

লাল-সরুজে
দাগানো
TEXT BOOK



রসায়ন
১ম পত্র



উমেষ

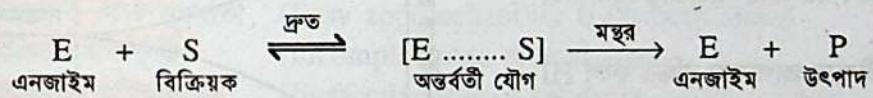
মেডিকেল এন্ড ডেন্টাল এডমিশন কেয়ার

৪.৪.৩ জৈব প্রভাবক এনজাইম

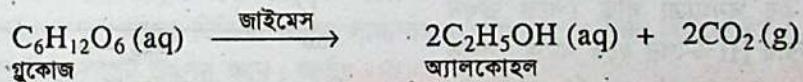
Bio-catalyst Enzyme

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

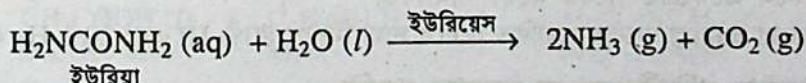
এনজাইমের ক্রিয়াকোশল : এনজাইমরূপী বর্তুলাকার বা টারসিয়ারি প্রোটিন অণুর (E) বিভিন্ন ভাঁজের মধ্যে কতগুলো 'সক্রিয় স্থান' আছে। এই স্থানগুলোর জন্যই এনজাইম প্রভাবন ক্ষমতা ধারণ করে। এসব সক্রিয় স্থানে বিক্রিয়ক অণুগুলো (S) খুবই নিকটে এসে সহজে অস্থায়ী অন্তর্বর্তী যোগ (E-S) গঠন করতে পারে এবং পরে বিযোজিত হয়ে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



(i) দ্রুট নামক উক্তিদকোষ থেকে নিঃসৃত জাইমেস এনজাইম গুকোজকে বিযোজিত করে অ্যালকোহল ও CO_2 গ্যাসে পরিণত করে।



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



এনজাইমের বৈশিষ্ট্য : (১) প্রত্যেক এনজাইমের প্রভাবন ক্রিয়া সুনির্দিষ্ট। যেমন জাইমেস এনজাইম শুধু গুকোজের বিযোজনকে প্রভাবিত করে। (২) অত্যধিক কার্যকারিতা এনজাইমের অন্যতম প্রধান বৈশিষ্ট্য। যেমন এক অণু অ্যান্থাইড্রেজ 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) : সমস্ত প্রভাবনের কৌশল ব্যাখ্যা কর।

[ব. বো. ২০১৫]

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

[সি. বো. ২০১৫]

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

[মাদ্রাসা বো. ২০১৭;

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

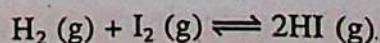
য. বো. ২০১৫]

৪.৫ রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা

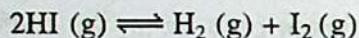
Chemical Equilibrium

কোনো উভয়বুদ্ধি বিক্রিয়া কখনো শেষ হয় না। কোনো কোনো সময়ে সম্মুখযুক্তি ও পশ্চাত্যবুদ্ধি বিক্রিয়ার হার সমান হয়ে থাকে; এ অবস্থাকে রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা বলে।

যেমন, একটি আবক্ষ 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 ঘনমাত্রাহাস পেয়ে 20% হয়। ফলে মিশ্রণের বর্ণ হালকা বেগুনি হয়।



আবার নির্দিষ্ট পরিমাণ বর্গের HI বন্ধ পাত্রে নিয়ে ধীরে ধীরে উৎপন্ন করে পূর্বের মতো তাপমাত্রা 450°C -এ রাখা হয়। তখন কাচের বন্ধ পাত্রে হালকা বেগেনি বর্ণ দেখা যায়। এক্ষেত্রে HI এর বিযোজনে H_2 গ্যাস ও I_2 বাপ্স উৎপন্ন হয়েছে। পূর্বের মতো এটিও একটি উভয়ুদ্ধী বিক্রিয়া।



ব্যাখ্যা : এক্ষেত্রে প্রথম পরীক্ষায় H_2 গ্যাস ও বাদামি I_2 বাপ্সকে বন্ধ পাত্রে উৎপন্ন 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 পশ্চাত্মক বিক্রিয়া শুরু হয়। বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হ্রাসের ফলে সম্মুখযুক্তি বিক্রিয়ার হার হ্রাস পায়। অপরদিকে উৎপাদ HI এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধির ফলে পশ্চাত্মক বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি পায় উভয়দিকের বিক্রিয়ার হার যখন সমান হয়, তখন মিশ্রণটির বর্ণ হালকা বেগেনি হয় এবং বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা নির্দেশ করে।

একইভাবে দ্বিতীয় পরীক্ষায় তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে HI এর বিযোজন সম্মুখদিকে দ্রুতগতিতে ঘটে; হালকা বেগেনি বাপ্স দেখা দেয়। এ সময় I_2 বাপ্স উৎপন্ন হয়েছে বোঝা। এ অবস্থায় H_2 ও I_2 এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পেলে তখন পশ্চাত্মক বিক্রিয়ায় পুনরায় HI উৎপন্ন হতে থাকে। গ্যাস মিশ্রণের বর্ণ পূর্বের মতো হালকা বেগেনি 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।

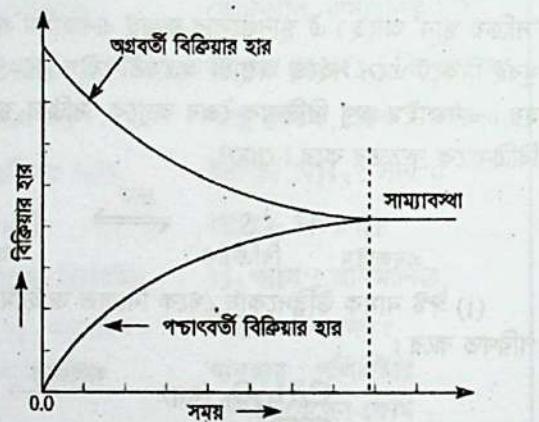
৪.৫.১ সাম্যাবস্থার গতিশীলতা বা চলমান প্রকৃতি

Dynamic Nature of Equilibrium

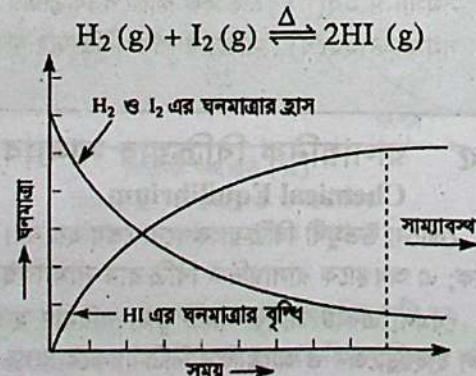
উভয়ুদ্ধী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা একটি গতিশীল অবস্থা, স্থিতাবস্থা নয়। বর্তমানে বহু বিক্রিয়ায় ট্রেসার বা শনাক্তকারী হিসেবে তেজক্রিয় আইসোটোপ ব্যবহার করে সাম্যাবস্থার চলমান প্রকৃতির প্রমাণ পাওয়া গেছে। নিম্নে এরূপ একটি পরীক্ষা দেয়া হলো।

সাম্যাবস্থার চলমান প্রকৃতির প্রমাণ : আবন্ধপাত্রে 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 সম্মুখযুক্তি বিক্রিয়ার হার কমতে থাকে এবং পশ্চাত্মক বিক্রিয়ার হার অর্থাৎ HI এর বিযোজন হার বাঢ়তে থাকে। একসময় মনে হয় বিক্রিয়াটি বন্ধ হয়ে গেছে। প্রকৃতপক্ষে তখন সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয়েছে। উভয়দিকে সমান হারে উভয় বিক্রিয়া সংঘটিত হচ্ছে।

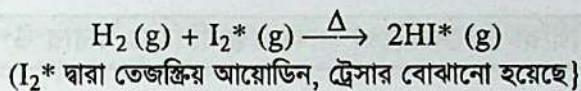
সাম্যাবস্থা অর্জনের পরে ট্রেসার হিসেবে অল্প পরিমাণ তেজক্রিয় আয়োডিন $^{128}_{53}\text{I}_2$ পাত্রে প্রবেশ করানো হয়, তখন সাম্যাবস্থার বিশেষ কোনো পরিবর্তন হয় না, অর্থাৎ H_2 , I_2 ও HI এর পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকে। কিন্তু দেখা যায় যে, সাম্যাবস্থায় প্রথমদিকে সব HI-অণুর মধ্যে আয়োডিন পরিমাণ অতেজক্রিয় থাকলেও পরে কিছু HI-অণুর আয়োডিন তেজক্রিয় হয় এবং এ ধরনের HI-এর পরিমাণ ক্রমশ বাঢ়তে বাঢ়তে একসময় একটি নির্দিষ্ট পরিমাণে পৌছায়। এ থেকে বোঝা যায় যে, সাম্যাবস্থা অর্জনের পর তেজক্রিয় আয়োডিনের প্রবেশের ফলে নিম্নোক্ত বিক্রিয়া চলেছে:



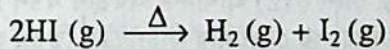
চিত্র-৪.১০ : সাম্যাবস্থায় H_2 ও I_2 থেকে HI এর সৃষ্টি এবং HI এর বিযোজন থেকে H_2 ও I_2 এর সৃষ্টি সমানভাবে চলে।



চিত্র-৪.১১ : সাম্যাবস্থায় অঞ্চলবর্তী ও পশ্চাত্মক উভয় বিক্রিয়া সমানভাবে চলমান প্রকৃতির।



যেহেতু HI এর সর্বমোট পরিমাণ (প্রায় 80%) অপরিবর্তিত থাকছে, সেহেতু তেজস্ক্রিয় HI^* উৎপন্ন হওয়ার সময় একই সাথে কিছু অতেজস্ক্রিয় HI -অণু বিশেষজ্ঞ হয়েছে। এ থেকে প্রমাণিত হয় যে, সাম্যাবস্থা অর্জনের পরেও সম্মুখমুখী ও পশ্চাত্মকী উভয় বিক্রিয়া সমান হারে চলতে থাকে, তবে দুটি বিক্রিয়ার গতিবেগ সমান হওয়ায় তা বোঝা যায় না।



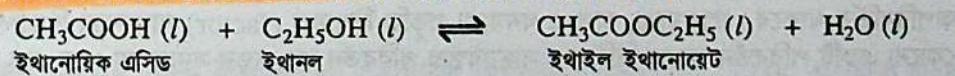
৪.৫.২ রাসায়নিক সাম্যাবস্থার শর্ত বা বৈশিষ্ট্য

Characteristics of Chemical Equilibrium

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

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

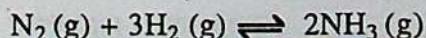


প্রাথমিক অবস্থায় :	1 mol	1 mol	0 mol	0 mol
সাম্যাবস্থায় :	0.333 mol	0.333 mol	0.667 mol	0.667 mol

এ সাম্যাবস্থা অর্জনের পর একই তাপমাত্রায় বছদিন 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 থাকে প্রয়োজন।

যেমন,



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 মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ স্ফুলিঙ্গ ঘটালে শুধু 7% NH_3 গ্যাস ছাড়া বাকি 93% NH_3 গ্যাস বিশেষজ্ঞ হয়ে N_2 ও H_2 গ্যাসে পরিণত হয়। সূতরাং এতে প্রমাণিত হয় যে, উপরিউক্ত বিক্রিয়াটি যে কোনো দিক থেকে শুরু করে একই সাম্যাবস্থায় পৌছানো যায়।

(গ) বিক্রিয়ার অসম্পূর্ণতা : প্রকৃত সাম্যের অন্যতম বৈশিষ্ট্য হলো বিক্রিয়ার অসম্পূর্ণতা। সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদ উভয়ই থাকে। সাম্যাক্রে মান থেকেই তা উপলব্ধি করা যায়। কোনো বিক্রিয়া সম্পূর্ণ হলো সাম্যাক্রে মান (K_{eq}) শূন্য অথবা অসীম হতো। যেহেতু সাম্যাক্রে মান ক্ষুদ্রাত্মক বা অতি ক্ষুদ্র হতে পারে, কিছু শূন্য বা অসীম হয় না; সূতরাং বলা যায়, একটি উভয়মুখী বিক্রিয়া কখনও সমাপ্ত হয় না।

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

(ঘ) প্রভাবকের ভূমিকাহীনতা : রাসায়নিক সাম্যাবস্থার উপর প্রভাবকের কোনো ভূমিকা নেই। প্রভাবক উভয় দিকের বিক্রিয়াকে সমানপুরাতিকভাবে 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 উভয়বী 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 টেট্রাওক্সাইড (N_2O_4) এর তাপীয় বিয়োজন একটি উভয়বী বিক্রিয়া। (১) N_2O_4 বণহীন; কিন্তু উৎপন্ন নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড (NO_2) বাদামি গ্যাস। (২) প্রাথমিক অবস্থায় যখন বিক্রিয়াটি শুরু হওয়ার পথে তখন আবদ্ধ কাচপাত্রে বণহীন N_2O_4 থাকে। (৩) কিন্তু সময় পর দেখা যায় কাচপাত্রের ভিতর হালকা বাদামি গ্যাস। (৪) আরও কিন্তু সময় পর গাঢ় বাদামি এবং আর বর্ণের পরিবর্তন হচ্ছে না। এক্ষেত্রে গাঢ় বাদামি বর্ণের স্থিরতা বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থা নির্দেশ করছে।



- * (i) উল্লেখ্য সাম্যাবস্থায়, উৎপাদ NO_2 এর মোলার ঘনমাত্রার বর্গ ও বিক্রিয়ক N_2O_4 এর মোলার ঘনমাত্রার অনুপাতকে সাম্মুখ্যক (K_c) বলে।
- * (ii) বিক্রিয়া শুরুর পর যে কোনো সময়ে উৎপাদ ও বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাতকে বিক্রিয়া অনুপাত (Q_c) বা reaction quotient বলে।
- * (iii) সাম্যাবস্থায়, Q_c = K_c = $\frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$ 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 উঠে অর্থাৎ বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রায় পরিবর্তন হয়। বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার উপর এ সব নিয়ামক পরিবর্তনের ফলাফল লা-শাতেলিয়ারের নীতির সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। **লা-শাতেলিয়ারের নীতিটি নিম্নরূপ :**

কোনো উভয়বী বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় থাকাকালে যদি এ অবস্থার একটি নিয়ামক, যেমন তাপমাত্রা, চাপ অথবা ঘনমাত্রা পরিবর্তন করা হয়, তবে সাম্যের অবস্থান ডানে বা বামে এমনভাবে পরিবর্তিত হবে, যাতে নিয়ামক পরিবর্তনের ফলাফল প্রশংসিত হয়।

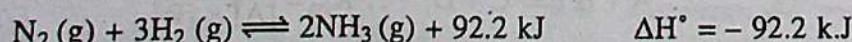
- * তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রেখে চাপ অথবা ঘনমাত্রার পরিবর্তন করলে সাম্যাবস্থার পরিবর্তন হয়, তবে সাম্মুখ্যকের মানের পরিবর্তন হয় না।
- * কিন্তু তাপমাত্রা পরিবর্তিত হলে সাম্মুখ্যকের মানের পরিবর্তন ঘটে।

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 সাম্মুখ্যকের মান পরিবর্তন করতে পারে। ঘনমাত্রা পরিবর্তন ও চাপের পরিবর্তন সাম্যাবস্থা পরিবর্তন করতে পারে; কিন্তু সে সব ক্ষেত্রে সাম্মুখ্যকের মান স্থির থাকে। এর কারণ ব্যাখ্যার জন্য বিক্রিয়া তাপ (heat of reaction) শুরুত্ববহু। যেমন;

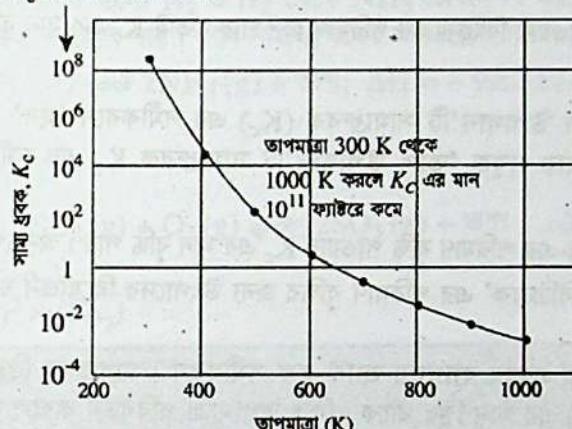
(১) হেবার পদ্ধতিতে N_2 গ্যাস ও H_2 গ্যাস থেকে NH_3 গ্যাস উৎপাদন প্রক্রিয়া হলো একটি তাপোৎপাদী বিক্রিয়া। এ বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো নিম্নরূপ :



এক্ষেত্রে সম্মুখ্যবী বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী (তাপ উৎপন্ন হয় $\Delta H < 0$); তাই পশ্চাত্যবী 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 তাপমাত্রাহ্রাস 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 তাপোৎপাদন বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া উৎপাদন ব্যাখ্যা করা হলো :

K_c এর মান সংগ্রহিত ক্ষেত্রে



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}

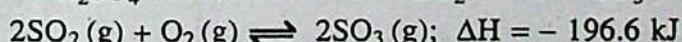
চিত্র-৪.১২ : অ্যামোনিয়া উৎপাদন বিক্রিয়ার K_c তাপমাত্রা নির্ভর।

তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে K_c এর মান হ্রাস পেতে থাকে।

এদত্ত ডাটা ও লেখচিত্র-৪.১২ মতে নিম্নতাপমাত্রায়, সাম্য মিশ্রণে অধিক NH_3 থাকে, কারণ তখন K_c এর মান বেশি হয়; যেমন 300K তাপমাত্রায় $K_c = 2.6 \times 10^8$ । কিন্তু উচ্চতাপমাত্রায়, K_c এর মান কম হয়; অর্থাৎ বিক্রিয়া বাম দিকে 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 তাপোৎপাদনী বিক্রিয়ায় তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে উৎপাদন পরিমাণে হ্রাস পায়।

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

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

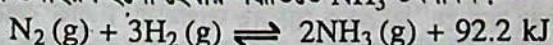


অত্যানুকূল অবস্থার পথে SO_3 এর উৎপাদনে V_2O_5 প্রভাবকের উপস্থিতিতে 450°C বা, 723 K তাপমাত্রা প্রয়োগ করা হয়।

সাধারণভাবে, বিক্রিয়ার তাপ পরিবর্তন ΔH এর ঝগড়াক বা ধনাত্মক মানের ওপর সাম্যক্রিয়ক নির্ভর করে।

বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় তাপমাত্রার প্রভাব হলো :

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



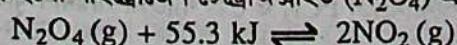
$$\therefore K_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2] \times [\text{H}_2]^3}$$

লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে তাপোৎপাদনী বিক্রিয়ায় প্রযুক্ত তাপশক্তি একটি অতিরিক্ত 'উৎপাদন উপাদান' হয়। তখন পশ্চাত্যুর্থী বিক্রিয়াসহ নতুন সাম্যাবস্থায়—

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

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

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



$$\therefore K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$$

লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে প্রযুক্ত তাপশক্তি ও তাপহারী বিক্রিয়ার প্রয়োজনীয় একটি 'বিক্রিয়ক উপাদান' রূপে যোগ করা বোঝায়। তখন সম্মুখ্যমুখী বিক্রিয়াসহ নতুন সাম্যাবস্থায়—

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

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

জেনে নাও :

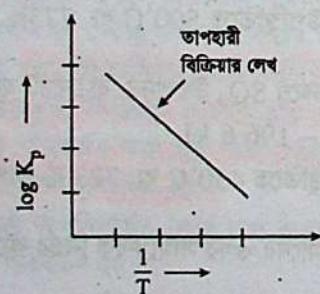
* তাপহারী বিক্রিয়ায়, প্রযুক্ত 'তাপ উপাদান'টি সাম্যাধ্রবক (K_c) এর সমীকরণে 'হর' হিসেবে ভূমিকা রাখে; অপরদিকে, তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় প্রযুক্ত 'তাপ উপাদান'টি সাম্যাধ্রবক K_c এর সমীকরণে 'লব' হিসেবে ভূমিকা রাখে। ফলে,

* 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।

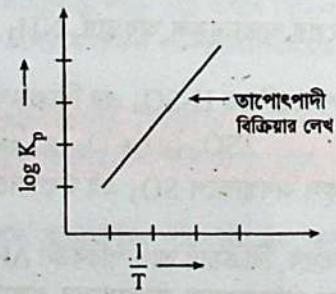
(ক) সাম্য ধ্রুবকের উপর তাপমাত্রার অভাব ব্যাখ্যায় ভ্যান্ট-হফ সমীকরণ : সাধারণত স্থির তাপমাত্রায় যেকোনো উভয়মুখী বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবক (K_c ও K_p) এর মান স্থির থাকে। কিন্তু তাপমাত্রা পরিবর্তন করলে সাম্যাবস্থার পরিবর্তনের মতো সাম্য ধ্রুবকের মানেরও পরিবর্তন ঘটে। **তাপমাত্রার ওপর সাম্য ধ্রুবকের নির্ভরশীলতার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

$$\log K_p = \frac{-\Delta H}{2.303R} \times \frac{1}{T} + \text{ধ্রুবক} \quad \text{এখানে } K_p = \text{আংশিক চাপে সাম্যাধ্রবক}, \\ R = \text{মোলার ধ্রুবক}, T = \text{কেলভিন তাপমাত্রা}$$

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



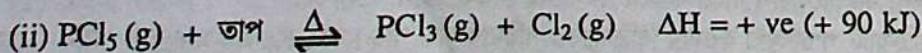
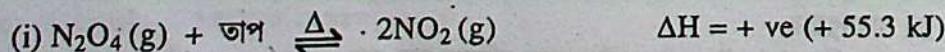
চিত্র-৪.১৩(ক) : তাপহারী বিক্রিয়ার $\log K_p$ বনাম $\frac{1}{T}$ লেখ



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 সাম্যাধ্রবক K_p এর মান বৃদ্ধি পায়।**

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

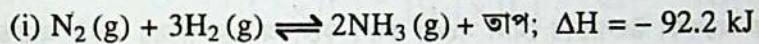


N_2O_4 এর বিযোজন বিক্রিয়ার তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাম্য মিশ্রণে NO_2 গ্যাসের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। ফলে সাম্য ধ্রুবক K_p এর মানও বৃদ্ধি পায়। PCl_5 এর বেলায়, তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে সাম্যমিশ্রণে PCl_3 ও Cl_2 গ্যাসের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

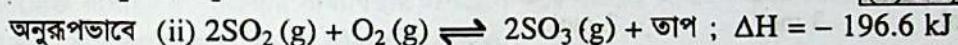
$$(i) K_p = \frac{(P_{NO_2})^2}{P_{N_2O_4}} ; \quad (ii) K_p = \frac{P_{PCl_3} \times P_{Cl_2}}{P_{PCl_5}}$$

(২) তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার লেখচিত্র-৪.১৩(খ) থেকে বোধা 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 সামগ্র্যকের K_p এর মান হ্রাস পায়।

এরপৰি বিক্রিয়ার উদাহরণ হলো N_2 ও H_2 থেকে NH_3 উৎপাদন। এক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে উৎপন্ন NH_3 বিযোজিত হয়ে NH_3 উৎপাদন হ্রাস পায়। ফলে সামগ্র্যকের মান হ্রাস পায়। যেমন,



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



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

MCQ-4.7 : কোনটি প্রভাবক
বিষ? [সি. বো. ২০১৬]
(ক) Al_2O_3 (খ) MnO_2
(গ) As_2O_3 (ঘ) Ni

শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৫ : সাম্যাবস্থাভিত্তিক :

সমস্যা-৪.২৩(ক) : রাসায়নিক সাম্যাবস্থা কী?

[দি. বো. ২০১৬]

সমস্যা-৪.২৩(খ) : রাসায়নিক সাম্যাবস্থা গতিশীল;-ব্যাখ্যা কর।

[চ. বো. ২০১৫]

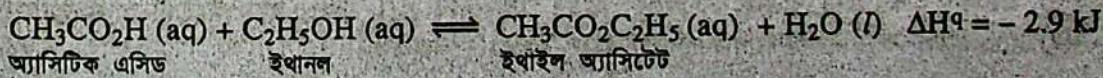
সমস্যা-৪.২৩(গ) : রাসায়নিক সাম্যাবস্থার গতিশীলতা বা চলমান প্রকৃতির প্রমাণের জন্য বাস্তব প্রয়োগ উপস্থাপন কর।

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

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

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

সমস্যা-৪.২৫(খ) : ফিংগার-নেইল পলিশ রিমুভারজন্যে ব্যবহৃত ইথাইল আসিটেট প্রস্তুত করা হয় আসিটিক এসিড ও ইথানলের মধ্যে নিম্নরূপ বিক্রিয়া দারা:



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

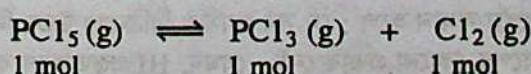
৪.৬.২ সাম্যাবস্থায় চাপের (আয়তনের) পরিবর্তনের প্রভাব

Effect of Pressure change on Equilibrium

কোনো গ্যাসীয় সিস্টেম সাম্যাবস্থায় থাকাকালে তার উপর চাপ বাড়ালে অথবা চাপ কমালে তখন সাম্যাবস্থা এমনভাবে পরিবর্তিত হবে যাতে চাপ পরিবর্তনের প্রভাব প্রশংসিত হয়। তবে—

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

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

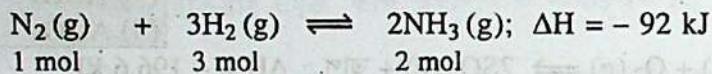


লক্ষ কর, চাপ বাড়ালে গ্যাস মিশ্রণের আয়তন কমে, ঘনমাত্রা বাড়ে। আবার চাপ কমালে মিশ্রণের আয়তন বাড়ে; ঘনমাত্রা কমে। এখন বিক্রিয়া অনুপাত (ৰা reaction quotient), $Q_c = \frac{[PCl_3] \times [Cl_2]}{[PCl_5]}$ থেকে জানা যায়, যদি চাপ

বাড়ার ফলে আয়তন অর্ধেক করা হয়; তখন ঘনমাত্রা দিগুণ 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 হাস করার জন্য $PC_1.5$ এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করতে বিক্রিয়া বাম দিকে ঘটবে। সুতরাং এক্ষেত্রে চাপ বাড়ালে উৎপাদ হাস পায়।

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

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



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

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

MCQ-4.8 : কোনটি সাম্যাবস্থার বৈশিষ্ট্য নয়?

[ঢ. বো. ২০১৫]

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

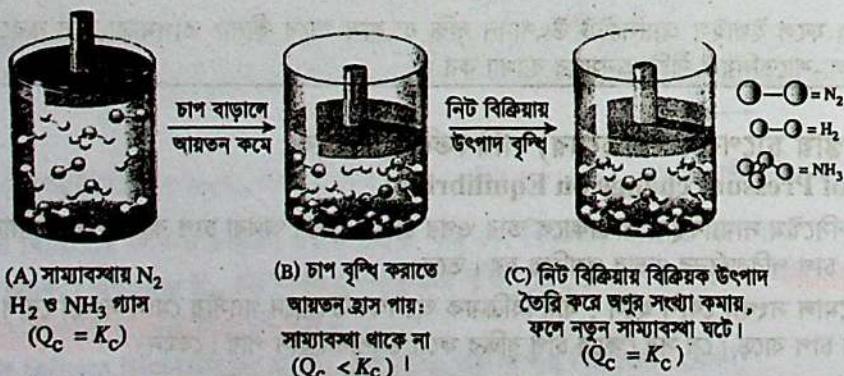
এ সাম্যাবস্থাকে বিশ্লেষণ বা নষ্ট করার জন্য চাপ বৃদ্ধি করে আয়তন অর্ধেক করা হলো;

তখন প্রতিটি উপাদানের ঘনমাত্রা দিগুণ 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 সম্ভব অধিক পরিমাণ NH_3 উৎপাদন করা হয়।



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

(iii) বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মোল সংখ্যা সমান হলে : যে সব গ্যাসীয় বিক্রিয়ার উভয় দিকে বিক্রিয়ক ও উৎপাদ এর মোল সংখ্যা সমান থাকে, তাদের ক্ষেত্রে চাপের কোনো প্রভাব নেই। যেমন, HI প্রস্তুতকরণ বা H_2 -এর বিযোজন উভয় মুখী বিক্রিয়াটিতে বিক্রিয়কের ও উৎপাদের মোল-সংখ্যা সমান থাকে।



এক্ষেত্রে চাপ দিগুণ করলে গ্যাস মিশ্রণের আয়তন অর্ধেক হয়; কিন্তু প্রতি উপাদানের ঘনমাত্রা দিগুণ 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 হাস করে গ্যাসীয় আয়তন বৃদ্ধি করলে বিক্রিয়া মিশ্রণে উৎপাদের মোল সংখ্যা বৃদ্ধি, হাস 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 হাসের 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 হাসের 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 হাসের প্রভাব বা আয়তন বৃদ্ধির প্রভাব দূর করতে উৎপাদ থেকে বিক্রিয়ক গ্যাস উৎপন্ন হবে। ফলে উৎপাদ $CaCO_3$ এর মোল সংখ্যা হাস পাবে।

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

শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.৬ : সাম্যাবস্থায় চাপের প্রভাব :

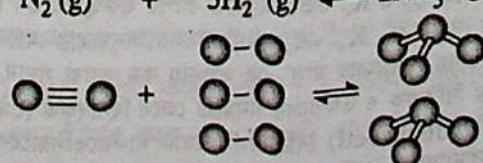
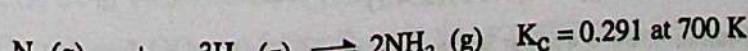
সমস্যা- ৪.২৬ : নিম্নোক্ত রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় চাপ বৃদ্ধি করে গ্যাসীয় আয়তন হাস করলে বিক্রিয়া মিশ্রণে প্রতিক্রিয়ে উৎপাদের মোল সংখ্যা বৃদ্ধি, হাস বা একই থাকবে কীনা যুক্তি দেখাও :

- | | |
|---|--|
| (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 :



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

মনে করি, 700K (427°C) তাপমাত্রায়, এ বিক্রিয়ার সাম্যমিশ্রণে 0.5 M N₂, 3.0 M H₂ ও 1.98 M NH₃ গ্যাস আছে। এখন ঐ সাম্যবস্থা বিশৃঙ্খল বা নষ্ট করার জন্য N₂ এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করে 1.5 M করা হলো। এখন লা-শাতেলিয়ারের নীতি কী বলে? এ নীতি অনুসারে N₂ এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধিজনিত চাপ বা পীড়ন (stress) থেকে উপর্যুক্ত জন্য কিছু N₂ গ্যাস H₂ গ্যাসসহ বিক্রিয়া করে আরো NH₃ গ্যাস উৎপন্ন করবে। তখন NH₃ এর পরিমাণ বাড়বে, N₂ ও H₂ এর পরিমাণ কমবে। চিত্র-৪.১৬ থেকে তা সূপষ্ট হবে। সাধারণভাবে সাম্যমিশ্রণে কোনো বিক্রিয়ক বা উৎপাদ যুক্ত বা অপসারণ করলে সাম্যবস্থা তানে বা বামে দিক পরিবর্তন করে ঘনমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাবহস্ত করবে।

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

* ঘনমাত্রার হাস ঘটলে, সাম্য-সিস্টেমটি তানে বা বামে বিক্রিয়া দ্বারা হাসকৃত উপাদান কিছু বৃদ্ধি করবে।

এখন আমরা লা-শাতেলিয়ারের নীতির কার্যকারিতা বিক্রিয়ার সাম্যবস্থকের সাহায্যে জানতে চেষ্টা করবো। বিক্রিয়ার তাপমাত্রায় (700K) প্রাথমিক সাম্যমিশ্রণে 0.50 M N₂ গ্যাস, 3.0 M H₂ গ্যাস ও 1.98 M NH₃ গ্যাস সহযোগে সংঘটিত বিক্রিয়া অনুপাত (reaction quotient), Q_c এর নির্ণীত মান এবং বিক্রিয়া সমীকরণে প্রদত্ত সাম্যবস্থক, K_c (0.291) এর মান সমান হয়।

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

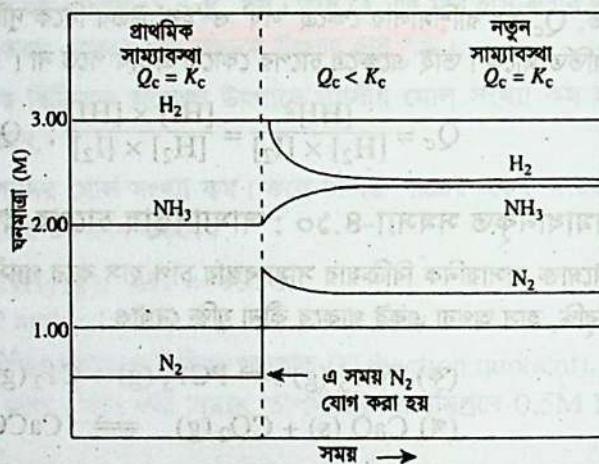
* যখন সাম্যবস্থাকে বিশৃঙ্খল বা নষ্ট করার জন্য N₂ এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করে 1.5 M করা হয়, তখন সাম্যবস্থক সমীকরণের 'হর' অংশের মান বৃদ্ধি পায়, ফলে Q_c এর মান হাস পেয়ে K_c মানও কম হয়।

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

** তাই নতুনভাবে সাম্যবস্থা অর্জনের জন্য Q_c এর মান বৃদ্ধি করতে সাম্যবস্থকের সমীকরণের তানদিকের অনুপাত রাশিতে 'হর' এর মান হাস ও 'ব' এর মান বৃদ্ধি করতে হবে। এ জন্য কিছু N₂ ও H₂ কে NH₃ গ্যাসে পরিবর্তন করতে হয়। এটিই লা-শাতেলিয়ারের নীতির মূল কথা। নতুন সাম্যবস্থা লাভের পর (চিত্র-৪.১৬ দেখ) সাম্যমিশ্রণের ঘনমাত্রায় 1.31 M N₂, 2.43 M H₂ ও 2.36 M NH₃ থাকে (চিত্র-৪.১৬ এর নতুন সাম্যবস্থায় H₂, NH₃ ও N₂ এর ঘনমাত্রা Y-অক্ষ থেকে নেয়া হয়েছে)। তখন Q_c এর নির্ণীত মান (0.296) ও K_c (0.29) এর নির্দিষ্ট মানের থায় সমান হয়।

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

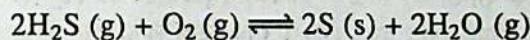
দ্রষ্টব্য : (১) লা-শাতেলিয়ারের নীতির কার্যকারিতা বিচারে Q_c ও K_c উভয় অনুপাত রাশির তরঙ্গ আছে। (২) Q_c ও K_c এর মধ্যে মূল পার্শ্বক হলো, 'Q_c' এর বেলায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের 'ঘনমাত্রা' K_c এর সাম্যসিস্টেমের 'ঘনমাত্রার' মানের মতো নাও হতে পারে। অর্থাৎ Q_c এর বেলায় উৎপাদের ঘনমাত্রার মান K_c এর বেলায় 'ঘনমাত্রার 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 হিসেবে মানের সমান হয়, তখন বিশৃঙ্খল অবস্থার (disturbed) বিক্রিয়া-সিস্টেমটি লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে প্রয়োজন মতো উৎপাদের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি অথবা হাস করে নতুনভাবে সাম্যবস্থায় এসেছে প্রমাণ করে।



চিত্র-৪.১৬ : সাম্যমিশ্রণে N₂ উপাদান যোগ করার পর সাম্যমিশ্রণে N₂, H₂, NH₃ এর ঘনমাত্রার পরিবর্তন।

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.১১ : 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 :



কীরুপ 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 কীরুপ পার্থক্য হয়, তা জানা যাবে। তা থেকে সাম্যাবস্থা কী ভাব 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 ভাব দিকে ঘটবে এবং $[H_2O]$ বাড়বে।

(খ) যেহেতু O_2 যোগ করলে, $Q_c < K_c$ হয়; তখন কিছু H_2S টি যোগ করা O_2 এর সাথে বিক্রিয়া করে, তখন সাম্যাবস্থা ভাবনাকে 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 বাম দিকে 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-৮.১২ : 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) অনুষ্টক যোগ করে $C(g)$ এর পরিমাণ বাড়ানো যাবে না, কারণ সাম্যাবস্থার উপর অনুষ্টকের কোনো প্রভাব নেই। (২) যেহেতু বিক্রিয়াটিতে আয়তনের কোনো পরিরবর্তন হয় না, তাই বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থার ওপর চাপের কোনো প্রভাব নেই। কাজেই স্থির তাপমাত্রায় চাপবৃদ্ধি করে $C(g)$ এর উৎপাদন বাড়ানো সম্ভব নয়।

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

সমাধান : প্রদত্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে $K_p = P_{CO_2}$ । স্থির তাপমাত্রার বাইরে থেকে CO_2 যোগ করলে CO_2 এর আংশিক চাপ (P_{CO_2}) বৃদ্ধি পাবে। কিন্তু নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় K_p এর মান ধ্রুবক। তাই, অতিরিক্ত CO_2 গ্যাস সমূহের 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 বন্ধপাত্রে সাম্যাবস্থায় আছে। যদি বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় বাইরে থেকে $C(s)$ যোগ করা হয়, তাহলে সাম্যাবস্থার উপর কী প্রভাব পড়বে?

