

સંતુલન (Equilibrium)

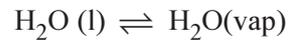
હેતુઓ :

આ એકમના અભ્યાસ પછી તમે...

- ભૌતિક અને રાસાયણિક પ્રક્રમોમાં સમાવિષ્ટ સંતુલનનો ગતિશીલ સ્વભાવ ઓળખી શકશો.
- સંતુલનના નિયમનું નિવેદન કરી શકશો.
- ભૌતિક અને રાસાયણિક સંતુલનોમાં સમાયેલી લાક્ષણિકતાઓ સમજાવી શકશો.
- સંતુલન અચળાંકો માટે અભિવ્યક્તિ આપી શકશો.
- K_p અને K_c વચ્ચેનો સંબંધ પ્રસ્થાપિત કરશો.
- પ્રક્રિયાની સંતુલન અવસ્થાને અસર કરતાં જુદા જુદા પરિબલો સમજાવી શકશો.
- આર્હેનિયસ, બ્રૉન્સ્ટેડ-લોરી અને લુઈસ સંકલ્પના પ્રમાણે પદાર્થોને એસિડ અથવા બેઈઝમાં વર્ગીકૃત કરી શકશો.
- એસિડ અને બેઈઝને તેમના આયનીકરણ અચળાંકના પર્યાયો પ્રમાણે નિર્ભળ કે પ્રબળ તરીકે વર્ગીકૃત કરી શકશો.
- આયનીકરણ અંશનો આધાર વિદ્યુત-વિભાજ્યની સાંદ્રતા અને સમાન આયન પર છે તેમ સમજાવી શકશો.
- હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા દર્શાવવા માટેના pH માપકમનું વર્ણન કરી શકશો.
- પાણીનું આયનીકરણ અને તેનો એસિડ અને બેઈઝ તરીકે દ્વિસ્વભાવ સમજાવી શકશો.
- પાણીનો આયનીય ગુણાકાર K_w અને pK_w નું વર્ણન કરી શકશો.
- બફર દ્રાવણોના ઉપયોગનું મૂલ્યાંકન કરી શકશો.
- દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક ગણી શકશો.

ઘણા બધા જૈવિક અને પર્યાવરણીય પ્રક્રમોમાં રાસાયણિક સંતુલનો અગત્યના છે. ઉદાહરણ તરીકે, આપણા ફેફસાંમાંથી આપણા સ્નાયુઓને O_2 ની વહેંચણી અને વહન દરમિયાનમાં O_2 અણુઓ અને પ્રોટીન હિમોગ્લોબીનનો સમાવેશ કરતાં સંતુલનો નિર્ણાયક ભાગ ભજવે છે. આવા જ સંતુલન જેમાં CO અણુઓ અને હિમોગ્લોબીનનો સમાવેશ થાય છે તે COની વિષાલુતાનો ખુલાસો આપે છે.

જ્યારે પ્રવાહી બંધ પાત્રમાં બાષ્પીભવન પામે છે ત્યારે પ્રમાણમાં વધારે ગતિજ ઊર્જા ધરાવતા અણુઓ પ્રવાહીની સપાટીને છોડી દઈને બાષ્પ કલામાં જાય છે અને પ્રવાહીના કેટલાક અણુઓ બાષ્પ અવસ્થામાંથી નીકળી પ્રવાહીની સપાટીને અથડાય છે અને પ્રવાહીમાં જળવાઈ રહે છે. આને લીધે અચળ બાષ્પદબાણ ઉત્પન્ન થાય છે, કારણ કે સંતુલન સ્થપાય છે. જેમાં પ્રવાહીમાંથી બાષ્પમાં ફેરવાતાં અણુઓ અને બાષ્પમાંથી પ્રવાહીમાં ફેરવાતા અણુઓની સંખ્યા સરખી હોય છે. આપણે એમ કહીએ છીએ કે આ તબક્કે પ્રણાલી **સંતુલન અવસ્થા**એ પહોંચેલ છે. જો કે આ સ્થિર સંતુલન હોતું નથી અને પ્રવાહી અને બાષ્પ વચ્ચે સીમા (boundary) પર ઘણી બધી પ્રવૃત્તિ થતી હોય છે. આમ, સંતુલને બાષ્પીભવનનો દર અને સંઘનનનો દર સરખા થાય છે. આને નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય :



બે અર્ધતીરો સૂચવે છે કે પ્રક્રમો બન્ને દિશામાં એકસાથે જ થતી હોય છે. સંતુલન અવસ્થામાં પ્રક્રિયકો અને નીપજોના મિશ્રણને **સંતુલન મિશ્રણ** કહે છે.

સંતુલન ભૌતિક અને રાસાયણિક એમ બંને પ્રક્રમ માટે પ્રસ્થાપિત કરી શકાય. પ્રાયોગિક પરિસ્થિતિ અને પ્રક્રિયકોના સ્વભાવને આધારે પ્રક્રિયા ઝડપી અથવા ધીમી હોઈ શકે, જ્યારે કોઈ તાપમાને બંધ પાત્રમાં પ્રક્રિયકો પ્રક્રિયા કરે છે અને નીપજો આપે છે ત્યારે પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતા ઘટતી જાય છે, જ્યારે નીપજોની સાંદ્રતા અમુક સમય સુધી વધતી રહે છે. ત્યારબાદ પ્રક્રિયકો કે નીપજોમાંથી કોઈની પણ સાંદ્રતા બદલાતી નથી. પ્રણાલીનો આ તબક્કો **ગતિશીલ સંતુલન** છે અને પુરોગામી અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાના વેગ સરખા થાય છે. આ

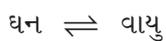
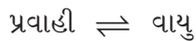
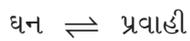
ગતિશીલ સંતુલન તબક્કાને કારણે જ પ્રક્રિયા મિશ્રણમાં જુદી જુદી સ્પીસિઝની સાંદ્રતાઓમાં ફેરફાર થતો નથી. પ્રક્રિયા આગળ વધીને રાસાયણિક સંતુલન અવસ્થાએ પહોંચશે તેના પ્રમાણના આધાર મુજબ ત્રણ સમૂહમાં વહેંચાયેલા છે.

- એવી પ્રક્રિયાઓ કે જે લગભગ પૂર્ણ થવા જાય છે અને પ્રક્રિયકની નગણ્ય સાંદ્રતા બાકી રહી જાય છે. કેટલાક કિસ્સાઓમાં, પ્રાયોગિક રીતે પણ આ ચકાસવું શક્ય હોતું નથી.
- એવી પ્રક્રિયાઓ જેમાં નીપજનું ઘણું ઓછું પ્રમાણ બને છે અને મોટા ભાગના પ્રક્રિયક સંતુલન તબક્કે ફેરફાર વગરના રહે છે.
- એવી પ્રક્રિયાઓ જ્યારે પ્રણાલી સંતુલનમાં હોય ત્યારે પ્રક્રિયકો અને નીપજો એકબીજાની સાથે સરખાવી શકાય તેમ હોય છે.

સંતુલનમાં પ્રક્રિયાના પ્રમાણ પ્રાયોગિક પરિસ્થિતિઓ જેવી કે પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતા, તાપમાન વગેરે સાથે બદલાય છે. સંક્રિયાત્મક (operational) પરિસ્થિતિનું અનુકૂળતમીકરણ (optimization) ઉદ્યોગો અને પ્રયોગશાળામાં અગત્યનું છે જેથી ઈચ્છિત નીપજો તરફ પ્રક્રમની દિશા રહે. આ એકમમાં સંતુલનની કેટલીક અગત્યની બાબતો જેમાં ભૌતિક અને રાસાયણિક પ્રક્રમોનો સમાવેશ થયેલ હોય છે તેનો તથા જલીય દ્રાવણોમાં આયનોને સમાવિષ્ટ કરતું સંતુલન જેને આયનીય સંતુલન કહે છે તે વિષે ચર્ચા કરવામાં આવી છે.

7.1 ભૌતિક પ્રક્રમમાં સંતુલન (Equilibrium in Physical Processes)

જો આપણે કેટલાક ભૌતિક પ્રક્રમોને તપાસીએ તો સંતુલને પ્રણાલીની લાક્ષણિકતાઓની વધારે સારી સમજણ પડે. ખૂબ જ જાણીતા ઉદાહરણોમાં કલા (phase) રૂપાંતરણ (transformation) પ્રક્રમો છે. દા.ત.,



7.1.1 ઘન-પ્રવાહી સંતુલન (Solid-Liquid Equilibrium)

બરફ અને પાણીને સંપૂર્ણ ઉષ્મારોધક (insulator) થર્મોસ ફ્લાસ્કમાં (તેમાં રહેલા પદાર્થો અને પર્યાવરણ સાથે કોઈ ઉષ્માનો વિનિમય નહિ હોય) 273 K તાપમાને અને એક વાતાવરણ દબાણે સંતુલન સ્થિતિમાં પ્રણાલી રસપ્રદ લાક્ષણિક

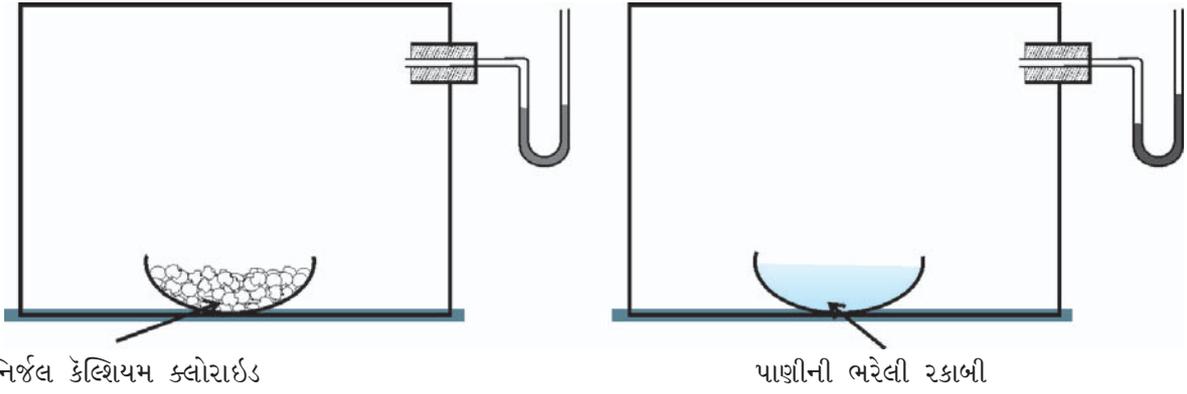
ખાસિયતો દર્શાવે છે. આપણે અવલોકન કરી શકીએ કે સમય સાથે પાણી અને બરફના દળ બદલાતા નથી અને તાપમાન પણ અચળ રહે છે. છતાં પણ સંતુલન સ્થિર (static) નથી. પાણી અને બરફ વચ્ચેની સીમા પર તીવ્ર પ્રવૃત્તિ નોંધી શકાશે. પાણીમાંના અણુઓ બરફની સીમા પર અથડાશે અને તેને વળગી રહેશે અને બરફના કેટલાક અણુ પ્રવાહી કલામાં જતા રહેશે. પાણી અને બરફના દળમાં કોઈ ફેરફાર થતો નથી કારણ કે પાણીમાંથી બરફ અને બરફમાંથી પાણીના અણુઓની હેરફેરનો દર વાતાવરણીય દબાણે અને 273 K તાપમાને સરખા હોય છે.

એ સ્વાભાવિક છે બરફ અને પાણી માત્ર અમુક તાપમાને અને દબાણે જ સંતુલનમાં હોય છે. કોઈપણ શુદ્ધ પદાર્થ માટે વાતાવરણના દબાણે, જે તાપમાને ઘન અને પ્રવાહી કલાઓ વચ્ચે સંતુલન હોય તે તાપમાનને પદાર્થનું સામાન્ય ગલનબિંદુ અથવા સામાન્ય ઠારણબિંદુ કહેવાય છે. અહીંયા પ્રણાલી ગતિશીલ સંતુલનમાં છે અને નીચેનું અનુમાન કરી શકીએ :

- બન્ને એકબીજાથી વિરુદ્ધ પ્રક્રમો એકસાથે જ થાય છે.
- બન્ને પ્રક્રમો સરખા દરે થતા હોવાથી બરફ અને પાણીના પ્રમાણ (જથ્થા) અચળ રહે છે.

7.1.2 પ્રવાહી-બાષ્પ સંતુલન (Liquid-Vapour Equilibrium)

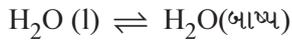
આ સંતુલન આપણે સારી રીતે સમજી શકીએ જો આપણે એક પારદર્શક પેટીનું ઉદાહરણ લઈએ. જેમાં પારો ભરેલી U-નળી (મેનોમીટર) હોય છે. ભેજ શોષણ કરતાં પદાર્થો જેવાં કે નિર્જળ કેલ્શિયમ ક્લોરાઇડ (અથવા ફોસ્ફોરસ પેન્ટોક્સાઇડ) થોડાક કલાકો માટે પેટીમાં મૂકવામાં આવે. ભેજશોષક પદાર્થને દૂર કરી પેટીને આપણે એક બાજુ નમાવીએ અને ઝડપથી પેટીમાં નીચેથી પાણી ભરેલો વોચ ગ્લાસ (અથવા પેટ્રી ડીશ) મૂકી દઈએ. આપણે અવલોકન કરી શકીશું કે મેનોમીટરના જમણી બાજુના છેડા પરના પારાની સપાટી ધીમે ધીમે વધે છે અને છેવટે અચળ મૂલ્ય પ્રાપ્ત કરે છે. એટલે કે પેટીની અંદરનું દબાણ વધે છે અને અચળ મૂલ્યે પહોંચે છે. વળી, વોચ ગ્લાસમાંના પાણીનું કદ ઘટે છે (આકૃતિ 7.1). શરૂઆતમાં પેટીની અંદર પાણીની બાષ્પ હતી નહિ (અથવા ઘણી ઓછી હતી). પાણીનું બાષ્પીભવન થયું એટલે પેટીમાંનું દબાણ પાણીના અણુઓ પેટીમાંની



આકૃતિ 7.1 અચળ તાપમાને સંતુલન બાષ્પદબાણનું માપન

વાયુમય કલામાં ઉમેરાયા. બાષ્પીભવન દર અચળ છે. છતાં દબાણમાં વધારાનો દર સમય સાથે ઘટે છે. કારણ કે બાષ્પનું પાણીમાં સંઘનન થાય છે. છેવટે તે એ સંતુલન પરિસ્થિતિએ લઈ જાય છે કે જ્યાં ચોખ્ખું (net) બાષ્પીભવન થતું નથી. આ એમ સૂચવે છે કે સંતુલન પ્રાપ્ત થાય ત્યાં સુધી વાયુમય અવસ્થામાંથી પ્રવાહી અવસ્થામાં જતાં પાણીના અણુઓની સંખ્યા વધે છે, એટલે કે,

બાષ્પીભવનનો દર = સંઘનનનો દર



સંતુલને આપેલ તાપમાને પાણીના અણુઓ વડે ઉત્પન્ન થયેલ દબાણ અચળ રહે છે અને તેને પાણીનું બાષ્પદબાણ (અથવા માત્ર બાષ્પદબાણ) કહે છે. પાણીનું બાષ્પદબાણ તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે. જો ઉપરનો પ્રયોગ મિથાઇલ આલ્કોહોલ, એસિટોન અને ઈથર લઈને ફરી કરવામાં આવે તો એવું જ અવલોકન મળશે. એક જ તાપમાને જુદા જુદા પ્રવાહીના સંતુલન બાષ્પદબાણ જુદા જુદા હોય છે અને જે પ્રવાહીનું બાષ્પદબાણ વધારે છે તે વધુ બાષ્પશીલ છે અને તેનું ઉત્કલનબિંદુ નીચું હોય છે.

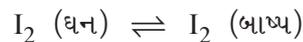
આપણે જો ત્રણ વોય ગ્લાસ જે દરેકમાં 1 ml એસિટોન, ઈથાઇલ આલ્કોહોલ અને પાણી અલગ અલગ રીતે લીધા છે અને વાતાવરણમાં ખુલ્લા મૂક્યા છે અને વધારે ગરમ રૂમમાં ઉપર પ્રમાણેના બધા કિસ્સામાં પ્રવાહીના જુદા જુદા કદ લેવામાં આવ્યા હોય અને પુનરાવર્તિત કરીએ તો એ અવલોકિત થશે કે બધા જ પ્રવાહી અદૃશ્ય થઈ જશે અને સંપૂર્ણ બાષ્પીભવન માટેનો સમય (i) પ્રવાહીનો સ્વભાવ (ii) પ્રવાહીનો જથ્થો (પ્રમાણ) અને (iii) તાપમાન પર આધાર રાખે છે. જ્યારે વોય ગ્લાસ વાતાવરણમાં ખુલ્લા હોય છે ત્યારે બાષ્પીભવનનો દર અચળ રહે છે, પરંતુ અણુઓ રૂમના વધારે કદમાં વિખેરાઈ

જાય છે. આને પરિણામે બાષ્પમાંથી પ્રવાહી અવસ્થા થવાના સંઘનનનો દર બાષ્પીભવનના દર કરતાં ઘણો ઓછો હોય છે. આ ખુલ્લી પ્રણાલીઓ છે અને તેથી ખુલ્લી પ્રણાલીમાં સંતુલને પહોંચવું શક્ય નથી.

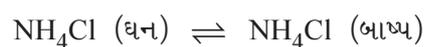
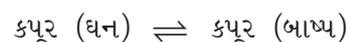
વાતાવરણ દબાણે (1.013 bar) અને 100 °C તાપમાને પાણી અને પાણીની બાષ્પ બંધ પાત્રમાં સંતુલનમાં હોય છે. પાણીનું ઉત્કલનબિંદુ 100 °C 1.013 bar દબાણે હોય છે. કોઈ પણ શુદ્ધ પ્રવાહી માટે એક વાતાવરણ દબાણે (1.013 bar) જે તાપમાને પ્રવાહી અને બાષ્પ સંતુલનમાં હોય છે તેને પ્રવાહીનું સામાન્ય ઉત્કલનબિંદુ કહે છે. પ્રવાહીનું ઉત્કલનબિંદુ વાતાવરણના દબાણ પણ આધાર રાખે છે. તે ઊંચાઈ પર પણ આધાર રાખે છે. વધુ ઊંચાઈએ ઉત્કલનબિંદુ ઘટે છે.

7.1.3 ઘન-બાષ્પ સંતુલન (Solid-Vapour Equilibrium)

હવે આપણે એવી પ્રણાલી લઈએ જેમાં ઘન ઉર્ધ્વપાતન પામી બાષ્પ કલામાં ફેરવાય છે. આપણે ઘન આયોડિનને બંધ પાત્રમાં લઈએ તો થોડી વાર પછી પાત્ર જાંબલી રંગની બાષ્પથી ભરાઈ જશે અને રંગની તીવ્રતા સમય સાથે વધશે. અમુક સમય પછી રંગની તીવ્રતા અચળ થાય છે અને આ તબક્કે સંતુલન પ્રાપ્ત થયેલ હોય છે. આમ ઘન આયોડિન ઉર્ધ્વપાતન પામી આયોડિન બાષ્પમાં ફેરવાય છે અને આયોડિનની બાષ્પ સંઘનન પામી ઘન આયોડિન આપે છે. આ સંતુલનને આ પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :



આ પ્રકારનું સંતુલન દર્શાવતા અન્ય ઉદાહરણો છે :



7.1.4 ઘન અથવા વાયુઓનું પ્રવાહીમાં વિલયનનો સમાવેશ કરતું સંતુલન (Equilibrium Involving Dissolution of Solid or Gases in Liquid)

પ્રવાહીમાં ઘન :

આપણા અનુભવ પરથી આપણે જાણીએ છીએ કે ઓરડાના તાપમાને આપેલ પાણીના જથ્થામાં ક્ષાર અથવા ખાંડનું સીમિત પ્રમાણ (જથ્થો) ઓગાળી શકીએ છીએ. જો આપણે ખાંડને ઊંચા તાપમાને ઓગાળીને ખાંડનો સીરપ બનાવીએ અને પછી તેને ઓરડાના તાપમાને ઠંડું પડવા દઈએ તો ખાંડના સ્ફટિકો અલગ પડે છે તેને આપણે સંતૃપ્ત દ્રાવણ કહીએ છીએ. આપેલ તાપમાને આપણે વધારે પદાર્થ ઓગાળી શકીએ નહિ તે દ્રાવણને સંતૃપ્ત દ્રાવણ કહે છે. સંતૃપ્ત દ્રાવણમાં દ્રાવ્યની સાંદ્રતા તાપમાન પર આધાર રાખે છે. ઘન અવસ્થામાં રહેલા અણુઓ અને દ્રાવણમાંના અણુઓ વચ્ચે ગતિશીલ સંતુલન હોય છે.

ખાંડ (દ્રાવણ) \rightleftharpoons ખાંડ (ઘન) અને

ખાંડનો વિલયન દર = ખાંડનો સ્ફટિકીકરણ દર.

બન્ને દરની સમાનતા અને સંતુલનનો ગતિશીલ સ્વભાવ રેડિયોસક્રિય ખાંડનો ઉપયોગ કરી સાબિત કરવામાં આવેલું છે. ધારો કે આપણે થોડી રેડિયોસક્રિય ખાંડના સંતૃપ્ત દ્રાવણમાં બિનરેડિયોસક્રિય ખાંડના સંતૃપ્ત દ્રાવણના થોડા ટીપાં ઉમેરીએ, તો થોડા સમય પછી રેડિયોસક્રિયતા બન્ને દ્રાવણોમાં જણાય છે. શરૂઆતમાં દ્રાવણમાં રેડિયોસક્રિય ખાંડના અણુ હતા નહિ, પણ સંતુલનના ગતિશીલ સ્વભાવને કારણે બન્ને કલામાંના રેડિયોસક્રિય અને બિનરેડિયોસક્રિય ખાંડના દ્રાવણમાં ફેરફાર થાય છે. રેડિયોસક્રિય અને બિનરેડિયોસક્રિય અણુઓનો ગુણોત્તર અચળ મૂલ્ય ન મળે ત્યાં સુધી વધ્યા કરે છે.

પ્રવાહીમાં વાયુઓ :

જ્યારે સોડા વોટરની બોટલ ખોલવામાં આવે છે ત્યારે તેમાં ઓગળેલા કાર્બન ડાયોક્સાઈડમાંથી થોડો કાર્બન ડાયોક્સાઈડ વાયુ ઉભરા સાથે ઝડપથી બહાર આવી જાય છે. આ ઘટના કાર્બન ડાયોક્સાઈડની જુદા જુદા દબાણે દ્રાવ્યતામાં ફેરફારને કારણે બને છે. દબાણ હેઠળ પ્રવાહીમાં ઓગળેલા અણુઓ અને વાયુમય અવસ્થામાં રહેલા અણુઓ વચ્ચે સંતુલન હોય છે. એટલે કે,

CO_2 (વાયુ) \rightleftharpoons CO_2 (દ્રાવણમાં)

આ સંતુલન હેઠ્ઠીના નિયમથી નિયંત્રિત છે. આ નિયમ જણાવે છે કે કોઈ પણ તાપમાને વાયુનું દળ જે દ્રાવકના

આપેલા દળમાં ઓગાળવામાં આવેલ છે તે દ્રાવકની ઉપરના વાયુના દબાણને સમપ્રમાણ હોય છે. તાપમાનના વધારા સાથે આ પ્રમાણ (જથ્થો) ઘટે છે. કાર્બન ડાયોક્સાઈડની દ્રાવ્યતા પાણીમાં જ્યારે સૌથી વધારે હોય ત્યારે સોડા વોટરને બોટલમાં ભરીને બંધ કરવામાં આવે છે. જેવી બોટલ ખોલવામાં આવે છે ત્યારે ઓગળેલા કાર્બન ડાયોક્સાઈડમાંથી થોડો છૂટો પડે છે જેથી નીચા દબાણે જરૂરી નવી સંતુલન પરિસ્થિતિએ એટલે કે વાતાવરણમાં તેના આંશિક દબાણને પહોંચી શકાય. આથી જ સોડા વોટરની બોટલને કેટલાક સમય માટે ખુલ્લી રાખવામાં આવે તો તેમાંથી કાર્બન ડાયોક્સાઈડ નીકળી જાય છે. આથી સામાન્યીકરણ કરી શકાય કે,

(i) ઘન \rightleftharpoons પ્રવાહી સંતુલન માટે, એક જ તાપમાને (ગલનબિંદુ) 1 atm (1.013 bar) દબાણે જ્યારે બન્ને કલાઓ સહઅસ્તિત્વ ધરાવે છે. જો પર્યાવરણ સાથે ઉષ્માનો વિનિમય ન હોય તો બન્ને કલાનું દળ અચળ રહે છે.

(ii) પ્રવાહી \rightleftharpoons બાષ્પ સંતુલન માટે આપેલ તાપમાને બાષ્પદબાણ અચળ હોય છે.

(iii) પ્રવાહીમાં ઘનના વિલયન માટે આપેલ તાપમાને દ્રાવ્યતા અચળ હોય છે.

(iv) પ્રવાહીમાં વાયુના વિલયન માટે પ્રવાહીમાં વાયુની સાંદ્રતા પ્રવાહી પરના વાયુના દબાણ(સાંદ્રતા)ને સમપ્રમાણ હોય છે. આ અવલોકનોનો કોષ્ટક 7.1માં ઉપસંહાર કરી શકાય.

કોષ્ટક 7.1 ભૌતિક સંતુલનની વિશિષ્ટતાઓ

પ્રક્રમ	તારણ
પ્રવાહી \rightleftharpoons બાષ્પ $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$P_{\text{H}_2\text{O}}$ આપેલા તાપમાને અચળ
ઘન \rightleftharpoons પ્રવાહી $\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{l})$	અચળ દબાણે ગલનબિંદુ નિશ્ચિત હોય છે.
દ્રાવ્ય(s) \rightleftharpoons દ્રાવ્ય (દ્રાવણ) ખાંડ(s) \rightleftharpoons ખાંડ (દ્રાવણ)	આપેલ તાપમાને દ્રાવણમાં દ્રાવ્યની સાંદ્રતા અચળ હોય છે.
વાયુ(g) \rightleftharpoons વાયુ(aq)	$[\text{વાયુ}(\text{aq})]/[\text{વાયુ}(\text{g})]$ આપેલ તાપમાને અચળ હોય છે.
$\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$	$[\text{CO}_2(\text{aq})]/[\text{CO}_2(\text{g})]$ આપેલ તાપમાને અચળ હોય છે.

7.1.5 ભૌતિક પ્રક્રમને સમાવતા સંતુલનની સામાન્ય વિશિષ્ટતાઓ (General Characteristics of Equilibria Involving Physical Processes)

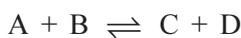
ઉપર ચર્ચા કરેલા ભૌતિક પ્રક્રમો માટે સંતુલનને પ્રણાલીની સામાન્ય વિશિષ્ટતાઓ નીચે પ્રમાણે છે :

- આપેલ તાપમાને બંધ પ્રણાલીમાં જ સંતુલન શક્ય છે.
- બન્ને એકબીજાની વિરુદ્ધ પ્રક્રમો સમાન દરે થાય છે અને ત્યાં ગતિશીલતા હોય છે છતાં પણ સ્થાયી પરિસ્થિતિ હોય છે.
- પ્રણાલીના બધા માપી શકાય તેવા ગુણધર્મો અચળ રહે છે.
- જ્યારે સંતુલન ભૌતિક પ્રક્રમ માટે મેળવાય છે ત્યારે આપેલ તાપમાને તેના કોઈ પણ એક પરિબળના અચળ મૂલ્યથી વિશિષ્ટતા દર્શાવે છે. કોષ્ટક 7.1માં આવી રાશિઓની યાદી કરેલ છે.
- કોઈ પણ તબક્કે આવી રાશિની માત્રા સૂચવે છે કે પ્રક્રિયા સંતુલન અવસ્થાએ પહોંચ્યા પહેલા ભૌતિક પ્રક્રમ કેટલો આગળ વધેલ છે.

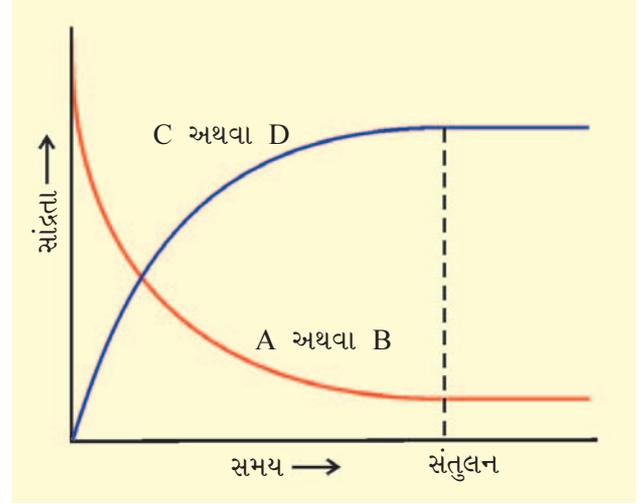
7.2 રાસાયણિક પ્રક્રમમાં સંતુલન-ગતિશીલ સંતુલન (Equilibrium in Chemical Processes - Dynamic Equilibrium)

ભૌતિક પ્રક્રમોની જેમ રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ પણ સંતુલન પ્રાપ્ત કરે છે. આ પ્રક્રિયાઓ બન્ને પુરોગામી અને પ્રતિગામી દિશામાં થતી હોય છે, જ્યારે પુરોગામી અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાના દર સમાન હોય છે એટલે કે પ્રક્રિયકો અને નીપજોની સાંદ્રતા અચળ હોય છે. આ રાસાયણિક સંતુલનની અવસ્થા છે. આ સંતુલન સ્વભાવે ગતિશીલ હોય છે. કારણ કે તે પુરોગામી પ્રક્રિયામાં પ્રક્રિયકોમાંથી નીપજ અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયામાં નીપજોમાંથી મૂળ પ્રક્રિયકો આપે છે.

સારા સંક્ષિપ્તીકરણ માટે આપણે એક સામાન્ય પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયાનો સામાન્ય કિસ્સો લઈએ.



સમય પસાર થવા સાથે નીપજો C અને Dનો ભરાવો (વધારો) થતો જાય છે અને પ્રક્રિયકો A અને Bનો અવક્ષય (ઘટાડો) થતો જાય છે (આકૃતિ 7.2). આને લીધે પુરોગામી પ્રક્રિયાનો દર ઘટે છે અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાનો દર વધે છે.



આકૃતિ 7.2 રાસાયણિક સંતુલનની પ્રાપ્તિ

ખરેખર બે પ્રક્રિયાઓ સમાન દરે થતી હોય છે અને પ્રક્રમ સંતુલન અવસ્થાએ પહોંચે છે.

એ જ પ્રમાણે આપણે જો C અને Dથી પ્રક્રિયા શરૂ કરીએ તો પણ સંતુલન અવસ્થાએ પહોંચી શકીએ છીએ. એટલે કે A અને B શરૂઆતથી હાજર હોતા નથી. આનું કારણ ગમે તે દિશામાંથી સંતુલન પહોંચી શકાય છે.

રાસાયણિક સંતુલનના ગતિશીલ સ્વભાવને આપણે હેબર વિધિથી એમોનિયાના સંશ્લેષણ દ્વારા નિર્દેશિત કરી શકીએ. શ્રેણીબદ્ધ પ્રયોગમાં હેબરે ડાયનાઈટ્રોજન અને ડાયહાઈડ્રોજનના જ્ઞાત જથ્થા ઊંચા તાપમાને અને દબાણે સમયાંતરે હાજર એમોનિયાનું પ્રમાણ નક્કી કર્યું. તે પ્રક્રિયા ન પામેલ ડાયનાઈટ્રોજન અને ડાયહાઈડ્રોજનના પ્રમાણ પણ નક્કી કરી શક્યા. આકૃતિ 7.4 દર્શાવે છે કે અમુક સમય પછી કેટલાક પ્રમાણમાં પ્રક્રિયકો હાજર હોવા છતાં મિશ્રણનું સંઘટન (composition) અચળ રહે છે. સંઘટનમાં અચળતા દર્શાવે છે કે સંતુલન પહોંચી ગયા છીએ. પ્રક્રિયાનો ગતિશીલ સ્વભાવ સમજવા માટે અગાઉના જેવી જ પરિસ્થિતિમાં (આંશિક દબાણ અને તાપમાન) એમોનિયાનું સંશ્લેષણ કરવામાં આવ્યું પરંતુ H₂ના સ્થાને ટ્યુટેરિયમ D₂નો ઉપયોગ કર્યો. પ્રક્રિયા મિશ્રણ H₂ અથવા D₂ સાથે શરૂ કરતાં સમાન સંઘટન સાથે સંતુલન પ્રાપ્ત થાય છે. ફરક માત્ર એટલો હોય છે H₂ અને NH₃ને બદલે D₂ અને ND₃ હાજર હોય છે. સંતુલન પ્રાપ્ત થયા પછી આ બન્ને મિશ્રણો (H₂, N₂, NH₃ અને D₂, N₂ અને ND₃) મિશ્ર થાય છે અને થોડા સમય માટે રહે છે.

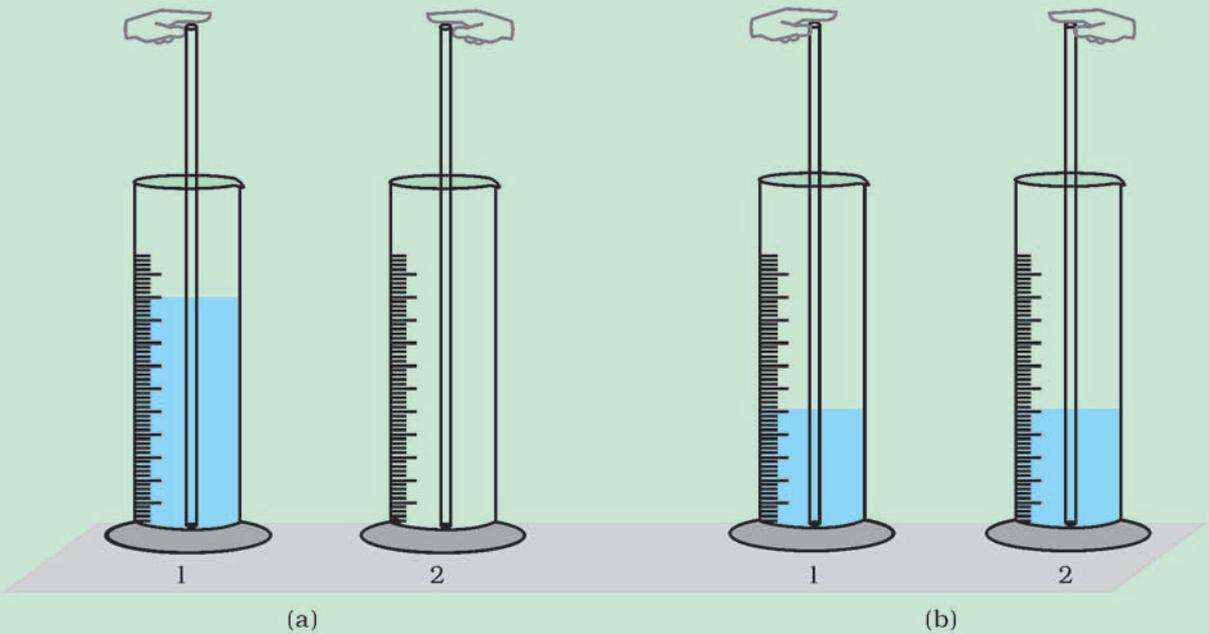
ગતિશીલ સંતુલન – વિદ્યાર્થી માટે પ્રવૃત્તિ

ભૌતિક પ્રક્રમ હોય કે રાસાયણિક પ્રક્રમ હોય તો પણ સંતુલન હંમેશાં ગતિશીલ હોય છે. આનું નિર્દેશન રેડિયોસક્રિય સમસ્થાનિકોનો ઉપયોગ કરીને કરી શકીએ. શાળાની પ્રયોગશાળામાં આ શક્ય નથી. જો કે નીચેની પ્રવૃત્તિ કરી તેને સહેલાઈથી સમજી શકીશું. આ પ્રવૃત્તિ 5 થી 6 વિદ્યાર્થીઓના સમૂહમાં કરી શકાય.

