৯

রাসায়নিক সাম্যাবস্থা (Chemical equilibrium)

ভূমিকা

বরফ-পানি মিশ্রনে বরফগলার ফলে পানির তাপমাত্রা কমে যায়। এ তাপমাত্রা $0^{\circ}C$ হলে এবং বায়ুর চাপ 1 atm এ থাকলে বরফ আর পানি চিরকাল একত্রে থাকবে। এই একত্রে থাকার অবস্থাকে আমরা সাম্যাবস্থা বলি। $100^{\circ}C$ তাপমাত্রায় পানির সম্পৃক্ত বাষ্প ও পানির সঙ্গে সাম্যাবস্থায় থাকে। পানির বাষ্প, পানি ও বরফের এই সাম্যাবস্থা আমরা বুঝাই নিচের উপায়ে:

বাষ্প $\rightleftharpoons$ পানি $\rightleftharpoons$ বরফ

আরও ভালভাবে

$H_2O(g) \rightleftharpoons H_2O(l) \rightleftharpoons H_2O(s)$ ... ... (9.1)

$H_2O(g)$ পানির বাষ্প বুঝায়। সমীকরণ 9.1 তিনটি ফেজের সাম্যাবস্থা বুঝায়। বাষ্প, পানি ও বরফ নিয়ে যে সিসটেম তাতে বরফ পানি থেকে ভিন্ন- এটা দেখেই বুঝা যায়। জলীয় বাষ্প ও পানির ভিন্নতা আমরা না দেখেও মেনে নেই। এভাবে সিস্টেমের যে অংশগুলো পরস্পর থেকে ভিন্ন বলে বুঝা যায় তাদেরকেই ফেজ (phase) বলা হয়। সুতরাং ফেজ বায়বীয়, তরল বা কঠিন হতে পারে। মূল যৌগ পানির এখানে তিনটি ফেজ। $\rightleftharpoons$ চিহ্ন সাম্যাবস্থা বুঝায়। বিভিন্ন ফেজের মধ্যে সাম্যাবস্থা থাকলে তাকে ভৌত সাম্যাবস্থা (physical equilibrium) বলা হয়।

$CaCO_3(s)$ কে একটি বদ্ধপাত্রে নিয়ে উত্তপ্ত করলে নিচের সাম্যাবস্থা পাওয়া যায়:

$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$ ... . (9.2)

$CaCO_3(s)$ ও $CaO(s)$ দুইটি কঠিন পদার্থ বলে এরা দুইটি ফেজ গঠন করে। সমীকরণ (৯.২) রাসায়নিক পরিবর্তন বুঝায়। উত্তপ্ত হবার ফলে $CaCO_3$ বিয়োজিত হয়ে CaO ও CO_2 উৎপন্ন করছে। পাত্রবদ্ধ থাকায় CO_2 সিসটেম থেকে অন্যত্র যেতে পারে না। ফলে তা CaO এর সাথে বিক্রিয়া করে $CaCO_3$ উৎপন্ন করে। সমীকরণ (9.2) তাই রাসায়নিক সাম্যাবস্থা বুঝায়। $\rightleftharpoons$ চিহ্নের বামে $CaCO_3$ এবং ডান পাশে CaO ও CO_2।

আবার

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ .... (9.3)

$EtOH(l)+AcOH(l) \rightleftharpoons EtOAc\ (l)+ H_2O(l)$ .... (9.4)

সমসত্ত্ব ফেজ বুঝায়। কারণ (9.3) এর সবই গ্যাসীয় অবস্থার এবং (9.4) এর সবই তরল অবস্থার। এরা মাত্র একটি করে ফেজ সৃষ্টি করে।

একাধিক ফেজ থাকাতে (9.1) ও (9.2) সিসটেম অসমসত্ত্ব (heterogeneous) এবং একটি ফেজ থাকাতে (9.3) ও (9.4) সমসত্ত্ব (homogeneous). $\rightleftharpoons$ শুধু সাম্যাবস্থাই বুঝায় না উভমুখীতাও (reversibility) বুঝায়। (9.1), (9.2), (9.3) ও (9.4) গতিশীল সাম্যাবস্থা (dynamic equilibrium)।

বর্তমান ইউনিটে আমাদের বিবেচ্য বিষয় রাসায়নিক সাম্যাবস্থা; এ সাম্যাবস্থার প্রভাবকসমূহ এবং এর ব্যবহারিক দিক।

পাঠ ১ রাসায়নিক সাম্যাবস্থা

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে

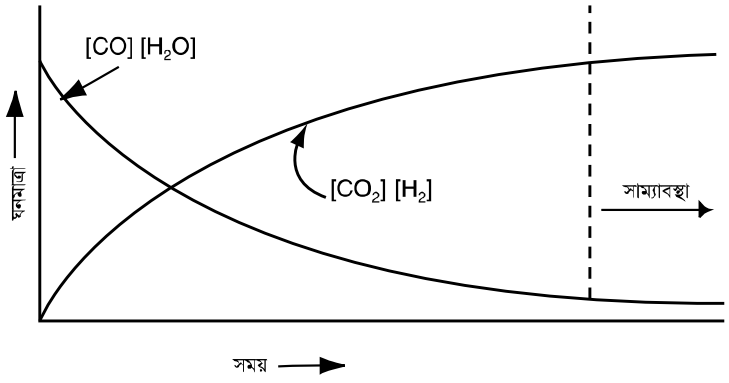
- কিভাবে সাম্যাবস্থায় উপনীত হয় তা বুঝা যাবে।
- সাম্যাবস্থা ধ্রুবক কি এবং এটা কিভাবে সাম্যাবস্থার দিক নির্দেশ করতে পারে তা জানা যাবে।
- অসমসত্ত্ব সাম্যাবস্থা কি তা বলা যাবে।

৯.১.১: সাম্যাবস্থা প্রতিষ্ঠা

একটি বদ্ধ পাত্রে কার্বন মনোক্সাইড (CO) ও জলীয় বাষ্প (H_2O) উচ্চতাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে নিচের বিক্রিয়াটি ঘটে

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

ধরে নেয়া যাক এক মোল CO(g) এবং এক মোল $H_2O(g)$ বিক্রিয়ার জন্য নেয়া হয়েছে। ফলে এক মোল $H_2(g)$ এবং এক মোল $CO_2(g)$ উৎপন্ন হয়েছে। বিক্রিয়ার মোল অনুপাত 1:1 এবং বিক্রিয়া চলাকালে এই অনুপাতই বজায় থাকে। $H_2(g)$ ও $CO_2(g)$ সম পরিমাণে উৎপন্ন হয় এবং এদের ঘনমাত্রা 1:1 অনুপাত বাড়তে থাকে। '$\rightleftharpoons$' চিহ্ন বিক্রিয়াটির উভমুখিতা বুঝায়। অর্থাৎ বিক্রিয়াটি সামনের দিকে ($\rightarrow$) যেমন অগ্রসর হয় তেমনি বিপরীতমুখিও ($\leftarrow$) হতে পারে।



চিত্র : ৯.১ : সময়ের সঙ্গে ঘনমাত্রার পরিবর্তন

প্রথম দিকে সিসটেমে H_2 ও $CO_2(g)$ ছিল না। কিন্তু যতই $H_2O(g)$ ও CO বিক্রিয়া করে ততই এদের ঘনমাত্রা বাড়তে থাকে (চিত্র ৯.১)। এই বিক্রিয়ার ফলে CO ও $H_2O(g)$ এর ঘনমাত্রা কমতে থাকে। চিত্র ৯.১ দেখায় কিভাবে এদের ঘনমাত্রা কমে। [ ] ঘনমাত্রা বুঝাতে ব্যবহার করা হয়েছে।

একটি নির্দিষ্ট সময় পরে দেখা যাবে না বিক্রিয়কদের $\left(H_2O(g) \text{ ও } CO_{(g)}\right)$ না উৎপন্ন দ্রব্যের $(H_{2(g)}\ CO_{2(g)})$

ঘনমাত্রা সময়ের সঙ্গে বদলাচ্ছে। এ অবস্থায় আমরা বলি বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় পৌঁছেছে এ অবস্থাতেও $[H_2O(g)]$ বা [CO(g)] কিন্তু শূন্য হয়না। যত সামান্যই হোকনা সিসটেমে $H_2O(g)$ ও CO(g) থাকছেই।

সাম্যাবস্থায় পৌঁছার কারণ হচ্ছে অনুসমূহের মধ্যে সংঘর্ষ। যত বেশী সংঘর্ষ ঘটছে তত বেশী বিক্রিয়া ঘটছে। ঘনমাত্রা যত বেশী সংঘর্ষের সম্ভাবনাও তত বেশী। $H_2O(g)$ ও $CO_{(g)}$ এর ঘনমাত্রা কমে যায় সামনের দিকে বিক্রিয়ার জন্য;