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

শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.৭ : সাম্যাবস্থার ঘনমাত্রার প্রভাব :

সমস্যা-৪.২৭ : ওয়াটার গ্যাস শিফ্ট বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থা বিবেচনা করা যাক :



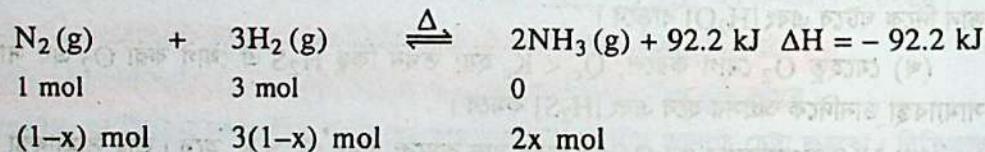
লা-শাতেলিয়ারের নীতিভিত্তিক ব্যাখ্যা কর নিচের পরিবর্তনসমূহের বেলায় H_2 এর ঘনমাত্রায় কীরণ পরিবর্তন ঘটবে; যখন সাম্য মিশ্রণে - (ক) CO যোগ করা হয়; (খ) CO_2 যোগ করা হয়; (গ) H_2O অপসারণ করা হয়; (ঘ) CO_2 অপসারণ করা হয়। বিক্রিয়া অনুপাত (ৰা reaction quotient), Q_c রাশি প্রয়োগ কর।

৪.৭ শিল্পোৎপাদনে লা-শাতেলিয়ারের নীতির প্রয়োগ

Use of Le-Chatelier's Principle in Industries

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

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



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

$$\text{বিক্রিয়ার সাম্যাক্ষৰক, } K_p = \frac{(\text{P}_{\text{NH}_3})^2}{(\text{P}_{\text{N}_2}) \times (\text{P}_{\text{H}_2})^3}$$

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

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

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

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

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

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

চিন্তা কর : বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করলে সাম্যাবস্থা কেন্দ্র দিকে সরে যায়?

- (ক) ডানে (খ) স্থিত অবস্থায় থাকে
- (গ) বামে (ঘ) অপরিবর্তিত থাকে

সমীকরণ মতে, স্থির তাপমাত্রায় মোট চাপ P এর মান যতোই বৃদ্ধি করা যাবে উৎপাদন, x এর মান ততোই 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 চাপক্রমে প্রয়োগ করা হয়।

(২) তাপমাত্রার প্রভাব : অ্যামোনিয়া উৎপাদন বিক্রিয়াটি তাপোৎপন্ন। সুতরাং লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে তাপমাত্রা যতো কম হবে, অ্যামোনিয়ার উৎপাদন ততো 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 বিক্রিয়া স্থল থেকে অপসারণ করা;
- (২) 4 mol বিক্রিয়ক গ্যাস থেকে 2 mol NH_3 গ্যাস উৎপন্ন হওয়ায় আয়তন হ্রাসের কারণে উচ্চ চাপ 1000 atm প্রয়োগ করা;
- (৩) তাপোৎপন্ন বিক্রিয়া হওয়ায় নিম্ন তাপমাত্রা 200°C এ বিক্রিয়া তাপমাত্রা বজায় রাখা।

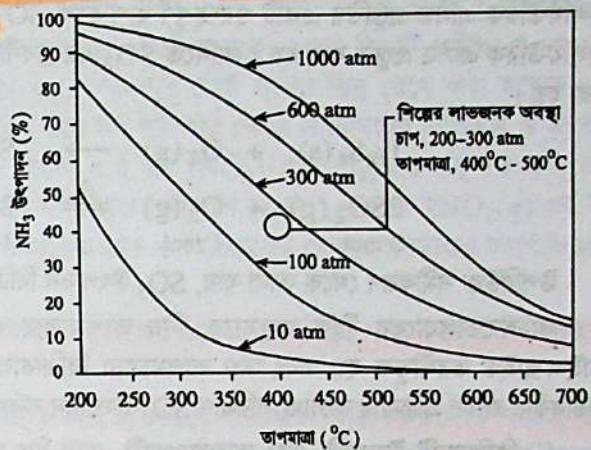
কিন্তু শিল্প কারখানায় অর্থনৈতিক লাভের জন্য উৎপাদনের পরিমাণের সাথে সময়ের হিসাবটাও দরকার। নিম্ন তাপমাত্রায় অ্যামোনিয়া উৎপাদনের হার বা গতি হ্রাস পায় এবং উচ্চ তাপমাত্রায় বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি পায়। অপরদিকে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে সাম্যাবস্থায় অ্যামোনিয়ার শতকরা উৎপাদন হ্রাস পায় (চিত্র-৪.১৭)। এ দুটি বিপরীত শর্তের কারণে এমন একটি তাপমাত্রা নির্বাচন করতে হয়, যে তাপমাত্রায় যথোপযুক্ত কম সময়ে আশানুরূপ উৎপাদন লাভ করা যায়।

প্রতিটি তাপোৎপন্ন শিল্প প্রক্রিয়ায় এমন একটি সর্বনিম্ন তাপমাত্রা আছে, যাতে প্রক্রিয়া সম্পাদন লাভজনক হয়। এ তাপমাত্রাকে অত্যানুকূল তাপমাত্রা (optimum temperature) বলা হয়। শিল্পোৎপন্নে যে কোনো অভাবক রাসায়নিক বিক্রিয়ার বেগ তুরাবিত করে। কিন্তু সাম্য অবস্থার ওপর এর প্রভাব নেই। এ কারণে শিল্পোৎপন্নে অধিকাংশ ক্ষেত্রে প্রভাবকের সাহায্য গ্রহণ করা হয়। অত্যানুকূল তাপমাত্রা বিভিন্ন প্রভাবকের জন্য বিভিন্ন হয়। তবে এ বিক্রিয়ায় Fe স্টেড় প্রভাবকের সাথে MgO , SiO_2 ও Al_2O_3 মিশ্রণকে প্রভাবক সহায়ক বা প্রমোটর (promoter) হিসেবে ব্যবহার করা হয় এবং অত্যানুকূল তাপমাত্রার মধ্যে 400°–500°C বজায় রাখা হয়।

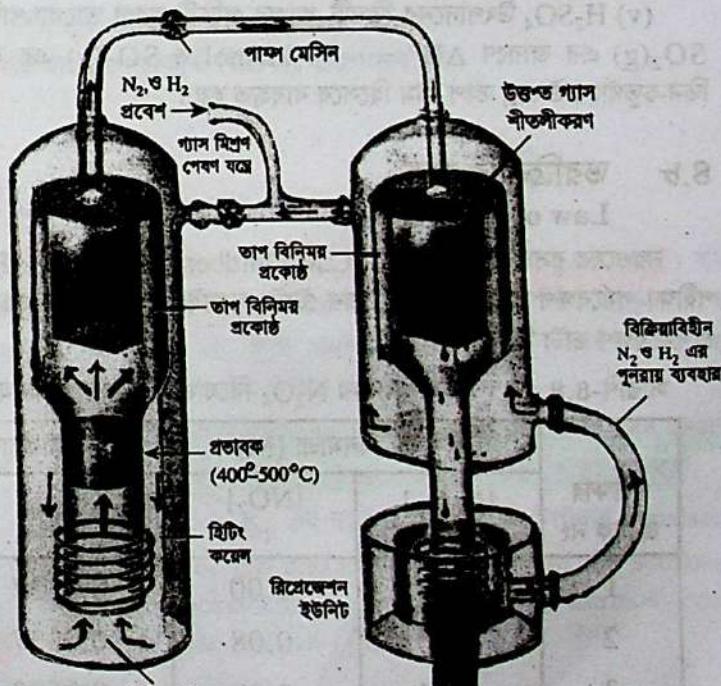
বিক্রিয়াটিতে আয়তন হ্রাস পায় বলে উচ্চচাপে NH_3 এর উচ্চ উৎপাদন আশা করা সঙ্গত, যা এ বিক্রিয়ার K_p এর সমীকরণ থেকেও স্পষ্ট। তাই এ বিক্রিয়ার জন্য অত্যানুকূল 200–300 atm চাপ প্রয়োগ করা হয়ে থাকে।

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

- (১) বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধির জন্য প্রভাবক Fe স্টেড় ও প্রমোটররূপে গলিত (fused) MgO , Al_2O_3 ও SiO_2 এর মিশ্রণে 5 mm–10 mm স্তর বিক্রিয়া চেবারে 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।

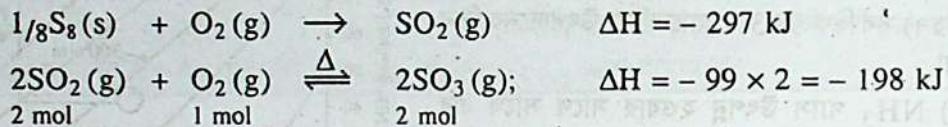


চিত্র-৪.১৭ : বিভিন্ন চাপ ও তাপমাত্রায় NH_3 এর উৎপাদন।



চিত্র-৪.১৮ : হেবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদন

(৬) 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।



উপরিউক্ত সমীকরণ থেকে জানা যায়, SO_3 উৎপাদন বিক্রিয়াটি-

লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে, নিম্ন তাপমাত্রায় ও উচ্চ চাপে সমুখ দিকে ঘটবে। কিন্তু উচ্চচাপে সালফার ডাইঅক্সাইড তরলীভূত হয় এবং নিম্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়ার গতি হ্রাস পায়। এ কারণে, নিম্নোক্ত শর্তাবলি প্রয়োগ করে প্রভাবকীয় জারণ প্রক্রিয়ার সর্বোচ্চ পরিমাণ SO_3 উৎপাদন করা হয়।

(i) বিক্রিয়াটি উভয়ুৰ্বী এবং তাপোৎপাদনী, তাই নিম্ন তাপমাত্রায় SO_3 এর উৎপাদন বাঢ়বে। তবে নিম্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়া ধীরণগতিতে অহসর হয় বলে উচ্চ তাপমাত্রার প্রয়োজন হয়।

(ii) প্রভাবক ব্যবহার করেও বিক্রিয়ার গতি বাঢ়ানো হয়। এক্ষেত্রে ভ্যানাডিয়াম পেট্রোক্সাইড (V_2O_5) চূর্ণ প্রভাবক নিষ্ঠিয় সিলিকা জালিয়াপে ব্যবহার করে $400^{\circ}-500^{\circ}\text{C}$ তাপমাত্রা এ ক্ষেত্রে অত্যানুকূল তাপমাত্রা হয়।

(iii) বাতাসের অক্সিজেন যেহেতু সহজলভ, 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 মৌলার আয়তন-হ্রাসের মাধ্যমে সংঘটিত হয় অর্থাৎ যতোই চাপ বাঢ়ানো যায় ততোই SO_3 এর উৎপাদনের শতকরা হার বাঢ়ানো যায়। তবে 1.7 atm চাপেই উপরোক্তিত 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 তাপোৎপাদনী। যেমন S_8 এর দহনে $\Delta H^\circ = -297 \text{ kJ/mol}$; $\text{SO}_2(\text{g})$ এর জারণে $\Delta H^\circ = -99 \text{ kJ/mol}$ ও $\text{SO}_3(\text{g})$ এর হাইড্রেশনে $\Delta H^\circ = -132 \text{ kJ/mol}$ হয়। তাই তিন-চতুর্থাংশ উৎপন্ন তাপ টিম হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

8.8 ভরক্রিয়ার সূত্র

Law of Mass Action

নরওয়ের রসায়নবিদ গুল্ডবার্গ (C.M. Guldberg) ও পি. ওগে (P. Waage) বিভিন্ন উভয়ুৰ্বী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার ওপর পরীক্ষা-পর্যবেক্ষণ করেন। নাইট্রোজেন টেট্রো অক্সাইডের বিযোজন একটি উভয়ুৰ্বী বিক্রিয়া। এ বিক্রিয়ার ওপর পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণ ডাটা নিম্নরূপ :

সারণি-8.8 : 25°C তাপমাত্রায় N_2O_4 বিযোজনের মৌলার ঘনমাত্রা ডাটা $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$

পরীক্ষার ক্রমিক নং	প্রাথমিক ঘনমাত্রা (M)		সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা (M)		$K_C = [\text{NO}_2]^2 / [\text{N}_2\text{O}_4]$
	[N_2O_4]	[NO_2]	[N_2O_4]	[NO_2]	
1	0.04	0.00	0.0337	0.0125	4.64×10^{-3}
2	0.00	0.08	0.0337	0.0125	4.64×10^{-3}
3	0.06	0.00	0.0522	0.0156	4.66×10^{-3}
4	0.00	0.06	0.0246	0.0107	4.65×10^{-3}
5	0.02	0.06	0.0429	0.0141	4.63×10^{-3}

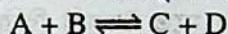
পরীক্ষার ক্রমিক নং ১ ও ২ এর ডাটা থেকে সুস্পষ্ট যে, পরীক্ষা ১ এর বেলায় N_2O_4 এর ০.০৪ মোলসহকারে পরীক্ষাটি শুরু করা হয় এবং পরীক্ষা নং ২ এর বেলায় NO_2 এর দিগ্ধি ঘনমাত্রায় যেমন ০.০৮ মোলসহকারে বিপরীত পরীক্ষাটি শুরু করা হয়। প্রতি ক্ষেত্রে N ও O পরমাণুর সংখ্যা সমান রাখায় ঘনমাত্রা একই রয়েছে। অপর তিনটি পরীক্ষা ৩, ৪, ৫-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 রয়েছে। তবে সব পরীক্ষার ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মোলার ঘনমাত্রার মধ্যে একটি আনুপাতিক সম্পর্ক রয়েছে। সারণি-৮.৪ এর $[NO_2]^2/[N_2O_4]$ এর অনুপাত প্রতি ক্ষেত্রে প্রায় ধ্রুবক মানের যেমন 4.64×10^{-3} রয়েছে। 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 খ্রিস্টাব্দে রসায়নবিদ শুভ্রবার্গ ও পি.ভাগে তাঁদের বিভিন্ন পরীক্ষালক্ষ্য এসব তথ্য সমবয় করে উভয়ী বিক্রিয়ার জন্য ভর ক্রিয়া সূত্র উপস্থাপন করেন। ভর ক্রিয়ার সূত্রটি নিম্নরূপ :

নির্দিষ্ট তাপমাত্রায়, নির্দিষ্ট সময়ে যে কোনো বিক্রিয়ার হার ঐ সময়ে উপস্থিত বিক্রিয়কগুলোর সক্রিয় ভরের (অর্থাৎ মোলার ঘনমাত্রা বা আণশিক 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 আণশিক চাপ বোঝায়।

ভর ক্রিয়া সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ : K_c এর রাশিমালা প্রতিপাদন :

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



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

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

এখানে k_1 ও k_2 হলো যথাক্রমে সমুখযুক্ত ও পশ্চাত্যযুক্ত বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক।

উভয়ী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায়, সমুখযুক্ত বিক্রিয়ার হার ও পশ্চাত্যযুক্ত 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) প্রতিক্ষেত্রে ঘনমাত্রা পদকে প্রত্যেকের মোলারিটি (1M) দ্বারা ভাগ করা হয়। Thermodynamic Standard State মতে একপ করা হয়; ফলে এককসমূহ কাটা যায়; ঘনমাত্রার অনুপাত ও K_c উভয়ের কোনো একক থাকে না। যেমন সারণি-৮.৪ 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।

এ পৃষ্ঠাকে পুরাতন নিয়ম বাদ দিয়ে এ নতুন নিয়ম ব্যবহার করা হয়েছে।

[‘Thermodynamic Standard State’ রূপে দ্রবণে দ্রবের ঘনমাত্রা 1M, প্রতিটি গ্যাসের চাপ 1 atm ও তাপমাত্রা 25°C ধরা হয়।

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]

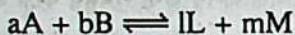
- [Reference : (1) Chemistry : Martin S. Silberberg, Published by Mc. Graw Hill (Higher Education).
(2) General Chemistry ATOMS FIRST : John E. McMurry and Robert C. Fay. এই বই দুটি আমেরিকার ক্যালিফোর্নিয়া ইউনিভার্সিটিতে একাদশ-ষাদশ শ্রেণিতে পাঠ্যপুস্তক।]

৪.৯:১ বিক্রিয়ার সাম্যক্ষেত্রক K_c ও K_p

Equilibrium Constant K_c and K_p

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

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

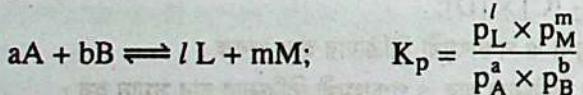


ভরক্রিয়ার সূত্র মতে উপরোক্ত উভয়ী বিক্রিয়ার মোলার সাম্যক্ষেত্রক নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয় :

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

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

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



এক্ষেত্রে বিক্রিয়ক A, B এবং উৎপাদ L, M এর আণশিক চাপ হলো যথাক্রমে P_A, P_B এবং P_L, P_M । সরীকরণে তাদের মোল সংখ্যাকে আণশিক চাপে ১-১ ঘাতে প্রকাশ করা হয়েছে।

কোনো গ্যাস মিশ্রণের কোনো উপাদান গ্যাসের আণশিক 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 উভয়ী বিক্রিয়ার উৎপাদ ও বিক্রিয়কের যথাক্রমে মোলার ঘনমাত্রা ও আণশিক চাপের সংখ্যা মানের অনুপাত যেমন—



$$K_c = \frac{[L]^l \times [M]^m}{[A]^a \times [B]^b}; \quad K_p = \frac{P_L^l \times P_M^m}{P_A^a \times P_B^b}$$

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

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

(b) K_c বা K_p এর মান অসীম হতে হলে বিক্রিয়কের পরিমাণ শূন্য হয়, যা উভয়ী 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 উভয়বৰ্ষী বিক্রিয়া ধরা যাক।
যেমন,



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 সাম্ভুক্রবক 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 সাম্ভুক্রবক K_p এর মান নিম্নরূপে লেখা যায় :

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

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

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

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

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

$$K_p = \frac{P_L^l \times P_M^m}{P_A^a \times P_B^b}, \text{ বা, } K_p = \frac{(C_L RT)^l \times (C_M RT)^m}{(C_A RT)^a \times (C_B RT)^b}$$

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

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

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

- (ক) $\text{PCl}_5 \rightleftharpoons \text{PCl}_3 + \text{Cl}_2$
- (খ) $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$
- (গ) $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$
- (ঘ) $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$

= বিক্রিয়াকালে বিক্রিয়ক ও উৎপাদসমূহের মোল সংখ্যার পরিবর্তন।

= উৎপাদসমূহের মোল সংখ্যা – বিক্রিয়কসমূহের মোল সংখ্যা

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

* এক্ষেত্রে $R = 0.08206 \text{ L.atm.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ 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।

৪.৯.৩ সমস্ত সাম্যের ক্ষেত্রে ভর-ক্রিয়া সূত্রের ব্যবহার

Application of the Law of Mass action to Homogeneous Equilibrium

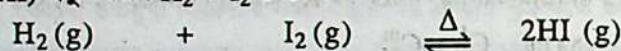
যে সকল উভয়বৰ্ষী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদ একই ভৌত অবস্থায় থাকে সে সব সাম্যাবস্থাকে সমস্ত সাম্য বলে। যেমন N_2 ও H_2 থেকে NH_3 উৎপাদন, $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$

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। নিম্ন কয়েকটি সমস্ত সাম্যের K_c , K_p গণনার উদাহরণ দেয়া হলো।

(ক) **বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মৌল সংখ্যা যথন 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।



প্রাথমিক অবস্থায় : a mol b mol 0 mol

সাম্যাবস্থায় : $(a - \alpha)$ mol $(b - \alpha)$ mol 2α mol

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

$$\text{সাম্যাবস্থায় } H_2 \text{ এর মৌলার ঘনমাত্রা} = \frac{(a - \alpha)}{V} (\text{mol L}^{-1})$$

$$\text{সাম্যাবস্থায় } I_2 \text{ এর মৌলার ঘনমাত্রা} = \frac{(b - \alpha)}{V} (\text{mol L}^{-1})$$

$$\text{সাম্যাবস্থায় } HI \text{ এর মৌলার ঘনমাত্রা} = \frac{2\alpha}{V} (\text{mol L}^{-1})$$

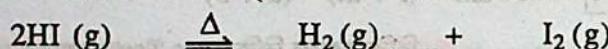
$$\therefore \text{সাম্যাক্র, } K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = \frac{\left(\frac{2\alpha}{V}\right)^2}{\left(\frac{a - \alpha}{V}\right) \times \left(\frac{b - \alpha}{V}\right)} = \frac{4\alpha^2}{(a - \alpha)(b - \alpha)}$$

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

$$\therefore \text{এক্ষেত্রে } K_p = K_c (RT)^0 = K_c \times 1 \text{ বা, } K_p = K_c = \frac{4\alpha^2}{(a - \alpha)(b - \alpha)}$$

K_p ও K_c এর তাত্পর্য : এক্ষেত্রে $K_p = K_c$ হয়েছে এবং উভয় সাম্য প্রক্রিয়ায় গ্যাস পাত্রের আয়তন (V) ও চাপ (P) কোনো রাশির সাথে সম্পর্কিত নয়। তাই বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে (V) ও (P) পরিবর্তন করলেও সাম্য প্রক্রিয়া অপরিবর্তিত থাকবে।

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



প্রাথমিক অবস্থায় : 2a mol 0 mol 0 mol

সাম্যাবস্থায় : $(2a - 2\alpha)$ mol α mol α mol

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

$$\text{সাম্যাবস্থায় } HI \text{ এর মৌলার ঘনমাত্রা} = \frac{(2a - 2\alpha)}{V} (\text{mol L}^{-1})$$

$$\text{সাম্যাবস্থায় } H_2 \text{ এর মৌলার ঘনমাত্রা} = \frac{\alpha}{V} (\text{mol L}^{-1})$$

$$\text{সাম্যাবস্থায় } I_2 \text{ এর মৌলার ঘনমাত্রা} = \frac{\alpha}{V} (\text{mol L}^{-1})$$

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

K_p এর গণনা (মোল ভগ্নাংশ ও মোট চাপের সাহায্যে) : মনে করি HI এর বিযোজনে সাম্যমিশ্রণে $HI \rightleftharpoons H_2 + I_2$ 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 হলে, তখন সাম্যাবস্থায়—

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

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

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

MCQ-4.10 : নিচের বিক্রিয়ায় K_p ও K_c এর স্পর্ক 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) $K_c = K_p$

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

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

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

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

(৩) ডাইনাইট্রোজেন টেট্রোক্সাইডের বিযোজন : ডাইনাইট্রোজেন টেট্রোক্সাইড (N_2O_4) কে বদ্ধ পাত্রে উৎপন্ন করলে তা আংশিকভাবে বিযোজিত হয়ে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড (NO_2) উৎপন্ন করে। সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :



প্রাথমিক অবস্থায় : a mol 0 mol

সাম্যাবস্থায় : $(a - \alpha)$ mol 2α mol

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

K_p এর গণনা : মনে কর, N_2O_4 -এর প্রাথমিক মোলসংখ্যা, a এবং সাম্যাবস্থায় বিযোজনের 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 হয়, তবে—

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

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

K_p -এর তাৎপর্য : উপরিউক্ত সমীকরণ থেকে জানা যায়,

- (১) α , a ও P জানা থাকলে সহজেই K_p নির্ণয় করা যায়।
- (২) এ ক্ষেত্রে চাপ P বাড়ালে K_p এ মান ধ্রুব রাখার জন্য বিযোজনের পরিমাণ α হাস পাবে।
- (৩) আবার বিযোজনের 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।

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

উপরিউক্ত সমীকরণে দেখা যায়, বিয়োজনের পরিমাণ α মোট চাপের উপর নির্ভরশীল। K_p ও P জানা থাকলে বিয়োজনের পরিমাণ α সহজেই নির্ণয় করা যায়।

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

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

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

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

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

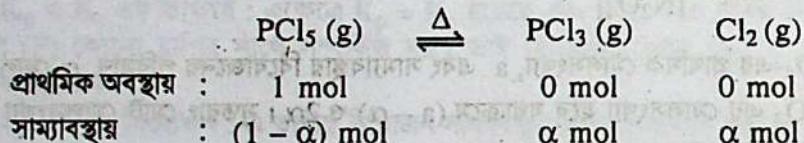
(২) এক্ষেত্রে $K_p = K_c ((RT)^{\Delta n})$ এবং $\Delta n = (2 - 1) = 1$ হওয়ায় $K_p = K_c RT$ হয়।

বিশেষ দ্রষ্টব্য : বিয়োজনের পরিমাণ ও বিয়োজন মাত্রা এ দুটো পদের অর্থ ভিন্ন।

যদি a মোল পদার্থের α mol বিয়োজিত হয়, তবে বিয়োজনের পরিমাণ হচ্ছে α mol। অপরদিকে 'বিয়োজন মাত্রা' (degree of dissociation) বলতে বোঝায় সে পদার্থের কত ভগ্নাংশ বিয়োজিত হয়েছে সে সংখ্যা, অর্থাৎ বিয়োজন 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 উত্পন্ন করার পর 2 mol বিয়োজিত হলে 'বিয়োজনের পরিমাণ' বলতে 2 mol বোঝাবে। অপরদিকে বিয়োজন মাত্রা হচ্ছে, $\frac{2}{5} = 0.4$ বা, $0.4 \times 100 = 40\%$ ।

(৮) ফসফরাস পেট্রোরাইডের বিয়োজন ;

ফসফরাস পেট্রোরাইড (PCl_5) নিম্নলিখিত বিক্রিয়া অনুসারে তাপ বিয়োজিত হয়ে সাম্যাবস্থা গ্রাহণ হয়।



K_c এর গণনা : ধরা যাক, 1 mol PCl_5 কে তাপ দেয়ার ফলে সাম্যাবস্থায় α অংশ বিয়োজিত হয়ে α mol PCl_3 ও α mol Cl_2 উৎপন্ন হয়েছে। সূতরাং PCl_5 এর অবিয়োজিত মোলসংখ্যা $= (1 - \alpha)$ । বিক্রিয়াটি V লিটার পাত্রে নিম্পন্ন করা হলে,

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

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

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

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

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, $P_{\text{PCl}_5} = P_{\text{PCl}_5}$ এর মোল ভগ্নাংশ \times মোট চাপ, $= \frac{(1 - \alpha)}{1 + \alpha} \times P$

$$\text{অনুরূপভাবে, } P_{\text{PCl}_3} = \frac{\alpha}{(1 + \alpha)} \times P ; \text{ এবং } P_{\text{Cl}_2} = \frac{\alpha}{(1 + \alpha)} \times P ;$$

$$\therefore K_p = \frac{P_{\text{PCl}_3} \times P_{\text{Cl}_2}}{P_{\text{PCl}_5}} = \frac{\frac{\alpha}{(1 + \alpha)} P \times \frac{\alpha}{(1 + \alpha)} P}{\frac{(1 - \alpha)}{(1 + \alpha)} P} = \frac{\frac{\alpha^2}{(1 + \alpha)^2} P^2}{\frac{(1 - \alpha)}{(1 + \alpha)} P} = \frac{\alpha^2 \times P^2}{(1 + \alpha)^2} \times \frac{(1 + \alpha)}{(1 - \alpha) \times P}$$

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

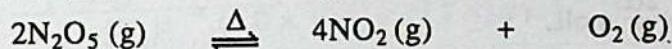
K_p এর তাৎপর্য : উপরের সমীকরণ থেকে দেখা যায়, (১) PCl_5 এর বিযোজনের পরিমাণ α , প্রাথমিক মোলার ঘনমাত্রা এবং মোট চাপ P জানা থাকলে K_p এর মান নির্ণয় করা যায়। এছাড়া (২) যদি P হাস পায়, তবে K_p এর মান দ্রুবক রাখার জন্য α এর মান অর্থাৎ PCl_5 এর বিযোজন বৃদ্ধি পায়।

বিশেষ দ্রষ্টব্য : কার্বনাইল ক্লোরাইড বা কার্বন ডাইক্লোরাইড অক্সাইড (COCl_2) এর বিযোজন উপরিউক্ত PCl_5 এর বিযোজনের অনুরূপ। যেমন, $\text{COCl}_2(g) \xrightleftharpoons{\Delta} \text{CO}(g) + \text{Cl}_2(g)$

সূতরাং COCl_2 বিযোজনের বেলায় K_c ও K_p এর গণনা অনুরূপভাবে করা যাবে।

$$\text{এ বিক্রিয়ায় } K_c = \frac{[\text{CO}] \times [\text{Cl}_2]}{[\text{COCl}_2]} \text{ এবং } K_p = \frac{P_{\text{CO}} \times P_{\text{Cl}_2}}{P_{\text{COCl}_2}}$$

(৫) N_2O_5 এর বিযোজন : এ তাপীয় বিযোজনের সাম্যাবস্থার সমীকরণ হলো নিম্নরূপ :



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 বিযোজনের পরিমাণ 2α মোল।
তখন 2α মোল N_2O_5 বিযোজিত হলে 4α মোল NO_2 ও α মোল O_2 উৎপন্ন হয়। সূতরাং সাম্য মিশ্রণে 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 হলে, তখন সাম্যাবস্থায়—

$$\text{N}_2\text{O}_5 \text{ এর আংশিক চাপ, } P_{\text{N}_2\text{O}_5} = \frac{(2a - 2\alpha) \times P}{(2a + 3\alpha)}$$

$$\text{NO}_2 \text{ এর আংশিক চাপ, } P_{\text{NO}_2} = \frac{4\alpha \times P}{(2a + 3\alpha)}$$

$$\text{O}_2 \text{ এর আংশিক চাপ, } P_{\text{O}_2} = \frac{\alpha \times P}{(2a + 3\alpha)}$$

$$\therefore \text{সাম্যাক্ষ, } K_p = \frac{(P_{\text{NO}_2})^4 \times P_{\text{O}_2}}{(P_{\text{N}_2\text{O}_5})^2} = \frac{\left[\frac{4\alpha P}{(2a + 3\alpha)} \right]^4 \times \left[\frac{\alpha P}{(2a + 3\alpha)} \right]}{\left[\frac{(2a - 2\alpha) \times P}{(2a + 3\alpha)} \right]^2}$$

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

K_p এর তাৎপর্য : একেত্রে চাপ বাড়লে K_p এর মান স্থির রাখার জন্য বিয়োজন α হাস পাবে।

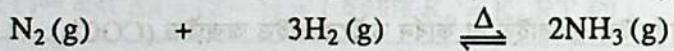
K_c এর গণনা : মনে করি, বিক্রিয়াটি V লিটার আয়তনের পাত্রে সম্পন্ন করা হলো। তখন সাম্যাবস্থায়, N_2O_5 এর ঘনমাত্রা, $[N_2O_5] = \frac{(2a - 2\alpha)}{V} \text{ mol L}^{-1}$, NO_2 এর ঘনমাত্রা, $[NO_2] = \frac{4\alpha}{V} \text{ mol L}^{-1}$, O_2 এর ঘনমাত্রা, $[O_2] = \frac{\alpha}{V} \text{ mol L}^{-1}$

$$\therefore \text{সাম্যাক}, K_c = \frac{[NO_2]^4 \times [O_2]}{[N_2O_5]^2} = \frac{\left(\frac{4\alpha}{V}\right)^4 \times \frac{\alpha}{V}}{\left(\frac{2a - 2\alpha}{V}\right)^2} = \frac{256\alpha^5}{V^5} \times \frac{V^2}{4(a - \alpha)^2}$$

$$\text{বা, } K_c = \frac{64\alpha^5}{(a - \alpha)^2 V^3}$$

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।



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। সূতরাং সাম্যাবস্থায় $(a - \alpha)$ mol N_2 ও $(3b - 3\alpha)$ mol H_2 বিক্রিয়া মিশ্রণে থাকে।

তখন সাম্যাবস্থায় N_2 এর ঘনমাত্রা $[N_2] = \frac{(a - \alpha)}{V} \text{ mol L}^{-1}$, H_2 এর ঘনমাত্রা, $[H_2] = \frac{(3b - 3\alpha)}{V} \text{ mol L}^{-1}$, NH_3 এর ঘনমাত্রা, $[NH_3] = \frac{2\alpha}{V} \text{ mol L}^{-1}$

$$\therefore \text{সাম্যাক}, K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \times [H_2]^3} = \frac{\left(\frac{2\alpha}{V}\right)^2}{\left(\frac{a - \alpha}{V}\right) \times \left(\frac{3b - 3\alpha}{V}\right)^3} = \frac{4\alpha^2 V^2}{27(a - \alpha)(b - \alpha)^3}$$

K_p এর গণনা : উপরিউক্ত বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় মোট মৌল সংখ্যা $= (a - \alpha + 3b - 3\alpha + 2\alpha) = (a + 3b - 2\alpha)$ । মোট চাপ P হলে তখন—

N_2 এর আংশিক চাপ, $P_{N_2} = \frac{(a - \alpha) \times P}{(a + 3b - 2\alpha)}$, H_2 এর আংশিক চাপ, $P_{H_2} = \frac{(3b - 3\alpha) \times P}{(a + 3b - 2\alpha)}$ ও NH_3 এর আংশিক চাপ, $P_{NH_3} = \frac{2\alpha \times P}{(a + 3b - 2\alpha)}$

$$\therefore \text{সাম্যাক}, K_p = \frac{(P_{NH_3})^2}{(P_{N_2}) \times (P_{H_2})^3} = \frac{\left[\frac{2\alpha P}{(a + 3b - 2\alpha)}\right]^2}{\frac{(a - \alpha) P}{(a + 3b - 2\alpha)} \times \left[\frac{(3b - 3\alpha) P}{(a + 3b - 2\alpha)}\right]^3}$$

$$\text{বা, } K_p = \frac{4\alpha^2(a + 3b - 2\alpha)^2}{27(a - \alpha)(b - \alpha)P^2}$$

K_p ও K_c এর তাৎপর্য : (১) যেহেতু $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$ এবং $\Delta n = (2 - 4) = -2$,

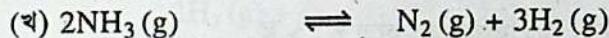
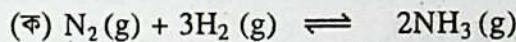
তাই $K_p = K_c (RT)^{-2}$, বা, $K_c = K_p \times (RT)^2$ ।

(২) K_p এর সাথে P এর সম্পর্ক মতে, একেত্রে চাপ P বাড়লে, K_p এর মান স্থির রাখার জন্য উৎপাদের পরিমাণ (α)

বাড়বে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.১৩ : সাম্যাবস্থার সমীকরণ লেখা :

নিচের প্রত্যেকটি বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার সমীকরণ লেখ ।



দক্ষতা : উৎপাদের মোলার ঘনমাত্রা রাশিকে লব ও বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রা রাশিকে হরক্রপে লেখা হয়। প্রতিক্রিয়ের মোল সংখ্যাকে মোলার ঘনমাত্রার পাওয়ার বা ঘাতকর্পে লেখা হয়।

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

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

MCQ-4.11 : 4.25 mol H₂ ও 4.75 mol I₂ বাষ্পকে 1.0 L পাত্রে উত্পন্ন করলে সাম্যাবস্থায় H₂, I₂ 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-৮.১৪ : সাম্যাক্রিয়ক K_c গণনা :

500 K তাপমাত্রায়, অ্যামোনিয়া উৎপাদনের বেলায় সাম্য মিশ্রণে নিম্নরূপ ঘনমাত্রা যেমন : [N₂] = 3.0 × 10⁻² M; [H₂] = 3.7 × 10⁻² M; [NH₃] = 1.6 × 10⁻² M হয়। আগের সমস্যা-৮.১৩ এর উভয় বিক্রিয়ার জন্য ঐ তাপমাত্রায় সাম্যাক্রিয়ক গণনা কর ।

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

$$\text{সমাধান : (ক) } K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \times [H_2]^3} = \frac{(1.6 \times 10^{-2})^2}{(3.0 \times 10^{-2}) \times (3.7 \times 10^{-2})^3} = 1.7 \times 10^2$$

$$(খ) K'_c = \frac{[N_2] \times [H_2]^3}{[NH_3]^2} = \frac{(3.0 \times 10^{-2}) \times (3.7 \times 10^{-2})^3}{(1.6 \times 10^{-2})^2} = 5.9 \times 10^{-3}$$

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.১৫ : সাম্যাক্রিয়ক K_c ও K_p সম্পর্কিয় :

চিম-হাইড্রোকার্বন রিফরমিং প্রক্রিয়ায় অধিক পরিমাণ H₂ গ্যাস শিল্পে উৎপাদন করা হয়। এক্ষেত্রে প্রথম ধাপের বিক্রিয়াটি হলো : H₂O(g) + CH₄(g) ⇌ CO(g) + 3H₂(g)

(ক) যদি এক্ষেত্রে K_c = 3.8 × 10⁻³, তাপমাত্রা 1000K হয়; তবে ঐ তাপমাত্রায় K_p এর মান কত?

