એકમ

3

વિદ્યુતરસાયણ

3.1 પ્રસ્તાવના (Introduction)

અત્યાર સુધી આપણે અકાર્બનિક અને કાર્બનિક રસાયણનો અભ્યાસ કરતા હતા. સૌથી જૂની શાખા અકાર્બનિક રસાયણવિજ્ઞાનની છે. વોહલરે યૂરિયા પર કરેલા સંશોધનથી કાર્બનિક રસાયણની એક અલગ શાખાનો ઉદ્ભવ થયો. તેવી રીતે વિદ્યુતરસાયણ વિશેના અભ્યાસ પરથી રસાયણશાસ્ત્રની ત્રીજી અલગ શાખા ભૌતિક રસાયણવિજ્ઞાનનો ઉદ્ભવ થયો. ત્યાર બાદ વૈશ્લેષિક રસાયણવિજ્ઞાન, ઔદ્યોગિક રસાયણવિજ્ઞાન વગેરે શાખાઓ સમયાનુસાર અસ્તિત્વમાં આવતી ગઈ, જેનો હાલમાં અભ્યાસ કરવામાં આવે છે.

રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ વિદ્યુતશક્તિના નિર્માણ માટે ઉપયોગી છે. અલબત્ત, વિદ્યુતશક્તિ રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ દર્શાવવા ઉપયોગી છે, જે સ્વયં પ્રેરિત નથી. વિદ્યુતરસાયણનો અભ્યાસ વિદ્યુતના નિર્માણ માટે થાય છે, જે સ્વયંપ્રેરિત રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ દરમિયાન ઊર્જા મુક્ત થાય છે અને તે વિદ્યુતઊર્જાનો ઉપયોગ સ્વયંપ્રેરિત ન હોય તેવી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ કરવા માટે રૂપાંતરિત થાય છે. આ વિષય માટે સૈદ્ધાંતિક અને પ્રાયોગિક પુરાવા અનિવાર્ય છે. અસંખ્ય (બહોળા પ્રમાણમાં) માત્રામાં આપેલી ધાતુઓ, સોડિયમ હાઇડ્રૉક્સાઇડ, ક્લોરિન, ફ્લૉરિન અને અન્ય ઘણાં બધાં રસાયણોનું નિર્માણ વિદ્યુતરસાયણની પદ્ધતિઓ દ્વારા થાય છે. બૅટરીઓ અને બળતણકોષો, રાસાયણિકઊર્જાને વિદ્યુતઊર્જામાં રૂપાંતરિત કરે છે અને તે વધારે પ્રમાણમાં વિવિધ સાધનો અને ઉપકરણોમાં વપરાય છે. વિદ્યુતરાસાયણિક રીતે થતી પ્રક્રિયાઓ વધુ આવકાર્ય, ઓછી પ્રદૂષિત હોય છે. તેથી જ વિદ્યુતરસાયણનો અભ્યાસ નવી ટેક્નોલૉજીઓના નિર્માણ અર્થે અને પર્યાવરણીય મિત્રરૂપે કરવો જોઈએ.

સંવેદનાઓનું મગજના કોષો તરફ વહન અને તેથી વિરુદ્ધ મગજ તરફથી પ્રાપ્ત પ્રતિચાર, આ બંને ક્રિયાઓના હાર્દમાં વિદ્યુતરસાયણ સમાયેલ છે. વિદ્યુતરસાયણશાસ્ત્ર તેથી જ એક ઘણો વ્યાપક આંતરસંબંધિત વિષય છે. આ એકમમાં આપણે તેના મુખ્ય બંધારણીય મુદ્દાઓને સમાવીશું.

3.2 વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ (Electrochemical Cell)

વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાં થતી પ્રક્રિયા રેડોક્ષ પ્રક્રિયા છે. જેમ કે $CuSO_4$ના જલીય દ્રાવણમાં Zn ધાતુની પાતળી પટ્ટી મૂકતાં, Cu ધાતુ Zn ધાતુની પટ્ટી પર જમા થાય છે અને દ્રાવણનો મૂળ ભૂરો રંગ આછો થતો દેખાય છે; કારણ કે આ પ્રક્રિયામાં Cu^{2+}નું રિડક્શન થાય છે અને Zn ધાતુનું ઑક્સિડેશન થાય છે. આ સમગ્ર પ્રક્રિયા નીચે પ્રમાણે થાય છે :

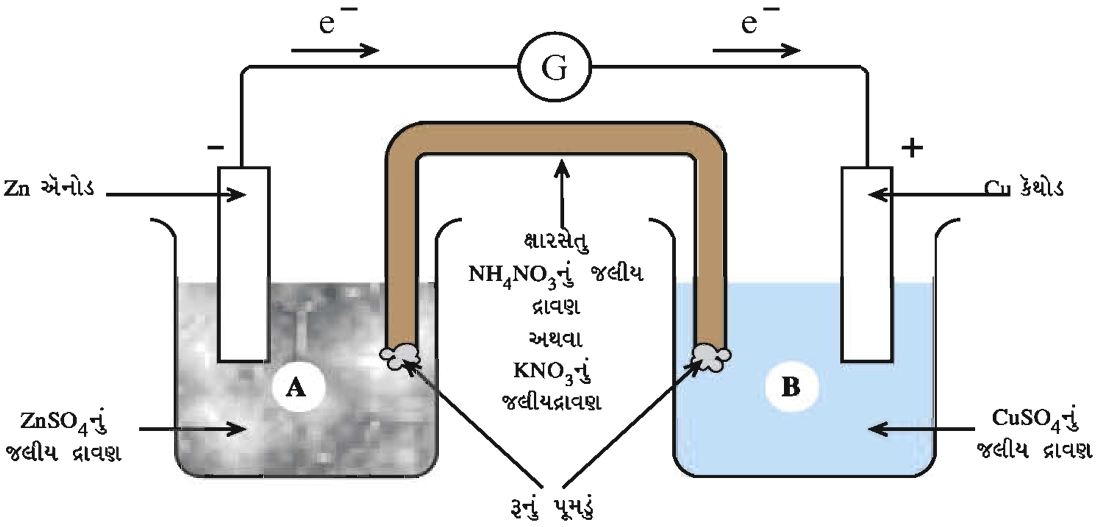
$$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$$

ખરેખર તો આ પ્રક્રિયા નીચેની બે અર્ધ-પ્રક્રિયાઓનો સરવાળો છે :

$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cu(s)$ (રિડક્શન)

$Zn(s) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + 2e^-$ (ઑક્સિડેશન)

આ પ્રક્રિયા Zn અને Cu પ્રક્રિયકોને એકબીજાના સંપર્કમાં લાવ્યા સિવાય બે અલગ પાત્રોમાં થાય તેવી રચના કરી શકાય છે.



આકૃતિ 3.1 વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ (Zn-Cu કોષ)

પ્રક્રિયકો વચ્ચેનો સંપર્ક માત્ર ઇલેક્ટ્રૉન-વિનિમય થાય તે પૂરતો રાખવો પડે છે. આવી રચનાને **વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ** કહેવામાં આવે છે. વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાં રાસાયણિક ક્રિયામાં ઉદ્ભવતી ઊર્જાનું વિદ્યુતઊર્જામાં રૂપાંતર થાય છે. રાસાયણિકઊર્જાનું વિદ્યુતઊર્જામાં રૂપાંતર કરતા ઉપકરણ (device)ને **વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ** કહે છે.

(1) બીકર Aમાં $ZnSO_4$નું જલીય દ્રાવણ છે. Zn ધાતુની વજન કરેલી પટ્ટીને તેનો થોડો ભાગ દ્રાવણની બહાર રહે તેમ આ દ્રાવણમાં ગોઠવી છે. આ અર્ધકોષમાં Zn ધાતુની પટ્ટી Zn^{2+} આયનના 1M જલીય દ્રાવણના સંપર્કમાં છે, જેને $Zn(s) | Zn^{2+}(aq)$ દ્વારા દર્શાવીને રચનાનું વર્ણન કરવામાં આવે છે. જેમાં ઊભી લીટી Znની પટ્ટી અને દ્રાવણમાંના Zn^{2+}ના આયનનો સંપર્ક દર્શાવે છે.

(2) બીકર Bમાં $CuSO_4$નું જલીય દ્રાવણ છે. Cu ધાતુની વજન કરેલી પટ્ટીને તેનો થોડો ભાગ બહાર રહે તેમ આ દ્રાવણમાં ગોઠવી છે. આ અર્ધકોષમાં Cu ધાતુની પટ્ટી Cu^{2+} આયનના 1M જલીય દ્રાવણના સંપર્કમાં છે, જેને $Cu(s) | Cu^{2+}(aq)$ દ્વારા દર્શાવીને રચનાનું વર્ણન કરવામાં આવે છે. જેમાં ઊભી લીટી Cuની પટ્ટી અને દ્રાવણમાંના Cu^{2+}ના આયનનો સંપર્ક દર્શાવે છે.

(3) વિદ્યુતીય રીતે પરિપથ પૂર્ણ કરવા અને બે દ્રાવણોને જોડવા માટે ક્ષાર-સેતુની રચના આ પ્રમાણે છે. U-આકારની નળીમાં NH_4NO_3નું જલીય દ્રાવણ ભરી તેના બંને છેડા રૂના પૂમડા અથવા ગ્લાસ-વૂલથી બંધ કર્યા છે. આ નળીને ઊંધી પાડી તેનો એક છેડો બીકર Aમાં અને બીજો છેડો બીકર Bમાં રહે તેમ ગોઠવી છે.

(4) તમે જાણો છો કે એમિટર વડે વિદ્યુત-પરિપથમાંથી વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહનું માપન કરી શકાય છે અને ગૅલ્વેનોમીટર જોડતા વિદ્યુતપ્રવાહની વહન દિશા જાણી શકાય છે તેથી પ્રયોગમાં એમિટર કે ગૅલ્વેનોમીટર બંનેમાંથી એક પસંદ કરી શકાય. એમિટર દ્વારા વિદ્યુત-પરિપથમાંથી વહેતા વિદ્યુતપ્રવાહ અને ઇલેક્ટ્રૉનની વહનદિશા નક્કી થાય છે.

આકૃતિ 3.1માં ઝિંક ધાતુ અને કૉપર ધાતુની પટ્ટીઓને ગૅલ્વેનોમીટર કે એમિટર મારફતે જોડતાં કૉપરના તારમાંથી વિદ્યુત વહન થાય છે તે દર્શાવે છે.

થોડા સમય પછી ધાતુઓની બંને પટ્ટીઓને દ્રાવણમાંથી બહાર કાઢીને કાળજીપૂર્વક નિસ્યંદિત પાણી વડે ધોઈને શુષ્ક કરી વજન કરતાં જણાશે કે ઝિંકની પટ્ટીનું વજન ઘટ્યું છે અને કૉપરની પટ્ટીનું વજન વધ્યું છે. આ દર્શાવે છે કે $ZnSO_4$નું દ્રાવણ ભરેલા A પાત્રમાં $Zn(s) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + 2e^-$ પ્રક્રિયા અને $CuSO_4$નું દ્રાવણ ભરેલા B પાત્રમાં $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cu(s)$ પ્રક્રિયા થઈ હશે.

આકૃતિ 3.1માં દર્શાવેલી રચના વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ (Electrochemical cell) અથવા ગૅલ્વેનિક કોષ (Galvanic cell) અથવા વૉલ્ટેઇક કોષ (Voltaic cell) તરીકે ઓળખાય છે. આ ખાસ પ્રકારના વિદ્યુતરાસાયણિક કોષને ડેનિયલ કોષ (Daniell cell) પણ કહે છે. દ્રાવણમાં ડુબાડેલી ધાતુઓની પટ્ટીઓને વિદ્યુતધ્રુવ કહે છે. દા.ત., $Zn(s) \,|\, Zn^{2+}(aq)$ અને $Cu(s) \,|\, Cu^{2+}(aq)$. જે વિદ્યુતધ્રુવ ઉપર રિડક્શન પ્રક્રિયા થતી હોય તેને કૅથોડ (+) કહે છે અને જે વિદ્યુતધ્રુવ ઉપર ઑક્સિડેશન પ્રક્રિયા થતી હોય તેને ઍનોડ (–) કહે છે. વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાં આ બંને વિદ્યુત-ધ્રુવોને કૉપર તાર વડે જોડતાં ઇલેક્ટ્રૉનનો પ્રવાહ ઍનોડથી કૅથોડ તરફ બાહ્ય પરિપથમાં વહે છે. બે દ્રાવણોમાં જોડાણ વચ્ચે વપરાયેલી એમોનિયમ નાઇટ્રેટ (NH_4NO_3)ના દ્રાવણથી ભરેલી U-આકારની નળીને **ક્ષારસેતુ (salt bridge)** કહે છે. દ્રાવણમાં વિદ્યુતનું વહન આયનો દ્વારા થાય છે.

જમણી બાજુના બીકર Bમાં Cu^{2+}ના રિડક્શનથી કૉપર બનતો હોવાથી દ્રાવણમાં Cu^{2+}ની સાંદ્રતા ઘટવાથી SO_4^{2-} આયનોને લીધે $CuSO_4$નું દ્રાવણ ઋણવિદ્યુતભારયુક્ત બને છે. ડાબી બાજુના બીકર Aમાં ઝિંકના ઑક્સિડેશનથી ઉત્પન્ન થતાં Zn^{2+} આયનો દ્રાવણમાં પ્રવેશતા હોવાથી $ZnSO_4$નું દ્રાવણ ધનવિદ્યુતભારયુક્ત બને છે. જો આમ થાય તો કોષની રાસાયણિક પ્રક્રિયા અટકી પડે. આથી કોષની પ્રક્રિયા સતત ચાલુ રહે તે માટે બંને દ્રાવણો વિદ્યુતભારરહિત રહેવા જોઈએ. આથી, બે બીકર વચ્ચે જોડેલો ક્ષાર સેતુ યોગ્ય ક્ષારના દ્રાવણનું પ્રવાહી માધ્યમ ધરાવે છે. **ક્ષારસેતુ બે દ્રાવણોને જોડવાનું અને તેના વિદ્યુતભારની તટસ્થતા જાળવી રાખવાનું કાર્ય કરે છે.**

કોષની પ્રક્રિયા સાથે સંકળાયેલા આયનોની સાંદ્રતા 1 મોલ લિટર$^{-1}$ હોય અને પ્રક્રિયા સાથે જો કોઈ વાયુ સંકળાયેલો હોય અને તેનું દબાણ 1 બાર અને તાપમાન 298 K હોય, તો તેવા કોષને પ્રમાણિત કોષ (standard cell) કહે છે.

3.3 વિદ્યુતધ્રુવના પ્રકારો (Types of Electrodes)

કોષના દ્રાવણમાં ડુબાડેલી ધાતુની પટ્ટીઓ અથવા ગ્રૅફાઇટ જેવા અધાતુના સળિયા કે જેની સપાટી પર પ્રક્રિયાઓ થાય છે તેને વિદ્યુતધ્રુવ કહે છે. વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાં વપરાતાં વિદ્યુતધ્રુવના મુખ્ય ત્રણ પ્રકાર હોય છે : (i) ધાતુના સક્રિયવિદ્યુત ધ્રુવ (ii) નિષ્ક્રિય વિદ્યુત ધ્રુવ (iii) વાયુમય વિદ્યુતધ્રુવ.

(i) ધાતુના સક્રિય વિદ્યુતધ્રુવ : Zn, Ni, Cu, Ag વગેરે જેવી ધાતુઓ ધાતુના સક્રિય વિદ્યુતધ્રુવ છે. આ પ્રકારના વિદ્યુતધ્રુવના પરમાણુઓ ઑક્સિડેશન પામે છે (ઍનોડ) અથવા તેના સંપર્કમાં રહેલા ધન આયનો દ્રાવણમાંના વિદ્યુતધ્રુવની સપાટી ઉપર રિડક્શન પ્રક્રિયા અનુભવે છે (કૅથોડ). આ પ્રકારના વિદ્યુતધ્રુવ પર થતી પ્રક્રિયા નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય છે :

$$Zn(s) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + 2e^-$$

$$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cu(s)$$

(ii) નિષ્ક્રિય વિદ્યુતધ્રુવ : જેના પરમાણુઓ ઑક્સિડેશન અથવા રિડક્શન પ્રક્રિયા અનુભવતા નથી પરંતુ રિડક્શન અથવા ઑક્સિડેશન પ્રક્રિયાઓ આ નિષ્ક્રિય વિદ્યુતધ્રુવની સપાટી પર થાય છે. ગ્રૅફાઇટ અને પ્લેટિનમ નિષ્ક્રિય વિદ્યુતધ્રુવ છે. જ્યારે Fe^{3+} અને Fe^{2+} આયનો ધરાવતા દ્રાવણનો ઉપયોગ કોષની રચનામાં કરવામાં આવે છે ત્યારે તેમાં પ્લેટિનમ તારનો વિદ્યુતધ્રુવ તરીકે ઉપયોગ થાય છે. પ્લેટિનમની પટ્ટી પરથી ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવાથી Fe^{3+}નું Fe^{2+}માં રિડક્શન થાય છે

અથવા પ્લેટિનમ તારને ઇલેક્ટ્રૉન આપવાથી Fe^{2+}નું Fe^{3+}માં ઑક્સિડેશન થાય છે. આ પ્રકારના વિદ્યુતધ્રુવ પર થતી પ્રક્રિયા નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$Fe^{3+}(aq) + e^- \rightleftharpoons Fe^{2+}(aq)$$

(iii) વાયુમય વિદ્યુતધ્રુવ : વાયુમય વિદ્યુતધ્રુવ મહદંશે નિષ્ક્રિય વિદ્યુતધ્રુવને મળતો આવે છે. અહીં, દ્રાવણમાં ડુબાડેલી પ્લેટિનમની પટ્ટી પર વાયુ પસાર કરવામાં આવે છે. જેમકે હાઇડ્રોજન વાયુ વિદ્યુતધ્રુવમાં $H^+(aq)$ ધરાવતા દ્રાવણમાં ડુબાડેલી પ્લેટિનમની પટ્ટી પર હાઇડ્રોજન વાયુ પસાર કરતા $2H^+(aq)$નું રિડક્શન થઈ H_2 વાયુ બને છે અથવા H_2 વાયુનું ઑક્સિડેશન થઈ $2H^+(aq)$ બને છે. અહીં પ્લેટિનમની પટ્ટી ઇલેક્ટ્રૉન વિનિમય માટે જરૂરી સંપર્ક સપાટી પૂરી પાડે છે. આ પ્રકારના વિદ્યુતધ્રુવ પર થતી પ્રક્રિયા નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$2H^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons H_2(g)$$

3.3.1 અર્ધ કોષ (Half Cell) : ધાતુને તે ધાતુના ક્ષારના જલીય દ્રાવણમાં મૂકી જે પ્રણાલી રચવામાં આવે છે તેને વિદ્યુતધ્રુવ (Electrode) કહે છે. **વિદ્યુતધ્રુવ અને જે દ્રાવણમાં તેને ડુબાડ્યો હોય તે દ્રાવણ સંયુક્તપણે અર્ધ કોષ તરીકે ઓળખાય છે.** અર્ધ કોષનું નિરૂપણ વિદ્યુતધ્રુવ અને સક્રિય આયનોનાં સૂત્રો વચ્ચે ઊભી લીટી મૂકી કરવામાં આવે છે.

દા.ત., $Zn(s) \mid Zn^{2+}(aq)$; $Cu(s) \mid Cu^{2+}(aq)$; $Fe(s) \mid Fe^{2+}(aq)$; $Ag(s) \mid Ag^+(aq)$

વાયુ વિદ્યુતધ્રુવનું નિરૂપણ નિષ્ક્રિય ધાતુ અથવા અધાતુનું સૂત્ર, વાયુનું આણ્વિય સૂત્ર, સક્રિય આયનોનાં સૂત્રો દ્વારા કરવામાં આવે છે. દા.ત. $Pt \mid H_2$(1બાર) $\mid H^+(aq)$

3.3.2 કોષનું સાંકેતિક નિરૂપણ (Symbolic representation of cell) : વિદ્યુતરાસાયણિક કોષનું સાંકેતિક નિરૂપણ કરવા માટે કોષની રચનામાં વપરાયેલો બે અર્ધ કોષના નિરૂપણનો ઉપયોગ થાય છે. જો કોષનાં બે દ્રાવણોને જોડવા ક્ષારસેતુનો ઉપયોગ કરવામાં આવ્યો હોય તો તે ‖ (બે ઊભી લીટી) ચિહ્ન દ્વારા દર્શાવાય છે. જો ક્ષારસેતુનો ઉપયોગ ન કરવામાં આવ્યો હોય તો તેમાં | (એક ઊભી લીટી) ચિહ્ન દ્વારા દર્શાવાય છે. કોષના સાંકેતિક નિરૂપણમાં હંમેશાં ઍનોડ ડાબી બાજુ અને કૅથોડ જમણી બાજુ દર્શાવાય છે. કોષની રચનામાં વપરાયેલી દ્રાવણની સાંદ્રતા મોલારિટી એકમમાં ક્ષારના આયનની સંજ્ઞા અથવા સૂત્ર પછી કૌંસમાં લખાય છે. જો કોઈ વાયુ વિદ્યુતધ્રુવનો કોષની રચનામાં ઉપયોગ થયો હોય, તો તેનું દબાણ બાર એકમમાં પ્રમાણિત અવસ્થામાં વાયુના સૂત્ર પછી કૌંસમાં લખાય છે.

(i) $Zn(s) \mid Zn^{2+}(aq, 1\,M) \parallel Cu^{2+}(aq, 1\,M) \mid Cu(s)$

(ii) $Pt \mid H_2$ (g, 1બાર) $\mid H^+(aq, 1M) \parallel Cu^{2+}(aq, 1M) \mid Cu(s)$

(iii) $Mg(s) \mid Mg^{2+}(aq, 1M) \parallel H^+(aq, 1M) \mid H_2$(g, 1બાર) $\mid Pt$

(iv) $Ag(s) \mid Ag^+(aq, 1M) \parallel Cl^-(aq, 1M) \mid Cl_2$(g, 1બાર) $\mid Pt$

જે અર્ધ કોષના દ્રાવણની સાંદ્રતા 1M હોય અથવા વાયુનું દબાણ 1 બાર તથા તાપમાન 298 K હોય તો તે પ્રકારના અર્ધ કોષને પ્રમાણિત અર્ધ કોષ કહે છે. બે પ્રમાણિત અર્ધ કોષ જોડવાથી પ્રમાણિત કોષ (standard cell) બને છે.

3.3.3 પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વાયુ ધ્રુવ (Standard Hydrogen Gas Electrode) : વિવિધ વિદ્યુતધ્રુવની ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવાની કે ઇલેક્ટ્રૉન મુક્ત કરવાની વૃત્તિની તીવ્રતાની સરખામણી પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન અર્ધ કોષનો ઉપયોગ કરીને થાય છે. કારણ કે, પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન ધ્રુવ બીજા ધ્રુવના સંદર્ભમાં કાર્ય કરે છે તેથી હાઇડ્રોજન ધ્રુવને **સંદર્ભ ધ્રુવ** તરીકે લઈ શકાય. પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વાયુ ધ્રુવના અર્ધ કોષની રચના નીચે પ્રમાણે કરવામાં આવે છે :

આકૃતિ 3.2માં દર્શાવ્યા મુજબ એક પાત્રમાં 298 K તાપમાને 1M $H^+(aq)$નું દ્રાવણ લેવામાં આવે છે. આ દ્રાવણમાં પ્લેટિનમ બ્લૅકનો ઢોળ ચઢાવેલી પ્લેટિનમની પટ્ટી ડુબાડવામાં આવે છે. આ પટ્ટી એક છેડેથી બંધ એવી કાચની નળીમાં પ્લેટિનમ તારના ટુકડા મારફતે જોડેલી હોય છે. આ તારના ટુકડા ઉપર સંપર્ક માટે પારો ઉમેરી કૉપરના તાર

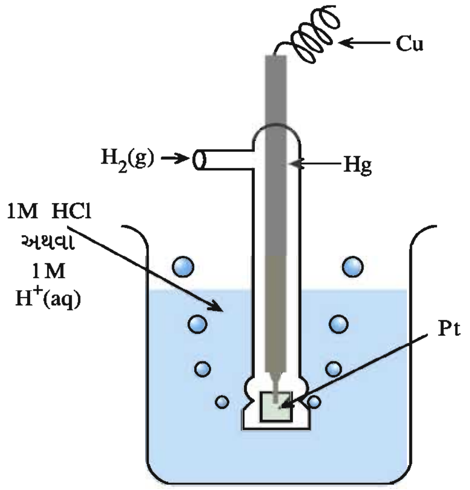
મારફત બાહ્ય જોડાણ કરવામાં આવે છે. આ પટ્ટી પરથી 298 K તાપમાને અને 1 બાર દબાણે ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ પસાર કરવામાં આવે છે.

આ અર્ધ કોષને સંદર્ભ તરીકે જ્યારે અન્ય અર્ધ કોષ સાથે જોડી સંપૂર્ણ કોષ રચવામાં આવે છે ત્યારે તે ઍનોડ અથવા કૅથોડ તરીકે વર્તે છે. જો કૅથોડ તરીકે વર્તે તો પ્લેટિનમની પટ્ટી પર નીચેની રિડક્શન પ્રક્રિયા થાય છે :

$$H^{+}(aq, 1M) + e^{-} \rightleftharpoons \frac{1}{2}H_2 \text{ (g, 1 બાર)}$$

પરંતુ જો પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વાયુધ્રુવ ઍનોડ તરીકે વર્તે તો પ્લેટિનમની પટ્ટી પર નીચે મુજબ ઑક્સિડેશન પ્રક્રિયા થાય છે :

$$\frac{1}{2}H_2 \text{(g, 1 બાર)} \rightleftharpoons H^{+}(aq, 1M) + e^{-}$$



આકૃતિ 3.2 પ્રમાણિત હાઇડ્રોજનવાયુ ધ્રુવ

આથી, પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવ ઇલેક્ટ્રૉન સ્વીકારવાની વૃત્તિ ધરાવે છે. અથવા ઇલેક્ટ્રૉન મુક્ત કરવાની વૃત્તિ ધરાવે છે. તેમ છતાં તેની આ વૃત્તિની તીવ્રતા દરેક તાપમાને 0 વૉલ્ટ સ્વીકારવામાં આવેલ છે. આથી અન્ય વિદ્યુતધ્રુવોની ઇલેક્ટ્રૉન સ્વીકારવાની વૃત્તિઓની અથવા ઇલેક્ટ્રૉન મુક્ત કરવાની વૃત્તિઓની તીવ્રતાનાં સાપેક્ષ મૂલ્યો મેળવવામાં સરળતા રહે છે. **વિદ્યુતધ્રુવોની ઇલેક્ટ્રૉન સ્વીકાર કરવાની વૃત્તિની સાપેક્ષ તીવ્રતાને રિડક્શન પોટૅન્શિયલ E_{red} અથવા E^0_{red} કહે છે અને વિદ્યુતધ્રુવોની ઇલેક્ટ્રૉન મુક્ત કરવાની વૃત્તિની સાપેક્ષ તીવ્રતાને ઑક્સિડેશન પોટૅન્શિયલ E_{oxi} અથવા E^0_{oxi} કહે છે.**

પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વાયુધ્રુવ બીજા અર્ધ કોષ માટે સંદર્ભ વિદ્યુતધ્રુવ તરીકે કાર્ય કરે છે. બીજા અર્ધ કોષની ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવાની વૃત્તિ વધારે હોય તો પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વાયુધ્રુવ ઍનોડ તરીકે વર્તે છે અને પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વાયુધ્રુવ ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવાની વૃત્તિ વધારે ધરાવે તો પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વાયુધ્રુવ કૅથોડ તરીકે વર્તે છે. એટલે કે બીજા ધ્રુવના ઍનોડ અને કૅથોડનો આધાર પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વાયુધ્રુવના સંદર્ભમાં હોય છે તેથી તેને સંદર્ભ ધ્રુવ કહે છે. દા.ત., પ્રમાણિત હાઇડ્રૉજન વાયુધ્રુવના સંદર્ભમાં Zn વિદ્યુતધ્રુવ ધરાવતો અર્ધ કોષ ઍનોડ તરીકે અને Cu વિદ્યુતધ્રુવ ધરાવતો અર્ધ કોષ કૅથોડ તરીકે વર્તે છે.