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

চিত্র ঃ ৯.২। সময়ের সঙ্গে বিক্রিয়া বেগের পরিবর্তন।

বিক্রিয়কদের ঘনমাত্রা কমে যাওয়ার জন্য সামনের দিকে বিক্রিয়ার বেগও কমে যায় (চিত্র ৯.২)। সামনের দিকে বিক্রিয়ার জন্য H_2 ও CO_2 এর ঘনমাত্রা বাড়তে থাকে এবং পিছনের দিকে বিক্রিয়া বেগ বাড়তে থাকে (চিত্র ৯.২):

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

এক সময় আসে যখন সামনের দিকে বিক্রিয়া বেগ পিছনের দিকে বিক্রিয়া বেগের সমান হয়। অন্যভাবে বলা যায় বাম দিকের বিক্রিয়া বেগ = ডান দিকের বিক্রিয়া বেগ।

এ অবস্থায় বলা হয় সিসটেম সাম্যাবস্থায় পৌঁছেছে।

সাম্যাবস্থার অবস্থান:

সাম্যাবস্থার অবস্থান নির্ধারণ করে:

(ক) বিক্রিয়কের প্রাথমিক ঘনমাত্রা

(খ) বিক্রিয়কের ও উৎপন্ন দ্রব্যাদির আপেক্ষিক শক্তি

(গ) বিক্রিয়ক ও উৎপন্ন দ্রব্যাদির আপেক্ষিক বিন্যাস

শক্তি ও বিন্যাস এ জন্যই গুরুত্বপূর্ণ যে প্রকৃতির স্বভাব হচ্ছে সবচেয়ে কম শক্তি সম্পন্ন কিন্তু সবচেয়ে বেশী বিশৃংখল হতে চাওয়া।

৯.১.২: সাম্যাবস্থা ধ্রুবক

বহু রাসায়নিক বিক্রিয়া পর্যবেক্ষণ করতে করতেই সাম্যাবস্থার ধারণা জন্ম নিয়েছে। নরওয়ের রসায়নবিদ গুল্ডবার্গ (Guldbrg) এবং ওয়াগ (Waage) ১৮৬৪ খৃষ্টাব্দে সমসত্ব সিসটেমের ভরক্রিয়া সূত্রের (Law of mass action) প্রস্তাব এভাবে করেছিলেন:

নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় "রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিবেগ বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী প্রতিটি (মোলার ঘনমাত্রা বা আংশিক চাপ) বিক্রিয়কের সক্রিয় ভরের সমানুপাতিক"

আমরা যদি

$$aA + bB \rightleftharpoons mM + l\ L \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9.5)$$

বিক্রিয়াটি বিবেচনা করি তাহলে ভরক্রিয়া সূত্রের আধুনিক রূপ হবে

$$K_c = \frac{[M]^m[L]^l}{[A]^a[B]^b} \quad \text{..... (9.6)}$$

K_c হচ্ছে ঘনমাত্রার প্রেক্ষিতে সাম্যাবস্থা ধ্রুবক। 'a', 'b', 'm' ও 'l' মোল সংখ্যা। এগুলোকে এমনভাবে নেওয়া হয়েছে যেন বাম ও ডান পার্শ্বের বিক্রিয়ার মধ্যে সমতা রক্ষিত হয়। [A] [B]; [M ও [L] সাম্যাবস্থায় A, B, M ও L এর ঘনমাত্রা $molL^{-1}$ এ প্রকাশ করে।

বিক্রিয়া (9.5) ও তার ভিত্তিতে প্রকাশিত K_c এর রাশিমালা (9.6) সাম্যাবস্থা সূত্র (Equilibrium) বিবৃত করতে সাহায্য করে।

যদি একটি উভমুখী বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় পৌঁছে তাহলে উৎপন্ন দ্রব্যের ঘনমাত্রার (যথাযথ ঘাতসহ) গুণফলকে বিক্রিয়কদের ঘনমাত্রার (যথাযথ ঘাতসহ) গুণফল দিয়ে ভাগ করলে ভাগফল নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ধ্রুবক সংখ্যা হবে। একে K_c দ্বারা প্রকাশ করা হয।

(9.5) সমীকরণ থেকে

সম্মুখবর্তী বিক্রিয়া বেগ = $K_f[A]^a [B]^b$

পশ্চাৎমূখী বিক্রিয়া বেগ = $K_b [M]^m [L]^l$

K_f ও K_b বেগ ধ্রুবক।

সাম্যাবস্থায়, $K_f[A]^a [B]^b = K_b [M]^m [L]^l$

অথবা $\frac{K_f}{Kb} = \frac{[M]^m[L]^l}{[A]^a[B]^b} = K_c$ ..... (9.7)

৯.১.৩ : সাম্যাবস্থার অবস্থান

(9.6) বা (9.7) সমীকরণ অনুসারে যদি A ও B সামান্যই M ও L এ পরিণত হয়ে থাকে তাহলে K_c এর মান কম হবে। কিন্তু M ও L এর পরিমাণ বেশী হলে K_c বড় হবে।

মনে রাখতে হবে K_c আর সাম্যাবস্থার অবস্থান এক নয়; নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় K_c ধ্রুবক (constant), কিন্তু বাহ্যিক অবস্থার পরিবর্তনে সাম্যাবস্থার অবস্থানের পরিবর্তন হয়। সাধারণত চেষ্টা করা হয় যাতে প্রক্রিয়ার নিয়ামক সমূহের পরিবর্তনের মাধ্যমে অধিক উৎপন্ন দ্রব্য পাওয়া যায়। অর্থাৎ সাম্যাবস্থার অবস্থান ডান দিকে রাখা। সাম্যাবস্থার পরিবর্তনের নিয়ামকসমূহ নিয়ে গবেষনার বাণিজ্যিক গুরুত্ব রয়েছে।

বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় পৌছার জন্য বাম দিকে যাবে না ডান দিকে যাবে তা নির্ণয়ের জন্য বিক্রিয়ার Q (reaction quotient) জানা থাকলে ভাল হয়। বিক্রিয়ার Q নিচের উপায়ে জানা যায়।

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

বিক্রিয়ার $Q = \frac{[NH_3]_t^2}{[N_2]_t[H_2]_t^3}$

এখানে $[\ ]_t$ = t সময়ে ঘনমাত্রা।

(i) Q ও K_c এর মান সমান হলে বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় পৌঁছে গেছে বুঝাবে

(ii) $Q>K_c$ হলে বিক্রিয়াটি বাম দিকে অগ্রসর হবে বুঝায়। এতে উৎপন্ন দ্রব্য কমে যেতে থাকবে যে পর্যন্ত না সাম্যাবস্থা বিরাজ করবে।

(iii) $Q < K_c$ হলে বিক্রিয়াটি ডান দিকে অগ্রসর হবে বুঝায়। অর্থাৎ উৎপন্ন দ্রব্যের পরিমাণ সাম্যাবস্থা না পৌছা পর্যন্ত বাড়তে থাকবে।

মনে রাখা দরকার যে,

$K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$ এবং [ ] = সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা বুঝাচ্ছে

সারসংক্ষেপ

- অনেক বিক্রিয়াই সমাপ্ত হয় না। বিক্রিয়ার উৎপন্ন দ্রব্যাদি যথাযথ ঘনমাত্রায় পৌঁছামাত্র তারা বিক্রিয়া করে প্রথম দিকের বিক্রিয়ক উৎপন্ন করা শুরু করে, যেমন $aA+bB \rightleftharpoons mM + lL$। বলা হয় বিক্রিয়াটি সাম্যবস্থায় পৌঁছেছে। '$\rightleftharpoons$ ' সাম্যাবস্থা বা বিক্রিয়ার উভমুখীতা বুঝায়। রাসায়নিক বিক্রিয়া ছাড়াও ভৌত সাম্যাবস্থা হতে পারে, $H_2O(s) \rightleftharpoons H_2O(l) \rightleftharpoons H_2O(g)$ অর্থাৎ বরফ $\rightleftharpoons$ পানি $\rightleftharpoons$ বাষ্প। এখানে বিভিন্ন ফেজের মধ্যে সাম্যাবস্থা। আপাতদৃষ্টিতে পরিবর্তন লক্ষ্য করা না গেলেও অণুর পর্যায়ে পরিবর্তন অনবরতই হচ্ছে। এ সব সাম্যাবস্থা গতিশীল সাম্যাবস্থা। নির্দিষ্ট তাপমাত্রা ও চাপ এ প্রকারের সাম্যাবস্থা নিয়ন্ত্রণ করে।