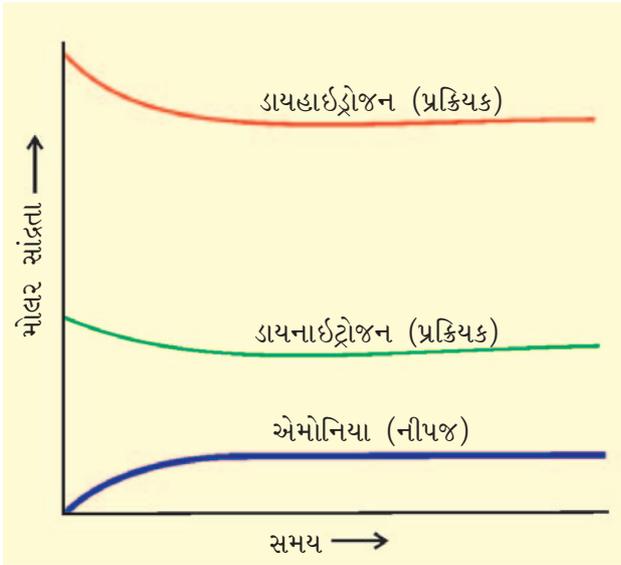
બે 100 mLના અંકિત નળાકાર લો (જેમને 1 અને 2 નિશાની કરો) અને 30 cm લંબાઈવાળી બે ક્સનળીઓ લો. ક્સનળીના વ્યાસ સરખા હોવા જોઈએ. 3થી 5 mm તફાવત જેટલો હોય તો ચાલે. નળાકાર-1ને રંગીન પાણી લઈ લગભગ અડધે સુધી ભરી દો (રંગીન પાણી બનાવવા પોટેશિયમ પરમેંગેનેટના સ્ફટિકને પાણીમાં ઓગાળો) અને બીજો નળાકાર-2 ખાલી રાખો.

નળાકાર-1માં એક નળી-1 મૂકો અને નળાકાર-2માં નળી-2માં મૂકો. એક નળીને નળાકાર-1માં ડૂબાડો. તેનો ઉપરનો ભાગ આંગળી વડે બંધ કરો અને રંગીન પાણીને નળાકાર-2ના નીચેના ભાગમાં દાખલ કરી દો. બીજા નળાકારમાં રાખેલી બીજી નળીનો ઉપયોગ કરી સમાન રીતથી નળાકાર-2માંથી નળાકાર-1માં દાખલ કરો. આ પ્રમાણે રંગીન પાણીને બે નળીઓનો ઉપયોગ કરીને નળાકાર 1 થી 2માં અને નળાકાર 2થી 1માં ત્યાં સુધી હેરફેર કરો જ્યાં સુધી તમને લાગે નહિ કે બંને નળાકારમાં રંગીન પાણીની સપાટી અચળ થઈ ગઈ છે.

જો તમે રંગીન પાણીને બે નળાકાર વચ્ચે આંતર હેરફેર ચાલુ રાખો જેથી બંને નળાકારમાં રંગીન પાણીમાં આગળ ઉપર કોઈ હેરફેર થશે નહિ. આપણે જો સપાટીની અનુરૂપતા(analogy)ને પ્રક્રિયક અને નીપજની સાંદ્રતાના રૂપમાં બંને નળાકારમાં ગણીએ તો આપણે કહી શકીએ કે હેરફેરનો પ્રક્રમ અચળતા પ્રાપ્ત કર્યા પછી પણ ચાલુ રહે છે. જે પ્રક્રમનો ગતિશીલ સ્વભાવ દર્શાવે છે. જો આપણે જુદા જુદા વ્યાસવાળી બે નળીઓ લઈને પ્રયોગનું પુનરાવર્તન કરીએ તો બંને નળાકારમાં રંગીન પાણીની સપાટી અલગ અલગ છે. બંને નળાકારમાં સપાટીમાં ફેરફાર માટે વ્યાસ કેવી રીતે જવાબદાર છે ? ખાલી નળાકાર (2) શરૂઆતમાં તેમાં નીપજ ન હોવાનું સૂચવે છે.



આકૃતિ 7.3 સંતુલનના ગતિશીલ સ્વભાવનું નિદર્શન
(a) પ્રારંભિક તબક્કો (b) સંતુલન પ્રાપ્ત કર્યા પછી અંતિમ તબક્કો

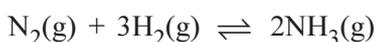


આકૃતિ 7.4 $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ પ્રક્રિયાના સંતુલનનું ચિત્રણ

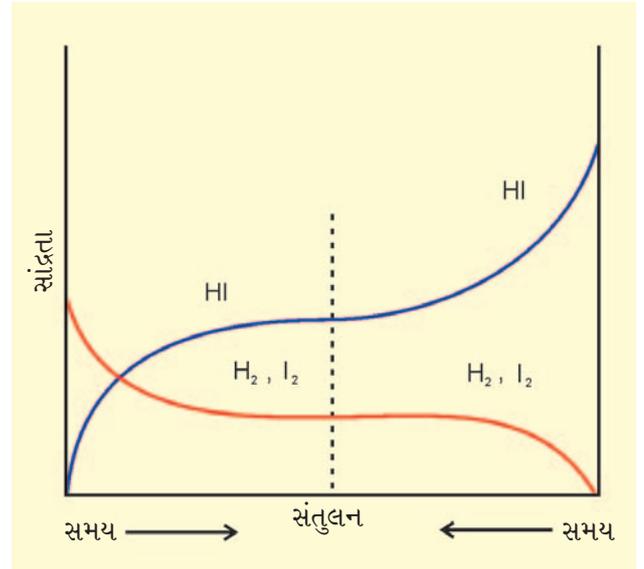
પછી જ્યારે આ મિશ્રણનું પૃથક્કરણ કરવામાં આવ્યું ત્યારે જણાયું કે એમોનિયાની સાંદ્રતા અગાઉના જેટલી જ છે. જ્યારે આ મિશ્રણનું દળસ્પેક્ટ્રોમીટર વડે પૃથક્કરણ કરવામાં આવે છે ત્યારે એમોનિયા અને ડ્યુટેરિયમવાળા એમોનિયા ધરાવતા બધા રૂપો (NH_3 , NH_2D , NHD_2 અને ND_3) ડાયહાઈડ્રોજન અને તેમના ડ્યુટેરિયમના સ્વરૂપો (H_2 , HD અને D_2) હાજર છે. આથી કોઈ તારણ કરી શકે કે અણુમાં H અને D પરમાણુનું અસ્ક્રુટક (scrambling) મિશ્રણમાં પુરોગામી અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાઓ ચાલુ હોવાનું પરિણામ દર્શાવે છે. જો પ્રક્રિયા સંતુલન પ્રાપ્તિ પછી રોકાઈ જ ગઈ હોત તો આ પ્રમાણે સમસ્થાનિકોનું મિશ્રણ થયું ના હોત.

સમસ્થાનિક(ડ્યુટેરિયમ)નો ઉપયોગ એમોનિયાની બનાવટમાં સ્પષ્ટ રીતે સૂચવે છે કે રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ ગતિશીલ સંતુલનની અવસ્થાએ પહોંચે છે જેમાં પુરોગામી અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાના દર સમાન થાય છે અને તેથી સંઘટનમાં ચોખ્ખો (net) ફેર થતો નથી.

સંતુલન બન્ને બાજુએથી પ્રાપ્ત કરી શકાય. ભલે આપણે $N_2(g)$ અને $H_2(g)$ લઈને $NH_3(g)$ મેળવીએ અથવા $NH_3(g)$ લઈને તેને $N_2(g)$ અને $H_2(g)$ માં વિઘટન કરીએ.



આ જ પ્રમાણે આપણે પ્રક્રિયા $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ લઈએ. આપણે શરૂઆતમાં H_2 અને I_2 ની સરખી સાંદ્રતા લઈને કરીએ તો પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં આગળ વધશે અને H_2 અને I_2 ની સાંદ્રતા ઘટશે, જ્યારે HI ની સાંદ્રતા વધશે જ્યાં સુધી આ બધા જ સંતુલને અચળ નહિ થાય (આકૃતિ 7.5). આપણે એકલો HI લઈએ તો પ્રતિગામી પ્રક્રિયાની દિશામાં પ્રક્રિયા આગળ વધશે. HI ની સાંદ્રતા ઘટશે અને H_2 અને I_2 ની સાંદ્રતા વધશે જ્યાં સુધી તે અચળ નહિ થાય અને સંતુલન પ્રાપ્ત કરશે (આકૃતિ 7.5). જો H_2 અને I_2 ના પરમાણુની કુલ સંખ્યા આપેલ કદમાં સરખી હોય તો સમાન સંતુલન મિશ્રણ મળશે. ભલે આપણે પ્રક્રિયાઓમાંથી અથવા નીપજોમાંથી પ્રક્રિયા શરૂ કરીએ.



આકૃતિ 7.5 $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$

પ્રક્રિયામાં સંતુલન અચળાંક ગમે તે દિશામાંથી પ્રાપ્ત કરી શકાય.

7.3 રાસાયણિક સંતુલનનો નિયમ અને સંતુલન અચળાંક (Law of Chemical Equilibrium and Equilibrium Constant)

પ્રક્રિયા અને નીપજોના સંતુલન અવસ્થાએ મિશ્રણને સંતુલન મિશ્રણ કહે છે. આ વિભાગમાં સંતુલન મિશ્રણના સંઘટનના ઘણા બધા અગત્યના પ્રશ્નોને સમજાવું. સંતુલન મિશ્રણમાં પ્રક્રિયા અને નીપજોની સાંદ્રતા વચ્ચે શું સંબંધ છે ? પ્રારંભિક સાંદ્રતામાંથી સંતુલન સાંદ્રતાઓ કેવી રીતે નક્કી કરીશું ? સંતુલન મિશ્રણનું સંઘટન બદલવા માટે આપણે

કયા પરિબલોનો ઉપયોગ કરીશું? છેલ્લો પ્રશ્ન ખાસ કરીને H_2 , NH_3 , CaO વગેરે જેવા ઔદ્યોગિક રસાયણોના સંશ્લેષણ માટે પરિસ્થિતિઓ પસંદ કરીશું.

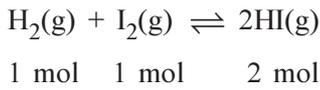
આ પ્રશ્નોના જવાબ આપવા માટે આપણે સામાન્ય પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા $A + B \rightleftharpoons C + D$ ને ધ્યાનમાં લઈશું.

જ્યાં, સંતુલિત રાસાયણિક સમીકરણમાં A અને B પ્રક્રિયકો છે અને C અને D નીપજો છે. ઘણી પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયાઓના અભ્યાસના આધારે નોર્વેના વૈજ્ઞાનિકો કેટો મેક્સીમિલન ગુલ્ડબર્ગ (Cato Maxmillian Guldberg) અને પીટર વાગે (Peter Waage) 1864માં દરખાસ્ત કરી કે સંતુલન મિશ્રણમાં સાંદ્રતા નીચેના સંતુલિત સમીકરણ સાથે સંબંધિત છે :

$$K_c = \frac{[C][D]}{[A][B]} \quad (7.1)$$

જ્યાં, K_c સંતુલન અચળાંક છે અને જમણી બાજુની અભિવ્યક્તિ(expression)ને સંતુલન અચળાંક અભિવ્યક્તિ કહે છે.

સંતુલન સમીકરણને સક્રિય જથ્થાનો (દળનો) નિયમ પણ કહેવાય છે. રસાયણવિજ્ઞાનના અગાઉના દિવસોમાં સાંદ્રતાને સક્રિય જથ્થો (દળ) કહેવામાં આવતો હતો. તેમના કાર્યને વધુ સારી રીતે બિરદાવવા માટે આપણે H_2 અને I_2 ની સીલ કરેલા પાત્રમાં 731 K તાપમાને ગણતરીમાં લઈએ.



છ પ્રયોગો કરવામાં આવ્યા હતા : જેમાં પ્રારંભિક પરિસ્થિતિઓ બદલીને કરવામાં આવેલ હતા. પહેલા ચાર પ્રયોગો (1, 2, 3, 4)માં H_2 અને I_2 લઈને કરવામાં આવેલ અને બાકીના બે પ્રયોગો (5 અને 6)માં માત્ર HI લઈને પ્રયોગ કરવામાં આવેલા. પ્રયોગ 1, 2, 3, 4 H_2 અને/અથવા I_2 ની જુદી જુદી સાંદ્રતા લઈને કરવામાં આવેલ અને એવું અવલોકન કરવામાં આવ્યું કે જાંબુડિયા રંગની તીવ્રતા અચળ રહી અને સંતુલન પ્રાપ્ત થયું હતું. તે જ પ્રમાણે પ્રયોગ 5 અને 6માં સંતુલન વિરુદ્ધ દિશામાંથી પ્રક્રિયા કરીને પ્રાપ્ત થયું હતું.

બધા જ પ્રયોગોના સેટમાં મળેલી માહિતી કોષ્ટક 7.2માં આપેલ છે.

પ્રયોગ 1, 2, 3 અને 4 ઉપરથી એ સ્પષ્ટ છે કે પ્રક્રિયા પામેલા ડાયહાઈડ્રોજનના મોલની સંખ્યા = પ્રક્રિયા પામેલા આયોડિનના મોલની સંખ્યા = $\frac{1}{2}$ (નીપજેલા HIના મોલની સંખ્યા). વળી પ્રયોગ 5 અને 6 પણ સૂચવે છે કે,

$$[H_2(g)]_{eq} = [I_2(g)]_{eq}$$

ઉપરની હકીકતો જાણ્યા પછી પ્રક્રિયકો અને નીપજોની સાંદ્રતાઓ વચ્ચે સંબંધ પ્રસ્થાપિત કરવા માટે ઘણા સંયોગીકરણના પ્રયત્ન થયા. આપણે સરળ અભિવ્યક્તિ ગણતરીમાં લઈશું.

$$[HI(g)]_{eq} / [H_2(g)]_{eq} [I_2(g)]_{eq}$$

કોષ્ટક 7.3 પરથી જણાશે કે જો આપણે પ્રક્રિયકો અને નીપજોની સંતુલન સાંદ્રતાઓ મૂકીએ તો ઉપરની અભિવ્યક્તિ

કોષ્ટક 7.2 H_2 , I_2 અને HI ની પ્રારંભિક અને સંતુલન સાંદ્રતાઓ

પ્રયોગ ક્રમાંક	પ્રારંભિક સાંદ્રતા / mol L ⁻¹			સંતુલન સાંદ્રતા / mol L ⁻¹		
	[H ₂ (g)]	[I ₂ (g)]	[HI(g)]	[H ₂ (g)]	[I ₂ (g)]	[HI(g)]
1	2.4×10^{-2}	1.38×10^{-2}	0	1.14×10^{-2}	0.12×10^{-2}	2.52×10^{-2}
2	2.4×10^{-2}	1.68×10^{-2}	0	0.92×10^{-2}	0.20×10^{-2}	2.96×10^{-2}
3	2.44×10^{-2}	1.98×10^{-2}	0	0.77×10^{-2}	0.31×10^{-2}	3.34×10^{-2}
4	2.46×10^{-2}	1.76×10^{-2}	0	0.92×10^{-2}	0.22×10^{-2}	3.08×10^{-2}
5	0	0	3.04×10^{-2}	0.345×10^{-2}	0.345×10^{-2}	2.35×10^{-2}
6	0	0	7.58×10^{-2}	0.86×10^{-2}	0.86×10^{-2}	5.86×10^{-2}

કોષ્ટક 7.3 પ્રક્રિયકોની સંતુલન સાંદ્રતાને સમાવિષ્ટ કરતી અભિવ્યક્તિ



પ્રયોગ ક્રમાંક	$\frac{[\text{HI}(\text{g})]_{\text{eq}}}{[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eq}} [\text{I}_2(\text{g})]_{\text{eq}}}$	$\frac{[\text{HI}(\text{g})]_{\text{eq}}^2}{[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eq}} [\text{I}_2(\text{g})]_{\text{eq}}}$
	1	1840
2	1610	47.6
3	1400	46.7
4	1520	46.9
5	1970	46.4
6	790	46.4

અચળાંકથી ઘણી જ દૂર છે. જો આપણે અભિવ્યક્તિ,

$$\frac{[\text{HI}(\text{g})]_{\text{eq}}^2}{[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eq}} [\text{I}_2(\text{g})]_{\text{eq}}}$$

ગણતરીમાં લઈએ તો તે છ પ્રયોગોમાં અચળાંક મૂલ્ય આપે છે (કોષ્ટક 7.3માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે). આપણે એ પણ જોઈ શકીએ કે પ્રક્રિયકો અને નીપજોની સાંદ્રતાનો ઘાતાંક (power) ખરેખર રાસાયણિક પ્રક્રિયા માટેના સમીકરણમાં તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંક છે. આમ $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$ પ્રક્રિયા માટે સમીકરણ 7.1 પ્રમાણે લખતાં સંતુલન અચળાંક K નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$K_c = \frac{[\text{HI}(\text{g})]_{\text{eq}}^2}{[\text{H}_2(\text{g})]_{\text{eq}} [\text{I}_2(\text{g})]_{\text{eq}}} \quad (7.2)$$

સામાન્ય રીતે પાદાંક 'eq' (સંતુલન માટે વપરાયેલ) સાંદ્રતા પર્યાયોમાંથી રદ કરવામાં આવે છે. એવું માની લેવામાં આવે છે કે K_c ની અભિવ્યક્તિમાં સાંદ્રતાઓ સંતુલન સાંદ્રતાઓ જ હોય છે. આથી આપણે લખી શકીએ કે,

$$K_c = \frac{[\text{HI}(\text{g})]^2}{[\text{H}_2(\text{g})][\text{I}_2(\text{g})]} \quad (7.3)$$

પાદાંક c સૂચવે છે કે K_c ની અભિવ્યક્તિમાં સાંદ્રતા mol L^{-1} છે.

આપેલ તાપમાને પ્રક્રિયા નીપજોની સાંદ્રતાને સંતુલિત સમીકરણમાંના અનુરૂપ તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંકને ઘાતાંક (power) તરીકે લેતાં અને તેને પ્રક્રિયકોની વ્યક્તિગત સાંદ્રતાઓને અનુરૂપ તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંકને ઘાતાંક તરીકે લઈને ભાગવાથી અચળ મૂલ્ય મળે છે. આને સંતુલન નિયમ અથવા રાસાયણિક સંતુલનનો નિયમ કહે છે.

સામાન્ય પ્રક્રિયા $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ માટે સંતુલન અચળાંક નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય :

$$K_c = \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} \quad (7.4)$$

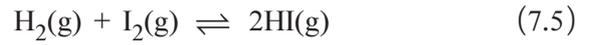
જ્યાં, $[\text{A}]$, $[\text{B}]$, $[\text{C}]$ અને $[\text{D}]$ પ્રક્રિયકો અને નીપજોની અનુક્રમે સંતુલન સાંદ્રતા છે.

$4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ માટે સંતુલન અચળાંક નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$K_c = \frac{[\text{NO}]^4 [\text{H}_2\text{O}]^6}{[\text{NH}_3]^4 [\text{O}_2]^5}$$

જુદી જુદી સ્પીસિઝની મોલર સાંદ્રતા ચોરસ કૌંસમાં દર્શાવીને સૂચવવામાં આવે છે. અગાઉ જણાવ્યા પ્રમાણે એમ સ્વીકારવામાં આવે છે કે તે સંતુલન સાંદ્રતાઓ છે, જ્યારે સંતુલન અચળાંક માટે અભિવ્યક્તિ દર્શાવીએ ત્યારે કલા (s , l , g) સામાન્ય રીતે ધ્યાનમાં લેવાતી નથી.

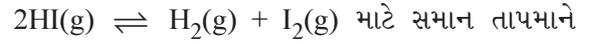
આપણે પ્રક્રિયા



માટે સંતુલન અચળાંક K_c નીચે પ્રમાણે લખી શકીએ.

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = X \quad (7.6)$$

પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયા



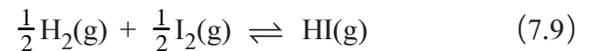
માટે સમાન તાપમાને સંતુલન અચળાંક

$$K'_c = \frac{[\text{H}_2][\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} = \frac{1}{X} = \frac{1}{K_c} \quad (7.7)$$

$$\text{આમ, } K'_c = \frac{1}{K_c} \quad (7.8)$$

પ્રતિગામી પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક પુરોગામી દિશામાંની પ્રક્રિયા માટેના સંતુલન અચળાંકનો વ્યસ્ત (reciprocal) હોય છે.

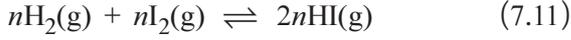
જો આપણે રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંકોને કોઈ એક અવયવથી ગુણીને બદલીએ તો આપણને ખાત્રી થવી જોઈએ કે સંતુલન અચળાંકમાં પણ આ ફેરફારનું પ્રતિબિંબ પડે છે (અસર થાય છે). ઉદાહરણ તરીકે જો પ્રક્રિયા (7.5) આ પ્રમાણે લખીએ :



તો સંતુલન અચળાંક ઉપરોક્ત પ્રક્રિયા માટે નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$K''_c = \frac{[\text{HI}]}{[\text{H}_2]^{\frac{1}{2}} [\text{I}_2]^{\frac{1}{2}}} = \left[\frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} \right]^{\frac{1}{2}} = X^{\frac{1}{2}} = K_c^{\frac{1}{2}} \quad (7.10)$$

સમીકરણ (7.5)ને n વડે ગુણતાં આપણને મળશે



આથી પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક K_c^n થશે. આ પરિણામો કોષ્ટક 7.4માં દર્શાવેલ છે એ નોંધવું જોઈએ, કારણ કે સંતુલન અચળાંક K_c અને K_c' ને જુદી જુદી સંખ્યાના મૂલ્યો હોય છે. સંતુલન અચળાંકનું મૂલ્ય જ્યારે રજૂ કરીએ ત્યારે સંતુલિત સમીકરણનું સ્વરૂપ રજૂ કરવું અગત્યનું છે.

કોષ્ટક 7.4 સામાન્ય પ્રક્રિયા અને તેના ગુણકો સાથે સંતુલન અચળાંકના સંબંધો

રાસાયણિક સમીકરણ	સંતુલન અચળાંક
$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$	K_c
$cC + dD \rightleftharpoons aA + bB$	$K_c' = (1/K_c)$
$naA + nbB \rightleftharpoons ncC + ndD$	$K_c'' = (K_c^n)$

કોયડો 7.1

500 K તાપમાને સંતુલને N_2 અને H_2 માંથી NH_3 ની બનાવટમાં નીચે પ્રમાણેની સાંદ્રતા મળેલ છે.

$[\text{N}_2] = 1.5 \times 10^{-2} \text{ M}$, $[\text{H}_2] = 3.0 \times 10^{-2} \text{ M}$ અને $[\text{NH}_3] = 1.2 \times 10^{-2} \text{ M}$. સંતુલન અચળાંક ગણો.

ઉકેલ :

$\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ પ્રક્રિયા માટે, સંતુલન અચળાંક નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$\begin{aligned} K_c &= \frac{[\text{NH}_3(\text{g})]^2}{[\text{N}_2(\text{g})][\text{H}_2(\text{g})]^3} \\ &= \frac{(1.2 \times 10^{-2})^2}{(1.5 \times 10^{-2}) \times (3.0 \times 10^{-2})^3} \\ &= 0.106 \times 10^4 = 1.06 \times 10^3 \end{aligned}$$

કોયડો 7.2

સંતુલને એક બંધ પાત્રમાં 800 K તાપમાને સાંદ્રતાઓ નીચે પ્રમાણે છે :

$\text{N}_2 = 3.0 \times 10^{-3} \text{ M}$, $\text{O}_2 = 4.2 \times 10^{-3} \text{ M}$ અને $\text{NO} = 2.8 \times 10^{-3} \text{ M}$ છે તો

$\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g})$ માટે K_c કેટલો હશે ?

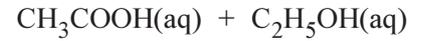
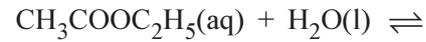
ઉકેલ :

પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક K_c નીચે પ્રમાણે લખી શકાય,

$$\begin{aligned} K_c &= \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} \\ &= \frac{(2.8 \times 10^{-3} \text{ M})^2}{(3.0 \times 10^{-3} \text{ M}) \times (4.2 \times 10^{-3} \text{ M})} \\ &= 0.622 \end{aligned}$$

7.4 સમાંગ સંતુલન (Homogeneous Equilibria)

સમાંગ પ્રણાલીમાં બધા જ પ્રક્રિયકો અને નીપજો સમાન કલામાં હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ પ્રક્રિયામાં પ્રક્રિયકો અને નીપજો સમાંગ કલામાં છે. તે જ પ્રમાણે નીચેની પ્રક્રિયાઓમાં પણ



અને $\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{SCN}^{-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})^{2+}(\text{aq})$ બધા જ પ્રક્રિયકો અને નીપજો સમાંગ દ્રાવણ કલામાં છે. આપણે કેટલીક સમાંગ પ્રક્રિયાઓ માટે સંતુલન અચળાંક ગણતરીમાં લઈશું.

7.4.1 વાયુમય પ્રણાલીઓ માટે સંતુલન અચળાંક (Equilibrium Constant in Gaseous System)

આપણે અત્યાર સુધી પ્રક્રિયાઓના સંતુલન અચળાંક પ્રક્રિયકો અને નીપજોની મોલર સાંદ્રતામાં રજૂ કર્યા હતા અને સંજ્ઞા K_c નો ઉપયોગ કરેલો. વાયુનો સમાવેશ કરતી પ્રક્રિયાઓમાં સામાન્ય રીતે સંતુલન અચળાંક આંશિક દબાણના પર્યાયમાં રજૂ કરવો વધારે અનુકૂળ રહે છે.

આદર્શ વાયુ સમીકરણ નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$pV = nRT$$

$$\Rightarrow p = \frac{n}{V} RT$$

જ્યાં, p દબાણ Pa માં છે, n વાયુના મોલની સંખ્યા છે. V વાયુનું કદ m^3 માં છે અને T તાપમાન કેલ્વિનમાં છે.

આથી,

$\frac{n}{V}$ સાંદ્રતા છે, જે mol/m³ માં દર્શાવી શકાય. જો સાંદ્રતા c mol/L અથવા mol/dm³ હોય અને p bar હોય તો,

$$p = cRT$$

આપણે લખી શકીએ કે $p = [\text{વાયુ}] RT$

જ્યાં, R = 0.0831 bar litre / mol K

અચળ તાપમાને વાયુનું દબાણ તેની સાંદ્રતાને સમપ્રમાણ છે એટલે કે $p \propto [\text{વાયુ}]$.

સંતુલનમાં રહેલી પ્રક્રિયા

$\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$ માટે આપણે લખી શકીએ કે,

$$K_c = \frac{[\text{HI}(\text{g})]^2}{[\text{H}_2(\text{g})][\text{I}_2(\text{g})]} \text{ અથવા}$$

$$K_c = \frac{[p_{\text{HI}}]^2}{[p_{\text{H}_2}][p_{\text{I}_2}]} \quad (7.12)$$

વળી, $p_{\text{HI}} = [\text{HI}(\text{g})] RT$

$$p_{\text{I}_2} = [\text{I}_2(\text{g})] RT$$

$$p_{\text{H}_2} = [\text{H}_2(\text{g})] RT \text{ છે.}$$

$$\text{માટે, } K_p = \frac{[p_{\text{HI}}]^2}{[p_{\text{H}_2}][p_{\text{I}_2}]}$$

$$= \frac{[\text{HI}(\text{g})]^2 [\text{RT}]^2}{[\text{H}_2(\text{g})] \text{RT} [\text{I}_2(\text{g})] \text{RT}}$$

$$= \frac{[\text{HI}(\text{g})]^2}{[\text{H}_2(\text{g})][\text{I}_2(\text{g})]} = K_c \quad (7.13)$$

આ ઉદાહરણમાં $K_p = K_c$ એટલે કે બન્ને સંતુલન અચળાંકો સરખા છે, પરંતુ આવું હંમેશાં બનતું નથી. ઉદાહરણ તરીકે પ્રક્રિયા $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ માટે

$$K_p = \frac{[p_{\text{NH}_3}]^2}{[p_{\text{N}_2}][p_{\text{H}_2}]^3}$$

$$= \frac{[\text{NH}_3(\text{g})]^2 [\text{RT}]^2}{[\text{N}_2(\text{g})] \text{RT} \cdot [\text{H}_2(\text{g})]^3 (\text{RT}^3)}$$

$$= \frac{[\text{NH}_3(\text{g})]^2 [\text{RT}]^2}{[\text{N}_2(\text{g})][\text{H}_2(\text{g})^3]} = K_c (\text{RT})^{-2}$$

$$\text{અથવા } K_p = K_c (\text{RT})^{-2} \quad (7.14)$$

એ જ પ્રમાણે સામાન્ય પ્રક્રિયા

$a\text{A} + b\text{B} \rightleftharpoons c\text{C} + d\text{D}$ માટે

$$K_p = \frac{(p_C^c)(p_D^d)}{(p_A^a)(p_B^b)}$$

$$= \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d \cdot [\text{RT}]^{c+d}}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b \cdot [\text{RT}]^{a+b}}$$

$$= \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} (\text{RT})^{(c+d)-(a+b)}$$

$$= \frac{[\text{C}]^c [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a [\text{B}]^b} (\text{RT})^{\Delta n} = K_c (\text{RT})^{\Delta n} \quad (7.15)$$

જ્યાં, સંતુલિત રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં

$\Delta n = (\text{વાયુમય નીપજોના મોલની સંખ્યા}) -$

(વાયુમય પ્રક્રિયકોના મોલની સંખ્યા)

થાય છે. એ જરૂરી છે કે જ્યારે K_p નું મૂલ્ય ગણીએ ત્યારે દબાણને barમાં દર્શાવવું જોઈએ. કારણ કે દબાણની પ્રમાણિત અવસ્થા 1 bar છે. આપણે એકમ 1માંથી જાણીએ છીએ કે,

1 pascal Pa = 1 Nm⁻² અને 1 bar = 10⁵ Pa

કેટલીક પસંદ કરેલી પ્રક્રિયાઓના સંતુલન અચળાંક K_p કોષ્ટક 7.5માં આપેલ છે.

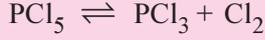
કોષ્ટક 7.5 કેટલીક પસંદ કરેલી પ્રક્રિયાઓ માટે સંતુલન અચળાંક K_p

પ્રક્રિયા	તાપમાન/K	K_p
$\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$	298	6.8×10^5
	400	41
	500	3.6×10^{-2}
$2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$	298	4.0×10^{24}
	500	2.5×10^{10}
	700	3.0×10^4
$\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$	298	0.98
	400	47.9
	500	1700

કોયડો 7.3

PCl_5 , PCl_3 અને Cl_2 500 K તાપમાને સંતુલનમાં છે અને તેમની સાંદ્રતા અનુક્રમે 1.59M PCl_3 , 1.59M Cl_2 અને 1.41 M PCl_5 છે.

નીચેની પ્રક્રિયા માટે K_c ગણો.

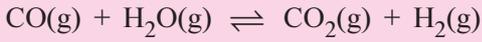


ઉકેલ :

ઉપરની પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક K_c આ પ્રમાણે લખી શકાય :

$$K_c = \frac{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]} = \frac{(1.59)^2}{1.41} = 1.79$$

કોયડો 7.4



પ્રક્રિયા માટે K_c નું મૂલ્ય 800 K તાપમાને 4.24 છે. 800 K તાપમાને સંતુલને CO_2 , H_2 , CO અને H_2O ની સાંદ્રતા ગણો. શરૂઆતમાં માત્ર CO અને H_2O જ હાજર હતાં અને તેમની દરેકની સાંદ્રતા 0.10M હતી.

ઉકેલ :

પ્રક્રિયા

$\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ માટે પ્રારંભિક સાંદ્રતા

$$0.1 \text{ M} \quad 0.1 \text{ M} \quad 0 \quad 0$$

ધારો કે x મોલ પ્રતિલિટર નીપજ બને છે. આથી સંતુલને

$$(0.1 - x)\text{M} \quad (0.1 - x)\text{M} \quad x\text{M} \quad x\text{M}$$

જ્યાં, x , CO_2 અને H_2 નો સંતુલને જથ્થો છે.

આથી સંતુલન અચળાંક માટે લખી શકીએ,

$$K = \frac{x^2}{(0.1 - x)^2} = 4.24$$

$$x^2 = 4.24 (0.01 + x^2 - 0.2x)$$

$$x^2 = 0.0424 + 4.24x^2 - 0.848x$$

$$3.24x^2 - 0.848x + 0.0424 = 0$$

$$a = 3.24, b = -0.848, c = 0.0424$$

દ્વિઘાત સમીકરણ $ax^2 + bx + c = 0$ માટે

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x = 0.848 \pm \sqrt{(0.848)^2 - 4(3.24)(0.0424)} / (3.24 \times 2)$$

$$x = (0.848 \pm 0.4118) / 6.48$$

$$x_1 = (0.848 - 0.4118) / 6.48 = 0.067$$

$$x_2 = (0.848 + 0.4118) / 6.48 = 0.194$$

0.194 મૂલ્ય સ્વીકારી શકાશે નહિ. કારણ કે તે પ્રક્રિયકની પ્રારંભિક સાંદ્રતાથી વધારે બતાવશે. તેથી તે સ્વીકાર્ય નથી. આથી સંતુલને સાંદ્રતા

$$[\text{CO}_2] = [\text{H}_2] = x = 0.067 \text{ M}$$

$$[\text{CO}] = [\text{H}_2\text{O}] = 0.1 - 0.067 = 0.033 \text{ M}$$

કોયડો 7.5

$2\text{NOCl}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$ સંતુલન માટે સંતુલન અચળાંક K_c નું મૂલ્ય 1069 K તાપમાને 3.75×10^{-6} છે. આ તાપમાને પ્રક્રિયા માટે K_p ગણો.

ઉકેલ :

આપણે જાણીએ છીએ કે,

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

ઉપરની પ્રક્રિયા માટે,

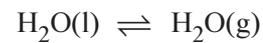
$$\Delta n = (2 + 1) - 2 = 1$$

$$K_p = 3.75 \times 10^{-6} (0.0831 \times 1069)$$

$$K_p = 0.033$$

7.5 વિષમાંગ સંતુલન (Heterogeneous Equilibria)

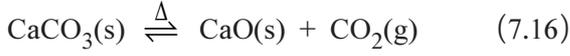
જો પ્રણાલીમાં એક કરતાં વધારે કલા હોય તો તે સંતુલનને વિષમાંગ સંતુલન કહે છે. બંધ પાત્રમાં પ્રવાહી પાણી અને પાણીની બાષ્પ વચ્ચેનું સંતુલન વિષમાંગ સંતુલનનું ઉદાહરણ છે.



આ ઉદાહરણમાં વાયુ કલા છે અને પ્રવાહી કલા પણ છે. એ જ પ્રમાણે ઘન અને સંતૃપ્ત દ્રાવણ વચ્ચે સંતુલન જેમકે, $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s}) + (\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^{-}(\text{aq})$ વિષમાંગ સંતુલન છે.

વિષમાંગ સંતુલન મુખ્યત્વે શુદ્ધ ઘન અને પ્રવાહીનો સમાવેશ કરે છે. આપણે સંતુલન અભિવ્યક્તિને વિષમાંગ સંતુલન જેમાં શુદ્ધ ઘન કે પ્રવાહી સમાવિષ્ટ હોય તેને માટે સરળ બનાવી શકીએ. શુદ્ધ ઘન અને પ્રવાહીની મોલર સાંદ્રતા અચળ (એટલે કે હાજર જથ્થાથી સ્વતંત્ર) હોય છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો જો પદાર્થ 'X' સમાવિષ્ટ થાય છે, તો $[\text{X}(\text{s})]$ અને $[\text{X}(\text{l})]$ નું મૂલ્ય 'X'નો ગમે તેટલો જથ્થો લીધો હોય તો પણ અચળ છે. આની વિરુદ્ધમાં $[\text{X}(\text{g})]$

અને $[X(aq)]$ હોત તો તે બદલાત કારણ કે આપેલ કદમાં જથ્થો 'X' બદલાય છે. આપણે કેલ્શિયમ કાર્બોનેટનું ઉષ્મીય વિઘટન લઈએ. જે એક રસપ્રદ અને અગત્યનું વિષમાંગ રાસાયણિક સંતુલનનું ઉદાહરણ છે.



