতর হালকা বাদামি গ্যাস। (4) আরও কিছু সময় পর গাঢ় বাদামি এবং আর বর্ণের পরিবর্তন হচ্ছে না। এক্ষেত্রে **গাঢ় বাদামি বর্ণের স্থিরতা** বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থা নির্দেশ করছে।

$$N_2O_4\ (\text{বর্ণহীন}) \overset{\Delta}{\rightleftharpoons} 2NO_2\ (\text{বাদামি})$$

* (i) উল্লেখ্য সাম্যাবস্থায়, উৎপাদ NO_2 এর মোলার ঘনমাত্রার বর্গ ও বিক্রিয়ক N_2O_4 এর মোলার ঘনমাত্রার অনুপাতকে সাম্যধ্রুবক (K_c) বলে।

* (ii) বিক্রিয়া শুরুর পর যেকোনো সময়ে উৎপাদ ও বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাতকে **বিক্রিয়া অনুপাত** (Q_c) বা reaction quotient বলে।

* (iii) সাম্যাবস্থায়, $Q_c = K_c = \dfrac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$ হয়।

৪.৬ লা-শাতেলিয়ারের নীতি

Le-Chatelier's Principle

কোনো বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় পৌছানোর 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 এসব 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

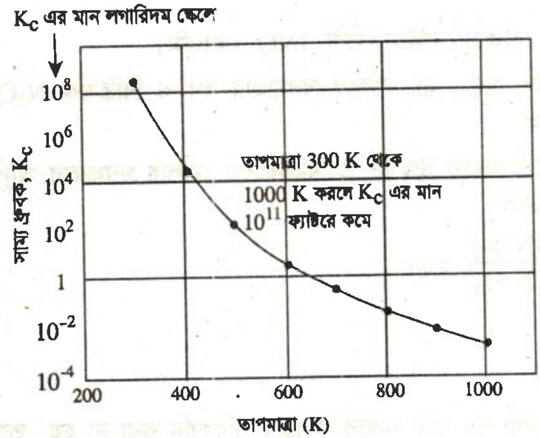
Effect of Temperature change on Equilibrium

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 সেসব ক্ষেত্রে সাম্যধ্রুবকের মান স্থির থাকে। এর কারণ ব্যাখ্যার জন্য **বিক্রিয়া তাপ** (heat of reaction) গুরুত্ববহ। যেমন;

(১) হেবার পদ্ধতিতে N_2 গ্যাস ও H_2 গ্যাস থেকে NH_3 গ্যাস উৎপাদন প্রক্রিয়া হলো একটি তাপোৎপাদী বিক্রিয়া। এ বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো নিম্নরূপ :

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) + 92.2\ kJ \qquad \Delta H^\circ = -92.2\ kJ$$

এক্ষেত্রে সম্মুখমুখী বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী (তাপ উৎপন্ন হয় $\Delta H < 0$); তাই পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়াটি তাপহারী (তাপ হরণ করে, $\Delta H > 0$ 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 মতোই তাপমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাব দূর করতে বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থা ডানে বা বামে পরিবর্তিত হয়। চিত্র-৪.১২ থেকে তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া উৎপাদন ব্যাখ্যা করা হলো :



Temp (K)	K_c
300	2.6×10^8
400	3.9×10^4
500	1.7×10^2
600	4.2
700	2.9×10^{-1}
800	3.9×10^{-2}
900	8.1×10^{-3}
1000	2.3×10^{-3}

চিত্র-৪.১২ : অ্যামোনিয়া উৎপাদন বিক্রিয়ার K_c তাপমাত্রা নির্ভর।
তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে K_c এর মান হ্রাস পেতে থাকে।

RMDAC

প্রদত্ত ডাটা ও লেখচিত্র-৪.১২ মতে নিম্নতাপমাত্রায়, সাম্য মিশ্রণে অধিক NH_3 থাকে, কারণ তখন K_c এর মান বেশি হয়; যেমন 300 K তাপমাত্রায় $K_c = 2.6 \times 10^8$। কিন্তু উচ্চতাপমাত্রায়, K_c এর মান কম হয়; অর্থাৎ বিক্রিয়া বামদিকে ঘটে। তখন N_2 ও H_2 মিশ্রণে বেশি থাকে। উচ্চমাত্রায় যেমন 1000 K তাপমাত্রায় NH_3 উৎপাদন বিক্রিয়ার নতুন সাম্যাবস্থায় K_c এর মান হ্রাস পেয়ে 2.3×10^{-3} হয়। অ্যামোনিয়া উৎপাদনের মতো সব তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে উৎপাদ পরিমাণে হ্রাস পায়।

তাই **শিল্পের অত্যানুকূল অবস্থায়**, NH_3 উৎপাদনে Fe প্রভাবকের উপস্থিতিতে 500°C বা, 773 K তাপমাত্রা ব্যবহৃত হয়।

(২) স্পর্শ পদ্ধতিতে H_2SO_4 এর শিল্পোৎপাদনের ক্ষেত্রে SO_2 এর জারণে SO_3 উৎপাদন বিক্রিয়াটি হলো তাপোৎপাদী :

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g); \ \Delta H = -196.6 \text{ kJ}$$

অত্যানুকূল অবস্থারূপে SO_3 এর উৎপাদনে V_2O_5 প্রভাবকের উপস্থিতিতে 450°C বা, 723 K তাপমাত্রা প্রয়োগ করা হয়।

সাধারণভাবে, বিক্রিয়ার তাপ পরিবর্তন ΔH এর ঋণাত্মক বা ধনাত্মক মানের ওপর সাম্যধ্রুবক নির্ভর করে।

বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় তাপমাত্রার প্রভাব হলো :

**** তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায়,** তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে মোলার সাম্যধ্রুবক (K_c) এর মান হ্রাস পায়। তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার উদাহরণ হলো হেবার পদ্ধতিতে NH_3 উৎপাদন :

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) + 92.2 \text{ kJ}$$

$$\therefore K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \times [H_2]^3}$$

লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় প্রযুক্ত তাপশক্তি একটি অতিরিক্ত **'উৎপাদ উপাদান'** হয়। তখন পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়াসহ নতুন সাম্যাবস্থায়—

* (১) উৎপাদের বিযোজন ঘটার কারণে উৎপাদের পরিমাণ হ্রাস পায়।

* (২) বিক্রিয়াটি পশ্চাৎমুখী হওয়ায় বিক্রিয়কের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। তাই K_c এর মান হ্রাস পায়।

**** তাপহারী বিক্রিয়ায়,** তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে মোলার সাম্যধ্রুবক (K_c) এর মান বৃদ্ধি পায়। তাপহারী বিক্রিয়ার উদাহরণ হলো নাইট্রোজেন টেট্রোঅক্সাইড (N_2O_4) এর তাপীয় বিযোজন :

$$N_2O_4(g) + 55.3 \text{ kJ} \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

$$\therefore K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$$

লা-শা তলিয়ারের নীতি অনুসারে প্রযুক্ত তাপশক্তি ঐ তাপহারী বিক্রিয়ার প্রয়োজনীয় একটি **'বিক্রিয়ক উপাদান'**রূপে যোগ করা বোঝায়। তখন সম্মুখমুখী বিক্রিয়াসহ নতুন সাম্যাবস্থায়—

* (১) বিক্রিয়ক থেকে নতুন উৎপাদ অণু সৃষ্টি হওয়ায় উৎপাদের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

* (২) বিক্রিয়াটি সম্মুখমুখী হওয়ায় বিক্রিয়কের পরিমাণ হ্রাস পায়। তাই K_c এর মান বৃদ্ধি পায়।

জেনে নাও :

* **তাপহারী বিক্রিয়ায়**, প্রযুক্ত **'তাপ উপাদান'**টি সাম্যধ্রুবক (K_c) এর সমীকরণে **'হর'** হিসেবে ভূমিকা রাখে; অপরদিকে, **তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায়** প্রযুক্ত **'তাপ উপাদান'**টি সাম্যধ্রুবক K_c এর সমীকরণে **'লব'** হিসেবে ভূমিকা রাখে। ফলে,

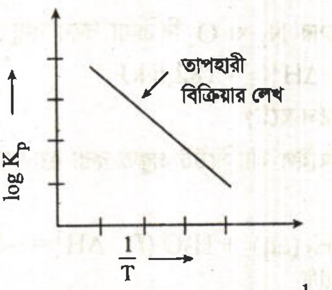
* তাপহারী বিক্রিয়ায়, 'লব' বা উৎপাদ-এর পরিমাণ বৃদ্ধি পাওয়ায় K_c এর মান বৃদ্ধি পায়। অনুরূপভাবে, তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায়, 'হর' বা 'বিক্রিয়ক' এর পরিমাণ বৃদ্ধির জন্য উৎপাদের বিযোজন ঘটে। ফলে উৎপাদ হ্রাস পাওয়ায় K_c এর মান হ্রাস পায়।

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

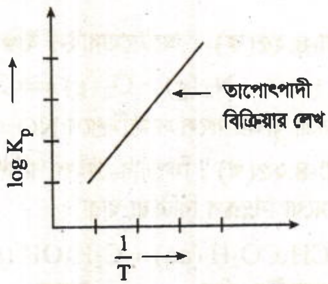
$$\log K_p = \left(\frac{-\Delta H}{2.303R}\right) \times \frac{1}{T} + \text{ধ্রুবক}$$

এখানে K_p = আংশিক চাপে সাম্যধ্রুবক,
R = মোলার ধ্রুবক, T = কেলভিন তাপমাত্রা

এ ভ্যান্ট হফ সমীকরণটি সরলরেখার সাধারণ সমীকরণ, $y = mx + c$ এর অনুরূপ। তাই $\log K_p$ বনাম $\frac{1}{T}$ দ্বারা [অর্থাৎ 'y' বনাম 'x'] অঙ্কিত লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হবে। তাপহারী বিক্রিয়া ও তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে লেখচিত্র-৪.১৩(ক) ও ৪.১৩(খ) এর অনুরূপ 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, বিক্রিয়ক 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 সাম্যধ্রুবক K_p এর মান বৃদ্ধি পায়।

এরূপ তাপহারী বিক্রিয়ার উদাহরণ হলো N_2O_4 এবং PCl_5 এর তাপীয় বিযোজন। যেমন,

(i) $N_2O_4(g)$ + তাপ $\overset{\Delta}{\rightleftharpoons}$ $2NO_2(g)$ $\quad \Delta H = +ve\ (+55.3\ kJ)$

(ii) $PCl_5(g)$ + তাপ $\overset{\Delta}{\rightleftharpoons}$ $PCl_3(g) + Cl_2(g)$ $\quad \Delta H = +ve\ (+90\ kJ)$

N_2O_4 এর বিযোজন বিক্রিয়ার তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাম্যমিশ্রণে NO_2 গ্যাসের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। ফলে সাম্যধ্রুবক K_p এর মানও বৃদ্ধি পায়। PCl_5 এর বেলায়, তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে সাম্যমিশ্রণে PCl_3 ও Cl_2 গ্যাসের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

$$\text{(i) } K_p = \frac{(P_{NO_2})^2}{P_{N_2O_4}} \;;\quad \text{(ii) } K_p = \frac{P_{PCl_3} \times P_{Cl_2}}{P_{PCl_5}}$$

(২) তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার লেখচিত্র-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 সাম্যধ্রুবক K_p এর মান হ্রাস পায়।

এরূপ বিক্রিয়ার উদাহরণ হলো N_2 ও H_2 থেকে NH_3 উৎপাদন। এক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে উৎপন্ন NH_3 বিয়োজিত হয়ে NH_3 উৎপাদন হ্রাস পায়। ফলে সাম্যধ্রুবকের মানও হ্রাস পায়। যেমন,

(i) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) +$ তাপ; $\Delta H = -92.2$ kJ

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

MCQ-4.7 : কোনটি প্রভাবক বিষ? [সি. বো. ২০১৬]

(ক) Al_2O_3 (খ) MnO_2
(গ) As_2O_3 (ঘ) Ni

অনুরূপভাবে (ii) $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) +$ তাপ ; $\Delta H = -196.6$ kJ

$$\therefore K_p = \frac{(P_{SO_3})^2}{(P_{SO_2})^2 \times (P_{O_2})}$$

শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৫ : সাম্যাবস্থাভিত্তিক :

সমস্যা-৪.২৩(ক) : রাসায়নিক সাম্যাবস্থা কী? [দি. বো. ২০১৬]

সমস্যা-৪.২৩(খ) : রাসায়নিক সাম্যাবস্থা গতিশীল; –ব্যাখ্যা করো। [চ. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.২৩(গ) : রাসায়নিক সাম্যাবস্থার গতিশীলতা বা চলমান প্রকৃতির প্রমাণের জন্য বাস্তব প্রমাণ উপস্থাপন করো।

সমস্যা-৪.২৪ : বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার ওপর প্রভাব সৃষ্টিকারী নিয়ামক কী কী এবং এদের কোনটির প্রভাব কীরূপ হয়ে থাকে? [অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-৪.২৫(ক) : অটোমোবাইল ইঞ্জিনে উচ্চতাপমাত্রায় বাতাসের N_2 ও O_2 বিক্রিয়া করে বায়ু দূষক NO গ্যাস উৎপন্ন হয়। $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$ $\Delta H^{\circ} = +182.6$ kJ

তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে সাম্যমিশ্রণে NO এর পরিমাণে কীরূপ পরিবর্তন ঘটে?

সমস্যা-৪.২৫(খ) : ফিংগার-নেইল পলিশ রিমুভাররূপে ব্যবহৃত ইথাইল অ্যাসিটেট প্রস্তুত করা হয় অ্যাসিটিক এসিড ও ইথানলের মধ্যে নিম্নরূপ বিক্রিয়া দ্বারা :

$$\underset{\text{অ্যাসিটিক এসিড}}{CH_3CO_2H(aq)} + \underset{\text{ইথানল}}{C_2H_5OH(aq)} \rightleftharpoons \underset{\text{ইথাইল অ্যাসিটেট}}{CH_3CO_2C_2H_5(aq)} + H_2O(l) \quad \Delta H^{\circ} = -2.9 \text{ kJ}$$

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 করো।

সমস্যা-৪.২৫(গ) : দুটি ভিন্ন পাত্রে নির্দিষ্ট তাপমাত্রা ও চাপে সংঘটিত বিক্রিয়া দুটি নিম্নরূপ : [ব. বো. ২০২১]

(i) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$; $\Delta H = -93$ kJ

(ii) $2NH_3(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 3H_2(g)$; $\Delta H = +93$ kJ

পাত্র দুটিতে যদি 10 kJ তাপ যোগ করা হয়; তবে উভয় ক্ষেত্রে NH_3 এর পরিমাণের কোনো তারতম্য পরিলক্ষিত হবে কি? ব্যাখ্যা করো।

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) চাপের প্রভাব : উৎপাদের মোল সংখ্যা বেশি হলে : যদি বিক্রিয়ক অপেক্ষা উৎপাদে গ্যাসীয় মোল সংখ্যা বেশি হয়, তখন আবদ্ধ পাত্রে একই আয়তনে চাপ বাড়ে। সেসব 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।

$$\underset{1\ mol}{PCl_5(g)} \rightleftharpoons \underset{1\ mol}{PCl_3(g)} + \underset{1\ mol}{Cl_2(g)}$$

লক্ষ্য করো, 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 বামদিকে ঘটবে। সুতরাং এক্ষেত্রে চাপ বাড়ালে উৎপাদ হ্রাস পায়।

(ii) চাপের প্রভাব : 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।

$$\underset{1\ mol}{N_2(g)} + \underset{3\ mol}{3H_2(g)} \rightleftharpoons \underset{2\ mol}{2NH_3(g)}; \quad \Delta H = -92\ kJ$$

K_c এর মান দ্বারা ব্যাখ্যা : 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 400°C তাপমাত্রায় সাম্যমিশ্রণে 0.5 M N_2, 3.0 M H_2 এবং 1.98 M 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-4.8 : কোনটি সাম্যাবস্থার বৈশিষ্ট্য নয়?** [ঢা. বো. ২০১৫]
> (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। $[NH_3]_t = 1.98 \times 2 = 3.96$, $[N_2]_t = 0.5 \times 2 = 1.0$, $[H_2]_t = 3.0 \times 2 = 6.0$ হয়। এসব মান Q_c এর সমীকরণে বসিয়ে পাই :

$$Q_c = \frac{[NH_3]_t^2}{[N_2]_t \times [H_2]_t^3} = \frac{(3.96)^2}{(1.0) \times (6.0)^3} = 0.0726 < K_c$$

তাই Q_c এর মান বৃদ্ধির জন্য বিক্রিয়া ডানদিকে অগ্রসর হয়ে অধিক NH_3 উৎপন্ন হয়। অ্যামোনিয়া সংশ্লেষণে উচ্চচাপ 200 – 300 atm প্রয়োগ করে সম্ভাব্য অধিক পরিমাণ NH_3 উৎপাদন করা হয়।

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

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

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

চিত্র-৪.১৪ : অ্যামোনিয়া উৎপাদনের বেলায় চাপ বৃদ্ধিতে উৎপাদন বৃদ্ধি।

K_p এর মান দ্বারা ব্যাখ্যা : মনে করি 400°C তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির সাম্যমিশ্রণে N_2, H_2 ও NH_3 গ্যাসের মোল ভগ্নাংশ হলো যথাক্রমে X_{N_2}, X_{H_2} ও X_{NH_3} এবং সাম্যমিশ্রণের মোট চাপ P। সুতরাং সাম্যমিশ্রণে N_2, H_2 ও NH_3 এর আংশিক চাপ হবে : $p_{N_2} = X_{N_2} \times P$, $p_{H_2} = X_{H_2} \times P$ এবং $p_{NH_3} = X_{NH_3} \times P$

$$\therefore \text{বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবক, } K_p = \frac{(p_{NH_3})^2}{p_{N_2} \times (p_{H_2})^3} = \frac{(X_{NH_3} \times P)^2}{(X_{N_2} \times P) \times (X_{H_2} \times P)^3} = \frac{X_{NH_3}^2}{X_{N_2} \times X_{H_2}^3} \times \frac{1}{P^2}$$

$\therefore$ K_p এর সমীকরণের ডানদিকে চাপের রাশি P^2 মানটি 'হর' হিসেবে আছে। স্থির তাপমাত্রায় K_p এর মান একটি স্থির (constant) রাশি। তাই K_p এর মান স্থির রাখার জন্য K_p এর রাশিমালায় **'লবের মান'** অর্থাৎ NH_3 এর মোল-ভগ্নাংশ (X_{NH_3}) বৃদ্ধি পাবে। সুতরাং স্থির তাপমাত্রায় NH_3 উৎপাদনে সাম্যাবস্থায় চাপ বৃদ্ধির ফলে সাম্যাবস্থা ডানদিকে সরে যায়। ফলে NH_3 উৎপাদন বৃদ্ধি পায়।

(iii) চাপের প্রভাব : বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মোল সংখ্যা সমান হলে : যেসব 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।

[MAT: 21-22]

$$\underset{1\ mol}{H_2(g)} + \underset{1\ mol}{I_2(g)} \rightleftharpoons \underset{2\ mol}{2HI(g)} \qquad \underset{2\ mol}{2HI(g)} \rightleftharpoons \underset{1\ mol}{H_2(g)} + \underset{1\ mol}{I_2(g)}$$

এক্ষেত্রে চাপ দ্বিগুণ করলে গ্যাস মিশ্রণের আয়তন অর্ধেক হয়; কিন্তু প্রতি উপাদানের ঘনমাত্রা দ্বিগুণ হয়। তখন বিক্রিয়া-অনুপাত, 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।

$$Q_c = \frac{[HI]^2}{[H_2] \times [I_2]} = \frac{[HI] \times [HI]}{[H_2] \times [I_2]} \ ; \quad Q_c = \frac{[H_2] \times [I_2]}{[HI]^2} = \frac{[H_2] \times [I_2]}{[HI] \times [HI]}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১০ : 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 :

(ক) $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$;

(খ) $CaO(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons CaCO_3(s)$

(গ) $3Fe(s) + 4H_2O(g) \rightleftharpoons Fe_3O_4(s) + 4H_2(g)$

দক্ষতা : লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে, সাম্যাবস্থায় গ্যাস মিশ্রণের চাপ হ্রাসের ফলে বিক্রিয়ার গতি সে দিকে যাবে, যে দিকে হলে 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 সমতাযুক্ত 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 সমতাযুক্ত 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।

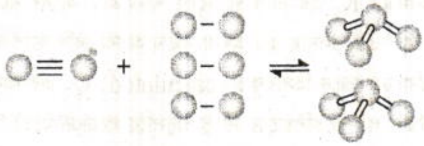
> **শিক্ষার্থী নিজে করো-৪.৬ : সাম্যাবস্থায় চাপের প্রভাব :**
>
> **সমস্যা- ৪.২৬ :** নিম্নোক্ত রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় চাপ বৃদ্ধি করে গ্যাসীয় আয়তন হ্রাস করলে বিক্রিয়া মিশ্রণে প্রতি ক্ষেত্রে উৎপাদের মোল সংখ্যা বৃদ্ধি, হ্রাস বা একই থাকবে কীনা যুক্তি দেখাও :
>
> (ক) $CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$ (খ) $2CO(g) \rightleftharpoons C(s) + CO_2(g)$
>
> (গ) $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ (ঘ) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

৪.৬.৩ 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 :

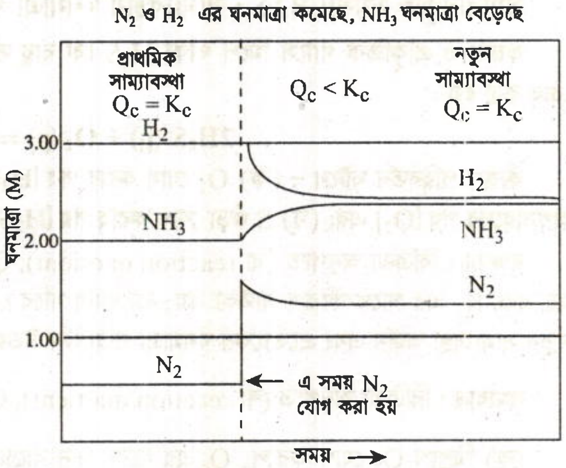
$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) \quad K_c = 0.291 \text{ at } 700 \text{ K}$$



চিত্র-৪.১৫ : NH_3 সংশ্লেষণে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের আণবিক মডেল সমীকরণ

মনে করি, 700 K (427°C) তাপমাত্রায়, এ বিক্রিয়ার সাম্যমিশ্রণ 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 1.5 M 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-৪.১৬ 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।

* ঘনমাত্রার বৃদ্ধি ঘটলে, সাম্য-সিস্টেমটি ডানে বা বামে বিক্রিয়া দ্বারা ঐ যুক্ত উপাদান কিছু হ্রাস করবে।



চিত্র-৪.১৬ : সাম্যমিশ্রণে N_2 উপাদান যোগ করার পর সাম্য মিশ্রণে N_2, H_2 NH_3 এর ঘনমাত্রার পরিবর্তন।

* ঘনমাত্রার হ্রাস ঘটলে, সাম্য-সিস্টেমটি ডানে বা বামে বিক্রিয়া দ্বারা হ্রাসকৃত উপাদান কিছু বৃদ্ধি করবে।

এখন আমরা লা-শাতেলিয়ারের নীতির কার্যকারিতা বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবকের সাহায্যে জানতে চেষ্টা করবো। বিক্রিয়ার তাপমাত্রায় (700 K) প্রাথমিক সাম্যমিশ্রণে 0.50 M N_2 গ্যাস, 3.0 M H_2 গ্যাস ও 1.98 M NH_3 গ্যাস সহযোগে সংঘটিত বিক্রিয়া অনুপাত (reaction quotient), Q_c এর নির্ণীত মান এবং বিক্রিয়া সমীকরণে প্রদত্ত সাম্যধ্রুবক, K_c (0.291) এর মান সমান হয়।

$$Q_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \times [H_2]^3} = \frac{(1.98)^2}{(0.50)(3.0)^3} = 0.29 = K_c$$

*** যখন সাম্যাবস্থাকে বিশৃঙ্খল বা নষ্ট করার জন্য** N_2 এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করে 1.5 M করা হয়, তখন সাম্যধ্রুবক সমীকরণের 'হর' অংশের মান বৃদ্ধি পায়; ফলে Q_c এর মান হ্রাস পেয়ে K_c মানও কম হয়।

$$Q_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \times [H_2]^3} = \frac{(1.98)^2}{(1.50) \times (3.0)^3} = 0.0968 < K_c$$

**** 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 N_2 ও H_2 কে NH_3 গ্যাসে পরিবর্তন করতে হয়। এটিই লা-শাতেলিয়ারের নীতির মূল কথা। নতুন সাম্যাবস্থা লাভের পর (চিত্র-৪.১৬ দেখো) সাম্যমিশ্রণের ঘনমাত্রায় 1.31 M N_2, 2.43 M H_2 ও 2.36 M NH_3 থাকে (চিত্র-৪.১৬ এর নতুন সাম্যাবস্থায় H_2, NH_3 ও N_2 এর ঘনমাত্রা Y-অক্ষ থেকে নেয়া হয়েছে)। তখন Q_c এর নির্ণীত মান (0.296) ও K_c (0.29) এর নির্দিষ্ট মানের প্রায় সমান হয়।

$$Q_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \times [H_2]^3} = \frac{(2.36)^2}{(1.31)(2.43)^3} = 0.296 = K_c$$

দ্রষ্টব্য : (১) লা-শাতেলিয়ারের নীতির কার্যকারিতা বিচারে Q_c ও K_c উভয় অনুপাত রাশির গুরুত্ব আছে। (২) Q_c ও K_c এর মধ্যে মূল পার্থক্য হলো, 'Q_c' এর বেলায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের 'ঘনমাত্রা' K_c এর সাম্যসিস্টেমের 'ঘনমাত্রার' মানের মতো নাও হতে পারে অর্থাৎ Q_c এর বেলায় উৎপাদের ঘনমাত্রার মান K_c এর বেলায় 'ঘনমাত্রার মান' এর তুলনায় কম অথবা সমান অথবা বেশি হতে পারে। (৩) তাই নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বিক্রিয়াকালীন কোনো (t) সময়ে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রা জেনে হিসাবকৃত (calculated) Q_c এর মান যখন K_c এর স্থির মানের সমান হয়, তখন বিশৃঙ্খল অবস্থার (disturbed) বিক্রিয়া-সিস্টেমটি লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে প্রয়োজনমতো উৎপাদের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি অথবা হ্রাস করে নতুনভাবে সাম্যাবস্থায় এসেছে প্রমাণ করে।]

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১১ : সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাব

কয়লা ও প্রাকৃতিক গ্যাসে মিশে থাকা H_2S কে বায়ু সহযোগে জারিত করে প্রয়োজনীয় সালফার সংগ্রহ ও বায়ুদূষণ রোধ করা হয় :

$$2H_2S\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2S\,(s) + 2H_2O\,(g)$$

কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে – (ক) O_2 যোগ করার পর $[H_2O]$ এর; (খ) O_2 যোগ করার পর $[H_2S]$ এর, (গ) H_2S এর অপসারণের পর $[O_2]$ এর; (ঘ) S গুঁড়া যোগ করার পর $[H_2S]$ এর ?

দক্ষতা : বিক্রিয়া অনুপাত (বা reaction quotient), Q_c বিবেচনা করে প্রতিটি পরিবর্তনের পর Q_c এর কী পরিবর্তন হয় 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), $Q_c = \frac{[H_2O]^2}{[H_2S]^2 \times [O_2]}$

(ক) মিশ্রণে O_2 যোগ করলে, Q_c এর হরের মান বাড়ে; তখন $Q_c < K_c$ হবে। তাই সাম্যাবস্থা লাভের জন্য বিক্রিয়া ডানদিকে ঘটবে এবং $[H_2O]$ বাড়বে।

(খ) যেহেতু O_2 যোগ করলে, $Q_c < K_c$ হয়; তখন কিছু H_2S ঐ যোগ করা O_2 এর সাথে বিক্রিয়া করে, তখন সাম্যাবস্থা ডানদিকে অগ্রসর হবে এবং $[H_2S]$ কমবে।

(গ) H_2S অপসারণের পর Q_c এর হরের মান কমবে; তখন $Q_c > K_c$ হবে। তাই সাম্যাবস্থা বামদিকে শিফটের জন্য কিছু H_2S ও O_2 উৎপন্ন হবে এবং $[O_2]$ বাড়বে।

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১২ : 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 সামব্যাবস্থার ওপর অনুঘটকের কোনো প্রভাব নেই। (২) যেহেতু বিক্রিয়াটিতে আয়তনের কোনো পরিবর্তন হয় না, তাই বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থার ওপর চাপের কোনো প্রভাব নেই। কাজেই স্থির তাপমাত্রায় চাপ বৃদ্ধি 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 তাপমত্রার 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 সমমোলার 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 সাম্যাবস্থায় বাইরে থেকে C(s) যোগ করা হয়, তাহলে সাম্যাবস্থার ওপর কী প্রভাব পড়বে?

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

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 এ নীতির আলোকে আলোচনা করা হলো।

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

$$N_2(g) + 3H_2(g) \overset{\Delta}{\rightleftharpoons} 2NH_3(g) + 92.2\ kJ \quad \Delta H = -92.2\ kJ$$

	N_2	$3H_2$	$2NH_3$
প্রথম অবস্থায়,	1 mol	3 mol	0
সাম্যাবস্থায়,	(1–x) mol	3(1–x) mol	2x mol

(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)

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

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

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

$$\therefore K_p = \frac{\left(\frac{x}{2-x} . P\right)^2}{\left(\frac{1-x}{4-2x} .P\right)\left(\frac{3-3x}{4-2x} .P\right)^3} = \frac{\frac{x^2 \times P^2}{(2-x)^2}}{\frac{(1-x) \times P}{2(2-x)} \times \frac{27(1-x)^3 \times P^3}{8(2-x)^3}}$$

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

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

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

চিন্তা করো: 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 200 – 300 atm এর মধ্যে রাখলে উৎপাদন বাড়ে। বাস্তবে অ্যামোনিয়া উৎপাদনে **200 atm অত্যানুকূল চাপরূপে প্রয়োগ করা হয়।**

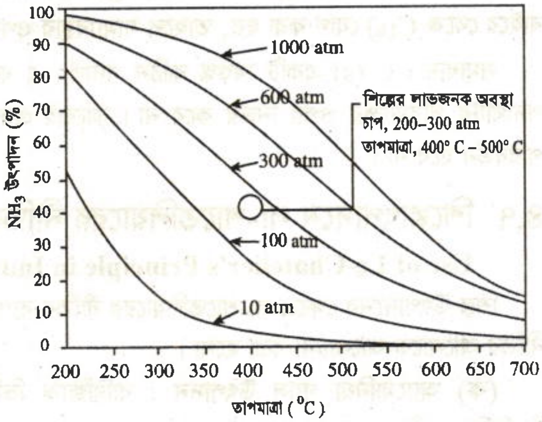
(২) তাপমাত্রার প্রভাব : অ্যামোনিয়া উৎপাদন **বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী।** সুতরাং লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে তাপমাত্রা যত কম হবে, অ্যামোনিয়ার উৎপাদন তত বেশি হবে।

* বিভিন্ন শিল্পে অ্যামোনিয়া উৎপাদনের ডাটা মতে (চিত্র-৪.১৭) **সর্বাধিক 98.3% অ্যামোনিয়া উৎপাদনের** তিন শর্ত হলো :

(১) NH_3 গ্যাস উৎপন্ন হওয়ার সাথে সাথে এর বিয়োজন রোধে একে বিক্রিয়াস্থল থেকে অপসারণ করা;

(২) 4 mol বিক্রিয়ক গ্যাস থেকে 2 mol NH_3 গ্যাস উৎপন্ন হওয়ায় আয়তন হ্রাসের কারণে উচ্চচাপ 1000 atm প্রয়োগ করা;

(৩) তাপোৎপাদী বিক্রিয়া হওয়ায় নিম্নতাপমাত্রা 200°C এ বিক্রিয়া তাপমাত্রা বজায় রাখা।

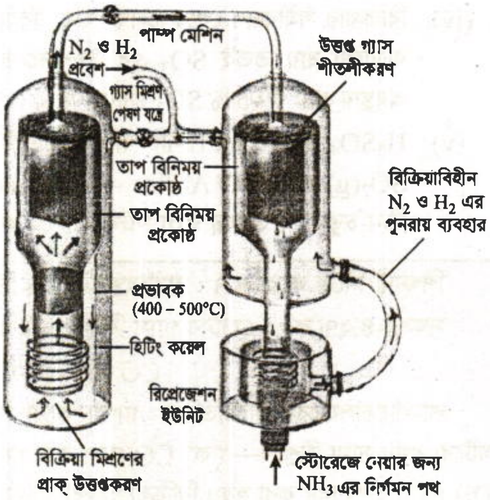


চিত্র-৪.১৭ : বিভিন্ন চাপ ও তাপমাত্রায় NH_3 এর উৎপাদন।

কিন্তু শিল্পকারখানায় অর্থনৈতিক লাভের জন্য উৎপাদনের পরিমাণের সাথে সময়ের হিসাবটাও দরকার। নিম্নতাপমাত্রায় অ্যামোনিয়া উৎপাদনের হার বা গতি হ্রাস পায় এবং উচ্চতাপমাত্রায় বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি পায়। **অপরদিকে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে সাম্যাবস্থায় অ্যামোনিয়ার শতকরা উৎপাদন হ্রাস পায়** (চিত্র-৪.১৭)। 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 লাভজনক হয়। এ তাপমাত্রাকে অত্যানুকূল তাপমাত্রা (optimum temperature) বলা হয়। শিল্পোৎপাদনে যেকোনো প্রভাবক রাসায়নিক বিক্রিয়ার বেগ ত্বরান্বিত করে। কিন্তু সাম্য অবস্থার ওপর এর প্রভাব নেই। এ কারণে শিল্পোৎপাদনে অধিকাংশ ক্ষেত্রে প্রভাবকের সাহায্য গ্রহণ করা হয়। অত্যানুকূল তাপমাত্রা বিভিন্ন প্রভাবকের জন্য বিভিন্ন হয়। তবে এ বিক্রিয়ায় Fe গুঁড়া প্রভাবকের সাথে MgO, SiO_2 ও Al_2O_3 মিশ্রণকে প্রভাবক সহায়ক বা প্রমোটর (promoter) হিসেবে ব্যবহার করা হয় এবং অত্যানুকূল তাপমাত্রারূপে 400°–500°C বজায় রাখা হয়।

বিক্রিয়াটিতে আয়তন হ্রাস পায় বলে উচ্চচাপে NH_3 এর উচ্চ উৎপাদন আশা করা সঙ্গত, যা এ বিক্রিয়ার K_p এর সমীকরণ থেকেও স্পষ্ট। তাই এ বিক্রিয়ার জন্য অত্যানুকূল 200–300 atm চাপ প্রয়োগ করা হয়ে থাকে।



চিত্র-৪.১৮ : হেবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদন

* লাভজনকভাবে শিল্পক্ষেত্রে বাস্তবে সর্বাধিক 35 – 40% NH_3 (আয়তনে) উৎপাদন করতে নিম্নরূপ **অত্যানুকূল অবস্থা** প্রয়োগ করা হয় :

(১) বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধির জন্য প্রভাবক Fe গুঁড়া ও প্রমোটররূপে গলিত (fused) MgO, Al_2O_3 ও SiO_2 এর মিশ্রণের 5 mm – 10 mm স্তর বিক্রিয়া চেম্বারে ব্যবহার; (২) বিক্রিয়া পরিবেশে 400°–500°C তাপমাত্রা বজায় রাখা; (৩) চাপমাত্রা 200–300 atm প্রয়োগ করে NH_3 গ্যাসকে প্রথমে শীতল ও পরে তরলীভূত করে স্টোরেজে সংরক্ষণ করা।

(২) সালফিউরিক এসিড শিল্পোৎপাদনের ক্ষেত্রে SO_2-এর জারণ বা SO_3 উৎপাদন : বাণিজ্যিক ভিত্তিতে সালফিউরিক এসিড প্রস্তুতির একটি গুরুত্বপূর্ণ ধাপ হচ্ছে SO_2-এর জারণ। উৎপন্ন SO_3 গ্যাসের সাথে পানির বিক্রিয়া ঘটিয়ে সালফিউরিক এসিড প্রস্তুত করা হয়। পানিতে SO_3 এর দ্রবণীয়তা কম বলে 98% H_2SO_4 এসিডে SO_3 গ্যাসকে শোষিত করা হয়।

$$\frac{1}{8}S_8(s) + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g) \qquad \Delta H = -297\ kJ$$

$$\underset{2\ mol}{2SO_2(g)} + \underset{1\ mol}{O_2(g)} \overset{\Delta}{\rightleftharpoons} \underset{2\ mol}{2SO_3(g)}; \qquad \Delta H = -99 \times 2 = -198\ kJ$$

RMDAC

উপরিউক্ত সমীকরণ থেকে জানা যায়, SO_3 উৎপাদন বিক্রিয়াটি–

লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে, নিম্নতাপমাত্রায় ও উচ্চচাপে সম্মুখ দিকে ঘটবে। কিন্তু উচ্চচাপে সালফার ডাইঅক্সাইড তরলীভূত হয় এবং নিম্নতাপমাত্রায় বিক্রিয়ার গতি হ্রাস পায়। এ কারণে, নিম্নোক্ত শর্তাবলি প্রয়োগ করে প্রভাবকীয় জারণ প্রক্রিয়ায় সর্বোচ্চ পরিমাণ SO_3 উৎপাদন করা হয়।

(i) **বিক্রিয়াটি উভমুখী এবং তাপোৎপাদী,** তাই নিম্নতাপমাত্রায় SO_3 এর উৎপাদন বাড়বে। তবে নিম্নতাপমাত্রায় বিক্রিয়া ধীরগতিতে অগ্রসর হয় বলে উচ্চতাপমাত্রার প্রয়োজন হয়।

(ii) প্রভাবক ব্যবহার করেও বিক্রিয়ার গতি বাড়ানো হয়। এক্ষেত্রে ভ্যানাডিয়াম পেন্টোক্সাইড (V_2O_5) চূর্ণ প্রভাবক নিষ্ক্রিয় সিলিকা জালিরূপে ব্যবহার করে 400°–500°C তাপমাত্রা এ ক্ষেত্রে অত্যানুকূল 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 SO_2 জারিত হয়।

(iv) বিক্রিয়ার সমীকরণ থেকে বোঝা যায়, বিক্রিয়াটি মোলার আয়তন হ্রাসের মাধ্যমে সংঘটিত হয় অর্থাৎ যতই চাপ বাড়ানো যায় ততই SO_3 এর উৎপাদনের শতকরা হার বাড়ানো যায়। তবে 1.7 atm চাপেই উপরোল্লিখিত অবস্থায় প্রায় 99.5% SO_2 জারিত হয়। এ কারণে আর অতিরিক্ত চাপ প্রয়োগ করা হয় না।

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

শিক্ষার্থী নিজে করো-৪.৭ : সাম্যাবস্থায় বিভিন্ন নিয়ামকের প্রভাব :

সমস্যা-৪.২৭(ক) : ওয়াটার গ্যাস শিফট বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থা বিবেচনা করা যাক :

$$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$$

লা-শাতেলিয়ারের নীতিভিত্তিক ব্যাখ্যা করো 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 করো।

সমস্যা-৪.২৭(খ) : 500°C তাপমাত্রায় 2 লিটার আয়তনের বদ্ধপাত্রে নিচের বিক্রিয়াটি সংঘটিত করা হয় :

$$2NOX(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + X_2(g);\quad \Delta H = -Ve$$ [ঢা. বো. ২০২১]

NOX যৌগটির বিযোজন বৃদ্ধিতে কী কী পদক্ষেপ নেয়া যেতে পারে, তা বিশ্লেষণ করো।

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। বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার ওপর বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার প্রভাব আছে (অনুচ্ছেদ-৪.৬.৩ দেখো)। আবার বিক্রিয়ার হারের ওপরও বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার প্রভাব আছে। বিক্রিয়ার হার বলতে এককসময়ে বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রা হ্রাস বা উৎপাদের মোলার ঘনমাত্রার বৃদ্ধি বোঝায়। নাইট্রোজেন টেট্রোঅক্সাইডের বিযোজন এরূপ একটি উভমুখী বিক্রিয়া। এ বিক্রিয়ার ওপর পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণ ডাটা নিম্নরূপ :

সারণি-৪.৪ : 25°C তাপমাত্রায় N_2O_4 বিযোজনের মোলার ঘনমাত্রা ডাটা $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

পরীক্ষার ক্রমিক নং	প্রাথমিক ঘনমাত্রা (M)		সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা (M)		সাম্যধ্রুবক সমীকরণ
	$[N_2O_4]$	$[NO_2]$	$[N_2O_4]$	$[NO_2]$	$K_c=[NO_2]^2/[N_2O_4]$
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। প্রতি ক্ষেত্রে 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-8.8 এর $[NO_2]^2/[N_2O_4]$ এর অনুপাত প্রতি ক্ষেত্রে প্রায় ধ্রুবক মানের যেমন 4.64×10^{-3} হয়েছে। এ ধ্রুবক মান সমতাযুক্ত 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। 1864 খ্রিষ্টাব্দে রসায়নবিদ গুল্ডবার্গ ও পি.ভাগে তাঁদের পরীক্ষালব্ধ এসব তথ্য সমন্বয় করে উভমুখী বিক্রিয়ার জন্য ভর ক্রিয়া সূত্র উপস্থাপন করেন। ভর ক্রিয়ার সূত্রটি নিম্নরূপ :

নির্দিষ্ট তাপমাত্রায়, নির্দিষ্ট সময়ে যেকোনো 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। কাজেই কোনো বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কগুলোর সক্রিয় ভর বৃদ্ধি পেলে বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি পায় এবং বিক্রিয়কগুলোর সক্রিয় ভর হ্রাস পেলে বিক্রিয়ার হার হ্রাস পায়।

সক্রিয় ভর (Active mass) : ভর ক্রিয়ার সূত্রে 'সক্রিয় ভর' বলতে বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রা (গ্রাম-অণু/লিটার)-কে বোঝায়। তবে বিক্রিয়ার মাধ্যমভেদে সক্রিয় ভরকে নিম্নোক্ত দু উপায়ে প্রকাশ করা হয়। যেমন,

(১) **বিক্রিয়কের মিশ্র দ্রবণের ক্ষেত্রে** উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক পদার্থের মোলার ঘনমাত্রা বা প্রতি লিটার দ্রবণে গ্রাম-অণু সংখ্যাকে বিক্রিয়কের সক্রিয় ভর ধরা হয়। যদি V লিটার দ্রবণে কোনো বিক্রিয়কের 'n' গ্রাম-অণু সংখ্যা বা মোল দ্রবীভূত থাকে; তবে ঐ বিক্রিয়কটির সক্রিয় ভর বা মোলার ঘনমাত্রা হবে = n/V।

(২) **গ্যাস মিশ্রণের বিক্রিয়কের ক্ষেত্রে** উভমুখী রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক গ্যাসের সক্রিয় ভরকে এদের আংশিক চাপে প্রকাশ করা হয়। কারণ গ্যাস মিশ্রণে উপস্থিত কোনো উপাদান গ্যাসের আংশিক চাপ গ্যাস মিশ্রণটির একক আয়তনে উপাদান গ্যাসটির গ্রাম-অণু সংখ্যার সমানুপাতিক হয়। [আংশিক চাপ = মোল ভগ্নাংশ × মোট চাপ (ধ্রুব)]

*এছাড়া বিশুদ্ধ কঠিন ও বিশুদ্ধ তরল বিক্রিয়কের 'সক্রিয় ভর'কে সব সময় একক (1) রূপে ধ্রুব ধরা হয়। এর কারণ কঠিন বিক্রিয়কের বেলায় এর পৃষ্ঠতলে বিক্রিয়া ঘটে এবং বিক্রিয়কের পরিমাণ কমতে থাকলেও অবশিষ্ট অংশের মোলার ঘনমাত্রার পরিবর্তন হয় না। একইভাবে বিশুদ্ধ তরলের ক্ষেত্রে বিক্রিয়াটি তরলের সমস্ত অংশব্যাপী ঘটলেও এবং আয়তন কমলেও অবশিষ্ট তরলের মোলার ঘনমাত্রার (গ্রাম-অণু লিটার$^{-1}$) পরিবর্তন হয় না।

ভর ক্রিয়া সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ : K_c এর রাশিমালা প্রতিপাদন :

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

$$A + B \rightleftharpoons C + D$$

মনে করি A, B, C ও D এর মোলার ঘনমাত্রায় সক্রিয় ভর হলো যথাক্রমে [A], [B], [C] ও [D]। এসব ক্ষেত্রে [ ] চিহ্ন দ্বারা মোলার ঘনমাত্রা বোঝায়। সুতরাং 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 সাম্যাঙ্ক বা সাম্যধ্রুবক বলা হয়। **সাম্যধ্রুবক K_c এর কোনো একক নেই**। কারণ সাম্যধ্রুবকের সমীকরণে উৎপাদ (লব) ও বিক্রিয়ক (হর) প্রতি ক্ষেত্রে ঘনমাত্রা পদকে প্রত্যেকের মোলারিটি (1M) দ্বারা ভাগ করা হয়। Thermodynamic Standard State মতে এরূপ করা হয়; ফলে এককসমূহ কাটা যায়; ঘনমাত্রার অনুপাত ও K_c উভয়ের কোনো একক থাকে না। যেমন সারণি-৪.৪ এর সাম্য ধ্রুবকের বেলায় দেখানো হয়েছে :

$$K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \frac{\left(\frac{0.0125M}{1M}\right)^2}{\left(\frac{0.0337M}{1M}\right)}$$

$$= 4.64 \times 10^{-3}$$

অনুরূপভাবে K_a, K_b, K_w হলো এককবিহীন।

['Thermodynamic Standard State' রূপে রসায়নবিদগণ *(i) দ্রবণে দ্রবের ঘনমাত্রা 1M, *(ii) প্রতিটি গ্যাসের চাপ 1 atm ও *(iii) তাপমাত্রা 25°C নির্দিষ্ট করেন। এক্ষেত্রে K_c ও K_p এর রাশিমালার প্রতিটি উপাদান represents the ratio of the measurable quantity of the substance (molar concentration or pressure) to the thermodynamic standard state quantity of the substance]

* এ পুস্তকে পুরাতন নিয়ম বাদ দিয়ে এ নতুন নিয়ম ব্যবহার করা হয়েছে। তাই K_c এর সমীকরণে সক্রিয় ভর মোলার ঘনমাত্রাকে 1M দ্বারা ভাগ করে এককবিহীন করতে হবে। K_p এর সমীকরণে সক্রিয় ভর আংশিক চাপকে চাপের একক 1 atm দ্বারা ভাগ করে এককবিহীন করতে হবে। প্রকৃতপক্ষে 'সক্রিয় ভর' এককবিহীন।

[**Reference :** (1) Chemistry : Martin S. Silberberg, Published by Mc. Graw Hill (Higher Education). (2) General Chemistry ATOMS FIRST : John E. McMurry and Robert C. Fay. এ বই দুটি আমেরিকার ক্যালিফোর্নিয়া ইউনিভারসিটিতে একাদশ-দ্বাদশ শ্রেণিতে পাঠ্যপুস্তক। (২) উচ্চতর রসায়ন (একাদশ শ্রেণি) : পৃষ্ঠা-241; ভারতীয় লেখক মাইতি, তেওয়ারী ও রায়।]

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 ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে উৎপাদসমূহের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল ও বিক্রিয়কসমূহের মোলার ঘনমাত্রার গুণফলের অনুপাতকে মোলার সাম্যধ্রুবক বলা হয়। একে K_c দ্বারা প্রকাশ করা হয়। তবে বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী কোনো 'বিক্রিয়ক' এবং উৎপন্ন পদার্থ বা 'উৎপাদের' মোল সংখ্যা দু বা ততোধিক হয়; তখন সাম্যধ্রুবকের রাশিমালায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মোল সংখ্যা এদের ঘনমাত্রার সূচকরূপে ব্যবহৃত হয়। যেমন- বিভিন্ন মোল সংখ্যা (a, b) বিশিষ্ট বিক্রিয়ক (A, B) ও উৎপাদ (L, M) সহকারে নিম্নলিখিত সাধারণ বিক্রিয়াটি হলো :

$$aA + bB \rightleftharpoons lL + mM$$

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

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

এখা ন C দ্বারা মোলার ঘনমাত্রা এবং মোলার সাম্যধ্রুবককে K_c দ্বারা প্রকাশ করা হয়েছে।

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

$$aA + bB \rightleftharpoons lL + mM; \qquad K_p = \frac{p_L^l \times p_M^m}{p_A^a \times p_B^b}$$

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 বা সূচকে 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 সংখ্যা মানের অনুপাত যেমন—

$$aA + bB \rightleftharpoons lL + mM$$

$$K_c = \frac{[L]^l \times [M]^m}{[A]^a \times [B]^b}; \qquad K_p = \frac{p_L^l \times p_M^m}{p_A^a \times p_B^b}$$

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

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

* (ii) 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 সাম্যধ্রুবক 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 সাম্যধ্রুবক 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 যেকোনো একটি গ্যাসের n মোলের আংশিক চাপ P হলে এবং গ্যাসটি T তাপমাত্রায় V লিটার আয়তন দখল করলে আদর্শ গ্যাসের সূত্রানুসারে–

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

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

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

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

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

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

= বিক্রিয়াকালে বিক্রিয়ক ও উৎপাদসমূহের মোল সংখ্যার পরিবর্তন।

= উৎপাদসমূহের মোল সংখ্যা – বিক্রিয়কসমূহের মোল সংখ্যা।

MCQ-4.9 : নিচের কোন্ বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় K_p ও K_c এর মান সমান হবে?