  $aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons mM(g)+lL(g)$ বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থা ধ্রুবক সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রার [ ] ভিত্তিতে,

  $K_c = \frac{[M]^m \times [L]^l}{[A]^a \times [B]^b}$ [$\because K_f [A]^a [B]^b = K_b [M]^m [L]^l$ এবং $\frac{K_f}{K_b} = K_c$]

  K_c গতিশীল সাম্যাবস্থার ধ্রুবক ।

  K_c এর রাশিমালাটি তথা কথিত ভরক্রিয়া সূত্র প্রকাশ করে।
- বিক্রিয়া ডানদিকে অগ্রসর হয়ে বা সামনের দিকে গিয়ে সাম্যাবস্থায় পৌছবে না বাম দিকে অগ্রসর হয়ে বা পিছন ফিরে সাম্যাবস্থায় পৌছবে তা নির্ভর করে বিক্রিয়ার Q এর উপর। $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ বিক্রিয়ার $Q = [NH_3]_t^2 / [N_2]_t [H_2]_t^3$, $[ ]_t$ বিক্রিয়া শুরু হওয়ার t সময় পর ঘনমাত্রা।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন

সঠিক উত্তরে টিক চিহ্ন (√) দিন।

১। $H_2O(g) \rightleftharpoons H_2O(l) \rightleftharpoons H_2O(s)$

(ক) একটি ভৌত গতিশীল সাম্যাবস্থা

(খ) একটি ভৌত স্থিতিশীল সাম্যাবস্থা

(গ) একটি গতিশীল অসাম্য অবস্থা

(ঘ) একটি রাসায়নিক গতিশীল সাম্যাবস্থা

২। $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CO_2(g) + CaO(s)$ সাম্যাবস্থাটি

(ক) $CaCO_3$ কে উত্তপ্ত করলেই স্থাপিত হবে

(খ) CO_2 কে বাতাসে রাখলেই পাওয়া যাবে।

(গ) বদ্ধপাত্রে $CaCO_3$ কে উত্তপ্ত করলে স্থাপিত হবে

(ঘ) বদ্ধপাত্রে $CaCO_3$কে বহু দিন রাখলেই পাওয়া যাবে।

৩। যদি একটি এস্টারকরণ বিক্রিয়া থেকে k_f [EtOH] [AcOH] = k_b [AcOEt] [H_2O], তাহলে

(ক) K_c এখান থেকে পাওয়া যাবে না

(খ) K_c পেতে হলে পানি (H_2O) সরিয়ে ফেলতে হবে

(গ) $K_c = \frac{k_b}{k_f}$ এবং বিক্রিয়াটি $AcOEt(l) + H_2O(l) \rightleftharpoons AcOH(l) + EtOH(l)$

(ঘ) $K_c = \frac{k_f}{k_b}$ এবং বিক্রিয়াটি $EtOH(l) + AcOH(l) \rightleftharpoons AcOEt(l) + H_2O(l)$

৪। যখন একটি বিক্রিয়া সাম্যাবস্থার দিকে অগ্রসর তখন

(ক) উৎপন্ন দ্রব্যাদির ঘনমাত্রার পরিবর্তন হয় না

(খ) বিক্রিয়কদের ঘনমাত্রা কমতে থাকে উৎপন্ন দ্রব্যের ঘনমাত্রা বাড়তে থাকে।

(গ) উৎপন্ন দ্রব্যের ঘনমাত্রা বাড়তে থাকে কিন্তু বিক্রয়কদের ঘনমাত্রার পরিবর্তন হয় না

(ঘ) আপাত দৃষ্টিতে কোন মাত্রার কোন পরিবর্তন লক্ষ্য করা যায় না।

৫। $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4$ বিক্রিয়াটির Q

(ক) $\frac{[N_2O_4]_t}{[NO_2]_t^2}$, (খ) $\frac{[N_2O_4]}{[NO_2]}$

(গ) $[NO_2]_t\ [N_2O_4]$ (ঘ) $\frac{[N_2O_4]}{[NO_2]_t^2}$

পাঠ ২ সাম্যাবস্থা ধ্রুবকের প্রকাশ পদ্ধতি

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে

- বিভিন্ন ঘনমাত্রা প্রকাশের ইউনিট ব্যবহার করলে সাম্যাবস্থা ধ্রুবকের রাশিমালা কিভাবে লিখতে হয় তা জানা যাবে।
- বিভাজন ও সংযোজন বিক্রিয়াসমূহের সাম্যাবস্থা ধ্রুবকের রাশিমালা লিখা যাবে।

৯.২.১: গ্যাসীয় সিসটেমের সাম্যাবস্থা ধ্রবক

বিক্রিয়ক ও উৎপন্ন দ্রব্য সবই গ্যাসীয় হলে তাদের সক্রিয় ভরকে আংশিক চাপে প্রকাশ করা হয়। সে ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থা ধ্রুবক K_p দিয়ে লিখা হয়। একটি সমসত্ত্ব গ্যাসীয়

$aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons mM(g) + lL(g)$ বিক্রিয়ার জন্য

$$Kp = \frac{(P_M)^m \times (P_L)^l}{(P_A)^a \times (P_B)^b} \quad \text{..... (9.8)}$$

এখানে P_A, P_B, P_M ও P_L যথাক্রমে A, B, M ও L গ্যাসীয় পদার্থগুলোর সাম্যাবস্থায় আংশিক চাপ।

সিসটেমটি যদি V আয়তন বিশিষ্ট পাত্রে সামগ্রিক চাপ P এবং স্থির তাপমাত্রা T তে সাম্যাবস্থায় থাকে তাহলে আদর্শ গ্যাসের সুত্রানুসারে–

$$P_A V = aRT$$

বা $$P_A = \frac{a}{V} RT$$

$\therefore (P_A)^a = [A]^a (RT)^a$,

এভাবে $(P_B)^b = [B]^b (RT)^b$, $(P_M P)^m = [M]^m (RT)^m$ ইত্যাদি।

$$\therefore Kp = \frac{[M]^m \times [L]^l \times (RT)^{(m+l)}}{[A]^a \times [B]^b \times (RT)^{(a+b)}} = \frac{[M]^m \times [L]^l}{[A]^a \times [B]^b} \times \frac{(RT)^{(m+l)}}{(RT)^{(a+b)}}$$

$$= K_c (RT)^{(m+l)-(a+b)}$$

$$= K_c (RT)^{\Delta n} \quad \text{... ... ... (9.9)}$$

Δn = উৎপন্ন দ্রব্যের মোল সংখ্যার সমষ্টি – বিক্রিয়কদের মোলসংখ্যার সমষ্টি।

সমীকরণ, (9.9) K_p ও K_c এর মধ্যের সম্পর্ক দেখাচ্ছে।

৯.২.২। সাম্যাবস্থা ধ্রুবকের মোল ভগ্নাংশ অনুসারে প্রকাশ।

যেহেতু $P_A = X_A P$ [X_A, A এর মোল ভগ্নাংশ এবং P সামগ্রিক চাপ)

$$(P_A)^a = (X_A)^a \ P^a$$

(9.8) সমীকরণটি নিচের উপায়ে লেখা যায়

$$K_P = \frac{(x_M)^m \times (x_L)^l \ P^{(m+l)}}{(x_A)^a \times (x_B)^b P^{(a+b)}}$$

$$= K_X \ P^{(m+l)-(a+b)} \ldots\ldots\ldots\ldots (9.10)$$

$$= KxP^{\Delta n}$$

এখানে $K_X == \frac{(x_M)^m \times (x_L)^l}{(x_A)^a \times (x_B)^b}$

সুতরাং একই বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা ধ্রুবক

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n} = K_X P^{\Delta n}$$

উদাহরণ। $2NO(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2NOCl(g)$ বিক্রিয়াটির 25°C তাপমাত্রায় $P_{NO} = 5.0\times10^{-2}$ atm, $P_{Cl_2} = 3.0\times10^{-1}$ atm, এবং $P_{NOCl} = 1.2$ atm।

এর K_p, K_c ও K_X কত?