તત્વયોગમિતિય સમીકરણને આધારે લખી શકીએ કે,

$$K_c = \frac{[\text{CaO}(s)][\text{CO}_2(g)]}{[\text{CaCO}_3(s)]}$$

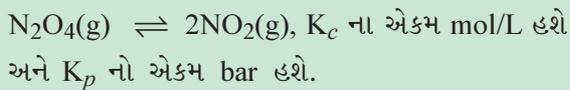
$\text{CaCO}_3(s)$ અને $\text{CaO}(s)$ બન્ને અચળ છે તેથી કેલ્શિયમ કાર્બોનેટના ઉષ્મીય વિઘટનનો સંતુલન અચળાંક લખી શકાય.

$$K_c = [\text{CO}_2(g)] \quad (7.17)$$

$$\text{અથવા } K_p = p_{\text{CO}_2} \quad (7.18)$$

સંતુલન અચળાંકના એકમો

સંતુલન અચળાંક K_c નું મૂલ્ય સાંદ્રતા પર્યાયોને mol/Lમાં દાખલ કરીને અને K_p માટે આંશિક દબાણ Pa, kPa, bar અથવા atm માં. મોલારિટી અથવા દબાણ પર આધારિત સંતુલન અચળાંકો એકમોમાં પરિણમે છે જેમાં બન્ને અંશ અને છેદના ઘાતાંક સરખા ન હોય ત્યાં સુધી. નીચેની પ્રક્રિયાઓ માટે,

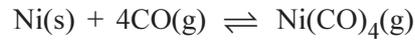


જો પ્રક્રિયા અને નીચજો પ્રમાણિત અવસ્થામાં હોય તો સંતુલન અચળાંકને પરિમાણરહિત રાશિઓ તરીકે રજૂ કરી શકીએ. શુદ્ધ વાયુ માટે પ્રમાણિત અવસ્થા 1 bar છે. આથી 4 bar ને પ્રમાણિત અવસ્થામાં રજૂ કરી શકાય કે 4 bar / 1 bar = 4 જે પરિમાણરહિત સંખ્યા છે. પ્રમાણિત અવસ્થા (c_0) દ્રાવ્ય માટે 1 મોલર દ્રાવણ અને સાંદ્રતા તેના સંદર્ભમાં માપી શકાય. સંતુલન અચળાંક સાંખ્યિક મૂલ્ય પસંદ કરેલી પ્રમાણિત અવસ્થા પર આધાર રાખે છે. આથી આ પ્રણાલીમાં K_p અને K_c પરિમાણરહિત રાશિઓ છે, પરંતુ સાંખ્યિકીય મૂલ્યો જુદા જુદા છે કારણ કે જુદી જુદી પ્રમાણિત અવસ્થામાં છે.

આ દર્શાવે છે કે કોઈ એક તાપમાને CO_2 ની અચળ સાંદ્રતા અથવા દબાણ $\text{CaO}(s)$ અને $\text{CaCO}_3(s)$ સાથે સંતુલનમાં છે. પ્રાયોગિક રીતે એ નક્કી થયું છે કે 1100 K તાપમાને $\text{CaCO}_3(s)$ અને $\text{CaO}(s)$ સાથે સંતુલનમાં રહેલા CO_2 નું દબાણ 2.0×10^5 Pa છે. આથી સંતુલન અચળાંક 1100 K તાપમાને ઉપરની પ્રક્રિયા માટે,

$$K_p = p_{\text{CO}_2} = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa} / 10^5 \text{ Pa} = 2.00$$

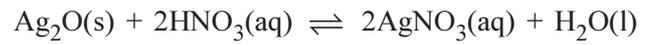
એ જ પ્રમાણે નિકલ, કાર્બન મોનોક્સાઈડ અને નિકલ કાર્બોનિલ વચ્ચેના સંતુલન માટે (નિકલના શુદ્ધીકરણમાં વપરાય છે).



સંતુલન અચળાંક આ પ્રમાણે લખી શકાય :

$$K_c = \frac{[\text{Ni}(\text{CO})_4]}{[\text{CO}]^4}$$

એ યાદ રાખવું જોઈએ કે વિષમાંગ સંતુલનના અસ્તિત્વ માટે શુદ્ધ ઘન અથવા પ્રવાહી સંતુલને (ગમે તેટલો ઓછો જથ્થો હોય તો પણ) હાજર હોવા જોઈએ પરંતુ, તેમની સાંદ્રતા અથવા દબાણ સંતુલન અચળાંકની અભિવ્યક્તિમાં દર્શાવાતા (appear) નથી. પ્રક્રિયા,



$$K_c = \frac{[\text{AgNO}_3]^2}{[\text{HNO}_3]^2}$$

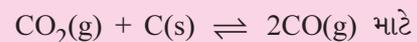
કોયડો 7.6

$\text{CO}_2(g) + \text{C}(s) \rightleftharpoons 2\text{CO}(g)$ પ્રક્રિયા માટે K_p નું મૂલ્ય 1000 K તાપમાને 3.0 છે. જો પ્રારંભિક(શરૂઆત)માં $p_{\text{CO}_2} = 0.48$ bar અને $p_{\text{CO}} = 0$ bar અને શુદ્ધ ગ્રેફાઈટ હાજર હોય તો CO અને CO_2 ના સંતુલન આંશિક દબાણની ગણતરી કરો.

ઉકેલ :

પ્રક્રિયા માટે ધારો કે,

x CO_2 ના દબાણમાં ઘટાડો છે. તો,



પ્રારંભિક 0.48 bar

0

સાંદ્રતા

સંતુલને (0.48 - x)

2x bar

$$K_p = \frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{CO}_2}}$$

$$K_p = (2x^2) / (0.48 - x) = 3$$

$$4x^2 = 3(0.48 - x)$$

$$4x^2 = 1.44 - 3x$$

$$4x^2 + 3x - 1.44 = 0$$

$$a = 4, b = 3, c = -1.44$$

$$x = \frac{(-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac})}{2a}$$

$$= [-3 \pm \sqrt{(3)^2 - 4(4)(-1.44)}] / 2 \times 4$$

$$= (-3 \pm 5.66) / 8$$

$= (-3 + 5.66) / 8$ (કારણ કે x નું મૂલ્ય ઋણ ન હોઈ શકે તેથી તે મૂલ્યને નગણ્ય ગણી શકીએ (રદ કરી શકીએ).

$$x = 2.66 / 8 = 0.33$$

સંતુલન આંશિક દબાણ થશે.

$$p_{\text{CO}} = 2x = 2 \times 0.33 = 0.66 \text{ bar}$$

$$p_{\text{CO}_2} = 0.48 - x = 0.48 - 0.33 = 0.15 \text{ bar}$$

7.6 સંતુલન અચળાંકના અનુપ્રયોગો (Applications of Equilibrium Constants)

સંતુલન અચળાંકના અનુપ્રયોગોને ધ્યાનમાં લેતાં પહેલાં આપણે સંતુલન અચળાંકની અગત્યની ખાસિયતોનો સારાંશ નીચે દર્શાવીએ :

1. સંતુલન અચળાંકની અભિવ્યક્તિ ત્યારે જ લાગુ પાડી શકાય, જ્યારે પ્રક્રિયકો અને નીપજોએ સંતુલન અવસ્થાએ અચળ મૂલ્યો પ્રાપ્ત કર્યા હોય.
2. સંતુલન અચળાંકનું મૂલ્ય પ્રક્રિયકો અને નીપજોની પ્રારંભિક સાંદ્રતાથી સ્વતંત્ર હોય છે.
3. સંતુલન અચળાંક તાપમાન આધારિત છે અને તેને કોઈ ખાસ પ્રક્રિયા જે આપેલ તાપમાને સંતુલિત સમીકરણ દ્વારા રજૂ કરવામાં આવેલ પ્રક્રિયા માટે એક અદ્વિતીય (unique) મૂલ્ય હોય છે.
4. પ્રતિગામી પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક પુરોગામી પ્રક્રિયા માટેના સંતુલન અચળાંક જેટલો જ પણ વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે.

5. પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક K તેને અનુરૂપ પ્રક્રિયા સાથે સંબંધિત હોય છે. મૂળ પ્રક્રિયાના સમીકરણને નાના પૂર્ણાંક વડે ગુણવાથી અથવા ભાગવાથી તે સમીકરણ મળે છે.

આપણે સંતુલન અચળાંકના અનુપ્રયોગના અનુસંધાનમાં ગણી શકીએ.

- પ્રક્રિયાનું પ્રમાણ (extent) તેની માત્રાના આધાર પર પ્રાક્કથન કરવા.
- પ્રક્રિયાની દિશાનું પ્રાક્કથન કરવા.
- સંતુલન સાંદ્રતા ગણવા માટે.

7.6.1 પ્રક્રિયાના પ્રમાણ (extent) માટેનું પ્રાક્કથન (Predicting the Extent of a Reaction)

પ્રક્રિયા માટેના સંતુલન અચળાંકનું સાંખ્યિકીય મૂલ્ય પ્રક્રિયાનું પ્રમાણ સૂચવે છે, પરંતુ એ યાદ રાખવું જરૂરી છે કે સંતુલન અચળાંક સંતુલન કઈ રીતે પ્રાપ્ત થયું, તેના દર વિશે કોઈ માહિતી આપતું નથી. K_c અથવા K_p ની માત્રા અંશમાં દર્શાવાતી નીપજોની સાંદ્રતાના સમપ્રમાણમાં અને છેદમાં દર્શાવાતા પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતાના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. આ સૂચવે છે કે K ના ઊંચા મૂલ્યો નીપજોની વધુ સાંદ્રતા અને એનાથી ઊલટું (vice-versa) દર્શાવે છે.

સંતુલન મિશ્રણના સંઘટન માટે નીચે પ્રમાણેનું સામાન્યીકરણ કરી શકીએ.

- જો $K_c > 10^3$; પ્રક્રિયકો કરતાં નીપજો વધારે એટલે કે K_c ઘણો ઊંચો હોય તો પ્રક્રિયા લગભગ પૂર્ણ થવા તરફ આગળ ધપે છે. નીચેના ઉદાહરણો ધ્યાનમાં લઈએ :
 - (a) H_2 ની O_2 સાથેની 500 K તાપમાને થતી પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક ઘણો મોટો છે. $K_c = 2.4 \times 10^{47}$.
 - (b) $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HCl}(\text{g})$ નો K_c , 300K તાપમાને 4.0×10^{31} છે.
 - (c) $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HBr}(\text{g})$, માટે $K_c = 5.4 \times 10^{18}$ 300 K તાપમાને.
- જો $K_c < 10^{-3}$, તો નીપજો કરતાં પ્રક્રિયકો વધારે હોય છે. જો K_c ઘણો ઓછો હોય તો પ્રક્રિયા ભાગ્યે જ આગળ વધે છે. નીચેના ઉદાહરણો ધ્યાનમાં લઈએ.

(a) H_2O નું H_2 અને O_2 માં વિઘટનનો સંતુલન અચળાંક $500K$ તાપમાને ઘણો નાનો હોય છે, $K_c = 4.1 \times 10^{-48}$

(b) $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$,
 $298 K$ તાપમાને $K_c = 4.8 \times 10^{-31}$

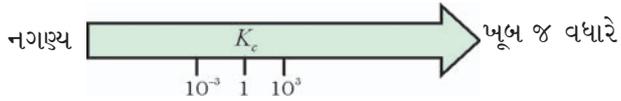
• જો K_c , 10^{-3} થી 10^3 ના ગાળામાં હોય તો પ્રક્રિયકો અને નીપજોની ગણનાપાત્ર સાંદ્રતાઓ હાજર હોય છે. નીચેની પ્રક્રિયાઓ ધ્યાનમાં લો.

(a) H_2 ની I_2 સાથેની પ્રક્રિયા જેથી HI મળે છે.

તેનો $K_c = 57.0$, $700K$ તાપમાને છે.

(b) N_2O_4 નું NO_2 માં વાયુમય ક્લામાં વિઘટન જે બીજી પ્રક્રિયા છે, તેનો $K_c = 4.64 \times 10^{-3}$ $25^\circ C$ તાપમાને છે જે ઘણો ઓછો પણ નથી અને ઘણો વધારે પણ નથી. આથી સંતુલન મિશ્રણમાં બન્ને N_2O_4 અને NO_2 ની ગણનાપાત્ર સાંદ્રતા હશે.

આ સામાન્યીકરણને આકૃતિ 7.6માં દર્શાવી શકીએ.



પ્રક્રિયા ભાગ્યે સંતુલને પ્રક્રિયકો અને પ્રક્રિયા લગભગ જ આગળ વધે નીપજો બન્ને હાજર છે. પૂર્ણ થવા પર આગળ વધે છે.

આકૃતિ 7.6 પ્રક્રિયાના પ્રમાણનો K_c પર આધાર

7.6.2 પ્રક્રિયાની દિશાનું પ્રાક્કથન (Predicting the Direction of the Reaction)

સંતુલન અચળાંક કોઈ પણ તબક્કે પ્રક્રિયા કઈ દિશામાં આગળ વધશે તેનું પ્રાક્કથન કરવામાં મદદ કરે છે. આ હેતુ માટે આપણે પ્રક્રિયા ભાગફળ (quotient) Q ગણીશું. પ્રક્રિયા ભાગફળ Q (Q_c મોલર સાંદ્રતા અને Q_p આંશિક દબાણ)ને K_c ને વ્યાખ્યાયિત કરેલી તે જ રીતે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય. સિવાય કે Q_c માં સાંદ્રતા સંતુલન સાંદ્રતા હોવી જરૂરી નથી. સામાન્ય પ્રક્રિયા



$$Q_c = [C]^c [D]^d / [A]^a [B]^b \quad (7.20)$$

હવે,

જો $Q_c > K_c$, હોય તો પ્રક્રિયા પ્રક્રિયકની દિશામાં (પ્રતિગામી પ્રક્રિયા) આગળ વધશે.

જો $Q_c < K_c$, હોય તો પ્રક્રિયા નીપજની દિશામાં (પુરોગામી પ્રક્રિયા) આગળ વધશે.

જો $Q_c = K_c$, હોય તો સંતુલન મિશ્રણ સંતુલને જ છે. H_2 ની I_2 સાથેની વાયુમય પ્રક્રિયાને ધ્યાનમાં લો.

$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$; $700 K$ તાપમાને $K_c = 57.0$

ધારો કે આપણી પાસે મોલર સાંદ્રતાઓ

$[H_2]_t = 0.10M$, $[I_2]_t = 0.20M$ અને $[HI]_t = 0.40M$.

(સાંદ્રતા પરનો પાદાંક t નો અર્થ થાય છે કે સાંદ્રતા કોઈ અડસટ્ટે નક્કી કરેલા સમયે નક્કી કરેલ છે, નહિ કે સંતુલન સમયે.)

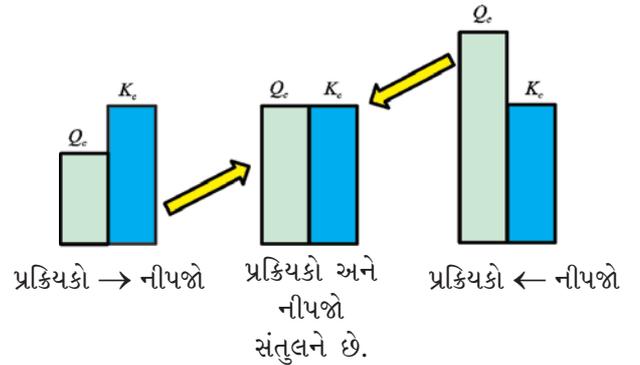
આમ, પ્રક્રિયા ભાગફળ Q_c આ તબક્કે પ્રક્રિયા માટે આપી શકાય કે,

$$Q_c = [HI]_t^2 / [H_2]_t [I_2]_t = (0.40)^2 / (0.10) \times (0.20) = 8.0$$

આ કિસ્સામાં Q_c , K_c (57.0)ની બરાબર નથી. આથી મિશ્રણ $H_2(g)$, $I_2(g)$ અને $HI(g)$ સંતુલનમાં નથી. એટલે કે $H_2(g)$ અને $I_2(g)$ પ્રક્રિયા કરીને વધુ $HI(g)$ બનાવવાની જરૂર પડશે અને તેમની સાંદ્રતા એટલે સુધી ઘટશે કે $Q_c = K_c$ થાય.

પ્રક્રિયા ભાગફળ પ્રક્રિયાની દિશા નક્કી કરવામાં પણ ઉપયોગી છે. જેમાં આપણે Q_c અને K_c ના મૂલ્યો સરખાવીશું.

આમ આપણે પ્રક્રિયાની દિશાની બાબતમાં નીચે પ્રમાણે સરળીકરણ કરી શકીશું (આકૃતિ 7.7).



આકૃતિ 7.7 પ્રક્રિયાની દિશાનું પ્રાક્કથન

- જો $Q_c < K_c$, કુલ પ્રક્રિયા ડાબી તરફથી જમણી તરફ જશે.
- જો $Q_c > K_c$, કુલ પ્રક્રિયા જમણી તરફથી ડાબી તરફ જશે.
- જો $Q_c = K_c$, કુલ પ્રક્રિયા થશે નહિ.

કોયડો 7.7

$2A \rightleftharpoons B + C$ પ્રક્રિયા માટે K_c નું મૂલ્ય 2×10^{-3} છે. આપેલ સમયે પ્રક્રિયા મિશ્રણનું સંઘટન $[A] = [B] = [C] = 3 \times 10^{-4} M$ છે. કઈ દિશામાં પ્રક્રિયા આગળ વધશે ?

ઉકેલ :

પ્રક્રિયા માટે પ્રક્રિયા ભાગફળ Q_c નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.

$$Q_c = [B][C] / [A]^2$$

$[A] = [B] = [C] = 3 \times 10^{-4} M$ છે. આથી,

$$Q_c = (3 \times 10^{-4})(3 \times 10^{-4}) / (3 \times 10^{-4})^2 = 1$$

$Q_c > K_c$ મળે છે તેથી પ્રક્રિયા પ્રતિગામી દિશામાં આગળ વધશે.

7.6.3 સંતુલન સાંદ્રતા ગણવી (Calculating Equilibrium Concentration)

કોયડાની બાબતમાં આપણે પ્રારંભિક સાંદ્રતા જાણતા હોઈએ અને કોઈ પણ સંતુલન સાંદ્રતા જાણતા ન હોઈએ તો, નીચેના ત્રણ તબક્કાને અનુસરવું જોઈએ :

તબક્કો 1 : પ્રક્રિયા માટે સમતોલિત સમીકરણ લખો.

તબક્કો 2 : સમતોલિત સમીકરણની નીચે એક કોષ્ટક બનાવો. જેમાં પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતાં દરેક પદાર્થની યાદી હોય અને દરેક પદાર્થ માટે,

- પ્રારંભિક (શરૂઆતની) સાંદ્રતા
- સંતુલન અવસ્થાએ જતાં સાંદ્રતામાં થતો ફેરફાર
- સંતુલન સાંદ્રતા

આ કોષ્ટકની રચનામાં x ને વ્યાખ્યાયિત કરો. જે પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતાં તેની સંતુલન તરફ જતાં પદાર્થની સાંદ્રતા (mol/L) છે. પછી તત્ત્વયોગમિતિનો ઉપયોગ કરીને બીજા પદાર્થોની સાંદ્રતા x પર્યાયના સંદર્ભમાં નક્કી કરો.

તબક્કો 3 : પ્રક્રિયા માટે સંતુલન સમીકરણમાં સંતુલન સાંદ્રતાના મૂલ્યો મૂકો અને x નો ઉકેલ શોધો. જો તમારે દ્વિઘાત સમીકરણના ઉકેલ મેળવવાનો હોય તો ગાણિતીય ઉકેલ શોધો અને તેમાંથી રાસાયણિક અર્થ થતો હોય તે ઉકેલને પસંદ કરો.

તબક્કો 4 : x ના ગણતરી કરેલા મૂલ્યો પરથી સંતુલન સાંદ્રતા ગણો.

તબક્કો 5 : સંતુલન સમીકરણમાં તેમને મૂકીને તમારું પરિણામ ચકાસી જુઓ.

કોયડો 7.8

13.8g N_2O_4 1L કદના પ્રક્રિયા પાત્રમાં 400K તાપમાને લેવામાં આવ્યો અને સંતુલન પ્રાપ્ત થવા દીધું.



સંતુલને કુલ દબાણ 9.15 bar હતું. K_c , K_p અને સંતુલને આંશિક દબાણ ગણો.

ઉકેલ :

આપણે જાણીએ છીએ કે $pV = nRT$

કુલ કદ (V) = 1 L

N_2O_4 નું આણ્વીય દળ = 92 g

વાયુના મોલની સંખ્યા (n) = 13.8g/92 g = 0.15

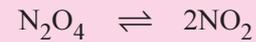
વાયુ અચળાંક (R) = 0.083 bar L mol⁻¹K⁻¹

તાપમાન (T) = 400 K

$pV = nRT$

$p \times 1L = 0.15 \text{ mol} \times 0.083 \text{ bar L mol}^{-1}\text{K}^{-1} \times 400 \text{ K}$

$p = 4.98 \text{ bar}$



પ્રારંભિક 4.98 bar 0

દબાણ

સંતુલને દબાણ (4.98 - x) bar 2x bar

આથી, સંતુલને

$$p_{\text{total}} = p_{N_2O_4} + p_{NO_2}$$

$$9.15 = (4.98 - x) + 2x$$

$$9.15 = 4.98 + x$$

$$x = 9.15 - 4.98 = 4.17 \text{ bar}$$

સંતુલને આંશિક દબાણ,

$$p_{N_2O_4} = 4.98 - 4.17 = 0.81 \text{ bar}$$

$$p_{NO_2} = 2x = 2 \times 4.17 = 8.34 \text{ bar}$$

$$K_p = (p_{NO_2})^2 / p_{N_2O_4} \\ = (8.34)^2 / 0.81 = 85.87$$

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

$$85.87 = K_c(0.083 \times 400)^1$$

$$K_c = 2.586 = 2.6$$

કોયડો 7.9

3.00 mol PCl_5 ને 1L કદના બંધ પાત્રમાં 380 K તાપમાને લેવામાં આવ્યો અને સંતુલન પ્રાપ્ત થવા દીધું. સંતુલને મિશ્રણનું સંઘટન નક્કી કરો. $K_c = 1.80$

ઉકેલ :



પ્રારંભિક સાંદ્રતા : 3.0 0 0

ધારો કે x મોલ પ્રતિલિટર PCl_5 નું વિયોજન થાય છે.

સંતુલને : $(3-x) \quad x \quad x$

$$K_c = [\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]/[\text{PCl}_5]$$

$$1.8 = x^2/(3 - x)$$

$$x^2 + 1.8x - 5.4 = 0$$

$$x = [-1.8 \pm \sqrt{(1.8)^2 - 4(-5.4)}]/2$$

$$x = [-1.8 \pm \sqrt{3.24 + 21.61}]/2$$

$$x = [-1.8 \pm 4.98]/2$$

$$x = [-1.8 + 4.98]/2 = 1.59$$

$$[\text{PCl}_5] = 3.0 - x = 3 - 1.59 = 1.41 \text{ M}$$

$$[\text{PCl}_3] = [\text{Cl}_2] = x = 1.59 \text{ M}$$

7.7 સંતુલન અચળાંક K , પ્રક્રિયા ભાગફળ Q અને ગીબ્સ ઊર્જા G વચ્ચેનો સંબંધ (Relationship Between Equilibrium Constant K , Reaction Quotient Q and Gibbs Energy G)

પ્રક્રિયા માટેનું K_c નું મૂલ્ય પ્રક્રિયાના દર પર આધાર રાખતું નથી. તમે એકમ 6માં શીખી ગયા કે તે પ્રક્રિયાના ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર સાથે સીધું જ સંબંધિત છે અને ખાસ કરીને ગીબ્સ ઊર્જામાં ફેરફાર ΔG સાથે. જો,

- ΔG ઋણ હોય તો પ્રક્રિયા સ્વયંસ્ફુરિત છે અને તે પુરોગામી દિશામાં આગળ વધશે.
- ΔG ધન હોય તો પ્રક્રિયા બિનસ્વયંસ્ફુરિત ગણાય છે. તેના બદલે પ્રતિગામી પ્રક્રિયાનો ΔG ઋણ થશે અને પુરોગામી પ્રક્રિયાની નીપજ પ્રક્રિયકમાં ફેરવાશે.
- જો ΔG શૂન્ય હશે તો પ્રક્રિયાએ તે તબક્કે સંતુલન પ્રાપ્ત કરી લીધેલું હશે અને પ્રક્રિયાને ધકેલવા માટે કોઈ મુક્ત ઊર્જા બચી હશે નહિ.

સંતુલનની દૃષ્ટિએ આ ઉષ્માગતિશાસ્ત્રનું ગાણિતીય અભિલક્ષણ નીચેના સમીકરણમાં દર્શાવી શકાય :

$$\Delta G = \Delta G^\ominus + RT \ln Q \quad (7.21)$$

જ્યાં, G^\ominus પ્રમાણિત ગીબ્સ ઊર્જા છે.

સંતુલને જ્યારે $\Delta G = 0$ અને $Q = K_c$ થશે ત્યારે સમીકરણ 7.21 નીચે પ્રમાણે થશે :

$$\Delta G = \Delta G^\ominus + RT \ln K = 0$$

$$\Delta G^\ominus = -RT \ln K \quad (7.22)$$

$$\ln K = -\Delta G^\ominus / RT$$

બન્ને બાજુનો પ્રતિઘાતાંક લેતાં,

$$K = e^{-\Delta G^\ominus / RT} \quad (7.23)$$

આથી સમીકરણ(7.23)નો ઉપયોગ કરીને પ્રક્રિયાની સ્વયંસ્ફુરિતાને ΔG^\ominus ના મૂલ્યોના પર્યાયમાં સમજાવી શકીએ.

- જો $\Delta G^\ominus < 0$, તો $-\Delta G^\ominus/RT$ ધન અને $e^{-\Delta G^\ominus/RT} > 1$, જેથી $K > 1$ જે સૂચવે છે કે પ્રક્રિયા સ્વયંસ્ફુરિત છે અથવા પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં આગળ વધશે અને નીપજો વિશેષ હશે.
- જો $\Delta G^\ominus > 0$, તો $-\Delta G^\ominus/RT$ ઋણ થશે અને $e^{-\Delta G^\ominus/RT} < 1$ એટલે કે $K < 1$ જે સૂચવે છે કે પ્રક્રિયા બિનસ્વયંસ્ફુરિત હશે અથવા પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં એટલા ધીમા પ્રમાણમાં આગળ વધશે કે નીપજોનું ઘણું ઓછું પ્રમાણ (જથ્થો) મળશે.

કોયડો 7.10

ગ્લાયકોલીસીસમાં ગ્લુકોઝના ફોસ્ફોરાઇલેશન માટે ΔG^\ominus નું મૂલ્ય 13.8 kJ/mol છે. 298 K તાપમાને K_c નું મૂલ્ય શોધો.

ઉકેલ :

$$\Delta G^\ominus = 13.8 \text{ kJ/mol} = 13.8 \times 10^3 \text{ J/mol}$$

$$\text{વળી, } \Delta G^\ominus = -RT \ln K_c$$

$$\text{તેથી } \ln K_c = \frac{-13.8 \times 10^3 \text{ J/mol}}{(8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 298 \text{ K})}$$

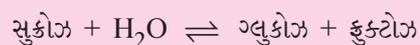
$$\ln K_c = -5.569$$

$$K_c = e^{-5.569}$$

$$K_c = 3.81 \times 10^{-3}$$

કોયડો 7.11

સુક્રોઝનું જળવિભાજન નીચે મુજબ છે,



આ પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક K_c 300K તાપમાને 2×10^{13} છે. 300K તાપમાને ΔG^\ominus ગણો.

ઉકેલ :

$$\Delta G^\ominus = -RT \ln K_c$$

$$\Delta G^\ominus = -8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 300 \text{ K} \times \ln (2 \times 10^{13})$$

$$\Delta G^\ominus = -7.64 \times 10^4 \text{ J mol}^{-1}$$

7.8 સંતુલનને અસર કરતાં પરિબળો (Factors Affecting Equilibria)

રાસાયણિક સંશ્લેષણનું એક મુખ્ય ધ્યેય એ હોય છે કે પ્રક્રિયકોમાંથી વધુમાં વધુ નીપજો મેળવવી અને ઊર્જાનો ખર્ચ

ન્યૂનતમ કરવો. આ એમ સૂચવે છે કે નીપજનું મહત્તમ પ્રમાણ નીચા તાપમાન અને દબાણની પરિસ્થિતિએ હોવું. જો આ પ્રમાણે ન બને તો પ્રક્રિયાની પરિસ્થિતિને બદલીને ગોઠવવી પડે. ઉદાહરણ તરીકે હેબર વિધિમાં N_2 અને H_2 માંથી એમોનિયાના સંશ્લેષણ માટેની પ્રાયોગિક પરિસ્થિતિઓની પસંદગી ખરેખર આર્થિક અગત્યની હોય છે. વિશ્વનું એમોનિયાનું વાર્ષિક ઉત્પાદન સો મિલિયન ટન છે, જે ખાતરો માટે પ્રાથમિક રીતે જરૂરી છે.

સંતુલન અચળાંક K_c પ્રારંભિક સાંદ્રતાથી સ્વતંત્ર હોય છે, પરંતુ જો પ્રણાલી સંતુલનમાં હોય અને તેમાં પ્રક્રિયા કરતાં પદાર્થની સાંદ્રતામાં ફેરફાર કરીએ તો પ્રણાલી સંતુલનમાં રહેતી નથી અને પ્રક્રિયા એવી દિશામાં થાય છે કે તે ફરી પાછી સંતુલનમાં આવી જાય. એ જ પ્રમાણે તાપમાન કે દબાણમાં ફેરફાર પણ પ્રણાલીને અસર કરશે અને સંતુલન બદલાશે. પ્રક્રિયા કયો માર્ગ અપનાવશે તે નક્કી કરવા માટે સંતુલન પર પરિસ્થિતિના ફેરફારની અસરનો અભ્યાસ સમજવા લ શેટેલિયરનો નિયમ ઉપયોગમાં લઈએ છીએ. તે નિવેદિત કરે છે કે, પ્રણાલીની સંતુલન પરિસ્થિતિમાં કોઈપણ પરિબળનો ફેરફાર કરવામાં આવે તો પ્રણાલી આ અસરને ઓછી કરશે અથવા ફેરફારની અસરનો પ્રતિકાર કરશે. આ બાબત બધા જ ભૌતિક અને રાસાયણિક સંતુલનોને લાગુ પાડી શકાય છે.

હવે આપણે સંતુલન પર અસર કરતાં પરિબળોની ચર્ચા કરીએ.

7.8.1 સાંદ્રતા ફેરફારની અસર (Effect of Concentration Change)

સામાન્ય રીતે જો કોઈ પ્રક્રિયક/નીપજને ઉમેરવાથી અથવા પ્રક્રિયામાંથી દૂર કરતાં સંતુલનને જ્યારે ખલેલ પહોંચે ત્યારે લ શેટેલિયરનો સિદ્ધાંત પ્રાકૃકથન કરે છે કે,

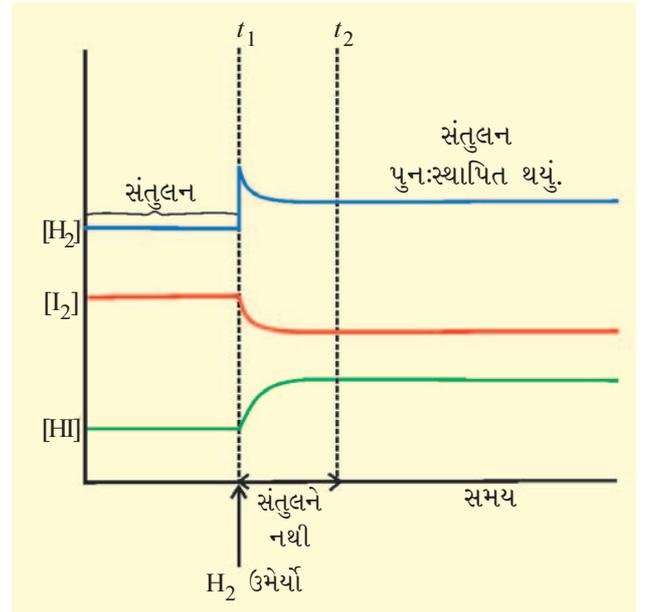
- ઉમેરેલા પ્રક્રિયક/નીપજની સાંદ્રતા, તાણ (stress)માંથી એવી રીતે મુક્ત કરવામાં આવે છે જેથી કુલ પ્રક્રિયા ઉમેરેલા પદાર્થનો વપરાશ થાય તે દિશામાં આગળ વધશે.
- દૂર કરેલા પ્રક્રિયક/નીપજની સાંદ્રતા તાણમાંથી એવી રીતે મુક્ત થાય છે કે જેથી ચોખ્ખી પ્રક્રિયા દૂર કરવામાં આવેલા પદાર્થને પરિપૂર્ણ કરે છે અથવા બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો,

‘જ્યારે સંતુલનમાં રહેલી પ્રક્રિયામાં કોઈપણ પ્રક્રિયક કે નીપજની સાંદ્રતામાં ફેરફાર કરવામાં આવે તો પ્રક્રિયા મિશ્રણનું સંઘટન એવી રીતે બદલાશે કે સાંદ્રતા ફેરફારની અસર ન્યૂનતમ થશે.’

આપણે



જો H_2 સંતુલને ઉમેરવામાં આવે તો પ્રક્રિયાના સંતુલનમાં ખલેલ થશે અને તેને પુનઃસ્થાપિત કરવા પ્રક્રિયા એવી રીતે આગળ વધશે જેમાં H_2 વપરાશે. એટલે કે વધુ H_2 અને I_2 પ્રક્રિયા કરી વધુ HI બનાવશે અને છેવટે સંતુલન જમણી બાજુ (પુરોગામી દિશામાં) ખસશે (આકૃતિ 7.8). લ શેટેલિયરના સિદ્ધાંત પ્રમાણે આ સૂચવે છે કે જ્યારે પ્રક્રિયક કે નીપજ ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે નવું સંતુલન સ્થપાશે. જેમાં પ્રક્રિયક/નીપજની સાંદ્રતા તેને ઉમેર્યા પછીથી ઓછી હશે પરંતુ મૂળ મિશ્રણ કરતાં વધારે હશે.



આકૃતિ 7.8 $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ પ્રક્રિયામાં પ્રક્રિયક અને નીપજ માટે સાંદ્રતામાં ફેરફાર માટે H_2 ના ઉમેરણની અસર

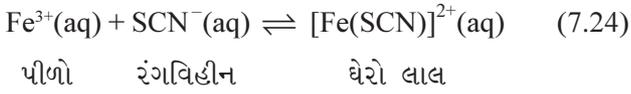
આ જ મુદ્દો પ્રક્રિયા ભાગફળ Q_c ના પર્યાયમાં પણ સમજાવી શકાય :

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

સંતુલને હાઈડ્રોજન ઉમેરતાં Q_c નું મૂલ્ય K_c કરતાં ઓછું થાય છે. આથી ફરીથી સંતુલન પ્રાપ્ત કરવા માટે પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં આગળ વધશે. એ જ પ્રમાણે આપણે કહી શકીએ કે નીપજને દૂર કરવામાં આવે તો પણ પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં થશે. આનો મોટો ઔદ્યોગિક અનુપ્રયોગ એ છે કે જો નીપજ વાયુ હોય તો અથવા બાષ્પશીલ પદાર્થ હોય તો વધુ નીપજ મેળવી શકાય. એમોનિયાના ઉત્પાદનમાં એમોનિયા વાયુનું પ્રવાહીકરણ કરવામાં આવે છે અને પ્રક્રિયા મિશ્રણમાંથી દૂર કરવામાં આવે છે. આથી પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં ચાલુ રહે છે. એ જ પ્રમાણે CaOના (જે અગત્યનો બાંધકામ માટેનો પદાર્થ છે) $CaCO_3$ માંથી મોટા પાયા પરના ઉત્પાદનમાં CO_2 ને સતત દૂર કરવામાં આવે છે. જેથી કરીને ભઠ્ઠામાંની પ્રક્રિયા પૂર્ણતા તરફ પહોંચે છે. એ યાદ રાખવું જોઈએ કે નીપજને સતત દૂર કરવાથી Q_c નું મૂલ્ય K_c ના મૂલ્ય કરતાં ઓછું જળવાઈ રહે છે અને પરિણામે પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં ચાલુ રહે છે.