(ক) $PCl_5 \rightleftharpoons PCl_3 + Cl_2$

(খ) $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$

(গ) $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$

(ঘ) $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$

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 $(RT)^0 = 1$

* এক্ষেত্রে $R = 0.08206\ L.atm.K^{-1}.mol^{-1}$ এবং R এর মান কেলভিন এককে ধরে গাণিতিক সমস্যা সমাধান করতে হবে।

* K_p ও K_c এর কোনো একক হবে না। অনুচ্ছেদ-৪.৮ প্রয়োজনে দেখো।

* K_p নির্ণয়ে আংশিক চাপকে atm একককে সংখ্যা মানে রূপান্তর করতে হবে।

৪.৯.৩ সমসত্ত্ব সাম্যের ক্ষেত্রে ভর-ক্রিয়া সূত্রের ব্যবহার

RMDAC

Application of the Law of Mass action to Homogeneous Equilibrium

যে সকল উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদ একই ভৌত অবস্থায় থাকে সেসব সাম্যাবস্থাকে সমসত্ত্ব সাম্য বলে। যেমন N_2 ও H_2 থেকে NH_3 উৎপাদন, $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

কোনো বিক্রিয়া থেকে কোনো বিশেষ উৎপাদ কী পরিমাণ পাওয়া যেতে পারে, তা জানার জন্য ভর-ক্রিয়া সূত্রের প্রয়োগ করা হয়। বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় K_p ও K_c গণনা করা হয়। নিম্নে কয়েকটি সমসত্ত্ব সাম্যের K_c, K_p গণনার উদাহরণ দেয়া হলো।

(ক) বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মোল সংখ্যা যখন সমান হয়, তখন $K_p = K_c$ হয়

(১) হাইড্রোজেন আয়োডাইড প্রস্তুতকরণ :

হাইড্রোজেন আয়োডাইড (HI) প্রস্তুতকরণ H_2 ও I_2 থেকে নিম্ন সমীকরণ মতে করা হয়।

	$H_2(g)$	+	$I_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$2HI(g)$
প্রাথমিক অবস্থায় :	a mol		b mol		0 mol
সাম্যাবস্থায় :	$(a - \alpha)$ mol		$(b - \alpha)$ mol		2α mol

K_c এর গণনা : মনে করি, a মোল হাইড্রোজেন ও b মোল আয়োডিন V লিটার আয়তনবিশিষ্ট একটি পাত্রে রেখে তাপ প্রদানের ফলে সাম্যাবস্থায় 2α মোল HI তৈরি হলো। সুতরাং সাম্যাবস্থায় হাইড্রোজেন ও আয়োডিনের পরিমাণ হবে যথাক্রমে $(a-\alpha)$ মোল এবং $(b-\alpha)$ মোল। সুতরাং

সাম্যাবস্থায় H_2 এর মোলার ঘনমাত্রা $= \dfrac{(a-\alpha)}{V}\,(molL^{-1})$

সাম্যাবস্থায় I_2 এর মোলার ঘনমাত্রা $= \dfrac{(b-\alpha)}{V}\,(molL^{-1})$

সাম্যাবস্থায় HI এর মোলার ঘনমাত্রা $= \dfrac{2\alpha}{V}\,(molL^{-1})$

$$\therefore \text{ সাম্যাঙ্ক, } K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]\,[I_2]} = \frac{\left(\frac{2\alpha}{V}\right)^2}{\left(\frac{a-\alpha}{V}\right)\times\left(\frac{b-\alpha}{V}\right)} = \frac{4\alpha^2}{(a-\alpha)\,(b-\alpha)}$$

আবার, $K_p = K_c\,(RT)^{\Delta n}$ এবং এখানে $\Delta n = (2-2) = 0$

$$\therefore \text{ এক্ষেত্রে } K_p = K_c\,(RT)^{\circ} = K_c \times 1 \text{ বা, } K_p = K_c = \frac{4\alpha^2}{(a-\alpha)\,(b-\alpha)}$$

K_p ও K_c এর তাৎপর্য : এক্ষেত্রে $K_p = K_c$ হয়েছে এবং উভয় সাম্যধ্রুবক বিক্রিয়ায় গ্যাসপাত্রের আয়তন (V) ও চাপ (P) কোনো রাশির সাথে সম্পর্কিত নয়। তাই বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে (V) ও (P) পরিবর্তন করলেও সাম্যধ্রুবক অপরিবর্তিত থাকবে।

(২) HI এর বিযোজন : এ তাপীয় বিযোজন সাম্যাবস্থায় নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয় :

		$2HI(g)$	$\rightleftharpoons$	$H_2(g)$	+	$I_2(g)$
প্রারম্ভিক অবস্থায়	:	2a mol		0 mol		0 mol
সাম্যাবস্থায়	:	$(2a-2\alpha)$		α mol		α mol

K_c এর গণনা : মনে করি, 2a মোল হাইড্রোজেন আয়োডাইডকে V লিটার পাত্রে তাপ দেয়ায় সাম্যাবস্থায় 2α মোল HI বিযোজিত হয়ে α মোল H_2 ও α মোল I_2 উৎপন্ন হলো। সুতরাং

সাম্যাবস্থায় HI এর মোলার ঘনমাত্রা $= \dfrac{(2a-2\alpha)}{V}\,(molL^{-1})$

সাম্যাবস্থায় H_2 এর মোলার ঘনমাত্রা $= \dfrac{\alpha}{V}\,(molL^{-1})$

সাম্যাবস্থায় I_2 এর মোলার ঘনমাত্রা $= \dfrac{\alpha}{V}\,(molL^{-1})$

$$\therefore \text{ সাম্যাঙ্ক, } K_c = \frac{[H_2]\times[I_2]}{[HI]^2} = \frac{\frac{\alpha}{V}\times\frac{\alpha}{V}}{\left(\frac{2a-2\alpha}{V}\right)^2} = \frac{\alpha^2}{4(a-\alpha)^2}$$

K_p এর গণনা (মোল ভগ্নাংশ ও মোট চাপের সাহায্যে) : মনে করি HI এর বিযোজনে সাম্যমিশ্রণে HI, H_2 ও I_2 এর মোল সংখ্যা হলো যথাক্রমে $(2a-2\alpha)$, α ও α। সুতরাং মিশ্রণে মোট মোল সংখ্যা হবে $(2a-2\alpha+\alpha+\alpha) = 2a$। এখন গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ P (atm) হলে, তখন সাম্যাবস্থায়—

HI এর আংশিক চাপ, $p_{HI} = \frac{(2a - 2\alpha) \times P}{2a}$

H_2 এর আংশিক চাপ, $p_{H_2} = \frac{\alpha \times p}{2a}$

I_2 এর আংশিক চাপ, $p_{I_2} = \frac{\alpha \times p}{2a}$

$$\therefore \text{ সাম্যাঙ্ক}, K_p = \frac{p_{H_2} \times p_{I_2}}{(p_{HI})^2} = \frac{\left(\frac{\alpha \times P}{2a}\right) \times \left(\frac{\alpha \times P}{2a}\right)}{\left[\frac{(2a - 2\alpha)P}{2a}\right]^2} = \frac{\alpha^2}{4(a - \alpha)^2}$$

K_p ও K_c এর তাৎপর্য : (১) এক্ষেত্রে $K_p = K_c = \frac{\alpha^2}{4(a - \alpha)^2}$ হয়েছে।

(২) উভয় সাম্যধ্রুবক সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়ায় গ্যাসপাত্রের আয়তন (V) ও চাপ (P) কোনো রাশির সাথে সম্পর্কিত নয়; তাই বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে V ও P পরিবর্তন করলেও সাম্যধ্রুবক অপরিবর্তিত থাকবে।

> **MCQ-4.10 : নিচের বিক্রিয়ায় K_p ও K_c এর সম্পর্ক কোনটি?** [সি. বো. ২০১৬]
>
> $A_2(g) + 3B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_3(g)$
>
> (ক) $K_c = K_p(RT)^2$ (খ) $K_p = K_c(RT)^{-2}$
>
> (গ) $K_c = K_p(RT)^{-2}$ (ঘ) $K_c = K_p$

(খ) বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মোলসংখ্যা যখন পরিবর্তিত হয়, $K_p \neq K_c$

(৩) ডাইনাইট্রোজেন টেট্রোক্সাইডের বিয়োজন : ডাইনাইট্রোজেন টেট্রোক্সাইড (N_2O_4) কে বদ্ধপাত্রে উত্তপ্ত করলে তা আংশিকভাবে বিয়োজিত হয়ে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড (NO_2) উৎপন্ন করে। সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :

		$N_2O_4(g)$	$\overset{\Delta}{\rightleftharpoons}$	$2NO_2(g)$
প্রাথমিক অবস্থায়	:	a mol		0 mol
সাম্যাবস্থায়	:	$(a - \alpha)$ mol		2α mol

$\therefore$ বিক্রিয়াটির $K_p = \frac{(P_{NO_2})^2}{P_{N_2O_4}}$ এবং $K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$

K_p এর গণনা : মনে করো, N_2O_4-এর প্রাথমিক মোলসংখ্যা, a এবং সাম্যাবস্থায় বিয়োজনের পরিমাণ, α মোল। ঐ অবস্থায় N_2O_4 এর মোলসংখ্যা ও NO_2 এর মোলসংখ্যা হবে যথাক্রমে $(a - \alpha)$ ও 2α। সুতরাং মোট মোলসংখ্যা হবে $(a - \alpha + 2\alpha)$ বা, $(a + \alpha)$। গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ যদি P (atm) হয়, তবে–

N_2O_4 এর আংশিক চাপ, $P_{N_2O_4} = \frac{a - \alpha}{a + \alpha}P$; এবং NO_2 এর আংশিক চাপ, $P_{NO_2} = \frac{2\alpha}{a + \alpha}P$

$$\therefore K_p = \frac{(P_{NO_2})_2}{N_2O_4} = \frac{\left(\frac{2\alpha}{a + \alpha}\right)^2 P^2}{\left(\frac{a - \alpha}{a + \alpha}\right)P} = \frac{4\alpha^2}{(a + \alpha)^2} \times \frac{(a + \alpha)}{(a - \alpha)}P = \frac{4\alpha^2 P}{a^2 - \alpha^2}$$

K_p-এর তাৎপর্য : উপরিউক্ত সমীকরণ থেকে জানা যায়,,

(১) α, a ও P (atm) জানা থাকলে সহজেই K_p নির্ণয় করা যায়।

(২) এ ক্ষেত্রে চাপ P বাড়ালে K_p এ মান ধ্রুব রাখার জন্য বিয়োজনের পরিমাণ α হ্রাস পাবে।

(৩) আবার বিয়োজনের পরিমাণ α অত্যন্ত ক্ষুদ্র হলে উপরিউক্ত সমীকরণে a^2 এর তুলনায় α^2 এত বেশি ক্ষুদ্র হয় যে, α^2 কে উপেক্ষা করে অর্থাৎ শূন্য ধরে $(a^2 - \alpha^2) = a^2$ বসিয়ে সমীকরণটি নিম্নভাবে লেখা যায়।

অর্থাৎ $K_p = \frac{4\alpha^2}{a^2} P$; $\therefore \alpha = \frac{a}{2}\sqrt{\frac{K_p}{P}}$

উপরিউক্ত সমীকরণে দেখা যায়, বিযোজনের পরিমাণ α মোট চাপের ওপর নির্ভরশীল। K_p ও P (atm) জানা থাকলে বিযোজনের পরিমাণ α সহজেই নির্ণয় করা যায়।

K_c-এর গণনা : মনে করো, বিক্রিয়াটি V লিটার আয়তনবিশিষ্ট পাত্রে সম্পন্ন করা হয়েছে।

সুতরাং সাম্যাবস্থায় ; N_2O_4 (g) এর ঘনমাত্রা, $[N_2O_4] = \frac{(a-\alpha)}{V}$ $molL^{-1}$

NO_2 (g) এর ঘনমাত্রা, $[NO_2] = \frac{2\alpha}{V}$ $molL^{-1}$ ।

$$\therefore \text{সাম্যাঙ্ক}, \ K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \frac{\left(\frac{2\alpha}{V}\right)^2}{\left(\frac{a-\alpha}{V}\right)} = \frac{4\alpha^2}{(a-\alpha)V}$$

K_p ও K_c এর তাৎপর্য : (১) K_p এর রাশিমালার সাথে চাপ (P) লব অংশে সম্পর্কিত; তাই P বাড়ালে K_p এর মান স্থির রাখার জন্য বিযোজনের পরিমাণ α হ্রাস পায়।

(২) এক্ষেত্রে $K_p = K_c((RT)^{\Delta n}$ এবং $\Delta n = (2-1) = 1$ হওয়ায় $K_p = K_c RT$ হয়।

> **বিশেষ দ্রষ্টব্য :** বিযোজনের পরিমাণ ও বিযোজন মাত্রা এ দুটো পদের অর্থ ভিন্ন।
> যদি a মোল পদার্থের α mol বিযোজিত হয়, তবে বিযোজনের পরিমাণ হচ্ছে α mol। অপরদিকে 'বিযোজন মাত্রা' (degree of dissociation) বলতে বোঝায় সে পদার্থের প্রতি মোলের কত ভগ্নাংশ বিযোজিত হয়েছে সে সংখ্যা, অর্থাৎ বিযোজন মাত্রা β হলে, $\beta = \frac{\alpha}{a}$ । এ ভগ্নাংশকে অনেকক্ষেত্রে 100 দ্বারা গুণ করে শতকরা হিসাবে প্রকাশ করা হয়। যেমন 5 mol N_2O_4 নিয়ে উত্তপ্ত করার পর 2 mol বিযোজিত হলে 'বিযোজনের পরিমাণ' বলতে 2 mol বোঝাবে। অপরদিকে বিযোজন মাত্রা হচ্ছে, $\frac{2}{5} = 0.4$ বা, $0.4 \times 100 = 40\%$ ।

(৪) ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইডের বিযোজন ;

ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইড (PCl_5) নিম্নলিখিত বিক্রিয়া অনুসারে তাপ বিযোজিত হয়ে সাম্যাবস্থা প্রাপ্ত হয়।

	PCl_5 (g)	$\overset{\Delta}{\rightleftharpoons}$	PCl_3 (g)	+	Cl_2 (g)
প্রাথমিক অবস্থায় :	1 mol		0 mol		0 mol
সাম্যাবস্থায় :	$(1-\alpha)$ mol		α mol		α mol

K_c এর গণনা : ধরা যাক, 1 mol PCl_5 কে তাপ দেয়ার ফলে সাম্যাবস্থায় α অংশ বিযোজিত হয়ে α mol PCl_3 ও α mol Cl_2 উৎপন্ন হয়েছে। সুতরাং PCl_5 এর অবিযোজিত মোলসংখ্যা $= (1-\alpha)$। বিক্রিয়াটি V লিটার পাত্রে নিষ্পন্ন করা হলো,

PCl_5 এর মোলার ঘনমাত্রা, $[PCl_5] = \frac{(1-\alpha)}{V} molL^{-1}$

PCl_3 এর মোলার ঘনমাত্রা, $[PCl_3] = \frac{\alpha}{V}$ $molL^{-1}$

Cl_2 এর মোলার ঘনমাত্রা, $[Cl_2] = \frac{\alpha}{V}$ $molL^{-1}$

সুতরাং $K_c = \frac{[PCl_3]\times[Cl_2]}{[PCl_5]} = \frac{\frac{\alpha}{V}\times\frac{\alpha}{V}}{\frac{(1-\alpha)}{V}} = \frac{\frac{\alpha^2}{V^2}}{\frac{(1-\alpha)}{V}} = \frac{\alpha^2}{V^2}\times\frac{V}{(1-\alpha)} = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)V}$

K_p এর গণনা : ধরা যাক, উপরিউক্ত বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় মোট মোলসংখ্যা $= (1-\alpha+\alpha+\alpha) = (1+\alpha)$। মোট চাপ P হলে, PCl_5 এর আংশিক চাপ, $P_{PCl_5} = PCl_5$ এর মোল ভগ্নাংশ × মোট চাপ, $= \frac{(1-\alpha)}{1+\alpha}\times P$

অনুরূপভাবে, $P_{PCl_3} = \frac{\alpha}{(1+\alpha)}\times P$; এবং $P_{Cl_2} = \frac{\alpha}{(1+\alpha)}\times P$;

$$\therefore K_p = \frac{P_{PCl_3}\times P_{PCl_2}}{P_{PCl_5}} = \frac{\frac{\alpha}{(1+\alpha)}P\times\frac{\alpha}{(1+\alpha)}P}{\frac{(1-\alpha)}{(1+\alpha)}P} = \frac{\frac{\alpha^2}{(1+\alpha)^2}P^2}{\frac{(1-\alpha)}{(1+\alpha)}P} = \frac{\alpha^2\times p^2}{(1+\alpha)^2}\times\frac{(1+\alpha)}{(1-\alpha)\times P}$$

$$= \frac{\alpha^2\times P}{(1-\alpha^2)}$$

K_p এর তাৎপর্য : ওপরের সমীকরণ থেকে দেখা যায়, (১) PCl_5 এর বিয়োজনের পরিমাণ α, প্রাথমিক মোলার ঘনমাত্রা এবং মোট চাপ P (atm) জানা থাকলে K_p এর মান নির্ণয় করা যায়। এছাড়া (২) যদি P হ্রাস পায়, তবে K_p এর মান ধ্রুবক রাখার জন্য α এর মান অর্থাৎ PCl_5 এর বিয়োজন বৃদ্ধি পায়। যদি P বৃদ্ধি পায়, তবে চাপ বৃদ্ধির ফলাফল প্রশমনের জন্য সাম্যাবস্থা পিছনের দিকে অগ্রসর হবে; PCl_5 এর বিয়োজন (α) হ্রাস পাবে তখন K_p এর মান স্থির থাকে।

বিশেষ দ্রষ্টব্য : কার্বনাইল ক্লোরাইড বা কার্বন ডাইক্লোরাইড অক্সাইড ($COCl_2$) এর বিয়োজন উপরিউক্ত PCl_5 এর বিয়োজনের অনুরূপ। যেমন, $COCl_2(g) \overset{\Delta}{\rightleftharpoons} CO(g) + Cl_2(g)$

সুতরাং $COCl_2$ বিয়োজনের বেলায় K_c ও K_p এর গণনা অনুরূপভাবে করা যাবে।

এ বিক্রিয়ায় $K_c = \frac{[CO]\times[Cl_2]}{[COCl_2]}$ এবং $K_p = \frac{P_{CO}\times P_{Cl_2}}{P_{COCl_2}}$

(৫) N_2O_5 এর বিয়োজন : এ তাপীয় বিয়োজনের সাম্যাবস্থার সমীকরণ হলো নিম্নরূপ :

	$2N_2O_5(g)$	$\overset{\Delta}{\rightleftharpoons}$	$4NO_2(g)$	+	$O_2(g)$
প্রাথমিক অবস্থায় :	2a mol		0 mol		0 mol
সাম্যাবস্থায় :	$(2a-2\alpha)$ mol		4α mol		α mol

K_p এর গণনা : ধরা যাক, N_2O_5 এর প্রাথমিক মোলসংখ্যা 2a এবং সাম্যাবস্থায় বিয়োজনের পরিমাণ 2α মোল। তখন 2α মোল N_2O_5 বিয়োজিত হলে 4α মোল NO_2 ও α মোল O_2 উৎপন্ন হয়। সুতরাং সাম্যমিশ্রণে N_2O_5 এর মোল সংখ্যা হয় $(2a-2\alpha)$ এবং মিশ্রণে মোট মোল সংখ্যা $= (2a-2\alpha+4\alpha+\alpha) = (2a+3\alpha)$। গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ P (atm) হলে, তখন সাম্যাবস্থায়–

N_2O_5 এর আংশিক চাপ, $P_{N_2O_5} = \frac{(2a-2\alpha)\times P}{(2a+3\alpha)}$

NO_2 এর আংশিক চাপ, $P_{NO_2} = \frac{4\alpha\times P}{(2a+3\alpha)}$

O_2 এর আংশিক চাপ, $P_{O_2} = \dfrac{\alpha \times P}{(2a + 3\alpha)}$

$$\therefore \text{ সাম্যাঙ্ক, } K_p = \frac{(P_{NO_2})^4 \times P_{O_2}}{(P_{N_2O_5})^2} = \frac{\left[\frac{4\alpha P}{(2a+3\alpha)}\right]^4 \times \left[\frac{\alpha P}{(2a+3\alpha)}\right]}{\left[\frac{(2a-2\alpha)\times P}{(2a+3\alpha)}\right]^2}$$

$$\text{বা, } K_p = \frac{256\alpha^5P^5 \times (2a+3\alpha)^2}{(2a+3\alpha)^5 \times 4\,(a-\alpha)^2\,P^2} = \frac{64\alpha^5P^3}{(2a+3\alpha)^3 \times (a-\alpha)^2}$$

K_p এর তাৎপর্য : এক্ষেত্রে চাপ বাড়ালে K_p এর মান স্থির রাখার জন্য বিয়োজন α হ্রাস পাবে।

K_c এর গণনা : মনে করি, বিক্রিয়াটি V লিটার আয়তনের পাত্রে সম্পন্ন করা হলো। তখন সাম্যাবস্থায়, N_2O_5 এর ঘনমাত্রা $[N_2O_5] = \dfrac{(2a-2\alpha)}{V}$ $molL^{-1}$, NO_2 এর ঘনমাত্রা, $[NO_2)] = \dfrac{4\alpha}{V}$ $molL^{-1}$, O_2 এর ঘনমাত্রা,

$[O_2] = \dfrac{\alpha}{V}$ $molL^{-1}$

$$\therefore \text{ সাম্যাঙ্ক, } K_c = \frac{[NO_2]^4 \times [O_2]}{[N_2O_5]^2} = \frac{\left(\frac{4\alpha}{V}\right)^4 \times \frac{\alpha}{V}}{\left(\frac{2a-2\alpha}{V}\right)^2} = \frac{256\alpha^5}{V^5} \times \frac{V^2}{4a-\alpha}$$

$$\text{বা, } K_c = \frac{64\alpha^5}{(a-\alpha)^2V^3}$$

K_c এর তাৎপর্য : যেহেতু $K_p = K_c\,(RT)^{\Delta n}$ এবং $\Delta n = (5-2) = 3$ হয়; তাই $K_p = K_c\ (RT)^3$

(৬) অ্যামোনিয়া উৎপাদন : অ্যামোনিয়া উৎপাদন N_2 ও H_2 থেকে নিম্নের সমীকরণ মতে করা হয়।

	$N_2(g)$	+	$3H_2(g)$	$\overset{\Delta}{\rightleftharpoons}$	$2NH_3(g)$
প্রাথমিক অবস্থায় :	a mol		3b mol		0 mol
সাম্যাবস্থায় :	$(a-\alpha)$ mol		$(3b-3\alpha)$ mol		2α mol

K_c এর গণনা : মনে করি, a mol N_2 ও 3b mol H_2 এর মধ্যে V লিটার পাত্রে বিক্রিয়া ঘটালে সাম্যাবস্থায় 2α mol NH_3 উৎপন্ন হলো। সুতরাং সাম্যাবস্থায় $(a-\alpha)$ mol N_2 ও $(3b-3\alpha)$ mol H_2 বিক্রিয়া মিশ্রণে থাকে। তখন সাম্যাবস্থায় N_2 এর ঘনমাত্রা $[N_2] = \dfrac{(a-\alpha)}{V}$ $molL^{-1}$, H_2 এর ঘনমাত্রা, $[H_2] = \dfrac{(3b-3\alpha)}{V}$ $molL^{-1}$, NH_3 এর ঘনমাত্রা, $[NH_3] = \dfrac{2\alpha}{V}$ $molL^{-1}$।

$$\therefore \text{ সাম্যাঙ্ক, } K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \times [H_2]^3} = \frac{\left(\frac{2\alpha}{V}\right)^2}{\left(\frac{a-\alpha}{V}\right) \times \left(\frac{3b-3\alpha}{V}\right)^3} = \frac{4\alpha^2V^2}{27(a-\alpha)\,(b-\alpha)^3}$$

K_p এর গণনা : উপরিউক্ত বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় মোট মোল সংখ্যা

$= (a - \alpha + 3b - 3\alpha + 2\alpha) = (a + 3b - 2\alpha)$। মোট চাপ P হলে তখন–

N_2 এর আংশিক চাপ, $p_{N_2} = \dfrac{(a-\alpha)\, 2 \times P}{(a + 3b - 2\alpha)}$, H_2 এর আংশিক চাপ, $P_{H_2} = \dfrac{(3b - 3\alpha) \times P}{(a + 3b - 2\alpha)}$ ও NH_3 এর আংশিক চাপ $P_{NH_3} = \dfrac{2\alpha \times P}{(a + 3b - 2\alpha)}$ ।

$$\therefore \text{সাম্যাঙ্ক}, K_p = \frac{(P_{NH_3})^2}{(P_{N_2}) \times (P_{H_2})^3} = \frac{\left[\dfrac{2\alpha P}{(a + 3b - 2\alpha)}\right]^2}{\dfrac{(a-\alpha)\, P}{(a + 3b - 2\alpha)} \times \left[\dfrac{(3b - 3\alpha)P}{(a + 3b - 2\alpha)}\right]^3}$$

$$\text{বা}, K_p = \frac{4\alpha^2 (a + 3b - 2\alpha)^2}{27\, (a - \alpha)\, (b - \alpha) P^2}$$

K_p ও K_c এর তাৎপর্য : (১) যেহেতু $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$ এবং $\Delta n = (2 - 4) = -2$,

তাই $K_p = K_c (RT)^{-2}$, বা, $K_c = K_p \times (RT)^2$ ।

(২) K_p এর সাথে P এর সম্পর্ক মতে, এক্ষেত্রে চাপ P বাড়ালে, K_p এর মান স্থির রাখার জন্য উৎপাদের পরিমাণ (α) বাড়বে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৩ : সাম্যাবস্থার সমীকরণ লেখা :

নিচের প্রত্যেকটি বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার সমীকরণ লেখ।

(ক) $N_2 (g) + 3H_2 (g) \rightleftharpoons 2NH_3 (g)$

(খ) $2NH_3 (g) \rightleftharpoons N_2 (g) + 3H_2 (g)$

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

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

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

> **MCQ-4.11 : 4.25 mol H_2 ও 4.75 mol I_2 বাষ্পকে 1.0 L পাত্রে 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-৪.১৪ : সাম্যধ্রুবক K_c গণনা :

500 K তাপমাত্রায়, অ্যামোনিয়া উৎপাদনের বেলায় সাম্যমিশ্রণে 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-৪.১৩ এর উভয় বিক্রিয়ার জন্য ঐ তাপমাত্রায় সাম্যধ্রুবক গণনা করো।

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

সমাধান : (ক) $K_c = \dfrac{[NH_3]^2}{[N_2] \times [H_2]^3} = \dfrac{(1.6 \times 10^{-2})^2}{(3.0 \times 10^{-2}) \times (3.7 \times 10^{-2})^3} = 1.7 \times 10^2$

(খ) $K'_c = \dfrac{[N_2] \times [H_2]^3}{[NH_3]^2} = \dfrac{(3.0 \times 10^{-2}) \times (3.7 \times 10^{-2})^3}{(1.6 \times 10^{-2})^2} = 5.9 \times 10^{-3}$

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৫ : সাম্যধ্রুবক K_c ও K_p সম্পর্কীয় :

স্টিম-হাইড্রোকার্বন রিফরমিং প্রক্রিয়ায় অধিক পরিমাণ H_2 গ্যাস শিল্পে উৎপাদন করা হয়। এক্ষেত্রে প্রথম ধাপের বিক্রিয়াটি হলো : $H_2O\ (g) + CH_4\ (g) \rightleftharpoons CO\ (g) + 3H_2\ (g)$

(ক) যদি এক্ষেত্রে $K_c = 3.8 \times 10^{-3}$, তাপমাত্রা 1000 K হয়; তবে ঐ তাপমাত্রায় K_p এর মান কত?

(খ) যদি এক্ষেত্রে $K_p = 6.1 \times 10^4$, তাপমাত্রা 1125°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 $K_p = K_c \times (RT)^{\Delta n}$ ব্যবহৃত হবে ; R = 0.08206 L.atm/(K.mol), কেলভিন এককে T, Δn = (গ্যাসীয় উৎপাদের মোল সংখ্যা – বিক্রিয়কের মোল সংখ্যা)

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

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

(খ) এক্ষেত্রে $K_p = K_c\ (RT)^2$ সমাধান করে K_cএর মান বের হবে :

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

লক্ষ্য করো, এখানে T = (1125 + 273) = 1398 K

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

এখানে, Δn = বিক্রিয়ার গ্যাসীয় উৎপাদের মোট মোল সংখ্যা – গ্যাসীয় বিক্রিয়কের মোট মোল সংখ্যা।

১। $K_p > K_c$ হবে, যদি বিক্রিয়ায় $\Delta n > 0$ হয়। যেমন,
$PCl_5\ (g) \rightleftharpoons PCl_3\ (g) + Cl_2\ (g)$ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে $K_p > K_c$

২। $K_p < K_c$ হবে, যদি বিক্রিয়ায় $\Delta n < 0$ হয়। যেমন,
$N_2\ (g) + 3H_2\ (g) \rightleftharpoons 2NH_3\ (g)$ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে $K_p < K_c$

MCQ-4.12 : $A + B \rightleftharpoons 3D$ সমীকরণ মতে বিক্রিয়াটির K_p ও K_c এর সম্পর্ক হবে–

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

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

শিক্ষার্থী নিজে করো-৪.৮ : ভরক্রিয়ার সূত্রভিত্তিক :

সমস্যা ৪.২৮ : সালফিউরিক এসিডের শিল্পোৎপাদনে সালফার ডাইঅক্সাইডকে জারিত করে সালফার ট্রাইঅক্সাইড উৎপাদন করা হয়। নিচের প্রত্যেক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার সমীকরণ লেখ।

(ক) $2SO_2\ (g) + O_2\ (g) \rightleftharpoons 2SO_3\ (g)$; (খ) $2SO_3\ (g) \rightleftharpoons 2SO_2\ (g) + O_2\ (g)$

সমস্যা ৪.২৯ : 800 K তাপমাত্রায়, SO_3 উৎপাদনের সাম্যাবস্থায় মোলার ঘনমাত্রা হয়

$[SO_2] = 3.0 \times 10^{-3}$ M; $[O_2] = 3.5 \times 10^{-3}$ M; $[SO_3] = 5.0 \times 10^{-2}$ M; ওপরের সমস্যা-৪.২৮ এর উভয় বিক্রিয়ার জন্য 800 K তাপমাত্রায় সাম্যধ্রুবক গণনা করো। [উঃ (ক) 7.9×10^4; (খ) 1.26×10^{-5}]

সমস্যা ৪.৩০ : (ক) সাম্যধ্রুবক K_c ও K_p এর কোনো একক নেই; এর কারণ ব্যাখ্যা করো।

(খ) K_p ও K_c এর মধ্যে গাণিতিক সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করো। [অনুধাবনভিত্তিক]

(গ) $A_2\ (g) + B_2\ (g) \rightleftharpoons 2AB\ (g)$; এ উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির জন্য K_p ও K_c এর মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করো। [চ. বো. ২০১৫]

(ঘ) $2A_2O_5\ (g) \rightleftharpoons 4AO_2\ (g) + O_2\ (g)$; এ উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির K_p রাশিমালা প্রতিপাদন করো। [কু. বো. ২০১৫]

(ঙ) N_2O_4 এর বিয়োজনের K_p রাশিমালা প্রতিপাদন করো। [রা. বো. ২০১৫]

(চ) K_c এর মান শূন্য বা অসীম হতে পারে না; ব্যাখ্যা করো। [কু. বো. ২০১৫; দি. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.৩১ : 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 শিফ্‌ট বিক্রিয়াটি হলো :

$$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$$

700 K 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? [উঃ 9.48]

সমস্যা-৪.৩২ : 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°C-এ $K_c = 6.9 \times 10^5$ হয়, ঐ তাপমাত্রায় K_p এর মান কত হবে? [উঃ (ক) $K_p = 1.68 \times 10^4$]

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

৪.৯.৪ সাম্যধ্রুবক K_c এর গুরুত্ব বা তাৎপর্য
Importance or Significance of K_c

কোনো উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবকের মান জেনে আমরা কী সুবিধা পাবো?

(১) আমরা বিক্রিয়াটির ব্যাপ্তি (extent) বিচার করবো, (২) বিক্রিয়াটির দিক (direction) সম্বন্ধে ধারণা পাবো, (৩) প্রাথমিক ঘনমাত্রা থেকে সাম্যাবস্থার মিশ্রণের উপাদানের ঘনমাত্রা গণনা করতে পারবো।

(১) বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি (Extent) বিচার : সাম্যধ্রুবকের 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 500 K (227°C) তাপমাত্রায় সাম্যধ্রুবক অত্যধিক মানের ($K_c = 2.4 \times 10^{47}$) হয়।

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2H_2O(g)$$

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

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

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) HI সংশ্লেষণ ও (ii) N_2O_4 বিয়োজনের সাম্যধ্রুবক নিয়ে বিচার করবো।

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

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$$

$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2] \times [I_2])} = 57.0 \text{ (at 700 K)}$$

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

$[HI]^2 = K_c \times [H_2] \times [I_2]$; বা, $[HI] = \sqrt{(57.0 \times 0.01 \times 0.01)} = 0.075$ M

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

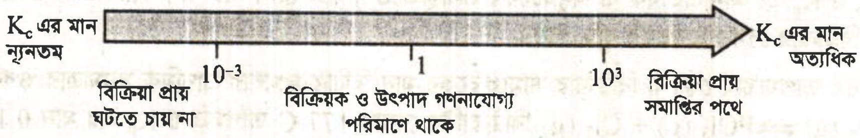
(ii) আবার N_2O_4 এর বিয়োজনের সাম্যধ্রুবক K_c এর মান খুব বড়ো বা ছোটো নয়, $K_c = 4.64 \times 10^{-3}$ (at 25°C)। সাম্যাবস্থায় N_2O_4 এবং NO_2 এর ঘনমাত্রা গণনাযোগ্য হয়। যেমন, 0.0337 M ও 0.0125 M (সারণি-8.8 দেখো)।

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

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

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

নিচের-৪.১৯ নং চিত্রে K_c এর মানভিত্তিক বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি বিচার দেখানো হলো :



চিত্র-৪.১৯ : K_c এর মানভিত্তিক বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি বিচার

(২) বিক্রিয়ার দিক সম্বন্ধে প্রাক্ ধারণা : হাইড্রোজেন গ্যাস ও আয়োডিন বাষ্প থেকে 700 K (427°C) তাপমাত্রায় HI সংশ্লেষণ বিক্রিয়াটির K_c এর মান নিয়ে আলোচনা করা যাক :

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g); \quad K_c = 57.0 \text{ (at 700 K)}$$

ধরা যাক, বিক্রিয়া শুরুর t সময় পরে বিক্রিয়া মিশ্রণে 700 K তাপমাত্রায় $H_2(g)$, $I_2(g)$ ও HI (g) এর ঘনমাত্রা $[H_2]_t = 0.10$ M, $[I_2]_t = 0.20$ M এবং $[HI]_t = 0.40$ 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।

$$\therefore \text{ বিক্রিয়া অনুপাত, } Q_c = \frac{[HI]_t^2}{[H_2]_t \times [I_2]_t} = \frac{(0.40)^2}{(0.10) \times (0.20)} = 8.0$$

উল্লেখ্য K_c এর অনুরূপভাবে Q_c কে সংজ্ঞায়িত করা হয়। ওপরের 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 অগ্রসর হতে হবে। এখানে বোঝা গেল বিক্রিয়া অনুপাত, Q_c এর বিশেষ গুরুত্ব রয়েছে। সুতরাং Q_c ও K_c রাশি দুটির মান থেকে 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; তখন বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় পৌঁছে গেছে বোঝায়।

জেনে নাও : উপরিউক্ত উভমুখী বিক্রিয়া [$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$] এর ক্ষেত্রে তিন ধরনের সম্ভাব্য অবস্থা নিম্নরূপে প্রকাশ পায় :

(১) যখন $K_c > 1$ হয়; তখন সাম্যাবস্থায় উৎপাদের মোল সংখ্যা বিক্রিয়কের মোল সংখ্যার চেয়ে বেশি হয়। অর্থাৎ ঐ বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় 50% এর বেশি পরিমাণ বিক্রিয়ক উৎপাদে পরিণত হয়েছে বোঝায়।

(২) যখন $K_c < 1$ হয়; তখন সাম্যাবস্থায় উৎপাদের মোল সংখ্যা বিক্রিয়কের মোল সংখ্যার চেয়ে কম হয়। অর্থাৎ ঐ বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় 50% এর কম পরিমাণ বিক্রিয়ক উৎপাদে পরিণত হয়েছে বোঝায়।

(৩) যখন $K_c = 1$ হয়; তখন সাম্যাবস্থায় উৎপাদ ও বিক্রিয়ক উভয়ের মোল সংখ্যা সমান হয়েছে বোঝায়। অর্থাৎ ঐ বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় 50% বিক্রিয়ক উৎপাদে পরিণত হয়েছে বোঝায়।

৪.৯.৫ সাম্যধ্রুবক K_c ও K_p এর বৈশিষ্ট্য (Characteristics of Equilibrium Constants)

(১) প্রতিটি রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবকের মান একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট মানের হয়। তাপমাত্রার পরিবর্তনে সাম্যধ্রুবকের মান বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়। তাপহারী উভমুখী বিক্রিয়ায় তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে সাম্যধ্রুবকের মান বৃদ্ধি পায়। তাপোৎপাদী উভমুখী বিক্রিয়ায় তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে সাম্যধ্রুবকের মান হ্রাস পায়।

(২) K_p ও K_c এর মান চাপের ওপর নির্ভর করে না। স্থির তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ায় চাপের বৃদ্ধি বা হ্রাস করলে K_p ও K_c এর মানের কোনো পরিবর্তন ঘটে না।

(৩) K_p ও K_c এর মান প্রভাবক বা অনুঘটকের উপস্থিতিতে বৃদ্ধি বা হ্রাস পায় না। কারণ প্রভাবকের উপস্থিতিতে সম্মুখ ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার বেগ সমানভাবে বৃদ্ধি পায়।

(৪) নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবকের মান বিক্রিয়কগুলোর প্রাথমিক ঘনমাত্রার ওপর নির্ভর করে না। যেমন, $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ বিক্রিয়াটির বেলায় 177°C তাপমাত্রায় K_p এর মান 0.19 হয়; PCl_5 এর প্রাথমিক ঘনমাত্রার মান যাই হোক না কেন। অনুরূপভাবে, 25°C তাপমাত্রায় $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ বিক্রিয়ার K_c এর মান 4.64×10^{-3} হয়; N_2O_4 এর প্রাথমিক ঘনমাত্রা ভিন্ন হওয়া সত্ত্বেও; সারণি-৪.৪ দেখো।

(৫) উভমুখী বিক্রিয়ায় সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবকের মান ও বিপরীতমুখী বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবকের মান পরস্পরের বিপরীত বা পূরক (reciprocal) হয়। যেমন, $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ বিক্রিয়াটির সম্মুখ বিক্রিয়ার

$K_p = \dfrac{P_{PCl_3} \times P_{Cl_2}}{P_{PCl_5}}$ । এক্ষেত্রে বিপরীতমুখী বিক্রিয়ায় অর্থাৎ উৎপাদসমূহ থেকে বিক্রিয়াটি শুরু করা হলে; একই তাপমাত্রায় $PCl_3(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons PCl_5(g)$; এর সাম্যধ্রুবক $K'_p = \dfrac{P_{PCl_5}}{P_{PCl_3} \times P_{Cl_2}}$ । তখন উভয় বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবকের মানের সম্পর্ক হয় $K'_p = \dfrac{1}{K_p}$; বা, $K_p = \dfrac{1}{K'_p}$ ।

RMDAC

(৬) কোনো উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবকের মান বিক্রিয়াটির সমীকরণকে যেভাবে লেখা হয়, তার ওপর নির্ভর করে। যেমন—

(i) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$; (ii) $\frac{1}{2} N_2(g) + \frac{3}{2} H_2(g) \rightleftharpoons NH_3(g)$

এক্ষেত্রে, $K_{p_1} = \dfrac{(P_{NH_3})^2}{P_{N_2} \times (P_{H_2})^3}$; এক্ষেত্রে, $K_{p_2} = \dfrac{P_{NH_3}}{(P_{N_2})^{1/2} \times (P_{H_2})^{3/2}}$

উভয় সমীকরণ থেকে পাই, $K_{p_1} = K^2_{p_2}$; বা, $K_{p_2} = (K_{p_1})^{1/2}$

জেনে নাও : কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার সমতাযুক্ত সমীকরণ মতে, বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবকের মান = K হয়; যদি ঐ সমীকরণের প্রতিটি বিক্রিয়ক ও উৎপাদের অণুর সহগকে 'm' সংখ্যা দ্বারা গুণ করা হয়; তাহলে নতুন সমীকরণ অনুযায়ী বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবকের মান হবে K^m। আবার সহগগুলোকে 'm' সংখ্যা দ্বারা ভাগ করা হলে তাহলে নতুন সমীকরণ অনুযায়ী বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবক হবে $K^{1/m}$ ।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৬ : বিক্রিয়ার দিকের ধারণাভিত্তিক :

500 K তাপমাত্রায় 20 L 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 বিক্রিয়াটি 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 mol/20 L = 0.0785M.

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

এ মানসমূহ সাম্যধ্রুবকের সমীকরণে Q_c এর জন্য 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 (2.37×10^3) এর মান প্রদত্ত K_c (1.7×10^2) এর মানের চেয়ে বড়ো, 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 সাম্যমিশ্রণে উপাদানের ঘনমাত্রা গণনা :

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৭ : 700 K তাপমাত্রায় 1.0 mol H_2 ও 1.0 mol I_2 মিশ্রণকে 10 L বিক্রিয়া পাত্রে নেয়া হলো। ঐ তাপমাত্রায় সাম্যধ্রুবক $K_c = 57$ হলে সাম্যাবস্থায় H_2, I_2 ও HI এর ঘনমাত্রা কত হবে? সাম্যমিশ্রণে মোল এককে প্রতিটি উপাদান গণনা করো।

সমাধান : নিম্নোক্ত পাঁচ ধাপে সমস্যাটি সমাধান করা হবে :

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

২য় ধাপ : প্রদত্ত প্রাথমিক ঘনমাত্রা, $[H_2] = [I_2] = 1.0/10$ L = 0.1 M, মনে করি t সময় পরে x mol/ L H_2 ও xmol/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

MCQ-4.13 : 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
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

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

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

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

ধনাত্মক মান নিয়ে পাই;

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

বা, $0.755 = 7.55x + 2x$

বা, $x = 0.755/9.55 = 0.0791$ M

ঋণাত্মক মান নিয়ে পাই;

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

বা, $-0.755 = 2x - 7.55x$

বা, $x = (-0.755)/(-5.55) = 0.136$ M

যেহেতু প্রাথমিক অবস্থায়, H_2 ও I_2 এর ঘনমাত্রা 0.10 M ছিল; x এর মান 0.10 M এর বেশি হতে পারে না। সুতরাং x = 0.0791 M গ্রহণীয়; অপর মান (0.136) গ্রহণীয় নয়।

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

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

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

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

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

MCQ-4.14 : নিচের বিক্রিয়ার K_c এর রাশিমালা কোনটি? [রা. বো. ২০১৬]
$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$
(ক) $K_c \frac{[CaO]}{[CaCO_3]}$ (খ) $K_c \frac{[CaO] \times [CO_2]}{[CaCO_3]}$
(গ) $K_c = [CO_2]$ (ঘ) [CaO]

সাম্যমিশ্রণে মোল সংখ্যা গণনা :

মোল সংখ্যা = মোলারিটি × বিক্রিয়া পাত্রের আয়তন লিটারে

∴ H_2 এর মোল সংখ্যা = I_2 এর মোল সংখ্যা = (0.021 mol/L) × (10 L) = 0.21 mol

HI এর মোল সংখ্যা = (0.158 mol/L) × (10 L) = 1.58 mol.

সমাধানকৃত সমস্যা-8.১৮ : একটি আবদ্ধ নলে 440°C তাপমাত্রায় 2 mol HI (g) সাম্যাবস্থায় পৌছানো অবধি উত্তপ্ত করা হলো। দেখা গেল যে, HI(g) 22% বিযোজিত হয়েছে। বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবক গণনা করো।

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

প্রশ্নমতে, HI (g) 22% বিযোজিত হলে 2 mol HI (g) থেকে 2 × 0.22 = 0.44 mol HI (g) বিযোজিত হয়েছে। সুতরাং সাম্যমিশ্রণে অবিযোজিত HI (g) আছে = (2 – 0.44) = 1.56 mol.

বিক্রিয়ার সমীকরণ থেকে দেখা যায়, 2 mol HI (g) এর বিযোজনে 1 mol H_2 (g) ও 1 mol I_2 (g) উৎপন্ন হয়। সুতরাং 0.44 mol HI (g) এর বিযোজনে 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 :

	2HI (g)	⇌	H_2 (g)	+	I_2 (g)
সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা (M)	$\frac{1.56}{V}$		$\frac{0.22}{V}$		$\frac{0.22}{V}$

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

সমাধানকৃত সমস্যা-8.১৯ : 470°C তাপমাত্রায় AB (g) যৌগটির 45% বিযোজিত হয়। উক্ত বিযোজনের সাম্যধ্রুবক K_c গণনা করো। 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) 45% বিযোজিত হয়। তখন সমীকরণ মতে 2 mol AB (g) থেকে 2 × 0.45 = 0.90 mol AB (g) বিযোজিত হয়েছে। সুতরাং সাম্যমিশ্রণে অবিযোজিত AB (g) আছে = (2 – 0.90) = 1.10 mol। বিক্রিয়ার সমীকরণ থেকে দেখা যায় 2 mol AB (g) এর 1 mol A_2 (g) ও 1 mol B_2 (g) উৎপন্ন হয়। সুতরাং 0.90 mol AB (g) বিযোজনে A_2 (g) ও B_2 (g) প্রতিটির 0.45 mol উৎপন্ন হয়। যদি আবদ্ধ পাত্রের আয়তন VL হয়, তবে সাম্যাবস্থায় উপাদানগুলোর মোলার ঘনমাত্রা হবে নিম্নরূপ :

	2AB (g)	⇌	A_2 (g)	+	B_2 (g)
সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা (M)	$\frac{1.10}{V}$		$\frac{0.45}{V}$		$\frac{0.45}{V}$

$$\therefore \text{সাম্যধ্রুবক}, K_c = \frac{[A_2] \times [B_2]}{[AB]^2} = \frac{\frac{0.45}{V} \times \frac{0.45}{V}}{\left(\frac{1.10}{V}\right)^2} = 167.35 \times 10^{-3}$$

$\therefore K_c = 167.35 \times 10^{-3}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২০ : 4.05 mol হাইড্রোজেন এবং 4.65 আয়োডিন 444°C তাপমাত্রায় 1L ফ্লাস্কে রেখে তাপ দিলে 6.75 mol HI উৎপন্ন হলো। $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$ বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবক K_c ও K_p নির্ণয় করো।

সমাধান : $H_2(g) + I_2(g) \overset{\Delta}{\rightleftharpoons} 2HI(g)$

প্রারম্ভিক অবস্থায় : a mol   b mol   0 mol

সাম্যাবস্থায় : $(a-\alpha)$mol $(b-\alpha)$ mol 2α mol

এখানে, a = 4.05 mol
b = 4.65 mol
$\alpha = \frac{6.75}{2} = 3.375$ mol
V = 1L

∴ বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় :

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

$[I_2] = (a-\alpha) = (4.65 - 3.375) = 1.275$ (M)

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

K_c এর সমীকরণের জন্য প্রত্যেক উপাদানের মোলার ঘনমাত্রাকে 1M দিয়ে ভাগ করে পাই–

$$\therefore K_c = \frac{[HI]^2}{[I_2][H_2]} = \frac{(6.75\ M/1M)^2}{(1.275\ M/1M) \times (0.675\ M/1M)} = \frac{(6.75)^2}{(1.275)(0.675)} = \frac{45.5625}{0.860625} = 52.94$$

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২১ : 298 K তাপমাত্রায় সাম্যাবস্থায় N_2O_4 এর বিয়োজন মিশ্রণে N_2O_4 এর আংশিক চাপ 0.8 atm এবং বিক্রিয়াটির $K_p = 0.008$। বিক্রিয়াটির K_c ও NO_2 এর আংশিক চাপ নির্ণয় করো।

সমাধান : সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়াটির সমীকরণ হলো : $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

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

বা, $(P_{NO_2})^2 = 0.008 \times 0.8$ atm $= 0.0064$ atm $\therefore P_{NO_2} = \sqrt{0.0064} = 0.08$ atm

আবার, $K_p = K_c(RT)^{\Delta n}$

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

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

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

এখানে, $K_p = 0.008$
$K_c = ?$
এক্ষেত্রে, $R = \frac{0.082\ L\ atm\ K^{-1}mol^{-1}}{L\ mol^{-1}.\ atm}$
T = 298 K
$\Delta n = (2-1) = 1$

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২২ : 298 K বা, 25°C তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে ডাইনাইট্রোজেন টেট্রোক্সাইড (N_2O_4) এর 18.5 % নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইডে বিয়োজিত হয়। উক্ত বিয়োজনের জন্য K_p নির্ণয় করো। ঐ তাপমাত্রায় এবং 0.5 atm চাপে N_2O_4 এর বিয়োজন মাত্রা কত হবে?

সমাধান : সংশ্লিষ্ট সমীকরণ হলো, $N_2O_4(g) \overset{\Delta}{\rightleftharpoons} 2NO_2(g)$

সাম্যাবস্থায় : $(a-\alpha)$ 2α

মনে করি, 1 mol N_2O_4 নেওয়া হয়েছে। অর্থাৎ a = 1 mol

[দ্রষ্টব্য : যেহেতু K_p হলো এককবিহীন, তাই চাপের একক atm বাদ দিয়ে সংখ্যামান ব্যবহৃত হয়েছে।]

প্রশ্নমতে, 298 K তাপমাত্রা ও 1 atm চাপে $\alpha = 0.185$ mol, a = 1 mol

আমরা জানি, N_2O_4 এর বিয়োজনের বেলায়, $K_p = \frac{4\alpha^2 \times P}{a^2}$; $\therefore \alpha = \frac{a}{2}\sqrt{\frac{K_p}{P}}$

এখানে $\alpha = \frac{a}{2}\sqrt{\frac{K_p}{P}}$; অর্থাৎ, $0.185 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{K_p}{1}}$ বা, $K_p = (0.185 \times 2)^2 = 0.1369$

এখন, P = 0.5 বসালে বিয়োজন এর পরিমাণ, $\alpha = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{K_p}{0.5}}$; বা, $\alpha = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{0.1369}{0.5}}$

$$\text{বা, } \alpha = \frac{1}{2} \times 0.524 = 0.262$$

আবার বিয়োজন মাত্রা, $\beta = \frac{\alpha}{a} = \frac{0.262}{1}$; বা, $\beta = 0.262 = 26.2\%$

অতএব, 298 K তাপমাত্রায় ও 0.5 atm চাপে বিয়োজন মাত্রা, $\beta = 26.2\%$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৩ : 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 করো।

সমাধান :

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া :	$PCl_5(g) \rightleftharpoons$	$PCl_3(g)$ +	$Cl_2(g)$
প্রাথমিক অবস্থায় :	1	0	0
সাম্যাবস্থায় :	(1 – 0.8) = 0.20	0.8	0.8

বিয়োজন পরিমাণ, $\alpha = 80\% = 0.8\ mol^{-1}$
চাপ, P = 3.0 atm, সাম্যাঙ্ক, K_p = ?
PCl_3 এর আংশিক চাপ, P_{PCl_3} = ?

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

$\therefore$ PCl_5 এর আংশিক চাপ, $P_{PCl_5} = \frac{0.20}{1.8} \times 3\text{ atm} = 0.33\text{ atm}$

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

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

$\therefore$ বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক, $K_p = \frac{P_{PCl_3} \times P_{Cl_2}}{P_{PCl_5}} = \frac{(1.332\text{ atm}/1\text{ atm}) \times (1.332\text{ atm}/1\text{ atm})}{(0.33\text{ atm}/1\text{ atm})}$

$$= \frac{1.332 \times 1.332}{0.33} = 5.33$$

$\therefore$ K_p এর মান 5.33; PCl_3 এর আংশিক চাপ = 1.332 atm; Cl_2 এর আংশিক চাপ = 1.332 atm

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৩(ক) : 1.0 L আয়তনের একটি পাত্রে 0.1 mol PCl_5 কে উত্তপ্ত করা হয়; তখন সাম্যমিশ্রণে মোট চাপ হয় $4.38 \times 10^5\ Nm^{-2}$। তাপমাত্রা, T = 450 K হলে সাম্যধ্রুবক K_p এর মান নির্ণয় করো।

সমাধান :	$PCl_5(g) \rightleftharpoons$	$PCl_3(g)$ +	$Cl_2(g)$
প্রাথমিক অবস্থায় :	0.1 mol	0	0
সাম্যাবস্থায় :	$(0.1 - \alpha)$ mol	α mol	α mol

$\therefore$ সাম্যমিশ্রণে মোট মোল সংখ্যা
$n = (0.1 - \alpha + \alpha + \alpha) = (0.1 + \alpha)$ mol

গ্যাসীয় সাম্যমিশ্রণে থাকা মোট মোল সংখ্যা 'n' এর মান PV = nRT থেকে বের করা যায় :

$n = \frac{PV}{RT}$; বা, $n = \frac{4.38 \times 10^5 \times 1 \times 10^{-3}}{8.314 \times 450}$; (SI এককে), বা, $n = 0.11707$ mol

$\therefore 0.11707 = (0.1 + \alpha)$; বা, $\alpha = 0.01707$ mol

K_p নির্ণয়ের জন্য উপাদান গ্যাসের আংশিক চাপকে atm এককে ব্যবহার করতে হয়। তাই প্রদত্ত মোট চাপ $4.38 \times 10^5\ Nm^{-2}$ সংখ্যা মান atm এককে হবে $= (4.38 \times 10^5 \div 101325)$ atm = 4.3227 atm

$\therefore$ PCl_5 এর আংশিক চাপ, $P_{PCl_5} = \frac{(0.1 - 0.01707) \times 4.337\ atm}{(0.1 + 0.01707)} = 3.062$ atm

PCl_3 এর আংশিক চাপ, $P_{PCl_3} = \frac{0.01707 \times 4.337\ atm}{(0.1 + 0.01707)} = 0.630$ atm

Cl_2 এর আংশিক চাপ, $P_{Cl_2} = \frac{0.01707 \times 4.337\ atm}{(0.1 + 0.01707)} = 0.630$ atm

$$\therefore K_p = \frac{P_{PCl_3} \times P_{Cl_2}}{P_{PCl_5}} = \left(\frac{0.63\ atm}{1\ atm} \times \frac{0.63\ atm}{1\ atm}\right) / \left(\frac{3.062\ atm}{1\ atm}\right) = 0.12962$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৪ : একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় $2A + B \rightleftharpoons 2C$ বিক্রিয়ায় সাম্যধ্রুবকের মান 8.0×10^{-4}। যদি ঐ তাপমাত্রায় বিপরীত বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান $1.24\ L\ mol^{-1}s^{-1}$ 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 × বিপরীত বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক

$= 8 \times 10^{-4} \times 1.24\ L\ mol^{-1}s^{-1}$

$= 9.92 \times 10^{-4}\ L\ mol^{-1}s^{-1}$

> **MCQ-4.15 : হেবার পদ্ধতিতে NH_3 উৎপাদনে কোন প্রভাবক ব্যবহৃত হয়?** [কু. বো. ২০১৭]
>
> (ক) Mo (খ) Fe
>
> (গ) Ni (ঘ) Cr

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৫ : 25°C তাপমাত্রায় $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ 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 $T = (273 + 25) = 298$ K, $R = \frac{0.082\ L\ atm\ mol^{-1}K^{-1}}{L\ atm\ mol^{-1}}$ (এক্ষেত্রে)

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

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

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

$= 7.33 \times 10^{25}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৬ : $A_2(g) + 3B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_3(g)$; 650 K তাপমাত্রা এবং 25 atm চাপে সাম্যাবস্থার মিশ্রণে 22% A_2 এবং 17% AB_3 থাকলে বিক্রিয়াটির K_p এবং K_c এর মান নির্ণয় করো।

সমাধান : এখানে মোট চাপ P = 25 atm

	$A_2(g)$	+	$3B_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$2AB_3(g)$
সাম্যাবস্থায় :	22%		61%		17%

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

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

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

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

$$\therefore K_p = \frac{(P_{AB_3})^2}{P_{A_2} \times (P_{B_2})^3} = \frac{(4.25 \text{ atm}/1 \text{ atm})^2}{(5.5 \text{ atm}/1 \text{ atm}) \times (15.25 \text{ atm}/1 \text{ atm})^3} = \frac{(4.25)^2}{5.5 \times (15.25)^3} = 9.25 \times 10^{-4}$$

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

এখানে, $K_p = 9.25 \times 10^{-4}$, $T = 650$ K, $\Delta n = 2 - (1 + 3) = -2$, $R = \frac{0.082 \text{ L.atm mol}^{-1}\text{K}^{-1}}{\text{L.atm mol}^{-1}}$

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

$\therefore K_c = K_p (RT)^2 = 9.25 \times 10^{-4} \times (0.082 \text{ K}^{-1} \times 650 \text{ K})^2$

$\therefore K_c = 2.6278$

$\therefore K_p = 9.25 \times 10^{-4}$ এবং $K_c = 2.6278$

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৭ : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় 1L একটি পাত্রে 0.326 mol N_2 এবং 0.439 mol H_2 কে উত্তপ্ত করায় সাম্যাবস্থায় মিশ্রণের মোট মোল সংখ্যা পাওয়া যায় 0.657 mol. বিক্রিয়াটির K_c নির্ণয় করো।

সমাধান : মনে করি, বিক্রিয়াটির x mol N_2 এবং 3x mol H_2 পরস্পরের সাথে বিক্রিয়া করে সাম্যাবস্থায় 2x mol পরিমাণ NH_3 উৎপন্ন করে।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াটি	:	N_2 (g)	+	$3H_2$ (g)	$\rightleftharpoons$	$2NH_3$ (g)
প্রাথমিক মোল সংখ্যা	:	3.326		0.439		0
পরিবর্তন ঘটেছে	:	−x	−	3x		2x
সাম্যাবস্থায় মোলসংখ্যা	:	(0.326 − x)		(0.439 − 3x)		2x

প্রশ্নমতে সাম্যাবস্থায় মিশ্রণের মোট মোল সংখ্যা

$= (0.326 - x) + (0.439 - 3x) + 2x = 0.657$ mol

বা, $0.765 - 2x = 0.657$

বা, $0.765 - 0.657 = 2x$ বা, $2x = 0.108$

বা, $x = 0.054$

সুতরাং সাম্যাবস্থায় N_2 এর মোলসংখ্যা = (0.326 − 0.054) = 0.272 mol

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

সাম্যাবস্থায় H_2 এর মোলসংখ্যা = (0.439 − 0.054 × 3) = 0.275 mol;

H_2 এর ঘনমাত্রা, $[H_2] = 0.275$ (M)

NH_3 এর মোল সংখ্যা = 2 × 0.054 = 0.108 mol

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

MCQ-4.16 : অম্লীয় $KMnO_4$ ও অক্সালিক এসিডের রিডক্স বিক্রিয়ায় অটো প্রভাবক কোনটি?

[রা. বো. ২০১৭]

(ক) MnO_4^- (খ) Mn^{2+}

(গ) CrO_4^{2-} (ঘ) K^+

$$K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} = \frac{(0.108\ M/1M)^2}{(0.272\ M/1\ M) \times (0.275\ M/1M)^3} = \frac{(0.108)^2}{0.272 \times (0.275)^3} = \frac{0.011664}{0.0056567} = 2.062$$

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

শিক্ষার্থী নিজে করো–৪.৯ : K_p ও K_c ভিত্তিক গণনা :

সমস্যা-৪.৩৩ : উভমুখী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে Q_c ও K_c এর তাৎপর্য ব্যাখ্যা করো। [অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-৪.৩৪(ক) : 427°C-এ বিক্রিয়া পাত্রে $[H_2]$ = 0.10 M এবং $[I_2]$ = 0.20 M আছে। ঐ তাপমাত্রায় বিক্রিয়া, $H_2 (g) + I_2 (g) \rightleftharpoons 2 HI (g)$ এর সাম্যধ্রুবক, K_c = 57.0 (427°C তাপমাত্রায়)। সাম্যমিশ্রণে H_2, I_2, HI এর ঘনমাত্রা বের করো। [উ: $[H_2]$ = 0.006 M, $[I_2]$ = 0.106 M, [HI] = 0.188 M]

সমস্যা-৪.৩৪(খ) : 500°C তাপমাত্রায় 2 লিটার বদ্ধপাত্রে সংঘটিত বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :

$2NOX (g) \rightleftharpoons 2NO (g) + X_2 (g)$; ΔH = – Ve ; সাম্যাবস্থায় NO, X_2 এবং NOX এর পরিমাণ যথাক্রমে 6 mol, 3 mol এবং 4 mol হলে উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির K_c এর মান নির্ণয় করো। [উ: K_c = 3.375] [ঢা. বো. ২০২১]

সমস্যা-৪.৩৪(গ) : 25°C তাপমাত্রায় 11 mol A_2 গ্যাস 9 mol B_2 গ্যাসের সাথে বিক্রিয়া করে সাম্যাবস্থায় 7 mol AB গ্যাস উৎপন্ন করে। এ বিক্রিয়ার K_p নির্ণয় করো। [উ: $K_p = K_c$ = 1.1878] [রা. বো. ২০২১]

সমস্যা-৪.৩৫(ক) : 25°C তাপমাত্রায়, একটি বিক্রিয়া পাত্রে 0.050 M ঘনমাত্রার N_2O_4 গ্যাস আছে। ঐ তাপমাত্রায় বিযোজন 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 করো। [উ: $[N_2O_4]$ = 0.0429 M; $[NO_2]$ = 0.0141 M]

সমস্যা-৪.৩৫ (খ) : 25°C তাপমাত্রায় N_2O_4 এর বিযোজন 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 করো।

[উ: $K_c = 3.274 \times 10^{-4}$; P_{NO_2} = 0.08 atm]

সমস্যা-৪.৩৫(গ) : 25°C তাপমাত্রায়, বিক্রিয়া পাত্রে $[N_2O_4]$ = 0.02 M এবং $[NO_2]$ = 0.03 M আছে। $K_c = 4.64 \times 10^{-3}$ হলে সাম্যমিশ্রণে উপাদানের ঘনমাত্রা বের করো।

[উ: $[N_2O_4]$ = 0.0292 M; $[NO_2]$ = 0.0116 M]

সমস্যা-৪.৩৫(ঘ) : 30°C ও 1 atm চাপে N_2O_4 এর বিযোজন K_p = 0.50 হলে N_2O_4 এর শতকরা বিযোজনের পরিমাণ কত? [উ: 33.33%]

সমস্যা-৪.৩৬ : এক রসায়নবিদ ফসফরাস হ্যালাইডের ওপর পরীক্ষা করতে গিয়ে 0.50 L 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। [ব. বো. ২০২৩]

(ক) তুমি বিক্রিয়াটির দিক নির্ধারণ করো।

(খ) যদি উপরোক্ত বিক্রিয়ার সাম্যমিশ্রণে $[PCl_5]$ = 0.2065 M হয়; তবে অন্য সব উপাদানের ঘনমাত্রা বের করো।

[উ: (ক) সম্মুখ দিকে; (খ) $[PCl_3] = [Cl_2]$ = 0.093 M]

সমস্যা- ৪.৩৭(ক) : এক অজৈব রসায়নবিদ ফসফরাস ক্লোরাইডের বিযোজন সম্পর্কীয় পরীক্ষায় 1 mol PCl_5 বিক্রিয়া ফ্লাস্কে 250°C ও 1 atm চাপে রাখলেন। এতে 80% PCl_5 বিযোজিত 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 করো।

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

সমস্যা-৪.৩৭(খ) : 30°C তাপমাত্রায় ও 1.5 atm চাপে 15.6% PCl_5 বিযোজিত হয়। ঐ বিযোজন বিক্রিয়ার K_p এর মান বের করো। [উ: K_p = 0.0374]

সমস্যা-৪.৩৭(গ) : 250°C তাপমাত্রায় ও 3 atm চাপে 80% PCl_5 বিযোজিত হয়ে PCl_3 ও Cl_2 উৎপন্ন হয়। PCl_3 ও Cl_2 এর আংশিক চাপ ও K_p নির্ণয় করো। [উ: 1.33 atm এবং K_p = 5.36]

সমস্যা-৪.৩৮(ক) : 450°C তাপমাত্রায় ও $1.01 \times 10^5 \ Nm^{-2}$ চাপে 1L ফ্লাস্কে 1 mol H_2 ও 1 mol I_2 মিশ্রিত করা হলো। সাম্যমিশ্রণে 1.56 mol HI উৎপাদ থাকলে ঐ তাপমাত্রায় K_p নির্ণয় করো। [উ: $K_p = 50.37$]

সমস্যা-৪.৩৮(খ) : 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। $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$ বিক্রিয়াভিত্তিক সাম্যধ্রুবক K_c ও K_p নির্ণয় করো। [উ: $K_c = K_p = 35.627$]

সমস্যা-৪.৩৮(গ) : 445°C তাপমাত্রায় 41.14 g H_2 এবং 1325.88 g I_2 বাষ্পের মিশ্রণকে 1L ফ্লাস্কে উত্তপ্ত করা হলো। ফলে 1308.16 g HI উৎপন্ন হয়। এ বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক গণনা করো। [উ: $K_c = K_p = 65.207$]

সমস্যা-৪.৩৮(ঘ) : 425°C তাপমাত্রায় 15 mol H_2 এবং 5.2 mol I_2 এর মিশ্রণকে 1L আবদ্ধ পাত্রে উত্তপ্ত করলে 10 mol HI উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবক গণনা করো। [উ: $K_c = K_p = 50$]

সমস্যা-৪.৩৮(ঙ) : 37°C তাপমাত্রায় HI 35% বিয়োজিত হয়। এ বিয়োজনের K_p ও K_c গণনা করো। [উ: $K_p = 0.07248$; $K_c = 0.07248$]

সমস্যা-৪.৩৮(চ) : $X_2 (g) + Y_2 (g) \rightleftharpoons 2 XY (g)$ বিক্রিয়াটি 2L পাত্রে 1 atm চাপে ও নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সম্পন্ন করা হয়। X_2 ও Y_2 প্রত্যেকের প্রাথমিক ঘনমাত্রা 2 mol এবং সাম্যাবস্থায় 3.12 mol উৎপাদ উৎপন্ন হলে K_p ও K_c এর মান বের করো। [উ: $K_p = K_c = 50.28$] [ব. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.৩৯ : নির্দিষ্ট তাপমাত্রা প্রয়োগে নিম্নোক্ত বিক্রিয়াটি ঘটে। আবদ্ধ পাত্রে NH_3 এর বিয়োজন 20% হলে প্রমাণ চাপে বিক্রিয়াটির K_p কত? [ব. বো. ২০২১]

$2NH_3 (g) \rightleftharpoons N_2 (g) + 3H_2 (g)$; $\Delta H = +93$ kJ [উ: 2.915×10^{-3}]

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৮ : আয়রন আকরিক থেকে আয়রন নিষ্কাশনে, FeO (s) ও CO গ্যাসের রিডক্স বিক্রিয়ায় আয়রন ও CO_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়। $\mathbf{FeO (s) + CO (g) \rightleftharpoons Fe (s) + CO_2 (g)}$

1000 K তাপমাত্রায় সংঘটিত বিক্রিয়ায়, সাম্যধ্রুবক $K_p = 0.259$ হয়। বিক্রিয়া তাপমাত্রায় উভয় গ্যাসের প্রাথমিক আংশিক চাপ $P_{co} = 1.0$ atm এবং $P_{co_2} = 0.5$ atm হয়। সাম্যমিশ্রণে CO ও CO_2 এর আংশিক চাপ গণনা করো।

সমাধান : ১ম ধাপ : সমতাযুক্ত সমীকরণ : $FeO (s) + CO (g) \rightleftharpoons Fe (s) + CO_2 (g)$

২য় ধাপ : মনে করি বিক্রিয়ার পর CO গ্যাসের আংশিক চাপ কমলো x atm.