$$Kp = \frac{(P_{NOCl})^2}{(P_{NO})^2 \times P_{Cl_2}} = \frac{(1.2 \text{ atm})^2}{(5.0\times10^{-2} \text{ atm})^2 \times (3.0\times10^{-1})\text{atm}}$$

$$= 1.9\times10^{-3} \text{ atm}^{-1}$$

$\because \quad \Delta n = 2 - (2+1) = -1$

$$K_p = K_c (RT)^{-1} = \frac{K_c}{RT}$$

$\therefore$ Kc = Kp (RT)

$$= \left(\frac{1.9\times10^{-3}}{\text{atm}}\right)\left(0.082 \frac{\text{L.atm}}{\text{K.mol}}\right)(298\text{K})$$

$$= 4.6 \times 10^4 \text{ L mol}^{-1}$$

$$K_x P^{\Delta n} = K_p$$

$$K_x = \frac{1.9\times10^{-3}\text{atm}^{-1}}{(1.55\text{atm})^{-1}} = 2.95 \times 10^{-3}$$

৯.২.৩: অসমসত্ব সিসটেমের সাম্যাবস্থা ধ্রুবক

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

$K_c^{'} = \frac{[CaO]\,[CO_2]}{[CaCO_3]}$

Kc = [CO_2], কারণ যে কোন কঠিন অবস্থায় ঘনমাত্রাকে একক ধরা হয়।

অর্থাৎ $K_c^{'}$ [$CaCO_3$] / [CaO] = ধ্রুবক

একইভাবে $K_p = P_{CO_2}$

সাধারণত বিশুদ্ধ কঠিন বা তরল পদার্থ সাম্যাবস্থায় বিরাজ করলে তাদের ঘনমাত্রাকে এক ধরা হয়।

যদি পানিকে বিভাজন করা যায় এবং বিভাজন প্রক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় পৌঁছে তাহলে

$$2H_2O(l) \rightleftharpoons 2H_2(g) + O_2(g)$$

এবং K_c হবে,

$$K_c = [H_2]^2 [O_2] \text{ বা } K_p = (P_{H_2})^2 \times P_{O_2}$$

কারণ $[H_2O(l)]^2$ = ধ্রুবক, $(P_{H_2O}(l))^2$ = ধ্রুবক।

৯.২.৪: বিভাজিত সিসটেমের সাম্যাবস্থা ধ্রুবক

তাপের প্রভাবে নিচের বিভাজনটি ঘটে

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

$1-\alpha$ α α

ধরা যাক PCl_5 এর α অংশ বিভাজন হয়েছে। α বিভাজন মাত্রা। বিভাজন মাত্রা (degree of dissociation) হচ্ছে অণুর (এখানে PCl_5) যে অংশ বিভাজিত হয়েছে। বিভাজনের ফলে সাম্যাবস্থায় PCl_5 এ $1-\alpha$ অংশ অবশিষ্ট রয়েছে। α পরিমাণ PCl_3 ও α পরিমাণ Cl_2 উৎপন্ন হয়েছে। এক মোল PCl_5 বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করেছে বলেও ধরে নেয়া হয়েছে। সিসটেমে মোল সংখ্যা দাঁড়িয়েছে $1-\alpha+\alpha+\alpha = 1+\alpha$

যে পাত্রে বিভাজন করা হয়েছে তার আয়তন V হলে

$[PCl_5(g)] = \frac{1-\alpha}{V}$

$[PCl_3(g)] = \frac{\alpha}{V}$

এবং $[Cl_2(g)] = \frac{\alpha}{V}$

$$\therefore K_c = \frac{\frac{\alpha}{v} \times \frac{\alpha}{v}}{\frac{1-\alpha}{V}} = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)V} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9.11)$$

শুরুতে PCl_5 এর এক মোল ছিল, তাই $[PCl_5]_0 = \frac{1}{V}$ এবং (9.11) কে লেখা যায়

$$K_c = \frac{\alpha^2 [PCl_5]_0}{1-\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9.12)$$

আবার $x_{PCl_5} = \frac{1-\alpha}{1+\alpha}$, $x_{PCl_3} = \frac{\alpha}{1+\alpha}$ এবং $x_{Cl_2} = \frac{\alpha}{1+\alpha}$

সিসটেমের সামগ্রিক চাপ যদি P হয়, তাহলে

P_{pcl_5} ($pcl_5(g)$ এর আংশিক চাপ) $= \frac{1-\alpha}{1+\alpha}$ P, Abyi$f$cfv‡e

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

$$\therefore K_p = \frac{(\frac{\alpha}{1+\alpha})^2 P^2}{(\frac{1-\alpha}{1+\alpha})P} = \frac{\alpha^2 P}{1-\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9\text{-}13)$$

৯.২.৫: হাইড্রোজেন ও আয়োডিনের বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা ধ্রুবক

বিক্রিয়াটি হচ্ছে

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

এখানে a মোল H_2 ও a মোল I_2 বিক্রিয়া করে 2a মোল HI উৎপন্ন করে। বিক্রিয়ার শুরুতে যদি এক মোল H_2 ও এক মোল $I_2(g)$ থেকে থাকে সাম্যাবস্থায় 1-a মোল হাইড্রোজেন এবং 1-a মোল আয়োডিন অবশিষ্ট রয়েছে। সুতরাং সাম্যাবস্থায় সিসটেমে মোট মোল = 1−a+1-a+2a = 2

আবদ্ধ বিক্রিয়া পাত্রের আয়তন V হলে

$[H_2] = \frac{1-a}{V}$, $[I_2(g)] = \frac{1-\alpha}{V}$ এবং $[HI] = \frac{2a}{V}$

এবং এই উপাত্তের ভিত্তিতে K_c এর রাশিমালা লেখা যায়। আবার আবদ্ধ পাত্রের সামগ্রিক চাপ যদি P হয় তাহলে $P_{H_2} = \frac{1-a}{2}$ P, $P_{I_2} = \frac{1-a}{2}$ P এবং $P_{HI}^2 = \left(\frac{2a}{2}\right)^2 . p^2$ । এ থেকে K_p এর রাশিমালা লেখা যায়।

$$K_p = \frac{P_{HI}^2}{P_{H_2} . P_{I_2}} = \frac{\left(\frac{2a}{2}\right)^2 \times P^2}{\frac{1-a}{2} \times P \times \frac{1-a}{2} \times P} = \frac{4a^2}{(1-a)^2}$$

যেহেতু K_p এর সমীকরণে চাপ P কোন রাশি নেই তাই উক্ত বিক্রিয়ায় চাপের কোন প্রভাব নেই।

৯.২.৬: হেবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদনের সাম্যাবস্থা ধ্রুবক

বিক্রিয়াটি হচ্ছে

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

এবং $$Kp = \frac{\left(P_{NH_3}\right)^2}{P_{N_2} \times \left(P_{H_2}\right)^3}$$

$$= \frac{\left(x_{NH_3}\right)^2}{x_{N_2} \times \left(x_{H_2}\right)^3 . P^2}$$, x_{N_2}, x_{H_2} এবং x_{NH_3} যথাক্রমে N_2, H_2 ও NH_3 এর মোল ভগ্নাংশ এবং P সামগ্রিক চাপ।

যদি সাম্যাবস্থায় প্রতি N_2 মোলের a অংশ বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে থাকে তাহলে এ অবস্থায় (1-a) মোল N_2 এবং 3(1-a) মোল H_2 অবশিষ্ট রয়েছে এবং 2a মোল NH_3 উৎপন্ন হয়েছে। সুতরাং সাম্যাবস্থায় মোট মোল = 1-a+3 (1-a) + 2a = 4-2a। শুরুতে N_2 ছিল এক মোল এবং হাইড্রোজেন ছিল তিন মোল এবং মোট সংখ্যা ছিল চার। P সামগ্রিক চাপ

$$P(N_2) = \frac{1\text{-a}}{4\text{-2a}}\ P,\ P_{H_2} = \frac{3(1\text{-a})}{4\text{-2a}}\ P \text{ এবং } P_{NH_3} = \frac{2a}{4\text{-2a}}\ P \text{ বা } \frac{a\,P}{2\text{-a}}$$

এ সব উপাত্ত থেকে K_p এর রাশিমালা নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ। নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন 1:3 মোল অনুপাতে মিশ্রিত করা হলো। 600°C তাপমাত্রায় এবং 20 atm চাপে সাম্যাবস্থা পৌছার পর মিশ্রণে 25% অ্যামোনিয়া উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটির K_p কত?