સાંદ્રતાની અસર : પ્રયોગ :

આ નીચેની પ્રક્રિયાથી નિર્દેશિત કરી શકાય :



$$K_c = \frac{[Fe(SCN)(aq)]^{2+}}{[Fe^{3+}(aq)][SCN^{-}(aq)]} \quad (7.25)$$

0.002 M પોટેશિયમ થાયોસાયનેટના બે ટીપાં 1 mL 0.2 M આયર્ન (III) નાઈટ્રેટના દ્રાવણમાં ઉમેરવામાં આવે તો લાલાશ પડતો રંગ દેખાય છે. જે $[Fe(SCN)]^{2+}$ ના સર્જનને કારણે છે. લાલ રંગની તીવ્રતા સંતુલન પ્રાપ્ત થતાં અચળ બને છે. આ સંતુલનને ડાબી કે જમણી તરફ આપણી પસંદગી પ્રમાણે પ્રક્રિયક અથવા નીપજ ઉમેરી ખસેડી શકાય છે. Fe^{3+} અથવા SCN^{-} ને દૂર કરે તેવા પદાર્થો ઉમેરવામાં આવે તો પ્રક્રિયા વિરુદ્ધ દિશામાં જશે. ઉદાહરણ તરીકે ઓક્સેલિક એસિડ ($H_2C_2O_4$), Fe^{3+} આયન સાથે પ્રક્રિયા કરે છે અને સ્થાયી સંકીર્ણ આયન $[Fe(C_2O_4)_3]^{3-}$ બને છે. આમ, મુક્ત $Fe^{3+}(aq)$ આયનની સાંદ્રતા ઘટે છે. લ શેટેલિયરના સિદ્ધાંત પ્રમાણે દૂર થયેલા Fe^{3+} ની સાંદ્રતા તાણને $[Fe(SCN)]^{2+}$ ના વિયોજનથી મળતાં Fe^{3+} આયન વડે મુક્ત કરે છે.

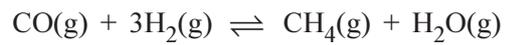
$[Fe(SCN)]^{2+}$ ની સાંદ્રતા ઘટે છે અને તેથી રંગની તીવ્રતા ઘટે છે.

જલીય $HgCl_2$ ઉમેરવાથી પણ લાલ રંગની તીવ્રતા ઘટે છે. કારણ કે Hg^{2+} આયન SCN^{-} આયન સાથે પ્રક્રિયા કરે છે અને સ્થાયી સંકીર્ણ $[Hg(SCN)_4]^{2-}$ બનાવે છે. મુક્ત $SCN^{-}(aq)$ ને દૂર કરતાં સમીકરણ (7.24)માંનું સંતુલન જમણીથી ડાબી તરફ ખસે છે. જેથી, SCN^{-} આયન પરિપૂર્ણ થાય છે. બીજી બાજુ પોટેશિયમ થાયોસાયનેટ ઉમેરવાથી દ્રાવણના રંગની તીવ્રતા વધે છે કારણ કે સંતુલન જમણી તરફ ખસે છે.

7.8.2 દબાણ ફેરફારની અસર (Effect of Pressure Change)

એવી વાયુમય રાસાયણિક પ્રક્રિયા જેમાં વાયુમય પ્રક્રિયકોના કુલ મોલની સંખ્યા તથા વાયુમય નીપજોના કુલ મોલની સંખ્યા જુદી જુદી હોય તેવી પ્રક્રિયામાં કદના ફેરફાર દ્વારા દબાણમાં ફેરફાર ઉત્પન્ન કરતાં નીપજની માત્રાને અસર કરે છે. લ-શેટેલિયરનો નિયમ વિષમભાગ સંતુલનને લાગુ પાડતાં ઘન અને પ્રવાહી પર દબાણ ફેરફારની અસર નગણ્ય હોય છે. કારણ કે દ્રાવણ/પ્રવાહીના કદ (અને સાંદ્રતા) દબાણની અસરથી લગભગ સ્વતંત્ર છે.

નીચેની પ્રક્રિયા ધ્યાનમાં લઈએ :



અહીંયા 4 મોલ વાયુમય પ્રક્રિયકો ($CO + 3H_2$), 2 મોલ નીપજો ($CH_4 + H_2O$)માં ફેરવાય છે. ધારો કે (ઉપરની પ્રક્રિયા માટે) સંતુલન મિશ્રણને અચળ તાપમાને નળાકારમાં ફીટ કરેલ પિસ્ટન વડે સંકોચીને તેનું કદ મૂળ કદ કરતાં અડધું કરીએ તો કુલ દબાણ બમણું થઈ જશે. (સમીકરણ $pV = અચળાંક$). આથી પ્રક્રિયકો અને નીપજોના આંશિક દબાણો અને તેથી જ તેમની સાંદ્રતામાં ફેરફાર થાય છે, પરિણામે મિશ્રણ સંતુલનમાં રહેતું નથી. લ-શેટેલિયરનો સિદ્ધાંત લાગુ પાડીને કઈ દિશામાં પ્રક્રિયા પરિણમીને ફરીથી સંતુલનનું પુનઃસ્થાપન કરશે તેનું પ્રાક્કથન કરી શકીશું. દબાણ બમણું થયું છે તેથી સંતુલન પુરોગામી દિશામાં ખસશે, આ દિશામાં વાયુના મોલની સંખ્યા અથવા દબાણ ઘટશે. (આપણે જાણીએ છીએ કે દબાણ વાયુના મોલની સંખ્યાના સમપ્રમાણમાં

હોય છે.) આ આપણે પ્રક્રિયા ભાગફળ Q_c નો ઉપયોગ કરીને સમજી શકીએ. ધારો કે મિથેનેશન પ્રક્રિયામાં સંતુલને $[CO]$, $[H_2]$, $[CH_4]$ અને $[H_2O]$ મોલર સાંદ્રતા છે, જ્યારે પ્રક્રિયા મિશ્રણનું કદ અડધું કરવામાં આવે છે ત્યારે આંશિક દબાણ અને સાંદ્રતા બમણા થશે. આપણે દરેક સંતુલન સાંદ્રતાને તેના બમણા મૂલ્યથી બદલીને પ્રક્રિયા ભાગફળ મેળવી શકીએ.

$$Q_c = \frac{[CH_4(g)][H_2O(g)]}{[CO(g)][H_2(g)]^3}$$

જ્યાં, $Q_c < K_c$ હોવાથી પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં આગળ વધે છે.

$C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)$ પ્રક્રિયામાં જ્યારે દબાણ વધારવામાં આવે છે ત્યારે પ્રક્રિયા પ્રતિગામી દિશામાં જાય છે, કારણ કે વાયુના મોલની સંખ્યા પુરોગામી પ્રક્રિયામાં વધે છે.

7.8.3 નિષ્ક્રિય વાયુના ઉમેરાની અસર (Effect of Inert Gas Addition)

જો કદ અચળ રાખવામાં આવે અને નિષ્ક્રિય વાયુ જેવાં કે આર્ગોન ઉમેરવામાં આવે તો પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતા નથી અને સંતુલન બલેલરહિત રહે છે. આનું કારણ એ છે કે અચળ કદે નિષ્ક્રિય વાયુનો ઉમેરો પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતાં પદાર્થનું આંશિક દબાણ અથવા મોલર સાંદ્રતા બદલાતા નથી. જો ઉમેરેલ નિષ્ક્રિય વાયુ પ્રક્રિયામાં સંકળાયેલ પ્રક્રિયક અથવા નીપજ હોય તો પ્રક્રિયા ભાગફળ બદલાય છે.

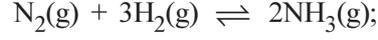
7.8.4 તાપમાન ફેરફારની અસર (Effect of Temperature Change)

જ્યારે પણ સંતુલનને સાંદ્રતા, દબાણ અથવા કદમાં ફેરફાર કરી બલેલ પહોંચાડવામાં આવે છે ત્યારે સંતુલન મિશ્રણની સાંદ્રતા બદલાય છે. કારણ કે પ્રક્રિયા ભાગફળ Q_c સંતુલન અચળાંક K_c જેટલો રહેતો નથી, પરંતુ જો તાપમાનમાં ફેરફાર થાય તો સંતુલન અચળાંક K_c માં ફેરફાર થાય છે.

સામાન્ય રીતે સંતુલન અચળાંકનો તાપમાન પર આધાર પ્રક્રિયાના ΔH ની સંજ્ઞા (નિશાની) પર રહે છે.

- ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા (ઋણ ΔH)માં સંતુલન અચળાંક તાપમાનના વધારા સાથે ઘટે છે.
- ઉષ્માશોષક પ્રક્રિયા (ધન ΔH)માં સંતુલન અચળાંક તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે.

તાપમાનમાં ફેરફાર સંતુલન અચળાંક અને પ્રક્રિયા દરને અસર કરે છે. એમોનિયાનું ઉત્પાદન નીચેની પ્રક્રિયા પ્રમાણે ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રમ છે.

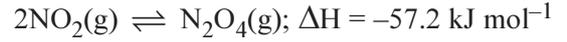


$$\Delta H = -92.38 \text{ kJ mol}^{-1}$$

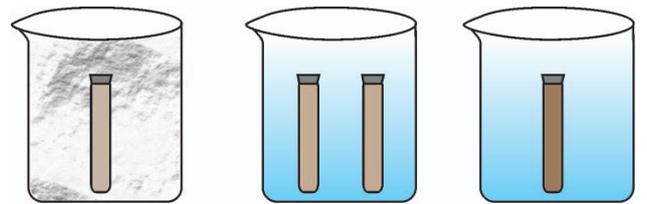
લ-શ્વેટેલિયરના સિદ્ધાંત પ્રમાણે તાપમાનનો વધારો એમોનિયાના સંતુલનને ડાબી બાજુ ખસેડે છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો નીચું તાપમાન એમોનિયાની વધુ પ્રમાણમાં નીપજ માટે સાનુકૂળ છે, પરંતુ પ્રાયોગિક દૃષ્ટિએ ઘણું નીચું તાપમાન પ્રક્રિયાનો દર ઘટાડે છે. આથી ઉદ્દીપક વપરાય છે.

તાપમાનની અસર : પ્રયોગ

સંતુલન પર તાપમાનની અસરનું નિદર્શન આપણે NO_2 વાયુ (કથ્થાઈ રંગ) લઈને જેનું દ્વિતીયકરણ (દ્વિઅણુ રચના) (dimerisation) N_2O_4 વાયુ (રંગવિહીન)માં થાય છે.



Cuને HNO_3 માં ઉમેરીને NO_2 વાયુ બનાવી શકાય. આ વાયુને બે 5 mL ની કસનળીમાં (ખાતરી કરીને કે દરેક કસનળીમાં વાયુના રંગની તીવ્રતા સરખી છે) લઈને બૂચને એરેલડાઈટ લગાડીને સીલ કરી દો. ત્રણ 250 mL કદના બીકર 1, 2 અને 3માં ઠારણ મિશ્રણ, ઓરડાના તાપમાને પાણી અને ગરમ પાણી (363K) અનુક્રમે લેવામાં આવે છે (આકૃતિ 7.9). બન્ને કસનળીઓને બીકર 2માં 8-10 મિનિટ રાખી મૂકો. પછી એકને બીકર 1માં મૂકો અને બીજાને બીકર 3માં મૂકો. પ્રક્રિયાની દિશા પર તાપમાનની અસર આ પ્રયોગમાં ઘણી સારી રીતે ચિત્ર દ્વારા રજૂ કરેલ છે. નીચા તાપમાને બીકર 1માં પુરોગામી પ્રક્રિયા જે N_2O_4 ની બનાવટ છે તેને વધુ પસંદ કરે છે. કારણ કે પ્રક્રિયા ઉષ્માક્ષેપક છે અને આથી N_2O_4 ની રચના



270 K તાપમાને ઠારણ મિશ્રણથી ભરેલ બીકર

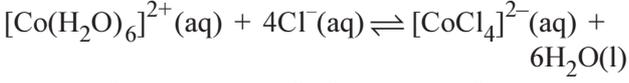
ઓરડાના તાપમાને પાણી 298 K

પાણી 363 K તાપમાને

આકૃતિ 7.9 $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$ પ્રક્રિયા માટે તાપમાનની સંતુલન પર અસર

થવાથી NO₂ને કારણે જણાતા કથ્થાઈ રંગની તીવ્રતા ઘટે છે. જ્યારે બીકર 3માં ઊંચું તાપમાન પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયાની તરફેણ કરે છે જે NO₂ની બનાવટ છે. આથી કથ્થાઈ રંગની તીવ્રતા વધે છે.

તાપમાનની અસર ઉષ્માશોષક પ્રક્રિયા પર જોઈ શકાય.



ગુલાબી રંગવિહીન વાદળી

ઓરડાના તાપમાને સંતુલન મિશ્રણ વાદળી છે જે [CoCl₄]²⁻ને લીધે છે. જ્યારે તેને ઠારણ મિશ્રણમાં ઠંડું પાડવામાં આવે છે ત્યારે મિશ્રણનો રંગ ગુલાબી બને છે જે [Co(H₂O)₆]²⁺ને લીધે છે.

7.8.5 ઉદ્દીપકની અસર (Effect of Catalyst)

ઉદ્દીપક, પ્રક્રિયકમાંથી નીપજ મેળવવા માટેના કોઈ ઓછી ઊર્જાની જરૂરિયાતવાળા પથને પ્રાપ્ત કરી રાસાયણિક પ્રક્રિયાનો દર વધારે છે. તે પુરોગામી પ્રક્રિયાનો દર અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાનો દર વધારે છે જે સમાન સંક્રાંતિ અવસ્થામાંથી પસાર થાય છે અને સંતુલનને અસર કરતો નથી. ઉદ્દીપક પુરોગામી પ્રક્રિયા અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયા બન્નેની સક્રિયકરણ ઊર્જામાં સરખા પ્રમાણમાં ઘટાડો કરે છે. ઉદ્દીપક પ્રક્રિયા મિશ્રણના સંઘટનને અસર કરતો નથી. તે સંતુલિત રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં દેખાતો નથી અથવા સંતુલન અચળાંકની રજૂઆતમાં પણ દેખાતો નથી.

આપણે ડાયનાઈટ્રોજન અને ડાયહાઈડ્રોજન વાયુમાંથી એમોનિયા વાયુની બનાવટની પ્રક્રિયા લઈએ જે ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા છે અને પ્રક્રિયકના વધુ મોલમાંથી નીપજના ઓછા મોલમાં ફેરવાય છે. તાપમાનના વધારા સાથે સંતુલન અચળાંક ઘટે છે. નીચા તાપમાને પ્રક્રિયાનો દર ઘટે છે અને સંતુલન પ્રાપ્ત કરવા માટે ઘણો સમય લે છે, જ્યારે ઊંચા તાપમાને દર સંતોષકારક છે પણ ઊપજ ઓછી છે.

જર્મન વૈજ્ઞાનિક ફ્રિટ્ઝ હેબરે (Fritz Haber) શોધ્યું છે કે આયર્ન ધરાવતો ઉદ્દીપક એ તાપમાને સંતોષકારક દરે પ્રક્રિયાને ઉદ્દીપિત કરે છે, ત્યારે જે તાપમાને એમોનિયાની સંતુલને સાંદ્રતા વાજબી રીતે તરફેણવાળી હોય છે. પ્રક્રિયામાં પરિણમતી નીપજના મોલ પ્રક્રિયકના મોલ કરતાં ઓછા છે અને તેથી દબાણના વધારાથી NH₃ની ઊપજ વધારી શકાય.

NH₃ના સંશ્લેષણમાં ઉદ્દીપકના ઉપયોગ સાથે તાપમાનના અને દબાણની અનુકૂળતમ પરિસ્થિતિ 500 °C અને 200 atmની આસપાસ હોય છે.

એ જ પ્રમાણે, સંપર્ક પદ્ધતિથી સલ્ફ્યુરિક એસિડનું ઉત્પાદન નીચેની પ્રક્રિયાથી થઈ શકે છે. તેમાં,

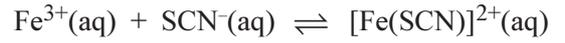


Kનું મૂલ્ય પ્રક્રિયા પૂર્ણ થવા તરફનું સૂચન કરે છે, પરંતુ પ્રાયોગિક દૃષ્ટિએ SO₂ નું SO₃ માં ઓક્સિડેશન ઘણી ધીમી પ્રક્રિયા છે. આથી પ્લેટિનમ અથવા ડાયવેનેડિયમ પેન્ટા-ઓક્સાઈડ (V₂O₅) ઉદ્દીપક તરીકે પ્રક્રિયાનો દર વધારવા માટે વપરાય છે.

નોંધ : જો પ્રક્રિયાના Kનું મૂલ્ય પ્રમાણમાં ઘણું જ ઓછું હોય તો ઉદ્દીપકની મદદ ઘણી ઓછી હોય છે.

7.9 દ્રાવણમાં આયનીય સંતુલન (Ionic Equilibrium in Solution)

સંતુલનની દિશા પર સાંદ્રતાની અસરની ચર્ચા દરમિયાન સંજોગવશાત્ તમે આયનોનો સમાવેશ કરતી પ્રક્રિયાનો અભ્યાસ કર્યો.



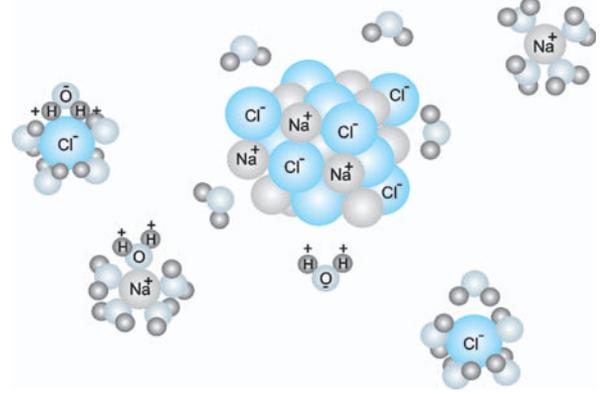
ઘણા બધા સંતુલનો છે કે જેમાં માત્ર આયનોનો સમાવેશ થાય છે. નીચેના વિભાગમાં આપણે આયનોના સમાવેશનો અભ્યાસ કરીશું. આપણે જાણીએ છીએ કે ખાંડનું દ્રાવણ વિદ્યુતનું વહન કરતું નથી, જ્યારે સામાન્ય ક્ષાર (સોડિયમ ક્લોરાઈડ) પાણીમાં ઉમેરવામાં આવે છે ત્યારે તે વિદ્યુતનું વહન કરે છે. સામાન્ય ક્ષારની સાંદ્રતાના વધારા સાથે વિદ્યુતનું વહન પણ વધે છે. માઈકલ ફેરડેએ પદાર્થોને તેમની વિદ્યુત વહન કરવાની ક્ષમતા પ્રમાણે બે વિભાગમાં વહેંચી દીધા. એક વિભાગ જેમાં પદાર્થો તેમના જલીય દ્રાવણમાં વિદ્યુત વહન કરે છે. જેને તેમણે વિદ્યુતવિભાજ્ય કહ્યા જ્યારે બીજા જે વિદ્યુતનું વહન કરતા નથી તેમને વિદ્યુત અવિભાજ્ય તરીકે ઓળખાવ્યા. ફેરડેએ આગળ ઉપર વિદ્યુતવિભાજ્યોને પ્રબળ અને નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યો તરીકે વર્ગીકૃત કર્યા. પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યો પાણીમાં ઓગળતાં સંપૂર્ણપણે આયનીકરણ પામે છે, જ્યારે નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યો અંશતઃ વિયોજિત થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે સોડિયમ ક્લોરાઈડનું જલીય દ્રાવણ લગભગ સંપૂર્ણપણે સોડિયમ આયન અને ક્લોરાઈડ આયનનું હોય છે, જ્યારે એસિટિક એસિડ મુખ્યત્વે અવિયોજિત એસિટિક એસિડ અણુઓ અને થોડાક એસિટેટ આયન અને હાઈડ્રોનિયમ આયન ધરાવે છે. આનું કારણ એ છે કે સોડિયમ ક્લોરાઈડની બાબતમાં લગભગ 100 % આયનીકરણ થાય છે, જ્યારે એસિટિક એસિડ જે નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય છે તેમાં 5 % થી પણ ઓછું આયનીકરણ થાય છે. એ નોંધવું જોઈએ કે નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યોમાં આયન અને બિનઆયનીકરણ પામેલા અણુઓ વચ્ચે સંતુલન સ્થપાય છે. આ પ્રકારનું

સંતુલન જેમાં જલીય દ્રાવણમાંના આયનોનો સમાવેશ થાય છે તેને આયનીય સંતુલન કહે છે. એસિડ, બેઈઝ અને ક્ષાર વિદ્યુતવિભાજ્યોના વિભાગમાં આવે છે અને તે પ્રબળ કે નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય તરીકે વર્તે છે.

7.10 એસિડ, બેઈઝ અને ક્ષાર (Acids, Bases and Salts)

એસિડ, બેઈઝ અને ક્ષાર કુદરતમાં વિશાળ પ્રાપ્તિસ્થાન ધરાવે છે. હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ જે પાચક રસ તરીકે આપણા જઠર(હોજરી)માંથી સ્રાવ થાય છે જે નોંધપાત્ર પ્રમાણમાં એટલે કે 1.2-1.5 L/દિવસ છે અને તે પાચનક્રિયા માટે આવશ્યક છે. એસિટિક એસિડ સરકો(વિનેગાર)માં મુખ્ય ઘટક તરીકે જાણીતો છે. લીંબુ અને નારંગીના જ્યુસમાં સાઈટ્રિક એસિડ અને એસ્કોબિક એસિડ હોય છે. આંબલીમાં ટાર્ટરિક એસિડ હોય છે. મોટા ભાગના એસિડ સ્વાદમાં ખાટા હોય છે, તેથી શબ્દ 'એસિડ' (acid) લેટિન શબ્દ એસિડસ(acidus)માંથી ઉતરી આવ્યો છે. એસિડ ભૂરા (વાદળી) લિટમસ પત્રને લાલમાં ફેરવે છે અને કેટલીક ધાતુઓ સાથેની પ્રક્રિયામાં ડાયહાઈડ્રોજન મુક્ત કરે છે. એ જ પ્રમાણે બેઈઝ લાલ લિટમસ પત્રને વાદળી (ભૂરા) કરે છે. સ્વાદમાં કડવા હોય છે અને સ્પર્શે ચીકણા લાગે છે. બેઈઝનું સામાન્ય ઉદાહરણ ધોવાનો સોડા છે. જે ધોવાના કામોમાં વપરાય છે. જો એસિડ અને બેઈઝને તેમના યોગ્ય પ્રમાણમાં ભેગા કરવામાં આવે તો એકબીજા સાથે પ્રક્રિયા કરીને ક્ષાર આપે છે. કેટલાક જાણીતા ક્ષારના ઉદાહરણ છે - સોડિયમ ક્લોરાઈડ, બેરિયમ સલ્ફેટ, સોડિયમ નાઈટ્રેટ. સોડિયમ ક્લોરાઈડ (સામાન્ય ક્ષાર) આપણા ખોરાકનો અગત્યનો ઘટક છે અને તે હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ અને

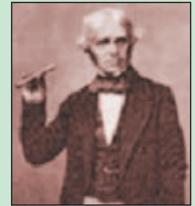
સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ વચ્ચેની પ્રક્રિયાથી બને છે તે ઘન અવસ્થામાં ધનભારવાળા સોડિયમ આયન અને ઋણભારવાળા ક્લોરાઈડ આયનોના ઝૂમખાં તરીકે હોય છે. જેમને આકૃતિ 7.10માં દર્શાવ્યા પ્રમાણેના એકબીજાથી વિરુદ્ધ ભારવાળી સ્પીસિઝની પારસ્પરિક ક્રિયાને કારણે ખૂબ જ જકડાયેલા રહે છે. બન્ને (વિરુદ્ધ) ભાર વચ્ચેના સ્થિરવિદ્યુતીય બળો માધ્યમના ડાયઇલેક્ટ્રિક (પરાવૈદ્યુત) અચળાંકના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે.



આકૃતિ 7.10 સોડિયમ ક્લોરાઈડનું પાણીમાં વિલયન, Na^+ અને Cl^- આયનો ધ્રુવીય પાણીના અણુઓ સાથે જલીયકરણથી સ્થાયી થયા છે.

પાણી, સાર્વત્રિક દ્રાવક છે અને 80 જેટલો ઊંચો ડાયઇલેક્ટ્રિક અચળાંક ધરાવે છે. આમ, સોડિયમ ક્લોરાઈડ પાણીમાં ઓગાળીએ ત્યારે સ્થિરવિદ્યુતીય પારસ્પરિક આકર્ષણો 80ના ગુણાંકમાં ઘટે છે અને આયનોને દ્રાવણમાં મુક્ત રીતે ફરવાની સગવડ કરી આપે છે. વળી તેઓ સારા પ્રમાણમાં એકબીજાથી અલગ હોય છે તેનું કારણ પાણીના અણુ સાથેનું જલીયકરણ છે.

ફેરાડેનો જન્મ લંડનની નજીક મર્યાદિત સગવડોવાળા એક કુટુંબમાં થયો હતો. 14 વર્ષની ઉંમરે તેમણે એક બુક બાઈન્ડરને ત્યાં એપ્રેન્ટિસ તરીકે કાર્ય શરૂ કરેલું. જ્યાં તેમને જે પુસ્તકોનું બાઈન્ડિંગ કરતા હતા તેને વાંચવાની છૂટ મળેલી. એક ભાગ્યશાળી તકના લીધે તેઓ 1813-'14માં ડેવીના લેબોરેટરી આસિસ્ટન્ટ બન્યા. ફેરાડે તેમની સાથે મહાદ્વિપમાં ગયા. આ યાત્રા દરમિયાન તે સમયના ઘણા બધા જાણીતા અને આગળ પડતાં વૈજ્ઞાનિકો સાથેના સંપર્કમાં આવ્યા અને તેમના અનુભવમાંથી ઘણું શીખ્યા. 1825માં તે ડેવીના ઉત્તરાધિકારી તરીકે રોયલ ઇન્સ્ટિટ્યુશન લેબોરેટરીઝના નિયામક અને 1833માં તેઓ પ્રથમ ફુલેરિયન પ્રોફેસર ઓફ કેમિસ્ટ્રી બન્યા. ફેરાડેનું પ્રથમ અગત્યનું કાર્ય વૈશ્લેષિક રસાયણ હતું. 1821 પછીનું તેમનું ઘણું કાર્ય વિદ્યુત અને ચુંબક તથા ઘણી બધી વિદ્યુતચુંબકીય ઘટનાઓ પર હતું. તેમના વિચારો આધુનિક ક્ષેત્રવાદની સ્થાપના તરફ દોરી ગયા. તેમણે 1834માં વિદ્યુતવિભાજનના બે નિયમો શોધ્યા. ફેરાડે એક સજ્જન અને માયાળુ હૃદયના માનવી હતા. તેમણે બધા જ સન્માનોને ફગાવી દીધા અને વૈજ્ઞાનિક વાદવિવાદોને ટાળ્યા. તેમણે એકલાએ જ કાર્ય કરવાનું પસંદ કર્યું. અને કોઈ મદદનીશ કદી રાખ્યા નહિ. એમણે વિજ્ઞાનનો પ્રસાર અનેક રીતે કર્યો. જેમાં શુક્રવારની સાંજના વ્યાખ્યાનો(પ્રવચનો)નો સમાવેશ થાય છે. આની શરૂઆત તેમણે રોયલ ઇન્સ્ટિટ્યુટશનથી જ કરેલી. તે તેમના નાતાલ વ્યાખ્યાન 'Chemical History of a Candle' (મીણબત્તીનો રાસાયણિક ઇતિહાસ) માટે તેઓ ખૂબ જ જાણીતા હતા. તેમણે લગભગ 450 વૈજ્ઞાનિક પત્રો પ્રકાશિત કરેલા છે.

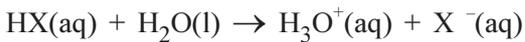
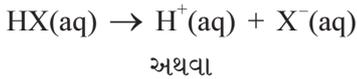


માઈકલ ફેરાડે
(1791-1867)

હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ અને એસિટિક એસિડ બંને ધ્રુવીય સહસંયોજક અણુઓ છે. તેમની પાણીમાં વિયોજનથી સરખામણી કરતાં HCl તેમના આયનોમાં સંપૂર્ણ આયનીકરણ પામેલા છે, જ્યારે CH₃COOH માત્ર અંશતઃ (< 5 %) આયનીકરણ પામેલા છે. આયનીકરણ કેટલે અંશે થશે તેની માત્રા બંધની પ્રબળતા અને ઉત્પન્ન થયેલા આયનોના દ્રાવકયોજન (Solvation) પર આધાર રાખે છે. અગાઉ વિયોજન અને આયનીકરણ પર્યાયો જુદા જુદા અર્થમાં વપરાતા હતા. વિયોજન એવો પ્રક્રમ છે જેમાં દ્રાવ્ય ઘન અવસ્થામાં જે રીતે અસ્તિત્વ ધરાવતો હતો તે જ રીતે દ્રાવણમાં આયનોમાં અલગીકરણ સ્વરૂપે જ રહે છે (જેમકે સોડિયમ ક્લોરાઇડમાં). બીજી બાજુ આયનીકરણ એવો પ્રક્રમ છે જેમાં તટસ્થ અણુ દ્રાવણમાં ભારિત આયનો તરીકે વિભાજિત થાય છે. આપણે અહીંયા બે વચ્ચે ભેદ દર્શાવીશું નહિ અને બન્ને પર્યાયો એકબીજાને માટે વાપરીશું.

7.10.1 એસિડ અને બેઇઝની આર્હેનિયસની સંકલ્પના (Arrhenius Concept of Acids and Bases)

આર્હેનિયસ (Arrhenius) સિદ્ધાંત પ્રમાણે એસિડ એવા પદાર્થો છે જે પાણીમાં વિયોજન પામે છે અને હાઈડ્રોજન આયન H⁺(aq) આપે છે અને બેઇઝ એવા પદાર્થો છે જે પાણીમાં વિયોજન પામે છે અને હાઈડ્રોક્સિલ આયન OH⁻(aq) આપે છે. એસિડ HX(aq)નું આયનીકરણ નીચેના સમીકરણોથી રજૂ કરી શકાય :



સ્વતંત્ર (bare) પ્રોટોન H⁺ ખૂબ જ સક્રિય છે અને જલીય દ્રાવણમાં સ્વતંત્ર રીતે અસ્તિત્વ ધરાવી શકતો નથી. આથી તે દ્રાવક પાણીના ઓક્સિજન સાથે બંધ રચે છે, જેથી ત્રિકોણીય પિરામિડલ હાઈડ્રોનિયમ આયન મળે છે. H₃O⁺ {[H(H₂O)]⁺} (બોક્સમાં જુઓ) આ પ્રકરણમાં આપણે H⁺(aq) અને H₃O⁺(aq) નો એકબીજાની બદલીમાં ઉપયોગ કરીશું અને એનો અર્થ જળયુક્ત પ્રોટોન છે.

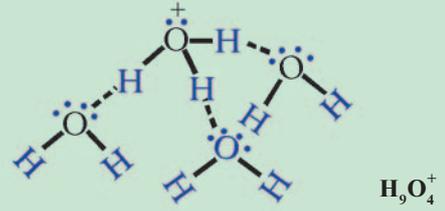
એ જ પ્રમાણે MOH જેવો બેઇઝ અણુ જલીય દ્રાવણમાં નીચેના સમીકરણ પ્રમાણે આયનીકરણ પામે છે.



હાઈડ્રોક્સિલ આયન પણ જલીય દ્રાવણમાં જળયુક્ત સ્વરૂપમાં હોય છે. આર્હેનિયસ એસિડ-બેઇઝ સિદ્ધાંતની એક મર્યાદા એ છે કે તે માત્ર જલીય દ્રાવણોને જ લાગુ પાડી શકાય છે અને એમોનિયા જેવા પદાર્થોની બેઝિકતા સમજાવી શકતો નથી, કારણ તેમાં હાઈડ્રોક્સિલ સમૂહ હોતો જ નથી.

હાઈડ્રોનિયમ અને હાઈડ્રોક્સિલ આયનો

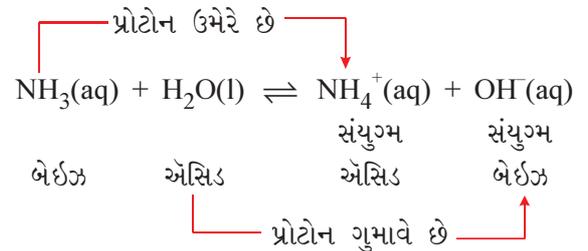
હાઈડ્રોજન આયન પોતે સ્વતંત્ર પ્રોટોન છે જેનું કદ ઘણું નાનું છે (~10⁻¹⁵ m ત્રિજ્યા) અને તીવ્ર વિદ્યુતીય ક્ષેત્ર ધરાવે છે, જેથી ઓક્સિજન પર મળતાં બે અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રોન જોડમાંની એક સાથે પોતે બંધન રચે છે અને H₃O⁺ આપે છે. આ સ્પીસિઝની ઘણા સંયોજનોની ઘન અવસ્થામાં પરખ થયેલ છે (ઉદા. H₃O⁺Cl⁻). જલીય દ્રાવણમાં હાઈડ્રોનિયમ આયન ફરી જળયુક્ત થાય છે અને H₅O₂⁺, H₇O₃⁺ અને H₉O₄⁺ જેવી સ્પીસિઝ આપે છે. એ જ પ્રમાણે હાઈડ્રોક્સિલ આયન પણ જળયુક્ત થાય છે અને H₃O₂⁻, H₅O₃⁻ અને H₇O₄⁻ વગેરે કેટલીક સ્પીસિઝ આપે છે.



7.10.2 બ્રોન્સ્ટેડ-લોરી એસિડ અને બેઇઝ (Bronsted-Lowry Acids and Bases)

ડેનિશ રાસાયણશાસ્ત્રી જોહાનિસ બ્રોન્સ્ટેડ (Johannes Bronsted) અને અંગ્રેજ રસાયણશાસ્ત્રી થોમસ એમ. લોરીએ (Thomas M. Lowry) એસિડ અને બેઇઝની વધારે સામાન્ય વ્યાખ્યા આપી. બ્રોન્સ્ટેડ-લોરીના સિદ્ધાંત પ્રમાણે એસિડ એવો પદાર્થ છે જે હાઈડ્રોજન આયન H⁺નું દાન કરવા શક્તિમાન છે અને બેઇઝ એવો પદાર્થ છે જે હાઈડ્રોજન આયન H⁺ને સ્વીકારે છે. ટૂંકાણમાં એસિડ પ્રોટોનદાતા છે અને બેઇઝ પ્રોટોનગ્રાહી છે.

નીચે દર્શાવેલા સમીકરણ પ્રમાણે NH₃નું H₂Oમાં વિલયનનું ઉદાહરણ ધ્યાનમાં લઈએ.