(খ) যদি এক্ষেত্রে K_p = 6.1 × 10⁴, তাপমাত্রা 1125°C হয়; তবে ঐ তাপমাত্রায় K_c এর মান কত?

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

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

সমাধান : (ক) এ বিক্রিয়ায়, Δn = (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_c এর মান বের হবে :

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

লক্ষ কর, এখানে T = (1125 + 273) = 1398K

MCQ-4.12 : A + B ⇌ 3D সমীকরণ যতে

বিক্রিয়াটির K_p ও K_c এর সম্পর্ক হবে—

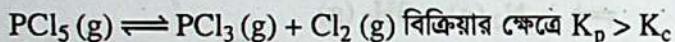
(ক) K_p = K_c(RT) (খ) K_p = K_c(RT)³

(গ) K_c = K_p(RT) (ঘ) K_c = K_p(RT)³

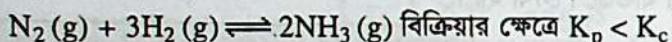
(গ) আমরা জানি, $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$;

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,

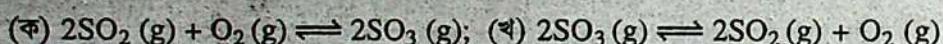


২। $K_p < K_c$ হবে, যদি বিক্রিয়ায় $\Delta n < 0$ হয়। যেমন,



শিক্ষার্থী নিজে কর-৮.৮ : ভরক্রিয়ার সূত্রভিত্তিক :

সমস্যা-৮.২৮ : সালফিটেরিক এসিডের শিল্পোৎপাদনে সালফার ডাইঅক্সাইডকে জারিত করে সালফার ট্রাই অক্সাইড উৎপাদন করা হয়। নিচের প্রত্যেক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার সমীকরণ লেখ।



সমস্যা-৮.২৯ : ৮০০K তাপমাত্রায়, SO_3 উৎপাদনের সাম্যাবস্থায় মোলার ঘনমাত্রা হয়

$[\text{SO}_2] = 3.0 \times 10^{-3} \text{ M}; [\text{O}_2] = 3.5 \times 10^{-3} \text{ M}; [\text{SO}_3] = 5.0 \times 10^{-2} \text{ M}$; উপরের সমস্যা-৮.২৮ এর উভয় বিক্রিয়ার জন্য ৮০০K তাপমাত্রায় সাম্ভুক গণনা কর। [উ: (ক) 7.9×10^4 ; (খ) 1.26×10^{-5}]

সমস্যা-৮.৩০ : (ক) সাম্ভুক K_c ও K_p এর কোনো একক নেই; এর কারণ ব্যাখ্যা কর।

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

(গ) $\text{A}_2(\text{g}) + \text{B}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{AB}(\text{g})$; এ উদ্বীপকের বিক্রিয়াটির জন্য K_p ও K_c এর মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করে। [চ. বো. ২০১৫]

(ঘ) $2\text{A}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{AO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$; এ উদ্বীপকের বিক্রিয়াটির K_p রাশিমালা প্রতিপাদন কর।

[কু. বো. ২০১৫]

(ঙ) N_2O_4 এর বিযোজনের K_p রাশিমালা প্রতিপাদন কর।

[রা. বো. ২০১৫]

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

[কু. বো. ২০১৫; দি. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৮.৩১ : টিম হাইড্রোকার্বন রিফরমিং প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন ওয়াটার গ্যাস মিশ্রণ (CO ও 3H_2) কে অধিকতর H_2 গ্যাস সমৃদ্ধ করতে CO গ্যাসকে টিমসহ প্রভাবকীয় বিক্রিয়া ঘটানো হয়, এ ওয়াটার-গ্যাস শিফ্ট বিক্রিয়াটি হলো :



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

সমস্যা-৮.৩২ : অসঙ্গমান্ত পদ্ধতিতে নাইট্রিক এসিড উৎপাদনে ২য় ধাপে নাইট্রিক অক্সাইডকে অক্সিজেনসহ জারিত করে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড উৎপাদন করা হয় : $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$

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

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

৮.৯.৮ সাম্ভুক K_c এর তাৎপর্য

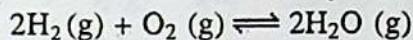
Significance of K_c

কোনো উভয়ী বিক্রিয়ার সাম্ভুককের মান জেনে আমরা কী সুবিধা পাব?

(১) আমরা বিক্রিয়াটির ব্যাপ্তি (extent) বিচার করব, (২) বিক্রিয়াটির দিক (direction) সম্বন্ধে ধারণা পাব,

(৩) প্রাথমিক ঘনমাত্রা থেকে সাম্যাবস্থার মিশ্রণের উপাদানের ঘনমাত্রা গণনা করতে পারব।

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



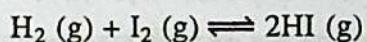
$$\text{সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার বেলায়, } 500K \text{ তাপমাত্রায়, } K_c = \frac{[H_2O]^2}{[H_2]^2 \times [O_2]} = 2.4 \times 10^{47}$$

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

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

আমরা এখন দুটি উভয়মুখী বিক্রিয়া যেমন (i) H_2 সংশ্লেষণ ও (ii) N_2O_4 বিযোজনের সাম্যক্রিয়াক নিয়ে বিচার করব।

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



$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2] \times [I_2]} = 57.0 \text{ (at 700K)}$$

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

$$[HI]^2 = K_c \times [H_2] \times [I_2]; \text{ বা, } [HI] = \sqrt{(57.0 \times 0.01 \times 0.01)} = 0.075M$$

এক্ষেত্রে সাম্যবস্থায় বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা 0.01M ও উৎপাদের ঘনমাত্রা 0.075M বাস্তবমুখী ও গণনাযোগ্য।

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

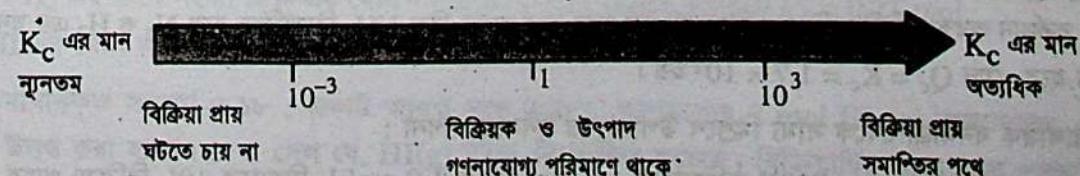
সাম্যবস্থায় N_2O_4 এবং NO_2 এর ঘনমাত্রা গণনাযোগ্য হয়। যেমন, 0.0337 M ও 0.0125 M (সারণি-8.8 দেখ)।

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

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

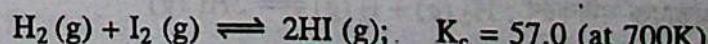
(iii) যদি $K_c < 10^{-3}$; তখন সাম্য মিশ্রণে উৎপাদনের চেয়ে বিক্রিয়ক বেশি থাকে। আবার K_c এর মান খুব কম হলে, সম্মুখমুখী বিক্রিয়া ঘটতে চায় না বোঝায়।

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



চিত্র-8.১৯ : K_c এর মানভিত্তিক বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি বিচার

(২) বিক্রিয়ার দিক সংকে প্রাক্ ধারণা : হাইড্রোজেন গ্যাস ও আয়োডিন বাস্প থেকে 700K ($427^{\circ}C$) তাপমাত্রায় HI সংশ্লেষণ বিক্রিয়াটির K_c এর মান নিয়ে আলোচনা করা যাক :



ধৰা যাক, বিক্রিয়া শুরুর t সময় পরে বিক্রিয়া মিশ্রণে 700K তাপমাত্রায় $H_2(g)$, $I_2(g)$ ও $HI(g)$ এর ঘনমাত্রা $[H_2]_t = 0.10M$, $[I_2]_t = 0.20M$ এবং $[HI]_t = 0.40M$ পাওয়া গেল। এ সময়ে বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় পৌছায়নি। এখন এসব মোলার ঘনমাত্রার মান সাম্যক্রিয়াকের সমীকরণে বসিয়ে যে মান পাই, তাকে বিক্রিয়া অনুপাত (Q_c) বা reaction quotient বলে।

$$\therefore \text{বিক্রিয়া অনুপাত}, Q_c = \frac{[HI]^2}{[H_2]_t \times [I_2]_t} = \frac{(0.40)^2}{(0.10) \times (0.20)} = 8.0$$

উল্লেখ্য K_c এর অনুরূপভাবে Q_c কে সংজ্ঞায়িত করা হয়। উপরের সম্পর্ক থেকে বোঝা যায় $Q_c (8.0)$ এর মান $K_c (57.0)$ এর মান থেকে অনেক কম। তাই $Q_c = K_c$ হতে হলে t সময়ের পরেও বিক্রিয়াটি সমুখ 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 সহকে নিরূপ সিদ্ধান্ত মিলে-

- (i) যদি $Q_c < K_c$ হয়; তখন বিক্রিয়াটি সমুখদিকে অগ্রসর হবে, উৎপাদ বাঢ়তে থাকবে।
- (ii) যদি $Q_c > K_c$ হয়; তখন বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় আসার জন্য পশ্চাত্মুক্তি হবে; উৎপাদের বিযোজন ঘটবে।
- (iii) যদি $Q_c = K_c$ হয়; তখন বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় পৌছে গেছে বোঝায়।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৬ : বিক্রিয়ার দিকের ধারণাভিত্তিক :

500K তাপমাত্রায় 20L বিক্রিয়া পাত্রে 1.57 mol N_2 , 1.92 mol H_2 এবং 8.13 mol NH_3 মিশ্রিত করা হলো। ঐ তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির ঘেমন $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ 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 $[N_2] = 1.57 \text{ mol}/20\text{L} = 0.0785M$.

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

এ মানসমূহ সাম্যক্রিয়াকের সমীকরণে Q_c এর জন্য বসিয়ে পাই :

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

যেহেতু $Q_c (2.37 \times 10^3)$ এর মান প্রদত্ত $K_c (1.7 \times 10^2)$ এর মানের চেয়ে বড়, তাই সাম্যক্রিয়াকের মানের সমান মান করতে বর্তমান অবস্থায় বিক্রিয়াটি বাম দিকে অগ্রসর হতে হবে অর্থাৎ কিছু NH_3 বিযোজিত হয়ে N_2 ও H_2 এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করতে হবে, যেন $Q_c = K_c = 1.7 \times 10^2$ হয়।

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৭ : 700K তাপমাত্রায় 1.0 mol H_2 ও 1.0 mol I_2 মিশ্রণকে 10L বিক্রিয়া পাত্রে নেয়া হলো। ঐ তাপমাত্রায় সাম্যক্রিয়াকের $K_c = 57$ হলে সাম্যাবস্থায় H_2 , I_2 ও HI এর ঘনমাত্রা কত হবে? সাম্য মিশ্রণে মোল এককে প্রতিটি উপাদান গণনা কর।

সমাধান : নিম্নোক্ত পাঁচ ধাপে সমস্যাটি সমাধান করা হবে :

১ম ধাপ : প্রদত্ত 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 $x mol/L I_2$ বিক্রিয়া করে $2x mol/L HI$ উৎপন্ন করেছে। এতে H_2 ও I_2 এর ঘনমাত্রাহাস পেয়ে $(0.1-x)mol/L$ হয় :

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

৩য় ধাপ : সাম্যবস্থায় $K_c = 57$ ধরে, সাম্মুচক সমীকরণ মতে পাই :

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

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

ধনাত্মক মান নিয়ে পাই;

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

$$\text{বা, } 0.755 = 7.55x + 2x$$

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

ঋণাত্মক মান নিয়ে পাই:

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

$$\text{বা, } -0.755 = 2x - 7.55x$$

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

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 সাম্যবস্থায় 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 : সাম্যবস্থার সমীকরণে ঐ সব মান বসিয়ে ফলাফল যাচাই :

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

সাম্যমিশ্রণে মোল সংখ্যা গণনা :

মোল সংখ্যা = মোলারিটি × বিক্রিয়া পাত্রের আয়তন লিটারে

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.১৮ : একটি আবক্ষ নলে $440^\circ C$ তাপমাত্রায় 2 mol $HI(g)$ সাম্যবস্থায় পৌছানো অবধি উভঙ্গ করা হলো। দেখা গেল যে, $HI(g)$ 22% বিয়োজিত হয়েছে। বিক্রিয়াটির সাম্মুচক গণনা করো।

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

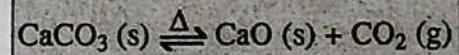
অশুরিতে, $HI(g)$ 22% বিয়োজিত হলে 2 mol $HI(g)$ থেকে $2 \times 0.22 = 0.44$ mol $HI(g)$ বিয়োজিত হয়েছে। সুতরাং সাম্য মিশ্রণে অবিয়োজিত $HI(g)$ আছে $= (2 - 0.44) = 1.56$ mol.

বিক্রিয়ার সমীকরণ থেকে দেখা যায়, 2 mol $HI(g)$ এর বিয়োজনে 1 mol $H_2(g)$ ও 1 mol $I_2(g)$ উৎপন্ন হয়।
সুতরাং 0.44 mol $HI(g)$ এর বিয়োজনে $H_2(g)$ ও $I_2(g)$ অতিরি 0.22 mol উৎপন্ন হয়।

MCQ-4.13 : সাম্যবস্থায় $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ 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

MCQ-4.14 : নিচের বিক্রিয়ার K_c এর রাশিমালা কোনটি? [রা. বো. ২০১৬]

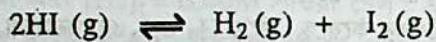


$$(ক) K_c \frac{[CaO]}{[CaCO_3]}$$

$$(খ) K_c \frac{[CaO] \times [CO_2]}{[CaCO_3]}$$

$$(গ) K_c = [CO_2] \quad (ঘ) [CaO]$$

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



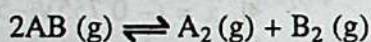
$$\text{সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা (M)} \quad \frac{1.56}{V} \quad \frac{0.22}{V} \quad \frac{0.22}{V}$$

$$\therefore K_c = \frac{[\text{H}_2] \times [\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} = \frac{\frac{0.22}{V} \times \frac{0.22}{V}}{\left(\frac{1.56}{V}\right)^2} = 0.018$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.১৯ : 470°C তাপমাত্রায় $\text{AB}(\text{g})$ যৌগটির 45% বিযোজিত হয়। উক্ত বিযোজনের সাম্যাবস্থায় K_c গণনা কর। সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াটি হলো : $2\text{AB}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{A}_2(\text{g}) + \text{B}_2(\text{g})$

সমাধান : সংশ্লিষ্ট সমীকরণ : $2\text{AB}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{A}_2(\text{g}) + \text{B}_2(\text{g})$

প্রশ্নমতে, $\text{AB}(\text{g})$ 45% বিযোজিত হয়। তখন সমীকরণ মতে 2 mol $\text{AB}(\text{g})$ থেকে $2 \times 0.45 = 0.90$ mol $\text{AB}(\text{g})$ বিযোজিত হয়েছে। সুতরাং সাম্যমিশ্রণে অবিযোজিত $\text{AB}(\text{g})$ আছে $= (2 - 0.90) = 1.10$ mol। বিক্রিয়ার সমীকরণ থেকে দেখা যায় 2 mol $\text{AB}(\text{g})$ এর 1 mol $\text{A}_2(\text{g})$ ও 1 mol $\text{B}_2(\text{g})$ উৎপন্ন হয়। সুতরাং 0.90 mol $\text{AB}(\text{g})$ বিযোজনে $\text{A}_2(\text{g})$ ও $\text{B}_2(\text{g})$ প্রতিটির 0.45 mol উৎপন্ন হয়। যদি আবদ্ধ পাত্রের আয়তন VL হয়, তবে সাম্যাবস্থায় উপাদানগুলোর মোলার ঘনমাত্রা হবে নিম্নরূপ :



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

$$\therefore \text{সাম্যাবস্থায় } K_c = \frac{[\text{A}_2] \times [\text{B}_2]}{[\text{AB}]^2} = \frac{\frac{0.45}{V} \times \frac{0.45}{V}}{\left(\frac{1.10}{V}\right)^2} = 167.35 \times 10^{-3}$$

$$\therefore K_c = 167.35 \times 10^{-3}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.২০ : 4.05 mol হাইড্রোজেন এবং 4.65 আয়োডিন 444°C তাপমাত্রায় 1L ফ্লাক্সে রেখে তাপ দিলে 6.75 mol HI উৎপন্ন হলো। $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় K_c ও K_p নির্ণয় কর।

সমাধান : $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons{\Delta} 2\text{HI}(\text{g})$ এখানে, $a = 4.05$ mol

প্রাথমিক অবস্থায় : a mol b mol 0 mol $b = 4.65$ mol

সাম্যাবস্থায় : $(a - \alpha)$ mol $(b - \alpha)$ mol 2α mol $\alpha = \frac{6.75}{2} = 3.375$ mol
 $V = 1\text{L}$

\therefore বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় :

$$[\text{H}_2] = (a - \alpha) = (4.05 - 3.375) = 0.675 \text{ (M)}$$

$$[\text{I}_2] = (b - \alpha) = (4.65 - 3.375) = 1.275 \text{ (M)}$$

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

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

$$\therefore K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{I}_2][\text{H}_2]} = \frac{(6.75)^2}{(1.275)(0.675)} = \frac{45.5625}{0.860625} = 52.94$$

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.২১ : 298 K তাপমাত্রায় সাম্যাবস্থায় N_2O_4 এর বিযোজন 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 কর।

সমাধান : সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়াটির সমীকরণ হলো : $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.২২ : 298 K বা, 25°C তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে ডাইনাইট্রোজেন টেট্রাইড (N_2O_4) এর 18.5% নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইডে বিযোজিত হয়। উক্ত বিযোজনের জন্য K_p নির্ণয় কর। ঐ তাপমাত্রায় এবং 0.5 atm চাপে N_2O_4 এর বিযোজন মাত্রা কত হবে?

সমাধান : সংশ্লিষ্ট সমীকরণ হলো, $N_2O_4(g) \xrightleftharpoons{\Delta} 2NO_2(g)$

$$\text{সাম্যাবস্থায় : } (a - \alpha) \quad 2\alpha$$

মনে করি, 1 mol N_2O_4 নেওয়া হয়েছে। অর্থাৎ $a = 1 \text{ mol}$

$$\text{প্রশ্নমতে, } 298 \text{ K তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে } \alpha = 0.185 \text{ mol, } a = 1 \text{ mol}$$

$$\text{আমরা জানি, } N_2O_4 \text{ এর বিযোজনের বেলায়, } K_p = \frac{4\alpha^2 \times P}{a^2} ; \therefore \alpha = \frac{a}{2} \sqrt{\frac{K_p}{P}}$$

$$\text{এখানে } \alpha = \frac{a}{2} \sqrt{\frac{K_p}{P}} ; \text{ অর্থাৎ, } 0.185 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{K_p}{1}} \quad \text{বা, } K_p = (0.185 \times 2)^2 = 0.1369$$

$$\text{এখন, } P = 0.5 \text{ বসালে বিযোজন এর পরিমাণ, } \alpha = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{K_p}{0.5}} ; \quad \text{বা, } \alpha = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0.1369}{0.5}}$$

$$\text{বা, } \alpha = \frac{1}{2} \times 0.524 = 0.262$$

$$\text{আবার বিযোজন মাত্রা, } \beta = \frac{\alpha}{a} = \frac{0.262}{1} ; \quad \text{বা, } \beta = 0.262 = 26.2\%$$

$$\text{অতএব, } 298 \text{ K তাপমাত্রায় ও 0.5 atm চাপে বিযোজন মাত্রা, } \beta = 26.2\%$$

দ্রষ্টব্য : যেহেতু K_p হলো এককবিহীন, তাই চাপের একক atm বাদ দিয়ে সংখ্যামান ব্যবহৃত হয়েছে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.২৩ : 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 কর।

সমাধান :

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া :	$\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$	বিয়োজন পরিমাণ, $\alpha = 80\% = 0.8 \text{ mol}^{-1}$
প্রাথমিক অবস্থায় :	1 0 0	চাপ, $P = 3.0 \text{ atm}$, সাম্যাক্ষ, $K_p = ?$
সাম্যাবস্থায় :	(1 - 0.8) 0.8 0.8 = 0.20	PCl_3 এর আংশিক চাপ, $P_{\text{PCl}_3} = ?$

$$\therefore \text{সাম্যাবস্থায় মোট মৌল সংখ্যা} = (0.20 + 0.8 + 0.8) = 1.8$$

$$\therefore \text{PCl}_5 \text{ এর আংশিক চাপ, } P_{\text{PCl}_5} = \frac{0.20}{1.8} \times 3 \text{ atm} = \frac{0.33 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 0.33$$

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

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

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

$$\therefore K_p \text{ এর মান } 5.33; \text{ PCl}_3 \text{ এর আংশিক চাপ} = 1.332 \text{ atm}; \text{ Cl}_2 \text{ এর আংশিক চাপ} = 1.332 \text{ atm}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.২৪ : একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় $2A + B \rightleftharpoons 2C$ বিক্রিয়ায় সাম্যাক্ষৰকের মান 8.0×10^{-4} । যদি ঐ তাপমাত্রায় বিপরীত বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান $1.24 \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ হয়, তবে সমূখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান কত হবে?

সমাধান : সাম্যাক্ষৰক, $K = \frac{\text{সমূখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক}}{\text{বিপরীত বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক}}$

$$\therefore \text{সমূখ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক} = K \times \text{বিপরীত বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক}$$

$$= 8 \times 10^{-4} \times 1.24 \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$$

$$= 9.92 \times 10^{-4} \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$$

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-৮.২৫ : 25°C তাপমাত্রায় $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ বিক্রিয়ার $K_p = 3 \times 10^{24}$ হলে এর K_c এর মান কত?

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

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

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

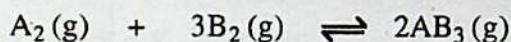
$$3 \times 10^{24} = K_c (0.082 \text{ K}^{-1} \times 298 \text{ K})^{-1}$$

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

$$= 7.33 \times 10^{25}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.২৬ : $A_2(g) + 3B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_3(g)$; 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 কর।

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



সাম্যাবস্থায় : 22% 61% 17%

$$\text{প্রশ্নমতে, } B_2 = (100 - 22 - 17)\% = 61\%$$

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

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

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

$$\therefore K_p = \frac{(P_{AB_3})^2}{P_{A_2} \times (P_{B_2})^3} = \frac{(4.25)^2}{5.5 \times (15.25)^3} = 9.25 \times 10^{-4}$$

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

$$\text{এখানে, } K_p = 9.25 \times 10^{-4}, T = 650\text{K}, \Delta n = 2 - (1 + 3) = -2, R = \frac{0.082 \text{ L.atm mol}^{-1}\text{K}^{-1}}{\text{L.atm mol}^{-1}}$$

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

$$\therefore K_c = K_p (RT)^2 = 9.25 \times 10^{-4} \times (0.082 \cdot K^{-1} \times 650 \text{ K})^2$$

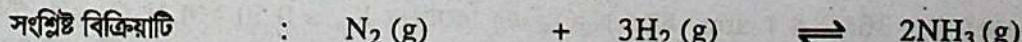
$$\therefore K_c = 2.6278$$

$$\therefore K_p = 9.25 \times 10^{-4} \text{ এবং } K_c = 2.6278$$

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.২৭ : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় 1L একটি পাত্রে 0.326 mol N_2 এবং 0.439 mol H_2 কে উভঙ্গ করায় সাম্যাবস্থায় মিশ্রণের মোট মৌল সংখ্যা পাওয়া যায় 0.657 mol. বিক্রিয়াটির K_c নির্ণয় কর।

সমাধান : মনে করি, বিক্রিয়াটির x mol N_2 এবং $3x$ mol H_2 পরম্পরের সাথে বিক্রিয়া করে সাম্যাবস্থায় $2x$ mol পরিমাণ NH_3 উৎপন্ন করে।



$$\text{প্রাথমিক মৌল সংখ্যা} : 3.326 \quad 0.439 \quad 0$$

$$\text{পরিবর্তন ঘটেছে} : -x \quad -3x \quad 2x$$

$$\text{সাম্যাবস্থায় মৌলসংখ্যা} : (0.326 - x) \quad (0.439 - 3x) \quad 2x$$

প্রশ্নমতে সাম্যাবস্থায় মিশ্রণের মোট মৌল সংখ্যা

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

$$\text{বা, } 0.765 - 2x = 0.657$$

$$\text{বা, } 0.765 - 0.657 = 2x \text{ বা, } 2x = 0.108$$

$$\text{বা, } x = 0.054$$

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

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

সাম্যাবস্থায় H_2 এর মোলসংখ্যা $= (0.439 - 0.054 \times 3) = 0.275 \text{ mol}$;
 H_2 এর ঘনমাত্রা, $[H_2] = 0.275 (M)$

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

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

$$K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} = \frac{(0.108)^2}{0.272 \times (0.275)^3} = \frac{0.011664}{0.0056567} = 2.062$$

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

MCQ-4.16 : অল্পীয় $KMnO_4$ ও অক্সালিক এসিডের রিডক্স বিক্রিয়ায় অটো প্রভাবক কোনটি?

[ৱ. বো. ২০১৭]

- (ক) MnO_4^- (খ) Mn^{2+}
 (গ) CrO_4^{2-} (ঘ) K^+

শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.৯ : K_p ও K_c ভিত্তিক গণনা

সমস্যা-৪.৩৩ : উভয়ীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে Q_c ও K_c এর তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর।

[অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-৪.৩৪ : $427^\circ C$ -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 সাম্যাবস্থক, $K_c = 57.0$ ($427^\circ C$ তাপমাত্রায়)। সাম্যমিশ্রণে H_2 , I_2 , HI এর ঘনমাত্রা বের কর।
 [উ: $[H_2] = 0.006 M$, $[I_2] = 0.106 M$, $[HI] = 0.188 M$]

সমস্যা-৪.৩৫(ক) : $25^\circ C$ 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 সাম্যাবস্থক K_c এর মান 4.64×10^{-3} । সাম্যাবস্থায় মিশ্রণের N_2O_4 ও NO_2 এর ঘনমাত্রা বের কর।
 [উ: $[N_2O_4] = 0.0429 M$; $[NO_2] = 0.0141 M$]

সমস্যা-৪.৩৫(খ) : $25^\circ C$ 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 কর।

$$[উ: K_c = 3.274 \times 10^{-4}; P_{NO_2} = 0.08 \text{ atm}]$$

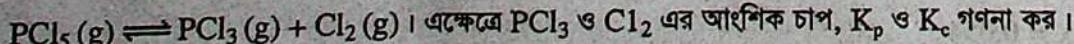
সমস্যা-৪.৩৫(গ) : $25^\circ C$ তাপমাত্রায়, বিক্রিয়া পাত্রে $[N_2O_4] = 0.02 M$ এবং $[NO_2] = 0.03 M$ আছে। $K_c = 4.64 \times 10^{-3}$ হলে সাম্য মিশ্রণে উপাদানের ঘনমাত্রা বের কর।
 [উ: $[N_2O_4] = 0.0292 M$; $[NO_2] = 0.0116 M$]

সমস্যা-৪.৩৫(ঘ) : $30^\circ C$ 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(ক) : এক রসায়নবিদ ফসফরাস হ্যালাইডের ওপর পরীক্ষা করতে গিয়ে 0.50L ফ্লাকে 0.105 mol PCl_5 সহ 0.045 mol Cl_2 এবং 0.045 mol PCl_3 কে যোগ করলেন। $250^\circ C$ এ বিক্রিয়াটির $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ সাম্যাবস্থক, $K_c = 4.2 \times 10^{-2}$ হয়। তুমি বিক্রিয়াটির দিক নির্ধারণ কর।

সমস্যা-৪.৩৬(খ) : যদি উপরোক্ত বিক্রিয়ার সাম্য মিশ্রণে $[PCl_5] = 0.2065 M$ হয়; তবে অন্য সব উপাদানের ঘনমাত্রা বের কর।
 [উ: (ক) সম্মুখ দিকে; (খ) $[PCl_3] = [Cl_2] = 0.093 M$]

সমস্যা-৪.৩৭(ক) : এক অজেব রসায়নবিদ ফসফরাস ক্লোরাইডের বিযোজন সম্পর্কীয় পরীক্ষায় 1 mol PCl_5 বিক্রিয়া ফ্লাকে $250^\circ C$ ও 1 atm চাপে রাখলেন। এতে 80% PCl_5 বিযোজিত হয়ে থাকে :



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

সমস্যা-৪.৩৭ (খ) : 30°C তাপমাত্রায় ও 1.5 atm চাপে 15.6% PCl_5 বিয়োজিত হয়। এ বিয়োজন বিক্রিয়ার K_p এর মান বের কর। [উ: $K_p = 0.0374$]

সমস্যা-৪.৩৭ (গ) : 250°C তাপমাত্রায় ও 3 atm চাপে 80% PCl_5 বিয়োজিত হয়ে PCl_3 ও Cl_2 উৎপন্ন হয়। PCl_3 ও Cl_2 এর আংশিক চাপ ও K_p নির্ণয় কর। [উ: 1.33 atm এবং $K_p = 5.36$]

সমস্যা-৪.৩৮ (ক) : 450°C তাপমাত্রায় ও $1.01 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$ চাপে 1L ফ্লাকে 1 mol H_2 ও 1 mol I_2 মিশ্রিত করা হলো। সাম্য মিশ্রণে 1.56 mol HI উৎপন্ন থাকলে, এ তাপমাত্রায় K_p নির্ণয় কর। [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 ফ্লাকে রেখে তাপ দিলে 6.70 mol HI উৎপন্ন হয়। $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ বিক্রিয়াভিত্তিক সাম্যান্তরিক K_c ও K_p নির্ণয় কর। [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 ফ্লাকে উত্পন্ন করা হলো। ফলে 1308.16 g HI উৎপন্ন হয়। এ বিক্রিয়ার সাম্যান্তরিক সাম্যান্তরিক সম্পর্ক গণনা কর। [উ: $K_c = K_p = 85.61$]

সমস্যা-৪.৩৮ (ঘ) : 425°C তাপমাত্রায় 15 mol H_2 এবং 5.2 mol I_2 এর মিশ্রণকে 1L আবদ্ধ পাত্রে উত্পন্ন করলে 10 mol HI উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটির সাম্যান্তরিক সম্পর্ক গণনা কর। [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 কর।

[উ: $K_p = 0.07248; K_c = 0.07248$]

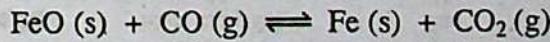
সমস্যা-৪.৩৯ : $\text{X}_2(\text{g}) + \text{Y}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{XY}(\text{g})$ বিক্রিয়াটি 2L পাত্রে 1 atm চাপে ও নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সম্পর্ক করা হয়। X_2 ও Y_2 প্রত্যেকের প্রাথমিক ঘনমাত্রা 2 mol এবং সাম্যবস্থায় 3.12 mol উৎপন্ন হলে K_p ও K_c এর মান বের কর। [উ: $K_p = K_c = 50.28$] [ব. বো. ২০১৫]

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৮ : আয়রন আকরিক থেকে আয়রন নিষ্কাশনে, FeO(s) ও CO গ্যাসের রিডক্ষন বিক্রিয়ায় আয়রন ও CO_2 গ্যাস উৎপন্ন হয়। $\text{FeO(s)} + \text{CO(g)} \rightleftharpoons \text{Fe(s)} + \text{CO}_2(\text{g})$

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

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

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



প্রাথমিক চাপ (atm) : 1.0 0.5

পরিবর্তন (atm) : $-x$ $+x$

সাম্যবস্থায় চাপ (atm) : $(1-x)$ $(0.5+x)$

৩য় ধাপ : সাম্যান্তরিক সমীকরণে মানগুলো বসিয়ে পাই :

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

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

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

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

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

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

MCQ-4.17 : K_c এর মানের তাপর্য 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 : সাম্য প্রবকের সমীকরণে মানগুলো বসিয়ে ফলাফল যাচাই;

$$K_p = 0.259 = P_{CO_2}/P_{CO} = 0.309/1.191 = 0.259$$

x এর ঝণাঞ্চক 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 সাম্যপ্রবক K_p (0.259) থেকে বড়। যখন $Q_p > K_p$ হয়, তখন বিক্রিয়া ডানদিক থেকে বাম দিকে গিয়ে সাম্যাবস্থা লাভ করে।

শিক্ষার্থীর কাজ-৪.১০ : আংশিক চাপ নির্ণয়ভিত্তিক :

সমস্যা-৪.৮০ : ওয়াটার গ্যাস উৎপাদন বিক্রিয়া : $C(s) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2(g)$ এর 1000 K তাপমাত্রায় সাম্যপ্রবক $K_p = 2.44$ হয়। যদি প্রাথমিক অবস্থায় H_2O , CO , H_2 এর আংশিক চাপ $P_{H_2O} = 1.2 \text{ atm}$, $P_{CO} = 1.0 \text{ atm}$ ও $P_{H_2} = 1.4 \text{ atm}$ হলে সাম্যাবস্থায় এদের আংশিক চাপ বের কর।

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

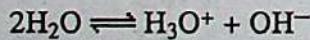
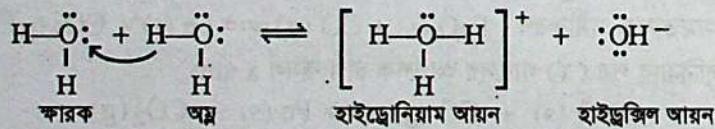
সমস্যা-৪.৮১ : $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ এ বিক্রিয়ায় নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সাম্যপ্রবক $K_p = 4.75$ হয়। সাম্যাবস্থায় SO_2 ও SO_3 এর আংশিক চাপ যথাক্রমে 0.25 atm ও 0.45 atm হলে O_2 এর আংশিক চাপ কত হবে?

$$[\text{উ}: 0.6821 \text{ atm}]$$

৪.১০.১ পানির আয়নিক শৃঙ্খল : পানির অটো আয়নীকরণ

Ionic Product of Water : Auto ionization of Water

বিজ্ঞানী কোলরাস ও হেডউইলার (Kohlrausch ও Heydweiller, 1894) বিশুদ্ধ পানির পরিবাহিতা নির্ণয় করে দেখান যে, অতি বিশুদ্ধ পানি অতি সামান্য বিদ্যুৎ পরিবহন করে। অর্থাৎ পানি হলো একটি অতি দুর্বল তড়িৎ বিশেষ্য পদার্থ। এতে প্রমাণিত হয় পোলার পানি অণু নিজেই অতি স্থলমাত্রায় আয়নিত হয়ে ধনাঞ্চক আয়ন ও ঝণাঞ্চক আয়ন যেমন হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) ও হাইড্রক্সিল আয়ন (OH^-) উৎপন্ন করে। একে পানির অটো-আয়নীকরণ বলে। এ ক্ষেত্রে একটি পানি অণু অন্য বা প্রোটন দাতা ও অপর পানি অণু ক্ষারক বা প্রোটন গ্রহীতারূপে ক্রিয়া করে। যেমন,



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

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

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

K_w কে পানির আয়নিক শৃঙ্খল বলা হয়।

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

* (১) প্রথমত সমুখ্যমূর্খী ও পশ্চাত্যমূর্খী 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 প্রাক্তীয় অবস্থায় থাকে। তখন অতি বল্ল সংখ্যক H_2O অণু আয়নিত হয়ে H_3O^+ আয়ন ও OH^- আয়ন উৎপন্ন করে।

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।

$$\therefore [H_3O^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ M (at } 25^\circ\text{C})$$

$$\therefore 25^\circ\text{C} \text{ এ পানির আয়নিক গুণফল, } K_w = [H_3O^+] \times [OH^-] = (1.0 \times 10^{-7})(1.0 \times 10^{-7})$$

$$= 1.0 \times 10^{-14} \text{ (এককবিহীন)}$$

$$\text{আবার } 25^\circ\text{C} \text{ বিশুদ্ধ পানির মোলার ঘনমাত্রা; প্রায় } 55.5 \text{ M হয়; } \left(\text{যেহেতু } \frac{1000 \text{ g/L}}{18.016 \text{ g mol}^{-1}} \right)$$

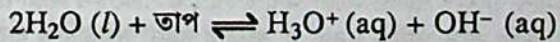
আবার $[H_3O^+]$ এর মান ও বিশুদ্ধ পানির মোলার ঘনমাত্রার মান থেকে বিয়োজিত ও অবিয়োজিত পানি অণুর অনুপাত পাই $1.0 \times 10^{-7} \text{ M}/55.5 \text{ M} = 1.8 \times 10^{-9}$; অর্থাৎ $(1.0/1.8) \times 10^9$ টি পানি অণুর মধ্যে একটি আয়নিত হয়। অর্থাৎ 5555 লক্ষ পানি অণুর মধ্যে 1টি পানি অণু বিয়োজিত হয়ে সাম্য অবস্থায় থাকে। তাই বিয়োজিত ও অবিয়োজিত পানি অণুর অনুপাত হলো 1: 5555 × 10⁵

(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, অল্লীয় বা ক্ষারীয় দ্রবণের জন্য প্রযোজ্য হয়। সুতরাং একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানি বা যেকোনো জলীয় দ্রবণের ক্ষেত্রে H_3O^+ ও OH^- আয়নের ঘনমাত্রার গুণফল সর্বদা ধ্রুবক এবং এর মান এই তাপমাত্রায় K_w এর সমান হয়।