	FeO (s) + CO (g)	⇌ Fe (s) + CO_2 (g)
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 :

$K_p = 0.259 = P_{co_2}/P_{co} = \dfrac{0.5 + x}{1.0 - x}$; [কঠিন বস্তু FeO, Fe এর পদ বাদ যাবে]

বা, $0.259 - 0.259x = 0.5 + x$;

বা $x = -0.241/1.259 = -0.191$

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

$P_{co} = (1.0 - x) = 1.0 - (-0.191) = 1.191$ atm

$P_{co_2} = (0.5 + x) = 0.5 + (-0.191) = 0.309$ atm

MCQ-4.17 : K_c এর মানের তাৎপর্য কী?
(i) বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি বোঝায়
(ii) বিক্রিয়ার দিক বোঝায়
(iii) সাম্যমিশ্রণে উপাদানের ঘনমাত্রা আদি ঘনমাত্রা থেকে বের করা যায়।
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

৫ম ধাপ : সাম্যধ্রুবকের সমীকরণে মানগুলো বসিয়ে ফলাফল যাচাই;

$K_p = 0.259 = P_{co_2}/P_{co} = 0.309/1.191 = 0.259$

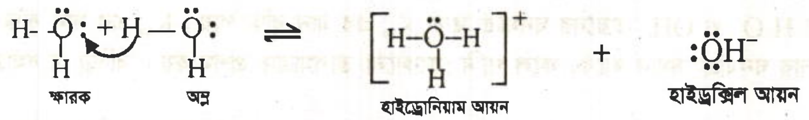
x এর ঋণাত্মক মান থেকে বোঝা যায় উৎপাদ বিক্রিয়কে পরিণত হয়ে সাম্যাবস্থা লাভ করে। এর যুক্তি হলো প্রাথমিক বিক্রিয়া অনুপাত $Q_p = 0.50/1.0 = 0.50$; এটি সাম্যধ্রুবক K_p (0.259) থেকে বড়ো। যখন $Q_p > K_p$ হয়, তখন বিক্রিয়া ডানদিক থেকে বামদিকে গিয়ে সাম্যাবস্থা লাভ করে।

> **শিক্ষার্থীর কাজ-৪.১০ : আংশিক চাপ নির্ণয়ভিত্তিক :**
>
> **সমস্যা-৪.৪০ :** ওয়াটার গ্যাস উৎপাদন বিক্রিয়া : $C(s) + H_2O\ (g) \rightleftharpoons CO\ (g) + H_2\ (g)$ এর 1000 K তাপমাত্রায় সাম্যধ্রুবক $K_p = 2.44$ হয়। যদি প্রাথমিক অবস্থায় H_2O, CO, H_2 এর আংশিক চাপ $P_{H_2O} = 1.2$ atm, $P_{co} = 1.0$ atm ও $P_{H_2} = 1.4$ atm হলে সাম্যাবস্থায় এদের আংশিক চাপ বের করো।
>
> [উ: $P_{H_2O} = 0.9$ atm, $P_{co} = 1.3$ atm, $P_{H_2} = 1.7$ atm]
>
> **সমস্যা-৪.৪১ :** $2SO_2\ (g) + O_2\ (g) \rightleftharpoons 2SO_3\ (g)$ 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]

৪.১০.১ পানির আয়নিক গুণফল : পানির অটো আয়নীকরণ

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 পরিবহণ 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 হাইড্রক্সিল আয়ন (OH^-) উৎপন্ন করে। একে পানির **অটো-আয়নীকরণ** বলে। এ ক্ষেত্রে একটি পানি অণু অম্ল বা প্রোটনদাতা ও অপর পানি অণু ক্ষারক বা প্রোটন গ্রহীতারূপে ক্রিয়া করে। যেমন,



∴ পানির অটো-আয়নীকরণ : $2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$

ভরক্রিয়া সূত্র মতে, $K_d = \frac{[H_3O^+] \times [OH^-]}{[H_2O]^2}$; এক্ষেত্রে K_d কে পানির স্ব-বিয়োজন বা অটো-আয়নীকরণ ধ্রুবক বলে। প্রকৃতপক্ষে সামান্য পরিমাণে পানি অণুর বিয়োজনের ফলে পানির ঘনমাত্রায় বিশেষ পরিবর্তন ঘটে না। তাই পানির মোলার ঘনমাত্রা $[H_2O]$ এর মান ধ্রুবক ধরা হয়।

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

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

K_w কে পানির আয়নিক গুণফল বলা হয়।

পানির অটো আয়নীকরণ 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 প্রান্তীয় অবস্থায় থাকে। তখন অতি স্বল্প সংখ্যক H_2O অণু আয়নিত হয়ে H_3O^+ আয়ন ও OH^- আয়ন উৎপন্ন করে।

RMDAC

[DAT : 16-17]

25°C তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানির বিয়োজনে উৎপন্ন H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা বিভিন্ন পরীক্ষার মাধ্যমে নির্ণয় করে 1.0×10^{-7} M পাওয়া গেছে। যেহেতু H_2O এর আয়নীকরণে সমসংখ্যক H_3O^+ আয়ন ও OH^- আয়ন উৎপন্ন হয়; তাই বিশুদ্ধ পানিতে OH^- আয়নের ঘনমাত্রাও 25°C তাপমাত্রায় 1.0×10^{-7} M হবে।

$\therefore [H_3O^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7}$ M (at 25°C)

$\therefore$ 25°C এ পানির আয়নিক গুণফল, $K_w = [H_3O^+] \times [OH^-] = (1.0 \times 10^{-7})(1.0 \times 10^{-7})$
$= 1.0 \times 10^{-14}$ (এককবিহীন)

আবার 25°C বিশুদ্ধ পানির মোলার ঘনমাত্রা; প্রায় 55.5 M হয়; $\left(\text{যেহেতু } \dfrac{1000 \text{ g/L}}{18.016 \text{ g mol}^{-1}}\right)$

আবার $[H_3O^+]$ এর মান ও বিশুদ্ধ পানির মোলার ঘনমাত্রার মান থেকে বিয়োজিত ও অবিয়োজিত পানি অণুর অনুপাত পাই 1.0×10^{-7} M/55.5 M $= 1.8 \times 10^{-9}$; অর্থাৎ $(1.0/1.8) \times 10^9$ 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 $1 : 5555 \times 10^5$

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

(১) পানির আয়নিক গুণফল, K_w এর সমীকরণের প্রযোজ্যতা :

$K_w = [H_3O^+] \times [OH^-]$; 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 H_3O^+ ও OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল সর্বদা ধ্রুবক এবং এর মান ঐ তাপমাত্রায় K_w এর সমান হয়।

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

$$2H_2O\,(l) + \text{তাপ} \rightleftharpoons H_3O^+\,(aq) + OH^-\,(aq)$$

তাই তাপমাত্রার বৃদ্ধিতে H_3O^+ ও OH^- আয়নের ঘনমাত্রা তথা K_w এর মান বৃদ্ধি পায়। K_w এর মান বৃদ্ধি পেলেও সর্বদা H^+ ও OH^- এর মোলার ঘনমাত্রা সমান থাকে; ফলে পানি যেকোনো তাপমাত্রায় প্রশম হয়। বিভিন্ন তাপমাত্রায় K_w এর মান নিচে দেয়া হলো :

[MAT: 16-17]

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-আয়নীকরণ ধ্রুবক (K_d) ও আয়নিক গুণফলের (K_w) সম্পর্ক :

$$2H_2O\,(l) \rightleftharpoons H_3O^+\,(aq) + OH^-\,(aq)$$

$$K_d = \frac{[H_3O^+] \times [OH^-]}{[H_2O]^2} = \frac{K_w}{[H_2O]^2}\ ; \quad \therefore K_w = K_d \times [H_2O]^2$$

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

এখন 1L বিশুদ্ধ পানিতে H_2O এর মোল সংখ্যা $= \dfrac{1000 \text{ g}}{18.016 \text{ g mol}^{-1}} = 55.5$ mol (পানির ঘনত্ব 1 g.cm^{-3} ধরে)

সুতরাং বিশুদ্ধ পানির মোলার ঘনমাত্রা, $[H_2O] = 55.5$ mol.L^{-1}

$\therefore K_w = K_d \times (55.5)^2$ এ সমীকরণটি পানির স্ব-আয়নীকরণ ধ্রুবক ও আয়নিক গুণফলের মধ্যে সম্পর্ক প্রকাশ করে।

(৪) বিশুদ্ধ পানির H_3O^+ ও OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা : বিশুদ্ধ পানির স্ব-আয়নীকরণ সমীকরণটি নিম্নরূপ :

$$2H_2O\,(l) \rightleftharpoons H_3\overset{+}{O}\,(aq) + OH^-\,(aq)$$

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, $[H_3O^+] = [OH^-]$

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

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

(i) 25°C তাপমাত্রায় $K_w = 10^{-14}$। সুতরাং 25°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°C তাপমাত্রায় $K_w = 8.7 \times 10^{-14}$। সুতরাং 100°C তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানিতে $[H_3O^+] = [OH^-] = \sqrt{8.7 \times 10^{-14}} = 2.95 \times 10^{-7}\,(molL^{-1})$। যেহেতু বিশুদ্ধ পানিতে H^+ ও OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা সর্বদা সমান থাকে তাই যেকোনো তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানি প্রশম বা নিরপেক্ষ হয়।

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

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

(১) লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য ও গতিশীল পানির আয়নিক সাম্যাবস্থায় যেকোনো আয়নের ঘনমাত্রা পরিবর্তন করলে সাম্যের অবস্থান পরিবর্তিত হয়; কিন্তু সাম্যধ্রুবক স্থির থাকে। তাই পানিতে অল্প এসিড (যেমন HCl) যোগ করলে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায়, ফলে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা হ্রাস পায়। অপরদিকে অল্প 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 প্রতি ক্ষেত্রে H_2O উৎপন্ন হয়; ফলে K_w এর মান স্থির থাকে। সুতরাং $[H_3O^+]$ পরিবর্তনের ফলে বিপরীতক্রমে $[OH^-]$ পরিবর্তিত হয়।

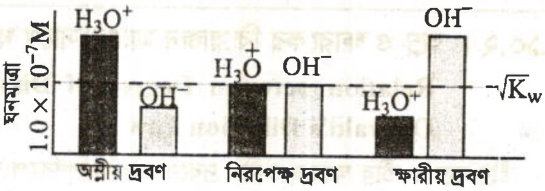
Higher $[H_3O^+] \Rightarrow$ Lower $[OH^-]$ এবং Higher $[OH^-] \Rightarrow$ Lower $[H_3O^+]$

(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 আয়নীকরণ ও গতিশীল আয়নিক সাম্যাবস্থায় উপস্থিত $[H_3O^+]$ পরিমাণ ও $[OH^-]$ পরিমাণের ওপর ভিত্তি করে 'অম্লীয় দ্রবণ' ও 'ক্ষারীয় দ্রবণ' সংজ্ঞায়িত করা হয়। যেমন,

অম্লীয় দ্রবণে, $[H_3O^+] > \sqrt{K_w} > [OH^-]$

নিরপেক্ষ দ্রবণে, $[H_3O^+] = \sqrt{K_w} = [OH^-]$

ক্ষারীয় দ্রবণে, $[H_3O^+] < \sqrt{K_w} < [OH^-]$



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

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-৪.২৯ : K_w এর মান থেকে দ্রবণে H_3O^+ ও OH^- আয়ন গণনা :

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

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

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 করো-৪.১১ : আয়নিক গুণফলভিত্তিক :

সমস্যা-৪.৪২ : 25°C-এ পানির আয়নিক গুণফল (K_w) এর মান ও মোলার ঘনমাত্রা থেকে বিয়োজিত ও অবিয়োজিত পানি অণুর অনুপাত বের করো। [অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-৪.৪৩ : কোনো সামুদ্রিক পানির OH^- আয়নের ঘনমাত্রা 5.0×10^{-6} M হলে এতে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা কত হবে তা বের করো। ঐ সামুদ্রিক পানি অম্লীয়, নিরপেক্ষ অথবা ক্ষারীয় হবে কীনা ব্যাখ্যা করো।
[উঃ $[H_3O^+] = 2.0 \times 10^{-9}$ M]; ঐ পানি হবে ক্ষারীয়।]

সমস্যা-৪.৪৪(ক) : 50°C তাপমাত্রায় $K_w = 5.5 \times 10^{-14}$; ঐ নিরপেক্ষ দ্রবণে 50°C তাপমাত্রায় H_3O^+ ও OH^- আয়নের ঘনমাত্রা বের করো। [উঃ 2.345×10^{-7} M]

সমস্যা-৪.৪৪(খ) : 25°C তাপমাত্রায় একটি জলীয় দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা 2×10^{-5} M হলে ঐ দ্রবণে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা কত? [উঃ 5×10^{-10} M]

সমস্যা-৪.৪৫(ক) : 50°C তাপমাত্রায় পানির আয়নিক গুণফলের মান 25°C তাপমাত্রায় আয়নিক গুণফলের মান অপেক্ষা বেশি কেন? অথবা, তাপমাত্রার পরিবর্তনের সাথে পানির আয়নিক গুণফল পরিবর্তনশীল কেন? [ঢা. বো. ২০১৯]
[উঃ তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে K_w এর মান বৃদ্ধি পায়; কারণ পানির আয়নীকরণ বৃদ্ধি পায়।]

সমস্যা-৪.৪৫(খ) : তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিশুদ্ধ পানির OH^- আয়নের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায় কেন? এর ফলে বিশুদ্ধ পানি কি ক্ষারীয় হয়? ব্যাখ্যা করো। [উঃ 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' এবং 'শতকরা-বিয়োজন' দ্বারা বোঝানো হয়।

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

$$\text{অম্ল বা ক্ষারকের বিয়োজন-মাত্রা, } \alpha = \frac{\text{বিয়োজিত অম্ল বা ক্ষারকের মোলসংখ্যার ভগ্নাংশ}}{\text{দ্রবীভূত ঐ অম্ল বা ক্ষারকের মোট মোল সংখ্যা}} = \frac{[HA] \text{ বা } [B] \text{ বিয়োজিত}}{[HA] \text{ বা } [B] \text{ দ্রবীভূত}}$$

(খ) দুর্বল অম্ল ও ক্ষারকের শতকরা বিয়োজনের সংজ্ঞা হলো : অম্ল বা ক্ষারকের বিয়োজন-মাত্রা (α) এর এক শত পরিমাণকে ঐ অম্ল বা ক্ষারকের শতকরা বিয়োজন বলে। অর্থাৎ

$$অম্লের\ শতকরা\ বিয়োজন = \frac{[HA]\ বিয়োজিত}{[HA]\ দ্রবীভূত} \times 100\%$$

$$ক্ষারকের\ শতকরা\ বিয়োজন = \frac{[B]\ বিয়োজিত}{[B]\ দ্রবীভূত} \times 100\%$$

মৃদু অম্ল ও ক্ষারকের তথা তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণ লঘু করলে অর্থাৎ ঘনমাত্রা হ্রাসের ফলে বিয়োজন মাত্রা বৃদ্ধি পায়। তখনও দ্রবণে মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য সম্পূর্ণরূপে আয়নিত হয় না, ১৮৮৮ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী অসওয়াল্ড মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্যের লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রে উভমুখী সাম্যাবস্থায় ভরক্রিয়া সূত্র প্রয়োগ করে বিয়োজন মাত্রাভিত্তিক একটি সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন, যা অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র নামে পরিচিত।

(গ) 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 অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র নামে পরিচিত।

(ঘ) 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,

$$HA(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + A^-(aq)$$

সাম্যাবস্থায় : $(1-\alpha)C$ $\qquad \alpha C$ $\qquad \alpha C$

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

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

> **MCQ-4.18 : 25°C এ বিশুদ্ধ পানির আয়নিক গুণফল কত?** [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]
>
> (ক) 10^{-14} (খ) 10^{-7}
>
> (গ) 10^{7} (ঘ) 10^{14}

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,

$$বা,\ K_a = \alpha^2 C;\ বা,\ \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{K_a} \cdot \frac{1}{\sqrt{C}}$$

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 $\alpha \propto \frac{1}{\sqrt{C}}$

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

(ঙ) 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 দ্রবণে সম্পূর্ণরূপে বিয়োজিত হয়। ফলে তাদের ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থা থাকে না বলে **লঘুকরণ সূত্র প্রযোজ্য হয় না**।

৪.১০.৩ অম্ল বা এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক (K_a)

Acid Dissociation Constant, K_a

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

$$\underset{অম্ল}{HA} + \underset{ক্ষারক}{H_2O} \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$$

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

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

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

উপরিউক্ত সাম্যাঙ্ক 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,

$$HA\ (g\ or\ l) + H_2O\ (l) \longrightarrow H_3O^+\ (aq) + A^-\ (aq)$$

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

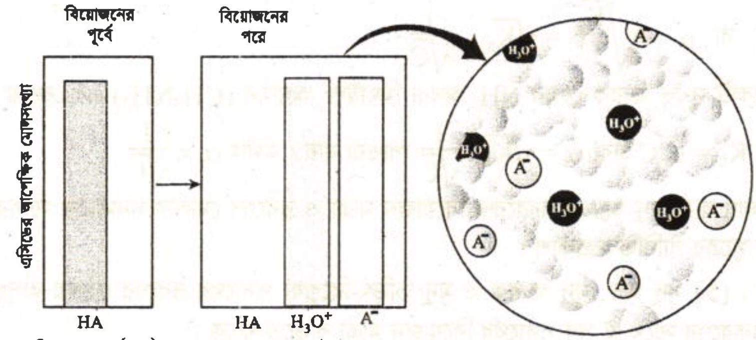
অর্থাৎ $[H_3O^+] = [HA]$ (প্রাথমিক); অপর কথায়, $[HA]_{eq} \approx 0$ (প্রায় শূন্য) হয়।

$\therefore K_a = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[HA] \times [H_2O]}$; এক্ষেত্রে $K_a >> 1$; যেমন সবল HCl এসিডের $K_a = 2.5 \times 10^7$ হয়।

দুর্বল অম্লের বেলায়, খুব কম সংখ্যক অম্লের অণু HA পানিতে আয়নিত হয়। তখন $[H_3O^+] << [HA]$ হয় এবং সাম্যাবস্থায়, $K_a << 1$; যেমন দুর্বল HF এসিডের $K_a = 6.8 \times 10^{-4}$ হয়।

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

সবল এসিড → অধিকতর $[H_3O^+]$ → উচ্চতর K_a



সবল এসিড: HA (aq) + $H_2O(l) \rightarrow H_3O^+(aq) + A^-(aq)$

চিত্র-৪.২০ : সবল এসিডের বিয়োজন মাত্রা।

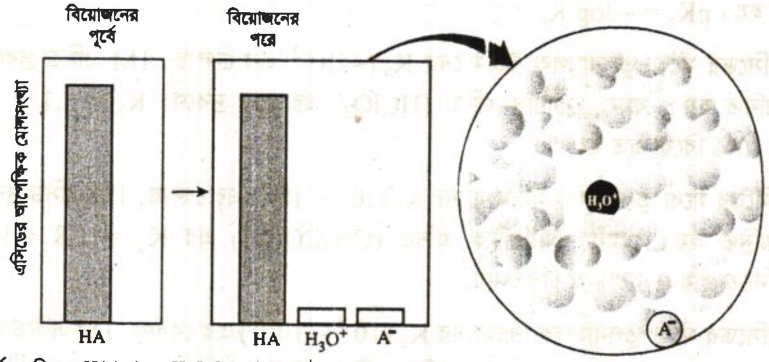
দুর্বল এসিডের শক্তিমাত্রা প্রকাশে K_a ছাড়া শতকরা বিয়োজন মানও ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রে 1M এসিড দ্রবণে $[H_3O^+]$ এর % পরিমাণ ধরা হয়। যেমন, 1.0 M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণে H_3O^+ এর মোলার ঘনমাত্রা $= 4.2 \times 10^{-3}$ M হয়।

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

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

K_a-এর তাৎপর্য : (১) K_a-এর মান যত বেশি হয় অম্লটি তত শক্তিশালী হয়। HCl, HNO_3, H_2SO_4 প্রভৃতি এসিড পানিতে সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত হয়; তাই এদেরকে তীব্র বা **সবল এসিড** বলে। সবল এসিডের K_a এর মান 1.0×10^1 এর বেশি হয়। এক্ষেত্রে K_a এর 10^1 এর সূচকের মান যত বেশি হয়; এসিডটি অধিকতর সবল হয়। [চিত্র-৪.২০ এবং সারণি ৪.৫ দেখো]

(২) অপরদিকে CH_3COOH (অ্যাসিটিক এসিড) ও অন্যান্য জৈব এসিড কম বিয়োজিত হয়; তাই এদেরকে **দুর্বল এসিড** বলা হয়। [চিত্র-৪.২১ দেখো]



দুর্বল এসিড : $HA(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + A^-(aq)$

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।

$$NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + \overline{O}H(aq)$$

একইভাবে যেকোনো 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 প্রোটনদাতা বা অম্লরূপে ক্রিয়া করে :

$$\underset{\text{ক্ষারক}}{B(aq)} + \underset{\text{অম্ল}}{H_2O(l)} \rightleftharpoons BH^+(aq) + OH^-(aq)$$

সাম্যাবস্থায়, $K_b = \dfrac{[BH^+] \times [OH^-]}{[B] \times [H_2O]}$; এক্ষেত্রে $[H_2O]$ ধ্রুব থাকে;

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

এ সাম্যাঙ্ক 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 তাৎপর্য : K_b-এর মান যত বেশি হয় ঐ ক্ষারক তত শক্তিশালী হয়। NaOH, KOH প্রভৃতি জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত হয়; তাই এদেরকে **তীব্র ক্ষারক** বলে। NH_4OH-এর বিয়োজন মাত্রা কম; তাই একে **দুর্বল ক্ষারক** বলা হয়।

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

K_a এর গুরুত্ব : দুর্বল এসিডের শক্তিমাত্রা সম্বন্ধে ধারণার জন্য এসিডের বিয়োজন-ধ্রুবক (K_a) এর মান ও এসিডের শতকরা-বিয়োজন (% α) এর মান সমভাবে গুরুত্বপূর্ণ। উল্লেখ্য 1M দুর্বল এসিড পানিতে শতকরা পরিমাণে যত আয়নিত হয়; অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র মতে 0.1M অথবা 0.01M দুর্বল এসিড পানিতে আরো বেশি শতকরা পরিমাণে আয়নিত হয়। নিচে দুর্বল এসিড বা অম্লের বিয়োজন ধ্রুবক K_a এর মানের পরিসর এবং এসিডের শতকরা বিয়োজনের মান দ্বারা পানিতে এসিড অণু (HA) এর মোল সংখ্যার আয়নিত ভগ্নাংশ সম্বন্ধে ধারণা পাওয়া যায়। আবার K_a এর মানকে pK_a দ্বারাও প্রকাশ করা হয়। $pK_a = -\log K_a$ ।

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

(২) **দুর্বল এসিডের** মধ্যে তুলনামূলক মধ্যম মানের K_a ($10^{-3} \sim 10^{-5}$) এর বেলায়, 1M এসিড দ্রবণে প্রায় ~ 0.3% HA (এসিড) অণু আয়নিত হয়। যেমন, অ্যাসিটিক এসিড (CH_3COOH) এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ হয়। তখন 1M CH_3COOH পানিতে প্রায় 0.42% আয়নিত হয়।

(৩) **দুর্বল এসিডের** মধ্যে তুলনামূলক নিম্নমানের K_a ($10^{-6} \sim 10^{-10}$) এর বেলায়, 1M এসিড দ্রবণে প্রায় ~ 0.001% HA (এসিড) অণু আয়নিত হয়। যেমন, হাইড্রোসায়ানিক এসিড (HCN) এর $K_a = 6.2 \times 10^{-10}$ হয়। তখন 1M HCN পানিতে প্রায় 0.0025% আয়নিত হয়।

* দুর্বল এসিডের সাম্যধ্রুবক K_a এর মান যত কম হবে, HA (এসিড) এর শতকরা বিয়োজন তত কম হবে।

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

জেনে নাও : দুর্বল এসিডের K_a এর মান এবং ঐ এসিডের মোলার ঘনমাত্রা থেকে এসিডটির বিয়োজন-মাত্রা (α) ও শতকরা-বিয়োজন (%α) নিম্নরূপে গণনা করা যায়। ওপরে দেয়া $HClO_2$, CH_3COOH, HCN এসিডের শতকরা-বিয়োজনও নিম্নরূপে গণনা করা হয়েছে (তুমি তা নিজে গণনা করে দেখো)।

সমস্যা : দুর্বল এসিড HF ($K_a = 6.8 \times 10^{-4}$) এর শতকরা-বিয়োজন নিম্নোক্ত ঘনমাত্রার দ্রবণে কত হবে?

(ক) 0.050 M HF (খ) 0.50 M HF (গ) 1.0 M HF

সমাধান : অস্‌ওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র মতে, $K_a = \alpha^2 C$; বা, $\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}}$

(ক) 0.050 M HF এর বেলায়, বিয়োজন-মাত্রা $(\alpha) = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{0.050}} = 11.66 \times 10^{-2}$

$\therefore$ শতকরা-বিয়োজন $= \sqrt{\frac{K_a}{C}} \times 100 = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{0.05}} \times 100 = 11.66\%$

(খ) 0.50 M HF এর বেলায়, বিয়োজন-মাত্রা $(\alpha) = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{0.5}} = 3.68 \times 10^{-2}$

$\therefore$ শতকরা-বিয়োজন $= \sqrt{\frac{K_a}{C}} \times 100 = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{0.5}} \times 100 = 3.68\%$

(গ) 1.0 M HF এর বেলায়, বিয়োজন-মাত্রা $(\alpha) = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{1.0}} = 2.60 \times 10^{-2}$

∴ শতকরা-বিয়োজন $= \sqrt{\frac{K_a}{C}} \times 100 = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{1.0}} \times 100 = 2.60\%$

নিচে কিছু সংখ্যক সবল, দুর্বল অজৈব ও জৈব এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক K_a, pK_a $(-\log K_a)$, নাম ও সংকেত দেয়া হলো

সারণি- ৪.৫ : কিছু অজৈব ও জৈব এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক, K_a, pK_a; 25°C তাপমাত্রায় :

এসিডের নাম (সংকেত)	দ্রবণে সাম্যাবস্থায় বিয়োজন	K_a এর মান	pK_a এর মান	
(ক) সবল অজৈব এসিড :				অপেক্ষাকৃত সবল এসিড
১. হাইড্রোআয়োডিক এসিড (HI)	$HI + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + I^-$	1.0×10^{10}	– 10.00	
২. হাইড্রোব্রোমিক এসিড (HBr)	$HBr + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + Br^-$	3.2×10^9	– 9.50	
৩. হাইড্রোক্লোরিক এসিড (HCl)	$HCl + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + Cl^-$	2.5×10^7	– 7.40	
৪. সালফিউরিক এসিড (H_2SO_4)	$H_2SO_4 + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + HSO_4^-$	1.0×10^3	– 3.00	
৫. নাইট্রিক এসিড (HNO_3)	$HNO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + NO_3^-$	2.4×10^1	– 1.38	
(খ) দুর্বল অজৈব এসিড :				
১. সালফিউরাস এসিড (H_2SO_3)	$H_2SO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + HSO_3^-$	1.5×10^{-2}	1.82	
২. ফসফরিক এসিড (H_3PO_4)	$H_3PO_4 + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + H_2PO_4^-$	7.5×10^{-3}	2.12	
৩. হাইড্রোফ্লোরিক এসিড (HF)	$HF + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + F^-$	6.8×10^{-4}	3.16	
৪. নাইট্রাস এসিড (HNO_2)	$HNO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + NO_2^-$	4.5×10^{-4}	3.35	
৫. কার্বনিক এসিড (H_2CO_3)	$H_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + HCO_3^-$	7.9×10^{-7}	6.10	
৬. হাইড্রো সালফিউরিক এসিড (H_2S)	$H_2S + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + HS^-$	1.0×10^{-7}	7.00	
(গ) দুর্বল জৈব কার্বক্সিলিক এসিড :				
১. ফরমিক এসিড (H–COOH)	$H{-}CO_2H + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + H{-}CO_2^-$	1.8×10^{-4}	3.74	দুর্বলতর এসিড
২. অ্যাসিটিক এসিড (CH_3COOH)	$CH_3{-}CO_2H + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + CH_3CO_2^-$	1.8×10^{-5}	4.74	চিত্র-৪.২২: এসিডের শক্তিক্রম
৩. প্রোপানোয়িক এসিড (C_2H_5COOH)	$C_2H_5{-}CO_2H + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + C_2H_5CO_2^-$	1.3×10^{-5}	4.89	
৪. বেনজয়িক এসিড (C_6H_5COOH)	$C_6H_5{-}CO_2H + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + C_6H_5{-}CO_2^-$	6.3×10^{-5}	4.20	

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

*(১) এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক, *(২) হাইড্রাসিডের ঋণাত্মক আয়নের আকার, *(৩) কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ অবস্থা, *(৪) কেন্দ্রীয় পরমাণুর আকার, *(৫) দ্রাবকের প্রকৃতি। [MAT: 15-16]

(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 এসব 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 1.34% এবং 0.01M CH_3COOH মাত্র 4.24% বিয়োজিত হয়; এসিডের $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$। সুতরাং অ্যাসিটিক এসিডকে **মৃদু বা দুর্বল এসিড** বলা হয়।]

$HCl(aq) + H_2O(l) \rightarrow H_3O^+(aq) + Cl^-(aq)$ [0.1M দ্রবণে 100% আয়নিত হয়।]

$CH_3COOH(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$ [0.1M ঘনমাত্রায় 1.34% আয়নিত হয়।

(২) **ঋণাত্মক আয়নের আকার : হাইড্রাসিডের অম্লধর্মের তীব্রতা এদের অণুস্থিত ঋণাত্মক আয়নের আকারের ওপর নির্ভর করে। ঋণাত্মক আয়নের আকার যত বড়ো হয়, অণুর বিয়োজন তত বেশি হয় অর্থাৎ এসিডের তীব্রতা তত বেশি হয়।** ২য় পর্যায়ের F^- আয়নের আকার সবচেয়ে ছোটো। এরপর বড়ো Cl^- আয়নের আকারের চেয়ে ৪র্থ পর্যায়ের Br^- আয়নের আকার আরও বড়ো এবং ৫ম পর্যায়ের I^- এর আকার আরও বড়ো। তাই এসব হাইড্রাসিডের তীব্রতার ক্রম হলো $HI > HBr > HCl >> HF$.

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

$$\overset{+7}{HClO_4} > \overset{+6}{H_2SO_4} > \overset{+5}{HNO_3} > \overset{+4}{H_2SO_3} \text{ (সালফিউরাস এসিড)}$$

(৪) **কেন্দ্রীয় পরমাণুর আকার :** একই গ্রুপভুক্ত মৌলসমূহের **অক্সোএসিডসমূহের কেন্দ্রীয় পরমাণুর ধনাত্মক জারণ সংখ্যা** সমান হলে তখন যেটির কেন্দ্রীয় পরমাণুর আকার ছোটো হবে এবং চার্জ ঘনত্বের ক্রমবৃদ্ধি 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 ছোটো বলে P-পরমাণুর তুলনায় N পরমাণুর চার্জ ঘনত্ব ও তড়িৎ ঋণাত্মকতা বেশি। ফলে উভয় এসিডের তীব্রতার ক্রম হলো $H\overset{+5}{N}O_3 > H_3\overset{+5}{P}O_4$। একই কারণেই $H\overset{+3}{N}O_2 > H\overset{+3}{P}O_3$।

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 ছোটো হওয়ায় H_2SO_3 এসিডের তীব্রতা বেশি হয়।

$$H_2\overset{+4}{S}O_3 > H_2,\overset{+4}{Se}O_3$$

অনুরূপভাবে, $H\overset{+7}{Cl}O_4 > H\overset{+7}{Br}O_4 > H\overset{+7}{I}O_4$

> **MCQ-4.19 : 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 $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$। H_2S এর প্রথম $K_a = 9.1 \times 10^{-8}$। এ সব মান হতে এদের শক্তি-মাত্রার ধারণা পাওয়া যায়।

(৫) **কেন্দ্রীয় পরমাণুর তড়িৎ-ঋণাত্মকতা : ভিন্ন গ্রুপভুক্ত মৌলসমূহের অক্সোএসিডের বেলায় কেন্দ্রীয় পরমাণুর ধনাত্মক জারণ সংখ্যার মান সমান হলে তখন** যে এসিডের কেন্দ্রীয় পরমাণুর তড়িৎ-ঋণাত্মকতার মান বেশি হয় সে এসিডের তীব্রতাও বেশি হয় এবং কম তড়িৎ-ঋণাত্মক মৌলটির এসিড অধিক দুর্বল হয়। উল্লেখ্য এক্ষেত্রে অক্সোএসিডের অণুতে যুক্ত অক্সিজেন পরমাণুর সংখ্যা বেশি থাকলে সেক্ষেত্রে এসিডের আয়নীকরণ মাত্রা বা, তীব্রতা বৃদ্ধিতে কিছুটা প্রভাব থাকে; তবে তড়িৎ ঋণাত্মকতার প্রভাবই বেশি ভূমিকা রাখে। যেমন, $H_3\overset{+3}{B}O_3$, $H_3\overset{+3}{P}O_3$, $H\overset{+3}{Cl}O_2$ এ তিনটি অক্সোএসিডের কেন্দ্রীয় পরমাণু B, P ও Cl এর জারণ সংখ্যা হলো +3 এবং এদের তড়িৎ-ঋণাত্মকতার মান হলো যথাক্রমে 2.0, 2.1 ও 3.0। তাই এ তিনটি এসিডের তীব্রতার ক্রম হলো $H_3BO_3 < H_3PO_3 < HClO_2$। এ তিনটি এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক K_a এর মান উপরোক্ত তীব্রতার ক্রমকে সমর্থন করে; যেমন H_3BO_3 এর K_a (5.8×10^{-10}) < H_3PO_3 এর K_a (1.0×10^{-2}) < $HClO_2$ এর K_a (1.1×10^{-2})।

(৬) **দ্রাবকের প্রকৃতি :** দ্রাবকের প্রোটন গ্রহণ করার ক্ষমতা বা ক্ষারকত্ব বেশি হলে এতে দ্রবীভূত এসিডের আয়নীকরণ 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 (K_b),

*(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। ঐ 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 কিন্তু বিপরীত ভাবে pK_b-এর মান কম হয়। যেমন NH_4OH এর $K_b = 1.90 \times 10^{-5}$ হলে, $pK_b = 4.72$।

৩। **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,

$$NaOH(aq) \longrightarrow Na^+(aq) + OH^-(aq) \quad \text{[দ্রবণে 100\% আয়নিত হয়]}$$

$$NH_4OH(aq) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq) \quad \text{[দ্রবণে 5\% আয়নিত হয়।]}$$

* NH_4OH, NH_2OH (হাইড্রক্সিল অ্যামিন), $NH_2–NH_2$ (হাইড্রাজিন) এদের 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। এসব মান হতে এদের শক্তিমাত্রার ধারণা পাওয়া যায়।

৪.১১.১ অনুবন্ধী অম্ল ও ক্ষারকের K_a ও K_b এর মধ্যে সম্পর্ক
Relation between K_a and K_b of a Conjugate Acid-Base

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

$$HA + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$$

$$A^- + H_2O \rightleftharpoons HA + OH^-$$

$$\text{যোগ করে,} \quad 2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$$

এখানে সুস্পষ্ট হলো যে, ঐ দুটো বিয়োজন বিক্রিয়ার ফলাফল পানির **অটো আয়নীকরণ** (auto-ionization)। সুতরাং এসিড (HA) এবং এর অনুবন্ধী ক্ষারক (A^-) উভয়ের পানিতে 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,

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

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-এর K_a) × (F^- এর K_b) = K_w

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

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

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

$\therefore$ উপরোক্ত K_a ও K_b এর মান থেকে জানা যায় যে, **এসিড যত সবল হবে, এর অনুবন্ধী ক্ষারক ঐ এসিডের চেয়ে তত দুর্বল হবে।** কারণ,

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

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।
* $K_w = [H_3O^+] \times [OH^-]$ মতে H_3O^+ ও OH^- আয়নের যে কোনটির মান কখনো শূন্য হতে পারে না।

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩০ : 0.02 M H–COOH এর শতকরা কতভাগ বিয়োজিত হবে, তা গণনা করো।

($K_a = 1.8 \times 10^{-4}$).

সমাধান : আমরা জানি, সাম্যধ্রুবক, $K_a = \frac{\alpha^2 C}{1-\alpha}$. মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে $(1-\alpha) = 1$

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

এখানে, $K_a = 1.8 \times 10^{-4}$

ঘনমাত্রা, C = 0.02 M

$\therefore$ এসিডটি শতকরা বিয়োজিত হয় = $9.4868 \times 10^{-2} \times 100 = 9.4868\%$

দ্রষ্টব্য : বিয়োজন-মাত্রা (α) হলো 'দুটি মোল পরিমাণের অনুপাত' এর মান; তাই এটি হবে এককবিহীন। আবার K_a হলো এককবিহীন; তাই দ্রবণের ঘনমাত্রা 'C' এর বেলায় মোলের সংখ্যামানই শুধু ব্যবহৃত হয়েছে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩১ : 25°C তাপমাত্রায় মৃদু এক-ক্ষারকীয় অম্ল (HA) এর বিয়োজন ধ্রুবকের 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 $(\alpha) = \sqrt{\frac{K_a}{C}}$

প্রশ্নমতে,

$K_a = 1.6 \times 10^{-4}$

C = 0.1 M

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

$\therefore$ শতকরা বিয়োজন-মাত্রা = 0.04 × 100 = 4%

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩২ : 25°C তাপমাত্রায় 0.1 M CH_3COOH এসিড 1.34% আয়নিত হয়। এসিডটির বিয়োজন ধ্রুবক (K_a) কত?

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

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, $C = 0.1$ M

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৩। 0.01 M CH_3COOH এসিডের জলীয় দ্রবণে ঐ এসিডের শতকরা বিয়োজন 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%

$\therefore \alpha = \frac{4.2}{100} = 4.2 \times 10^{-2}$ এবং C = 0.01 M

$\therefore$ 0.01 M CH_3COOH দ্রবণে $[H_3O^+] = \alpha C$

$= 4.2 \times 10^{-2} \times 0.01$

$= 4.2 \times 10^{-4}$ M

> **MCQ-4.20 : নিচের কোনটি অধিক তীব্র এসিড?** [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]
>
> (ক) HNO_3 (খ) H_3PO_4
>
> (গ) $HClO_4$ (ঘ) H_2SO_4

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৪ : 30°C তাপমাত্রায় 1.5×10^{-2} M NH_4OH দ্রবণে NH_4OH এর শতকরা বিয়োজন 3.5% হলে NH_4OH এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান নির্ণয় করো।

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 : $C(1-\alpha)$ $\quad C\alpha \quad C\alpha$

$\therefore$ সাম্যাবস্থায় NH_4OH এর ঘনমাত্রা, $[NH_4OH] = C(1-\alpha) = 1.5 \times 10^{-2} \times (1 - 0.035)$

$= 1.4475 \times 10^{-2}$ M

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

NH_4OH এর বিয়োজন ধ্রুবক, $K_b = \frac{[NH_4^+] \times [OH^-]}{[NH_4OH]}$

$= \frac{[5.25 \times 10^{-4}] \times [5.25 \times 10^{-4}]}{[1.4475 \times 10^{-2}]} = 1.90414 \times 10^{-5}$

[লক্ষ্য করো K_b এর সমীকরণে প্রত্যেক উপাদানের ঘনমাত্রাকে 1M দিয়ে ভাগ করে নেয়া হয়েছে]

$\therefore$ NH_4OH এর বিয়োজন ধ্রুবক, $K_b = 1.90414 \times 10^{-5}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৫। 1.0 M অ্যাসিটিক এসিডের জলীয় দ্রবণ H^+ আয়নের ঘনমাত্রা 4.25×10^{-3} M। ঐ এসিড দ্রবণে অ্যাসিটিক এসিডের শতকরা বিয়োজন, বিয়োজন ধ্রুবক (K_a) এবং pK_a এর মান গণনা করো।

সমাধান : $CH_3COOH (aq) \rightleftharpoons \overset{+}{H} (aq) + CH_3CO\overset{-}{O} (aq)$

$\therefore$ এসিডটির শতকরা বিয়োজন = $\frac{\text{বিয়োজিত মোল সংখ্যা} \times 100}{\text{দ্রবণে মোট মোল সংখ্যা}}$

> **MCQ-4.21 : নিচের কোনটি দুর্বলতম এসিড?** [য. বো. ২০১৭]
>
> (ক) $HMnO_4$ (খ) H_2SO_4
>
> (গ) $HClO_4$ (ঘ) HNO_3

$$= \frac{4.25 \times 10^{-3} \times 100}{1.0} = 0.425\%$$

∴ 0.425% অ্যাসিটিক এসিড জলীয় দ্রবণে বিয়োজিত হয়। এক্ষেত্রে বিয়োজন মাত্রা, $\alpha = (0.425 \div 100) = 0.00425$ হয়। তাই 1.0 M দ্রবণে অ্যাসিটিক এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক হলো :

$$K_a = \frac{[H^+] \times [CH_3OO^-]}{[CH_3COOH]};$$

এখানে, $[H^+] = 4.25 \times 10^{-3}$ M

$[CH_3COO^-] = 4.25 \times 10^{-3}$ M

$[CH_3COOH] = 1.0$ M

$(1 - \alpha) = (1.0 - 0.00425)$ M

বা, $K_a = \frac{4.25 \times 10^{-3} \times 4.25 \times 10^{-3}}{(1 - \alpha)}$

বা, $K_a = \frac{1.806 \times 10^{-5}}{(1.0 - 0.00425)} = \frac{1.806 \times 10^{-5}}{0.99575} = 1.814 \times 10^{-5}$

আমরা জানি, ${}_pK_a = -\log K_a$

বা, ${}_pK_a = -\log(1.814 \times 10^{-5}) = 4.74$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৬ : HF একটি মৃদু অম্ল; এর $K_a = 6.8 \times 10^{-4}$; এর অনুবন্ধী ক্ষারক F^- এর K_b ও ${}_pK_b$ গণনা করো। এ সব মান থেকে অম্ল ও অনুবন্ধী ক্ষারকের শক্তির সম্পর্ক ব্যাখ্যা করো।

সমাধান :

$$HF + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + F^-$$
$$F^- + H_2O \rightleftharpoons HF + OH^-$$

যোগ করে, $2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$

উপরোক্ত প্রথম দুটি সমীকরণ মতে, K_a ও K_b থেকে K_w বের করি :

$$K_a \times K_b = \frac{[H_3O^+] \times [F^-]}{[HF]} \times \frac{[HF] \times [OH^-]}{[F^-]}$$; $[H_2O]$ বাদ দেয়া হয়েছে।

∴ $K_a \times K_b = [H_3O^+] \times [OH^-] = K_w$

∴ $K_a \times K_b = K_w$

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

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।

MCQ-4.22 : নিচের কোনটি অম্ল-ক্ষারক যুগল? [য. বো. ২০১৭]
(ক) HCl, NaOH (খ) O_2, H_2O
(গ) H_3O^+, H_2O (ঘ) H^+, Cl^-

শিক্ষার্থী নিজে করো-৪.১২ : K_a, K_b, pK_a, pK_b সম্পর্কীয় :

সমস্যা-৪.৮৬ (ক) : HF দুর্বল এসিড; কিন্তু HCl সবল এসিড কেন—ব্যাখ্যা করো। [রা. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.৮৬ (খ) : ট্রাইমিথাইল অ্যামিনের $K_b = 6.5 \times 10^{-5}$ হলে তুমি ট্রাইমিথাইল অ্যামোনিয়াম আয়ন, $(CH_3)_3NH^+$ এর K_a এর মান বের করো। [উঃ 1.5×10^{-10}]

সমস্যা-8.8৬ (গ) : HCN এসিডের K_a হলো 4.9×10^{-10}; এ এসিডের অনুবন্ধী ক্ষারক CN^- আয়নের K_b এর মান বের করো। [উঃ 2×10^{-5}]

সমস্যা-8.8৬ (ঘ) : পিরিডিন (C_5H_5N) নামক জৈব দ্রাবকের $pK_b = 8.74$ হলে এর পিরিডিনিয়াম আয়ন ($C_5H_5NH^+$) এর pK_a কত? [উঃ 5.26]

সমস্যা-8.8৬ (ঙ) : ফরমিক এসিড (HCOOH) এর $pK_a = 3.74$ হলে এর ফরমেট আয়ন ($HCOO^-$) এর pK_b কত? [উঃ 10.26]

সমস্যা-8.8৬ (চ) : 25°C তাপমাত্রায় NH_3 এর জলীয় দ্রবণে গঠিত আয়নিক সাম্যাবস্থায় NH_3, NH_4^+ ও OH^- এর ঘনমাত্রা যথাক্রমে 9.6×10^{-3} M, 4.0×10^{-4} M ও 4.0×10^{-4} M। এ তাপমাত্রায় NH_3 এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান নির্ণয় করো। [উঃ $K_b = 1.67 \times 10^{-5}$]

সমস্যা-8.8৬ (ছ) : 25°C তাপমাত্রায় 0.1M অ্যাসিটিক এসিডের দ্রবণে 1.34% এসিড বিয়োজিত হয়। এসিডটির বিয়োজন ধ্রুবকের মান গণনা করো। [উঃ $K_a = 1.82 \times 10^{-5}$]

সমস্যা-8.8৬ (জ) : 25°C তাপমাত্রায় মৃদু এক ক্ষারীয় এসিড HA এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান 1.6×10^{-4}। ঐ তাপমাত্রায় 0.1M HA এর জলীয় দ্রবণে এসিডটির বিয়োজন মাত্রা বা পরিমাণ (α) কত হবে? [উঃ 0.04]

সমস্যা-8.8৬ (ঝ) : 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 দ্রবণে মোলার ঘনমাত্রা সমান হলে এসিডগুলোকে তীব্রতার মান ক্রমানুসারে সাজাও এবং এর কারণ ব্যাখ্যা করো। [উঃ HA < HB < HC]

৪.১১.২ 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,

(i) এক মোল HCl এসিড দ্বারা এক মোল NaOH পূর্ণ প্রশমিত হয়। তাই HCl এর ক্ষারকত্ব হলো 1.0।

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

(ii) অনুরূপভাবে, H_2SO_4 এর ক্ষারকত্ব হলো 2, H_3PO_4 এর ক্ষারকত্ব হলো 3। কিন্তু H_3PO_3 এর ক্ষারকত্ব হলো 2। কারণ H_3PO_3 অণুতে দুটি H পরমাণু O–H মূলকরূপে যুক্ত আছে; যা থেকে H^+ আয়ন পানিতে আয়নিত হয়।

$$H_2SO_4\,(aq) + 2NaOH\,(aq) \longrightarrow Na_2SO_4\,(aq) + 2H_2O\,(l)$$

$$H_3PO_4\,(aq) + 3NaOH\,(aq) \longrightarrow Na_3PO_4\,(aq) + 3H_2O\,(l)$$

$$H_3PO_3\,(aq) + 2NaOH\,(aq) \longrightarrow Na_2HPO_3\,(aq) + 2H_2O\,(l)$$

(iii) এসিডের মতো অম্লধর্মী অক্সাইডের ক্ষারকত্ব আছে। যেমন CO_2 এর ক্ষারকত্ব হলো 2 এবং P_2O_5 এর ক্ষারকত্ব হলো 6। নিচের বিক্রিয়ায় NaOH এর মোল সংখ্যা দেখো।

$$CO_2\,(g) + 2NaOH\,(aq) \longrightarrow Na_2CO_3\,(aq) + H_2O\,(l)$$

$$P_2O_5\,(s) + 6NaOH\,(aq) \longrightarrow 2Na_3PO_4\,(aq) + 3H_2O\,(l)$$

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,

(i) এক মোল NaOH দ্বারা এক মোল HCl এসিড পূর্ণ প্রশমিত হয়। তাই NaOH এর অম্লত্ব হলো 1.0।

(ii) অনুরূপভাবে CaO এর অম্লত্ব হলো 2, $Al(OH)_3$ এর অম্লত্ব হলো 3 এবং Al_2O_3 এর অম্লত্ব হলো 6। নিচের বিক্রিয়ায় HCl এর মোল সংখ্যা দেখো।

$$NaOH\,(aq) + HCl\,(aq) \longrightarrow NaCl\,(aq) + H_2O\,(l)$$
$$CaO\,(s) + 2HCl\,(aq) \longrightarrow CaCl_2\,(aq) + 2H_2O\,(l)$$
$$Al(OH)_3\,(s) + 3HCl\,(aq) \longrightarrow AlCl_3\,(aq) + 3H_2O\,(l)$$
$$Al_2O_3\,(s) + 6HCl\,(aq) \longrightarrow 2AlCl_3\,(aq) + 3H_2O\,(l)$$

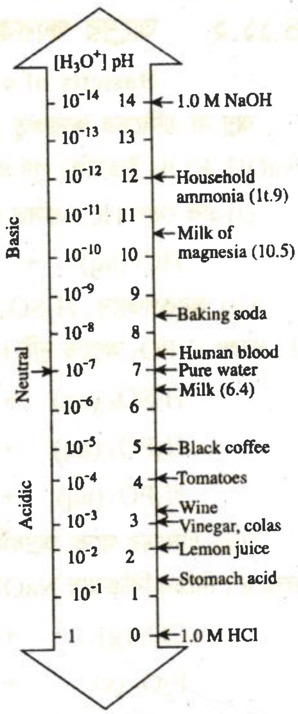
RMDAC

৪.১২ দ্রবণের pH, pH স্কেল
pH of a Solution, pH Scale

প্রাণিবিজ্ঞান, প্রাণ-রসায়ন ও চিকিৎসাবিজ্ঞানের বিভিন্ন রাসায়নিক পরীক্ষাকার্যে অম্ল ও ক্ষারের লঘু দ্রবণ যেমন ডেসিমোলার ($10^{-1}molL^{-1}$) 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 খ্রিষ্টাব্দে 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।

pH এর সংজ্ঞা : কোনো দ্রবণের হাইড্রোজেন আয়ন (H^+) বা হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) এর মোলার ঘনমাত্রার ঋণাত্মক বেস-10 লগারিদমকে ঐ দ্রবণের pH বলে। তখন H^+ আয়নের বা হাইড্রোনিয়াম আয়নের মোলার ঘনমাত্রা $[H_3O^+]$-কে pH এর সংজ্ঞা মতে নিম্নরূপে লেখা যায়,

$$pH = -\log\,[H_3O^+]\,;\ \text{বা},\ [H_3O^+] = \text{antilog}\,(-p^H) = 10^{-pH}$$



চিত্র-৪.২৩ : কয়েকটি সাধারণ বস্তুর pH মান এবং pH পরিসর

কোনো দ্রবণে H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা দশভাগ হ্রাস পেলে pH এর মান 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} $molL^{-1}$ হয়। কোনো দ্রবণের H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা যত কমতে থাকে, এর pH এর মান তত বাড়তে থাকে।

আবার OH^- আয়নের ক্ষেত্রে pOH এর লগারিদমীয় প্রকাশকে নিম্নরূপে লেখা যায়:

$$pOH = -\log\,[OH^-]\ \text{বা},\ [OH^-] = 10^{-pOH}$$

pH স্কেল নির্ধারণ : 25°C তাপমাত্রায় পানির আয়নিক গুণফল,

$K_w = [H_3O^+] \times OH^-] = 1 \times 10^{-14}$ ধরা হয়।

$\therefore\ [H_3O^+] \times [OH^-] = 10^{-14}$

উভয়দিকে log নিয়ে পাই, $\log[H_3O^+] \times [OH^-] = \log 10^{-14}$

বা, $\log[H_3O^+] + \log\,[OH^-] = -14$

বা, $-pH - pOH = -14$; বা, $pH + pOH = 14$ ... ... (১)

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 থাকে। অর্থাৎ

$[H_3O^+] = [OH^-]; \quad \therefore [H_3O^+] \times [OH^-] = [H_3O^+]^2 = 10^{-14}$

বা, $[H_3O^+] = 10^{-7}; \therefore pH = 7$

সুতরাং বিশুদ্ধ পানিতে pH এর মান 7।

আমরা জানি, 1M HCl দ্রবণে $[H_3O^+] = 1 mol\ H^+\ ion\ L^{-1}$।

$\therefore$ 1M HCl দ্রবণের ক্ষেত্রে পাই, $pH = -\log [H_3O^+] = -\log 1 = -\log 10^\circ = 0$।

যেহেতু 1M HCl এর pH = 0, সুতরাং pOH = 14।

কারণ pH + pOH = 14

আবার 1M NaOH দ্রবণের pH = 14; pOH = 0।

সুতরাং **যেকোনো জলীয় দ্রবণের pH(ও pOH) এর মান 0 থেকে 14 এর মধ্যে থাকবে।**

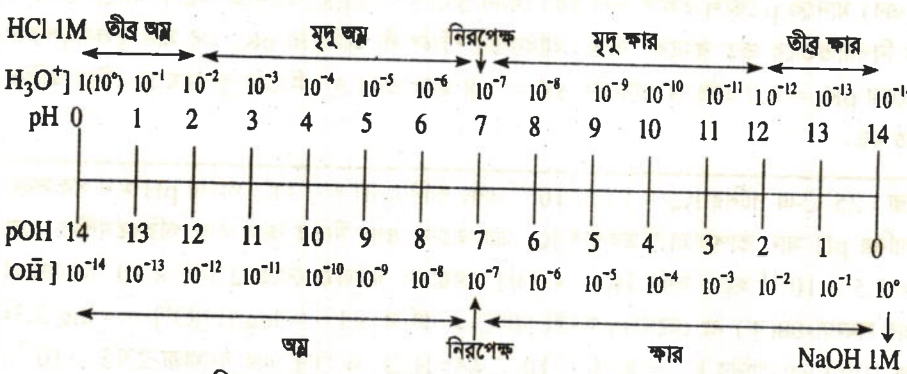
বিভিন্ন pH বা, pOH এর মানের দ্রবণের অবস্থা নিম্নোক্ত চিত্র-৪.২৪ দ্বারা সহজে বোঝা যায়। সাধারণভাবে গবেষণাগারে 1M দ্রবণের বেশি ঘনমাত্রার এসিড ও ক্ষার দ্রবণ ব্যবহার করা হয় না।

লক্ষ্য করো, 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 লক্ষ্য করো, লেমন জুসের দ্রবণে $[H_3O^+] = 2.5 \times 10^{-3}$ M ধরে তোমার ক্যালকুলেটরে সংখ্যাগুলো দিলে তুমি দেখবে

$pH = -\log (2.5 \times 10^{-3}) = (-1) (\log 10^{-3} + \log 2.5) = (3 - 0.39794) = 2.60206$ হয়।

কিন্তু pH এর মান দশমিকের পর দু ডিজিটে অর্থবোধক করে লিখতে হবে। তখন লেমন জুসের pH হবে 2.60। চিত্র-৪.২৩-এ কিছু সাধারণ বস্তুর pH মান pH স্কেলে দেখানো হয়েছে।

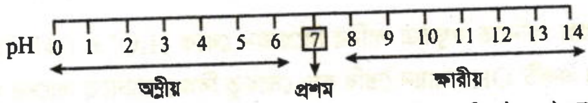


চিত্র-৪.২৪ : pH স্কেল [pH এর মান 0 থেকে 14]।

'pH স্কেল' এর সংজ্ঞা : কোনো দ্রবণের হাইড্রোজেন আয়ন (H^+) বা হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) এর মোলার ঘনমাত্রার ঋণ ত্মক 'বেস-10 লগারিদমকে' ঐ দ্রবণের pH মান বলে। যে নির্দিষ্ট গাণিতিক নিয়ম ও সংখ্যা-মান বা স্কেল অনুযায়ী কোনো লঘু অম্লীয় ও ক্ষারীয় দ্রবণের pH মান প্রকাশ করা হয়, তাকে pH স্কেল বলে। 25°C তাপমাত্রায় 1M HCl দ্রবণের pH = 0 ধরা হয় এবং 1M NaOH দ্রবণের pH = 14 ধরা হয়। সুতরাং লঘু অম্লীয় ও ক্ষারীয় দ্রবণের pH স্কেল সীমা হবে 0—14। প্রশম বা নিরপেক্ষ জলীয় দ্রবণের pH = 7 ধরা হয়।

RMDAC

$\therefore$ pH = $-\log_{10}[H_3O^+]$; pH স্কেল,



বিশেষ দ্রষ্টব্য : কোনো কোনো লেখক অম্লের ক্ষারকত্ব (basicity of an acid) ও ক্ষারকের অম্লত্ব (acidity of a base) এর সংজ্ঞার ক্ষেত্রে বিশেষ অর্থবোধক 'ক্ষারকত্ব' ও 'অম্লত্ব' এ শব্দ দুটিকে দ্রবণের pH স্কেল এর সংজ্ঞার ক্ষেত্রেও ব্যবহার করেছেন। ফলে অম্লত্ব ও ক্ষারকত্ব সংশ্লিষ্ট এরূপ pH স্কেলের সংজ্ঞা সঠিক অর্থ প্রকাশ করেনি। যেমন HCl, H_2SO_4, H_3PO_4 এসিডের ক্ষারকত্ব হলো যথাক্রমে 1, 2, 3 এবং NaOH, $Ca(OH)_2$, $Al(OH)_3$ ক্ষারকের অম্লত্ব হলো যথাক্রমে 1, 2, 3। কিন্তু pH মান ঐ সব যৌগের লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়। বিজ্ঞানের বিষয় আলোচনায় শব্দের ব্যবহার যথাযথ অর্থবোধক হলে শিক্ষার্থীর কাছে সমস্ত বিষয় সুস্পষ্ট হয়ে থাকে।

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।

$\therefore$ কোনো দ্রবণের pH = 7 হলে, তা হবে **নিরপেক্ষ দ্রবণ**।

কোনো দ্রবণের pH < 7 হলে, তা হবে **অম্লীয় দ্রবণ**।

কোনো দ্রবণের pH > 7 হলে, তা হবে **ক্ষারীয় দ্রবণ**।

MCQ-4.23: 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 p^H মান হ্রাস পায় এবং মোলার ঘনমাত্রা হ্রাস পেলে এর pH মান বৃদ্ধি পায়।

(৩) বিশুদ্ধ পানিতে বা কোনো জলীয় দ্রবণে $p^H + p^{OH} = pK_w$

(৪) 25°C তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানিতে বা জলীয় দ্রবণে $p^H + p^{OH} = pK_w = 14$

pH স্কেল প্রয়োগ : p-স্কেল নিম্নোক্ত কাজেও ব্যবহৃত হয়। যেমন, (১) হাইড্রক্সাইড আয়নের মোলার ঘনমাত্রা, $[OH^-]$ প্রকাশে pH = $-\log[OH^-]$ লেখা হয়। অম্লীয় দ্রবণের pOH মান ক্ষারীয় দ্রবণের চেয়ে বেশি হবে। (২) এসিডের সাম্য ধ্রুবকের (K_a এর) মানকে p স্কেলে প্রকাশ করা হয়। যেমন $pK_a = -\log K_a$ এক্ষেত্রে অম্লের সাম্যধ্রুবকের মান যত বাড়বে pK_a এর মান বিপরীতভাবে তত কমবে। অর্থাৎ অধিকতর শক্তিশালী এসিডের pK_a এর মান তুলনামূলকভাবে কম হয়। যেমন A এসিডের $pK_a = 4.7$ এবং B এসিডের $pK_a = 1.8$ হলে তখন A এসিডের তুলনায় B এসিড অধিকতর শক্তিশালী এসিড প্রমাণিত হয়।

চিন্তা করো : 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 2.345×10^{-7}M হয় (শিক্ষার্থী নিজে করো-৪.১১ এর সমস্যা-88(ক) নং দেখো)। অর্থাৎ 50°C-এ পানির pH = $-\log[H_3O^+] = -\log 2.345 \times 10^{-7}$ = 6.63। তদ্রূপ 100°C-এ পানির $K_w = 8.70 \times 10^{-14}$ এবং H_3O^+ ও OH^- এর ঘনমাত্রা 2.95×10^{-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-৪.৩৭ : 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 করো।

দক্ষতা : ঋণাত্মক pH এর মানের 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-৪.৩৮ : জলীয় অ্যামোনিয়া দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা 1.9×10^{-3} M হলে এর pH কত?