હાઈડ્રોક્સિલ આયનની હાજરીને લીધે બેઝિક દ્રાવણ બને છે. આ પ્રક્રિયામાં પાણીના અણુ પ્રોટોનદાતા તરીકે વર્તે છે અને એમોનિયાનો અણુ પ્રોટોનગ્રાહી તરીકે વર્તે છે અને આમ તે અનુક્રમે લોરી-બ્રોન્સ્ટેડ એસિડ અને બેઇઝ તરીકે વર્તે છે. પ્રતિગામી પ્રક્રિયામાં NH₄⁺માંથી H⁺, OH⁻ તરફ હેરફેર પામે છે. આ કિસ્સામાં NH₄⁺ બ્રોન્સ્ટેડ એસિડ તરીકે જ્યારે OH⁻ બ્રોન્સ્ટેડ બેઇઝ તરીકે વર્તે છે. એસિડ-બેઇઝની જોડ જે માત્ર એક પ્રોટોનથી જ અલગ પડે છે તેને સંયુગ્મ એસિડ-બેઇઝ જોડ કહે છે. આથી OH⁻ને H₂Oનો સંયુગ્મ બેઇઝ કહે છે અને



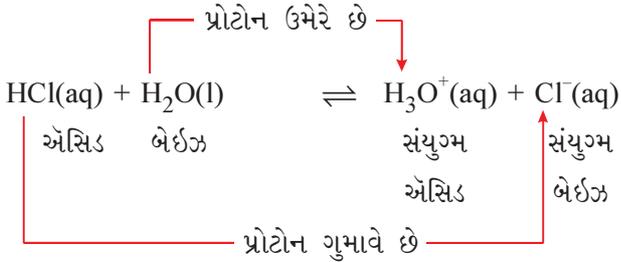
સ્વાન્ને આર્હેનિયસ
(1859-1927)

આર્હેનિયસ ઉપસાલા, સ્વીડનની નજીક જન્મ્યા હતા. તેમણે 1884માં યુનિવર્સિટી ઓફ ઉપસાલામાં તેમનો મહાનિબંધ (thesis) રજૂ કર્યો હતો. જેનું શીર્ષક હતું - વિદ્યુતવિભાજ્ય વાહકોના દ્રાવણની વાહકતા (Conductivities of electrolyte solutions) પછીના પાંચ વર્ષ તેમણે ખૂબ જ મુસાફરી કરી અને યુરોપમાંના ઘણા સંશોધન કેન્દ્રોની મુલાકાત લીધી. 1895માં તેમની સ્ટોકહોમમાંની નવી રચાયેલી યુનિવર્સિટી ઓફ સ્ટોકહોમમાં ભૌતિકવિજ્ઞાનના પ્રોફેસર તરીકે નિમણૂક થઈ અને 1897 થી 1902 સુધી તેમણે રેક્ટર તરીકે ફરજ બજાવેલી. 1905થી તેમના મૃત્યુ સુધી સ્ટોકહોમની નોબેલ ઈન્સ્ટિટ્યૂટના ભૌતિક-રસાયણવિજ્ઞાન નિયામક તરીકે કાર્ય કર્યું. તેમણે ઘણા વર્ષો સુધી વિદ્યુતવિભાજ્યમય દ્રાવણ પર કાર્ય કર્યું. 1899માં તેમણે રાસાયણિક પ્રક્રિયાના દરનો તાપમાન પર આધાર અંગે ચર્ચા કરી અને એક સમીકરણ તારવ્યું જે હવે આપણે આર્હેનિયસ સમીકરણ તરીકે ઓળખીએ છીએ.

તેમણે ઘણા જુદા જુદા ક્ષેત્રોમાં કાર્ય કર્યું અને તેમણે અગત્યનું યોગદાન પ્રતિરક્ષારસાયણ (Immuno-chemistry), બ્રહ્માંડ વિજ્ઞાન (Cosmology), જિંદગીની ઉત્પત્તિ (Origin of life) અને હિમયુગના કારણો વગેરે ક્ષેત્રોમાં કર્યું. તેઓ સૌપ્રથમ હતા જેમણે 'ગ્રીન હાઉસ અસર' જેને આપણે આજે આ નામથી ઓળખીએ છીએ તેની પણ ચર્ચા કરી હતી. તેમણે 1903માં તેમના વિદ્યુતીય વિયોજનના વાદ અને તેનો રસાયણવિજ્ઞાનના વિકાસ માટેના ઉપયોગના કાર્ય માટે રસાયણવિજ્ઞાનનું નોબેલ પારિતોષિક મેળવેલું.

NH_4^+ ને NH_3 નો સંયુગ્મ એસિડ કહે છે. જો બ્રોન્સ્ટેડ એસિડ પ્રબળ હોય તો તેનો સંયુગ્મ બેઈઝ નિર્બળ બેઈઝ હોય છે અને તેનાથી ઊલટું પણ (vice-versa). એ નોંધશો કે સંયુગ્મ એસિડને એક વધારાનો પ્રોટોન હોય છે અને બેઈઝને એક પ્રોટોન ઓછો હોય છે.

હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડના પાણીમાં આયનીકરણનું ઉદાહરણ લઈએ. $\text{HCl}(\text{aq})$, H_2O જે બેઈઝ તરીકે વર્તે છે તેને પ્રોટોનનું દાન કરીને એસિડ તરીકે વર્તે છે.



ઉપરના સમીકરણમાં જોઈ શકાશે કે પાણી બેઈઝ તરીકે વર્તે છે, કારણ કે તે પ્રોટોન સ્વીકારે છે. H_3O^+ સ્પીસિઝ પાણી જ્યારે HCl માંથી પ્રોટોન સ્વીકારે છે ત્યારે બને છે. આથી Cl^- , HCl નો સંયુગ્મ બેઈઝ બને છે અને HCl , બેઈઝ Cl^- નો સંયુગ્મ એસિડ બને છે. એ જ પ્રમાણે H_2O , એસિડ H_3O^+ નો સંયુગ્મ બેઈઝ બને છે અને H_3O^+ , બેઈઝ H_2O નો સંયુગ્મ એસિડ બને છે.

પાણીનો એસિડ અને બેઈઝ એમ બન્ને પ્રકારનો ભાગ ભજવવો તે એક રસપ્રદ અવલોકન છે. HCl સાથેની પ્રક્રિયાના કિસ્સામાં પાણી બેઈઝ તરીકે વર્તે છે અને એમોનિયા સાથેની પ્રક્રિયાના કિસ્સામાં એસિડ તરીકે વર્તે છે.

કોયડો 7.12

નીચેના બ્રોન્સ્ટેડ એસિડ માટે સંયુગ્મ બેઈઝ શું હશે ?
 HF , H_2SO_4 અને HCO_3^- ?

ઉકેલ :

સંયુગ્મ બેઈઝને દરેક કિસ્સામાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે કરતાં એક પ્રોટોન ઓછો હોવો જોઈએ તેથી અનુવર્તી સંયુગ્મ બેઈઝ નીચે પ્રમાણે થશે. જે અનુક્રમે F^- , HSO_4^- અને CO_3^{2-} છે.

કોયડો 7.13

નીચેના બ્રોન્સ્ટેડ બેઈઝ માટે સંયુગ્મ એસિડ લખો :

NH_2^- , NH_3 અને HCOO^- .

ઉકેલ :

સંયુગ્મ એસિડને દરેક કિસ્સા કરતાં એક વધારે પ્રોટોન હોવો જોઈએ, તેથી અનુવર્તી સંયુગ્મ એસિડ નીચે પ્રમાણે થશે જે અનુક્રમે NH_3 , NH_4^+ અને HCOOH છે.

કોયડો 7.14

સ્પીસિઝ H_2O , HCO_3^- , HSO_4^- અને NH_3 બ્રોન્સ્ટેડ એસિડ અને બેઈઝ બન્ને તરીકે વર્તી શકે છે. દરેક કિસ્સા માટે અનુરૂપ સંયુગ્મ એસિડ અને સંયુગ્મ બેઈઝ જણાવો.

ઉકેલ :

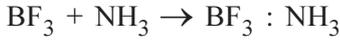
ઉત્તર નીચેના કોષ્ટકમાં આપેલ છે :

સ્પીસિઝ	સંયુગ્મ એસિડ	સંયુગ્મ બેઈઝ
H_2O	H_3O^+	OH^-
HCO_3^-	H_2CO_3	CO_3^{2-}
HSO_4^-	H_2SO_4	SO_4^{2-}
NH_3	NH_4^+	NH_2^-

7.10.3 લુઈસ એસિડ-બેઈઝ (Lewis Acids and Bases)

જી. એન. લુઈસે (G. N. Lewis) 1923માં વ્યાખ્યાઓ આપી કે એસિડ એવી સ્પીસિઝ છે જે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ સ્વીકારે છે અને બેઈઝ એવી સ્પીસિઝ છે જે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મનું દાન કરે છે. જ્યાં સુધી બેઈઝની બાબત છે ત્યાં સુધી બ્રોન્સ્ટેડ-લોરી અને લુઈસ સંકલ્પનામાં ખાસ કોઈ ફેર નથી, કારણ કે બેઈઝ અબંધકારક યુગ્મ બન્નેમાં પૂરા પાડે છે. લુઈસ સંકલ્પનામાં ઘણા એસિડ પ્રોટોન ધરાવતા નથી. જાણીતા ઉદાહરણમાં ઇલેક્ટ્રોન ઊણપવાળા સ્પીસિઝ BF_3 ની NH_3 સાથેની પ્રક્રિયા છે.

BF_3 ને પ્રોટોન નથી પણ છતાં એસિડ તરીકે વર્તે છે અને NH_3 સાથે ઇલેક્ટ્રોનનું અબંધકારક સ્વીકારીને પ્રક્રિયા કરે છે. પ્રક્રિયા નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય.



ઇલેક્ટ્રોન ઊણપવાળી સ્પીસિઝ, $AlCl_3$, Co^{3+} , Mg^{2+} વગેરે લુઈસ એસિડ તરીકે વર્તી શકે છે, જ્યારે H_2O , NH_3 , OH^- વગેરે જેવી સ્પીસિઝ જે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મનું દાન કરે છે તે લુઈસ બેઈઝ તરીકે વર્તે છે.

કોયડો 7.15

નીચેની સ્પીસિઝને લુઈસ એસિડ અને લુઈસ બેઈઝમાં વર્ગીકૃત કરો અને દર્શાવો કે તે કેવી રીતે વર્તે છે.

- (a) HO^- (b) F^- (c) H^+ (d) BCl_3

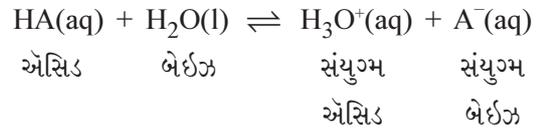
ઉકેલ :

- (a) હાઈડ્રોક્સિલ આયન લુઈસ બેઈઝ છે, કારણ કે તે અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ ($:OH^-$)નું દાન કરી શકે છે.
- (b) ફ્લોરાઈડ આયન લુઈસ બેઈઝ તરીકે વર્તે છે, કારણ કે તે ચારમાંથી કોઈ પણ એક અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મનું દાન કરી શકે છે.
- (c) પ્રોટોન લુઈસ એસિડ છે કારણ કે તે અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ ધરાવતાં હાઈડ્રોક્સિલ આયન અને ફ્લોરાઈડ આયન જેવા બેઈઝમાંથી અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ મેળવી શકે છે.
- (d) BCl_3 લુઈસ એસિડ તરીકે વર્તે છે કારણ કે તે અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ એમોનિયા અથવા એમાઈન જેવા અણુમાંથી સ્વીકારી શકે છે.

7.11 એસિડ અને બેઈઝના આયનીકરણ (Ionization of Acids and Bases)

એસિડ અને બેઈઝની આર્હેનિયસની સંકલ્પના એસિડ અને બેઈઝના આયનીકરણની બાબતમાં ઉપયોગી નીવડે છે, કારણ કે રાસાયણિક અને જૈવરાસાયણિક પ્રણાલીઓમાં મોટે ભાગે આયનીકરણ જલીય માધ્યમમાં જ થાય છે. પ્રબળ એસિડ

જેવાં કે પરક્લોરિક એસિડ ($HClO_4$), હાઈડ્રોક્લોરિક એસિડ (HCl), હાઈડ્રોબ્રોમિક એસિડ (HBr), હાઈડ્રોઆયોડિક એસિડ (HI), નાઈટ્રિક એસિડ (HNO_3) અને સલ્ફ્યુરિક એસિડ (H_2SO_4)ને પ્રબળ એસિડ ગણવા કારણ કે તેઓ જલીય માધ્યમમાં લગભગ સંપૂર્ણપણે તેમના ઘટક આયનોમાં વિયોજિત થાય છે જેથી કરીને તેઓ પ્રોટોનદાતા તરીકે વર્તે છે. એ જ પ્રમાણે પ્રબળ બેઈઝ જેવા કે લિથિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ ($LiOH$), સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ ($NaOH$), પોટેશિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ (KOH), સીઝિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ ($CsOH$) અને બેરિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ $Ba(OH)_2$ તેમના જલીય માધ્યમમાં લગભગ સંપૂર્ણપણે તેમના ઘટક આયનોમાં વિયોજિત થાય છે અને હાઈડ્રોક્સિલ આયન (OH^-) આપે છે. આર્હેનિયસની સંકલ્પના પ્રમાણે તેઓ સંપૂર્ણપણે વિયોજિત થાય છે અને અનુક્રમે H_3O^+ અને OH^- આયનો માધ્યમમાં આપે છે. વૈકલ્પિક રીતે એસિડ અને બેઈઝની પ્રબળતા પણ બ્રોન્સ્ટેડ-લોરીના એસિડ-બેઈઝની સંકલ્પનાના પર્યાયમાં સમાવિષ્ટ કરી શકીએ. જેમાં, પ્રબળ એસિડનો અર્થ છે કે સારો પ્રોટોનદાતા અને પ્રબળ બેઈઝનો અર્થ છે કે સારો પ્રોટોનગ્રાહી છે. નિર્બળ એસિડ HA ના એસિડ-બેઈઝ વિયોજન સંતુલનને ધ્યાનમાં લઈએ.

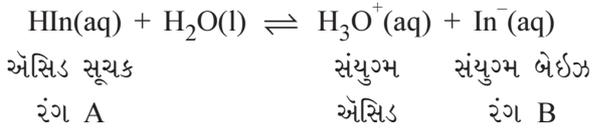


વિભાગ (7.10.2)માં આપણે જોયું કે એસિડ (અથવા બેઈઝ)નું વિયોજન સંતુલન ગતિશીલ છે, જેમાં પ્રોટોનની હેરફેર પુરોગામી અને પ્રતિગામી દિશામાં થયા કરે છે. હવે, પ્રશ્ન એ ઊભો થાય છે કે જો સંતુલન ગતિશીલ હોય તો સમયના પસાર થવા સાથે તે કઈ દિશામાં ખસશે ? આની પાછળ કયું પ્રેરક (driving) બળ હશે ? ઉપરોક્ત પ્રશ્નના ઉત્તર માટે આપણે વિયોજન સંતુલનમાં સંકળાયેલા બંને એસિડની (અથવા બેઈઝ) પ્રબળતાની સરખામણી કરવી પડશે. ઉપરના કિસ્સામાંના બે એસિડ HA અને H_3O^+ જે ઉપરના એસિડ-વિયોજન સંતુલનમાં નિર્દેશિત છે તેમને ધ્યાનમાં લઈએ. આપણે એ જોવું પડશે કે આ બન્નેમાંથી વધારે પ્રબળ પ્રોટોનદાતા કોણ હશે ? જે એસિડ પ્રોટોનદાતા તરીકેના વલણમાં વધારે પ્રબળ હશે તેને પ્રબળ એસિડ ગણવો પડશે અને પછી સંતુલન નિર્બળ એસિડની દિશામાં ખસશે. ધારો કે HA એસિડ H_3O^+ એસિડ કરતાં વધારે પ્રબળ છે, તો HA પ્રોટોનનું દાન કરશે અને H_3O^+ નહિ કરી શકે અને તેથી દ્રાવણમાં મુખ્યત્વે A^- અને H_3O^+ આયનો હશે. સંતુલન નિર્બળ એસિડની રચના અને નિર્બળ બેઈઝની

રચનાની દિશામાં ખસશે, કારણ કે પ્રબળ એસિડ પ્રબળ બેઇઝને પ્રોટોનનું દાન કરશે.

પ્રબળ એસિડ પાણીમાં સંપૂર્ણપણે વિયોજિત થાય છે અને પરિણામે બનતો બેઇઝ વધુ નિર્બળ હોય છે. એટલે કે પ્રબળ એસિડને વધુ નબળા સંયુગ્મ બેઇઝ હોય છે. પરક્લોરિક એસિડ (HClO₄), હાઇડ્રોક્લોરિક એસિડ (HCl), હાઇડ્રોબ્રોમિક એસિડ (HBr), હાઇડ્રોઆયોડિક એસિડ (HI), નાઇટ્રિક એસિડ (HNO₃) અને સલ્ફ્યુરિક એસિડ (H₂SO₄) નિર્બળ સંયુગ્મ બેઇઝ આયનો અનુક્રમે ClO₄⁻, Cl⁻, Br⁻, I⁻, NO₃⁻ અને HSO₄⁻ આપે છે જે પાણી કરતાં પણ વધારે નિર્બળ બેઇઝ છે. એ જ પ્રમાણે પ્રબળ બેઇઝ નિર્બળ સંયુગ્મ એસિડ આપશે. બીજી તરફ નિર્બળ એસિડ ધારો કે HA આંશિક વિયોજિત થાય છે તો તે મુખ્યત્વે અવિયોજિત HA અણુ ધરાવશે. જાણીતા નિર્બળ એસિડમાં નાઇટ્રસ એસિડ (HNO₂), હાઇડ્રોક્લોરિક એસિડ (HF) અને એસિટિક એસિડ (CH₃COOH) છે. એ નોંધવું જોઈએ કે, નિર્બળ એસિડને ઘણા પ્રબળ સંયુગ્મ બેઇઝ હોય છે. ઉદાહરણ તરીકે NH₂⁻, O²⁻ અને H⁻ ઘણા સારા પ્રોટોનગ્રાહી છે અને આમ પાણી કરતાં વધારે પ્રબળ બેઇઝ હોય છે.

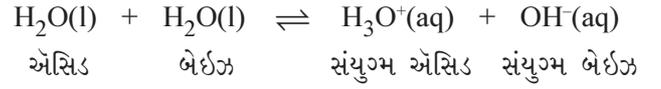
કેટલાક પાણીમાં દ્રાવ્ય કાર્બનિક પદાર્થો જેવાં કે ફિનોલ્ફથેલીન અને બ્રોમોથાયમોલ બ્લ્યુ નિર્બળ એસિડ તરીકે વર્તે છે અને તેઓ તેમના એસિડ સ્વરૂપ[HIn]માં અને સંયુગ્મ બેઇઝ [In⁻] સ્વરૂપમાં જુદા જુદા રંગ દર્શાવે છે.



આવા પદાર્થો એસિડ-બેઇઝ અનુમાપનમાં અને H⁺ આયનની સાંદ્રતા શોધવામાં ઉપયોગી સૂચકો છે.

7.11.1 પાણીનો આયનીકરણ અચળાંક અને તેનો આયનીય ગુણાકાર (The Ionization Constant of Water and its Ionic Product)

કેટલાક પદાર્થો જેવાં કે પાણી તેમની એસિડ તરીકે અને બેઇઝ તરીકે વર્તવાની તાકાતના અર્થમાં વિશિષ્ટ હોય છે. આ બાબતને આપણે વિભાગ 7.10.2માં પાણીની બાબતમાં જોઈ ગયા. એસિડ HAની હાજરીમાં તે પ્રોટોન સ્વીકારે છે અને બેઇઝ તરીકે વર્તે છે, જ્યારે બેઇઝની હાજરીમાં B⁻ ને પ્રોટોનનું દાન કરીને એસિડ તરીકે વર્તે છે. શુદ્ધ પાણીમાં પાણીનો એક અણુ એસિડ તરીકે પ્રોટોનનું દાન કરે છે અને બીજો પાણીનો અણુ તે જ સમયે પ્રોટોન સ્વીકારે છે અને બેઇઝ તરીકે વર્તે છે. નીચેનું સંતુલન અસ્તિત્વ ધરાવે છે.



વિયોજન અચળાંક નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$K = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] / [\text{H}_2\text{O}]^2 \quad (7.26)$$

પાણીની સાંદ્રતા છેદમાંથી દૂર કરવામાં આવે છે કારણ કે પાણી શુદ્ધ પ્રવાહી છે અને તેની સાંદ્રતા અચળ રહે છે. [H₂O]²ને સંતુલન અચળાંક સાથે સમાવી લેવામાં આવે છે, જેથી નવો અચળાંક K_w મળે છે, જેને પાણીનો આયનીય ગુણાકાર કહે છે.

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] \quad (7.27)$$

H⁺ આયનની સાંદ્રતા પ્રાયોગિક રીતે 298 K તાપમાને 1.0 × 10⁻⁷ M નક્કી કરવામાં આવેલ છે અને પાણીનું વિયોજન સરખી સંખ્યામાં H⁺ અને OH⁻ આયનો ઉત્પન્ન કરે છે તેથી હાઇડ્રોક્સિલ આયનની સાંદ્રતા,

$$[\text{OH}^-] = [\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ M થશે. આથી, } K_w \text{ નું મૂલ્ય 298K તાપમાને,}$$

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = (1 \times 10^{-7})^2 = 1 \times 10^{-14} \text{ M}^2 \quad (7.28)$$

K_wનું મૂલ્ય તાપમાન આધારિત છે, કારણ કે તે સંતુલન અચળાંક છે.

શુદ્ધ પાણીની ઘનતા 1000 g / L છે અને તેનું મોલર દળ 18.0 g / mol છે. આથી શુદ્ધ પાણીની મોલારિટી નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$[\text{H}_2\text{O}] = (1000 \text{ g / L})(1 \text{ mol} / 18.0 \text{ g}) = 55.55 \text{ M.}$$

આથી વિયોજિત પાણી અને અવિયોજિત પાણીની સાંદ્રતાનો ગુણોત્તર 10⁻⁷ / (55.55) = 1.8 × 10⁻⁹ અથવા ~2 × 10⁻⁹ થશે (આથી સંતુલન મુખ્યત્વે અવિયોજિત પાણીની તરફ રહેશે).

H₃O⁺ અને OH⁻ આયનોની સાંદ્રતાના સાપેક્ષ મૂલ્યો પરથી જલીય એસિડિક, બેઝિક અને તટસ્થ દ્રાવણો વચ્ચે ભેદ પાડી શકીએ.

$$\text{એસિડિક} : [\text{H}_3\text{O}^+] > [\text{OH}^-]$$

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

$$\text{બેઝિક} : [\text{H}_3\text{O}^+] < [\text{OH}^-]$$

7.11.2 pH માપક્રમ (The pH Scale)

હાઇડ્રોનિયમ આયનની મોલારિટીમાં સાંદ્રતા વધારે અનુકૂળતાથી લઘુગણકીય માપક્રમમાં દર્શાવી શકીએ જેને pH માપક્રમ કહે છે. દ્રાવણની pHની વ્યાખ્યા, હાઇડ્રોજન આયનની સક્રિયતા (activity) (a_{H⁺})નો 10ના આધારે ઋણ લઘુગણક

છે. મંદદ્રાવણમાં ($< 0.01 \text{ M}$) હાઈડ્રોજન આયન (H^+)ની સક્રિયતાની માત્રા $[\text{H}^+]$ વડે દર્શાવાતી માત્રા જેટલી જ હોય છે. એ નોંધવું જોઈએ કે સક્રિયતાને એકમ નથી અને તે નીચે પ્રમાણે વ્યાખ્યાયિત કરી શકાય :

$$a_{\text{H}^+} = [\text{H}^+] / \text{mol L}^{-1}$$

pHની વ્યાખ્યા પરથી નીચે પ્રમાણે લખી શકાય કે,

$$\text{pH} = -\log a_{\text{H}^+} = -\log \{[\text{H}^+] / \text{mol L}^{-1}\}$$

આમ, HClનું જલીય દ્રાવણ (10^{-2} M)ની $\text{pH} = 2$ થશે. એ જ પ્રમાણે NaOHનું જલીય દ્રાવણ જેની $[\text{OH}^-] = 10^{-4} \text{ M}$ અને $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-10} \text{ M}$ છે તેથી $\text{pH} = 10$ થશે. 25°C તાપમાને શુદ્ધ પાણીમાં હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા $[\text{H}^+] = 10^{-7} \text{ M}$ છે. આથી શુદ્ધ પાણીની pH નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$\text{pH} = -\log(10^{-7}) = 7$$

એસિડિક દ્રાવણો હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા $[\text{H}^+] > 10^{-7} \text{ M}$ ધરાવે છે જ્યારે બેઝિક દ્રાવણો હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા $[\text{H}^+] < 10^{-7} \text{ M}$ ધરાવે છે. આથી આપણે લખી શકીએ કે,

એસિડિક દ્રાવણની $\text{pH} < 7$

બેઝિક દ્રાવણની $\text{pH} > 7$

તટસ્થ દ્રાવણની $\text{pH} = 7$

હવે ફરી સમીકરણ (7.28)ને 298 K તાપમાને ગણતરીમાં લઈએ.

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

સમીકરણની બન્ને બાજુના ઋણ ઘાતાંક લેતાં આપણને મળશે.

$$\begin{aligned} -\log K_w &= -\log \{[\text{H}_3\text{O}^+] [\text{OH}^-]\} \\ &= -\log [\text{H}_3\text{O}^+] - \log [\text{OH}^-] \\ &= -\log 10^{-14} \end{aligned}$$

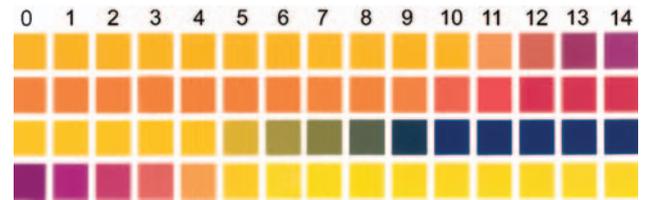
$$pK_w = \text{pH} + \text{pOH} = 14 \quad (7.29)$$

એ નોંધવું કે K_w તાપમાનના ફેરફાર સાથે બદલાશે પણ pH માં તાપમાનના ફેરફાર સાથેના ફેરફાર એટલા ઓછા હોય છે કે આપણે તેમને અવગણીએ છીએ.

pK_w જલીય દ્રાવણો માટે અગત્યની રાશિ છે અને હાઈડ્રોજન અને હાઈડ્રોક્સિલ આયનોની સાપેક્ષ સાંદ્રતાને નિયંત્રિત કરે છે. કારણ કે તેમનો ગુણાકાર એક અચળાંક છે. એ નોંધવું જોઈએ કે pH માપકમ ઘાતાંકીય છે અને તેથી

pH ના એક એકમના ફેરફારનો અર્થ એ થાય કે $[\text{H}^+]$ ની સાંદ્રતાનો ફેરફાર 10ના અવયવ જેટલો થશે. એ જ પ્રમાણે જ્યારે હાઈડ્રોજન આયન સાંદ્રતા $[\text{H}^+]$ નાં 100ના અવયવનો ફેરફાર થાય છે ત્યારે pH બે એકમથી બદલાય છે. હવે તમને ખાતરી થશે કે શા માટે તાપમાન સાથેના pH ના ફેરફારને આપણે અવગણીએ છીએ.

દ્રાવણની pH નું માપન આવશ્યક છે કારણ કે જ્યારે જૈવરાસાયણિક કે સૌંદર્ય પ્રસાધન પદાર્થો સાથે કાર્ય કરીએ ત્યારે તેની જાણકારી જરૂરી બને છે. દ્રાવણની pH અડસટ્ટે pH પેપરની મદદથી નક્કી કરી શકાય. pH પેપર પર જુદા જુદા pH ને અનુસાર જુદા જુદા રંગ દર્શાવે છે. હવે ચાર પટ્ટીઓવાળા pH પેપર મળે છે. જુદી જુદી પટ્ટીને જુદા જુદા રંગ હોય છે (આકૃતિ 7.11). 1-14ના ગાળામાં pH નું મૂલ્ય ~ 0.5 ની ચોકસાઈ સાથે pH પેપર વાપરીને કરી શકીએ છીએ.



આકૃતિ 7.11 ચાર પટ્ટીઓ સાથેનો pH પેપર જેના સમાન pH મૂલ્યે જુદા જુદા રંગ હોય છે.

વધારે ચોકસાઈ માટે pH મીટરનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. pH મીટર એક એવું સાધન છે જે પરખ માટેના દ્રાવણની pH 0.001 પરિશુદ્ધતા સાથે નક્કી કરવા pH આધારિત વિદ્યુતીય પોટેન્શિયલ હોય છે. હવે બજારમાં લખવાની પેનના માપના pH મીટર પ્રાપ્ય છે. કેટલાક સામાન્ય પદાર્થોની pH કોષ્ટક 7.5માં દર્શાવેલ છે.

કોયડો 7.16

એક ઠંડા પીણાનાં નમૂનામાં હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા $3.8 \times 10^{-3} \text{ M}$ છે. તેની pH કેટલી હશે ?

ઉકેલ :

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log[3.8 \times 10^{-3}] \\ &= -\{\log[3.8] + \log[10^{-3}]\} \\ &= -\{(0.58) + (-3.0)\} = -\{-2.42\} = 2.42 \end{aligned}$$

આથી ઠંડા પીણાંની pH 2.42 થશે અને તેથી અનુમાન કરી શકાય કે તે એસિડિક છે.

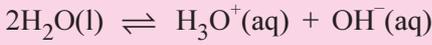
કોયડો 7.17

$1.0 \times 10^{-8} \text{ M}$ HClની pH ગણો.

કોષ્ટક 7.5 કેટલાક સામાન્ય પદાર્થોની pH

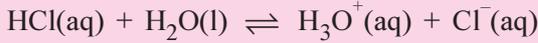
દ્રવ્યું નામ	pH	દ્રવ્યું નામ	pH
NaOHનું સંતૃપ્ત દ્રાવણ	~15	બ્લેક કોફી	5.0
0.1 M NaOH દ્રાવણ	13	ટોમેટો જ્યુસ	~4.2
ચૂનાનું પાણી	10.5	ઠંડા પીણા અને વિનેગાર	~3.0
મિલ્ક ઓફ મેગ્નેશિયા	10	લેમન (લિંબુ) જ્યુસ	~2.2
ઈડાંની સફેદી, દરિયાનું પાણી	7.8	પાયક રસ	~1.2
માનવ લોહી	7.4	1M HCl દ્રાવણ	~0
માનવ લાળ	6.8	સાંદ્ર HCl	~-1.0
દૂધ	6.4		

ઉકેલ :



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

ધારો કે $x = [\text{OH}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]$ (H_2O માંથી). H_3O^+ સાંદ્રતા (i) ઓગાળેલા HClના આયનીકરણથી એટલે કે



અને (ii) H_2O ના આયનીકરણમાંથી. આ ઘણા મંદ દ્રાવણોમાં H_3O^+ ની સાંદ્રતાના બન્ને સ્ત્રોતોને ગણતરીમાં લેવા જોઈએ.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-8} + x$$

$$K_w = (10^{-8} + x)(x) = 10^{-14}$$

$$\text{અથવા } x^2 + 10^{-8}x - 10^{-14} = 0$$

$$[\text{OH}^-] = x = 9.5 \times 10^{-8}$$

$$\text{આથી } \text{pOH} = 7.02 \text{ અને } \text{pH} = 6.98$$

અહીંયા $c =$ અવિયોજિત એસિડ HXની પ્રારંભિક સાંદ્રતા $t = 0$ સમયે છે. $\alpha =$ HXની આયનમાં આયનીકરણ થવાની માત્રા છે. આ સંજ્ઞાઓનો ઉપયોગ કરીને આપણે ઉપર ચર્ચા કરેલ એસિડ-બેઈઝ વિયોજન સંતુલનનો સંતુલન અચળાંક ગણી શકીએ.

$$K_a = c^2\alpha^2 / c(1-\alpha) = c\alpha^2 / (1-\alpha)$$

K_a ને એસિડ HXનો વિયોજન અથવા આયનીકરણ અચળાંક કહેવામાં આવે છે. તેને વૈકલ્પિક રીતે મોલર સાંદ્રતામાં નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$K_a = [\text{H}^+][\text{X}^-] / [\text{HX}] \quad (7.30)$$

આપેલ તાપમાન T એ K_a એસિડ HXની પ્રબળતા (strength)નું માપ છે. એટલે કે K_a નું મૂલ્ય જેટલું વધારે તેટલો વધારે પ્રબળ એસિડ. K_a પરિમાણરહિત રાશિ છે, જેની સમજ છે કે બધી જ સ્પીસિઝની પ્રમાણિત અવસ્થા સાંદ્રતા 1M છે.

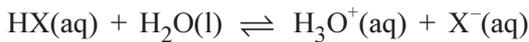
કેટલાક પસંદ કરેલા નિર્બળ એસિડના આયનીકરણ અચળાંક કોષ્ટક 7.6માં દર્શાવ્યા છે.

કોષ્ટક 7.6 કેટલાક પસંદ કરેલા નિર્બળ એસિડના આયનીકરણ અચળાંક (298K તાપમાને)

એસિડ	આયનીકરણ અચળાંક K_a
હાઈડ્રોફ્લોરિક એસિડ (HF)	3.5×10^{-4}
નાઈટ્રસ એસિડ (HNO_2)	4.5×10^{-4}
ફોર્મિક એસિડ (HCOOH)	1.8×10^{-4}
નિયાસીન ($\text{C}_5\text{H}_4\text{NCOOH}$)	1.5×10^{-5}
એસિટિક એસિડ (CH_3COOH)	1.74×10^{-5}
બેન્ઝોઈક એસિડ ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$)	6.5×10^{-5}
હાઈપોક્લોરસ એસિડ (HClO)	3.0×10^{-8}
હાઈડ્રોસાયનિક એસિડ (HCN)	4.9×10^{-10}
ફિનોલ ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$)	1.3×10^{-10}

7.11.3 નિર્બળ એસિડના આયનીકરણ અચળાંક (Ionization Constants of Weak Acids)

નિર્બળ એસિડ HXને ધ્યાનમાં લો જે જલીય દ્રાવણમાં આંશિક આયનીકરણ પામે છે. તેનું સંતુલન નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય.



પ્રારંભિક

સાંદ્રતા (M)

$$c \qquad 0 \qquad 0$$

ધારો કે α આયનીકરણની માત્રા દર્શાવે તો ફેરફાર

પામતી સાંદ્રતા (M)

$$-c\alpha \qquad +c\alpha \qquad +c\alpha$$

સંતુલને સાંદ્રતા (M)

$$c-c\alpha \qquad c\alpha \qquad c\alpha$$

હાઈડ્રોજન આયન સાંદ્રતા માટેનો pH માપકમ એટલો ઉપયોગી છે કે pK_w ઉપરાંત તેનો ઉપયોગ બીજી સ્પીસિઝના જથ્થા માટે વિકસાવી શકાય.

$$pK_a = -\log(K_a) \quad (7.31)$$

એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક K_a જાણવાથી તેની પ્રારંભિક સાંદ્રતા c ગણી શકાય. બધી જ સ્પીસિઝની સંતુલન સાંદ્રતાની ગણતરી કરવાનું પણ શક્ય બને છે અને એસિડનો આયનીકરણ અંશ અને દ્રાવણની pH પણ ગણી શકીએ.

નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યની pHના મૂલ્યાંકન માટે સામાન્ય તબક્કાવાર અભિગમ (approach) આપણે અપનાવી શકીએ.

તબક્કો 1 : વિયોજન પહેલાંની હાજર સ્પીસિઝને બ્રૉન્સ્ટેડ-લોરી એસિડ/બેઈઝ તરીકે ઓળખી શકીએ.

તબક્કો 2 : શક્ય બધી જ પ્રક્રિયાઓ માટે સંતુલિત સમીકરણ એટલે કે એસિડ અને બેઈઝ બન્ને તરીકે વર્તતી સ્પીસિઝને લખીએ.

તબક્કો 3 : ઊંચા K_a વાળી પ્રક્રિયાને પ્રાથમિક પ્રક્રિયા તરીકે જ્યારે બીજી પ્રક્રિયાઓને ગૌણ પ્રક્રિયા તરીકે ઓળખવી જોઈએ.

તબક્કો 4 : પ્રાથમિક પ્રક્રિયામાંથી દરેક સ્પીસિઝ માટે નીચેના મૂલ્યોનો કોષ્ટક સ્વરૂપમાં યાદી બનાવીએ :

- પ્રારંભિક સાંદ્રતા, c .
- સંતુલન તરફ આગળ વધતી પ્રક્રિયામાં સાંદ્રતા ફેરફાર આયનીકરણ અંશ α ના પર્યાયોમાં દર્શાવીએ.
- સંતુલન સાંદ્રતા

તબક્કો 5 : મુખ્ય પ્રક્રિયા માટેના સંતુલન અચળાંક સમીકરણમાં સંતુલન સાંદ્રતાઓ મૂકીએ અને α માટે ઉકેલ મેળવીએ.

તબક્કો 6 : મુખ્ય પ્રક્રિયામાં સ્પીસિઝની સાંદ્રતાઓ ગણો.

તબક્કો 7 : $pH = -\log[H_3O^+]$ ગણો.

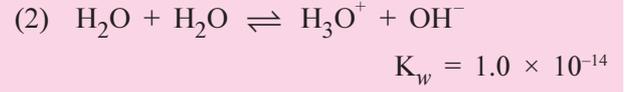
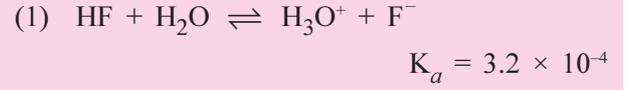
ઉપર દર્શાવેલી પદ્ધતિ નીચેના ઉદાહરણો દ્વારા સ્પષ્ટ કરીશું.