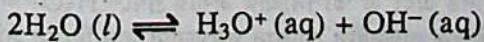
(২) পানির আয়নিক গুণফলের (K_w) ওপর তাপমাত্রার প্রভাব : অন্যান্য সাম্যধ্রুবকের মতো K_w এর মান স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট এবং তাপমাত্রার পরিবর্তনে K_w এর মানও পরিবর্তিত হয়। পানির অটো আয়নীকরণ বা স্ব-আয়নীকরণ প্রক্রিয়াটি হলো একটি তাপহারী প্রক্রিয়া :



তাই তাপমাত্রার বৃদ্ধিতে H_3O^+ ও OH^- আয়নের ঘনমাত্রা তথা K_w এর মান বৃদ্ধি পায়। বিভিন্ন তাপমাত্রায় K_w এর মান নিচে দেয়া হলো :

তাপমাত্রা (°C)	10°C	25°C	30°C	50°C	100°C
K_w এর মান	0.292×10^{-14}	1.0×10^{-14}	1.465×10^{-14}	5.474×10^{-14}	8.7×10^{-14}

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



$$K_d = \frac{[H_3O^+] \times [OH^-]}{[H_2O]^2} = \frac{K_w}{[H_2O]^2}; \therefore K_w = K_d \times [H_2O]^2$$

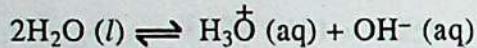
সুতরাং পানির স্ব-আয়নীকরণ ধ্রুবক (K_d) ও আয়নিক গুণফল এক নয়।

এখন 1L বিশুদ্ধ পানিতে H_2O এর মোল সংখ্যা = $\frac{1000 \text{ g}}{18.016 \text{ g mol}^{-1}} = 55.5 \text{ mol}$ (পানির ঘনত্ব 1 g.cm⁻³ ধরে)

সুতরাং বিশুদ্ধ পানির মোলার ঘনমাত্রা, $[H_2O] = 55.5 \text{ mol.L}^{-1}$

$\therefore K_w = K_d \times (55.5)^2$ এই 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 :



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, $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$

$$\text{সূতরাং } K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]^2 = [\text{OH}^-]^2$$

$$\therefore \text{বিশুদ্ধ পানিতে, } [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = \sqrt{K_w}$$

(i) 25°C তাপমাত্রায় $K_w = 10^{-14}$ । সূতরাং 25°C তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানিতে, $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7}\text{M}$ । অর্থাৎ এক কোটি লিটার বিশুদ্ধ পানিতে, 1 মোল H_3O^+ ও 1 মোল OH^- আয়ন বর্তমান।

(ii) 100°C তাপমাত্রায় $K_w = 8.7 \times 10^{-14}$ । সূতরাং 100°C তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানিতে $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = \sqrt{8.7 \times 10^{-14}} = 2.95 \times 10^{-7} (\text{mol L}^{-1})$

(৩) পানির অটো-আয়নীকরণ ও এসিড-বেস কেমিস্ট্রি সম্পর্ক :

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

(১) লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য ও গতিশীল পানির আয়নিক সাম্যাবস্থায় যে কোনো আয়নের ঘনমাত্রা পরিবর্তন করলে সাম্যের অবস্থান পরিবর্তিত হয়; কিন্তু সাম্যাবস্থাক স্থির থাকে। তাই পানিতে অন্ত এসিড (যেমন HCl) যোগ করলে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায়, ফলে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা হ্রাস পায়। অপরদিকে অন্ত 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 প্রতিক্রিয়ে H_2O উৎপন্ন হয়; ফলে K_w এর মান স্থির থাকে। সূতরাং $[\text{H}_3\text{O}^+]$ পরিবর্তনের ফলে বিপরীতক্রমে $[\text{OH}^-]$ পরিবর্তিত হয়।

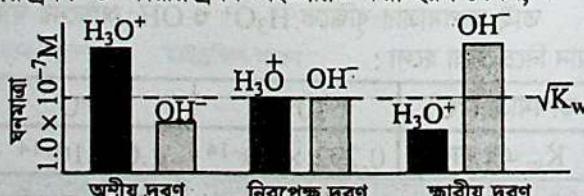
$\text{Higher } [\text{H}_3\text{O}^+] \Rightarrow \text{Lower } [\text{OH}^-]$ এবং $\text{Higher } [\text{OH}^-] \Rightarrow \text{Lower } [\text{H}_3\text{O}^+]$

(২) সব অঙ্গীয় 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 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ পরিমাণ ও $[\text{OH}^-]$ পরিমাণের ওপর ভিত্তি করে 'অঙ্গীয় দ্রবণ' ও 'ক্ষারীয় দ্রবণ' সংজ্ঞায়িত করা হয়। যেমন,

অঙ্গীয় দ্রবণে, $[\text{H}_3\text{O}^+] > \sqrt{K_w} > [\text{OH}^-]$

নিরপেক্ষ দ্রবণে, $[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_w} = [\text{OH}^-]$

ক্ষারীয় দ্রবণে, $[\text{H}_3\text{O}^+] < \sqrt{K_w} < [\text{OH}^-]$



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 :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} ; [\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]}$$

যেমন 25°C তাপমাত্রায় কোনো জলীয় দ্রবণের $[\text{H}_3\text{O}^+]$ অথবা $[\text{OH}^-]$ এর যে কোনো একটির পরিমাণ জানা থাকলে, তখন K_w এর মান থেকে অপরটির মান বের করা যায়। যেমন,

$$\text{যেহেতু, } [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = K_w = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$\therefore [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{OH}^-]} ; \text{ এবং } [\text{OH}^-] = \frac{1 \times 10^{-14}}{[\text{H}_3\text{O}^+]}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.২৯ : K_w এর মান থেকে দ্রবণে H_3O^+ ও OH^- আয়ন গণনা :

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

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

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

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

শিক্ষার্থী নিজে কর-৮.১১ : আয়নিক শুণফলভিত্তিক :

সমস্যা-৮.৪২ : $25^\circ C$ -এ পানির আয়নিক শুণফল (K_w) এর মান ও মোলার ঘনমাত্রা থেকে বিয়োজিত ও অবিয়োজিত পানি অগুর অনুপাত বের কর। [অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-৮.৪৩ : কোনো সামুদ্রিক পানির OH^- আয়নের ঘনমাত্রা $5.0 \times 10^{-6} M$ হলে এতে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা কত হবে তা বের কর। এ সামুদ্রিক পানি অল্পীয়, নিরপেক্ষ অথবা ক্ষারীয় হবে কীনা ব্যাখ্যা কর।

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

সমস্যা-৮.৪৪(ক) : $50^\circ C$ তাপমাত্রায় $K_w = 5.5 \times 10^{-14}$; ঐ নিরপেক্ষ দ্রবণে $50^\circ C$ তাপমাত্রায় H_3O^+ ও OH^- আয়নের ঘনমাত্রা বের কর। [উ: $2.345 \times 10^{-7} M$]

সমস্যা-৮.৪৪(খ) : $25^\circ C$ তাপমাত্রায় একটি জলীয় দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা $2 \times 10^{-5} M$ হলে ঐ দ্রবণে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা কত? [উ: $5 \times 10^{-10} M$]

সমস্যা-৮.৪৫(ক) : $50^\circ C$ তাপমাত্রায় পানির আয়নিক শুণফলের মান $25^\circ C$ তাপমাত্রায় আয়নিক শুণফলের মান অপেক্ষা বেশি কেন? [উ: তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে K_w এর মান বৃদ্ধি পায়; কারণ পানির আয়নীকরণ বৃদ্ধি পায়।]

সমস্যা-৮.৪৫(খ) : তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিশুদ্ধ পানির OH^- আয়নের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায় কেন? এর ফলে বিশুদ্ধ পানি কি ক্ষারীয় হয়? ব্যাখ্যা কর। [উ: ক্ষারীয় হয় না।]

৮.১০.২। অম্ল ও ক্ষারকের বিয়োজন মাত্রার সাথে ঘনমাত্রার সম্পর্ক : অসওয়াল্ডের লবুকরণ 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

$$\text{অম্ল বা ক্ষারকের বিয়োজন-মাত্রা, } \alpha = \frac{\text{বিয়োজিত অম্ল বা ক্ষারকের মোলসংখ্যার ভগ্নাংশ}}{\text{দ্রবীভূত ঐ অম্ল বা ক্ষারকের মোট মোল সংখ্যা}} = \frac{[HA] \text{ বা } [B]}{[HA] \text{ বা } [B]} \text{ বিয়োজিত}$$

(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

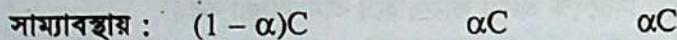
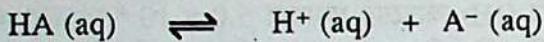
$$\text{অম্লের শতকরা বিয়োজন} = \frac{[HA] \text{ বিয়োজিত}}{[HA] \text{ দ্রবীভূত}} \times 100\%$$

$$\text{ক্ষারকের শতকরা বিয়োজন} = \frac{[B] \text{ বিয়োজিত}}{[B] \text{ দ্রবীভূত}} \times 100\%$$

মৃদু অম্ল ও ক্ষারকের তথা তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণ লঘু করলে অর্থাৎ ঘনমাত্রাহাসের ফলে বিয়োজন মাত্রা বৃদ্ধি পায়। তখনও দ্রবণে মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য সম্পূর্ণরূপে আয়নিত হয় না, ১৮৮৮ খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী অসওয়াল্ড মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষের লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রে উভয়ীয় সাম্যাবস্থায় ভরক্রিয়া স্তৰ প্রয়োগ করে বিয়োজন মাত্রাভিত্তিক একটি সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন, যা অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র নামে পরিচিত।

(গ) অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র : লঘু দ্রবণে মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য যেমন মৃদু অম্ল ও ক্ষারকের বিয়োজন-মাত্রা ঐ অম্ল ও ক্ষারকের দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রার বর্গমূলের ব্যতীনুপাতিক। 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,



এখন ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে, HA অম্লের বিয়োজন ক্র্ষবক 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,

$$\text{বা, } K_a = \alpha^2 C; \text{ বা, } \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{K_a} \cdot \frac{1}{\sqrt{C}}$$

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

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

(ঙ) প্রযোজ্যতা : (১) মৃদু অম্ল, মৃদু ক্ষারক ও মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণের বেলায় অসওয়াল্ডের 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 ক্র্ষবক (K_a)

Acid Dissociation Constant, K_a

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



$$\therefore \text{সাম্যাবস্থায়, } K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{A}^-]}{[\text{HA}] \times [\text{H}_2\text{O}]} ; \text{ [এক্ষেত্রে } [\text{H}_2\text{O}] \text{ ক্র্ষব থাকে।]}$$

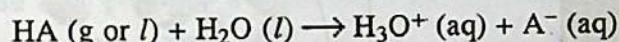
$$\therefore K_a \times [\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

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

উপরিউক্ত সাম্যাক্ষ K_a কে অম্লের বিয়োজন প্রবক্ত বলে। K_a এর কোনো একক নেই। [ট্রিট্য অনুচ্ছেদ ৪.৮, K_c]

সুতরাং প্রতি লিটার জলীয় দ্রবণে উপস্থিত কোনো অম্লের মোল সংখ্যার যে ভগ্নাংশ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, তাকে ঐ অম্লের বিয়োজন প্রবক্ত, K_a বলা হয়। অন্তকে তড়িৎ বিশ্লেষণে গণ্য করা হয়।

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



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

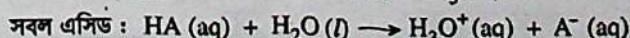
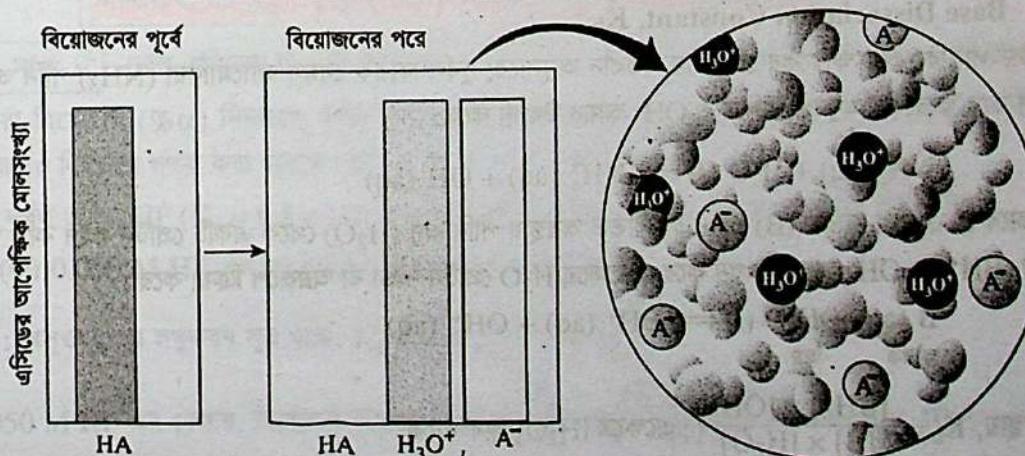
অর্থাৎ $[H_3O^+] = [HA]$ (প্রাথমিক); অপর কথায়, $[HA]_{eq} \approx 0$ (প্রায় শূন্য) হয়।

$$\therefore K_a = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[HA] \times [H_2O]} ; \text{ এক্ষেত্রে } K_a >> 1 ; \text{ যেমন সবল HCl এসিডের } K_a = 2.5 \times 10^7 \text{ হয়।}$$

দুর্বল অম্লের বেলায়, খুব কম সংখ্যক অম্লের অণু HA পানিতে আয়নিত হয়। তখন $[H_3O^+] \ll [HA]$ হয় এবং সাম্যাবস্থায়, $K_a \ll 1$; 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 \rightarrow অধিকতর $[H_3O^+]$ \rightarrow উচ্চতর K_a



চিত্র-৪.২০ : সবল এসিডের বিয়োজন মাত্রা।

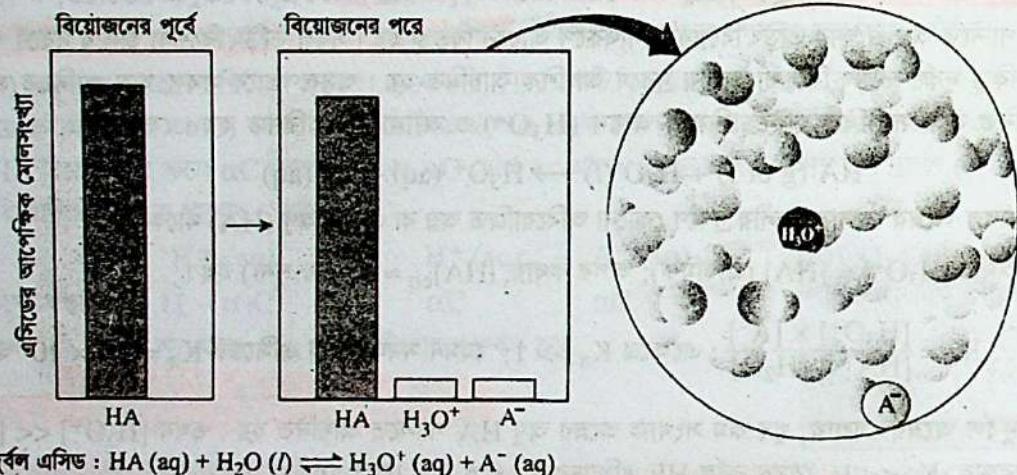
দুর্বল এসিডের শক্তিমাত্রা প্রকাশে K_a ছাড়া শতকরা বিয়োজন মানও ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রে 1M এসিড দ্রবণে $[H_3O^+]$ এর % পরিমাণ ধরা হয়। যেমন, 1.0 M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণে H_3O^+ এর মোলার ঘনমাত্রা $= 4.2 \times 10^{-3} M$ হয়।

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

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

K_a -এর তাপর্য : (১) K_a -এর মান যতো বেশি হয় অপ্পটি ততো শক্তিশালী হয়। HCl , HNO_3 , H_2SO_4 প্রভৃতি এসিড পানিতে সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত হয়; তাই এদেরকে তীব্র এসিড বলে। [চিত্র-৪.২০ দেখো।]

(২) অপরদিকে CH_3COOH (অ্যাসিটিক এসিড) ও অন্যান্য জৈব এসিড কম বিয়োজিত হয়; তাই এদেরকে দুর্বল এসিড বলা হয়। [চিত্র-৪.২১ দেখো।]

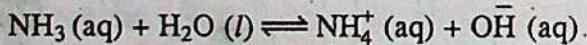


চিত্র-৪.২১ : দুর্বল এসিডের বিয়োজন মাত্রা।

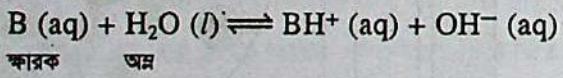
৪.১০.৮ ক্ষারকের বা ক্ষারের বিয়োজন প্রক্রিয়া (K_b)

Base Dissociation Constant, K_b

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



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



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

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

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

সুতরাং প্রতি লিটার জলীয় প্রবণে উপস্থিত কোনো ক্ষারকের মোল সংখ্যার যে ভগ্নাংশ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, তাকে এ ক্ষারকের বিয়োজন প্রক্রিয়া, K_b বলা হয়।

K_b -এর তাপর্য : K_b -এর মান যত বেশি হয় এই ক্ষারক তত শক্তিশালী হয়। NaOH , KOH প্রভৃতি জলীয় প্রবণে সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত হয়; তাই এদেরকে তীব্র ক্ষারক বলে। NH_4OH -এর বিয়োজন মাত্রা কম; তাই একে দুর্বল ক্ষারক বলা হয়।

৮.১১ বিয়োজন ধ্রুবক ও এসিড ক্ষারের তীব্রতা

Dissociation Constants & Acid Base Strength

K_a এর শর্করা : দুর্বল এসিডের শক্তিমাত্রা সম্বন্ধে ধারণার জন্য এসিডের বিয়োজন-ধ্রুবক (K_a) এর মান ও এসিডের শতকরা-বিয়োজন ($\% \alpha$) এর মান সমভাবে গুরুত্বপূর্ণ। উল্লেখ্য 1M দুর্বল এসিড পানিতে শতকরা পরিমাণে যতো আয়নিত হয়; অসংযোগের লঘুকরণ সূত্র মতে $0.1M$ অথবা $0.01M$ দুর্বল এসিড পানিতে আরো বেশি শতকরা পরিমাণে আয়নিত হয়। নিচে দুর্বল এসিড বা অঙ্গের বিয়োজন ধ্রুবক K_a এর মানের পরিসর এবং এসিডের শতকরা বিয়োজনের মান দ্বারা পানিতে এসিড অণু (HA) এর মৌল সংখ্যার আয়নিত ভগ্নাংশ সম্বন্ধে ধারণা পাওয়া যায়।

(১) দুর্বল এসিডের মধ্যে তুলনামূলক উচ্চমানের K_a ($\sim 10^{-2}$) এর বেলায়, 1M এসিড দ্রবণে প্রায় $\sim 10\%$ 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 ($\sim 10^{-5}$) এর বেলায়, 1M এসিড দ্রবণে প্রায় $\sim 0.3\%$ HA (এসিড) অণু আয়নিত হয়। যেমন, অ্যাসিটিক এসিড (CH_3COOH) এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ হয়। তখন 1M CH_3COOH পানিতে প্রায় 0.42% আয়নিত হয়।

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

* দুর্বল এসিডের সাম্যাধ্রুবক K_a এর মান যতো কম হবে, HA (এসিড) এর শতকরা বিয়োজন তত্ত্বে 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 ($\% \alpha$) নিম্নরূপে গণনা করা যায়। ওপরে দেয়া $HClO_2$, CH_3COOH , HCN এসিডের শতকরা-বিয়োজন ও 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 : অসংযোগের লঘুকরণ সূত্র মতে, $K_a = \alpha^2 C$; বা, $\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}}$

(ক) 0.050 M HF এর বেলায়, বিয়োজন-মাত্রা (α) = $\sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{0.05}} = 11.66 \times 10^{-2}$

\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 (α) = $\sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{0.5}} = 3.68 \times 10^{-2}$

\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 (α) = $\sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{1.0}} = 2.60 \times 10^{-2}$

\therefore 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 এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক K_a , নাম, সংকেত ও গাঠনিক সংকেত দেখা হলো।

সারণি- ৮.৫ : কিছু এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক, 25°C

নাম (সংকেত)	গাঠনিক সংকেত	K_a	অপেক্ষাকৃত সবল এসিড
১. হাইড্রোক্লোরিক এসিড (HCl)	H-Cl	2.5×10^7	
২. ফসফরাস এসিড (H_3PO_3)	$\text{HPO}(\text{OH})_2$	3×10^{-2}	
৩. সালফিউরাস এসিড (H_2SO_3)	O=S(OH)_2	1.4×10^{-2}	
৪. ফসফরিক এসিড (H_3PO_4)	O=P(OH)_3	7.2×10^{-3}	
৫. নাইট্রাস এসিড (HNO_2)	O=NOH	4.5×10^{-4}	
৬. হাইড্রোফ্লোরিক এসিড (HF)	H-F	6.8×10^{-4}	
৭. ফরমিক এসিড (HCO_2H)	$\text{H}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{O}-\text{H}$	1.8×10^{-4}	দুর্বলতর এসিড
৮. অ্যাসিটিক এসিড ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$)	$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{O}-\text{H}$	1.8×10^{-5}	চি-৮.২২ : এসিডের শক্তিশক্তি

* এসিডের শক্তিশক্তির নির্ভরশীলতা : এসিডের তীব্রতা বা শক্তিশক্তি নির্মোক্ত বিষয়ের ওপর নির্ভর করে :

*(১) এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক,

*(২) হাইড্রাসিডের ঝণাঞ্চক আয়নের আকার,

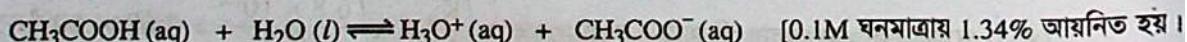
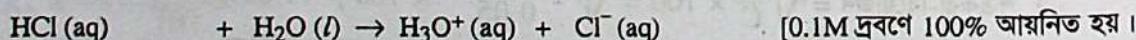
*(৩) কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ অবস্থা,

*(৪) কেন্দ্রীয় পরমাণুর আকার,

*(৫) দ্রাবকের প্রকৃতি।

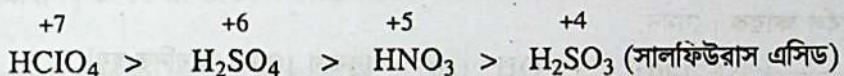
(১) এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক : এসিডের K_a এর মান যতো বেশি হয় এসিডটি ততো বেশি শক্তিশালী হয়। HCl , HBr , HI , HNO_3 ও H_2SO_4 প্রভৃতি এ সব এসিড জলীয় দ্রবণে প্রায় সম্পূর্ণরূপে (অর্থাৎ 99 – 100%) বিয়োজিত হয়ে থাকে, এদেরকে তীব্র এসিড বলা হয়। এদের K_a মান খুবই বেশি। যেমন, HCl এর $K_a = 2.5 \times 10^7$. HBr এর $K_a = 3.2 \times 10^9$. HI এর $K_a = 1 \times 10^{10}$. H_2SO_4 এর প্রথম বিয়োজন ($\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$) 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।



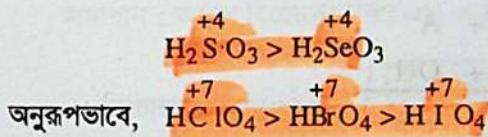
(২) ঝণাঞ্চক আয়নের আকার : হাইড্রাসিডের অল্পধর্মের তীব্রতা এদের অণুষ্ঠিত ঝণাঞ্চক আয়নের আকারের ওপর নির্ভর করে। ঝণাঞ্চক আয়নের আকার যতো বড় হয়, অণুর বিয়োজন ততো বেশি হয় অর্থাৎ এসিডের তীব্রতা ততো বেশি হয়। ২য় পর্যায়ের F^- আয়নের আকার সব চেয়ে ছোট। এরপর বড় Cl^- আয়নের আকারের চেয়ে ৪^ম পর্যায়ের Br^- আয়নের আকার আরও বড় এবং ৫ম পর্যায়ের I^- এর আকার আরও বড়। তাই এসব হাইড্রাসিডের তীব্রতার অন্তর হলো $\text{HI} > \text{HBr} > \text{HCl} >> \text{HF}$.

(৩) কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ সংখ্যা : অঙ্গোএসিডসমূহের অর্থাৎ অক্সিজেন পরমাণুযুক্ত এসিডসমূহের কেন্দ্রীয় পরমাণুর ধনাত্মক জারণ সংখ্যা যতো বেশি ঐ এসিডের তীব্রতা ততো বেশি হয়। যেমন,



(৪) কেন্দ্রীয় পরমাণুর আকার : অঙ্গোএসিডসমূহের কেন্দ্রীয় পরমাণুর ধনাত্মক জারণ সংখ্যা সমান হলে তখন যেটির কেন্দ্রীয় পরমাণুর আকার ছোট হবে এবং চার্জ ঘনত্বের ক্রম বৃদ্ধি অনুসারে সে এসিডের তীব্রতা বেশি হয়। যেমন, HNO_3 ও H_3PO_4 উভয় এসিডের কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ সংখ্যা সমান (+5)। তবে ২য় পর্যায়ভুক্ত N-পরমাণুর আকার ৩য় পর্যায়ভুক্ত P-পরমাণুর আকারের চেয়ে ছোট বলে P-পরমাণুর তুলনায় N পরমাণুর চার্জ ঘনত্ব বেশি। ফলে উভয় এসিডের তীব্রতার ক্রম হলো $\text{HNO}_3 > \text{H}_3\text{PO}_4$ । একই কারণেই $\text{HNO}_2 > \text{H}_3\text{PO}_3$ ।

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



MCQ-4.19 : নিচের কোন 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) 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 ক্রিয়ক (K_b),

*(৩) যৌগের নিঃসঙ্গ ইলেক্ট্রন 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,

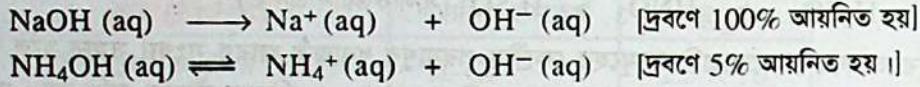
(i) $M_2\text{O}$, MOH যৌগসমূহ, এক্ষেত্রে $M = \text{গ্রুপ-IA}(1)$ ধাতু, $\text{Li}, \text{Na}, \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}$.

(ii) MO , M(OH)_2 যৌগসমূহ, এক্ষেত্রে $M = \text{গ্রুপ-2A}(2)$ ধাতু, $\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$;

এসব ক্ষারকের K_b এর মান বেশি।

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

দুর্বল ক্ষারক : নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল যুক্ত NH_3 ও প্রতিস্থাপিত অ্যামিনিয়া যোগসমূহ 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 শূন্য বা দুর্বল ক্ষারক। যেমন,

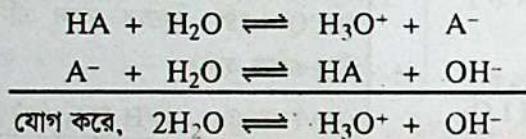


* NH_4OH , NH_2OH (হাইড্রোক্সিল অ্যামিন), NH_2-NH_2 (হাইড্রাজিন) এদের K_b এর মান যথাক্রমে 1.79×10^{-5} , 1.07×10^{-8} , এবং 1.7×10^{-6} । অনুরূপভাবে মিথাইল অ্যামিন (CH_3NH_2) এর $K_b = 3.7 \times 10^{-4}$, ডাইমিথাইল অ্যামিন, $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ এর $K_b = 5.4 \times 10^{-4}$ হয়। এ সব মান হতে এদের 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

যে কোনো 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 যাবে :



এখন সুম্পষ্ট হলো যে, এই 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 যাবে :

$$K_a \times K_b = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \times \frac{[\text{HA}] \times [\text{OH}^-]}{[\text{A}^-]} = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = K_w$$

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

উভয়দিকে ঝুঁটাইক লগারিদম নিয়ে পাই,

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

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

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

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

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

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

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

∴ উপরোক্ত K_a ও K_b এর মান থেকে জানা যাব যে, এসিড যত্তে সবল হবে, এর অনুবন্ধী ক্ষারক ঐ এসিডের চেয়ে ততো দুর্বল হবে। কারণ,

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

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।

* অল্পিয় দ্রবণে H_3O^+ আয়নের সংখ্যা বা ঘনমাত্রা বেশি এবং OH^- আয়নের ঘনমাত্রা কম থাকে।

* ক্ষারীয় দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা বেশি এবং H_3O^+ এর ঘনমাত্রা কম থাকে।

* $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-]$ মতে H_3O^+ ও OH^- আয়নের যে কোনটির মান কখনও শূন্য হতে পারে না।

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৩০ : 0.02 M H-COOH এর শতকরা কতভাগ বিয়োজিত হবে, তা গণনা কর।
 $(K_a = 1.8 \times 10^{-5})$.

সমাধান : আমরা জানি, সাম্যক্রিয়, $K_a = \frac{\alpha^2 C}{1-\alpha}$. মূল তড়িৎবিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে $(1-\alpha) = 1$

$$\therefore K_a = \alpha^2 C \quad \therefore \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \left(\frac{1.8 \times 10^{-5}}{0.02} \right)^{\frac{1}{2}} = 9.4868 \times 10^{-3}$$

এখানে, $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$
 ঘনমাত্রা, $C = 0.02 \text{ M}$

$$\therefore \text{এসিডটি শতকরা বিয়োজিত হয়} = 9.4868 \times 10^{-3} \times 100 = 9.4868\%$$

দ্রষ্টব্য : বিয়োজন-মাত্রা (α) হলো 'দুটি মৌল পরিমাণের অনুপাত' এর মান; তাই এটি হবে এককবিহীন। আবার K_a হলো এককবিহীন; তাই দ্রবণের ঘনমাত্রা 'C' এর বেলায় মৌলের সংখ্যামানই শুধু ব্যবহৃত হয়েছে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৩১ : 25°C তাপমাত্রায় মূল এক-ক্ষারকীয় অম (HA) এর বিয়োজন ক্রিয়েকের মান 1.6×10^{-4} হলে এই তাপমাত্রায় 0.1 M HA এর জলীয় দ্রবণে এই অঙ্গের বিয়োজন-মাত্রা (α) কত?

সমাধান : অঙ্গের বিয়োজন-মাত্রা (α) = $\sqrt{\frac{K_a}{C}}$

প্রশ্নমত্তে,
 $K_a = 1.6 \times 10^{-4}$

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

$$C = 0.1 \text{ M}$$

$$\therefore \text{শতকরা বিয়োজন-মাত্রা} = 0.04 \times 100 = 4\%$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৩২ : 25°C তাপমাত্রায় $0.1 \text{ M CH}_3\text{COOH}$ এসিড 1.34% আয়নিত হয়।
 এসিডটির বিয়োজন ক্রিয়েক (১) কত?

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

প্রশ্নমত্তে, ঘনমাত্রা, $C = 0.1 \text{ M}$

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

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৩৩। $0.01 \text{ M CH}_3\text{COOH}$ এসিডের জলীয় দ্রবণে এই এসিডের শতকরা বিয়োজন 4.2% হলে এই এসিড দ্রবণে হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) এর মৌলার ঘনমাত্রা কত?

সমাধান : CH_3COOH হলো মূল এক-ক্ষারকীয় এসিড। মূল এসিডের বেলায় $[\text{H}_3\text{O}^+] = \alpha C$ । এখানে α হলো এসিডের বিয়োজন-মাত্রা এবং C হলো মৌলার ঘনমাত্রা।

প্রশ্নমত্তে বিয়োজন-মাত্রা = 4.2%

$$\therefore \alpha = \frac{4.2}{100} = 4.2 \times 10^{-2} \text{ এবং } C = 0.01 \text{ M}$$

$$\therefore 0.01 \text{ M CH}_3\text{COOH} \text{ দ্রবণে } [\text{H}_3\text{O}^+] = \alpha C \\ = 4.2 \times 10^{-2} \times 0.01 \\ = 4.2 \times 10^{-4} \text{ M}$$

MCQ-4.20 : নিচের কোনটি অধিক

তৈরি এসিড? [অঙ্গ প্রশ্ন-২০১৮]

(ক) HNO_3 (খ) H_3PO_4

(গ) HClO_4 (ঘ) H_2SO_4

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৩৪ : 30°C তাপমাত্রায় $1.5 \times 10^{-2} \text{ M NH}_4\text{OH}$ দ্রবণে NH_4OH এর শতকরা বিয়োজন 3.5% হলে NH_4OH এর বিয়োজন ক্রিয়েকের মান নির্ণয় কর।

সমাধান : NH_4OH দ্রবণের মৌলার ঘনমাত্রা, $C = 1.5 \times 10^{-2} \text{ M}$

$$\text{NH}_4\text{OH} \text{ এর বিয়োজন-মাত্রা, } \alpha = \frac{3.5}{100} = 0.035$$

দ্রবণে NH_4OH এর বিয়োজনের সাম্যাবস্থা : $\text{NH}_4\text{OH} \text{ (aq)} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ \text{ (aq)} + \text{OH}^- \text{ (aq)}$

সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা : $C(1-\alpha)$ $C\alpha$ $C\alpha$

$$\therefore \text{সাম্যাবস্থায় } \text{NH}_4\text{OH} \text{ এর ঘনমাত্রা, } [\text{NH}_4\text{OH}] = C(1 - \alpha) = 1.5 \times 10^{-2} \times (1 - 0.035) \\ = 1.4475 \times 10^{-2} \text{ M}$$

সাম্যাবস্থায় NH_4^+ আয়নের ঘনমাত্রা, $[\text{NH}_4^+] = C\alpha = 1.5 \times 10^{-2} \times 0.035 = 5.25 \times 10^{-4} \text{ M}$

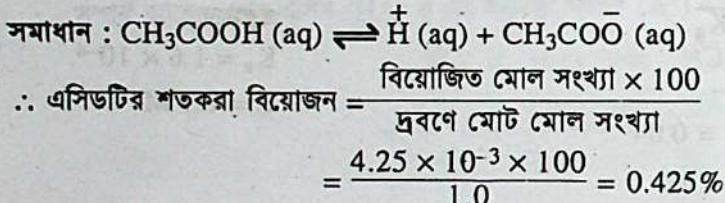
সাম্যাবস্থায় OH^- আয়নের ঘনমাত্রা, $[\text{OH}^-] = C\alpha = 1.5 \times 10^{-2} \times 0.035 = 5.25 \times 10^{-4} \text{ M}$

$$\text{NH}_4\text{OH} \text{ এর বিয়োজন ধ্রুবক, } K_b = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]} \\ = \frac{[5.25 \times 10^{-4}] \times [5.25 \times 10^{-4}]}{[1.4475 \times 10^{-2}]} = 1.90414 \times 10^{-5}$$

[লক্ষ করো K_b এর সমীকরণে প্রত্যেক উপাদানের ঘনমাত্রাকে 1M দিয়ে ভাগ করে নেয়া হয়েছে]

$$\therefore \text{NH}_4\text{OH} \text{ এর বিয়োজন ধ্রুবক, } K_b = 1.90414 \times 10^{-5}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৩৫ : 1.0 M অ্যাসিটিক এসিডের জলীয় দ্রবণ H^+ আয়নের ঘনমাত্রা $4.25 \times 10^{-3} \text{ M}$ । ঐ এসিড দ্রবণে অ্যাসিটিক এসিডের শতকরা বিয়োজন, বিয়োজন ধ্রুবক (K_a) এবং pK_a এর মান গণনা কর।



MCQ-4.21 : নিচের কোনটি
দুর্বলতম এসিড? [য. বো. ২০১৭]
(ক) HMnO_4 (খ) H_2SO_4
(গ) HClO_4 (ঘ) HNO_3

$\therefore 0.425\%$ 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 :

$$K_a = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{CH}_3\text{OO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]};$$

$$\text{এখানে, } [\text{H}^+] = 4.25 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$\text{বা, } K_a = \frac{4.25 \times 10^{-3} \times 4.25 \times 10^{-3}}{(1 - \alpha)}$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 4.25 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$\text{বা, } K_a = \frac{1.806 \times 10^{-5}}{(1.0 - 0.00425)} = \frac{1.806 \times 10^{-5}}{0.99575} = 1.814 \times 10^{-5}$$

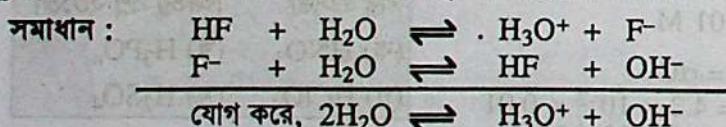
$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = 1.0 \text{ M}$$

$$\text{আমরা জানি, } pK_a = -\log K_a$$

$$(1 - \alpha) = (1.0 - 0.00425) \text{ M}$$

$$\text{বা, } pK_a = -\log (1.814 \times 10^{-5}) = 4.74$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৩৬ : HF একটি মূল অম; এর $K_a = 6.8 \times 10^{-4}$; এর অনুবন্ধী ক্ষারক F^- এর K_b ও pK_b গণনা কর। এ সব মান থেকে অম ও অনুবন্ধী ক্ষারকের শক্তির সম্পর্ক ব্যাখ্যা কর।