বিক্রিয়াটি: $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$

$$Kp = \frac{\left\{\frac{a.p}{2-a}\right\}^2}{\left(\frac{1-a}{4-2a}.P\right)\left\{\frac{3(1-a)}{4-2a}.P\right\}^3}$$

$$= \frac{\left\{\frac{.40\times 20}{2-0.40}\right\}^2}{\left(\frac{1-.4}{4-.4}\times 20\right)\left\{\frac{3(1-.4)}{4-(2\times .4)}\times 20\right\}^3}$$

$\therefore\ Kp = 4.7 \times 10^{-3}\ \text{atm}^{-2}$

এখানে P = 20 atm

$$\frac{2a}{4\text{-2a}} \text{ বা } \frac{a}{2\text{-a}} = 0.25$$

$\therefore$ a = 0.40

সাম্য ধ্রুবক K_p K_c এর ধনাত্মক মান

যে কোন একটি উভয়মূখী বিক্রিয়া বিবেচনা করি,

$A+B \rightleftharpoons C+D$

বিক্রিয়াটির $Kc = \frac{[C]\,[D]}{[A]\,[B]}$ এবং $Kp = \frac{P_C.P_D}{P_A.P_B}$

এখানো দেখা যাচ্ছে K_c বা K_p এর ক্ষেত্রে উৎপাদসমূহের ঘনমাত্রা বা আংশিক চাপের গুনফলকে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বা আংশিক চাপের গুণফলের দ্বারা ভাগ বুঝায়।

এখন সাম্য ধ্রুবক K_c এর মান শূন্য হতে হলে [C] [D] এর মান শূন্য হতে হবে। উৎপাদের মান শূন্য হওয়া অর্থ বিক্রিয়া আরম্ভই হয়নি।

কোন একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া আরম্ভ না হলে K_c বা K_p পাওয়ার প্রশ্নই ওঠে না। তাই K_c বা K_p এর মান শূন্য হতে পারে না।

আবার K_c এর মান অসীম হতে হলে [A] [B] এর মান শূন্য হতে হবে। যেহেতু উভমূখী বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদ উভয় থাকা বাঞ্চনীয়। তাই [A] [B] এর মান শূন্য হলে পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়া হবে না।

তাই বিক্রিয়াটি একমূখী হবে। ফলে বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় আসবে না। তাাই K_c বা K_p এর মান অসীমও হতে পারে না।

তাই বলা যায় সাম্যাবস্থায় বিদ্যমান কোন উভমূখী বিক্রিয়ায় সাম্য ধ্রুবকের একটি ধনাত্মক মান থাকবে। কখনও শূন্য বা অসীম হবে না।

সারসংক্ষেপ

- $K_p = K_c\,(RT)^{\Delta n} = K_x P^{\Delta n}$ । সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়কদের ও উৎপন্ন দ্রব্যের আংশিক চাপ, ঘনমাত্রা $molL^{-1}$ ও মোল ভগ্নাংশ অনুসারে সাম্য ধ্রুবকের প্রতীক যথাক্রমে K_p, K_c ও K_X। Δn উৎপন্ন দ্রব্যের ও বিক্রিয়কদের মোল সংখ্যার পার্থক্য। P সামগ্রিক চাপ।
  অসমসত্ত্ব সিসটেম হলে কঠিন ও তরলের ঘনমাত্রা ধ্রুবক ধরা হয় কারণ অসমসত্ত্ব সিসটেমের সাম্যাবস্থার অবস্থান কঠিন ও তরলের পরিমানের উপর নির্ভর করে না। গ্যাসীয় বস্তুই শুধু গণ্য করা হয়।
- বিভাজিত বা সংযোজিত সিসটেমের সাম্যাবস্থা নির্ণয়ের সময় সাম্যাবস্থায় বস্তু সামগ্রীর মোল সংখ্যার বিবেচনা করা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন

সঠিক উত্তরে টিক চিহ্ন (√) দিন।

১। K_p ও K_c এর মধ্যে সঠিক সম্পর্ক হচ্ছে

(ক) $K_p = \frac{K_c}{(RT)^{\Delta n}}$ (খ) $K_p^{\Delta n} = K_c(RT)$,

(গ) $K_p(RT)^{-\Delta n} = K_c$ (ঘ) $(RT)^{\Delta n} = \frac{K_c}{K_p}$

২। $NH_4Cl\,(s) \rightleftharpoons NH_3(g) + HCl(g)$ বিক্রিয়াটির K_p হবে

(ক) $P_{NH_3} \times P_{HCl}$

(খ) $P_{NH_3} \times P_{HCl} / P_{NH_4Cl}$

(গ) P_{NH_4Cl}

(ঘ) K_p এর কোন রাশিমালা হয় না।

৩। $NaHCO_3$ উত্তপ্ত করলে আবদ্ধ পাত্রে যে সাম্যাবস্থার হয় তার $K_p = P_{H_2O} \times P_{CO_2}$ সাম্যাবস্থায় পৌছার জন্য $NaHCO_3$ এর যে সংখ্যক মোল নিয়ে শুরু করতে হয় তা হলো-

(ক) শূন্য (খ) ১ (গ) ২ (ঘ) ৩

৪। $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$, $Kc = 4.9 \rightleftharpoons 10^{-31}$ এবং

$[N_2] = [O_2] = 1.0\ molL^{-1}$ [NO] হবে

(ক) $4.9 \times 10^{-31}\ molL^{-1}$

(খ) $7.0 \times 10^{-16}\ molL^{-1}$

(গ) $14.0 \times 10^{-16}\ molL^{-1}$

(ঘ) $1.0\ molL^{-1}$

৫। কার্বনের সাথে বিক্রিয়া করে সাম্যাবস্থায় পৌছার পর সিসটেমে কার্বন, N_2O, CO_2 ও N_2 গ্যাস পাওয়া গেল এবং $K_p = \frac{P_{CO_2} \times (P_{N_2})^2}{(P_{N_2O})^2}$ যে বিক্রিয়াটি ঘটায় সাম্যাবস্থায় উলে-খিত দ্রব্যাদি পাওয়া গেছে তা হবে।

(ক) $CO_2(g) + 2N_2(g) \rightleftharpoons C(s) + 2N_2O(g)$

(খ) $2N_2O(g) \rightleftharpoons 2N(g) + CO_2(g)$

(গ) $C(s) + 2N_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + 2N_2(g)$

(ঘ) $CO_2(g) + 2N_2O(g) \rightleftharpoons C(s) + CO_2(g) + 2N_2(g)$

পাঠ ৩ বিভিন্ন অবস্থায় সাম্যাবস্থা

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে

- লা শাটেলিয়ে নীতি সম্বন্ধে জানা যাবে।
- এস্টারিফিকেশনের ভৌত নীতি বোঝা যাবে।
- পানির বিভিন্ন ফেজের মধ্যে সাম্যাবস্থার ধারণা হবে।

৯.৩: লা শাটেলিয়ে নীতি (Le Chatelier's Principle)

লা শাটোলিয়ে সাম্যাবস্থার উপর তাপমাত্রা, চাপ এবং বিক্রিয়ক ও উৎপন্ন দ্রব্যের ঘনমাত্রার প্রভাব পরীক্ষা করে দেখেছেন। এতে তাঁর যা পর্যবেক্ষন এবং অভিমত তাই লা শাটেলিয়ে নীতি নামে পরিচিত। নীতিটি এভাবে বলা যায়;

কোন সিসটেমে তাপমাত্রা, চাপ বা ঘনমাত্রা পরিবর্তনের ফলে তার সাম্যাবস্থা বিঘ্নিত হলে সিসটেমটির সাম্যাবস্থার সংযুক্তি এমনভাবে পরিবর্তিত হয় যাতে এ পরিবর্তন ব্যর্থ হয়।

৯.৩.১: ঘনমাত্রার পরিবর্তন

আমরা $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ বিক্রিয়াটি বিবেচনা করি। এতে আরও N_2 যোগ করলে কি হবে? লা শাটেলিয়ে নীতি অনুযায়ী সিসটেমটি এমনভাবে পরিবর্তিত হবে যাতে অতিরিক্ত নাইট্রোজেন যোগের ফলাফল প্রশমিত হয়। অর্থাৎ আরও NH_3 উৎপন্ন হয়। হাইড্রোজেন যোগের ক্ষেত্রেও একই ফল হবে। সাম্যাবস্থায় কিছু NH_3 যোগ করলে NH_3 বিভাজিত হয়ে N_2 ও H_2 উৎপন্ন করবে। যদি সিসটেমে একটি নিষ্ক্রিয় গ্যাস যোগ করা হয় এ ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থার পরিবর্তন হবে কারণ নিষ্ক্রিয় গ্যাসটি সামগ্রিক চাপ বাড়ায় ফলে অন্যান্য দ্রব্যের আংশিক চাপ পরিবর্তিত হবে। যদি বিক্রিয়ায় মোল সংখ্যার পরিবর্তন না হয় তাহলে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের কোন প্রভাব সাম্যাবস্থার উপর পড়বে না।