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-৪.৩৯ : পাকস্থলীতে পাচক রসে pH এর মান 1.4 হলে ঐ রসে H^+ বা H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত হবে? [MAT: 22-23]

দক্ষতা : ঋণাত্মক pH এর মানের অ্যান্টিলগ নিলে H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা পাওয়া যায়।

সমাধান : $[H_3O^+] = \text{antilog}(-p^H) = 10^{-pH} = 10^{-1.4} = 0.04$ M

$\therefore$ পাচক রসে H^+ আয়ন বা H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা = 0.04 M

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪০ : (ক) 0.1 M HCl, (খ) 0.2 M HCl, (গ) 0.01 M HCl দ্রবণের pH নির্ণয় করো।

সমাধান : (ক) 0.1M HCl দ্রবণে $[H^+] = 0.1 \text{mol } H^+ \text{ ion} L^{-1}$। কারণ 0.1M HCl দ্রবণে HCl পূর্ণ আয়নিত হয়।

$$\underset{0.1\text{ mol}}{HCl + aq} \longrightarrow \underset{0.1\text{ mol}}{H^+(aq) + Cl^-(aq)}$$

$\therefore pH = -\log[H^+] = -\log 0.1 = -\log 10^{-1} = 1$ (উঃ)

(খ) 0.2 M HCl দ্রবণে $[H^+] = 0.2 \text{ mol } H^+ \text{ ion } L^{-1}$। কারণ 0.2 M HCl পূর্ণ আয়নিত হয়।

$\therefore pH = -\log[H^+] = -\log(0.2) = -(-0.69) = 0.69$ (প্রায়) (উঃ)

(গ) 0.01M HCl দ্রবণে $[H^+] = 0.01 \text{ mol } H^+ \text{ ion } L^{-1}$। কারণ 0.01M HCl পূর্ণ আয়নিত হয়।

$\therefore pH = -\log[H^+] = -\log(0.01) = -\log 10^{-2} = 2$ (উঃ)

* দেখা যাচ্ছে দ্রবণে অম্লের মোলার ঘনমাত্রার পরিমাণ যত বেশি, pH এর মান তত কম।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪১ : 0.005 M H_2SO_4 এসিডের pH গণনা করো। [MAT: 15-16]

সমাধান : জলীয় দ্রবণে 0.005 M H_2SO_4 এর পূর্ণ বিয়োজন ঘটে এবং দ্বিগুণ সংখ্যক H^+ আয়ন তৈরি করে।

$$\underset{1\text{ mol}}{H_2SO_4(aq)} \rightarrow \underset{2\text{ mol}}{2H^+(aq)} + SO_4^{2-}(aq)$$

$\therefore [H^+] = 2 \times 0.005 \text{ mol } H^+ \text{ ion } L^{-1} = 0.01 \text{ mol } H^+ \text{ ion } L^{-1}$

$\therefore pH = -\log[H^+] = -\log 0.01 = -\log 10^{-2} = -(-2) = 2$ (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪২ : 0.01 M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণের pH হিসাব করো। দেয়া আছে, উপরোক্ত ঘনমাত্রায় ঐ অম্ল বা এসিডের শতকরা বিয়োজন 12.5%।

সমাধান : $CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-(aq) + H^+(aq)$

এসিডটি 12.5% বিয়োজিত হয়েছে। তাই 0.01 M দ্রবণে $[H^+]$ আছে—

$= 0.01 \times 0.125 = 1.25 \times 10^{-3} \text{ mol } H^+ \text{ ion } L^{-1}$

$\therefore pH = -\log[H^+] = -\log(1.25 \times 10^{-3}) = (-\log 1.25 - \log 10^{-3})$

$= (-0.097 + 3) = 2.90$ (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-৪.৪৩ : 1.0×10^{-2} M ঘনমাত্রার ফরমিক এসিড (H–COOH) এর বিয়োজন ধ্রুবক (K_a) এর মান গণনা করো। ঐ দ্রবণের pH হলো 2.90।

সমাধান : সংশ্লিষ্ট বিয়োজন : $H–COOH\ (aq) \rightleftharpoons H^+\ (aq) + H\text{-}COO^-\ (aq)$

$$K_a = \frac{[H^+] \times [HCOO^-]}{[H–COOH]}$$; এক্ষেত্রে $[H^+] = [HCOO^-]$

$$= \frac{[H^+] \times [H^+]}{[H–COOH]} = \frac{[H^+]^2}{[HCOOH]};$$

দেয়া আছে, $[HCOOH] = 1.0 \times 10^{-2}$ M
pH = 2.90
$[H^+] = ?$
$K_a = ?$

আমরা জানি, $[H^+] = \text{antilog}\ (-pH)$

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-৪.৪৪ : 298 K বা, 25°C তাপমাত্রায় একটি 0.1 M ইথানোয়িক এসিড দ্রবণের pH নির্ণয় করো। [$K_a = 1.76 \times 10^{-5}$]

সমাধান : $CH_3COOH\ (aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-\ (aq) + H^+\ (aq)$

$$\therefore K_a = \frac{[CH_3COO^-] \times H^+]}{[CH_3COOH]}$$; এক্ষেত্রে দ্রবণে $[CH_3COO^-] = [H^+]$ হয়।

আবার ইথানোয়িক এসিড দুর্বল এসিড হওয়ায় অতি অল্প পরিমাণে আয়নিত হয়। তাই দ্রবণে অবিয়োজিত CH_3COOH এর ঘনমাত্রা 0.1 $molL^{-1}$ ধরা যায়।

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, $K_a = 1.76 \times 10^{-5}$]

$\therefore [H^+] = \sqrt{1.76 \times 10^{-6}} = 1.33 \times 10^{-3}\ mol\ L^{-1}$

$\therefore pH = -\log\ (1.33 \times 10^{-3}) = 2.88$ (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪৫ : কোনো জলীয় দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়নের ঘনমাত্রা $3 \times 10^{-5}\ mol\ L^{-1}$ হলে ঐ দ্রবণের pH কত হবে? দ্রবণটির প্রকৃতি অম্লীয় হবে নাকি ক্ষারীয় হবে?

সমাধান : প্রশ্নমতে, $[H^+] = 3 \times 10^{-5}\ mol\ L^{-1}$

$\therefore pH = -\log\ [H^+] = -\log\ (3 \times 10^{-5})$

$= -[\log 3 - 5 \log 10] = -0.4771 + 5 = 4.52$

$\therefore$ দ্রবণের pH = 4.52; যেহেতু দ্রবণের pH এর মান 7 এর চেয়ে কম, তাই দ্রবণটি অম্লীয় হবে। (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৮৬ : (ক) 1 M NaOH, (খ) 0.1 M NaOH, (গ) 0.02 M NaOH, (ঘ) 0.001 M NaOH দ্রবণের pH হিসাব করো।

সমাধান : যেহেতু NaOH একটি তীব্র ক্ষার, উপরিউক্ত লঘু দ্রবণসমূহে NaOH সম্পূর্ণরূপে বিয়োজিত থাকবে। সুতরাং এর ঘনমাত্রা দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রার সমান। $NaOH (aq) \rightarrow Na^+ (aq) + OH (aq)$

(ক) 1 M NaOH এর ক্ষেত্রে $[OH^-] = 1$ mol OH^- ion L^{-1}; $pOH = -\log[OH^-] = -\log 1 = 0$

সুতরাং $pH = 14 - pOH = (14 - 0) = 14$ (উঃ)

(খ) 0.1 M NaOH এর বেলায় $[OH^-] = 0.1$ mol OH^- ion L^{-1};

$pOH = -\log[OH^-] = -\log 0.1 = 1$; $pH = 14 - pOH = (14 - 1) = 13$ (উঃ)

(গ) 0.02 M NaOH দ্রবণের বেলায় $[OH^-] = 0.02$ mol OH^- ion L^{-1};

$pOH = -\log [OH^-] = -\log 0.02 = 1.7$; $\therefore pH = (14 - pOH) = (14 - 1.7) = 12.3$ (উঃ)

(ঘ) 0.001 M NaOH এর বেলায় $[OH^-] = 10^{-3}$ mol OH^- ion L^{-1};

$pOH = -\log [OH^-] = -\log 10^{-3} = 3$; $pH = 14 - pOH = (14 - 3) = 11$ (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৮৭ : 2.5% NaOH দ্রবণের pH নির্ণয় করো।

সমাধান : 2.5% NaOH দ্রবণে NaOH সম্পূর্ণরূপে আয়নিত থাকে।

2.5% NaOH দ্রবণের 100 mL দ্রবণে 2.5 g NaOH দ্রবীভূত থাকে।

$\therefore$ 1000 mL ঐ দ্রবণে (2.5×10) g = 25 g NaOH দ্রবীভূত থাকবে।

NaOH এর গ্রাম-আণবিক ভর = 40 g. $\therefore$ 25 g NaOH $= \frac{25}{40}$ mol NaOH.

$\therefore$ 1000 mL NaOH দ্রবণে (25/40) mol আছে = 0.625 mol NaOH আছে।

$\therefore$ 0.625 M NaOH এর ক্ষেত্রে $[OH^-] = 0.625$ mol L^{-1}

$pOH = -\log [OH^-] = -\log 0.625 = 0.204$ (প্রায়)

$\therefore pH = 14 - pOH = (14 - 0.204) = 13.796$ (উঃ)

MCQ-4.24 : Al_2O_3 এর অম্লত্ব কত? [য. বো. ২০১৫]

(ক) 2 (খ) 3 (গ) 5 (ঘ) 6

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৮৮ : একটি দ্রবণের হাইড্রক্সাইড আয়ন (OH^-) এর ঘনমাত্রা 8.2×10^{-4} $molL^{-1}$ হলে উক্ত দ্রবণের pH এর মান কত?

সমাধান : প্রশ্নমতে, $[OH^-] = 8.2 \times 10^{-4}$ $molL^{-1}$

$\therefore pOH = -\log [OH^-] = -\log (8.2 \times 10^{-4})$

$= -[\log 8.2 - 4 \log 10] = (-0.9138 + 4) = 3.09$

$\therefore$ ঐ ক্ষার দ্রবণের $pH = (14 - pOH) = (14 - 3.09) = 10.91$ (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৮৯ : 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, $K_a \times K_b = 10^{-14}$

প্রশ্নমতে, $K_a = 5.8 \times 10^{-10}$; $\therefore K_b = \frac{10^{-14}}{5.8 \times 10^{-10}} = 1.72 \times 10^{-5}$ (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫০ : 25°C তাপমাত্রায় জৈব ক্ষারক ডাইমিথাইল অ্যামিনের 1.0×10^{-2} molL^{-1} জলীয় দ্রবণের pH এর মান 7.64 হলে ঐ ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক K_b এর মান কত হবে?

সমাধান : ক্ষারকটির বিয়োজন সমীকরণ নিম্নরূপ :

$$(CH_3)_2NH + H_2O \rightleftharpoons (CH_3)_2NH_2^+ + OH^-$$

$$\therefore K_b = \frac{[(CH_3)_2NH_2^+] \times [OH^-]}{[(CH_3)_2NH]} = \frac{[OH^-]^2}{1.0 \times 10^{-2}}\ ; \quad [(CH_3)_2NH_2^+] = [OH^-]$$

প্রশ্নমতে, pH = 7.64; $\therefore$ pOH = (14.0 – 7.64) = 6.36

$\therefore [OH^-] = \text{anti log}(-6.36) = 4.37 \times 10^{-7}$ molL^{-1}

$\therefore K_b = (4.37 \times 10^{-7})^2/(1.0 \times 10^{-2}) = 1.91 \times 10^{-11}$ (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫১ : 25°C তাপমাত্রায় একটি দ্রবণের pH 5.50 হলে ঐ দ্রবণে OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত?

সমাধান : আমরা জানি, কোনো দ্রবণের $p^H + p^{OH} = 14.00$

$\therefore p^{OH} = 14.00 - p^H$

বা, $p^{OH} = (14.00 - 5.50) = 8.50$

বা, $-\log[OH^-] = 8.50$ বা, $\log[OH^-] = -8.50$

বা, $[OH^-] = \text{antilog}(-8.50) = 3.16 \times 10^{-9}$M

দেয়া আছে,
$p^H = 5.50$
$[OH^-] = ?$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫২ : একটি ফলের রসে H^+ আয়নের ঘনমাত্রা 3.3×10^{-2} M হলে ঐ ফলের রসের pH কত? ঐ ফলের রসটি অম্লীয় না ক্ষারীয় প্রকৃতির হবে?

সমাধান : আমরা জানি, $pH = -\log[H^+]$

$\therefore pH = -\log(3.3 \times 10^{-2}) = 1.48$

দেয়া আছে,
$[H^+] = 3.3 \times 10^{-2}$ M

$\therefore$ ফলের রসের pH = 1.48, যেহেতু এর pH এর মান 7 থেকে কম; তাই ফলের রসটি অম্লীয় প্রকৃতির হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৩ : pH = 3 এবং pH = 6 মাত্রার দুটি দ্রবণ দেয়া আছে। কোনটি বেশি অম্লীয় এবং কতগুণ বেশি অম্লীয় তা ব্যাখ্যা করো।

সমাধান : আমরা জানি,

$pH = -\log[H_3O^+]\ \ \therefore [H_3O^+] = 10^{-pH}$ M

যখন pH = 3, তখন $[H_3O^+] = 10^{-3}$ M

যখন pH = 6, তখন $[H_3O^+] = 10^{-6}$ M

> **MCQ-4.25 : H_3PO_2 এর ক্ষারকত্ব কত?** [দি. বো. ২০১৭]
> (ক) 1 (খ) 2 (গ) 3 (ঘ) 4

সুতরাং pH = 3 এবং pH = 6 মাত্রার দ্রবণ দুটির মধ্যে প্রথম দ্রবণে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা দ্বিতীয়টির চেয়ে অনেক বেশি।

কাজেই pH = 3 মাত্রার দ্রবণটি বেশি অম্লীয় হবে।

গণনা করে দেখা যায়, pH = 3 মানবিশিষ্ট দ্রবণে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা, 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।

শি ার্থী নিজে করো-৪.১৩ : দ্রবণের pH, K_a ও K_b ভিত্তিক সমস্যা :

সম স্যা-৪.৪৭ : (ক) সমুদ্রের পানির OH^- ঘনমাত্রা 1.58×10^{-6} হলে এর pH কত? [উঃ 8.20]

(খ) এসিড বৃষ্টির পানিতে H_3O^+ ঘনমাত্রা 6.0×10^{-5} হলে এর pH কত? [উঃ 4.22]

(গ) 0.05 M H_2SO_4 দ্রবণের pH কত? [উঃ 1]

(ঘ) 0.01 M HCl দ্রবণের pH কত হবে? [উঃ 2]

(ঙ) 25°C-এ 0.1 M CH_3COOH এর pH কত? এটির $K_a = 1.76 \times 10^{-5}$. [উঃ 2.88]

দ্রষ্টব্য : এক্ষেত্রে $[H^+] = [CH_3COO^-]$ $\therefore$ $[H^+] \times [CH_3COO^-] = [H^+]^2$ হয়।

(চ) 0.2 M NaOH দ্রবণের pH কত? [উঃ 13.3]

(ছ) 2.5% NaOH দ্রবণের pH কত? [উঃ 13.79]

(জ) অ্যাসিটিক এসিডের বিয়োজন পরিমাণ 12.5% হলে 0.01M CH_3COOH দ্রবণের pH কত? [উঃ 0.903]

দ্রষ্টব্য : 12.5% বিয়োজিত 0.01 M এসিড দ্রবণে $[H^+] = 0.01 \times 12.5$ M।

সম স্যা-৪.৪৮ : (ক) মানুষের রক্তে pH 7.40 হলে এতে H_3O^+ ও OH^- ঘনমাত্রা কত?

[উঃ $[H_3O^+] = 4.0 \times 10^{-8}$ M; $[OH^-] = 2.5 \times 10^{-7}$ M]

(খ) কোকা-কোলা পানীয়ে pH 2.8 হলে এতে H_3O^+ ও OH^- ঘনমাত্রা কত হবে?

[উঃ $[H_3O^+] = 1.58 \times 10^{-3}$ M; $[OH^-] = 6.3 \times 10^{-12}$ M]

(গ) কমলা লেবুর রসে pH 3.80 হলে ঐ রসে H^+ ও OH^- এর ঘনমাত্রা কত?

[উঃ 1.58×10^{-4} M; 6.31×10^{-11} M]

সম স্যা-৪.৪৯ : চারুশিল্প প্রকল্পের মেরামত কাজের অধিকর্তা কপার প্লেটে নক্সার কাজে ব্যবহারের জন্য গাঢ় HNO_3 কে লঘু করণে (ক) 2.0 M ও (খ) 0.30 M এসিড দ্রবণ তৈরি করলো। ঐ দ্রবণে $[H_3O^+]$, pH, $[OH^-]$ ও pOH গণনা করো।

[উঃ (ক) $[H_3O^+] = 2.0$ M, pH = – 0.30, $[OH^-] = 5.0 \times 10^{-15}$ M, pOH = 14.30;

(খ) $[H_3O^+] = 0.30$ M, pH = 0.52, $[OH^-] = 3.3 \times 10^{-14}$ M, pOH = 13.48]

(গ) কোনো সফট ড্রিংকের $p^H = 4.80$ হলে এতে H_3O^+ আয়ন ও OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত?

[উঃ $[H_3O^+] = 1.5848 \times 10^{-5}$ M; $[OH^-] = 6.309 \times 10^{-10}$ M]

(ঘ) একটি নমুনা HCl দ্রবণের pH 3 হলে ঐ দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা কত হবে? [উঃ 1.0×10^{-3}M]

(ঙ) একটি নমুনা NaOH দ্রবণের pH 11 হলে ঐ দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা কত হবে? [উঃ 1.0×10^{-3}M]

(চ) 10.8×10^{-2} M HCl দ্রবণের pH কত হবে? [উঃ 0.97]

(ছ) 2.5×10^{-2} M H_2SO_4 দ্রবণের pH কত হবে? [উঃ 1.30]

(জ) কোনো নমুনা এসিডের জলীয় দ্রবণের pH 3.60 হলে ঐ দ্রবণের প্রতি লিটারে H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা ও আয়নের সংখ্যা কত হবে? [উঃ $[H_3O^+] = 2.512 \times 10^{-4}$ 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? [উঃ $[OH^-] = 4.47 \times 10^{-9}$ M; OH^- আয়নের সংখ্যা = 2.692×10^{15} টি]

(ঞ) 25°C তাপমাত্রায় 0.5 M মিথাইল অ্যামিন (CH_3NH_2) দ্রবণের pH কত হবে? [$K_b = 4.8 \times 10^{-4}$]

[উঃ 12.04]

(ট) 0.25 M ঘনমাত্রার CH_3COOH দ্রবণের pH = 2.68 হলে ঐ এসিডের বিয়োজন ধ্রুবকের মান কত হবে?

[উঃ 1.746×10^{-5}]

(ঠ) 0.25 M ঘনমাত্রার HCN দ্রবণের pH = 5 হলে ঐ এসিডের বিয়োজন ধ্রুবকের মান কত হবে?

[উঃ 4.0×10^{-10}]

(ড) 25°C তাপমাত্রায় কোনো নমুনা NH_4OH দ্রবণের ঘনমাত্রা হলো 0.25 M। ঐ NH_4OH এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান 1.76×10^{-5} হলে ঐ দ্রবণের pH মান কত হবে? [উঃ 11.32]

জেনে নাও : কোনো দ্রবণের pH এর মান 0 থেকে কম অথবা 14 থেকে বেশি হতে পারে কি?

কোনো দ্রবণের pH এর মান 0 থেকে কম এবং 14 থেকে বেশি হতে পারে। কিন্তু pH স্কেল তখন অকার্যকর হয়। 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, $[H_3O^+] = 2$ 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 ঘনমাত্রাকে সংক্ষেপে প্রকাশ করা। দ্রবণের pH মান 0–14 এর মধ্যে ধনাত্মক মান ধরা হয়। কোনো দ্রবণের H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা 1M এর বেশি হলে pH মান ঋণাত্মক হয়। তখন pH স্কেল অকার্যকর হয়ে পড়ে। তাই pH পদটি বিশেষত অতি লঘু দ্রবণের ঘনমাত্রা প্রকাশে ব্যবহৃত হয়।

RMDAC

৪.১২.১ লবণের আর্দ্র বিশ্লেষণ

Salt Hydrolysis

অধিকাংশ লবণ যেমন NaCl, KCl, $NaNO_3$, KNO_3 পানিতে দ্রবীভূত হয়ে নিরপেক্ষ দ্রবণ তৈরি করে। আবার অনেক লবণের জলীয় দ্রবণ অম্লীয় অথবা ক্ষারীয় হয়। **অসমশক্তির অম্ল ও ক্ষারক থেকে উৎপন্ন লবণের ক্যাটায়ন বা অ্যানায়ন পানির সাথে ক্রিয়া করে যথাক্রমে অম্লধর্মী বা ক্ষারধর্মী জলীয় দ্রবণ তৈরি করে থাকে। এরূপ বিক্রিয়াকে লবণের আর্দ্র বিশ্লেষণ বলা হয়।** নিম্নোক্ত দু'প্রকারে আর্দ্র বিশ্লেষণ ঘটে।

(ক) যেসব লবণ দুর্বল ক্ষারক ও সবল অম্ল থেকে উৎপন্ন, তারা দ্রবণে আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে অম্লীয় দ্রবণ তৈরি করে। যেমন,

উদাহরণ-১। কপার সালফেট ($CuSO_4$) হলো দুর্বল ক্ষারক $Cu(OH)_2$ ও সবল অম্ল H_2SO_4 এর লবণ। এটি পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় প্রথমে Cu^{2+} আয়ন ও SO_4^{2-} আয়নে বিভক্ত হয়। পরে দ্রবণে Cu^{2+} আয়ন পানির সাথে নিম্ন সমীকরণ মতে বিক্রিয়া করে দ্রবণে হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) বৃদ্ধি করে।

$$CuSO_4\,(s) + aq \longrightarrow Cu^{2+}\,(aq) + SO_4^{2-}\,(aq)$$

$$Cu^{2+}\,(aq) + 4H_2O\,(l) \rightleftharpoons Cu(OH)_2\,(aq) + \boxed{2H_3O^+\,(aq)}$$

ফলে দ্রবণে H_3O^+ আয়নের সংখ্যা বাড়ার কারণে দ্রবণে pH এর মান 7 এর চেয়ে কম হয়; অর্থাৎ $CuSO_4$ এর দ্রবণটি অম্লীয় হয়। এ ধরনের বিক্রিয়াকে **ক্যাটায়নিক আর্দ্রবিশ্লেষণ** বলা হয়।

উদাহরণ-২। অনুরূপভাবে, NH_4Cl হলো দুর্বল ক্ষারক NH_4OH ও সবল অম্ল HCl এর লবণ। এটি পানিতে প্রথমে আয়নে বিভক্ত হয়। পরে দ্রবণে NH_4^+ আয়নের আর্দ্রবিশ্লেষণ নিম্নরূপে ঘটে এবং দ্রবণটি অম্লীয় হয়।

$$NH_4Cl\,(s) + aq \longrightarrow NH_4^+\,(aq) + Cl^-\,(aq)$$

$$NH_4^+\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons NH_3\,(aq) + \boxed{H_3O^+\,(aq)}$$

ফলে দ্রবণে H_3O^+ আয়নের সংখ্যা বাড়ার কারণে pH এর মান 7 এর চেয়ে কম হয়; অর্থাৎ NH_4Cl এর জলীয় দ্রবণ অম্লীয় হয়। এ ধরনের বিক্রিয়াকে **ক্যাটায়নের আর্দ্র-বিশ্লেষণ** বলা হয়।

অনুরূপভাবে NH_4NO_3, $AgNO_3$, $ZnCl_2$ ইত্যাদি লবণ আর্দ্র-বিশ্লেষণ দ্বারা অম্লীয় দ্রবণ তৈরি করে।

(খ) যেসব লবণ সবল ক্ষারক ও দুর্বল অম্ল থেকে উৎপন্ন, তারা দ্রবণে আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়ে ক্ষারীয় দ্রবণ তৈরি করে। যেমন,

উদাহরণ-৩। সোডিয়াম কার্বনেট (Na_2CO_3) হলো সবল ক্ষারক NaOH ও দুর্বল অম্ল কার্বনিক এসিড (H_2CO_3) এর লবণ। এটি পানিতে প্রথমে দ্রবীভূত হয়ে Na^+ আয়ন ও CO_3^{2-} আয়নে বিভক্ত হয়। পরে দ্রবণে কার্বনেট (CO_3^{2-}) আয়ন পানির সাথে নিম্ন সমীকরণ মতে বিক্রিয়া করে দ্রবণে OH^- আয়নের পরিমাণ বৃদ্ধি করে।

$$Na_2CO_3\,(s) + aq \longrightarrow 2Na^+\,(aq) + CO_3^{2-}\,(aq)$$

$$CO_3^{2-}\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons HCO_3^-\,(aq) + \boxed{OH^-\,(aq)}$$

$$HCO_3^-\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons H_2CO_3\,(aq) + \boxed{OH^-\,(aq)}$$

ফলে দ্রবণে OH^- আয়নের সংখ্যা বাড়ার কারণে দ্রবণের pH এর মান 7 এর চেয়ে বেড়ে যায়; অর্থাৎ Na_2CO_3 এর দ্রবণটি ক্ষারীয় হয়। এ ধরনের বিক্রিয়াকে **অ্যানায়নিক আর্দ্রবিশ্লেষণ** বলা হয়। অনুরূপভাবে, Na_2S, Na_3PO_4, K_2CO_3, KCN, CH_3COONa ইত্যাদি লবণ আর্দ্র বিশ্লেষণ দ্বারা ক্ষারীয় দ্রবণ তৈরি করে।

৪.১৩ বাফার দ্রবণ

Buffer Solutions [MAT: 15-16]

MCQ-4.26 : 0.05 M H_2SO_4 এর pH কত?
(ক) 0.5 (খ) 1.0 (গ) 1.5 (ঘ) 2.0

অনুচ্ছেদ-৪.১২ 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 স্থির রাখা আবশ্যক। যেমন মানুষের রক্তের pH হলো 7.4। অধিক অম্লজাতীয় খাদ্য গ্রহণ বা ওষুধ গ্রহণের কারণে রক্তের pH 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।

RMDAC

এক্ষেত্রে দ্রবণের pH বলতে $[H_3O^+]$ এর পরিবর্তনকে প্রতিরোধ করা বোঝায়। বাফার দ্রবণ হলো মূলত একটি দুর্বল 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 দু'শ্রেণিতে বিভক্ত; অম্লীয় বাফার দ্রবণ ও ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ।

অম্লীয় বাফার দ্রবণ : [দুর্বল এসিড + অনুবন্ধী ক্ষারক]; উদাহরণ : (i) $CH_3CO_2H + CH_3CO_2^-$ আয়ন, (ii) $H_2PO_4^- + HPO_4^{2-}$ আয়ন,

ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ : [দুর্বল ক্ষারক + অনুবন্ধী এসিড]; উদাহরণ : (i) $Na_2CO_3 + HCO_3^-$ আয়ন, (ii) $NH_4OH + NH_4^+$ আয়ন,

বাফার দ্রবণের সাধারণ বৈশিষ্ট্য :

(১) নির্দিষ্ট বাফার দ্রবণের pH মান নির্দিষ্ট থাকে।

(২) বাফার দ্রবণের উপাদান দুটির ঘনমাত্রার চেয়ে কম পরিমাণ H_3O^+ আয়ন (অল্প পরিমাণ সবল লঘু এসিড) অথবা OH^- আয়ন (অল্প পরিমাণ সবল লঘু ক্ষার) যোগ করলে ঐ বাফার দ্রবণের pH প্রায় অপরিবর্তিত থাকে। [MAT: 14-15]

(৩) বাফার দ্রবণকে লঘুকরণ করলেও বাফার দ্রবণের pH মান অপরিবর্তিত থাকে।

(৪) প্রতিটি বাফার দ্রবণের নির্দিষ্ট বাফার ক্ষমতা থাকে।

(৫) বাফার দ্রবণের pH মান দীর্ঘদিন অপরিবর্তিত থাকে।

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 তীব্র এসিড সহযোগে সৃষ্ট লবণ হতে প্রস্তুত করা হয়; যথা : NH_4OH ও NH_4Cl দ্রবণের মিশ্রণ।

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।

$$CH_3COOH\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons CH_3COO^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

এক্ষেত্রে সাম্যধ্রুবক, $K_a = \dfrac{[H_3O^+] \times [CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$; বা, $[H_3O^+] = K_a \times \dfrac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}$

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 $[CH_3COOH]$ এর মান CH_3COOH এর প্রারম্ভিক ঘনমাত্রার প্রায় কাছাকাছি থাকে। অপরদিকে $[CH_3COO^-]$ এর মান এর লবণের অর্থাৎ CH_3COONa এর প্রারম্ভিক ঘনমাত্রার সমান হবে। সুতরাং পূর্বের সমীকরণটিকে নিম্নরূপে লেখা যায় :

$[H_3O^+] = K_a \times \frac{[\text{অম্ল}]}{[\text{লবণ}]}$; বা, $\log[H_3O^+] = \log K_a + \log \frac{[\text{অম্ল}]}{[\text{লবণ}]}$;

বা $-pH = -pK_a - \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$; $\because \log \frac{A}{B} = -\log \frac{B}{A}$

বা $pH = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$;

MCQ-4.27 : কোনো দ্রবণের $[OH^-] = 3.4 \times 10^{-1}$ হলে এর pH কত?
(ক) 9.53 (খ) 7.53 (গ) 8.93 (ঘ) 13.53

এ সমীকরণটিকে **হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণ** বলে। এ সমীকরণের সাহায্যে যেকোনো 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 :

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

এ ক্ষেত্রে সাম্যধ্রুবক, $K_b = \frac{[NH_4^+] \times [OH^-]}{[NH_4OH]}$; $[OH^-] = K_b \times \frac{[NH_4OH]}{[NH_4^+]}$

এখন উভয় দিকে, log নিয়ে পাই, $\log[OH^-] = \log K_b + \log \frac{[NH_4OH]}{[NH_4^+]}$

এবার –1 দিয়ে গুণ করে পাই, $-\log[OH^-] = -\log K_b - \log \frac{[NH_4OH]}{[NH_4^+]}$

বা, $pOH = pK_b + \log \frac{[NH_4^+]}{[NH_4OH]}$; বা, $(14 - pH) = pK_b + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{ক্ষার}]}$

$\therefore pH = 14 - pK_b - \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{ক্ষার}]}$; এ সমীকরণের সাহায্যে ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের pH গণনা করা যায়।

হেন্ডারসন সমীকরণের প্রয়োগ :

(১) অজানা pH এর বাফার দ্রবণের pH গণনা করা যায়।

(২) নির্দিষ্ট pH এর অম্লীয় বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে সংশ্লিষ্ট মৃদু অম্ল ও এর লবণের দ্রবণ কত মোলার অনুপাতে বা [লবণ]/[অম্ল] এবং ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের বেলায় [লবণ/[ক্ষার] এর কত অনুপাতে মিশ্রিত করা দরকার তা গণনা করা যায়।

* (৩) হেন্ডারসন সমীকরণ থেকে জানা যায় যে, অম্লীয় বাফারের pH সংশ্লিষ্ট দুর্বল এসিডটির pK_a মানের কাছাকাছি হতে হয়; কেবল অতিরিক্ত মান log [লবণ]/[অম্ল] এ থেকে আসে। যখন, [লবণ]/ [অম্ল] = 1 হয়; তখন log [লবণ]/[অম্ল] = 0 হয় এবং $pH = pK_a$ হয়। সে বাফার দ্রবণের বাফার ক্ষমতা সর্বাধিক (highest buffer capacity) হয়।

*(৪) সাধারণত ঈপ্সিত বাফারের pH এর কাছাকাছি pK_a বিশিষ্ট দুর্বল এসিডটি বেছে নেয়া হয়। এরপর হেন্ডারসন সমীকরণ মতে [লবণ] / [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 $pK_a = -\log(6.2 \times 10^{-8}) = 7.21$

(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 হেন্ডারসন সমীকরণ ব্যবহার করা যায়। কারণ NH_4^+ আয়নের pK_a এর মান 9.25 হয়। $pK_a = \log(5.6 \times 10^{-10}) = 9.25$। মোদ্দা কথায়, **বাফারের দুর্বল এসিডটির pK_a এর মান বাফারের ঈপ্সিত pH থেকে ± 1 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 [লবণ]/[অম্ল] এর অনুপাত সঠিকভাবে অনুসরণ করা হয়।

*** নির্দিষ্ট pH এর বাফার দ্রবণের সঠিক অম্ল-ক্ষার যুগল নির্বাচন :**

ঈপ্সিত pH মানের কোনো বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে সঠিক নির্বাচিত অম্লটি হবে সেটি যার pK_a এর মান ঈপ্সিত pH মানের চেয়ে ± 1 pH এর ব্যবধানের মধ্যে থাকবে। নিচে এরূপ ৪টি বাফার দ্রবণের কার্যকর 'অম্ল-ক্ষার' যুগল এদের pH রেঞ্জ বা সীমা উপযুক্ত এসিডের K_a ও pK_a মান দেয়া হলো। সম্পর্কটি বোঝে নাও।

বাফার দ্রবণের অম্ল-ক্ষার যুগল	pH রেঞ্জ	এসিডের K_a	এসিডের pK_a
১। H–COOH ও H–COONa বাফার :	3.7–5.2	HCOOH এর $K_a = 1.8 \times 10^{-4}$	$pK_a = 3.75$
২। CH_3COOH ও CH_3COONa বাফার :	3.7–5.6	CH_3CO_2H এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$	$pK_a = 4.75$
৩। NaH_2PO_4 ও Na_2HPO_4 বাফার :	5.8–8.0	$H_2PO_4^-$ এর $K_a = 6.2 \times 10^{-8}$	$pK_a = 7.21$
৪। NH_4Cl ও NH_3 (বা, NH_4OH) বাফার :	8.5–10.0	NH_4^+ এর $K_a = 5.6 \times 10^{-10}$	$pK_a = 9.25$

বাফার ক্ষমতা (buffer capacity or buffer index) : এক লিটার বাফার দ্রবণের pH এর মান এক একক (1 unit) পরিবর্তন করতে যত মোল সংখ্যার সবল এসিড বা ক্ষার মিশ্রিত বা যোগ করতে হয়, তাকে ঐ বাফার দ্রবণের বাফার ক্ষমতা বলে।

$$\therefore \text{বাফার ক্ষমতা} = \frac{\text{প্রতি লিটার বাফার দ্রবণে মিশ্রিত এসিড বা ক্ষারের মোল সংখ্যা}}{\text{pH মানের পরিবর্তন}}$$

যেহেতু $pH = pK_a + \log$ [লবণ]/[অম্ল]; তাই (i) [লবণ]/[অম্ল] এর অনুপাত 1 হলে ঐ বাফার দ্রবণের ক্ষমতা সবচেয়ে বেশি হয়। (ii) তখন অম্লীয় বাফারের বেলায় $pH = pK_a$ এবং ক্ষারীয় বাফারের বেলায় $pOH = pK_b$ 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।

জেনে নাও : অম্লীয় বাফার দ্রবণ তৈরিতে দুর্বল অম্ল ব্যবহৃত হয় কেন; ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০২২]

pH স্কেল মতে অম্লীয় বাফার দ্রবণের pH এর পরিসর 1.0—7.0 এর মধ্যে থাকতে হয়। আমরা জানি, সবল এসিডের K_a এর মান 1.0×10^1 এর বেশি হয়ে থাকে এবং ঐ সবল এসিডের pK_a এর মান ঋণাত্মক হয় (সারণি ৪.৫ দেখো)। অপরদিকে দুর্বল এসিডের K_a এর মান 1.0 থেকে ছোটো অর্থাৎ 1.0×10^{-1} থেকে আরো ছোটো হয়ে থাকে এবং ঐ দুর্বল এসিডের pK_a এর মান 1.8—7.0 বা এর বেশিও হয়। বাফার দ্রবণের প্রতিষ্ঠিত হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণ মতে অম্লীয় বাফার দ্রবণের pH মান এবং বাফার দ্রবণে ব্যবহৃত এসিডের pK_a এর মানের সাথে সম্পর্কটি হলো—

$pH = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$; আবার যখন [লবণ]/[অম্ল] = 1 হয়; তখন $\log$ [লবণ]/[অম্ল] = 0 হয় এবং বাফার দ্রবণটি সর্বাধিক বাফার ক্ষমতাযুক্ত $pH = pK_a$ মানের হয়। তাই অম্লীয় বাফার দ্রবণ তৈরিতে 1.0 – 7.0 এর পরিসরের ধনাত্মক pK_a এর দুর্বল অম্ল বা এসিড প্রয়োজন হয়। তখন অম্লীয় বাফারের দুর্বল অম্ল ও এর সবল অনুবন্ধী ক্ষারকের নির্দিষ্ট মোলার ঘনমাত্রার মিশ্র দ্রবণটিতে ঋণাত্মক অনুবন্ধী ক্ষারক আয়নটি সাধারণ আয়নরূপে থাকে। যেমন,

$$CH_3\text{–}COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$$
$$CH_3COONa \longrightarrow CH_3COO^- + Na^+$$

অম্লীয় বাফার দ্রবণ সাধারণ আয়ন

এ বাফার মিশ্রণে সামান্য HCl অর্থাৎ H^+ যোগ করলে ঐ H^+ আয়ন সবল ক্ষারক CH_3COO^- এর সাথে যুক্ত হয়ে থাকে। তাই বাফারটির pH মান ঠিক থাকে। আবার সামান্য NaOH দ্রবণ অর্থাৎ OH^- আয়ন যোগ করলে তা বাফার মিশ্রণের H^+ আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে থাকে। ফলে দুর্বল CH_3COOH এর বিয়োজন বৃদ্ধি পেয়ে সাম্যাবস্থায় থাকে এবং মিশ্রণের pH মান স্থির থাকে। এরূপে দুর্বল অম্ল বাফার দ্রবণে সার্থক ভূমিকা পালন করে।

৪.১৩.১ বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল
Mechanism of Buffer Action

বাফার ক্রিয়া (buffer action) : যে রাসায়নিক ক্রিয়া-কৌশলের মাধ্যমে কোনো বাফার দ্রবণ স্বল্পমাত্রায় এসিড বা ক্ষারক দ্রবণ মিশ্রিত করার পরও এর pH পরিবর্তন প্রতিরোধ করে তাকে **বাফার ক্রিয়া** বলে।

কোনো **একটি বাফার দ্রবণের অত্যাবশ্যক বৈশিষ্ট্য** হলো :

* ১) দ্রবণটিতে এসিড (HA) ও এর অনুবন্ধী ক্ষারক (A^-) উভয় উপাদানের উচ্চঘনমাত্রা 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।
* ৩) 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-৪.২৫ দ্রষ্টব্য]

বাফার ক্রিয়ার কৌশল : বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশলের সাথে লা-শ্যাতেলিয়ারের বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা নীতি সম্পর্কিত। বাফার দ্রবণের **ক্রিয়া-কৌশল ব্যাখ্যা** করার জন্য সোডিয়াম বাইকার্বনেট ($NaHCO_3$) ও সোডিয়াম কার্বনেট (Na_2CO_3) দ্বারা প্রস্তুত ক্ষারীয় প্রকৃতির বাফার দ্রবণটি নেয়া হলো। এতে দুর্বল ক্ষারক হলো কার্বনেট (CO_3^{2-}) আয়ন এবং এর অনুবন্ধী এসিডটি হলো বাইকার্বনেট (HCO_3^-) আয়ন।

এখানে Na_2CO_3 ও $NaHCO_3$ আয়নিক লবণ সবল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য হওয়ায় শতভাগ আয়নিত হয়। কিন্তু HCO_3^- আয়ন দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য হওয়ায় উভমুখিতায় আংশিক বিয়োজিত বা আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়।

$$Na_2CO_3(s) + aq \longrightarrow CO_3^{2-}(aq) + 2Na^+(aq)$$
$$NaHCO_3(s) + aq \longrightarrow HCO_3^-(aq) + Na^+(aq)$$
$$HCO_3^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + CO_3^{2-}(aq)$$

বাইকার্বনেট আয়ন (HCO_3^-) এর বিয়োজন সাম্যধ্রুবক (K_a) নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয় :

$$K_a = \frac{[CO_3^{2-}] \times [H_3O^+]}{[HCO_3^-]}\ ;\ \text{বা, } [H_3O^+] = K_a \times \frac{[HCO_3^-]}{[CO_3^{2-}]} \ldots (১)$$

MCQ-4.28 : $A(H_2O) \xrightarrow{H^+} B(H_3O^+)$ 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

(১) নং সমীকরণ মতে K_a ধ্রুব হওয়ায়, বাফার দ্রবণের H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা বাফার উপাদানদ্বয়ের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাতের সমানুপাতিক হয়। যেমন, $\dfrac{[HCO_3^-]}{[CO_3^{2-}]} = \dfrac{[HA]}{[A^-]} = \dfrac{[\text{দুর্বল অম্ল}]}{[\text{অনুবন্ধী ক্ষারক}]}$

* (i) কোনো কারণে যখন $[HA]/[A^-]$ অনুপাত বাড়ে, তখন $[H_3O^+]$ বাড়ে, pH কমে।

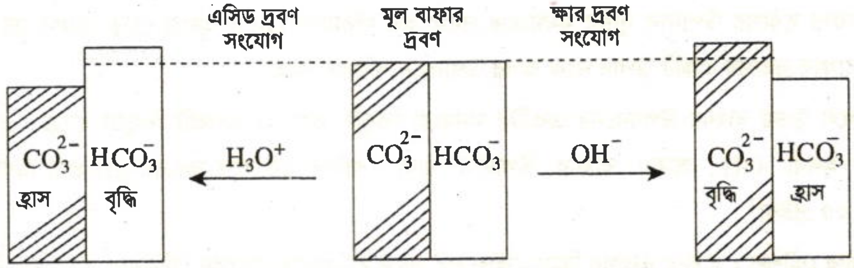
* (ii) কোনো কারণে যখন $[HA]/[A^-]$ অনুপাত কমে, তখন $[H_3O^+]$ কমে, pH বাড়ে।

এখন এ ক্ষারীয় বাফার দ্রবণে অল্প সবল এসিড (HCl) অথবা ক্ষার (NaOH) দ্রবণ সংযোগের ফলে বাফার দ্রবণের pH মান **প্রায় স্থির থাকার** ব্যাখ্যা করা হলো :

(ক) অল্প এসিড (H_3O^+) সংযোগ : অল্প সবল এসিড (HCl) যোগ করলে তা থেকে উৎপন্ন H_3O^+ আয়নসমূহ বাফারের সমসংখ্যায় কার্বনেট (CO_3^{2-}) আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে সমসংখ্যক HCO_3^- আয়ন উৎপন্ন করে। যেমন,

$$HCl\,(aq) + H_2O\,(l) \longrightarrow H_3O^+\,(aq) + Cl^-\,(aq)$$
$$H_3O^+\,(aq) + CO_3^{2-}\,(aq) \longrightarrow HCO_3^{2-}\,(aq) + H_2O\,(l)$$

তখন $[H_3O^+]$ এর সমপরিমাণে $[CO_3^{2-}]$ আয়ন কমে এবং $[HCO_3^-]$ সমপরিমাণে বাড়ে। ফলে (১) নং সমীকরণের বাফার উপাদানদ্বয়ের ঘনমাত্রার অনুপাত যেমন $[HCO_3^-]/[CO_3^{2-}]$ অনুপাত সামান্য বাড়ে। অর্থাৎ $[H_3O^+]$ সামান্য বাড়ে। (ওপরের (i) নং শর্ত মতে)। নিচের চিত্র-৪.২৫ এর বামদিক থেকে তা সহজে বোঝা যায়।



$H_2O + HCO_3^- \leftarrow H_3O^+ + CO_3^{2-}$ $HCO_3^- + OH^- \rightarrow CO_3^{2-} + H_2O$

চিত্র-৪.২৫ : বাফারের উপাদানদ্বয়ের ঘনমাত্রার অনুপাতের পরিবর্তন। [ওপরের ডট লাইন মতে বোঝে নাও।]

(খ) অল্প 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।

$$NaOH\,(aq) + H_2O\,(l) \longrightarrow OH^-\,(aq) + Na^+\,(aq)$$
$$OH^-\,(aq) + HCO_3^-\,(aq) \longrightarrow CO_3^{2-}\,(aq) + H_2O\,(l)$$

ফলে (১) নং সমীকরণের বাফার উপাদানদ্বয়ের ঘনমাত্রার অনুপাত কমে অর্থাৎ $[H_3O^+]$ সামান্য কমে। এরূপে বাফার দ্রবণে অল্প H_3O^+ অথবা OH^- আয়ন যোগ করা হলে প্রতি ক্ষেত্রে $[H_3O^+]$ 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 ক্রিয়া-কৌশল নিম্নরূপে ব্যাখ্যা করা হয়।]

MCQ-4.29 : নিচের কোনটি উভধর্মী? [সি. বো. ২০১৫]

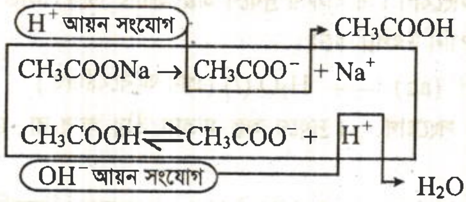
(ক) NH_3 (খ) HCO_3^-
(গ) H_3O^+ (ঘ) CO_3^{2-}

(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) লবণ দ্বারা প্রস্তুত অম্লীয় প্রকৃতির বাফার দ্রবণটির ক্রিয়া-কৌশল বর্ণনা করা যায়। এ বাফার দ্রবণের উপাদানদ্বয় দ্রবণে নিম্নরূপে বিয়োজিত হয়ে থাকে।

$$CH_3COOH\,(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-\,(aq) + H^+\,(aq)$$ (মৃদু এসিড, তাই সামান্য বিয়োজিত হয়।)

$$CH_3COONa\,(aq) \longrightarrow CH_3COO^-\,(aq) + Na^+\,(aq)$$ (আয়নিক লবণ, তাই সম্পূর্ণ বিয়োজিত হয়।)



চিত্র-৪.২৬(ক) : অম্লীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল
[ওপরের বিক্রিয়া দ্বারা পরিবর্তন বোঝে নাও।]

(ক) অল্পমাত্রায় এসিড সংযোগ : যদি সামান্য পরিমাণ HCl 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।

$$H^+\,(aq) + CH_3COO^-\,(aq) \longrightarrow CH_3COOH\,(aq)$$

যেহেতু অ্যাসিটিক এসিড মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য, তাই অ্যাসিটিক এসিড অতি সামান্য পরিমাণে বিয়োজিত হয়; (বিশেষ করে তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য সোডিয়াম অ্যাসিটেটের উপস্থিতিতে) সেহেতু ঐ বাফার দ্রবণে প্রদত্ত অম্ল বা এসিড দ্বারা H^+ আয়নের বা হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) এর ঘনমাত্রা বিশেষ বাড়ে না। অর্থাৎ ঐ দ্রবণের pH এর মান প্রায় অপরিবর্তিত থাকে।

(খ) অল্প মাত্রায় ক্ষার (OH^-) সংযোগ : সামান্য পরিমাণ ক্ষার অর্থাৎ OH^- আয়ন এ 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।

$$OH^-\,(aq) + H^+\,(aq) \longrightarrow H_2O\,(l)$$

$$CH_3COOH + aq \rightleftharpoons CH_3COO^-\,(aq) + H^+\,(aq)$$

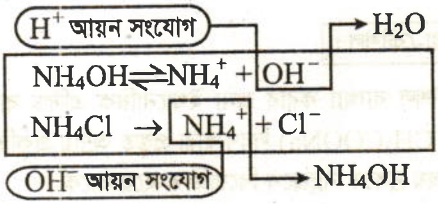
অতএব দেখা যায় যে, বাফার দ্রবণে সামান্য পরিমাণ তীব্র এসিড বা ক্ষার হিসেবে যথাক্রমে H^+ আয়ন অথবা OH^- আয়ন এর যেকোনো একটি যোগ করা হোক না কেন, তা বাফার দ্রবণের উপাদানের আন্তঃক্রিয়ার ফলে অপসারিত হয় এবং কোনো ক্ষেত্রেই H^+ আয়নের ঘনমাত্রা তথা pH এর মান বিশেষ পরিবর্তিত হয় না।

(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 আয়নিত হয়।

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

$$NH_4Cl\,(aq) \longrightarrow NH_4^+\,(aq) + Cl^-\,(aq)$$



চিত্র-৪.২৬(খ) : ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল
[ওপরের বিক্রিয়া দ্বারা পরিবর্তন বোঝে নাও।]

(ক) অল্প মাত্রায় এসিড (H^+) সংযোগ : এ বাফার দ্রবণে অল্প মাত্রায় তীব্র এসিড HCl বা, H^+ আয়ন যোগ করা হলে তা বাফার মিশ্রণের OH^- আয়নসহ পানি উৎপন্ন করে।

$$H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O\,(l) \text{ (প্রায় অবিয়োজিত)}$$

(খ) অল্প মাত্রায় ক্ষার (OH^-) সংযোগ : এ দ্রবণে অল্প মাত্রায় তীব্র ক্ষার বা, OH^- আয়ন যোগ করলে তা NH_4^+ আয়নসহ NH_4OH উৎপন্ন করে।

$$OH^-(aq) + NH_4^+(aq) \rightleftharpoons NH_4OH\,(aq) \text{ (সামান্য বিয়োজিত)}$$

সুতরাং এ দ্রবণে তীব্র অম্ল বা তীব্র ক্ষার যেকোনোটি যোগ করা হোক না কেন, ঐ মিশ্রিত অম্ল বা ক্ষারকের পরিমাণ বেশি না হলে তখন H^+ আয়নের ঘনমাত্রা বা pH এর বিশেষ কোনো পরিবর্তন হয় না।

বাফার রেঞ্জ (buffer range) : কোনো বাফার দ্রবণের বাফার রেঞ্জ বলতে বাফার দ্রবণের সেই pH সীমার পরিসর বোঝায়, যে pH পরিবর্তন সীমার মধ্যে ঐ বাফার দ্রবণের বাফার ক্রিয়া সুষ্ঠুভাবে কার্যকর থাকে।

*(১) বাফার রেঞ্জ বাফার দ্রবণের উপাদানদ্বয়ের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাতের ওপর নির্ভর করে।

*(২) হেন্ডারসন সমীকরণের অম্লীয় বাফারের বেলায় [লবণ]/[অম্ল] এর অনুপাত = 10 গুণ অথবা ঐ অনুপাত = 0.1 গুণ পরিমাণের মধ্যে থাকলে তবেই বাফার ক্ষমতা কার্যকর থাকে।

