ગુજરાત રાજ્યના શિક્ષણવિભાગના પત્ર-ક્રમાંક
મશબ/1211/414/છ, તા. 19-1-2012-થી મંજૂર

રસાયણવિજ્ઞાન

ધોરણ 12

(સિમેસ્ટર III)

પ્રતિજ્ઞાપત્ર

ભારત મારો દેશ છે.
બધાં ભારતીયો મારાં ભાઈબહેન છે.
હું મારા દેશને ચાહું છું અને તેના સમૃદ્ધ અને
વૈવિધ્યપૂર્ણ વારસાનો મને ગર્વ છે.
હું સદાય તેને લાયક બનવા પ્રયત્ન કરીશ.
હું મારાં માતાપિતા, શિક્ષકો અને વડીલો પ્રત્યે આદર રાખીશ
અને દરેક જણ સાથે સભ્યતાથી વર્તીશ.
હું મારા દેશ અને દેશબાંધવોને મારી નિષ્ઠા અર્પું છું.
તેમનાં કલ્યાણ અને સમૃદ્ધિમાં જ મારું સુખ રહ્યું છે.

રાજ્ય સરકારની વિનામૂલ્યે યોજના હેઠળનું પુસ્તક

ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ
'વિદ્યાયન', સેક્ટર 10-એ, ગાંધીનગર-382 010

© ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ, ગાંધીનગર
આ પાઠ્યપુસ્તકના સર્વ હક ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળને હસ્તક છે.
આ પાઠ્યપુસ્તકનો કોઈ પણ ભાગ કોઈ પણ રૂપમાં ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળના નિયામકની લેખિત પરવાનગી વગર પ્રકાશિત કરી શકાશે નહિ.

લેખન
ડૉ. આઇ. એમ. ભટ્ટ (કન્વીનર)
ડૉ. મયૂર સી. શાહ
ડૉ. જાગૃતિબહેન પટેલ
શ્રી સી. આઇ. પટેલ
શ્રીમતી શોભનાબહેન એમ. ઠક્કર

અનુવાદ
ડૉ. આઇ. એમ. ભટ્ટ
ડૉ. મયૂર સી. શાહ
ડૉ. જાગૃતિબહેન પટેલ
શ્રી સી. આઇ. પટેલ
શ્રીમતી શોભનાબહેન એમ. ઠક્કર

સમીક્ષા
શ્રી એચ. એમ. પટેલ
શ્રી અમૃતભાઈ આઇ. પટેલ
શ્રી એ. એસ. પટેલ
શ્રી એચ. કે. પટેલ
શ્રી આઇ. એચ. કુરેશી
શ્રી શેખર બી. ગોર
શ્રી બી. એ. નાયક
શ્રીમતી રક્ષાબહેન ડી. પટેલ
શ્રીમતી હીનાબહેન એન. નાયક

ભાષાશુદ્ધિ
શ્રીમતી વી. કે. મહેતા

ચિત્રાંકન
શ્રી જી. વી. મેવાડા

સંયોજન
શ્રી ચિરાગ એચ. પટેલ
(વિષય-સંયોજક : ભૌતિકવિજ્ઞાન)

નિર્માણ-આયોજન
શ્રી હરેશ એસ. લીમ્બાચીયા
(નાયબ નિયામક : શૈક્ષણિક)

મુદ્રણ-આયોજન
શ્રી હરેશ એસ. લીમ્બાચીયા
(નાયબ નિયામક : ઉત્પાદન)

પ્રસ્તાવના

કૉર-કરિક્યુલમ અને એન.સી.ઈ.આર.ટી. દ્વારા એન.સી.એફ.-2005 મુજબ તૈયાર કરવામાં આવેલા નવા રાષ્ટ્રીય અભ્યાસક્રમોના અનુસંધાનમાં ગુજરાત રાજ્ય માધ્યમિક અને ઉચ્ચતર માધ્યમિક શિક્ષણ બોર્ડે નવા અભ્યાસક્રમો તૈયાર કર્યા છે. આ અભ્યાસક્રમો ગુજરાત સરકાર દ્વારા મંજૂર કરવામાં આવ્યા છે.

ગુજરાત સરકાર દ્વારા મંજૂર થયેલા **ધોરણ 12 (સિમેસ્ટર III)**ના **રસાયણવિજ્ઞાન** વિષયના નવા અભ્યાસક્રમ અનુસાર તૈયાર કરવામાં આવેલું આ પાઠ્યપુસ્તક વિદ્યાર્થીઓ સમક્ષ મૂકતાં મંડળ આનંદ અનુભવે છે.

આ પાઠ્યપુસ્તક પ્રસિદ્ધ કરતાં પહેલાં એની હસ્તપ્રતની આ સ્તરે શિક્ષણકાર્ય કરતા શિક્ષકો અને તજ્જ્ઞો દ્વારા સર્વાંગી સમીક્ષા કરાવવામાં આવી છે અને તેમનાં સૂચનો અનુસાર હસ્તપ્રતમાં યોગ્ય સુધારાવધારા કર્યા પછી આ પાઠ્યપુસ્તક પ્રસિદ્ધ કરવામાં આવ્યું છે.

આ મૂળ અંગ્રેજીમાં લખાયેલ પાઠ્યપુસ્તકનો ગુજરાતી અનુવાદ છે. ગુજરાતી અનુવાદની વિષય અને ભાષાના નિષ્ણાતો દ્વારા સમીક્ષા કરાવવામાં આવી છે.

પ્રસ્તુત પાઠ્યપુસ્તકને વિષયવસ્તુલક્ષી, રસપ્રદ અને ક્ષતિરહિત બનાવવા માટે મંડળે પૂરતી કાળજી લીધી છે. તેમ છતાં શિક્ષણમાં રસ ધરાવનાર વ્યક્તિઓ પાસેથી પુસ્તકની ગુણવત્તા વધારે તેવાં સૂચનો આવકાર્ય છે.

ડૉ. ભરત પંડિત
નિયામક
તા. 3-3-2015

ડૉ. નીતિન પેથાણી
કાર્યવાહક પ્રમુખ
ગાંધીનગર

પ્રથમ આવૃત્તિ : 2012, પુનઃમુદ્રણ : 2012, 2013, 2014
પ્રકાશક : ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ, 'વિદ્યાયન', સેક્ટર 10–એ, ગાંધીનગર વતી
ડૉ. ભરત પંડિત, નિયામક
મુદ્રક :

મૂળભૂત ફરજો

ભારતના દરેક નાગરિકની ફરજ નીચે મુજબ રહેશે :*

(ક) સંવિધાનને વફાદાર રહેવાની અને તેના આદર્શો અને સંસ્થાઓનો, રાષ્ટ્રધ્વજનો અને રાષ્ટ્રગીતનો આદર કરવાની;

(ખ) આઝાદી માટેની આપણી રાષ્ટ્રીય લડતને પ્રેરણા આપનારા ઉમદા આદર્શોને હૃદયમાં પ્રતિષ્ઠિત કરવાની અને અનુસરવાની;

(ગ) ભારતનાં સાર્વભૌમત્વ, એકતા અને અખંડિતતાનું સમર્થન કરવાની અને તેમનું રક્ષણ કરવાની;

(ઘ) દેશનું રક્ષણ કરવાની અને રાષ્ટ્રીય સેવા બજાવવાની હાકલ થતાં, તેમ કરવાની;

(ચ) ધાર્મિક, ભાષાકીય, પ્રાદેશિક અથવા સાંપ્રદાયિક ભેદોથી પર રહીને, ભારતના તમામ લોકોમાં સુમેળ અને સમાન બંધુત્વની ભાવનાની વૃદ્ધિ કરવાની, સ્ત્રીઓના ગૌરવને અપમાનિત કરે તેવા વ્યવહારો ત્યજી દેવાની;

(છ) આપણી સમન્વિત સંસ્કૃતિના સમૃદ્ધ વારસાનું મૂલ્ય સમજી તે જાળવી રાખવાની;

(જ) જંગલો, તળાવો, નદીઓ અને વન્ય પશુપક્ષીઓ સહિત કુદરતી પર્યાવરણનું જતન કરવાની અને સુધારણા કરવાની અને જીવો પ્રત્યે અનુકંપા રાખવાની;

(ઝ) વૈજ્ઞાનિક માનસ, માનવતાવાદ અને જિજ્ઞાસા તથા સુધારણાની ભાવના કેળવવાની;

(ટ) જાહેર મિલકતનું રક્ષણ કરવાની અને હિંસાનો ત્યાગ કરવાની;

(ઠ) રાષ્ટ્ર પુરુષાર્થ અને સિદ્ધિનાં વધુ ને વધુ ઉન્નત સોપાનો ભણી સતત પ્રગતિ કરતું રહે એ માટે, વૈયક્તિક અને સામૂહિક પ્રવૃત્તિનાં તમામ ક્ષેત્રે શ્રેષ્ઠતા હાંસલ કરવાનો પ્રયત્ન કરવાની;

(ડ) માતા-પિતાએ અથવા વાલીએ 6 વર્ષથી 14 વર્ષ સુધીની વયના પોતાના બાળક અથવા પાલ્યને શિક્ષણની તકો પૂરી પાડવી.

* ભારતનું સંવિધાન : કલમ 51-क

અનુક્રમણિકા

1.	ઘન અવસ્થા	1 - 26
2.	દ્રાવણો	27 - 62
3.	વિદ્યુતરસાયણ	63 - 111
4.	તત્ત્વોના અલગીકરણ માટેના સામાન્ય સિદ્ધાંતો અને પદ્ધતિઓ	112 - 132
5.	p-વિભાગનાં તત્ત્વો II	133 - 171
6.	હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનો	172 - 209
7.	આલ્કોહોલ, ફિનોલ અને ઈથર સંયોજનો	210 - 264
•	પારિભાષિક શબ્દો	265 - 272
•	લૉગરિધમ	273 - 276

આ પાઠ્યપુસ્તક વિશે...

કેન્દ્ર સરકાર તરફથી નક્કી કરવામાં આવ્યું છે કે, રાષ્ટ્રીય કક્ષાએ ઉચ્ચ અભ્યાસ અર્થે એક જ સ્પર્ધાત્મક પરીક્ષા લેવામાં આવશે. આ આયોજનના પરિણામ-સ્વરૂપે કોર-કરિક્યુલમની રચના થઈ. આનો અર્થ એમ હતો કે, રાષ્ટ્રીય સ્પર્ધાત્મક પરીક્ષા માટે એકસરખો જ અભ્યાસક્રમ વિજ્ઞાનપ્રવાહના વિષયોમાં હોવો જોઈએ. આથી NCF-2005 મુજબ પુસ્તક તૈયાર કરવામાં આવે તો જ એકસરખો અભ્યાસક્રમ સંભવી શકે.

આથી ગુજરાત રાજ્ય માધ્યમિક અને ઉચ્ચતર માધ્યમિક શિક્ષણ બોર્ડ તરફથી તજ્જ્ઞો અને શિક્ષકો દ્વારા કોર-કરિક્યુલમના અને NCF-2005ના આધારે રસાયણવિજ્ઞાનનો અભ્યાસક્રમ તૈયાર કરવામાં આવ્યો.

ગુજરાત રાજ્ય સરકાર 'ભાર વિનાનું ભણતર' યોજના માટે પ્રયત્નશીલ હોવાથી સિમેસ્ટર પદ્ધતિ વિદ્યાર્થીને રાહત આપશે. ગુજરાત રાજ્ય શાળા પાઠ્યપુસ્તક મંડળ તરફથી આ વિષય શીખવતા, પોતાનો શૈક્ષણિક અનુભવ તથા ઉચ્ચતર માધ્યમિક શિક્ષણ બોર્ડની પરીક્ષા અને ગુજકેટ પરીક્ષાના પ્રશ્નપત્રો કાઢવાના અનુભવી એવા શિક્ષકો, શાળા તથા કૉલેજ સ્તરેથી પસંદ કરી તેમની તજ્જ્ઞતાનો લાભ વિદ્યાર્થીઓને મળે તેવી હકારાત્મક ગોઠવણી કરી. આ પુસ્તકના લેખનકાર્ય સાથે સંકળાયેલા લેખકોએ ઉપર્યુક્ત બધાં જ પાસાં ધ્યાનમાં રાખી ચર્ચા-વિચારણા સાથે એકમો લખ્યા. જેનું અન્ય શિક્ષકો, તજ્જ્ઞો અને પરામર્શકો દ્વારા પરામર્શન કરવામાં આવ્યું તથા યોગ્ય સુધારાવધારા કરી આ પુસ્તક રાષ્ટ્રીય કક્ષાએ ઉપયોગી નીવડે તેવું બનાવવા પ્રયત્ન કર્યો છે.

એક મહત્ત્વની બાબત ઉમેરવામાં આવી છે કે, આ નવા પુસ્તકમાં કેટલાક શબ્દોમાં ફેરફાર સ્વીકાર્યા છે. જેમકે પરમાણુભારને બદલે પરમાણ્વિય દળ, અણુભારને બદલે આણ્વિય દળ, ઊર્જાને બદલે એન્થાલ્પી, વાતાવરણને બદલે બાર તથા પાસ્કલના એકમના ઉપયોગ. Reactivity એટલે પ્રતિક્રિયાત્મકતા જેવા શબ્દો અપરિચિત લાગશે પણ આધુનિક અભ્યાસક્રમમાં સમાવેશ જરૂરી જણાયા છે. આ ઉપરાંત પ્રવર્તમાન પુસ્તકમાંના નામકરણ, પદ્ધતિ એકમો વગેરેને બદલે NCERTમાં સમાવિષ્ટ આધુનિક SI એકમોનો ઉપયોગ કરવામાં આવ્યો છે. આ થોડુંઘણું નવીન જણાશે પણ સ્પર્ધાત્મક પરીક્ષામાં ખૂબ જ ઉપયોગી હોઈ તથા વર્તમાન શિક્ષણના તરાહમાં સિદ્ધિ મેળવવા અને નવા પડકારોનો સામનો કરવા તેને સ્વીકારવું જ રહ્યું.

JEE, NEET વગેરે સ્પર્ધાત્મક પરીક્ષાઓના પ્રશ્નપત્રોમાં SI એકમોનો જ ઉપયોગ થાય છે. આપણી ગુજકેટની પરીક્ષામાં SI એકમોનો ઉપયોગ થતો ન હોવાથી વિદ્યાર્થીઓને ઉપર્યુક્ત સ્પર્ધામાં મુશ્કેલી પડતી હતી પણ અમને ખાતરી છે કે, વિદ્યાર્થીઓ હવે રાષ્ટ્રીય કક્ષાએ ગુજરાતનું નામ ગૌરવવંતુ કરશે.

આ પુસ્તકમાં વિષયવસ્તુ, રજૂઆત, દાખલા વગેરેનો સમાવેશ એ રીતે કરવામાં આવ્યો છે કે, જેનાથી શિક્ષકો અને વિદ્યાર્થીઓને વિષય સમજવામાં સરળતા રહેશે. દરેક તબક્કે સરળતા રાખવાનો પ્રયત્ન કર્યો છે. તેમ છતાં જો શિક્ષકમિત્રો અથવા શિક્ષણ સાથે સંકળાયેલ સૌ કોઈ યોગ્ય માર્ગદર્શન અને પૂર્ણતા પ્રાપ્તિ માટે સૂચનો મોકલશે, તો તેનો પાઠ્યપુસ્તક મંડળ સાભાર સ્વીકાર કરશે અને ભવિષ્યમાં આવનાર રીપ્રિન્ટ કે સુધારેલી આવૃત્તિમાં તેનો સમાવેશ કરશે.

'યોગ્ય સૂચન તમારું અને તેનું અમલીકરણ કરવાનું કાર્ય અમારું' એ ધ્યેય રાખી ગુજરાત રાજ્યના વિદ્યાર્થીઓ રાષ્ટ્રીય કક્ષાએ વધુ પ્રમાણમાં સફળતા મેળવે તેવા પ્રયત્નોમાં સૌ કોઈ સામેલ થાય તેવી અભ્યર્થના અને વિનંતી.

– લેખકો

એકમ

1

ઘન અવસ્થા

1. પ્રસ્તાવના (Introduction)

આગળનાં ધોરણોમાં તમે પાંચ અવસ્થાઓ : ઘન, પ્રવાહી, વાયુ, પ્લાઝ્મા અને બીઈસી (બોઝ-આઈનસ્ટાઈન કન્ડેન્સેટ)નો અભ્યાસ કરી ચૂક્યા છો. આ પૈકી ઘન, પ્રવાહી, વાયુ અવસ્થા વિશે તમે માહિતગાર છો. પ્રવાહી અને વાયુનો અભ્યાસ ધોરણ 11માં વાયુ અવસ્થા અને પ્રવાહી અવસ્થાના એકમોમાં કર્યો છે. વાયુના નિયમો, પ્રવાહીના લાક્ષણિક ગુણધર્મો વગેરેનો પણ અભ્યાસ કર્યો છે. આ એકમમાં ઘન વિશે વધુ ઊંડાણમાં અભ્યાસ કરીશું. ઘન પદાર્થની રચના, ગુણધર્મો વગેરેના અભ્યાસને ઘન અવસ્થા રસાયણવિજ્ઞાન (Solid State Chemistry) કહે છે.

ઘન પદાર્થને ચોક્કસ આકાર અને કદ હોય છે એ વાત આપણે જાણીએ છીએ. આ વાક્ય સાથે સંલગ્ન રસાયણવિજ્ઞાનની ઘણી બધી ઘટનાઓનો અભ્યાસ કરીશું. આપણે ઘન પદાર્થથી પરિચિત છીએ. કારણ કે રોજબરોજનાં જીવનમાં આ પદાર્થો સાથે આપણે સંકળાયેલાં છીએ. જુદા જુદા ઉપયોગો માટે જુદા જુદા ઘન પદાર્થો વપરાય છે. ઘનમાં તેમનાં જુદાં જુદાં બંધારણ અને બંધનબળો સંકળાયેલાં હોય છે. ઘનનો અભ્યાસ કરીને તેના ગુણધર્મોની જાણકારી મેળવી તથા તેમાં ફેરફાર દ્વારા તેના ઘણા બધા ઉપયોગો કરી શકાય. જેમ કે અતિવાહકો તથા પ્લાસ્ટિકના પેકિંગ માટે વપરાતાં પદાર્થો બનાવી શકાય. ઘન પદાર્થ પ્રવાહી અને વાયુ કરતાં એક જ બાબતમાં અલગ પડે છે અને તે પ્રવાહિતા છે. તેથી પ્રવાહી અને વાયુઓને દ્રવ (fluid) પણ કહેવાય છે, પરંતુ ઘનમાં આયનો, અણુઓ કોઈ નિશ્ચિત રૂપે વ્યવસ્થિત ગોઠવણીમાં હોય છે તેથી તેમના ચોક્કસ આકાર બને છે, માટે તે દ્રવ નથી. ઘનમાં પણ બે પ્રકાર હોઈ શકે : સ્ફટિકમય અને અસ્ફટિકમય. સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થમાં પરમાણુઓ કે આયનોની ગોઠવણી વ્યવસ્થિત હોય છે.

આ એકમમાં આપણે ઘન પદાર્થમાં પરમાણુઓ કે આયનોની ગોઠવણી અને તેનો તેમના ગુણધર્મો સાથેના સંબંધનો અભ્યાસ કરીશું. આ ગુણધર્મોમાં કેવા ફેરફાર કરીએ તો ઇચ્છિત અને ઉપયોગી અસંખ્ય ઘન પદાર્થો મેળવી શકાય એનો પણ અભ્યાસ કરીશું.

1.1 બંધન બળોના આધારે ઘન પદાર્થોનું વર્ગીકરણ (આણ્વિય, આયનીય, સહસંયોજક, ધાત્વિક) (Classification of Compounds on the Basis of Bonding Forces (Molecular, Ionic, Covalent, Metallic))

મોટા ભાગના ઘન પદાર્થો સ્ફટિકમય હોય છે. જેમ કે કોપર, લોખંડ, સિલ્વર જેવી ધાતુઓ. ફૉસ્ફરસ, સલ્ફર જેવી અધાતુઓ, આયનીય સ્વરૂપમાં સોડિયમ ક્લોરાઇડ, પોટેશિયમ ક્લોરાઇડના સ્ફટિક અને નેપ્થેલીન જેવા આણ્વિય ઘન.

સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોનું વર્ગીકરણ તેમાં રહેલા આંતરઆણ્વિય આકર્ષણ બળોના આધારે ચાર વિભાગમાં કરવામાં આવેલ છે : (1) આણ્વિય ઘન (2) આયનીય ઘન (3) ધાત્વિક ઘન અને (4) સહસંયોજક અથવા જાળીદાર ઘન.

(1) આણ્વિય ઘન : આણ્વિય ઘનમાં રહેલા અણુ, ઘનના ઘટક કણો હોય છે. તેમને નીચેના ત્રણ વિભાગોમાં વહેંચી શકાય :

(અ) બિનધ્રુવીય આણ્વિય ઘન : આ પ્રકારના ઘનમાં તત્ત્વો જેવા કે, આર્ગોન, હિલિયમ અથવા બિનધ્રુવીય સહસંયોજક બંધથી બનેલા અણુઓ જેવા કે ડાયહાઇડ્રોજન, ડાયક્લોરિન, ડાયઆયોડિન વગેરેનો સમાવેશ થઈ શકે. આ પ્રકારના ઘનમાં પરમાણુઓ અથવા અણુઓ નિર્બળ વિક્ષેપન (dispersion) બળો અથવા લંડન બળો ધરાવે છે. આવાં બળોનો અભ્યાસ ધોરણ 11માં તમે કરી ચૂક્યા છો. આવા પ્રકારના ઘન નીચાં ગલનબિંદુ ધરાવે છે અને તેઓ પોચાં (મૃદુ) તથા વિદ્યુતના અવાહક હોય છે. સામાન્ય તાપમાને અને દબાણે તેઓ પ્રવાહી અવસ્થા અથવા વાયુમય અવસ્થામાં હોય છે.

(બ) ધ્રુવીય આણ્વિય ઘન : SO_2, NH_3 જેવા ઘન સામાન્ય રીતે ધ્રુવીય સહસંયોજક બંધ ધરાવે છે. આવા ઘનના અણુઓ એકબીજાની સાપેક્ષમાં પ્રબળ એવી ધ્રુવીય-ધ્રુવીય આંતરક્રિયાઓથી જકડાયેલા હોય છે. તેઓ પણ પોચા (મૃદુ) અને વિદ્યુતના અવાહક હોય છે. તેમનાં ગલનબિંદુ, બિનધ્રુવીય આણ્વિય ઘન કરતાં ઊંચા હોવા છતાં પણ સામાન્ય તાપમાને તેઓ વાયુ અથવા પ્રવાહી અવસ્થામાં હોય છે. ઘન SO_2 અને ઘન NH_3 આ પ્રકારના ઘન છે.