MCQ-4.22 : নিচের কোনটি অম-ক্ষারক যুগল? [য. বো. ২০১৭]
(ক) HCl , NaOH (খ) O_2 , H_2O
(গ) H_3O^+ , H_2O (ঘ) H^+ , Cl^-

উপরোক্ত প্রথম দুটি সমীকরণ মতে, K_a ও K_b থেকে K_w বের করি :

$$K_a \times K_b = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{F}^-]}{[\text{HF}]} \times \frac{[\text{HF}] \times [\text{OH}^-]}{[\text{F}^-]}; [\text{H}_2\text{O}] \text{ বাদ দেয়া হয়েছে।}$$

$$\therefore K_a \times K_b = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = K_w$$

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

$$\text{এক্ষেত্রে } \text{F}^- \text{ আয়নের } K_b = \frac{K_w}{K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{6.8 \times 10^{-4}} = 1.5 \times 10^{-11}$$

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 অন্ন যতো তীব্র হবে এটির অনুবন্ধী ক্ষারক ততো দুর্বল হবে। আবার HF এর $pK_a = -\log K_a = -\log 6.8 \times 10^{-4} = 3.17$

এবং F⁻ এর $pK_b = -\log K_b = -\log 1.5 \times 10^{-11} = 10.82$

সূতরাং pK_a ও pK_b এর উভয় মান থেকে বোঝা যায় যে, সবল এসিডের pK_a এর মান থেকে ঐ এসিডের দুর্বল অনুবন্ধী ক্ষারকের pK_b এর মান বেশি হয়।

শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.১২ : K_a , K_b , pK_a , pK_b সম্পর্কীয় :

সমস্যা-৪.৮৬ (ক) : HF দুর্বল এসিড; কিন্তু HCl সবল এসিড কেন—ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.৮৬ (খ) : ট্রাইমিথাইল অ্যামিনের $K_b = 6.5 \times 10^{-5}$ হলে তুমি ট্রাইমিথাইল অ্যামেনিয়াম আয়ন, $(CH_3)_3NH^+$ এর K_a এর মান বের কর। [উ: 1.5×10^{-10}]

সমস্যা-৪.৮৬ (গ) : HCN এসিডের K_a হলো 4.9×10^{-10} ; এ এসিডের অনুবন্ধী ক্ষারক CN⁻ আয়নের K_b এর মান বের কর। [উ: 2×10^{-5}]

সমস্যা-৪.৮৬ (ঘ) : পিরিডিন (C_5H_5N) নামক জৈব দ্রাবকের $pK_b = 8.74$ হলে এর পিরিডিনিয়াম আয়ন ($C_5H_5NH^+$) এর pK_a কত? [উ: 5.26]

সমস্যা-৪.৮৬ (ঙ) : ফরমিক এসিড ($HCOOH$) এর $pK_a = 3.74$ হলে এর ফরমেট আয়ন ($HCOO^-$) এর pK_b কত? [উ: 10.26]

সমস্যা-৪.৮৬ (চ) : 25°C তাপমাত্রায় NH₃ এর জলীয় দ্রবণে গঠিত আয়নিক সাম্যাবস্থায় NH₃, NH₄⁺ ও OH⁻ এর ঘনমাত্রা যথাক্রমে 9.6×10^{-3} M, 4.0×10^{-4} M ও 4.0×10^{-4} M। এই তাপমাত্রায় NH₃ এর বিয়োজন ধূরকের মান নির্ণয় কর। [উ: $K_b = 1.67 \times 10^{-5}$]

সমস্যা-৪.৮৬ (ছ) : 25°C তাপমাত্রায় 0.1M অ্যাসিটিক এসিডের দ্রবণে 1.34% এসিড বিয়োজিত হয়। এসিডটির বিয়োজন ধূরকের মান গণনা কর। [উ: $K_a = 1.82 \times 10^{-5}$]

সমস্যা-৪.৮৬ (জ) : 25°C তাপমাত্রায় মৃদু এক ক্ষারীয় এসিড HA এর বিয়োজন ধূরকের মান 1.6×10^{-4} । এই তাপমাত্রায় 0.1M HA এর জলীয় দ্রবণে এসিডটির বিয়োজন মাত্রা বা পরিমাণ (Q) কত হবে? [উ: 0.04]

সমস্যা-৪.৮৬ (ঝ) : একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় 3টি মৃদু এসিড HA, HB ও HC এর বিয়োজন ধূরকের 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 কর। [উ: HA < HB < HC]

৪.১১.২ অন্নের ক্ষারকত্ত্ব ও ক্ষারকের অন্নত্ব

Basicity of an Acid & Acidity of a Base

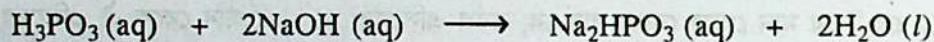
অন্ন বা এসিডের ক্ষারকত্ত্ব : এক মোল কোনো অন্ন দ্বারা যতো মোল এক-অন্নীয় ক্ষারক বা মনোপ্রোটিক ক্ষারক (যেমন NaOH, KOH ইত্যাদি) পূর্ণ প্রশমিত হয়; ক্ষারকের ঐ মোল সংখ্যাকে ঐ অন্ন বা এসিডের ক্ষারকত্ত্ব বলে। যেমন,

(i) এক মোল HCl এসিড দ্বারা এক মোল NaOH পূর্ণ প্রশমিত হয়। তাই HCl এর ক্ষারকত্ত্ব হলো 1.0।

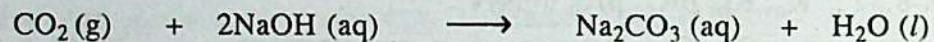


(ii) অনুরূপভাবে, H_2SO_4 এর ক্ষারকত্ত্ব হলো 2, H_3PO_4 এর ক্ষারকত্ত্ব হলো 3। কিন্তু H_3PO_3 এর ক্ষারকত্ত্ব হলো

2। কারণ H_3PO_3 অণুতে দুটি H পরমাণু O-H মূলকরূপে যুক্ত আছে; যা থেকে H^+ আয়ন পানিতে আয়নিত হয়।



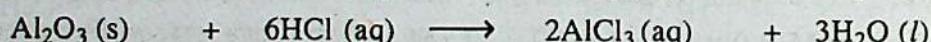
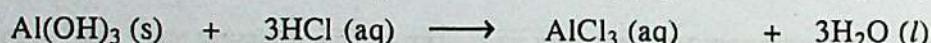
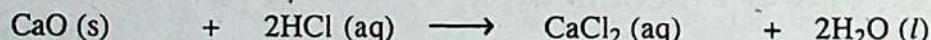
(iii) এসিডের মতো অম্লধর্মী অক্সাইডের ক্ষারকত্ত্ব আছে। যেমন CO_2 এর ক্ষারকত্ত্ব হলো 2 এবং P_2O_5 এর ক্ষারকত্ত্ব হলো 6। নিচের বিক্রিয়ায় NaOH এর মোল সংখ্যা দেখো।



ক্ষারকের অম্লত্ত : এক মোল কোনো ক্ষারক দ্বারা যতো মোল এক-ক্ষারকীয় অম্ল বা মনোপ্রোটিক এসিড (যেমন HCl) পূর্ণ প্রশমিত হয়, অম্ল বা এসিডের ঐ মোল সংখ্যাকে ঐ ক্ষারকের অম্লত্ত বলে। যেমন,

(i) এক মোল NaOH দ্বারা এক মোল HCl এসিড পূর্ণ প্রশমিত হয়। তাই NaOH এর অম্লত্ত হলো 1.0।

(ii) অনুরূপভাবে CaO এর অম্লত্ত হলো 2, Al(OH)_3 এর অম্লত্ত হলো 3 এবং Al_2O_3 এর অম্লত্ত হলো 6। নিচের বিক্রিয়ায় HCl এর মোল সংখ্যা দেখো।



৪.১২ দ্রবণের pH, pH স্কেল

pH of a Solution, pH Scale

প্রাণবিজ্ঞান, প্রাণ-রসায়ন ও টিকিংসা বিজ্ঞানের বিভিন্ন রাসায়নিক পরীক্ষাকার্যে অম্ল ও ক্ষারের লঘু দ্রবণ যেমন ডেসিমোলার ($10^{-1}\text{ mol L}^{-1}$) দ্রবণ ও এর চেয়ে কম ঘনমাত্রার দ্রবণও ব্যবহৃত হয়। আবার পানির আয়নিক গুণফল, K_w এর মান 1×10^{-14} ধরা হয়। কিন্তু 10 এর ঝণাঝক ঘাত হিসেবে H^+ ও OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রায় এরূপ প্রকাশরীতি বেশ অসুবিধা। তাই 1909 খ্রিস্টাব্দে ড্যানিশ প্রাণ-রসায়নবিদ সোরেনসেন অম্ল ও ক্ষারের জলীয় দ্রবণে H^+ আয়ন ও OH^- আয়নের ঘনমাত্রা প্রকাশের জন্য pH স্কেল নামক একটি নতুন পদ্ধতি প্রকাশ করেন। এ pH প্রতীকটি "Puissance of hydrogen" অর্থাৎ power of hydrogen প্রকাশ করছে।

pH এর সংজ্ঞা : কোনো দ্রবণের হাইড্রোজেন আয়ন (H^+) বা হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H_3O^+) এর মোলার ঘনমাত্রার ঝণাঝক বেস-10 লগারিদমকে ঐ দ্রবণের pH বলে। তখন H^+ আয়নের বা হাইড্রোনিয়াম আয়নের মোলার ঘনমাত্রা [H_3O^+]-কে pH এর সংজ্ঞা মতো নিম্নরূপে লেখা যায়,

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \text{ বা, } [\text{H}_3\text{O}^+] = \text{antilog} (-\text{pH}) = 10^{-\text{pH}}$$

কোনো দ্রবণে H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা দশভাগ হাস 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 = $10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ হয়। কোনো দ্রবণের H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা যতো কমতে থাকে, এর pH এর মান ততো বাড়তে থাকে।

আবার OH^- -আয়নের ক্ষেত্রে pOH এর লগারিদমীয় প্রকাশকে নিম্নরূপে
লেখা যায় :

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] \text{ বা, } [\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}}$$

pH ক্ষেত্রে নির্ধারণ : 25°C তাপমাত্রায় পানির আয়নিক গুণফল,

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-14} \text{ ধরা হয়।}$$

$$\therefore [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = 10^{-14}$$

উভয়দিকে log নিয়ে পাই, $\log[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = \log 10^{-14}$

$$\text{বা, } \log[\text{H}_3\text{O}^+] + \log [\text{OH}^-] = -14$$

$$\text{বা, } -\text{pH} - \text{pOH} = -14; \text{ বা, } \text{pH} + \text{pOH} = 14 \dots \dots (1)$$

সূতরাং ক্ষারীয় দ্রবণের pH = $14 - \text{pOH} = 14 - (-\log [\text{OH}^-])$

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

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]; \quad \therefore [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]^2 = 10^{-14}$$

$$\text{বা, } [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7}; \quad \therefore \text{pH} = 7$$

সূতরাং বিশুদ্ধ পানিতে pH এর মান 7।

আমরা জানি, 1M HCl দ্রবণে $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1 \text{ mol H}^+$ ion L⁻¹।

$$\therefore 1M \text{ HCl দ্রবণের ক্ষেত্রে পাই, } \text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log 1 \\ = -\log 10^0 = 0। \text{ যেহেতু } 1M \text{ HCl এর pH} = 0, \text{ সূতরাং pOH} = 14।$$

$$\text{কারণ } \text{pH} + \text{pOH} = 14$$

আবার, 1M NaOH দ্রবণের pH = 14; pOH = 0।

সূতরাং যে কোনো জলীয় দ্রবণের pH(ও pOH) এর মান 0 থেকে 14 এর মধ্যে থাকবে।

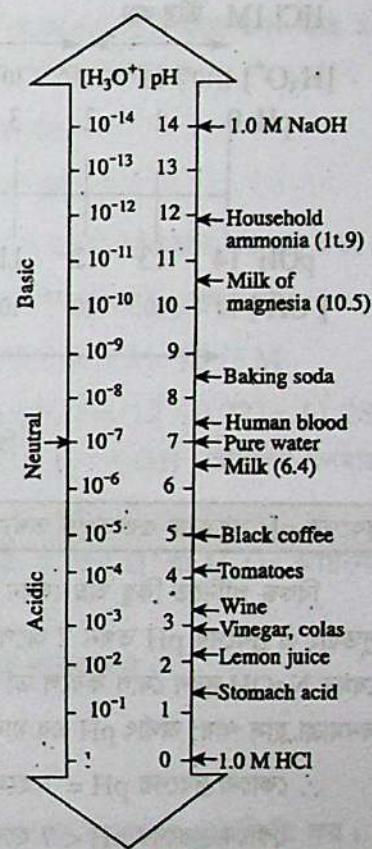
বিভিন্ন pH বা, pOH এর মানের দ্রবণের অবস্থা নিম্নোক্ত চিত্র-৮.২৪ দ্বারা সহজে বোঝা যায়। সাধারণভাবে গবেষণাগারে 1M দ্রবণের বেশ ঘনমাত্রার এসিড ও ক্ষার দ্রবণ ব্যবহার করা হয় না।

লক্ষ কর, এক্ষেত্রে $[\text{H}_3\text{O}^+]$ এর সাধারণ log নেয়া হয়েছে। $[\text{H}_3\text{O}^+]$ এর এককবিহীন সংখ্যা হিসেবে গণ্য করা হয়।
কারণ এটিকে প্রকৃত ঘনমাত্রা ও প্রমাণ অবস্থায় ঘনমাত্রা (1M) এর অনুপাতরূপে গণ্য করা হয়।

আবার লক্ষ কর, লেমন জুসের দ্রবণে $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2.5 \times 10^{-3} \text{ M}$ ধরে তোমার ক্যালকুলেটরে সংখ্যাগুলো দিলে তুমি
দেখবে,

$$\text{pH} = -\log (2.5 \times 10^{-3}) = (-1) (\log 10^{-3} + \log 2.5) = (3 - 0.39794) = 2.60206 \text{ হয়।}$$

কিন্তু pH এর মান দশমিকের পর দুই ডিজিটে অর্থবোধক করে লিখতে হবে। তখন লেমন জুসের pH হবে 2.60।
চিত্র-৮.২৩-এ কিছু সাধারণ বস্তুর pH মান pH ক্লে দেখানো হয়েছে।



চিত্র-৮.২৩ : কয়েকটি সাধারণ বস্তুর pH
মান এবং pH পরিস্র



চিত্র-৪.২৪ : pH কেল [pH এর মান ০ থেকে 14]।

দ্রবণের pH সংক্রান্ত গুরুত্বপূর্ণ তথ্য :

বিশুদ্ধ পানিতে কিছু অস্ত যেমন HCl দ্রবণ যোগ করলে এর বিয়োজন থেকে দ্রবণে H_3O^+ এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায়। সুতরাং এ দ্রবণের pH তখন 7 অপেক্ষা কম হয়। তখন দ্রবণটি অল্লীয় 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 ঘনমাত্রাহাস পায়; অর্থাৎ pH এর মান 7 থেকে বেশি হয়। তখন দ্রবণটি ক্ষারীয় হবে।

∴ কোনো দ্রবণের pH = 7 হলে, তা হবে নিরপেক্ষ দ্রবণ।

কোনো দ্রবণের pH < 7 হলে, তা হবে অল্লীয় দ্রবণ।

কোনো দ্রবণের pH > 7 হলে, তা হবে ক্ষারীয় দ্রবণ।

MCQ-4.23 : নিচের কোন् pH মানের দ্রবণটিতে H^+ আয়নের ঘনমাত্রা সবচেয়ে বেশি?

(ক) 9.5 (খ) 7.4 (গ) 2.3 (ঘ) 5.5

(২) দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পেলে এর pH মানহাস পায় এবং মোলার ঘনমাত্রাহাস পেলে এর pH মান বৃদ্ধি পায়।

(৩) বিশুদ্ধ পানিতে বা কোনো জলীয় দ্রবণে $pH + pOH = pK_w$

(৪) 25°C তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানিতে বা জলীয় দ্রবণে $pH + pOH = pK_w = 14$

pH কেল প্রয়োগ : p-কেল নিম্নোক্ত কাজেও ব্যবহৃত হয়। যেমন, (১) হাইড্রোকাইড আয়নের মোলার ঘনমাত্রা, $[OH^-]$ প্রকাশে $pH = -\log[OH^-]$ লেখা হয়। অল্লীয় দ্রবণের pOH মান ক্ষারীয় দ্রবণের চেয়ে বেশি হবে। (২) এসিডের সাম্য ধ্রুবকের (K_a এর) মানকে p-কেলে প্রকাশ করা হয়। যেমন $pK_a = -\log K_a$ এক্ষেত্রে অল্লীয় সাম্যধ্রুবকের মান যতো বাঢ়বে pK_a এর মান বিপরীতভাবে ততো কমবে।

চিন্তা কর : 25°C-এ পানির $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ এবং পানির pH = 7 হয়। পানির pH মান সব সময় কী 7 বা ধ্রুব থাকে? না, পানির pH মান তাপমাত্রা নির্ভরশীল K_w এর মানের ওপর নির্ভর করে এবং পরিবর্তনশীল। যেমন, 50°C-এ পানির $K_w = 5.5 \times 10^{-14}$ হয়। তখন H_3O^+ ও OH^- আয়নের ঘনমাত্রা বেড়ে $2.345 \times 10^{-7} M$ হয় (শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.১১ এর সমস্যা-৮৮(ক) নং দেখ)। অর্থাৎ 50°C-এ পানির pH = $-\log [H_3O^+] = -\log 2.345 \times 10^{-7} = 6.63$ । অর্থাৎ 100°C-এ পানির $K_w = 8.70 \times 10^{-14}$ এবং H_3O^+ ও OH^- এর ঘনমাত্রা $2.95 \times 10^{-7} M$ হয়, তখন 100°C-এ পানির pHহাস পেয়ে 6.53 হয়। পানির বিয়োজন তাপহারী হওয়ায়, তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে K_w এর মান ও $[H_3O^+]$ ঘনমাত্রা বাঢ়ে। তাই তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে পানির pH মানহাস পায়।

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৩৭ : এসিড বৃষ্টির ক্ষতিকর প্রভাবে পানির pH হ্রাস পেয়ে ৪.৫-৫.০ হলে তখন মাছ মরে যায়। এসিড বৃষ্টির পর কোনো হৃদের পানির pH ৪.৫ হলে এ পানিতে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা বের কর।

দক্ষতা : ঝণাঞ্চক pH এর মানের অ্যান্টিলগ নিলে H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা পাওয়া যায়।

সমাধান : $[\text{H}_3\text{O}^+] = \text{antilog}(-\text{pH}) = 10^{-\text{pH}} = 10^{-4.5} = 3.16 \times 10^{-5} \text{ M}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৩৮ : জলীয় অ্যামোনিয়া দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা $1.9 \times 10^{-3} \text{ M}$ হলে এর pH কত?

দক্ষতা : প্রথমে OH^- এর ঘনমাত্রা থেকে H_3O^+ এর ঘনমাত্রা বের করে, শেষে এর ঝণাঞ্চক \log নেয়া হবে।

সমাধান : আমরা জানি, $[\text{H}_3\text{O}^+] = K_w/[\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}/(1.9 \times 10^{-3}) = 5.3 \times 10^{-12} \text{ M}$

$\therefore \text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log (5.3 \times 10^{-12}) = (-1)(\log 10^{-12} + \log 5.3) = (12 - 0.72) = 11.28$

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-৮.৩৯ : পাকস্তীতে পাচকরসে pH এর মান ১.৪ হলে এ রসে H^+ বা H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত হবে?

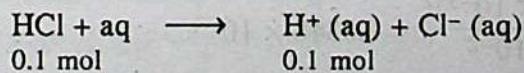
দক্ষতা : ঝণাঞ্চক pH এর মানের অ্যান্টিলগ নিলে H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা পাওয়া যায়।

সমাধান : $[\text{H}_3\text{O}^+] = \text{antilog}(-\text{pH}) = 10^{-\text{pH}} = 10^{-1.4} = 0.04 \text{ M}$

\therefore পাচক রসে H^+ আয়ন বা H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা = ০.০৪ M

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৪০ : (ক) ০.১M HCl, (খ) ০.২M HCl, (গ) ০.০১M HCl দ্রবণের pH নির্ণয় কর।

সমাধান : (ক) ০.১M HCl দ্রবণে $[\text{H}^+] = 0.1 \text{ mol H}^+ \text{ ion L}^{-1}$ । কারণ ০.১M HCl দ্রবণে HCl পূর্ণ আয়নিত হয়।



$$\therefore \text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log 0.1 = -\log 10^{-1} = 1 \text{ (উ:)}$$

(খ) ০.২ M HCl দ্রবণে $[\text{H}^+] = 0.2 \text{ mol H}^+ \text{ ion L}^{-1}$ । কারণ ০.২ M HCl পূর্ণ আয়নিত হয়।

$$\therefore \text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (0.2) = -(-0.69) = 0.69 \text{ (প্রায়)} \text{ (উ:)}$$

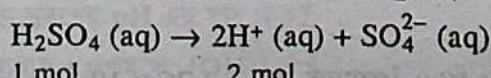
(গ) ০.০১M HCl দ্রবণে $[\text{H}^+] = 0.01 \text{ mol H}^+ \text{ ion L}^{-1}$ । কারণ ০.০১M HCl পূর্ণ আয়নিত হয়।

$$\therefore \text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (0.01) = -\log 10^{-2} = 2 \text{ (উ:)}$$

* দেখা যাচ্ছে দ্রবণে অঙ্গের মোলার ঘনমাত্রার পরিমাণ যতো বেশি, pH এর মান ততো কম।

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৪১ : ০.০০৫ M H_2SO_4 এসিডের pH গণনা কর।

সমাধান : জলীয় দ্রবণে ০.০০৫ M H_2SO_4 এর পূর্ণ বিয়োজন ঘটে এবং বিশুণ সংখ্যক H^+ আয়ন তৈরি করে।



$$\therefore [\text{H}^+] = 2 \times 0.005 \text{ mol H}^+ \text{ ion L}^{-1} = 0.01 \text{ mol H}^+ \text{ ion L}^{-1}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log 0.01 = -\log 10^{-2} = -(-2) = 2 \text{ (উ:)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৪২ : ০.০১ M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণের pH হিসাব কর। দেয়া আছে, উপরোক্ত ঘনমাত্রায় ঐ অঙ্গ বা এসিডের শতকরা বিয়োজন 12.5%।



এসিডটি 12.5% বিয়োজিত হয়েছে। তাই 0.01 M দ্রবণে $[\text{H}^+]$ আছে—

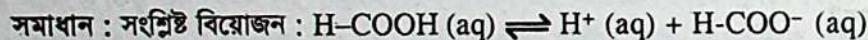
$$= 0.01 \times 0.125 = 1.25 \times 10^{-3} \text{ mol H}^+ \text{ ion L}^{-1}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (1.25 \times 10^{-3}) = (-\log 1.25 - \log 10^{-3})$$

$$= (-0.097 + 3) = 2.90 \text{ (উ:)}$$

সাধারণভাবে বলা যায় যে, একই ঘনমাত্রার তীব্র এসিড অপেক্ষা দুর্বল এসিড দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়নের ঘনমাত্রা কম হবে। সূতরাং সেক্ষেত্রে pH বেশি হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৪৩ : $1.0 \times 10^{-2} \text{ M}$ ঘনমাত্রার ফরমিক এসিড ($\text{H}-\text{COOH}$) এর বিয়োজন ধ্রুবক (K_a) এর মান গণনা কর। ঐ দ্রবণের pH হলো 2.90।



$$K_a = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HCOO}^-]}{[\text{H}-\text{COOH}]}; \text{ এক্ষেত্রে } [\text{H}^+] = [\text{HCOO}^-]$$

$$= \frac{[\text{H}^+] \times [\text{H}^+]}{[\text{H}-\text{COOH}]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{HCOOH}]};$$

আমরা জানি, $[\text{H}^+] = \text{antilog} (-\text{pH})$

$$\text{দেয়া আছে, } [\text{HCOOH}] = 1.0 \times 10^{-2} \text{ M}$$

$$\text{pH} = 2.90$$

$$[\text{H}^+] = ?$$

$$K_a = ?$$

$$\text{বা, } [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2.9} = 1.2589 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$\therefore K_a = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{H}-\text{COOH}]} = \frac{(1.2589 \times 10^{-3})^2}{1.0 \times 10^{-2}} = 1.5848 \times 10^{-4}$$

$$\therefore K_a = 1.5848 \times 10^{-4}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৪৪ : 298 K বা, 25° C তাপমাত্রায় একটি 0.1 M ইথানোয়িক এসিড দ্রবণের pH নির্ণয় কর। $[K_a = 1.76 \times 10^{-5}]$



$$\therefore K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}; \text{ এক্ষেত্রে দ্রবণে } [\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}^+] \text{ হয়।}$$

আবার ইথানোয়িক এসিড দুর্বল এসিড হওয়ায় অতি অল্প পরিমাণে আয়নিত হয়। তাই দ্রবণে অবিয়োজিত CH_3COOH এর ঘনমাত্রা 0.1 mol L^{-1} ধরা যায়।

$$\text{তখন, } K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{0.1}$$

$$\text{বা, } [\text{H}^+]^2 = K_a \times 0.1 = (1.76 \times 10^{-5}) \times 0.1 = 1.76 \times 10^{-6} \quad [\text{থেমতে, } K_a = 1.76 \times 10^{-5}]$$

$$\therefore [\text{H}^+] = \sqrt{1.76 \times 10^{-6}} = 1.33 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log (1.33 \times 10^{-3}) = 2.88 \text{ (উ:)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৪৫ : কোনো জলীয় দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়নের ঘনমাত্রা $3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ হলে ঐ দ্রবণের pH কত হবে? দ্রবণটির প্রকৃতি অস্তীয় হবে নাকি ক্ষারীয় হবে?

সমাধান : প্রশ্নমতে, $[\text{H}^+] = 3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$

$$\therefore \text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (3 \times 10^{-5})$$

$$= -[\log 3 - 5 \log 10] = -0.4771 + 5 = 4.52$$

∴ দ্রবণের pH = 4.52; যেহেতু দ্রবণের pH এর মান 7 এর চেয়ে কম, তাই দ্রবণটি অস্তীয় হবে। (উ:)

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৪৬ : (ক) 1 M NaOH, (খ) 0.1 M NaOH, (গ) 0.02 M NaOH, (ঘ) 0.001 M NaOH দ্রবণের pH হিসাব কর।

সমাধান : যেহেতু NaOH একটি তীব্র ক্ষার, উপরিউক্ত লঘু দ্রবণসমূহে NaOH সম্পূর্ণরূপে বিঘোষিত থাকবে। সূতরাং এর ঘনমাত্রা দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রার সমান। $\text{NaOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$

(ক) 1 M NaOH এর ক্ষেত্রে $[\text{OH}^-] = 1 \text{ mol OH}^- \text{ ion L}^{-1}$; $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] = -\log 1 = 0$

সূতরাং pH = 14 - pOH = (14 - 0) = 14 (উ:)

(খ) 0.1 M NaOH এর বেলায় $[\text{OH}^-] = 0.1 \text{ mol OH}^- \text{ ion L}^{-1}$;

$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] = -\log 0.1 = 1$; pH = 14 - pOH = (14 - 1) = 13 (উ:)

(গ) 0.02 M NaOH দ্রবণের বেলায় $[\text{OH}^-] = 0.02 \text{ mol OH}^- \text{ ion L}^{-1}$;

$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log 0.02 = 1.7$; ∴ pH = (14 - pOH) = (14 - 1.7) = 12.3 (উ:)

(ঘ) 0.001 M NaOH এর বেলায় $[\text{OH}^-] = 10^{-3} \text{ mol OH}^- \text{ ion L}^{-1}$;

$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log 10^{-3} = 3$; pH = 14 - pOH = (14 - 3) = 11 (উ:)

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৪৭ : 2.5% NaOH দ্রবণের pH নির্ণয় কর।

সমাধান : 2.5% NaOH দ্রবণে NaOH সম্পূর্ণরূপে আয়নিত থাকে।

2.5% NaOH দ্রবণের 100 mL দ্রবণে 2.5 g NaOH দ্রবীভূত থাকে।

MCQ-4.24 : Al_2O_3 এর অস্তিত্ব

কত? [ব. বো. ২০১৫]

(ক) 2 (খ) 3 (গ) 5 (ঘ) 6

∴ 1000 mL ঐ দ্রবণে $(2.5 \times 10) \text{ g} = 25 \text{ g NaOH}$ দ্রবীভূত থাকবে।

NaOH এর গ্রাম-আণবিক ভর = 40 g. ∴ 25 g NaOH = $\frac{25}{40} \text{ mol NaOH}$.

∴ 1000 mL NaOH দ্রবণে $(25/40) \text{ mol}$ আছে = 0.625 mol NaOH আছে।

∴ 0.625 M NaOH এর ক্ষেত্রে $[\text{OH}^-] = 0.625 \text{ mol L}^{-1}$

$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log 0.625 = 0.204$ (প্রায়)

∴ pH = 14 - pOH = (14 - 0.204) = 13.796 (উ:)

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৪৮ : একটি দ্রবণের হাইড্রোইড আয়ন (OH^-) এর ঘনমাত্রা $8.2 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ হলে উক্ত দ্রবণের pH এর মান কত?

সমাধান : প্রশ্নমতে, $[\text{OH}^-] = 8.2 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$

$$\therefore \text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log (8.2 \times 10^{-4})$$

$$= -[\log 8.2 - 4 \log 10] = (-0.9138 + 4) = 3.09$$

$$\therefore \text{ঐ ক্ষার দ্রবণের pH} = (14 - \text{pOH}) = (14 - 3.09) = 10.91 \text{ (উ:)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪৯ : NH_3 এর অনুবঙ্গী অম্ল (NH_4^+) এর $K_a = 5.8 \times 10^{-10}$ হলে NH_3 এর K_b এর মান কত?

সমাধান : অনুবঙ্গী বা কনজুগেট অম্ল-ক্ষারক সম্পর্ক হলো, $K_a \times K_b = 10^{-14}$

$$\text{প্রশ্নমতে, } K_a = 5.8 \times 10^{-10}; \therefore K_b = \frac{10^{-14}}{5.8 \times 10^{-10}} = 1.72 \times 10^{-5} \text{ (উ:)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫০ : 25°C তাপমাত্রায় জৈব ক্ষারক ডাইমিথাইল অ্যামিনের $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ জলীয় দ্রবণের pH এর মান 7.64 হলে ঐ ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক K_b এর মান কত হবে?

সমাধান : ক্ষারকটির বিয়োজন সমীকরণ নিম্নরূপ :



$$\therefore K_b = \frac{[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+] \times [\text{OH}^-]}{[(\text{CH}_3)_2\text{NH}]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{1.0 \times 10^{-2}}; \quad [(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+] = [\text{OH}^-]$$

$$\text{প্রশ্নমতে, } \text{pH} = 7.64; \quad \therefore \text{pOH} = (14.0 - 7.64) = 6.36$$

$$\therefore [\text{OH}^-] = \text{anti log} (-6.36) = 4.37 \times 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$$

$$\therefore K_b = (4.37 \times 10^{-7})^2 / (1.0 \times 10^{-2}) = 1.91 \times 10^{-11} \text{ (উ:)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫১ : 25°C তাপমাত্রায় একটি দ্রবণের pH 5.50 হলে ঐ দ্রবণে OH^- আয়তন মৌলার ঘনমাত্রা কত?

সমাধান : আমরা জানি, কোনো দ্রবণের $\text{pH} + \text{pOH} = 14.00$

$$\therefore \text{pOH} = 14.00 - \text{pH}$$

$$\text{বা, } \text{pOH} = (14.00 - 5.50) = 8.50$$

$$\text{বা, } -\log [\text{OH}^-] = 8.50 \quad \text{বা, } \log [\text{OH}^-] = -8.50$$

$$\text{বা, } [\text{OH}^-] = \text{antilog} (-8.50) = 3.16 \times 10^{-9} \text{ M}$$

দেয়া আছে,

$$\text{pH} = 5.50$$

$$[\text{OH}^-] = ?$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫২ : একটি ফলের রসে H^+ আয়নের ঘনমাত্রা $3.3 \times 10^{-2} \text{ M}$ হলে ঐ ফলের রসের কত? ঐ ফলের রসটি অঙ্গীয় না ক্ষারীয় প্রকৃতির হবে?

সমাধান : আমরা জানি, $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$

দেয়া আছে,

$$\therefore \text{pH} = -\log (3.3 \times 10^{-2}) = 1.48$$

$$[\text{H}^+] = 3.3 \times 10^{-2} \text{ M}$$

\therefore ফলের রসের pH = 1.48, যেহেতু এর pH এর মান 7 থেকে কম; তাই ফলের রসটি অঙ্গীয় প্রকৃতির হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৩ : pH = 3 এবং pH = 6 মাত্রার দুটি দ্রবণ দেয়া আছে। কোনটি বেশি অঙ্গীয় একতরণ বেশি অঙ্গীয় তা ব্যাখ্যা কর।

সমাধান : আমরা জানি,

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \quad \therefore [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \text{ M}$$

$$\text{যখন pH} = 3, \text{ তখন } [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3} \text{ M}$$

$$\text{যখন pH} = 6, \text{ তখন } [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-6} \text{ M}$$

MCQ-4.25 : H_3PO_2

ক্ষারকত্ব কত? [দি. বো. ২০১

(ক) 1 (খ) 2 (গ) 3 (ঘ)

সূতরাং pH = 3 এবং pH = 6 মাত্রার দ্রবণ দুটির মধ্যে প্রথম দ্রবণ H_3O^+ আয়নের ঘনমাত্রা দ্বিতীয়টির চেয়ে আরেশি।

কাজেই pH = 3 মাত্রার দ্রবণটি বেশি অঙ্গীয় 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 অঙ্গের শক্তিমাত্রা দ্বিতীয় দ্রবণ অপেক্ষা 1000 গুণ বেশি।

শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.১৩ : দ্রবণের pH , K_a ও K_b ভিত্তিক সমস্যা :

সমস্যা-৪.৮৭ : (ক) সমুদ্রের পানির OH^- ঘনমাত্রা 1.58×10^{-9} হলে এর pH কত? [উ: ৮.২০]

(খ) এসিড বৃষ্টির পানিতে H_3O^+ ঘনমাত্রা 6.0×10^{-5} হলে এর pH কত? [উ: ৪.২২]

(গ) $0.05\text{ M }H_2SO_4$ দ্রবণের pH কত? [উ: ১]

(ঘ) 0.01 M HCl দ্রবণের pH কত হবে? [উ: ২]

(ঙ) $25^\circ C$ -এ 0.1 M CH_3COOH এর pH কত? এটির $K_a = 1.76 \times 10^{-5}$. [উ: ২.৮৮]

দ্রষ্টব্য : একেতে $[H^+] = [CH_3COO^-]$ $\therefore [H^+] \times [CH_3COO^-] = [H^+]^2$ হয়।

(চ) 0.2 M NaOH দ্রবণের pH কত? [উ: ১৩.৩]

(ছ) 2.5% $NaOH$ দ্রবণের pH কত? [উ: ১৩.৭৯]

(জ) অ্যাসিটিক এসিডের বিয়োজন পরিমাণ 12.5% হলে 0.01 M CH_3COOH দ্রবণের pH কত? [উ: ০.৯০৩]

দ্রষ্টব্য : 12.5% বিয়োজিত 0.01 M এসিড দ্রবণে $[H^+] = 0.01 \times 12.5\text{ M}$ ।

সমস্যা-৪.৮৮ : (ক) মানুষের রক্তে $pH 7.40$ হলে এতে H_3O^+ ও OH^- ঘনমাত্রা কত? [উ: $[H_3O^+] = 4.0 \times 10^{-8} \text{ M}; [OH^-] = 2.5 \times 10^{-7} \text{ M}$]

(খ) কোকা-কোলা পানীয়ে $pH 2.8$ হলে এতে H_3O^+ ও OH^- ঘনমাত্রা কত হবে? [উ: $[H_3O^+] = 1.58 \times 10^{-3} \text{ M}; [OH^-] = 6.3 \times 10^{-12} \text{ M}$]

(গ) কমলা লেবুর রসে $pH 3.80$ হলে ঐ রসে H^+ ও OH^- এর ঘনমাত্রা কত? [উ: $1.58 \times 10^{-4} \text{ M}; 6.31 \times 10^{-11} \text{ M}$]

সমস্যা-৪.৯ : চারপাশের প্রকল্পের মেরামত কাজের অধিকর্তা কপার প্রেটে নকার কাজে ব্যবহারের জন্য গাঢ় HNO_3 কে লঘুকরণে (ক) 2.0 M ও (খ) 0.30 M এসিড দ্রবণ তৈরি করল। ঐ দ্রবণে $[H_3O^+]$, pH , $[OH^-]$ ও pOH গণনা কর। [উ: (ক) $[H_3O^+] = 2.0\text{ M}$, $pH = -0.30$, $[OH^-] = 5.0 \times 10^{-13} \text{ M}$, $pOH = 14.30$; (খ) $[H_3O^+] = 0.30\text{ M}$, $pH = 0.52$, $[OH^-] = 3.3 \times 10^{-14} \text{ M}$, $pOH = 13.48$]

(গ) কোনো সফট ড্রিংকের $pH = 4.80$ হলে এতে H_3O^+ আয়ন ও OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত? [উ: $[H_3O^+] = 1.5848 \times 10^{-5} \text{ M}; [OH^-] = 6.309 \times 10^{-10} \text{ M}$]

(ঘ) একটি নমুনা HCl দ্রবণের $pH 3$ হলে ঐ দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা কত হবে? [উ: $1.0 \times 10^{-3} \text{ M}$]

(ঙ) একটি নমুনা $NaOH$ দ্রবণের $pH 11$ হলে ঐ দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা কত হবে? [উ: $1.0 \times 10^{-3} \text{ M}$]

(চ) $10.8 \times 10^{-2} \text{ M HCl}$ দ্রবণের pH কত হবে? [উ: ১.৩০]

(ছ) $2.5 \times 10^{-2} \text{ M H}_2SO_4$ দ্রবণের pH কত হবে? [উ: ১.৩০]

(জ) কোনো নমুনা এসিডের জলীয় দ্রবণের $pH 3.60$ হলে ঐ দ্রবণের ধূতি লিটারে H_3O^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা ও আয়নের সংখ্যা কত হবে? [উ: $[H_3O^+] = 2.512 \times 10^{-4} \text{ M}$; H_3O^+ আয়নের সংখ্যা = 15.127×10^{20} টি]

(ঘ) কোনো নমুনা এসিড দ্রবণের $pH 5.65$ হলে ঐ দ্রবণের ধূতি লিটারে OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা ও OH^- আয়নের সংখ্যা কত হবে? [উ: $[OH^-] = 4.47 \times 10^{-9} \text{ M}$; OH^- আয়নের সংখ্যা = 2.692×10^{20} টি]

- (এ) 25°C তাপমাত্রায় 0.5 M মিথাইল অ্যামিন (CH_3NH_2) দ্রবণের pH কত হবে? $[K_b = 4.8 \times 10^{-4}]$
[উ: 12.04]
- (ট) 0.25 M ঘনমাত্রার CH_3COOH দ্রবণের $\text{pH} = 2.68$ হলে ঐ এসিডের বিয়োজন ধ্রুবকের মান কত হবে?
[উ: 1.746×10^{-5}]
- (ঠ) 0.25 M ঘনমাত্রার HCN দ্রবণের $\text{pH} = 5$ হলে ঐ এসিডের বিয়োজন ধ্রুবকের মান কত হবে?
[উ: 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?
[উ: 11.32]

জেনে গাও : কোনো দ্রবণের pH এর মান ০ থেকে কম অথবা 14 থেকে বেশি হতে পারে কি?