৯.৩.২: চাপের প্রভাব

গ্যাসীয় বিক্রিয়াতেই চাপের প্রভাব সাম্যাবস্থাকে প্রভাবিত করতে পারে। অ্যামোনিয়া উৎপাদন বিক্রিয়াটিতে ডান দিকে মোল সংখ্যা কম থাকাতে চাপের ফলে বিক্রিয়াটি ডান দিকে যাবে। কারন বিক্রিয়াটি ডান দিকে গেলেই চাপের প্রভাব কমে। কিন্তু $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g)+I_2(g)$ বিক্রিয়ায় চাপ বাড়িয়ে সাম্যাবস্থায় হেরফের হবে না।

চাপ বাড়িয়ে সাম্যাবস্থার বিক্রিয়াকে ডান বা বাম দিকে পরিবর্তিত করাতে পারা গেলেও সাম্যাবস্থা ধ্রুবকের উপর চাপের কোন প্রভাব নাই।

৯.৩.৩: তাপমাত্রার পরিবর্তন

দুইটি বিক্রিয়া বিবেচনা করা যায়

(i) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ $\Delta H_f^{\phi} = -92$ KJ/mol

(ii) $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons NO(g)$ $\Delta H_f^{\phi} = +180$ KJ/mol

অ্যামোনিয়া উৎপাদন তাপোৎপাদি। সিসটেমের তাপমাত্রা বাড়ালে তাপের প্রভাব তিরোহিত হয় যদি তাপ শোষিত হয়ে অ্যামোনিয়ার বিভাজন হয়। এই বিভাজনে নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন সিসটেমে তৈরী হয় এবং অ্যামোনিয়ার ঘনমাত্রা কমে যায়। এতে সাম্যাবস্থা ধ্রুবক ও কমে যায়।

দ্বিতীয় বিক্রিয়াটি তাপগ্রাহী। সিসটেমের তাপগ্রহণের ফলে নাইট্রোজেন ও অক্সিজেনের আরও বিক্রিয়া ঘটে এবং অতিরিক্ত নাইট্রিক অক্সাইড উৎপন্ন হয়। এখানে বিক্রিয়টির সাম্যাবস্থা ধ্রুবক ও তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে বৃদ্ধি পায়।

৯.৩.৪: এস্টারিকরণ (Estrification)

ইথানল (EtOH) ও ইথানয়িক এসিড (AcOH) বিক্রিয়া করে ইথাইল ইথানয়েট (AcOEt) বা এস্টার উৎপন্ন করে;

$EtOH(l) + AcOH(l) \rightleftharpoons AcOEt(l) + H_2O(l)$ .... … (9.14)

হাইড্রোজেন ক্লোরাইড বা ঘন সালফিউরিক এসিড প্রভাবক হিসাবে সিসটেমে যোগ করলে দ্রুত এস্টার উৎপন্ন হয়। প্রভাবক ছাড়া বদ্ধপাত্রে উত্তপ্ত করলেও এস্টারিকরণ দ্রুততর হয়।

(9.14) বিক্রিয়াটির $K_c = \frac{[AcOEt]\,[H_2O]}{[AcOH]\,[EtOH]}$

(9.14) বিক্রিয়াটি তরল মাধ্যমে একটি সুপরিচিত উভমুখী বিক্রিয়া। বিভিন্ন পরিমাণের ইথানায়িক এসিড ও ইথানল একটি বদ্ধ পাত্রে (sealed tube) নিয়ে 100°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করে সাম্যাবস্থা দ্রুত স্থাপন করা যায়। তখন পাত্রটিকে ঠান্ডা করে দ্রব্যাদির মোল হিসাব করে

$$K_X = \frac{x_{EtOAC} \times x_{H_2O}}{x_{AcOH} \times x_{EtOH}} = \frac{n_{EtOAc} \times n_{H_2O}}{n_{AcOH} \times n_{EtOH}} \quad \text{.... .... …} \quad (9.15)$$

≈ 4 পাওয়া গেছে।

এ বিক্রিয়ায় $K_X = K_c$, কারণ $\Delta n = 0$

সাম্যাবস্থা ধ্রুবক (K_X বা K_c) টি তাপমাত্রার দ্বারা তেমন প্রভাবিত হয় না বলে লা শাটেলিয়ে নীতি অনুযায়ী বলা যায় (9.14) বিক্রিয়ায় ΔH^{θ} শূন্য বা খুবই কম।

৯.৩.৫: ভৌত পরিবর্তন ও লা শাটেলিয়ে নীতি

ভৌত পরিবর্তনের ক্ষেত্রেও লা শাটেলিয়ে নীতি খাটে। যেমন

বরফ $\rightleftharpoons$ পানি

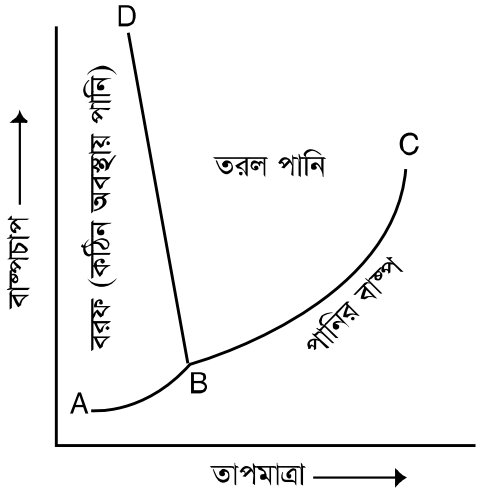
$$H_2O(s) \rightleftharpoons H_2O(l) \quad \Delta H^{\phi} = 6 \text{ KJ/mol}$$

বরফ পানির প্রদর্শিত মিশ্রণে চাপ বাড়ালে সিসটেমের আয়তন কমাবার প্রবণতা দেখা দেয়। বরফ গলে গিয়ে সিসটেমের আয়তন কমাতে পারে। বরফ গলে যাবার প্রক্রিয়াটি তাপগ্রাহী। তাই সিসটেমের তাপ বাড়লে তাপের বৃদ্ধি প্রতিহত করতে বরফ গলে। কিন্তু যতক্ষণ পর্যন্ত পানিও বরফ সাম্যাবস্থায় আছে, অর্থাৎ বরফ গলে নিঃশেষ হয় নাই ততক্ষণ সিসটেমের তাপমাত্রা $O^{\circ}C$ থাকবে।

৯.৩.৬: পানির ভৌত অবস্থার সাম্যাবস্থা:

পরস্পর থেকে পৃথকভাবে বুঝা যায় সিসটেমের এরূপ সমসত্ত্ব অংশকে ফেজ বলা হয়। পানি কঠিন (বরফ), তরল ও বায়ুবীয় অবস্থায় থাকতে পারে 273.16k তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে পানির এই তিনটি অবস্থা একত্রে বা সাম্যাবস্থায় থাকতে পারে। ৯.৩ চিত্র তাই দেখাচ্ছে।

B বিন্দুতে পানির তিনটি ফেজ (অবস্থা) সাম্যে রয়েছে। B বিন্দুকে পানির ত্রৈধ বিন্দু (Triple point) বলে। এ পয়েন্টে তাপমাত্রা 273.16K এবং বাষ্পচাপ 611Pa (4.58 Torr)। BD রেখাটি পানির হিমাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব দেখায়। BC দেখাচ্ছে পানির বাষ্পচাপের উপর তাপমাত্রার প্রভাব। AB দেখাচ্ছে বরফের সংলগ্ন পানির বাষ্পের উপর তাপমাত্রার প্রভাব। প্রতিটি রেখা দুইটি ফেজের মধ্যে সাম্যাবস্থা দেখাচ্ছে। যেমন BC তরল পানি ও এর সংলগ্ন বাষ্প, BD তরল পানি-বরফ এবং AB পানির বাষ্প ও বরফ নির্দেশ করে ।



৯.৩। সাম্যাবস্থায় পানির ফেজ চিত্র।

সারসংক্ষেপ

- লা শাটেলিয়ে নীতি অনুসারে সাম্যাবস্থার উপর তাপমাত্রা, চাপ ও ঘনমাত্রার প্রভাব বুঝা যায়। নীতিটি হচ্ছে "কোন সিসটেমের তাপমাত্রা, চাপ বা ঘনমাত্রার পরিবর্তনের ফলে সাম্যাবস্থা বিঘ্নিত হলে সিসটেমটির সাম্যাবস্থার সংযুক্তি এমনভাবে পরিবর্তিত হয় যাতে এ পরিবর্তন প্রশমিত হয়।"
- এস্টারিফিকেশন একটি সুপরিচিত উভমুখী বিক্রিয়া যার সাম্যাবস্থা ধ্রুবক তাপমাত্রা দ্বারা সামান্যই প্রভাবিত হয়।
- পানির বিভিন্ন অবস্থা (ফেজ) 1atm চাপে ও 273.16K তাপমাত্রায় সাম্যাবস্থায় থাকতে পারে। এ অবস্থায় তিনটি ফেজ একটি বিন্দুতে মিলিত হয়। বিন্দুটির নাম ট্রিপুল পয়েন্ট বা পানির ত্রৈধ বিন্দু। এ বিন্দুতে জলীয় বাষ্পের চাপ 611 pa বা 4.58 Torr.