(ક) હાઇડ્રોજનબંધ ધરાવતાં આણ્વિય ઘન : આ પ્રકારના ઘનમાં H જેવા પરમાણુ અને F, O અથવા N જેવા વધુ વિદ્યુતઋણમય સાથે ધ્રુવીય સહસંયોજક બંધ બનાવે છે. તેમાં રહેલું પ્રબળ હાઇડ્રોજન બંધન તેને જકડી રાખી શકે છે. બરફ જેવો પદાર્થ આનું ઉદાહરણ છે. બરફ વિદ્યુતનો અવાહક છે. ઓરડાનાં તાપમાન અને દબાણે તેઓ બાષ્પશીલ પ્રવાહી અથવા પોચો (મૃદુ) ઘન હોય છે. બરફના અણુમાં પાણીના ચાર અણુ હાઇડ્રોજનબંધ દ્વારા આકર્ષાયેલા હોય છે. હાઇડ્રોજનબંધને પરિણામે તે જ સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વોના હાઇડ્રાઇડથી અલગ પડે છે.

(2) આયનીય ઘન : આયનીય ઘનના ઘટક કણો આયનો હોય છે. આવા પદાર્થનાં ધનાયનો અને ઋણાયનો પ્રબળ કુલંબિક બળથી આકર્ષાયેલા હોય છે અને તેથી ત્રિપરમાણ્વીય દિશામાં બળ સ્થિત અણુઓની ગોઠવણી ધરાવે છે. તેઓ સખત અને બરડ હોય છે. તેમના ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ ધન અને ઋણ આયનોના પ્રબળ આકર્ષણને કારણે ઊંચા હોય છે. આવા પદાર્થોમાં આયનો હોવા છતાં તે વિદ્યુત કે ઉષ્માનું વહન કરી શકતા નથી. કારણ કે ધનાયન અને ઋણાયન વચ્ચે પ્રબળ આકર્ષણબળ હોવાથી જકડાયેલો રહે છે. પરંતુ તેમને પાણીમાં ઓગાળતાં અથવા તેમને ઘન સ્વરૂપમાંથી પીગળાવી નાખતાં આયનો અલગ પડે છે અને તેથી વિદ્યુતનું વહન કરે છે.

(3) ધાત્વિક ઘન : મોટાભાગની ધાતુઓ ઘન સ્વરૂપે હોય છે અને તેથી જેની આસપાસ મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉન ગોઠવાયેલાં હોય છે. તે ધાતુના ધનાયન કેન્દ્રમાં હોય છે જે ચોક્કસ રીતે ગોઠવાયેલાં હોય છે. ઇલેક્ટ્રૉન કોઈ પણ ધાતુકેન્દ્રના પરમાણુ કેન્દ્રના ફરતા ઇલેક્ટ્રૉન સમુદ્ર સ્વરૂપે પથરાયેલાં હોય છે. આ ઇલેક્ટ્રૉન કોઈ પણ કેન્દ્ર પૂરતા સીમિત ન રહેતાં સમુદ્રમાં ફરતાં પાણીના વહેણની જેવાં કેન્દ્રોની આજુબાજુ ઘૂમતા હોય છે અને આ મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉન ધાતુમાંથી વિદ્યુત તથા ઉષ્માનું વહન થવા દે છે. જ્યારે વિદ્યુતબળ લગાડવામાં આવે ત્યારે તેઓ ખસે છે, પણ નવીન અવસ્થામાં ઇલેક્ટ્રૉન તેની આજુબાજુ ગોઠવણ કરી લે છે. જ્યારે ઉષ્મા ધાતુમાં દાખલ કરવામાં આવે છે, ત્યારે ઉષ્મીય ઊર્જા મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉન વડે બધે પ્રસરી જાય છે. આ ઉપરાંત ધાતુઓને ચળકાટ હોય છે અને કેટલાક કિસ્સાઓમાં રંગ પણ હોય છે. આ પણ મુક્ત ઇલેક્ટ્રૉનની હાજરીને લીધે હોય છે. તેમને ટીપી શકાય છે તથા તેમના તાર ખેંચી શકાય છે.

(4) સહસંયોજક અથવા જાળીદાર ઘન : સમગ્ર સ્ફટિકમાં અરસપરસના પરમાણુઓ સહસંયોજક બંધની રચનાથી ખૂબ જ પ્રમાણમાં જુદા જુદા સ્ફટિકમય ઘન તરીકે રચના પામે છે. તેમને વિરાટ અણુઓ (Giant Molecules) કહે છે. સહસંયોજક બંધ દિશાકીય ગુણધર્મ ધરાવતા હોવાથી આ સંયોજનોમાં ખૂબ જ વિવિધતા જોવા મળે છે. તેમના અણુઓ સખતાઈથી જકડાયેલાં રહે છે અને તેથી ઘણા ઊંચા ઉત્કલનબિંદુ ધરાવે છે. કેટલાંક ગલન પામતાં પહેલાં વિઘટન પામે છે અને વિદ્યુતના વાહક પણ નથી. હીરો અને ગ્રેફાઇટ બંને આવા પ્રકારનાં ખાસ ઉદાહરણો છે. ગ્રેફાઇટનું બંધારણ વિશિષ્ટ હોવાથી તે પોચું અને વિદ્યુતનું સુવાહક છે. ગ્રેફાઇટમાં કાર્બનના ત્રણ પરમાણુ sp^2 સંકરણથી ત્રણ સહસંયોજક બંધ રચે છે અને ચોથો ઇલેક્ટ્રૉન મુક્ત રહે છે, જે ગ્રેફાઇટના એક સ્તર અને બીજા સ્તર વચ્ચે જોડાણ રાખે છે. આમ ગ્રેફાઇટમાં sp^2

સંકરણ ધરાવતી ષટ્કલકીય રચના ધરાવતાં પડ બને છે અને ચોથો ઇલેક્ટ્રોન તેમની વચ્ચે 340 pm જેટલું અંતર રાખે છે તથા તે મુક્ત હોવાથી વિદ્યુતનું વહન કરે છે. ગ્રેફાઇટના જુદા જુદા સ્તરો એકબીજા સાથે ઘર્ષણ કરી ખસી શકે છે માટે ગ્રેફાઇટ સારું ઘન લુબ્રિકન્ટ છે. જ્યારે હીરામાં sp^3 સંકરણથી ચતુષ્ફલક રચના થાય છે અને તેના ચારેય ખૂણાઓ અન્ય હીરાના કાર્બન પરમાણુ દ્વારા જોડાઈ ત્રિપરિમાણીય દિશામાં વિસ્તરે છે. તેથી તે ખૂબ જ કઠણ છે. વળી તેમાં મુક્ત ઇલેક્ટ્રોન ન હોવાથી વિદ્યુતનું વહન કરી શકતો નથી. આમ જોઈ શકાય છે કે, એક જ તત્ત્વનાં બે અપરરૂપોમાં આંતરઆણ્વિય બળો અને સંકરણ અલગ રચાય તો તે અપરરૂપોના ગુણધર્મોમાં ઘણો મોટો ફેરફાર જણાય છે.

નીચેના કોષ્ટક 1.1માં ચારેય પ્રકારના ઘન અને તેમના ગુણધર્મો દર્શાવ્યા છે :

કોષ્ટક 1.1 ઘનના જુદા જુદા પ્રકારો અને ગુણધર્મો

ઘનનો પ્રકાર	ઘટક કણ	આકર્ષણ બળો	ઉદાહરણ	ભૌતિક સ્વભાવ	ગલનબિંદુ	વિદ્યુતીય વાહકતા
(1) આણ્વિય ઘન (i) બિનધ્રુવીય	અણુઓ	વિક્ષેપન અથવા લંડન બળો	Ar, CCl_4, H_2, I_2, CO_2	મૃદુ	ઘણાં નીચાં	અવાહક
(ii) ધ્રુવીય	અણુઓ	દ્વિધ્રુવ-દ્વિધ્રુવ આંતર આકર્ષણ	HCl, SO_2, NH_3	મૃદુ	નીચાં	અવાહક
(iii) હાઇડ્રોજનબંધ ધરાવતાં	અણુઓ	હાઇડ્રોજનબંધ	H_2O (બરફ)	સખત	નીચાં	અવાહક
(2) આયનીય ઘન	આયન	કુલંબિક અથવા સ્થિરવૈદ્યુતીય	NaCl, MgO, ZnS, CaF_2	સખત પણ બરડ	ઊંચાં	ઘન અવસ્થામાં અવાહક પરંતુ પિગલિત અને જલીય દ્રાવણમાં વાહક
(3) ધાત્વિક ઘન	બિનસ્થાનીકૃત ઇલેક્ટ્રોનના સમુદ્રમાં ધન આયન	ધાત્વિક બંધ	Fe, Ca, Mg, Ag	સખત પણ ટીપાઉ અને તન્ય	પ્રમાણમાં વધુ ઊંચાં	ઘન અને પિગલિત અવસ્થામાં વાહક
(4) સહસંયોજક અથવા જાળીદાર ઘન	પરમાણુઓ	સહસંયોજકબંધ	SiO_2 (ક્વાર્ટ્ઝ), SiC (કાર્બોરેન્ડમ), C (હીરો), C (ગ્રેફાઇટ)	કઠણ / મૃદુ	ઘણાં ઊંચાં	અવાહક / વાહક (અપવાદ)

1.2 સ્ફટિકમય અને અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો (Crystalline and Amorphous Solid Substances)

ઘન પદાર્થો સ્ફટિકમય તથા અસ્ફટિકમય રૂપે મળે છે. તેમની રચના અને બંધારણમાં તફાવત હોય છે.

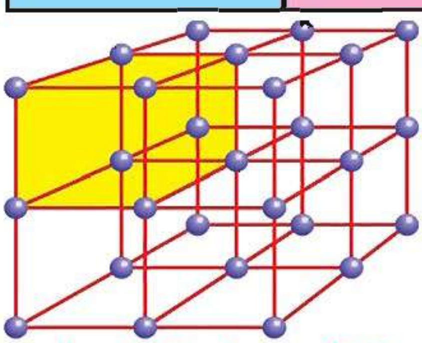
સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો દૃઢ અને અદબનીય હોય છે. તેમને ચોક્કસ આકાર હોય છે. તેમની ભૌમિતિક રચના નિયમિત અને ચોક્કસ હોય છે. આનું કારણ તેમના પરમાણુ, અણુ કે આયનોની ત્રિપરિમાણીય અવકાશ(space)માં નિયમિત અને ચોક્કસ ગોઠવણી હોય છે. તેમને ચોક્કસ અને સ્પષ્ટ (sharp) ગલનબિંદુ હોય છે. આવા સ્ફટિકમય ઘનનાં ઉદાહરણોમાં NaCl, KClનો સમાવેશ થાય છે.

અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો પણ દૃઢ અને અદબનીય હોય છે. પણ તેમના ચોક્કસ ભૌમિતિક આકાર હોતા નથી. અસ્ફટિકમય ઘનમાં અણુ, પરમાણુ કે આયનો સખત રીતે બંધનથી જોડાયેલાં હોવા છતાં પણ તેમની ચોક્કસ ભૂમિતિ

કે રચનાની આવર્તિતા જોવા મળતી નથી. તેમનાં ગલનબિંદુ સ્પષ્ટ રહેતાં નથી. કેટલાંક તાપમાન–ગાળો (range) ધરાવતાં હોય છે. આવા અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોનાં ઉદાહરણોમાં કાચ, રબર વગેરેનો સમાવેશ થાય છે. નીચેના કોષ્ટક 1.2માં સ્ફટિકમય અને અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોના તફાવતો દર્શાવ્યા છે :

કોષ્ટક 1.2 સ્ફટિકમય અને અસ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો વચ્ચેનો તફાવત

ગુણધર્મ	સ્ફટિકમય ઘન	અસ્ફટિકમય ઘન
(1) આકાર	ચોક્કસ અને ખાસિયત ધરાવતો ભૌમિતિક આકાર	અનિયમિત આકાર
(2) ગલનબિંદુ	ચોક્કસ અને સ્પષ્ટ ગલનબિંદુ હોય છે, જે ઘનના સ્ફટિકની ખાસિયત છે.	તાપમાનના ગાળા દરમિયાન ધીમે ધીમે પોચું પડે છે એટલે કે ચોક્કસ અને સ્પષ્ટ ગલનબિંદુ હોતું નથી.
(3) ગલન એન્થાલ્પી	ચોક્કસ અને લાક્ષણિક ગલન એન્થાલ્પી હોય છે.	ચોક્કસ અને લાક્ષણિક ગલન એન્થાલ્પી હોતી નથી.
(4) ચિરાડ (cleavage) ગુણધર્મ	ચપ્પાં જેવા ધારદાર સાધન વડે સ્ફટિકને કાપતાં બે ભાગમાં વહેંચાય છે. નવા મળેલા ભાગોની સપાટી પણ સાદી અને પોચી હોય છે એટલે કે મૂળ જેવી જ જણાય છે.	ચપ્પાં જેવા ધારદાર સાધન વડે કાપતાં બે ભાગમાં વહેંચાય છે, પણ નવા મળેલા ભાગોની સપાટી મૂળ જેવી ન હોતાં અનિયમિત હોય છે.
(5) સ્વભાવ	સાચાં ઘન હોય છે.	આભાસી ઘન અથવા અતિશય ઠંડા કરેલા પ્રવાહી હોય છે.
(6) ઘટક કણોની ગોઠવણીનો ક્રમ	લાંબા ગાળા સુધી ક્રમ જળવાય છે.	ટૂંકા ગાળા સુધી જ ક્રમ જળવાય છે.
(7) તાપમાનની અસર	ગરમ કર્યા પછી ઠંડું પાડતાં મળતો આલેખ (તાપમાન → સમય) વક્ર મળતો નથી. સ્ફટિકીકરણ કરતાં તાપમાન નિશ્ચિત રહે છે.	ગરમ કર્યા પછી ઠંડું પાડતાં મળતો આલેખ (તાપમાન → સમય) વક્ર મળે છે. સ્ફટિકીકરણ કરતાં તાપમાનનો ગાળો મળે છે.
(8) ગુણધર્મો	તેમની વિદ્યુતવાહકતા, ઉષ્મીય વાહકતા, યાંત્રિક સામર્થ્ય અને વક્રીભવનાંક જેવા ગુણધર્મો જુદી જુદી દિશામાં જુદા જુદા હોય છે.	તેમની વિદ્યુતવાહકતા, ઉષ્મીય વાહકતા, યાંત્રિક સામર્થ્ય અને વક્રીભવનાંક જેવા ગુણધર્મો બધી જ દિશામાં સરખા હોય છે.



આકૃતિ 1.1 ત્રિપરિમાણીય ઘન લેટિસનો ભાગ અને તેનો એકમ કોષ

1.3 એકમ કોષ–દ્વિપરિમાણીય અને ત્રિપરિમાણીય લેટિસ (Unit Cell-Two Dimensional and Three Dimensional Lattice)

પદાર્થના નાનામાં નાના કણને પરમાણુ અથવા અણુ તરીકે ઓળખીએ છીએ તેમ ઘનના સ્ફટિકને ઓળખવા માટેના નાનામાં નાના કણને એકમ કોષ કહેવામાં આવે છે. આમ સ્ફટિકમય ઘનની મુખ્ય લાક્ષણિકતાઓ ધરાવતા નાનામાં નાના કણને **એકમ કોષ** કહે છે. આવા એકમ કોષ ત્રિપરિમાણીય દિશામાં એકબીજા સાથે ગોઠવાય છે અને સ્ફટિકની રચના બને છે. આ પ્રકારની ગોઠવણીને સ્ફટિક લેટિસ કહે છે. (લેટિસ માટે ગુજરાતીમાં જાલક શબ્દ છે.)

આકૃતિ 1.1માં દરેક કણને બિંદુ તરીકે દર્શાવેલ છે. આમ, અવકાશમાં બિંદુઓની ત્રિપરિમાણીય નિયમિત ગોઠવણીને **સ્ફટિક લેટિસ** કહેવામાં આવે છે. આકૃતિ 1.1માં સ્ફટિક લેટિસનો ભાગ દર્શાવેલ છે. આવી ત્રિપરિમાણીય લેટિસની 14 શક્યતાઓ છે. તેમને બ્રેવિસ (Bravias) લેટિસ કહે છે. સ્ફટિક લેટિસની કેટલીક ખાસિયતો નીચે પ્રમાણે છે :

(1) લેટિસમાંના દરેક બિંદુને લેટિસ બિંદુ અથવા લેટિસ સ્થાન કહે છે.

(2) સ્ફટિક લેટિસમાં દરેક બિંદુ એક ઘટક કણનું પ્રતિનિધિત્વ કરે છે, જે પરમાણુ અણુ કે આયન હોઈ શકે છે.

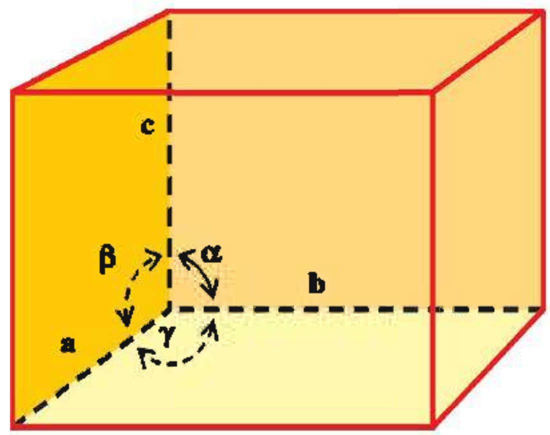
(3) લેટિસ બિંદુઓને સીધી રેખા વડે જોડવામાં આવે છે જેથી લેટિસની ભૂમિતિનો નિર્દેશ કરી શકાય છે.

એકમ કોષ સ્ફટિક લેટિસનો નાનામાં નાનો ભાગ છે, જે જુદી જુદી દિશાઓમાં ત્રિપરિમાણીય રીતે પુનરાવર્તિત થાય છે અને સંપૂર્ણ લેટિસ રચાય છે.

એકમ કોષની ખાસિયતો નીચે પ્રમાણે છે :

(1) તેનાં પરિમાણો તેની ત્રણેય (a, b અને c ધારો) (Edges) પર હોય છે. આ ધારો એકબીજાને લંબ હોય અથવા ન પણ હોય.

(2) ધારોની વચ્ચેના ખૂણાઓ α (ધારો b અને c વચ્ચે), β (ધારો a અને c વચ્ચે) અને γ (ધારો a અને b વચ્ચે) હોય છે. આમ એકમ કોષ છ પેરામીટર a, b, c, α, β, γથી લાક્ષણિક બને છે. આ પેરામીટર આકૃતિ 1.2માં દર્શાવેલ છે.



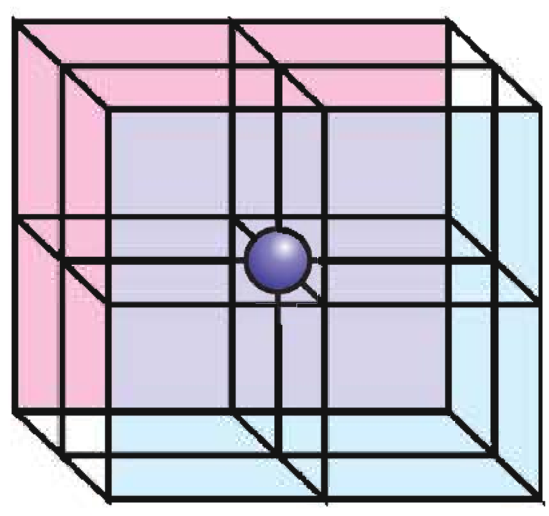
આકૃતિ 1.2 એકમ કોષનાં પરિમાણો

અત્રે નોંધવું જરૂરી છે કે, પુસ્તકોમાં આપણે દ્વિ-પરિમાણીય આકૃતિને દર્શાવી શકીએ. ત્રણેય પરિમાણ દર્શાવવા અઘરાં પડે છે. આથી મૉડેલનો ઉપયોગ કરી આ રચના સારી રીતે સમજી શકાય.

એકમ કોષને બે વિભાગમાં વહેંચી શકાય : (a) આદિમ (Primitive) એકમ કોષ (b) કેન્દ્રિત એકમ કોષ.

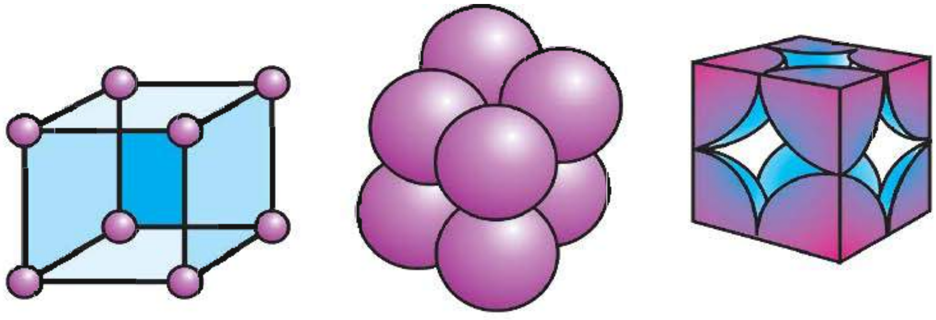
(a) આદિમ એકમ કોષ : જ્યારે ઘટક કણો એકમ કોષના ખૂણાના સ્થાન પર જ ગોઠવાયેલા હોય, તો તેને આદિમ કોષ કહે છે.

(b) કેન્દ્રિત એકમ કોષ : જ્યારે એકમ કોષમાં એક અથવા વધારે ઘટક કણો ખૂણાઓ ઉપરાંત ખૂણાઓ સિવાયની અન્ય જગ્યાએ ગોઠવાયેલા હોય ત્યારે તેને **કેન્દ્રિત એકમ કોષ** કહે છે. કેન્દ્રિત એકમ કોષ ત્રણ પ્રકારના હોય છે : (1) ફલક કેન્દ્રિત એકમ કોષ (2) અંતઃકેન્દ્રિત એકમ કોષ (3) અંત (છેડો) કેન્દ્રિત એકમ કોષ.


આકૃતિ 1.3 સાદા ઘન એકમ કોષમાં દરેક ખૂણા પરનો પરમાણુ 8 પરમાણુ સાથે સહિયારો છે

(1) ફલક કેન્દ્રિત એકમ કોષ : આ પ્રકારના એકમ કોષમાં દરેક ખૂણા પર ગોઠવાયેલા કણો ઉપરાંત દરેક ફલક(બાજુ)ના કેન્દ્રમાં એક-એક કણ ગોઠવાયેલા હોય છે.

(2) અંતઃકેન્દ્રિત એકમ કોષ : આ પ્રકારના એકમ કોષમાં દરેક ખૂણા પર ગોઠવાયેલા ઘટક કણો ઉપરાંત એક ઘટક કણ તેના અંતઃકેન્દ્ર (body centre) પર ગોઠવાયેલ હોય છે.