হ্যাঁ, কোনো দ্রবণের pH এর মান ০ থেকে কম এবং 14 থেকে বেশি হতে পারে। কারণ pH ক্লে প্রতিষ্ঠাকালে 1M HCl দ্রবণের $\text{pH} = 0$ এবং 1M NaOH দ্রবণের $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 0 = 14$ ধরে pH ক্লে স্থির করা হয়েছে। তাই 1M HCl এর বেশি ঘনমাত্রার যেমন 2M HCl দ্রবণের বেলায়, $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2 \text{ mol H}_3\text{O}^+$ হয়; $\text{pH} = -\log 2 = -0.30$ হয়। অনুরূপভাবে 2M NaOH এর বেলায়, $\text{pH} = [14 - \text{pOH}] = [14 - (-0.3)] = 14.3$ হবে। তবে pH ক্লে প্রতিষ্ঠার ধারণা ছিল 1M দ্রবণের চেয়ে অতি লঘু দ্রবণ যেমন 0.01M ইত্যাদি দ্রবণের ঘনমাত্রাকে সংক্ষেপে প্রকাশ করা। তাই pH পদটি বিশেষত অতি লঘু দ্রবণের ঘনমাত্রা প্রকাশে ব্যবহৃত হয়।

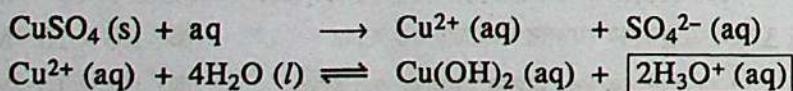
৪.১২.১ লবণের আর্দ্র বিশ্লেষণ

Salt Hydrolysis

অধিকাংশ লবণ যেমন NaCl , KCl , NaNO_3 , KNO_3 পানিতে দ্রবীভূত হয়ে নিরপেক্ষ দ্রবণ তৈরি করে। আবার অনেক লবণের জলীয় দ্রবণ অঙ্গীয় অথবা ক্ষারীয় হয়। অসমশক্তির অঙ্গ ও ক্ষারক থেকে উৎপন্ন লবণের ক্যাটায়ন বা অ্যানায়ন পানির সাথে ক্রিয়া করে যথাক্রমে অঙ্গধর্মী বা ক্ষারধর্মী জলীয় দ্রবণ তৈরি করে থাকে। এরূপ বিক্রিয়াকে লবণের আর্দ্র বিশ্লেষণ বলা হয়। নিম্নোক্ত দু'প্রকারে আর্দ্র বিশ্লেষণ ঘটে।

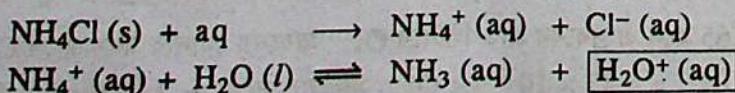
(ক) যেসব লবণ দূর্বল ক্ষারক ও সবল অঙ্গ থেকে উৎপন্ন, তারা দ্রবণে আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে অঙ্গীয় দ্রবণ তৈরি করে। যেমন,

উদাহরণ-১। কপার সালফেট (CuSO_4) হলো দূর্বল ক্ষারক Cu(OH)_2 ও সবল অঙ্গ 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।



ফলে দ্রবণে H_3O^+ আয়নের সংখ্যা বাড়ার কারণে দ্রবণে pH এর মান 7 এর চেয়ে কম হয়; অর্থাৎ CuSO_4 এর দ্রবণটি অঙ্গীয় হয়। এ ধরনের বিক্রিয়াকে ক্যাটায়নিক আর্দ্রবিশ্লেষণ বলা হয়।

উদাহরণ-২। অনুরূপভাবে, NH_4Cl হলো দূর্বল ক্ষারক NH_4OH ও সবল অঙ্গ HCl এর লবণ। এটি পানিতে প্রথমে আয়নে বিভক্ত হয়। পরে দ্রবণে NH_4^+ আয়নের আর্দ্রবিশ্লেষণ নিম্নরূপে ঘটে এবং দ্রবণটি অঙ্গীয় হয়।

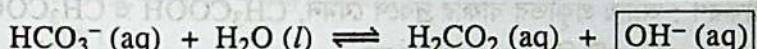
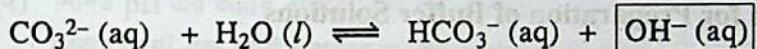
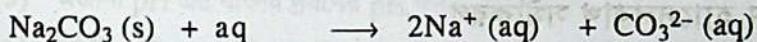


ফলে দ্রবণে H_3O^+ আয়নের সংখ্যা বাড়ার কারণে pH এর মান 7 এর চেয়ে কম হয়; অর্থাৎ NH_4Cl এর জলীয় দ্রবণ অমীয় হয়। এ ধরনের বিক্রিয়াকে ক্যাটায়নের অর্দ্ধ-বিশ্লেষণ বলা হয়।

অনুরূপভাবে NH_4NO_3 , AgNO_3 , ZnCl_2 ইত্যাদি লবণ অর্দ্ধ-বিশ্লেষণ দ্বারা অমীয় দ্রবণ তৈরি করে।

(খ) যেসব লবণ সবল ক্ষারক ও দুর্বল অম থেকে উৎপন্ন, তারা দ্রবণে অর্দ্ধ-বিশ্লেষিত হয়ে ক্ষারীয় দ্রবণ তৈরি করে। যেমন,

উদাহরণ-৩। সোডিয়াম কার্বনেট (Na_2CO_3) হলো সবল ক্ষারক NaOH ও দুর্বল অম 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।



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 অর্দ্ধ-বিশ্লেষণ বলা হয়।

অনুরূপভাবে, Na_2S , Na_3PO_4 , K_2CO_3 , KCN , CH_3COONa ইত্যাদি লবণ অর্দ্ধ-বিশ্লেষণ দ্বারা ক্ষারীয় দ্রবণ তৈরি করে।

৮.১৩ বাফার দ্রবণ Buffer Solutions

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 ফোটা সবল এসিড বা ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে দ্রবণের pH এর মধ্যে পরিবর্তন ঘটে। কিন্তু অনেক রাসায়নিক শিল্প ও জীববিদ্যা সম্পর্কীয় রাসায়নিক প্রক্রিয়া আছে যেখানে pH হ্রিয়ে রাখা আবশ্যিক। যেমন মানুষের রক্তের pH হলো 7.4। অধিক অমজাতীয় খাদ্য গ্রহণ বা ঔষুধ প্রয়োগের কারণে রক্তের pH মান স্বাভাবিক মান থেকে 0.5 এর বেশি পরিবর্তিত হলে জীবন সংকটাপন্ন হয়। তাই সব ঔষুধ ও ইন্জেকশন প্রস্তুতিতে pH এর শুরুত্ব অধিক। তাই এসব ক্ষেত্রে এমন বিশেষ দ্রবণ প্রস্তুত করা হয় যার মধ্যে অম্ল পরিমাণে সবল এসিড বা ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে মিশ্রণের pH এর তেমন পরিবর্তন ঘটে না। একপ 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, আয় হ্রিয়ে থাকে; তাকে বাফার দ্রবণ বলে। বাফার দ্রবণের নিজস্ব pH হ্রিয়ে রাখার ক্ষমতা থাকে। বাফার (buffer) শব্দের অর্থ প্রতিরোধ বা resist করা।

এক্ষেত্রে দ্রবণের pH বলতে $[\text{H}_3\text{O}^+]$ এর পরিবর্তনকে প্রতিরোধ করা বোঝায়। বাফার দ্রবণ হলো মূলত একটি দুর্বল এসিড ও এর অনুবঙ্গী ক্ষারকের দ্রবণের মিশ্রণ, একে অমীয় বাফার দ্রবণ বলে। আবার দুর্বল ক্ষারক দ্রবণ ও এর অনুবঙ্গী এসিডের মিশ্র-দ্রবণকে ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ বলা হয়। অর্থাৎ বাফার দ্রবণ দু'শ্ৰেণিতে বিভক্ত; অমীয় বাফার দ্রবণ ও ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ।

অমীয় বাফার দ্রবণ : [দুর্বল এসিড + অনুবঙ্গী ক্ষারক]; **উদাহরণ :** (i) $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H} + \text{CH}_3\text{CO}_2^-$ আয়ন,

(ii) $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{HPO}_4^{2-}$ আয়ন,

ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ : [দুর্বল ক্ষারক + অনুবঙ্গী এসিড]; **উদাহরণ :** (i) $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCO}_3^-$ আয়ন,

(ii) $\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4^+$ আয়ন,

বাফার দ্রবণ প্রস্তুতি :

(ক) অল্পীয় বাফার দ্রবণগুলো সাধারণত মৃদু এসিড ও ঐ এসিডের সাথে তীব্র ক্ষার সহযোগে সৃষ্টি লবণ হতে প্রস্তুত করা হয়; যথা : CH_3COOH ও CH_3COONa দ্রবণের মিশ্রণ।

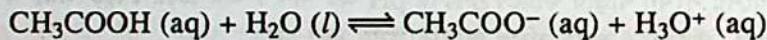
(খ) ক্ষারীয় বাফার দ্রবণগুলো মৃদু ক্ষারক ও ঐ ক্ষারকের সাথে তীব্র এসিড সহযোগে সৃষ্টি লবণ হতে প্রস্তুত করা হয়; যথা : NH_4OH ও NH_4Cl দ্রবণের মিশ্রণ।

হেডারসন হ্যাসেলবাখ (Henderson Hasselbalch) সমীকরণ প্রয়োগ করে বিভিন্ন pH এর বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা যায়।

বাফার দ্রবণ প্রস্তুতিতে হেডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণ

Henderson Hasselbach equation for Preparation of Buffer Solutions

(ক) অল্পীয় দ্রবণের pH গণনার সমীকরণ : অল্পীয় প্রকৃতির বাফার দ্রবণে যেমন, CH_3COOH ও CH_3COONa এর মিশ্রণে মৃদু অল্প যেমন, CH_3COOH থাকে। মৃদু অল্পটি নিম্নরূপে আয়নিত হয়।



$$\text{এক্ষেত্রে সামাধ্রুবক, } K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} ; \text{ বা, } [\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \times \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

এক্ষেত্রে CH_3COOH হলো মৃদু অল্প। তাই এটি জলীয় দ্রবণে কম আয়নিত হয়। আবার তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষণ CH_3COONa এর উপস্থিতিতে এর বিয়োজন আরও হ্রাস পায়। তাই অবিয়োজিত $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ এর মান CH_3COOH এর প্রারম্ভিক ঘনমাত্রার প্রায় কাছাকাছি থাকে। অপরদিকে $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ এর মান এর লবণের অর্থাৎ CH_3COONa এর প্রারম্ভিক ঘনমাত্রার সমান হবে। সূতরাং পূর্বের সমীকরণটিকে নিম্নরূপে লেখা যায় :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \times \frac{\text{[অল্প]}}{\text{[লবণ]}} ; \text{ বা, } \log[\text{H}_3\text{O}^+] = \log K_a + \log \frac{\text{[অল্প]}}{\text{[লবণ]}}$$

$$\text{বা, } -\text{pH} = -\text{p}K_a - \log \frac{\text{[লবণ]}}{\text{[অল্প]}} ; \quad \therefore \log \frac{A}{B} = -\log \frac{B}{A}$$

$$\boxed{\text{বা, } \text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{\text{[লবণ]}}{\text{[অল্প]}}} ;$$

$$\boxed{\begin{aligned} \text{MCQ-4.27 : কোনো দ্রবণের } [\text{OH}^-] \\ = 3.4 \times 10^{-1} \text{ হলে এর pH কত?} \\ (\text{ক}) 9.53 \quad (\text{খ}) 7.53 \quad (\text{গ}) 8.93 \quad (\text{ঘ}) 13.53 \end{aligned}}$$

এই সমীকরণটিকে হেডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণ বলে। এ সমীকরণের সাহায্যে যে কোনো অল্পীয় 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 :



$$\text{এক্ষেত্রে সামাধ্রুবক, } K_b = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]} ; [\text{OH}^-] = K_b \times \frac{[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]}$$

$$\text{এখন উভয় দিকে, log নিয়ে পাই, } \log[\text{OH}^-] = \log K_b + \log \frac{[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]}$$

এবার -1 দিয়ে গুণ করে পাই, $-\log[\text{OH}^-] = -\log K_b - \log \frac{[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]}$

বা, $\text{pOH} = \text{p}K_b + \log \frac{[\text{NH}_4^+]}{[\text{NH}_4\text{OH}]}$; বা, $(14 - \text{pH}) = \text{p}K_b + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{ক্ষার}]}$

$\therefore \text{pH} = 14 - \text{p}K_b - \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{ক্ষার}]}$; এ সমীকরণের সাহায্যে ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের pH গণনা করা যায়।

হেভারসন সমীকরণের প্রয়োগ :

- (১) অজানা pH এর বাফার দ্রবণের pH গণনা করা যায়।
- (২) নির্দিষ্ট pH এর অঙ্গীয় বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে সংশ্লিষ্ট মূল্য ও এর লবণের দ্রবণ কত মোলার অনুপাতে বা $[\text{লবণ}]/[\text{অম্ল}]$ এবং ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের বেলায় $[\text{লবণ}]/[\text{ক্ষার}]$ এর কত অনুপাতে মিশ্রিত করা দরকার তা গণনা করা যায়।

* (৩) হেভারসন সমীকরণ থেকে জানা যায় যে, অঙ্গীয় বাফারের pH সংশ্লিষ্ট দুর্বল এসিডটির $\text{p}K_a$ মানের কাছাকাছি হতে হয়; কেবল অতিরিক্ত মান $\log [\text{লবণ}]/[\text{অম্ল}]$ এ থেকে আসে। যখন,

$[\text{লবণ}]/[\text{অম্ল}] = 1$ হয়; তখন $\log [\text{লবণ}]/[\text{অম্ল}] = 0$ হয় এবং $\text{pH} = \text{p}K_a$ হয়। সে বাহার দ্রবণের বাফার শক্তি সর্বাধিক (highest buffer capacity) হয়।

* (৪) সাধারণত ঈস্লিত বাফারের pH এর কাছাকাছি $\text{p}K_a$ বিশিষ্ট দুর্বল এসিডটি বেছে নেয়া হয়। এরপর হেভারসন সমীকরণ মতে $[\text{লবণ}]/[\text{অম্ল}]$ অনুপাত ঠিক করা হয়। যেমন,

(i) pH 7 এর কাছাকাছি বাফার তৈরি করতে হলো H_2PO_4^- ও HPO_4^{2-} এর অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক যুগল নেয়া হয়।

কারণ H_2PO_4^- এসিডের $\text{p}K_a$ এর মান হলো $\text{p}K_a = -\log (6.2 \times 10^{-8}) = 7.21$

(ii) একইভাবে pH 9 এর ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ তৈরির জন্য NH_4Cl ও NH_3 এর অনুবন্ধী অম্ল ক্ষারক যুগল নেয়া হয়। এক্ষেত্রেও অঙ্গীয় বাফারের হেভারসন সমীকরণ ব্যবহার করা যায়। কারণ NH_4^+ আয়নের $\text{p}K_a$ এর মান 9.25 হয়। $\text{p}K_a = \log (5.6 \times 10^{-10}) = 9.25$ । মৌল্দা কথায়, বাফারের দুর্বল এসিডটির $\text{p}K_a$ এর মান বাফারের ঈস্লিত pH থেকে $\pm 1 \text{ pH}$ ব্যবধানের মধ্যে থাকবে।

- (৫) যেহেতু বিভিন্ন বাফার দ্রবণ ল্যাবরেটরিতে ও মেডিসিন প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়, তাই প্যাকেটেজাত বিভিন্ন বাফার মিশ্রণ গুঁড়া ও দ্রবণ বাণিজ্যিকভাবে সহজলভ্য। এসব ক্ষেত্রে বাফার সিটেমে সঠিক $\text{p}K_a$ ও $[\text{লবণ}]/[\text{অম্ল}]$ এর অনুপাত সঠিকভাবে অনুসরণ করা হয়।

* নির্দিষ্ট pH এর বাফার দ্রবণের সঠিক অম্ল-ক্ষার যুগল নির্বাচন :

ঈস্লিত pH মানের কোনো বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে সঠিক নির্বাচিত অম্লটি হবে সেটি যার $\text{p}K_a$ এর মান ঈস্লিত pH মানের চেয়ে $\pm 1 \text{ pH}$ এর ব্যবধানের মধ্যে থাকবে। নিচে একেবারে ৪টি বাফার দ্রবণের কার্যকর 'অম্ল-ক্ষার' যুগল এদের pH রেঞ্জ বা সীমা উপর্যুক্ত এসিডের K_a ও $\text{p}K_a$ মান দেয়া হলো। সম্পর্কিত বোঝে নাও।

বাফার দ্রবণের অম্ল-ক্ষার যুগল	pH রেঞ্জ	এসিডের K_a	এসিডের $\text{p}K_a$
১। $\text{H}-\text{COOH}$ ও $\text{H}-\text{COONa}$ বাফার	3.7—5.2	HCOOH এর $K_a = 1.8 \times 10^{-4}$	$\text{p}K_a = 3.75$
২। CH_3COOH ও CH_3COONa বাফার	3.7—5.6	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$	$\text{p}K_a = 4.75$
৩। NaH_2PO_4 ও Na_2HPO_4 বাফার	5.8—8.0	H_2PO_4^- এর $K_a = 6.2 \times 10^{-8}$	$\text{p}K_a = 7.21$
৪। NH_4Cl ও NH_3 (বা, NH_4OH) বাফার	8.5—10.0	NH_4^+ এর $K_a = 5.6 \times 10^{-10}$	$\text{p}K_a = 9.25$

বাফার ক্ষমতা (buffer capacity or buffer index) : এক লিটার বাফার দ্রবণের pH এর মান এক একক (1 unit) পরিবর্তন করতে যতো মৌল সংখ্যার সবল এসিড বা ক্ষার মিশ্রিত বা যোগ করতে হয়, তাকে ঐ বাফার দ্রবণের বাফার ক্ষমতা বলে।

$$\therefore \text{বাফার ক্ষমতা} = \frac{\text{প্রতি লিটার বাফার দ্রবণে মিশ্রিত এসিড বা ক্ষারের মৌল সংখ্যা}}{\text{pH মানের পরিবর্তন}}$$

যেহেতু $pH = pK_a + \log [লবণ]/[অম্ল]$; তাই (i) [লবণ]/[অম্ল] এর অনুপাত 1 হলে ঐ বাফার দ্রবণের ক্ষমতা সবচেয়ে বেশি হয়। (ii) তখন অঙ্গীয় বাফারের বেলায় $pH = pK_a$ এবং ক্ষারীয় বাফারের বেলায় $pOH = pK_b$ হয়। (iii) বাফার দ্রবণের উভয় উপাদানের মৌলার 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।

৪.১৩.১ বাফার দ্রবণের ক্রিয়া কৌশল

Mechanism of Buffer Action

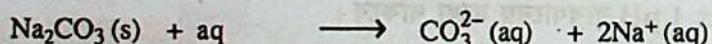
বাফার ক্রিয়া (buffer action) : যে রাসায়নিক ক্রিয়া কৌশলের মাধ্যমে কোনো বাফার দ্রবণ স্বল্প মাত্রায় এসিড বা ক্ষারক দ্রবণ মিশ্রিত করার পরও এর pH পরিবর্তন প্রতিরোধ করে তাকে বাফার ক্রিয়া বলে।

কোনো একটি বাফার দ্রবণের অত্যাবশ্যক বৈশিষ্ট্য হলো :

- * (১) দ্রবণটিতে এসিড (HA) ও এর অনুবঙ্গী ক্ষারক (A^-) উভয় উপাদানের উচ্চ ঘনমাত্রা থাকতে হয়।
- * (২) বাফার দ্রবণের উপাদান দুটির ঘনমাত্রার চেয়ে কম পরিমাণে H_3O^+ অথবা OH^- -আয়ন যোগ করলে ঐ সব আয়ন বাফার দ্রবণের একটি উপাদানকে অপর উপাদানে পরিণত করে।
- * (৩) ফলে উভয় বাফার উপাদানের একটির ঘনমাত্রা কিছুটা কমে ও অপরটি কিছুটা বাঢ়ে। এরপে যোগ করা H_3O^+ অথবা OH^- -আয়ন বাফার উপাদান দ্বারা শোষিত হয় বলে দ্রবণের pH প্রায় অপরিবর্তিত থাকে। [চি-৪.২৫ দৃষ্টব্য]

বাফার ক্রিয়ার কৌশল : 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 অনুবঙ্গী এসিডটি হলো বাইকার্বনেট (HCO_3^-) আয়ন।

এখানে Na_2CO_3 ও $NaHCO_3$ আয়নিক লবণ সবল তড়িৎবিশ্লেষ্য হওয়ায় শতভাগ আয়নিত হয়। কিন্তু HCO_3^- আয়ন দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য হওয়ায় উভয় উপাদানের আংশিক বিয়োজিত বা আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়।



বাইকার্বনেট আয়ন (HCO_3^-) এর বিয়োজন সামুদ্রিক (K_a) নিম্নরূপে প্রকাশ

করা হয় :

$$K_a = \frac{[CO_3^{2-}] \times [H_3O^+]}{[HCO_3^-]} ; \text{ বা, } [H_3O^+] = K_a \times \frac{[HCO_3^-]}{[CO_3^{2-}]} \dots (1)$$

(১) নং সমীকরণ মতে K_a হ্রদ হওয়ায়, বাফার দ্রবণের H_3O^+ আয়নের মৌলার ঘনমাত্রা বাফার উপাদানদ্বয়ের মৌলার ঘনমাত্রার অনুপাতের সমানুপাতিক হয়। যেমন, $\frac{[HCO_3^-]}{[CO_3^{2-}]} = \frac{[HA]}{[A^-]} = \frac{\text{দুর্বল অম্ল}}{\text{অনুবঙ্গী ক্ষারক}}$

* (i) কোনো কারণে যখন $[HA]/[A^-]$ অনুপাত বাঢ়ে, তখন $[H_3O^+]$ বাঢ়ে, pH কমে।

* (ii) কোনো কারণে যখন $[HA]/[A^-]$ অনুপাত কমে, তখন $[H_3O^+]$ কমে, pH বাঢ়ে।

MCQ-4.28 : $A(H_2O) \xrightarrow{H^+}$

B(H_3O^+) এ উদ্বীপক মতে,

(i) A ও B এর আকৃতি একই

(ii) উভয়ের কেন্দ্রীয় পরমাণুর

সংকরণ একই

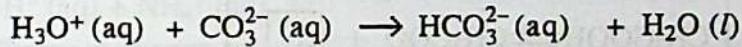
(iii) $25^\circ C$ এ বিশুদ্ধ A এর pH = 7 কোনটি সঠিক হবে?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii

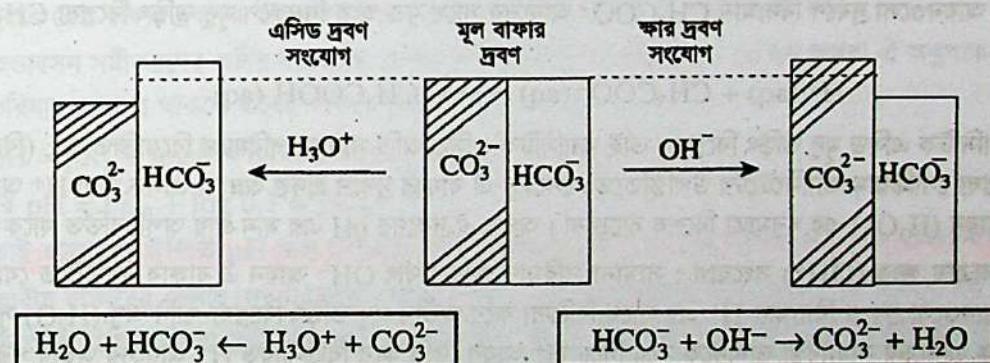
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

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,

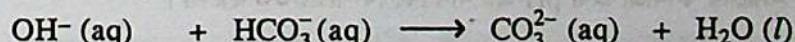


তখন $[H_3O^+]$ এর সমপরিমাণে $[CO_3^{2-}]$ আয়ন করে এবং $[HCO_3^-]$ সমপরিমাণে বাড়ে। ফলে (১) নং সমীকরণের বাফার উপাদানদ্বয়ের ঘনমাত্রার অনুপাত যেমন $[HCO_3^-]/[CO_3^{2-}]$ অনুপাত সামান্য বাড়ে। অর্থাৎ $[H_3O^+]$ সামান্য বাড়ে। (ওপরের (i) নং শর্ত মতে)। নিচের চিত্র-৪.২৫ এর বাম দিক থেকে তা সহজে বোঝা যায়।



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 বিত্রিয়া করে সমসংখ্যক কার্বনেট (CO_3^{2-}) আয়ন বৃদ্ধি করে।



ফলে (১) নং সমীকরণের বাফার উপাদানদ্বয়ের ঘনমাত্রার অনুপাত করে অর্থাৎ $[H_3O^+]$ সামান্য করে। এরপে 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 ক্রিয়াকৌশল নিম্নরূপে ব্যাখ্যা করা হয়।]

(১) অল্পীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল :

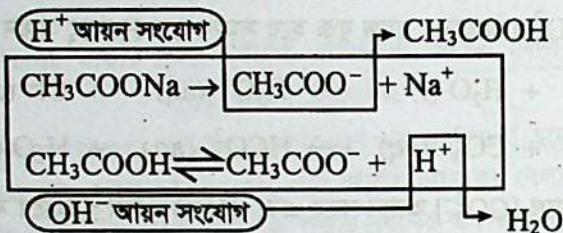
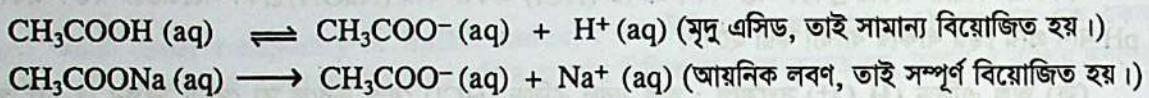
MCQ-4.29 : নিচের কোনটি

উত্থাপনী? [সি. বো. ২০১৫]

(ক) NH_3 (খ) HCO_3^-

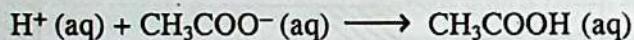
(গ) H_3O^+ (ঘ) CO_3^{2-}

অল্পীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল ব্যাখ্যা করার জন্য ইথানোয়িক এসিড বা আসিটিক এসিড (CH_3COOH) ও সোডিয়াম ইথানোয়েট বা অ্যাসিটেট (CH_3COONa) লবণ ঘারা প্রত্যুত্ত অল্পীয় প্রক্রিয়ি বাফার দ্রবণটির ক্রিয়া-কৌশল বর্ণনা করা যায়। এ বাফার দ্রবণের উপাদানদ্বয় দ্রবণে নিম্নরূপে বিবরিত হয়ে থাকে।



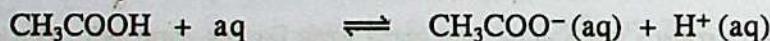
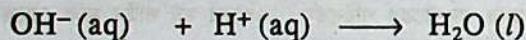
চিত্র-৪.২৬(ক) : অল্পীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল

(ক) অক্ষয়মাত্রায় এসিড সংযোগ : যদি সামান্য পরিমাণ HCl এসিড অর্থাৎ H⁺ আয়ন এ বাফার দ্রবণে যোগ করা হয়, তখন প্রদত্ত H⁺ আয়নগুলো দ্রবণে বিদ্যমান CH₃COO⁻ আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে নিম্নরূপে মুদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য CH₃COOH অণু উৎপন্ন করে।



যেহেতু অ্যাসিটিক এসিড মুদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য, তাই অ্যাসিটিক এসিড অতি সামান্য পরিমাণে বিয়োজিত হয়; (বিশেষ করে তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য সেডিয়াম অ্যাসিটেটের উপস্থিতিতে) সেহেতু এ বাফার দ্রবণে প্রদত্ত অন্ন বা এসিড দ্বারা H⁺ আয়নের বা হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H₃O⁺) এর ঘনমাত্রা বিশেষ বাড়ে না। অর্থাৎ এ দ্রবণের pH এর মান প্রায় অপরিবর্তিত থাকে।

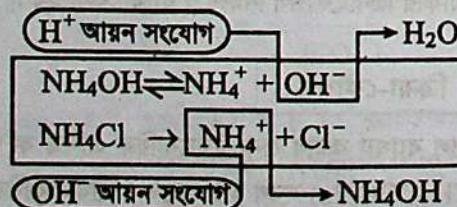
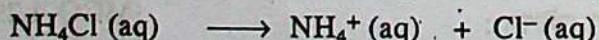
(খ) অন্ন মাত্রায় ক্ষার (OH⁻) সংযোগ : সামান্য পরিমাণ ক্ষার অর্থাৎ OH⁻ আয়ন এ বাফার দ্রবণটিতে যোগ করলে প্রদত্ত OH⁻ আয়নগুলো দ্রবণে বিদ্যমান H⁺ এর সাথে বিক্রিয়া করে অতীব মুদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য পানি অণু (H₂O) সৃষ্টি করে। তখন ইথানোলিক এসিডের সাম্যাবস্থা ডানদিকে সরে গিয়ে H⁺ আয়ন তৈরি করে বিক্রিয়ারত H⁺ আয়নের অভাব পূরণ করে।



অতএব দেখা যায় যে, বাফার দ্রবণে সামান্য পরিমাণ তীব্র এসিড বা ক্ষার হিসেবে যথাক্রমে H⁺ আয়ন অথবা OH⁻ আয়ন এর যে কোনো 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।

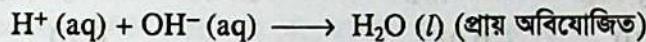
(২) ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল :

যদি বাফার দ্রবণটি মুদু ক্ষারক যেমন NH₄OH ও তার লবণ যেমন NH₄Cl সমবায়ে গঠিত হয় তবে উপাদানদ্বয় নিম্নরূপে আয়নিত হয়।

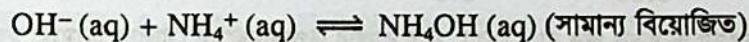


চিত্র-৪.২৬(খ) : ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল

(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।



(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।



সূতরাং এ দ্রবণে তীব্র অল্প ক্ষার যেকোনোটি যোগ করা হোক না কেন, ঐ মিশ্রিত অল্প 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 ত্বক্রিয়া সৃষ্টিভাবে কার্যকর থাকে।

* (১) বাফার রেঞ্জ বাফার দ্রবণের উপাদানসমূহের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাতের ওপর নির্ভর করে।

* (২) হেভারসন সমীকরণের অন্তর্ভুক্ত বেলায় [লবণ]/[অল্প] এর অনুপাত = 10 গুণ অথবা ঐ অনুপাত = 0.1 গুণ পরিমাণের মধ্যে থাকলে তবেই বাফার ক্ষমতা কার্যকর থাকে।

* (৩) $pH = pK_a + \log [লবণ]/[অল্প] = pK_a + \log 10 = pK_a + 1$

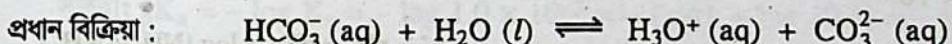
$$\text{আবার } pH = pK_a + \log 0.1 = pK_a - 1$$

* (৪) তাই বাফারের ইলিপ্টিক pH মান ব্যবহৃত দুর্বল অঙ্গটির 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। নতুন এ সব বাফার দ্রবণের বাফার ত্বক্রিয়া সৃষ্টিভাবে 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 কীরক্ষণ পরিবর্তন ঘটবে তা দেখো। এক্ষেত্রে বাইকার্বনেট এসিডের (HCO_3^- এর) $K_a = 5.6 \times 10^{-11}$

দক্ষতা : প্রথমে ক্ষারীয় বাফারের pH গণনা কর। ক্ষার মিশানোর পূর্বে মূল বাফারের বেলায় :



$$\text{সাম্য ঘনমাত্রা (M) : } (0.10 - x) \quad (0.10 + x)$$

$$\text{সাম্যাবস্থায়, } K_a = \frac{[H_3O^+] \times [CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} \therefore [H_3O^+] = K_a \times \frac{[HCO_3^-]}{[CO_3^{2-}]}$$

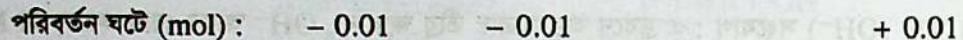
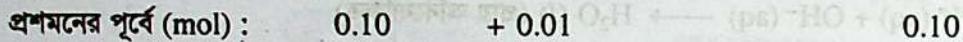
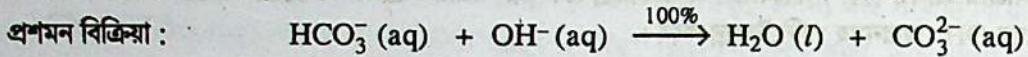
লক্ষ কর, Na_2CO_3 সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য হওয়ায় CO_3^{2-} আয়নটির ঘনমাত্রা Na_2CO_3 এর মতো 0.1M হবে। আবার HCO_3^- দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য হওয়ায় অল্প (যেমন x mol) আয়নিত হয়ে অল্প (যেমন x mol) CO_3^{2-} আয়ন মিশ্র দ্রবণে বৃদ্ধি করবে।

$$[H_3O^+] = K_a \times \frac{(0.10 - x)}{(0.10 + x)} = K_a \times \frac{0.10}{0.10} = K_a$$

$$\therefore [H_3O^+] = 5.6 \times 10^{-11} \text{ হবে। যেহেতু } K_a = 5.6 \times 10^{-11}$$

এক্ষেত্রে x এর মান খুবই কম হয়, তাই $(0.10 - x)$ ও $(0.10 + x)$ প্রত্যেকটিকে প্রাথমিক ঘনমাত্রায় তুল্য ধরা হয়েছে। $\therefore pH = -\log [H_3O^+] = -\log (5.6 \times 10^{-11}) = 10.25$

সমাধান : 0.01 mol NaOH যোগ করলে এর সাথে প্রশমন বিক্রিয়ার পর অবশিষ্ট $[H_3O^+]$ হিসাব করতে হবে :



প্রশমনের পর সামগ্রিক দ্রবণের আয়তন ক্রম বা 1.00 L ধরে বাফার উপাদানসময়ের মোলার ঘনমাত্রা হয় :

$$[HCO_3^-] = \frac{0.09 \text{ mol}}{1.00 \text{ L}} = 0.09 \text{ M}; [CO_3^{2-}] = \frac{0.11 \text{ mol}}{1.00 \text{ L}} = 0.11 \text{ M}$$