*(৩) $pH = pK_a + \log[\text{লবণ}]/[\text{অম্ল}] = pK_a + \log 10 = pK_a + 1$

আবার $pH = pK_a + \log 0.1 = pK_a - 1$।

*(৪) **তাই বাফারের ঈপ্সিত pH মান ব্যবহৃত দুর্বল অম্লটির pK_a এর মান থেকে ± 1 pH ব্যবধান রাখা হয়।**

*(৫) ক্ষারীয় বাফারের বেলায় [লবণ]/[ক্ষার] এর অনুপাত = 10 গুণ থেকে 0.1 গুণ এর মধ্যে থাকতে হয়। **নতুবা ঐ সব বাফার দ্রবণের বাফার ক্রিয়া সুষ্ঠুভাবে কার্যকর হয় না। তখন ঐ বাফার দ্রবণকে একটি নিম্নমান বাফার দ্রবণ বলে।**

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৪ : 0.10 M সোডিয়াম বাইকার্বনেট ও 0.10 M সোডিয়াম কার্বনেট বাফার দ্রবণে 0.01 mol NaOH যোগ করলে এ ক্ষারীয় বাফারের pH কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে তা দেখবো। এক্ষেত্রে বাইকার্বনেট এসিডের (HCO_3^- এর) $K_a = 5.6 \times 10^{-11}$

দক্ষতা : প্রথমে ক্ষারীয় বাফারের pH গণনা করো। ক্ষার মিশানোর পূর্বে মূল বাফারের বেলায় :

প্রধান বিক্রিয়া : $HCO_3^-(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + CO_3^{2-}(aq)$

সাম্য ঘনমাত্রা (M) : $(0.10 - x)$ $(0.10 + x)$

সাম্যাবস্থায়, $K_a = \dfrac{[H_3O^+] \times [CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]}$ $\therefore [H_3O^+] = K_a \times \dfrac{[HCO_3^-]}{[CO_3^{2-}]}$

লক্ষ্য করো, 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 (যেমন x mol) আয়নিত হয়ে অল্প (যেমন x mol) CO_3^{2-} আয়ন মিশ্র দ্রবণে বৃদ্ধি করবে।

$$[H_3O^+] = K_a \times \frac{(0.10 - x)}{(0.10 + x)} = K_a \times \frac{0.10}{0.10} = K_a,$$

$\therefore [H_3O^+] = 5.6 \times 10^{-11}$ 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। $\therefore pH = -\log [H_3O^+] = -\log (5.6 \times 10^{-11}) = \boxed{10.25}$

সমাধান : 0.01 mol NaOH যোগ করলে এর সাথে প্রশমন বিক্রিয়ার পর অবশিষ্ট $[H_3O^+]$ হিসাব করতে হবে :

প্রশমন বিক্রিয়া :	$HCO_3^-(aq)$	$+\ OH^-(aq)$	$\xrightarrow{100\%}$ $H_2O(l)$ +	$CO_3^{2-}(aq)$
প্রশমনের পূর্বে (mol) :	0.10	+ 0.01		0.10
পরিবর্তন ঘটে (mol) :	– 0.01	– 0.01		+ 0.01
প্রশমনের পরে (mol) :	0.09	0.0		0.11

প্রশমনের পর সামগ্রিক দ্রবণের আয়তন ধ্রুব বা 1.00 L ধরে বাফার উপাদানদ্বয়ের মোলার ঘনমাত্রা হয় :

$$[HCO_3^-] = \frac{0.09\ mol}{1.00\ L} = 0.09\ M;\ [CO_3^{2-}] = \frac{0.11\ mol}{1.00\ L} = 0.11\ M$$

এসব ঘনমাত্রার মান নিচের $[H_3O^+]$ এর সমীকরণে বসিয়ে পাই :

$$[H_3O^+] = K_a \times \frac{[HCO_3^-]}{[CO_3^{2-}]} = 5.6 \times 10^{-11} \frac{(0.09)}{0.11} = 4.58 \times 10^{-11}\ M$$

$$pH = -\log [H_3O^+] = -\log (4.58 \times 10^{-11}) = \boxed{10.34}$$

লক্ষ্য করো, 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 $[HCO_3^-]/[CO_3^{2-}]$ এর বেলায় 1.0 থেকে 9/11 তে (চিত্র-৪.২৫-এ) পরিবর্তন হয়েছে, যা এ pH পরিবর্তনে ভূমিকা রেখেছে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৫ : হেন্ডারসন-হেসেলবাখ সমীকরণভিত্তিক :

pH 7.00 বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে কী অনুপাতে $[NH_3]/[NH_4^+]$ প্রয়োজন হবে? pH 7.0 বাফার প্রস্তুতির ক্ষেত্রে NH_3 ও NH_4Cl বাফার যুগল ব্যবহার একটি নিম্ন-মান নির্বাচন হবে; তা ব্যাখ্যা করো। এক্ষেত্রে NH_3 এর $K_b = 1.8 \times 1.0^{-5}$।

দক্ষতা : হেন্ডারসন-হেসেলবাখ সমীকরণ মতে $[NH_3]/[NH_4^+]$ অনুপাত গণনা করবো।

সমাধান : যেহেতু NH_3 এর $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$; তাই NH_4^+ এর K_a হবে নিম্নরূপ :

$$K_a = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} = 5.6 \times 10^{-10};\ \therefore pK_a = -\log (5.6 \times 10^{-10}) = 9.25$$

আবার $\log \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = (pH - pK_a) = (7.00 - 9.25) = -2.25$

$$\therefore \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = antilog(-2.25) = 10^{-2.25} = \frac{5.6 \times 10^{-3}\ (M)}{1.0\ (M)}$$

$\because pH = pK_a + \log [NH_3]/[NH_4^+]$
$= (9.25 - 2.25)$
$= 7.0$

নিম্নমান বাফার : যদি $[NH_4^+]$ এর নমুনা ঘনমাত্রা 1.0M নেয়া হয়, তখন $[NH_3]$ এর ঘনমাত্রা 0.0056 M (বা, 5.6×10^{-3} M) নিতে হয়। এ অবস্থায় NH_3 ও NH_4Cl বাফার দ্রবণ একটি নিম্নমান বাফার হবে; কারণ—

(i) প্রস্তুত বাফারের ঈপ্সিত pH মান (7.0) এবং pK_a এর মান (9.25)–এ দুটির পার্থক্য হলো (9.26 –7.0) = 2.25, যা বাফার রেঞ্জের প্রয়োজনীয় শর্ত ±1 pH ব্যবধান থেকে অনেক বেশি। তাই,

(ii) এ দ্রবণটি দ্বারা যোগ করা এসিডকে শোষণ করার ক্ষমতা কম।

(iii) **আবার $[NH_3]/[NH_4^+]$ 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 বাফার মিশ্রণে pH পরিবর্তন উল্লেখযোগ্য মাত্রায় বেশি হয়।

* তাই ঈপ্সিত pH 7.0 বাফার দ্রবণের জন্য $NH_3 - NH_4^+$ বাফার দ্রবণটি একটি নিম্নমান বাফার দ্রবণ হবে।

* কিন্তু pH 9.0 এর কাছাকাছি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে $NH_3 - NH_4^+$ মিশ্রণ হবে একটি উত্তম বিবেচনা বা Selection। কারণ NH_4^+ এর pK_a হলো 9.25। অনুরূপভাবে,

* pH 7.0 বাফারের জন্য উত্তম বাফার উপাদান হবে $H_2PO_4^-$ ও HPO_4^{2-} অম্ল-ক্ষার যুগল; কারণ $H_2PO_4^-$ এর pK_a হলো $-\log(6.2 \times 10^{-8}) = 7.21$ ।

সমাধানকৃত সমস্যা-৫.৫৫(ক) : pH 9.00 এর বাফার দ্রবণটি তুমি $NH_4Cl - NH_3$ উপাদান যুগল থেকে কীরূপে প্রস্তুত করবে তা ব্যাখ্যা করো। NH_4^+ এর $K_a = 5.6 \times 10^{-10}$ ।

সমাধান : হেন্ডারসন সমীকরণকে পুনরায় বিন্যস্ত করে [ক্ষার]/[অম্ল] অনুপাত অনুসারে সাজিয়ে নিতে হবে। এক্ষেত্রে ক্ষার হলো NH_3 এবং অম্ল হলো NH_3 এর অনুবন্ধী অম্ল NH_4^+ আয়ন যা হেন্ডারসন সমীকরণে [লবণ] রূপে আছে। NH_4^+ আয়নের লবণ হবে NH_4Cl। ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের সমীকরণটি হলো :

$$pH = 14 - pK_b - \log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{ক্ষার}]} \;;\; \text{বা, } pH = pK_a + \log\frac{[\text{ক্ষার}]}{[\text{অনুবন্ধী অম্ল}]}$$

$$\text{বা, } pH = pK_a + \log\frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} \;;\; \text{বা, } \log\frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = (pH - pK_a) = 9.0 - (-\log 5.6 \times 10^{-10})$$

$$= (9.0 - 9.25) = -0.25$$

$$\therefore \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = \text{antilog}(-0.25) = 10^{-0.25} = 0.56$$

সুতরাং ঈপ্সিত (pH 9.0) বাফার দ্রবণটি তৈরিতে 0.56 mol NH_3 অর্থাৎ 560 mL 1.0 M NH_3 দ্রবণে 1.0 mol NH_4Cl বা, 53.5 g NH_4Cl মিশাতে হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৬ : (ক) সমআয়তনের 0.1M অ্যাসিটিক এসিড ও 0.1M সোডিয়াম অ্যাসিটেট বিশিষ্ট বাফার দ্রবণের pH হিসাব করো। (খ) উক্ত দ্রবণে H^+ আয়নের ঘনমাত্রা কত? $[K_a = 1.0 \times 10^{-5}]$

সমাধান : (ক) হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণ থেকে আমরা জানি,

$$pH = {}_pK_a + \log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}\text{; প্রশ্নমতে, এখানে } K_a = 1.0 \times 10^{-5} \text{ ।}$$

সুতরাং $_pK_a = -\log K_a = -\log 1.0 \times 10^{-5} = -(\log 1 + \log 10^{-5}) = -(0-5) = 5$

প্রশ্ন: তে, [লবণ] = 0.1; এবং [অম্ল] = 0.1; এখন মান বসিয়ে পাই—

$\therefore pH = 5 + \log\frac{0.1}{0.1} = 5 + \log 1 = (5 + 0) = 5$ (উঃ)

(খ) আবার $[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-5} = 10^{-5}\ molL^{-1}$ (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৭ : 25°C তাপমাত্রায় অ্যাসিটিক এসিডের $_pK_a = 4.76$। এ এসিডসহ 5.0 pH-এর বাফার দ্রবণ কীভাবে প্রস্তুত করা যায়?

সমাধান : হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণ মতে, $pH = pK_a + \log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$

বা, $\log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = pH - pK_a = (5.0 - 4.76) = 0.24$; বা, $\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = \text{antilog } 0.24 = 1.738 = \frac{1.738}{1.0}$

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 1.0 mol অ্যাসিটিক এসিড 1L দ্রবণে দ্রবীভূত করলে উপরোক্ত pH 5.0 এর বাফার দ্রবণ তৈরি হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৮ : কোনো 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 করো। ইথানোয়িক এসিডের $K_a = 1.77 \times 10^{-5}$.

সমাধান : হেন্ডারসন সমীকরণ হতে আমরা জানি,

বাফার দ্রবণের, $pH = {_pK_a} + \log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{এসিড}]}$

$\therefore pH = -\log K_a + \log\frac{[CH_3COONa]}{[CH_3COOH]}$

বা, $pH = -\log(1.77 \times 10^{-5}) + \log\frac{0.15}{0.10}$

বা, $pH = (4.7520 + 0.1761) = 4.9281$

$\therefore pH = 4.93$ (উঃ)

দেয়া আছে,
$K_a = 1.77 \times 10^{-5}$
$[CH_3COONa] = 0.15M$
$[CH_3COOH] = 0.1M$
$pH = ?$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৯ : 10 mL 0.1 M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণে 4 mL 0.1 M NaOH দ্রবণ যোগ করলে উৎপন্ন মিশ্র দ্রবণের pH কত হবে? [$_pK_a = 4.76$]

সমাধান : 4 mL 0.1 M NaOH দ্রবণ 4 mL 0.1 M অ্যাসিটিক এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে 4 mL 0.1 M সোডিয়াম অ্যাসিটেট তৈরি করবে।

$$\underset{0.1\,M}{CH_3COOH} + \underset{0.1\,M}{NaOH} \longrightarrow \underset{0.1\,M}{CH_3COONa} + H_2O$$

সুতরাং (10 – 4) = 6 mL 0.1 M অ্যাসিটিক এসিড অবশিষ্ট থাকবে। অর্থাৎ প্রতি ক্ষেত্রে ঘনমাত্রা সমান থাকায় এক্ষেত্রে লবণ ও এসিডের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাত 4 ঃ 6 হবে। হেন্ডারসন সমীকরণ থেকে-

$pH = pK_a + \log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = \left(4.76 + \log\frac{4}{6}\right) = 4.584$; $\therefore$ দ্রবণের $pH = 4.584$ (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬০ : 20 mL 0.2 M NaOH দ্রবণের সাথে 50 mL 0.2 M CH_3COOH মিশিয়ে 70 mL 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 :

$$CH_3COOH + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + H_2O$$

20 mL 0.2 M　20 mL 0.2 M　.　20 mL 0.2 M

সুতরাং 20 mL 0.2 M NaOH এর সাথে 20 mL 0.2 M এসিডের বিক্রিয়ার পর 70 mL মিশ্র দ্রবণে প্রকৃতপক্ষে (50 – 20) mL = 30 mL তুল্য 0.2 M CH_3COOH এসিড থাকে এবং তুল্য 20 mL 0.2 M CH_3COONa থাকে।

$\therefore$ 70 mL মিশ্র দ্রবণে থাকা CH_3COOH এর মোল সংখ্যা $= \frac{0.2 \times 30}{1000} = 0.006$

এবং 70 mL মিশ্র দ্রবণে থাকা CH_3COONa এর মোল সংখ্যা $= \frac{0.2 \times 20}{1000} = 0.004$

$\therefore$ বাফার দ্রবণটির $pH = pK_a + \log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = -\log K_a + \log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$

$\therefore pH = -\log(1.8 \times 10^{-5}) + \log\frac{0.004}{0.006}$

বা, $pH = -\log 1.8 - \log 10^{-5} + \log 4 - \log 6$

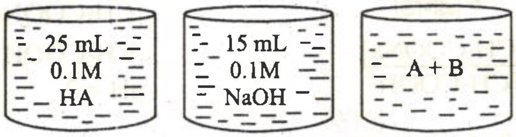
বা, $pH = (-0.255 + 5 + 0.602 - 0.778) = 4.569$

$\therefore pH = 4.57$ (উঃ)

MCQ-4.30 : 0.005 M দ্বিক্ষারকীয় সবল এসিডের pH কত? [চ. বো. ২০১৬]

(ক) 1　(খ) 1.5
(গ) 2.0　(ঘ) 2.5

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬১ : [রা. বো. ২০১৭; দি. বো. ২০১৭; ঢা. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০২১]



(গ) উদ্দীপকের পাত্রে A এর দ্রবণের pH মান গণনা করো। [$K_a = 1.8 \times 10^{-4}$]

(ঘ) উদ্দীপকের C পাত্রে সামান্য HCl এসিড যোগ করলে দ্রবণের pH মানের পরিবর্তন হবে কীনা; কারণসহ ব্যাখ্যা করো।

সমাধান: (গ) উদ্দীপক মতে, পাত্র A-এর দ্রবণটি হলো দুর্বল এসিডের দ্রবণ। কারণ HA এসিডের $K_a = 1.8 \times 10^{-4}$ দেয়া হয়েছে। দুর্বল HA এসিড আংশিকভাবে দ্রবণে আয়নিত হয়। তাই HA এসিডের দ্রবণের pH নির্ণয় করতে এসিডের বিয়োজন পরিমাণ (α), অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করতে হবে।

$$HA(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + A^-(aq)$$

সাম্যাবস্থায় : $(1-\alpha)C$　αC　αC　প্রশ্নমতে, $K_a = 1.8 \times 10^{-4}$

এক্ষেত্রে $K_a = \alpha^2 C$,　দ্রবণের ঘনমাত্রা, C = 0.1 M

$\therefore \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{1.8 \times 10^{-4}}{0.1}} = 0.0424$

আবার ওপরের সমীকরণ মতে, $[H^+] = \alpha C$; বা, $[H^+] = 0.0424 \times 0.1$ M = 0.00424 M

$\therefore pH = -\log[H^+] = -\log(0.00424) = 2.37$ **(উত্তর)**

সমাধান: (ঘ) উদ্দীপক মতে, C পাত্রের দ্রবণটি একটি অম্লীয় বাফার দ্রবণ; তা নিচের বিক্রিয়ার সাহায্যে সুস্পষ্ট হবে।

$$HA(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow \overset{+}{Na}A^-(aq) + H_2O(l)$$

প্রশ্নমতে,	15 mL	15 mL	15 mL
	0.1 M	0.1 M	0.1 M

সমীকরণ মতে, 15 mL 0.1M NaOH দ্রবণের সাথে 15 mL 0.1M HA এসিডের বিক্রিয়ায় 15 mL 0.1M NaA লবণের দ্রবণ উৎপন্ন হয়েছে। এছাড়া (25 + 15) = 40 mL মিশ্র দ্রবণে প্রকৃতপক্ষে (25 – 15) mL = 10 mL তুল্য 0.1 M HA এসিড রয়েছে এবং তুল্য 15 mL 0.1M NaA লবণ রয়েছে।

$\therefore$ 40 mL মিশ্র দ্রবণে থাকা HA এর মোল সংখ্যা $= \dfrac{10 \times 0.1}{1000} = 0.0010$

এবং 40 mL মিশ্র দ্রবণে থাকা NaA এর মোল সংখ্যা $= \dfrac{15 \times 0.1}{1000} = 0.0015$

$\therefore$ বাফার দ্রবণটির $pH = pK_a + \log \dfrac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = -\log K_a + \log \dfrac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$

$\therefore pH = -\log 1.8 \times 10^{-4} + \log \dfrac{0.0015}{0.0010}$

বা, $pH = -\log 1.8 - \log 10^{-4} + \log \dfrac{15}{10}$

বা, $pH = (-0.255 + 4.0 + 0.176)$; বা, $pH = 3.92$

> **MCQ-4.31 : 0.005 M H_2SO_4 দ্রবণের pH কত?** [সি. বো. ২০১৬]
>
> (ক) 1.5 (খ) 2
>
> (গ) 2.3 (ঘ) 3

বাফার দ্রবণের বৈশিষ্ট্য অনুসারে এ অম্লীয় বাফার দ্রবণে সামান্য HCl এসিড যোগ করলে এ বাফার দ্রবণের pH মানের বিশেষ কোনো পরিবর্তন হবে না। এ বাফার দ্রবণের pH স্থির রাখার কৌশল নিচে ব্যাখ্যা করা হলো। এ বাফার দ্রবণে নিম্নোক্ত আয়নগুলো থাকে।

$$HA(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + A^-(aq)$$

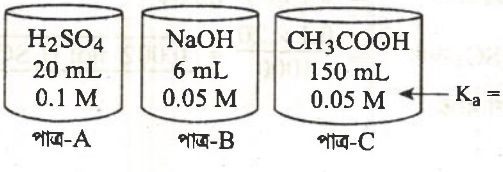
$$NaA(aq) \longrightarrow \overset{+}{Na}(aq) + A^-(aq)$$

এ বাফার মিশ্রণে সামান্য HCl এসিড যোগ করলে এটি পূর্ণ আয়নিত হয়ে H^+ আয়ন ও Cl^- আয়ন তৈরি করে। পরে বাফার দ্রবণের A^- আয়নের সাথে ঐ H^+ আয়ন যুক্ত হয়ে মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য দুর্বল HA এসিড উৎপন্ন করে। সবল HCl এর উপস্থিতিতে দুর্বল HA অবিয়োজিত অবস্থায় থাকে। এজন্য ঐ বাফার দ্রবণের H^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রার কোনো পরিবর্তন ঘটে না বলে দ্রবণের pH অপরিবর্তিত থাকে।

$$HCl(aq) \longrightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq) \quad [\text{পূর্ণ আয়নিত}]$$

$$H^+(aq) + A^-(aq) \longrightarrow HA(aq) \quad [\text{অবিয়োজিত থাকে}]$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬২ : [ব. বো. ২০১৭; দি. বো. ২০১৭; য. বো. ২০১৬]



(গ) উদ্দীপকের (B + C) মিশ্র দ্রবণের pH মান গণনা করো।

(ঘ) উদ্দীপকের (A + B) মিশ্র দ্রবণের প্রকৃতি কীরূপ হবে, তা বিশ্লেষণ করো।

সমাধান : (গ) উদ্দীপকের (B + C) মিশ্র দ্রবণের pH গণনা :

উদ্দীপক মতে, B পাত্রে 6 mL 0.05 M NaOH দ্রবণ ও C-পাত্রে 150 mL 0.05 M CH_3COOH এসিড রয়েছে। উভয়ের মিশ্রণে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটবে।

$$\underset{6\text{ mL }0.05\text{ M}}{NaOH(aq)} + \underset{6\text{ mL }0.05\text{ M}}{CH_3COOH(aq)} \longrightarrow \underset{6\text{ mL }0.05\text{ M}}{CH_3COONa(aq)} + H_2O(l)$$

সমীকরণ মতে, 6 mL 0.05 M NaOH দ্রবণের সাথে 6 mL 0.05 M CH_3COOH এসিডের বিক্রিয়ায় 6 mL 0.05 M CH_3COONa লবণের দ্রবণ উৎপন্ন হয়েছে। এছাড়া (150 + 6) mL = 156 mL মিশ্র দ্রবণে প্রকৃতপক্ষে (150 – 6) mL = 144 mL তুল্য 0.05 M CH_3COOH অতিরিক্ত রয়েছে। সুতরাং 6 mL 0.05 M CH_3COONa এর দ্রবণ ও 144 mL তুল্য 0.05 M CH_3COOH এসিডের মিশ্র দ্রবণটি একটি অম্লীয় বাফার দ্রবণ হবে।

$\therefore$ 156 mL মিশ্র দ্রবণে থাকা CH_3COOH এর মোল সংখ্যা $= \frac{144 \times 0.05}{1000} = 0.0072$

এবং 156 mL মিশ্র দ্রবণে থাকা CH_3COONa এর মোল সংখ্যা $= \frac{6 \times 0.05}{1000} = 0.0003$

$\therefore$ অম্লীয় বাফার দ্রবণটির, $pH = pK_a + \log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = -\log K_a + \log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$;

$\therefore pH = -\log(1.85 \times 10^{-5}) + \log\frac{0.0003}{0.0072}$;

দেয়া আছে, $K_a = 1.85 \times 10^{-5}$

বা, $pH = -\log 1.85 - \log 10^{-5} + \log(0.0417]$

বা, $pH = (-0.267 + 5.0 - 1.379) = 3.354$

$\therefore$ উদ্দীপকের (B + C) মিশ্র দ্রবণের pH = 3.354 **(উত্তর)**

সমাধান : (ঘ) উদ্দীপকের (A + B) মিশ্র দ্রবণের প্রকৃতি নির্ণয় :

উদ্দীপক মতে, A এর দ্রবণ হলো 20 mL 0.1 M H_2SO_4 সবল এসিড এবং B এর দ্রবণ হলো 6 mL 0.05 M সবল NaOH ক্ষার দ্রবণ। উভয়ের মিশ্র দ্রবণে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে :

$$\underset{1\text{ mol}}{H_2SO_4(aq)} + \underset{2\text{ mol}}{2NaOH(aq)} \longrightarrow Na_2SO_4(aq) + 2H_2O(l)$$

উদ্দীপক মতে দেখা যায়, H_2SO_4 এর তুলনায় NaOH এর মোলার ঘনমাত্রা ও আয়তন উভয়ই কম আছে। সুতরাং প্রদত্ত NaOH এর মোল পরিমাণের ওপর ভিত্তি করে গণনা করাটা অধিক সুবিধাজনক হবে।

আমরা জানি, 1000 mL 0.05 M NaOH দ্রবণ ≡ 0.05 mol NaOH

$\therefore$ প্রশ্নমতে, 6 mL 0.05 M NaOH দ্রবণ $\equiv \frac{0.05 \times 6}{1000} = \boxed{0.0003\text{ mol NaOH}}$

আবার, 1000 mL 0.1M H_2SO_4 দ্রবণ ≡ 0.1 mol H_2SO_4

$\therefore$ প্রশ্নমতে, 20 mL 0.1 M H_2SO_4 দ্রবণ $\equiv \frac{0.1 \times 20}{1000} = \boxed{0.002\text{ mol }H_2SO_4}$

উপরোক্ত প্রশমন বিক্রিয়ার সমীকরণ মতে,

2 mol NaOH ≡ 1 mol H_2SO_4

$\therefore$ 0.0003 mol NaOH $\equiv \dfrac{1 \times 0.0003 \text{ mol}}{2} = 0.00015$ mol H_2SO_4

$\therefore$ প্রদত্ত NaOH দ্রবণের প্রশমনের পর অবশিষ্ট H_2SO_4 থাকে :

$$= (0.002 - 0.00015) \text{ mol } H_2SO_4 = 0.00185 \text{ mol } H_2SO_4$$

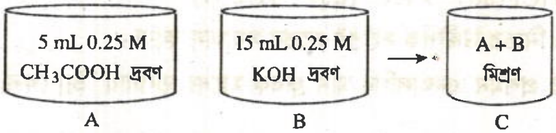
$\therefore$ (20 + 6) mL = 26 mL মিশ্র দ্রবণে 0.00185 mol H_2SO_4 অবশিষ্ট আছে।

$\therefore$ ঐ মিশ্র দ্রবণে H_2SO_4 এর মোলারিটি, M = $\dfrac{H_2SO_4 \text{ এর মোল সংখ্যা}}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন}}$

$\therefore$ মোলারিটি, M = $\dfrac{0.00185 \text{ mol}}{0.026 \text{ L}} = 0.071 \text{ molL}^{-1}$ (বা, M)

$\therefore$ উদ্দীপকের (A + B) মিশ্র দ্রবণটির প্রকৃতি হবে 0.071 (M) H_2SO_4 এর অম্লীয় দ্রবণ **(উত্তর)**।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৩ : উদ্দীপকের সমস্যা সমাধান করো। [অভিন্ন বোর্ড প্রশ্ন (সেট-ক) ২০১৮]



(গ) উদ্দীপকের 'A' পাত্রের দ্রবণের pH গণনা করো। [$K_a = 1.8 \times 10^{-5}$]

(ঘ) উদ্দীপকের 'C' পাত্রের দ্রবণে সামান্য HCl দ্রবণ যোগ করলে ঐ দ্রবণের pH মানের কোনো পরিবর্তন ঘটবে কি? তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

সমাধান : (গ) উদ্দীপক মতে, পাত্র-A এর দ্রবণটি হলো দুর্বল এসিডের দ্রবণ। কারণ প্রদত্ত CH_3COOH এসিডের $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ দেয়া হয়েছে। দুর্বল এসিড দ্রবণে আংশিক আয়নিত হওয়ায় এরূপ দুর্বল এসিডের pH নির্ণয় করতে এসিডের বিয়োজন পরিমাণ (α), অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করতে হবে।

$$CH_3COOH\,(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-\,(aq) + H^+\,(aq)$$

সাম্যাবস্থায় : $(1-\alpha)C$ $\qquad$ αC $\qquad$ αC

এক্ষেত্রে এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক, $K_a = \alpha^2 C$ $\qquad$ প্রশ্নমতে, $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$

দ্রবণের ঘনমাত্রা, C = 0.25 M

$$\therefore \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{1.8 \times 10^{-5}}{0.25}} = 0.008485$$

আবার ওপরের এসিডটির বিয়োজন মতে, $[H^+] = \alpha C = 0.008485 \times 0.25 \text{ M} = 0.00212125$ M

$\therefore$ pH = $-\log[H^+] = -\log(0.00212125) = 2.67$ **(উত্তর)**

সমাধান : (ঘ) উদ্দীপক মতে, C পাত্রের মিশ্র দ্রবণটি হলো অধিক পরিমাণ সবল KOH ও কম পরিমাণ CH_3COOH এর একটি মিশ্র দ্রবণ। এক্ষেত্রে এসিডটি সম্পূর্ণ প্রশমিত হয়ে পটাসিয়াম অ্যাসিটেট লবণ হয়েছে এবং অবশিষ্ট KOH ঐ মিশ্রণে থাকায় এটি একটি KOH এর ক্ষারীয় দ্রবণ হয়েছে। সবল ক্ষার KOH দ্রবণ ও CH_3COOK দ্রবণ দ্বারা কোনো ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ তৈরি হবে না। কারণ ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ তৈরিতে দুর্বল ক্ষার দ্রবণ ব্যবহৃত হতে হয়। এক্ষেত্রে KOH হলো একটি সবল ক্ষার।

$$CH_3COOH\,(aq) + KOH\,(aq) \rightarrow CH_3COOK\,(aq) + H_2O\,(l)$$

5 mL 0.25 M $\qquad$ 5 mL 0.25 M $\qquad$ 5 mL 0.25 M

সুতরাং C পাত্রে মিশ্র দ্রবণের আয়তন হলো (15 + 5) mL = 20 mL। এ 20 mL পানিতে অতিরিক্ত KOH দ্রবণ আছে = (15 – 5) mL 0.25 M দ্রবণ = 10 mL 0.25 M। মিশ্রণের আয়তন বৃদ্ধি পাওয়ায়, এ লঘুকৃত 20 mL KOH এর ঘনমাত্রা M_3 ধরে পাই :

$$V_1 \times M_1 = V_3 \times M_3;\ \therefore M_3 = \frac{V_1 \times M_1}{V_3} = \frac{10 \times 0.25}{20} = 0.125\ M$$

এক্ষেত্রে KOH সবল ক্ষার হওয়ায় এটি দ্রবণে পূর্ণ আয়নিত হয়ে 0.125 M OH^- আয়ন উৎপন্ন করে।

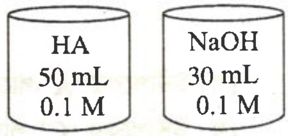
$\therefore pOH = -\log[OH^-] = -\log(0.125) = 0.903$

$\therefore$ ঐ ক্ষার দ্রবণের $pH = (14 - pOH) = (14 - 0.903) = 13.097$

উদ্দীপক মতে 'C' পাত্রের মিশ্র দ্রবণের pH = 13.097। এ দ্রবণে সামান্য HCl দ্রবণ যোগ করলে ঐ প্রদত্ত HCl দ্রবণ'C' পাত্রের KOH দ্রবণের সাথে বিক্রিয়া করে পানি ও KCl লবণ তৈরি করবে। ফলে মিশ্রিত HCl এসিডের পরিমাণের ওপর নির্ভর করে মিশ্র দ্রবণের pH এর মান কমবে।

$$KOH(aq) + HCl(aq) \rightarrow KCl(aq) + H_2O(l)$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৪ : নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের সমাধান করো। [চ. বো. ২০১৯]



$K_a = 1.8 \times 10^{-5}$

(গ) উদ্দীপকের দ্রবণ দুটির প্রশমন এনথালপির মান ধ্রুবক মানের তুলনায় ভিন্ন কেন; ব্যাখ্যা করো।

(ঘ) উদ্দীপকের দ্রবণ দুটির মিশ্রণে (i) সামান্য HCl ও (ii) বেশি পরিমাণের HCl যোগ করলে প্রতি ক্ষেত্রে pH মানের কোনো পরিবর্তন হবে কীনা; তা বিশ্লেষণ করো।

সমাধান : (গ) উদ্দীপক মতে প্রদত্ত এসিড 'HA' এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ হওয়ায় এটি হলো দুর্বল অ্যাসিটিক এসিড (CH_3COOH)। NaOH হলো সবল ক্ষার। এরপর মূল পাঠ্যবইয়ের ৪.১৯ অনুচ্ছেদের (খ) অংশ দেখো।

সমাধান : (ঘ) উদ্দীপকের HA হলো দুর্বল অ্যাসিটিক এসিড (CH_3COOH)। এ এসিডের 50 mL 0.1 M দ্রবণে সবল ক্ষার NaOH এর 30 mL 0.1 M দ্রবণ মিশ্রিত করলে সম্পূর্ণ NaOH এর সাথে সমপরিমাণ CH_3COOH এসিড বিক্রিয়া করে 30 mL 0.1 M সোডিয়াম অ্যাসিটেট লবণ ও পানি উৎপন্ন হবে।

$$\underset{30\ mL\ 0.1\ M}{CH_3COOH(aq)} + \underset{30\ mL\ 0.1\ M}{NaOH(aq)} \longrightarrow \underset{30\ mL\ 0.1\ M}{CH_3COONa(aq)} + H_2O(l)$$

এক্ষেত্রে মিশ্রণের আয়তন হবে (50 + 30) mL = 80 mL এবং এ 80 mL দ্রবণে অবশিষ্ট প্রদত্ত 0.1 M CH_3COOH এসিড আছে = (50 – 30) mL = 20 mL। সুতরাং 20 mL 0.1 M CH_3COOH এর দ্রবণ ও 30 mL 0.1 M CH_3COONa এর মিশ্র দ্রবণটি একটি অম্লীয় বাফার দ্রবণ হবে।

$\therefore$ 80 mL মিশ্র দ্রবণে থাকা CH_3COOH এর মোল সংখ্যা $= \frac{20 \times 0.1}{1000} = 0.002$

এবং 80 mL মিশ্র দ্রবণে থাকা CH_3COONa এর মোল সংখ্যা $= \frac{30 \times 0.1}{1000} = 0.003$

$\therefore$ অম্লীয় বাফার দ্রবণটির, $pH = pK_a + \log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = -\log K_a + \log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$

$\therefore pH = -\log(1.85 \times 10^{-5}) + \log\frac{0.003}{0.002}$; দেওয়া আছে, $K_a = 1.85 \times 10^{-5}$

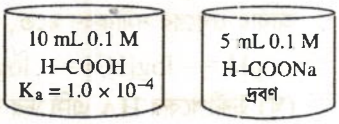
বা, $pH = -\log 1.85 - \log 10^{-5} + \log 1.5$; বা, $pH = (-0.267 + 5.0 + 0.176) = 4.91$

∴ উদ্দীপকের দ্রবণ দুটির মিশ্রণে উৎপন্ন অম্লীয় বাফার দ্রবণের $pH = 4.91$

(i) এ বাফার দ্রবণে সামান্য HCl দ্রবণ যোগ করলে pH অপরিবর্তিত থাকবে। কারণ বাফারটির pH মান 4.91 যা হলো CH_3COOH এসিডের pK_a এর মান 4.75 এর কাছাকাছি এবং ± 1 pH এর মধ্যে আছে। তাই এক্ষেত্রে বাফার ক্ষমতা দ্বারা pH স্থির থাকবে।

(ii) কিন্তু বেশি পরিমাণের HCl যোগ করলে ঐ বাফার দ্রবণের বাফার রেঞ্জ-এর অতিক্রম ঘটবে। ফলে বাফার ক্রিয়া বা বাফার ক্ষমতা অকার্যকর হবে। তখন যোগ করা HCl এর পরিমাণের ওপর নির্ভর করে ঐ দ্রবণের pH কমতে থাকবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৫ : নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের সমাধান করো। [ব. বো. ২০১৯]



(ঘ) উদ্দীপকের দ্রবণ দুটির মিশ্রণের pH মানের সমান pH এর 1.0 লিটার HCl দ্রবণ কীভাবে প্রস্তুত করা যায়; তা বিশ্লেষণ করো।

সমাধান : উদ্দীপকের উভয় দ্রবণ মিশ্রিত করলে একটি অম্লীয় বাফার দ্রবণ উৎপন্ন হবে। মিশ্রণের পর মিশ্রণের আয়তন হবে $= (10 + 5)\ mL = 15\ mL$.

∴ 15 mL মিশ্র দ্রবণে থাকা H–COOH এর মোল সংখ্যা $= \dfrac{10 \times 0.1}{1000} = 0.001$

এবং 15 mL মিশ্র দ্রবণে থাকা H-COONa এর মোল সংখ্যা $= \dfrac{5 \times 0.1}{1000} = 0.0005$

∴ বাফার দ্রবণটির $pH = pK_a + \log\dfrac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = -\log K_a + \log\dfrac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$

∴ $pH = -\log 1.0 \times 10^{-4} + \log\dfrac{0.0005}{0.001}$; বা, $pH = -\log 1.0 - \log 10^{-4} + \log 0.5$

বা, $pH = (0 + 4 - 0.3) = 3.7$

আবার $[H^+] = \text{antilog}(-pH) = 10^{-pH}$;

বা, $[H^+] = 10^{-3.7} = 1.995 \times 10^{-4} = 0.0001995\ M = 0.0002\ M$

এক্ষেত্রে 0.0002 M H^+ উৎপন্ন হবে 0.0002 M HCl দ্রবণ থেকে।

এখন 0.0002 M HCl দ্রবণ প্রস্তুতি : বিশুদ্ধ HCl এর ঘনমাত্রা 12 M হয়।

সুতরাং 1.0 লিটার বা, 1000 mL 0.0002 M লঘু HCl দ্রবণ তৈরি করতে 12 M HCl এর V_1 mL প্রয়োজন হয়। দ্রবণের লঘুকরণের সম্পর্ক মতে পাই,

$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$; বা, $V_1 \times 12\ M = 1000\ mL \times 0.0002\ M$

বা, $V_1 = \dfrac{1000\ mL \times 0.0002}{12} = 0.0167\ mL$

সুতরাং এক লিটার আয়তনিক ফ্লাস্কে দাগকাটা ব্যুরেট অথবা দাগকাটা পিপেটের সাহায্যে 0.0167 mL 12 M HCl নিয়ে এর মধ্যে পাতিত পানি যোগ করে আয়তনিক ফ্লাস্কের গলায় থাকা দাগ পর্যন্ত পূর্ণ করে এবং ফ্লাস্কের মুখে গ্লাস স্টপার বসিয়ে মিশ্রণটিকে ঝাকায়ে সমসত্ত্ব করা হয়। এরূপে ঈপ্সিত HCl দ্রবণ প্রস্তুত করা যায়।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৬ : প্রদত্ত উদ্দীপক হলো : $HA + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$; এক্ষেত্রে এসিডটির $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ [চ. বো. ২০১৭]

(গ) উদ্দীপক মতে, 0.1M ঘনমাত্রার HA এসিড দ্রবণের pH গণনা করো।

(ঘ) উদ্দীপকের এসিডটির একটি বাফার দ্রবণ তৈরি করে এর বাফার ক্রিয়া ব্যাখ্যা করো।

সমাধান : (গ) 0.1M HA দ্রবণের pH গণনা :

উদ্দীপক মতে HA হলো একটি দুর্বল এসিড; কারণ HA এসিডের $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ দেয়া হয়েছে। দুর্বল এসিড জলীয় দ্রবণে আংশিকভাবে আয়নিত হয়। তাই অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র মতে HA এসিডের বিয়োজন পরিমাণ (α) গণনা করে এসিড দ্রবণের pH হিসাব করা হবে।

$$HA(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + A^-(aq);$$

প্রশ্নমতে,

সাম্যাবস্থায় : $(1-\alpha)C \quad \alpha C \quad \alpha C$

দ্রবণের ঘনমাত্রা, $C = 0.1\ M$

$K_a = 1.8 \times 10^{-5}$

এক্ষেত্রে এসিডের $K_a = \alpha^2 C$

$$\therefore \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{1.8 \times 10^{-5}}{0.1}} = 0.0134$$

আবার ওপরের সমীকরণ মতে, $[H^+] = \alpha C$; বা, $[H^+] = 0.0134 \times 0.1M = 0.00134M$

$\therefore pH = -\log[H^+] = -\log(0.00134) = 2.873$ (উঃ)

(ঘ) উদ্দীপকের HA এসিডের বাফার দ্রবণ প্রস্তুতি :

উদ্দীপক মতে HA এসিডটি দুর্বল এসিড; কারণ এসিডের $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ দেয়া হয়েছে। সুতরাং এ এসিডের সাথে সবল ক্ষার যেমন NaOH এর লবণ NaA এর দ্রবণ উপযুক্ত মোলার অনুপাতে হেন্ডারসন সমীকরণ মতে মিশ্রিত করে নির্দিষ্ট pH যুক্ত অম্লীয় বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হবে।

হেন্ডারসন সমীকরণ মতে, অম্লীয় বাফার দ্রবণের pH সংশ্লিষ্ট দুর্বল এসিড 'HA' এর pK_a মানের কাছাকাছি হয়। কেবল অতিরিক্ত মান log [লবণ]/[অম্ল] এর মান থেকে আসে।

উদ্দীপক মতে, $pK_a = -\log 1.8 \times 10^{-5} = 4.7447$ হয়। এখন 5.0 pH এর বাফার দ্রবণ হেন্ডারসন সমীকরণ মতে প্রস্তুত করা হবে।

আমরা জানি, $pH = pK_a + \log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$

বা, $\log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = pH - pK_a = (5.0 - 4.7447) = 0.2553$

বা, $\log\frac{[NaA]}{[HA]} = 0.2553$; বা, $\frac{[NaA]}{[HA]} = \text{antilog}(0.2553)$

বা, $\frac{[NaA]}{[HA]} = \frac{1.8}{1.0}$.

> **MCQ-4.32 : 25°C-এ বিশুদ্ধ পানির pH কত?** [চ. বো. ২০১৬]
> (ক) 0 (খ) > 7 (গ) 7 (ঘ) < 7

সুতরাং $1.8\ molL^{-1}$ NaA লবণের দ্রবণের সাথে $1.0\ molL^{-1}$ HA এসিড দ্রবণ মিশ্রিত করে 5.0 pH বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। pH মিটার দ্বারা পরীক্ষা করে নিশ্চিত হওয়া গেল প্রস্তুত বাফার দ্রবণের pH 5 হয়েছে।

বাফার ক্রিয়ার ব্যাখ্যা :

সংশ্লিষ্ট অম্লীয় বাফার দ্রবণটিতে উপাদানদ্বয় নিম্নরূপে আয়নিত অবস্থায় থাকে :

$HA(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + A^-(aq)$ (মৃদু এসিড; সামান্য আয়নিত হয়)

$NaA(aq) \rightarrow Na^+(aq) + A^-(aq)$ (আয়নিক লবণ, পূর্ণ আয়নিত হয়)

(i) অল্প মাত্রায় এসিড বা H^+ আয়ন সংযোগ : অল্প মাত্রায় এসিড বা H^+ আয়ন ঐ অম্লীয় বাফার দ্রবণে যোগ করলে তখন প্রদত্ত H^+ আয়ন ওপরের সমীকরণের A^- আয়নের সাথে যুক্ত হয় এবং মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য HA অণু উৎপন্ন করে।

$$H^+(aq) + A^-(aq) \rightarrow HA(aq)$$

উৎপন্ন মৃদু এসিড সবল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য NaA এর উপস্থিতিতে নগণ্য পরিমাণে বিয়োজিত থাকে। তাই বাফার দ্রবণে প্রদত্ত এসিড বা H^+ আয়ন দ্বারা pH এর বিশেষ পরিবর্তন ঘটে না। অর্থাৎ বাফার দ্রবণের pH অপরিবর্তিত থাকে।

(ii) অল্প মাত্রায় ক্ষার বা OH^- আয়ন সংযোগ : সামান্য ক্ষার দ্রবণ বা OH^- আয়ন অম্লীয় বাফার দ্রবণে যোগ করলে, তা বাফার দ্রবণে বিদ্যমান H^+ আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে H_2O অণু উৎপন্ন করে। তখন দুর্বল HA এসিডের সাম্যাবস্থা সামান্য ডানদিকে সরে গিয়ে H^+ আয়ন তৈরি করে বিক্রিয়ারত H^+ আয়নের অভাব পূরণ করে। এরূপে বাফার দ্রবণে H^+ আয়নের ঘনমাত্রা তথা pH এর মান অপরিবর্তিত থাকে।

$$OH^-(aq) + H^+(aq) \rightarrow H_2O(l)$$
$$HA(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + A^-(aq)$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৭ : একটি বিকারে 50 mL 0.1 M BOH ক্ষার দ্রবণ রয়েছে। অপর একটি বিকারে রয়েছে 0.1M ঘনমাত্রাবিশিষ্ট 150 mL HA এসিড দ্রবণ। HA এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$।

(ক) বিকারদ্বয়ের দ্রবণকে মিশ্রিত করলে মিশ্রণের pH কত হবে? (খ) BOH ক্ষার দ্রবণের pH কত?

সমাধান : (ক) বিকারদ্বয়ের ক্ষার ও এসিডের দ্রবণকে মিশ্রিত করলে 50 mL 0.1 M BOH ক্ষারকটি 50 mL 0.1 M HA এর সাথে বিক্রিয়ায় 50 mL 0.1 M HA এসিডের লবণ (BA) তৈরি করবে। সুতরাং (150 – 50) mL= 100 mL 0.1 M HA এসিড দ্রবণে অপ্রশমিত থাকবে। অর্থাৎ লবণ ও এসিডের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাত হবে 50 ঃ 100 বা 1 ঃ 2।

$$BOH(aq) + HA(aq) \rightarrow BA(aq) + H_2O(l)$$

50 mL 0.1 M   50 mL 0.1 M   50 mL 0.1 M

হেন্ডারসন সমীকরণ মতে, $pH = pK_a + \log\frac{[লবণ]}{[এসিড]}$

দেয়া আছে, $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$

মিশ্র দ্রবণের, pH = ?

বা, $pH = -\log(1.8 \times 10^{-5}) + \log\frac{1}{2}$

বা, $pH = (4.745 - 0.301) = 4.444$

∴ মিশ্রণে pH মান = 4.44

সমাধান : (খ) উদ্দীপকের BOH হলো একটি সবল ক্ষার দ্রবণ। তাই জলীয় দ্রবণে এটি পূর্ণ আয়নিত থাকে।

$$BOH(aq) \rightarrow B^+(aq) + OH^-(aq)$$

0.1M   0.1M

∴ $pOH = -\log[OH^-] = -\log 0.1 = 1.0$

∴ দ্রবণ BOH এর pH = (14 – pOH) = (14 – 1) = 13 (উঃ)

> **MCQ-4.33: মানুষের রক্তের স্বাভাবিক pH কত?** [ঢা. বো. ২০১৬]
> (ক) 9.4 (খ) 8.3
> (গ) 7.4 (ঘ) 6.4

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৮ : (ক) 4.0 pH এর বাফার দ্রবণ তৈরি করতে 60 mL 0.05 M ফরমিক এসিডের দ্রবণে কত mL 0.1 M সোডিয়াম ফরমেট দ্রবণ যোগ করতে হবে। [HCOOH এর $pK_a = 3.8$]

(খ) বাফার দ্রবণটিতে H^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত? [মাদ্রাসা বো. ২০১৭]

সমাধান : (ক) হেন্ডারসন সমীকরণ মতে, $pH = pK_a + \log\frac{[লবণ]}{[অম্ল]}$

মনে করি, x mL 0.1M সোডিয়াম ফরমেট (HCOONa) প্রয়োজন।

∴ x mL 0.1M HCOONa লবণের দ্রবণে HCOONa এর মোলসংখ্যা $= \frac{0.1 \times x \text{ mol}}{1000}$

$= 0.0001\, x$ mol

60 mL 0.05 M HCOOH এসিড দ্রবণে HCOOH এর মোলসংখ্যা $= \frac{0.05 \times 60}{1000} = 0.003$ mol

প্রশ্নমতে, দ্রবণের pH = 4 এবং HCOOH এসিডের $pK_a = 3.8$; এখন সমীকরণে মানগুলো বসিয়ে পাই,

$4 = 3.8 + \log\frac{0.0001x}{0.003}$; বা, $\log\frac{0.0001x}{0.003} = (4 - 3.8) = 0.2 = \log 1.5849$

বা, $0.0001x = 0.003 \times 1.5849$; $\therefore x = \frac{0.003 \times 1.5849 \text{ mL}}{0.0001} = 47.547 \text{ mL} = 47.55$ mL (প্রায়)

$\therefore$ সোডিয়াম ফরমেট প্রয়োজন = 47.55 mL (প্রায়) (উঃ)

সমাধান : (খ) অম্লীয় বাফার দ্রবণটির H^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা গণনা :

উদ্দীপক মতে, বাফার দ্রবণের pH = 4.0

আমরা জানি, $[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-4}$

$\therefore$ বাফার দ্রবণটিতে H^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা $= 10^{-4}$ $molL^{-1}$ (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৯ : 0.25 M ইথানোয়িক এসিডের 200 mL দ্রবণে কত গ্রাম সোডিয়াম ইথানোয়েট মিশ্রিত করলে দ্রবণটিতে H_3O^+ এর ঘনমাত্রা 1.5×10^{-5} g. ion. L^{-1} হবে। ($K_a = 1.8 \times 10^{-5}$)।

সমাধান : বাফার দ্রবণের হেন্ডারসন সমীকরণ মতে, $pH = pK_a + \log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$

বা, $\log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = (pH - pK_a) = (-\log[H_3O^+] + \log K_a) = -\log(1.5 \times 10^{-5}) + \log(1.8 \times 10^{-5})$

বা, $\log\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = (4.8239 - 4.7447) = 0.0792$

বা, $\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = \log^{-1}(0.0792) = 1.2$ $\therefore$ [লবণ] = 1.2 × [অম্ল] = 1.2 × 0.25 M = 0.3 M

$\therefore$ 1 M ঘনমাত্রার 1000 mL দ্রবণে সোডিয়াম ইথানোয়েট থাকে = 82 g

0.30 M ঘনমাত্রার 200 mL দ্রবণে সোডিয়াম ইথানোয়েট থাকে $= \frac{82 \times 200 \times 0.30 \text{ g}}{1000} = 4.92$ g

$\therefore$ দ্রবণটিতে 4.92 g সোডিয়াম ইথানোয়েট যোগ করতে হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭০ : দুটি দ্রবণের মধ্যে প্রত্যেকটির pH = 9। এদের মধ্যে একটি বাফার দ্রবণ এবং অপরটি NaOH দ্রবণ। তুমি দ্রবণ দুটিকে কীভাবে শনাক্ত করবে, তা ব্যাখ্যা করো।

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। 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।

ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণিশিক্ষকের সহায়তায় চারজনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতিসহকারে উপরোক্ত ধাপ অনুসরণ করে নিচের চিত্রমতে কার্বনেট বাফার দ্রবণ তৈরি এবং এর কার্যকারিতা প্রমাণ করো।

পরীক্ষা নং-১৩ **পরীক্ষার সময় : ২ পিরিয়ড**

তারিখ : ....