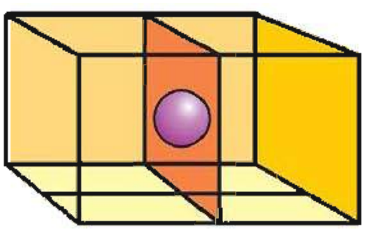


(a) (b) (c)

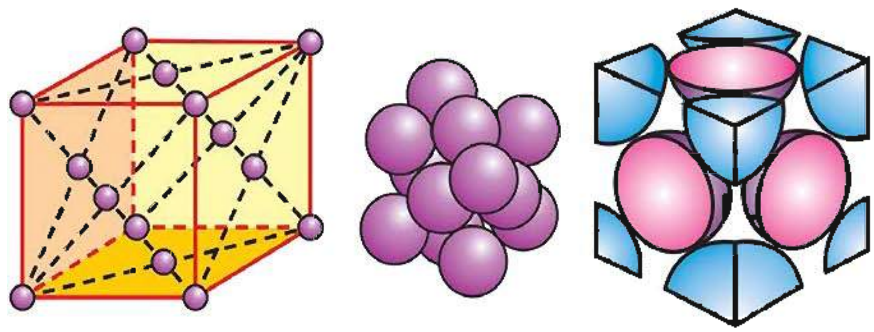
આદિમ એકમ કોષ

(a) ખુલ્લી રચના (b) અવકાશ ભરતી રચના

(c) દરેક એકમ કોષમાં સમાવિષ્ટ વાસ્તવિક ભાગ



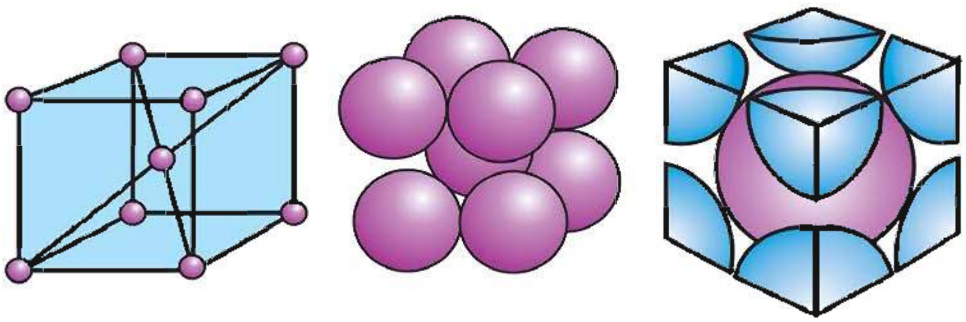
એકમ કોષના ફલક કેન્દ્રનો પરમાણુ
બે એકમ કોષ વચ્ચે વહેંચાયેલો છે



(a) (b) (c)

ફલક કેન્દ્રિત એકમ કોષ (a) ખુલ્લી રચના (b) અવકાશ ભરતી રચના

(c) દરેક એકમ કોષમાં સમાવિષ્ટ વાસ્તવિક ભાગ

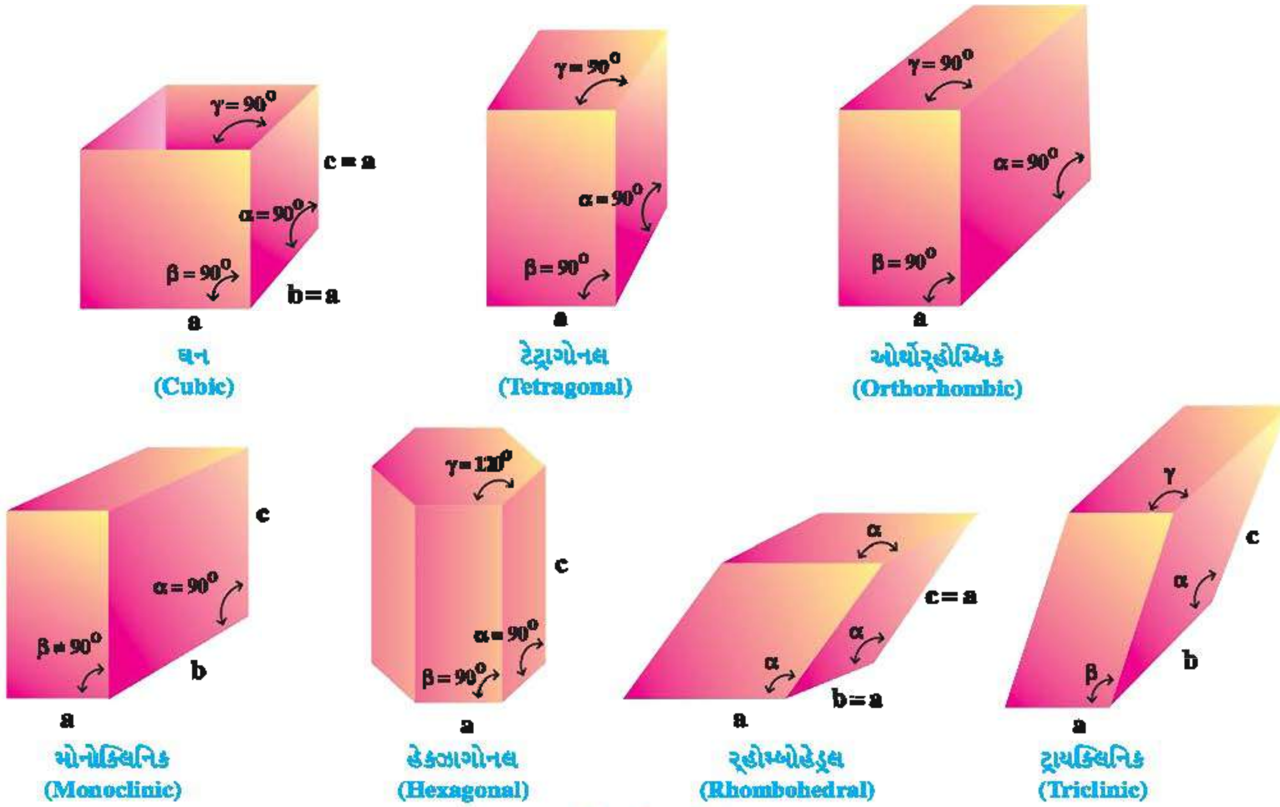


(a) (b) (c)

અંતઃકેન્દ્રિત એકમ કોષ (a) ખુલ્લી રચના (b) અવકાશ ભરતી રચના

(c) દરેક એકમ કોષમાં સમાવિષ્ટ વાસ્તવિક ભાગ

(3) અંત (છેડો) કેન્દ્રિત એકમ કોષ : આ પ્રકારના એકમ કોષમાં દરેક ખૂણા પર ગોઠવાયેલા ઘટક કણો ઉપરાંત એક-એક ઘટક કણ એકબીજાની વિરુદ્ધ ફલકોના કેન્દ્ર પર ગોઠવાયેલા હોય છે.

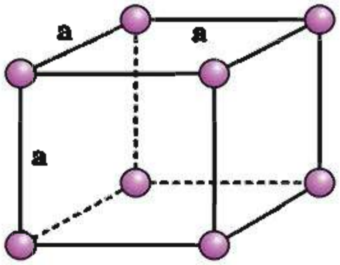


આદિમ એકમ કોષ

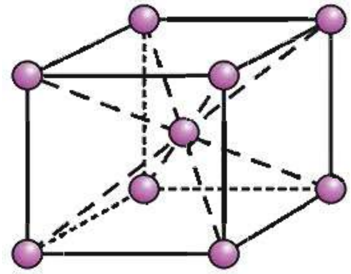
કુલ સાત પ્રકારના આદિમ એકમ કોષ છે, જેને નીચેના કોષ્ટક 1.3માં દર્શાવેલ છે :

કોષ્ટક 1.3 સાત આદિમ એકમ કોષ અને તેમનામાં કેન્દ્રિત એકમ કોષના શક્ય વિચલન

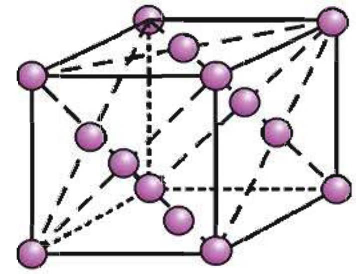
ક્રમ	સ્ફટિક પ્રણાલી	શક્ય વિચલન	અક્ષીય અંતર અથવા ધારનું અંતર	અક્ષીય ખૂણા	ઉદાહરણ
1.	ઘન	આદિમ, અંતઃકેન્દ્રિત, ફલક કેન્દ્રિત	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$	NaCl, ZnS (ઝિંક બ્લેન્ડ), Cu
2.	ટેટ્રાગોનલ	આદિમ, અંતઃકેન્દ્રિત	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$	સફેદ ટિન, SnO_2, TiO_2, $CaSO_4$
3.	ઓર્થોરહોમ્બિક	આદિમ, અંતઃકેન્દ્રિત, ફલક કેન્દ્રિત, અંત (છેડો) કેન્દ્રિત	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$	રહોમ્બિક સલ્ફર, KNO_3, $BaSO_4$
4.	હેક્ઝાગોનલ	આદિમ	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^0$ $\gamma = 120^0$	ગ્રેફાઈટ, ZnO, CdS
5.	રહોમ્બોહેડ્રલ અથવા ટ્રાયગોનલ	આદિમ	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^0 < 120^0$	કેલ્સાઈટ ($CaCO_3$) સિનાબાર (HgS)
6.	મોનોક્લિનિક	આદિમ, અંત (છેડો) કેન્દ્રિત	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^0$ $\beta \neq 90^0$	મોનોક્લિનિક સલ્ફર, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$
7.	ટ્રાઈક્લિનિક	આદિમ	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^0$	$K_2Cr_2O_7$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, H_3BO_3



આદિમ કોષ (Primitive (or simple))

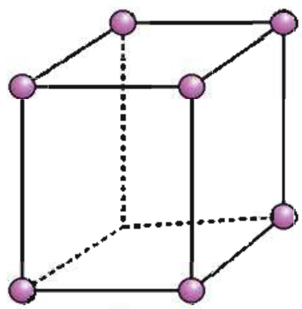


અંતઃકેન્દ્રિત (Body-centred)

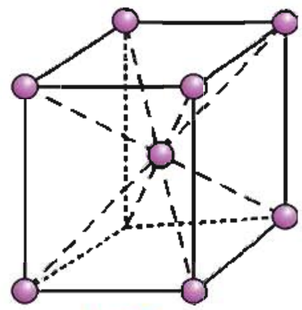


ફલક કેન્દ્રિત (Face-centred)

ત્રણ ઘન લૅટિસ : બધી બાજુઓની લંબાઈ સમાન, બધા ફલક વચ્ચેના ખૂણા 90°

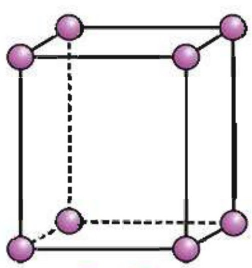


આદિમ કોષ (Primitive)

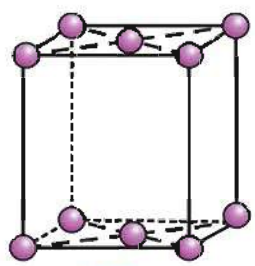


અંતઃકેન્દ્રિત (Body-centred)

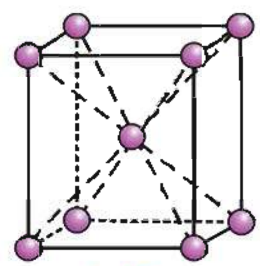
બે ટેટ્રાગોનલ : એક બાજુની લંબાઈ અન્ય બાજુ કરતાં જુદી, બધા ફલક વચ્ચેના ખૂણા 90°



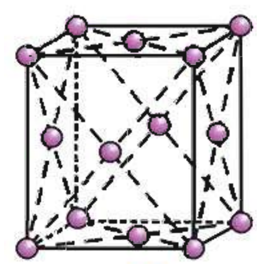
આદિમ કોષ (Primitive)



અંત-કેન્દ્રિત (End-centred)

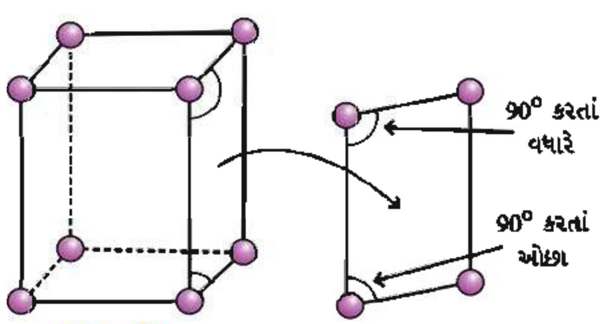


અંતઃકેન્દ્રિત (Body-centred)

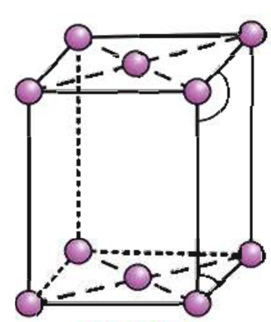


ફલક કેન્દ્રિત (Face-centred)

ચાર ઑર્થોરહોમ્બિક લૅટિસ : અસમાન બાજુઓ, બધા ફલક વચ્ચેના ખૂણા 90°



આદિમ કોષ (Primitive)



અંત કેન્દ્રિત (End-centred)

બે મોનોક્લિનિક લૅટિસ : અસમાન બાજુઓ, બે ફલક 90°થી જુદો ખૂણો ધરાવે છે

1.4 એકમ કોષમાં પરમાણુઓ દ્વારા વપરાયેલા કદની ગણતરી (Calculation of Volume Used by an Atom in Unit Cell)

જુદા જુદા સ્ફટિકોના એકમ કોષમાં અણુ, પરમાણુ કે આયનોની ગોઠવણી અલગ-અલગ હોય છે. આપણે જુદા જુદા એકમ કોષોમાં પરમાણુઓની ક્લોઝ્ડ-પેકિંગ (એકબીજાની નજીક) ક્ષમતા વિશે અભ્યાસ કરીશું.

પેકિંગ-ક્ષમતા : ઘટક કણો (પરમાણુ, અણુ કે આયન)નું પેકિંગ કોઈ પણ પ્રકારે થતું હોય છતાં તેમાં કેટલીક મુક્ત જગ્યા (Space) રહી જાય છે, જેને **પોલાણ** અથવા **છિદ્ર (Void)** કહેવામાં આવે છે. કણો વડે રોકાયેલા કુલ અવકાશના કદના ટકાને **પેકિંગ-ક્ષમતા** કહે છે. હવે, જુદી જુદી રચનાઓમાંની પેકિંગ-ક્ષમતાની ગણતરી કરીશું.

(1) સાદા ક્યુબિક લેટિસમાં પેકિંગ-ક્ષમતા : સાદા ક્યુબિક લેટિસમાં પરમાણુઓ માત્ર ઘનના ખૂણાઓ પર જ હોય છે. કણો ધાર પર એકબીજાને સ્પર્શે છે.

ઘનની બાજુ અથવા ધાર a અને દરેક કણની ત્રિજ્યા r વચ્ચે સંબંધ થશે. $a = 2r$

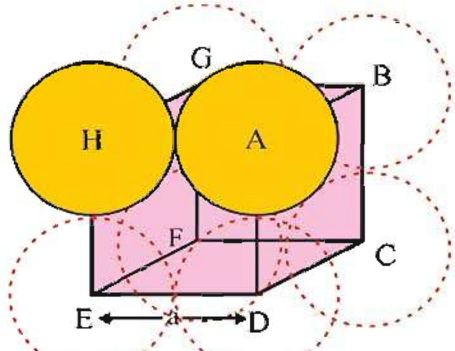
એકમ કોષમાં ઘનનું કદ $= a^3 = (2r)^3 = 8r^3$

દરેક ક્યુબિક એકમ કોષ માત્ર 1 પરમાણુ જ ધરાવે છે.

તેથી, અવકાશ દ્વારા રોકાયેલ કદ $= \frac{4}{3}\pi r^3$

$$\text{હવે પેકિંગમાં ક્ષમતા} = \frac{\text{એકમ પરમાણુનું કદ}}{\text{ક્યુબિક એકમ કોષનું કદ}} \times 100\,\%$$

$$= \frac{\frac{4}{3}\pi r^3}{8r^3} \times 100 = \frac{\pi}{6} \times 100 = 52.36\ \%$$



આકૃતિ 1.4 ક્યુબિક લેટિસમાં એકમ કોષમાં પેકિંગ-ક્ષમતા

(2) અંતઃકેન્દ્રિત એકમ કોષ રચનાની પેકિંગ-ક્ષમતા : આકૃતિ 1.5માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે કેન્દ્રમાં રહેલો પરમાણુ બીજા વિકર્ણીય રીતે ગોઠવાયેલા બે પરમાણુને સ્પર્શે છે. આથી ΔEFDમાં,

$$b^2 = a^2 + a^2 = 2a^2$$

$$\therefore b = \sqrt{2}a$$

હવે ΔAFDમાં,

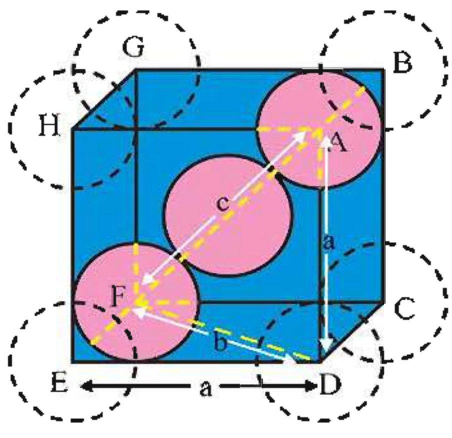
$$c^2 = a^2 + b^2 = a^2 + 2a^2 = 3a^2$$

$$\therefore c = \sqrt{3}a$$

વિકર્ણીય અંતઃસ્થની લંબાઈ $c = 4r$; જ્યાં, r પરમાણુની ત્રિજ્યા છે કારણ કે, ત્રણેય ગોળા વિકર્ણીય રીતે સ્પર્શે છે.

$$\therefore \sqrt{3}a = 4r$$

$$\therefore a = \frac{4}{\sqrt{3}}r \text{ થશે.}$$



આકૃતિ 1.5 અંતઃકેન્દ્રિત એકમ કોષ રચનાની પેકિંગ-ક્ષમતા

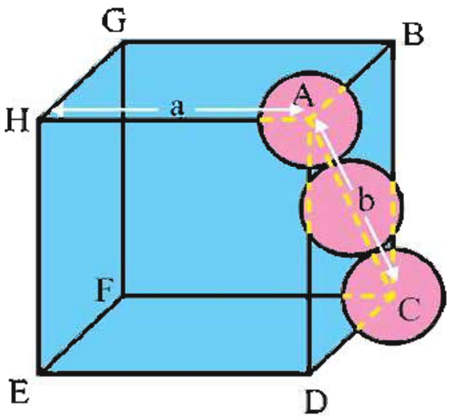
આ પ્રકારની રચનામાં કુલ પરમાણુની સંખ્યા 2 હોય છે અને તેથી તેમનું કદ $2\times\frac{4}{3}\pi r^3$ થશે.

ઘનના કદ $a^3 = \left(\frac{4}{\sqrt{3}}r\right)^3$

હવે પૅકિંગ-ક્ષમતા $= \dfrac{\text{એકમ કોષમાંના બે ગોળા વડે રોકાયેલું કદ}}{\text{એકમ કોષનું કુલ કદ}} \times 100\,\%$

$$= \frac{2 \times \left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3}{\left[\left(\frac{4}{\sqrt{3}}\right)r\right]^3} \times 100\,\% = \frac{\frac{8}{3}\pi r^3 \times 100}{\frac{64}{(3\sqrt{3})}r^3} = 68\,\%$$

(3) હેકઝાગોનલ ક્લોઝ પૅકિંગ (hcp) અને ક્યુબિક ક્લોઝ પૅકિંગ (ccp)માં પૅકિંગ-ક્ષમતા : આ બંને પ્રકારમાં ક્લોઝ પૅકિંગ એકસરખું અસરકારક હોય છે. આપણે ccp રચનાની પૅકિંગ-ક્ષમતા ગણીએ. આકૃતિ 1.6માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે એકમ કોષની ધારની લંબાઈ a છે અને ફલકનો વિકર્ણ AC = b છે.



આકૃતિ 1.6 ક્યુબિક ક્લોઝ પૅકિંગ-ક્ષમતા

ΔABCમાં, $AC^2 = b^2 = BC^2 + AB^2$

$= a^2 + a^2 = 2a^2$ અથવા $b = \sqrt{2}\,a$

ધારો કે ગોળાની ત્રિજ્યા r છે, તો $b = 4r = \sqrt{2}a$ અથવા $a = \frac{4r}{\sqrt{2}} = 2\sqrt{2}\,r$ અથવા $r = \frac{a}{2\sqrt{2}}$.

આપણે જાણીએ છીએ તે પ્રમાણે ccp રચનામાં 4 પરમાણુ અથવા ગોળા હોય છે. આથી ચાર ગોળાનું કુલ કદ $4 \times \frac{4}{3}\pi r^3$ થશે અને ઘનનું કદ a^3 અથવા $(2\sqrt{2}r)^3$ થશે.

આથી, પૅકિંગ-ક્ષમતા $= \dfrac{\text{એકમ કોષમાંના ચાર ગોળાથી રોકાયેલું કદ}}{\text{એકમ કોષનું કુલ કદ}} \times 100\,\%$

$$= \frac{4 \times \left(\frac{4}{3}\right)\pi r^3 \times 100}{(2\sqrt{2}r)^3}\ \%$$

$$= \frac{\left(\frac{16}{3}\right) \times \pi r^3 \times 100}{16\sqrt{2}\,r^3} = 74\,\%$$

ત્રણેય રચનાઓની ગણતરી પરથી નક્કી કરી શકીએ કે, hcp અને ccp રચનામાં સૌથી વધુ પૅકિંગ-ક્ષમતા હોય છે.

1.5 ક્લોઝ પૅક રચના અને તેના પ્રકાર (એક પરિમાણીય, દ્વિપરિમાણીય અને ત્રિપરિમાણીય) (Close Pack Structure and Their Types (One Dimensional, Two Dimensional and Three Dimensional)

પરમાણુ, અણુ કે આયનને આપણે ગોળાકાર સ્વરૂપ તરીકે સ્વીકારીએ. તેમની ઘન અવસ્થામાંની ગોઠવણીની જેમ એકબીજાની નજીક બધી જ બાજુએ ગોઠવાય અને તેમની વચ્ચે કેટલોક અવકાશ અથવા જગ્યા રહી જાય. ધારો કે એક બંધ ડબામાં નાના ગોળા ભરી, ડબાને હલાવીને મૂકી રાખીએ તો નાના ગોળાઓ બધી દિશાઓમાં ગોઠવાશે પરંતુ ગોળાઓ વચ્ચે જગ્યા રહી જશે. ઘન અવસ્થામાંના કણો ક્લોઝ પૅકિંગ ધરાવે છે અને તેથી તેમની વચ્ચે ખૂબ જ ઓછી

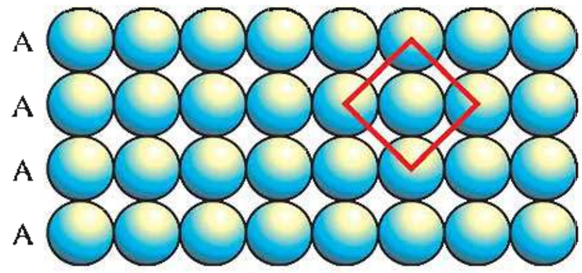
ખાલી જગ્યા રહે છે. આથી આપણે ઘનમાંના ઘટક કણોને સખત ગોળા ગણીએ અને તેમની ગોઠવણીનો વિચાર કરીએ તો ત્રણ પરિસ્થિતિઓ સંભવી શકે : (1) એક પરિમાણીય ગોઠવણી (2) દ્વિપરિમાણીય ગોઠવણી (3) ત્રિપરિમાણીય ગોઠવણી. હવે, આ ગોઠવણીઓનો વિગતવાર અભ્યાસ કરીએ.