3.4 કોષ પોટૅન્શિયલ (Cell Potential)

વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ રાસાયણિકઊર્જાનું વિદ્યુતઊર્જામાં રૂપાંતર કરી શકે તેવું સાધન (device) છે. કોષમાંના બે વિદ્યુતધ્રુવોને જોડતાં ઇલેક્ટ્રૉનનો પ્રવાહ રાસાયણિક પ્રક્રિયા અન્વયે ઉપજેલા વિદ્યુતચાલકબળ હેઠળ ઍનોડથી કૅથોડ તરફ બાહ્ય પરિપથમાં વહે છે. આ વિદ્યુતચાલકબળને કોષ પોટૅન્શિયલ E_{cell} કહે છે. જો કોષ પ્રમાણિત હોય તો તેનો પ્રમાણિત કોષ પોટૅન્શિયલ E^0_{cell} વડે દર્શાવાય છે. વૉલ્ટમીટર સાધન દ્વારા માપવામાં આવતો કોષ પોટૅન્શિયલ વાસ્તવમાં કોષનો ચોક્કસ પોટૅન્શિયલ હોતો નથી. **કોષનો સાચો પોટૅન્શિયલ માપવા માટે પોટૅન્શિયોમીટર સાધનનો ઉપયોગ કરવો પડે છે.**

કોષનો પોટૅન્શિયલ ખરેખર તો બે વિદ્યુતધ્રુવોની ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવાની તીવ્રતાનો તફાવત છે. દરેક વિદ્યુતધ્રુવ ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવાની વૃત્તિ ધરાવતો હોય છે અને ઇલેક્ટ્રૉન મુક્ત કરવાની વૃત્તિ ધરાવતો હોય છે. તેની સાબિતી નીચેનાં પ્રાયોગિક પરિણામોમાંથી મળે છે :

(i) $^{\ominus}\ Zn(s) \mid Zn^{2+}(1M) \parallel Cu^{2+}(1M) \mid Cu(s)\ ^{\oplus}$

ઉપરનો કોષ જ્યારે કાર્યરત હોય ત્યારે નીચેની પ્રક્રિયા થાય છે :

$$Zn(s) + Cu^{2+}(aq, 1M) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq, 1M) + Cu(s)$$

અહીં, Zn ઇલેક્ટ્રૉન મુક્ત કરે છે અને Cu^{2+} ઇલેક્ટ્રૉન મેળવે છે. Cu^{2+}ની ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવાની વૃત્તિ Zn કરતાં વધારે હોય છે, જે ઉપર દર્શાવેલી કોષની પ્રક્રિયાના આધારે કહી શકાય છે.

(ii) $\ominus\ Cu(s) | Cu^{2+}(1M) || Ag^{+}(1M) | Ag(s)\ \oplus$

ઉપરનો કોષ જ્યારે કાર્યરત હોય ત્યારે નીચેની પ્રક્રિયા થાય છે :

$$Cu(s) + 2Ag^{+}(aq, 1M) \rightleftharpoons Cu^{2+}(aq, 1M) + 2Ag(s)$$

અહીં, Cu ઇલેક્ટ્રૉન મુક્ત કરે છે અને Ag^{+} ઇલેક્ટ્રૉન મેળવે છે. Ag^{+}ની ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવાની વૃત્તિ Cu કરતાં વધારે હોય છે, જે ઉપર દર્શાવેલી કોષની પ્રક્રિયાના આધારે કહી શકાય છે.

ઉપરોક્ત પ્રક્રિયા (i)માં Cuની ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવાની વૃત્તિ Zn કરતાં વધારે છે જ્યારે પ્રક્રિયા (ii)માં Cuની ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવાની વૃત્તિ Agની વૃત્તિ કરતાં ઓછી છે. તેથી પ્રક્રિયા (i)માં Cuનો ધ્રુવ કૅથોડ તરીકે અને પ્રક્રિયા (ii)માં Cuનો ધ્રુવ ઍનોડ તરીકે વર્તે છે. કોષનો પોટૅન્શિયલ કૅથોડ અને ઍનોડની ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવાની વૃત્તિની તીવ્રતાનો તફાવત છે. કોઈ એક વિદ્યુતધ્રુવની ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવાની વૃત્તિની તીવ્રતાનું નિરપેક્ષ મૂલ્ય માપી શકાતું નથી. કારણ કે અર્ધ કોષથી રેડોક્ષ પ્રક્રિયા પૂર્ણ થતી નથી. E^0_{Cell}નું આ મૂલ્ય બે અર્ધ કોષના પ્રમાણિત રિડક્શન પોટૅન્શિયલના તફાવત બરાબર હોય છે. આ સંબંધોને નીચે પ્રમાણે દર્શાવાય છે :

$E^0_{Cell} = E^0_{red(RHS)} - E^0_{red(LHS)}$ અથવા $E^0_{Cell} = E^0_{red(\text{કૅથોડ})} - E^0_{red(\text{ઍનોડ})}$

3.4.1 પ્રમાણિત અર્ધ કોષનો પોટૅન્શિયલ નક્કી કરવાની પદ્ધતિ (Method for Determination of Standard Half Cell Potential) : કોઈ પણ પ્રમાણિત અર્ધ કોષનો પોટૅન્શિયલ મેળવવા તે અર્ધ કોષને પ્રમાણિત હાઇડ્રૉજન અર્ધ કોષ સાથે ક્ષારસેતુ દ્વારા જોડવામાં આવે છે. આ રીતે તૈયાર કરેલા સંપૂર્ણ કોષનો પોટૅન્શિયલ E^0_{Cell} પોટૅન્શિયોમીટર વડે માપવામાં આવે છે.

આ પ્રમાણે રચેલા સંપૂર્ણ કોષમાં એક અર્ધ કોષ પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન અર્ધ કોષ હોવાથી તેના અર્ધ કોષ પોટૅન્શિયલનું મૂલ્ય શૂન્ય ગણવાનું સ્વીકારાયેલ હોવાથી માપેલાં કોષ-પોટૅન્શિયલ E^0_{Cell} બીજા અર્ધ કોષના પ્રમાણિત અર્ધ કોષના પોટૅન્શિયલના મૂલ્યને સમાન થાય છે. જો બીજા અર્ધ કોષનો વિદ્યુતધ્રુવ ઍનોડ તરીકે વર્તતો હોય તો E^0_{Cell}નું ધન મૂલ્ય તે વિદ્યુતધ્રુવનો E^0_{red} ઋણ મૂલ્ય દર્શાવે છે. પરંતુ જો તે વિદ્યુતધ્રુવ કૅથોડ તરીકે વર્તતો હોય, તો E^0_{Cell}નું ધન મૂલ્ય તે વિદ્યુતધ્રુવનો E^0_{red} ધન મૂલ્ય દર્શાવે છે. Zn અર્ધ કોષને પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન ધ્રુવ સાથે જોડી વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ રચતાં Znનો અર્ધ કોષ ઍનોડ તરીકે વર્તે છે. તેથી E^0_{Cell}નું ધન મૂલ્ય Znના અર્ધકોષના રિડક્શન પોટૅન્શિયલના ઋણ મૂલ્ય બરાબર હોય છે. Cuના અર્ધ કોષને પ્રમાણિત હાઇડ્રોજનધ્રુવ સાથે જોડી વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ રચતાં Cuનો અર્ધ કોષ કૅથોડ તરીકે વર્તે છે તેથી E^0_{Cell}નું ધન મૂલ્ય Cuના અર્ધ કોષના રિડક્શન પોટૅન્શિયલના ધન મૂલ્ય બરાબર હોય છે. કોઈપણ વિદ્યુતધ્રુવનાં E^0_{red} મૂલ્યો તેનાં E^0_{oxi} મૂલ્યોને સમાન હોય છે. પરંતુ ચિહ્ન વિરુદ્ધ હોય છે. E^0_{red} પોટૅન્શિયલનું ઋણ મૂલ્ય E^0_{oxi}નું ધન મૂલ્ય દર્શાવે છે. દા.ત.,

$$E^0_{red} = -\ E^0_{oxi}$$

$$E^0_{Mg^{2+} | Mg(red)} = -2.36 \text{ વૉલ્ટ}$$

$$E^0_{Mg | Mg^{2+}(oxi)} = +\ 2.36 \text{ વૉલ્ટ}$$

$$E^0_{Cu^{2+} | Cu} = +\ 0.34 \text{ વૉલ્ટ}$$

$$E^0_{Cu | Cu^{2+}} = -\ 0.34 \text{ વૉલ્ટ}$$

દાખલો 1 : 298 K તાપમાને નીચે આપેલા કોષનો પોટેન્શિયલ 2.36 વૉલ્ટ છે. કોષની પ્રક્રિયાનું સમીકરણ લખી મૅગ્નેશિયમ અર્ધ કોષનો પ્રમાણિત રિડક્શન પોટેન્શિયલ ગણો.

$$\ominus\ Mg \mid Mg^{2+}(1M) \parallel H^{+}(1M) \mid H_2\ (1\text{બાર}) \mid Pt\ \oplus$$

ઉકેલ : અહીં Mgનો વિદ્યુતધ્રુવ ઍનોડ છે.

કૅથોડ : $2H^{+}(aq) + 2e^{-} \rightleftharpoons H_2(g)$ (રિડક્શન)

ઍનોડ : $Mg(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2e^{-}$ (ઑક્સિડેશન)

કોષ-પ્રક્રિયા : $Mg(s) + 2H^{+}(aq) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + H_2(g)$

$$E^0_{Cell} = E^0_{red(\text{કૅથોડ})} - E^0_{red(\text{ઍનોડ})}$$

$$E^0_{Cell} = E^0_{H^+ \mid \frac{1}{2}H_2} - E^0_{Mg^{2+} \mid Mg}$$

$$\therefore\ 2.36\ \text{વૉલ્ટ} = 0.0 - E^0_{Mg^{2+} \mid Mg}$$

$$\therefore\ E^0_{Mg^{2+} \mid Mg} = -\ 2.36\ \text{વૉલ્ટ}$$

આ અર્ધ કોષનો પ્રમાણિત રિડક્શન પોટેન્શિયલ $E^0_{Mg^{2+} \mid Mg} = -\ 2.36$ વૉલ્ટ થશે.

દાખલો 2 : 298 K તાપમાન નીચે આપેલા કોષનો પોટેન્શિયલ 0.34 વૉલ્ટ છે, તો કૉપર અર્ધ કોષનો પ્રમાણિત રિડક્શન પોટેન્શિયલ ગણો.

$$\ominus\ Pt \mid H_2\ (1\ \text{બાર}) \mid H^{+}(1M) \parallel Cu^{2+}(1M) \mid Cu\ \oplus$$

ઉકેલ : અહીં કૉપરનો વિદ્યુતધ્રુવ કૅથોડ છે.

$$E^0_{Cell} = E^0_{red(\text{કૅથોડ})} - E^0_{red(\text{ઍનોડ})}$$

$$\therefore\ E^0_{Cell} = E^0_{Cu^{2+} \mid Cu} - E^0_{H^+ \mid \frac{1}{2}H_2}$$

$$\therefore\ 0.34\ \text{વૉલ્ટ} = E^0_{Cu^{2+} \mid Cu} - 0.0$$

$$\therefore\ E^0_{Cu^{2+} \mid Cu} = 0.34\ \text{વૉલ્ટ}$$

આ અર્ધ કોષનો પ્રમાણિત રિડક્શન-પોટેન્શિયલ $E^0_{Cu^{2+} \mid Cu} = 0.34$ વૉલ્ટ થશે અને આ જ અર્ધ કોષના પ્રમાણિત ઑક્સિડેશન પોટેન્શિયલ $E^0_{Cu \mid Cu^{2+}} = -0.34$ વૉલ્ટ થાય.

ઉપરોક્ત બે દાખલાઓ પરથી સમજાશે કે જે વિદ્યુતધ્રુવોના પ્રમાણિત અર્ધકોષના પ્રમાણિત રિડક્શન પોટેન્શિયલનાં મૂલ્યો ધન છે. તેવા વિદ્યુતધ્રુવોની ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવાની વૃત્તિ હાઇડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવ કરતાં વધુ હોય છે. આથી આ પ્રકારના અર્ધકોષને પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન અર્ધ કોષ સાથે જોડી કોષની રચના કરવામાં આવે તો તે કૅથોડ તરીકે વર્તે છે. આથી વિરુદ્ધ જે વિદ્યુતધ્રુવોના પ્રમાણિત અર્ધ કોષના પ્રમાણિત રિડક્શન પોટૅન્શિયલનાં મૂલ્યો ઋણ છે તેવા વિદ્યુતધ્રુવોની ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવાની વૃત્તિ હાઇડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવ કરતાં ઓછી હોય છે. આથી આ પ્રકારના અર્ધકોષની રચના કરવામાં આવે તો તે ઍનોડ તરીકે વર્તે છે.

જો પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન અર્ધ કોષ વિના અન્ય પ્રમાણિત અર્ધ કોષના ઉપયોગથી પ્રમાણિત કોષની રચના કરવામાં આવે, તો તેમાંથી જે વિદ્યુતધ્રુવના પ્રમાણિત અર્ધ કોષના રિડક્શન પોટૅન્શિયલનું મૂલ્ય વધારે હશે, તે કૅથોડ તરીકે વર્તશે. જેમ કે, $Zn^{2+}(1M) \mid Zn$ અને $Cu^{2+}(1M) \mid Cu$ અર્ધ કોષને જોડી સંપૂર્ણ કોષ બનાવવામાં આવે, તો તેમાં ઝિંકનો વિદ્યુતધ્રુવ

ઍનોડ અને કૉપરનો વિદ્યુતધ્રુવ કૅથોડ તરીકે વર્તશે. કારણ કે $E^0_{Zn^{2+}|Zn}$નું મૂલ્ય -0.76 વૉલ્ટ છે, જે $E^0_{Cu^{2+}|Cu}$ના મૂલ્ય $+0.34$ વૉલ્ટ કરતાં ઓછું છે. આ રીતે બનેલા સંપૂર્ણ કોષનો $\ominus\ Zn(s)\,|\,Zn^{2+}(1M)\,||\,Cu^{2+}(1M)\,|\,Cu(s)\ \oplus$ પ્રમાણિત પોટૅન્શિયલ ગણી શકાય છે.

કૅથોડ : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cu(s)$ (રિડક્શન)

ઍનોડ : $Zn(s) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + 2e^-$ (ઑક્સિડેશન)

કોષ-પ્રક્રિયા : $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$ (રૅડોક્ષ)

$$E^0_{Cell} = E^0_{red(\text{કૅથોડ})} - E^0_{red(\text{ઍનોડ})}$$

$$= E^0_{Cu^{2+}|Cu} - E^0_{Zn^{2+}|Zn}$$

$$= 0.34 - (-0.76)$$

$$= +0.34 + 0.76 = 1.1 \text{ વૉલ્ટ}$$

3.5 ઇ.એમ.એફ. શ્રેણી (emf Series)

જ્યારે વિદ્યુતકોષનો પોટૅન્શિયલ હાઇડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવના સંદર્ભમાં માપવામાં આવે ત્યારે બીજા વિદ્યુતધ્રુવના પોટૅન્શિયલને **ઇલેક્ટ્રોમોટિવ ફોર્સ (Electromotive force)** જેને ટૂંકમાં **(emf)** તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. વિવિધ પ્રમાણિત અર્ધ કોષના રિડક્શન પોટૅન્શિયલનાં મૂલ્યોને (જે પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટૅન્શિયલ છે તેને) ઊતરતા ક્રમમાં ગોઠવવાથી રચાતી વિદ્યુતધ્રુવોની શ્રેણીને ઇ.એમ.એફ. શ્રેણી કહે છે.

અગાઉ ઑક્સિડેશન પોટૅન્શિયલને મહત્ત્વ અપાતું હતું. હવે SI એકમ પ્રમાણે રિડક્શન પોટૅન્શિયલને મહત્ત્વ આપવામાં આવે છે. IUPACને આધારે પ્રમાણિત રિડક્શન પોટૅન્શિયલને જ પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટૅન્શિયલ કહે છે. E^0_{red} મૂલ્યોને આધારે રચાયેલી આ પ્રકારની શ્રેણી કોષ્ટક 3.1માં આપી છે.

કોષ્ટક 3.1 298 K તાપમાને પ્રમાણિત વિદ્યુતધ્રુવ પોટૅન્શિયલ આયનો જલીય (aqueous) સ્વરૂપે અને H_2O પ્રવાહી સ્વરૂપે, વાયુઓ અને ઘન પદાર્થો અનુક્રમે g અને s સ્વરૂપમાં દર્શાવ્યા છે.

પ્રક્રિયા (ઑક્સિડેશન પામેલ સ્વરૂપ + ne^-	→	રિડક્શન પામેલ સ્વરૂપ)	$E^0(V)$
$F_2(g) + 2e^-$	→	$2F^-$	2.87
$Co^{3+} + e^-$	→	Co^{2+}	1.81
$H_2O_2 + 2H^{2+} + 2e^-$	→	$2H_2O$	1.78
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^-$	→	$Mn^{2+} + 4H_2O$	1.51
$Au^{3+} + 3e^-$	→	$Au(s)$	1.40
$Cl_2(g) + 2e^-$	→	$2Cl^-$	1.36
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 2e^-$	→	$2Cr^{3+} + 7H_2O$	1.33
$O_2(g) + 4H^+ + 4e^-$	→	$2H_2O$	1.23
$MnO_2(s) + 4H^+ + 4e^-$	→	$Mn^{2+} + 2H_2O$	1.23

↑ ઑક્સિડેશનકર્તાની પ્રબળતા વધે

↓ રિડક્શનકર્તાની પ્રબળતા વધે

ઓક્સિડેશનકર્તાની પ્રબળતા વધે ↑

રિડક્શનકર્તાની પ્રબળતા વધે ↓

$Br_2 + 2e^-$	$\rightarrow$	$2Br^-$	1.09
$NO_3^- + 4H^+ + 3e^-$	$\rightarrow$	$NO(g) + 2H_2O$	0.97
$2Hg^{2+} + 2e^-$	$\rightarrow$	Hg_2^{2+}	0.92
$Ag^+ + e^-$	$\rightarrow$	$Ag(s)$	0.80
$Fe^{3+} + e^-$	$\rightarrow$	Fe^{2+}	0.77
$O_2(g) + 2H^+ + 2e^-$	$\rightarrow$	H_2O_2	0.68
$I_2 + 2e^-$	$\rightarrow$	$2I^-$	0.54
$Cu^+ + e^-$	$\rightarrow$	$Cu(s)$	0.52
$Cu^{2+} + 2e^-$	$\rightarrow$	$Cu(s)$	0.34
$AgCl(s) + e^-$	$\rightarrow$	$Ag(s) + Cl^-$	0.22
$AgBr(s) + e^-$	$\rightarrow$	$Ag(s) + Br^-$	0.10
$2H^+ + 2e^-$	$\rightarrow$	**$H_2(g)$**	**0.00**
$Pb^{2+} + 2e^-$	$\rightarrow$	$Pb(s)$	– 0.13
$Sn^{2+} + 2e^-$	$\rightarrow$	$Sn(s)$	– 0.14
$Ni^{2+} + 2e^-$	$\rightarrow$	$Ni(s)$	– 0.25
$Fe^{2+} + 2e^-$	$\rightarrow$	$Fe(s)$	– 0.44
$Cr^{3+} + 3e^-$	$\rightarrow$	$Cr(s)$	– 0.74
$Zn^{2+} + 2e^-$	$\rightarrow$	$Zn(s)$	– 0.76
$2H_2O + 2e^-$	$\rightarrow$	$H_2(g) + 2OH^-(aq)$	– 0.83
$Al^{3+} + 3e^-$	$\rightarrow$	$Al(s)$	– 1.66
$Mg^{2+} + 2e^-$	$\rightarrow$	$Mg(s)$	– 2.36
$Na^+ + e^-$	$\rightarrow$	$Na(s)$	– 2.71
$Ca^{2+} + 2e^-$	$\rightarrow$	$Ca(s)$	– 2.87
$K^+ + e^-$	$\rightarrow$	$K(s)$	– 2.93
$Li^+ + e^-$	$\rightarrow$	$Li(s)$	– 3.05

(1) ઋણ E^0 એટલે કે રેડોક્ષ સંકુલમાં તે $H^+ | H_2$ કરતાં પ્રબળ રિડક્શનકર્તા તરીકે વર્તે છે.

(2) ધન E^0 એટલે કે રેડોક્ષ સંકુલમાં તે $H^+ | H_2$ કરતાં નિર્બળ રિડક્શનકર્તા તરીકે વર્તે છે.

કોષ્ટક 3.1માં આપેલી આ શ્રેણી પરથી નીચેની માહિતી પ્રાપ્ત થાય છે :

(1) આ શ્રેણીમાં ઑક્સિડેશન પ્રક્રિયા અનુભવવાની વૃત્તિ, ઇલેક્ટ્રૉન મુક્ત કરવાની વૃત્તિ અને રિડક્શનકર્તા તરીકેની પ્રબળતા ઉપરથી નીચેની દિશા તરફ વધે છે.

(2) આ શ્રેણીમાં રિડક્શન પ્રક્રિયા અનુભવવાની વૃત્તિ, ઇલેક્ટ્રૉન સ્વીકારવાની વૃત્તિ અને ઑક્સિડેશનકર્તા તરીકેની પ્રબળતા નીચેથી ઉપરની દિશા તરફ વધે છે.

(3) આ શ્રેણીના આધારે કોઈ પણ બે અર્ધ કોષને જોડવાથી બનતા સંપૂર્ણ કોષને પ્રમાણિત પોટૅન્શિયલ ગણી શકાય છે. આ શ્રેણીમાં કયો વિદ્યુતધ્રુવ ઍનોડ બનશે અને કયો વિદ્યુતધ્રુવ કૅથોડ બનશે તેની માહિતી પણ મેળવી શકાય છે.

(4) આ શ્રેણીમાં જે ધાતુનું સ્થાન નીચે છે તે ધાતુના સળિયાને શ્રેણીમાં ઉપર રહેલી ધાતુના ક્ષારના દ્રાવણમાં મૂકતાં ધાતુનો સળિયો દ્રાવણમાં ધાતુ આયન તરીકે અને દ્રાવણમાં રહેલ ધાતુ આયન ધાતુરૂપે ફેરબદલી પામે છે. દા.ત., Feનું સ્થાન emf શ્રેણીમાં Cu કરતાં નીચે છે. Feના સળિયાને Cu^{2+}ના દ્રાવણમાં મૂકતાં Feનો સળિયો Fe^{2+}માં અને Cu^{2+}, Cu(s)માં રૂપાંતર પામે છે.

દાખલો 3 : 298 K તાપમાને નીચે આપેલા પ્રમાણિત અર્ધ કોષના ઉપયોગથી બનતા કોષનું સાંકેતિક નિરૂપણ કરો. કોષની પ્રક્રિયા લખી તેનો પ્રમાણિત પોટૅન્શિયલ E^0_{Cell} ગણો.

(1) $E^0_{Zn^{2+}|Zn} = -0.76$ વૉલ્ટ (2) $E^0_{Ag^+|Ag} = 0.80$ વૉલ્ટ

ઉકેલ : ઝિંક (જસત)નો પ્રમાણિત રિડક્શન પોટૅન્શિયલ ઓછો હોવાથી તે ઍનોડ તરીકે વર્તશે. આથી સાંકેતિક નિરૂપણમાં તે ડાબી બાજુ લખાશે.

કોષનું સાંકેતિક નિરૂપણ : $\ominus$ Zn | Zn^{2+} (1M) || Ag^+(1M) | Ag $\oplus$

કૅથોડ : $2Ag^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons 2Ag(s)$ (રિડક્શન)

ઍનોડ : $Zn(s) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + 2e^-$ (ઑક્સિડેશન)

કોષ-પ્રક્રિયા : $Zn(s) + 2Ag^+(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + 2Ag(s)$ રેડોક્ષ

$$E^0_{Cell} = E^0_{red(\text{કૅથોડ})} - E^0_{red(\text{ઍનોડ})}$$

$$= E^0_{Ag^+|Ag} - E^0_{Zn^{2+}|Zn}$$

$$= (0.80) - (-0.76)$$

$$= 1.56 \text{ વૉલ્ટ}$$

સમીકરણમાં કૅથોડ પરની પ્રક્રિયાને 2 વડે ગુણવા છતાં તેના E^0_{red}ના મૂલ્યને 2 વડે ગુણવામાં નથી આવ્યાં, કારણ કે સમીકરણ સંતુલિત કરવા અર્ધ-પ્રક્રિયાના સમીકરણને 2 વડે ગુણતાં પ્રમાણિત અર્ધ કોષની 1M સાંદ્રતાની વ્યાખ્યા બદલાતી નથી.

દાખલો 4 : 298 K તાપમાને નીચે આપેલા પ્રમાણિત અર્ધ કોષના ઉપયોગથી બનતાં કોષનું સાંકેતિક નિરૂપણ કરો. કોષની પ્રક્રિયા લખો અને તેનો પ્રમાણિત પોટૅન્શિયલ E^0_{Cell} ગણો.

(1) $E^0_{Mg^{2+}|Mg} = -2.37$ વૉલ્ટ (2) $E^0_{Co^{2+}|Co} = -0.28$ વૉલ્ટ

ઉકેલ : મૅગ્નેશિયમનો પ્રમાણિત રિડક્શન પોટૅન્શિયલ ઓછો હોવાથી તે ઍનોડ તરીકે વર્તશે. આથી, સાંકેતિક નિરૂપણમાં તે ડાબી બાજુ લખાશે.