এসব ঘনমাত্রার মান নিচের $[H_3O^+]$ এর সমীকরণে বসিয়ে পাই :

$$[H_3O^+] = K_a \times \frac{[HCO_3^-]}{[CO_3^{2-}]} = 5.6 \times 10^{-11} \frac{(0.09)}{0.11} = 4.58 \times 10^{-11} \text{ M}$$

$$pH = -\log [H_3O^+] = -\log (4.58 \times 10^{-11}) = 10.34$$

লক্ষ কর, 0.01 mol NaOH বাফার দ্রবণে যোগ করায়, বাফারের pH পরিবর্তন 10.25 থেকে 10.34 হয়েছে অর্থাৎ 0.09 পরিমাণ pH বেড়েছে; যা নগণ্য। এক্ষেত্রে বাফার উপাদানসময়ের ঘনমাত্রা অনুপাত [দুর্বল এসিড]/[অনুবন্ধীক্ষারক] খুব অল্প। যেমন $[HCO_3^-]/[CO_3^{2-}]$ এর বেলায় 1.0 থেকে 9/11 তে (চিত্র-৮.২৫-এ) পরিবর্তন হয়েছে, যা এ pH পরিবর্তনে ভূমিকা রেখেছে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৫৫ : হেভারসন-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 কর। এক্ষেত্রে NH_3 এর $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$ ।

দক্ষতা : হেভারসন-হেসেলবাখ সমীকরণ মতে $[NH_3]/[NH_4^+]$ অনুপাত গণনা করব।

সমাধান : যেহেতু NH_3 এর $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$; তাই NH_4^+ এর K_a হবে নিম্নরূপ :

$$K_a = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} = 5.6 \times 10^{-10}; \therefore pK_a = -\log (5.6 \times 10^{-10}) = 9.25$$

$$\text{আবার } \log \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = (pH - pK_a) = (7.00 - 9.25) = -2.25$$

$$\therefore \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = \text{antilog} (-2.25) = 10^{-2.25} = \frac{5.6 \times 10^{-3} (\text{M})}{1.0 (\text{M})}$$

$$\because pH = pK_a + \log [NH_3]/[NH_4^+]$$

$$= (9.25 - 2.25)$$

$$= 7.0$$

নিম্নমান বাফার : যদি $[NH_4^+]$ এর নমুনা ঘনমাত্রা 1.0M নেয়া হয়, তখন $[NH_3]$ এর ঘনমাত্রা 0.0056 M (বা, $5.6 \times 10^{-3} \text{ M}$) নিতে হয়। এ অবস্থায় NH_3 ও NH_4Cl বাফার দ্রবণ একটি নিম্নমান বাফার হবে; কারণ-

(i) প্রস্তুত বাফারের ইলিপ্ট 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 $\pm 1 \text{ pH}$ 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 ইলিপ pH 7.0 বাফার দ্রবণের জন্য $\text{NH}_3 - \text{NH}_4^+$ বাফার দ্রবণটি একটি নিম্নমান বাফার দ্রবণ হবে।
- * কিন্তু pH 9.0 এর কাছাকাছি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে $\text{NH}_3 - \text{NH}_4^+$ মিশ্রণ হবে একটি উচ্চম বিবেচনা বা Selection। কারণ NH_4^+ এর pK_a হলো 9.25। অনুরূপভাবে,
- * pH 7.0 বাফারের জন্য উচ্চম 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 তৃতীয় $\text{NH}_4\text{Cl} - \text{NH}_3$ উপাদান যুগল থেকে কীরুপে প্রস্তুত করবে তা ব্যাখ্যা কর। NH_4^+ এর $K_a = 5.6 \times 10^{-10}$ ।

সমাধান : হেভারসন সমীকরণকে পুনরায় বিন্যস্ত করে $[\text{ক্ষার}] / [\text{অম্ল}]$ অনুপাত অনুসারে সাজিয়ে নিতে হবে। এক্ষেত্রে ক্ষার হলো NH_3 এবং অম্ল হলো NH_3 এর অনুবঙ্গী অম্ল NH_4^+ আয়ন যা হেভারসন সমীকরণে [লবণ] রূপে আছে। NH_4^+ আয়নের লবণ হবে NH_4Cl । ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের সমীকরণটি হলো :

$$\text{pH} = 14 - pK_b - \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{ক্ষার}]} ; \text{ বা, } \text{pH} = pK_a + \log \frac{[\text{ক্ষার}]}{[\text{অনুবঙ্গী অম্ল}]}$$

$$\text{বা, } \text{pH} = pK_a + \log \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} ; \text{ বা, } \log \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = (\text{pH} - pK_a) = 9.0 - (-\log 5.6 \times 10^{-10}) \\ = (9.0 - 9.25) = -0.25$$

$$\therefore \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = \text{antilog}(-0.25) = 10^{-0.25} = 0.56$$

সূতরাং ইলিপ (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-৫.৫৬ : (ক) সমআয়তনের 0.1M অ্যাসিটিক এসিড ও 0.1M সোডিয়াম অ্যাসিটেট বিশিষ্ট বাফার দ্রবণের pH হিসাব কর। (খ) উক্ত দ্রবণে H^+ আয়নের ঘনমাত্রা কত? $[K_a = 1.0 \times 10^{-5}]$

সমাধান : (ক) হেভারসন হ্যাসেলবাথ সমীকরণ থেকে আমরা জানি,

$$\text{pH} = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} ; \text{ প্রশ্নমতে, এখানে } K_a = 1.0 \times 10^{-5} \text{।}$$

$$\text{সূতরাং, } pK_a = -\log K_a = -\log 1.0 \times 10^{-5} = -(1.0 + \log 10^{-5}) = -(0 - 5) = 5$$

প্রশ্নমতে, [লবণ] = 0.1; এবং [অম্ল] = 0.1; এখন মান বসিয়ে পাই-

$$\therefore \text{pH} = 5 + \log \frac{0.1}{0.1} = 5 + \log 1 = (5 + 0) = 5 \text{ (উঁ:)}$$

$$(খ) আবার [H⁺] = 10^{-pH} = 10⁻⁵ = 10⁻⁵ mol L⁻¹ (উঁ:)$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৫.৫৭ : 25°C তাপমাত্রায় অ্যাসিটিক এসিডের $pK_a = 4.76$ । এ এসিডসহ 5.0 pH-এর বাফার দ্রবণ কীভাবে প্রস্তুত করা যায়?

সমাধান : হেভারসন হ্যাসেলবাথ সমীকরণ মতে, $\text{pH} = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$

$$\text{বা, } \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = \text{pH} - pK_a = (5.0 - 4.76) = 0.24 ; \text{ বা, } \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = \text{anti log } 0.24 = 1.738 = \frac{1.738}{1.0}$$

অর্থাৎ এমন পরিমাণ সোডিয়াম অ্যাসিটেট ও অ্যাসিটিক এসিড নিতে হবে যেন তাদের মোলের অনুপাত 1.738 : 1.0 হয়। যেমন 1.738 mol সোডিয়াম অ্যাসিটেট ও 1.0 mol অ্যাসিটিক এসিড 1L দ্রবণে প্রবীজ্ঞ করলে উপরোক্ত pH 5.0 এর বাফার দ্রবণ তৈরি হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৮ : কোনো বাষার দ্রবণে ইথানোয়িক এসিড ও সোডিয়াম ইথানোয়েটের ঘনমাত্রা যথাক্রমে 0.1 mol L^{-1} এবং 0.15 mol L^{-1} হলে ঐ বাষারের pH নির্ণয় কর। ইথানোয়িক এসিডের $K_a = 1.77 \times 10^{-5}$.

সমাধান : হেভারসন সমীকরণ হতে আমরা জানি,

$$\text{বাষার দ্রবণের, } \text{pH} = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{এসিড}]} \quad \text{[লবণ]}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log K_a + \log \frac{[\text{CH}_3\text{COONa}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \quad [\text{CH}_3\text{COONa}]$$

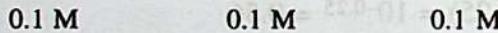
$$\text{বা, } \text{pH} = -\log (1.77 \times 10^{-5}) + \log \frac{0.15}{0.10} \quad [\text{CH}_3\text{COOH}]$$

$$\text{বা, } \text{pH} = (4.7520 + 0.1761) = 4.9281$$

$$\therefore \text{pH} = 4.93 \text{ (উ:)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৯ : $10 \text{ mL } 0.1 \text{ M}$ অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণে $4 \text{ mL } 0.1 \text{ M NaOH}$ দ্রবণ যোগ করলে উৎপন্ন মিশ্র দ্রবণের pH কত হবে? [$pK_a = 4.76$]

সমাধান : $4 \text{ mL } 0.1 \text{ M NaOH}$ দ্রবণ $4 \text{ mL } 0.1 \text{ M}$ অ্যাসিটিক এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে $4 \text{ mL } 0.1 \text{ M}$ সোডিয়াম অ্যাসিটেট তৈরি করবে। $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$

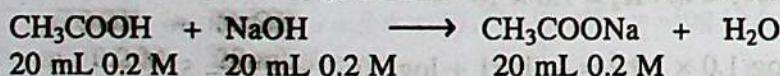


সূতরাং $(10 - 4) = 6 \text{ mL } 0.1 \text{ M}$ অ্যাসিটিক এসিড অবশিষ্ট থাকবে। অর্থাৎ প্রতি ক্ষেত্রে ঘনমাত্রা সমান থাকায় একেকে লবণ ও এসিডের মৌলার ঘনমাত্রার অনুপাত $4 : 6$ হবে। হেভারসন সমীকরণ থেকে-

$$\text{pH} = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অস্ত্র}]} = \left(4.76 + \log \frac{4}{5} \right) = 4.857; \therefore \text{দ্রবণের pH} = 4.86 \text{ (উ:)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬০ : $20 \text{ mL } 0.2 \text{ M NaOH}$ দ্রবণের সাথে $50 \text{ mL } 0.2 \text{ M CH}_3\text{COOH}$ মিশিয়ে 70 mL দ্রবণ তৈরি করা হলো। ঐ মিশ্র দ্রবণের pH কত হবে? [$[\text{CH}_3\text{COOH}]$ এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$]

সমাধান : NaOH দ্রবণ ও CH_3COOH দ্রবণ মিশ্রিত করলে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে :



সূতরাং $20 \text{ mL } 0.2 \text{ M NaOH}$ এর সাথে $20 \text{ mL } 0.2 \text{ M}$ এসিডের বিক্রিয়ার পর 70 mL মিশ্র দ্রবণে প্রকৃতপক্ষে $(50 - 20) \text{ mL} = 30 \text{ mL}$ তুল্য $0.2 \text{ M CH}_3\text{COOH}$ এসিড থাকে এবং তুল্য $20 \text{ mL } 0.2 \text{ M CH}_3\text{COONa}$ থাকে।

$$\therefore 70 \text{ mL মিশ্র দ্রবণে থাকা } \text{CH}_3\text{COOH} \text{ এর মোল সংখ্যা} = \frac{0.2 \times 30}{1000} = 0.006$$

$$\text{এবং } 70 \text{ mL মিশ্র দ্রবণে থাকা } \text{CH}_3\text{COONa} \text{ এর মোল সংখ্যা} = \frac{0.2 \times 20}{1000} = 0.004$$

$$\therefore \text{বাষার দ্রবণটির pH} = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অস্ত্র}]} = -\log K_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অস্ত্র}]} \quad \text{[লবণ]}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log (1.8 \times 10^{-5}) + \log \frac{0.004}{0.006}$$

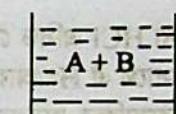
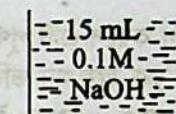
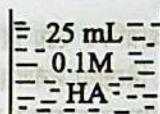
$$\text{বা, } \text{pH} = -\log 1.8 - \log 10^{-5} + \log 4 - \log 6$$

$$\text{বা, } \text{pH} = (-0.255 + 5 + 0.602 - 0.778) = 4.569$$

$$\therefore \text{pH} = 4.57 \text{ (উ:)}$$

MCQ-4.30 : 0.005 M দিক্ষারকীয় সবল এসিডের pH কত?	[চ. বো. ২০১৬]
(ক) 1	(খ) 1.5
(গ) 2.0	(ঘ) 2.5

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬১ :



পাত্র-A

পাত্র-B

পাত্র-C

[রা. বো. ২০১৭;

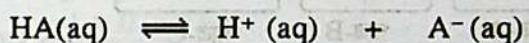
দি. বো. ২০১৭;

জ. বো. ২০১৬]

(গ) উদ্দীপকের পাত্রে A এর দ্রবণের pH মান গণনা কর। $[K_a = 1.8 \times 10^{-4}]$

(ঘ) উদ্দীপকের C পাত্রে সামান্য HCl এসিড যোগ করলে দ্রবণের pH মানের পরিবর্তন হবে কীনা; কারণসহ ব্যাখ্যা কর।

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), অসংযোগের লঘুকরণ সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করতে হবে।



$$\text{সাম্যাবস্থায় : } (1 - \alpha)\text{C} \quad \alpha\text{C} \quad \alpha\text{C} \quad \text{প্রশ্নমতে, } K_a = 1.8 \times 10^{-4}$$

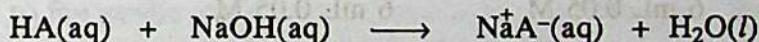
$$\text{এক্ষেত্রে } K_a = \alpha^2\text{C}, \quad \text{দ্রবণের ঘনমাত্রা, } C = 0.1 \text{ M}$$

$$\therefore \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{1.8 \times 10^{-4}}{0.1}} = 0.0424$$

$$\text{আবার ওপরের সমীকরণ মতে, } [\text{H}^+] = \alpha\text{C}; \text{ বা, } [\text{H}^+] = 0.0424 \times 0.1 \text{ M} = 0.00424 \text{ M}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (0.00424) = 2.37 \text{ (উত্তর)}$$

সমাধান : (ঘ) উদ্দীপক মতে, C পাত্রের দ্রবণটি একটি অল্পীয় বাফার দ্রবণ; তা নিচের বিক্রিয়ার সাহায্যে সৃষ্টি হবে।



$$\text{প্রশ্ন মতে, } \begin{array}{ccc} 15\text{mL} & 15\text{mL} & 15\text{mL} \\ 0.1\text{M} & 0.1\text{M} & 0.1\text{M} \end{array}$$

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 $(25 + 15) = 40 \text{ mL}$ মিশ্র দ্রবণে প্রকৃতপক্ষে $(25 - 15) \text{ mL} = 10 \text{ mL}$ তুল্য 0.1 M HA এসিড রয়েছে এবং তুল্য 15 mL 0.1M NaA লবণ রয়েছে।

$$\therefore 40 \text{ mL মিশ্র দ্রবণে থাকা HA এর মোল সংখ্যা} = \frac{10 \times 0.1}{1000} = 0.0010$$

$$\text{এবং } 40 \text{ mL মিশ্র দ্রবণে থাকা NaA এর মোল সংখ্যা} = \frac{15 \times 0.1}{1000} = 0.0015$$

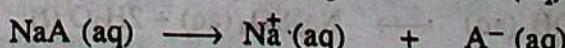
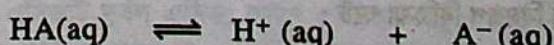
$$\therefore \text{বাফার দ্রবণটির pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অল্প}]} = -\log K_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অল্প}]} \quad \boxed{\text{MCQ-4.31 : } 0.005 \text{ M}}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log 1.8 \times 10^{-4} + \log \frac{0.0015}{0.0010}$$

$$\text{বা, pH} = -\log 1.8 \times 10^{-4} + \log \frac{15}{10}$$

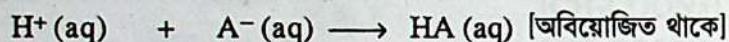
$$\text{বা, pH} = (-0.255 + 4.0 + 0.176); \text{ বা, pH} = 3.92$$

বাফার দ্রবণের বৈশিষ্ট্য অনুসারে এ অল্পীয় বাফার দ্রবণে সামান্য HCl এসিড যোগ করলে এ বাফার দ্রবণের pH মানের বিশেষ কোনো পরিবর্তন হবে না। এ বাফার দ্রবণের pH হ্রিয় রাখার কৌশল নিচে ব্যাখ্যা করা হলো। এ বাফার দ্রবণে নিম্নোক্ত আয়নগুলো থাকে।



MCQ-4.31 : 	0.005 M
H_2SO_4 দ্রবণের pH কত?	সি. বো. ২০১৬
(ক) 1.5	(ক) 2
(গ) 2.3	(গ) 3

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 ঘূর্ণ হয়ে মুদ্র 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।



সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬২ :

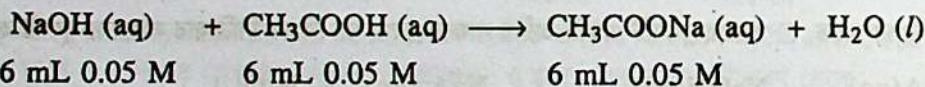
H_2SO_4 20 mL 0.1 M	NaOH 6 mL 0.05 M	CH ₃ COOH 150 mL 0.05 M	[ব. বো. ২০১৭; দি. বো. ২০১৭; য. বো. ২০১৬] $K_a = 1.85 \times 10^{-5}$
পাত্র-A	পাত্র-B	পাত্র-C	

(গ) উচ্চীপকের (B + C) মিশ্র দ্রবণের pH মান গণনা কর।

(ঘ) উচ্চীপকের (A + B) মিশ্র দ্রবণের প্রকৃতি কীরুণ হবে, তা বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (গ) উচ্চীপকের (B + C) মিশ্র দ্রবণের pH গণনা :

উচ্চীপক মতে, B পাত্রে 6 mL 0.05 M NaOH দ্রবণ ও C-পাত্রে 150 mL 0.05M CH₃COOH এসিড রয়েছে। উভয়ের মিশ্রণে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটবে।



সমীকরণ মতে, 6 mL 0.05 M NaOH দ্রবণের সাথে 6 mL 0.05 M CH₃COOH এসিডের বিক্রিয়ায় 6 mL 0.05M CH₃COONa লবণের দ্রবণ উৎপন্ন হয়েছে। এছাড়া $(150 + 6)$ mL = 156 mL মিশ্র দ্রবণে প্রকৃতপক্ষে $(150 - 6)$ mL = 144 mL তুল্য 0.05M CH₃COOH অতিরিক্ত রয়েছে। সুতরাং 6 mL 0.05 M CH₃COONa এর দ্রবণ ও 144 mL তুল্য 0.05M CH₃COOH এসিডের মিশ্র দ্রবণটি একটি অল্পীয় বাফার দ্রবণ হবে।

$$\therefore 156 \text{ mL মিশ্র দ্রবণে থাকা } CH_3\text{COOH এর মোল সংখ্যা} = \frac{144 \times 0.05}{1000} = 0.0072$$

$$\text{এবং } 156 \text{ mL মিশ্র দ্রবণে থাকা } CH_3\text{COONa এর মোল সংখ্যা} = \frac{6 \times 0.05}{1000} = 0.0003$$

$$\therefore \text{অল্পীয় বাফার দ্রবণটির, } pH = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অল্প}]} = -\log K_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অল্প}]};$$

$$\therefore pH = -\log (1.85 \times 10^{-5}) + \log \frac{0.0003}{0.0072}; \quad \text{দেয়া আছে,} \\ K_a = 1.85 \times 10^{-5}$$

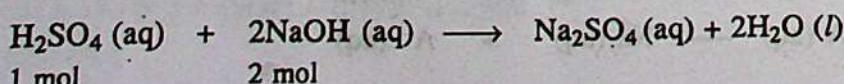
$$\text{বা, } pH = -\log 1.85 - \log 10^{-5} + \log (0.0417)$$

$$\text{বা, } pH = (-0.267 + 5.0 - 1.379) = 3.354$$

$$\therefore \text{উচ্চীপকের (B + C) মিশ্র দ্রবণের pH} = 3.354 \text{ (উত্তর)}$$

সমাধান : (ঘ) উচ্চীপকের (A + B) মিশ্র দ্রবণের প্রকৃতি নির্ণয় :

উচ্চীপক মতে, A এর দ্রবণ হলো 20 mL 0.1 M H₂SO₄ সবল এসিড এবং B এর দ্রবণ হলো 6 mL 0.05 M সবল NaOH ক্ষার দ্রবণ। উভয়ের মিশ্র দ্রবণে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে :



উদ্দীপক মতে দেখা যায়, H_2SO_4 এর তুলনায় $NaOH$ এর মোলার ঘনমাত্রা ও আয়তন উভয়ই কম আছে। সুতরাং $NaOH$ এর মোল পরিমাণের ওপর ভিত্তি করে গণনা করাটা অধিক সুবিধাজনক হবে।

আমরা জানি, $1000 \text{ mL } 0.05 \text{ M } NaOH$ দ্রবণ $\equiv 0.05 \text{ mol } NaOH$

$$\therefore \text{প্রশ্নমতে, } 6 \text{ mL } 0.05 \text{ M } NaOH \text{ দ্রবণ} \equiv \frac{0.05 \times 6}{1000} = [0.0003 \text{ mol } NaOH]$$

$$\text{আবার, } 1000 \text{ mL } 0.1 \text{ M } H_2SO_4 \text{ দ্রবণ} \equiv 0.1 \text{ mol } H_2SO_4$$

$$\therefore \text{প্রশ্নমতে, } 20 \text{ mL } 0.1 \text{ M } H_2SO_4 \text{ দ্রবণ} \equiv \frac{0.1 \times 20}{1000} = [0.002 \text{ mol } H_2SO_4]$$

উপরোক্ত প্রশ্নমন বিক্রিয়ার সমীকরণ মতে,

$$2 \text{ mol } NaOH \equiv 1 \text{ mol } H_2SO_4$$

$$\therefore 0.0003 \text{ mol } NaOH = \frac{1 \times 0.0003 \text{ mol}}{2} = 0.00015 \text{ mol } H_2SO_4$$

\therefore প্রদত্ত $NaOH$ দ্রবণের পর অবশিষ্ট H_2SO_4 থাকে

$$= (0.002 - 0.00015) \text{ mol } H_2SO_4 = 0.00185 \text{ mol } H_2SO_4$$

$\therefore (20 + 6) \text{ mL} = 26 \text{ mL}$ মিশ্র দ্রবণে $0.00185 \text{ mol } H_2SO_4$ অবশিষ্ট আছে।

$$\therefore \text{এই মিশ্র দ্রবণে } H_2SO_4 \text{ এর মোলারিটি, } M = \frac{H_2SO_4 \text{ এর মোল সংখ্যা}}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন}}$$

$$\therefore \text{মোলারিটি, } M = \frac{0.00185 \text{ mol}}{0.026 \text{ L}} = 0.071 \text{ mol L}^{-1} \text{ (বা, } M)$$

\therefore উদ্দীপকের $(A + B)$ মিশ্র দ্রবণটির প্রকৃতি হবে 0.071 (M) H_2SO_4 এর অণীয় দ্রবণ। (উত্তর)।

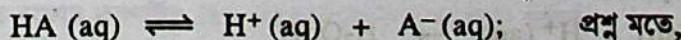
সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৬৩ : প্রদত্ত উদ্দীপক হলো : $HA + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$; এক্ষেত্রে এসিডটির $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ [চ. বো. ২০১৭]

(গ) উদ্দীপক মতে, 0.1 M ঘনমাত্রার HA এসিড দ্রবণের pH গণনা কর।

(ঘ) উদ্দীপকের এসিডটির একটি বাকার দ্রবণ তৈরি করে এর বাকার ক্রিয়া ব্যাখ্যা কর।

সমাধান : (গ) $0.1 \text{ M } HA$ 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 আণশিকভাবে আয়নিত হয়। তাই অসংয়ান্দের লঘুকরণ সূত্র মতে HA এসিডের বিয়োজন পরিমাণ (α) গণনা করে এসিড দ্রবণের pH হিসাব করা হবে।



সাম্যাবস্থাম : $(1-\alpha)C \quad \alpha C \quad \alpha C$ দ্রবণের ঘনমাত্রা, $C = 0.1 \text{ M}$

এক্ষেত্রে এসিডের $K_a = \alpha^2 C$

$$K_a = 1.8 \times 10^{-5}$$

$$\therefore \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{1.8 \times 10^{-5}}{0.1}} = 0.0134$$

আবার ওপরের সমীকরণ মতে, $[H^+] = \alpha C$; বা, $[H^+] = 0.0134 \times 0.1 \text{ M} = 0.00134 \text{ M}$

$$\therefore pH = -\log[H^+] = -\log(0.00134) = 2.873 \text{ (উ:)}$$

(ঘ) উদ্দীপকের HA এসিডের বাকার 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 উপর্যুক্ত মোলার অনুপাতে হেভারসন সমীকরণ মতে মিশ্রিত করে নির্দিষ্ট pH যুক্ত অণীয় বাকার দ্রবণ প্রস্তুত করা হবে।

হেভারসন সমীকরণ মতে, অঙ্গীয় বাফার দ্রবণের pH সংশ্লিষ্ট দুর্বল এসিড 'HA' এর pK_a মানের কাছাকাছি হয়। কেবল অতিরিক্ত মান $\log [\text{লবণ}]/[\text{অঙ্গীয়}]$ এর মান থেকে আসে।

উদ্দীপক মতে, $pK_a = -\log 1.8 \times 10^{-5} = 4.7447$ হয়। এখন 5.0 pH এর বাফার দ্রবণ হেভারসন সমীকরণ মতে প্রস্তুত করা হবে।

$$\text{আমরা জানি, } pH = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অঙ্গীয়}]}$$

$$\text{বা, } \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অঙ্গীয়}]} = pH - pK_a = (5.0 - 4.7447) = 0.2553$$

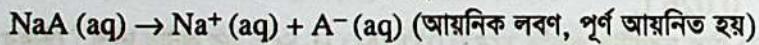
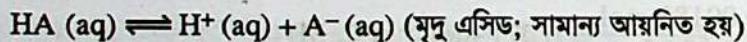
$$\text{বা, } \log \frac{[\text{NaA}]}{[\text{HA}]} = 0.2553; \text{ বা, } \frac{[\text{NaA}]}{[\text{HA}]} = \text{anti log}(0.2553)$$

$$\text{বা, } \frac{[\text{NaA}]}{[\text{HA}]} = \frac{1.8}{1.0}.$$

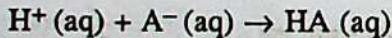
সুতরাং 1.8 mol L^{-1} NaA লবণের দ্রবণের সাথে 1.0 mol L^{-1} HA এসিড দ্রবণ মিশ্রিত করে 5.0 pH বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। pH মিটার দ্বারা পরীক্ষা করে নিশ্চিত হওয়া গেল প্রস্তুত বাফার দ্রবণের pH 5 হয়েছে।

বাফার ক্রিয়ার ব্যাখ্যা :

সংশ্লিষ্ট অঙ্গীয় বাফার দ্রবণটিতে উপাদানসমূহ নিম্নরূপে আয়নিত অবস্থায় থাকে :

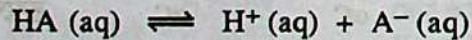
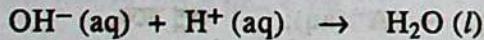


(i) অঙ্গীয় এসিড বা H^+ আয়ন সংযোগ : অঙ্গীয় এসিড বা H^+ আয়ন ঐ অঙ্গীয় বাফার দ্রবণে যোগ করলে তখন প্রদত্ত H^+ আয়ন উপরের সমীকরণের A^- আয়নের সাথে যুক্ত হয় এবং মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য HA অণু উৎপন্ন করে।



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।

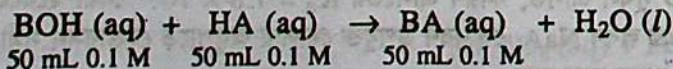
(ii) অঙ্গীয় এসিড বা OH^- আয়ন সংযোগ : সামান্য ক্ষার দ্রবণ বা OH^- আয়ন অঙ্গীয় বাফার দ্রবণে যোগ করলে, তা বাফার দ্রবণে বিদ্যমান H^+ আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে H_2O অণু উৎপন্ন করে। তখন দুর্বল HA এসিডের সাম্যাবস্থা সামান্য ডানদিকে সরে গিয়ে H^+ আয়ন তৈরি করে বিক্রিয়ারত H^+ আয়নের অভাব পূরণ করে। এরপে বাফার দ্রবণে H^+ আয়নের ঘনমাত্রা তথা pH এর মান অপরিবর্তিত থাকে।



সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৬৪ : একটি বিকারে 50 mL 0.1 M BOH ক্ষার রয়েছে। অপর একটি বিকারে রয়েছে 0.1M ঘনমাত্রা বিশিষ্ট 150 mL HA এসিড। HA এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ ।

(ক) বিকারকবয়ের দ্রবণকে মিশ্রিত করলে মিশ্রণের pH কত হবে? (খ) BOH ক্ষার দ্রবণের pH কত?

সমাধান : (ক) বিকারকবয়ের ক্ষার ও এসিডের দ্রবণকে মিশ্রিত করলে 50 mL 0.1 M BOH ক্ষারক টি 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 অপ্রশংসিত থাকবে। অর্থাৎ লবণ ও এসিডের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাত হবে 50 : 100 বা 1 : 2।



50 mL 0.1 M 50 mL 0.1 M 50 mL 0.1 M

MCQ-4.32 : 25°C-এ বিশেষ	
পানির pH কত?	[চ. বো. ২০১৬]
(ক) ০	(খ) > 7
(গ) ৭	(ঘ) < 7

হেভারসন সমীকরণ মতে, $pH = pK_a + \log \frac{[লবণ]}{[এসিড]}$

$$\text{বা, } pH = -\log (1.8 \times 10^{-5}) + \log \frac{1}{2}$$

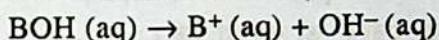
$$\text{বা, } pH = (4.745 - 0.301) = 4.444$$

$$\therefore \text{মিশ্রণে pH মান} = 4.44$$

$$\text{দেয়া আছে, } K_a = 1.8 \times 10^{-5}$$

মিশ্র দ্রবণে, $pH = ?$

সমাধান : (খ) উদ্দীপকের BOH হলো একটি সবল ক্ষার দ্রবণ। তাই জলীয় দ্রবণে এটি পূর্ণ আয়নিত থাকে।



$$0.1M \qquad \qquad \qquad 0.1M$$

$$\therefore pOH = -\log [OH^-] = -\log 0.1 = 1.0$$

$$\therefore \text{দ্রবণ BOH এর pH} = (14 - pOH) = (14 - 1) = 13 \text{ (উ:)}$$

MCQ-4.33 : মানুষের রক্তের

স্থাভাবিক pH কত? [ঢ. বো. ২০১৬]

(ক) 9.4 (খ) 8.3

(গ) 7.4 (ঘ) 6.4

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৫ : (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 $pK_a \approx 3.8$]

(খ) বাফার দ্রবণটিতে H^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত?

[মাদ্রাসা বো. ২০১৭]

সমাধান : (ক) হেভারসন সমীকরণ মতে, $pH = pK_a + \log \frac{[লবণ]}{[অস্তুর্য]}$

মনে করি, x mL 0.1M সোডিয়াম ফরমেট (HCOONa) প্রয়োজন।

$$\therefore x \text{ mL } 0.1M \text{ HCOONa লবণের দ্রবণে HCOONa এর মোলসংখ্যা} = \frac{0.1 \times x \text{ mol}}{1000}$$

$$= 0.0001 \times x \text{ mol}$$

$$60 \text{ mL } 0.05 M \text{ HCOOH এসিড দ্রবণে HCOOH এর মোলসংখ্যা} = \frac{0.05 \times 60}{1000} = 0.003 \text{ mol}$$

প্রশ্নমতে, দ্রবণের pH = 4 এবং HCOOH এসিডের $pK_a = 3.8$; এখন সমীকরণে মানগুলো বসিয়ে পাই,

$$4 = 3.8 + \log \frac{0.0001x}{0.003}; \text{ বা, } \log \frac{0.0001x}{0.003} = (4 - 3.8) = 0.2 = \log 1.5849$$

$$\text{বা, } 0.0001x = 0.003 \times 1.5849; \therefore x = \frac{0.003 \times 1.5849 \text{ mL}}{0.0001} = 47.547 \text{ mL} = 47.55 \text{ mL (প্রায়)}$$

$$\therefore \text{সোডিয়াম ফরমেট প্রয়োজন} = 47.55 \text{ mL (প্রায়)} \text{ (উ:)}$$

সমাধান : (খ) অঙ্গীয় বাফার দ্রবণটির H^+ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা গণনা :

উদ্দীপক মতে, বাফার দ্রবণের pH = 4.0

$$\text{আমরা জানি, } [H^+] = 10^{-pH} = 10^{-4}$$

$$\therefore \text{বাফার দ্রবণটিতে } H^+ \text{ আয়নের মোলার ঘনমাত্রা} = 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ (উ:)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৬ : 0.25 M ইথানোলিক এসিডের 200 mL দ্রবণে কত থাম সোডিয়াম ইথানোলেট মিশ্রিত করলে দ্রবণটিতে H_3O^+ এর ঘনমাত্রা $1.5 \times 10^{-5} \text{ g. ion. L}^{-1}$ হবে। $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ ।

সমাধান : বাফার দ্রবণের হেভারসন সমীকরণ মতে, $pH = pK_a + \log \frac{[লবণ]}{[অস্তুর্য]}$

$$\text{বা, } \log \frac{[লবণ]}{[অস্তুর্য]} = (pH - pK_a) = (-\log [H_3O^+] + \log K_a) = -\log (1.5 \times 10^{-5}) + \log (1.8 \times 10^{-5})$$

$$\text{বা, } \log \frac{[লবণ]}{[অস্তুর্য]} = (4.8239 - 4.7447) = 0.0792$$

বা, $\frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = \log^{-1} (0.0792) = 1.2 \therefore [\text{লবণ}] = 1.2 \times [\text{অম্ল}] = 1.2 \times 0.25 \text{ M} = 0.3 \text{ M}$

$\therefore 1 \text{ M}$ ঘনমাত্রার 1000 mL দ্রবণে সোডিয়াম ইথানোয়েট থাকে $= 82 \text{ g}$

0.30 M ঘনমাত্রার 200 mL দ্রবণে সোডিয়াম ইথানোয়েট থাকে $= \frac{82 \times 200 \times 0.30}{1000} \text{ g} = 4.92 \text{ g}$

\therefore দ্রবণটিতে 4.92 g সোডিয়াম ইথানোয়েট যোগ করতে হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৭ : দুটি দ্রবণের মধ্যে প্রত্যেকটির $\text{pH} = 9$ । এদের মধ্যে একটি বাফার দ্রবণ এবং অপরটি NaOH দ্রবণ। তুমি দ্রবণ দুটিকে কীভাবে শনাক্ত করবে, তা ব্যাখ্যা কর।

সমাধান : বাফার দ্রবণের সংজ্ঞা মতে, উভয় দ্রবণের মধ্যে যে দ্রবণে কয়েক ফেটা সবল $0.1\text{M}\text{HCl}$ এসিড অথবা কয়েক ফেটা $0.1\text{M}\text{ NaOH}$ দ্রবণ যোগ করলে দ্রবণটির pH মান অপরিবর্তিত থাকে, সেটি হবে বাফার দ্রবণ। অপর দ্রবণটিতে কয়েক ফেটা $0.1\text{M}\text{ HCl}$ বা $0.1\text{M}\text{ NaOH}$ দ্রবণ যোগ করলে ঐ দ্রবণের pH মান যথাক্রমে হ্রাস ও বৃদ্ধি ফেলে সেটি হবে NaOH দ্রবণ।

ব্যবহারিক (Practical)

স্যাবরেটেরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় চারজনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতি সহকারে উপরোক্ত ধারণ অনুসরণ করে নিচের চিকিৎসাতে কার্বনেট বাফার দ্রবণ তৈরি এবং এর কার্যকারিতা প্রমাণ কর।

পরীক্ষা নং-১৩

তারিখ :

পরীক্ষার সময় : ২ পিসিয়ড

৪.১৪ পরীক্ষার নাম : কার্বনেট বাফার দ্রবণ তৈরি ও এর কার্যকারিতা প্রমাণ করা

মূলনীতি : কার্বনেট বাফার তৈরিতে দুর্বল এসিডের সোডিয়াম বাইকার্বনেট (NaHCO_3) ও অনুবন্ধী ক্ষারকরণে সোডিয়াম কার্বনেট (Na_2CO_3) ব্যবহার করা হবে।

পরিকল্পনা : $\text{pH} 10$ বিশিষ্ট 0.5 L ($\text{NaHCO}_3 - \text{Na}_2\text{CO}_3$) বাফার দ্রবণ তৈরি করা হবে।

প্রয়োজনীয় রাসায়নিক পদার্থ : (১) NaHCO_3 , (২) Na_2CO_3 , (৩) পাতিত পানি, (৪) লবু HCl , (৫) লবু NaOH দ্রবণ।

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) ২টি 500 mL মেজারিং ফ্লাক্স, (২) ফানেল, (৩) কেমিক্যাল ব্যালেন্স,
(৪) ওয়াস বোতল, (৫) pH মিটার, (৬) বিকার।