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 ক্ষারকরূপে সোডিয়াম কার্বনেট (Na_2CO_3) ব্যবহার করা হবে।

পরিকল্পনা : pH 10 বিশিষ্ট 0.5 L ($NaHCO_3 - Na_2CO_3$) 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 মেজারিং ফ্লাস্ক, (২) ফানেল, (৩) কেমিক্যাল ব্যালেন্স, ৪) ওয়াস বোতল, (৫) pH মিটার, (৬) বিকার।

কাজের ধারা : (১) প্রথমে 500 mL মেজারিং ফ্লাস্কে 0.20 M $NaHCO_3$ তৈরি করি।

চিত্র-৪.২৭ : কেমিক্যাল ব্যালেন্সে $NaHCO_3$ এর ওজন নেয়া।

1 mol $NaHCO_3$ = (23 + 1 + 12 + 48) = 84 g $NaHCO_3$

∴ 1000 mL 1 M $NaHCO_3$ = 84 g $NaHCO_3$

$$500 \text{ mL } 0.2 \text{ M } NaHCO_3 = \frac{84 \times 500 \times 0.2}{1000} \text{ g } NaHCO_3$$
$$= 8.4 \text{ g } NaHCO_3$$

(২) কেমিক্যাল ব্যালেন্সে 8.4 g $NaHCO_3$ ওজন করে 500 mL ফ্লাস্কে দ্রবণ তৈরি করা হলো।

(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।

$$HCO_3^-(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + CO_3^{2-}(aq)\ ;\ K_a = \frac{[H_3O^+] \times [CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]}$$

$$\therefore [CO_3^{2-}] = K_a \times \frac{[HCO_3^-]}{[H_3O^+]}$$
$$= \frac{(5.6 \times 10^{-11}) \times (0.20)}{1.0 \times 10^{-10}}$$
$$= 0.112 \text{ M}$$

$pH = -\log[H_3O^+]$

$[H_3O^+] = 10^{-pH} = 10^{-10} = 1.0 \times 10^{-10}$ M

∵ ঈপ্সিত বাফার দ্রবণের pH 10

∴ 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) × Na_2CO_3 এর মোলারিটি (M)

$$= 0.5 \text{ L দ্রবণ} \times \frac{0.112 \text{ mol } Na_2CO_3}{1 \text{L দ্রবণ}} = 0.056 \text{ mol } Na_2CO_3$$

$$\therefore \text{গ্রাম এককে } Na_2CO_3 \text{ এর ভর} = \frac{106 \text{ g } Na_2CO_3 \times 0.056 \text{ mol } Na_2CO_3}{1 \text{ mol } Na_2CO_3} = 5.94 \text{ g } Na_2CO_3 \text{ (প্রায়)}$$

(৪) এখন 5.94 g Na_2CO_3 কেমিক্যাল ব্যালেন্সে ওজন করা হলো।

(৫) দ্বিতীয় 500 mL ফ্লাস্কে ওজন করা 5.94 g Na_2CO_3 কে ফানেলের সাহায্যে নেয়া হলো। পূর্বে প্রস্তুত করা 500 mL 0.20 M $NaHCO_3$ দ্রবণটি এ ফানেলের মুখে ঢেলে সমস্ত Na_2CO_3 কে ফ্লাস্কে স্থানান্তর করা হলো। 0.20 M $NaHCO_3$ দ্রবণ ঢেলে দ্বিতীয় ফ্লাস্কের 500 mL আয়তন পূর্ণ করা হলো। এরূপে কার্বনেট বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো।

চিত্র-৪.২৮ : pH মিটার দ্বারা বাফার দ্রবণের pH পরীক্ষা।

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 ঈপ্সিত 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 দ্রবণে অল্প HCl ও অল্প NaOH দ্রবণ যোগ করার পরও pH এর মান স্থির থাকায় প্রস্তুত বাফার দ্রবণের কার্যকারিতা প্রমাণিত হলো।

বিভিন্ন জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ায়, মানুষের রক্তে, কৃষিক্ষেত্রে, রসায়ন শিল্পক্ষেত্রে, টয়লেট্রিজ ও রাসায়নিক বিশ্লেষণে pH এর মান নিয়ন্ত্রণ করা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ।

৪.১৫ মানুষের রক্তের pH

pH of Human Blood

মানুষের রক্ত এবং দেহের 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 [pH range : (7.35 – 7.45)] 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 পরিবহণ 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।

* (i) মানুষের রক্তের pH মান 7.45 এর বেশি হলে এ অবস্থাকে চিকিৎসাবিজ্ঞানে **অ্যালকালিসিস্** (alkalisis) বলে। অধিক অ্যালকালিসিস অবস্থায় রোগীর মৃত্যু ঘটে থাকে। [MAT: 17-18]

* (ii) মানুষের রক্তের pH 7.0 এর কম হলে এ অবস্থাকে চিকিৎসাবিজ্ঞানে **এসিডোসিস্** (acidosis) বলে। অধিক এসিডোসিসের কারণে স্নায়ুতন্ত্র ক্রমশ দুর্বল হয়ে রোগী চেতনা হারিয়ে দীর্ঘকালীন অচেতন বা কোমা (coma) অবস্থায় চলে যেতে 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। [MAT: 19-15]

তবে ফসফেট বাফার সিস্টেম (HPO_4^{2-} – $H_2PO_4^-$; এখানে $H_2PO_4^-$ এসিডের $K_a = 6.2 \times 10^{-8}$; $pK_a = 7.21$) হলো আন্তঃকোষীয় বাফার। রক্তের প্লাজমা তরলে নিম্নঘনমাত্রার 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 বাফার ক্রিয়া সামান্য (2%) নিয়ন্ত্রণ করে।

[MAT: 20-21] *(১) **রক্তের বাইকার্বনেট বাফার সিস্টেম :** মানুষের রক্তে কার্যকর থাকে বাইকার্বনেট-কার্বনিক এসিড বাফার সিস্টেম (HCO_3^-/H_2CO_3, $pK_a = 6.1$)। এটি বহিঃকোষীয় এবং রক্তের প্লাজমা তরলের অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ বাফার সিস্টেম। এক্ষেত্রে কার্বনিক এসিডের বিয়োজন নিম্নরূপ :

$$H_2CO_3(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + HCO_3^-(aq)$$

$$\therefore K_a = \frac{[H^+] \times [HCO_3^{-1}]}{[H_2CO_3]} \qquad [K_a = 7.9 \times 10^{-7}]$$

MCQ-4.34 : 0.05 M H_2SO_4 এর pH কত? [কু. বো. ২০১৫]
(ক) 1.0 (খ) 1.5 (গ) 2.0 (ঘ) 2.5

$\therefore [H^+] = \frac{K_a \times [H_2CO_3]}{[HCO_3^-]}$ $pK_a = 6.1$

বা, $pH = pK_a + \log\frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}$; $\because pH = pK_a + \log\frac{[লবণ]}{[এসিড]}$

MCQ-4.35 : 0.01 M NaOH এর pH কত? [দি. বো. ২০১৫]
(ক) 1 (খ) 2 (গ) 12 (ঘ) 13

এক্ষেত্রে রক্তের প্লাজমা তরলে বাইকার্বনেট আয়ন (HCO_3^-) এর ঘনমাত্রা হলো প্রায় 24 m mol/L এবং কার্বনিক এসিড (H_2CO_3) এর ঘনমাত্রা অর্থাৎ CO_2এর 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 হলো 0.03।

$\therefore$ প্লাজমা তরলে H_2CO_3 এর ঘনমাত্রা = 40 × 0.03 m mol/L = 1.2 m mol/L

এখন মান বসিয়ে পাই, $\therefore pH = 6.1 + \log\frac{24}{1.2} = (6.1 + \log 20) = (6.1 + 1.3) = 7.4$

*(২) **রক্তে বাইকার্বনেট বাফার ক্রিয়ার কৌশল : (i) রক্তে অম্লজাতীয় খাদ্যরস যুক্ত হওয়া :** অম্লজাতীয় খাদ্য যেমন অধিক লেবুর রস গ্রহণে অথবা রক্তে কোনো এসিড জাতীয় দ্রবণ শোষিত হলে অর্থাৎ H^+ আয়ন যুক্ত হলে তা HCO_3^- আয়ন দ্বারা নিম্নোক্ত বিক্রিয়া অনুসারে প্রশমিত হয়।

$H^+(aq) + HCO_3^-(aq) \longrightarrow H_2CO_3(aq)$; উৎপন্ন অস্থায়ী কার্বনিক এসিড (H_2CO_3) পরে বিযোজিত হয়ে পানি ও CO_2 গ্যাসে পরিণত হয়। ফুসফুসের মাধ্যমে নিঃশ্বাসে CO_2 মুক্ত হয়।

(ii) রক্তে ক্ষারজাতীয় খাদ্যরস যুক্ত হওয়া : অপরদিকে ক্ষারজাতীয় খাদ্যরস বা ওষুধ প্রয়োগের ফলে রক্তে OH^- আয়ন বৃদ্ধি পেলে নিম্নোক্ত বিক্রিয়া দ্বারা তা প্রশমিত হয়। $OH^-(aq) + H_2CO_3(aq) \longrightarrow HCO_3^-(aq) + H_2O(l)$

এরূপে রক্তের বাইকার্বনেট কার্বনিক এসিড বাফার দ্রবণ রক্তের pH এর মান 7.4 এর মধ্যে নিয়ন্ত্রিত রাখে।

* তাই যেসব 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 পৌছায় এবং রক্তের pH-এর কোনোরূপ পরিবর্তন না ঘটায়।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭১ : রক্তরসে থাকা এসিড ও ঐ এসিডের অনুবন্ধী ক্ষারক বা, লবণের ঘনমাত্রার অনুপাত 0.05 এবং রক্তের pH মান 7.4 থাকে। এক বিশেষ রাসায়নিক সিস্টেমের কারণে টকজাতীয় ফল যেমন লেবুর রস এবং ক্ষারধর্মী বিভিন্ন অম্লনাশক ওষুধ সেবনের পরও রক্তের pH মানের কোনো পরিবর্তন ঘটে না। [য. বো. ২০১৯; ব. বো. ২০১৬]

(গ) উদ্দীপক মতে, রক্তরসে বিদ্যমান দুর্বল এসিডটির K_a এর মান নির্ণয় করো।

(ঘ) উদ্দীপকের আলোকে রক্তের pH মান স্থির থাকার কৌশলটি বিশ্লেষণ করো।

সমাধান : (গ) রক্তরসে থাকা এসিডটির K_a এর মান নির্ণয় :

উদ্দীপক মতে, রক্তরসে থাকা দুর্বল এসিডটি হলো কার্বনিক এসিড (H_2CO_3) এবং এর অনুবন্ধী ক্ষারক হলো বাইকার্বনেট আয়ন (HCO_3^-) বা, এর লবণ হলো সোডিয়াম বাইকার্বনেট লবণ ($NaHCO_3$)।

প্রশ্নমতে, এসিড ও লবণটির অনুপাত অর্থাৎ H_2CO_3 ও $NaHCO_3$ এর ঘনমাত্রার অনুপাত = 0.05 এবং রক্তের pH = 7.4। এক্ষেত্রে বাফার দ্রবণের হেন্ডারসন সমীকরণ মতে,

$pH = pK_a + \log\frac{[লবণ]}{[অম্ল]}$; সুতরাং সংশ্লিষ্ট মানগুলো বসিয়ে পাই—

$7.4 = -\log K_a + \log\frac{1}{0.05}$

বা, $\log K_a = -7.4 + \log 20 = (-7.4 + 1.3) = -6.1$

MCQ-4.36 : মানুষের রক্তের pH রেঞ্জ কত? [য. বো. ২০১৬]
(ক) 1.0–2.0 (খ) 4.8–7.5
(গ) 6.4–6.9 (ঘ) 7.35–7.45

বা, antilog K_a = antilog (– 6.1); বা, K_a = 0.000000794; বা, $K_a = 7.94 \times 10^{-7}$ **(উত্তর)**

সমাধান : (ঘ) রক্তের pH মান স্থির থাকার কৌশল :

অনুচ্ছেদ-৪.১৫ এ (২) রক্তের বাইকার্বনেট বাফার ক্রিয়ার কৌশল দেখো।

শিক্ষার্থী নিজে করো-৪.১৪ : বাফার দ্রবণভিত্তিক সমস্যা :

সমস্যা- ৪.৫০ : (ক) হেন্ডারসন সমীকরণ ব্যবহার করে 0.20 M $NaHCO_3$ ও 0.10 M Na_2CO_3 দ্রবণের সম আয়তন মিশ্রণের বাফার দ্রবণের pH গণনা করো। [$K_{a1} = 4.3 \times 10^{-7}$; $K_{a2} = 5.6 \times 10^{-11}$] [উঃ pH = 9.95]

(খ) 0.1 M CH_3COOH দ্রবণে সমআয়তনের 0.1 M CH_3COONa দ্রবণ মিশানো আছে। সৃষ্ট বাফার দ্রবণে pH কত? $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$. [উঃ 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? $K_a = 1.0 \times 10^{-5}$। [উঃ 5.60]

সমস্যা-৪.৫১ : (ক) তুমি কীরূপে pH 10.40 বিশিষ্ট $NaHCO_3 - Na_2CO_3$ বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করবে? [$K_a = 4.7 \times 10^{-11}$] [উঃ $Na_2CO_3 : NaHCO_3$ = 1.20 ঃ 1.0]

(খ) 4.0 pH বিশিষ্ট বাফার দ্রবণ তৈরি করতে 60 mL 0.05 M ফরমিক এসিড দ্রবণে কত mL 0.1 M সোডিয়াম ফরমেট দ্রবণ যোগ করতে হবে? এক্ষেত্রে pK_a = 3.8। [উঃ 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 ইথানোয়িক এসিড ও সোডিয়াম ইথানোয়েট কী মোলার অনুপাতে মিশ্রিত করতে হবে, তা গণনা করো। pK_a = 4.8 । [উঃ 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 ইথানোয়িক এসিড এর সাথে 0.1 molL^{-1} সোডিয়াম ইথানোয়েট দ্রবণ মিশানো আছে। ঐ বাফার দ্রবণের pH হিসাব করো। ($K_a = 1.8 \times 10^{-5}$) [উঃ 4.75]

(ঙ) কোনো বাফার দ্রবণে ইথানোয়িক এসিড ও সোডিয়াম ইথানোয়েটের ঘনমাত্রা যথাক্রমে 0.1 molL^{-1} এবং 0.15 molL^{-1} হলে ঐ বাফার দ্রবণের pH নির্ণয় করো। ইথানোয়িক এসিডের $K_a = 1.77 \times 10^{-5}$। [উঃ 4.93]

(চ) কোনো বাফার দ্রবণে ইথানোয়িক এসিডের ঘনমাত্রা 0.10 molL^{-1} এবং সোডিয়াম ইথানোয়েটের ঘনমাত্রা 0.20 molL^{-1} আছে। ইথানোয়িক এসিডে $K_a = 1.80 \times 10^{-5}$ হলে ঐ বাফার দ্রবণের pH কত হবে? [উঃ 5.05]

(ছ) একটি মিশ্র জলীয় দ্রবণে ইথানোয়িক এসিডের ঘনমাত্রা 0.2 molL^{-1} এবং সোডিয়াম ইথানোয়েটের ঘনমাত্রা 0.3 molL^{-1}। ইথানোয়িক এসিডের $K_a = 1.80 \times 10^{-5}$ হলে ঐ বাফার দ্রবণের pH নির্ণয় করো। [উঃ 4.92]

(জ) কোনো একটি ক্ষারীয় বাফার দ্রবণে NH_4OH আছে 0.015 molL^{-1} এবং NH_4Cl আছে 0.025 molL^{-1}। এ বাফার দ্রবণে pH কত হবে? NH_4OH দ্রবণের $K_b = 1.77 \times 10^{-5}$। [উঃ 9.03]

(ঝ) pH = 4.6 বিশিষ্ট একটি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে যে অনুপাতে সোডিয়াম অ্যাসিটেট ও অ্যাসিটিক এসিড মিশাতে হবে তা নিরূপণ করো। দেয়া আছে, pK_a = 4.75। [উঃ লবণ ঃ এসিড = 0.708 ঃ 1]

(ঞ) 15 mL 0.15 M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণে 6 mL 0.15 M NaOH দ্রবণ যোগ করা হলো। মিশ্রিত দ্রবণের pH কত হবে? [$pK_a = 4.76$] [উঃ 4.58]

(ট) 1.0 M CH_3–COOH দ্রবণের মধ্যে প্রয়োজনীয় CH_3–COONa যোগ করে 4.95 pH মানের একটি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। বাফার দ্রবণে CH_3–COONa এর ঘনমাত্রা নির্ণয় করো। ($pK_a = 4.7447$) [উঃ 1.604 M]

(ঠ) 1L আয়তনের 1 M CH_3 – COOH দ্রবণের মধ্যে 0.305 L CH_3 – COONa যোগ করে 4.23 pH মানের বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। বাফার দ্রবণে CH_3 – COONa এর ঘনমাত্রা নির্ণয় করো। ($pK_a = 4.7447$) [উঃ 1.0 M]

(ড) 50 mL 0.175 M মিথানোয়িক এসিড দ্রবণে 50 mL 0.09 M কস্টিক সোডার দ্রবণ যোগ করে বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। দ্রবণের pH মান গণনা করো। ($K_a = 1.8 \times 10^{-4}$) [উঃ 3.77]

(ঢ) 5 pH মানের একটি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে ইথানোয়িক এসিড ও সোডিয়াম ইথানোয়েট কী অনুপাতে মিশাতে হবে? ($K_a = 1.8 \times 10^{-5}$) [উঃ এসিড ঃ লবণ = 0.555 ঃ 1]

৪.১৬.১ কৃষি উৎপাদনে pH এর গুরুত্ব

Importance of pH in Agriculture

কৃষি উৎপাদনে ও মাটির pH নিয়ন্ত্রণ গুরুত্বপূর্ণ। উর্বর মাটির অত্যানুকূল pH পরিসর 6.0 – 7.0 হয়। অধিকাংশ উদ্ভিদের জন্য এ pH উত্তম। 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 মরু প্রক্রিয়া সৃষ্টি হয়। লালমনিরহাট এলাকার অম্লধর্মী মাটিতে চুন (CaO) ও ডলোমাইট ($CaCO_3.MgCO_3$) 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 ওপরে 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) মাটির অম্লত্ব (acidity of soil) কমাতে বা **অম্লধর্মী মাটির pH বাড়াতে** চুন এবং ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেসিয়াম প্রভৃতির কার্বনেট যেমন লাইম স্টোন গুঁড়া ($CaCO_3$) ও ডলোমাইট গুঁড়া [$CaMg(CO_3)_2$] ব্যবহৃত হয়। অম্লধর্মী মাটিতে $AlCl_3$ অথবা $Al_2(SO_4)_3$ অধিক থাকলে মাটির অম্লত্ব বেড়ে যায়। এতে ক্ষারক মিশাতে 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 মনোক্যালসিয়াম ফসফেট, $Ca(H_2PO_4)_2$ ও সুপার ফসফেট ইত্যাদি ব্যবহৃত হয়। সুপার ফসফেট হলো মনোক্যালসিয়াম ফসফেট মনোহাইড্রেট [$Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$] ও জিপ্সাম [$2(CaSO_4.2H_2O)$] গুঁড়ার মিশ্রণ। ডাই অ্যামোনিয়াম ফসফেট (DAP) [$(NH_4)_2HPO_4$] সারটি অম্লধর্মী মাটি (pH < 7), ক্ষারধর্মী মাটি (pH > 7) ও নিরপেক্ষ মাটি (pH = 7) প্রত্যেকের বেলায় সমভাবে ব্যবহার করা যায়। তবে অন্য ফসফেট সার ক্ষারধর্মী মাটির pH মান কমাবার ক্ষেত্রে অধিক কার্যকর।

MCQ-4.37 : 12.5% NaOH দ্রবণের pH কত? [ব. বো. ২০১৬]

(ক) 12.51 (খ) 13.51
(গ) 14.51 (ঘ) 15.51

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, লজেন্সজাতীয় 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 বিরঞ্জনে 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, শিল্পবর্জ্য শোধনে ETP-তে pH মান নিয়ন্ত্রণ অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। মৃৎশিল্পে কাদা মাটির pH মান 6 – 6.5 থাকে। চামড়া ট্যানিং pH মান 4.0 – 4.5 রাখা হয়।

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। এসব সামগ্রী দেহের ত্বক, মাথার চুল ও চুলের গোড়া পরিচর্যায় এবং মুখের ভেতরে দাঁত-মাড়ির 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 তৈলজাতীয় পদার্থ বহিঃত্বকের (epidermis) ওপরে 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 (6.5 – 5.5) থাকে।** তখনও শিশুর ত্বকের এসিড-আবরণটি পূর্ণভাবে গঠিত হয়নি। অধিকাংশ বয়স্ক **লোকের মুখমণ্ডল ও দেহত্বকের pH এর পরিসর 4.7 – 5.75 এর মধ্যে থাকে।**

বহিঃত্বকের এ এসিড-আবরণটি ত্বকের আর্দ্রতা 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।** এসব সাবান ব্যবহারকারীর হাতের বহিঃত্বকের ক্ষতি হয়। ত্বক শুষ্ক, অমসৃণ ও রুক্ষ হয়ে 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-4.38 : মাটির pH কমানোর জন্য কোনটি ব্যবহৃত হয়? [সি. বো. ২০১৫]

(ক) $CaCO_3$ (খ) $(NH_4)_2CO_3$
(গ) $(NH_4)_2HPO_4$ (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 = 6.6–7.6; (২) মুখের লালা বা স্যালিভার pH = 6.2–7.4; (৩) মাতৃদুগ্ধের pH = 6.6–6.9, (৪) প্রস্রাবের pH = 4.5–8.0; (৫) রক্তের pH 7.4 এবং (৬) মুখ গহ্বরের পর পাকস্থলীর বিভিন্ন জীবাণুনাশক সবচেয়ে বেশি অম্লীয় পরিবেশের pH (1.5–3.5) থাকে। ফলে পাকস্থলীর এনজাইম পেপ্সিন 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-প্রতি ক্ষেত্রে 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, আয়নীকরণ 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 সুষ্ঠুভাবে ঘটে। কারণ পাকস্থলীয় **pH (1.5–3.5)** পরিবেশে এসব ওষুধ কম আয়নিত হয়।

(২) আবার জ্বরের ওষুধ ক্লোরোকুইন মৃদু ক্ষারধর্মী হওয়ায় ক্ষুদ্রান্ত্রের **pH (7.5–8.0) পরিসরে** আয়নীকরণ কম ঘটে এবং অণুরূপে সঠিকমাত্রায় শোষিত হয়।

সুতরাং অসুস্থ শরীরে ওষুধ সেবন এবং ওষুধের কার্যকারিতা সম্পূর্ণরূপে দেহ মাধ্যমের pH পরিসরের ওপর নির্ভরশীল।

৪.১৭ pH পরিমাপ করে উপযুক্ত প্রসাধনসামগ্রী নির্বাচন

Selection of Proper pH-Cosmetics after Testing

আমাদের প্রাত্যহিক ব্যবহার্য সাধারণ প্রসাধনসামগ্রীর মধ্যে উল্লেখযোগ্য হলো— (১) টয়লেট সাবান, (২) টুথপেস্ট, (৩) কোল্ড ক্রিম/ স্নো, (৪) ট্যালকম পাউডার ইত্যাদি। এসব প্রসাধনীর মধ্যে টুথপেস্ট দাঁত ও মুখের ভেতরে পরিষ্কার করার কাজে ব্যবহৃত হয়। অন্যসব সামগ্রী যেমন টয়লেট সাবান, কোল্ড ক্রিম/স্নো ও পাউডার ত্বকের পরিচর্যার জন্য ব্যবহৃত হয়।

বড়োদের ত্বকের ওপর অম্লীয় পরিবেশ থাকে; ত্বকের pH 4–6 এর মধ্যে থাকে। কিন্তু নবজাতকের ত্বকের pH 7 এর কাছাকাছি হয়। তাই বড়োদের জন্য যে প্রসাধনী ব্যবহৃত হয়, তা শিশুদের জন্য প্রযোজ্য নয়। এতে শিশুর ত্বকের মারাত্মক ক্ষতি হতে পারে। আবার মুখের ভেতর অম্লীয় পরিবেশ থাকে। মুখে দুর্গন্ধ, দাঁতের গোড়ায় বেদনা হলে জীবাণুনাশকরূপে 'এন্টিসেপটিক মাউথ ওয়াস' ব্যবহৃত হয়। এতে pH 5.5 লেখা থাকে। যা মুখের লালার pH (6.2–7.4) 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 কসমেটিক বা প্রসাধনীর pH অনুসন্ধান পরীক্ষা করে উপযুক্ত প্রসাধনসামগ্রী ব্যবহারের জন্য নির্বাচন করতে সক্ষম হবো।

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 কীনা, 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) ওয়াস 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 কীনা মন্তব্য প্রদান।

সাবানের নমুনা	নমুনার pH মান	অনুমোদিত pH মান	নমুনায় 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 কীনা; 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	নমুনায় pH কম/বেশি
১ ব্র্যান্ড – ১	8	8	ব্র্যান্ড-১ ও ব্র্যান্ড-২ এর pH অনুমোদিত pH বজায় রেখেছে। তাই সকলের ব্যবহারযোগ্য। ব্র্যান্ড-৩ এর pH কিছুটা বেশি, তাই শিশুদের ব্যবহার অযোগ্য হবে।
২ ব্র্যান্ড – ২	8		
৩ । ব্র্যান্ড – ৩	8.5		

পরীক্ষা নং-৩ : বাজারের বিভিন্ন ব্র্যান্ডের কোল্ড ক্রিম/স্নো এর pH পরীক্ষা ও ব্যবহার যোগ্যতা নির্ধারণ

ওপরের পরীক্ষার মতো শিক্ষার্থীরা গ্রুপ করে এ পরীক্ষাটি করো।

৪.১৮ ভর ও শক্তির নিত্যতা সূত্র

Law of Conservation of Mass and Energy

তোমরা নবম-দশম শ্রেণির রসায়ন বইতে পড়েছো, রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদ ভরের নিত্যত্যা সূত্র মেনে চলে। কারণ বিক্রিয়ক অণুতে থাকা পরমাণুগুলো বিক্রিয়া পরিবেশে তাপ আদান-প্রদান করে পুরাতন বন্ধন ভেঙ্গে নতুন বন্ধন দ্বারা উৎপাদ অণু তৈরি করে। বিক্রিয়াকালে পরমাণুগুলো স্থান পরিবর্তন করে মাত্র। এখন আমরা রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে ভরের নিত্যতা সূত্রের সাথে শক্তির নিত্যতা সূত্রও আলোচনা করবো।

মনে রাখবে, যখন কোনো রাসায়নিক পরিবর্তন বা বিক্রিয়া সংঘটিত হয়, তাতে হয় তাপশক্তি শোষিত হবে, না হয় শক্তি বর্জিত হবে; অবশ্য এ শক্তি আলো বা অন্য কোনো প্রকারেরও হতে পারে। তবে সব ক্ষেত্রে মোট শক্তির রূপান্তর স্থির থাকে। রাসায়নিক বা বিক্রিয়ার শক্তির যে পরিবর্তন ঘটে, তা তাপগতিবিজ্ঞানের **প্রথম সূত্র** দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

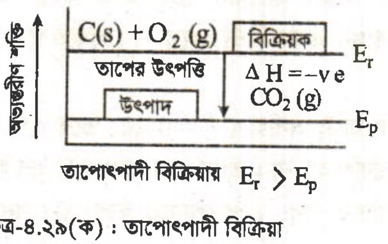
সূত্রটি হলো : "শক্তি এক রূপ থেকে অন্যরূপে পরিবর্তিত হতে পারে; কিন্তু একে কখনো সৃষ্টি বা ধ্বংস করা যায় না।"

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।

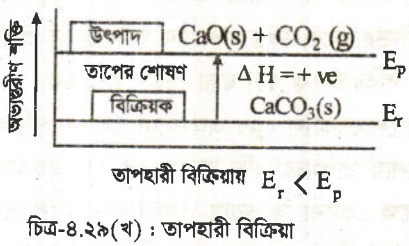
তাপের শোষণ বা বর্জনের ওপর ভিত্তি করে রাসায়নিক পরিবর্তনকে দুভাগে ভাগ করা যায়–

(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

$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g), \Delta H^\circ = -393.5$ kJ; $CaCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} CaO(s) + CO_2(g)$ $\Delta H^\circ = +198$ kJ

অভ্যন্তরীণ শক্তি : সব বস্তুকণার মধ্যে স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তিরূপে শক্তি সঞ্চিত থাকে। বস্তুকণার মোট স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তিকে সিস্টেমের বা বস্তুর **অভ্যন্তরীণ শক্তি বা** Internal energy বলে।

বস্তুর 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 তাপশক্তি 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 **এনথালপি** (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 এনথালপি শব্দের উৎপত্তি হয়েছে। এনথালপিকে ধৃত তাপও বলা হয়।

এনথালপির সংজ্ঞা : স্থির চাপে কোনো সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি (U) এর সাথে সিস্টেমের চাপ ও আয়তনের গুণফল ($P \times V$) শক্তি যোগ করলে যে মোট শক্তি হয়, তাকে সিস্টেমের এনথালপি বা ধৃত তাপ বলে। এনথালপিকে 'H' দ্বারা প্রকাশ করা হয়। অর্থাৎ,

$H = U + P \times V$; যেখানে, P = সিস্টেমের চাপ
V = সিস্টেমের আয়তন

MCQ-4.39 : 0.01(M) NaOH দ্রবণের pH কত?
(ক) 1 (খ) 2 (গ) 12 (ঘ) 13

এনথালপি একটি তাপগতীয় অপেক্ষক বা অবস্থানির্ভর রাশি অর্থাৎ এর মান বস্তুর ভৌত অবস্থা, তাপমাত্রা ও চাপের মানের ওপর নির্ভর করে; কিন্তু এর মান পরিবর্তনের ধারা বা পথের ওপর নির্ভর করে না। প্রকৃতপক্ষে কোনো 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, ওপরের ৪.২৯(ক)-চিত্রে কার্বনের দহন বিক্রিয়ায় তাপ উৎপন্ন হওয়ায় ΔH কে ঋণাত্মক এবং ৪.২৯(খ)-চিত্রে $CaCO_3$ বিয়োজনকালে তাপ শোষণ হওয়ায় ΔH কে ধনাত্মক ধরা হয়েছে।

৪.১৮.১ বিভিন্ন প্রকার তাপীয় বা এনথালপি পরিবর্তন

Different Types of Enthalpy or Heat Change

যেসব প্রক্রিয়ায় তাপের শোষণ অথবা উদ্ভব ঘটে, সেসব ক্ষেত্রে তাপীয় পরিবর্তন ঘটে। এরূপ কয়েক প্রকার তাপীয় পরিবর্তনের সংজ্ঞা নিম্নে দেয়া হলো :

(১ বিক্রিয়া তাপ : কোনো বিক্রিয়ার সমতাযুক্ত সমীকরণ মতে বিক্রিয়কসমূহের সংখ্যানুপাতিক মোল পরিমাণে সম্পূর্ণরূপ বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন অথবা শোষিত তাপের পরিমাণকে বিক্রিয়া তাপ বলা হয়। যেহেতু প্রায় সব বিক্রিয়া স্থির চাপে ঘটে, তাই বিক্রিয়ায় তাপ পরিবর্তন (ΔH) বিক্রিয়া তাপের সমান। যেমন,

$$H_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2HCl(g) \qquad \Delta H^\circ = -184 \text{ kJ}$$
1 mol 1 mol

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 **বিক্রিয়া তাপ পরিবর্তন সমান বিক্রিয়ায় অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন।**

∴ **বিক্রিয়া তাপ, ΔH° = (উৎপাদের গঠন তাপ) – (বিক্রিয়কের গঠন তাপ)**

যৌগের প্রমাণ গঠন তাপ : প্রমাণ অবস্থায়, উপাদান মৌল থেকে এক মোল যৌগ গঠনকালে এনথালপির পরিবর্তনকে ঐ যৌগের **প্রমাণ গঠন তাপ** বলে। যেমন, $C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H^\circ = -393.5 \text{ kJmol}^{-1}$

∴ CO_2 এর প্রমাণ গঠন তাপ হলো – 393.5 kJmol^{-1}

দহন তাপ : স্থির চাপমাত্রায় এক মোল পরিমাণ যেকোনো মৌলিক বা যৌগিক পদার্থকে পর্যাপ্ত অক্সিজেনের উপস্থিতিতে সম্পূর্ণরূপ দহন করলে যে পরিমাণ তাপশক্তি নির্গত বা উৎপন্ন হয়, তাকে ঐ পদার্থের **দহন তাপ** বলে। প্রমাণ অবস্থায় অর্থাৎ 1 atm চাপে ও 25°C তাপমাত্রায় সংঘটিত এরূপ জারণ বিক্রিয়ায় তাপের উদ্ভবকে **প্রমাণ দহন তাপ** বলে। যেমন, কার্বনের প্রমাণ দহন তাপ হলো – 393.5 kJmol^{-1} এবং CH_4 এর দহন তাপ হলো – 890.3 kJmol^{-1}.

$$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \qquad \Delta H^\circ = -393.5 \text{ kJmol}^{-1}$$
$$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l) \qquad \Delta H^\circ = -890.3 \text{ kJmol}^{-1}$$

(২) **অবস্থা পরিবর্তন তাপ :** অবস্থা পরিবর্তন তাপ বলতে পদার্থের ভৌত অবস্থাসমূহ যেমন কঠিন, তরল ও গ্যাসীয়-এ তিন অবস্থার মধ্যে পারস্পরিক পরিবর্তনকালে 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। এক্ষেত্রে ΔH° ধনাত্মক হয়। যেমন–

$$C(\text{graphite}) \longrightarrow C(g) \qquad \Delta H^\circ_{Subl} = +717.02 \text{ kJmol}^{-1}$$
$$K(s) \longrightarrow K(g) \qquad \Delta H^\circ_{Subl} = +90.0 \text{ kJmol}^{-1}$$

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

$$H_2O(s) \longrightarrow H_2O(l) \qquad \Delta H^\circ_{fusion} = +6 \text{ kJmol}^{-1}$$

[MAT: 18-19]

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

$$H_2O(l) \longrightarrow H_2O(\text{vap}) \qquad \Delta H^\circ_{vap} = +44.0 \text{ kJmol}^{-1}$$

উল্লেখ্য এক মোল পরিমাণ জলীয়বাষ্পকে তরলে পরিণত করতে যে পরিমাণ তাপের উদগিরণ ঘটে, তাকে পানি বা জলীয়বাষ্পের ঘনীভবন তাপ বলে। **এ তাপের পরিবর্তন বাষ্পীকরণের বিপরীত হবে।** যেমন—

$$H_2O(\text{vap}) \longrightarrow H_2O(l) \qquad \Delta H^\circ_{condn} = -44.0 \text{ kJmol}^{-1}$$

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

$$\frac{1}{2}Cl_2(g) \longrightarrow Cl(g) \qquad \Delta H^\circ_{atom} = +121\ kJmol^{-1}$$

লক্ষ্যণীয়, এক্ষেত্রে প্রতি মোল ক্লোরিন পরমাণুকে বোঝায়; প্রতি মোল ক্লোরিন অণু নয়।

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

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

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

$$CuSO_4(s) + aq \longrightarrow CuSO_4.5H_2O(aq); \qquad \Delta H_{soln} = -66.04\ kJmol^{-1}$$

$$CaCl_2(s) + aq \longrightarrow CaCl_2.6H_2O(aq); \qquad \Delta H_{soln} = -75\ kJmol^{-1}$$

দ্রবণ তাপের বৈশিষ্ট্য :

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

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

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

$$CaCl_2.6H_2O(s) + aq \longrightarrow CaCl_2.6H_2O(aq); \qquad \Delta H_{soln} = +19.06\ kJmol^{-1}$$

$$CuSO_4.5H_2O(s) + aq \longrightarrow CuSO_4.5H_2O(aq); \qquad \Delta H_{soln} = +11.70\ kJmol^{-1}$$

(৫) প্রশমন তাপ (Heat of Neutralisation)

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

$$\underset{1\ mol}{HCl(aq)} + \underset{1\ mol}{NaOH(aq)} \longrightarrow NaCl(aq) + \underset{1\ mol}{H_2O(l)} \qquad \Delta H^\circ_{rxn} = -57.34\ kJmol^{-1}$$

৪.১৯ তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ

Heat of Neutralisation of Strong Acid and Alkali

DAT: 21-22

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

মিশ্রণে এদের মধ্যে সত্যিকার বিক্রিয়া হচ্ছে নিম্নরূপ :

$$H^+(aq) + Cl^-(aq) + Na^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow [Na^+(aq) + Cl^-(aq)] + H_2O(l)$$

অর্থাৎ, এ ক্ষেত্রে সত্যিকার বিক্রিয়া হচ্ছে $H^+ (aq) + OH^- (aq) \longrightarrow H_2O (l)$ এবং সমগ্র বিক্রিয়ার বিক্রিয়া-তাপ হলো প্রকৃতপক্ষে এ প্রশমন-বিক্রিয়ার তাপ।

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

যেমন, $H^+ (aq) + OH^- (aq) \longrightarrow H_2O (l)$। সুতরাং সব তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ ধ্রুব হবে অর্থাৎ −57.34 kJ হয়। ৪.৬-নং সারণিতে কিছু সংখ্যক তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ দেয়া হলো।

*** ব্যতিক্রম :** এসিড অথবা ক্ষার যেকোনো 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—

(খ) **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 :

$CH_3COOH (aq) \rightleftharpoons CH_3COO^- (aq) + H^+ (aq)$; [1M দ্রবণ মাত্র 0.42% আয়নিত হয়]

$NaOH (aq) \longrightarrow Na^+ (aq) + OH^- (aq)$; [100% আয়নিত হয়]

$H^+ (aq) + OH^- (aq) \longrightarrow H_2O (l)$

যেহেতু NaOH তীব্র ক্ষার, তাই পূর্ণ বিয়োজনে সৃষ্ট OH^- আয়ন এবং 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 অবিয়োজিত অবশিষ্ট CH_3COOH এর বিয়োজনে কিছু তাপ শক্তি যেমন 2.2 kJ প্রয়োজন হয়; এ কারণেই প্রশমন তাপের মান 2.2 kJ কমে গিয়ে –55.14 kJ হয়।

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

$HF (aq) \rightleftharpoons H^+ (aq) + F^- (aq)$; [মাত্র 2.60% পানিতে আয়নিত হয়]

$NaOH (aq) \longrightarrow Na^+ (aq) + OH^- (aq)$; [100% আয়নিত হয়]

$H^+ (aq) + OH^- (aq) \longrightarrow H_2O (l)$

দুর্বল HF এসিড ও সবল NaOH এর প্রশমন তাপ – 57.34 kJ থেকে কিছু কম হয়। কিন্তু দ্রবণে উপস্থিত ফ্লোরাইড (F^-) আয়নের আকার সবচেয়ে ছোটো 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 তাপশক্তিকে হাইড্রেশন শক্তি বলে।

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

সারণি-৪.৬ : 25°C তাপমাত্রায় তীব্র এসিড, দুর্বল এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ, ΔH

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

শিক্ষার্থী নিজে করো-৪.১৫ : প্রশমন তাপভিত্তিক :

সমস্যা-৪.৫২(ক) : তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপের মান ধ্রুব-ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০১৫; য. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.৫২(খ) : HF এসিড ও NaOH এর প্রশমন তাপের মান –57.34 kJ থেকে বেশি কেন—ব্যাখ্যা করো। [রা. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.৫২(গ) : দুর্বল এসিড (CH_3COOH) ও সবল ক্ষার (NaOH) এর প্রশমন তাপ –57.34 kJ থেকে কম কেন? ব্যাখ্যা করো। [রা. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬; দি. বো. ২০১৬]

সমস্যা-৪.৫৩(ক) : (1) 0.1M HCl + 0.1M NaOH; (2) 0.1M HF + 0.1M NaOH;
বিক্রিয়া (1) ও (2) এর প্রশমন-তাপ একই হবে কীনা ব্যাখ্যা করো। [কু. বো. ২০১৭]

সমস্যা-৪.৫৩(খ) : (1) 1M KOH + 1M HNO_3; (2) 1M NaOH + 1M HF;
বিক্রিয়া (1) ও (2) এর মধ্যে কোনটিতে প্রশমন-তাপ বেশি হবে এবং কেন তা ব্যাখ্যা করো। [চ. বো. ২০১৭]

সমস্যা-৪.৫৩(গ) : (1) 1M NaOH + 1M H_2SO_4; (2) 1M NaOH + 0.1M CH_3COOH;
বিক্রিয়া (1) ও (2) এর মধ্যে প্রশমন-তাপ ভিন্ন হওয়ার কারণ ব্যাখ্যা করো। [সি. বো. ২০১৭]

সমস্যা-৪.৫৩(ঘ) : 1M HCl + 1M NaOH → NaCl + H_2O; ΔH = – 57.34 kJ;
উপরোক্ত বিক্রিয়ায় HCl এর স্থলে HF এসিড ব্যবহৃত হলে, তখন ΔH এর মানের পরিবর্তন ঘটবে কীনা ব্যাখ্যা করো। [মাদ্রাসা বো. ২০১৭]

৪.২০ বন্ধনশক্তি ও বিক্রিয়া তাপ

Bond Energy & Heat of Reaction

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

$$H{\bullet\bullet}H \text{ বা, } H\text{–}H\,(g)\,) \xrightarrow{\Delta} \bullet H\,(g) + \bullet H\,(g) \qquad \Delta H = +\,435.5\ kJmol^{-1}$$

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

$$H\text{–}O\text{–}H\,(g) \xrightarrow{\Delta} H\cdot + \cdot O\text{–}H\,(g) \qquad \Delta H = 503\ kJmol^{-1}$$

$$\cdot O\text{–}H\,(g) \xrightarrow{\Delta} H\cdot + \cdot O\cdot\,(g) \qquad \Delta H = 422\ kJmol^{-1}$$

∴ H_2O অণুতে O–H বন্ধনের গড় বন্ধনশক্তি $= \frac{(503 + 422)}{2}\ kJmol^{-1} = 462.5\ kJmol^{-1}$

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

এক মোল পানি (H_2O) অণুতে দু মোল সমযোজী O–H বন্ধন আছে। ঐ দু মোল সমযোজী বন্ধনকে তাপ প্রয়োগে ভেঙ্গে H ও O মুক্ত পরমাণুতে পরিণত করতে 462.5 $kJmol^{-1}$ তাপশক্তি শোষিত হয়। সুতরাং পানি অণুতে O–H বন্ধনশক্তি হলো + 462.5 $kJmol^{-1}$.

$$H\text{–}O\text{–}H\,(g) \xrightarrow{\Delta} 2H\,(g) + O\,(g) \qquad \Delta H = 2 \times (462.5\ kJmol^{-1})$$

বন্ধনশক্তির গুরুত্ব : উল্লেখ্য কোনো যৌগ অণুর বন্ধনশক্তি বলতে বন্ধন গঠনশক্তি ও বন্ধন বিযোজনশক্তি উভয়কে বোঝানো হয়। উভয়ের সংখ্যামান একই থাকে। তবে (১) **বন্ধন গঠন তাপ হলো ঋণাত্মক; কারণ বন্ধন গঠন একটি তাপোৎপাদী প্রক্রিয়া। (২) বন্ধন বিযোজন তাপ হলো ধনাত্মক; কারণ বন্ধন বিযোজন একটি তাপহারী বিক্রিয়া।** আবার এ যাবৎ প্রায় ৫ কোটি যৌগ সম্বন্ধে জানা গেলেও তবে খুব কম সংখ্যক যৌগের গঠন তাপ জানা গেছে। তাই বন্ধন বিযোজন শক্তি গণনা থেকে বন্ধন গঠনশক্তি জানা যায়।

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

(১) গড় বন্ধনশক্তি = (সব বন্ধন বিযোজনশক্তি ÷ বন্ধন সংখ্যা)

(২) অণুর বন্ধন বিযোজনশক্তি = অণুর বন্ধন গঠনশক্তি = [ঊর্ধ্বপাতন তাপ + পরমাণুকরণ তাপ − অণু গঠন তাপ]

(৩) গড় বন্ধনশক্তি = [ঊর্ধ্বপাতন তাপ + পরমাণুকরণ তাপ − অণু গঠন তাপ] ÷ বন্ধন সংখ্যা

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

উদাহরণ : CH_4 এর C–H বন্ধনশক্তি গণনা করা যাক, এক্ষেত্রে নিম্নরূপ তাপীয় পরিবর্তন ঘটে :

(i) C (s) [গ্রাফাইট] → C (g); ঊর্ধ্বপাতন তাপ, $\Delta H^\circ_{subl} = +\ 717.02\ kJmol^{-1}$

(ii) $2H_2$ (g) → 4H (g); পরমাণুকরণ তাপ, $\Delta H^\circ_{atom} = + (2 \times 435.5) = 871.0\ kJmol^{-1}$

(iii) $2H_2$ (g) + C (s) → CH_4 (g); CH_4 অণু গঠন তাপ, $\Delta H^\circ_f = -\ 75.09\ kJmol^{-1}$

∴ CH_4 (g) এর বিযোজনের বেলায়, $CH_4\,(g) \xrightarrow{\Delta} C\,(g) + 4H\,(g)$

∴ CH_4 (g) এর বিযোজন তাপ, ΔH° = (ঊর্ধ্বপাতন তাপ + পরমাণুকরণ তাপ – অণু গঠন তাপ)

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

অতএব, C–H বন্ধনশক্তি = (1663.11 ÷ 4) $kJmol^{-1}$ [যেহেতু CH_4 এ চারটি C–H আছে]।

$= 415.78\ kJmol^{-1}$

যেসব জৈবযৌগে C–H বন্ধন ছাড়াও C–O বা, C–C বা অন্য কোনো বন্ধন থাকে, তখন তাদের বন্ধনশক্তি নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে হিসাব করা যায় :

বন্ধনশক্তি, ΔH = [কার্বন (গ্রাঃ) এর ঊর্ধ্বপাতন তাপ + অন্যান্য যৌগের পরমাণুকরণ তাপ – অণু গঠন তাপ – (C–H বন্ধনশক্তি × C–H বন্ধন সংখ্যা)]

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

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

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

এখানে BE = বন্ধনশক্তি (Bond Energy)

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

বিক্রিয়া তাপ, ΔH = (বিক্রিয়কের মোট বন্ধন বিযোজন তাপ) – (উৎপাদের মোট বন্ধন গঠন তাপ)

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

$$CH_4\,(g) + Cl_2\,(g) \longrightarrow CH_3Cl\,(l) + HCl\,(g)$$

দেয়া আছে C–H বন্ধনশক্তি 430.53 $kJmol^{-1}$, Cl–Cl বন্ধনশক্তি 242.90 $kJmol^{-1}$ এবং C–Cl বন্ধনশক্তি 328 $kJmol^{-1}$। H–Cl বন্ধনশক্তি 433 $kJmol^{-1}$।

সমাধান : প্রদত্ত বিক্রিয়ার বন্ধনশক্তি নিম্নরূপ :

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

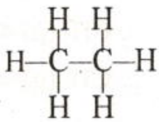
∴ বিক্রিয়কের বন্ধন বিযোজন তাপ = 1965.02 ∴ উৎপাদের বন্ধন গঠন তাপ = 2052.59

∴ বিক্রিয়া তাপ, ΔH = (বিক্রিয়কের মোট বন্ধন বিযোজন তাপ – উৎপাদের মোট বন্ধন গঠন তাপ)

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

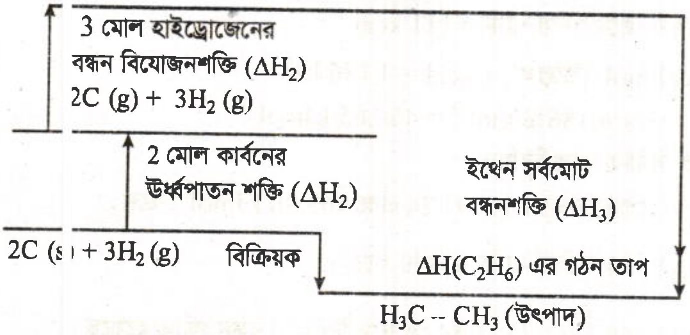
সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭২: কার্বনের ঊর্ধ্বপাতন তাপ 717.02 $kJmol^{-1}$, H_2 এর পরমাণুকরণ তাপ 435.5 $kJmol^{-1}$, C–C বন্ধনশক্তি 343.9 $kJmol^{-1}$ এবং C–H বন্ধনশক্তি 430.53 হলে ইথেনের গঠন তাপ হিসাব করো।

সমাধান : ইথেনের গঠন বিক্রিয়া নিম্নরূপ : $2C\,(s) + 3H_2\,(g) \longrightarrow C_2H_6\,(g)$;



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

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



শক্তি চিত্র হতে বোঝা যায়, $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$

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

সুতরাং বন্ধনশক্তির পরিবর্তন নিম্নরূপে হিসাব করা যায়।]

সারণি ৪.৭ : বিভিন্ন গড় বন্ধন শক্তি

বন্ধন	$kJmol^{-1}$
H–H	435.50
H – F	564.00
H – Cl	433.00
H – Br	366.00
H – I	299.00
C – H	430.53
C – Cl	328.00
Cl – Cl	242.90
O = O	498.40
O – H	462.50
N – H	391.00
* C – C	350.00
* C = C	610.00
* C ≡ C	840.00
C = O	724.00

[দ্রষ্টব্য : C – C, C = C, C ≡ C বন্ধন এর মান দশক এককে পূর্ণসংখ্যায় দেখানো হলো, শিক্ষার্থীর মনে রাখার সুবিধার্থে; Inter net-এ ভিন্ন মানও রয়েছে।]

বিক্রিয়ক এর বন্ধন বিয়োজন শক্তি : **কিলোজুল (kJ)**

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

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

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

উৎপাদ-এর বন্ধন গঠন শক্তি : **কিলোজুল (kJ)**

$1C–C = 343.90$

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

$= 2937.08\ (\Delta H_3)$ (বন্ধন গঠন শক্তি ঋণাত্মক)

অতএব, 1 মোল ইথেনের গঠন তাপ হবে :

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৩ : বিক্রিয়া তাপ হতে বন্ধনশক্তি নির্ণয় :

নিচের বিক্রিয়াগুলোর তাপের মান থেকে O–H বন্ধনের বন্ধনশক্তি কিলোক্যালরি ও কিলোজুলে নির্ণয় করো-

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

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

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

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

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

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

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

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 ভাঙার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি = 222 kcal

∴ 1 mol সংখ্যক O–H বন্ধনকে ভাঙার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি = 111 kcal

অর্থাৎ O–H বন্ধনের বন্ধনশক্তি = 111 kcal/mol [উল্লেখ্য, 1 kcal = 4.186 kJ]

∴ কিলোজুল এককে O–H বন্ধনশক্তি = $111 \times 4.186\ kJmol^{-1} = 464.65\ kJmol^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৪ : বন্ধনশক্তি থেকে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় :

H–H, O=O এবং O–H বন্ধনের বন্ধনশক্তি যথাক্রমে 434.7, 493,24 এবং 463.98 $kJmol^{-1}$ হলে,

$H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \longrightarrow H_2O(g)$ বিক্রিয়ার বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় করো।

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

∴ বিক্রিয়া তাপ, $\Delta H = \Delta H(H–H) + \frac{1}{2}\Delta H(O=O) - 2\Delta H(O–H)$ ..... (i)

দেয়া আছে, $\Delta H(O–H) = 463.98\ kJmol^{-1}$, $\Delta H(H–H) = 434.7\ kJmol^{-1}$,

$\Delta H(O=O) = 493.24\ kJmol^{-1}$

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

∴ বিক্রিয়াটির বিক্রিয়া তাপ = $-246.64\ kJmol^{-1}$

৪.২০.১ প্রমাণ গঠন এনৃথালপি বা প্রমাণ গঠন তাপ
Standard Enthalpy (or Heat) of Formation

সংজ্ঞা : প্রমাণ অবস্থায় (298 K তাপমাত্রায় ও 1atm চাপে) কোনো যৌগকে এর উপাদান মৌলগুলো থেকে এক মোল পরিমাণে উৎপন্ন করার সময়ে যে পরিমাণ তাপশক্তি বা এনথালপির পরিবর্তন (ΔH) ঘটে, তাকে ঐ যৌগের প্রমাণ গঠন তাপ বা এনথালপি বলে। প্রমাণ গঠন এন্‌থালপিকে H_f^o 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।

$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g);\quad \Delta H^o_{298K} = -393.5\ kJmol^{-1}$

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

H_f^o = [কার্বন ডাইঅক্সাইডের গঠন এন্‌থালপি] – [কার্বনের এন্‌থালপি + অক্সিজেনের এন্‌থালপি]

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৫ : প্রমাণ অবস্থায়, CO_2 (g) এবং H_2O (*l*) এর গঠন এনৃথালপি যথাক্রমে –393.5 kJ এবং –286 kJ। 25°C তাপমাত্রায় তরল ইথানলের দহন বিক্রিয়ার এনৃথালপি –1366.9 kJ হলে তরল ইথানলের গঠন তাপ বা এনথালপি নির্ণয় করো।

সমাধান : ইথানলের দহনের তাপ রাসায়নিক সমীকরণকে নিম্নরূপে লেখা যায়—

$C_2H_5OH(l) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(l);\quad \Delta H = -1366.9\ kJ$

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

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

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

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

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

মনে করি, $H_{(C_2H_5OH)} = x$kJ

এখন (1) নং সমীকরণের যথাযথ মানসমূহ বসিয়ে পাই,

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

বা, $-1366.9 = (-787 - 858 - x)$ kJ

বা, $x = (-787 - 858 + 1366.9)$ kJ $= (-1645 + 1366.9)$ kJ

$\therefore x = -278.1$ kJ

সুতরাং তরল ইথানলের প্রমাণ গঠন তাপ বা এন্‌থালপি $= -278.1$ kJmol^{-1} (উঃ)

> **MCQ-4.40 : মানুষের রক্তে কোন বাফার দ্রবণ আছে?** [সি. বো. ২০১৬]
> (ক) $NaHCO_3$, H_2CO_3
> (খ) CH_3CO_2Na, CH_3CO_2H
> (গ) Na_2HPO_4, H_3PO_4
> (ঘ) NH_4Cl, NH_4OH

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৬ : নিচের তথ্যাদি থেকে অ্যাসিটিলিনের গঠন তাপ বা এন্‌থালপি হিসাব করো এবং অ্যাসিটিলিনের গঠন বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী না তাপহারী তা বিশ্লেষণ করো।

(ক) $C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$; $\Delta H = -393.5$ kJ

(খ) $H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow H_2O(l)$; $\Delta H = -286$ kJ

(গ) $C_2H_2(g) + \frac{5}{2}O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + H_2O(l)$; $\Delta H = -1304$ kJ

সমাধান : সমীকরণ (ক) ও (খ) মতে, CO_2 ও H_2O এর গঠন এনথালপি $= -393.5$ ও -286 kJmol^{-1}।

ধরা যাক, অ্যাসিটিলিনের গঠন এন্‌থালপি $= x$ kJmol^{-1}

আমরা জানি, বিক্রিয়া তাপ, ΔH = (উৎপাদের গঠন তাপ বা এনথালপি) – (বিক্রিয়কের গঠন তাপ বা এনথালপি)

সুতরাং সমীকরণ (গ) হতে পাই,

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

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

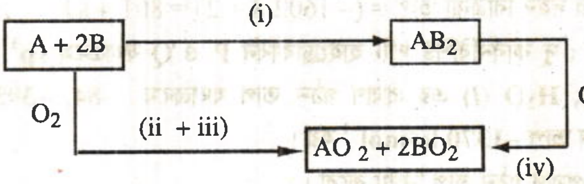
বা, $-1304 = [-787.0 - 286]$ kJ $- x$ kJ

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

$\therefore$ অ্যাসিটিলিনের গঠন তাপ $= +231$ kJmol^{-1}

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৭ : A, B ও AB_2 এর দহন এনথালপি যথাক্রমে -394.55 kJmol^{-1}, -594.78 kJmol^{-1} ও -1109.17 kJmol^{-1} হলে AB_2 এর ΔH_f নির্ণয় করো।



সমাধান : বিভিন্ন ধাপে সংঘটিত বিক্রিয়া এবং তাদের ΔH মান :

(ii) $A + O_2 \longrightarrow AO_2$; $\Delta H = -394.55\ kJmol^{-1}$;

(iii) $2B + 2O_2 \longrightarrow 2BO_2$; $\Delta H = -594.78\ kJmol^{-1} \times 2$

(iv) $AB_2 + 3O_2 \longrightarrow AO_2 + 2BO_2$; $\Delta H = -1109.17\ kJmol^{-1}$

ডায়াগ্রাম মতে, (i) কাঙ্ক্ষিত বিক্রিয়ার উৎপাদ হচ্ছে AB_2

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

(১) $AO_2 + 2BO_2 \longrightarrow AB_2 + 3O_2$; $\Delta H = +1109.17\ kJmol^{-1}$

(২) $A + O_2 \longrightarrow AO_2$; $\Delta H = -394.55\ kJmol^{-1}$

(৩) $2B + 2O_2 \longrightarrow 2BO_2$; $\Delta H = -594.78\ kJmol^{-1} \times 2$

সমীকরণ ১, ২, ৩ এর যোগ করে পাই---

$AO_2 + 2BO_2 + A + O_2 + 2B + 2O_2 \rightarrow AB_2 + 3O_2 + AO_2 + 2BO_2$; $\Delta H = -474.94\ kJmol^{-1}$

উভয় দিক থেকে সদৃশ উপাদান বাদ দিয়ে পাই—

$$\therefore A + 2B \longrightarrow AB_2;\ \Delta H = -474.94\ kJmol^{-1}$$

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

সমাধানকৃত সমস্যা–৪.৭৮ : যৌগের গঠন তাপ থেকে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় :

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

দক্ষতা : প্রথমে সমতাযুক্ত দহন বিক্রিয়ার সমীকরণ লেখ।

সমাধান : সমতাযুক্ত সমীকরণটি হলো : $2C_2H_2(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 4CO_2(g) + 2H_2O(g)$

সংশ্লিষ্ট যৌগের গঠন তাপ নিচের সমীকরণে ব্যবহার করে অ্যাসিটিলিনের দহন তাপ, $\Delta H°$ গণনা করা হলো : এক্ষেত্রে প্রমাণ বিক্রিয়া তাপ হলো দহন তাপ : বিক্রিয়া তাপ, $\Delta H°$ = (উৎপাদের গঠন তাপ) – (বিক্রিয়কের গঠন তাপ)

$\Delta H° = [4\ \Delta H_f^o(CO_2) + 2\ \Delta H_f^o(H_2O)] - [2\ \Delta H_f^o(C_2H_2)]$ [মৌল O_2 এর গঠন তাপ শূন্য]

$= 4\ mol \times (-393.5\ kJ/mol) + 2\ mol \times (-241.8\ kJ/mol) - 2\ mol \times (-227.4)\ kJ/mol$

$= -1602.8\ kJ$

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৯ : দু কার্বনবিশিষ্ট দুটি হাইড্রোকার্বন P ও Q যথাক্রমে sp^3 ও sp^2 সংকরণ দ্বারা গঠিত। এক্ষেত্রে Q যৌগ, CO_2 (g), H_2O (*l*) এর প্রমাণ গঠন তাপ যথাক্রমে –84, –393 ও –220 $kJmol^{-1}$ হয়। হাইড্রোকার্বন P এর প্রমাণ দহন তাপ –1370 $kJmol^{-1}$ হয়। [চ. বো. ২০১৬]

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

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

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

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

প্রশ্নমতে, C_2H_6 বা P যৌগটির দহন তাপ হলো $-1370\ kJmol^{-1}$।

C_2H_6 এর দহন বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো :

$$C_2H_6(g) + \frac{7}{2}O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 3H_2O(g)$$

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

বিক্রিয়া তাপ, ΔH° = (উৎপাদের গঠন তাপ) – (বিক্রিয়কের গঠন তাপ)

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

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

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

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

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

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

উদ্দীপক মতে, sp^3 সংকরিত দু কার্বনবিশিষ্ট হাইড্রোকার্বন হলো C_2H_6 এবং sp^2 সংকরিত দু কার্বনবিশিষ্ট হাইড্রোকার্বন হলো C_2H_4।

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

C_2H_4 এর দহন বিক্রিয়ার সমীকরণ :

$C_2H_4(g) + 3O_2(g) \longrightarrow 2CO_2(g) + 2H_2O(g)$

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

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

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

বা, $\Delta H = -1142\ kJ$

C_2H_4 এর গ্রাম আণবিক ভর হলো 28 g

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

$\therefore$ 1 g C_2H_4 এর দহনে তাপ উৎপন্ন হয় = (1142 ÷ 28) = **40.78 kJ/g**

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

C_2H_6 এর গ্রাম আণবিক ভর = 30 g

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

$\therefore$ 1 g C_2H_6 এর দহনে তাপ উৎপন্ন হয় = (1370 ÷ 30) = **45.67 kJ/g**

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

MCQ-4.41 : সক্রিয় ভর বলতে বোঝায়— [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]

(i) আংশিক চাপ (ii) আণবিক ভর
(iii) মোলার ঘনমাত্রা

নিচের কোনটি সঠিক?

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

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

(i) বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হ্রাসের হার
(ii) প্রভাবকের পরিমাণ বৃদ্ধির হার
(iii) উৎপাদের ঘনমাত্রা বৃদ্ধির হার

নিচের কোনটি সঠিক?

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

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

(i) বিক্রিয়াটি তাপহারী (ii) $K_p = K_c$
(iii) চাপের প্রভাব নেই

নিচের কোনটি সঠিক?