કોષનું સાંકેતિક નિરૂપણ : $\ominus$ Mg(s) | Mg^{2+} (1M) || Co^{2+}(1M) | Co(s) $\oplus$

કેથોડ : $Co^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Co(s)$ (રિડક્શન)

ઍનોડ : $Mg(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2e^-$ (ઑક્સિડેશન)

કોષ-પ્રક્રિયા : $Mg(s) + Co^{2+}(aq) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + Co(s)$

$E^0_{Cell} = E^0_{red(\text{કેથોડ})} - E^0_{red(\text{ઍનોડ})}$

$= E^0_{Co^{2+}|Co} - E^0_{Mg^{2+}|Mg}$

$= (-0.28) - (-2.37) = 2.09$ વૉલ્ટ

3.6 નર્ન્સ્ટ સમીકરણ (Nernst Equation)

વિદ્યુતધ્રુવો પર થતી પ્રક્રિયાઓ સાથે સંકળાયેલા ઘટકોની સાંદ્રતા હંમેશાં એકમ હોય એ જરૂરી નથી. વિદ્યુતરાસાયણિક કોષનો પોટૅન્શિયલ, તાપમાન, કોષની પ્રક્રિયા સાથે સંકળાયેલ દ્રાવણોની સાંદ્રતા અને વિદ્યુતધ્રુવોની પ્રકૃતિ પર આધાર રાખે છે. વૈજ્ઞાનિક નર્ન્સ્ટ (Nernst) સૌપ્રથમ નિયત તાપમાને બિનપ્રમાણિત વિદ્યુતરાસાયણિક કોષનો પોટૅન્શિયલ અને પ્રક્રિયા સાથે સંકળાયેલાં દ્રાવણોની સાંદ્રતા વચ્ચેનો સંબંધ દર્શાવતું સમીકરણ આપ્યું. આ સમીકરણની તારવણી ઉષ્માગતિશાસ્ત્રના સિદ્ધાંતોને આધારે થઈ શકે એવું તેમણે જણાવ્યું.

નર્ન્સ્ટના દર્શાવ્યા મુજબ વિદ્યુતધ્રુવીય પ્રક્રિયામાં :

$M^{n+}(aq) + ne^- \rightleftharpoons M(s)$

વિદ્યુતધ્રુવીય પોટૅન્શિયલ કોઈ પણ સાંદ્રતાએ પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવના સંદર્ભમાં માપન કરી શકાય.

$$E_{(M^{n+}|M)} = E^0_{(M^{n+}|M)} - \frac{RT}{nF} ln \frac{M}{[M^{n+}]}$$

પણ ઘનસ્વરૂપી Mની સાંદ્રતા અચળ ગણતાં,

$$E_{(M^{n+}|M)} = E^0_{(M^{n+}|M)} - \frac{RT}{nF} ln \frac{1}{[M^{n+}]}$$

$E^0_{(M^{n+}|M)}$ તે જાણીતું છે. Rનો વાયુ-અચળાંક ($8.314\ J\ K^{-1}\ mol^{-1}$) અને Fનો ફૅરાડે અચળાંક (96500 કુલોમ્બ મોલ$^{-1}$), T = તાપમાન કેલ્વિનમાં અને $[M^{n+}]$ સ્વરૂપની સાંદ્રતા દર્શાવે છે.

આપણે ડેનિયલ કોષમાં Cu^{2+} અને Zn^{2+} આયનોનું સંકેન્દ્રણ આપેલા વિદ્યુતધ્રુવ પોટૅન્શિયલમાં લખી શકીએ.

કેથોડ માટે : $E_{(Cu^{2+}|Cu)} = E^0_{(Cu^{2+}|Cu)} - \frac{RT}{2F} ln \frac{1}{[Cu^{2+}]}$ (1)

ઍનોડ માટે : $E_{(Zn^{2+}|Zn)} = E^0_{(Zn^{2+}|Zn)} - \frac{RT}{2F} ln \frac{1}{[Zn^{2+}]}$ (2)

કોષ-પોટૅન્શિયલ : $E_{Cell} = E_{(Cu^{2+}|Cu)} - E_{(Zn^{2+}|Zn)}$

$$= E^0_{(Cu^{2+}|Cu)} - \frac{RT}{2F} ln \frac{1}{[Cu^{2+}]} - E^0_{(Zn^{2+}|Zn)} + \frac{RT}{2F} ln \frac{1}{[Zn^{2+}]}$$

$$= E^0_{(Cu^{2+}|Cu)} - E^0_{(Zn^{2+}|Zn)} - \frac{RT}{2F} ln \frac{1}{[Cu^{2+}]} + \frac{RT}{2F} ln \frac{1}{[Zn^{2+}]}$$

$$\therefore E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{RT}{2F} ln \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]} \quad (3)$$

આ પરથી કહી શકાય કે E_{Cell}, Cu^{2+} અને Zn^{2+} આયનોની સાંદ્રતા પર આધાર રાખે છે. તેનું મૂલ્ય Cu^{2+}ની સાંદ્રતા વધતાં વધે છે અને Zn^{2+}ની સાંદ્રતા વધતાં ઘટે છે.

સમીકરણ (3)માં નેચરલ લૉગેરિધમ (Natural Logarithm)ને આધારે 10 બેઝ લઈને R, F અને T = 298 K મૂલ્યો મૂકવાથી સમીકરણ નીચે પ્રમાણે બને :

$$\frac{2.303\,RT}{F} = 0.059$$

આથી, $$E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{0.059}{2}\log\frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]} \quad (4)$$

આપણે બંને વિદ્યુતધ્રુવો માટે સમાન ઇલેક્ટ્રૉન (n) લીધા હોવાથી કોષ ઉપર પ્રમાણે બતાવી શકાય :

તેવી જ રીતે બંને વિદ્યુતધ્રુવો માટે જુદા જુદા ઇલેક્ટ્રૉન લેવાથી કોષ નીચે પ્રમાણે બતાવી શકાય :

$$\ominus\ Ni(s)\ |\ Ni^{2+}\ ||\ Ag^+\ |\ Ag(s)\ \oplus$$

કોષ-પ્રક્રિયા : $Ni(s) + 2Ag^+(aq) \rightleftharpoons Ni^{2+}(aq) + 2Ag(s)$

નર્ન્સ્ટ સમીકરણ અનુસાર નીચે પ્રમાણે લખાય :

$$E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{0.059}{n}\log\frac{[Ni^{2+}]}{[Ag^+]^2}$$

વિદ્યુત રાસાયણિક પ્રક્રિયાનું સામાન્ય સમીકરણ નીચે પ્રમાણે થાય :

$$aA + bB \underset{}{\overset{ne^-}{\rightleftharpoons}} cC + dD$$

નર્ન્સ્ટ સમીકરણ અનુસાર,

$$E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{RT}{nF}\ln K \quad \text{જ્યાં K = સંતુલન અચળાંક}$$

$$= E^0_{Cell} - \frac{RT}{nF}\ln\frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

બિનપ્રમાણિત, અર્ધ કોષનો પોટૅન્શિયલ પણ નર્ન્સ્ટ સમીકરણનો ઉપયોગ કરી ગણી શકાય. જો $Co^{2+}\ |\ Co$ અર્ધ કોષની પ્રક્રિયા રિડક્શનપ્રક્રિયા તરીકે લખીએ તો $Co^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Co(s)$ થાય છે.

$$E_{(Co^{2+}|Co)} = E^0_{(Co^{2+}|Co)} - \frac{0.059}{2}\log\frac{1}{[Co^{2+}]}$$

પરંતુ જો $Co\ |\ Co^{2+}$ અર્ધ કોષની પ્રક્રિયા ઑક્સિડેશન પ્રક્રિયા તરીકે લખીએ તો $Co(s) \rightleftharpoons Co^{2+}(aq) + 2e^-$ થાય છે.

$$E_{(Co|Co^{2+})} = E^0_{(Co|Co^{2+})} - \frac{0.059}{2}\log[Co^{2+}]$$

જેમાં દર્શાવેલા પોટૅન્શિયલ ઑક્સિડેશન પોટૅન્શિયલ હોય છે.

દાખલો 5 : 298 K તાપમાને નીચે આપેલા કોષનો પોટેન્શિયલ ગણો.

$$\ominus \; Zn(s) \mid Zn^{2+}(0.6\ M) \parallel Cu^{2+}(0.3\ M) \mid Cu(s) \; \oplus$$

$E^0_{(Zn^{2+} \mid Zn)} = -0.76$ વૉલ્ટ; $E^0_{(Cu^{2+} \mid Cu)} = 0.34$ વૉલ્ટ

ઉકેલ : અહીં ઝિંકનો વિદ્યુતધ્રુવ ઍનોડ અને કૉપરનો વિદ્યુતધ્રુવ કૅથોડ છે. તેના પ્રમાણિત રિડક્શન પોટૅન્શિયલ મૂલ્યો આપેલાં છે, જેના પરથી મૂલ્યની ગણતરી કરતાં,

$$E^0_{Cell} = E^0_{(Cu^{2+} \mid Cu)} - E^0_{(Zn^{2+} \mid Zn)}$$

$$= 0.34 - (-0.76)$$

$$= 0.34 + 0.76$$

$= 1.10$ વૉલ્ટ

કોષ-પ્રક્રિયા :

કૅથોડ : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightleftharpoons Cu(s)$ (રિડક્શન)

ઍનોડ : $Zn(s) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + 2e^-$ (ઑક્સિડેશન)

$$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$$

અહીં, $n = 2$ થશે.

$$E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{0.059}{2} \log \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$$

$$= 1.10 - \frac{0.059}{2} \log \frac{[0.6]}{[0.3]}$$

$$= 1.10 - 0.0295 \log 2.0$$

$$= 1.10 - (0.0295)(0.3010)$$

$$= 1.10 - 0.0089$$

$= 1.0911$ વૉલ્ટ

દાખલો 6 : કોષમાં નીચે પ્રમાણેની પ્રક્રિયા થાય છે :

$$Mg(s) + 2Ag^+(0.0001M) \rightleftharpoons Mg^{2+}(0.130M) + 2Ag(s)$$

E_{Cell}ની ગણતરી કરો. $E^0_{Cell} = 3.17$ વૉલ્ટ

ઉકેલ : કોષ નીચે પ્રમાણે લખાય :

$$\ominus \; Mg(s) \mid Mg^{2+}(0.130M) \parallel Ag^+(0.0001M) \mid Ag(s) \; \oplus$$

કોષ-પ્રક્રિયા :

કૅથોડ : $2Ag^+(aq) + 2e^- \rightleftharpoons 2Ag(s)$

ઍનોડ : $Mg(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2e^-$

$$Mg(s) + 2Ag^+(aq) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2Ag(s)$$

અહીં, n = 2 થશે.

$$E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{RT}{2F} ln \frac{[Mg^{2+}]}{[Ag^+]^2}$$

$$E_{Cell} = 3.17 - \frac{0.059}{2} \log \frac{[Mg^{2+}]}{[Ag^+]^2}$$

$$E_{Cell} = 3.17 - \frac{0.059}{2} \log \frac{[0.130]}{(0.0001)^2}$$

$= 3.17 - 0.21 = 2.96$ વૉલ્ટ

3.6.1 સાંદ્રતા કોષ (Concentration Cell) : વિદ્યુતકોષના બંને વિદ્યુતધ્રુવો એકસરખા હોય, પરંતુ વિદ્યુત વિભાજ્યના દ્રાવણની સાંદ્રતા જુદી જુદી હોય તેવા કોષને સાંદ્રતા કોષ કહે છે. જેમ કે,

$Cu(s) \mid Cu^{2+}\ (C_1) \parallel Cu^{2+}\ (C_2) \mid Cu(s)$

નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે સાંદ્રતા કોષની કોષ-પ્રક્રિયામાં આયનોની સાંદ્રતા બદલાય છે, જે રેડોક્ષ પ્રક્રિયાના ફળસ્વરૂપે છે. સાંદ્ર દ્રાવણના આયનો મંદ દ્રાવણ તરફ જતા હોવાથી આ પ્રકારના કોષને સાંદ્રતા કોષ કહે છે.

આ કોષમાં પ્રક્રિયા $Cu(s) \mid Cu^{2+}(C_1) \parallel Cu^{2+}(C_2) \mid Cu(s)$ માટે $E^0_{Cell} = 0.0$ વૉલ્ટ હોય છે.

કૅથોડ : $Cu^{2+}(C_2) + 2e^- \rightleftharpoons Cu(s)$

ઍનોડ : $Cu(s) \rightleftharpoons Cu^{2+}(C_1) + 2e^-$

કોષ-પ્રક્રિયા : $Cu^{2+}(C_2) \rightleftharpoons Cu^{2+}(C_1)$

સામાન્ય રીતે વધારે સાંદ્રતાવાળા દ્રાવણમાં રિડક્શન થવાથી તે જમણી બાજુ લખાશે અને તે કૅથોડ તરીકે વર્તશે. સાંદ્રતા કોષના કોષ પોટૅન્શિયલ નીચેના સૂત્રથી ગણવામાં આવે છે :

$$E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{0.059}{n} \log \frac{[C_1]}{[C_2]}$$

અહીં, $E^0_{Cell} = 0.0$ વૉલ્ટ છે. કારણ કે બંને વિદ્યુતધ્રુવ સરખા છે તેમજ બંનેના પ્રમાણિત રિડક્શન પોટૅન્શિયલ અને ઑક્સિડેશન પોટૅન્શિયલના મૂલ્ય સરખા હોય છે. માત્ર ધન કે ઋણનું ચિહ્ન હોય છે માટે સરવાળો શૂન્ય થાય છે. બંને વિદ્યુતધ્રુવોમાં Cu^{2+}ની સાંદ્રતા જુદી જુદી છે, પણ દ્રાવણમાં ધન આયન સમાન છે. તેથી ઍનોડ અર્ધ કોષ અને કૅથોડ અર્ધ કોષનાં પોટૅન્શિયલ મૂલ્યો સમાન પણ વિરુદ્ધ ચિહ્નવાળાં છે, તેથી $E^0_{Cell} = 0.0$ વૉલ્ટ થાય છે.

$$E_{Cell} = 0.0 - \frac{0.059}{n} \log \frac{[C_1]}{[C_2]}$$

દાખલો 7 : $Ag^+(aq) \mid Ag(s)$ અર્ધ કોષનો પ્રમાણિત રિડક્શન પોટૅન્શિયલ 0.80 વૉલ્ટ છે. 298 K તાપમાને નીચે આપેલા કોષનો પોટૅન્શિયલ ગણો :

$\ominus\ Ag(s) \mid Ag^+(0.25M) \parallel Ag^+(0.75M) \mid Ag(s)\ \oplus$

ઉકેલ :

કૅથોડ : $Ag^+\ (0.75M) + e^- \rightleftharpoons Ag(s)$ (રિડક્શન)

ઍનોડ : $Ag(s) \rightleftharpoons Ag^+(0.25M) + e^-$ (ઑક્સિડેશન)

કોષ-પ્રક્રિયા : $Ag^+(0.75M) \rightleftharpoons Ag^+\ (0.25M)$

ઉપરના સમીકરણ પરથી જણાય છે કે જ્યારે કોષ કાર્યરત હોય છે ત્યારે સાંદ્ર દ્રાવણના આયન મંદ દ્રાવણ તરફ ગતિ કરે છે. આ કોષ માટે $E^0_{Cell} = 0.00$ વૉલ્ટ છે.

$$E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{0.059}{n} \log \frac{[C_1]}{[C_2]}$$

$$= 0.00 - \frac{0.059}{1} \log \frac{0.25}{0.75} \quad \text{(અહીં, n = 1 લેતાં)}$$

$$= -0.059 \times \left[\log \frac{1}{3}\right] = -0.0592 \times (\log 1 - \log 3)$$

$$= -0.059 \times (-0.4771) = +0.0282 \text{ વૉલ્ટ}$$

દાખલો 8 : $Cu^{2+} | Cu$ અર્ધ કોષનો પ્રમાણિત રિડક્શન પોટૅન્શિયલ 0.34 વૉલ્ટ છે. 298 K તાપમાને નીચે આપેલા કોષનો પોટૅન્શિયલ ગણો :

$$\ominus \; Cu(s) \,|\, Cu^{2+}(0.1M) \,||\, Cu^{2+}(1M) \,|\, Cu(s) \; \oplus$$

ઉકેલ :

કૅથોડ : $Cu^{2+}(1M) + 2e^- \rightleftharpoons Cu(s)$ (રિડક્શન)

ઍનોડ : $Cu(s) \rightleftharpoons Cu^{2+}(0.1M) + 2e^-$ (ઑક્સિડેશન)

કોષ-પ્રક્રિયા : $\underset{(C_2)}{Cu^{2+}(1M)} \rightleftharpoons \underset{(C_1)}{Cu^{2+}(0.1M)}$

સાંદ્રતા કોષમાં સાંદ્ર દ્રાવણના આયન મંદ દ્રાવણ તરફ જાય છે તેમજ સાંદ્રતા કોષમાં $E^0_{Cell} = 0.00$ વૉલ્ટ હોય છે.

$$E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{0.059}{n} \log \frac{[C_1]}{[C_2]}$$

$$= 0.00 - \frac{0.059}{2} \log \frac{(0.1)}{(1.0)} \quad \text{(અહીં, n = 2 મૂકતાં)}$$

$$= -0.0295 \times \log \frac{0.1}{1} = -0.0295 \times \log \frac{1}{10}$$

$$= -0.0295 \times (-1) = 0.0295 \text{ વૉલ્ટ}$$

સાંદ્રતા કોષનો પોટૅન્શિયલ પ્રમાણમાં ઓછો હોય છે. સાંદ્ર દ્રાવણના આયન મંદ દ્રાવણ તરફ જતાં હોવાથી બંને અર્ધ કોષોમાં સાંદ્રતા સમાન થવા પ્રયત્ન કરે છે અને સાંદ્રતા સમાન થતા કોષનો પોટૅન્શિયલ શૂન્ય થાય છે.

જો કોષના પોટૅન્શિયલનું મૂલ્ય ઋણ મળે તો તે સૂચવે છે કે જેને ઍનોડ માનવામાં આવ્યો છે તે વાસ્તવમાં કૅથોડ છે અને જેને કૅથોડ માનવામાં આવ્યો છે તે વાસ્તવમાં ઍનોડ છે.

3.7 કોષ પોટૅન્શિયલની કેટલીક ઉપયોગિતા (Some Applications of Cell Potential)

(1) કોષ પોટૅન્શિયલનાં મૂલ્યોને આધારે કોષમાં થતી પ્રક્રિયાના સંતુલન અચળાંક ગણી શકાય છે.

(2) યોગ્ય કોષની રચના કરી તેના પોટૅન્શિયલ મૂલ્યના આધારે ઍસિડિક દ્રાવણોની pH અને પાણીનો આયનીય ગુણાકાર ગણી શકાય.

(3) કોષ પોટૅન્શિયલનો ઉપયોગ કરી કેટલાંક અનુમાપનો થઈ શકે છે.

સંતુલન અચળાંકની ગણતરી (Calculation of Equilibrium constant) : ડૅનિયલ કોષ (આકૃતિ 3.1) બંધ પરિપથ ધરાવે છે અને આપણે નીચેની પ્રક્રિયા નોંધી છે :

$$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$$

આ પ્રક્રિયા દર્શાવતા કોષમાં સમય જતાં Zn^{2+} ની સાંદ્રતા વધે છે અને Cu^{2+} ની સાંદ્રતા ઘટે છે. આ સમયે કોષના વૉલ્ટ, વૉલ્ટમીટર અથવા પોટૅન્શિયોમીટર પર વાંચી શકાય છે. જેમાં વૉલ્ટ ઘટતા જણાય છે. થોડા સમય પછી આપણે નોંધી શકીએ છીએ કે આ સમયે Cu^{2+} અને Zn^{2+}ના આયનોમાં ફેરફાર થતો નથી. આ સ્થિતિ સંતુલનની સૂચક છે. આ સ્થિતિમાં નર્ન્સ્ટ સમીકરણ નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{2.303\ RT}{2F} \log \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$$ અથવા

$$E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{0.059}{2} \log \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$$

પણ સંતુલન સમયે, $\frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]} = K_C$ તે પ્રક્રિયા માટે (પ્રક્રિયા સમીકરણ) અને T = 298 K તાપમાને ઉપરોક્ત સમીકરણ નીચે પ્રમાણે લખાય :

$$\therefore\ E^0_{Cell} = \frac{2.303\ RT}{nF} \log K_C \qquad (5)$$

$$E^0_{Cell} = \frac{0.059}{2} \log K_C = 1.1$$ વૉલ્ટ $[E^0_{Cell} = 1.1$ વૉલ્ટ$]$

$$\log K_C = \frac{(1.1 \times 2)}{(0.059)} = 37.288$$

$\therefore$ 298 K તાપમાને $K_C = 1.941 \times 10^{37}$

આમ, સમીકરણ (5)માં જે પ્રક્રિયા ભાગ લે છે તેમાં પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક અને પ્રમાણિત પોટૅન્શિયલ વચ્ચેનો સંબંધ કોષને દર્શાવે છે. આમ, પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક માપવો મુશ્કેલ છે. અલબત્ત, કોષનું E^0 મૂલ્ય સંબંધિત ગણતરી કરી શકાય છે.

દાખલો 9 : પ્રક્રિયાના સંતુલન અચળાંકની ગણતરી કરો.

$Cu(s) + 2Ag^+(aq) \rightleftharpoons Cu^{2+}(aq) + 2Ag(s);\ E^0_{Cell} = 0.46$ વૉલ્ટ

ઉકેલ :

$$E^0_{Cell} = \frac{0.059}{2} \log K_C = 0.46$$ વૉલ્ટ અથવા

$$\log K_C = \frac{0.46 \times 2}{0.059} = 15.593$$

$$\therefore\ K_C = 3.92 \times 10^{15}$$

દાખલો 10 : 298 K તાપમાને નીચે આપેલા કોષનો પોટેન્શિયલ 1.02 વૉલ્ટ છે. HClના દ્રાવણની pH ગણો. ($E^0_{Ag^+|Ag}$ = 0.80 વૉલ્ટ)

$\ominus$ Pt | H_2(1 bar) | HCl (xM) || Ag^+ (0.01M) | Ag(s) $\oplus$

ઉકેલ : $E^0_{Cell} = E^0_{red(કેથોડ)} - E^0_{red(એનોડ)}$

$= E^0_{(Ag^+|Ag)} - E^0_{(H^+|\frac{1}{2}H_2)}$

$= 0.80 - 0.0$

E^0_{Cell} = 0.80 વૉલ્ટ

કોષ-પ્રક્રિયા : $\frac{1}{2}H_2(g) + Ag^+(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + Ag(s)$ (અહીં, n = 1 થશે.)

$$E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{0.059}{n}\log\frac{[H^+]}{[Ag^+]}$$

$$1.02 = 0.80 - 0.059 \log\frac{[H^+]}{[0.01]}$$

$$\frac{0.22}{0.059} = -\log[H^+] + (-2.0)$$

$$3.729 = pH - 2.0$$

$$\therefore pH = 5.729$$

દાખલો 11 : 298 K તાપમાને નીચે આપેલા કોષનો પોટેન્શિયલ 0.096 વૉલ્ટ છે. HClના દ્રાવણની pH ગણો. ($E^0_{(Sn^{2+}|Sn)}$= – 0.14 વૉલ્ટ)

$\ominus$ Sn | Sn^{2+}(0.05M) || H^+(xM) | H_2(1 બાર) | Pt $\oplus$

ઉકેલ : $E^0_{Cell} = E^0_{(H^+|\frac{1}{2}H_2)} - E^0_{(Sn^{2+}|Sn)}$

E^0_{Cell} = 0.0 – (– 0.14) = 0.14 વૉલ્ટ

કોષ-પ્રક્રિયા : $Sn(s) + 2H^+(aq) \rightleftharpoons Sn^{2+}(aq) + H_2(g)$; (અહીં, n = 2 થશે.)

$$E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{0.059}{n}\log\frac{[Sn^{2+}]}{[H^+]^2}$$

$$\therefore 0.096 = 0.14 - 0.0295 \log\frac{(0.05)}{[H^+]^2}$$

$$\therefore \frac{0.096 - 0.14}{0.0295} = -\log\frac{(0.05)}{[H^+]^2}$$

$$\therefore \frac{-0.044}{0.0295} = -\log(0.05) + 2\log[H^+]$$

$\therefore \dfrac{-0.044}{0.0295} = 1.3010 + 2\log[H^+]$

$\therefore -1.491 = -1.3010 + 2\log[H^+]$

$\therefore 1.491 + 1.3010 = -2\log[H^+]$

$\therefore 1.491 + 1.3010 = 2 \times pH$

$\therefore \dfrac{2.792}{2} = pH$

$\therefore pH = 1.396$

દાખલો 12 : 298 K તાપમાને નીચે આપેલા કોષનો પોટૅન્શિયલ 0.53 વૉલ્ટ છે. પાણીનો આયનીય ગુણાકાર (K_W) શોધો.

$$\ominus\ Pt \mid H_2(1\ \text{બાર}) \mid KOH(0.002M) \parallel HCl(0.005M) \mid H_2(1\ \text{બાર}) \mid Pt\ \oplus$$

ઉકેલ :

કૅથોડ : $H^+(0.005M) + e^- \rightleftharpoons \frac{1}{2} H_2(1\ \text{બાર})$ (રિડક્શન)

ઍનોડ : $\frac{1}{2} H_2(1\ \text{બાર}) \rightleftharpoons H^+ (xM) + e^-$ (ઑક્સિડેશન)

કોષ-પ્રક્રિયા : $H^+(0.005\ M) \rightleftharpoons H^+(xM)$

કોષના ફક્ત H^+ની સાંદ્રતામાં જ ફેરફાર થાય છે.

$\therefore$ આ કોષમાં $E^0_{Cell} = 0.00$ વૉલ્ટ થશે.

KOHના દ્રાવણમાં OH^-ની સાંદ્રતા = 0.002M છે. કોઈ પણ જલીય દ્રાવણમાં H^+ અને OH^-ની ઉપસ્થિતિ હોય જ છે અને તેની સાંદ્રતાનો ગુણાકાર K_W થાય છે. આથી KOHના દ્રાવણ માટે,

$[H^+][OH^-] = K_W$, પરંતુ $[OH^-] = 0.002$ M છે.

$\therefore$ KOHના દ્રાવણ $[H^+] = \dfrac{K_W}{(0.002)}$

$$E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{0.059}{1} \log \frac{(\text{KOHના દ્રાવણમાં } H^+ \text{ની સાંદ્રતા})}{(\text{HClના દ્રાવણમાં } H^+ \text{ની સાંદ્રતા})}$$

$$0.53 = 0.00 - \frac{0.059}{1} \log \frac{K_W/0.002}{0.005}$$

$$\frac{0.53}{0.059} = -\log\left(\frac{K_W}{0.002 \times 0.005}\right) = -\log K_W + \log(10^{-5})$$

$8.983 = -\log K_W - 5.0$

$\log K_W = -8.983 - 5.0 = -13.983$

$\therefore K_W = \text{antilog } \bar{14}.017 = 1.04 \times 10^{-14}$

3.8 વિદ્યુતવિભાજન (Electrolysis)

વિદ્યુતવિભાજન રેડોક્ષ પ્રક્રિયા છે. વિદ્યુતવિભાજનમાં વિદ્યુતીય ઊર્જાનું રાસાયણિકઊર્જામાં રૂપાંતર થાય છે. આ માટે વપરાતા ઉપકરણને વિદ્યુતવિભાજન કોષ કહે છે. વિદ્યુતવિભાજ્યનું જલીય દ્રાવણ અથવા પિગાળેલું વિદ્યુતવિભાજ્ય કોષમાં લઈ તેમાં યોગ્ય વિદ્યુતધ્રુવો ડુબાડી વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરતાં વિદ્યુતધ્રુવો ઉપર રિડક્શન અને ઑક્સિડેશન પ્રક્રિયાઓ થઈ નીપજો પ્રાપ્ત થાય છે. આ પ્રકારની રેડોક્ષ પ્રક્રિયાના પરિણામને વિદ્યુતવિભાજન તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. જેમ કે, પાણીમાં સલ્ફ્યુરિક ઍસિડના થોડાં ટીપાં ઉમેરી નિસ્યંદિત પાણીને ઍસિડિક બનાવી તેમાં પ્લેટિનમના નિષ્ક્રિય વિદ્યુતધ્રુવો ડુબાડી વિદ્યુતવિભાજન કરતા કેથોડ પર ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ અને ઍનોડ પર ડાયઑક્સિજન વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે.

$$H_2O(l) \xrightarrow{\text{વિદ્યુતવિભાજન}} H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$$

આ પ્રમાણે પિગાળેલા સોડિયમ ક્લોરાઇડના વિદ્યુતવિભાજનથી કેથોડ પર સોડિયમ ધાતુ અને ઍનોડ પર ડાયક્લોરિન વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે.

$$2NaCl(l) \xrightarrow{\text{વિદ્યુતવિભાજન}} 2Na(s) + \frac{1}{2}Cl_2(g)$$

ફેરાડેના વિદ્યુતવિભાજનના નિયમો : વૈજ્ઞાનિક માઇકલ ફેરાડે (Michael Faraday)એ 1834માં પ્રક્રિયાથી પ્રાપ્ત થતી નીપજોના જથ્થા અને તે માટે વપરાતા વિદ્યુતના જથ્થા વચ્ચે નીચેના સંબંધો પ્રસ્થાપિત કર્યા હતા, જેને ફેરાડેના વિદ્યુતવિભાજનના નિયમો કહે છે.