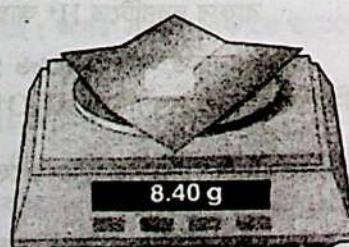
কাজের ধারা : (১) প্রথমে 500 mL মেজারিং ফ্লাক্সে 0.20 M NaHCO_3 তৈরি করি।

$$1 \text{ mol } \text{NaHCO}_3 = (23 + 1 + 12 + 48) = 84 \text{ g } \text{NaHCO}_3$$

$$\therefore 1000 \text{ mL } 1 \text{ M } \text{NaHCO}_3 = 84 \text{ g } \text{NaHCO}_3$$

$$500 \text{ mL } 0.2 \text{ M } \text{NaHCO}_3 = \frac{84 \times 500 \times 0.2}{1000} \text{ g } \text{NaHCO}_3 \\ = 8.4 \text{ g } \text{NaHCO}_3$$

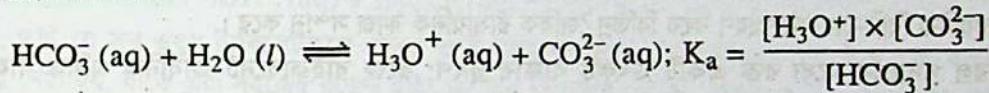
(২) কেমিক্যাল ব্যালেন্সে 8.4 g NaHCO_3 ওজন করে 500 mL ফ্লাক্সে দ্রবণ তৈরি করা হলো।



চি-৪.২৭ : কেমিক্যাল ব্যালেন্সে NaHCO_3 এর ওজন নেয়া।

(৩) প্রয়োজনীয় বাফার উপাদান Na_2CO_3 এর পরিমাণ নির্ণয় :

pH 10 এর সংশ্লিষ্ট বাফার উপাদান ঘনমাত্রা অনুপাত সম্পর্ক থেকে নিম্নমতে CO_3^{2-} আয়নের বা Na_2CO_3 এর মোলার ঘনমাত্রা নির্ণয় করি।



$$\therefore [\text{CO}_3^{2-}] = K_a \times \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_3\text{O}^+]}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$= \frac{(5.6 \times 10^{-11}) \times (0.20)}{1.0 \times 10^{-10}}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-10} = 1.0 \times 10^{-10} \text{ M}$$

$$= 0.112 \text{ M}$$

∴ ইঙ্গিত 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) $\times \text{Na}_2\text{CO}_3$ এর মোলারিটি (M)

$$= 0.5 \text{ L দ্রবণ} \times \frac{0.112 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ L দ্রবণ}} = 0.056 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3$$

$$\therefore \text{গ্রাম এককে } \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ এর ভর} = \frac{106 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 \times 0.056 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3} = 5.94 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 \text{ (প্রায়)}$$

(৪) এখন 5.94 g Na_2CO_3 কেমিক্যাল ব্যালেন্সে ওজন করা হলো।

(৫) দ্বিতীয় 500 mL ফ্লাকে 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 চেলে সমস্ত

Na_2CO_3 কে ফ্লাকে স্থানান্তর করা হলো। 0.20 M NaHCO_3

দ্রবণ চেলে দ্বিতীয় ফ্লাকের 500 mL আয়তন পূর্ণ করা হলো।

এরপে কার্বনেট বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো।

প্রস্তুত বাফার দ্রবণে pH পরীক্ষা : pH মিটারের ইলেকট্রোড বা probe কে বিকারে নেয়া 200 mL প্রস্তুত বাফার দ্রবণে ডুবিয়ে pH মিটারে pH মান 10 রিডিং পাওয়া গেল। সুতরাং প্রস্তুত বাফার দ্রবণের ইঙ্গিত 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। অনুক্রমভাবে 2য় 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 বিজ্ঞয়ায়, মানুষের রক্তে, কৃষি ক্ষেত্রে, রসায়ন শিল্প ক্ষেত্রে, টয়লেট্রিজ ও রাসায়নিক বিশ্লেষণে pH এর মান নিয়ন্ত্রণ করা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ।



চিত্র-৪.২৮ : pH মিটার দ্বারা বাফার দ্রবণের pH পরীক্ষা।

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 এর কাছাকাছি থাকে। তাই রক্ত সামান্য ক্ষারীয় প্রকৃতির বাফার দ্রবণ।

রক্তের স্বাভাবিক pH থেকে 0.1 pH ইউনিট পরিবর্তন সীমার মধ্যে থাকলে রক্ত দ্বারা অ্যালিজেন পরিবহন সুষ্ঠুভাবে ঘটে। তবে রক্তের pH কোনো কারণে 0.5 এর বেশি পরিবর্তিত হলে জীবন সংকটাপন্ন হয়। তবে বিভিন্ন কারণে রক্তের pH এর মান 7 থেকে 7.8 এর মধ্যে পরিবর্তিত হতে পারে।

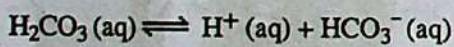
* (i) মানুষের রক্তের pH মান 7.45 এর বেশি হলে এ অবস্থাকে চিকিৎসা বিজ্ঞানে অ্যালকালিসিস (alkalosis) বলে। অধিক অ্যালকালিসিস অবস্থায় রোগীর মৃত্যু ঘটে থাকে।

* (ii) মানুষের রক্তের pH 7.0 এর কম হলে এ অবস্থাকে চিকিৎসা বিজ্ঞানে এসিডোসিস (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 সিটেম প্রত্যক্ষ ও পরোক্ষভাবে জড়িত। যেমন, (১) রক্তে বাইকার্বনেট বাফার, (২) আন্তঃকোষীয় ফসফেট বাফার এবং (৩) প্রোটিন বাফার।

তবে ফসফেট বাফার সিটেম ($\text{Na}_2\text{HPO}_4^- - \text{NaH}_2\text{PO}_4^-$; এখানে H_2PO_4^- এসিডের $K_a = 6.2 \times 10^{-8}$; $pK_a = 7.21$) হলো আন্তঃকোষীয় বাফার। রক্তের প্রাজমা তরলে নিম্ন ঘনমাত্রার জন্য বিশেষ ভূমিকা রাখে না। প্রোটিন বাফার সিটেমটি প্রাজমা প্রোটিন ও হিমোগ্লোবিন প্রোটিন সমবরণে 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 বাফারক্লপে রক্তের 'বাইকার্বনেট-কার্বনিক এসিড বাফার'-এর সামান্য (2%) নিয়ন্ত্রণ করে।

* (১) রক্তের বাইকার্বনেট বাফার সিটেম : মানুষের রক্তে কার্যকর থাকে সোডিয়াম বাইকার্বনেট-কার্বনিক এসিড বাফার সিটেম ($\text{NaHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$, $pK_a = 6.1$)। এটি আন্তঃকোষীয় এবং রক্তের প্রাজমা তরলের অত্যন্ত শুরুত্বপূর্ণ বাফার সিটেম। এক্ষেত্রে কার্বনিক এসিডের বিয়োজন নিম্নরূপ :



$$\therefore K_a = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \quad [\text{K}_a = 7.9 \times 10^{-7}]$$

$$\therefore [\text{H}^+] = \frac{\text{K}_a \times [\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{HCO}_3^-]} \quad p\text{K}_a = 6.1$$

$$\text{বা, } \text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} ; \quad \therefore \text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{\text{[লবণ]}}{\text{[এসিড]}}$$

MCQ-4.34 : 0.05 M H_2SO_4 এর pH কত? [কু. বো. ২০১৫]

- (ক) 1.0 (খ) 1.5
(গ) 2.0 (ঘ) 2.5

MCQ-4.35 : 0.01 M NaOH এর pH কত? [দি. বো. ২০১৫]

- (ক) 1 (খ) 2
(গ) 12 (ঘ) 13

এক্ষেত্রে রক্তের প্রাজমা তরলে বাইকার্বনেট লবণ (HCO_3^-) এর ঘনমাত্রা হলো প্রায় 24 m mol/L এবং কার্বনিক এসিড (H_2CO_3) এর ঘনমাত্রা অর্থাৎ CO_2 এর জলীয় দ্রবণের ঘনমাত্রা হলো CO_2 গ্যাসের আংশিক চাপ (40 mmHg) এবং এর দ্রাব্যতা শুণফল ধ্রুবক মানের শুণফলের সমান। এক্ষেত্রে CO_2 এর দ্রাব্যতা শুণফল ধ্রুবক 0.03।

∴ প্রাজমা তরলে H_2CO_3 এর ঘনমাত্রা = $40 \times 0.03 \text{ m mol/L} = 1.2 \text{ m mol/L}$

এখন মান বসিয়ে পাই, ∴ $\text{pH} = 6.1 + \log \frac{24}{1.2} = (6.1 + \log 20) = (6.1 + 1.3) = 7.4$

অন্তর্জাতীয় খাদ্য যেমন অধিক লেবুর রস গ্রহণে অথবা রক্তে কোনো এসিড জাতীয় দ্রবণ শোষিত হলে তা নিম্নোক্ত বিক্রিয়া অনুসারে প্রশংসিত হয়।

$H^+(aq) + HCO_3^-(aq) \longrightarrow H_2CO_3(aq)$; উৎপন্ন অস্থায়ী কার্বনিক এসিড পরে বিয়োজিত হয়ে পানি ও CO_2 গ্যাসে পরিণত হয়। ফুসফুসের মাধ্যমে নিঃশ্বাসে CO_2 মুক্ত হয়। অপরদিকে রক্তে OH^- আয়ন বৃদ্ধি পেলে নিরোক্ত বিজ্ঞিয়া দ্বারা তা প্রশংসিত হয়। $OH^-(aq) + H_2CO_3(aq) \longrightarrow HCO_3^-(aq) + H_2O(l)$

তাই যে সব ওষুধ ট্যাবলেটজে সেবন ও ইনজেকশনজে মানবদেহে প্রয়োগ করা হয়, এদেরকে এমনভাবে তৈরি করে নেয়া হয়, যাতে এরা সহজেই রক্তের হাইড্রোনিয়াম আয়নের মৌলার ঘনমাত্রার $[H_3O^+]$ সাথে সাম্যাবস্থায় পৌছায় এবং রক্তের pH-এর কোনোরূপ পরিবর্তন না ঘটায়।

সমাধানকৃত সমস্যা-৮.৬৮ : রক্তরসে থাকা এসিড ও ঐ এসিডের লবণের ঘনমাত্রার অনুপাত 0.05 এবং রক্তের pH এর মান 7.4 থাকে। এক বিশেষ রাসায়নিক সিস্টেমের কারণে টক জাতীয় ফল যেমন লেবুর রস এবং ক্ষারধর্মী বিভিন্ন অল্পনাশক ওষুধ সেবনের পরও রক্তের pH মানের তেমন কোনো পরিবর্তন ঘটে না। [ব. বো. ২০১৬]

(গ) উদ্বীপক মতে, রক্তরসে বিদ্যমান দুর্বল এসিডটির K_a এর মান নির্ণয় কর।

(ঘ) উদ্বীপকের আলোকে রক্তের pH মান স্থির থাকার কৌশলটি বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (গ) রক্তরসে থাকা এসিডটির K_a এর মান নির্ণয় :

উদ্বীপক মতে, রক্তরসে থাকা দুর্বল এসিডটি হলো কার্বনিক এসিড (H_2CO_3) এবং এর লবণ হলো সোডিয়াম বাইকার্বনেট লবণ ($NaHCO_3$)।

প্রশ্ন মতে, এসিড ও লবণটির অনুপাত অর্থাৎ H_2CO_3 ও $NaHCO_3$ এর ঘনমাত্রার অনুপাত = 0.05 এবং রক্তে $pH = 7.4$ । এক্ষেত্রে বাফার দ্রবণের হেভারসন সমীকরণ মতে,

$$pH = pK_a + \log \frac{[লবণ]}{[অল্প]} ; \text{ সুতরাং সংশ্লিষ্ট মানগুলো বিসিয়ে পাই—}$$

$$7.4 = -\log K_a + \log \frac{1}{0.05}$$

$$\text{বা, } \log K_a = -7.4 + \log 20 = (-7.4 + 1.3) = -6.1$$

$$\text{বা, } \text{anti } \log K_a = \text{antilog} (-6.1); \text{ বা, } K_a = 0.000000794$$

$$\text{বা, } K_a = 7.94 \times 10^{-7} \text{ (উত্তর)}$$

সমাধান : রক্তের pH মান স্থির থাকার কৌশল :

অনুচ্ছেদ-৮.১৫ এ (১) রক্তের বাইকার্বনেট বাফার সিস্টেম দেখো।

MCQ-4.36 : মানুষের রক্তের pH

রেঞ্জ কত? [ব. বো. ২০১৬]

(ক) 1.0—2.0 (খ) 4.8—7.5

(গ) 6.4—6.9 (ঘ) 7.35—7.45

শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.৩৪ : বাফার দ্রবণভিত্তিক সমস্যা :

সমস্যা- ৪.৫০ : (ক) হেভারসন সমীকরণ ব্যবহার করে 0.20 M $NaHCO_3$ ও 0.10 M Na_2CO_3 দ্রবণের সম আয়তন মিশ্রণের বাফার দ্রবণের pH গণনা কর। $[K_{a1} = 4.3 \times 10^{-7}; K_{a2} = 5.6 \times 10^{-11}]$ [উ: pH = 9.95]

(খ) 0.1 M CH_3COOH দ্রবণে সমআয়তনের 0.1 M CH_3COONa দ্রবণ মিশানো আছে। সৃষ্টি বাফার দ্রবণে pH কত? $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ [উ: 4.74]

(গ) 25 mL 0.2 M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণে 20 mL 0.2 M NaOH দ্রবণ মিশানো আছে। উৎপন্ন বাফার দ্রবণে pH কত? $K_a = 1.0 \times 10^{-5}$ [উ: 5.60]

সমস্যা-৪.৫১ : (ক) তুমি কীরকে pH 10.40 বিশিষ্ট $NaHCO_3$ — Na_2CO_3 বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করবে? $[K_a = 4.7 \times 10^{-11}]$ [উ: Na_2CO_3 : $NaHCO_3 = 1.20 : 1.0$]

(খ) 4.0 pH বিশিষ্ট বাফার দ্রবণ তৈরি করতে 60 mL 0.05 M ফরামিক এসিড দ্রবণে কত mL 0.1 M সোডিয়াম ফরমেট দ্রবণ যোগ করতে হবে? এক্ষেত্রে $pK_a = 3.8$ । [উ: 47.55 mL]

দ্রষ্টব্য : এক্ষেত্রে ব্যবহৃত সমীকরণের $[লবণ]/[অল্প]$ এর ক্ষেত্রে x mL 0.1 M $HCOONa$ এর মোল সংখ্যা $= 0.1 \times x(\text{mol})/1000 = 0.0001x \text{ mol}$ এবং 60 mL 0.05 M $HCOOH$ এর মোল সংখ্যা $= 0.05 \times 60 (\text{mol})/1000 = 0.003 \text{ mol}$

(গ) pH 5 বিশিষ্ট বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে ইথানোয়িক এসিড ও সোডিয়াম ইথানোয়েট কী মোলার অনুপাতে মিশ্রিত করতে হবে, তা গণনা কর। $pK_a = 4.8$	[উ: এসিড : লবণ = 1 : 1.6 বা, 0.63 : 1]
[প্রক্রিয়া : $pH = pK_a + \log \left(\frac{\text{লবণ}}{\text{অস্ল}} \right)$; বা, $(5.0 - 4.8) = \log \left(\frac{\text{লবণ}}{\text{অস্ল}} \right)$ বা, $0.2 = \log \left(\frac{\text{লবণ}}{\text{অস্ল}} \right)$, $\text{antilog}(0.2) = \frac{\text{লবণ}}{\text{অস্ল}}$]	
(ঘ) কোনো বাফার দ্রবণে 0.1 mol L^{-1} ঘনমাত্রার ইথানোয়িক এসিড এর সাথে 0.1 mol L^{-1} সোডিয়াম ইথানোয়েট দ্রবণ মিশানো আছে। ঐ বাফার দ্রবণের pH হিসাব কর। ($K_a = 1.8 \times 10^{-5}$)	[উ: 4.75]
(ঙ) কোনো বাফার দ্রবণে ইথানোয়িক এসিড ও সোডিয়াম ইথানোয়েটের ঘনমাত্রা যথাক্রমে 0.1 mol L^{-1} এবং 0.15 mol L^{-1} হলে ঐ বাফার দ্রবণের pH নির্ণয় কর। ইথানোয়িক এসিডের $K_a = 1.77 \times 10^{-5}$	[উ: 4.93]
(চ) কোনো বাফার দ্রবণে ইথানোয়িক এসিডের ঘনমাত্রা 0.10 mol L^{-1} এবং সোডিয়াম ইথানোয়েটের ঘনমাত্রা 0.20 mol L^{-1} আছে। ইথানোয়িক এসিডে $K_a = 1.80 \times 10^{-5}$ হলে ঐ বাফার দ্রবণের pH কত হবে? [উ: 5.05]	
(ছ) একটি মিশ্র জলীয় দ্রবণে ইথানোয়িক এসিডের ঘনমাত্রা 0.2 mol L^{-1} এবং সোডিয়াম ইথানোয়েটের ঘনমাত্রা 0.3 mol L^{-1} । ইথানোয়িক এসিডের $K_a = 1.80 \times 10^{-5}$ হলে ঐ বাফার দ্রবণের pH নির্ণয় কর। [উ: 4.92]	
(জ) কোনো একটি ক্ষারীয় বাফার দ্রবণে NH_4OH আছে 0.015 mol L^{-1} এবং NH_4Cl আছে 0.025 mol L^{-1} । এ বাফার দ্রবণে pH কত হবে? NH_4OH দ্রবণের $K_b = 1.77 \times 10^{-5}$	[উ: 9.03]
(ঝ) pH = 4.6 বিশিষ্ট একটি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে যে অনুপাতে সোডিয়াম অ্যাসিটেট ও অ্যাসিটিক এসিড মিশাতে হবে তা নির্ণয় কর। দেয়া আছে, $pK_a = 4.75$	[উ: লবণ : এসিড = 0.708 : 1]
(ঝঃ) 15 mL 0.15 M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণে 6 mL 0.15 M NaOH দ্রবণ যোগ করা হলো। মিশ্রিত দ্রবণের pH কত হবে? [$pK_a = 4.76$]	[উ: 4.58]
(ঝঃ) 1.0 M $\text{CH}_3\text{-COOH}$ দ্রবণের মধ্যে প্রয়োজনীয় $\text{CH}_3\text{-COONa}$ যোগ করে 4.95 pH মানের একটি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। বাফার দ্রবণে $\text{CH}_3\text{-COONa}$ এর ঘনমাত্রা নির্ণয় কর। ($pK_a = 4.7447$)	[উ: 1.604M]
(ঝঃ) 1L আয়তনের 1 M $\text{CH}_3\text{-COOH}$ দ্রবণের মধ্যে 0.305 L $\text{CH}_3\text{-COONa}$ যোগ করে 4.23 pH মানের বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। বাফার দ্রবণে $\text{CH}_3\text{-COONa}$ এর ঘনমাত্রা নির্ণয় কর। ($pK_a = 4.7447$)	[উ: 1.0M]
(ড) 50 mL 0.175 M মিথানোয়িক এসিড দ্রবণে 50 mL 0.09 M কষ্টিক সোডার দ্রবণ যোগ করে বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। দ্রবণের pH মান গণনা কর। ($K_a = 1.8 \times 10^{-4}$)	[উ: 3.77]
(ঢ) 5 pH মানের একটি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে ইথানোয়িক এসিড ও সোডিয়াম ইথানোয়েট কী অনুপাতে মিশাতে হবে? ($K_a = 1.8 \times 10^{-5}$)	[উ: 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। মাটির pH একটি সুনির্দিষ্ট সীমার মধ্যে হলেই গাছপালা মাটি থেকে প্রয়োজনীয় খাদ্য গ্রহণ করতে পারে, নতুন বয়। pH এর মান 3 এর চেয়ে কম হলে অর্থাৎ মাটি অধিক অমুকীয় হলে গাছপালা মরে যায়। যেমন, এসিড বৃষ্টির ফলে pH এর মান হাস পাওয়ায় অনেক স্থানে গাছপালা মরে গিয়ে মরু প্রক্রিয়া সৃষ্টি হয়। লালমনিরহাট এলাকার অর্ধধর্মী মাটিতে চুন (CaO) ও ডলোমাইট ($\text{CaCO}_3\text{,MgCO}_3$) উভয় দেয়ার পর ঐ মাটির pH বৃদ্ধি পায়। ফলে ঐ মাটিতে গম, ভুট্টা, চীনাবাদাম চাষ করা সম্ভব হচ্ছে। আবার ক্ষারকীয় মাটির বেলায় মাটির pH এর মান 9.5 এর উপরে হলে মাটির উর্বরতা বিনষ্ট হয়। কারণ তখন মাটির উর্বরতা সহায়ক অণুজীব মরে যায়। মাটির অণুজীব বৃদ্ধির সহায়ক pH হলো 6.6 – 7.3. বিভিন্ন অণুজীব মাটির উর্বরতা বৃদ্ধির উপাদান N,S,P মৌল যোগান দেয়। সুতরাং কৃষি জমিতে মাটির pH এর বিস্তার কৃষি কাজের অবস্থাতে দেখিন অঞ্চলে 3~9.5 এর মধ্যে রাখা হয়।

ତାଇ (୧) ଅନ୍ନଧର୍ମୀ ମାଟିର pH ବାଢ଼ାତେ ଚଣ ଏବଂ କ୍ୟାଲସିଆମ ପ୍ରଭୃତିର କାର୍ବନେଟ ଯେମନ ଲାଇମ ସୌନ ଗୁଡ଼ା (CaCO_3) ଓ ଡଲୋମାଇଟ ଗୁଡ଼ା [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] ବ୍ୟବହର ହୁଏ । ଅପରଦିକେ (୨) କ୍ଷାରକୀୟ ମାଟିର pH କମାବାର ଜଳ୍ୟ ବିଭିନ୍ନ ନାଇଡ୍ରୋଟ ସାର ଯେମନ, KNO_3 , NH_4NO_3 ଏବଂ ଫସଫେଟ ସାର ଯେମନ ଟି. ଏସ. ପି ବା ମନୋକ୍ୟାଲସିଆମ ଫସଫେଟ, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ଓ ସୁପାର ଫସଫେଟ ଇତ୍ୟାଦି ବ୍ୟବହର ହୁଏ । ସୁପାର ଫସଫେଟ ହଲୋ ମନୋ କ୍ୟାଲସିଆମ ଫସଫେଟ ମନୋହାଇଡ୍ରୋଟ [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$], $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ଓ ଜିପ୍ସାମ [$2(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$] ଗୁଡ଼ାର ଶିଖଣ ।

MCQ-4.37 : 12.5% NaOH

ଦ୍ରବଣେର pH କତ? [ବ. ବୋ. ୨୦୧୬]

(କ) 12.51 (ଖ) 13.51

(ଗ) 14.51 (ଘ) 15.51

8.16.2 ରାସାୟନ ଶିଲ୍ପେ pH ଏର ଶୁରୁତ୍

Importance of pH in Chemical Industries

ବିଭିନ୍ନ ଶିଲ୍ପ ପ୍ରକର୍ଯ୍ୟାୟ ଏବଂ pH ଏର ଅତି ଶୁରୁତ୍ତପୂର୍ଣ୍ଣ ଭୂମିକା ଆଛେ । ବିଭିନ୍ନ ଓର୍ଧ ଉତ୍ପାଦନେ, ଫାର୍ମେଟେଶନ ବା ଗାର୍ଜନ ପ୍ରକର୍ଯ୍ୟାୟ ଅୟାଲକୋହଲ ଉତ୍ପାଦନେ, ବେକାରିତେ, ଲଜେସ ଜାତୀୟ ମିଷ୍ଟିଦ୍ୱାରା ପ୍ରସ୍ତୁତିତେ pH ଏର ପ୍ରୟୋଜନୀୟ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମାନ ରକ୍ଷା କରା ଅତୀବ ପ୍ରୟୋଜନ । ଏ ହାଡା ଚାମଡାର ଟ୍ୟାନିଂ, ବାଯୋଲଜିକ୍ୟାଲ କାଲଚାର ପ୍ରସ୍ତୁତିତେ, ମୃତ୍ତିକା ରାସାୟନିକ pH ଏର ନିୟନ୍ତ୍ରଣ ଶୁରୁତ୍ତପୂର୍ଣ୍ଣ । ସୁଗାର ମିଲେ ଆଖେର ରସ ଥେକେ ସୁଗାର ବା ଚିନି ଉତ୍ପାଦନେର ବେଳାଯ ଦ୍ରବଣେର pH ନିୟନ୍ତ୍ରଣ ରାଖା ହୁଏ । ଫଳେ ଚିନି ବା ସୁକ୍ରୋଜ ଅଗୁ ଅର୍ଦ୍ଦ ବିଶେଷିତ ହୁଏ ଇନଭାର୍ଟ ଚିନି ଅର୍ଥାତ୍ ସମ୍ମୋଳାର ଗୁକୋଜ ଓ ଫ୍ରିଷ୍ଟୋଜେ ରୂପାନ୍ତର ବା ସୁକ୍ରୋଜେର ଇନଭାର୍ବନ (inversion) ରୋଧ ହୁଏ । କାପଡ଼ରେ ସୁତାର ବିରଙ୍ଗନେ ଓ ଡାଯିଂ କାଜେ ବିଭିନ୍ନ ଡାଇ ବା ରଙ୍ଗକେର ଦ୍ଵାରା ପିନ୍ଟ କାପଡ ଉତ୍ପାଦନେ ବିଭିନ୍ନ pH ମାନ ବିଭିନ୍ନ ରଙ୍ଗକେର ବେଳାଯ ନିୟନ୍ତ୍ରଣ କରାତେ ହୁଏ । ରଙ୍ଗକେର pH ମାନ ନିୟନ୍ତ୍ରଣ କରା ନା ହଲେ ପିନ୍ଟ-କାପଡ଼ରେ କ୍ଷତି ହୁଏ । ଏହାଡା କଲମେର କାଳି, ଧାତୁ ନିଷାଶନେ ତୈଲ-ଫେନା ପ୍ରକର୍ଯ୍ୟାୟ ସାଲଫାଇଡ ଆକାରିକ ଗାଢ଼ିକରଣେ, ଶିଲ୍ପ ବର୍ଜ୍ ଶୋଧନେ ETP-ତେ pH ମାନ ନିୟନ୍ତ୍ରଣ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଶୁରୁତ୍ତପୂର୍ଣ୍ଣ ।

8.16.3 ଟ୍ୟଲେଟ୍ରିଜ ଉତ୍ପାଦନେ pH ଏର ଶୁରୁତ୍

Importance of pH in Toiletries

ବର୍ତ୍ମାନେ ଟ୍ୟଲେଟ୍ରିଜ ବଲତେ ଟ୍ୟଲେଟ୍ ସାବାନ, ଶ୍ୟାମ୍ପୁ, ଫେସ-ଓୟାଶ ଓ ଟୁଥପେସ୍ଟ ଇତ୍ୟାଦିକେ ବୋଲାଯ । ଏ ସବ ସାମଗ୍ରୀ ଦେହର ତ୍ରକ, ମାଥାର ଚଳ ଓ ଚଳେର ଗୋଡ଼ା ପରିଚର୍ୟା ଏବଂ ମୁଖେର ଭିତରେ ଦାତ-ମାଟିର ପରିଚର୍ୟା ବ୍ୟବହର ହୁଏ । ତ୍ରକ ଦେହର ତାପମାତ୍ରା ନିୟନ୍ତ୍ରଣେ ଭୂମିକା ରାଖେ । ଏହାଡା ବାଇରେ କ୍ଷତିକର ଫାଂଗସ, ଭାଇରାସ, ବ୍ୟାକଟେରିଯାସହ ବିଭିନ୍ନ ରୋଗଜୀବାପୁର ଆକ୍ରମଣ ପ୍ରତିରୋଧ କରେ । ଏସବ କ୍ଷତିକର ରୋଗଜୀବାପୁର ପ୍ରତିରୋଧେ ଅଳ୍ପି ପରିବେଶ କାର୍ଯ୍ୟକର । ତାଇ ପ୍ରାକୃତିକ ନିୟମେଇ ତ୍ରକେର ନିଚେ ଥାକା ସେବାସିୟାସ ଗ୍ଲ୍ୟାଭ ଥେକେ ନିଃସ୍ମୃତ ସେବାମ (sebum) ନାମକ ତୈଲ ଜାତୀୟ ପଦାର୍ଥ ବହିଙ୍ଗୁକେର (epidermis) ଉପରେ ମସଣ ଏସିଡ ଆବରଣ (acid mantle) ସୃଷ୍ଟି କରେ । ତଥବ ବ୍ୟକ୍ତ ଲୋକେର ତ୍ରକେର pH ମାନ ସାଧାରଣତ 4.0 – 5.5 ପରିସରେ ଥାକେ । ତଥେ 2-୧ ମାସେର ଶିତ୍ର କୋମଳ ତ୍ରକେର pH ଅନେକ ବେଶ (6.5 – 5.5) ଥାକେ । ତଥବ ଶିତ୍ର ତ୍ରକେର ମୁଖମଣ୍ଡଳ ଓ ଦେହତ୍ରକେର pH ଏର ପରିସର 4.7 – 5.75 ଏର ମଧ୍ୟେ ଥାକେ ।

ବହିଙ୍ଗୁକେର ଏ ଏସିଡ-ଆବରଣଟି ତ୍ରକେର ଆର୍ଦ୍ରତା ବଜାଯ ରାଖା କୋଷମୁହେର ମଧ୍ୟେ ସଂଯୋଗ ରକ୍ଷା କରା, ତ୍ରକେର କମନୀୟତା ଓ ଦୃଢ଼ତା ଦାନ ଇତ୍ୟାଦି ଭୂମିକା ପାଲନ କରେ । ତାଇ କୋନୋ କାରଣେ ତ୍ରକେର ଏସିଡ ଆବରଣ ନଷ୍ଟ ହେଲେ ତ୍ରକେର ସାମଗ୍ରୀକ କ୍ଷତି ହୁଏ । ଯେମନ କାପଡ କାଚା ସାବାନ, ଡିଟାରଜେଟ ଓ ବାସନପତ୍ର ଧୋଯାର ସାବାନେ ଅଧିକ କ୍ଷାର ଥାକେ, ଏଦେର ଦ୍ରବଣେ pH ମାନ 11 – 13 ହୁଏ । ଏ ସବ ସାବାନ ବ୍ୟବହାରକାରୀର ହାତେର ବହିଙ୍ଗୁକେର କ୍ଷତି ହୁଏ । ତ୍ରକ ଶୁଷ୍କ, ଅମସ୍ତ ଓ ରୁକ୍ଷ ହୁଏ ଥାକେ । ତାଇ ବିଭିନ୍ନ ଟ୍ୟଲେଟ୍ରିଜ ଉତ୍ପାଦନେ pH ମାନ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶୀମାର ମଧ୍ୟେ ରାଖିବା ହୁଏ । ଯେମନ,

(i) ତ୍ରକେର ବ୍ୟାକଟେରିଯାର ଆକ୍ରମଣ ଥେକେ ରକ୍ଷା କରାତେ ତ୍ରକେର pH 4.0 – 5.5 ଏ ରାଖିବା ହେବ । ଏକ୍ଷେତ୍ରେ ଅୟାନ୍ତି ଅଞ୍ଚିତ୍ସମ୍ମୂହ ଯେମନ ଭିଟାମିନ A, C, E ଏବଂ ସବୁଜ ଚା ପାନ କାର୍ଯ୍ୟକର ଭୂମିକା ରାଖେ ।

(ii) ଗୋସଲ କରାର ସାବାନେର pH ମାନ 7-8 ଏର ମଧ୍ୟେ ରାଖା ହୁଏ ।

(iii) ଚଳେର ଶ୍ୟାମ୍ପୁତେ pH ମାନ 5-7 ଏର ମଧ୍ୟେ ରାଖା ହୁଏ ।

(iv) ଫେସ-ଓୟାଶ ଏବଂ ବେଳାଯ 6-8 ଏର ମଧ୍ୟେ ରାଖା ହୁଏ ।

(iv) ଟୁଥପେସ୍ଟେର pH ଏର ମାନ 8 ଏ ରାଖା ହୁଏ ।

MCQ-4.38 : ମାଟିର pH କମାନୋର ଜଳ୍ୟ

କୋନାଟି ବ୍ୟବହର ହୁଏ? [ସି. ବୋ. ୨୦୧୫]

(କ) CaCO_3 (ଖ) $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$

(ଗ) $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (ଘ) 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 সূনির্দিষ্ট pH মান রয়েছে। যেমন, (১) চোখের পানির pH = ৫.৬–৭.৬; (২) মুখের লালা বা স্যালিভার pH = ৬.২–৭.৪; (৩) মাত্তদুর্দের pH = ৬.৬–৬.৯, (৪) অস্ত্রাবের pH = ৪.৫–৮.০; (৫) রক্তের pH ৭.৪ এবং (৬) মুখ গহরের পর পাকস্থলীর বিভিন্ন জীবাণুনাশক সবচেয়ে বেশি অঙ্গীয় পরিবেশের pH (১.৫–৩.৫) থাকে। ফলে পাকস্থলীর এনজাইম পেপ্সিন সক্রিয় থাকে। এরপর ক্ষুদ্রান্ত্রের গুরুত্বে পিতৃসেরের ক্ষারীয় পরিবেশ pH = (৭.৪–৮.০) 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-প্রতিক্রিয়ে 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 তৃক 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) জুর ও ব্যথা নিরাকরক ওষুধ অ্যাস্পিরিন, প্যারাসিটামল ইত্যাদি অন্ধর্ধমৌ ওষুধের শোষণ প্রক্রিয়া পাকস্থলীর অঙ্গীয় পরিবেশে সুষ্ঠুভাবে ঘটে। কারণ পাকস্থলীয় pH (১.৫–৩.৫) পরিবেশে এসব ওষুধ কম আয়নিত হয়।

(২) আবার জুরের ওষুধ ক্রোরোকুইন মৃদু ক্ষারধর্মী হওয়ায় ক্ষুদ্রান্ত্রের pH (৭.৫–৮.০) 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 প্রসাধন সামগ্রী নির্বাচন

Selection of Proper pH-Cosmetics after Testing

আমাদের প্রাত্যহিক ব্যবহার্য সাধারণ প্রসাধন সামগ্রীর মধ্যে উল্লেখযোগ্য হলো— (১) টয়লেট সাবান, (২) টুথপেস্ট, (৩) কোল্ড ক্রীম/স্লো, (৪) ট্যালকম পাউডার ইত্যাদি। এসব প্রসাধনীর মধ্যে টুথপেস্ট দাঁত ও মুখের ভিতরে পরিকার করার কাজে ব্যবহৃত হয়। অন্যসব সামগ্রী যেমন টয়লেট সাবান, কোল্ড ক্রীম/স্লো ও পাউডার তুকের পরিচর্যার জন্য ব্যবহৃত হয়।

বড়দের তুকের ওপর অঙ্গীয় পরিবেশ থাকে; তুকের pH ৪–৬ এর মধ্যে থাকে। কিন্তু নবজাতকের তুকের pH ৭ এর কাছাকাছি হয়। তাই বড়দের জন্য যে প্রসাধনী ব্যবহৃত হয়, তা শিশুদের জন্য প্রযোজ্য নয়। এতে শিশুর তুকের মারাত্মক ক্ষতি হতে পারে। আবার মুখের ভিতর অঙ্গীয় পরিবেশ থাকে। মুখে দুর্গঞ্জ, দাঁতের গোড়ায় বেদনা হলে জীবাণু নাশকরূপে ‘এন্টিসেপ্টিক মাউথ ওয়াস’ ব্যবহৃত হয়। এতে pH ৫.৫ লেখা থাকে। যা মুখের লালার pH (৬.২–৭.৪) এর কাছাকাছি থাকে। কিন্তু খাবার গ্রহণের পর এক ঘটার মধ্যে মুখের লালার pH ৩ এর নিচে আসে। কারণ আমাদের খাবারের চিনি থেকে এসিড উৎপন্ন হয়। তাই অধিক অঙ্গীয় পরিবেশকে কিছুটা প্রশান্তিত করার জন্য টুথপেস্টের pH ৮ এর কাছাকাছি রাখা হয়। এখন আমরা সাধারণ কমমেটিক বা প্রসাধনীর pH অনুসঙ্গান পরীক্ষা করে উপযুক্ত প্রসাধন সামগ্রী ব্যবহারের জন্য নির্বাচন করতে সক্ষম হব।

শিক্ষার্থীর কাজ : ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীরা গ্রহণ 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

সময় : ২ পরিয়ড

তারিখ :

(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 ইভিকেটর), 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 তুকের pH মতে পরীক্ষাধীন ব্র্যান্ডের সাবান তুকের 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। শুক তুকের 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 তুকের 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।
২। ব্র্যান্ড - ২	8		ব্র্যান্ড-৩ এর pH কিছুটা বেশি, তাই শিশুদের ব্যবহার অযোগ্য হবে।
৩। ব্র্যান্ড - ৩	8.5		

পরীক্ষা নং-৩ : বাজারের বিভিন্ন ব্র্যান্ডের কোণ্ট ক্রিম/মো এর pH পরীক্ষা ও ব্যবহার যোগ্যতা নির্ধারণ

উপরের পরীক্ষার মতো শিক্ষার্থীরা গ্রহণ করে এ পরীক্ষাটি কর।