કોયડો 7.18

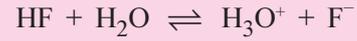
HF નો આયનીકરણ અચળાંક 3.2×10^{-4} છે. HFનો તેના 0.02 M દ્રાવણમાં વિયોજન અંશ ગણો. દ્રાવણમાં હાજર બધી જ સ્પીસિઝ (H_3O^+ , F^- અને HF) અને તેની pH ગણો.

ઉકેલ :

નીચેની પ્રોટોન ફેરબદલી પ્રક્રિયાઓ શક્ય છે :



$K_a \gg K_w$, માટે (1) પ્રક્રિયા મુખ્ય પ્રક્રિયા છે.



પ્રારંભિક

સાંદ્રતા (M)

$$0.02 \quad 0 \quad 0$$

સાંદ્રતામાં ફેરફાર (M)

$$-0.02\alpha \quad +0.02\alpha \quad +0.02\alpha$$

સંતુલન સાંદ્રતા (M)

$$0.02 - 0.02\alpha \quad 0.02\alpha \quad 0.02\alpha$$

મુખ્ય પ્રક્રિયાના સંતુલન અચળાંકમાં સંતુલન સાંદ્રતાના મૂલ્યો મૂકતાં મળશે.

$$K_a = (0.02\alpha)^2 / (0.02 - 0.02\alpha) \\ = 0.02 \alpha^2 / (1 - \alpha) = 3.2 \times 10^{-4}$$

આપણને નીચેનું દ્વિઘાત સમીકરણ મળશે :

$$\alpha^2 + 1.6 \times 10^{-2}\alpha - 1.6 \times 10^{-2} = 0$$

દ્વિઘાત સમીકરણનો ઉકેલ શોધી શકાય અને તેના બે મૂળ (ઉકેલ)ના મૂલ્યો થશે,

$$\alpha = +0.12 \text{ અને } -0.12$$

ઋણ ઉકેલ સ્વીકાર્ય નથી અને તેથી, $\alpha = 0.12$

આનો અર્થ એમ થાય છે કે આયનીકરણ અંશ $\alpha = 0.12$, પછી બીજી સ્પીસિઝની જેવી કે (HF , F^- અને H_3O^+)ની સંતુલન સાંદ્રતા નીચે પ્રમાણે આપી શકાશે :

$$[H_3O^+] = [F^-] = c\alpha = 0.02 \times 0.12 \\ = 2.4 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$[HF] = c(1 - \alpha) = 0.02 (1 - 0.12) \\ = 17.6 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$pH = -\log[H^+] = -\log(2.4 \times 10^{-3}) = 2.62$$

કોયડો 7.19

0.1 M એકબેઝિક એસિડની pH 4.50 છે. સ્પીસિઝ H^+ , A^- અને HA ની સંતુલન સાંદ્રતા ગણો. વળી, એકબેઝિક એસિડનો K_a અને pK_a ના મૂલ્યો નક્કી કરો.

ઉકેલ :

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

$$\begin{aligned} \text{માટે } [\text{H}^+] &= 10^{-\text{pH}} = 10^{-4.50} \\ &= 3.16 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

$$[\text{H}^+] = [\text{A}^-] = 3.16 \times 10^{-5}$$

$$\text{હવે, } K_a = [\text{H}^+][\text{A}^-] / [\text{HA}]$$

$$[\text{HA}]_{\text{eqbm}} = 0.1 - (3.16 \times 10^{-5}) \approx 0.1$$

$$K_a = (3.16 \times 10^{-5})^2 / 0.1 = 1.0 \times 10^{-8}$$

$$\text{p}K_a = -\log(10^{-8}) = 8$$

વૈકલ્પિક રીતે, “ટકામાં વિયોજન” બીજી ઉપયોગી પદ્ધતિ નિર્બળ એસિડની પ્રબળતા નક્કી કરવા માટે છે અને તે નીચે પ્રમાણે છે :

ટકામાં વિયોજન

$$= [\text{HA}]_{\text{dissociated}} / [\text{HA}]_{\text{initial}} \times 100 \% \quad (7.32)$$

કોષ્ટક 7.20

0.08 M હાયપોકલોરસ એસિડ (HOCl) દ્રાવણની pH ગણો. એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક 2.5×10^{-5} છે. HOClનું ટકામાં વિયોજન ગણો.

ઉકેલ :



પ્રારંભિક સાંદ્રતા (M)

$$0.08 \qquad \qquad \qquad 0 \qquad \qquad \qquad 0$$

સાંદ્રતા સંતુલને

પહોંચવા માટેનો

ફેરફાર (M)

$$-x \qquad \qquad \qquad +x \qquad \qquad \qquad +x$$

સંતુલને સાંદ્રતા (M)

$$0.08 - x \qquad \qquad \qquad x \qquad \qquad \qquad x$$

$$K_a = \{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{ClO}^-] / [\text{HOCl}]\}$$

$$= x^2 / (0.08 - x)$$

$$x \ll 0.08, \text{ હોવાથી } 0.08 - x \approx 0.08$$

$$x^2 / 0.08 = 2.5 \times 10^{-5}$$

$$x^2 = 2.0 \times 10^{-6} \text{ આથી } x = 1.41 \times 10^{-3}$$

$$[\text{H}^+] = 1.41 \times 10^{-3} \text{ M.}$$

માટે ટકામાં વિયોજન

$$= \{[\text{HOCl}]_{\text{dissociated}} / [\text{HOCl}]_{\text{initial}}\} \times 100$$

$$= 1.41 \times 10^{-3} \times 10^2 / 0.08 = 1.76 \%$$

$$\text{pH} = -\log(1.41 \times 10^{-3}) = 2.85.$$

7.11.4 નિર્બળ બેઈઝનું આયનીકરણ (Ionization of Weak Bases)

MOH બેઈઝનું આયનીકરણ નીચેના સમીકરણથી દર્શાવી શકાય :



નિર્બળ બેઈઝમાં MOHનું આંશિક આયનીકરણ હોય છે. જે એસિડ વિયોજન સંતુલનને મળતું આવે છે. બેઈઝ આયનીકરણ માટેના સંતુલન અચળાંકને બેઈઝ આયનીકરણ અચળાંક કહે છે અને તે K_b વડે દર્શાવાય છે. તેને સંતુલનમાં રહેલી જુદી જુદી સ્પીસિઝ મોલારિટીમાં સાંદ્રતાના પર્યાયમાં નીચેના સમીકરણ વડે દર્શાવી શકાય.

$$K_b = [\text{M}^+][\text{OH}^-] / [\text{MOH}] \quad (7.33)$$

વૈકલ્પિક રીતે જો, c = બેઈઝની પ્રારંભિક સાંદ્રતા અને α = બેઈઝનો આયનીકરણ અંશ એટલે કે બેઈઝ કેટલી માત્રામાં આયનીકરણ પામે છે, જ્યારે સંતુલન પ્રાપ્ત થાય છે ત્યારે, સંતુલન અચળાંક નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$K_b = (c\alpha)^2 / c(1 - \alpha) = c\alpha^2 / (1 - \alpha)$$

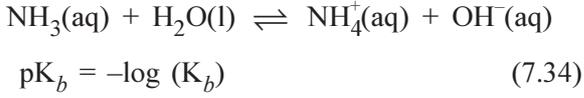
કેટલાક પસંદ કરેલા નિર્બળ બેઈઝના આયનીકરણ અચળાંક K_b કોષ્ટક 7.7માં દર્શાવેલ છે.

કોષ્ટક 7.7 કેટલાક નિર્બળ બેઈઝના આયનીકરણ અચળાંકના મૂલ્યો 298 K તાપમાને

બેઈઝ	K_b
ડાયમિથાઇલએમાઇન, $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	5.4×10^{-4}
ટ્રાયઇથાઇલએમાઇન, $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$	6.45×10^{-5}
એમોનિયા, NH_3 અથવા NH_4OH	1.77×10^{-5}
ક્વીનાઇન (એક વૃક્ષ નીપજ)	1.10×10^{-6}
પીરીડીન, $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	1.77×10^{-9}
એનીલીન, $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	4.27×10^{-10}
યુરિયા, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	1.3×10^{-14}

ઘણા કાર્બનિક સંયોજનો જેવાં કે એમાઇન, નિર્બળ બેઈઝ છે. એમાઇન એમોનિયાની વ્યુત્પત્તિ છે, જેમાં એક અથવા વધુ હાઇડ્રોજન પરમાણુ બીજા સમૂહથી વિસ્થાપિત થાય છે. ઉદાહરણ તરીકે, મિથાઇલએમાઇન, કોડીન, ક્વીનાઇન અને નિકોટીન બધા જ વધુ નિર્બળ બેઈઝ તરીકે વર્તે છે, કારણ કે

તેમના K_b ના મૂલ્યો ઘણાં નીચાં (ઓછા) છે. એમોનિયા જલીય દ્રાવણમાં OH^- ઉત્પન્ન કરે છે.



મેળવવા માટે હાઈડ્રોજન આયન સાંદ્રતા માટેનો pH માપકમ લંબાવવામાં આવેલ છે.

કોયડો 7.21

0.004M હાઈડ્રોજીન દ્રાવણની pH 9.7 છે. તેનો આયનીકરણ અચળાંક K_b અને pK_b ગણો.

ઉકેલ :



pH પરથી આપણે હાઈડ્રોજન આયન સાંદ્રતા ગણી શકીએ. હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા જાણીને અને પાણીના આયનીય ગુણાકારનો ઉપયોગ કરી હાઈડ્રોક્સિલ આયનની સાંદ્રતા ગણી શકીએ.

$$\begin{aligned} [\text{H}^+] &= \text{antilog}(-\text{pH}) \\ &= \text{antilog}(-9.7) = 1.67 \times 10^{-10} \\ [\text{OH}^-] &= K_w / [\text{H}^+] = 1 \times 10^{-14} / 1.67 \times 10^{-10} \\ &= 5.98 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

તેને અનુરૂપ હાઈડ્રોજીનિયમ આયનની સાંદ્રતા હાઈડ્રોક્સિલ આયનની સાંદ્રતા જેટલી થશે. આ બન્ને આયનોની સાંદ્રતા ઘણી ઓછી હોઈ અવિયોજિત બેઈઝની સાંદ્રતા બરાબર 0.004M લઈ શકાય.

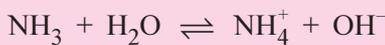
આમ,

$$\begin{aligned} K_b &= [\text{NH}_2\text{NH}_3^+][\text{OH}^-] / [\text{NH}_2\text{NH}_2] \\ &= (5.98 \times 10^{-5})^2 / 0.004 = 8.96 \times 10^{-7} \\ pK_b &= -\log K_b = -\log(8.96 \times 10^{-7}) = 6.04. \end{aligned}$$

કોયડો 7.22

0.2M NH_4Cl અને 0.1M NH_3 ધરાવતા દ્રાવણની pH ગણો. એમોનિયાના દ્રાવણ માટે $pK_b = 4.75$ છે.

ઉકેલ :



NH_3 નો આયનીય સંતુલન,

$K_b = \text{antilog}(-pK_b)$ એટલે કે,

$$K_b = 10^{-4.75} = 1.77 \times 10^{-5} \text{ M}$$



પ્રારંભિક સાંદ્રતા (M)

$$0.10 \qquad 0.20 \qquad 0$$

સંતુલને પહોંચવા

ફેરફાર (M)

$$-x \qquad +x \qquad +x$$

સંતુલને સાંદ્રતા (M)

$$0.10 - x \qquad 0.20 + x \qquad x$$

$$K_b = [\text{NH}_4^+][\text{OH}^-] / [\text{NH}_3]$$

$$= (0.20 + x)(x) / (0.10 - x) = 1.77 \times 10^{-5}$$

K_b ઓછો છે માટે આપણે x ને 0.1M અને 0.2Mની સરખામણીમાં અવગણી શકીએ. આમ,

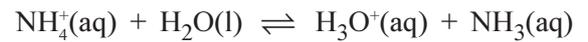
$$[\text{OH}^-] = x = 0.88 \times 10^{-5}$$

$$\text{માટે } [\text{H}^+] = 1.12 \times 10^{-9}$$

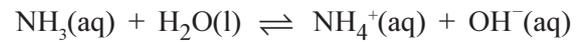
$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = 8.95.$$

7.11.5 K_a અને K_b વચ્ચે સંબંધ (Relation Between K_a and K_b)

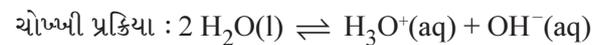
આ પ્રકરણમાં આગળ જોયું તેમ K_a અને K_b એસિડ અને બેઈઝની અનુક્રમે પ્રબળતા દર્શાવે છે. સંયુગ્મ એસિડ-બેઈઝ યુગ્મમાં તેઓ સરળ રીતે સંબંધિત થયેલા છે. જેથી એક જાણતા હોઈએ તો બીજાને તારવી શકીએ. NH_4^+ અને NH_3 ઉદાહરણ લઈએ તો,



$$K_a = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{NH}_3] / [\text{NH}_4^+] = 5.6 \times 10^{-10}$$



$$K_b = [\text{NH}_4^+][\text{OH}^-] / [\text{NH}_3] = 1.8 \times 10^{-5}$$



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

જ્યાં K_a , NH_4^+ ની એસિડ તરીકે પ્રબળતા દર્શાવે છે અને K_b NH_3 ની બેઈઝ તરીકે પ્રબળતા દર્શાવે છે.

યોખ્ખી પ્રક્રિયા પરથી જણાશે કે સંતુલન અચળાંક ઉમેરેલી પ્રક્રિયાઓ માટે સંતુલન અચળાંકો K_a અને K_b ના ગુણાકાર બરાબર થાય છે. આમ,

$$K_a \times K_b = \{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{NH}_3] / [\text{NH}_4^+]\} \times \{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-] / [\text{NH}_3]\}$$

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

$$= (5.6 \times 10^{-10}) \times (1.8 \times 10^{-5}) = 1.0 \times 10^{-14} \text{ M}$$

આને સામાન્યીકરણ કરવા માટે લંબાવી શકીએ : બે કે વધારે પ્રક્રિયાનો સરવાળો કરી મળતી ચોખ્ખી (net) પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક વ્યક્તિગત પ્રક્રિયાના સંતુલન અચળાંકોનો ગુણાકાર છે.

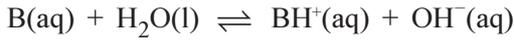
$$K_{\text{ચોખ્ખું}} = K_1 \times K_2 \times \dots \quad (3.35)$$

એ જ પ્રમાણે સંયુગ્મ એસિડ-બેઈઝ યુગ્મ માટે

$$K_a \times K_b = K_w \quad (3.36)$$

એક જાણતા હોઈએ તો બીજાની ગણતરી કરી શકાય. એ નોંધવું જોઈએ કે પ્રબળ એસિડને નિર્બળ સંયુગ્મ બેઈઝ હશે અને તેનાથી ઊલટું (vice-versa).

વૈકલ્પિક રીતે ઉપરનું અભિલક્ષણ (expression) $K_w = K_a \times K_b$, બેઈઝના વિયોજન સંતુલનની પ્રક્રિયાને ધ્યાનમાં લઈને પણ મેળવી શકાય.



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

પાણીની સાંદ્રતા અચળ રહે છે માટે તેને છેદમાંથી દૂર કરીને વિયોજન અચળાંકમાં સમાવિષ્ટ કરેલ છે. પછી ઉપરના અભિલક્ષણને $[\text{H}^+]$ વડે ગુણીને અને ભાગીને આપણે મેળવી શકીએ કે,

$$\begin{aligned} K_b &= \frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-][\text{H}^+]}{[\text{B}][\text{H}^+]} \\ &= \frac{[\text{OH}^-][\text{H}^+]}{[\text{BH}^+]} \frac{[\text{BH}^+]}{[\text{B}][\text{H}^+]} \\ &= K_w / K_a \end{aligned}$$

$$\text{અથવા } K_a \times K_b = K_w$$

એ નોંધવું જોઈએ કે જો સમીકરણની બન્ને બાજુના ઋણ ઘાતાંક લઈએ તો સંયુગ્મ એસિડ અને બેઈઝના pK મૂલ્યો એકબીજા સાથે નીચેના સમીકરણથી સંબંધિત છે.

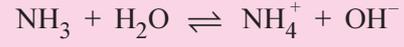
$$pK_a + pK_b = pK_w = 14 \quad (298\text{K તાપમાને})$$

કોયડો 7.23

0.05M એમોનિયા દ્રાવણનો આયનીકરણ અંશ અને pH નક્કી કરો. એમોનિયાનો આયનીકરણ અચળાંક કોષ્ટક 7.7માંથી લઈ શકાશે. વળી, એમોનિયાના સંયુગ્મ એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક પણ ગણો.

ઉકેલ :

એમોનિયાનું પાણીમાં આયનીકરણ નીચેના સમીકરણથી દર્શાવી શકાય.



આપણે હાઈડ્રોક્સિલ આયનની સાંદ્રતા ગણવા સમીકરણ (7.33)નો ઉપયોગ કરીએ.

$$[\text{OH}^-] = c\alpha = 0.05 \alpha$$

$$K_b = 0.05 \alpha^2 / (1 - \alpha)$$

α નું મૂલ્યો ઓછું છે માટે દ્વિઘાત સમીકરણને 1ની સરખામણીમાં α ને સમીકરણની જમણી બાજુએ છેદને બરાબર એક ગણીને દ્વિઘાત સમીકરણ સરળ બનાવી શકીએ. આમ,

$$K_b = c\alpha^2 \text{ અથવા } \alpha = \sqrt{1.77 \times 10^{-5} / 0.05} = 0.018$$

$$[\text{OH}^-] = c\alpha = 0.05 \times 0.018 = 9.4 \times 10^{-4} \text{M.}$$

$$[\text{H}^+] = K_w / [\text{OH}^-] = 10^{-14} / (9.4 \times 10^{-4}) = 1.06 \times 10^{-11}$$

$$\text{pH} = -\log(1.06 \times 10^{-11}) = 10.97.$$

હવે, સંયુગ્મ એસિડ-બેઈઝ સંબંધનો ઉપયોગ કરીને

$$K_a \times K_b = K_w$$

NH_3 માટેનું K_b નું મૂલ્ય કોષ્ટક 7.7માંથી મેળવીને કરી શકીએ.

સંયુગ્મ એસિડ NH_4^+ ની સાંદ્રતા પણ નક્કી કરી શકીએ.

$$K_a = K_w / K_b = 10^{-14} / 1.77 \times 10^{-5} = 5.64 \times 10^{-10}.$$

7.11.6 ડાય- અને પોલિપ્રોટિક એસિડ અને ડાય- અને પોલિએસિડિક બેઈઝ (Di- and Polyprotic Acids and Di- and Polyacidic Bases)

કેટલાક એસિડ જેવા કે ઓક્ઝેલિક એસિડ, સલ્ફ્યુરિક એસિડ અને ફોસ્ફોરિક એસિડને તેના પ્રતિ આણુમાં એક કરતાં વધારે આયનીકરણ પામે તેવા પ્રોટોન હોય છે. આવા એસિડને પોલિબેઝિક અથવા પોલિપ્રોટિક એસિડ કહે છે.

ઉદાહરણ તરીકે દ્વિબેઝિક (ડાયબેઝિક) એસિડ H_2X ની આયનીકરણ પ્રક્રિયાઓ નીચેની સમીકરણોથી દર્શાવી શકાય :



અને અનુરૂપ સંતુલન અચળાંક નીચે પ્રમાણે આપી શકાય :

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+][\text{HX}^-]}{[\text{H}_2\text{X}]} \text{ અને}$$

$$K_{a2} = \frac{[\text{H}^+][\text{X}^{2-}]}{[\text{HX}^-]}$$

અહીંયા K_{a1} અને K_{a2} એસિડ H_2X ના પ્રથમ અને દ્વિતીય આયનીકરણ અચળાંકો અનુક્રમે કહેવાય છે. એ જ પ્રમાણે ત્રિબેઝિક (ટ્રાયબેઝિક) એસિડ જેવા કે H_3PO_4 ને માટે ત્રણ આયનીકરણ અચળાંક મળશે. કેટલાક સામાન્ય પોલિપ્રોટિક એસિડના આયનીકરણ અચળાંકોના મૂલ્યો કોષ્ટક 7.8માં આપેલ છે.

કોષ્ટક 7.8 કેટલાક સામાન્ય પોલિપ્રોટિક એસિડના આયનીકરણ અચળાંકો (298K તાપમાને)

એસિડ	K_{a1}	K_{a2}	K_{a3}
ઓક્ઝેલિક એસિડ	5.9×10^{-2}	6.4×10^{-5}	
એસ્કોર્બિક એસિડ	7.4×10^{-4}	1.6×10^{-12}	
સલ્ફ્યુરિક એસિડ	1.7×10^{-2}	6.4×10^{-8}	
સલ્ફ્યુરિક એસિડ	ઘણો વધારે	1.2×10^{-2}	
કાર્બોનિક એસિડ	4.3×10^{-7}	5.6×10^{-11}	
સાઈટ્રિક એસિડ	7.4×10^{-4}	1.7×10^{-5}	4.0×10^{-7}
ફોસ્ફોરિક એસિડ	7.5×10^{-3}	6.2×10^{-8}	4.2×10^{-13}

એ જોઈ શકાશે કે આયનીકરણ અચળાંકો (K_{a2} , K_{a3})નો ઉચ્ચતર ક્રમ નીચેના આયનીકરણ અચળાંક (K_{a1})ના મૂલ્યો કરતાં વધારે ઓછો છે. આને માટેનું કારણ એ છે કે સ્થિરવિદ્યુતીય બળોને કારણે ઋણ આયનમાંથી ધનભારવાળા પ્રોટોનને દૂર કરવો વધારે મુશ્કેલ બને છે. જેમકે ભારરહિત H_2CO_3 માંથી પ્રોટોનને દૂર કરવાની બાબતમાં ઋણભારવાળા HCO_3^- આયનમાંથી પ્રોટોનને દૂર કરવો. એ જ પ્રમાણે દ્વિભારવાળા HPO_4^{2-} એનાયનમાંથી પ્રોટોન દૂર કરવો એ $H_2PO_4^-$ ની સરખામણીમાં ઘણો વધારે મુશ્કેલ છે.

પોલિપ્રોટિક એસિડના દ્રાવણો H_2A , HA^- અને A^{2-} જેવા એસિડનું મિશ્રણ ધરાવે છે. H_2A જેવા ડાયપ્રોટિક એસિડ પ્રબળ એસિડ હોઈ પ્રાથમિક પ્રક્રિયા H_2A ના વિયોજનથી પ્રક્રિયા સમાવિષ્ટ થાય છે અને દ્રાવણમાં H_3O^+ મુખ્યત્વે પ્રથમ વિયોજન તબક્કામાંથી આવે છે.

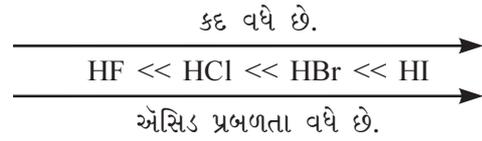
7.11.7 એસિડ પ્રબળતાને અસર કરતાં, પરિબળો (Factors Affecting Acid Strength)

એસિડ અને બેઈઝની પ્રબળતાની ચર્ચા કર્યા પછી હવે આપણે એ તબક્કે આવ્યા છીએ જ્યાં આપેલા દ્રાવણની pH ગણી શકીએ. પણ એ ઈતેજારી જાગે છે કે શા માટે કેટલાક એસિડ બીજા કરતાં વધારે પ્રબળ છે ? તેમને વધારે પ્રબળ બનાવવા માટે કયાં પરિબળો જવાબદાર છે. આનો જવાબ એક જટિલ ઘટનામાં સમાયેલો છે. પણ, વિશાળ અર્થમાં કહીએ તો આપણે કહી શકીએ કે એસિડની વિયોજન થવાની માત્રા

(પ્રમાણ) (extent) H-A બંધની પ્રબળતા અને ધ્રુવીયતા પર આધાર રાખે છે.

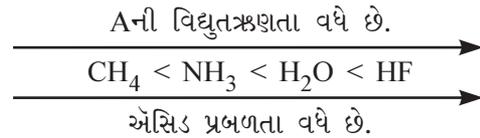
સામાન્ય રીતે જ્યારે H-A બંધની પ્રબળતા ઘટે છે ત્યારે બંધ તોડવા માટે જરૂરી ઊર્જા ઘટે છે. HA પ્રબળ એસિડ બને છે. વળી H-A બંધ વધુ ધ્રુવીય બને છે એટલે કે H અને A પરમાણુઓ વચ્ચેનો વિદ્યુતઋણતા તફાવત વધે છે અને તેમના વીજભાર અલગીકરણ નોંધપાત્ર હોય છે. બંધનું વિખંડન (cleavage) વધુ સરળ બને છે અને તેથી એસિડિકતા વધે છે.

પણ એ નોંધવું જોઈએ કે જ્યારે આવર્તકોષ્ટકના એક સમૂહના તત્ત્વોની સરખામણી કરતા હોઈએ ત્યારે H-A બંધની પ્રબળતા તેના ધ્રુવીય સ્વભાવ કરતાં એસિડિકતા નક્કી કરવામાં અગત્યનું પરિબળ છે. Aનું કદ સમૂહમાં નીચે તરફ જતાં જેમ વધે છે તેમ H-A બંધ પ્રબળતા ઘટે છે અને એસિડ પ્રબળતા વધે છે. ઉદાહરણ તરીકે,



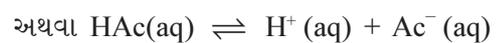
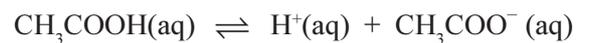
એ જ પ્રમાણે H_2S , H_2O કરતાં વધારે પ્રબળ એસિડ છે.

પરંતુ જ્યારે આપણે આવર્તકોષ્ટકના સમાન આવર્તમાંના તત્ત્વોની ચર્ચા કરીએ ત્યારે H-A બંધ ધ્રુવીયતા એસિડ પ્રબળતા નક્કી કરવા માટેનું નિર્ણાયક પરિબળ બને છે. જેમ Aની વિદ્યુતઋણતા વધે છે તેમ એસિડની પ્રબળતા પણ વધે છે. ઉદાહરણ તરીકે,



7.11.8 એસિડ અને બેઈઝના આયનીકરણમાં સમાન આયન અસર (Common Ion Effect in the Ionization of Acids and Bases)

એસિટિક એસિડ વિયોજન સંતુલન જે નીચે પ્રમાણે રજૂ કરી શકાય તેનું ઉદાહરણ લઈએ.

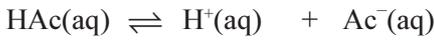


$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{Ac}^-]}{[\text{HAc}]}$$

એસિટિક એસિડના દ્રાવણમાં એસિટેટ આયનનો ઉમેરો હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા $[\text{H}^+]$ ઘટાડે છે અથવા જો બાહ્ય સ્ત્રોત દ્વારા H^+ આયન ઉમેરવામાં આવે તો સંતુલન અવિયોજિત એસિડની દિશામાં ખસે છે એટલે કે હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા $[\text{H}^+]$ ના ઘટાડાની દિશામાં જાય છે. આ ઘટના સમાન આયન

અસર છે. એની વ્યાખ્યા એમ આપી શકાય કે વિયોજન સંતુલનમાં અગાઉથી હાજર હોય તેમાં એવો પદાર્થ ઉમેરવામાં આવે કે જે હાજર આયનીય સ્પીસિઝમાં વધારો કરે છે. આથી આપણે કહી શકીએ કે સમાન આયન અસર લ શેટેલિયરના સિદ્ધાંત જેની વિભાગ 7.8માં ચર્ચા કરેલ છે તેના પર આધારિત છે.

0.05 M એસિટિક એસિડના દ્રાવણમાં 0.05M એસિટેટ આયનનું દ્રાવણ ઉમેરવામાં આવે તો પરિણમતા દ્રાવણની pHની ગણતરી કરવામાં ફરી એકવાર એસિટિક એસિડ વિયોજન સંતુલનને ધ્યાનમાં લઈશું.



પ્રારંભિક સાંદ્રતા (M)

$$0.05 \quad 0 \quad 0.05$$

ધારો કે x એસિટિક એસિડના આયનીકરણનું પ્રમાણ (માત્રા) છે, તો

સાંદ્રતામાં ફેરફાર (M)

$$-x \quad +x \quad +x$$

સંતુલન સાંદ્રતા (M)

$$0.05-x \quad x \quad 0.05+x$$

આથી,

$$K_a = [\text{H}^+][\text{Ac}^-]/[\text{HAc}] = \{(0.05+x)(x)\}/(0.05-x)$$

નિર્બળ એસિડના K_a ઘણા ઓછા હોય છે, તેથી $x \ll 0.05$ અને તેથી

$$(0.05 + x) \approx (0.05 - x) \approx 0.05$$

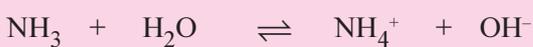
આમ,

$$\begin{aligned} 1.8 \times 10^{-5} &= (x)(0.05 + x) / (0.05 - x) \\ &= x(0.05) / (0.05) = x = [\text{H}^+] = 1.8 \times 10^{-5} \text{ M} \\ \text{pH} &= -\log(1.8 \times 10^{-5}) = 4.74 \end{aligned}$$

કોયડો 7.24

0.10 M એમોનિયા દ્રાવણની pH ગણો. આ દ્રાવણના 50.0 mL દ્રાવણમાં 25.0 mL 0.10M HCl ઉમેરવામાં આવે પછી મળતી pH ગણો. એમોનિયાનો વિયોજન અચળાંક $K_b = 1.77 \times 10^{-5}$.

ઉકેલ :



$$K_b = [\text{NH}_4^+][\text{OH}^-] / [\text{NH}_3] = 1.77 \times 10^{-5}$$

તટસ્થીકરણ પહેલાં,

$$[\text{NH}_4^+] = [\text{OH}^-] = x$$

$$[\text{NH}_3] = 0.10 - x \approx 0.10$$

$$x^2 / 0.10 = 1.77 \times 10^{-5}$$

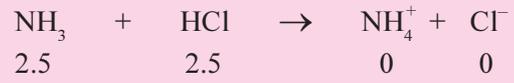
$$\text{આમ, } x = 1.33 \times 10^{-3} = [\text{OH}^-]$$

$$\text{આથી, } [\text{H}^+] = K_w / [\text{OH}^-] = 10^{-14} /$$

$$(1.33 \times 10^{-3}) = 7.51 \times 10^{-12}$$

$$\text{pH} = -\log(7.5 \times 10^{-12}) = 11.12$$

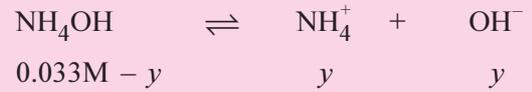
25 mL 0.1M HClનું દ્રાવણ (એટલે કે 2.5 mmol HCl) 50 mL 0.1M એમોનિયા દ્રાવણ (5 mmol NH₃) ઉમેરતાં 2.5 mmol NH₃ના અણુઓ તટસ્થીકરણ પામ્યાં છે. પરિણમતું 75 mL દ્રાવણ તટસ્થીકરણ નહિ પામેલો 2.5 mmol NH₃ અણુ અને 2.5 mmol NH₄⁺ આયન ધરાવે છે.



સંતુલને

$$0 \quad 0 \quad 2.5 \quad 2.5$$

પરિણમતું 75 mL દ્રાવણ 2.5 mmol NH₄⁺ આયન (એટલે કે 0.033 M) અને 2.5 mmol (એટલે કે 0.033 M) તટસ્થીકરણ નહિ પામેલા NH₃ અણુઓ. આ એમોનિયા નીચેના સંતુલનમાં અસ્તિત્વ ધરાવે છે.



$$\text{જ્યાં, } y = [\text{OH}^-] = [\text{NH}_4^+]$$

અહીં 75 mL દ્રાવણ તટસ્થીકરણ બાદ 2.5 mmol NH₄⁺ (એટલે કે 0.033M) અગાઉ ધરાવે. આથી NH₄⁺ની કુલ સાંદ્રતા,

$$[\text{NH}_4^+] = 0.033 + y$$

y નાનો હોવાથી $[\text{NH}_4\text{OH}] \approx 0.033 \text{ M}$ અને

$$[\text{NH}_4^+] \approx 0.033\text{M}.$$

આપણે જાણીએ છીએ કે,

$$\begin{aligned} K_b &= [\text{NH}_4^+][\text{OH}^-] / [\text{NH}_4\text{OH}] \\ &= y(0.033)/(0.033) = 1.77 \times 10^{-5} \text{ M} \end{aligned}$$

$$\text{આથી, } y = 1.77 \times 10^{-5} = [\text{OH}^-]$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-14} / 1.77 \times 10^{-5} = 0.56 \times 10^{-9}$$

$$\text{આથી, pH} = 9.24$$

7.11.9 ક્ષારનું જળવિભાજન અને તેમના દ્રાવણની pH (Hydrolysis of Salts and the pH of their Solutions)

એસિડ અને બેઈઝના નિશ્ચિત પ્રમાણમાંની પ્રક્રિયાથી ક્ષાર બને છે, જે પાણીમાં આયનીકરણ પામે છે. ક્ષારના આયનીકરણથી રચાતા ધનાયન/ઋણાયન કાં તો જળયુક્ત આયન તરીકે

જલીય દ્રાવણમાં અસ્તિત્વ ધરાવે છે અથવા પાણી સાથે પારસ્પરિક ક્રિયા કરે છે અને ક્ષારના સ્વભાવ પ્રમાણે તેને અનુરૂપ એસિડ કે બેઈઝની પુનર્રચના કરે છે. ક્ષારના ધનાયન/ઋણાયન અથવા બન્ને અને પાણી વચ્ચેની પારસ્પરિક ક્રિયાને જળવિભાજન કહે છે. પારસ્પરિક ક્રિયાથી દ્રાવણની pHને અસર પડે છે. પ્રબળ બેઈઝના ધનાયન (ઉદા., માત્ર Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} વગેરે.) અને પ્રબળ એસિડના ઋણ આયન (Cl^- , Br^- , NO_3^- , ClO_4^- વગેરે) જળયુક્ત થાય છે. પણ જળવિભાજન પામતા નથી. આથી પ્રબળ એસિડ અને પ્રબળ બેઈઝમાંથી બનેલા ક્ષારના દ્રાવણ તટસ્થ હોય છે. એટલે કે તેમની pH 7 હોય છે. તેમ છતાં ક્ષારનો બીજો વિભાગ જળવિભાજન પામે છે.

આપણે નીચેના પ્રકારના ક્ષારના જળવિભાજનને ધ્યાનમાં લઈશું :

(i) નિર્બળ એસિડ અને પ્રબળ બેઈઝના ક્ષાર

ઉદા., CH_3COONa .

(ii) પ્રબળ એસિડ અને નિર્બળ બેઈઝના ક્ષાર

ઉદા., NH_4Cl

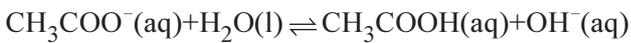
(iii) નિર્બળ એસિડ અને નિર્બળ બેઈઝના ક્ષાર

ઉદા., $\text{CH}_3\text{COONH}_4$.

પ્રથમ કિસ્સામાં CH_3COONa નિર્બળ એસિડ CH_3COOH અને પ્રબળ બેઈઝ NaOH નો ક્ષાર છે તે જલીય દ્રાવણમાં સંપૂર્ણપણે આયનીકરણ પામે છે.



આ રીતે બનેલો એસિડેટ આયન પાણી સાથે જળવિભાજન કરે છે અને નિર્બળ એસિટિક એસિડ અને OH^- આયન આપે છે.

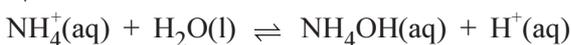


એસિટિક એસિડ નિર્બળ એસિડ ($K_a = 1.8 \times 10^{-5}$) હોઈ મોટે ભાગે દ્રાવણમાં અવિયોજિત રહે છે. આને પરિણામે OH^- ના આયનની સાંદ્રતામાં વધારો થાય છે અને તેથી દ્રાવણ આલ્કલાઈન બને છે. આવા દ્રાવણની pH 7 કરતાં વધારે હોય છે.

એ જ પ્રમાણે, NH_4Cl જે નિર્બળ બેઈઝ NH_4OH અને પ્રબળ એસિડ HCl માંથી બને છે. તે પાણીમાં સંપૂર્ણપણે વિયોજિત થાય છે.