(1) પહેલો નિયમ : વિદ્યુતવિભાજનથી વિદ્યુતધ્રુવો પર ઉત્પન્ન થતી નીપજોનો જથ્થો વિદ્યુતવિભાજન કોષમાંથી પસાર કરેલા વિદ્યુત જથ્થાના સમપ્રમાણમાં હોય છે. જો W ઉત્પન્ન થયેલી નીપજનું દળ અને Q પસાર કરેલા વિદ્યુતજથ્થાનું મૂલ્ય હોય તો,

$$W \propto Q$$

(2) બીજો નિયમ : બે કે તેથી વધારે જુદા જુદા વિદ્યુતવિભાજ્ય ધરાવતા વિદ્યુતવિભાજન કોષોને શ્રેણીબદ્ધ કરી તેમાં એકસરખો વિદ્યુતનો જથ્થો પસાર કરવામાં આવે, તો વિવિધ વિદ્યુતધ્રુવો ઉપર પ્રાપ્ત થતી નીપજોનો જથ્થો તેમના તુલ્યભારના સમપ્રમાણમાં હોય છે.

$W \propto Eq$, જ્યાં, W = મળેલી નીપજનું દળ અને Eq = નીપજનો તુલ્યભાર

ફેરાડેના ઉપરોક્ત નિયમો પ્રસ્થાપિત થયા બાદ વીસમી સદીની શરૂઆતનાં વર્ષોમાં પરમાણુની ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના વિશેનું જ્ઞાન વધારે વિકસિત થવાથી રેડોક્ષ પ્રક્રિયા અંગેની પાયાની જાણકારી પ્રાપ્ત થઈ શકી. આ દરમિયાન મોલની સંકલ્પનાનો પણ સ્વીકાર થયો હતો. આથી ફેરાડેના ઉપરોક્ત નિયમોની **આધુનિક રજૂઆત** નીચે પ્રમાણે કરવામાં આવી :

'રિડક્શન અને ઑક્સિડેશન અર્ધ-પ્રક્રિયાઓ દ્વારા વિદ્યુતધ્રુવો પર પ્રાપ્ત થતી નીપજોના મોલની સંખ્યા તે પ્રક્રિયાઓની તત્ત્વયોગમિતિ દ્વારા કોષમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતના જથ્થા સાથે સંબંધ ધરાવે છે.' આ નિયમનું સ્પષ્ટીકરણ નીચેનાં ઉદાહરણોથી વિગતવાર સમજી શકાય છે :

$Na^+(l) + e^- \rightarrow Na(s)$ અથવા $Na^+(l) + e^- \rightarrow Na(s)$

$Mg^{2+}(l) + 2e^- \rightarrow Mg(s)$ અથવા $\frac{1}{2}Mg^{2+}(l) + e^- \rightarrow \frac{1}{2}Mg(s)$

$Al^{3+}(l) + 3e^- \rightarrow Al(s)$ અથવા $\frac{1}{3}Al^{3+}(l) + e^- \rightarrow \frac{1}{3}Al(s)$

આ રિડક્શન અર્ધ-પ્રક્રિયાઓ દર્શાવે છે કે 1 મોલ ઇલેક્ટ્રૉન વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરતાં 1 મોલ સોડિયમ, $\frac{1}{2}$ મોલ મૅગ્નેશિયમ અને $\frac{1}{3}$ મોલ ઍલ્યુમિનિયમનું અનુરૂપ દળ જમા થાય છે.

1 મોલ ઇલેક્ટ્રૉન દ્વારા વહન થતા વિદ્યુતના જથ્થાને 1 ફૅરાડે કહે છે. તેને F સંજ્ઞા વડે દર્શાવાય છે.

1 ઇલેક્ટ્રૉન પરનો વિદ્યુતજથ્થો 1.602×10^{-19} કુલોમ્બ છે.

આથી, 1 મોલ ઇલેક્ટ્રૉન પરનો વિદ્યુતજથ્થો,

1 ફૅરાડે (F) $= 1.602 \times 10^{-19} \times 6.022 \times 10^{23}$

$= 96487$ ($\cong 96500$) કુલોમ્બ મોલ$^{-1}$(ઇલેક્ટ્રૉનના)

કુલોમ્બ એકમમાં 1 ફૅરાડે = 96487 કુલોમ્બ થાય છે.

સામાન્ય રીતે ગણતરી માટે 96500 કુલોમ્બ સ્વીકારવામાં આવેલ છે.

જો કોઈ વિદ્યુતવિભાજન કોષમાંથી I ઍમ્પિયર વિદ્યુતપ્રવાહ t સેકન્ડ માટે પસાર કરવામાં આવે તો પસાર થયેલો વિદ્યુતજથ્થો Q કુલોમ્બ એકમમાં નીચેના સમીકરણ વડે ગણી શકાય છે :

$Q = I \times t$ (I વિદ્યુતપ્રવાહ ઍમ્પિયરમાં, t સમય સેકન્ડમાં)

વિદ્યુતવિભાજન દરમિયાન વિદ્યુતધ્રુવ પર છૂટા પડતા પદાર્થનો જથ્થો, પસાર કરવામાં આવતા વિદ્યુતજથ્થા પર આધાર રાખે છે. એક ફૅરાડે જેટલો વિદ્યુતજથ્થો પસાર કરતાં $\frac{1}{n}$ મોલ પદાર્થ વિદ્યુતધ્રુવ પર છૂટો પડે છે. જેમાં n = વિદ્યુતધ્રુવ પર 1 મોલ પદાર્થ છૂટો પડે તે માટે વિદ્યુતધ્રુવ પરની પ્રક્રિયા સાથે સંકળાયેલા ઇલેક્ટ્રૉનના મોલની સંખ્યા.

કોષ્ટક 3.2 વિદ્યુતજથ્થો અને વિદ્યુતવિભાજન

ક્રમ	વિદ્યુતધ્રુવ પર થતી પ્રક્રિયા	ઇલેક્ટ્રૉનના મોલની સંખ્યા	વિદ્યુતજથ્થો (F)	$\frac{\text{મોલ}}{F}$
1.	$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$	1	1	1
2.	$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$	2	2	$\frac{1}{2}$
3.	$Al^{3+}(l) + 3e^- \rightarrow Al(s)$	3	3	$\frac{1}{3}$
4.	$2Cl^-(aq) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$	2	2	$\frac{1}{2}$
5.	$2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$	4	4	$\frac{1}{4}$

વિદ્યુતવિભાજન કોષની ક્ષમતા હંમેશાં 100 ટકા હોતી નથી. આથી, કોષની ક્ષમતા નીચેના સૂત્રથી ગણી શકાય :

$$\text{કોષની ક્ષમતા (ટકામાં)} = \frac{\text{નીપજનું પ્રાયોગિક મૂલ્ય}}{\text{નીપજનું સૈદ્ધાંતિક મૂલ્ય}} \times 100$$

દાખલો 13 : 300 K તાપમાને અને 1 બાર દબાણે $CuCl_2$ના જલીય દ્રાવણના વિદ્યુતવિભાજનમાં ઋણધ્રુવ પર તાંબુ છૂટું પડે છે અને ધનધ્રુવ પર ડાયક્લૉરિન વાયુ છૂટો પડે છે. 2.0 ઍમ્પિયર વિદ્યુતપ્રવાહ 1 કલાક માટે પસાર કરતાં કેટલું Cu અને કેટલો ડાયક્લૉરિન વાયુ છૂટો પડશે ? (F = 96500 કુલોમ્બ, Cu = 63.5u, Cl = 35.5u અને R = 0.08314 બાર લિટર મોલ$^{-1}$ કેલ્વિન$^{-1}$)

ઉકેલ : આપણે પસાર કરવામાં આવતા વિદ્યુતજથ્થાની ગણતરી કરીએ. વ્યાખ્યાનુસાર,

$$Q = I \times t$$

વિદ્યુતજથ્થો $= 2 \times 60 \times 60 = 7200$ કુલોમ્બ

$$= \frac{7200}{96500} = 0.075 \text{ F}$$

કૅથોડ પર થતી પ્રક્રિયા : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

(2 મોલ) (63.5 ગ્રામ મોલ$^{-1}$)

ઉપરની પ્રક્રિયામાં 2F સાથે 1 મોલ Cu સંકળાયેલ છે. આથી, 0.075 F સાથે સંકળાયેલ

Cuના મોલ $= \frac{0.075}{2} = 0.0375$

$= 0.0375 \times 63.5 = 2.38$ ગ્રામ Cu મળશે.

તે જ રીતે,

ઍનોડ પર $2Cl^-(aq) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$

એટલે કે 2F વીજજથ્થો 1 મોલ Cl_2 વાયુ સાથે સંકળાયેલ છે.

આથી 0.075 F સાથે સંકળાયેલ Cl_2 વાયુ $= \frac{1 \times 0.075}{2} = 0.0375$ મોલ

સામાન્ય વાયુ સમીકરણ પ્રમાણે $PV = nRT$

300 K તાપમાને 1 બાર દબાણે Cl_2 વાયુનું કદ $= \frac{0.0375 \times 0.08314 \times 300}{1}$

$= 0.9353$ લિટર

દાખલો 14 : Na_2SO_4ના જલીય દ્રાવણના વિદ્યુતવિભાજનમાં 2.5 ઍમ્પિયરનો વિદ્યુતપ્રવાહ 1 કલાક સુધી પસાર કરવામાં આવતાં ધનધ્રુવ પર 300 K તાપમાને અને 1 બાર દબાણે કેટલો O_2 વાયુ એકઠો થશે ? (F = 96500 કુલોમ્બ, STP એ એક મોલ વાયુનું કદ 22.4 લિટર છે.)

ઉકેલ : $2H_2O(l) \rightarrow 4H^+(aq) + O_2(g) + 4e^-$

1 મોલ 4F (22.4 લિટર સામાન્ય તાપમાને અને દબાણે)

300 K તાપમાને અને 1 બાર દબાણે છૂટા પડતા O_2નું કદ

$$= \left(\frac{2.5 \times 60 \times 60}{96500}\right) \times \left(\frac{1}{4}\right) \times \left(\frac{22400}{1}\right) \times \left(\frac{300}{273}\right) \times \left(\frac{1}{1}\right)$$

$= 573.93$ મિલિ

દાખલો 15 : શ્રેણીમાં ગોઠવેલા $Hg_2(ClO_4)_2$, $Hg(ClO_4)_2$, $CuSO_4$ અને $AgNO_3$નાં દ્રાવણોમાંથી 2.68 ઍમ્પિયરનો વિદ્યુતપ્રવાહ એક કલાક માટે પસાર કરવામાં આવતાં દરેક ધાતુના કેટલા મોલ કૅથોડ પર જમા થશે ?

ઉકેલ : $\frac{1}{2}Hg_2^{2+}(aq) + e^- \longrightarrow Hg(l)$

$$\frac{1}{2}Hg^{2+}(aq) + e^- \longrightarrow \frac{1}{2}Hg(l)$$

$$\frac{1}{2}Cu^{2+}(aq) + e^- \longrightarrow Cu(s)$$

$$Ag^+(aq) + e^- \longrightarrow Ag(s)$$

વિદ્યુતવિભાજ્યોને શ્રેણીમાં ગોઠવ્યા છે તેથી દરેકમાં એકસરખો વિદ્યુતજથ્થો પસાર થશે.

વિદ્યુતજથ્થો $= 2.68 \times 3600 = 9648$ કુલોમ્બ

$$= \frac{9648}{96500} = 0.09998\ F = 0.1\ F$$

આમ, દરેક વિદ્યુતવિભાજ્યોમાંથી 0.1 F જેટલો વિદ્યુતજથ્થો પસાર થશે. આથી આગળ દર્શાવેલા ચાર વિદ્યુતવિભાજ્યોમાં અનુક્રમે Hg_2^{2+}નો 0.1 મોલ, Hg^{2+}નો 0.05 મોલ, Cu^{2+}નો 0.05 મોલ અને Ag^+નો 0.1 મોલ, ધાતુઓ કૅથોડ પર જમા થશે.

દાખલો 16 : 300 K તાપમાને 1 બાર દબાણે $CuSO_4$ના જલીય દ્રાવણનું ગ્રૅફાઇટના ધ્રુવો વચ્ચે 10 ઍમ્પિયરનો વીજપ્રવાહ 193 મિનિટ માટે પસાર કરતાં કેટલા ગ્રામ Cu મળશે અને કેટલા કદનો O_2 વાયુ મળશે ? વિદ્યુતવિભાજન કોષની ક્ષમતા 80 % છે. (Cu = 63.5 u છે.)

ઉકેલ : પસાર કરેલો વિદ્યુતજથ્થો $= I \times t$

$$= 10 \times 193 \times 60 \text{ કુલોમ્બ}$$

$$= \frac{10 \times 193 \times 60}{96500}$$

$$= 1.2\ F$$

રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ :

કૅથોડ : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

(2F) (1 મોલ)

ઍનોડ : $2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^-$

(1 મોલ) (4F)

પ્રક્રિયા મુજબ, 2 ફૅરાડે વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવાથી 1 મોલ Cu અને 4 ફૅરાડે વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવાથી 1 મોલ O_2 વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે.

Cu માટે 2 ફૅરાડે વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવાથી 1 મોલ મળશે.

1.2 ફૅરાડે વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવાથી $\frac{1.2}{2} = 0.6$ મોલ Cu મળશે.

Cuનું વજન = 0.6 × 63.5 = 38.1 ગ્રામ

કોષની ક્ષમતા 80 % છે. તેથી $\frac{38.1 \times 80}{100}$ = 30.48 ગ્રામ Cu મળશે.

O_2 વાયુ માટે, 4 ફેરાડે વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવાથી 1 મોલ O_2 વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે.

1.2 ફેરાડે વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવાથી $\frac{1.2}{4}$ = 0.3 મોલ O_2 વાયુ ઉત્પન્ન થશે.

સામાન્ય વાયુ સમીકરણ મુજબ, PV = nRT

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{0.3 \times 0.08314 \times 300}{1}$$

= 7.4826 લિટર

કોષની ક્ષમતા 80 % છે. તેથી $\frac{7.4826 \times 80}{100}$ = 5.986 લિટર

દાખલો 17 : સિલ્વર નાઈટ્રેટ ($AgNO_3$)ના જલીય દ્રાવણમાં ગ્રૅફાઈટના ધ્રુવો વચ્ચે 5 ઍમ્પિયરનો વિદ્યુતપ્રવાહ 193 સેકન્ડ માટે પસાર કરતાં 0.972 ગ્રામ Ag મળે છે, તો વિદ્યુતવિભાજન કોષની ક્ષમતા ગણો.

ઉકેલ : પસાર કરેલો વિદ્યુતજથ્થો = I × t

= 5 × 193 = 965 કુલોમ્બ

$$= \frac{5 \times 193}{96500} = 0.01 \text{ ફેરાડે}$$

કૅથોડ : $Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$

પ્રક્રિયા મુજબ, 1 ફેરાડે વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરતાં 1 મોલ Ag મળે. તેથી, 0.01 ફેરાડે વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરતાં 0.01 મોલ Ag મળશે.

∴ Agનું વજન = Agના મોલ × Agનું પરમાણ્વિયદળ મોલ$^{-1}$

= 0.01 મોલ × 108 ગ્રામ મોલ$^{-1}$

= 1.08 ગ્રામ Ag મળે.

આ ગણતરીથી મેળવેલ મૂલ્ય છે, તેથી તેનું સૈદ્ધાંતિક મૂલ્ય ગણવામાં આવે છે. વિદ્યુતવિભાજન દરમિયાન વિદ્યુતવિભાજન કોષમાં 0.972 ગ્રામ Ag છૂટું પડે છે જે પ્રાયોગિક મૂલ્ય બને છે.

$$\text{કોષની ક્ષમતા (ટકામાં)} = \frac{\text{પ્રાયોગિક મૂલ્ય}}{\text{સૈદ્ધાંતિક મૂલ્ય}} \times 100$$

$$= \frac{0.972 \times 100}{1.08}$$

= 90 %

કોષની ક્ષમતા 90 % છે.

3.9 વિદ્યુતવિભાજનથી પ્રાપ્ત થતી નીપજો (Products Obtained by Electrolysis)

ક્ષારોના જલીય દ્રાવણમાં વિદ્યુતવિભાજનથી કઈ નીપજો પ્રાપ્ત થશે તેનો આધાર તે માટે વપરાયેલા વિદ્યુતધ્રુવોની પ્રકૃતિ, દ્રાવણોની સાંદ્રતા અને વિદ્યુતચાલકબળ પર રહેલો છે. આ વિધાનનું સમર્થન કરતાં કેટલાંક ઉદાહરણો નીચે આપ્યાં છે.

3.9.1 NaClનું વિદ્યુતવિભાજન (Electrolysis of NaCl)

(a) પિગાળેલા NaClનું વિદ્યુતવિભાજન (Electrolysis of molten NaCl) : પિગલિત NaClનું વિદ્યુતવિભાજન સ્ટીલના કેથોડ અને ગ્રેફાઇટના ઍનોડ વડે કરતા કેથોડ પર Na ધાતુ અને ઍનોડ પર Cl_2 વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે.

પ્રક્રિયા : $NaCl(l) \rightarrow Na^+(l) + Cl^-(l)$

કેથોડ : $Na^+(l) + e^- \rightarrow Na(s)$

ઍનોડ (ગ્રેફાઇટ) : $Cl^-(l) \rightarrow \frac{1}{2} Cl_2(g) + e^-$

(b) NaClના મંદ જલીય દ્રાવણનું વિદ્યુતવિભાજન (Electrolysis of dilute aqueous solution of NaCl) : NaClના મંદ જલીય દ્રાવણનું વિદ્યુતવિભાજન ગ્રેફાઇટના વિદ્યુતધ્રુવો વડે કરતાં સંપૂર્ણ પ્રક્રિયામાં ફક્ત પાણીનું વિદ્યુતવિભાજન થઈને કેથોડ પર ડાયહાઇડ્રોજન (H_2) વાયુ અને ઍનોડ પર ડાયઑક્સિજન (O_2) વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે. મંદ દ્રાવણમાં Cl^- આયનની સાંદ્રતા ઓછી હોવાથી ઍનોડ ઉપર તેનું ઑક્સિડેશન મુશ્કેલ છે. તેથી Cl_2ને બદલે ડાયઑક્સિજન O_2 મળે છે. તેવી જ રીતે કેથોડ પર $Na^+(aq)$નું રિડક્શન મુશ્કેલ હોવાથી $Na^+(aq)$ને બદલે H_2Oના રિડક્શનથી H_2 વાયુ મળે છે અને $OH^-(aq)$ બને છે.

કેથોડ : $2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$

ઍનોડ : $H_2O(l) \rightarrow \frac{1}{2} O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^-$

કોષ-પ્રક્રિયા : $2H^+(aq) + 2OH^-(aq) \rightarrow 2H_2O(l)$

સંપૂર્ણ પ્રક્રિયા : $H_2O(l) \rightarrow H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g)$

આમ, NaClના મંદ જલીય દ્રાવણનું વિદ્યુતવિભાજન હકીકતમાં પાણીનું વિદ્યુતવિભાજન છે.

(c) NaClના સાંદ્ર જલીય દ્રાવણનું વિદ્યુતવિભાજન (Eletrolysis of Concentrated Solution of NaCl) : NaClના સાંદ્ર જલીય દ્રાવણનું વિદ્યુતવિભાજન ગ્રેફાઇટના વિદ્યુતધ્રુવો વડે કરતાં નીચે પ્રમાણે પ્રક્રિયા થાય છે. સાંદ્ર દ્રાવણમાં Cl^-નું પ્રમાણ વધારે હોવાથી H_2Oને બદલે ઍનોડ પર Cl^- આયનનું ઑક્સિડેશન સરળ છે. આથી Cl_2 વાયુ મળે છે.

કેથોડ : $2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$

ઍનોડ : $2Cl^-(aq) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$

દ્રાવણમાંના $Na^+(aq)$ આયન રિડક્શન પ્રક્રિયા અનુભવતા નથી, કારણ કે H_2Oનું રિડક્શન Na^+ આયનના રિડક્શનની તુલનામાં સરળતાથી થાય છે. તેથી કેથોડ ઉપર H_2 વાયુ મળે છે. આમ, સાંદ્ર NaClના દ્રાવણના વિદ્યુતવિભાજનથી ઍનોડ ઉપર Cl_2 વાયુ, કેથોડ ઉપર H_2 વાયુ મળે છે અને દ્રાવણમાં NaOH ઉત્પન્ન થાય છે. દ્રાવણમાંના Na^+ આયન અને કેથોડ પાસેના OH^- આયન NaOH આપે છે.

ઉપરોક્ત ત્રણેય ઉદાહરણો પરથી ફલિત થાય છે કે એક જ પદાર્થની જલીય દ્રાવણમાં જુદી જુદી સાંદ્રતા તેમજ પિગલિત અવસ્થામાં વિદ્યુતવિભાજનથી જુદી જુદી નીપજો મળે છે.

3.10 Na_2SO_4ના જલીય દ્રાવણનું વિદ્યુતવિભાજન (Electrolysis of Aqueous Solution of Na_2SO_4)

Na_2SO_4ના મંદ જલીય દ્રાવણનું વિદ્યુતવિભાજન ગ્રૅફાઇટના વિદ્યુતધ્રુવો વડે કરતા સંપૂર્ણ પ્રક્રિયામાં ફક્ત પાણીનું વિદ્યુતવિભાજન થઈને ઍનોડ ઉપર O_2 વાયુ અને કૅથોડ ઉપર H_2 વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે. H_2Oની તુલનામાં Na^+ આયનનું રિડક્શન અને SO_4^{2-} આયનનું ઑક્સિડેશન મુશ્કેલ હોવાથી આ આયનો પ્રક્રિયા અનુભવતા નથી.

કૅથોડ : $2H_2O\ (l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$

ઍનોડ : $H_2O(l) \rightarrow \frac{1}{2}O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^-$

કોષ-પ્રક્રિયા : $2H^+(aq) + 2OH^-(aq) \rightarrow 2H_2O(l)$

સંપૂર્ણ પ્રક્રિયા : $H_2O(l) \rightarrow H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$

3.11 $CuSO_4$ના જલીય દ્રાવણનું વિદ્યુતવિભાજન (Electrolysis of Aqueous Solution of $CuSO_4$)

(a) જો $CuSO_4$ના જલીય દ્રાવણનું વિદ્યુતવિભાજન કૉપરના વિદ્યુતધ્રુવો દ્વારા કરવામાં આવે, તો રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં એકંદરે ઍનોડનો કૉપર કૅથોડ ઉપર જમા થાય છે. કૉપરના વિદ્યુતધ્રુવ (ઍનોડ) સક્રિય હોવાથી વિદ્યુતવિભાજન દરમિયાન તે ઑક્સિડેશન પ્રક્રિયા અનુભવે છે.

કૅથોડ (કૉપર) : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

ઍનોડ (કૉપર) : $Cu(s) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$

સંપૂર્ણ પ્રક્રિયા : Cu(s)(ઍનોડ) $\rightarrow$ Cu(s)(કૅથોડ)

અહીં, જેમ જેમ પ્રક્રિયા આગળ વધે છે તેમ તેમ કૉપર ઍનોડનું વજન ઘટતું જાય છે કારણ કે કૉપરના ઍનોડ સક્રિય ધ્રુવ હોવાથી ઑક્સિડેશન-પ્રક્રિયા અનુભવીને Cu^{2+} ઉત્પન્ન કરે છે. દ્રાવણમાંના Cu^{2+} આયનો રિડક્શન-પ્રક્રિયા અનુભવીને કૉપર ધાતુ Cu(s) કૅથોડ પર જમા થાય છે, તેથી કૅથોડનું વજન વધતું જાય છે. અશુદ્ધ કૉપરને ઍનોડ બનાવી યોગ્ય વિદ્યુતદબાણે વિદ્યુતવિભાજન કરતાં જે અશુદ્ધિઓ ઑક્સિડેશન અનુભવતી નથી તે દ્રાવણમાં રહી જાય છે. કૉપરના ધાતુકર્મમાં અશુદ્ધ કૉપરના ઍનોડમાં રહેલી Au, Pt જેવી નિષ્ક્રિય ધાતુઓ કે જે ઑક્સિડેશન અનુભવતી નથી તે ઍનોડમાંથી મુક્ત થઈને કોષને તળિયે જમા થાય છે તેને ઍનોડ પંક (Anode mud) કહે છે.

(b) જો $CuSO_4$ના જલીય દ્રાવણનું વિદ્યુતવિભાજન પ્લેટિનમ કે ગ્રૅફાઇટના નિષ્ક્રિય વિદ્યુતધ્રુવો વડે કરવામાં આવે, તો નીચે પ્રમાણે પ્રક્રિયાઓ થાય છે :

કૅથોડ : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

ઍનોડ : $H_2O(l) \rightarrow 2H^+(aq) + \frac{1}{2}O_2(g) + 2e^-$

દ્રાવણમાંના SO_4^{2-}નું ઑક્સિડેશન H_2Oની તુલનામાં મુશ્કેલ હોવાથી H_2Oનું ઑક્સિડેશન થઈ $H^+(aq)$ અને O_2 વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે. દ્રાવણમાંથી $Cu^{2+}(aq)$નું રિડક્શન થતાં તેનું સ્થાન $H^+(aq)$ લે છે. આ વિદ્યુતવિભાજનમાં કૅથોડ પર કૉપર ધાતુ જમા થાય છે. ઍનોડ પર O_2 વાયુ મળે છે અને દ્રાવણમાં H_2SO_4 ઉત્પન્ન થાય છે.

ઉદ્યોગોમાં વિદ્યુતવિભાજન ખૂબ જ મહત્ત્વની પ્રક્રિયા હોવાથી Na, Ag, Al જેવી ધાતુઓનું ઉત્પાદન, NaOH, KOHનું ઉત્પાદન અને Cu, Ag, Au, જેવી ધાતુઓનું શુદ્ધિકરણ વિદ્યુતવિભાજનથી કરવામાં આવે છે. ધાતુઓના ઢોળ ચઢાવવામાં (electroplating) પણ વિદ્યુતવિભાજન પ્રક્રિયાનો ઉપયોગ થાય છે.