(1) એક પરિમાણીય ક્લોઝ પૅકિંગ : આ પ્રકારના પૅકિંગમાં આકૃતિ 1.7માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે એક કણની (ગોળો) પાસે પડોશી બીજા બે કણો ગોઠવાયેલા હોય છે. કણની સૌથી નજીકના પડોશી કણોની સંખ્યાને **સવર્ગાંક** કહે છે. આમ એક પરિમાણીય ક્લોઝ પૅકિંગમાં સવર્ગાંક 2 હોય છે.

આકૃતિ 1.7 એક પરિમાણીય ગોળાનું ક્લોઝ પૅકિંગ

(2) દ્વિપરિમાણીય ક્લોઝ પૅકિંગ : આ પ્રકારના પૅકિંગમાં ક્લોઝ પૅકિંગ ધરાવતી હરોળ થપ્પીની જેમ ગોઠવાયેલ હોય છે. આ ગોઠવણી બે પ્રકારની હોઈ શકે છે :

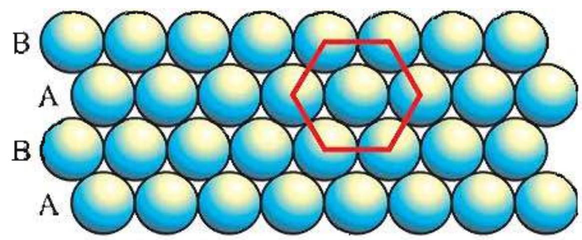
(a) આ ગોઠવણીમાં એક હરોળમાં ગોઠવાયેલા કણોની બરોબર ઉપર જ બીજો કણ ગોઠવાયેલો હોય તેમ થપ્પી બને છે. આમ,આ હરોળમાંના કણો આડી અને ઊભી રીતે એકબીજા સાથે ગોઠવાયેલા (alligned) હોય છે. આપણે પ્રથમ હરોળને A કહીએ તો બીજી હરોળ પણ તેના જેવી જ હોવાથી તેને પણ A કહીએ, આથી એક પછી એક એમ હરોળ ગોઠવતાં જોઈએ તો આપણને આકૃતિ 1.8 (a)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે AAA.......... પ્રકારની ગોઠવણી મળે.



આકૃતિ 1.8 (a) દ્વિપરિમાણીય ક્લોઝ પૅકિંગ

આ ગોઠવણીમાં દરેક ગોળાની ફરતે ચાર બીજા ગોળા પડોશી તરીકે ગોઠવાયેલા છે. આથી દ્વિપરિમાણીય રચનામાં સવર્ગાંક 4 થશે. જો આપણે ચારેય ગોળાનાં કેન્દ્રોને જોડીએ તો આપણને એક ચતુષ્કોણ મળશે. આથી આ રચનાને દ્વિપરિમાણમાં **ચોરસ ક્લોઝ પૅકિંગ** કહે છે.

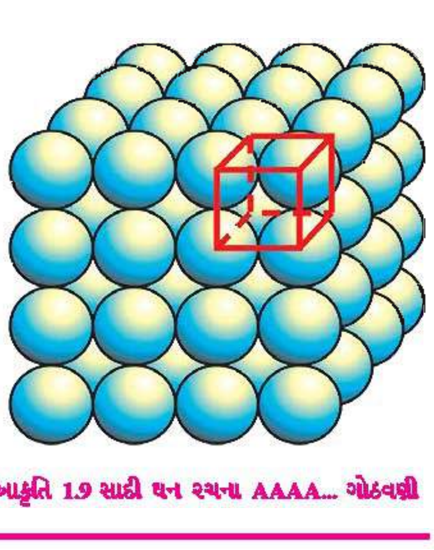
(b) બીજી રીતમાં આપણે ગોળાની થપ્પી પર ગોળાની બીજી થપ્પી થોડી વિચલિત રીતે ગોઠવીએ જેથી કરીને બીજી થપ્પીના ગોળા પહેલી થપ્પીના ગોળામાં રચાતી જગ્યા (અવકાશ) પર ગોઠવાય. હવે જો પ્રથમ થપ્પીના ગોળાઓની રચના A પ્રકારની કરીએ તો બીજી થપ્પીના ગોળાઓની રચના અલગ B પ્રકારની થાય. આમ, વારાફરતી A અને B હરોળ ગોઠવતાં જઈએ તો ABABAB.... પ્રકારની રચના થાય. આ રચનામાં પહેલી રચના કરતાં અવકાશ અથવા ખાલી જગ્યા ઓછી હોય છે. આ રચના ચોરસ ક્લોઝ પૅકિંગ કરતા વધુ દૃઢ અને વધુ પૅકિંગ ક્ષમતાવાળી હોય છે. આ પ્રકારની રચનામાં દરેક ગોળાની આજુબાજુ 6 ગોળા ગોઠવાયેલા હોય છે માટે તેને દ્વિપરિમાણીય **હેક્ઝાગોનલ ક્લોઝ પૅકિંગ** કહે છે, જે આકૃતિ 1.8 (b)માં દર્શાવેલ છે.



આકૃતિ 1.8 (b) દ્વિપરિમાણીય અષ્ટફલકીય ક્લોઝ પૅકિંગ

(3) ત્રિપરિમાણીયમાં ક્લોઝ પૅકિંગ : આપણે જે સાચી રચનાઓ અથવા બંધારણો જોઈએ છે તે બધી જ ત્રિપરિમાણીય રચનાઓ હોય છે. આવી રચના દ્વિપરિમાણીય રચનામાં જોયા પ્રમાણે ગોઠવાતી દરેક થપ્પી પ્રમાણે હોય છે. એટલે કે ચોરસ ક્લોઝ પૅકિંગ અને ષટ્કોણીય હોય છે. આપણે હવે ત્રીજા પરિમાણમાં ક્લોઝ પૅકિંગ કેવી રીતે થાય છે તે સમજીએ.

(i) દ્વિપરિમાણીય ચોરસ ક્લોઝ પૅકિંગમાંથી ત્રિપરિમાણીય ક્લોઝ પૅકિંગ : આપણે A પ્રમાણેની ગોઠવણી કર્યા પછી બીજી થપ્પી બરાબર Aની જેમજ એકબીજા પર ગોળા ગોઠવીને કરીએ. આમ પહેલી A થપ્પીના ગોળા બીજી A થપ્પીના ગોળા પર જ ગોઠવાશે. આકૃતિ 1.9માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે ગોળા ઊભી અને આડી રીતે સંપૂર્ણપણે એકસરખી રીતે ગોઠવાયેલા રહેશે.

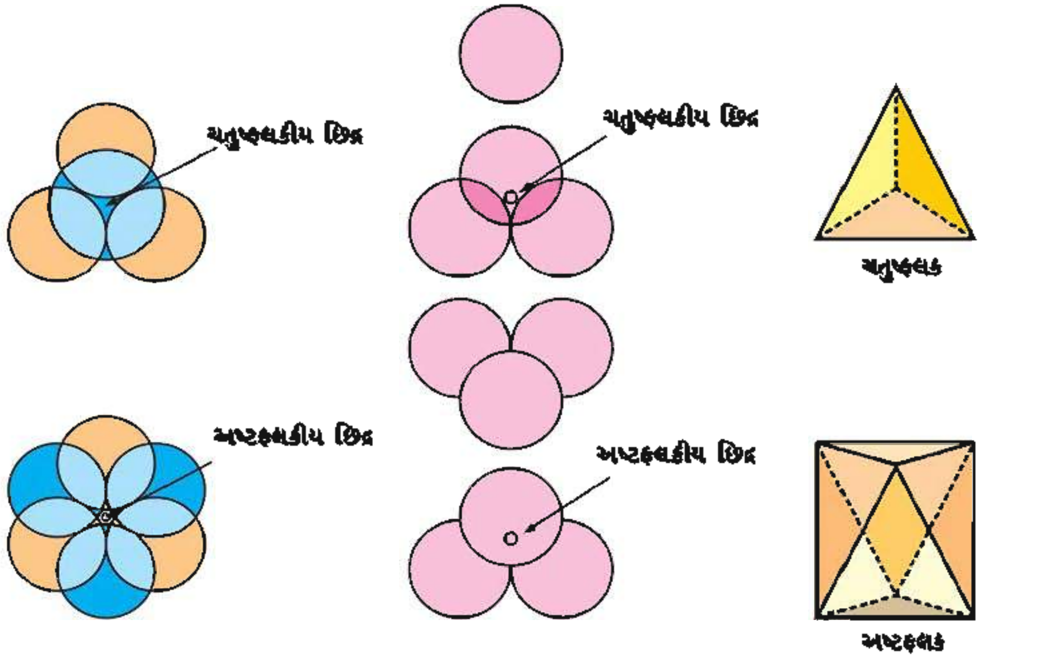


આકૃતિ 1.9 સાદી ઘન રચના AAAA... ગોઠવણી

જો પહેલી થપ્પીને A પ્રકારની કહીએ તો બધી જ થપ્પી એક જ પ્રકારની થશે. એટલે કે AAAA........ પ્રકારની થશે. આથી મળતી લૅટિસ રચનાને સાદી ક્યુબિક લૅટિસ રચના કહેવામાં આવે છે જેને એકમ કોષને આદિમ ક્યુબિક એકમ કોષ કહે છે.

(ii) દ્વિપરિમાણીય ષટ્કોણીય ક્લોઝ પૅકિંગ રચનામાંથી ત્રિપરિમાણીય ક્લોઝ પૅકિંગ રચના : ત્રિપરિમાણીય ક્લોઝ પૅકિંગ રચના એક પર બીજા સ્તરને ગોઠવીને રચી શકાય.

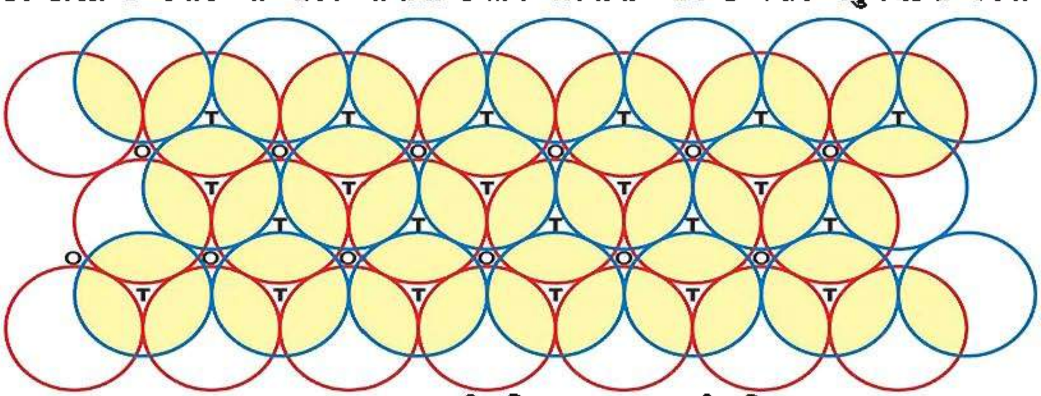
(a) પ્રથમ સ્તર પર બીજું સ્તર ગોઠવીને : ધારો કે દ્વિપરિમાણીય ષટ્કોણીય ક્લોઝ પૅકિંગ ધરાવતી સ્તર A અને તેના ઉપરની પહેલા સ્તરની ગોઠવણીમાં ખાલી રહેલી જગ્યા પર બીજા સ્તરના ગોઠવાયેલા ગોળાને ગોઠવીએ. અહીંયાં બંને સ્તરના ગોળા ભિન્ન રીતે ગોઠવાયેલા (allign) હોવાથી બીજા સ્તરને B કહીશું, જે આકૃતિ 1.10માં દર્શાવેલ છે.



(a) ઉપરથી જોતાં (b) બાજુમાંથી જોતાં (c) છિદ્રનો ભૌમિતિક આકાર

આકૃતિ 1.10 ચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રો

આકૃતિ પરથી સ્પષ્ટ થાય છે કે, પ્રથમ સ્તરમાંથી ત્રિકોણીય ખાલી જગ્યા (છિદ્રો) બીજા સ્તરના ગોળા વડે સંપૂર્ણપણે ઢંકાયેલા નથી. આથી જુદી જુદી ગોઠવણીઓ સંભવી શકે છે. બીજા સ્તરના ગોળા પહેલા સ્તરના છિદ્ર પર ગોઠવાયેલા હોય છે અથવા તેથી ઊલટું હોય તો તેમાં ચતુષ્ફલકીય છિદ્ર (void) રચાય છે. આ છિદ્રો **ચતુષ્ફલકીય છિદ્રો** કહેવાય છે. કારણ કે જ્યારે આ ચારેય ગોળાનાં કેન્દ્રોને જોડવામાં આવે છે ત્યારે ચતુષ્ફલકની રચના થાય છે.



T = ચતુષ્ફલકીય છિદ્ર, O = અષ્ટફલકીય છિદ્ર

આકૃતિ 1.11 ક્લોઝ પૅક ગોળાના બે સ્તરોની થપ્પી અને તેમાં ઉદ્ભવતાં છિદ્રો

આકૃતિ 1.11માં ચતુષ્ફલકીય છિદ્રોને T તરીકે દર્શાવેલ છે. અન્ય સ્થાનોમાં બીજા સ્તરનાં ત્રિકોણીય છિદ્રો પ્રથમ સ્તરના ત્રિકોણીય છિદ્રોની ઉપર ગોઠવાયેલા હોય છે. તેમના ત્રિકોણીય આકાર વ્યાપ પામતા નથી. તેમાંના એક ત્રિકોણ ઉપરની બાજુએ નિર્દેશ કરે છે અને બીજા નીચેની તરફ નિર્દેશ કરે છે. આવાં છિદ્રોને **અષ્ટફલકીય છિદ્રો** કહે છે. આકૃતિ 1.11માં O સંજ્ઞા વડે દર્શાવેલ છે. આ બંને પ્રકારનાં છિદ્રોની સંખ્યા ક્લોઝ પૅકિંગ પામેલા ગોળાની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે.

ધારો કે,

ક્લોઝ પૅકિંગ પામેલા ગોળાની સંખ્યા N છે.

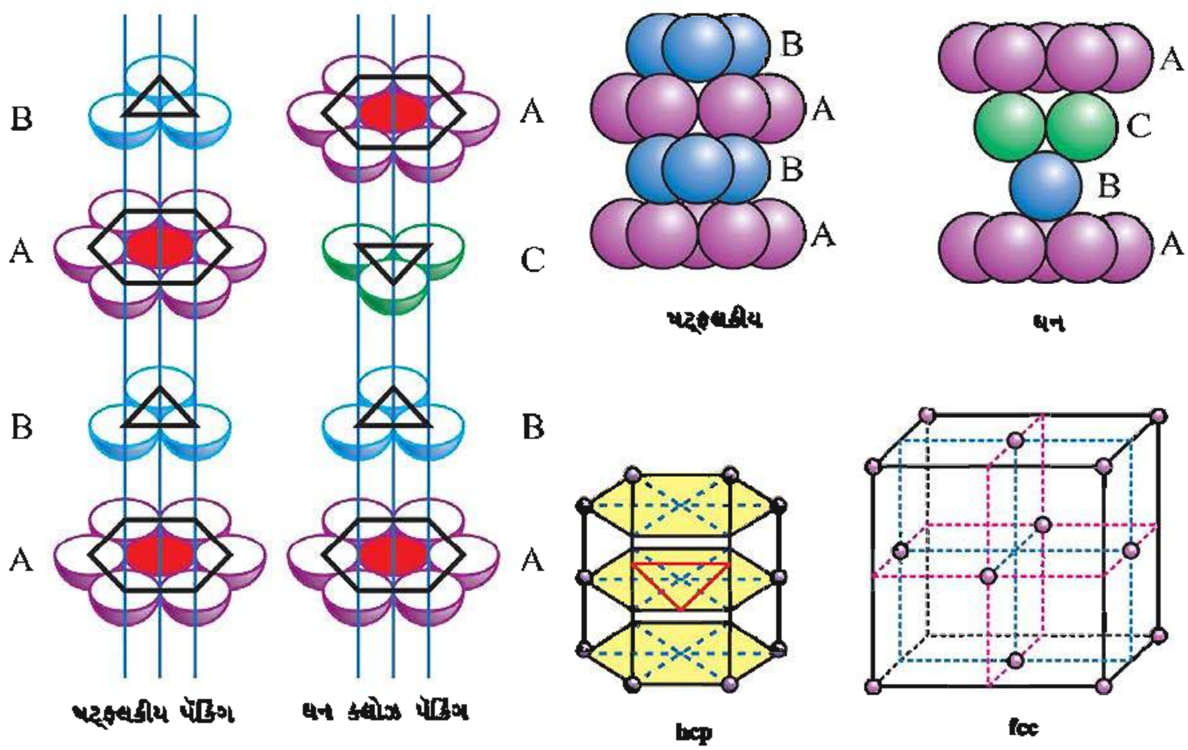
∴ રચાતાં અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા = N છે.

ચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા = 2N

આમ, ચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યાથી બમણી હોય છે.

(b) બીજા સ્તર પર ત્રીજા સ્તરની ગોઠવણી : હવે ધારો કે બીજા સ્તર પર ત્રીજા સ્તર ગોઠવીએ તો બે શક્યતાઓ રહેલી છે :

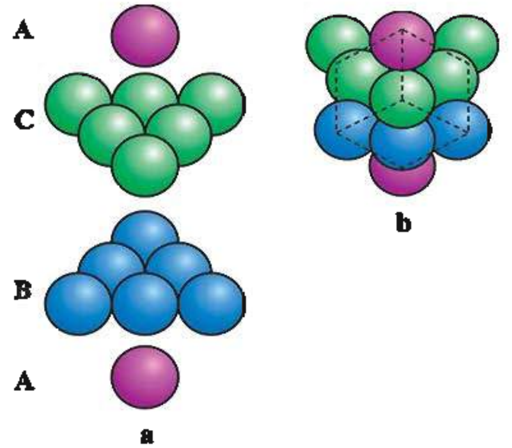
(i) ચતુષ્ફલકીય છિદ્રોને ઢાંકતી (Covering) શક્યતા : ત્રીજા સ્તરના ગોળાઓથી બીજા સ્તરના ચતુષ્ફલકીય છિદ્રો ઢંકાઈ જાય. આ પરિસ્થિતિમાં પ્રથમ સ્તરના ગોળાઓ અને ત્રીજા સ્તરના ગોળાઓ બરાબર એકબીજા પર ગોઠવાઈ જાય છે. આથી એકાંતરે રચાતી ગોળાની થપ્પીનું પુનરાવર્તન થયા કરે તેને AB AB....... પ્રકારની થપ્પી કહી શકાય અને આ રચનાને **હેક્ઝાગોનલ ષટ્ફલકીય ક્લોઝ પૅકિંગ (hcp)** કહે છે, જે આકૃતિ 1.12માં દર્શાવેલ છે. આ પ્રકારની ગોઠવણી ઘણી બધી ધાતુઓ જેવી કે ઝિંક, મૅગ્નેશિયમ વગેરેમાં જોવા મળે છે.



(a) (b) (c)

આકૃતિ 1.12 (a) ષટ્ફલકીય ઘન ક્લોઝ પૅકિંગ (b) દરેકમાં ચાર થપ્પી (c) ક્લોઝ પૅકિંગની ભૂમિતિ

(ii) અષ્ટફલકીય છિદ્રોને ઢાંકતી (Covering) શક્યતા : આ રચનામાં ત્રીજા સ્તરને બીજા સ્તર પર એવી રીતે ગોઠવવામાં આવે છે, જેથી ત્રીજા સ્તરના ગોળા બીજા સ્તરનાં અષ્ટફલકીય છિદ્રોને ઢાંકે. આ પ્રમાણે ગોઠવણી કરતાં ત્રીજા સ્તરના ગોળા પહેલા સ્તરના ગોળા પર બરાબર ગોઠવાતાં (align) નથી. આ ગોઠવણીને C પ્રકારની કહી શકાય. હવે જ્યારે ચોથા સ્તર ગોઠવવામાં આવે ત્યારે તેના ગોળા પ્રથમ સ્તરના ગોળા પર બરાબર ગોઠવાય છે, જે આકૃતિ 1.13માં દર્શાવેલ છે. આથી આ થપ્પી ABC ABC ABC........ પ્રકારની હોય છે અને આ રચનાને **ક્યુબિક ક્લોઝ પૅકિંગ (ccp)** અથવા **ફલક કેન્દ્રિત ક્યુબિક (fcc)** રચના કહે છે. કૉપર અને સિલ્વર જેવી ધાતુઓ આ પ્રકારની રચનામાં સ્ફટિકીકરણ પામે છે.



(a) સ્તરની ABC ABC ગોઠવણી જ્યારે અષ્ટફલકીય છિદ્ર ઢંકાયેલાં છે

(b) ક્યુબિક ક્લોઝ પૅકિંગ(ccp)માં અથવા ફલક કેન્દ્રિત (fcc) ઘન રચના

આકૃતિ 1.13

આ બંને પ્રકારની ક્લોઝ પૅકિંગ ગોઠવણી સૌથી વધુ ક્ષમતાવાળી હોય છે અને તેમના વડે સ્ફટિકની 74 % જેટલી જગ્યા (કદ) રોકાયેલા હોય છે તથા તે 12 ગોળાઓ સાથે સંપર્કમાં હોય છે. માટે આ બંને રચનામાં તેમનો સવર્ગાંક 12 હોય છે.

1.6 સમચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રો (Tetrahedral and Octahedral Voids)

અગાઉ ક્લોઝ પૅકિંગ રચના દરમ્યાન સમચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રો વિશે શીખ્યા. આકૃતિ 1.11માં સમચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રો દર્શાવ્યાં છે. ત્રિપરિમાણીય આકૃતિઓ પુસ્તકમાં દર્શાવવાની મર્યાદા છે. પણ જો મૉડેલ દ્વારા અભ્યાસ કરીએ તો આ બાબત વધુ સ્પષ્ટ બને.