পাঠোত্তর মূল্যায়ন

সঠিক উত্তরের পাশে টিক চিহ্ন (√) দিন।

১। লা শাটেলিয়ে নীতি অনুসারে চাপ বাড়ালে $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ বিক্রিয়াটি ডান দিকে যাবে কারণ

(ক) বিক্রিয়াটিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদনের মোল সংখ্যা কমে গেছে বলে

(খ) বিক্রিয়াটিতে তাপ উৎপন্ন হয়

(গ) একাধিক মোল উৎপন্ন হয়

২। $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) \qquad \Delta H = +180\ RJ/mol$

এ বিক্রিয়ার তাপমাত্রা বাড়ালে

(ক) NO উৎপাদনে সহায়তা করা হবে

(খ) NO বিভাজিত হবে

(গ) আগুন ধরে যাবে

(ঘ) বিপদ ঘটবে

৩। $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$ বিক্রিয়া থেকে অনবরত CO_2 গ্যাস সরিয়ে ফেল্‌লে

(ক) CaO কঠিন আকার ধারন করবে

(খ) CO_2 কে কাজে লাগানো যাবে

(গ) $Ca(HCO)_2$ উৎপাদন ব্যাহত হবে

(ঘ) $CaCO_3$ এর বিভাজন তরান্বিত হবে।

৪। এস্টারিফিকেশন হচ্ছে

(ক) অ্যালকোহল -অ্যালকোহল বিক্রিয়া

(খ) অ্যালকোহল - জৈব এসিড বিক্রিয়া

(গ) জৈব এসিডের বিভাজন

(ঘ) অ্যালকোহল পানে বাধা দান

৫। পানির ফেজ চিত্রে

(ক) পানির সঙ্গে বিভিন্ন রকমের বিক্রিয়ার চিত্র আছে

(খ) একটি Triple পয়েন্ট আছে

(গ) মেঘ-বৃষ্টি ও ঝড়ের চিত্র রয়েছে

(ঘ) হাইড্রোজেনের সঙ্গে অক্সিজেনের বিক্রিয়ার চিত্র রয়েছে

পাঠ ৪ সাম্যাবস্থার প্রয়োগ

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে

- এ পাঠ শেষে বাণিজ্য বা রসায়নের কিছু কিছু ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থা কিভাবে প্রয়োগ করা হয় তা জানা সম্ভব।

৯.৪.১: সাম্যাবস্থার বাণিজ্যিক প্রয়োগ

হেবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদনের তাপ রাসায়নিক সমীকরণটি হচ্ছে

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g); \qquad \Delta H_f^{\phi} = -92 \text{ KJ/mol}$$

এখানে লক্ষনীয় যে বিক্রিয়াটি তাপগ্রাহি এতে মোল সংখ্যা কমে যায়। লা শ্যাটেলিয়ে নীতি অনুসারে তাপ কমালে এবং চাপ বাড়ালে বিক্রিয়াটি সামনের দিকে অগ্রসর হবে। উচ্চ তাপে অ্যামোনিয়া বিভাজিত হবে। কিন্তু তাপমাত্রা কমালে বিক্রিয়ার বেগ কমে যাবে। দেখা গেছে তাপমাত্রা বাড়িয়ে বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা ঘনমাত্রায় যে ঘাটতি তা প্রভাবক (Catalyst) যোগ করে পূরণ করা যায়। তাই অ্যামোনিয়া উৎপাদনের জন্য যে প্রক্রিয়া তা হচ্ছে 1:3 অনুপাতে নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন মিশ্রিত করে প্রায় 600 (বা 200-1000) atm চাপে আয়তন সঙ্কুচিত করে প্রায় 500°C তাপমাত্রায় প্রভাবকের (Fe, Al_2O_3) প্রভাবে মিশ্রিত গ্যাসকে অ্যামোনিয়ায় পরিণত করা

কনট্যাক্ট (contact) পদ্ধতিতে সালফিউরিক এসিড উৎপাদনে

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) \quad \Delta H^{\phi} = -197 \text{ KJ/mol}$$

বিক্রিয়াটি ব্যবহৃত হয়। এখানেও লা শ্যাটেলিয়ার নীতি এবং ভ্যানাডিয়াম অক্সাইড (V_2O_5) প্রভাবক ব্যবহার করে 450°C তাপমাত্রায় 2 atm চাপে আশাপ্রদ সালফার ট্রাই অক্সাইড উৎপাদন হয়।

৯.৪.২: পানির আয়নীয় গুনফল

পানি নিজে নিজেই আয়নিত হয় (auto ionization)

$$2H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + OH^-(aq)$$

$$K' = \frac{[H_3O^+]\,[OH^-]}{[H_2O]^2}$$

বা $K'[H_2O]^2 = [H_3O^+]\,[OH^-] = [H^+][OH]$

অর্থাৎ $K_W = [H^+]\,[OH]^-$

$K_W = K'[H_2O]^2$ = আয়নিক গুণফল ধ্রুবক (ionic product constant)

পরীক্ষায় দেখা গেছে 25°C তাপমাত্রা বিশুদ্ধ পানির জন্য

$[H^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7}$ mol L^{-1} (সাধারণতঃ ইউনিট লেখা হয় না)

K_w এর বিশেষত্বটি বুঝা দরকার। যে পদার্থই দ্রবীভূত থাকুক না কেন 25°C তাপমাত্রায় জলীয় দ্রবণে $[H^+]$ ও $[OH^-]$ এর গুণফল সর্বদা 1.0×10^{-14} হবে। তিনটি অবস্থার দেখা পাওয়া যাবে।

(i) বিশুদ্ধ পানি বা নিরপেক্ষ দ্রবণ $[H^+] = [OH^-]$

(ii) এসিডিও দ্রবণ, $[H^+] > [OH^-]$

(iii) ক্ষারীয় দ্রবণ, $[OH^-] > [H^+]$

৯.৪.৩: দ্রাব্যতা গুণফল (solubility product) বা দ্রাব্যতা ধ্রুবক (solubility constant)

MX যৌগটি পানিতে দ্রবীভূত হয়ে

$$MX(s) \rightleftharpoons M^+(aq) + X^-(aq) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9.16)$$

(9.16) সাম্যাবস্থার উৎপত্তি করলে, সাম্যাবস্থা ধ্রুবক

$$K' = \frac{[M^+][X^-]}{[MX]}$$

$$K'[MX] = K_{sp} = [M^+][X^-]$$

K_{sp} কে দ্রাব্যতা গুণফল ধ্রুবক বা শুধু দ্রাব্যতা গুণফল বা দ্রাব্যতা ধ্রুবক বলে।

$$AgCl(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$$

$K_{sp} = 1.6\times10^{-10}$ (25°C তাপমাত্রায়)

$$BaSO_4(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$

$K_{sp} = 1.5\times10^{-9}$ (25°C তাপমাত্রায়)

K_{sp} মান অনুসারে AgCl অপেক্ষা $BaSO_4$ পানিতে অপেক্ষাকৃত অধিক দ্রাব্য।

৯.৪.৪: এসিড বিয়োজন ধ্রুবক (Acid dissociation constant)

অ্যাসিটিক এসিড একটি দুর্বল এসিড। পানিতে এটি নিম্নের ন্যায় বিক্রিয়া করে

$$CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$$

$$Ka = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

সাম্যাবস্থা ধ্রুবক Ka কে এসিড বিয়োজন ধ্রুবক বলে।

$$-LogKa = pka = -Log[H^+] - \log\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

$$pK_a = pH - Log\frac{[CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

$$= pH - Log\frac{[\text{লবন}]}{[\text{এসিড}]}$$

Ka বা pka এর মান থেকে এসিডটি দুর্বল (weak) বা সবল (strong) তা বুঝা যায়। যেমন 25°C তাপমাত্রায় $Ka(HCl) = 1.0 \times 10^7$ । একই তাপমাত্রায় ইথানয়িক (অ্যাসেটিক) এসিডের $Ka = 1.8 \times 10^{-5}$