3.12 ગીબ્સની મુક્તઊર્જા અને કોષ પોટેન્શિયલ (Gibbs' Free Energy and Cell Potential)

ઉષ્માગતિશાસ્ત્રમાં ગીબ્સની મુક્તઊર્જા (G) વિશે જરૂરી માહિતી મેળવી. તેમાં વિગતવાર જોયું કે આપમેળે થતી પ્રક્રિયાઓમાં પ્રણાલીની મુક્તઊર્જા ઘટે છે. એટલે કે મુક્તઊર્જાનો ફેરફાર ઋણ બને છે. વિદ્યુતરાસાયણિક કોષના વિદ્યુતધ્રુવોને જોડતા તેના પર આપમેળે રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ માટે ΔGનું મૂલ્ય ઋણ હોય છે. જો કોષનો પોટેન્શિયલ E_{Cell} હોય અને કોષમાંથી n ફેરાડે વિદ્યુત મેળવવામાં આવે તો, $\Delta G = -nFE_{Cell}$

જેમાં, F ફેરાડે અચળાંક છે. પ્રમાણિત કોષ માટે ઉપરોક્ત સમીકરણ આ પ્રમાણે લખાય :

$\Delta G^0 = -nFE^0_{Cell}$

જો ઉત્પન્ન થતી વિદ્યુતશક્તિ સંપૂર્ણપણે વિદ્યુતકાર્યમાં રૂપાંતરિત થતી હોય તો,

$\Delta G = W_{electrical} = -\ nFE_{Cell}$

આમ, મુક્ત શક્તિ ફેરફાર વિદ્યુતીય કાર્યને સમકક્ષ થાય છે.

દાખલો 18 : વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાં નીચે આપેલી રાસાયણિક પ્રક્રિયાથી વિદ્યુતપ્રવાહ ઉત્પન્ન થાય છે.

$Fe(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + Cu(s)$

જો પ્રમાણિત વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાંથી 0.85 ફેરાડે વિદ્યુત પ્રાપ્ત કરવામાં આવે, તો તેનાથી કેટલું મહત્તમ કાર્ય થઈ શકે ? આ કોષનો પ્રમાણિત કોષ પોટેન્શિયલ 0.78 વૉલ્ટ છે.

ઉકેલ : મહત્તમ વિદ્યુતકાર્ય $W_{electrical} = \Delta G^0 = -\ nFE^0cell$

$= -\ 0.85 \times 96500 \times 0.78$

$= -\ 63979.50$ કુલોમ્બ વૉલ્ટ

$= -\ 6.398 \times 10^4$ જૂલ [1 કુલોમ્બ વૉલ્ટ = 1 જૂલ]

કોષની પ્રક્રિયાઓના સંતુલન અચળાંક પ્રમાણિત કોષ-પોટેન્શિયલના મૂલ્યના આધારે શોધી શકાય છે. આ માટે નીચેનો દાખલો જોઈએ :

દાખલો 19 : 298 K તાપમાને ડેનિયલ કોષ માટે નીચે આપેલી પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક અને મુક્તશક્તિ ફેરફાર ગણો.

$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$ (F = 96500 કુલોમ્બ)

કોષ માટે પોટેન્શિયલ = 1.1 વૉલ્ટ

ઉકેલ : આ પ્રક્રિયા માટે n = 2 છે.

$$\Delta G^0 = -\ nFE^0_{Cell} = -\ RT\,ln k = -\ 2.303RT\log k$$

$$\log K = \frac{nFE^0_{Cell}}{2.303RT}$$

$$= \frac{2 \times 96500 \times 1.1}{2.303 \times 8.314 \times 298}$$

$$\log K = 37.2074$$

$$K = 1.61 \times 10^{37}$$

$\Delta G^0 = -\ nFE^0_{Cell} = -\ 2 \times 96500 \times 1.1$ કુલોમ્બ વૉલ્ટ

$= -\ 212300.0$ જૂલ $= -\ 2.123 \times 10^5$ જૂલ

3.13 વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ અને વિદ્યુતવિભાજન કોષ વચ્ચેનો તફાવત

વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ અને વિદ્યુતવિભાજન કોષ વચ્ચેનો તફાવત નીચેના મુદ્દાઓથી સમજી શકાય છે :

વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ	વિદ્યુતવિભાજન કોષ
(1) આ કોષમાં રાસાયણિકઊર્જાનું વિદ્યુતઊર્જામાં રૂપાંતર થાય છે.	(1) આ કોષમાં વિદ્યુતઊર્જાનું રાસાયણિકઊર્જામાં રૂપાંતર થાય છે.
(2) રેડોક્ષ-પ્રક્રિયા આપમેળે થવાથી વિદ્યુતઊર્જા ઉત્પન્ન થાય છે.	(2) રેડોક્ષ-પ્રક્રિયા આપમેળે નથી થતી વિદ્યુતઊર્જા આપવી પડે છે.
(3) બે વિદ્યુતધ્રુવ સામાન્ય રીતે જુદા જુદા પાત્રમાં હોય છે.	(3) બંને વિદ્યુતધ્રુવ એક જ પાત્રમાં વિદ્યુતવિભાજ્યના દ્રાવણમાં કે પિગલિત ક્ષારમાં ડૂબાડેલા હોય છે.
(4) જે વિદ્યુતધ્રુવ ઉપર રિડક્શન થાય છે તેને કૅથોડ કહે છે અને જે વિદ્યુતધ્રુવ પર ઑક્સિડેશન થાય છે તેને ઍનોડ કહે છે.	(4) જે વિદ્યુતધ્રુવ બૅટરીના ધનધ્રુવ સાથે જોડવામાં આવે છે તેને ઍનોડ કહે છે. ત્યાં ઑક્સિડેશન થાય છે અને તેવી જ રીતે બૅટરીના ઋણધ્રુવ સાથે જોડેલા વિદ્યુતધ્રુવને કૅથોડ કહે છે. ત્યાં રિડક્શન થાય છે.
(5) આ કોષની રચનામાં ક્ષારસેતુની જરૂર પડે છે.	(5) આ કોષની રચનામાં ક્ષારસેતુની જરૂર પડતી નથી.
(6) દા.ત., ડૅનિયલ કોષ, ગૅલ્વેનિક કોષ, સંગ્રાહક કોષ	(6) દા.ત. ઇલેક્ટ્રૉપ્લેટિંગ, ધાતુના શુદ્ધિકરણમાં

3.14 ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન માટે વિદ્યુતવિભાજન (Electrolysis For Industrial Products)

કોષ્ટક 3.3માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે પદાર્થોનું વિદ્યુતવિભાજન કરતાં કૅથોડ અને ઍનોડ ઉપર અગત્યના રસાયણ પ્રાપ્ત થાય છે.

કોષ્ટક 3.3

ક્રમ	વિદ્યુતવિભાજન	કૅથોડ	ઍનોડ
1.	NaCl (પિગલિત)	Na	Cl_2
2.	NaCl (સાંદ્ર દ્રાવણ)	H_2, દ્રાવણમાં NaOH	Cl_2
3.	NaCl (મંદ દ્રાવણ)	H_2	O_2
4.	Al_2O_3	Al	O_2, CO_2
5.	KHF_2 નિર્જળ HFમાં	H_2	F_2

3.15 વિદ્યુતીય વહન (Electrical Conduction)

વિદ્યુતીય વહનની દૃષ્ટિએ ઘન અથવા પ્રવાહી પદાર્થો બે પ્રકારના હોય છે.

ઘન અથવા પ્રવાહી પદાર્થો કે જે વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન કરે તેવા પદાર્થોને વાહક પદાર્થો અને જેમાંથી વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન થતું નથી તેવા પદાર્થોને અવાહક પદાર્થો કહે છે.

સામાન્ય રીતે વાહક પદાર્થોના બે પ્રકાર જોવા મળે છે : (1) ધાત્વિક વાહકો અને (2) વિદ્યુતવિભાજ્યના દ્રાવણો દ્વારા થતું વિદ્યુતવહન.

(1) ધાત્વિક વાહકો (Metallic conductors) : ધાતુઓ તેમજ મિશ્ર ધાતુઓ વિદ્યુતવાહક પદાર્થો છે. આમાં વિદ્યુતનું વહન ધાતુ પરમાણુઓની બાહ્ય કક્ષામાં રહેલા સ્થાનાંતરિત (Delocalised) ઇલેક્ટ્રૉન દ્વારા થાય છે. વિદ્યુતવહન દરમિયાન આ પદાર્થોમાં રાસાયણિક ફેરફાર થતો નથી પરંતુ ભૌતિક ફેરફારમાં તેના તાપમાનમાં વધારો થાય છે.

(2) વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવણો દ્વારા થતું વિદ્યુતવહન : જે પદાર્થો પાણીમાં આયનીકરણ દ્વારા આયનો મુક્ત કરે તે પદાર્થોને વિદ્યુતવિભાજ્ય પદાર્થો કહે છે અને આવાં દ્રાવણોને વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવણો કહે છે. ઍસિડ, બેઇઝ તેમજ ક્ષારના જલીય દ્રાવણોમાં વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવાથી તેમાં આયનો દ્વારા વિદ્યુતવહન થાય છે. વિદ્યુતવિભાજ્ય પદાર્થોનાં દ્રાવણોમાં વિદ્યુતીય વાહકતા (Electrical conduction) સમજવા માટે વિદ્યુતીય અવરોધ (Electrical resistance)નો ખ્યાલ મેળવવો જોઈએ.

વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવણોમાં રહેલા આયનોના અવરોધને કારણે તેમાં વિદ્યુતનું વહન ઓછા પ્રમાણમાં થાય છે. આયનોનો અવરોધ વધારે તો વિદ્યુતનું વહન ઓછા પ્રમાણમાં અને આયનોનો અવરોધ ઓછો તો વિદ્યુતનું વહન વધારે પ્રમાણમાં થાય છે. વિદ્યુતીય અવરોધને R વડે દર્શાવવામાં આવે છે. તેનું માપન વ્હીસ્ટન બ્રિજ વડે કરવામાં આવે છે.

કોઈ પણ એકસરખા વાહકનો અવરોધ તેની લંબાઈ (l)ના સમપ્રમાણમાં અને તેના આડછેદના ક્ષેત્રફળ (A)ના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે.

$$R \propto \frac{l}{A}$$

$R = \rho \frac{l}{A}$ જ્યાં, R = અવરોધ, l = લંબાઈ, A = આડછેદનું ક્ષેત્રફળ, ρ = સમપ્રમાણતા અચળાંક

સમપ્રમાણતા અચળાંક ρને અવરોધકતા (resistivity) / વિશિષ્ટ અવરોધ (specific resistance) કહેવામાં આવે છે. અવરોધકતા (resistivity)નો SI એકમ ઓહ્મ મીટર (Ω m) છે પરંતુ મોટા ભાગે તે ઓહ્મ સેમી (Ω cm) એકમમાં ઉપયોગમાં લેવામાં આવે છે.

3.16 અવરોધકતા (વિશિષ્ટ અવરોધ) (Resistivity (Specific Resistance))

એકમ લંબાઈ 1 મીટર અને એકમ આડછેદનું ક્ષેત્રફળ એક ચોરસ મીટર ધરાવતા વાહકના અવરોધને તેની **અવરોધકતા (વિશિષ્ટ અવરોધ)** કહે છે.

1 Ω મીટર = 100 Ω સેમી અથવા 1 Ω સેમી = 0.01 Ω મીટર

વાહકતા : અવરોધ Rના વ્યસ્તને **વાહકતા G** કહેવામાં આવે છે.

$G = \frac{1}{R} = \frac{A}{\rho \cdot l} = K\frac{A}{l}$ જ્યાં, $K = \frac{1}{\rho}$ છે. $K = G \cdot \frac{l}{A}$

વાહકતાને SI એકમ **સિમેન્સ (Siemens)S** વડે દર્શાવવામાં આવે છે. તેને ઓહ્મ$^{-1}$ (ohm^{-1} અથવા Ω^{-1} અથવા મ્હો (mho અથવા ℧) તરીકે દર્શાવાય છે.

વિશિષ્ટ વાહકતા (Specific conductivity) : અવરોધકતાના વ્યસ્તને વિશિષ્ટ વાહકતા કહેવામાં આવે છે. IUPAC દ્વારા હવે એવું સ્વીકારાયું છે કે વિશિષ્ટ વાહકતાને વાહકતા તરીકે સ્વીકારવી. આથી વિશિષ્ટ વાહકતાને બદલે વાહકતા શબ્દ વાપરવામાં આવે છે. વાહકતાના સૂત્રમાં $\frac{l}{A}$નું મૂલ્ય વાહકતા માપવાના સાધન વાહકતા કોષનો અચળાંક હોય છે. તેનું મૂલ્ય $\frac{l}{A}$થી નક્કી કરી શકાય અથવા રસાયણવિજ્ઞાનનો ઉપયોગ કરી જ્ઞાત સાંદ્રતાવાળા KCl જેવા વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્વારા પ્રયોગના તાપમાને તેની વાહકતા માપી સાહિત્યમાંથી તેનું મૂલ્ય મેળવી નક્કી કરી શકાય છે. મળેલી વાહકતા Gને **કોષ અચળાંક (cell constant)** વડે ગુણવાથી વિશિષ્ટ વાહકતા મળે છે, જેને ગ્રીક અક્ષર કપ્પા (kappa) K તરીકે દર્શાવાય છે.

વિશિષ્ટ વાહકતા K = મળેલી વાહકતા G × કોષ અચળાંક

વિશિષ્ટ વાહકતાનો SI એકમ S m^{-1} અથવા S cm^{-1} છે. એકમ લંબાઈ 1 મીટર અને એકમ આડછેદનું ક્ષેત્રફળ 1 ચોરસ મીટર ધરાવતા વાહકની વાહકતા Sm^{-1} છે. 1 S cm^{-1} = 0.01 S m^{-1}

કોષ્ટક 3.4 298.15 કેલ્વિન તાપમાને કેટલાક પદાર્થોની વાહકતાનાં મૂલ્યો

પદાર્થ	વાહકતા S m^{-1}	પદાર્થ	વાહકતા S m^{-1}
વાહક		**જલીય દ્રાવણો**	
સોડિયમ	2.1×10^3	શુદ્ધ પાણી	3.5×10^{-5}
કૉપર	5.9×10^3	0.1 M HCl	3.91
સિલ્વર	6.2×10^3	0.1 M KCl	0.14
ગોલ્ડ	4.5×10^3	0.1 M NaCl	0.12
આયર્ન	1.0×10^3	0.1 M CH_3COOH	0.047
ગ્રેફાઇટ	1.2×10	0.01 M CH_3COOH	0.016
અવાહક		**અર્ધવાહક**	
કાચ	1.0×10^{-16}	CuO	1×10^{-7}
ટેફલોન	1.0×10^{-18}	Si	1.5×10^{-2}
		Ge	2.0

ઉપરના કોષ્ટક 3.4 પરથી સ્પષ્ટ થાય છે કે, જુદા જુદા પદાર્થોના વાહકતા મૂલ્યો વચ્ચે ઘણો મોટો તફાવત હોય છે. તેનો આધાર પદાર્થની લાક્ષણિકતાઓ પર રહે છે. તાપમાન અને દબાણ પણ પદાર્થોની વાહકતાના માપન પર અસર કરતાં પરિબળો છે.

વાહક પદાર્થોનું વર્ગીકરણ તેમની વાહકતાના મૂલ્યની માત્રા (magnitude)ના આધારે નીચે પ્રમાણે કરવામાં આવે છે :

(1) સુવાહક : ધાતુઓ અને મિશ્ર ધાતુઓની વાહકતા વધુ હોવાથી તેને સુવાહક કહેવામાં આવે છે. કેટલાક અધાત્વિય પદાર્થો જેવા કે ગ્રેફાઇટ, કાર્બનિક બહુલકો (organic polymers) સુવાહકો છે.

(2) અવાહક : કાચ તેમજ સિરામિક પદાર્થોની વાહકતા અતિઅલ્પ પ્રમાણમાં હોવાથી આ પદાર્થોને અવાહક પદાર્થો કહેવામાં આવે છે.

(3) અર્ધવાહકો : જે પદાર્થોની વાહકતાના મૂલ્યો સુવાહકો અને અવાહક પદાર્થોની વાહકતાનાં મૂલ્યો વચ્ચેના હોય તે પદાથો અર્ધવાહકો તરીકે જાણીતા છે. સિલિકોન, જર્મેનિયમ, ગેલિયમ આર્સેનાઇડ વગેરે અર્ધવાહકો છે.

કેટલાક પદાર્થોની અવરોધકતા શૂન્ય હોય છે અને તેની વાહકતા ખૂબ જ વધારે હોય તેને અતિસુવાહકો (Superconductors) કહેવામાં આવે છે. અગાઉ ધાતુઓ અને મિશ્ર ધાતુઓ નીચા તાપમાને (0થી 15 K) અતિસુવાહકો તરીકે ગણાતી હતી. પરંતુ ઊંચા તાપમાને (150 K) ઘણા બધા સિરામિક પદાર્થો અને મિશ્રિત ઑક્સાઇડ અતિસુવાહકો તરીકે જાણીતા છે.

ધાતુઓ દ્વારા થતા વિદ્યુતવહનને ધાત્વિક અથવા ઇલેક્ટ્રૉનીય વહન કહેવામાં આવે છે. તે ઇલેક્ટ્રૉનના સ્થળાંતર દ્વારા થાય છે. ઇલેક્ટ્રૉનીય વાહકતા નીચેનાં પરિબળો પર આધાર રાખે છે :

(1) ધાતુનું બંધારણ અને તેની લાક્ષણિકતાઓ

(2) ધાતુ પરમાણુના સંયોજકતા કોષમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા

(3) તાપમાનમાં વધારો કરવાથી ધાતુની વિદ્યુતવાહકતા ઘટે છે.

વિદ્યુતવહન દરમિયાન ધાતુના બંધારણમાં કોઈ ફેરફાર થતો નથી.

3.17 આયનીય વહનશીલતા (Ionic Mobility)

શુદ્ધ પાણીમાં હાઇડ્રોજન અને હાઇડ્રોક્સિલ આયનોનું પ્રમાણ અતિઅલ્પ 10^{-7} M હોય છે. તેથી પાણી મંદવાહક તરીકે ઓળખાય છે. (વાહકતા = 3.5×10^{-5} S m^{-1})

જ્યારે વિદ્યુતવિભાજ્ય પદાર્થને પાણીમાં ઓગાળતાં તેનું આયનીકરણ થવાથી દ્રાવણની વાહકતા વધે છે. દ્રાવણની વાહકતા મુખ્યત્વે દ્રાવણમાં રહેલા આયનોને કારણે હોય છે. આ પ્રકારની વાહકતાને આયનીય વાહકતા કહે છે. આયનીય વાહકતનો આધાર નીચેનાં પરિબળો પર રહેલો છે :

- ઉમેરેલા વિદ્યુતવિભાજ્યની પ્રકૃતિ (nature)
- ઉત્પન્ન થયેલા આયનોના કદ અને તેમનું જલીયકરણ
- દ્રાવકની પ્રકૃતિ અને તેની સ્નિગ્ધતા (viscosity)
- વિદ્યુતવિભાજ્યની સાંદ્રતા
- તાપમાન

આયનીય દ્રાવણોમાં વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરતાં વીજરાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ થવાથી દ્રાવણના બંધારણમાં ફેરફાર થાય છે.

મોલરવાહકતા (Molar conductivity) : જુદા જુદા વિદ્યુતવિભાજ્યના એક જ દ્રાવકમાં બનાવેલાં અલગ અલગ દ્રાવણોની વાહકતા એક જ તાપમાને અલગ અલગ હોય છે. આમ થવાનું કારણ ઉત્પન્ન થયેલા આયનોનો વીજભાર તેમજ આયનોના કદ છે. વિદ્યુતવિભાજ્યોની સાંદ્રતા અને વિદ્યુતદબાણની અસર નીચે આયનોનું થતું સ્થાનાંતરણ પણ અલગ અલગ વાહકતા માટે જવાબદાર છે. આથી આવાં દ્રાવણોની વાહકતા મોલર વાહકતા વડે દર્શાવવી વધુ અર્થસભર રહે છે.

મોલરવાહકતા $\wedge_m$ (ગ્રીક અક્ષર લેમ્ડા) વડે દર્શાવવામાં આવે છે.

મોલરવાહકતા $\wedge_m = \dfrac{K \times 1000}{C}$

જ્યાં, K = કપ્પા (kappa) વિશિષ્ટ વાહકતા અને C = દ્રાવણની સાંદ્રતા મોલારિટી એકમમાં

મોલરવાહકતાનો એકમ મ્હો સેમી^{2} મોલ$^{-1}$ છે. જો દ્રાવણની સાંદ્રતા નૉર્માલિટી અથવા ગ્રામ તુલ્યભારમાં લેવામાં આવે, તો તુલ્યવાહકતાનો એકમ મ્હો સેમી^{2} ગ્રામતુલ્ય$^{-1}$ થશે.

દ્રાવણની સાંદ્રતાના ફેરફારો સાથે તેની વાહકતામાં થતાં ફેરફારો : દ્રાવણમાં ઓગાળેલા વિદ્યુતવિભાજ્યની સાંદ્રતામાં ફેરફાર થવાથી દ્રાવણની વાહકતા તેમજ તેની મોલરવાહકતામાં ફેરફાર થાય છે. નિર્બળ તેમજ પ્રબળ બંને પ્રકારના વિદ્યુતવિભાજ્ય પદાર્થોનાં દ્રાવણોમાં સાંદ્રતા ઘટવાની સાથે દ્રાવણની વાહકતા હંમેશાં વધે છે. દ્રાવણના એકમ કદમાં વીજભારનું વહન કરતા આયનોની સંખ્યા દ્રાવણની સાંદ્રતા ઘટવાથી ઓછી થાય છે. આ હકીકતથી સ્પષ્ટ થાય છે કે દ્રાવણની વાહકતા ઘટે છે.

એકમ આડછેદ ધરાવતાં અને એકમ લંબાઈના અંતરે રહેલા બે પ્લેટિનમ ધ્રુવો વચ્ચે રહેલા એકમ કદ ધરાવતા આપેલી સાંદ્રતાના વિદ્યુતવિભાજ્યના દ્રાવણ વડે થતું વિદ્યુતવહન એ દ્રાવણની વાહકતા છે.

ઉપરની હકીકત નીચેના સૂત્રથી સ્પષ્ટ થશે :

$G = \dfrac{KA}{l} = K$, A અને lના માપ એકમ મીટર અથવા સેમીમાં લેતાં.

આમ, એકમ આડછેદ ધરાવતાં અને એકમ લંબાઈના અંતરે રહેલા બે ધ્રુવ વચ્ચે રહેલા એક મોલ વિદ્યુતવિભાજ્ય ધરાવતા V કદના દ્રાવણની વાહકતાને **મોલરવાહકતા** કહેવામાં આવે છે.

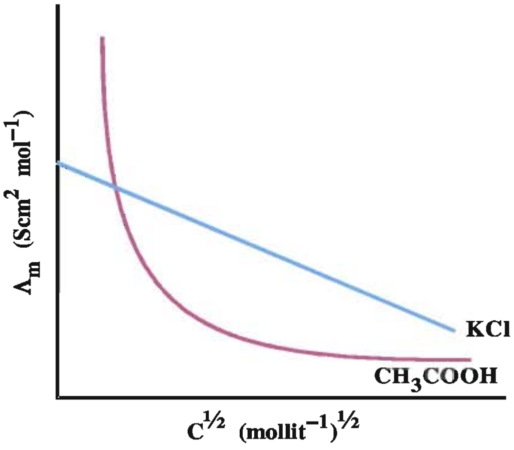
$\Lambda_m = \frac{KA}{l}$ $l = 1$ અને $A = V$ (1 મોલ વિદ્યુતવિભાજ્ય ધરાવતા દ્રાવણનું કદ)

$\therefore \ \Lambda_m = K \cdot V$

જો એક મોલ વિદ્યુતવિભાજ્યના દ્રાવણનું કુલ કદ V વધારવામાં આવે તો દ્રાવણની સાંદ્રતામાં ઘટાડો થવાથી તેની મોલરવાહકતામાં વધારો થાય છે. જ્યારે સાંદ્રતા મૂલ્ય લગભગ શૂન્ય થાય એટલે કે અનંત મંદન પામે ત્યારે મોલરવાહકતાને સીમિત મોલર વાહકતા કહે છે અથવા અનંત મંદને વાહકતા પણ કહે છે. સીમિત મોલર વાહકતાને $\overset{0}{\Lambda}_m$ વડે દર્શાવવામાં આવે છે. જુદા જુદા વિદ્યુતવિભાજ્ય પદાર્થો પાણીમાં જુદી જુદી માત્રામાં આયનીકરણ પામે છે અને આયનોનું પ્રમાણ જુદું જુદું આપે છે, જે વધારે અથવા ઓછું હોય છે. આથી જેનું આયનીકરણ વધુ થઈ વધુ આયનો આપે અને વધારે વાહકતા દર્શાવે તેને પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્ય કહે છે. જેમ કે NaCl, KCl, $MgCl_2$, KNO_3ના જલીય દ્રાવણ જે વિદ્યુતવિભાજ્ય પદાર્થનું જલીય દ્રાવણમાં ઓછું આયનીકરણ થાય, ઓછા આયન આપે અને ઓછી વાહકતા દર્શાવે તેને નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય કહે છે. દા.ત., CH_3COOH, NH_4OH, HCNના જલીય દ્રાવણ.

પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યોની વાહકતા : પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યના દ્રાવણનું મંદન કરતાં તેની વાહકતા Λ_mના મૂલ્યમાં વધારો થાય છે.

$$\Lambda_m = \overset{0}{\Lambda}_m - AC^{\frac{1}{2}}$$



Λ_mનાં મૂલ્યો સાથે $C^{\frac{1}{2}}$નું આલેખન કરવામાં આવે તો આ આલેખ સીધી રેખા મળશે. જેમાં આંતરછેદનું મૂલ્ય $\overset{0}{\Lambda}_m$ થશે અને ઢાળનું મૂલ્ય A થશે. અચળાંક Aનું મૂલ્ય, વિદ્યુતવિભાજ્યનો પ્રકાર (ધન આયન અને ઋણ આયનમાં થતું તેનું વિયોજન), આપેલ દ્રાવક અને તાપમાન પર આધાર રાખે છે. NaCl, KCl, $CaCl_2$ અને $MgCl_2$ વિદ્યુતવિભાજ્ય પદાર્થો અનુક્રમે 1 : 1, 1 : 1, 2 : 1 અને 2 : 1 સંયોજકતા ધરાવતા પદાર્થો પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્ય તરીકે જાણીતા છે. એક જ પ્રકારના તમામ વિદ્યુતવિભાજ્યો માટે Aનાં મૂલ્યો સરખા રહે છે.

નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યોની વાહકતા : મંદન સાથે વાહકતાના ફેરફારનો અભ્યાસ વૈજ્ઞાનિક ઓસવાલ્ડે (Ostwald) કર્યો હતો. પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્ય કરતાં નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય સાંદ્રતાના ઘટાડા સાથે વાહકતામાં વધારો વિશેષ જણાય છે. આ પ્રકારના અભ્યાસને **ઓસવાલ્ડનો મંદનનો નિયમ** કહે છે.