આપણે સંયોજનનું સૂત્ર અને તેમાં સંકળાયેલાં છિદ્રોની સંખ્યા વિશે વિચારીએ. અગાઉ જોયા પ્રમાણે ક્લોઝ પૅકિંગને કારણે ccp અથવા hcp રચના થાય છે ત્યારે બે પ્રકારનાં છિદ્રો મળે છે. લૅટિસ રચાતાં સમચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા અષ્ટફલકીય છિદ્રો કરતાં બમણી હોય છે. આયનીય સંયોજનોમાં ધનાયન કરતાં ઋણાયન કદમાં મોટા હોય છે. મોટા ઋણાયન ક્લોઝ પૅક રચનામાં ભાગ લે છે, જ્યારે ધનાયન છિદ્રોમાં ગોઠવાય છે. જો આયન છિદ્ર કરતાં નાના હોય તો સમચતુષ્ફલક છિદ્રમાં ગોઠવાય છે અને જો મોટા હોય તો અષ્ટફલકીય છિદ્રમાં ગોઠવાય છે. બધાં જ ચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રો ન રોકાતાં માત્ર કુલ છિદ્રોનો અમુક અંશ જ રોકાય છે. આ બાબત સંયોજનના સૂત્ર પર આધાર રાખે છે, જે નીચેનાં દાખલાઓ પરથી સ્પષ્ટ થશે

દાખલો 1 : એક સંયોજન બે તત્ત્વો A અને Bનું બનેલું છે. તત્ત્વ B(ઋણાયન)ના પરમાણુઓ ક્યુબિક ક્લોઝ પૅકિંગ રચના બનાવે છે અને તત્ત્વ Aના પરમાણુઓ બધાં જ અષ્ટફલકીય છિદ્રોને રોકી લે છે. સંયોજનોનું સૂત્ર શું હશે ?

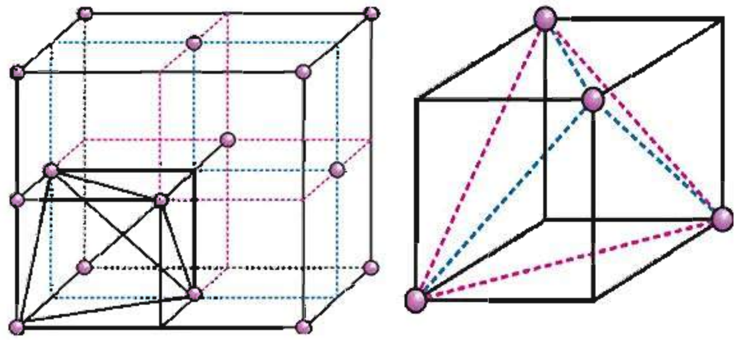
ઉકેલ : તત્ત્વ B ક્યુબિક ક્લોઝ પૅકિંગ રચના બનાવે છે. આથી અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા Bમાં રહેલા પરમાણુની સંખ્યા જેટલી થશે. તત્ત્વ Aના બધા જ પરમાણુઓ દ્વારા બધાં જ અષ્ટફલકીય છિદ્રોને રોકાયેલા છે. તેથી તેમની સંખ્યા તત્ત્વ Bની સંખ્યા જેટલી થશે. આમ તત્ત્વ A અને B 1:1ના પ્રમાણમાં રહેલા છે માટે સંયોજનનું સૂત્ર AB હશે.

દાખલો 2 : તત્ત્વ Yના પરમાણુઓ ષટ્કોણીય ક્લોઝ પૅકિંગ રચે છે અને તત્ત્વ Xના પરમાણુઓ ચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યાના $\frac{2}{3}$ ભાગને રોકે છે. X અને Yથી રચાતા સંયોજનનું સૂત્ર લખો.

ઉકેલ : રચાતાં ચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા તત્ત્વ Yના પરમાણુથી બમણી છે અને તેનો માત્ર $\frac{2}{3}$ ભાગ જ Y તત્ત્વના પરમાણુઓથી રોકાયેલો છે. આથી X અને Yના પરમાણુઓનો ગુણોત્તર $2 \times \frac{2}{3} : 1$ અથવા $4 : 3$ થશે. આથી સંયોજનનું સૂત્ર X_4Y_3 બનશે.

ચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રોનાં સ્થાન નક્કી કરવાં (Locate) : આપણે અભ્યાસ કરી ગયાં કે, ક્લોઝ પૅકિંગ રચનામાં બંને ચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રો હોય છે. આપણે ક્યુબિક ક્લોઝ પૅકિંગ (ccp) અને ફલક કેન્દ્રિત ક્લોઝ પૅકિંગ (fcp) બંધારણ લઈએ અને તેમાં છિદ્રોના સ્થાન નક્કી કરીએ.

(a) ચતુષ્ફલકીય છિદ્રોનાં સ્થાન નક્કી કરવાં : ccp અથવા fcpનો એકમ કોષ લઈએ. આકૃતિ 1.14માં આ એકમ કોષ આઠ નાના ઘનમાં વિભાજિત કરીએ. આ દરેક નાના ઘનના એકાંતર ખૂણા પર પરમાણુઓ છે. એક નાના ઘનમાં એકંદરે ચાર પરમાણુઓ છે. તેમને એકબીજા સાથે જોડી દઈએ તો નિયમિત સમચતુષ્ફલક બનાવે છે. આથી દરેક નાના ઘનમાં એક ચતુષ્ફલક છિદ્ર છે અને કુલ આઠ ચતુષ્ફલક છિદ્રો છે. આમ નાના ઘનમાંના દરેકમાં એક છિદ્ર એક એકમ કોષ (ccp) રચનામાં થશે. આપણે જાણીએ છીએ કે ccp રચનાના દરેક એકમ કોષમાં ચાર પરમાણુઓ છે. આથી ચતુષ્ફલક છિદ્રોની સંખ્યા પરમાણુની સંખ્યાથી બમણી છે.

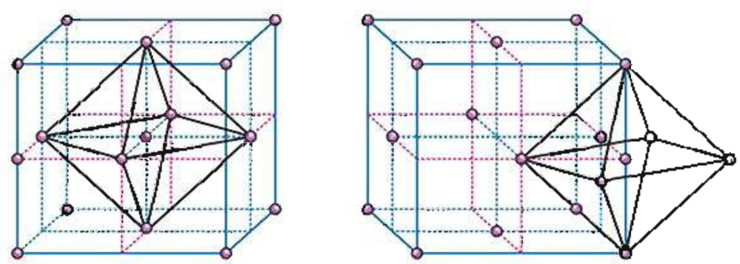


(a) ccp રચનાના દરેક એકમ કોષમાં આઠ ચતુષ્ફલકીય છિદ્ર

(b) ભૂમિતિ દર્શાવતો એક ચતુષ્ફલક

આકૃતિ 1.14

(b) અષ્ટફલકીય છિદ્રોનાં સ્થાન નક્કી કરવાં : આપણે ફરી વાર ક્યુબિક ક્લોઝ પૅકિંગ (ccp) અથવા ફલક કેન્દ્રિત ક્લોઝ પૅકિંગ(fcp)નો એકમ કોષ લઈએ. ઘનનું અંતઃકેન્દ્ર C રોકાયેલ નથી પણ તે છ ફલક પરના પરમાણુઓથી ઘેરાયેલ છે. જો આ ફલક-કેન્દ્રોને જોડવામાં આવે તો અષ્ટફલકીય રચના થશે. આ એકમ કોષમાં ઘનના અંતઃકેન્દ્રમાં એક અષ્ટફલકીય છિદ્ર છે. અંતઃકેન્દ્ર ઉપરાંત બારમાની દરેક ધારના કેન્દ્રમાં એક-એક અષ્ટફલકીય છિદ્ર છે, છ પરમાણુઓથી ઘેરાયેલો છે. જેમાંના ત્રણ (બે ખૂણાઓ પર અને એક ફલક કેન્દ્રમાં) દરેક એકમ કોષમાં અને ત્રણ નજીકના બે એકમ કોષ પર હોય છે. ઘનની દરેક ધાર ચાર નજીકના એકમ કોષ વચ્ચે ભાગીદાર થયેલી હોવાથી તે પ્રમાણે અષ્ટફલકીય છિદ્ર તેના પર સ્થાન પ્રાપ્ત કરશે. દરેક છિદ્રનો માત્ર $\frac{1}{4}$ ભાગ જ કોઈ એક કોષનો હોય છે.



(a) અંતઃકેન્દ્રિત

(b) દરેક ધારના કેન્દ્ર પરનું છિદ્ર

આકૃતિ 1.15 ccp અથવા fcc એકમ કોષની લૅટિસમાં અષ્ટફલકીય છિદ્રનું સ્થાન

આમ, ક્યુબિક ક્લોઝ પૅકિંગમાં, ઘનના અંતઃકેન્દ્ર પર અષ્ટફલકીય છિદ્ર = 1

12 અષ્ટફલકીય છિદ્રો દરેક ધાર પર ગોઠવાયેલા અને ચાર એકમ કોષ વચ્ચે ભાગીદાર થયેલા $= 12 \times \frac{1}{4} = 3$

$\therefore$ કુલ અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા $= 1 + 3 = 4$

આપણે જાણીએ છીએ કે ક્યુબિક ક્લોઝ પૅક રચનામાં દરેક એકમ કોષ ચાર પરમાણુ ધરાવે છે. તેથી અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા તે સંખ્યા જેટલી થશે.

1.7 એકમ કોષમાં રહેલા પરમાણુઓની સંખ્યાની ગણતરી (Calculation of Number of Atoms in Unit Cell)

સ્ફટિકમાંના એકમ કોષનો પ્રત્યેક ખૂણો આઠ એકમ કોષો સાથે સંયુક્ત રીતે સંકળાયેલ છે. તેથી તેની પ્રત્યેક બાજુની ધાર ચાર એકમ કોષોને તથા તેના પ્રત્યેક ફલક બે એકમ કોષોથી સંકળાયેલાં હોય છે. આથી સ્ફટિકની રચના માટે પ્રત્યેક લેટિસ બિંદુ સાથે અણુ; પરમાણુ કે આયન સંકળાયેલા હોય, તો તેમનો $\frac{1}{8}$ ભાગ ખૂણાઓ દ્વારા, $\frac{1}{4}$ ભાગ બાજુની ધારો વડે અને $\frac{1}{2}$ ભાગ ફલકો વડે સંમિલિત થયેલો હોય છે. એકમ કોષોની ખૂણે રહેતા તથા ફલકકેન્દ્રમાં રહેલા કણો અન્ય અનેક કોષો સાથે સંયુક્ત રીતે જોડાયેલા હોય છે. આથી પરમાણુની સંખ્યાની ગણતરી નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય છે :

સાદા ઘન એકમ કોષમાં 8 એકમ કોષ, 8 કોણીય પરમાણુઓ વચ્ચે ભાગીદારી હોય છે. તેથી, 8 ખૂણાઓ × $\frac{1}{8}$ પરમાણુ પ્રતિ એકમ = $\frac{8}{8} = 1$ પરમાણુ

આમ, સાદા ઘન સ્ફટિકના પ્રત્યેક એકમ કોષમાં એક જ પરમાણુ હોય છે.

અંતઃકેન્દ્રિત ઘન એકમ કોષમાં 8 ખૂણાઓ $\left(\frac{1}{8}\right)$ પરમાણુ પ્રતિ એકમ કોષ = $\frac{8}{8} = 1$ અને ઉપરાંત પ્રત્યેક એકમ કોષમાં 1 અંતઃકેન્દ્રિત પરમાણુ = 1

આથી 1 + 1 = 2 કુલ પરમાણુ થશે.

આમ, અંતઃકેન્દ્રિત ઘન સ્ફટિકમાં પ્રત્યેક એકમ કોષ દીઠ 2 પરમાણુઓ હોય છે.

ફલક કેન્દ્રિત ઘન એકમ કોષમાં 8 ખૂણાઓ × $\left(\frac{1}{8}\right)$ પરમાણુ પ્રતિ એકમ = $\frac{8}{8} = 1$ પરમાણુ અને તે ઉપરાંત 6 ફલક કેન્દ્રિત પરમાણુઓ × $\left(\frac{1}{2}\right)$ પરમાણુ પ્રતિ એકમ = 1 + 3 = 4 પરમાણુઓ હોય છે.

આમ, ફલક કેન્દ્રિત સ્ફટિકના એકમ કોષ દીઠ 4 પરમાણુઓ હોય છે. ઉપરની ગણતરી નીચેના કોષ્ટક 1.4માં રજૂ કરી શકાય :

કોષ્ટક 1.4 : એકમ કોષના પ્રકાર અને પરમાણુની સંખ્યા

ક્રમ	એકમ કોષનો પ્રકાર	ખૂણા પર રહેલા પરમાણુઓની સંખ્યા	ફલકમાં રહેલા પરમાણુઓની સંખ્યા	અંતઃકેન્દ્રિત રહેલા પરમાણુઓની સંખ્યા	કુલ પરમાણુ
1.	સાદો ઘન	$8 \times \frac{1}{8} = 1$	0	0	1
2.	અંતઃકેન્દ્રિત (bcc)	$8 \times \frac{1}{8} = 1$	0	1	2
3.	ફલક કેન્દ્રિત (fcc)	$8 \times \frac{1}{8} = 1$	$6 \times \frac{1}{2} = 3$	0	4

1.8 બિંદુ ક્ષતિ અને તેના પ્રકારો (Point Defects and Their Types)

બિંદુ ક્ષતિ વિશે અભ્યાસ કરતાં પહેલાં આપણે વિચારીએ કે સ્ફટિક સંપૂર્ણ હોય છે ? અથવા એમાં કોઈ અપૂર્ણતા હોય છે ? એક અંદાજ પ્રમાણે નક્કી કરવામાં આવેલ કે 1 મોલ ઘટક કણોમાં (6.022×10^{23} કણો) 10^6 ક્ષતિ ઘટક

કણોની ગોઠવણીમાં જણાઈ છે. 6.022×10^{23}ની સરખામણીમાં આ મૂલ્ય નગણ્ય છે. પરંતુ તેની અસર સ્ફટિકના ગુણધર્મો, રચના વગેરે પર જરૂર જણાય છે. આ ક્ષતિ તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે. આમ આદર્શ જણાતો સ્ફટિક પણ કણોની ગોઠવણી અને રચનામાં અપરિપૂર્ણ (Imperfect) જણાયો છે. આપણે જો સ્ફટિકને નાનામાં નાના સ્વરૂપમાં વિચારી એકાકી સ્ફટિક (Single Crystal) તરીકે ગણીએ તો તેમાં પણ ક્ષતિ રહેવાની સંભાવના રહેલ છે. કણોની ગોઠવણી દ્વારા ઘન બને ત્યારે ક્ષતિની સંખ્યામાં વધારો જણાય છે. આથી જ સ્ફટિકીકરણની પ્રક્રિયામાં ગરમ દ્રાવણને ધીમે ધીમે ઠંડું પાડવું કારણ કે ઝડપથી ઠંડું પાડવામાં અને એકાકી સ્ફટિક મેળવવામાં આવે તોપણ ક્ષતિ રહી જાય છે.

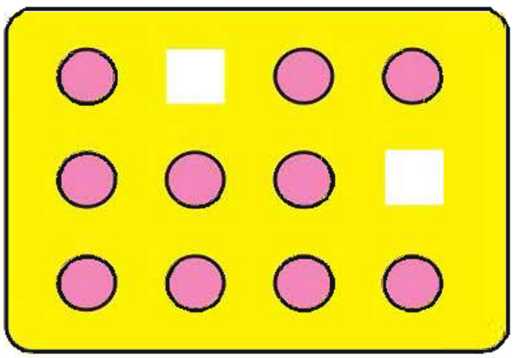
ઉષ્માગતિશાસ્ત્રના ત્રીજા નિયમની વ્યાખ્યામાં એમ સૂચવ્યું છે કે નિરપેક્ષ શૂન્ય તાપમાને સંપૂર્ણ શુદ્ધ સ્ફટિકમય પદાર્થની એન્ટ્રોપી શૂન્ય હોય છે. તમે ભૌતિકવિજ્ઞાન અથવા રસાયણવિજ્ઞાનમાં ક્યાંક વાંચ્યું હશે કે નિરપેક્ષ શૂન્ય તાપમાન મેળવવું અશક્ય છે. આથી કહી શકાય કે નિરપેક્ષ શૂન્ય તાપમાને પણ સંપૂર્ણ શુદ્ધ સ્ફટિકમય પદાર્થ કલ્પીએ તોપણ તેમાં ક્ષતિ હોવાની સંભાવના છે. તાપમાનના વધારા સાથે સ્ફટિક પર થતી અસરને કારણે ક્ષતિમાં સ્થાન ફેરફાર અથવા અવ્યવસ્થા ઉત્પન્ન થાય છે ત્યારે ક્ષતિની સંખ્યા વધે છે.

આમ, ક્ષતિની વ્યાખ્યા આપીએ તો સ્ફટિકની રચનામાં કણો દ્વારા થતી અનિયમિતતા. આવી ક્ષતિના બે પ્રકાર છે : (1) બિંદુ ક્ષતિ અને (2) રેખા ક્ષતિ. બિંદુ ક્ષતિ સ્ફટિકમય પદાર્થની આદર્શ રચનામાં કોઈ બિંદુ અથવા પરમાણુની આસપાસ અનિયમિતતા ઊભી થવાને કારણે ઉદ્ભવે છે. જ્યારે રેખા ક્ષતિ લૅટિસ બિંદુની સમગ્ર હરોળમાંની આદર્શ ગોઠવણીમાં અનિયમિતતા અથવા વિચલનને કારણે થાય છે. આ બંને પ્રકારની ક્ષતિને સ્ફટિક ક્ષતિ કહીએ છીએ.

ક્ષતિના બે પ્રકારો છે : (A) તત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ અને (B) બિનતત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ. બિંદુ ક્ષતિના આ બે પ્રકાર ઉપરાંત ત્રીજો પ્રકાર (C) અશુદ્ધિ ક્ષતિ છે. આપણે હવે વિગતે અભ્યાસ કરીએ.

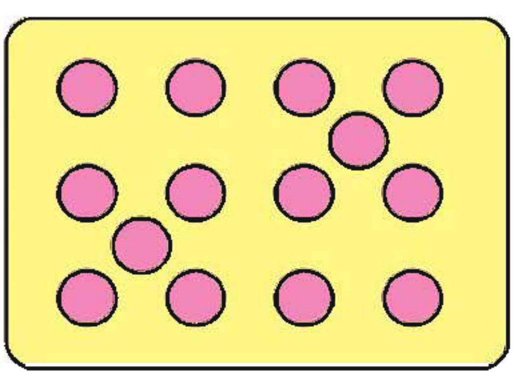
(A) તત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ : આ એવી બિંદુ ક્ષતિ છે, જે ઘનની તત્ત્વયોગમિતિયને ખલેલ પહોંચાડતી નથી. તેમને **આંતરિક (intrinsic)** અથવા **ઉષ્માગતિય ક્ષતિ** કહે છે. તે તાપમાન સાથે બદલાય છે. આ પણ બે પ્રકારની હોય છે : (i) અવકાશ (vacancy) ક્ષતિ (ii) આંતરાલીય (interstitial) ક્ષતિ.

(i) અવકાશ ક્ષતિ : લૅટિસમાંના કેટલાંક સ્થાન ખાલી હોય એટલે કે કણના બદલે અવકાશ હોય. આવા સ્ફટિકને અવકાશ ક્ષતિ ધરાવતા સ્ફટિક કહે છે (આકૃતિ 1.16). આને લીધે પદાર્થની ઘનતામાં ઘટાડો થાય છે. કારણ કે એકમ કદમાં અણુની સંખ્યા ઘટે છે. આ ક્ષતિ ધરાવતા પદાર્થને ગરમ કરવામાં આવે તો ક્ષતિ વિકાસ પામે છે.



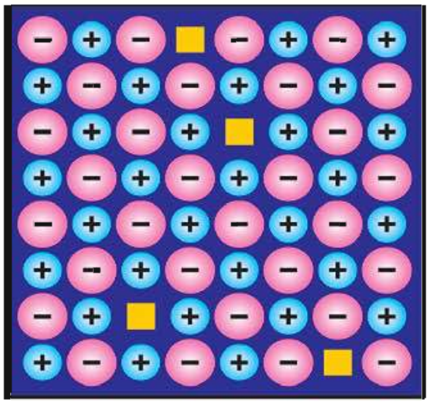
આકૃતિ 1.16 અવકાશ ક્ષતિ

(ii) આંતરાલીય ક્ષતિ : કેટલાક સ્ફટિકમાં પરમાણુ કે અણુ જેવા ઘટક કણો સ્ફટિકમાંથી આંતરાલીય સ્થાન પર ગોઠવાય છે, ત્યારે સ્ફટિક આંતરાલીય ક્ષતિ ધરાવે છે તેમ કહી શકાય. આ ક્ષતિ પદાર્થની ઘનતા વધારે છે. કારણ કે અણુની સંખ્યા પ્રતિ એકમ કદ વધે છે. (આકૃતિ 1.17)



આકૃતિ 1.17 આંતરાલીય ક્ષતિ

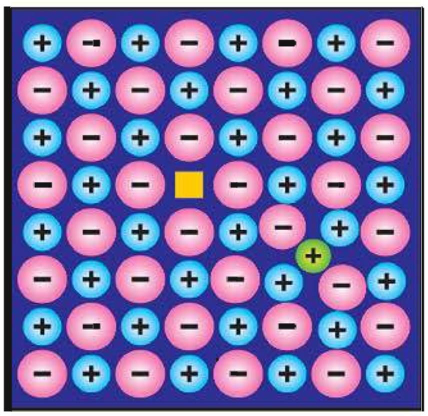
ઉપર દર્શાવેલી બંને પ્રકારની ક્ષતિ બિનઆયનીય ઘન પણ દર્શાવે છે. આયનીય ઘનને હંમેશાં વિદ્યુતીય તટસ્થતા જાળવી રાખવાની હોય છે. આ ક્ષતિ બે પ્રકારની ક્ષતિ દર્શાવે છે : (a) શોટ્કી (Schottky) ક્ષતિ (b) ફ્રેન્કલ (Frenkel) ક્ષતિ.



આકૃતિ 1.18 શોટ્કી ક્ષતિ

(a) શોટ્કી ક્ષતિ : આ ક્ષતિ મૂળમાં તો આયનીય ઘનમાંની અવકાશ ક્ષતિ જ છે. તેમાં ન મળતાં કે ન ગોઠવાયેલા ધનાયન અને ઋણાયનની સંખ્યા સરખી રહેશે. કારણ કે ક્ષતિ બાદ પણ સ્ફટિક વિદ્યુતીય રીતે તટસ્થ છે. આકૃતિ 1.18માં આ ક્ષતિ દર્શાવેલ છે.