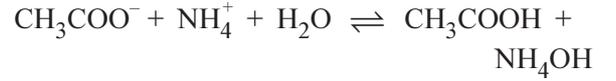


એમોનિયમ આયન પાણી સાથે જળવિભાજન કરી NH_4OH અને H^+ આયન રચે છે.

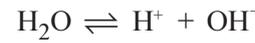
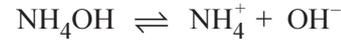
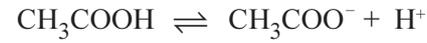


એમોનિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ નિર્બળ બેઈઝ ($K_b = 1.77 \times 10^{-5}$) છે અને તેથી દ્રાવણમાં લગભગ અવિયોજિત રહે છે. આને પરિણામે દ્રાવણમાં H^+ આયનની સાંદ્રતા વધે છે અને તેથી દ્રાવણ એસિડિક બને છે. આમ, NH_4Cl ના પાણીમાં દ્રાવણની pH 7 કરતાં ઓછી હોય છે.

નિર્બળ એસિડ અને નિર્બળ બેઈઝમાંથી બનેલો ક્ષાર $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ને ધ્યાનમાં લઈ. તેના મળતા આયનો પાણી સાથે નીચે પ્રમાણે જળવિભાજન કરે છે.



CH_3COOH અને NH_4OH આંશિક વિયોજિત સ્વરૂપમાં રહે છે.



વિગતવાર ગણતરીમાં ગયા સિવાય કહી શકીએ કે જળવિભાજનનો અંશ દ્રાવણની સાંદ્રતાથી સ્વતંત્ર છે અને આવા દ્રાવણોની pH તેમના pKના મૂલ્યો પરથી નક્કી કરાય છે.

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2}(\text{pK}_a - \text{pK}_b) \quad (7.38)$$

દ્રાવણની pH 7 કરતાં વધારે હોય. જો તફાવત ધન હોય તો અથવા 7 કરતાં ઓછી હોય જો તફાવત ઋણ હોય તો.

કોયડો 7.25

એસિટિક એસિડનો pK_a 4.76 અને એમોનિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડનો pK_b 4.76 છે. એમોનિયમ એસિડેટ દ્રાવણની pH ગણો.

ઉકેલ :

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2}[\text{pK}_a - \text{pK}_b]$$

$$= 7 + \frac{1}{2}[4.76 - 4.75]$$

$$= 7 + \frac{1}{2}[0.01] = 7 + 0.005 = 7.005$$

7.12 બફર દ્રાવણો (Buffer Solutions)

ઘણા શરીર-દ્રવો ઉદાહરણ તરીકે લોહી અથવા પેશાબની pH નિશ્ચિત હોય છે અને તેમની pHમાં વિચલન શરીરના કાર્યોની વિકૃતિ (malfunctioning) કરે છે. pHનું નિયંત્રણ ઘણા રાસાયણિક અને જૈવરાસાયણિક પ્રક્રમોમાં ઘણું અગત્યનું છે. ઘણી વૈદકીય અને સૌંદર્યપ્રસાધન બનાવટોમાં જરૂરી હોય છે કે તેમને કોઈ ખાસ pH વાળી રાખવામાં આવે અને વાપરવામાં આવે.

દ્રાવણો જેનું મંદન કરવાથી અથવા તેમનામાં થોડા પ્રમાણમાં એસિડ અથવા આલ્કલી ઉમેરવામાં આવે તો પણ

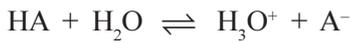
તેઓ pH ફેરફારનો પ્રતિકાર કરે છે. તેવા દ્રાવણોને બફર દ્રાવણો કહે છે. જાત pH વાળા બફર દ્રાવણો એસિડના pK_a અને બેઈજના pK_b ના જ્ઞાન પરથી અને તેમના ક્ષાર અને એસિડ અથવા ક્ષાર અને બેઈજના ગુણોત્તરનું નિયંત્રણ કરીને તૈયાર કરી શકાય છે. એસિટિક એસિડ અને સોડિયમ એસિટેટનું મિશ્રણ pH 4.75ની આજુબાજુ બફર દ્રાવણ તરીકે વર્તે છે અને એમોનિયમ ક્લોરાઈડ અને એમોનિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડનું મિશ્રણ pH 9.25ની આસપાસ બફર દ્રાવણ તરીકે વર્તે છે. બફર દ્રાવણો વિશે તમે વધુ ઉચ્ચતર ધોરણોમાં શીખશો.

7.12.1 બફર દ્રાવણની રચના (બનાવટ) (Designing Buffer Solution)

pK_a , pK_b અને સંતુલન અચળાંકનું જ્ઞાન આપણને જાત pHના બફર દ્રાવણ બનાવવામાં મદદ કરે છે. આપણે જોઈએ આ કેવી રીતે કરી શકીએ ?

એસિટિક બફરની બનાવટ :

એસિટિક pH વાળા બફરને બનાવવા માટે આપણે નિર્બળ એસિડ અને તેનો પ્રબળ બેઈજ સાથેનો ક્ષાર લઈશું. આપણે pH, સંતુલન અચળાંક, નિર્બળ એસિડનો K_a અને નિર્બળ એસિડ અને તેના સંયુગ્મ બેઈજના ગુણોત્તરને સંબંધિત કરીને આપણે સમીકરણ નિરૂપિત કરી શકીએ. સામાન્ય કિસ્સામાં જેમાં નિર્બળ એસિડ HA પાણીમાં આયનીકરણ પામે છે.



જેને આપણે લખી શકીએ કે,

$$K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$$

સમીકરણની પુનઃગોઠવણી કરીએ તો,

$$[H_3O^+] = K_a \frac{[HA]}{[A^-]}$$

બન્ને બાજુના ઘાતાંક લેતાં, અને પર્યાયોની પુનઃગોઠવણી કરતાં આપણને મળશે,

$$pK_a = pH - \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

અથવા

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]} \quad (A-1)$$

$$pH = pK_a + \log \frac{[\text{સંયુગ્મ બેઈજ}, A^-]}{[\text{એસિડ}, HA]} \quad (A-2)$$

સમીકરણ (A-2) હેન્ડરસન-હેસલબેક (Henderson-Hasselback) સમીકરણ તરીકે ઓળખાય છે. $\frac{[A^-]}{[HA]}$

ગુણોત્તર મિશ્રણમાં રહેલા એસિડના સંયુગ્મ બેઈજ (ઋણાયન) અને મિશ્રણમાં હાજર એસિડની સાંદ્રતાઓનો ગુણોત્તર છે. એસિડ નિર્બળ છે અને તેથી ઘણી ઓછી માત્રામાં આયનીકરણ પામે છે, તેથી [HA] ની સાંદ્રતા બફર બનાવવા માટે લીધેલા એસિડની સાંદ્રતાથી નહિવત્ (નગણ્ય) અલગ પડે છે. વળી, સંયુગ્મ બેઈજ $[A^-]$ નો મોટો જથ્થો એસિડના ક્ષારના આયનીકરણમાંથી આવે છે, જેથી સંયુગ્મ બેઈજની સાંદ્રતા ક્ષારની સાંદ્રતાથી નગણ્ય (નહિવત્) અલગ પડશે.

આમ, સમીકરણ (A-2) નીચેનું સ્વરૂપ પ્રાપ્ત કરશે :

$$pH = pK_a + \log \frac{[\text{ક્ષાર}]}{[\text{એસિડ}]}$$

સમીકરણ (A-1)માં જો $[A^-]$ ની સાંદ્રતા [HA]ની સાંદ્રતા જેટલી થાય તો $pH = pK_a$ કારણ કે $\log 1$ નું મૂલ્ય શૂન્ય થશે. આથી જો આપણે એસિડ અને સંયુગ્મ બેઈજની સરખી સાંદ્રતાઓ લઈએ તો, બફર દ્રાવણની pH એસિડના pK_a મૂલ્ય જેટલી થશે. આથી ઈચ્છિત pHનું બફર દ્રાવણ બનાવવા માટે એવા એસિડને પસંદ કરવો કે જેનું pK_a નું મૂલ્ય pHના મૂલ્યની નજીક હોય. એસિટિક એસિડ માટે pK_a નું મૂલ્ય 4.76 છે. આથી એસિટિક એસિડ અને સોડિયમ એસિટેટની સરખી મોલર સાંદ્રતાવાળા દ્રાવણો લઈએ. બનતા બફર દ્રાવણની pH 4.76ની આસપાસ હોય.

આવું જ પૃથક્કરણ નિર્બળ બેઈજ અને તેના પ્રબળ એસિડના ક્ષાર સાથેના બફર માટે કરી શકીએ અને પરિણામ મળશે,

$$pOH = pK_b + \log \frac{[\text{સંયુગ્મ એસિડ}, BH^+]}{[\text{બેઈજ}, B]} \quad (A-3)$$

બફર દ્રાવણની pH સમીકરણ $pH + pOH = 14$ નો ઉપયોગ કરીને ગણી શકીએ.

આપણે જાણીએ છીએ કે $pH + pOH = pK_w$ અને $pK_a + pK_b = pK_w$. સમીકરણ (A-3)માં આ મૂલ્યો મૂકતાં તે નીચેના સ્વરૂપમાં મળશે :

$$pK_w - pH = pK_w - pK_a + \log \frac{[\text{સંયુગ્મ એસિડ}, BH^+]}{[\text{બેઈજ}, B]} \quad (A-4)$$

અથવા

$pH = pK_a - \log \frac{[\text{સંયુગ્મ એસિડ}, BH^+]}{[\text{બેઈજ}, B]}$

જો બેઈજ અને તેના સંયુગ્મ એસિડ (ધનાયન)ની મોલર સાંદ્રતા સરખી હશે તો બફર દ્રાવણની pH બેઈજના pK_a મૂલ્ય

જેટલી થશે. એમોનિયાનો $pK_a = 9.25$ છે તેથી 9.25ની નજીકનું બફર દ્રાવણ એમોનિયા અને એમોનિયમ ક્લોરાઇડની સરખી સાંદ્રતા લઈને મેળવી શકીશું. એમોનિયમ ક્લોરાઇડ અને એમોનિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડથી બનતા બફર દ્રાવણ માટે સમીકરણ (A-4) નીચે પ્રમાણે થશે :

$$pH = 9.25 - \log \frac{[\text{સંયુગ્મ એસિડ, BH}^+]}{[\text{બેઈઝ, B}]}$$

બફર દ્રાવણની pH મંદનથી અસર પામતું નથી કારણ કે ઘાતાંકીય પર્યાયોનો ગુણોત્તર ફેરફાર વગર રહે છે.

7.13 અલ્પદ્રાવ્ય ક્ષારના દ્રાવ્યતા સંતુલન (Solubility Equilibria of Sparingly Soluble Salts)

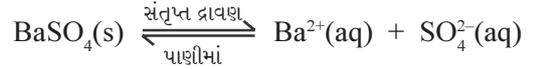
આપણે શીખી ગયા છીએ કે આયનીય ઘન પદાર્થોની દ્રાવ્યતા ઘણા ઊંચા અંશે બદલાય છે. આમાંના કેટલાક (જેમકે કેલ્શિયમ ક્લોરાઇડ) એટલા બધા દ્રાવ્ય હોય છે કે તેઓ સ્વભાવે એટલા બધા ભેજશોષક (hygroscopic) છે કે તેઓ વાતાવરણમાંથી પણ પાણીની બાષ્પને શોષે છે. બીજા(જેવા કે લિથિયમ ફ્લોરાઇડ)ની દ્રાવ્યતા ઘણી જ ઓછી છે. જેથી તેમને સામાન્ય રીતે અદ્રાવ્ય કહેવામાં આવે છે. દ્રાવ્યતા ઘણા બધા પરિબળો પર આધાર રાખે છે. જેમાંના અગત્યના છે તે ક્ષારની લેટિસ એન્ટાલ્પી અને દ્રાવણમાં આયનની દ્રાવકયોજન (solvation) એન્ટાલ્પી છે. ક્ષારને દ્રાવકમાં ઓગળવા માટે આયનો વચ્ચેના પ્રબળ આકર્ષણ બળો લેટિસ એન્ટાલ્પીને આયન-દ્રાવક પારસ્પરિક ક્રિયા વડે ઉપરવટ થવું પડે છે. આયનની દ્રાવકયોજન એન્ટાલ્પી દ્રાવક યોજન પર્યાયના અર્થમાં જોઈએ તો હંમેશાં ઋણ હોય છે, એટલે કે દ્રાવક યોજન પ્રક્રમ દરમિયાન ઊર્જા મુક્ત થાય છે. દ્રાવકયોજન એન્ટાલ્પીનું પ્રમાણ દ્રાવકના સ્વભાવ પર આધાર રાખે છે. અધ્રુવીય (સહસંયોજક) દ્રાવકની બાબતમાં, દ્રાવકયોજન એન્ટાલ્પી ઓછી છે અને તેથી ક્ષારની લેટિસ એન્ટાલ્પીની ઉપરવટ થઈ શકતી નથી. પરિણામે ક્ષાર અધ્રુવીય દ્રાવકમાં ઓગળતો નથી. સામાન્ય નિયમ પ્રમાણે, કોઈ પણ ક્ષારને કોઈ ખાસ દ્રાવકમાં ઓગળવા માટે તેની દ્રાવકયોજન એન્ટાલ્પી તેની લેટિસ એન્ટાલ્પી કરતાં વધારે હોવી જોઈએ, જેથી દ્રાવકયોજન એન્ટાલ્પી વડે લેટિસ એન્ટાલ્પીની ઉપરવટ જઈ શકાય. દરેક ક્ષારને પોતાની લાક્ષણિક દ્રાવ્યતા હોય છે, જેનો આધાર તાપમાન પર હોય છે. આપણે ક્ષારને તેમની દ્રાવ્યતાના આધારે નીચેના ત્રણ વિભાગોમાં વર્ગીકૃત કરી શકીએ.

વિભાગ I	દ્રાવ્ય	દ્રાવ્યતા > 0.1M
વિભાગ II	ઓછું દ્રાવ્ય	0.01M < દ્રાવ્યતા < 0.1M
વિભાગ III	અલ્પદ્રાવ્ય	દ્રાવ્યતા < 0.01M

હવે આપણે અલ્પદ્રાવ્ય આયનીય ક્ષાર અને તેના સંતૃપ્ત જલીય દ્રાવણ વચ્ચેનું સંતુલન ગણતરીમાં લઈશું.

7.13.1 દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક (Solubility Product Constant)

ધારો કે હવે આપણી પાસે બેરિયમ સલ્ફેટ જેવો ઘન તેના સંતૃપ્ત જલીય દ્રાવણ સાથે સંપર્કમાં છે. નહિ ઓગળેલા ઘન અને સંતૃપ્ત દ્રાવણમાંના આયન વચ્ચે સંતુલન નીચેના સમીકરણથી દર્શાવી શકાય.



સંતુલન અચળાંક નીચેના સમીકરણથી આપી શકાય :

$$K = \{[\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]\} / [\text{BaSO}_4]$$

શુદ્ધ ઘન પદાર્થ માટે તેની સાંદ્રતા અચળ રહે છે અને આપણે લખી શકીએ કે,

$$K_{sp} = K[\text{BaSO}_4] = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] \quad (7.39)$$

K_{sp} ને આપણે દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક અથવા સાદી રીતે દ્રાવ્યતા ગુણાકાર કહીશું. ઉપરના સમીકરણનું પ્રાયોગિક મૂલ્ય 298 K તાપમાને 1.1×10^{-10} છે. આનો અર્થ એમ છે કે ઘન બેરિયમ સલ્ફેટ તેના સંતૃપ્ત દ્રાવણ સાથે સંતુલનમાં છે અને બેરિયમ અને સલ્ફેટ આયનોની સાંદ્રતાનો ગુણાકાર તેનો દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક છે. બન્ને આયનોની સાંદ્રતા બેરિયમ સલ્ફેટની મોલર સાંદ્રતા બરાબર થશે. જો મોલર દ્રાવ્યતા S હોય તો,

$$1.1 \times 10^{-10} = (S)(S) = S^2$$

$$\text{અથવા } S = 1.05 \times 10^{-5}$$

આમ, બેરિયમ સલ્ફેટની મોલર સાંદ્રતા 1.05×10^{-5} mol L⁻¹ છે.

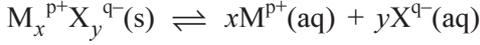
ક્ષાર વિયોજન દરમિયાન બે અથવા બેથી વધારે ઋણાયન અને ધનાયન આપણે જે જુદા ભાર ધરાવતા હોય. ઉદાહરણ તરીકે, ઝિરકોનિયમ ફોસ્ફેટ જેનું આણ્વીય સૂત્ર $(\text{Zr}^{4+})_3(\text{PO}_4^{3-})_4$ છે તે ક્ષારને ધ્યાનમાં લઈએ. તે ત્રણ ઝિરકોનિયમ ધનાયન જેનો ભાર +4 અને ચાર ફોસ્ફેટ ઋણાયન જેનો ભાર -3 છે તે આપે છે. ધારો કે ઝિરકોનિયમ ફોસ્ફેટની મોલર સાંદ્રતા S છે તો, સંયોજનની તત્વોયગમિતિ પરથી લખી શકાય કે,

$$[\text{Zr}^{4+}] = 3S \text{ અને } [\text{PO}_4^{3-}] = 4S$$

$$\text{અને } K_{sp} = (3S)^3 (4S)^4 = 6912 (S)^7$$

$$\text{અથવા } S = \{K_{sp} / (3^3 \times 4^4)\}^{1/7} = (K_{sp} / 6912)^{1/7}$$

એક ઘન ક્ષાર જેનું સામાન્ય સૂત્ર $M_x^{p+} X_y^{q-}$ છે તેના સંતૃપ્ત દ્રાવણ સાથેના સંતુલનમાં મોલર દ્રાવ્યતા S છે, તો નીચેના સમીકરણમાં તે દર્શાવી શકાય :



(જ્યાં, $x \times p^+ = y \times q^-$)

અને તેનો દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$K_{sp} = [M^{p+}]^x [X^{q-}]^y = (xS)^x (yS)^y \quad (7.40)$$

$$= x^x \cdot y^y \cdot S^{(x+y)}$$

$$S^{(x+y)} = K_{sp} / x^x \cdot y^y$$

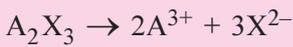
$$S = (K_{sp} / x^x \cdot y^y)^{1/(x+y)} \quad (7.41)$$

K_{sp} પર્યાયને Q_{sp} વડે સમીકરણમાં લઈ શકાય (વિભાગ 7.6.2) જ્યારે એક અથવા વધારે સ્પીસિઝની સાંદ્રતા સંતુલન સાંદ્રતા બરાબર નથી. સ્વાભાવિક રીતે સંતુલન પરિસ્થિતિમાં $K_{sp} = Q_{sp}$ થવી જોઈએ, પરંતુ તે સિવાય તે અવક્ષેપન પ્રક્રિયા થશે કે વિલયન પ્રક્રિયા થશે તેની દિશા સૂચવે છે. ઘણા બધા સામાન્ય ક્ષારના દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક 298K તાપમાને કોષ્ટક 7.9માં આપેલ છે.

કોષ્ટક 7.26

A_2X_3 ની દ્રાવ્યતા શુદ્ધ પાણીમાં ગણો. એમ ધારી લો કે કોઈ પણ પ્રકારનો આયન પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરતો નથી. A_2X_3 નો દ્રાવ્યતા ગુણાકાર $K_{sp} = 1.1 \times 10^{-23}$ છે.

ઉકેલ :



$$K_{sp} = [A^{3+}]^2 [X^{2-}]^3 = 1.1 \times 10^{-23}$$

ધારો કે $S = A_2X_3$ ની દ્રાવ્યતા તો,

$$[A^{3+}] = 2S; [X^{2-}] = 3S$$

$$\text{આથી, } K_{sp} = (2S)^2(3S)^3 = 108S^5$$

$$= 1.1 \times 10^{-23}$$

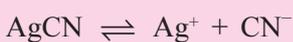
$$\text{આથી, } S^5 = 1 \times 10^{-25}$$

$$S = 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L.}$$

કોષ્ટક 7.27

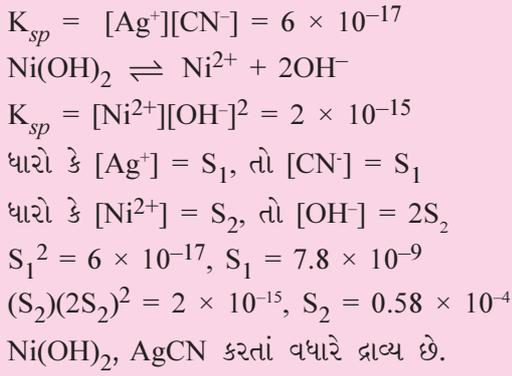
બે અલ્પદ્રાવ્ય ક્ષાર $Ni(OH)_2$ અને $AgCN$ ના K_{sp} ના મૂલ્યો અનુક્રમે 2.0×10^{-15} અને 6×10^{-17} છે. કયો ક્ષાર વધારે દ્રાવ્ય હશે ? સમજાવો.

ઉકેલ :



કોષ્ટક 7.9 કેટલાક સામાન્ય આયનીય ક્ષારોના 298 K તાપમાને દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક

ક્ષારનું નામ	સૂત્ર	K_{sp}
સિલ્વર બ્રોમાઈડ	AgBr	5.0×10^{-13}
સિલ્વર કાર્બોનેટ	Ag ₂ CO ₃	8.1×10^{-12}
સિલ્વર ક્રોમેટ	Ag ₂ CrO ₄	1.1×10^{-12}
સિલ્વર ક્લોરાઈડ	AgCl	1.8×10^{-10}
સિલ્વર આયોડાઈડ	AgI	8.3×10^{-17}
સિલ્વર સલ્ફેટ	Ag ₂ SO ₄	1.4×10^{-5}
એલ્યુમિનિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ	Al(OH) ₃	1.3×10^{-33}
બેરિયમ ક્રોમેટ	BaCrO ₄	1.2×10^{-10}
બેરિયમ ફ્લોરાઈડ	BaF ₂	1.0×10^{-6}
બેરિયમ સલ્ફેટ	BaSO ₄	1.1×10^{-10}
કેલ્શિયમ કાર્બોનેટ	CaCO ₃	2.8×10^{-9}
કેલ્શિયમ ફ્લોરાઈડ	CaF ₂	5.3×10^{-9}
કેલ્શિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ	Ca(OH) ₂	5.5×10^{-6}
કેલ્શિયમ ઓક્સેલેટ	CaC ₂ O ₄	4.0×10^{-9}
કેલ્શિયમ સલ્ફેટ	CaSO ₄	9.1×10^{-6}
કેડમિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ	Cd(OH) ₂	2.5×10^{-14}
કેડમિયમ સલ્ફાઈડ	CdS	8.0×10^{-27}
ક્રોમિક હાઈડ્રોક્સાઈડ	Cr(OH) ₃	6.3×10^{-31}
ક્યુપ્રસ બ્રોમાઈડ	CuBr	5.3×10^{-9}
ક્યુપ્રિક કાર્બોનેટ	CuCO ₃	1.4×10^{-10}
ક્યુપ્રસ ક્લોરાઈડ	CuCl	1.7×10^{-6}
ક્યુપ્રિક હાઈડ્રોક્સાઈડ	Cu(OH) ₂	2.2×10^{-20}
ક્યુપ્રસ આયોડાઈડ	CuI	1.1×10^{-12}
ક્યુપ્રિક સલ્ફાઈડ	CuS	6.3×10^{-36}
ફેરસ કાર્બોનેટ	FeCO ₃	3.2×10^{-11}
ફેરસ હાઈડ્રોક્સાઈડ	Fe(OH) ₂	8.0×10^{-16}
ફેરિક હાઈડ્રોક્સાઈડ	Fe(OH) ₃	1.0×10^{-38}
ફેરસ સલ્ફાઈડ	FeS	6.3×10^{-18}
મરક્યુરસ બ્રોમાઈડ	Hg ₂ Br ₂	5.6×10^{-23}
મરક્યુરસ ક્લોરાઈડ	Hg ₂ Cl ₂	1.3×10^{-18}
મરક્યુરસ આયોડાઈડ	Hg ₂ I ₂	4.5×10^{-29}
મરક્યુરસ સલ્ફેટ	Hg ₂ SO ₄	7.4×10^{-7}
મરક્યુરિક સલ્ફાઈડ	HgS	4.0×10^{-53}
મંગ્નેશિયમ કાર્બોનેટ	MgCO ₃	3.5×10^{-8}
મંગ્નેશિયમ ફ્લોરાઈડ	MgF ₂	6.5×10^{-9}
મંગ્નેશિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડ	Mg(OH) ₂	1.8×10^{-11}
મંગ્નેશિયમ ઓક્સેલેટ	MgC ₂ O ₄	7.0×10^{-7}
મંગ્નેઝ કાર્બોનેટ	MnCO ₃	1.8×10^{-11}
મંગ્નેઝ સલ્ફાઈડ	MnS	2.5×10^{-13}
નિકલ હાઈડ્રોક્સાઈડ	Ni(OH) ₂	2.0×10^{-15}
નિકલ સલ્ફાઈડ	NiS	4.7×10^{-5}
લેડ બ્રોમાઈડ	PbBr ₂	4.0×10^{-5}
લેડ કાર્બોનેટ	PbCO ₃	7.4×10^{-14}
લેડ ક્લોરાઈડ	PbCl ₂	1.6×10^{-5}
લેડ ફ્લોરાઈડ	PbF ₂	7.7×10^{-8}
લેડ હાઈડ્રોક્સાઈડ	Pb(OH) ₂	1.2×10^{-15}
લેડ આયોડાઈડ	PbI ₂	7.1×10^{-9}
લેડ સલ્ફેટ	PbSO ₄	1.6×10^{-8}
લેડ સલ્ફાઈડ	PbS	8.0×10^{-28}
સ્ટેનસ હાઈડ્રોક્સાઈડ	Sn(OH) ₂	1.4×10^{-28}
સ્ટેનસ સલ્ફાઈડ	SnS	1.0×10^{-25}
સ્ટ્રોન્શિયમ કાર્બોનેટ	SrCO ₃	1.1×10^{-10}
સ્ટ્રોન્શિયમ ફ્લોરાઈડ	SrF ₂	2.5×10^{-9}
સ્ટ્રોન્શિયમ સલ્ફેટ	SrSO ₄	3.2×10^{-7}
થેલસ બ્રોમાઈડ	TlBr	3.4×10^{-6}
થેલસ ક્લોરાઈડ	TlCl	1.7×10^{-4}
થેલસ આયોડાઈડ	TlI	6.5×10^{-8}
ઝિંક કાર્બોનેટ	ZnCO ₃	1.4×10^{-11}
ઝિંક હાઈડ્રોક્સાઈડ	Zn(OH) ₂	1.0×10^{-15}
ઝિંક સલ્ફાઈડ	ZnS	1.6×10^{-24}



7.13.2 આયનીય ક્ષારની દ્રાવ્યતા પર સમાન આયન અસર (Common Ion Effect on Solubility of Ionic Salts)

લ શેટેલિયરના સિદ્ધાંત પરથી એ અપેક્ષિત છે કે જો કોઈ પણ આયનની સાંદ્રતા વધારવામાં આવે તો તે તેનાથી વિરુદ્ધ ભારવાળા આયન સાથે સંયોજાય અને જ્યાં સુધી $K_{sp} = Q_{sp}$ નહિ થાય ત્યાં સુધી ક્ષાર અવક્ષેપિત થશે. એ જ પ્રમાણે, કોઈ પણ આયનની સાંદ્રતા ઘટાડવામાં આવે તો વધારે ક્ષાર ઓગળશે અને બન્ને આયનોની સાંદ્રતા જ્યાં સુધી $K_{sp} = Q_{sp}$ નહિ થાય ત્યાં સુધી ઓગળશે. આ દ્રાવ્ય ક્ષાર જેવા કે સોડિયમ ક્લોરાઇડને લાગુ પાડી શકાય છે, ફરક એટલો છે કે આયનોની ઊંચી સાંદ્રતાએ આપણે Q_{sp} અભિકલ્પનામાં મોલારિટીને બદલે સક્રિયતા (activity) ગણીએ છીએ. આમ, જો આપણે સોડિયમ ક્લોરાઇડનું સંતૃપ્ત દ્રાવણ લઈએ અને તેમાંથી HCl વાયુ પસાર કરીએ તો સોડિયમ ક્લોરાઇડ અવક્ષેપિત થશે કારણ કે HClના વિયોજનથી મળતા ક્લોરાઇડ આયનની સાંદ્રતા (સક્રિયતા) વધી જશે. આ રીતે મેળવેલ સોડિયમ ક્લોરાઇડ ખૂબ જ ઊંચી શુદ્ધતા ધરાવે છે અને આપણે સોડિયમ અને મેગ્નેશિયમ સલ્ફેટ જેવી અશુદ્ધિઓને દૂર કરી શકીએ છીએ. સમાન આયન અસરનો ઉપયોગ ભારમાપક પૃથક્કરણ માટે દ્રાવ્યતા ગુણાકારનું મૂલ્ય ઘણું ઓછું હોય તેવા આયનનું સંપૂર્ણ અવક્ષેપન તેના અલ્પદ્રાવ્ય ક્ષારને મેળવવામાં થાય છે. આથી આપણે સિલ્વર આયનને સિલ્વર ક્લોરાઇડ તરીકે, ફેરિક આયનને તેના હાઇડ્રોક્સાઇડ (અથવા જલયુક્ત ફેરિક ઓક્સાઇડ) અને બેરિયમ આયનને તેના સલ્ફેટ સ્વરૂપે જથ્થાત્મક પૃથક્કરણમાં અવક્ષેપિત કરી શકીએ છીએ.

કોયડો 7.28

$Ni(OH)_2$ ની 0.10 M NaOHમાં મોલર દ્રાવ્યતા ગણો.
 $Ni(OH)_2$ નો આયનીય ગુણાકાર 2.0×10^{-15} છે.

ઉકેલ :

ધારો કે $Ni(OH)_2$ ની દ્રાવ્યતા S છે. S mol/L $Ni(OH)_2$ ના વિલયન માટે S mol/L Ni^{2+} અને 2S mol/L OH^- ની જરૂર

પડશે. પણ OH^- ની કુલ સાંદ્રતા $(0.10 + 2S)$ mol/L, કારણ કે દ્રાવણ 0.10 mol/L OH^- તો NaOHમાંથી હાજર છે જ.

$$K_{sp} = 2.0 \times 10^{-15} = [Ni^{2+}] [OH^-]^2$$

$$= (S) (0.10 + 2S)^2$$

K_{sp} નું મૂલ્ય ઓછું છે. $2S \ll 0.10$,

આમ, $(0.10 + 2S) \approx 0.10$

આથી,

$$2.0 \times 10^{-15} = S (0.10)^2$$

$$S = 2.0 \times 10^{-13} \text{ M} = [Ni^{2+}]$$

નિર્બળ એસિડના ક્ષાર જેવા કે ફોસ્ફેટની દ્રાવ્યતા નીચા pH મૂલ્યે વધે છે. આનું કારણ એ છે કે નીચા pH મૂલ્યે ઋણાયનની સાંદ્રતા પ્રોટોનેશનને (પ્રોટોન સાથે જોડાવું) કારણે ઘટે છે અને પરિણામે ક્ષારની દ્રાવ્યતા વધે છે જેથી $K_{sp} = Q_{sp}$ થશે. આપણે બે સંતુલનો એક સાથે સંતોષવા પડશે. એટલ કે,

$$K_{sp} = [M^+] [X^-],$$



$$K_a = \frac{[H^+(aq)] [X^-(aq)]}{[HX(aq)]}$$

$$[X^-] / [HX] = K_a / [H^+]$$

બન્ને બાજુનું વ્યસ્ત લઈને 1 ઉમેરતાં,

$$\frac{[HX]}{[X^-]} + 1 = \frac{[H^+]}{K_a} + 1$$

$$\frac{[HX] + [H^+]}{[X^-]} = \frac{[H^+] + K_a}{K_a}$$

હવે ફરીથી વ્યસ્ત લેતાં, આપણને મળશે.

$[X^-] / \{[X^-] + [HX]\} = f = K_a / (K_a + [H^+])$ અને એ સ્પષ્ટ થાય છે pH ઘટે છે તેમ 'f' ઘટે છે. જો આપેલ pH મૂલ્યે ક્ષારની દ્રાવ્યતા S હોય તો,

$$K_{sp} = [S] [f S] = S^2 \{K_a / (K_a + [H^+])\} \text{ અને}$$

$$S = \{K_{sp} ([H^+] + K_a) / K_a\}^{1/2} \quad (7.42)$$

આમ $[H^+]$ માં વધારાથી અથવા pH મૂલ્યમાં ઘટાડાથી દ્રાવ્યતા Sમાં વધારો થશે.

સારાંશ

જ્યારે પ્રવાહી સ્વરૂપમાંથી નીકળી બાષ્પ સ્વરૂપમાં જતાં અણુઓની સંખ્યા તથા બાષ્પ સ્વરૂપમાંથી પ્રવાહી સ્વરૂપમાં જતાં અણુઓની સંખ્યા સરખી થાય ત્યારે સંતુલન પ્રાપ્ત થયું છે તેમ કહેવાય છે અને તે સ્વભાવે ગતિશીલ હોય છે. સંતુલન ભૌતિક અને રાસાયણિક બન્ને પ્રક્રમો માટે પ્રાપ્ત કરી શકાય છે અને આ તબક્કે પુરોગામી અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાના દર (વેગ) સરખાં થાય છે. **સંતુલન અચળાંક K_c** ને દર્શાવવા માટે નીપજોની સાંદ્રતાના ગુણાકારને પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતાના ગુણાકાર વડે ભાગવામાં આવે છે અને પર્યાયને તત્ત્વયોગમિતિય ગુણાંકના ઘાતાંકમાં મૂકવામાં આવે છે.



$$\text{માટે } K_c = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

સંતુલન અચળાંક નિશ્ચિત કરેલા તાપમાને અચળ મૂલ્ય હોય છે અને આ તબક્કે બધા જ સ્થૂળદર્શીય ગુણધર્મો જેવાં કે સાંદ્રતા, દબાણ વગેરે અચળ થાય છે. વાયુમય પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક K_p વડે દર્શાવાય છે અને તેને K_c માટે દર્શાવેલા સાંદ્રતા પર્યાયોની સાથે આંશિક દબાણના પર્યાયોથી દર્શાવાય છે. પ્રક્રિયાની દિશા પ્રક્રિયા ભાગફળ (Quotient) Q_c ના પ્રાક્કથનથી નક્કી કરી શકાય છે. ભાગફળનું મૂલ્ય સંતુલને K_c જેટલું હોય છે. **લ શેટેલિયરનો સિદ્ધાંત** નિવેદિત કરે છે કે જ્યારે તાપમાન, દબાણ કે સાંદ્રતા જેવા પરિબળમાં ફેરફાર કરવામાં આવે તો પ્રક્રિયા સંતુલનને એવી દિશામાં ધકેલે છે કે જેથી અસરનો સામનો કરે (counteract) અથવા ઘટાડે. તેનો ઉપયોગ સંતુલનની દિશા પર સાંદ્રતા, દબાણ, તાપમાન, ઉદ્દીપક કે નિષ્ક્રિય વાયુઓની અસરના અભ્યાસ માટે ઉપયોગ કરી શકાય. તે આ પ્રક્રિયા મિશ્રણના ઘટાડાને અસર કરતું નથી, પરંતુ **ઉદ્દીપક** પ્રક્રિયકોમાંથી નીપજો મેળવવામાં અથવા નીપજોમાંથી પ્રક્રિયકો મેળવવા માટે નવા વધુ નીચી ઊર્જાવાળા માર્ગો પ્રાપ્ત કરી આપી શકે છે.