৯.৪.৫: বিভাজন মাত্রা নির্ণয়

গ্যাসীয় বস্তু যদি তার বিভাজনের ফলে উৎপন্ন গ্যাসীয় দ্রব্যাদির সাথে সাম্যাবস্থায় থাকে তাহলে বস্তুটির বিভাজন মাত্রা (α) নির্ণয় করা যায়। এক মোল থেকে যদি n সংখ্যক মোল বিভাজিত দ্রব্য উৎপন্ন হয় তাহলে সিসটেমে মোট মোল সংখ্যা = $1+\alpha(n-1)$

সাম্যাবস্থায় যদি সকল দ্রব্য V আয়তন দখল করে তাহলে সাম্যাবস্থার ভিত্তিতে নির্ণীত মোলার ভর M এমন হবে যেন,

$$PV = \frac{W}{M}RT,\ W = \text{দ্রব্যটির ভর}$$

বিভাজনের পূর্বে আয়তন V_0 এবং দ্রব্যটির প্রকৃত মোলার ভর M_0 হলে

$$\frac{V}{V_0} = \frac{1+\alpha(n-1)}{1} = \frac{M_0}{M}$$

বা $$\alpha = \frac{M_0-M}{M(n-1)} \quad \text{..... (9.17)}$$

আবার V_0 আয়তনের সিসটেমের প্রাথমিক চাপ P_0 এবং সাম্যাবস্থায় উপনিত হবার পরও যদি আয়তন স্থির রাখা যায় তাহলে সাম্যাবস্থায় চাপের পরিবর্তন হবে। ধরা যাক এ চাপ P। তাহলে স্থির আয়তন ও তাপমাত্রায়

$$\alpha = \frac{P-P_0}{P(n-1)} \quad \text{..... (9.18)}$$

উদাহরণঃ 250°C তাপমাত্রায় 2.865g ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইড এক লিটার বদ্ধ পাত্রে আংশিক বিভাজিত হয়। বিভাজিত গ্যাসের চাপ 1atm। এ তাপমাত্রায় ফসফরাস পেন্টা ক্লোরাইডের বিভাজন মাত্রা নির্ণয় কর।

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

$$M = \frac{2.865 \times 0.082 \times 523}{1 \times 1} \quad [\because V = 1\ L,\ P = 1atm,\ T=250+273=523$$

$$=122.87\approx123$$

এবং $PV = \frac{W}{M}RT,\ W = 2.86g]$

$$\therefore \quad \alpha = \frac{208.5-123.0}{123(2-1)} = 0.695 \qquad [M_{O(PCl_5)} = 208.5,\ n = 2]$$

সারসংক্ষেপ

- হেবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদন সাম্যাবস্থার প্রয়োগের একটি উৎকৃষ্ট উদাহরণ। এ রকম আর একটি উদাহরণ কনট্যাকট্ পদ্ধতিতে সালফিউরিক এসিড উৎপাদনে সালফার ডাই অক্সাইডে সালফার ট্রাই অক্সাইডে পরিণত করার পদ্ধতি।
- পানির আয়নীক গুণফল, দ্রাব্যতা গুণফল এবং এসিড বিয়োজন ধ্রুবক নির্ণয়ে সাম্যাবস্থার বিবেচনা প্রধান বিষয়।
- বিভাজনযোগ্য দ্রব্যাদির বিভাজন মাত্রা নির্ণয়ও সাম্যাবস্থা ভিত্তিক।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন

সঠিক উত্তরটিতে টিক চিহ্ন (√) দিন।

(১) হেবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদনে তাপমাত্রা বৃদ্ধির বিরূপ প্রভাব দূর করা হয়

(ক) চাপ বৃদ্ধি করে, (খ)হাইড্রোজেনের ঘনমাত্রা বাড়িয়ে

(গ) নাইট্রোজেনের আংশিক চাপ বাড়িয়ে (ঘ) প্রভাবক ব্যবহার করে।

(২) $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) \quad \Delta_f H^{\phi} = -197KJ/mol$

যথাযথ বাণিজ্যিক উৎপাদন সম্ভব যদি

(ক) শুধু তাপমাত্রা বাড়ানো যায়

(খ) শুধু তাপমাত্রা কমানো যায়

(গ) তাপমাত্রা কমিয়ে চাপ বৃদ্ধি করা যায়

(ঘ) তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে চাপ বাড়িয়ে প্রভাবক ব্যবহার করা যায়।

৩। $Kw = 1.0 \times 10^{-14}$ mol^2L^{-2} হলে কোনটি ঠিক হবে না

(ক) $[H^+] = [OH^-] = 10\times10^{-7}$ $molL^{-1}$ হতে পারে

(খ) $[H^+] = 1.0 \times 10^{-9}$ $molL^{-1}$ এবং $[OH^-] = 1.0 \times 10^{-5}$ mol/L^{-1} হতে পারে।

(গ) $[H^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-6}$ $molL^{-1}$

(ঘ) $[H^+] = 1.0 \times 10^{-4}$ $molL^{-1}$ এবং $[OH^-] = 10 \times 10^{-11}$ mol/L

৪। 25°C তাপমাত্রায় $CaSO_4$, PbF_2, MnS এবং AgCl এর দ্রাব্যতা ধ্রুবক যথাক্রমে 2.4×10^{-5}, 7.1×10^{-8}, 5.0×10^{-7} ও 1.6×10^{-10}। 25°C তাপমাত্রায় পানিতে সবচেয়ে বেশী দ্রাব্য।

(ক) $CaSO_4$ (খ) AgCl (গ) PbF2 (ঘ) MnS

৫। 25°C তাপমাত্রায় একটি জলীয় দ্রবণে $[AcOH] = [AcO^-]$। $Ka = 1.8\times10^{-5}$ হলে দ্রবণটির $[H^+]$ হবে-

(ক) 0 (খ) 1.8×10^{-5} (গ) 1.8×10^{4} (ঘ) 1.8×10^{5}

চূড়ান্ত মূল্যায়ন

সংক্ষিপ্ত ও রচনামূলক প্রশ্নাবলী

১। রাসায়নিক সাম্যাবস্থা বলতে কি বোঝায়? রাসায়নিক সাম্যাবস্থার বৈশিষ্ট্যগুলো আলোচনা করুন।

২। উদাহরণসহ উভমুখী ও একমুখী বিক্রিয়া ব্যাখ্যা করুন।

৩। একটি উভমুখী বিক্রিয়াকে কিভাবে একমুখী করা যায়?

৪। সকল রাসায়নিক বিক্রিয়াই সাম্যাবস্থার দিকে ধাবমান ব্যাখ্যা করুন।

৫। সাম্যাঙ্ক বা সাম্য ধ্রুবক বলতে কি বোঝায়?

৬। ভর ক্রিয়ার সূত্র সাম্যাবস্থার সূত্রটি লিখুন। এই সূত্রের সাহায্যে সাম্য ধ্রুবকের সমীকরণটি লিখুন।

৭। K_p ও K_c বলতে কি বোঝায়? K_p ও K_c এর মধ্যে কিভাবে সম্পর্ক স্থাপন করা যায়?

৮। $PCl_{5(g)} \rightleftharpoons PCl_{3(g)}+Cl_{2(g)}$ এর বিক্রিয়ার বিয়োজন মাত্রা 'x' হলে K_p ও K_c এর একটি রাশিমালা উপপাদন করুন।

৯। স্থির তাপমাত্রায় চাপ বাড়ালে PCl_5 এর বিয়োজন মাত্রা হ্রাস পায়– ব্যাখ্যা করুন।

১০। ভরক্রিয়া সূত্র ব্যবহার করে নিম্নের বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবকের সমীকরণ লিখুন।
$N_2+3H_2 = 2NH_3$

১১। $H_2+I_2 = 2HI$ বিক্রিয়াটির উপর চাপের কোন প্রভাব আছে কি? যুক্তি দেখান।

১২। $A + B = 2C$ গ্যাসীয় বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় K_p হিসার করুন।

১৩। ল্যা - শ্যাটেলিয়াবের নীতি বিবৃত করুন।

১৪। ল্যা - শ্যাটেলিয়ারের নীতির আলোকে সাম্যাবস্থার উপর তাপমাত্রার প্রভাব বর্ণনা করুন।

১৫। ল্যা - শ্যাটেলিয়ারের নীতি অনুসারে নিম্নোক্ত বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার উপর তাপমাত্রা ও চাপের প্রভাব আলোচনা করুন।

(i) $N_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2NO$; $\Delta H = 180KJ$

(ii) $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$; $\Delta H = -92.4KJ$

(iii) $2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons 2SO_{3(g)}$ + তাপ