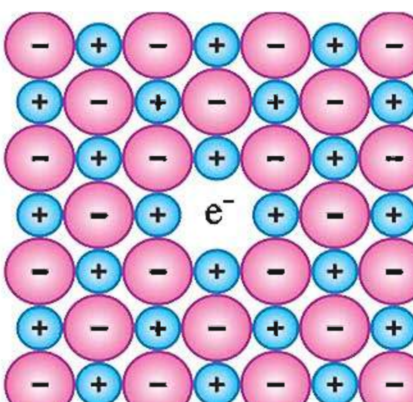
અવકાશ ક્ષતિની જેમ શોટ્કી ક્ષતિ પણ પદાર્થની ઘનતામાં ઘટાડો દર્શાવે છે. આ ક્ષતિની સંખ્યા ખાસ અર્થસૂચક હોય છે. અગાઉ જણાવ્યું તેમ NaClના સ્ફટિકમાં આશરે 10^6 પ્રતિ સેમી^{3} શોટ્કી ક્ષતિ ઓરડાના તાપમાને હોય છે. 1સેમી^{3} કદમાં આશરે 10^{22} આયન રહેલાં હોય છે. તેથી આશરે 10^{16} આયનોએ 1 શોટ્કી ક્ષતિ હોય છે. જે આયનીય ઘનમાં ધનાયન અને ઋણાયનનાં કદ (size) સરખા હોય છે અથવા જેમના સવર્ગાંક ઊંચા હોય છે તે શોટ્કી ક્ષતિ દર્શાવે છે. દા.ત., NaCl, KCl, AgBr. એ નોંધવું જરૂરી છે કે AgBr બંને પ્રકારની એટલે કે ફ્રેન્કલ અને શોટ્કી ક્ષતિઓ દર્શાવે છે.



આકૃતિ 1.19 ફ્રેન્કલ ક્ષતિ

(b) ફ્રેન્કલ ક્ષતિ : આ ક્ષતિ પણ આયનીય ઘન દર્શાવે છે. સામાન્ય રીતે નાનો આયન (ધનાયન) પોતાના સામાન્ય (મૂળ) સ્થાન પરથી ખસીને વચ્ચેના આંતરાલીય સ્થાન પર ગોઠવાય છે. તેથી તે અવકાશ ક્ષતિ ઉત્પન્ન કરે છે (આકૃતિ 1.19). આથી તે પોતાના મૂળ સ્થાને અવકાશ ક્ષતિ અને નવા સ્થાન પર આંતરાલીય ક્ષતિ ઉત્પન્ન કરે છે. ફ્રેન્કલ ક્ષતિને વિસ્થાનીય (dislocation) ક્ષતિ પણ કહી શકાય. તેમાં કણના સ્થાન બદલાય છે. તેમની વધઘટ થતી નથી માટે ઘનની ઘનતા બદલાતી નથી. ફ્રેન્કલ ક્ષતિ એવા આયનીય ઘન પદાર્થોમાં જોવા મળે છે જેમાં ધનાયન અને ઋણાયનના આયનીય કદમાં મોટો તફાવત હોય છે. દા.ત., ZnS, AgCl, AgBr, AgI. આનું કારણ Zn^{2+} અને Ag^+ આયનો નાના નાના કદ(Size)ના છે. આ ક્ષતિ જેમના સવર્ગાંક નીચાં છે તેવા ઘન પદાર્થો દર્શાવે છે.

(B) બિનતત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ : આપણે અભ્યાસ કર્યો તે તત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિમાં કોઈ ખલેલ પડતી નથી. પરંતુ બિનતત્ત્વયોગમિતિય ધરાવતા ઘણાં અકાર્બનિક ઘન જાણવા મળ્યાં છે તેમાં ઘટક તત્ત્વો બિનતત્ત્વયોગમિતિય ગુણોત્તરમાં હોય છે, જેનું કારણ સ્ફટિકની રચનામાંની ક્ષતિ છે. આ ક્ષતિના બે પ્રકાર છે : (i) ધાતુ વધારો (excess) ક્ષતિ અને (ii) ધાતુ ઊણપ (deficiency) ક્ષતિ.



આકૃતિ 1.20 સ્ફટિકમાંનું F-કેન્દ્ર

(i) ધાતુ વધારો ક્ષતિ : એનાયન અવકાશને લીધે થતી ધાતુ વધારો ક્ષતિ : NaCl અને KCl જેવા આલ્કલી હેલાઇડ આ પ્રકારની ક્ષતિ દર્શાવે છે. ધારો કે સોડિયમ ક્લોરાઇડના સ્ફટિકને સોડિયમની બાષ્પના વાતાવરણમાં ગરમ કરવામાં આવે તો સોડિયમ પરમાણુઓ સ્ફટિકની સપાટી પર જમા થાય છે. તેથી Cl^- આયન સ્ફટિકની સપાટીમાં પ્રસરણ પામી Na પરમાણુ સાથે જોડાય છે અને NaCl બનાવે છે. Na પરમાણુમાંથી Na^+ આયન બનવામાં થતા ઇલેક્ટ્રૉનના ઘટાડાને લીધે હોય છે. મુક્ત થયેલા ઇલેક્ટ્રૉન સ્ફટિકમાં પ્રસરણ પામી એનાયનના સ્થાન પર પહોંચી જાય છે. આને કારણે સ્ફટિકમાં સોડિયમનો વધારો હોય છે. અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રૉન વડે રોકાયેલા એનાયનીય સ્થાનને F-કેન્દ્રો કહે છે. (જ્યાં F-જર્મન શબ્દ Farbenzenter એટલે કે રંગ-કેન્દ્ર (colour center) દર્શાવે છે.) આથી NaClના સ્ફટિક પીળો રંગ ધારણ કરે છે. જ્યારે NaClના સ્ફટિક પર દશ્યપ્રકાશ પડે છે ત્યારે તે ઊર્જાનું શોષણ

કરે છે અને ઇલેક્ટ્રૉનને ઉત્તેજિત કરે છે. જેના પરિણામે પીળો રંગ દેખાય છે. આ જ પ્રમાણે ઉત્તેજન દ્વારા LiClના સ્ફટિકમાં લિથિયમનો વધારો આછો ગુલાબી રંગ અને KClના સ્ફટિકમાં પોટેશિયમનો વધારો જાંબલી રંગ દર્શાવે છે.

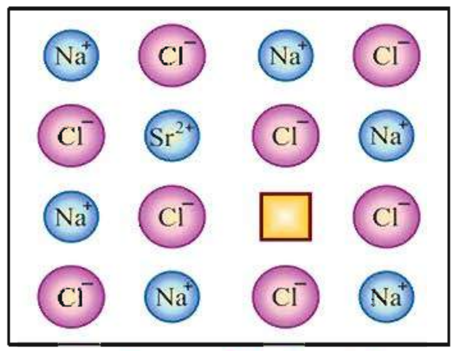
આંતરાલીય સ્થાનો પર વધારાના ધનાયનની હાજરીને કારણે ધાતુ વધારો ક્ષતિ : ઝિંક ઑક્સાઇડ ઓરડાના તાપમાને સફેદ રંગનો પદાર્થ છે. તેને ગરમ કરતાં તે પીળો પડે છે, કારણ કે તે ઑક્સિજન ગુમાવે છે.

$$ZnO \xrightarrow{\text{ગરમી}} Zn^{2+} + \frac{1}{2}O_2 + 2e^-$$

હવે સ્ફટિકમાં Zn^{2+} વધે છે અને તેથી તેનું સૂત્ર $Zn_{1+x}O$ બને છે. આ વધારાનો Zn^{2+} આયન આંતરાલીય સ્થાન પર ગોઠવાય છે અને ઇલેક્ટ્રૉન પડોશી (બાજુના) આંતરાલીય સ્થાનમાં ગોઠવાય છે.

(ii) ધાતુ ઊણપ ક્ષતિ : ઘણા બધા ઘન પદાર્થોને તેમની તત્ત્વયોગમિતિય પ્રમાણે બતાવવા મુશ્કેલ છે અને તે તત્ત્વયોગમિતિય ગણતરી કરતાં પ્રમાણમાં ઓછા ધાતુ પરમાણુઓ ધરાવે છે. આમાં ખૂબ જ જાણીતું ઉદાહરણ FeOનું છે, જે મોટે ભાગે $Fe_{0.95}O$ ખરેખર તે $Fe_{0.93}O$ અને $Fe_{0.96}O$ની વચ્ચેના ગાળામાં હોય છે. FeOના સ્ફટિકમાં કેટલાક Fe^{2+} આયન ખોવાયેલા (missing) જણાય છે અને તેથી ધનભારનો ઘટાડો જરૂરી Fe^{3+} આયન વડે પૂરો પાડવામાં આવે છે.

(iii) વિસ્થાપનની ક્ષતિ : ઘણી વખતે સ્ફટિકમાંની જાળી રચનામાંના પરમાણુ તેમના સ્થાનેથી અન્ય સ્ફટિક જાળી રચનામાં પારસ્પરિક રીતે વિનિમય (exchange) કરીને વિસ્થાપન કરે છે ત્યારે વિસ્થાપનીય ક્ષતિ જણાય છે અને વિસ્થાપનીય અવ્યવસ્થા ઉત્પન્ન થાય છે. આ પ્રકારની ક્ષતિ કૉપર અને સિલ્વરની મિશ્ર ધાતુમાં જોવા મળે છે.



આકૃતિ 1.21 Sr^{2+} વડે Na^+નું NaClમાંથી અવકાશ ક્ષતિમાં દાખલ થવું

(C) અશુદ્ધિ ક્ષતિ : ધારો કે પિગલિત NaClમાં થોડા પ્રમાણમાં ઘન $SrCl_2$ ઉમેરીને સ્ફટિકીકરણ કરવામાં આવે તો મળતા સ્ફટિકમાં Na^+ના કેટલાક સ્થાન Sr^{2+} વડે રોકાય છે (આકૃતિ 1.21). દરેક Sr^{2+} આયન બે Na^+ને વિસ્થાપિત કરે છે. તે એક સ્થાન રોકી લે છે અને બીજું સ્થાન ખાલી રાખે છે. આમ ધનઆયનીય અવકાશની સંખ્યા Sr^{2+} આયનની સંખ્યા જેટલી હોય છે. અન્ય ઉદાહરણમાં $CdCl_2$ અને AgClનું ઘન દ્રાવણ ગણી શકાય.

ધાતુઓમાં પટ સિદ્ધાંત (Band Theory in Metals) : પટ સિદ્ધાંતમાં એમ સ્વીકારવામાં આવેલ છે કે ધાતુ અથવા પદાર્થમાં બે પટ હોય છે. એક સંયોજકતા પટ જેમાં ધાતુ અથવા પદાર્થના સંયોજકતા ઇલેક્ટ્રૉન સમાયેલાં હોય છે. તેની ઉપરના ભાગમાં બીજો પટ હોય છે. તેને વાહકતા પટ કહે છે. પદાર્થના વિદ્યુતવહન માટે વાહકતા પટમાં ઇલેક્ટ્રૉન હોવા જરૂરી છે. આ બંને પટ વચ્ચે જગ્યા રહેલી હોય છે જેને આપણે **શક્તિગૅપ (energy gap)** કહીએ છીએ. સંયોજકતા પટમાંના ઇલેક્ટ્રૉન સહેલાઈથી વાહકતા પટમાં જાય તે માટે આ શક્તિગૅપનું અંતર અગત્યનું છે. ધાતુઓમાં આ બંને પટ વચ્ચે શક્તિગૅપનું અંતર ઓછું હોવાથી ઇલેક્ટ્રૉન સંયોજકતા પટમાંથી સહેલાઈથી વાહકતા પટમાં જઈ શકે છે. માટે જ ધાતુઓમાં વિદ્યુતનું વહન સહેલાઈથી થાય છે અને તે સુવાહક કહેવાય છે. કેટલાક પદાર્થોમાં આ શક્તિગૅપનું અંતર વધારે હોવાથી સામાન્ય સંજોગોમાં ઇલેક્ટ્રૉન સંયોજકતા પટમાંથી વાહકતા પટમાં જઈ શકતા નથી. પરિણામે વિદ્યુતનું વહન થતું નથી. આથી તેઓ અવાહક કહેવાય છે. અધાતુ મોટે ભાગે વિદ્યુત માટે અવાહક હોય છે. આ બંને વચ્ચેની પરિસ્થિતિ અર્ધવાહકોની છે. સિલિકોન જેવી અર્ધધાતુના સંયોજકતા પટમાં ચાર ઇલેક્ટ્રૉન હોય છે તે મુક્ત હોતા નથી. તેથી સામાન્ય સંજોગોમાં સિલિકોન વિદ્યુતનું વહન કરતો નથી અને અવાહક બને છે. પરંતુ જો તેનું તાપમાન વધારવામાં આવે અથવા ખાસ પ્રકારનાં વિકિરણો તેના પર પાડવામાં આવે તો સંયોજકતા પટમાંના કેટલાક ઇલેક્ટ્રૉન વાહકતા પટમાં જાય છે અને તેથી વિદ્યુતનું વહન થાય છે. સંયોજકતા પટમાં પડેલ ખાલી જગ્યા પદાર્થમાંના અન્ય ઇલેક્ટ્રૉન લઈ લે છે.

આ ઇલેક્ટ્રૉન ઓછા પ્રમાણમાં જવાથી ચોક્કસ સંજોગોમાં તે વિદ્યુતવાહક બને છે માટે જ તેમને અર્ધવાહકો કહે છે. આમ પટ સિદ્ધાંતને આધારે વાહકતા પટ અને સંયોજકતા પટ વચ્ચેના અંતર-શક્તિગેપને આધારે વાહક, અવાહક અને અર્ધવાહક સમજાવી શકાય.

1.9 ક્ષતિની વિદ્યુતીય અને ચુંબકીય અસરો : ધાતુઓમાં પટ સિદ્ધાંત (Electrical and Magnetic Effects of Defect : Band Theory in Metals)

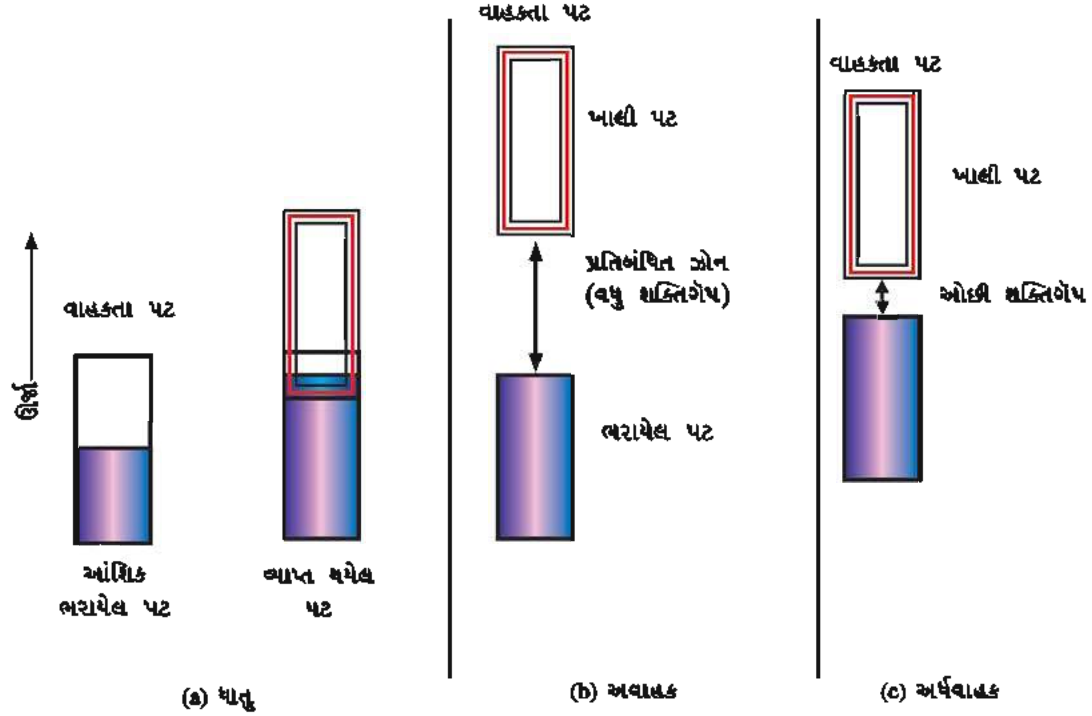
ઘન પદાર્થોની વિદ્યુતીય વાહકતામાં ઘણો મોટો ગાળો જોવા મળે છે. આશરે 10^{-20}થી 10^{7} ઓહ્મ$^{-1}$ મી$^{-1}$ જેટલી વિદ્યુતવાહકતા દર્શાવતા ઘન પદાર્થો છે. આથી ઘન પદાર્થોને તેમની વિદ્યુતીય વાહકતાના આધારે ત્રણ વિભાગમાં વહેંચી શકાય : (1) વીજવાહકો (2) વીજ અવાહકો (3) વીજ અર્ધવાહકો.

(1) વીજવાહકો : જે ઘન પદાર્થોની વિદ્યુતીય વાહકતા 10^{4}થી 10^{7} ઓહ્મ$^{-1}$ મી$^{-1}$ના ગાળામાં હોય તેમને વીજવાહકો અથવા સુવાહકો કહેવામાં આવે છે. સામાન્ય રીતે આવા ઘન પદાર્થોમાં ધાતુઓનો સમાવેશ થાય છે.

(2) વીજ અવાહકો : જે ઘન પદાર્થોની વિદ્યુતીય વાહકતા ઘણી ઓછી એટલે કે 10^{-20}થી 10^{-10} ઓહ્મ$^{-1}$ મી$^{-1}$ના ગાળામાં હોય તેમને વીજ અવાહકો કહેવામાં આવે છે.

(3) વીજ અર્ધવાહકો : જે ઘન પદાર્થોની વિદ્યુતીય વાહકતા 10^{-6}થી 10^{4} ઓહ્મ$^{-1}$ મી$^{-1}$ના ગાળામાં હોય તેમને વીજ અર્ધવાહકો કહેવામાં આવે છે.

ધાતુઓમાં વિદ્યુતનું વહન : વાહકમાં વિદ્યુતનું વહન ઇલેક્ટ્રૉન અથવા આયન દ્વારા થઈ શકે છે. ધાતુઓ ઇલેક્ટ્રૉન દ્વારા વિદ્યુતનું વહન કરે છે. જ્યારે વિદ્યુત વિભાજ્યો આયનો દ્વારા વિદ્યુતનું વહન કરે છે. ધાતુઓ ઘન તેમજ પિગલિત અવસ્થામાં વિદ્યુતનું વહન કરે છે અને તેમની વાહકતા તેમના પરમાણુમાં પ્રાપ્ત થતી સંયોજકતા કોષમાંના ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા પર આધાર રાખે છે. ધાતુઓના પરમાણુઓની પરમાણ્વિય કક્ષકો જે આણ્વિય કક્ષકો રચે છે, તે એકબીજાથી એટલા નજીક હોય છે કે તેનાથી એક પટ (band) રચાય છે. આ પટ અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલો અથવા આ પટની ઉપર આવેલા વાહકતા પટ સાથે વ્યાપ્ત થયેલ અથવા સંમિશ્રણ (overlap) હોય છે ત્યારે વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવાથી ઇલેક્ટ્રૉન સહેલાઈથી તેનું વહન કરે છે અને ધાતુ વિદ્યુતવાહકતા દર્શાવે છે (આકૃતિ 1.22).



આકૃતિ 1.22 (a) ધાતુઓ (b) અવાહકો (c) અર્ધવાહકોમાં તફાવત

જો ભરાઈ ગયેલ સંયોજકતા પટ અને ઉપરના બીજા ન ભરાયેલા પટ (વાહકતા પટ) વચ્ચે ખાલી જગ્યા-'ગૅપ' (gap) વધારે હોય, તો ઇલેક્ટ્રૉન વાહકતા પટમાં કૂદી શકતા નથી અને તેથી પદાર્થ વિદ્યુતનું ઘણું ઓછું પ્રમાણ વહન કરે છે અથવા નથી કરતો. તેથી તે અવાહક તરીકે વર્તે છે.

અર્ધવાહકોમાં વિદ્યુતવહન : અર્ધવાહકોની બાબતમાં સંયોજકતા પટ અને વાહકતા પટ વચ્ચેનું અંતર ઓછું હોય છે (આકૃતિ 1.22). આથી કેટલાક ઇલેક્ટ્રૉન સંયોજકતામાંથી વાહકતા પટમાં જઈ શકે છે માટે તે અલ્પ વિદ્યુતનું વહન કરશે. અર્ધવાહકોની વિદ્યુતીય વાહકતા તાપમાનના વધારા સાથે વધે છે. કારણ કે તાપમાનના વધારાથી મળતી ઊર્જા સંયોજકતા પટ ઇલેક્ટ્રૉનને વાહકતા પટમાં કૂદાવી શકે છે. આથી વિદ્યુતનું વહન સરળ અને વધુ બને છે. આમ અર્ધવાહક સામાન્ય તાપમાને અવાહક જેવું જણાય પરંતુ તાપમાનના વધારા સાથે સુવાહક જણાય. સિલિકોન અને જર્મેનિયમ જેવાં તત્ત્વો આ પ્રકારની વર્તણૂક બતાવે છે માટે તેમને આંતરિક (intrinsic) અર્ધવાહકો કહે છે. આવા આંતરિક અર્ધવાહકોની વાહકતા એટલી ઓછી હોય છે કે તેનો પ્રાયોગિક ઉપયોગ કરી શકાતો નથી; પરંતુ જો તેમાં કોઈ યોગ્ય પ્રકારની અશુદ્ધિ યોગ્ય પ્રમાણમાં ઉમેરવામાં આવે તો તેની વાહકતા વધારી શકાય છે. આ ક્રિયાને **ડૉપિંગ (doping)** કહે છે. આ 'ડૉપિંગ'માં ઇલેક્ટ્રૉન સમૃદ્ધ અને ઇલેક્ટ્રૉન ઊણપવાળાં તત્ત્વો (આંતરિક અર્ધવાહક સિલિકોન અને જર્મેનિયમની સરખામણી) ઉમેરી શકાય છે. આવી અશુદ્ધિઓને તેમાંની ઇલેક્ટ્રૉન ક્ષતિ તરીકે ઓળખી શકાય.

આપણે બે સામાન્ય ઉદાહરણ લઈએ. ધારો કે સિલિકોન કે જર્મેનિયમ જેવા અર્ધવાહકમાં (જેમાં ચાર ઇલેક્ટ્રૉન સંયોજકતા કોષમાં હોય છે) ઇલેક્ટ્રૉન સમૃદ્ધ તત્ત્વ દા.ત., P અથવા As (જેમાં પાંચ ઇલેક્ટ્રૉન સંયોજકતા કોષમાં હોય છે) સાથે તેનું ડૉપિંગ કરીએ તો એક વધુ ઇલેક્ટ્રૉન ધરાવતો અર્ધવાહક મળે. ઇલેક્ટ્રૉન વધારે છે અને તે ઋણભાર ધરાવતો હોઈ આવા ડૉપિંગ કરેલા અર્ધવાહકને **ઋણભાર પ્રકારના (negative type)** અથવા **n-પ્રકારના અર્ધવાહકો** કહેવામાં આવે છે.