બધા જ પદાર્થો જે જલીય દ્રાવણોમાં વિદ્યુતનું વહન કરે છે તેને **વિદ્યુતવિભાજ્યો** કહે છે. એસિડ, બેઇઝ અને ક્ષાર વિદ્યુતવિભાજ્યો છે અને તેમના જલીય દ્રાવણો દ્વારા વિદ્યુતનું વહન **વિદ્યુતવિભાજ્યોનું જલીય દ્રાવણમાં વિયોજન અથવા આયનીકરણ**ને લીધે ઉત્પન્ન થતા ધનાયન અને ઋણાયનને કારણે હોય છે. પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યો સંપૂર્ણ વિયોજિત થાય છે. નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યોમાં આયનો અને અવિયોજિત વિદ્યુતવિભાજ્ય અણુઓ વચ્ચે સંતુલન હોય છે. **આર્હેનિયસના** મત પ્રમાણે **એસિડ** તેમના જલીય દ્રાવણમાં હાઇડ્રોજન આયન અને બેઇઝ તેમના જલીય દ્રાવણમાં હાઇડ્રોક્સિલ આયન આપે છે, જ્યારે બીજી બાજુ **બ્રોન્સ્ટેડ-લોરી** વાદ એસિડને પ્રોટોનદાતા અને બેઇઝને પ્રોટોનગ્રાહી (સ્વીકારનાર) કહે છે, જ્યારે બ્રોન્સ્ટેડ-લોરી એસિડ બેઇઝ સાથે પ્રક્રિયા કરે છે ત્યારે સંયુગ્મ બેઇઝ અને જે બેઇઝ સાથે પ્રક્રિયા કરે છે તેને અનુરૂપ સંયુગ્મ એસિડ ઉત્પન્ન કરે છે. આમ **એસિડ-બેઇઝની સંયુગ્મ જોડ** માત્ર પ્રોટોનનો તફાવત ધરાવે છે. **લુઇસે** આગળ ઉપર વ્યાખ્યાનું સામાન્યીકરણ કર્યું અને જણાવ્યું કે એસિડ એટલે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મ સ્વીકારનાર અને બેઇઝ એટલે ઇલેક્ટ્રોન યુગ્મદાતા. નિર્બળ એસિડ અને નિર્બળ બેઇઝના આયનીકરણ અચળાંક (સંતુલન અચળાંક) અનુક્રમે (K_a) અને (K_b) આર્હેનિયસની વ્યાખ્યાનો ઉપયોગ કરી ઉપજાવ્યા. આયનીકરણ અંશ અને તેની સાંદ્રતા પર તથા સમાન આયનની અસરની ચર્ચા કરી. હાઇડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા અથવા સક્રિયતા માટે **pH માપકમ** ($\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$) દાખલ કર્યો અને તેના ઉપયોગ અન્ય જથ્થાઓ ($\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$); $\text{pK}_a = -\log [\text{K}_a]$; $\text{pK}_b = -\log [\text{K}_b]$ અને $\text{pK}_w = -\log [\text{K}_w]$ વગેરે) માટે વિકસાવ્યો. પાણીના આયનીકરણને પણ ધ્યાનમાં લેવાયું અને આપણે જાણીએ છીએ કે $\text{pH} + \text{pOH} = \text{pK}_w$ હંમેશાં સંતોષાય છે. પ્રબળ એસિડ અને નિર્બળ બેઇઝનો ક્ષાર, નિર્બળ એસિડ અને પ્રબળ બેઇઝનો ક્ષાર તથા નિર્બળ એસિડ અને નિર્બળ બેઇઝનો ક્ષાર જલીય દ્રાવણમાં જળવિભાજન પ્રક્રિયા કરે છે. **બફર દ્રાવણો**ની વ્યાખ્યા અને તેમની અગત્ય ટૂંકમાં ચર્ચા છે. અલ્પદ્રાવ્ય ક્ષારોના દ્રાવ્યતા સંતુલનની ચર્ચા પણ કરેલી છે અને સંતુલન અચળાંકને **દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક (K_{sp})** તરીકે સમજાવેલ છે. K_{sp} નો દ્રાવ્યતા સાથે સંબંધ પણ પ્રસ્થાપિત કરવામાં આવ્યો છે. ક્ષારોને તેમના દ્રાવણમાંથી અવક્ષેપિત કરવા માટેની શરતો અથવા તેમના પાણીમાં દ્રાવ્યતા અંગે પણ ગણતરીઓ દર્શાવાયેલ છે. સમાન આયનની અસર અલ્પદ્રાવ્ય ક્ષારોની દ્રાવ્યતા અંગે પણ ચર્ચા કરવામાં આવી છે.

વિદ્યાર્થીઓ માટે આ એકમને લગતી સૂચિત પ્રવૃત્તિઓ

- વિદ્યાર્થી pH પેપરના ઉપયોગ પ્રાપ્ય જુદા જુદા શાકભાજી અને ફળો, તાજા જ્યુસ, ઠંડાપીણા, શરીરમાંના દ્રવ અને પાણીના નમૂનાઓની pH માપવા માટે કરી શકે છે.
- pH પેપરનો ઉપયોગ કરી જુદા જુદા ક્ષારના દ્રાવણોની pH નક્કી કરી શકે છે અને તેમાંથી તે/તેણી નક્કી કરી શકે છે કે આ ક્ષાર પ્રબળ/નિર્બળ એસિડ અને પ્રબળ / નિર્બળ બેઈઝમાંથી બન્યા છે.
- વિદ્યાર્થીઓ એસિટિક એસિડ અને સોડિયમ એસિટેટના દ્રાવણોને મિશ્ર કરીને કેટલાક બફર દ્રાવણો બનાવી શકે છે અને તેનો ઉપયોગ pH પેપર વડે તેમની pH માપવા માટે કરી શકે છે.
- તેમને જુદા જુદા સૂચકો આપવા જોઈએ જેથી તેઓ જુદી જુદી pH વાળા દ્રાવણોમાં મળતાં રંગનું અવલોકન કરી શકે.
- તેઓ સૂચક વાપરીને કેટલાક એસિડ-બેઈઝ અનુમાપન પણ કરી શકે છે.
- તે અલ્પદ્રાવ્ય ક્ષારોની દ્રાવ્યતા પર સમાન આયનની અસરના અવલોકન કરી શકે છે.
- જો તેમની શાળામાં pH મીટર પ્રાપ્ય હોય તો કેટલાક દ્રાવણની pH તેનાથી માપે અને મળેલા મૂલ્યોને pH પેપરના ઉપયોગથી મેળવેલ મૂલ્યો સાથે સરખાવે.

સ્વાધ્યાય

- એક પ્રવાહી નિશ્ચિત તાપમાને એક સીલ કરેલ (sealed) પાત્રમાં તેની બાષ્પ સાથે સંતુલનમાં છે. પાત્રનું કદ એકદમ જ વધી ગયું.
 - બાષ્પદબાણ પર આ ફેરફારની શું પ્રારંભિક અસર હશે ?
 - બાષ્પીભવન અને સંઘનનના દર પ્રારંભિક રીતે બદલાશે ?
 - જો અંતે સંતુલન પુનઃસ્થાપિત થાય તો અંતિમ બાષ્પદબાણ કેટલું હશે ?
- નીચેના સંતુલન માટે K_c નું મૂલ્ય કેટલું થશે, જ્યારે દરેક પદાર્થની સંતુલન સાંદ્રતા નીચે પ્રમાણે છે :
 $[SO_2] = 0.60M$, $[O_2] = 0.82M$ અને $[SO_3] = 1.90M$?

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$$
- અમુક તાપમાને અને કુલ દબાણ $10^5 Pa$ એ આયોડિન બાષ્પની સાંદ્રતા કદથી 40 % I પરમાણુ ધરાવે છે.

$$I_2(g) \rightleftharpoons 2I(g)$$
 સંતુલન માટે K_p ગણો.
- નીચેની દરેક પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક K_c માટેના સૂત્રો દર્શાવો :
 - $2NOCl(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + Cl_2(g)$
 - $2Cu(NO_3)_2(s) \rightleftharpoons 2CuO(s) + 4NO_2(g) + O_2(g)$
 - $CH_3COOC_2H_5(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons CH_3COOH(aq) + C_2H_5OH(aq)$
 - $Fe^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \rightleftharpoons Fe(OH)_3(s)$
 - $I_2(s) + 5F_2 \rightleftharpoons 2IF_5$
- નીચેની દરેક પ્રક્રિયા માટે K_p ના મૂલ્યમાંથી K_c નું મૂલ્ય મેળવો :
 - $2NOCl(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + Cl_2(g)$; $K_p = 1.8 \times 10^{-2}$; 500 K તાપમાને
 - $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$; $K_p = 167$; 1073 K તાપમાને
- નીચેની પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક $K_c = 6.3 \times 10^{14}$; 1000 K તાપમાને છે.

$$NO(g) + O_3(g) \rightleftharpoons NO_2(g) + O_2(g)$$
 બન્ને પુરોગામી અને પ્રતિગામી પ્રક્રિયાઓ સંતુલનમાં પ્રાથમિક રીતે (elementary) દ્વિઆણ્વીય છે. પ્રતિગામી પ્રક્રિયા માટે K_c કેટલો હશે ?
- સંતુલન અચળાંકની રજૂઆત લખતી વખતે શા માટે શુદ્ધ પ્રવાહી અને ઘનને (અચળ) અવગણવામાં આવે છે ?

- 7.8 N_2 અને O_2 વચ્ચે નીચે પ્રમાણે પ્રક્રિયા થાય છે : $2N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2N_2O(g)$
જો 0.482 mol N_2 અને 0.933 mol O_2 ના મિશ્રણને 10 L ના પ્રક્રિયા પાત્રમાં લેવામાં આવે અને તેમાંથી N_2O બનવા દેવામાં આવે એ તાપમાને કે જ્યારે તેના K_p નું મૂલ્ય 2.0×10^{-37} છે. સંતુલન મિશ્રણનું ઘટક પ્રમાણ નક્કી કરો.
- 7.9 નાઈટ્રિક ઓક્સાઈડ Br_2 સાથે પ્રક્રિયા કરે છે અને નીચે આપેલી પ્રક્રિયા પ્રમાણે નાઈટ્રોસીલ બ્રોમાઈડ આપે છે : $2NO(g) + Br_2(g) \rightleftharpoons 2NOBr(g)$
જ્યારે 0.087 mol NO અને 0.0437 mol Br_2 ને એક બંધ પાત્રમાં અચળ તાપમાને મિશ્ર કરવામાં આવે છે, ત્યારે 0.0518 mol NOBr સંતુલને મળે છે. NO અને Br_2 ના સંતુલન જથ્થા (amount) નક્કી કરો.
- 7.10 આપેલ પ્રક્રિયા માટે સંતુલન સમયે 450K તાપમાને $K_p = 2.0 \times 10^{10}/\text{bar}$ છે.
 $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$
આ તાપમાને K_c કેટલો હશે ?
- 7.11 HI(g)ના એક નમૂનાને ફ્લાસ્કમાં 0.2 atm દબાણે લેવામાં આવેલ છે. સંતુલને HI(g)નું આંશિક દબાણ 0.04 atm છે. આપેલ સંતુલન માટે K_p કેટલો થશે ?
 $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$
- 7.12 500 K તાપમાને 1.57 mol N_2 , 1.92 mol H_2 અને 8.13 mol NH_3 ના મિશ્રણને 20 L ના પ્રક્રિયા પાત્રમાં દાખલ કરવામાં આવ્યા. આ તાપમાને સંતુલન અચળાંક K_c , $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ પ્રક્રિયા માટે 1.7×10^2 છે. પ્રક્રિયા મિશ્રણ સંતુલનમાં છે ? જો ના તો ચોખ્ખી (net) પ્રક્રિયાની દિશા કઈ હશે ?
- 7.13 વાયુમય પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંકનું સૂત્ર છે : $K_c = \frac{[NH_3]^4 [O_2]^5}{[NO]^4 [H_2O]^6}$
આ સૂત્રને અનુરૂપ સંતુલિત રાસાયણિક સમીકરણ લખો.
- 7.14 એક મોલ H_2O એક મોલ CO, 10 L પાત્રમાં લેવામાં આવેલ છે અને 725 K તાપમાને ગરમ કરવામાં આવેલ છે. સંતુલને 40 % પાણી (દળથી) CO સાથે નીચેની પ્રક્રિયા પ્રમાણે પ્રક્રિયા કરે છે :
 $H_2O(g) + CO(g) \rightleftharpoons H_2(g) + CO_2(g)$
પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક ગણો.
- 7.15 700 K તાપમાને, $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$
પ્રક્રિયા માટે સંતુલન અચળાંક 54.8 છે. જો 0.5 mol L^{-1} HI(g) 700 K તાપમાને સંતુલનમાં હાજર છે. $H_2(g)$ અને $I_2(g)$ ની સાંદ્રતા કેટલી હશે. જો આપણે એમ ધારીએ કે 700 K તાપમાને HI(g)થી શરૂઆત કરી હતી.
- 7.16 જો ICl ની પ્રારંભિક સાંદ્રતા 0.78 M હોય ત્યારે સંતુલને દરેક પદાર્થની સંતુલન સાંદ્રતા કેટલી હશે ?
 $2ICl(g) \rightleftharpoons I_2(g) + Cl_2(g); K_c = 0.14$
- 7.17 નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણેના સંતુલન માટે સંતુલન અચળાંક 899 K તાપમાને $K_p = 0.04 \text{ atm}$ છે. જો તેને 4.0 atm દબાણે એક ફ્લાસ્કમાં લેવામાં આવે અને સંતુલન પ્રાપ્તિ માટે રાખવામાં આવે તો, C_2H_6 ની સંતુલન સાંદ્રતા કેટલી હશે ?
 $C_2H_6(g) \rightleftharpoons C_2H_4(g) + H_2(g)$
- 7.18 ઈથેનોલ અને એસિટિક એસિડ વચ્ચે પ્રક્રિયા થવાથી ઈથાઈલ એસિટેટ બને છે અને તેના સંતુલનને નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :
 $CH_3COOH(l) + C_2H_5OH(l) \rightleftharpoons CH_3COOC_2H_5(l) + H_2O(l)$
(i) આ પ્રક્રિયા માટે સાંદ્રતા ગુણોત્તર (પ્રક્રિયા ભાગફળ Q_c) લખો. (નોંધ : પાણી વધુ પ્રમાણમાં નથી અને તે પ્રક્રિયામાં દ્રાવક પણ નથી.)

- (ii) 293 K તાપમાને કોઈ વ્યક્તિ 1.00 mol એસિટિક એસિડ અને 0.18 mol ઈથેનોલ લઈને પ્રક્રિયા શરૂ કરે છે. અંતિમ સંતુલન મિશ્રણમાં 0.171 mol ઈથાઈલ એસિટેટ છે. સંતુલન અચળાંક ગણો.
- (iii) 0.5 mol ઈથેનોલ અને 1.0 mol એસિટિક એસિડ લઈને શરૂઆત કરતાં અને તાપમાન 293 K જાળવી રાખતા થોડા સમય પછી 0.214 mol ઈથાઈલ એસિટેટ મળ્યો. શું સંતુલન પ્રાપ્ત થયું હશે ?
- 7.19 શુદ્ધ PCl_5 નો એક નમૂનો શૂન્યાવકાશ કરેલા પાત્રમાં 473 K તાપમાને દાખલ કરવામાં આવ્યો. સંતુલન પ્રાપ્ત થયા બાદ PCl_5 ની સાંદ્રતા $0.5 \times 10^{-1} \text{ mol L}^{-1}$ જાણવા મળી. જો K_c નું મૂલ્ય 8.3×10^{-3} હોય તો સંતુલને PCl_3 અને Cl_2 ની સાંદ્રતા કેટલી હશે ?



- 7.20 આયર્નના અચરકમાંથી આયર્નના ઉત્પાદનની એક પદ્ધતિમાં આયર્ન(II)નું કાર્બન મોનોક્સાઈડ વડે રિડક્શન કરવામાં આવે છે, જેથી આયર્ન ધાતુ અને CO_2 મળે છે.

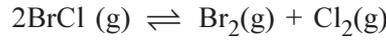


CO અને CO_2 ના સંતુલને આંશિક દબાણ 1050 K તાપમાને કેટલા હશે ?

પ્રારંભિક આંશિક દબાણ છે : $p_{\text{CO}} = 1.4 \text{ atm}$ અને $p_{\text{CO}_2} = 0.80 \text{ atm}$?

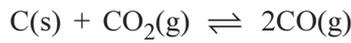
- 7.21 પ્રક્રિયા $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ માટે સંતુલિત અચળાંક 500 K તાપમાને $K_c = 0.061$. કોઈ એક સમયે પૃથક્કરણ દર્શાવે છે કે સંઘટન મિશ્રણનું પ્રમાણ $3.0 \text{ mol L}^{-1} \text{ N}_2$, $2.0 \text{ mol L}^{-1} \text{ H}_2$ અને $0.5 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_3$ છે. શું પ્રક્રિયા સંતુલનમાં છે ? જો ના હોય તો પ્રક્રિયા કઈ દિશામાં જવાનું વલણ દર્શાવશે જેથી સંતુલને પહોંચી શકાય.

- 7.22 બ્રોમિન મોનોક્લોરાઈડ, BrCl બ્રોમિન અને ક્લોરિનમાં સંતુલન પ્રાપ્ત કરે છે.



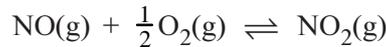
તેને માટે 500 K તાપમાને $K_c = 32$ જો શરૂઆતમાં શુદ્ધ BrCl હાજર હોય અને તેની સાંદ્રતા $3.3 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ હોય તો તેની સંતુલને મિશ્રણમાં સાંદ્રતા કેટલી હશે ?

- 7.23 1127 K તાપમાને અને 1 atm દબાણે CO અને CO_2 નું મિશ્રણ ઘન કાર્બન સાથે જેમાં દળથી 90.55% CO છે. તેની સાથે સંતુલનમાં છે.



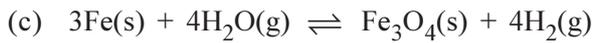
ઉપરના તાપમાને પ્રક્રિયા માટે K_c ગણો.

- 7.24 298 K તાપમાને NO અને O_2 માંથી NO_2 ના સર્જન માટે (a) ΔG° અને (b) સંતુલન અચળાંક ગણો.

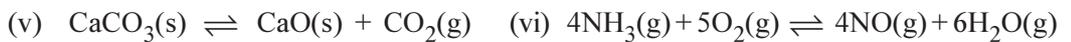
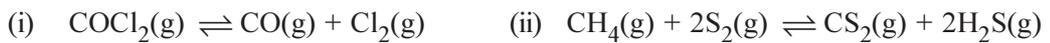


જ્યાં, $\Delta_f G^\circ (\text{NO}_2) = 52.0 \text{ kJ/mol}$; $\Delta_f G^\circ (\text{NO}) = 87.0 \text{ kJ/mol}$; $\Delta_f G^\circ (\text{O}_2) = 0 \text{ kJ/mol}$

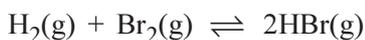
- 7.25 નીચેના સંતુલનો માટે કદમાં વધારો કરી દબાણમાં ઘટાડો કરવામાં આવ્યો તો પ્રક્રિયા નીપજના મોલની સંખ્યા વધશે, ઘટશે કે સરખી જ રહેશે (બદલાશે નહિ).



- 7.26 નીચેનામાંથી કઈ પ્રક્રિયા પર દબાણના વધારાની અસર પડશે ? એ પણ જણાવો કે ફેરફારને લીધે પ્રક્રિયા પુરોગામી કે પ્રતિગામી દિશામાં થશે ?



- 7.27 નીચેની પ્રક્રિયા માટે 1024 K તાપમાને સંતુલન અચળાંક 1.6×10^5 છે.



1024 K તાપમાને જો સીલ કરેલા પાત્રમાં 10.0 bar દબાણે HBr ને દાખલ કરવામાં આવે તો બધા જ વાયુઓના સંતુલન દબાણ શોધો.

- 7.28 નીચેની ઉષ્માશોષક પ્રક્રિયા પ્રમાણે કુદરતી વાયુના અંશતઃ ઓક્સિડેશનથી ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ મળ્યો છે :
- $$\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$$
- (a) ઉપરની પ્રક્રિયા માટે K_p નું સૂત્ર લખો.
 (b) જો, (i) દબાણ વધારવામાં આવે. (ii) તાપમાન વધારવામાં આવે. (iii) ઉદ્દીપકનો ઉપયોગ કરવામાં આવે. તો K_p ના મૂલ્યો અને સંતુલન મિશ્રણના સંઘટન (composition) પર શું અસર થશે ?
- 7.29 નીચેનાની $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ પ્રક્રિયાના સંતુલન પર અસર વર્ણવો :
- (a) H_2 ઉમેરવામાં આવે (b) CH_3OH ઉમેરવામાં આવે
 (c) CO દૂર કરવામાં આવે (d) CH_3OH દૂર કરવામાં આવે.
- 7.30 473 K તાપમાને ફોસ્ફરસ પેન્ટાક્લોરાઇડ PCl_5 ના વિઘટન માટેનો સંતુલન અચળાંક $K_c = 8.3 \times 10^{-3}$ છે. જો સંતુલન આ પ્રમાણે દર્શાવવામાં આવે તો,
- $$\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \quad \Delta_r H^\ominus = 124.0 \text{ kJ mol}^{-1}$$
- (a) પ્રક્રિયાના K_c માટેનું સૂત્ર લખો.
 (b) સમાન તાપમાને પ્રતિવર્તી પ્રક્રિયાના K_c નું મૂલ્ય કેટલું હશે ?
 (c) K_c ઉપર શું અસર પડશે. જો (i) વધારે PCl_5 ઉમેરવામાં આવે. (ii) દબાણ વધારવામાં આવે. (iii) તાપમાન વધારવામાં આવે.
- 7.31 હેબર વિધિમાં વપરાતો ડાયહાઇડ્રોજન કુદરતી વાયુમાંના મિથેન વાયુ સાથે ઊંચા તાપમાને વરાળ સાથે પ્રક્રિયા કરી મેળવવામાં આવે છે. બે તબક્કાની પ્રક્રિયામાં પ્રથમ તબક્કો CO અને H_2 ના સર્જનનો સમાવેશ કરે છે અને પ્રક્રિયાનો બીજો તબક્કો પ્રથમ તબક્કામાં બનેલો CO જળવાયુમાં વધુ વરાળ સાથે પ્રક્રિયા કરવામાં આવે છે અને પ્રક્રિયા ખસે છે.
- $$\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$$
- જો 400°C તાપમાને પ્રક્રિયા પાત્રમાં CO અને વરાળના સરખા મોલર મિશ્રણ લેવામાં આવે જેથી $p_{\text{CO}} = p_{\text{H}_2\text{O}} = 4.0 \text{ bar}$. સંતુલને H_2 નું આંશિક દબાણ કેટલું હશે ? 400°C તાપમાને $K_p = 10.1$.
- 7.32 નીચેનામાંથી કઈ પ્રક્રિયામાં પ્રક્રિયકો અને નીપજોની સાંદ્રતા ગણનાપાત્ર (appreciable) હશે ?
- (a) $\text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Cl}(\text{g}) \quad K_c = 5 \times 10^{-39}$
 (b) $\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{NO}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NOCl}(\text{g}) \quad K_c = 3.7 \times 10^8$
 (c) $\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2\text{Cl}(\text{g}) \quad K_c = 1.8$
- 7.33 25°C તાપમાને $3\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{O}_3(\text{g})$ પ્રક્રિયા માટે K_c નું મૂલ્ય 2.0×10^{-50} છે. જો હવામાં O_2 ની સંતુલન સાંદ્રતા 1.6×10^{-2} 25°C તાપમાને હોય તો, O_3 ની સાંદ્રતા કેટલી હશે ?
- 7.34 $\text{CO}(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ પ્રક્રિયા 1300 K તાપમાને 1 L ના ફ્લાસ્કમાં સંતુલને છે. તે ફ્લાસ્કમાં 0.30 mol CO , 0.10 mol H_2 અને $0.02 \text{ mol H}_2\text{O}$ ઉપરાંત CH_4 નો અજ્ઞાત જથ્થો ધરાવે છે. મિશ્રણમાં CH_4 ની સાંદ્રતા ગણો. આપેલ તાપમાને પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક 3.90 છે.
- 7.35 સંયુગ્મ એસિડ-બેઇઝ યુગ્મ (જોડ)નો અર્થ શું છે ? નીચેની સ્પીસિઝ માટે સંયુગ્મ એસિડ/બેઇઝ શોધો : HNO_2 , CN^- , HClO_4 , F^- , OH^- , CO_3^{2-} , અને S^{2-}
- 7.36 નીચેનામાંથી કયા લુઇસ એસિડ છે ? H_2O , BF_3 , H^+ અને NH_4^+
- 7.37 બ્રોન્સ્ટેડ એસિડ HF , H_2SO_4 અને HCO_3^- માટે સંયુગ્મ બેઇઝ શું હશે ?
- 7.38 નીચેના બ્રોન્સ્ટેડ બેઇઝ માટે સંયુગ્મ એસિડ લખો : NH_2 , NH_3 અને HCOO^- .
- 7.39 H_2O , HCO_3^- , HSO_4^- અને NH_3 જેવી સ્પીસિઝ લુઇસ એસિડ અને લુઇસ બેઇઝ તરીકે વર્તી શકે છે. દરેકને માટે અનુરૂપ સંયુગ્મ એસિડ કે બેઇઝ લખો.
- 7.40 નીચેની સ્પીસિઝને લુઇસ એસિડ અને લુઇસ બેઇઝમાં વર્ગીકરણ કરો અને દર્શાવો કે તે કેવી રીતે એસિડ/બેઇઝ તરીકે વર્તે છે : (a) OH^- (b) F^- (c) H^+ (d) BCl_3 .

- 7.41 એક ઠંડા પીણાંનાં નમૂનામાં હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા $3.8 \times 10^{-3} \text{ M}$ છે, તેની pH કેટલી હશે ?
- 7.42 સરકો(Vineger)ના નમૂનાનો pH 3.76 છે. તેમાં હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા શોધો.
- 7.43 298 K તાપમાને HF, HCOOH અને HCNના આયનીકરણ અચળાંક અનુક્રમે 6.8×10^{-4} , 1.8×10^{-4} અને 4.8×10^{-9} છે. તેમના અનુરૂપ સંયુગ્મ બેઈઝના આયનીકરણ અચળાંક ગણો.
- 7.44 ફિનોલનો આયનીકરણ અચળાંક 298 K તાપમાને 1.0×10^{-10} છે. 0.05 M ફિનોલના દ્રાવણમાં ફિનોલેટ આયનની સાંદ્રતા કેટલી હશે ? જો દ્રાવણ 0.01 M સોડિયમ ફિનોલેટનું હોય તો આયનીકરણ અંશ કેટલો હશે ?
- 7.45 H_2S નો પ્રથમ આયનીકરણ અચળાંક 9.1×10^{-8} છે. તેના 0.1 M દ્રાવણમાં HS^- આયનની સાંદ્રતા ગણો. જો આ દ્રાવણમાં 0.1M HCl હોય તો ગણેલી સાંદ્રતા પર શું અસર પડશે. જો H_2S નો બીજો આયનીકરણ અચળાંક 1.2×10^{-13} હોય તો બન્ને પરિસ્થિતિમાં S^{2-} આયનની સાંદ્રતા ગણો.
- 7.46 ઍસિટિક ઍસિડનો આયનીકરણ અચળાંક 1.74×10^{-5} છે. તેના 0.05 M દ્રાવણમાં વિયોજન અંશ ગણો. દ્રાવણમાં ઍસિટેટ આયનની સાંદ્રતા અને તેની pH ગણો.
- 7.47 એવું જાણવા મળ્યું છે કે એક કાર્બનિક ઍસિડની તેના 0.01 M સાંદ્રતાના દ્રાવણની pH 4.15 છે. ઋણાયનની સાંદ્રતા, ઍસિડનો આયનીકરણ અચળાંક અને તેનો pK_a ગણો.
- 7.48 સંપૂર્ણ વિયોજન થાય છે એમ ધારીને નીચેના દ્રાવણોની pH ગણો :
- (a) 0.003 M HCl (b) 0.005 M NaOH (c) 0.002 M HBr (d) 0.002 M KOH
- 7.49 નીચેના દ્રાવણોની pH ગણો :
- (a) 2 g TIOH પાણીમાં ઓગાળી 2 લિટર દ્રાવણ બનાવ્યું.
- (b) 0.3 g Ca(OH)_2 પાણીમાં ઓગાળી 500 mL દ્રાવણ બનાવ્યું.
- (c) 0.3 g NaOH પાણીમાં ઓગાળી 200 mL દ્રાવણ બનાવ્યું.
- (d) 13.6 M HClના 1 mLને પાણી વડે મંદ કરી 1 લિટર દ્રાવણ બનાવ્યું.
- 7.50 0.1 M બ્રોમો ઍસિટિક ઍસિડ દ્રાવણનો આયનીકરણ અચળાંક 0.132 છે. બ્રોમો ઍસિટિક ઍસિડ દ્રાવણની pH ગણો અને તેનો pK_a પણ ગણો.
- 7.51 0.005M કોડિન ($\text{C}_{18}\text{H}_{21}\text{NO}_3$) દ્રાવણની pH 9.95 છે. તેનો આયનીકરણ અચળાંક ગણો અને pK_b પણ ગણો.
- 7.52 0.001 M ઍનિલિન દ્રાવણની pH કેટલી હશે ? ઍનિલિનનો આયનીકરણ અચળાંક કોષ્ટક 7.7માંથી લઈ શકાય છે. દ્રાવણમાં ઍનિલિનનો આયનીકરણ અંશ ગણો. ઍનિલિનના સંયુગ્મ ઍસિડનો આયનીકરણ અચળાંક પણ ગણો.
- 7.53 જો ઍસિટિક ઍસિડના pK_a નું મૂલ્ય 4.74 હોય તો 0.05 M ઍસિટિક ઍસિડનો આયનીકરણ અંશ ગણો. જો તેનું દ્રાવણ (a) 0.01M HCl અને (b) 0.1M HCl ધરાવતું હોય તો તેનો વિયોજન અંશ કઈ રીતે અસર પામશે ?
- 7.54 ડાયમિથાઈલ એમાઈનનો આયનીકરણ અચળાંક 5.4×10^{-4} છે. તેના 0.02M દ્રાવણમાં તેનો આયનીકરણ અંશ ગણો. જો દ્રાવણ 0.1 M NaOH ધરાવતું હોય તો ડાયમિથાઈલ એમાઈનનું કેટલા ટકા આયનીકરણ થયું હશે ?
- 7.55 નીચેના જૈવિક દ્રવમાં હાઈડ્રોજન આયનની સાંદ્રતા ગણો જેમના pH આપેલા છે :
- (a) માનવ સ્નાયુ દ્રવ, 6.83 (b) માનવ જઠર દ્રવ, 1.2
- (c) માનવ રુધિર (લોહી) 7.38 (d) માનવ લાળ, 6.4.
- 7.56 દૂધ, કાળી કોફી, ટામેટાનો જ્યૂસ, લીંબુનો જ્યૂસ અને ઈંડાંની સફેદીના pH અનુક્રમે 6.8, 5.0, 4.2, 2.2 અને 7.8 છે. દરેકમાં તેને અનુરૂપ હાઈડ્રોજન આયન સાંદ્રતા ગણો.
- 7.57 જો 0.561 g KOH ને પાણીમાં ઓગાળી 298 K તાપમાને 200 mL દ્રાવણ બનાવવામાં આવ્યું. પોટેશિયમ, હાઈડ્રોજન આયન અને હાઈડ્રોક્સિલ આયનની સાંદ્રતા ગણો. તેની pH કેટલી હશે ?

- 7.58 $\text{Sr}(\text{OH})_2$ ની દ્રાવ્યતા 298 K તાપમાને તેના દ્રાવણમાં 19.23 g/L છે. સ્ટ્રોન્શિયમ અને હાઈડ્રોક્સિલ આયનની સાંદ્રતા ગણો. pH પણ ગણો.
- 7.59 પ્રોપેનોઈક એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક 1.32×10^{-5} છે. તેના 0.05 M દ્રાવણમાં એસિડનો આયનીકરણ અંશ ગણો અને pH પણ ગણો. જો દ્રાવણમાં 0.01M HCl પણ હોય તો દ્રાવણનો આયનીકરણ અંશ કેટલો થશે ?
- 7.60 સાયનિક એસિડ (HCNO)ના 0.1 M દ્રાવણની pH 2.34 છે. એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક ગણો અને દ્રાવણમાં તેનો આયનીકરણ અંશ ગણો.
- 7.61 નાઈટ્રસ એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક 4.5×10^{-4} છે. 0.04 M સોડિયમ નાઈટ્રાઈટ દ્રાવણની pH ગણો અને તેનો જળવિભાજન અંશ પણ ગણો.
- 7.62 પિરીડીનિયમ હાઈડ્રોક્લોરાઈડના 0.02 M દ્રાવણની pH = 3.44 છે. પિરીડીનનો આયનીકરણ અચળાંક ગણો.
- 7.63 નીચેના ક્ષારોના દ્રાવણ તટસ્થ, એસિડિક કે બેઝિક હશે તેનું પ્રાક્ષયન કરો :
NaCl, KBr, NaCN, NH_4NO_3 , NaNO_2 અને KF
- 7.64 ક્લોરોએસિટિક એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક 1.35×10^{-3} છે. 0.1 M એસિડની pH કેટલી હશે ? અને તેના 0.1 M સોડિયમ ક્ષારના દ્રાવણમાં pH કેટલી હશે ?
- 7.65 310 K તાપમાને પાણીનો આયનીય ગુણાકાર 2.7×10^{-14} છે. આ તાપમાને તટસ્થ પાણીના દ્રાવણની pH કેટલી હશે ?
- 7.66 નીચેના મિશ્રણોમાં પરિણમતા દ્રાવણની pH ગણો :
a) 10 mL 0.2M $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 25 mL 0.1M HCl
b) 10 mL 0.01M H_2SO_4 + 10 mL 0.01M $\text{Ca}(\text{OH})_2$
c) 10 mL 0.1M H_2SO_4 + 10 mL 0.1M KOH
- 7.67 298K તાપમાને સિલ્વર કોમેટ, બેરિયમ કોમેટ, ફેરિક હાઈડ્રોક્સાઈડ, લેડ ક્લોરાઈડ અને મરક્યુરસ ક્લોરાઈડની દ્રાવ્યતા કોષ્ટક 7.9માં આપેલ તેમના દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અચળાંક પરથી ગણો. વ્યક્તિગત આયનોની મોલારિટી પણ નક્કી કરો.
- 7.68 Ag_2CrO_4 અને AgBrના દ્રાવ્યતા ગુણાકાર અનુક્રમે 1.1×10^{-12} અને 5.0×10^{-13} છે. તેમના સંતૃપ્ત દ્રાવણોની મોલારિટીનો ગુણોત્તર ગણો.
- 7.69 સોડિયમ આયોડેટ અને ક્યુપ્રિક ક્લોરેટના 0.002 M દ્રાવણોના સરખા કદ ભેગા કરવામાં આવ્યા. તે કોંપર આયોડેટના અવક્ષેપન તરફ દોરી જશે (અવક્ષેપન થશે) ? (ક્યુપ્રિક આયોડેટનો $K_{sp} = 7.4 \times 10^{-8}$).
- 7.70 બેન્ઝોઈક એસિડનો આયનીકરણ અચળાંક 6.46×10^{-5} છે. સિલ્વર બેન્ઝોએટ માટે $K_{sp} = 2.5 \times 10^{-13}$ છે. સિલ્વર બેન્ઝોએટ શુદ્ધ પાણીમાંની દ્રાવ્યતા કરતાં pH 3.19 વાળા બફર દ્રાવણમાં કેટલા ગણો વધારે દ્રાવ્ય થશે ?
- 7.71 ફેરસ સલ્ફેટ અને સોડિયમ સલ્ફાઈડના સરખી મોલારિટીવાળા દ્રાવણોની મહત્તમ સાંદ્રતા કેટલી હોવી જોઈએ કે જેથી ફેરસ સલ્ફાઈડના અવક્ષેપ મળે નહિ ? (આયર્ન સલ્ફાઈડ માટે $K_{sp} = 6.3 \times 10^{-18}$).
- 7.72 298 K તાપમાને 1g કેલ્શિયમ સલ્ફેટને ઓગાળવા માટે પાણીનું ઓછામાં ઓછું કેટલું કદ જોઈશે ? (કેલ્શિયમ સલ્ફેટ માટે K_{sp} is 9.1×10^{-6}).
- 7.73 0.1M HClના દ્રાવણમાં હાઈડ્રોજન સલ્ફાઈડ વડે સંતૃપ્ત બનાવ્યા પછી સલ્ફાઈડ આયનની સાંદ્રતા 1.0×10^{-19} M છે. જો આ દ્રાવણના 10 mL નીચેના પદાર્થોના 5 mL 0.04 M દ્રાવણમાં ઉમેરવામાં આવે તો તેમાંના કયા દ્રાવણમાં અવક્ષેપન થશે ?
 FeSO_4 , MnCl_2 , ZnCl_2 અને CdCl_2 .