વધુ સાંદ્રતા ધરાવતા ઍસિટિક ઍસિડ જેવા નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યનો વિયોજન અંશ ઘણો ઓછો હોય છે. આવા વિદ્યુતવિભાજ્યો માટે 1 મોલ વિદ્યુતવિભાજ્ય ધરાવતા દ્રાવણનું મંદન કરવાથી તેના કુલ કદમાં થતા વધારાની સાથે તેના વિયોજન અંશમાં વધારો થાય છે. પરિણામે આયનોની સંખ્યામાં વધારો થવાથી તેની **મોલરવાહકતા Λ_m**માં વધારો થાય છે. આલેખ પરથી સ્પષ્ટ થાય છે, કે આવાં દ્રાવણોની અતિ મંદનસ્થિતિએ તેની મોલર વાહકતા આકૃતિમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે વક્રરૂપે વધે છે. આવાં દ્રાવણો માટે Λ_m આલેખને X-અક્ષ તરફ લંબાવવાથી આંતરછેદ મળતો ન હોવાથી અનંત મંદને (સાંદ્રતા લગભગ શૂન્ય) **સીમિત મોલરવાહકતા $\overset{0}{\Lambda}_m$**નું મૂલ્ય મેળવી શકાતું નથી. કોહ્‌લરોશના આયનોના સ્વતંત્ર અભિગમનના સિદ્ધાંત દ્વારા આવા વિદ્યુતવિભાજ્યો માટે સીમિત મોલરવાહકતાનાં મૂલ્યો મેળવી શકાય છે.

નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય માટે આપેલી સાંદ્રતાએ તેનો વિયોજનઅંશ (α) (degree of dissociation) નીચે મુજબ થશે :

$$\text{વિયોજન અંશ } (\alpha) = \frac{\text{આપેલ સાંદ્રતાએ દ્રાવણની મોલર વાહકતા } \Lambda_m}{\text{અનંત મંદને દ્રાવણની સીમિત મોલર વાહકતા } \overset{0}{\Lambda}_m}$$

આપણે જાણીએ છીએ કે, $K = \frac{C\alpha^2}{(1-\alpha)}$ જ્યાં, K = નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યનો વિયોજન અચળાંક, C = દ્રાવણની સાંદ્રતા, α = નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યનો વિયોજન અંશ = $\frac{\Lambda_m}{\overset{0}{\Lambda}_m}$

$$= \frac{C\,\Lambda_m^2}{\overset{0}{\Lambda}_m{}^2\left(1 - \frac{\Lambda_m}{\overset{0}{\Lambda}_m}\right)} = \frac{C\,\Lambda_m^2}{\overset{0}{\Lambda}_m\left(\overset{0}{\Lambda}_m - \Lambda_m\right)}$$

દાખલો 20 : 0.001028 મોલ લિટર$^{-1}$ ઍસિટિક ઍસિડની વાહકતા 4.95×10^{-5} S cm^{-1} છે જો ઍસિટિક ઍસિડની સીમિત મોલર વાહકતા 390.5 S cm^2 mol^{-1} હોય, તો તેનો વિયોજન અચળાંક ગણો.

ઉકેલ : $\Lambda_m = \frac{K}{C} = \frac{4.95 \times 10^{-5} \text{S cm}^{-1}}{0.001028 \text{ mol L}^{-1}} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{\text{L}} = 48.15 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}$

$$\alpha = \frac{\Lambda_m}{\overset{0}{\Lambda}_m} = \frac{48.15 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}}{390.5 \text{ S cm}^2 \text{ mol}^{-1}} = 0.1233$$

$$K_a = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha} = \frac{0.001028 \text{ mol L}^{-1} \times (0.1233)^2}{1 - 0.1233}$$

$$K_a = 1.78 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$$

3.18 કોહ્લરોશનો આયનોના સ્વતંત્ર અભિગમનનો સિદ્ધાંત (Kohlrausch's law of independent migration of ions)

મોલરવાહકતા (Λ_m)નું મૂલ્ય જુદા જુદા વિદ્યુતવિભાજ્ય માટે મેળવી શકાય છે. આ ઉપરાંત સાંદ્રતામાં ફેરફાર સાથે મોલરવાહકતા (Λ_m)નાં મૂલ્યો પણ બદલાશે. અભ્યાસ પરથી જણાયું છે કે, KCl જેવા પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યની જુદી જુદી સાંદ્રતાએ મળેલ મોલરવાહકતા (Λ_m)નો આલેખ સીધી રેખા મળે છે. આ આલેખમાં સીમિત (Limiting) મોલરવાહકતાનાં મૂલ્યોને શૂન્ય સાંદ્રતા (અનંતમંદને) લંબાવતા મળતા આંતર્છેદનું મૂલ્ય એટલે કે અનંતમંદને મોલરવાહકતા ($\overset{0}{\Lambda}_m$) (intercept) મળશે. પરંતુ CH_3COOH જેવા નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યની જુદી જુદી સાંદ્રતાએ મળેલ મોલરવાહકતાનાં મૂલ્યોનો આલેખ સીધી રેખા ન મળતાં વક્ર મળે છે. આથી તેમના આંતર્છેદન સાચા મળતા નથી અને સાચા અનંત મંદને મોલરવાહકતાનાં મૂલ્યો મળતાં નથી.

વૈજ્ઞાનિક કોહ્લરોશે કેટલાક પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યના $\overset{0}{\Lambda}_m$ નાં મૂલ્યોનો અભ્યાસ કર્યો. તેમાં કેટલીક ખાસિયતો જોવા મળી જેમ કે NaX અને KX (X = Cl, Br, I) જેવા પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યોનાં $\overset{0}{\Lambda}_m$ નાં મૂલ્યો વચ્ચેનો તફાવત સરખો આવ્યો. દા.ત.,

$\overset{0}{\Lambda}_m$ KCl $-$ $\overset{0}{\Lambda}_m$ NaCl $=$ $\overset{0}{\Lambda}_m$ KBr $-$ $\overset{0}{\Lambda}_m$ NaBr $=$ $\overset{0}{\Lambda}_m$ KI $-$ $\overset{0}{\Lambda}_m$ NaI $= 23.4$ મ્હો સેમી^{2} મોલ$^{-1}$ એ જ પ્રમાણે,

$\overset{0}{\Lambda}_m$ NaBr $-$ $\overset{0}{\Lambda}_m$ NaCl $=$ $\overset{0}{\Lambda}_m$ KBr $-$ $\overset{0}{\Lambda}_m$ KCl $= 1.8$ મ્હો સેમી^{2} મોલ$^{-1}$ થશે.

આ અભ્યાસ પરથી એમ તારવી શકાય કે પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યની મોલરવાહકતા તેમાં રહેલા ધન આયન અને ઋણ આયનની આયનીય મોલરવાહકતાના સરવાળા બરાબર થાય છે. જેમ કે, $\overset{0}{\Lambda}_m$ NaCl $=$ $\overset{0}{\lambda}_m$ Na^+ $+$ $\overset{0}{\lambda}_m$ Cl^-

જો વિદ્યુતવિભાજ્ય વિયોજનને કારણે ν_+ ધન આયન અને ν_- ઋણ આયન આપે તો, તેમની સીમિત મોલરવાહકતા $\overset{0}{\Lambda}_m = \nu_+ \overset{0}{\lambda}_{m^+} + \nu_- \overset{0}{\lambda}_{m^-}$ લખી શકાય. (જ્યાં, $\overset{0}{\lambda}_{m^+}$ અને $\overset{0}{\lambda}_{m^-}$ અનુક્રમે ધન આયન અને ઋણ આયનની સિમિત મોલરવાહકતા છે.)

આ પરથી, કોહ્લરોશનો નિયમ આ પ્રમાણે લખી શકાય : **'વિદ્યુતવિભાજ્યની અનંત મંદને મોલરવાહકતા ($\overset{0}{\Lambda}_m$)નું મૂલ્ય તેમાં રહેલા ધન આયન અને ઋણ આયનની અનંત મંદને મોલરવાહકતા $\overset{0}{\lambda}_{m^+}$ અને $\overset{0}{\lambda}_{m^-}$ ના મૂલ્યના સરવાળા બરાબર હોય છે.'**

કોહ્લરોશના નિયમની ઉપયોગિતામાં નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યની મોલરવાહકતા, યોગ્ય પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યોની મોલરવાહકતા મેળવી સરવાળો કે બાદબાકી કરી મેળવી શકાય છે. તે નીચેના ઉદાહરણ પરથી સ્પષ્ટ થશે :

ધારો કે નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્ય CH_3COOHની મોલરવાહકતા નક્કી કરવી છે તો CH_3COONa, HCl અને NaCl જેવા પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યોની મોલરવાહકતા નક્કી કરીને ગણતરીથી મેળવી શકાય.

$$\overset{0}{\Lambda}_m CH_3COOH = \overset{0}{\Lambda}_m CH_3COONa + \overset{0}{\Lambda}_m HCl - \overset{0}{\Lambda}_m NaCl$$

કોહ્લરોશ નિયમ પ્રમાણે

$$\overset{0}{\Lambda}_m CH_3COOH = \overset{0}{\lambda}_m CH_3COO^- + \overset{0}{\lambda}_m Na^+ + \overset{0}{\lambda}_m H^+ + \overset{0}{\lambda}_m Cl^- - (\overset{0}{\lambda}_m Na^+ + \overset{0}{\lambda}_m Cl^-)$$

$$= \overset{0}{\lambda}_m CH_3COO^- + \overset{0}{\lambda}_m Na^+ + \overset{0}{\lambda}_m H^+ + \overset{0}{\lambda}_m Cl^- - \overset{0}{\lambda}_m Na^+ - \overset{0}{\lambda}_m Cl^-$$

$$\overset{0}{\Lambda}_m CH_3COOH = \overset{0}{\lambda}_m CH_3COO^- + \overset{0}{\lambda}_m H^+$$

કોષ્ટક 3.5 298 K તાપમાને કેટલાક આયનોની સીમિત મોલરવાહકતા

આયન	$\overset{0}{\lambda}$ (S cm^{2}mol^{-1})	આયન	$\overset{0}{\lambda}$ (S cm^{2}mol^{-1})
H^+	349.6	OH^-	199.1
Na^+	50.1	Cl^-	76.3
Ca^{2+}	119.0	CH_3COO^-	40.9
		Br^{-1}	78.1
Mg^{2+}	106.0	SO_4^{2-}	160.0

દાખલો 21 : $CaCl_2$ અને $MgSO_4$નાં દ્રાવણોની સીમિત મોલરવાહકતા ગણો.

આયન	સીમિત મોલરવાહકતાનાં મૂલ્યો $S\ cm^2\ mol^{-1}$
Ca^{2+}	119.0
Mg^{2+}	106.0
SO_4^{2-}	160.0
Cl^-	76.3

ઉકેલ : કોહ્‌લરોશના સિદ્ધાંત મુજબ

(i) $\overset{0}{\Lambda}_m CaCl_2 = \overset{0}{\lambda} Ca^{2+} + 2\overset{0}{\lambda} Cl^-$

$= 119 + 2\ (76.3)$

$= 271.6\ S\ cm^2\ mol^{-1}$

(ii) $\overset{0}{\Lambda}_m MgSO_4 = \overset{0}{\lambda}_{Mg^{2+}} + \overset{0}{\lambda}_{SO_4^{2-}}$

$= 106.0 + 160.0$

$= 266.0\ Scm^2\ mol^{-1}$

દાખલો 22 : NaCl, HCl અને CH_3COONaની સીમિત મોલરવાહકતા $\overset{0}{\Lambda}_m$નાં મૂલ્યો અનુક્રમે 126.4, 425.9 અને 91.05 $cm^2\ mol^{-1}$ હોય, તો ઍસિટિક ઍસિડની સીમિત મોલરવાહકતાનું મૂલ્ય ગણો.

ઉકેલ : $\overset{0}{\Lambda}_m CH_3COOH = \overset{0}{\lambda} H^+ + \overset{0}{\lambda} CH_3COO^-$

$= \overset{0}{\lambda} H^+ + \overset{0}{\lambda} Cl^- + \overset{0}{\lambda} CH_3COO^- + \overset{0}{\lambda} Na^+ - \overset{0}{\lambda} Cl^- - \overset{0}{\lambda} Na^+$

$= \overset{0}{\Lambda}_m HCl + \overset{0}{\Lambda}_m CH_3COONa - \overset{0}{\Lambda}_m NaCl^-$

$= (425.9 + 91.0 - 126.4) = 390.5\ S\ cm^2\ mol^{-1}$

3.19 બૅટરી (Batteries)

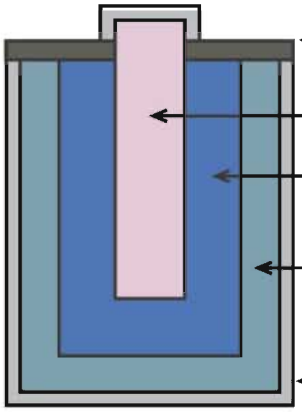
ઔદ્યોગિક કોષ અને બળતણ કોષ (Commercial Cells and Fuel Cells) : કોઈ પણ કોષ વિદ્યુતપ્રવાહ મેળવવાનો એક સ્રોત છે. કોષ (બૅટરી)માં રાસાયણિક પ્રક્રિયા દ્વારા મળતી રાસાયણિકઊર્જાનું વિદ્યુતઊર્જામાં રૂપાંતર થાય છે.

ઔદ્યોગિક વપરાશ માટેના કોષમાં સૂકો કોષ (dry cell), Ni-Cd સંગ્રાહક કોષ (Ni-Cd storage cell), લેડ સંગ્રાહક કોષ (lead storage cell), બળતણ કોષ (fuel cell) વગેરેનો સમાવેશ થાય છે. તેના બે પ્રકાર પાડી શકાય છે : (1) પ્રાથમિક કોષ અને (2) દ્વિતીયક કોષ.

(1) પ્રાથમિક કોષ : લાંબા વપરાશ બાદ મૃત એટલે બિનઉપયોગી બનેલા કોષને પુનઃજીવિત એટલે પુનઃઉત્પાદન કરી શકાય નહિ તેવા પ્રકારના કોષને પ્રાથમિક કોષ કહે છે. દા.ત., સૂકો કોષ.

(2) **દ્વિતીયક કોષ :** પુનઃજીવિત એટલે પુનઃઉત્પાદિત કરી શકાય તેવા પ્રકારના કોષને **દ્વિતીયક કોષ** કહે છે. દા.ત., લેડ સંગ્રાહક કોષ અને Ni-Cd સંગ્રાહક કોષ.

3.19.1 સૂકો કોષ (Dry cell) : આ પ્રકારનો સૂકો કોષ અથવા પ્રાથમિક કોષ સૌપ્રથમ 1867માં ફ્રાન્સના વૈજ્ઞાનિક લેકલેન્શે (Leclanche) બનાવ્યો હોવાથી **તેને લૅકલેન્શે કોષ પણ કહેવાય** છે.



આકૃતિ 3.3 સૂકો કોષ

આ કોષમાં ઝિંક ધાતુના બંધ તળિયાવાળા નળાકારની અંદરની બાજુ પાતળા છિદ્રાળુ કાગળનું અસ્તર લગાડેલું હોય છે. આ નળાકારના મધ્ય ભાગમાં ગ્રૅફાઇટનો સળિયો તળિયાને સ્પર્શે નહિ તે રીતે ગોઠવી તેની આજુબાજુ થોડા પ્રમાણમાં MnO_2 અને કાર્બનના મિશ્રણને ભરી બાકીના નળાકારને NH_4Cl અને $ZnCl_2$ના મિશ્રણની લૂગદીથી ભરી નળાકારનું મોં ગ્રૅફાઇટનો સળિયો સહેજ બહાર રહે તે રીતે ખાસ પ્રકારના મીણથી સીલ કરી દેવામાં આવે છે.

નળાકારની બહારના ભાગ ઉપર જાડા કાગળનું અવાહક પણ ચડાવવામાં આવે છે. જ્યારે ઝિંકના નળાકાર અને ગ્રૅફાઇટના સળિયાને વિદ્યુતવાહક તાર વડે જોડવામાં આવે છે ત્યારે ઝિંક ઍનોડ તરીકે અને MnO_2ના સંપર્કમાં રહેલો ગ્રૅફાઇટનો સળિયો કેથોડ તરીકે વર્તે છે. આ વિદ્યુતધ્રુવો પર થતી પ્રક્રિયાઓ નીચે પ્રમાણે છે :

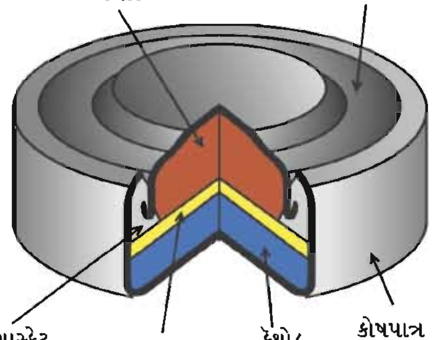
કેથોડ પરની પ્રક્રિયા : $2MnO_2 + 2NH_4^+ + 2e^- \longrightarrow Mn_2O_3 + 2NH_3 + H_2O$

ઍનોડ પરની પ્રક્રિયા : $Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

આકૃતિ 3.4

વાસ્તવમાં કેથોડ પરની પ્રક્રિયાથી મળતી મૅંગેનીઝયુક્ત નીપજ કોષના સતત વપરાશના સમય અને તે વપરાશ વચ્ચેના સમયના ગાળા પર પણ આધાર રાખે છે. આ કોષનો પોટૅન્શિયલ લગભગ 1.5 વૉલ્ટ હોય છે. અહીં Mn(III)નું Mn(IV)માં ઑક્સિડેશન, વિદ્યુતપ્રવાહની દિશા ઊલટાવીને કરી શકાતું નથી. આથી આ કોષ એક વખત મૃત એટલે બિનઉપયોગી થયા બાદ પુનઃજીવિત એટલે પુનઃઉત્પાદિત કરી શકાતો નથી. આથી આ કોષ પ્રાથમિક કોષ તરીકે ઓળખાય છે. સૂકો કોષ એ ખરેખર સૂકો નથી, કારણ કે તેમાં NH_4Cl અને $ZnCl_2$ની ભીની લૂગદી ભરેલી હોય છે. જો કોષ સંપૂર્ણપણે સૂકો હોય તો તેમાં વિદ્યુતનું વહન થઈ શકે નહિ. વધારે વૉલ્ટેજ મેળવવા માટે બે કે તેથી વધારે કોષોને શ્રેણીમાં જોડીને વધારે વૉલ્ટેજ મેળવી શકાય છે. આથી જ, ટૉર્ચ, ટ્રાન્ઝિસ્ટર, રેડિયો અને બીજાં નાનાંમોટાં ઇલેક્ટ્રૉનિક સાધનોમાં સૂકો કોષ વપરાય છે.

(2) **મરક્યુરી કોષ (Mercury cell) :** મરક્યુરી કોષ, ઓછા વિદ્યુતપ્રવાહના ઉત્પાદન માટેનું વ્યવસ્થિત ઉપકરણ (સાધન) છે. તેનો વધુ ઉપયોગ શ્રવણ ઉપકરણોમાં, ઘડિયાળમાં વગેરેમાં થાય છે. તેમાં ઝિંક મરક્યુરી (Zn-Hg)નું આવરણ ઍનોડ સ્વરૂપે અને લૂગદી (HgO) મરક્યુરી ઑક્સાઇડ અને કાર્બન કેથોડ સ્વરૂપે હોય છે. તેમાં વિદ્યુતવાહકીય લૂગદી KOH અને ZnOની બનાવેલી હોય છે. તેનાં વિદ્યુતધ્રુવો પર થતી પ્રક્રિયાઓ કોષમાં નીચે પ્રમાણે છે.



આકૃતિ 3.5 મરક્યુરી કોષ

કૅથોડ પરની પ્રક્રિયા : $HgO + H_2O + 2e^- \rightarrow Hg(l) + 2OH^-$

ઍનોડ પરની પ્રક્રિયા : $Zn(Hg) + 2OH^- \rightarrow ZnO(s) + H_2O + 2e^-$

આ પ્રક્રિયાનું સંપૂર્ણ સમીકરણ નીચે પ્રમાણે થાય :

$Zn(Hg) + HgO(s) \rightarrow ZnO(s) + Hg(l)$

આ કોષનો કોષ પોટૅન્શિયલ લગભગ 1.35 વૉલ્ટ હોય છે અને આ કોષના સંપૂર્ણ આયુષ્ય દરમિયાન સંપૂર્ણ પ્રક્રિયામાં કોઈ પણ આયન ઉત્પન્ન થતા નથી.

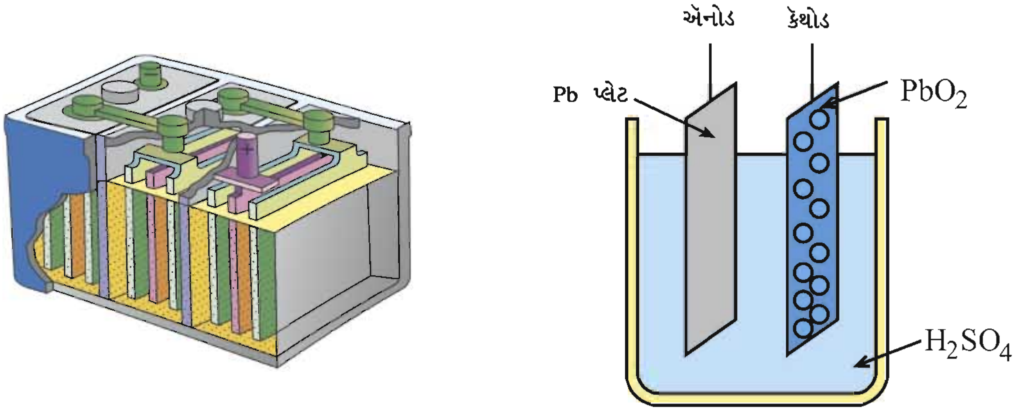
3.19.2 દ્વિતીયક કોષ (Secondary cell) : પુનઃજીવિત એટલે પુનઃઉત્પાદિત કરી શકાય તેવા પ્રકારના કોષને દ્વિતીયક કોષ કહે છે. લેડ-સંગ્રાહક કોષ અને Ni-Cd સંગ્રાહક કોષ દ્વિતીયક કોષ છે.

લેડ સંગ્રાહક કોષ (Lead storage cell) : બે કે તેથી વધારે કોષોને શ્રેણીમાં જોડી વધારે વૉલ્ટેજ મેળવવા જેનું ચાર્જિંગ થઈ શકે છે તેને લેડ સંગ્રાહક કોષ કહે છે.

આ કોષની રચનામાં વાદળી (sponge) જેવા લેડની પ્લેટ અને PbO_2નું અસ્તર લગાડેલી લેડની પાતળી પ્લેટ 38 % (W/W) સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક ઍસિડ ભરેલા પાત્રમાં ડુબાડવામાં આવેલી હોય છે. વિદ્યુતવાહક તાર વડે આ બે પ્લેટોને જોડતાં વિદ્યુતધ્રુવો પર નીચેની ડિસ્ચાર્જિંગ પ્રક્રિયાઓ થઈ વિદ્યુતપ્રવાહ ઉત્પન્ન થાય છે :

કૅથોડ પરની પ્રક્રિયા : $PbO_2(s) + 4H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2e^- \longrightarrow PbSO_4(s) + 2H_2O(l)$

ઍનોડ પરની પ્રક્રિયા : $Pb(s) + SO_4^{2-}(aq) \longrightarrow PbSO_4(s) + 2e^-$



આકૃતિ 3.6 લેડ સંગ્રાહક કોષ

અહીં ઉત્પન્ન થયેલો $PbSO_4$ વિદ્યુતધ્રુવોની સપાટી ઉપર ચોંટેલો રહે છે. આ કોષનો પોટૅન્શિયલ લગભગ 2 વૉલ્ટ હોય છે. કોષ કાર્યરત હોય ત્યારે પ્રક્રિયામાં H_2SO_4ના દ્રાવણની ઘનતા ઘટે છે. શરૂઆતમાં દ્રાવણની ઘનતા 1.25-1.30 ગ્રામ મિલિ$^{-1}$ હોય છે. પરંતુ જ્યારે કોષ વિદ્યુતપ્રવાહ ઉત્પન્ન કરતો બંધ પડે છે ત્યારે દ્રાવણની ઘનતા ઘટીને 1.10-1.15 ગ્રામ મિલિ$^{-1}$ થાય છે. જો કોષને ઊંચું વિદ્યુતદબાણ ધરાવતા અન્ય કોષ સાથે જોડીને વિરુદ્ધ દિશામાં વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે તો વિદ્યુતધ્રુવો ઉપર પ્રતિગામી પ્રક્રિયાઓ થવાથી કોષ પુનઃ વિદ્યુતપ્રવાહ ઉત્પન્ન કરવા સક્ષમ થાય છે. આમ છતાં આ કોષને પુનઃજીવિત કરવા માટેની પદ્ધતિની ક્ષમતા 100 % હોતી નથી. આથી સમયાંતરે કોષમાં 38 % (W/W) સાંદ્રતા ધરાવતું H_2SO_4નું દ્રાવણ ઉમેરવું પડે છે. લાંબા સમયના વપરાશ પછી આ કોષ નિરુપયોગી થઈ જાય છે.

લેડ સંગ્રાહક કોષમાં થતી ચાર્જિંગ પ્રક્રિયાઓ નીચે પ્રમાણે થાય છે :

કૅથોડ : $PbSO_4(s) + 2e^- \rightarrow Pb(s) + SO_4^{2-}(aq)$

ઍનોડ : $PbSO_4(s) + 2H_2O(l) \rightarrow PbO_2(s) + 4H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) + 2e^-$

લેડ સંગ્રાહક કોષના એક જ પાત્રમાં ભરેલા દ્રાવણમાં એકથી વધારે ઍનોડ અને કૅથોડ ડુબાડી તેને શ્રેણીમાં જોડવાથી 2.0 વૉલ્ટથી વધારે પોટૅન્શિયલ મેળવી શકાય છે. કારની બૅટરીમાં છ કોષો જોડી 12 વૉલ્ટ મેળવી શકાય છે. 11થી 12 કોષોને શ્રેણીમાં જોડી 22થી 24 વૉલ્ટ જેટલું વીજદબાણ મેળવી શકાય.