એ જ પ્રમાણે B, Al કે Ga જેવા તત્ત્વની (જેમાં સંયોજકતા કોષમાં ત્રણ ઇલેક્ટ્રૉન હોય છે.) સાથે ડૉપિંગ કરવામાં આવે તો તેમાં એક ઇલેક્ટ્રૉનની ઊણપ વર્તાશે. તેથી આવા ડૉપિંગ કરેલા અર્ધવાહકને **ધનભાર પ્રકારના (positive type)** અથવા **p-પ્રકારના અર્ધવાહકો** કહે છે. અર્ધવાહકો વિશે તમે ભૌતિકવિજ્ઞાનમાં વધુ વિગતે અભ્યાસ કર્યો જ હશે.

n અને p-પ્રકારના અર્ધવાહકો ઘણા ઇલેક્ટ્રૉનિક ભાગો અથવા ઘટકો બનાવવામાં વપરાય છે. ડાયોડ n-પ્રકાર અને p-પ્રકારના અર્ધવાહકોનું જોડાણ છે, જેનો રેક્ટિફાયર તરીકે ઉપયોગ થાય છે. ટ્રાન્ઝિસ્ટરમાં પણ તેનો ઉપયોગ થાય છે. npn અથવા pnp પ્રકારના સંયોગીકરણ કરી જુદા જુદા ગુણધર્મોવાળા અર્ધવાહકો બનાવી શકાય. ફોટોડાયોડની મદદથી પ્રકાશનું વીજળીમાં રૂપાંતર કરી શકાય છે. ગેલિયમ આર્સેનાઇડ (GaAs) જેવા અર્ધવાહકો તેમના ઝડપી પ્રતિભાવ(response)ને કારણે અર્ધવાહકો ધરાવતી વસ્તુઓએ ક્રાંતિ સર્જી છે.

એ જાણવું રસપ્રદ છે કે સંક્રાંતિ ધાતુ ઑક્સાઇડની વિદ્યુતીય વાહકતામાં નોંધપાત્ર તફાવત દર્શાવે છે. TiO, CrO_2 અને ReO_3 જેવા ઑક્સાઇડ ધાતુની જેમ વર્તે છે. ReO_3 ધાત્ત્વિક કૉપર જેવી વાહકતા અને દેખાવ ધરાવે છે. બીજા ઑક્સાઇડ જેવાં કે VO, VO_2, VO_3 અને TiO_2 ધાત્ત્વિક અથવા અવાહકના ગુણધર્મો દર્શાવે છે, જે તાપમાન પર આધારિત છે.

ચુંબકીય ગુણધર્મો : આપણે જાણીએ છીએ તે પ્રમાણે ઇલેક્ટ્રૉન વિદ્યુતભાર ધરાવે છે તથા ગતિ કરે છે તેથી તે ચુંબકીય ગુણધર્મ ધરાવે છે. દરેક પદાર્થમાં ઇલેક્ટ્રૉન રહેલાં છે, માટે કંઈક અંશે પણ ચુંબકીય ગુણધર્મો પદાર્થ સાથે સંકળાયેલાં હોય છે. દરેક પરમાણુમાં ઇલેક્ટ્રૉન એક અતિ નાના ચુંબક તરીકે વર્તે છે. તેથી ચુંબકીય ચાકમાત્રા તેની બે પ્રકારની ગતિમાંથી ઉદ્ભવે છે. (1) કેન્દ્રની ફરતે ગતિ તથા (2) પોતાની જ ધરી પરની ગતિ. આમ ઇલેક્ટ્રૉન વીજભાર ધરાવતું કણ હોવાથી અને આ પ્રકારની ગતિ ધરાવતાં હોઈ ચુંબકીય ચાકમાત્રા ધરાવે છે. આમ દરેક ઇલેક્ટ્રૉનની કાયમી (permanent) ભ્રમણ અને કક્ષકીય ચુંબકીય ચાકમાત્રા તેની સાથે સંકળાયેલ છે. ચુંબકીય ચાકમાત્રાની માત્રા (magnitude) ઘણી નાની છે અને તેનું માપન બૉહ્ર મૅગ્નેટોન એકમમાં થાય છે. તેનું મૂલ્ય 9.27×10^{-24} Am^2 છે.

આમ ચુંબકીય ગુણધર્મોના આધારે પદાર્થોના પાંચ પ્રકાર પાડી શકાય : (1) અનુચુંબકીય (2) પ્રતિચુંબકીય (3) ફેરોમૅગ્નેટિક (4) ઍન્ટિફેરોમૅગ્નેટિક અને (5) ફેરીમૅગ્નેટિક. આ પાંચેય પ્રકારનો અભ્યાસ કરીશું.

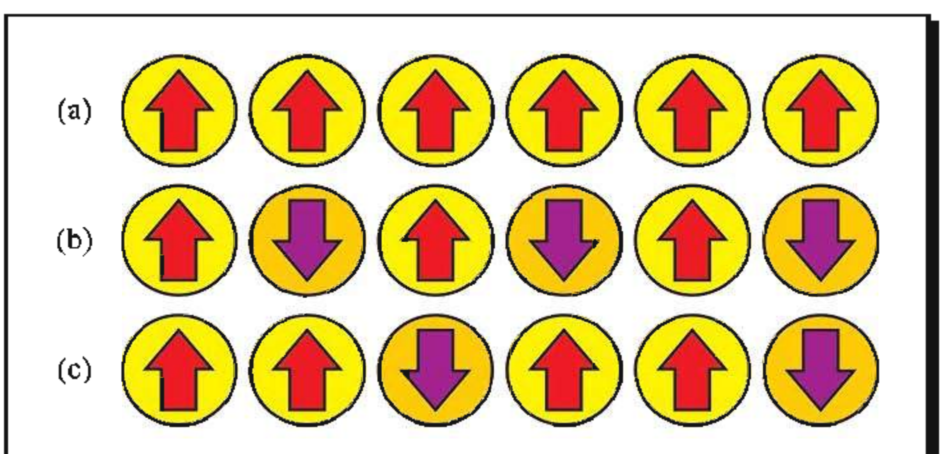
(1) અનુચુંબકત્વ : અનુચુંબકત્વ અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રૉનને લીધે હોય છે. અનુચુંબકીય પદાર્થો ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં નિર્બળતાથી આકર્ષિત થાય છે. તેઓ ચુંબકીય ક્ષેત્રની દિશામાં જ ચુંબકત્વ પામે છે. ચુંબકીય ક્ષેત્રની ગેરહાજરીમાં તેમનું ચુંબકત્વ દૂર થાય છે. અનુચુંબકત્વ એક અથવા વધારે અયુગ્મ ઇલેક્ટ્રૉનને લીધે હોય છે. કારણ કે તેઓ ચુંબકીય ક્ષેત્ર વડે આકર્ષણ પામે છે. Cu^{2+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}, O_2 વગેરે આવા અનુચુંબકીય પદાર્થોનાં ઉદાહરણ છે.

(2) પ્રતિચુંબકત્વ : પ્રતિચુંબકીય પદાર્થો ચુંબકીય ક્ષેત્રની નિર્બળતાથી અપાકર્ષણ પામે છે. NaCl, H_2O, C_6H_6, N_2 વગેરે આવા પદાર્થોનાં ઉદાહરણ છે. તેઓ ચુંબકીય ક્ષેત્રની હાજરીમાં નિર્બળતાથી અપાકર્ષાયેલ હોય છે જે વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે. જે પદાર્થોમાં અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રૉન ન હોય અથવા જેમાં બધાં જ ઇલેક્ટ્રૉનનાં જોડકાં બનાવી દીધાં હોય તેવા પદાર્થો પ્રતિચુંબકીય ગુણધર્મ દર્શાવે છે. ઇલેક્ટ્રૉનની પરસ્પર વિરુદ્ધ દિશામાંના ભ્રમણથી રચાતી જોડ ચુંબકીય ચાકમાત્રાને રદ (cancel) કરે છે અને તેથી તેઓ ચુંબકીય ગુણધર્મ ગુમાવે છે.

(3) ફેરોમૅગ્નેટિક : આયર્ન, કોબાલ્ટ, નિકલ, ગેડોલિનિયમ, CrO_2 જેવા પદાર્થો ચુંબકીય ક્ષેત્રની હાજરીમાં ખૂબ જ પ્રબળ આકર્ષણ ધરાવે છે. આવા પદાર્થો ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થો કહે છે. પ્રબળ આકર્ષણ ઉપરાંત આવા પદાર્થો કાયમી રીતે ચુંબકીય બની જાય છે. ઘન અવસ્થામાં ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થોના ધાતુ આયનો 'ડોમેઇન' (domain) તરીકે ઓળખાતા નાના વિસ્તારમાં એકસાથે સમૂહમાં ગોઠવાયેલ હોય છે. આવું દરેક ડોમેઇન એક નાના ચુંબક તરીકે વર્તે છે. ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થના બિનચુંબકીય ટુકડામાં આ ડોમેઇન અવ્યવસ્થિત રીતે ગોઠવાયેલ હોય છે અને તેમની ચુંબકીય ચાકમાત્રા રદ (cancel) થઈ જાય છે. જ્યારે પદાર્થ ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં મૂકવામાં આવે છે ત્યારે બધી ડોમેઇન ચુંબકીય ક્ષેત્રની દિશામાં જ અભિવિન્યાસિત (oriented) હોય છે (આકૃતિ 1.23 (a)) અને તેથી પ્રબળ ચુંબકીય અસર ઉત્પન્ન થાય છે. જો ચુંબકીય ક્ષેત્ર દૂર કરવામાં આવે તોપણ ડોમેઇનમાં ક્રમબદ્ધતા (ordering) જળવાઈ રહે છે અને તેથી ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થો કાયમી ચુંબક બને છે.

(4) ઍન્ટિફેરોમૅગ્નેટિક : MnO જેવા પદાર્થો ઍન્ટિફેરોમૅગ્નેટિઝમ દર્શાવે છે. તેમના ડોમેઇનની રચના ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થોની જેમ જ હોય છે. પરંતુ તેમની ડોમેઇન એકબીજાથી વિરુદ્ધ રીતે અભિવિન્યાસિત (oriented) હોય છે અને તેથી એકબીજાની ચુંબકીય ચાકમાત્રાને રદ (cancel) કરે છે (આકૃતિ 1.23 (b)).

(5) ફેરીમૅગ્નેટિક : જ્યારે પદાર્થમાંની ડોમેઇનની ચુંબકીય ચાકમાત્રા એકબીજાને સમાંતર અને બિનસમાંતર રીતે ગોઠવાયેલી હોય છે પણ અસમાન સંખ્યામાં હોય છે ત્યારે તેને ફેરીમૅગ્નેટિક પદાર્થ કહેવાય છે (આકૃતિ 1.23). ફેરોમૅગ્નેટિક પદાર્થની સરખામણીમાં તેઓ વધુ નિર્બળતાથી આકર્ષાયેલ હોય છે. મૅગ્નેટાઇટ (Fe_3O_4), ફેરાઇટ ($MgFe_2O_4$) અને $ZnFe_2O_4$ જેવા પદાર્થો ફેરીમૅગ્નેટિઝમ દર્શાવે છે. આવા પદાર્થોને ગરમ કરતાં ફેરીમૅગ્નેટિઝમ ગુમાવે છે અને અનુચુંબકીય બની જાય છે (આકૃતિ 1.23 (c)).



આકૃતિ 1.23 (a) ફેરોમૅગ્નેટિક (b) ઍન્ટિફેરોમૅગ્નેટિક અને (c) ફેરીમૅગ્નેટિકમાં ચુંબકીય ચાકમાત્રાનું સંરેખણ (alignment)

સારાંશ

દ્રવ્યની મુખ્યત્વે ત્રણ અવસ્થા છે : ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ. આ ઉપરાંત બીજી બે – પ્લાઝ્મા અને બોઝ આઇન્સ્ટાઇન કન્ડેન્સેટ છે. આ એકમમાં આપણે દ્રવ્યની ઘન અવસ્થાનો અભ્યાસ કર્યો. ઘન પદાર્થને ચોક્કસ દળ, કદ અને આકાર હોય છે. કારણ કે તેમના ઘટક કણોના સ્થાન નિશ્ચિત હોય છે. તે એકબીજાની નજીક ગોઠવાયેલા હોય છે અને તેમની વચ્ચે પ્રબળ આંતર આકર્ષણ હોય છે. ઘન પદાર્થોના મુખ્યત્વે બે પ્રકાર છે : સ્ફટિકમય અને અસ્ફટિકમય. સ્ફટિકમય પદાર્થોમાં રચના, ગોઠવણી વગેરે વ્યવસ્થિત હોય છે અને તેથી આ એકમમાં તેના વિશે વધુ જાણકારી આપેલી છે. અસ્ફટિકમય પદાર્થોના ઘટક કણોની ગોઠવણી બહુ જ થોડા અંતર માટે વ્યવસ્થિત હોય છે. તેથી તેમના ચોક્કસ આકાર અને નિશ્ચિત ગલનબિંદુ હોતા નથી. તેમને અતિ શીત પ્રવાહી તરીકે ઓળખી શકીએ. જ્યારે સ્ફટિકમય પદાર્થોમાં ચોક્કસ ગલનબિંદુ, નિયમિત ગોઠવણી, લાક્ષણિક આકાર વગેરે હોય છે. તેમના ઘટક કણો વચ્ચે તીવ્ર આંતરક્રિયા હોવાથી તે વિશિષ્ટ ગુણધર્મો ધરાવે છે. ઘન પદાર્થોને તેમની રચના, આકર્ષણબળો વગેરેના આધારે કેટલાક વિભાગોમાં વહેંચી શકાય. જેમ કે આણ્વિય, આયનીય, ધાત્વિક, સહસંયોજક વગેરે. આ બધા જ તેમના ગુણધર્મોમાં નોંધપાત્ર ફેરફાર દર્શાવે છે.

સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થના ઘટક કણો નિયમિત રીતે ગોઠવાયેલા હોય છે અને તેને આધારે સ્ફટિકની રચના થાય છે. સ્ફટિકના નાનામાં નાના કણને આપણે એકમ કોષ કહીએ છીએ અને સ્ફટિકમાં આ એકમ કોષ ત્રિપરિમાણીય દિશામાં ગોઠવાયેલો હોય છે. આવી ગોઠવણીને લૅટિસ રચના કહે છે. જુદા જુદા પ્રકારની લૅટિસ રચનાને બ્રેવિસ (Bravais) લૅટિસ કહે છે. એકમ કોષ આદિમ પ્રકારનો હોય, જેમાં કણો ખૂણા પર અથવા કેન્દ્રમાં ગોઠવાયેલા હોય છે. આવા સ્ફટિકોના પ્રકારમાં ફલક કેન્દ્રિત,અંતઃકેન્દ્રિત અને અંત (end) કેન્દ્રિત છે. આદિમ કોષના સાત પ્રકાર છે. કણોના ક્લોઝ પૅકિંગને કારણે ઉચ્ચ ક્ષમતા ધરાવતી લૅટિસ રચાય છે. જેમાં ષટ્ફલકીય ક્લોઝ પૅકિંગ (hcp), ઘન ક્લોઝ પૅકિંગ (ccp), ફલક કેન્દ્રિત ક્લોઝ પૅકિંગ (fcp) અગત્યના છે. તેમની પૅકિંગ-ક્ષમતા જુદી જુદી હોય છે. ccpમાં આશરે 52.36 %, hcpમાં આશરે 68 %, fcpમાં આશરે 74 % છે. જુદા જુદા પ્રકારની ગોઠવણીને કારણે સ્ફટિકની રચનામાં છિદ્રો અથવા જગ્યાઓ (voids) રહે છે. તેના બે પ્રકાર છે : ચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય. અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા કરતાં ચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા બમણી હોય છે.

સ્ફટિક દેખાય છે તેટલા સંપૂર્ણ (perfect) હોતાં નથી. તેમાં અપૂર્ણતાઓ (imperfections) રહેલી હોય છે, જેને આપણે ક્ષતિ (defect) કહીએ છીએ. આવી ક્ષતિઓ જુદા જુદા પ્રકારની હોય છે. જેમ કે બિનતત્ત્વ-યોગમિતિય, તત્ત્વયોગમિતિય, અશુદ્ધિ બિંદુ ક્ષતિ વગેરે. તેમાંથી શોટ્કી ક્ષતિ અને ફ્રેન્કલ ક્ષતિ આયનીય સ્ફટિકોમાં જોવા મળે છે. શોટ્કી ક્ષતિમાં ઘટક કણોની સંખ્યાના ઘટાડાને લીધે ઘનતામાં ઘટાડો જણાય છે. જ્યારે ફ્રેન્કલ ક્ષતિમાં ઘનતામાં ઘટાડો થતો નથી. કારણ કે ઘટક કણો આંતરાલીય સ્થાનમાં ગોઠવાયેલા હોય છે. AgBr જેવો સ્ફટિક બંને પ્રકારની ક્ષતિ દર્શાવે છે. આવી ક્ષતિનો ઉપયોગ કરી તેમના સ્થાને કેટલાંક તત્ત્વો કે ઘટકો દાખલ કરી ઉપયોગમાં આવે તેવા સ્ફટિક મેળવાય છે જેને ડોપિંગ કહે છે. ઍલ્યુમિનિયમ કે બોરોન જેવા તત્ત્વનો ઉપયોગ કરી pnp પ્રકારના અર્ધવાહક અને આર્સેનિક તથા ગેલિયમ જેવા તત્ત્વનો ઉપયોગ કરી npn પ્રકારના અર્ધવાહક બનાવી શકાય. ટ્રાન્ઝિસ્ટર વગેરેમાં પણ તેમનો ઉપયોગ થઈ શકે.

સ્ફટિકોમાં રહેલા ઇલેક્ટ્રૉન અને ગોઠવણીને આધારે તેઓ જુદા જુદા ચુંબકીય ગુણધર્મો દર્શાવે છે. જેવા કે અનુચુંબકીય – જેમાં ચુંબકીય ક્ષેત્રની અસર પડે છે અને તે અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રૉનને લીધે હોય છે. પ્રતિચુંબકીય પદાર્થોમાં ચુંબકીય ક્ષેત્રની અસર જણાતી નથી, જે યુગ્મિત ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના દર્શાવે છે. આ ઉપરાંત આયર્ન, કોબાલ્ટ, નિકલ જેવી ધાતુઓ વિશિષ્ટ પ્રકારની ચુંબકીય અસર દર્શાવે છે જેને ફૅરોમૅગ્નેટિઝ્મ કહે છે. ચુંબકીય ક્ષેત્રની અસરને કારણે કાયમી ગોઠવણી થાય તો ફેરીમૅગ્નેટિઝ્મ અને કોઈ અસર ન પડે તો ઍન્ટિફેરોમૅગ્નેટિઝ્મનો ગુણધર્મ જણાય છે.

વાહકોના ત્રણ પ્રકાર કરી શકાય જે પોતાનામાં વિદ્યુતનું વહન થવા દે તેને સુવાહકો, પોતાનામાંથી વિદ્યુતનું વહન ન થવા દે તેને અવાહકો અને તાપમાન વધારવાથી અથવા અમુક પ્રકારનાં વિકિરણો પ્રઘાત કરવામાં આવે તો વિદ્યુતનું વહન કરે તેવા અર્ધવાહકો. પદાર્થમાં વિદ્યુતનું વહન પટ સિદ્ધાંતના આધારે સમજાવી શકાય :

એક સંયોજકતા પટ અને બીજો વાહકતા પટ. સંયોજકતા પટ કરતા વાહકતા પટ ઊંચા શક્તિ સ્તરે હોય છે. આથી તે બંને વચ્ચે જગ્યા, જેને શક્તિગેપ (energy gap) કહે છે તેના પર આધાર રાખે છે. જો ઇલેક્ટ્રોન સહેલાઈથી સંયોજકતા પટમાંથી વાહકતા પટમાં જાય તો તે સુવાહક બને છે. જો ઇલેક્ટ્રોન થોડી ઊર્જા (તાપમાન વધારીને) આપી મોકલી શકાય તો તેને અર્ધવાહક અને ન જ મોકલી શકાય તો અવાહક. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો બંને પટ વચ્ચે જેટલું વધારે અંતર તેટલું ઇલેક્ટ્રોન મોકલવાનું મુશ્કેલ અને તેટલો જ વધારે અવાહક. આમ ઘન અવસ્થામાં રહેલી ધાતુઓ, આયનીય ઘન, આણ્વિય ઘન, સહસંયોજક ઘન વગેરેના અભ્યાસ પરથી તેમના ઉપયોગો, રચના વગેરેના અભ્યાસને 'ઘન અવસ્થા રસાયણ' (Solid State Chemistry) કહે છે.

સ્વાધ્યાય

1. આપેલા વિકલ્પોમાંથી યોગ્ય વિકલ્પ પસંદ કરો :

(1) સોડિયમ ક્લોરાઇડ કયા પ્રકારનો ઘન છે ?

(A) આયનીય (B) આણ્વિય (C) સહસંયોજક (D) ધાત્વિક

(2) આયનીય ઘનના ગલનબિંદુ .... હોય છે.

(A) ઘણા ઊંચા (B) સામાન્ય (C) ઘણા નીચા (D) અસામાન્ય

(3) ક્વાર્ટ્ઝ કેવા પ્રકારનો ઘન છે ?

(A) આયનીય (B) આણ્વિય (C) સહસંયોજક (D) ધાત્વિક

(4) સિલ્વર ધાતુની સ્ફટિક રચના કેવી છે ?

(A) fcc (B) સાદો ઘન (C) bcc (D) અસ્ફટિકમય

(5) સાદા ઘનની પેકિંગ-ક્ષમતા કેટલા ટકા છે ?

(A) 53.26 (B) 68.0 (C) 74.0 (D) 52.36

(6) ચતુષ્ફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા અષ્ટફલકીય છિદ્રોની સંખ્યા કરતા કેટલા ગણી હોય છે ?

(A) 4 (B) 8 (C) 2 (D) 0.5

(7) અંતઃકેન્દ્રિત ઘનના એકમ કોષના પરમાણુની સંખ્યા કેટલી છે ?

(A) 2 (B) 1 (C) 4 (D) 6

(8) ફલક કેન્દ્રિત ઘનના એકમ કોષમાં પરમાણુની સંખ્યા કેટલી છે ?

(A) 2 (B) 1 (C) 4 (D) 6

(9) નીચેનામાંથી કયા સંયોજનમાં શોટ્કી ક્ષતિ રહેલી છે ?

(A) NaCl (B) ZnS (C) SiO_2 (D) $SrCl_2$

(10) નીચેનામાંથી કયા સંયોજનમાં ફ્રેન્કલ ક્ષતિ રહેલી છે ?

(A) NaCl (B) ZnS (C) KBr (D) $SrCl_2$

(11) નીચેનામાંથી કયું સંયોજન ધાતુ ઊણપ ક્ષતિ દર્શાવે છે ?

(A) $Fe_{0.95}O$ (B) $Fe_2O_{3.6}$ (C) Fe_3O_4 (D) $FeS_{1.6}$

(12) નીચેનામાંથી કયું તત્ત્વ અર્ધવાહક છે ?