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

শিক্ষার্থী নিজে করো-৪.১৬ : বিক্রিয়া তাপভিত্তিক :

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

(i) $CS_2(s) + 3O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2SO_2(g);$ $\Delta H = -1060.4$ kJ

(ii) $C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g);$ $\Delta H = -393.5$ kJ

(iii) $S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g);$ $\Delta H = -296.1$ kJ

(a) উদ্দীপকের (ii) নং বিক্রিয়া মতে 1200 kJ তাপ উৎপন্ন করতে STP-তে কত লিটার O_2 প্রয়োজন হবে? [উ: 68.31 L O_2]

(b) উদ্দীপকের ডাটা ব্যবহার করে CS_2 এর গঠন তাপ নির্ণয় করো এবং সংশ্লিষ্ট গঠন বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী না তাপহারী তা ব্যাখ্যা করো। [উ: $\Delta H = +74.7$ $kJmol^{-1}$; তাপহারী]

সমস্যা-৪.৫৪(খ) : অ্যাসিটিক এসিড, কার্বন ও হাইড্রোজেনের প্রমাণ দহন তাপ যথাক্রমে – 871.5 kJ, – 393.7 kJ এবং – 85.85 kJ। এসব উপাত্ত থেকে অ্যাসিটিক এসিডের গঠন তাপ নির্ণয় করো। [উ: – 487.6 $kJmol^{-1}$]

সমস্যা-৪.৫৪(গ): C_2H_5OH (*l*), C (s) ও H_2 (g) এর দহন তাপের মান যথাক্রমে –1367 $kJmol^{-1}$, –393.5 $kJmol^{-1}$ ও – 285.85 $kJmol^{-1}$ হলে ইথানল (C_2H_5OH) এর গঠন তাপ নির্ণয় করো। [উ: – 277.55 $kJmol^{-1}$]

সমস্যা-৪.৫৪(ঘ) : মিথেনের দহন তাপ –890.3 $kJmol^{-1}$ হলে 1335.45 kJ তাপ উৎপন্ন করতে কত গ্রাম মিথেন (CH_4) এবং STP তে কত লিটার অক্সিজেন প্রয়োজন হবে? [উ: 24 g; 67.2L]

সমস্যা-৪.৫৫ : CH_4 (g), C_2H_6 (g), CO_2 (g) এবং H_2O (g) এর প্রমাণ গঠন এনথালপি যথাক্রমে –74.89, – 84.52, – 393.30 এবং – 220.20 $kJmol^{-1}$। প্রদত্ত ডাটার সাহায্যে হিসাব করে জ্বালানি হিসেবে CH_4 এবং C_2H_6 গ্যাসের মধ্যে কোনটি অধিক উপযোগী হবে তা ব্যাখ্যা করো।

[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-৪.৫৬(ক) : সিমেন্ট উৎপাদনে ব্যবহৃত চুন (CaO) চুনাপাথর ($CaCO_3$) থেকে উৎপাদন করা হয়। $CaCO_3$ (s), CaO (s) ও CO_2 (g) এর গঠন তাপ যথাক্রমে – 1207.6 kJ/mol, – 634.9 kJ/mol ও – 393.5 kJ/mol। সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াটির প্রকৃতি ও বিক্রিয়া তাপ গণনা করো। [উ: 179.2 kJ (বিক্রিয়াটি তাপহারী)]

সমস্যা-৪.৫৬(খ) : অ্যাসিটিলিন (C_2H_2), H_2 ও ইথিলিন (C_2H_4) এর দহন তাপ যথাক্রমে – 1299, – 286.18 ও – 1411 $kJmol^{-1}$ হলে C_2H_2 থেকে C_2H_4 প্রস্তুতির বিক্রিয়া তাপ গণনা করো। [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 খ্রিষ্টাব্দে 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 বিযোজিত করতে একই পরিমাণ তাপশক্তি শোষিত হয়। আবার বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ভর প্রতি ক্ষেত্রে ধ্রুব বা স্থির থাকে। যেমন,

$$Cu(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CuO(s); \quad \Delta H = -157\ kJmol^{-1}$$
$$63.5\ g \quad 16\ g \quad (63.5 + 16)\ g$$

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 :

$$CuO(s) \xrightarrow{\Delta} Cu(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \quad \Delta H = +157\ kJmol^{-1}$$

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 বিযোজন ঘটেছে। **বন্ধন বিযোজন প্রক্রিয়াটি তাপহারী প্রক্রিয়া** তাই ΔH এর মান **ধনাত্মক** হয়েছে। একই অণুর বন্ধন গঠন ও বন্ধন বিযোজন শক্তির পরিমাণ সমান হওয়ায় প্রতি ক্ষেত্রে তাপের পরিমাণ 157 kJ হয়েছে।

(২) হেসের সূত্র (Hess's Law) : বহু বছরের নিরলস গবেষণার ফসল হিসেবে 1840 খ্রিষ্টাব্দে 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 প্রতি ক্ষেত্রেই 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।

(i) $A \xrightarrow{\Delta H_1} C$ (এক ধাপ)

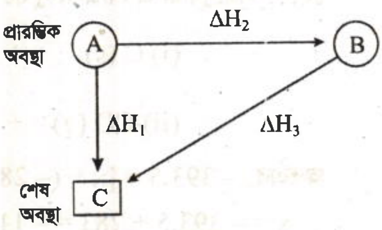
(ii) $A \xrightarrow{\Delta H_2} B \xrightarrow{\Delta H_3} C$ (দু ধাপ)

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;

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



চিত্র-৪.৩০ : চিত্রের সাহায্যে হেসের সূত্রের ব্যাখ্যা।

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

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

$$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H_1 = -393.5\ kJ$$

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

$$C(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO(g) \quad \Delta H_2 = -110.5\ kJ$$
$$CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H_3 = -283.0\ kJ$$

যোগ করে, $C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) \quad \Delta H_1 = -393.5\ kJ$

সুতরাং দ্বিতীয় ধাপে সংঘটিত উভয় বিক্রিয়ার মোট বিক্রিয়া এনথালপি, $\Delta H_1 = -393.5\ kJ$ যা প্রথম ধাপে সরাসরি উৎপন্ন CO_2 এর বেলায় বিক্রিয়া এনথাল্পি 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,

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

$$-393.5\ kJ = (-110.5 - 283.0)\ kJ = -393.5\ kJ$$

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

MCQ-4.44 : 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 যেসব 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 : যেসব রাসায়নিক বিক্রিয়ার বিক্রিয়া তাপ পরীক্ষার মাধ্যমে নির্ণয় করা যায় না, হেসের সূত্র প্রয়োগ করে পরোক্ষভাবে সেসব রাসায়নিক বিক্রিয়ার বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় করা যায়। যেমন,

কার্বনকে অক্সিজেনে পোড়ায়ে কার্বন 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 $-393.5\ kJmol^{-1}$

$$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g); \quad \Delta H = -393.5\ kJmol^{-1}$$

হেসের সূত্রানুযায়ী এ বিক্রিয়া দুধাপে সংঘটিত করা যেতে পারে,

$$\text{(i) } C(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO(g); \quad \Delta H_1 = x\ kJmol^{-1} \text{ (ধরা যাক)}$$

$$\text{(ii) } CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO_2(g); \quad \Delta H_2 = -283\ kJmol^{-1}$$

অতএব, $-393.5 = [x + (-283)]$

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

অতএব, কার্বন হতে কার্বন মনোক্সাইড উৎপাদনকালে (–) $110.5\ kJmol^{-1}$ তাপ উৎপন্ন হয়।

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

রম্বিক 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। রম্বিক সালফার ও মনোক্লিনিক সালফারের দহন তাপ যথাক্রমে $-296.79\ kJmol^{-1}$ ও $-297.08\ kJmol^{-1}$

$$\text{(i) } S\text{ (রম্বিক)} + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g); \quad \Delta H = -296.79\ kJmol^{-1}$$

$$\text{(ii) } S\text{ (মনোক্লিনিক)} + O_2(g) \longrightarrow SO_2(g); \quad \Delta H = -297.08\ kJmol^{-1}$$

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

সুতরাং রম্বিক সালফারকে মনোক্লিনিক সালফারে পরিণত করতে $+0.29\ kJmol^{-1}$ তাপ শোষিত হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৮০ : প্রাকৃতিক গ্যাস মিথেন অক্সিজেনসহ দহন বিক্রিয়ায় CO_2 ও পানি উৎপন্ন করে। নিচের তথ্য ব্যবহার করে মিথেনের দহন তাপ ($\Delta H°$) নির্ণয় করো। বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী নাকি তাপহারী তা ব্যাখ্যা করো।

$$CH_4(g) + O_2(g) \longrightarrow HCHO(g) + H_2O(g) \quad \Delta H° = -275.6\ kJ$$
$$HCHO(g) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(g) \quad \Delta H° = -526.7\ kJ$$
$$H_2O(g) \longrightarrow H_2O(l) \quad \Delta H° = -44.0\ kJ$$

দক্ষতা : হেসের সূত্র ব্যবহার করতে হবে।

সমাধান :
$$CH_4(g) + O_2(g) \longrightarrow HCHO(g) + H_2O(g) \quad \Delta H° = -275.6\ kJ$$
$$HCHO(g) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(g) \quad \Delta H° = -526.7\ kJ$$
$$2[H_2O(g) \longrightarrow H_2O(l)] \quad 2 \times [\Delta H° = -44\ kJ]$$

যোগ করে, $CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l) \quad \Delta H° = -890.3\ kJ$

ব্যাখ্যা : CH_4 ও O_2 এর দহন বিক্রিয়ার ফলাফল অনুসারে $\Delta H = -890.3\ kJmol^{-1}$ অর্থাৎ ΔH এর মান ঋণাত্মক হওয়ায় এটি হলো তাপোৎপাদী বিক্রিয়া।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৮১ : মিথেনের দহন এনথালপি $-890.3\ kJmol^{-1}$ হলে 1500 kJ তাপ উৎপন্ন করতে কী পরিমাণ অক্সিজেন মিথেনের দহনে প্রয়োজন হবে?

সমাধান : মিথেনের দহন বিক্রিয়ার তাপ রাসায়নিক সমীকরণ নিম্নরূপ :

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g) \quad \Delta H = -890.3\ kJmol^{-1}$$

1 mol   2 mol

$= 2 \times 32$ g

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

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

$= 3.36965$ মোল O_2 প্রয়োজন হবে।

আবার 1 মোল অক্সিজেন $= 32$ g অক্সিজেন।

$\therefore$ 3.36965 মোল অক্সিজেন $= 32 \times 3.36965$ g অক্সিজেন।

$= 107.8288$ g অক্সিজেন (উঃ)

শিক্ষার্থী নিজে করো-৪.১৭ : হেসের সূত্রভিত্তিক :

সমস্যা-৪.৫৭ : গ্রাফাইট কার্বনকে হীরকে রূপান্তর করতে তাপের পরিবর্তন কত হবে প্রদত্ত তথ্যের সাহায্যে তা হিসাব করো। [উঃ $1.9\ kJmol^{-1}$]

(i) C (গ্রাফাইট) + $O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$; $\Delta H°_C = -393.4\ kJmol^{-1}$

(ii) C (ডায়মন্ড) + $O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$; $\Delta H°_C = -395.3\ kJmol^{-1}$

সমস্যা-৪.৫৮ (ক): শিল্পক্ষেত্রে ব্যবহৃত গ্রিজ দূর করতে ব্যবহৃত মিথিলিন ক্লোরাইড (CH_2Cl_2) দ্রাবক মিথেন ও Cl_2 এর বিক্রিয়ায় প্রস্তুত করা হয় : $CH_4(g) + 2Cl_2(g) \longrightarrow CH_2Cl_2(g) + 2HCl(g)$

নিচের ডাটা ব্যবহার করে CH_2Cl_2 প্রস্তুতির বিক্রিয়া তাপ বের করো।

$$CH_4(g) + Cl_2(g) \longrightarrow CH_3Cl(g) + HCl(g) \quad \Delta H = -98.3\ kJ$$
$$CH_3Cl(g) + Cl_2(g) \longrightarrow CH_2Cl_2(g) + HCl(g) \quad \Delta H = -104\ kJ$$

[উঃ –202.3 kJ]

RMDAE

সমস্যা-৪.৫৮ (খ) : লেড-এসিড সঞ্চয় ব্যাটারিতে ডিসচার্জের সময় নিম্নোক্ত রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত হয়

$$Pb(s) + PbO_2(s) + 2H_2SO_4(aq) \longrightarrow 2PbSO_4(s) + 2H_2O(l)$$

নিচের বিক্রিয়াদ্বয় ব্যবহার করে ডিসচার্জ বিক্রিয়াটির এনথালপি নির্ণয় করো।

(i) $Pb(s) + PbO_2(s) + 2SO_3(l) \longrightarrow 2PbSO_4(s)$; $\Delta H^o = -775$ kJ;

(ii) $SO_3(l) + H_2O(l) \longrightarrow H_2SO_4(aq)$; $\Delta H^o = -113$ kJ. [উঃ -549 $kJmol^{-1}$]

সমস্যা-৪.৫৮ (গ) : নিম্নোক্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে $C_6H_{12}O_6$ এর প্রমাণ দহন এনথালপি নির্ণয় করো।

$$C_6H_{12}O_6(s) + 6O_2(g) \longrightarrow 6CO_2(g) + 6H_2O(l);$$

$C_6H_{12}O_6$ এর $\Delta H^o_f = -1275.0$ kJ

O_2 এর $\Delta H^o_f = 0$; CO_2 এর $\Delta H^o_f = -393.5$ kJ ; $H_2O(l)$ এর $\Delta H^o_f = -285.8$ kJ

[উঃ -2801 kJ/mol glucose]

সমস্যা-৪.৫৮ (ঘ) : NO_2 এর সংশ্লেষণ বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো নিম্নরূপ :

$N_2(g) + 2O_2(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$ $\Delta H^o = ?$

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

$N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2NO(g)$ $\Delta H^o = +180$ kJ

$2NO_2(g) \longrightarrow 2NO(g) + O_2(g)$ $\Delta H^o = +112$ kJ [উঃ + 68 kJ]

ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণিশিক্ষকের সহায়তায় চারজনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতিসহকারে কাজের ধারা অনুসরণ করে নিচের চিত্রমতে ক্যালরিমিতি পদ্ধতিতে অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ নির্ণয় করো।

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 কিলোক্যালরি অর্থাৎ 4.2 কিলোজুল (4.2 kJ)। সুতরাং এক মোল অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তৈরিতে তাপমাত্রার মোট পরিবর্তন t°C হলে তখন অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ হবে $4.2 \times t$ kJ। আবার 0.1 মোল অক্সালিক এসিড দ্বারা 100 g দ্রবণ তৈরি করা হলে সেক্ষেত্রে—

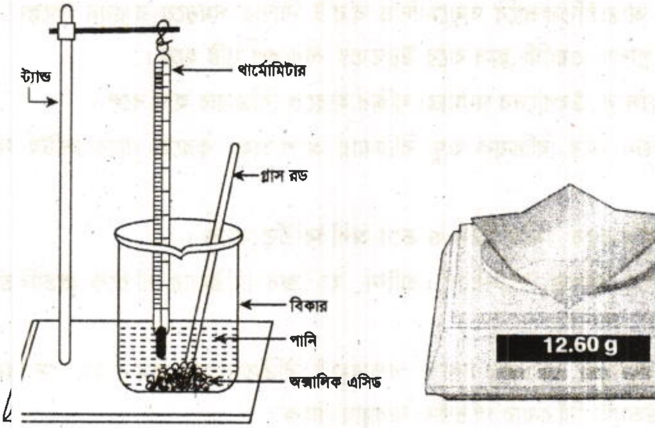
তাপের পরিবর্তন হবে = $0.42 \times t$ kJ

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

(খ) প্রয়োজনীয় রাসায়নিক বস্তু : (১) অক্সালিক এসিড ($C_2H_2O_4.2H_2O$); (২) পানি।

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) একটি বিকার (250 mL); (২) থার্মোমিটার; (৩) স্ট্যান্ড; (৪) 2-ডিজিটাল ইলেকট্রনিক ব্যালেন্স।

( ) কাজের ধারা :



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

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।

(১) আর্দ্র অক্সালিক এসিড ($HOOC–COOH.2H_2O$) 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 ঝুলিয়ে ঐ বিকারের পানিতে ডুবানো হয়। এ অবস্থায় পানির তাপমাত্রা (t_1°C) রেকর্ড করা হয়।

(৪) এখন ওজন করা 12.6 g অক্সালিক এসিড বিকারের পানিতে যোগ করে গ্লাস রড দিয়ে নেড়ে দ্রবীভূত করা হয়।

(৫) সমস্ত অক্সালিক এসিডের গুঁড়া দ্রবীভূত হওয়ার সাথে সাথে দ্রবণের তাপমাত্রা (t_2°C) রেকর্ড করা হয়।

(৬) এবার দ্রবণ তাপ হিসাব করা হয়।

পর্যবেক্ষণ ডাটা :

গৃহীত আর্দ্র অক্সালিক এসিডের পরিমাণ	= 0.1 মোল বা, 12.6 g
ব্যবহৃত পানির পরিমাণ	= 87.4 g
দ্রবণের ঘনমাত্রা	= 1M
পানির প্রাথমিক তাপমাত্রা	= t_1°C = x (মনে করি)
দ্রবণের তাপমাত্রা	= t_2°C = y (মনে করি)

MCQ-4.45 : কোনটি তাপোৎপাদী? [দি. বো. ২০১৫]

(ক) $H_2O(l) \longrightarrow H_2O(g)$

(খ) $H_2O(g) \longrightarrow H_2O(l)$

(গ) $H_2O(s) \longrightarrow H_2O(l)$

(ঘ) $H_2O(s) \longrightarrow H_2O(g)$

গণনা : তাপমাত্রার পরিবর্তন হলো = t°C = ($t_1 - t_2$) °C = $(x - y)$ = z°C

∴ আর্দ্র অক্সালিক এসিডের নির্ণীত দ্রবণ তাপ, $\Delta H = 0.42 \times t \times 10\ kJmol^{-1} = 0.42 \times z \times 10\ kJmol^{-1}$

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

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

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

(৩) পরীক্ষাকালে মিশ্রণের আলোড়ন যেন সুষম হয়।

অধ্যায়ের সার-সংক্ষেপ (Recapitulations)

- **গ্রিন কেমিস্ট্রি :** গ্রিন কেমিস্ট্রি হলো আন্তর্জাতিকভাবে অনুমোদিত বারটি নীতির সমন্বয়ে রসায়ন শিল্পের একটি গাইড লাইন, যা অনুসরণের মাধ্যমে গ্লোবাল ওয়ার্মিং হ্রাস করে উন্নততর পরিবেশ সৃষ্টি হবে।
- **বিক্রিয়ার হার :** বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হ্রাস বা উৎপাদের ঘনমাত্রা বৃদ্ধির হারকে বিক্রিয়ার হার বলে।
- **সক্রিয়ণ শক্তি :** যে পরিমাণ শক্তি অর্জন করে বিক্রিয়ক অণু বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করতে পারে সেটিই সক্রিয়ণ শক্তি।
- **প্রভাবক :** প্রভাবক বিক্রিয়ার গতিকে বৃদ্ধি করে, নিজে গঠন ও ভরে অপরিবর্তিত থাকে।
- **এনজাইম :** এনজাইম হলো জীবকোষে উৎপন্ন টারসিয়ারি প্রোটিন, যা জৈব বিক্রিয়ার গতিকে প্রভাবিত করে থাকে।
- **সাম্যাবস্থা :** 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।
- **সাম্যধ্রুবক :** বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় উৎপাদের সক্রিয় ভরের গুণফল ও বিক্রিয়কের সক্রিয় ভরের গুণফলের অনুপাতকে সাম্যধ্রুবক বলা হয়।
- **পানির আয়নিক গুণফল :** দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পানি অণু (H_2O) থেকে সৃষ্ট হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) ও হাইড্রক্সিল (OH^-) আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফলকে পানির আয়নীকরণ গুণফল (K_w) বলে।
- **এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক :** প্রতি লিটার জলীয় দ্রবণে উপস্থিত কোনো এসিডের মোল সংখ্যার যে ভগ্নাংশ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, তাকে ঐ এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক (K_a) বলে।
- **ক্ষারের বিয়োজন ধ্রুবক :** প্রতি লিটার জলীয় দ্রবণে উপস্থিত কোনো ক্ষারের মোল সংখ্যার যে ভগ্নাংশ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, তাকে ঐ ক্ষারের বিয়োজন ধ্রুবক (K_b) বলে।
- **অনুবন্ধী ক্ষারক :** 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 স্বল্পমাত্রায় 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 সমতাযুক্ত সমীকরণ মতে বিক্রিয়কসমূহের সংখ্যানুপাতিক মোল পরিমাণে সম্পূর্ণরূপে বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন বা শোষিত তাপের পরিমাণকে বিক্রিয়া তাপ বলে।
- **গঠন তাপ :** প্রমাণ অবস্থায় কোনো যৌগের এক মোল পরিমাণ ঐ যৌগের মৌলসমূহ থেকে উৎপন্ন হতে তাপের যে পরিবর্তন ঘটে, তাকে ঐ যৌগের গঠন তাপ বলে।

- ✪ **দ্রবণ তাপ :** নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় 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 :** কক্ষতাপমাত্রায় এসিড ও ক্ষারের বিক্রিয়ায় এক মোল পানি উৎপন্ন হতে যে পরিমাণ তাপের উদ্ভব ঘটে, তাকে প্রশমন তাপ বলে।
- ✪ **বন্ধনশক্তি :** গ্যাসীয় বা বাষ্পীয় অবস্থায় সমযোজী পদার্থের অণুর নির্দিষ্ট দুটি পরমাণুর মধ্যস্থ একই প্রকার এক মোল বন্ধনকে ভেঙ্গে পরমাণুতে পরিণত করতে যে পরিমাণ গড়শক্তির প্রয়োজন হয়, তাকে সংশ্লিষ্ট বন্ধনের বন্ধনশক্তি বলে।
- ✪ **ল্যাভয়সিয়ে সূত্র :** কোনো বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ তাপের পরিবর্তন ঘটে, ঐ বিক্রিয়াটি বিপরীত দিকে ঘটলে একই পরিমাণ তাপের পরিবর্তন ঘটে থাকে; তবে তাপ পরিবর্তনের চিহ্ন বিপরীত হয়।
- ✪ **হেসের সূত্র :** যদি কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার প্রারম্ভিক ও শেষ অবস্থা একই থাকে, তবে বিক্রিয়াটি এক বা একাধিক ধাপে সংঘটিত হোক না কেন প্রতি ক্ষেত্রে বিক্রিয়া তাপ সমান থাকবে।
- ✪ **ক্যালরি :** এক গ্রাম পানির তাপমাত্রা 1°C (14.5°C – 15.5°C) বাড়াতে যে পরিমাণ তাপশক্তি প্রয়োজন হয়, তাকে এক ক্যালরি বলে। আবার 1 ক্যালরি = 4.186 J (জুল)।

MCQ-এর উত্তরমালা :

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

অনুশীলনী–৪

ক-বিভাগ : জ্ঞানস্তরভিত্তিক প্রশ্নাবলি (একনজরে)

(১) রাসায়নিক বিক্রিয়া ও গ্রিন কেমিস্ট্রি :

১। গ্রিন কেমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়ন কী? [ঢা. বো. ২০২৩; কু. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০২২; য. বো. ২০২২; সি. বো. ২০২২; কু. বো. ২০১৭; ব. বো. ২০১৯]

২। এটম ইকন্যামি কী? [কু. বো. ২০২২; য. বো. ২০১৭]

৩। গ্রিনার পদ্ধতি কী?

৪। ম্যালেয়িক অ্যানহাইড্রাইডের গাঠনিক সংকেত লেখ।

৫। একমুখী বিক্রিয়া কী?

৬। উভমুখী বিক্রিয়া কী? [মা. বো. ২০২২]

(২) বিক্রিয়ার হার বা গতি :

১। বিক্রিয়ার গতি বা হার কী? [চ. বো. ২০১৯; কু. বো. ২০১৯; সি. বো. ২০১৭; ব. বো. ২০১৫; মা. বো. ২০২২]

২। বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক কী? [য. বো. ২০২৩]

৩। বিক্রিয়ার হারের ওপর প্রভাব সৃষ্টিকারী নিয়ামকগুলো কী?

৪। সক্রিয়ণ শক্তি কী? [ব. বো. ২০১৬; রা. বো. ২০১৬; কু. বো. ২০১৭; সি. বো. ২০১৭, ২০১৯; য. বো. ২০১৯]

৫। অ্যারহেনিয়াস সমীকরণটি লেখ। [ব. বো. ২০১৭]

৬। সমসত্ত্ব প্রভাবন কী?

৭। অসমসত্ত্ব প্রভাবন কী? [দি. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৭]

৮। প্রভাবক সহায়ক কী? [য. বো. ২০১৯; কু. বো. ২০১৭, ২০১৯]

৯। প্রভাবক বিষ কী? [চ. বো. ২০১৫; সি. বো. ২০১৭]

১০। এনজাইম কী? [ঢা. বো. ২০১৯]

১১। প্রভাবক কী? [ব. বো. ২০১৯]

১২। অটো-প্রভাবক কী?

(৩) রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা :

১। রাসায়নিক সাম্যাবস্থা কী? [ঢা. বো. ২০২১; সি. বো. ২০১৯; কু. বো. ২০১৭, ২০২১; ম. বো. ২০২২; রা. বো. ২০১৭, ২০২২; দি. বো. ২০১৬]

২। লা-শাতেলিয়ারের নীতি কী? [চ. বো. ২০২১; য. বো. ২০২১; সি. বো. ২০২১, ২০২২; দি. বো. ২০২১; ব. বো. ২০১৬; রা. বো. ২০১৫]

৩। বিক্রিয়া অনুপাত (Q_c) কী?

৪। সাম্যধ্রুবক (K_c) কী? [চ. বো. ২০২২, ২০২৩; সি. বো. ২০১৫]

৫। ভর ক্রিয়ার সূত্রটি কী? [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮; ঢা. বো. ২০২৩; কু. বো. ২০২২; রা. বো. ২০২১; সি. বো. ২০২৩; য. বো. ২০২১ ; ব. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০২১; ম. বো. ২০২৩; মা. বো. ২০২৩]

৬। বিক্রিয়ার K_c বা মোলার সাম্যধ্রুবক কী? [ব. বো. ২০২১]

৭। বিক্রিয়ার K_p বা আংশিক চাপে সাম্যধ্রুবক কী?

(৪) পানির অটো আয়নীকরণ, অম্ল ও ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক :

১। পানির অটো আয়নীকরণ কী?

২। পানির আয়নিক গুণফল কী? [ঢা. বো. ২০২১; চ. বো. ২০২১; সি. বো. ২০২৩; য. বো. ২০১৭; দি. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০১৯; মা. বো. ২০১৭]

৩। অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্রটি লেখ।

৪। অম্লের বিয়োজন ধ্রুবক K_a কী? [চ. বো. ২০২২; দি. বো. ২০২১, ২০২২]

৫। ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক K_b কী? [ঢা. বো. ২০২১]

৬। সবল অম্ল কী?

৭। দুর্বল অম্ল কী?

৮। সবল ক্ষার কী?

৯। দুর্বল ক্ষার কী?

১০। অনুবন্ধী ক্ষারক কী?

১১। অনুবন্ধী অম্ল কী?

১২। অম্লের ক্ষারকত্ব কী?

১৩। ক্ষারকের অম্লত্ব কী?

(৫) দ্রবণের pH, বাফার দ্রবণ :

১। (ক) দ্রবণের pH কী? [ঢা. বো. ২০১৭; সি. বো. ২০২১; দি. বো. ২০২১, ২০২২; মা. বো. ২০২১; রা. বো. ২০১৭; য. বো. ২০১৬]

(খ) দ্রবণের pOH কী? [রা. বো. ২০২৩]

২। pH স্কেল কী? [ম. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০২১; ম. বো. ২০২১]

৩। লবণের আর্দ্র-বিশ্লেষণ কী?

৪। বাফার দ্রবণ কী? [চ. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৬, ২০২১; ব. বো. ২০১৬; য. বো. ২০২১, ২০২২; ম. বো. ২০২২; দি. বো. ২০২২; মা. বো. ২০২১; রা. বো. ২০২৩; অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]

৫। অম্লীয় বাফার দ্রবণের উদাহরণ দাও।

৬। ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের উদাহরণ দাও।

৭। বাফার রেঞ্জ কী?

৮। বাফার ক্ষমতা কী? [য. বো. ২০২৩]

৯। অম্লীয় বাফার দ্রবণের হেন্ডারসন সমীকরণটি লেখ।

১০। ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের হেন্ডারসন সমীকরণটি লেখ।

১১। নিম্নমান বাফার দ্রবণ কী?

১২। ETP কী?

(৬) ভর ও শক্তির নিত্যতা সূত্র :

১। এনথালপি কী? [সি. বো. ২০১৯]

২। বিক্রিয়া তাপ কী? [চ. বো. ২০১৭]

৩। প্রমাণ গঠন তাপ কী? [দি. বো. ২০১৯]

৪। দহন তাপ কী? [ঢা. বো. ২০১৯]

৫। দ্রবণ তাপ কী? [ঢা. বো. ২০১৫; য. বো. ২০১৭; ব. বো. ২০১৭]

৬। প্রশমন তাপ কী?

৭। বন্ধনশক্তি কী?

৮। হেসের সূত্রটি বিবৃত করো। [রা. বো. ২০১৫; ঢা. বো. ২০১৭; চ. বো. ২০১৯]

খ-বিভাগ : অনুধাবনস্তরভিত্তিক প্রশ্নাবলি (একনজরে)

(১) রাসায়নিক বিক্রিয়া ও গ্রিন বা সবুজ রসায়ন কেমিস্ট্রি :

১। সবুজ রসায়নের প্রয়োজনীয়তা ব্যাখ্যা করো। [ম. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০২২]

২। 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) $C_2H_4 + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{Ag,\ 250°C} C_2H_4O$

এ দুটি পদ্ধতির মধ্যে কোনটি গ্রিনার পদ্ধতি হবে, তা ব্যাখ্যা করো।

(২) বিক্রিয়ার হার বা গতি :

১। বিক্রিয়ার হার ও বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মধ্যে পার্থক্য কী, তা ব্যাখ্যা করো।

২। ঘনমাত্রা বৃদ্ধিতে বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি পায় কেন; ব্যাখ্যা করো। [চ. বো. ২০১৭]

৩। অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ প্রতিষ্ঠার মূলে বিক্রিয়ায় তাপমাত্রার প্রভাব রয়েছে, তার কারণ ব্যাখ্যা করো।

৪। শিল্পক্ষেত্রে অসমসত্ত্ব প্রভাবকের ব্যবহারের গুরুত্ব আলোচনা করো।

৫। প্রভাবক কীরূপে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি করে? [সি. বো. ২০১৫]

৬। সমসত্ত্ব প্রভাবনের কৌশল ব্যাখ্যা করো। [ব. বো. ২০১৫]

(৩) রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা :

১। (ক) রাসায়নিক সাম্যাবস্থার গতিশীলতা ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০২১; ব. বো. ২০২১; সি. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০২২; ম. বো. ২০২১; মা. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০২২]

(খ) বদ্ধপাত্রে রাসায়নিক সাম্যাবস্থা সংঘটিত হয়; ব্যাখ্যা করো। [কু. বো. ২০২৩]

(গ) উভমুখী বিক্রিয়া একটি অসম্পূর্ণ বিক্রিয়া; ব্যাখ্যা করো। [রা. বো. ২০২৩]

২। বিক্রিয়ায় Q_c ও K_c এর মধ্যে পার্থক্য কী, তা ব্যাখ্যা করো।

৩। (ক) $2H_2S\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2S\,(s) + 2H_2O\,(g)$; এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে চাপের প্রভাব কী; ব্যাখ্যা করো।

(খ) $COCl_2\,(g) \rightleftharpoons CO\,(g) + Cl_2\,(g)$; এ বিক্রিয়াটির ওপর চাপের প্রভাব লেখ। [সি. বো. ২০২২]

৪। বিক্রিয়ার K_p ও K_c এর মধ্যে সম্পর্ক সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করো।

৫। K_p ও K_c এর মধ্যে একটি সাদৃশ্য ও একটি বৈসাদৃশ্য লেখ। [চ. বো. ২০২১]

৬। নিচের কোন্ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে K_p ও K_c সমান হবে তা ব্যাখ্যা করো।

(i) $PCl_5\,(g) \rightleftharpoons PCl_3\,(g) + Cl_2\,(g)$;

(ii) $H_2\,(g) + I_2\,(g) \rightleftharpoons 2HI\,(g)$

৭। (ক) সাম্যধ্রুবক K_c এর মান শূন্য বা অসীম হয় না কেন? ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০২১; সি. বো. ২০২১; রা. বো. ২০২২; কু. বো. ২০২২; চ. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০২৩; য. বো. ২০২১; মা. বো. ২০২২]

(খ) উভমুখী বিক্রিয়া কখনও শেষ হয় না কেন? [রা. বো. ২০২২]

৮। বিক্রিয়ার Q_c ও K_c এর মান থেকে বিক্রিয়ার দিক সম্বন্ধে প্রাক্ ধারণা মিলে; তা ব্যাখ্যা করো।

৯। K_c এর মানভিত্তিক বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি আলোচনা করো।

(৪) পানির অটো আয়নীকরণ, অম্ল ও ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক :

১। পানির অটো-আয়নীকরণের বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যা করো।

২। পানির আয়নিক গুণফল তাপমাত্রার ওপর নির্ভরশীল; ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০২২; দি. বো. ২০২১]

৩। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে পানির আয়নিক গুণফল বৃদ্ধি পায় কেন? [রা. বো. ২০২৩; ম. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০১৯]

৪। পানির অটো-আয়নীকরণ ও এসিড-বেস সম্পর্ক ব্যাখ্যা করো।

৫। লেমন-জুসের নমুনার $[H_3O^+] = 2.5 \times 10^{-3}M$ হলে এতে $[OH^-]$ কত হবে; তা ব্যাখ্যা করো।

৬। ফরমিক এসিডের $K_a = 1.8 \times 10^{-4}$ বলতে কী বুঝ? [ব. বো. ২০২১]

৭। এসিডের K_a এর মান বেশি হলে এসিডের শক্তিমাত্রা বেশি হয়; ব্যাখ্যা করো। [ম. বো. ২০২১]

৮। অক্সোএসিডের তীব্রতা ব্যাখ্যায় কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ সংখ্যা ও আকারের ভূমিকা ব্যাখ্যা করো।

৯। HNO_3 ও H_3PO_4 এর মধ্যে কোনটি অধিক তীব্র এসিড? [ঢা. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০২২; ব. বো. ২০১৬; রা. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০২১, ২০২২; য. বো. ২০১৯, ২০২১]

১০ HNO_3 ও H_2SO_3 এর মধ্যে কোনটি অধিক সবল এসিড? [রা. বো. ২০২১; ঢা. বো. ২০১৬]

১১। $HClO_4$ ও $HBrO_4$ এর মধ্যে কোনটি অধিক সবল এসিড; ব্যাখ্যা করো। [য. বো. ২০২২; চ. বো. ২০১৬; দি. বো. ২০১৭]

১২ অস্‌ওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্রটি গাণিতিক রূপসহ ব্যাখ্যা করো। [সি. বো. ২০২২; চ. বো. ২০১৯]

১৩ (ক) HF হলো একটি দুর্বল এসিড; ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০২১]

(খ) HF ও HCl এর মধ্যে কোনটি তীব্র এসিড; বাখ্যা করো। [কু. বো. ২০২৩]

(গ) HF ও HI এর মধ্যে কোনটি বেশি শক্তিশালী এসিড; ব্যাখ্যা করো। [ব. বো. ২০২২]

(ঘ) HCl অপেক্ষা HBr অধিক সবল এসিড কেন; ব্যাখ্যা করো। [ম. বো. ২০২৩]

১৪। (ক) HNO_2 ও H_3PO_3 এর মধ্যে কোনটি শক্তিশালী এসিড? [ঢা. বো. ২০২১]

(খ) H_3PO_3 ও H_3PO_2 এর মধ্যে কোনটি অধিক শক্তিশালী এসিড? [দি. বো. ২০২২]

১৫। $HClO_4$ ও H_2SO_4 এর মধ্যে কোনটি অধিক তীব্র এসিড; ব্যাখ্যা করো। [চ. বো. ২০২১]

১৬। Al_2O_3 এর অম্লত্ব 6 বলতে কী বুঝ? [ব. বো. ২০২৩]

(৫) দ্রবণের pH ও বাফার দ্রবণ :

১। বিশুদ্ধ পানিতে কয়েক ফোঁটা লঘু HCl ও লঘু NaOH দ্রবণ পৃথকভাবে যোগ করলে প্রতি ক্ষেত্রে pH এর মান কীরূপ হবে তা ব্যাখ্যা করো।

২। (ক) 25°C-এ বিশুদ্ধ পানির pH এর মান 7 হয় কেন? [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮; দি. বো. ২০১৭, ২০২২; কু. বো. ২০২১; চ. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৫; মা. বো.২০২৩]

(খ) প্রশম জলীয় দ্রবণের pH মান 7 কেন? [চ. বো. ২০২১]

(গ) বিশুদ্ধ পানির pOH = 7 হয় কেন? [ম. বো. ২০২১]

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 করো যে, বিশুদ্ধ পানির pH তাপমাত্রা নির্ভর।

৪। pH স্কেল 0 থেকে 14 এর মধ্যে সীমাবদ্ধ কেন? [ঢা. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০২৩; য. বো. ২০২৩; কু. বো. ২০২২]

৫। (ক) কোনো দ্রবণের pH এর মান 0 থেকে কম এবং 14 থেকে বেশি হতে পারে কীনা তা ব্যাখ্যা করো।

(খ) কোনো দ্রবণে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা 1.0 M এর বেশি হলে সেক্ষেত্রে pH স্কেল অকার্যকর কেন? [রা. বো. ২০২২]

৬। NH_4Cl এর জলীয় দ্রবণ অম্লধর্মী বা, দ্রবণের pH < 7 হয় কেন? [চ. বো. ২০১৯]

৭। Na_2CO_3 এর জলীয় দ্রবণ ক্ষারধর্মী বা, দ্রবণের pH > 7 হয় কেন? [ব. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০১৯]

৮। $CuSO_4$ এর জলীয় দ্রবণ অম্লধর্মী হয় কেন? [য. বো. ২০২৩]

৯। CH_3COOH ও CH_3COONa থেকে বাফার দ্রবণ তৈরির বেলায় হেন্ডারসন সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করো।

১০। অম্লীয় বাফার দ্রবণ তৈরিতে দুর্বল অম্ল প্রয়োজন হয়, ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০২২]

১১। নিম্নমান বাফার বলতে কী বোঝায়; তা ব্যাখ্যা করো।

১২। কৃষি জমির অধিক অম্লধর্মী ও ক্ষারীয় মাটিকে কীরূপে কৃষিযোগ্য করা হয়; তা ব্যাখ্যা করো।

১৩। মানুষের রক্তের মূল বাফার দ্রবণের মেকানিজম ব্যাখ্যা করো। [দি. বো. ২০১৬; ব. বো. ২০১৭]

১৪। 'রক্ত হলো একটি বাফার দ্রবণ'—ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০১৯; দি. বো. ২০২২]

১৫। টয়লেট্রিজ উৎপাদনে pH এর মান গুরুত্বসহকারে নিয়ন্ত্রিত হয়; তা উদাহরণসহ ব্যাখ্যা করো।

১৬। ওষুধ সেবনের পর এর কার্যকারিতা শরীরের বিভিন্ন অংশের তরলের pH মানের ওপর নির্ভর করে শোষিত হয়; তা ব্যাখ্যা করো।

(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 করো।

২। তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ স্থির থাকে; ব্যাখ্যা করো। [দি. বো. ২০১৬; য. বো. ১৬; ঢা. বো. ১৫, ১৭]

বা, HCl এসিড ও NaOH এর প্রশমন তাপের মান ধ্রুব কেন? [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]

৩। HF ও NaOH এর প্রশমন তাপ ধ্রুবক মানের চেয়ে বেশি হয় কেন? [ব. বো. ২০১৬; রা. বো. ১৬; দি. বো. ২০১৭]

৪। দুর্বল এসিড (CH_3COOH) ও সবল ক্ষার (NaOH) এর প্রশমন তাপ ধ্রুবক মান থেকে কম হয় কেন? [রা. বো ২০১৬]

৫। হেসের তাপ সমীকরণ সূত্রটি লেখ ও ব্যাখ্যা করো। [দি. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬]

৬। $C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g);$ $\Delta H_1 = -393.5\ kJ$

$C(s) + 1/2\ O_2(g) \longrightarrow CO(g);$ $\Delta H_2 = -110.5\ kJ$

$CO(g) + 1/2\ O_2(g) \longrightarrow CO_2(g);$ $\Delta H_3 = -283.0\ kJ$

উপরোক্ত তাপ-রাসায়নিক সমীকরণ দ্বারা যে সূত্রটি প্রমাণিত হয়; তা বিবৃত করো এবং ব্যাখ্যা করো।

গ-বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

❑ সাধারণ বহুনির্বাচনি প্রশ্ন :

১। আন্তর্জাতিকভাবে রসায়নবিদ দ্বারা স্বীকৃত সবুজ রসায়নের মূলনীতি কয়টি?

(ক) ১০ (খ) ১২ (গ) ১৪ (ঘ) ১৫

২। গ্রিন কেমিস্ট্রির কার্যকর সূচনা কত সালে হয়েছিল? [ম. বো. ২০২৩]

(ক) 1991 (খ) 1990 (গ) 1891 (ঘ) 1890

৩। বিক্রিয়া হারের একক নিচের কোনটি? [দি. বো. ২০১৭; সি. বো. ২০১৭; য. বো. ২০১৬]

(ক) $molLs^{-1}$ (খ) $molL^{-1}s$ (গ) $molL^{-1}s^{-1}$ (ঘ) $mol^{-1}L^{-1}s^{-1}$

৪। 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

৫। তাপমাত্রার সাথে বিক্রিয়ার হারের সম্পর্ক কীরূপ? [ব. বো. ২০১৫]

(ক) ব্যস্তানুপাতিক (খ) অধিবৃত্তীয় (গ) সমানুপাতিক (ঘ) পরাবৃত্তীয়

৬। কোন বিক্রিয়ার হার সবচেয়ে বেশি? [রা. বো. ২০১৫]

(ক) $CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{h\upsilon} CH_3Cl + HCl$ (খ) $Na^+ + Cl^- \rightarrow NaCl$

(গ) $Mg + O_2 \rightarrow MgO$ (ঘ) $CuSO_4.5H_2O \rightarrow CuSO_4 + 5H_2O$

৭। 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

৮। কোনটি সাম্যাবস্থার বৈশিষ্ট্য নয়? [ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) সাম্যের স্থায়িত্ব (খ) উভয় দিক থেকে সুগম্যতা

(গ) বিক্রিয়ার হার (ঘ) বিক্রিয়ার অসম্পূর্ণতা

৯। নিচের কোনটি তাপহারী বিক্রিয়া?

(ক) $C + O_2 = CO_2$ (খ) $N_2 + O_2 = 2NO$

(গ) $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ (ঘ) $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$

১০। কোনটি ঋণাত্মক প্রভাবক?

(ক) Na (খ) SO_2 (গ) SO_3 (ঘ) গ্লিসারিন

১১। কোনটি প্রভাবক বিষ? [সি. বো. ২০১৬; দি. বো. ২০১৯]

(ক) Al_2O_3 (খ) MnO_2 (গ) As_2O_3 (ঘ) Ni

১২। K_w হলো মূলত কোনটি?

(ক) সাম্যাঙ্ক ধ্রুবক (খ) দ্রাব্যতা গুণাঙ্ক (গ) হার ধ্রুবক (ঘ) পানির আয়নিক গুণফল

১৩। স্পর্শ পদ্ধতিতে H_2SO_4 উৎপাদনে নিচের কোন প্রভাবক ব্যবহৃত হয়? [ঢা. বো. ২০১৬]

(ক) Fe (খ) Ni (গ) Al_2O_3 (ঘ) V_2O_5

১৪। $2AB_2 + B_2 \overset{\Delta}{\rightleftharpoons} 2AB_3$; $\Delta H = 192.46$ 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

১৫। $A_2(g) + 3B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_3(g)$ বিক্রিয়াটিতে K_p ও K_c এর সম্পর্ক কোনটি? [সি. বো. ২০১৬; দি. বো. ১৬]

(ক) $K_c = K_p(RT)^2$ (খ) $K_p = K_c(RT)^{-2}$ (গ) $K_c = K_p(RT)^{-2}$ (ঘ) $K_c = K_p$

১৬। $A + B \rightleftharpoons 3D$ 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) $K_c = K_p(RT)^2$

১৭। $N_2(g) + 3H_2(g) = 2NH_3(g)$ বিক্রিয়াটিতে K_p ও K_c এর মধ্যে সম্পর্ক কোনটি? [কু. বো. ২০১৫]

(ক) $K_p = K_c(RT)^2$ (খ) $K_p = K_c(RT)$ (গ) $K_p = K_c(RT)^{-2}$ (ঘ) $K_c = K_p(RT)$

১৮। $CaCO_3(s) \overset{\Delta}{\rightleftharpoons} CaO(s) + CO_2(g)$; বিক্রিয়াটির K_c এর রাশিমালা কোনটি? [রা. বো. ২০১৬]

(ক) $K_c = \frac{[CaO]}{[CaCO_3]}$ (খ) $K_c = \frac{[CaO] \times [CO_2]}{[CaCO_3]}$ (গ) $K_c = [CO_2]$ (ঘ) $K_c = [CaO]$

১৯। $COCl_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + Cl2(g)$ বিক্রিয়াটির K_p-এর একক কোনটি? [চ. বো. ২০১৫]

(ক) এককবিহীন (খ) atm^2 (গ) atm^{-1} (ঘ) atm^{-2}

[দ্রষ্টব্য : K_p, K_c, K_w, K_a, K_b ইত্যাদি সাম্যধ্রুবকের কোনো একক থাকে না।]

২০। $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$; এ বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক K_1 হলে নিম্নোক্ত সমীকরণ মতে বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবক K_2 এর সম্পর্ক কী হবে? $\frac{1}{2} N_2(g) + \frac{3}{2} H_2 \rightleftharpoons NH_3(g)$ [রা. বো. ২০১৭]

(ক) $K_2 = \frac{1}{\sqrt{K_1}}$ (খ) $K_2 = K_1$ (গ) $K_2 = \sqrt{K_1}$ (ঘ) $K_2 = \frac{1}{2} K_1$

২১। $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) + 44.8$ kcal (বা, 4.184×44.8 kJ); এ বিক্রিয়াটিতে তাপমাত্রা বাড়ালে কীরূপ পরিবর্তন ঘটে? [সি. বো. ২০১৭]

(ক) SO_3 এর উৎপাদন হ্রাস পায় (খ) বিক্রিয়াটি সম্মুখমুখী হয়

(গ) তরল SO_3 উৎপন্ন হয় (ঘ) O_2 এর পরিমাণ হ্রাস পায়

২২। 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

২৩। N_2O_4 g $\rightleftharpoons 2NO_2$ g; 25°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 (খ) 0.139 (গ) 0.145 (ঘ) 0.126

২৪। হেবার পদ্ধতিতে NH_3 উৎপাদনে কোন প্রভাবকটি ব্যবহৃত হয়? [কু. বো. ২০১৭]

(ক) Mo (খ) Fe (গ) Ni (ঘ) Cr

২৫। অম্লীয় $KMnO_4$ এবং অক্সালিক এসিড দ্রবণের রিডক্স বিক্রিয়ায় কোনটি অটো-প্রভাবকরূপে কাজ করে? [রা. বো. ২০১৭]

(ক) MnO_4^- (খ) Mn^{2+} (গ) CrO_4^{2-} (ঘ) K^+

২৬। নিচের কোনটি অধিক তীব্র বা, শক্তিশালী এসিড? [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮; রা. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৬]

(ক) HNO_3 (খ) H_3PO_4 (গ) $HClO_4$ (ঘ) H_2SO_4

২৭। নিচের কোনটি দুর্বলতম এসিড? [য. বো. ২০১৭]

(ক) $HMnO_4$ (খ) H_2SO_4 (গ) $HClO_4$ (ঘ) HNO_3

২৮। কোনটি অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক যুগল? [য. বো. ২০১৭]

(ক) HCl, NaOH (খ) H_3O^+, H_2O (গ) O_2, H_2O (ঘ) H^+, Cl^-

২৯। H_3PO_2 এর ক্ষারকত্ব কত? [দি. বো. ২০১৭]

(ক) 1 (খ) 2 (গ) 3 (ঘ) 4

৩০। Al_2O_3 এর অম্লত্ব নিচের কোনটি সঠিক? [চ. বো. ২০১৯; য. বো. ২০১৫]

(ক) 2 (খ) 3 (গ) 5 (ঘ) 6

৩১। NH_3 যৌগের অনুবন্ধী অম্ল কোনটি? [রা. বো. ২০১৬]

(ক) NH_4^+ (খ) NH_2^- (গ) NH_4OH (ঘ) NH^{2-}

৩২। HSO_4^- এর অনুবন্ধী এসিড কোনটি? [চ. বো. ২০১৫; য. বো. ২০১৬; ব. বো. ২০১৬]

(ক) H_2SO_4 (খ) H_2SO_3 (গ) SO_4^{2-} (ঘ) HSO_3^-

৩৩। HSO_4^- আয়নের অনুবন্ধী ক্ষারক কোনটি? [য. বো. ২০১৫]

(ক) H^+ (খ) H_2SO_4 (গ) SO_4^{2-} (ঘ) SO_3^{2-}

৩৪। নিচের কোনটি উভধর্মী? [সি. বো. ২০১৫]
(ক) NH_3 (খ) HCO_3^- (গ) H_3O^+ (ঘ) CO_3^{2-}

৩৫। নিচের কোনটি উভধর্মী যৌগ?
(ক) NH_3 (খ) HCl (গ) H_2O (ঘ) H_2SO_4

৩৬। কোনটি অ্যাম্পিপ্রোটিক প্রজাতি?
(ক) H_3PO_4 (খ) H_3O^+ (গ) H_2SO_4 (ঘ) HSO_4^-

৩৭। .05M H_2SO_4 দ্রবণের pH কত? [চ. বো. ২০১৫; কু. বো. ২০১৫; য. বো. ২০১৬]
(ক) 1 (খ) 1.88 (গ) 2.3 (ঘ) 3.5

৩৮। .005M দ্বিক্ষারকীয় সবল এসিডের pH কত? [চ. বো. ২০১৬]
(ক) 1.0 (খ) 1.5 (গ) 2.0 (ঘ) 2.5

৩৯। .005M H_2SO_4 দ্রবণের pH কত? [রা. বো. ২০১৫; সি. বো. ২০১৬; ঢা. বো. ২০১৯]
(ক) 1.5 (খ) 2.0 (গ) 2.3 (ঘ) 3.0

৪০। 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

৪১। নিচের কোন pH মানের দ্রবণটিতে H^+ এর ঘনমাত্রা বেশি? [ঢা. বো. ২০১৫]
(ক) 9.5 (খ) 7.4 (গ) 5.5 (ঘ) 2.3

৪২। বিশুদ্ধ পানিতে (H^+) এর মান কত?
(ক) 10^6 mol/L (খ) 10^{-4} mol/L (গ) 10^{-7} mol/L (ঘ) 10^7 mol/L

৪৩। 5°C তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানির pH কত? [চ. বো. ২০১৬]
(ক) 0 (শূন্য) (খ) > 7 (গ) 7 (ঘ) < 7

৪৪। CH_3COOH এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ হলে 0.1M CH_3COOH দ্রবণের pH কত? [ব. বো. ২০১৬]
(ক) 1 (খ) 5.78 (গ) 3.37 (ঘ) 2.87

৪৫। '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

৪৬। .1M HCl এর pOH এর মান কত?
(ক) 1 (খ) 14 (গ) 2 (ঘ) 13

৪৭। 2.5% NaOH দ্রবণের pH মান কত? [রা. বো. ২০১৬]
(ক) 12.51 (খ) 13.51 (গ) 14.51 (ঘ) 15.51

৪৮। % NaOH দ্রবণের pH কত? [দি. বো. ২০১৫]
(ক) 0.6 (খ) 1.0 (গ) 13.0 (ঘ) 13.4

৪৯। সমিমোলার NaOH দ্রবণের pOH কত? [ঢা. বো. ২০১৬]
(ক) 0.03 (খ) 0.20 (গ) 0.30 (ঘ) 0.50

৫০। কোনো দ্রবণের OH^- আয়নের ঘনমাত্রা 3.5×10^{-4} M হলে এর pH কত? [ব. বো. ২০১৫]
(ক) 3.55 (খ) 13.55 (গ) 12.55 (ঘ) 10.54

৫১। একটি দ্রবণের p^H হলো 6। ঐ দ্রবণে আরো HCl দ্রবণ যোগ করে দ্রবণের $p^H = 3$ করা হলো। শেষ দ্রবণে H^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত বৃদ্ধি ঘটেছে? [মেডিকেল: ২০১৬]
(ক) 10^2 times (খ) 10^3 times (গ) 10^{-3} times (ঘ) 10^{-2} times

৫২। 10^{-9}M NaOH এর p^H এর মান নিচের কোন্‌টির নিকটতম হবে?
(ক) 10 (খ) 7 (গ) 5 (ঘ) – 10

৫৩। 0.01M NaOH দ্রবণের pH কত?
(ক) 1 (খ) 2 (গ) 12 (ঘ) 13

৫৪। 20 mL 1.5 M NaOH দ্রবণ ও 1.5 mL 2.0 M NaOH দ্রবণ মিশ্রিত করলে মিশ্রণের ঘনমাত্রা কত? [ঢা. বো. ২০১৬]
(ক) 1.5 M (খ) 1.65 M (গ) 1.71 M (ঘ) 1.78 M

৫৫। একটি দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়নের মোলার ঘনমাত্রা 1×10^{-9} হলে, হাইড্রোক্সিল আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত হবে? [কু. বো. ২০১৫]
(ক) 1×10^{-3} (খ) 1×10^{-4} (গ) 1×10^{-5} (ঘ) 1×10^{-6}

৫৬। 25°C-এ বা কক্ষতাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানির আয়নিক গুণফল কত? [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮; চ. বো. ২০১৫]
(ক) 10^{-14} (খ) 10^{-7} (গ) 10^7 (ঘ) 10^{14}

৫৭। $FeCl_3$ এর জলীয় দ্রবণের pH কত হবে? [ব. বো. ২০১৫]
(ক) > 7 (খ) < 7 (গ) = 7 (ঘ) 0

৫৮। 2% (w/v) Na_2CO_3 দ্রবণের pH কত?
(ক) 13.3 (খ) 13.6 (গ) 14.6 (ঘ) 14

৫৯। মানুষের রক্তের pH রেঞ্জ কত? [য. বো. ২০১৬]
(ক) 1.0–2.0 (খ) 4.8–7.5 (গ) 6.4–6.9 (ঘ) 7.35–7.45

৬০। মানুষের রক্তের স্বাভাবিক pH কত? [ঢা. বো. ২০১৬; চ. বো. ২০১৬; দি. বো. ২০১৬]
(ক) 9.4 (খ) 8.3 (গ) 7.4 (ঘ) 6.4

৬১। মানুষের রক্তের pH 7.45 এর বেশি হলে, রোগটির নাম কী? [রা. বো. ২০১৫]
(ক) ইন্টারভেনোসিস (খ) অ্যাসিডোসিস (গ) অ্যালকালিসিস (ঘ) অ্যাসিনোকোসিস

৬২। জীবতাত্ত্বিক (Biological) pH রেঞ্জ কোনটি?
(ক) 6–9 (খ) 6.9–7.1 (গ) 6.4–7.9 (ঘ) 6.9–7.4

৬৩। মানুষের চোখের পানির pH কত?
(ক) 7.4 (খ) 4.8–7.5 (গ) 1.4–2.0 (ঘ) 6.6–6.9

৬৪। পাকস্থলীর পাচক রসের pH = 4.74 হলে H^+ আয়নের ঘনমাত্রা কত?
(ক) 1.4 M (খ) 0.398 M (গ) 0.0398 M (ঘ) 0.000018 M

৬৫। অম্লীয় মাটিতে pH বৃদ্ধির জন্য নিচের কোন্‌ রসায়নিক পদার্থ ব্যবহার করে থাকে? [ব. বো. ২০১৯]
(ক) ইউরিয়া সার (খ) এমওপি সার (গ) ডলোমাইট, চুন (ঘ) জৈব সার

৬৬। মাটির pH মান কমানোর জন্য কোনটি ব্যবহৃত হয়? [সি. বো. ২০১৫]
(ক) $CaCO_3$,$MgCO_3$ (খ) $(NH_4)_2CO_3$ (গ) $(NH_4)_2HPO_4$ (ঘ) CaO

৬৭। 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 $NaOH$

৬৮। নিচের কোন্টি 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 $NaCl$

৬৯। মানব রক্তে কোন্ বাফার দ্রবণ বিদ্যমান? [সি. বো. ২০১৬; ব. বো. ২০১৫]

ক) $NaHCO_3 + H_2CO_3$ (খ) $CH_3COONa + CH_3COOH$

গ) $Na_2HPO_4 + H_3PO_4$ (ঘ) $NH_4Cl + NH_4OH$

৭০। কোনো বাফার দ্রবণে সমঘনমাত্রার X^- ও HX আছে। HX এর $K_a = 10^{-8}$ হলে বাফার দ্রবণটির p^H হবে কত?