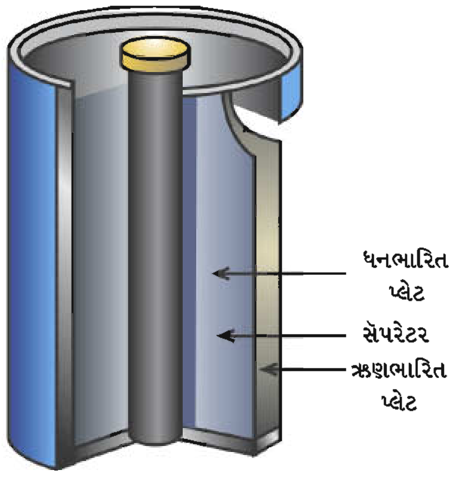
Ni-Cd સંગ્રાહક કોષ / નિકલ-કેડમિયમ સંગ્રાહક કોષ (Ni-Cd Storage Cell) : લેડ સંગ્રાહકકોષની જેમજ અન્ય દ્વિતીયક કોષ તરીકે નિકલ-કેડમિયમ કોષ અગત્યનો છે. જેનું આયુષ્ય લેડ સંગ્રાહક કોષ કરતાં વધારે છે પરંતુ તેનું ઉત્પાદન વધુ ખર્ચાળ છે. આ કોષની કાર્યપદ્ધતિમાં વિદ્યુતધ્રુવની પ્રક્રિયાઓ ચાર્જિંગ અને ડીસ્ચાર્જિંગ હોય છે. ડીસ્ચાર્જિંગની સંપૂર્ણ પ્રક્રિયા નીચે પ્રમાણે છે :

$$Cd(s) + 2Ni(OH)_3(s) \rightarrow CdO(s) + 2Ni(OH)_2(s) + H_2O(l)$$

3.19.3 બળતણ કોષ (Fuel cell) : H_2, CO અથવા મિથેન જેવા બળતણના દહનથી ઉત્પન્ન થતી ઊર્જાનું એક જ તબક્કામાં વિદ્યુતઊર્જામાં રૂપાંતર કરી શકે તેવા કોષને બળતણ કોષ કહે છે. હાઇડ્રોજનનું ઑક્સિડેશન થતાં ગરમી રૂપે ઘણી ઊર્જા ઉત્પન્ન થાય છે.

$$H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l) + 571.70 \text{ kJ}$$

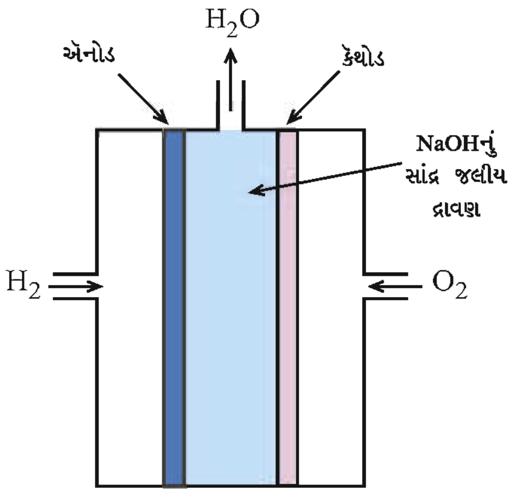
આપણે જાણીએ છીએ કે, બળતણનું દહન કરવાથી ઉષ્મા ઉત્પન્ન થાય છે. સાબરમતી, ગાંધીનગર, વણાકબોરી વગેરે થર્મલ પાવરસ્ટૅશનોમાં મુખ્યત્વે ખનિજ કોલસાનો બળતણ તરીકે ઉપયોગ કરી ઉત્પન્ન થયેલી ઉષ્માથી પાણીનું વરાળમાં રૂપાંતર કરવામાં આવે છે. આ વરાળથી ટર્બાઇન દ્વારા વિદ્યુતનું ઉત્પાદન કરવામાં આવે છે. આ પદ્ધતિથી ઉત્પન્ન થયેલી દહનઊર્જાનું વિદ્યુતશક્તિમાં સૌથી વધુ 35 % જેટલું રૂપાંતર થાય છે એટલે તેની કાર્યક્ષમતા ઘણી ઓછી છે. પરંતુ જો દહનપ્રક્રિયાથી ઉત્પન્ન થતી ઊર્જા સીધેસીધી જ વિદ્યુતરૂપે મળે તો ઊર્જાનો દુર્વ્યય ઘટે છે. બળતણ કોષમાં આ હેતુ સિદ્ધ કરવામાં આવ્યો છે. બળતણ કોષમાં વિવિધ પ્રકારના બળતણનો ઉપયોગ થઈ શકે છે. બળતણ કોષની રજૂઆત સૌપ્રથમ વૈજ્ઞાનિક બેકને કરી હતી.



આકૃતિ 3.7 Ni-Cd સંગ્રહકોષ

હાઇડ્રોજન બળતણ કોષ (Hydrogen fuel cell) : હાઇડ્રોજનનો બળતણ તરીકે ઉપયોગ કરતા કોષની સાદી સમજ આકૃતિ 3.8 દ્વારા આપી છે.

એક પાત્રમાં ઉદ્દીપક સાથેના છિદ્રાળુ કાર્બનના બે પડદા ગોઠવી તેની વચ્ચે NaOHનું સાંદ્ર જલીય દ્રાવણ ભરવામાં આવે છે. આ બંને પડદા નિષ્ક્રિય વિદ્યુતધ્રુવો તરીકેનું કાર્ય કરે છે. ઍનોડ તરીકે વર્તતા વિદ્યુતધ્રુવમાં પ્લેટિનમ અને કૅથોડ તરીકે વર્તતા વિદ્યુતધ્રુવમાં પ્લેટિનમ તથા સિલ્વર ઑક્સાઇડનો મિશ્ર પાઉડર ઉદ્દીપક તરીકે વપરાય છે. ઍનોડમાંથી હાઇડ્રોજન વાયુ અને કૅથોડમાંથી ઑક્સિજન વાયુ પસાર કરતા વિદ્યુતધ્રુવો પર પ્રક્રિયાઓ થવાથી વિદ્યુતપ્રવાહ ઉત્પન્ન થાય છે.



આકૃતિ 3.8 બળતણ કોષ

કેથોડ : $O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)$

ઍનોડ : $2H_2(g) + 4OH^-(aq) \rightarrow 4H_2O(l) + 4e^-$

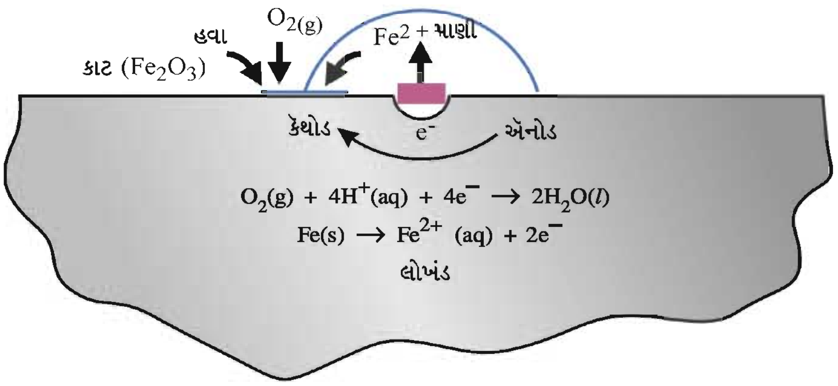
કોષ-પ્રક્રિયા : $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l) + 571.7 \text{ kJ}$

સૈદ્ધાંતિક દૃષ્ટિએ આ પ્રકારના કોષની વિદ્યુત ઉત્પાદન-ક્ષમતા 100 % હોય એવી અપેક્ષા રાખી શકાય છે. પરંતુ વાસ્તવિકપણે પ્રાપ્ત થતી ક્ષમતા લગભગ 70–75 % જેટલી હોય છે. આ કોષનો પોટૅન્શિયલ લગભગ 1.23 વૉલ્ટ હોય છે.

ફાયદાઓ : બીજા કોષોની સરખામણીમાં બળતણ કોષના અનેક ફાયદા છે. બળતણ કોષથી હવાનું પ્રદૂષણ થતું નથી. વધુમાં તે અવાજ ઉત્પન્ન કરતો નથી અને થર્મલ પાવર સ્ટેશનના વીજઉત્પાદનની સરખામણીમાં ખૂબ ઊંચી ક્ષમતા ધરાવે છે. અમેરિકાના વૈજ્ઞાનિકોએ અવકાશીય ઍપોલો પોગ્રામમાં અવકાશયાનમાં આ પ્રકારના કોષનો ઉપયોગ કર્યો હતો. તદ્દુપરાંત કોષની પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉત્પન્ન થતી પાણીની બાષ્પને ઠંડી પાડી મળતા પાણીનો ઉપયોગ પીવા માટે થયો હતો. હાલમાં પરદેશમાં આવા બળતણ કોષોનો ઉપયોગ વધતો જાય છે.

3.20 ક્ષારણ (Corrosion)

હવાના સંપર્કમાં રહેલી કેટલીક ધાતુઓનું ધીમે ધીમે ક્ષારણ થાય છે. લોખંડ ઉપર કાટ ચઢે છે. તાંબા અને પિત્તળનાં વાસણો ઉપર લીલા રંગનો ક્ષાર ઉત્પન્ન થાય છે. ચાંદીનો ચળકાટ પણ ઝાંખો પડે છે. આમ થવાનું કારણ આ ધાતુઓની સપાટી પર ધાતુ અને હવાના ઑક્સિજન વચ્ચે થતી રાસાયણિક પ્રક્રિયા છે. વાસ્તવિક પ્રક્રિયાઓ કંઈક અંશે અટપટી છે. તેમ છતાં અહીં લોખંડ સાથે થતી પ્રક્રિયા નીચેના ઉદાહરણ દ્વારા સમજીશું :



આકૃતિ 3.9 લોખંડના ક્ષારણની પ્રક્રિયા

લોખંડના સળિયા કે પાત્રમાં આયર્નમાં પરમાણુઓની ગોઠવણી સંપૂર્ણપણે નિયમિત કદાપિ હોઈ શકે નહિ જેમકે સળિયામાં જ્યાં સહેજ વળાંક હોય ત્યાં આગળ તેની સ્ફટિક રચના અતિસૂક્ષ્મ પ્રમાણમાં અવ્યવસ્થિતપણે ગોઠવાયેલી હોય છે. તદ્દુપરાંત તેની સ્ફટિક જાળીરચના પણ ક્ષતિયુક્ત હોય છે. વધુમાં આયર્નમાં કૉપર જેવી અન્ય ધાતુની અશુદ્ધિ પણ અતિઅલ્પ માત્રામાં હોય છે.

આ અતિસૂક્ષ્મ સપાટી સક્રિય હોવાથી આ સપાટીઓમાંના પરમાણુઓ ખૂબ સરળતાથી ઇલેક્ટ્રૉન ગુમાવીને ધન આયનમાં રૂપાંતર પામી શકે છે. આથી લોખંડના વળાંક આગળની સપાટી ઉપરના આયર્નના પરમાણુઓ ઑક્સિડેશન પ્રક્રિયા અનુભવે છે.

$Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + 2e^-$ ઑક્સિડેશન

આ પ્રક્રિયા થવા માટે જરૂરી પાણીના અણુઓ હવામાંના ભેજ દ્વારા મળે છે. આથી વળાંક આગળની સપાટી ઍનોડ તરીકે વર્તે છે. ઉત્પન્ન થયેલા ઇલેક્ટ્રૉનનું વહન આયર્નના સળિયા દ્વારા થાય છે અને તે સપાટી પરના એવા

બિંદુએ પહોંચે છે કે જ્યાં તેની હાજરીમાં હવામાંનો ઑક્સિજન રિડક્શન પ્રક્રિયા કરે છે. આ બિંદુ કૅથોડ તરીકે વર્તવાથી નીચેની પ્રક્રિયા થાય છે :

$$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l) \text{ (રિડક્શન)}$$

આ પ્રક્રિયા માટે જરૂરી H^+ આયર્નના સળિયાની સપાટીને લાગેલા ભેજમાં ઓગળેલા કાર્બન ડાયૉક્સાઇડથી ઉત્પન્ન થયેલા H_2CO_3ના વિયોજનથી મળી રહે છે. આ રીતે એક પ્રકારનો વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ લોખંડના સળિયાની સપાટી ઉપર રચાવાથી તે ઍનોડ તરીકે વર્તે છે. તે બિંદુએથી કાટ લાગવાની પ્રક્રિયા શરૂ થાય છે. ઑક્સિડેશનથી ઉત્પન્ન થતાં $Fe^{2+}(aq)$નું હવામાંના ઑક્સિજન દ્વારા Fe^{3+} આયનમાં ઑક્સિડેશન થાય છે, જે કૅથોડ તરફ પ્રસરણ પામી અંતે Fe_2O_3, xH_2O બને છે. જે કૅથોડ તરીકે વર્તતા બિંદુએ H^+ પ્રાપ્ત થઈ શકતાં ના હોય તો ભેજમાં ઓગળેલા ઑક્સિજનનું ઇલેક્ટ્રૉન દ્વારા નીચેની પ્રક્રિયાથી રિડક્શન થાય છે :

$$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)$$

ક્ષારણ અટકાવવા માટેની પદ્ધતિઓ : ઔદ્યોગિક રીતે તેમજ વિવિધ પરિવાહક સાધનોમાં લોખંડ એક અગત્યની ધાતુ છે. વિશ્વમાં તેનું ક્ષારણ થવાથી ખૂબ જ મોટું નુકસાન થાય છે. તેને અટકાવવા માટેની એક પદ્ધતિમાં તેની સપાટી સાથે ભેજનો સંપર્ક થવા દેવો જોઈએ નહિ.

લોખંડની સપાટી ઉપર ઝિંકનું અતિબારીક અસ્તર ચડાવવાથી આ હેતુ સિદ્ધ થાય છે. ઝિંકનું અસ્તર ચડાવેલા લોખંડને ગૅલ્વેનાઇઝ્ડ આયર્ન કહે છે. જો ગૅલ્વેનાઇઝ્ડ આયર્ન પરથી ઝિંકનું થોડું અસ્તર નીકળી જાય તોપણ લોખંડને કાટ લાગતો નથી. કારણ કે $E^0_{Zn|Zn^{2+}}$નું મૂલ્ય $E^0_{Fe|Fe^{2+}}$ કરતાં વધારે હોય છે. આથી આયર્નની ખુલ્લી સપાટી પર ઝિંકના પરમાણુઓ પ્રસરી જાય છે.

લોખંડનું ક્ષારણ અટકાવવા માટેની બીજી પદ્ધતિમાં લોખંડની પાઇપને Mg અથવા Zn જેવી ઊંચા E^0oxi મૂલ્ય ધરાવતી ધાતુ સાથે જોડી તે ધાતુની પાઇપને જમીનમાં દાટવામાં આવે છે. સ્ટીમરની લોખંડની પ્લેટોને કાટ ખાતી અટકાવવા માટે Mg અથવા Zn ધાતુના મોટા ચોસલા સાથે લોખંડની પ્લેટોને જોડી દરિયાના પાણીના સંપર્કમાં રાખવામાં આવે છે. આમ કરવાથી લોખંડની પ્લેટ કૅથોડ તરીકે વર્તે છે અને Mg અથવા Znના ચોસલા ઍનોડ તરીકે વર્તે છે. આ ચોસલાનું સતત ક્ષારણ થતું રહે છે અને તેને સમયાંતરે બદલવા પડે છે. આથી Mg અથવા Znના ચોસલા લોખંડની પ્લેટની બદલે બલિદાન આપે છે તેથી તેને **બલિદાન આપનાર ઍનોડ (Sacrificial Anode)** કહે છે.

આ ઉપરાંત વૅક્સ લગાડવો, રંગ લગાડવો અને યોગ્ય રાસાયણિક પદાર્થો જેને **નિરોધકો (inhibitors)** કહે છે તેનો ઉપયોગ કરવાથી ધાતુની સપાટી સાથે વાતાવરણમાં રહેલા વાયુઓનો સંપર્ક ન થતાં રાસાયણિક પ્રક્રિયા થતી ન હોવાથી ધાતુનું ક્ષારણ અટકાવે છે.

સારાંશ

- વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાં થતી પ્રક્રિયા રેડોક્ષ પ્રક્રિયા છે.
- વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાં રાસાયણિકઊર્જાનું વિદ્યુતઊર્જામાં રૂપાંતર થાય છે અને વિદ્યુતઊર્જા ઉત્પન્ન કરે છે.
- વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ વૉલ્ટેઇક અથવા ગૅલ્વેનિક કોષ તરીકે ઓળખાય છે.
- ક્ષારસેતુ બે દ્રાવણોને જોડવાનું અને દ્રાવણોની વિદ્યુત તટસ્થતા જાળવવાનું કાર્ય કરે છે.
- વિદ્યુતરાસાયણિક કોષનું સાંકેતિક નિરૂપણ $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$ રાસાયણિક પ્રક્રિયા માટે નીચે પ્રમાણે થાય છે. $\ominus\ Zn(s) \mid Zn^{2+}(1M) \parallel Cu^{2+}(1M) \mid Cu(s)\ \oplus$ જ્યાં, એક ઊભી (|) લીટી વિદ્યુતધ્રુવ અને દ્રાવણના સક્રિય આયનો વચ્ચે સંપર્ક દર્શાવે છે અને બે ઊભી (||) લીટી ક્ષાર-સેતુનો નિર્દેશ કરે છે.

- વિદ્યુતધ્રુવોના પ્રકાર : (i) ધાતુના સક્રિય વિદ્યુતધ્રુવ (ii) નિષ્ક્રિય વિદ્યુતધ્રુવ (iii) વાયુમય વિદ્યુતધ્રુવ.
- વિદ્યુતધ્રુવ અને જે દ્રાવણમાં તેને ડુબાડ્યો હોય તે દ્રાવણ સંયુક્તપણે અર્ધ કોષ તરીકે ઓળખાય છે. અર્ધ કોષનું નિરૂપણ વિદ્યુતધ્રુવ અને સક્રિય આયનોનાં સૂત્રો વચ્ચે ઊભી લીટી મૂકી કરવામાં આવે છે. દા.ત., $Zn(s) \mid Zn^{2+}(aq)$; $Fe(s) \mid Fe^{2+}(aq)$
- વાયુ વિદ્યુતધ્રુવનું નિરૂપણ નિષ્ક્રિય ધાતુ વાયુનું આણ્વિય સૂત્ર અને સક્રિય આયનોનાં સૂત્રો દ્વારા કરવામાં આવે છે. દા.ત., $Pt \mid H_2(g)$ (1 બાર) $\mid H^+(aq)$.
- પ્રમાણિત હાઇડ્રોજનવાયુ વિદ્યુતધ્રુવ સંદર્ભ અર્ધ કોષ તરીકે વર્તે છે. તેનો પ્રમાણિત પોટૅન્શિયલ 0.0 વોલ્ટ ગણવામાં આવે છે. પ્રમાણિત H ધ્રુવની મદદથી અજ્ઞાત-ધ્રુવના પ્રમાણિત પોટૅન્શિયલના મૂલ્ય શોધવામાં આવે છે.
- વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ રાસાયણિકઊર્જાનું વિદ્યુતઊર્જામાં રૂપાંતર કરતું સાધન છે.
- કોષમાંના બે વિદ્યુતધ્રુવોને જોડતાં ઇલેક્ટ્રૉનનો પ્રવાહ રાસાયણિક પ્રક્રિયા અન્વયે ઊપજેલા વિદ્યુતચાલકબળ હેઠળ ઍનોડથી કૅથોડ તરફ બાહ્ય પરિપથમાં વહે છે. આ વિદ્યુતદબાણને કોષ પોટૅન્શિયલ E_{Cell} કહે છે.
- કોષ પ્રમાણિત હોય તો તેનો કોષ પોટૅન્શિયલ E^0_{Cell} વડે દર્શાવાય છે. કોષનો સાચો પોટૅન્શિયલ માપવા માટે પોટૅન્શિયોમીટરનો ઉપયોગ થાય છે.
- કોષ પોટૅન્શિયલ E_{Cell} = E કૅથોડનો રિડક્શન પોટૅન્શિયલ – E ઍનોડનો રિડક્શન પોટૅન્શિયલ

  E^0_{Cell} = E^0 કૅથોડનો પ્રમાણિત પોટૅન્શિયલ – E^0 ઍનોડનો પ્રમાણિત પોટૅન્શિયલ
- વિદ્યુતકોષનો પોટૅન્શિયલ હાઇડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવના સંદર્ભમાં માપવામાં આવે ત્યારે બીજા વિદ્યુતધ્રુવના પોટૅન્શિયલ ઇલેક્ટ્રૉમોટિવ ફોર્સ (emf) તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.
- નર્ન્સ્ટનું સમીકરણ $E_{Cell} = E^0_{Cell} - \frac{0.059}{n} \log \frac{[C_1]}{[C_2]}$ જેનાં 0.059 મૂલ્ય એ 298 K તાપમાને $\frac{2.303RT}{F}$નું મૂલ્ય છે. $R = 8.314\ J\ K^{-1}\ mol^{-1}$ અને F = 96500 (Coulomb)
- નર્ન્સ્ટના સમીકરણની મદદથી K_C (સંતુલન અચળાંક), pH, K_W (પાણીનો આયનીય ગુણાકાર) શોધી શકાય છે.
- ઍનોડ અને કૅથોડ એક જ વિદ્યુતધ્રુવના હોય પરંતુ તેમના ક્ષારનાં દ્રાવણોની સાંદ્રતા જુદી જુદી હોય તો પણ વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ બને છે જેને સાંદ્રતા કોષ કહે છે.

  દા.ત., $\ominus$ $Fe(s) \mid Fe^{2+}$ (0.6M) $\parallel Fe^{2+}$ (0.8M) $\mid Fe(s)$ $\oplus$ સાંદ્રતા કોષ છે.
- વિદ્યુતવિભાજન કોષ વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ કરતાં વિરુદ્ધ પ્રકારનો કોષ છે. વિદ્યુતવિભાજન કોષમાં વિદ્યુતઊર્જાનું રાસાયણિકઊર્જામાં રૂપાંતર થાય છે. ઍસિડિક પાણીનું વિદ્યુતવિભાજન કરતાં કૅથોડ પર H_2 વાયુ અને ઍનોડ પર O_2 વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે.
- માઇકલ ફેરાડેએ વિદ્યુતવિભાજન માટે આપેલા પહેલા અને બીજા નિયમ બાદ આધુનિક નિયમની રજૂઆત થઈ "રિડક્શન અને ઑક્સિડેશન અર્ધ-પ્રક્રિયાઓ દ્વારા વિદ્યુતધ્રુવો પર પ્રાપ્ત થતી નીપજોના મોલની સંખ્યા તે પ્રક્રિયાઓની તત્ત્વયોગમિતિ દ્વારા કોષમાંથી પસાર થતા વિદ્યુતના જથ્થા સાથે સંબંધ ધરાવે છે."
- 1 મોલ ઇલેક્ટ્રૉન દ્વારા વહન થતા વિદ્યુતજથ્થાને 1 ફૅરાડે કહે છે, જેને સંજ્ઞા F વડે દર્શાવાય છે. 1 ફૅરાડે (F) = 96487 ≈ 96500 કુલોમ્બ

વિદ્યુતભાર (Q) = વિદ્યુતપ્રવાહ (I) × સમય (t)

$$F = \frac{I \times t}{96500}$$

વિદ્યુતવિભાજનથી પ્રાપ્ત થતી નીપજો :

- પિગાળેલા NaClના વિદ્યુતવિભાજનથી Na ધાતુ અને Cl_2 વાયુ મળે છે.
- સાંદ્ર NaClનું વિદ્યુતવિભાજન ગ્રૅફાઇટના ધ્રુવો વચ્ચે કરતાં Cl_2 વાયુ અને દ્રાવણમાં NaOH મેળવી શકાય છે જે NaOHનું ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન છે.
- અશુદ્ધ ધાતુને ઍનોડ તરીકે લેવામાં આવે છે અને તે જ ધાતુના ક્ષારના દ્રાવણમાં વિદ્યુતવિભાજન કરવામાં આવે તો તે રીતે ધાતુનું શુદ્ધિકરણ કરી શકાય છે અને કૅથોડ ઉપર શુદ્ધ ધાતુ જમા કરી શકાય છે. ઉમદા ધાતુઓ ઍનોડ પંક તરીકે પડી રહે છે.
- Na_2SO_4ના જલીય દ્રાવણનું વિદ્યુતવિભાજન એ વાસ્તવમાં પાણીનું જ વિદ્યુતવિભાજન છે.
- ગીબ્સની મુક્ત ઊર્જા (G) અને વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાં આપમેળે થતી પ્રક્રિયાઓના પોટૅન્શિયલ વચ્ચેનો સંબંધ નીચેના સૂત્ર દ્વારા દર્શાવી શકાય. $\Delta G^0 = -nFE^0_{Cell}$

  ΔG ઉપરથી સંતુલન અચળાંક મેળવવા, $\Delta G^0 = -nFE^0_{Cell} = -RTlnK_C$

  $$\log K_C = \frac{nFE^0_{Cell}}{2.303RT}$$

- વિદ્યુતીય વહનની દૃષ્ટિએ ઘન અને પ્રવાહી પદાર્થો બે પ્રકારના હોય છે. વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન કરે તેવા પદાર્થોને વાહક પદાર્થો અને વિદ્યુતપ્રવાહનું વહન ન કરે તેવા પદાર્થોને અવાહક પદાર્થો કહે છે.
- વાહક પદાર્થો બે પ્રકારના હોય છે : (i) ધાત્વિક વાહકો (ii) વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવણો દ્વારા થતું વિદ્યુતવહન. વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવણો દ્વારા થતા વિદ્યુતવહનમાં વિદ્યુતીય અવરોધનો ખ્યાલ મેળવવો જરૂરી છે. જેથી વિદ્યુતીય વાહકતા સમજી શકાય.
- કોઈ પણ એકસરખા વાહકનો અવરોધ તેની લંબાઈ (l)ના સમપ્રમાણમાં અને તેના આડછેદના ક્ષેત્રફળ (A)ના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે. $R \propto \frac{l}{A}$ $R = \rho\frac{l}{A}$ થાય. ρ સમપ્રમાણતા અચળાંક છે, જેને અવરોધકતા કહે છે જેને વિશિષ્ટ અવરોધ પણ કહે છે.
- અવરોધકતાનો SI એકમ ઓહ્‌મ મીટર (Ω m) છે. અવરોધ Rના વ્યસ્તને વાહકતા G કહેવામાં આવે છે.

  $G = \frac{1}{R} = \frac{A}{\rho l} = K\frac{A}{l}$ જ્યાં, $K = \frac{1}{\rho}$ છે.

- વાહકતાનો SI એકમ સાયમન્સ S વડે દર્શાવવામાં આવે છે. જેને ઓહ્‌મ$^{-1}$ (ohm^{-1} અથવા Ω^{-1}) અથવા મ્હો (mho અથવા ℧) તરીકે દર્શાવાય છે. મળેલી વાહકતા G ને કોષઅચળાંક વડે ગુણવાથી વિશિષ્ટ વાહકતા મળે છે, જેને ગ્રીક અક્ષર કપ્પા (K) તરીકે દર્શાવાય છે.
- વિશિષ્ટ વાહકતા (K) = અવલોકિત વાહકતા × કોષઅચળાંક વિશિષ્ટ વાહકતાનો SI એકમ S m^{-1} અથવા S cm^{-1} છે.

- વાહક પદાર્થોનું વર્ગીકરણ તેની વાહકતાના મૂલ્યની માત્રાના આધારે ત્રણ પ્રકારે કરવામાં આવે છે : (i) સુવાહક (ii) અર્ધવાહકો (iii) અવાહક. જે પદાર્થોની અવરોધકતા શૂન્ય હોય તેની વાહકતા ખૂબ જ વધારે હોય તેને અતિસુવાહકો કહે છે. ધાતુઓ અને મિશ્ર ધાતુઓ 0થી 15 K તાપમાને અતિસુવાહક તેમજ સિરામિક પદાર્થો અને મિશ્રિત ઑક્સાઇડ 150 K તાપમાને અતિસુવાહકો હોય છે.