(ক) 3 (খ) 8 (গ) 11 (ঘ) 14

৭১। অম্লীয় বাফার দ্রবণের pH নির্ণয়ের সমীকরণ হলো কোনটি? [য. বো. ২০১৬]

(ক) $pH = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$ (খ) $pH = pK_a + \log \frac{[\text{অম্ল}]}{[\text{লবণ}]}$

(গ) $pH = pK_a - \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$ (ঘ) $pH = pK_a - \log \frac{[\text{অম্ল}]}{[\text{লবণ}]}$

৭২। 1 mol C_2H_5OH-এর পূর্ণ দহনে কত মোল CO_2 উৎপন্ন হয়? [চ. বো. ২০১৫]

(ক) 1 mol (খ) 2 mol (গ) 3 mol (ঘ) 4 mol

৭৩। নিচের কোনটির মান সর্বদা ঋণাত্মক? [য. বো. ২০১৫]

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

৭৪। কোন পরিবর্তনটি তাপোৎপাদী? [দি. বো. ২০১৫]

(ক) $H_2O(l) \rightarrow H_2O(g)$ (খ) $H_2O(g) \rightarrow H_2O(l)$ (গ) $H_2O(s) \rightarrow H_2O(l)$ (ঘ) $H_2O(s) \rightarrow H_2O(g)$

৭৫। নিচের কোনটি অদাহ্য পদার্থ? [দি. বো. ২০১৫]

(ক) বেনজিন (খ) নাইট্রোজেন (গ) ইথার (ঘ) হাইড্রোজেন

৭৬। $Cl(g) + e^- \rightarrow Cl^-$; $\Delta H = -362\ kJmol^{-1}$; ΔH কে কী বলা হয়? [রা. বো. ২০১৫]

(ক) সক্রিয়ণ শক্তি (খ) সংগঠন তাপ (গ) বিক্রিয়া তাপ (ঘ) ইলেকট্রন আসক্তি

৭৭। তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারকের প্রশমন তাপ কত? [ঢা. বো. ২০১৫; চ. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৫]

(ক) –57.34 kJ/mol (খ) –55.26 kJ/mol (গ) –66.8 kJ/mol (ঘ) –12.6 kJ/mol

৭৮। C–H, Cl–Cl, C–Cl ও H–Cl এর বন্ধনশক্তি যথাক্রমে 413, 242, 328 ও 433 $kJmol^{-1}$ হলে $CH_4 + 2Cl_2 \longrightarrow CH_2Cl_2 + 2HCl$ এর বিক্রিয়া তাপ $\Delta H = ?$ [ব. বো. ২০১৬]

(ক) –212 kJ (খ) +212 kJ (গ) +122 kJ (ঘ) –122 kJ

*** বিভিন্ন বিশ্ববিদ্যালয়, বুয়েট ও মেডিকেলে ভর্তি পরীক্ষায় MCQ's :**

৭৯। নিচের কোন জলীয় দ্রবণটির pH মান সবচেয়ে বেশি? [ঢা. বি. ২০১৭]

(ক) 0.1M NH_3 (খ) 0.1M $NaOH$ (গ) 0.1M NH_4Cl (ঘ) 0.1M CH_3COONa

৮০। নিচের কোনটি সঠিক নয়? [ঢা. বি. ২০১৭]

(ক) 10^{-2}M HCl দ্রবণের pH = 2 (খ) 0.01M Na_2CO_3 দ্রবণের pH 7 থেকে বেশি

(গ) 0.01M NaOH দ্রবণের pH = 12 (ঘ) 10^{-9}M HCl দ্রবণের pH = 9

৮১। $Ba(OH)_2(aq) + 2HCl(aq) \rightarrow BaCl_2(aq) + 2H_2O(l)$; এ বিক্রিয়ার প্রশমন এনথালপি –57.0 $kJmol^{-1}$ হলে বিক্রিয়াটির এনথালপি পরিবর্তন কত? [ঢা. বি. ২০১৭]

(ক) – 28.5 kJ (খ) – 57.0 kJ (গ) + 57.0 kJ (ঘ) – 114.0 kJ

৮২। নিচের কোন যৌগকে কোনো pH 7.4 যুক্ত দ্রবণে যোগ করলে এর pH মান কমবে? [মেডিকেল ২০১৭]

(ক) C_2H_5OH (খ) C_3H_6O (গ) CH_3COOH (ঘ) C_6H_6

৮৩। নিচের কোনটি HCl এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক (25°C-এ)? [জা. বি. ২০১৬]

(ক) 2.5×10^7 (খ) 3.0×10^{-2} (গ) 1.4×10^{-2} (ঘ) 7.3×10^{-3}

৮৪। কোন্ নিয়ামক দ্বারা বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক ও বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক উভয়েই প্রভাবিত হয়? [ঢা. বি. ২০১৬; বুয়েট: ২০১৬]

(ক) প্রভাবক (খ) তাপমাত্রা (গ) চাপমাত্রা (ঘ) সব কয়টি

৮৫। দুর্বল এসিড HX ও NaOH এর বিক্রিয়া, $HX(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaX(aq) + H_2O(l)$; এক্ষেত্রে NaX এর জলীয় দ্রবণে সম্ভাব্য pH হবে কোনটি? [ঢা. বি. ২০১৬]

(ক) 5.5 (খ) 7.0 (গ) 8.5 (ঘ) 3.0

৮৬। রক্তের বাইকার্বনেট বাফারের pH মান 7.4 হলে ঐ বাফারে বাইকার্বনেট ও কার্বনিক এসিডের অনুপাত কত? [রা. বি. ২০১৬]

(ক) 1 : 10 (খ) 2 : 5 (গ) 1 : 25 (ঘ) 20 : 1

৮৭। মানবদেহের রক্তে কোন বাফারটি pH নিয়ন্ত্রণ করে না? [মেডিকেল: ২০১৬]

(ক) ফসফেট বাফার (খ) বাইকার্বনেট বাফার (গ) অ্যাসিটেট বাফার (ঘ) প্রোটিন বাফার

৮৮। কোনো দ্রবণের pH = 8.45 হলে ঐ দ্রবণে H^+ আয়নের ঘনমাত্রা কত? [জা. বি. ২০১৬]

(ক) 5.0×10^{-4} M (খ) 3.55×10^{-9} M (গ) 1.82×10^{-3} M (ঘ) 9.25×10^{-1} M

৮৯। কোনটির জলীয় দ্রবণে হাইড্রোনিয়াম আয়নের ঘনমাত্রা সর্বাধিক? [জা. বি. ২০১৬]

(ক) HCl (pH = 1) (খ) HA (pH = 0.1) (গ) H_2SO_4 (pH = 4) (ঘ) HNO_3 (pH = 1.5)

৯০। 1% HCl দ্রবণের pH কত? [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]

(ক) 0.56 (খ) 1.0 (গ) 2.6 (ঘ) 5.6

৯১। NaOH এর সাথে নিচের কোন এসিডটির প্রশমন তাপ সর্বাধিক? [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]

(ক) HNO_3 (খ) HF (গ) HCl (ঘ) H_2SO_4

৯২। নিচের বিক্রিয়ায় মূল যৌগের এটম ইকনোমি কত? [চ. বো. ২০১৯]

$CH_3CH_2OH + CH_3COOH \rightarrow CH_3COO.C_2H_5 + H_2O$

(ক) 65% (খ) 78% (গ) 83% (ঘ) 100%

৯৩। নিচের বিক্রিয়াটিতে প্রশমন তাপের মান কত? [ঢা. বো. ২০১৯]

$CH_3COOH\ (aq) + NH_4OH\ (aq) \rightarrow CH_3COONH_4\ (aq) + H_2O\ (l)$

(ক) – 68.0 $kJmol^{-1}$ (খ) – 57.3 $kJmol^{-1}$ (গ) – 55.2 $kJmol^{-1}$ (ঘ) – 50.4 $kJmol^{-1}$

৯৪। নিচে। কোনটিতে অক্সিজেনের জারণ সংখ্যা $-\frac{1}{2}$ হয়েছে? [ঢা. বো. ২০১৯]

(ক) Na_2O_2 (খ) H_2O_2 (গ) K_2O (ঘ) KO_2

৯৫। সবচে য়ে দুর্বল এসিড কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৯]

(ক) H_3BO_3 (খ) HNO_3 (গ) H_3PO_3 (ঘ) $HClO_2$

৯৬। SO_2 এর ক্ষারকত্ব কত? [ঢা. বো. ২০১৯]

(ক) 2 (খ) 3 (গ) 4 (ঘ) 5

৯৭। কোন্ট বাফার দ্রবণ? [র. বো. ২০১৯]

(ক) দুধ (খ) মধু (গ) রক্ত (ঘ) সেলাইন দ্রবণ

৯৮। নিচে কোনটির বিক্রিয়া তাপ অধিক? [রা. বো. ২০১৯]

(ক) $(NaOH + CH_3COOH)$ (খ) $(NaOH + HCl)$

(গ) $(NaOH + HF)$ (ঘ) $(NaOH + HNO_3)$

৯৯। নিচে কোন প্রশমন বিক্রিয়ায় প্রশমন তাপ সবচেয়ে কম? [কু. বো. ২০১৯]

(ক) $(HCl + NaOH)$ (খ) $(CH_3COOH + NaOH)$

(গ) $(HF + NaOH)$ (ঘ) $(HCOOH + NH_4OH)$

১০০। কোন প্রক্রিয়াটি তাপোৎপাদী? [দি. বো. ২০১৯]

(ক) বন্ধন বিয়োজন (খ) বাষ্পীভবন (গ) গলন (ঘ) ঘনীভবন

❑ **বহুপদি সমাপ্তিসূচক প্রশ্ন :**

১০১। বিক্রিয়ার হার বলতে বোঝায়— [ব. বো. ২০১৭]

i. বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হ্রাসের হার ii. প্রভাবকের পরিমাণ বৃদ্ধির হার iii. উৎপাদের ঘনমাত্রা বৃদ্ধির হার

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১০২। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি পায়; কারণ— [কু. বো. ২০১৭; সি. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৫]

i. বিক্রিয়কসমূহের সংঘর্ষ সংখ্যা বাড়ে ii. বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি কমে iii. বিক্রিয়কসমূহের গতিশক্তি বাড়ে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১০৩। বিক্রিয়ার হারের ওপর প্রভাব সৃষ্টিকারী নিয়ামক হলো—

i. তাপমাত্রা ii. চাপ iii. বিক্রিয়কের পৃষ্ঠতল

কোন্ কোন্টি হেবার পদ্ধতিতে NH_3 উৎপাদনে কার্যকরী?

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

১০৪। $aA + dD \rightleftharpoons mM$ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার হার হলো— [চ. বো. ২০১৬]

i. $-\frac{1}{a} \cdot \frac{\Delta[A]}{\Delta t}$ ii. $-\frac{1}{d} \cdot \frac{\Delta D}{\Delta t}$ iii. $-\frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta M}{\Delta t}$

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১০৫। প্রভাবক কোনো বিক্রিয়ায়— [রা. বো. ২০১৫]

i. বিক্রিয়ক অণুর গতিশক্তি বৃদ্ধি করে ii. সক্রিয়ণ শক্তি হ্রাস করে iii. বিক্রিয়ক অণু অধিশোষিত হয়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১০৬। সক্রিয়ণ শক্তি বৃদ্ধিতে— [রা. বো. ২০১৫]

i. সংঘর্ষ সংখ্যা বৃদ্ধি পায় 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

১০৭। $A_2(g) + 3B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_3(g); \Delta H = -ve$

এ বিক্রিয়ায় AB_3 এর উৎপাদন বৃদ্ধি পাবে; যদি— [ব. বো. ২০১৬]

i. তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা হয় ii. চাপ বৃদ্ধি করা হয় iii. পাত্র থেকে AB_3 কে অপসারণ করা হয়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১০৮। 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

নিচের কোন্‌টি সঠিক?

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

১০৯। $2SO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{NO(g)} 2SO_3(g)$; 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

১১০। সাম্যাবস্থায় কোনো বিক্রিয়া— [রা. বো. ২০১৫]

i. সিস্টেম অপরিবর্তনে কখনো শেষ হয় না ii. সর্বদা গতিশীল iii. উৎপাদ উৎপন্ন হয় না

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১১১। বিক্রিয়ায় আয়তনের সংকোচন ঘটে— [সি. বো. ২০১৫]

i. $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ ii. $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

iii. $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১১২। রাসায়নিক সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়কের 'সক্রিয় ভর' বলতে 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

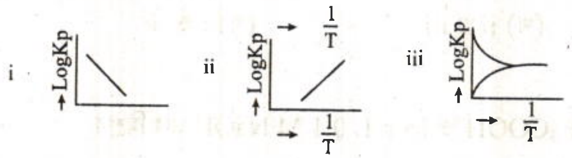
১১৩। সক্রিয় ভর বলতে বোঝায়— [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮; কু. বো. ২০১৭]
i. আংশিক চাপ ii. আণবিক ভর iii. মোলার ঘনমাত্রা
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) ii ও iii

১১৪। স্থির তাপমাত্রায়, আয়তন পরিবর্তন নিচের কোন বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় প্রভাব সৃষ্টি করে— [য. বো. ২০১৭]
i. $C_2H_4(g) + H_2(g) \rightleftharpoons C_2H_6(g)$ ii. $4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g) + 6H_2O(l)$
iii. $SO_3(g) + NO(g) \rightleftharpoons NO_2(g) + SO_2(g)$
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১১৫। তাপোৎপাদী বিক্রিয়া হলো— [ঢা. বো. ২০১৫]
i. A + B + তাপ $\rightarrow$ উৎপাদ ii. L + M $\rightarrow$ উৎপাদ + তাপ iii. X + Y $\rightarrow$ উৎপাদ; $\Delta H = -ve$
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১১৬। $A_2(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g); \Delta H = +ve$ [সি. বো. ২০১৬; কু. বো. ২০১৫]
i. বিক্রিয়াটি তাপহারী ii. সাম্যধ্রুবক K_p ও K_c এর মান সমান iii. সাম্যাবস্থার ওপর চাপের প্রভাব নেই
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১১৭। সাম্যাঙ্ক (K_p)-এর ওপর 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

১১৮। হ্যান্ডারসন-হ্যাসেলবাখ সমীকরণ ব্যবহৃত হয়— [রা. বো. ২০১৭]
i. বাফার দ্রবণের pH গণনায় ii. অম্লের বিয়োজন ধ্রুবক নির্ণয়ে iii. জ্ঞাত pH এর বাফার দ্রবণ তৈরি করতে
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১১৯। দেহের রক্তের pH অপরিবর্তিত রাখার জন্য যে বাফার সিস্টেম কাজ করে এতে থাকে— [সি. বো. ২০১৫]
i. হাইড্রোজেন আয়ন ii. হাইড্রক্সিল আয়ন iii. বাইকার্বনেট আয়ন

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১২০। জমির pH কমে গেলে (বা অম্লীয় জমির বেলায়) জমিতে ব্যবহৃত হয়— [রা. বো. ২০১৬]

i. চুন ii. ক্যালসিয়াম সার iii. ম্যাগনেসিয়াম সার

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১২১। HNO_3 ও H_3PO_4 এর ক্ষেত্রে— [রা. বো. ২০১৬]

i. N ও P এর জারণ মান সমান ii. N এর চেয়ে P এর চার্জ ঘনত্ব কম

iii. H_3PO_4 অপেক্ষা HNO_3 তীব্র এসিড

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১২২। $C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g), \Delta H = -393.5$ kJ

উপরোক্ত বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে প্রযোজ্য— [য. বো. ২০১৬]

i. এটি কার্বনের দহন বিক্রিয়া ii. CO_2 এর সংগঠন বিক্রিয়া iii. এটি একটি তাপোৎপাদী বিক্রিয়া

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১২৩। $P_2O_5 + H_2O \rightarrow X$; বিক্রিয়াটিতে X এর ক্ষেত্রে প্রযোজ্য— [ঢা. বো. ২০১৯]

i. ক্ষারকত্ব 3 ii. ক্ষারকত্ব 2 iii. পলিপ্রোটিক এসিড

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১২৪। বাফার দ্রবণ হলো— [দি. বো. ২০১৯]

i. 30 mL 0.1 M CH_3COOH ও 15 mL 0.1 M NaOH এর মিশ্রণ

ii. 30 mL 0.1 M CH_3COOH ও 30 mL 0.1 M NaOH এর মিশ্রণ

iii. 25 mL 0.1 M NH_4OH ও 15 mL 0.1 M HCl এর মিশ্রণ

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১২৫। বেগ ধ্রুবকের মান— [সি. বো. ২০১৯]

i. বিক্রিয়া ক্রমের ওপর নির্ভর ii. সক্রিয়ণ শক্তি নির্ভর iii. তাপমাত্রা নির্ভর

নিচের কোনটি সঠিক?

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

❑ **অভিন্ন তথ্যভিত্তিক প্রশ্ন :** [ঢা. বো. ২০১৫]

** নিচের উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং নিচের ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও।

$AB_3 (g) \rightleftharpoons AB (g) + B_2 (g); \Delta H = + x, kJ$

বিক্রিয়াটি 2 লিটার একটি পাত্রে সংঘটিত করা হয়। সাম্যাবস্থায় AB_3 এর বিযোজনের পরিমাণ 40%.

১৫১। বিক্রিয়াটিতে K_c এর মান কত?

(ক) 0.08 (খ) 0.008 (গ) 0.133 (ঘ) 3.133

১৫২। উদ্দীপকে উল্লিখিত বিক্রিয়ায় AB এর উৎপাদন বৃদ্ধিতে গৃহীত পদক্ষেপ—

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 লক্ষ্য করো এবং পরবর্তী দুটি প্রশ্নের উত্তর দাও : [দি. বো. ২০১৫]

$A_2 (g) + B_2 (g) \rightleftharpoons 2AB (g); \Delta H = + ve$

১৫৩। বিক্রিয়াটিতে চাপ বাড়ালে কী হবে?

(ক) উৎপাদের ঘনমাত্রা বাড়বে (খ) K_p এর মান বাড়বে

(গ) বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বাড়বে (ঘ) চাপের কোনো প্রভাব নেই

১৫৪। বিক্রিয়াটিতে তাপমাত্রা বাড়ালে—

i. K_p এর মান বাড়বে ii. সাম্যাবস্থার পরিবর্তন হবে না iii. সাম্যাবস্থা ডানদিকে সরে যাবে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

** উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং নিচের ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও : [য. বো. ২০১৫]

25°C তাপমাত্রায় 1.0 atm চাপে 80% PCl_5 বিযোজিত হয়ে PCl_3 এবং Cl_2 উৎপন্ন হয়।

১৫৫। এ বিক্রিয়ায় K_p এর মান কত?

(ক) 1.67 (খ) 1.70 (গ) 1.78 (ঘ) 1.90

১৫৬। যদি বিক্রিয়ায় Cl_2 যোগ করা হয়, তবে—

i. বিক্রিয়া সম্মুখ দিকে অগ্রসর হয় ii. বিক্রিয়া পশ্চাৎ দিকে অগ্রসর হবে iii. সাম্যাবস্থায় পরিবর্তন ঘটবে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

** উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং পরবর্তী ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও : [ঢা. বো. ২০১৭]

25°C তাপমাত্রায় 1.5 atm চাপে সাম্যাবস্থায় 15.6% PCl_5 বিযোজিত হয়। PCl_5 এবং Cl_2 গ্যাসের আংশিক চাপ যথাক্রমে 1.095 এবং 0.202 atm.

১৫৭। এ বিক্রিয়ায় K_p এর মান কত?

(ক) 2.74×10^{-2} (খ) 2.84×10^{-2} (গ) 3.74×10^{-2} (ঘ) 5.74×10^{-3}

১৫৮। উদ্দীপকের বিক্রিয়ায় যদি PCl_5 যোগ করা হয়, তবে— [দি. বো. ২০১৫]

i. বিক্রিয়া সম্মুখ দিকে অগ্রসর হবে ii. বিক্রিয়া পশ্চাৎ দিকে অগ্রসর হবে iii. সাম্যাবস্থায় পরিবর্তন ঘটবে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

** উদ্দীপকটি পড়ো এবং পরবর্তী ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও : [চ. বো. ২০১৭, ২০১৯]

V লিটার আয়তনের একটি বদ্ধপাত্রে ১ মোল N_2O_4 কে উত্তপ্ত করা হলে সাম্যাবস্থায় α মোল বিয়োজিত হয়। গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ P.

$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

১৫৯। সাম্যাবস্থায় NO_2 এর আংশিক চাপ কোনটি হবে?

(ক) $\frac{2\alpha p}{1-\alpha}$ (খ) $\frac{2\alpha \times p}{1+\alpha}$ (গ) $\frac{\alpha \times p}{1+\alpha}$ (ঘ) $\frac{\alpha \times p}{1-\alpha}$

১৬০। উদ্দীপকের বিক্রিয়ার জন্য—

i. $K_c = \frac{4\alpha^2}{(1-\alpha)V}$ ii. $K_p = \frac{4\alpha^2 p}{1-\alpha^2}$ iii. $K_p = \frac{(1-\alpha)p}{\alpha}$

নিচের কোনটি সঠিক?

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

** নিচের উদ্দীপকটি পড়ো এবং নিচের ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও। [ব. বো. ২০১৫]

$HA + H_2O \rightleftharpoons A^- + H_3O^+$

১৬১। বিক্রিয়াটিতে অনুবন্ধী অম্ল ক্ষারক যুগল কোনটি?

(ক) HA, H_2O (খ) HA, A^- (গ) A^-, H_3O^+ (ঘ) H_2O, A^-

১৬২। 1L আয়তনবিশিষ্ট পাত্রে সংঘটিত বিক্রিয়ায় অম্লের বিয়োজন মাত্রা 70% হলে, K_c এর মান কত?

(ক) 1.00 (খ) 1.30 (গ) 1.53 (ঘ) 1.63

** নিচের উভমুখী গ্যাসীয় বিক্রিয়াটি লক্ষ্য করে পরবর্তী ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও।

$$A_2(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g), \Delta H = +xkJ;$$

১৬৩। উদ্দীপকের বিক্রিয়াটিতে চাপের প্রভাব কীরূপ হবে?

(ক) চাপ বাড়ালে উৎপাদ বাড়ে (খ) চাপ কমালে উৎপাদ বাড়ে

(গ) চাপের প্রভাব নেই (ঘ) K_p বাড়বে

১৬৪। তাপমাত্রা বাড়ালে উদ্দীপকের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে—

i. সাম্যাবস্থা ঠিক থাকে ii. সাম্যধ্রুবকের মান বাড়বে iii. সাম্যাবস্থা ডানদিকে সরে যাবে

নিচের কোন্‌টি সঠিক?

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

** নিচের উদ্দীপক অনুসরণ করে পরবর্তী দুটি প্রশ্নের উত্তর দাও। [য. বো. ২০১৬]

$X_2(g) + 3Y_2(g) \rightleftharpoons 2XY_3(g), \Delta H = -ve$

১৬৫। সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়াটিতে X_2 গ্যাস যোগ করা হলে—

i. সাম্যের অবস্থান সম্মুখ দিকে সরে যায় ii. সাম্যাঙ্কের মান বৃদ্ধি পায় iii. উৎপাদের পরিমাণ হ্রাস পায়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৬৬। উদ্দীপকের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে K_p ও K_c এর মধ্যে সম্পর্ক হলো কোনটি?

(ক) $K_p = K_c$ (খ) $K_p = K_c (RT)^{-2}$ (গ) $K_c = K_p (RT)^{-2}$ (ঘ) $K_c = K_p (RT)^2$

* বদ্ধপাত্রে $CaCO_3$ নিম্নরূপে বিযোজিত হয়; $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$ উদ্দীপকভিত্তিক নিচের ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও। [দি. বো. ২০১৬]

১৬৭। বিক্রিয়াটিকে একমুখী করতে হলে—

(i) পাত্রের ঢাকনা খুলে দিতে হবে (ii) উৎপাদের মধ্যে NaOH যোগ করতে হবে

(iii) প্রভাবক যোগ করতে হবে

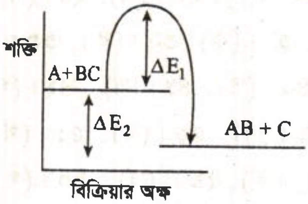
নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৬৮। উৎপাদ গ্যাসটির অক্সিজেন পরমাণুতে সৃষ্ট সংকরণ হলো কোনটি?

(ক) sp^3 (খ) sp^2 (গ) sp (ঘ) dsp^2

* নিচের উদ্দীপকটি পড়ো এবং নিচের ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও। [দি. বো. ২০১৫]



১৬৯। বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি কোনটি?

(ক) ΔE_1 (খ) ΔE_2 (গ) $\Delta E_1 + \Delta E_2$ (ঘ) $\Delta E_1 - \Delta E_2$

১৭০। উদ্দীপকের কতিপয় তথ্য নিম্নরূপ—

i. এনথালপির পরিবর্তন হলো ΔE_2 ii. বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী iii. বিক্রিয়কের শক্তি > উৎপাদের শক্তি

নিচের কোনটি সঠিক?

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

* নিচের উদ্দীপকভিত্তিক পরবর্তী ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও। [চ. বো. ২০১৯]

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

১৭১। বিক্রিয়াটির K_p এর একক কোনটি?

(ক) atm (খ) atm^{-1} (গ) atm^{-2} (ঘ) একক নেই

[বি. দ্র. : যেকোনো বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে ভর ক্রিয়ার সূত্রভিত্তিক K_c, K_p, K_a, K_b, K_w ইত্যাদি হলো এককবিহীন ধ্রুব রাশি, Thermodynamic standard state মতে। মূল পাঠ্যবইয়ের অনুচ্ছেদ-৪.৮ দেখো।]

১৭২। বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে কোনটি সঠিক হবে?

(ক) $K_p = K_c$ (খ) $K_p = K_c (RT)^{-2}$ (গ) $K_p = K_c (RT)^{-1}$ (ঘ) $K_c = K_p (RT)^{-2}$

** নিচের উদ্দীপকভিত্তিক পরবর্তী দুটি প্রশ্নের উত্তর দাও। [সি. বো. ২০১৯]

$2AB_2 (g) + B_2 (g) \rightleftharpoons 2AB_3;\ \Delta H = -ve$

১৭৩। উভমুখী তাপোৎপাদী এ বিক্রিয়াটিতে—

i. K_p এর একক atm ii. $K_c = K_p.RT$ iii. তাপমাত্রা পরিবর্তনে K_p এর মান পরিবর্তিত হয়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

১৭৪। এ বিক্রিয়াটিতে AB_3 (g) এর উৎপাদন বৃদ্ধি পাবে—

i. তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে ii. চাপ বৃদ্ধি করলে iii. বিক্রিয়া পাত্র থেকে AB_3 (g) অপসারণ করলে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

বিভিন্ন শ্রেণির বহুনির্বাচনি প্রশ্নের (MCQ's) উত্তরমালা

(১) **সাধারণ বহুনির্বাচনি প্রশ্ন :** ১।(খ), ২।(ক), ৩।(গ), ৪। (গ), ৫। (গ), ৬।(ক), ৭।(খ), ৮।(খ), ৯।(খ), ১০।(ঘ), ১১।(গ), ১২।(ঘ), ১৩।(ঘ), ১৪।(ক), ১৫।(খ), ১৬।(গ), ১৭।(গ), ১৮।(গ), ১৯। (ক), ২০।(গ), ২১।(ক), ২২।(ক), ২৩।(খ), ২৪।(খ), ২৫।(খ), ২৬।(গ), ২৭।(ঘ), ২৮। (খ), ২৯।(ক), ৩০।(ঘ), ৩১।(ক), ৩২।(ক), ৩৩।(গ), ৩৪।(খ), ৩৫।(গ), ৩৬।(ঘ), ৩৭।(ক), ৩৮।(গ), ৩৯।(খ), ৪০।(ঘ), ৪১।(ঘ), ৪২।(গ), ৪৩।(গ), ৪৪।(ঘ), ৪৫।(গ), ৪৬।(ঘ), ৪৭।(খ), ৪৮।(ঘ), ৪৯।(গ), ৫০।(ঘ), ৫১।(খ), ৫২।(গ), ৫৩।(গ), ৫৪।(গ), ৫৫।(গ), ৫৬।(ক), ৫৭।(খ), ৫৮।(ক), ৫৯। (ঘ), ৬০।(গ), ৬১। (গ), ৬২।(ঘ), ৬৩।(খ), ৬৪।(ঘ), ৬৫।(গ), ৬৬।(গ), ৬৭।(ঘ), ৬৮।(গ), ৬৯। (ক), ৭০।(খ), ৭১। (ক), ৭২।(খ), ৭৩।(ক), ৭৪। (খ), ৭৫। (খ), ৭৬। (গ), ৭৭।(ক), ৭৮।(ক), ৭৯।(খ), ৮০।(ঘ), ৮১।(ঘ), ৮২।(গ), ৮৩।(ক), ৮৪।(খ), ৮৫।(গ), ৮৬।(ঘ), ৮৭।(গ), ৮৮।(খ), ৮৯।(খ), ৯০।(ক), ৯১।(খ), ৯২।(গ), ৯৩।(ঘ), ৯৪।(ঘ), ৯৫।(ক), ৯৬।(ক), ৯৭।(গ), ৯৮।(গ), ৯৯।(ঘ), ১০০।(ঘ)।

(২) **বহুপদি সমাপ্তিসূচক প্রশ্ন :** ১০১।(গ), ১০২।(গ), ১০৩। (ঘ), ১০৪। (ক), ১০৫। (ঘ), ১০৬।(গ), ১০৭। (গ), ১০৮। (ঘ), ১০৯। (খ), ১১০। (ক), ১১১। (খ), ১১২। (খ), ১১৩। (গ), ১১৪।(ক), ১১৫।(গ), ১১৬। (ঘ), ১১৭। (ক), ১১৮। (গ), ১১৯। (খ), ১২০।(ঘ), ১২১।(ঘ), ১২২।(ঘ), ১২৩।(গ), ১২৪।(গ), ১২৫।(খ)।

(৩) **অভিন্ন তথ্যভিত্তিক প্রশ্ন :** ১৫১। (গ), ১৫২।(খ), ১৫৩। (ঘ), ১৫৪। (খ), ১৫৫। (গ), ১৫৬। (গ), ১৫৭। (গ), ১৫৮।(খ), ১৫৯। (খ), ১৬০।(ক), ১৬১।(খ), ১৬২। (ঘ), ১৬৩।(গ), ১৬৪।(গ), ১৬৫।(ক), ১৬৬।(খ), ১৬৭।(ক), ১৬৮।(গ), ১৬৯। (ক), ১৭০। (ঘ), ১৭১। (ঘ), ১৭২। (ক), ১৭৩।(খ), ১৭৪।(খ)।

ঘ-বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। গ্যাসীয় হাইড্রোজেন আয়োডাইডের বিয়োজনের ক্ষেত্রে নিচের মানগুলো পাওয়া গেল—

তাপমাত্রা	বিকিয়ার হার ধ্রুবক
283°C	$3.52 \times 10^{-7}\ mol^{-1}s^{-1}$
293°C	—
508°C	$3.95 \times 10^{-2}\ mol^{-1}s^{-1}$

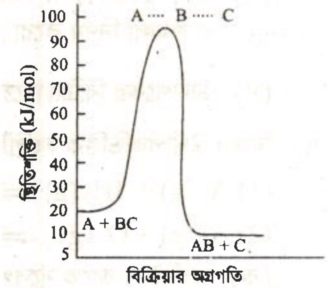
ক) হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণটি লেখ। ১

খ) রক্তের মূল বাফারিং সিস্টেমটির ব্যাখ্যা করো। ২

গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির K_c এর গাণিতিক রাশিমালা নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) প্রাপ্ত ডাটা থেকে গাণিতিক যুক্তি দিয়ে দেখাও, 10°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক এর মান দ্বিগুণ হয়েছে। ৪

২। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [দি. বো. ২০১৫]



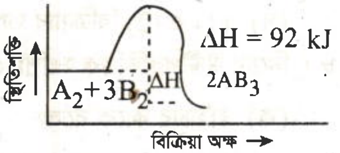
(ক) পোলারায়ন কী? ১

(খ) পানি একটি উভধর্মী পদার্থ—কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের লেখচিত্র হতে সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি ও বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের লেখচিত্র বিক্রিয়াটিতে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক প্রভাবক সংযোগ করলে বিক্রিয়ার হার কীভাবে প্রভাবিত হয়? ৪

৩। A_2 (g) ও B_2 (g) দুটি গ্যাস মিশ্রণ 500°C তাপমাত্রায় ও 50 atm চাপে বিক্রিয়া করে সাম্যাবস্থায় 25% AB_3 (g) উৎপন্ন করে এবং 92 kJ তাপ উৎপন্ন করে। [ঢা. বো. ২০১৫, ২০১৭; সি. বো. ২০১৭]



(ক) ভর ক্রিয়া সূত্রটি বর্ণনা করো। ১

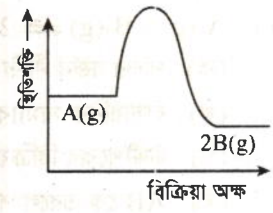
(খ) খাদ্য সংরক্ষণের ব্লাঞ্চিং কাকে বলে?—ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির K_p-এর মান নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) লা-শাতেলিয়ার নীতি প্রয়োগ করে কীভাবে সর্বোচ্চ পরিমাণ উৎপাদ উৎপন্ন করা যায় উদ্দীপকের আলোকে আলোচনা করো। ৪

৪। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [চ. বো. ২০১৯]

উদ্দীপক চিত্র মতে, 25°C তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে ‘A’ এর বিয়োজন মাত্রা হলো 20%।



(ক) হেসের সূত্রটি লেখ। ১

(খ) NH_4Cl এর জলীয় দ্রবণের pH < 7 হয় কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের আলোকে বিক্রিয়াটির K_p নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপক মতে, ‘B’ এর পরিমাণ বৃদ্ধি করতে তাপমাত্রা ও চাপের একত্রে কী ধরনের পরিবর্তন প্রয়োজন হবে; তা বিশ্লেষণ করো। ৪

৫। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ব. বো. ২০১৯]

ইথানল প্রস্তুতির ২টি পদ্ধতি নিম্নরূপ :

i) $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow[20°-25°C]{\text{জাইমেস}} 2C_2H_5OH + 2CO_2$

ii) $C_2H_5Br + KOH\ (aq) \xrightarrow{60°C} C_2H_5OH + KBr$

উদ্দীপকের ১ম অংশ

A_2 (g) + B_2 (g) $\rightleftharpoons$ 2AB (g); 450°C-এ 2L আয়তনের পাত্রে বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় মোট মোলের 10.5% AB রয়েছে।

উদ্দীপকের ২য় অংশ

(ক) গ্রিন কেমিস্ট্রি কাকে বলে? ১

(খ) KCl ও $CaCl_2$ এর মধ্যে কোনটি বেশি আয়নিক; তা ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের ২য় অংশের বিক্রিয়াটির K_c এর মান নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) ইথানল উৎপাদনে উদ্দীপকের কোন পদ্ধতিটি গ্রিন কেমিস্ট্রির সাথে অধিক সামঞ্জস্যপূর্ণ, তা বিশ্লেষণ করো। ৪

৬। (i) $A_2(g) + 3B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_3(g)$ + তাপ [ব. বো. ২০১৬]

(ii) $X_2(g) + Y_2(g) \rightleftharpoons 2XY(g)$ – তাপ

(ক) লা-শাতেলিয়ারের নীতি কী? ১

(খ) HNO_3 ও H_3PO_4 এর মধ্যে কোনটি অধিক শক্তিশালী এসিড তা ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের (i) নং বিক্রিয়ার জন্য a mol ও 3b mol বিক্রিয়ক বিক্রিয়ায় অংশ নেয়া সাপেক্ষে K_p-এর রাশিমালা নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াদ্বয়ের জন্য $\log K_p$ বনাম $\frac{1}{T}$ এর লেখচিত্র অঙ্কন করে এদের তাৎপর্য বিশ্লেষণ করো। ৪

৭। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [রা. বো. ২০১৭]

(1) $A_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2AH_3(g)$ + তাপ

(2) $A_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2AO_2(g)$ – তাপ

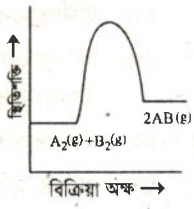
(ক) অরবিটাল কাকে বলে? ১

(খ) সকল 'd' ব্লক মৌল অবস্থান্তর মৌল নয়—ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) সাম্যাবস্থায় উদ্দীপকের বিক্রিয়া দুটিতে চাপের প্রভাব আলোচনা করো। ৩

(ঘ) (1) ও (2) বিক্রিয়ার তাপমাত্রা পরিবর্তনের সাথে সাম্যাঙ্ক K_p-এর পরিবর্তন লেখচিত্রের সাহায্যে দেখাও। ৪

৮। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [দি. বো. ২০১৯]



(ক) রাইডার কাকে বলে? ১

(খ) বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বৃদ্ধিতে বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি পায় কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবকের রাশিমালা প্রতিপাদন করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার ওপর চাপ ও তাপমাত্রার প্রভাব বিশ্লেষণ করো। ৪

৯। $A_2(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g); \Delta H = +q$ উক্ত বিক্রিয়ার আলোকে নিচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও : [চ. বো. ২০১৫]

(ক) পলির বর্জন নীতি কী? ১

(খ) রাসায়নিক সাম্যাবস্থা গতিশীল—ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির জন্য K_p ও K_c এর মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করো। ৩

(ঘ) AB কে তরলে পরিণত করা হলে বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থার ওপর কী প্রভাব পড়বে—বিশ্লেষণ করো। ৪

১০। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [সি. বো. ২০২৩]

$A_2(g) + 3B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_3(g); \quad \Delta H = -92.38$ kJ

(ক) ভরক্রিয়ার সূত্রটি লেখ। ১

(খ) ফ্লোরিন সবচেয়ে তড়িৎ-ঋণাত্মক মৌল কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির জন্য K_p এর রাশিমালা প্রতিষ্ঠা করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের বিক্রিয়ার উৎপাদের পরিমাণ লা-শাতেলিয়ার নীতি প্রয়োগ করে নিয়ন্ত্রণ করা যায়; বিশ্লেষণ করো। ৪

১১। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [রা. বো. ২০১৭]

(i) $A_2(g) + 3B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_3(g)$; $\Delta H = -$ ve

(ii) $PX_5(g) \rightleftharpoons PX_3(g) + X_2(g)$; $\Delta H = +$ ve

(ক) বাফার ক্রিয়া কী? ১

(খ) পানির আয়নিক গুণফল বলতে কী বোঝায়? ২

(গ) উদ্দীপকের (ii) নং সমীকরণের K_p-এর রাশিমালা নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াদ্বয়ের সাম্যধ্রুবকের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব লেখচিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা করো। ৪

১২। $A_2(g) + 3B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_3(g)$; $\Delta H = -$ ve [কু. বো. ২০২৩]

(ক) অবস্থান্তর মৌল কাকে বলে? ১

(খ) ফ্লোরিন সর্বাপেক্ষা তড়িৎ-ঋণাত্মক মৌল; ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির K_p এবং K_c এর মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থার ওপর চাপ ও তাপমাত্রার প্রভাব কার্যকর হবে কীনা; তা বিশ্লেষণ করো। ৪

১৩। নিচের উদ্দীপক মতে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [য. বো. ২০১৭]

$2N_2O_5(g) \rightleftharpoons 4NO_2(g) + O_2(g)$; $\Delta H = +$ ve; এ বিক্রিয়ায় উৎপন্ন O_2 এর ঘনমাত্রা সময়ের সাথে নিম্নরূপে পরিবর্তিত হয়—

সময় (সেকেন্ড)	ঘনমাত্রা ($mol\ dm^{-3}$)
500	0.22×10^{-2}
1,000	0.37×10^{-2}

(ক) আয়নিক গুণফল কী? ১

(খ) MgO অপেক্ষা Na_2O অধিক ক্ষারীয় কেন, ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) বিক্রিয়াটিতে অক্সিজেন উৎপন্ন হওয়ার হার নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) বিক্রিয়াটিতে সর্বোচ্চ উৎপাদ পাওয়ার কৌশল ব্যাখ্যা করো। ৪

১৪। $2A_2O_5(g) \rightleftharpoons 4AO_2(g) + O_2(g)$; $\Delta H = +$ve। [মা. বো. ২০২১; কু. বো. ২০১৫]

(ক) প্রভাবক বিষ কী? ১

(খ) সালফেট আয়নের শনাক্তকরণে $BaCl_2$ এর পরিবর্তে $Ba(NO_3)_2$ ব্যবহার উত্তম কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির K_p এর রাশিমালা প্রতিপাদন করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটিতে সর্বোচ্চ পরিমাণ উৎপাদ পাওয়ার কৌশল আলোচনা করো। ৪

১৫। $X_2Y_4(g) \rightleftharpoons 2XY_2$; $\Delta H = +$ ve (তাপহারী বিক্রিয়া)

27°C তাপমাত্রায় এবং 1 atm চাপে X_2Y_4 এর 20% বিয়োজন ঘটে। [চ. বো. ২০১৬]

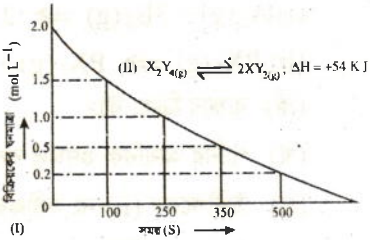
(ক) বিক্রিয়ার হার কী? ১

(খ) pH স্কেল 0 – 14 এর মধ্যে সীমাবদ্ধ কেন? ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) বিক্রিয়াটির K_p এ মান নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) X_2Y_4 এর বিয়োজন হ্রাস করতে কী কী পদক্ষেপ নেয়া যেতে পারে? তা বিশ্লেষণ করো। ৪

১৬। নিচের উদ্দীপক দুটি অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ব. বো. ২০১৭]



(ক) অবস্থান্তর মৌল কী? ১

(খ) জাল টাকা শনাক্তকরণে UV রশ্মির ব্যবহার ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) (I) নং উদ্দীপক অনুসারে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা 1.5 molL^{-1} হতে 0.5 molL^{-1} এ হ্রাস পেতে বিক্রিয়ার হার নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপক (II) এর বিক্রিয়াটি চাপ ও তাপমাত্রা দ্বারা প্রভাবিত হয় —ব্যাখ্যা করো। ৪

১৭। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ব. বো. ২০২৩]

$PCl_5 (g) \rightleftharpoons PCl_3 (g) + Cl_2 (g)$;

0.5 L আয়তনের পাত্রে 0.105 mol PCl_5 0.045 mol Cl_2 এবং 0.045 mol PCl_3 মিশ্রিত করা হলো। 250°C তাপমাত্রায় বিক্রিয়ার $K_c = 4.2 \times 10^{-2}$

(ক) রাসায়নিক বন্ধন কাকে বলে? ১

(খ) NH_4^+ আয়নে সন্নিবেশ বন্ধন ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) সাম্যমিশ্রণে PCl_5 এর ঘনমাত্রা 0.2065 molL^{-1} হলে অন্য দুটি উপাদানের ঘনমাত্রা নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটি কোন দিকে অগ্রসর হবে? বিশ্লেষণ করো। ৪

সংকেত : এ বইয়ের সমস্যা-৪.৩৬; শিক্ষার্থী নিজে করো-৪.৯ দেখো।

উত্তর : (গ) $[PCl_3] = [Cl_2] = 0.093$ M; (ঘ) সম্মুখ দিকে অগ্রসর]

১৮। $PCl_5 (g) \rightleftharpoons PCl_3 (g) + Cl_2 (g)$

25°C তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে 80% PCl_5 বিযোজিত হয়ে PCl_3 ও Cl_2 উৎপন্ন করে। [য. বো. ২০১৬]

(ক) pH কী? ১

(খ) তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ ধ্রুব হয়, এর ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়ায় K_p এর মান নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) বিক্রিয়াটিতে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে সাম্যধ্রুবকের মানের পরিবর্তন ঘটবে কি? যুক্তিসহ তা ব্যাখ্যা করো। ৪

১৯। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [মাদ্রাসা বো. ২০১৯; কু. বো. ২০১৭]

$PCl_5 (g) \rightleftharpoons PCl_3 (g) + Cl_2 (g), \Delta H = +$ Ve

PCl_5 বিক্রিয়কটি 30°C তাপমাত্রায় 1.5 atm চাপে 15% বিয়োজিত হয়।

(ক) আংশিক পাতন কী? ১

(খ) Zn কি অবস্থান্তর মৌল?—ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির K_p এর মান নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়াটিতে তাপ ও চাপের পরিবর্তন ঘটালে উৎপাদের পরিমাণের পরিবর্তন ঘটে কিনা? বিশ্লেষণ করো। ৪

২০। নিচের উদ্দীপক মতে, সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ঢা. বো. ২০১৯]

$MX_5(g) \overset{\Delta}{\rightleftharpoons} MX_3(g) + X_2(g)$ – তাপ; এক্ষেত্রে পাত্রের আয়তন 2.0 L এবং বিয়োজন মাত্রা 80% হয়।

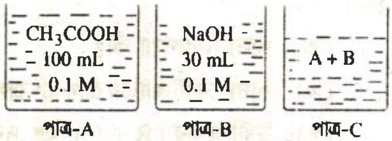
(ক) কিউরিং কাকে বলে? ১

(খ) $AlCl_3$ কক্ষতাপমাত্রায় ডাইমার গঠন করে কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির K_c এর মান নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের আলোকে কোন শর্তে অধিক পরিমাণ উৎপাদ পাওয়া যাবে? তা বিশ্লেষণ করো। ৪

২১। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [দি. বো. ২০১৬, ২০১৭; রা. বো. ২০১৭, ২০১৯; ব. বো. ২০১৭]



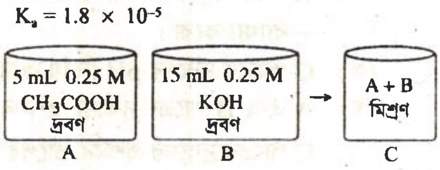
(ক) রাসায়নিক সাম্যাবস্থা কী? ১

(খ) $CaCO_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 8.7×10^{-9} বলতে কী বুঝ? ২

(গ) উদ্দীপকের 'A' পাত্রের দ্রবণের pH মান গণনা করো। $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের 'C' পাত্রের দ্রবণে সামান্য পরিমাণ সবল এসিড বা সবল ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে ঐ দ্রবণের pH মান কীভাবে অপরিবর্তিত থাকে, তা বিশ্লেষণ করো। ৪

২২। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [অভিন্ন বোর্ড (সেট-ক) ২০১৮]



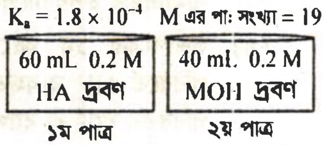
(ক) আয়নীকরণ বিভব কী? ১

(খ) F সর্বাধিক তড়িৎ-ঋণাত্মক মৌল; ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের 'A' পাত্রের দ্রবণের pH গণনা করো। ৩

(ঘ) C পাত্রের দ্রবণে সামান্য HCl দ্রবণ যোগ করলে ঐ দ্রবণের pH মানের কোনো পরিবর্তন ঘটবে কি? তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। [সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৩ দেখো] ৪

২৩। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ঢা. বো. ২০২৩]



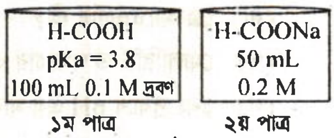
(ক) সবুজ রসায়ন কাকে বলে? ১

(খ) HNO_3 ও H_3PO_4 এর মধ্যে কোনটি অধিক শক্তিশালী এসিড? ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের ১ম পাত্রের দ্রবণের pH মান গণনা করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের ১ম ও ২য় পাত্রের দ্রবণের মিশ্রণে সামান্য ক্ষার যোগ করলে pH মানের পরিবর্তন হবে কি? বিশ্লেষণ করো। ৪

২৪। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [রা. বো. ২০২৩]



(ক) মৃৎক্ষার ধাতু কী? ১

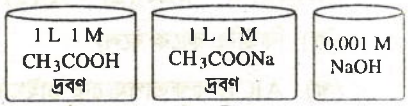
(খ) $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$ বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থার ওপর চাপের প্রভাব আছে কি? ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) ১ম পাত্রে বিদ্যমান দ্রবের বিয়োজন মাত্রা হিসাব করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের ১ম ও ২য় পাত্রের মিশ্রিত দ্রবণের মধ্যে সামান্য পরিমাণ তীব্র এসিড ও ক্ষার যোগ করলে কীরূপে pH এর মান অপরিবর্তিত থাকে? ব্যাখ্যা করো। ৪

২৫। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [মাদ্রাসা বোর্ড (সেট-খ) ২০১৮; অভিন্ন বোর্ড (সেট-খ) ২০১৮]

$[K_a = 1.8 \times 10^{-5}]$



A B C

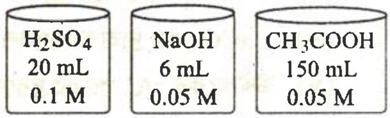
(ক) ভরক্রিয়ার সূত্রটি লেখ। ১

(খ) অবিশুদ্ধ বা ভেজাল মিশ্রিত NaCl থেকে বিশুদ্ধ NaCl এর কেলাস তৈরিতে গাঢ় HCl ব্যবহৃত হয় কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের 'C' পাত্রের দ্রবণের pH গণনা করো। ৩

(ঘ) পাত্র 'A' ও 'B' এর মিশ্র দ্রবণে সামান্য এসিড বা ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে ঐ মিশ্র দ্রবণের pH মানের কোনো পরিবর্তন ঘটবে কি? তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। ৪

২৬। [য. বো. ২০১৬; দি. বো. ২০১৭]



পাত্র-A পাত্র-B পাত্র-C

$K_a = 1.85 \times 10^{-5}$

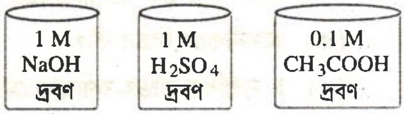
(ক) খাদ্য নিরাপত্তা কী? ১

(খ) খাদ্য কৌটাজাতকরণে এগজসটিং করা হয় কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের (B + C) মিশ্র দ্রবণের pH মান নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের (A + B) মিশ্র দ্রবণের প্রকৃতি কীরূপ হবে তা বিশ্লেষণ করো। ৪

২৭। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [সি. বো. ২০১৭]



A B C

CH_3COOH এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$

(ক) পিপেট কী? ১

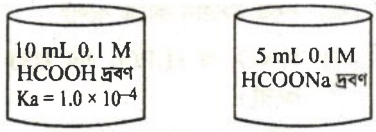
(খ) O_2 এর অণুতে সিগমা বন্ধন এবং পাই বন্ধন উভয়ই আছে —ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) C পাত্রের দ্রবণের pH নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) A এবং B পাত্রের দ্রবণের প্রশমন তাপের সাথে A এবং C পাত্রের দ্রবণের প্রশমন তাপের পার্থক্য বিশ্লেষণ করো। ৪

২৮। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ব. বো. ২০১৯]

$KOH + CH_3COOH \longrightarrow$ লবণ + পানি + 55.2 kJ



দ্রবণ-I দ্রবণ-II

(ক) অটো-প্রভাবক কাকে? ১

(খ) $AB_5\ (g) \rightleftharpoons AB_3\ (g) + B_2\ (g)$ এ বিক্রিয়ায় সাম্যাবস্থার ওপর চাপের প্রভাব ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের ১ম অংশের বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত অম্লের পরিবর্তে HF ব্যবহৃত হলে বিক্রিয়া তাপের কীরূপ পরিবর্তন ঘটে তা ব্যাখ্যা করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের দ্রবণ দুটির মিশ্রণের pH মানের সমান pH এর 1.0 লিটার HCl দ্রবণ কীভাবে প্রস্তুত করা যায়? তা বিশ্লেষণ করো। [সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৫ দেখো] ৪

২৯। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [রা. বো. ২০১৫]

চিত্র : ১নং দ্রবণ চিত্র : ২নং দ্রবণ

(ক) ক্রোমাটোগ্রাফি কী? ১

(খ) মোলারিটি তাপমাত্রার ওপর নির্ভরশীল কেন? ২

(গ) ১নং দ্রবণে pH এর মান কত? $(K_a = 1.8 \times 10^{-5})$ ৩

(ঘ) ১নং দ্রবণের মধ্যে ২নং দ্রবণ সম্পূর্ণরূপে মিশ্রিত করা হলো। উক্ত মিশ্রণের pH গণনার সমীকরণ যুক্তিসহ উপস্থাপন করো। ৪

৩০। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [চ. বো. ২০১৭]

$HA + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$; $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$

(ক) আল্‌ফা কণা কী? ১

(খ) HOCl একটি এসিড; ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) 0.1M ঘনমাত্রার HA দ্রবণের pH গণনা করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকে উল্লেখিত এসিডটি সহযোগে একটি বাফার দ্রবণ তৈরি করে এর বাফার ক্রিয়া ব্যাখ্যা করো। ৪

৩১। উদ্দীপক : মানবদেহের রক্তরসে বিদ্যমান এসিড ও এর লবণের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাত যথাক্রমে 0.06 ঃ 1.0 এবং রক্তের pH = 7.4। খাদ্যরূপে অম্লধর্মী ফলের রস এবং ওষুধরূপে ক্ষারধর্মী এন্টাসিড সিরাপ সেবনের পরও রক্তের pH মান সর্বদা স্থির থাকে। [য. বো. ২০১৯]

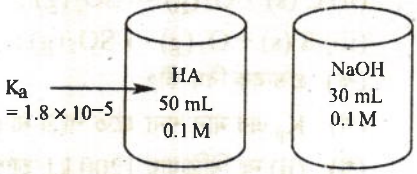
(ক) হুন্ডের নীতিটি লেখ। ১

(খ) Zn অবস্থান্তর মৌল নয় কেন? ২

(গ) উদ্দীপক অনুসারে রক্তরসে বিদ্যমান অম্লটির K_a এর মান নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের বর্ণনা মতে রক্তের pH মান স্থির থাকার কারণ বিশ্লেষণ করো। [সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭১ দেখো] ৪

৩২। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [চ. বো. ২০১৯]



(ক) বিক্রিয়ার হার কী? ১

(খ) অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্রটি ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের দ্রবণ দুটির প্রশমন এনথালপির মান ধ্রুবক মানের তুলনায় ভিন্ন কেন; ব্যাখ্যা করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের দ্রবণ দুটির মিশ্রণে (i) সামান্য পরিমাণ HCl ও (ii) বেশি পরিমাণে HCl যোগ করলে প্রতি ক্ষেত্রে pH মানের কোনো পরিবর্তন হবে কীনা; তা বিশ্লেষণ করো। ৪
সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৪ দেখো]

৩৩। পাশে দেয়া পর্যায় সারণির অংশবিশেষ অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [কু. বো. ২০১৫]

গ্রুপ / পর্যায়	1	17
১ম	A	
২য়		C
৩য়	B	D

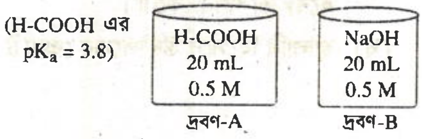
(ক) বাফার দ্রবণ কী? ১

(খ) NH_3 একটি লিগ্যান্ড, ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের AC যৌগে বিদ্যমান বন্ধনসমূহ ব্যাখ্যা করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের B মৌলের হাইড্রক্সাইডের সাথে AC ও AD যৌগের পূর্ণ বিক্রিয়ায় প্রশমন তাপ অভিন্ন কীনা ব্যাখ্যা করো। ৪

৩৪। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক প্রশ্নের উত্তর দাও। [সি. বো. ২০১৬]



(ক) বিক্রিয়ার হার কী? ১

(খ) F সর্বাধিক তড়িৎ-ঋণাত্মক মৌল; এর ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের 'দ্রবণ- A' এর pH মান গণনা করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের 'দ্রবণ-A' এর মধ্যে 'দ্রবণ-B' মিশ্রিত করলে প্রশমন তাপ স্থির থাকবে কীনা বিশ্লেষণ করো। ৪

৩৫। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [চ. বো. ২০১৭]

(i) $KOH + HNO_3 = KNO_3 + H_2O$

(ii) $NaOH + HF = NaF + H_2O$

(iii) $CH_3COOH + NaOH = CH_3COONa + H_2O$; $\Delta H = -54.32$ kJ/mol

(ক) পাই (π) বন্ধন কী? ১

(খ) ঘনমাত্রা বৃদ্ধিতে বিক্রিয়া হার বৃদ্ধি পায় কেন? ২

(গ) CH_3COOH এর বিয়োজন এনথালপি নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) (i) ও (ii) নং বিক্রিয়ার জন্য কোনটির বিক্রিয়া তাপ বেশি হবে—বিশ্লেষণ করো। ৪

৩৬। দু কার্বনবিশিষ্ট দুটি হাইড্রোকার্বন P ও Q যথাক্রমে sp^3 ও sp^2 সংকরণ দ্বারা গঠিত। এক্ষেত্রে Q যৌগ, CO_2 (g), H_2O (*l*) এর প্রমাণ সংগঠন তাপ যথাক্রমে –84, –93 এবং –220 $kJmol^{-1}$ হয়। হাইড্রোকার্বন P এর প্রমাণ দহন তাপ –1370 $kJmol^{-1}$। [চ. বো. ২০১৬]

(ক) হেসের সূত্রটি লেখ। ১

(খ) $HClO_4$ ও $HBrO_4$ এর মধ্যে কোন এসিডের তীব্রতা বেশি, তা ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) হাইড্রোকার্বন P এর প্রমাণ গঠন তাপ নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের P ও Q এর মধ্যে কোনটি উৎকৃষ্ট জ্বালানি হবে তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। ৪

৩৭। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [কু. বো. ২০১৭]

(i) $CS_2(s) + 3O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2SO_2(g)$; $\Delta H = -1109.2$ kJ

(ii) $C(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$; $\Delta H = -394.0$ kJ

(iii) $S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$; $\Delta H = +297.3$ kJ

(ক) প্রভাবক বিষ কী? ১

(খ) K_p এর মান শূন্য হতে পারে না কেন? ২

(গ) (ii) নং বিক্রিয়ায় 1200 kJ তাপ উৎপন্ন করতে STP তে কত লিটার অক্সিজেন প্রয়োজন? ৩

(ঘ) উদ্দীপক অনুযায়ী CS_2 এর গঠন বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী না তাপহারী—বিশ্লেষণ করো। ৪

৩৮। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [মা বো. ২০১৯]

জ্বালানি-১ : মিথেন + $2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$; $\Delta H = -890$ $kJmol^{-1}$

জ্বালানি-২ : ইথানল + $3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$

এখানে, C–H = 414 $kJmol^{-1}$; C–C = 344 $kJmol^{-1}$; C–O = 350 $kJmol^{-1}$;

O–H = 460 $kJmol^{-1}$; C=O $\rightarrow$ 724 $kJmol^{-1}$; O=O $\rightarrow$ 498 $kJmol^{-1}$.

(ক) পাউলির বর্জন নীতিটি লেখ। ১

(খ) CH_3COOH এবং NaOH এর প্রশমন তাপের মান স্থির মানের চেয়ে কম কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের জ্বালানি-১ এর বিক্রিয়া হতে 2225 kJ তাপ উৎপন্ন করতে কত লিটার O_2 গ্যাস (STP) প্রয়োজন হবে? তা গণনা করো। ৩

(ঘ) জ্বালানি হিসেবে উদ্দীপকের কোনটি উত্তম? গাণিতিকভাবে তা হিসাব করো। ৪