- આયનીય વહનશીલતા અને મોલરવાહકતા $\wedge_m = \frac{K \times 1000}{C}$; જ્યાં, K (કપ્પા) = વાહકતા C = દ્રાવણની સાંદ્રતા મોલરવાહકતાનો એકમ મ્હો સેમી^{2} મોલ$^{-1}$ છે. જો દ્રાવણની સાંદ્રતા નૉર્માલિટી અથવા ગ્રામ તુલ્યભારમાં લેવામાં આવે, તો તુલ્યવાહકતાનો એકમ મ્હો સેમી^{2} ગ્રામતુલ્ય$^{-1}$

- એકમ આડછેદ ધરાવતાં અને એકમ લંબાઈના અંતરે રહેલા બે પ્લેટિનમ ધ્રુવો વચ્ચે રહેલા એકમ કદ ધરાવતા આપેલી સાંદ્રતાના વિદ્યુતવિભાજ્યના દ્રાવણ વડે થતું વિદ્યુતવહન એ દ્રાવણની વાહકતા છે.

- તેથી $G = \frac{KA}{l} = K$ (A અને l એકમ માપના છે.)

- મોલરવાહકતા $\wedge_m = \frac{KA}{l}$ જ્યાં, $l = 1$ અને A = V (એક મોલ વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવણનું કદ)

  $\therefore \Lambda_m = K \cdot V$ થાય.

- મોલરવાહકતાને અનંત મંદને વાહકતા સીમિત મોલરવાહકતા $\overset{0}{\wedge}_m$ વડે દર્શાવવામાં આવે છે. કોહ્લરોશનો આયનોના સ્વતંત્ર અભિગમનનો સિદ્ધાંત : "વિદ્યુતવિભાજ્યની અનંત મંદને મોલરવાહકતા $\overset{0}{\wedge}_m$નું મૂલ્ય તેમાં રહેલા ધન આયન અને ઋણ આયનની અનંત મંદને મોલરવાહકતા $\overset{0}{\lambda}_{m^+}$ અને $\overset{0}{\lambda}_{m^-}$ ના સરવાળા બરાબર હોય છે.

- કોહ્લરોશના નિયમની ઉપયોગિતામાં નિર્બળ વિદ્યુતવિભાજ્યની મોલરવાહકતા યોગ્ય પ્રબળ વિદ્યુતવિભાજ્યોની મોલરવાહકતા મેળવી સરવાળા કે બાદબાકી કરી મેળવી શકાય છે.

- કોઈ પણ કોષ વિદ્યુતપ્રવાહ (battery) મેળવવામાં એક સ્રોત છે. ઔદ્યોગિક વપરાશ માટેના કોષ બે પ્રકારના હોય છે : (i) પ્રાથમિક કોષ. જેને લાંબા વપરાશ બાદ પુનઃજીવિત કરી શકાતો નથી. (ii) દ્વિતીયક કોષ, જેને લાંબા વપરાશ બાદ મૃત બનેલા કોષને પુનઃજીવિત એટલે કે પુનઃઉત્પાદિત કરી શકાય છે. સૂકોકોષ પ્રાથમિક કોષ અને સંગ્રાહકકોષ દ્વિતીયક કોષ છે. સૂકો કોષને લેકલાન્શે કોષ પણ કહે છે. સૂકા કોષમાં થતી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ નીચે મુજબ છે :

  કૅથોડ : $2MnO_2(s) + 2NH_4^+(aq) + 2e^- \longrightarrow Mn_2O_3(s) + 2NH_3(g) + H_2O(l)$

  ઍનોડ : $Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$ રાસાયણિક પ્રક્રિયાથી 1.5 વૉલ્ટ જેટલો વિદ્યુતપ્રવાહ મેળવી શકાય છે.

- મરક્યુરી કોષ પણ પ્રાથમિક કોષ છે જેનો કોષ પોટેન્શિયલ લગભગ 1.35 વૉલ્ટ છે.

  સંગ્રાહક કોષ : લેડ સંગ્રાહક કોષ દ્વિતીયક કોષ છે. જેની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ નીચે મુજબ છે :

  ઍનોડ : $Pb(s) + SO_4^{4-}(aq) \longrightarrow PbSO_4(s) + 2e^-$

  કૅથોડ : $PbO_2(s) + SO_4^{2-}(aq) + 2e^- + 4H^+(aq) \longrightarrow PbSO_4(s) + 2H_2O(l)$

આ કોષમાં રાસાયણિક પ્રક્રિયા દરમિયાન 2.0 વૉલ્ટ જેટલો વીજપ્રવાહ ઉત્પન્ન થાય છે. કોષોને શ્રેણીમાં જોડી ઊંચો વૉલ્ટેજ મેળવી શકાય છે. નિકલ કેડમિયમ સંગ્રાહક કોષ લાંબુ આયુષ્ય ધરાવતો હોઈ, તેનો ઉપયોગ લાંબા સમયના વપરાશ માટે થાય છે.

$$Cd(s) + 2Ni(OH)_3(s) \rightarrow CdO(s) + 2Ni(OH)_2 + H_2O$$

- વાયુ બળતણના દહનથી ઉત્પન્ન થતી દહન-ઉષ્મા શક્તિનું એક જ તબક્કામાં વિદ્યુતઊર્જામાં ઉત્પાદન થાય છે તેવા કોષને બળતણકોષ કહે છે. થર્મલ પાવર સ્ટેશનમાં વિદ્યુત ઉત્પાદનમાં કાર્યક્ષમતા ઓછી હોવાથી અને તેનાથી થતું પ્રદૂષણ અટકાવવા હવે બળતણકોષનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે.
- ધાતુક્ષારણને કારણે અબજો રૂપિયાનું નુકસાન થાય છે. ધાતુક્ષારણ એ રેડોક્ષ પ્રક્રિયા છે, જેમાં વિદ્યુતરાસાયણિક કોષની પ્રક્રિયાઓ થતાં ઍનોડ અને કેથોડ પર રાસાયણિક પ્રક્રિયાથી ધાતુ કટાય છે. તેનાં અટકાવ નિરોધકો અને ઇલેક્ટ્રોપ્લેટિંગથી કરી શકાય છે.

સ્વાધ્યાય

1. આપેલા બહુવિકલ્પમાંથી યોગ્ય વિકલ્પ પસંદ કરો :

(1) વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાં કઈ પ્રક્રિયા થાય છે ?

(A) ઑક્સિડેશન (B) રિડક્શન (C) રેડોક્ષ (D) આપેલી બધી જ પ્રક્રિયાઓ

(2) નીચેનામાંથી કઈ કોષ-પ્રક્રિયા ડેનિયલ કોષ માટેની છે ?

(A) $Cu^{2+}(aq) + Fe(s) \rightleftharpoons Fe^{2+}(aq) + Cu(s)$

(B) $Zn^{2+}(aq) + Mg(s) \rightleftharpoons Zn(s) + Mg^{2+}(aq)$

(C) $Cu^{2+}(aq) + Zn(s) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$

(D) આપેલી બધી જ પ્રક્રિયાઓ

(3) નીચેનામાંથી કયો કોષ સિદ્ધાંતથી જુદો પડે છે ?

(A) સંગ્રાહક કોષ (B) વિદ્યુતવિભાજન કોષ

(C) બળતણ કોષ (D) લેકલાન્શે કોષ

(4) ડૅનિયલ કોષમાં કઈ ઘટના બનતી નથી ?

(A) Cuની પટ્ટીના વજનમાં વધારો થાય છે.

(B) વિદ્યુતનું વહન ક્ષારસેતુ દ્વારા થાય છે.

(C) Znની પટ્ટીના વજનમાં વધારો થાય છે.

(D) $ZnSO_4$ના દ્રાવણનું રંગપરિવર્તન થતું નથી.

(5) વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ અમુક સમય બાદ કાર્ય કરતો અટકી જાય છે. શા માટે ?

(A) તાપમાન વધવાથી

(B) બંને ધ્રુવના કોષ પોટૅન્શિયલનો તફાવત શૂન્ય થવાથી

(C) કોષમાં થતી પ્રક્રિયાની દિશા ઊલટાવવાથી

(D) સાંદ્રતામાં ફેરફાર થવાથી

(6) વિદ્યુતરાસાયણિક કોષના ચોક્કસ કોષ પોટૅન્શિયલ માપવા માટે શેનો ઉપયોગ થાય છે ?

(A) ગૅલ્વેનોમીટર (B) એમિટર (C) પોટૅન્શિયોમીટર (D) વૉલ્ટમીટર

(7) M, N, O, P અને Q પ્રમાણિત અર્ધ કોષના, પ્રમાણિત પરિસ્થિતિમાં, પ્રમાણિત પોટૅન્શિયલના ચઢતા ક્રમમાં હોય તો કયા બે અર્ધ કોષોના જોડાણ કરવાથી મળતા કોષનો કોષ પોટૅન્શિયલ મહત્તમ હશે ?

(A) M અને N (B) M અને Q (C) M અને P (D) M અને O

(8) E^0_{red} = ...

(A) E^0_{oxi} (B) $-E^0_{red}$ (C) $-E^0_{oxi}$ (D) E^0_{redox}

(9) નીચે આપેલી કોષ-પ્રક્રિયા માટે કોષનું સાંકેતિક નિરૂપણ શું થશે ?

$Fe(s) + Cd^{2+}(aq) \rightleftharpoons Fe^{2+}(aq) + Cd(s)$

(A) $\ominus$ Fe(s) | Fe^{2+}(1M) || Cd(s) | Cd^{2+}(1M) $\oplus$

(B) $\ominus$ Cd(s) | Cd^{2+}(1M) || Fe^{2+}(1M) | Fe(s) $\oplus$

(C) $\ominus$ Cd(s) | Cd^{2+}(1M) || Fe(s) | Fe^{2+}(1M) $\oplus$

(D) $\ominus$ Fe(s) | Fe^{2+}(1M) || Cd^{2+}(1M) | Cd(s) $\oplus$

(10) સિલ્વરનાઇટ્રેટના દ્રાવણમાં નિકલના ટુકડા નાખવાથી દ્રાવણ રંગીન બને છે, કારણ કે...

(A) નિકલનું ઑક્સિડેશન થાય છે. (B) ચાંદીનું ઑક્સિડેશન થાય છે.

(C) નિકલનું રિડક્શન થાય છે. (D) ચાંદીનું અવક્ષેપન થાય છે.

(11) X, Y અને Z ધાતુના પ્રમાણિત રિડક્શન પોટૅન્શિયલનાં મૂલ્યો અનુક્રમે 0.34 V, 0.80 V અને – 0.45 V છે. તો તેમનો રિડક્શનકર્તાનો પ્રબળતા ક્રમ જણાવો :

(A) Z > Y > X (B) Z > X > Y (C) X > Y > Z (D) Y > Z > X

(12) $MgSO_4$, $AgNO_3$ અને $AlCl_3$ના દ્રાવણમાંથી 1 મોલ ઇલેક્ટ્રૉન પસાર કરતાં ધ્રુવો આગળ Mg, Ag અને Al નીચેના પૈકી કયા મોલ ગુણોત્તરમાં જમા થશે ?

(A) 1 : 1 : 1 (B) 1 : 2 : 3 (C) 2 : 1 : 3 (D) 3 : 6 : 2

(13) સાંદ્ર NaClના જલીય દ્રાવણનું ગ્રેફાઇટના ધ્રુવો વચ્ચે વિદ્યુતવિભાજન કરતાં કૅથોડ અને ઍનોડ ઉપર અનુક્રમે શું ઉત્પન્ન થાય છે.

(A) Cl_2 અને Na (B) H_2 અન O_2 (C) Cl_2 અને H_2 (D) H_2 અને Cl_2

(14) કોઈ પણ એકસરખા વાહકનો અવરોધ .... હોય છે.

(A) તેની લંબાઈના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં

(B) તેની લંબાઈના સમપ્રમાણમાં

(C) તેના આડછેદના ક્ષેત્રફળના વર્ગના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં

(D) તેના આડછેદના ક્ષેત્રફળના સમપ્રમાણમાં

(15) સ્ટીમરની લોખંડની પ્લેટો સાથે Zn ધાતુના ચોસલા જોડી, દરિયાના પાણીના સંપર્કમાં રાખવાથી કોનું ક્ષારણ વધારે થાય છે ?

(A) લોખંડ (B) ઝિંક

(C) બંને (D) બેમાંથી કોઈ પણ ધાતુનું નહિ

(16) વિદ્યુતીય અવરોધ માપવા માટેનું સાધન કયું છે ?

(A) વૉલ્ટમીટર (B) વ્હીસ્ટન બ્રિજ (C) ગૅલ્વેનોમીટર (D) એમિટર

(17) કયા તાપમાને સિરામિક્સ દ્રવ્યો અતિસુવાહક તરીકે જાણીતાં છે ?

(A) 0 K (B) 200 K (C) 150 K (D) 15 K

(18) l = લંબાઈ, R = અવરોધ અને A = આડછેદનું ક્ષેત્રફળ હોય, તો ....

(A) $R \propto \frac{l}{A}$ (B) $R \propto \frac{A}{l}$ (C) $R \propto \frac{1}{Al}$ (D) $R \propto lA$

2. નીચેના પ્રશ્નોના ટૂંકમાં ઉત્તર લખો :

(1) વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ એટલે શું ?

(2) ક્ષારસેતુનું કાર્ય લખો.

(3) ક્ષારસેતુમાં ભરવામાં આવતાં દ્રાવણોનાં નામ લખો.

(4) વાયુ વિદ્યુતધ્રુવ એટલે શું ? ગમે તે એકનું નિરૂપણ કરો.

(5) કોષ-પોટૅન્શિયલની વ્યાખ્યા લખો.

(6) કોષ-પોટૅન્શિયલ કયાં બે સાધનો દ્વારા માપી શકાય ?

(7) નર્ન્સ્ટ સમીકરણ લખી તેની તારવણી કયા નિયમોને આધારે થઈ શકે છે ?

(8) નર્ન્સ્ટ સમીકરણમાં 0.059નું મૂલ્ય શેમાંથી મેળવવામાં આવે છે ?

(9) સાંદ્રતા કોષ એટલે શું ?

(10) E_{Cell} અને E^0_{Cell}નું 0.0 વૉલ્ટ મૂલ્ય કેવાં પરિબળોમાં થાય છે ?

(11) કોષ-પોટૅન્શિયલની ઉપયોગિતા લખો.

(12) ફૅરાડેનો વિદ્યુતવિભાજન માટેનો આધુનિક નિયમ લખો.

(13) સાંદ્રતા કોષમાં ઍનોડની સાંદ્રતા, કૅથોડની સાંદ્રતા કરતાં વધારે હોય તેવા સંજોગોમાં કોષ-પોટૅન્શિલયનું મૂલ્ય કેવું હશે અને તે શું સૂચવશે ?

(14) ક્ષારના જલીય દ્રાવણમાં વિદ્યુતવિભાજનથી પ્રાપ્ત થતી નીપજો કઈ બાબતો પર આધારિત છે ?

(15) પ્રાઈમરી કોષ અને સેકન્ડરી કોષ એટલે શું ?

(16) વિદ્યુતવિભાજનની ઉપયોગિતા લખો.

(17) સૂકા કોષમાં વપરાતા રસાયણનાં નામ લખો.

(18) હાઈડ્રોજન બળતણ કોષમાં વપરાતા ઉદ્દીપકનાં નામ લખો.

(19) સૂકો કોષ પુનર્જીવિત કરી શકાતો નથી. શાથી ?

(20) લેડ સંગ્રાહક કોષમાં કઈ ખામી ઉદ્ભવતા વિદ્યુતપ્રવાહ ઉત્પન્ન થતો બંધ થાય છે ? શા માટે ?

(21) બળતણ કોષનો સિદ્ધાંત લખો.

(22) બળતણ કોષના ફાયદા જણાવો.

(23) ચાંદીની વીંટી ઍસિડના દ્રાવણમાં પડી ગઈ છે. ચિંતાનું કારણ બનશે ? શા માટે ?

(24) ઍલ્યુમિનિયમની બાલદીમાં મોરથૂથુ (કૉપર સલ્ફેટ)નું દ્રાવણ ભરી શકાશે ? શા માટે ?

(25) emf શ્રેણી એટલે શું ?

(26) ડૅનિયલ કોષ કાર્ય કરે છે તે સમયે નરી આંખે શું નિરીક્ષણ કરી શકશો ?

(27) 1.93 ઍમ્પિયર પ્રવાહ વીજપ્રવાહમાંથી પસાર કરવામાં આવે, તો એક બિંદુએથી એક સેકન્ડમાં કેટલાં ઇલેક્ટ્રૉન પસાર થશે ?

(28) વિદ્યુતીય અવરોધ શેના વડે દર્શાવવામાં આવે છે અને તેને લગતો નિયમ લખો.

(29) વિશિષ્ટ વાહકતા એટલે શું ?

(30) કોહ્લરોશનો નિયમ લખો.

(31) વાહક પદાર્થનું વર્ગીકરણ તેમની વાહકતાના મૂલ્યને આધારે કરો.

(32) $\overset{0}{\Lambda}_m = \nu_+ \overset{0}{\lambda}_{m^+} + \nu \; \overset{0}{\lambda}_m$ શેનો નિર્દેશ કરે છે ?

(33) અતિસુવાહક પદાર્થ કોને કહે છે ? તેના પર તાપમાનની અસર લખો.

(34) ભેજમય ઑક્સિજન વાયુની રિડક્શન-પ્રક્રિયા ધાતુક્ષારણ માટે લખો.

(35) પર્યાય સમજાવો : સૅક્રિફિસિયલ ઍનોડ અને નિરોધકો.

3. નીચેના પ્રશ્નોના ઉત્તર લખો :

(1) વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ એટલે શું ? ડૅનિયલ કોષનું સમીકરણ લખી ઍનોડ અને કૅથોડ દર્શાવો.

(2) ક્ષારસેતુની રચના લખી તેનું કાર્ય સમજાવો.

(3) વિદ્યુતધ્રુવ એટલે શું ? તેના પ્રકાર લખી દરેકનું એક ઉદાહરણ આપો.

(4) emf શ્રેણી એટલે શું ? તેના પરથી પ્રાપ્ત થતી માહિતી લખો.

(5) $E^0_{Ni^{2+}|Ni} = -0.23$ V, $E^0_{Ag^{+}|Ag} = 0.80$ Vની મદદથી બનતા વીજરાસાયણિક કોષની પ્રક્રિયા લખી સાંકેતિક નિરૂપણ કરો.

(6) Feની HCl સાથેની પ્રક્રિયાથી H_2 વાયુમુક્ત થાય છે, પરંતુ Cuની HCl સાથેની પ્રક્રિયાથી H_2 વાયુમુક્ત થતો નથી. સમજાવો.

(7) કોષ પોટેન્શિયલની ઉપયોગિતા લખો.

(8) નર્ન્સ્ટનું સમીકરણ લખી તેમાં સમાયેલાં પદો સમજાવો.

(9) વિદ્યુતવિભાજન માટે ફેરાડેના નિયમો લખો.

(10) મંદ NaClના જલીય દ્રાવણનું વિદ્યુતવિભાજન ગ્રૅફાઇટના ધ્રુવો વચ્ચે સમજાવો.

(11) $AgNO_3$ના જલીય દ્રાવણમાં 7.5 ઍમ્પિયરનો વીજપ્રવાહ 200 સેકન્ડ માટે પસાર કરતાં વિદ્યુતવિભાજન દરમિયાન કૅથોડ પર 1.08 ગ્રામ Ag મુક્ત થતો હોય, તો કોષની ક્ષમતા શોધો.

(Ag = 108 u N = 14 u 0 = 16 u)

(12) Na_2SO_4ના જલીય દ્રાવણનું ગ્રૅફાઇટના ધ્રુવો વચ્ચે વિદ્યુતવિભાજન એ વાસ્તવમાં પાણીનું જ વિદ્યુતવિભાજન છે. સમજાવો.

(13) ગીબ્સની મુક્ત-ઊર્જા અને કોષ-પોટેન્શિયલ સમજાવો.

(14) 298 K તાપમાને $E^0_{Cu^{2+}|Cu} = 0.34$ V અને $E^0_{Fe^{2+}|Fe} = -0.45$ V પ્રમાણિત પોટેન્શિયલ ધરાવતા વીજરાસાયણિક કોષનું નિરૂપણ કરતાં મુક્તશક્તિનો ફેરફાર અને સંતુલન અચળાંક શોધો.

(15) અવરોધકતા અને વિશિષ્ટ વાહકતા સમજાવો.

(16) ઔદ્યોગિક વપરાશના કોષનું વર્ગીકરણ લખી ઉદાહરણ આપો.

(17) લૅકલાન્શે કોષ સમજાવો.

(18) ધાતુક્ષારણના નિવારણના ઉપાયો લખો.

(19) લોખંડના ક્ષારણની પ્રક્રિયાઓ લખો.

(20) $Zn(s) \mid Zn^{2+}(0.6M) \parallel Cd^{2+}(0.85M) \mid Cd(s)$ વીજરાસાયણિક E_{Cell} કોષનું મૂલ્ય શોધો.

($E^0_{Zn^{2+}|Zn} = -0.76$ V, $E^0_{Cd^{2+}|Cd} = -0.40$ V)

4. નીચેના પ્રશ્નોના વિગતવાર ઉત્તર આપો :

(1) $Zn(s) + Ag^+(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + Ag(s)$ પ્રક્રિયા પર આધારિત વીજરાસાયણિક કોષની નામ-નિર્દેશનવાળી આકૃતિ દોરી નીચેના પ્રશ્નોના ઉત્તર આપો :

(i) ઍનોડ અને કૅથોડ દર્શાવી તેમના પર થતી પ્રક્રિયા લખો.

(ii) ઇલેક્ટ્રૉનના વહનની દિશા દર્શાવો.

(iii) સાંકેતિક નિરુપણ કરો.

(2) વિદ્યુતવિભાજન એટલે શું ? $CuSO_4$ના જલીય દ્રાવણનું ગ્રૅફાઇટના ધ્રુવો વડે થતું વિદ્યુતવિભાજન સમજાવો.

(3) $CuSO_4$ના જલીય દ્રાવણનું Cuના સક્રિય ધ્રુવો વડે વિદ્યુતવિભાજન સમજાવી તેની ઉપયોગિતા લખો.

(4) કોહ્‌લરોશનો આયનોના સ્વતંત્ર અભિગમનનો સિદ્ધાંત લખી સમજાવો.

(5) સંગ્રાહક કોષ એટલે શું ? લેડ સંગ્રાહક કોષ સમજાવો.

(6) બળતણ કોષ એટલે શું ? હાઇડ્રોજન બળતણ કોષ સમજાવો.

(7) ધાતુક્ષારણ સવિસ્તર સમજાવો.

(8) આયનીય વહનશીલતા સમજાવો. તેનો આધાર કયાં પરિબળો ઉપર રહેલો છે તે સમજાવો.

(9) પ્રમાણિત હાઇડ્રોજન વાયુ ધ્રુવ સવિસ્તર સમજાવો.

(10) વિદ્યુતીય વહન સમજાવો.

(11) મોલરવાહકતા સમજાવી, સાંદ્રતાના ફેરફારોની વાહકતા પર થતી અસર સમજાવો.

(12) મરક્યુરી કોષ અને Ni-Cd સંગ્રાહક કોષ સમજાવો.

(13) નીચેના દાખલા ગણો :

(1) નીચે આપેલા પ્રમાણિત કોષ-પોટૅન્શિયલનો ઉપયોગ કરી મહત્તમ અને ન્યૂનતમ કોષ-પોટૅન્શિયલ ધરાવતા કોષની રચના કરી, કોષ-પ્રક્રિયા લખો અને સંતુલન અચળાંક શોધો.

$E^0_{Fe^{2+}|Fe} = -0.45$ V, $E^0_{Ag^+|Ag} = 0.80$ V, $E^0_{Mg^{2+}|Mg} = -2.37$ V

(2) 298 K તાપમાને નીચે આપેલા કોષના કોષ-પોટૅન્શિયલનાં મૂલ્ય શોધો :

(a) $\ominus$ Cd | Cd^{2+}(0.02M) || H^+(1M) | $\frac{1}{2}$ H_2(1 બાર) | Pt $\oplus$

(b) $\ominus$ Mg | Mg^{2+}(0.18M) || Ag^+(0.01M) | Ag(s) $\oplus$

(c) $\ominus$ Al | Al^{3+}(0.25M) || Zn^{2+}(0.15M) | Zn(s) $\oplus$

(3) $Sn^{2+} | Sn$ અને $Ni^{2+} | Ni$ અર્ધ કોષના પ્રમાણિત પોટૅન્શિયલના મૂલ્ય અનુક્રમે – 0.14 અને – 0.23 છે. આ બે અર્ધ કોષને જોડતાં 298 K તાપમાને થતી પ્રક્રિયાનો સંતુલન અચળાંક શોધો.

(4) 298 K તાપમાને નીચે આપેલા કોષનો પોટૅન્શિયલ 0.52 V છે, તો HClના દ્રાવણની pH શોધો. ($E^0_{Cu^{2+} | Cu}$ = 0.34 V)

$\ominus$ Pt | H_2(1 બાર) | HCl (xM) || Cu^{2+}(0.02M) | Cu(s) $\oplus$

(5) 298 K તાપમાને નીચે આપેલા કોષનો પોટૅન્શિયલ 0.588 V છે, તો પાણીનો આયનીય ગુણાકાર (K_W) ગણો.

$\ominus$ Pt | H_2(1 બાર) | NaOH (0.01M) || HCl (0.01M) | H_2(1 બાર) | Pt $\oplus$

(6) 298 K તાપમાને 1 બાર દબાણે ગ્રૅફાઇટના વિદ્યુતધ્રુવો વચ્ચે $CuSO_4$ના વિદ્યુતવિભાજન કોષ દરમિયાન 18.4 ઍમ્પિયરનો વિદ્યુતપ્રવાહ 1 કલાક અને 42 મિનિટ માટે પસાર કરતાં કેટલા ગ્રામ Cu મળશે અને કેટલા કદન O_2 વાયુ મળશે ? કોષની ક્ષમતા 75 % છે. (Cu = 63.5u O = 16u)

(7) 300 K તાપમાને 1 બાર દબાણે Na_2SO_4ના જલીય દ્રાવણમાં ગ્રૅફાઇટના ધ્રુવોથી વિદ્યુતવિભાજન કરતાં 250 મિલિલિટર મિનિટ$^{-1}$ O_2 વાયુ કેટલા ઍમ્પિયરનો વીજપ્રવાહ પસાર કરતાં મળશે ?

(8) $AgNO_3$ના વિદ્યુતવિભાજન કોષમાં 5 ઍમ્પિયરનો વીજપ્રવાહ 2.7 કલાક માટે પસાર કરતાં કૅથોડ પર ગોઠવેલ કેટલી ચમચીઓ ઉપર ચાંદીનો ઢોળ ચઢાવી શકાશે ? એક ચમચી પર 0.01 ગ્રામનું પડ ચડે છે. Ag = 108u છે.

(9) 400 મિલિ 0.04 M $AgNO_3$ના દ્રાવણના વિદ્યુતવિભાજન દરમિયાન Agના સંપૂર્ણ નિક્ષેપન કરવા 4.8 ઍમ્પિયરનો વીજપ્રવાહ કેટલા સમય માટે પસાર કરવો પડશે ?

(10) એક લિટર 0.6 M $CuCl_2$ના જલીય દ્રાવણમાં નિષ્ક્રિય વિદ્યુતધ્રુવો ડુબાડી 4.5 ઍમ્પિયરનો વિદ્યુતપ્રવાહ 1.15 કલાક માટે પસાર કરતા કેટલા ગ્રામ Cu મળશે ? દ્રાવણની સાંદ્રતામાં કેટલો ફેરફાર થશે ?