(A) Na (B) Al (C) Fe (D) Ge

(13) Si સાથે Bના ડોપિંગથી મળતો અર્ધવાહક કેવા પ્રકારનો છે ?

(A) n-પ્રકાર (B) p-પ્રકાર (C) pnp-પ્રકાર (D) npn-પ્રકાર

(14) ReO_3 સંયોજનની વિદ્યુતવાહકતા કયા તત્ત્વને મળતી આવે છે ?

(A) કોપર (B) ઝિંક (C) આયર્ન (D) એલ્યુમિનિયમ

(15) નીચેનામાંથી કયું આયન અનુચુંબકીય છે ?

(A) O_2^{2-} (B) Cr^{3+} (C) Na^+ (D) Cu^+

(16) વાહક અને અર્ધવાહકમાં વિદ્યુતનું વહન સમજાવવા કયો સિદ્ધાંત ઉપયોગી છે ?

(A) પૌલીનો સિદ્ધાંત (B) એવોગેડ્રોનો સિદ્ધાંત (C) પટનો સિદ્ધાંત (D) સંકરણનો સિદ્ધાંત

2. નીચેના પ્રશ્નોના ટૂંકમાં ઉત્તર લખો :

(1) બંધનબળોના આધારે ઘનના પ્રકાર લખો.

(2) સ્ફટિકમય અને અસ્ફટિકમય ઘનનાં ઉદાહરણો આપો.

(3) એકમ કોષની વ્યાખ્યા લખો.

(4) ઘનમાં થતાં પેકિંગના પ્રકાર જણાવો.

(5) ચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રો એટલે શું ?

(6) જુદા જુદા પ્રકારના ઘનના એકમ કોષમાં રહેલા પરમાણુની સંખ્યા જણાવો.

(7) વાહક, અર્ધવાહક અને અવાહકના એક-એક ઉદાહરણ લખો.

(8) વાહકતા સમજાવતો પટ સિદ્ધાંત શું છે ?

(9) ચુંબકીય ગુણધર્મના ચાર પ્રકાર લખો.

(10) ક્ષતિ એટલે શું ? ઘનમાં રહેલી ક્ષતિના પ્રકાર જણાવો.

3. નીચેના પ્રશ્નોના ઉત્તર લખો :

(1) આયનીય અને આણ્વિય ઘન ઉદાહરણ સાથે સમજાવો.

(2) જાળીદાર ઘન સંયોજનો ઉદાહરણ સાથે સમજાવો.

(3) અસ્ફટિકમય અને સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થોના ત્રણ તફાવત લખો.

(4) ઘનના જુદા જુદા પ્રકારો સમજાવી તેમની લાક્ષણિકતા લખો.

(5) અંતઃકેન્દ્રિત તથા ફલક કેન્દ્રિત ઘનમાં રહેલા પરમાણુની સંખ્યા ગણો.

(6) સાદા ઘનમાં પરમાણુઓથી રોકાયેલા કદની ગણતરી કરો.

(7) ચતુષ્ફલકીય અને અષ્ટફલકીય છિદ્રો આકૃતિ દોરી સમજાવો.

(8) અર્ધવાહકોમાં વાહકતા સમજાવતા પટના સિદ્ધાંતનું વર્ણન કરો.

(9) ફેરોમૅગ્નેટિઝમ અને ઍન્ટિફેરોમૅગ્નેટિઝમ સમજાવો.

(10) ડોપિંગ એટલે શું ? યોગ્ય ઉદાહરણ આપી સમજાવો.

4. નીચેના પ્રશ્નોના વિગતવાર ઉત્તર લખો :

(1) દ્વિપરિમાણીય અને ત્રિપરિમાણીય ક્લોઝ પૅકિંગ સમજાવો.

(2) ફલકકેન્દ્રિત અને અંતઃકેન્દ્રિત ઘનની વિશેષતાઓ જણાવો.

(3) અંતઃકેન્દ્રિત ઘનમાં પરમાણુઓથી રોકાયેલ કદની ગણતરી કરો.

(4) ક્ષતિના પ્રકારો લખો અને શોટ્કી તથા ફ્રેન્કલ ક્ષતિ વર્ણવો.

(5) ધાતુ ઊણપ તથા બિનતત્ત્વયોગમિતિય ક્ષતિ વિશે વિગતે લખો.

(6) ઘન પદાર્થોમાં વાહકતા વિશેનો પટ સિદ્ધાંત સમજાવો.

(7) ફેરોમૅગ્નેટિઝમ, ફેરીમૅગ્નેટિઝમ, ઍન્ટિફેરોમૅગ્નેટિઝમ વિગતવાર સમજાવો.

(8) શક્તિગૅપ, વાહકતા પટ અને સંયોજકતા પટ પર વિગતવાર નોંધ લખો.

એકમ

2

દ્રાવણો

2.1 પ્રસ્તાવના (Introduction)

બે કે તેથી વધુ પદાર્થો મિશ્ર થઈને સમાંગ અથવા એકરૂપ મિશ્રણ બનાવે, તો તેવા મિશ્રણને દ્રાવણ કહે છે. દ્રાવણમાં જે ઘટક અથવા ઘટકોનું પ્રમાણ ઓછું હોય તેને દ્રાવ્ય કહે છે અને જે ઘટકનું પ્રમાણ સૌથી વધુ હોય તેને દ્રાવક કહે છે. તેથી દ્રાવણમાં એક દ્રાવક અને એક કે એક કરતાં વધુ દ્રાવ્ય ઘટકો હોઈ શકે છે. જે દ્રાવણમાં એક દ્રાવક અને એક દ્રાવ્ય હોય તો તેવા દ્રાવણને દ્વિઅંગી (Binary) દ્રાવણ કહે છે. સમાંગ મિશ્રણમાં રહેલા કણોના કદનો વ્યાસ 10^{-9} મીટર હોય છે. સમાંગ મિશ્રણમાં રહેલા જુદા જુદા ઘટકોને ગાળણ, ઠારણ, ઉત્કલન કે સેન્ટ્રિફ્યુગેશન વગેરે જેવી ભૌતિક પદ્ધતિ દ્વારા અલગ કરી શકાતા નથી.

2.2 દ્રાવણના પ્રકારો (Types of Solutions)

દ્રાવણો ઘન, પ્રવાહી અને વાયુ એમ ત્રણ અવસ્થામાં જોવા મળે છે. દ્રાવ્ય અને દ્રાવક પણ આ પ્રકારની ત્રણ અવસ્થામાં જોવા મળે છે. દ્રાવકની ભૌતિક અવસ્થાને આધારે દ્રાવણની ભૌતિક અવસ્થા નક્કી કરી શકાય છે. દ્રાવણના પ્રકાર અને તેના ઉદાહરણ કોષ્ટક 2.1માં આપેલ છે.

કોષ્ટક 2.1 દ્રાવણના પ્રકાર અને તેના ઉદાહરણ

ક્રમ	દ્રાવણનો પ્રકાર	ભૌતિક અવસ્થા		ઉદાહરણ
		દ્રાવ્ય	દ્રાવક	
1.	ઘન દ્રાવણ	ઘન	ઘન	તાંબુ અને જસતમાંથી બનતી મિશ્ર ધાતુ (પિત્તળ)
		પ્રવાહી	ઘન	પારામાં બનાવેલ ઝિંક એમાલ્ગમ (સંરસ) Zn / Hg
		વાયુ	ઘન	H_2 વાયુનું Pdમાં અધિશોષણ
2.	પ્રવાહી દ્રાવણ	ઘન	પ્રવાહી	ખાંડ અને પાણીનું સમાંગ મિશ્રણ
		પ્રવાહી	પ્રવાહી	પાણી અને ઈથેનોલનું સમાંગ મિશ્રણ
		વાયુ	પ્રવાહી	CO_2 વાયુનું પાણીમાં સમાંગ મિશ્રણ
3.	વાયુમય દ્રાવણ	ઘન	વાયુ	કપૂરનું N_2 વાયુમાં સમાંગ મિશ્રણ
		પ્રવાહી	વાયુ	ભેજવાળી હવા
		વાયુ	વાયુ	H_2 અને O_2 વાયુનું મિશ્રણ

જ્યારે દ્રાવ્ય અને દ્રાવકના અણુઓ વચ્ચે પ્રબળ આકર્ષક આંતરક્રિયા થાય છે ત્યારે દ્રાવણ બને છે. દા.ત., પાણી અને ઈથેનોલના અણુઓ વચ્ચે પ્રબળ આકર્ષક આંતરક્રિયા થવાથી દ્રાવણ બને છે, પરંતુ પાણી અને બેન્ઝિનના અણુઓ વચ્ચે બિલકુલ નહિવત્ આંતરક્રિયા થવાથી દ્રાવણ બનતું નથી (અદ્રાવ્ય રહે છે). આમ, દ્રાવ્ય અને દ્રાવકના અણુઓ વચ્ચે જો નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે લાક્ષણિકતા હોય તો તે દ્રાવણ બનાવે છે :

(i) જો કાર્બનિક અણુમાં –OH સમૂહની સંખ્યા વધુ હોય તો તેવાં સંયોજનો મહદંશે પાણીમાં દ્રાવ્ય થાય છે. જેમ –OH સમૂહની સંખ્યા વધુ તેમ દ્રાવ્યતા વધુ હોય છે. દા.ત., ગ્લિસરોલ, ઈથેનોલ કરતાં પાણીમાં વધુ દ્રાવ્ય છે.

(ii) ધ્રુવીય પદાર્થો મહદંશે ધ્રુવીય દ્રાવકોમાં દ્રાવ્ય હોય છે. દા.ત., પાણીમાં HCl.

(iii) અધ્રુવીય પદાર્થો મહદંશે અધ્રુવીય દ્રાવકોમાં દ્રાવ્ય હોય છે. દા.ત., બેન્ઝિનમાં નેપ્થેલિન.

(iv) મોટા ભાગના આયનીય પદાર્થો પાણીમાં દ્રાવ્ય હોય છે, કારણ કે તેઓ ઘન અવસ્થામાં પણ આયનીય હોય છે. દા.ત., પાણીમાં NaCl

જો દ્રાવણમાં દ્રાવક તરીકે પાણી હોય તો તે દ્રાવણને જલીય દ્રાવણ કહે છે, પરંતુ જો દ્રાવક તરીકે પાણી ન હોય તો તેને બિનજલીય દ્રાવણ કહે છે. બિનજલીય દ્રાવણમાં સામાન્ય રીતે બેન્ઝિન, ઈથર, કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઇડ વગેરે જેવા બિનજલીય દ્રાવક હોય છે.

2.3 સાંદ્રતાના એકમો (Units of Concentration)

જુદાં જુદાં દ્રાવણોમાં દ્રાવ્ય અને દ્રાવકનું જથ્થાત્મક પ્રમાણ જુદું જુદું હોય છે. **એકમ કદના દ્રાવણમાં અથવા એકમ વજનના દ્રાવકમાં ઓગળેલા દ્રાવ્યના જથ્થાને દ્રાવણની સાંદ્રતા કહે છે.** દ્રાવણની સાંદ્રતા દર્શાવવાની વિવિધ રીતો છે. સપ્રમાણતા, ફૉર્માલિટી, મોલારિટી, મોલાલિટી, મોલઅંશ, વજનઅંશ (% W / W) જેવા કેટલાક સાંદ્રતાના એકમોનો અભ્યાસ સિમેસ્ટર Iના એકમ 1.9માં કર્યો છે. બીજા કેટલાક સાંદ્રતાના એકમોનો અભ્યાસ અહીં કરીશું.

(1) ફૉર્માલિટી (Formality) : આયનીય સંયોજનો ઘન અવસ્થામાં પણ અણુ સ્વરૂપે ન હોતા આયનીય સ્વરૂપે હોય છે. તેથી તેના આણ્વિયદળને બદલે સૂત્રદળ લેવાથી સાંદ્રતાને ફૉર્માલિટી તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. સંયોજનના પ્રમાણસૂચક સૂત્રમાં રહેલા પરમાણુઓના પરમાણ્વિયદળના સરવાળાને તેનો સૂત્રદળ કહે છે. દા.ત., ઍલમ સંયોજનો જેવા કે પોટાશ ઍલમનું આણ્વિયસૂત્ર $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ હોવાથી તેના આણ્વિયદળનું મૂલ્ય 948 ગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે પરંતુ ઍલમનું પ્રમાણસૂચક સૂત્ર $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ હોવાથી તેના પ્રમાણસૂચક સૂત્રના દળનું મૂલ્ય 474 ગ્રામ સૂત્રદળ$^{-1}$ છે. સામાન્ય તાપમાને **એક લિટર જલીય દ્રાવણમાં પદાર્થના એક ગ્રામ સૂત્રદળ જેટલું વજન ઓગળતાં બનતા દ્રાવણને એક ફૉર્મલ દ્રાવણ કહે છે. આ રીતે દર્શાવાતી સાંદ્રતાને ફૉર્માલિટી કહે છે. તેને F સંજ્ઞા દ્વારા દર્શાવવામાં આવે છે.**

$$\text{ફૉર્માલિટી (F)} = \frac{1000 \times \text{દ્રાવ્યનું વજન (ગ્રામમાં)}}{\text{દ્રાવ્યનું પ્રમાણસૂચક સૂત્રદળ} \times \text{દ્રાવણનું કદ (મિલિ)}}$$

474 ગ્રામ પોટાશ ઍલમને પાણીમાં ઓગાળી દ્રાવણ એક લિટર બનાવતાં તેની સાંદ્રતા 1F બને છે. સામાન્ય રીતે ફૉર્માલિટી એકમ ફાર્મસી અને તબીબી વિજ્ઞાનક્ષેત્રમાં વધુ પ્રચલિત છે.

દાખલો 1 : 5 લિટર દ્રાવણમાં 948 ગ્રામ પોટાશ ઍલમ દ્રાવ્ય થયેલો હોય, તો દ્રાવણની ફૉર્માલિટી ગણો.

ઉકેલ : પોટાશ ઍલમનું પ્રમાણસૂચક સૂત્રદળ 474 ગ્રામ સૂત્રદળ$^{-1}$ છે.

$$\text{પોટાશ ઍલમની ફૉર્માલિટી (F)} = \frac{1000 \times \text{દ્રાવ્યનું વજન (ગ્રામમાં)}}{\text{દ્રાવ્યનું પ્રમાણસૂચક સૂત્રદળ} \times \text{દ્રાવણનું કદ (મિલિ)}}$$

$$= \frac{1000 \times 948}{474 \times 5000} = 0.4 \text{ F}$$

પોટાશ ઍલમના દ્રાવણની ફૉર્માલિટી 0.4 F થશે.

(2) કદથી ટકાવારી (Volume percentage % V / V) : 100 મિલિ દ્રાવણમાં દ્રાવ્ય થયેલા પદાર્થના કદ(મિલિ)ને કદથી ટકાવારી (% V / V) કહે છે. આ પ્રકારના દ્રાવણને દ્રાવ્યના કદને અનુલક્ષીને પ્રતિશત પ્રમાણ કહે છે. ગાણિતિક રીતે તેને નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$\% \text{ V/V} = \frac{100 \times \text{દ્રાવ્યનું કદ}}{\text{દ્રાવ્યનું કદ} + \text{દ્રાવકનું કદ}} = \frac{100 \times \text{દ્રાવ્યનું કદ (મિલિ)}}{\text{દ્રાવણનું કદ (મિલિ)}}$$

દા.ત., 10 % V / V ઇથેનોલનું પાણીમાં દ્રાવણ એટલે 10 મિલિ ઇથેનોલને પાણીમાં ઓગાળી દ્રાવણનું કદ 100 મિલિ થાય છે. સામાન્ય રીતે **દ્રાવ્ય અને દ્રાવક બંને પ્રવાહી અવસ્થામાં હોય તો તેનાથી બનતા પ્રવાહી દ્રાવણની સાંદ્રતા આ એકમથી દર્શાવાય છે.**

દાખલો 2 : 2 લિટર ઇથેનોલના જલીય દ્રાવણમાં 200 મિલિ ઇથેનોલ દ્રાવ્ય થયેલો હોય તો તેની % V / V ગણો.

ઉકેલ : 2 લિટર ઇથેનોલનું દ્રાવણ એટલે 2000 મિલિ દ્રાવણ કહેવાય.

$$\text{હવે, } \% \text{ V / V} = \frac{100 \times \text{ઇથેનોલનું કદ}}{\text{દ્રાવણનું કદ}} = \frac{100 \times 200}{2000} = 10 \%$$

તેથી, ઇથેનોલના જલીય દ્રાવણની સાંદ્રતા 10 % V / V થશે.

દાખલો 3 : 15 % V / V કેરોસીનનું પેટ્રોલમાં 5 લિટર દ્રાવણ બનાવવા માટે કેટલા મિલિ કેરોસીનની જરૂર પડે ?

ઉકેલ : 5 લિટર દ્રાવણ = 5000 મિલિ દ્રાવણ

$$\text{હવે, } \% \text{ V / V} = \frac{100 \times \text{કેરોસીનનું કદ (મિલિ)}}{\text{દ્રાવણનું કદ (મિલિ)}}$$

$$\therefore 15 = \frac{100 \times \text{કેરોસીનનું કદ}}{5000}$$

$$\therefore \text{કેરોસીનનું કદ} = \frac{15 \times 5000}{100} = 750 \text{ મિલિ}$$

∴ 15 % V / V 5 લિટર દ્રાવણ બનાવવા માટે 750 મિલિ કેરોસીનની જરૂર પડશે.

(3) વજન-કદથી ટકાવારી (% W / V) (Mass by volume percentage) : 100 મિલિ દ્રાવણમાં ઓગાળેલા દ્રાવ્ય પદાર્થના વજન(ગ્રામ)ને વજન-કદથી ટકાવારી (% W / V) કહે છે. આ પ્રકારના દ્રાવણને દ્રાવ્યના વજનને અનુલક્ષી પ્રતિશત પ્રમાણ કહે છે. ગાણિતિક રીતે તેને નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

$$(\% \text{ W / V}) = \frac{100 \times \text{દ્રાવ્યનું વજન (ગ્રામ)}}{\text{દ્રાવણનું કદ (મિલિ)}}$$

દા.ત., 5 % W / V ખાંડનું જલીય દ્રાવણ એટલે 100 મિલિ દ્રાવણમાં 5 ગ્રામ ખાંડ દ્રાવ્ય થયેલી હશે. સામાન્ય રીતે ફાર્મસી અને તબીબીક્ષેત્રે દ્રાવણની સાંદ્રતા દર્શાવવા આ એકમ વપરાય છે.

દાખલો 4 : 5 % W/V ખાંડનું 2 લિટર જલીય દ્રાવણ બનાવવા કેટલા ગ્રામ ખાંડની જરૂર પડશે ?

ઉકેલ : 2 લિટર દ્રાવણ = 2000 મિલિ દ્રાવણ

$$\text{હવે, } \% \ W/V = \frac{100 \times \text{ખાંડનું વજન (ગ્રામ)}}{\text{દ્રાવણનું કદ (મિલિ)}}$$

$$\therefore 5 = \frac{100 \times \text{ખાંડનું વજન}}{2000}$$

$$\text{ખાંડનું વજન} = \frac{5 \times 2000}{100} = 100 \text{ ગ્રામ}$$

∴ 5 % W / V સાંદ્રતા ધરાવતું 2 લિટર દ્રાવણ બનાવવા 100 ગ્રામ ખાંડની જરૂર પડશે.

દાખલો 5 : 5 લિટર દ્રાવણમાં 200 ગ્રામ યૂરિયા દ્રાવ્ય થયેલો હોય તો તેના % W / V ગણો.

ઉકેલ : 5 લિટર દ્રાવણ = 5000 મિલિ દ્રાવણ

$$\text{હવે } \% \ W/V = \frac{100 \times \text{યૂરિયાનું વજન (ગ્રામ)}}{\text{દ્રાવણનું કદ (મિલિ)}} = \frac{100 \times 200}{5000} = 4 \ \%$$

∴ યુરિયાના દ્રાવણની સાંદ્રતા 4 % W / V થશે.

(4) પાર્ટ્સ પર મિલિયન (Parts per million) : કેટલીક વખત દ્રાવણમાં દ્રાવ્યની માત્રા ખૂબ જ અલ્પ પ્રમાણમાં હોય ત્યારે તેની સાંદ્રતા પાર્ટ્સ પર મિલિયન (ppm) વડે દર્શાવાય છે. જેમ કે હવામાં પ્રદૂષકનું પ્રમાણ, દરિયાના પાણીમાં દ્રાવ્ય થયેલા O_2 વાયુનું પ્રમાણ, પાણીમાં પ્રદૂષકનું પ્રમાણ વગેરે આ એકમથી દર્શાવાય છે. પાર્ટ્સ પર મિલિયન એકમ જુદી જુદી ત્રણ રીતે રજૂ કરી શકાય છે. વજનથી પાર્ટ્સ પર મિલિયન, વજન-કદથી પાર્ટ્સ પર મિલિયન અને કદથી પાર્ટ્સ પર મિલિયન.

વજન-કદથી પાર્ટ્સ પર મિલિયન (Parts per million by mass to volume) : એક લિટર દ્રાવણમાં ઓગળેલા દ્રાવ્યના મિલિગ્રામમાં વજનને વજન-કદથી પાર્ટ્સ પર મિલિયન કહે છે.

$$\text{વજન-કદથી પાર્ટ્સ પર મિલિયન} = \frac{\text{દ્રાવ્યનો જથ્થો (મિલિગ્રામ)}}{\text{દ્રાવણનો જથ્થો (લિટર)}} \quad (2.1)$$

તેથી વજન-કદથી પાર્ટ્સ પર મિલિયનનો એકમ મિલિગ્રામ લિટર$^{-1}$ લખી શકાય.

હવે સમીકરણ (2.1)માં દ્રાવ્યનો જથ્થો ગ્રામમાં અને દ્રાવણનું કદ મિલિમાં રજૂ કરતાં

$$\text{વજન-કદથી પાર્ટ્સ પર મિલિયન} = \frac{\text{દ્રાવ્યનો જથ્થો (ગ્રામ)}}{\text{દ્રાવણનું કદ (મિલિ)}} \times 10^6$$

$$= \frac{\text{દ્રાવ્યનો જથ્થો (માઇક્રો ગ્રામ)}}{\text{દ્રાવણનું કદ (મિલિ)}} \quad (2.2)$$

તેથી વજન-કદથી પાર્ટ્સ પર મિલિયનનો એકમ માઇક્રોગ્રામમિલિ$^{-1}$ પણ લખી શકાય.

દાખલો 6 : 2 લિટર દ્રાવણમાં 2×10^{-6} કિગ્રામ સલ્ફર દ્રાવ્ય થયેલો હોય, તો દ્રાવણના વજન-કદથી પાર્ટ્સ પર મિલિયન ગણો.

ઉકેલ : દ્રાવણનું કદ = 2 લિટર = 2×10^3 મિલિ

(દ્રાવ્ય) સલ્ફરનું વજન = 2×10^{-6} કિગ્રામ = 2×10^{-3} ગ્રામ

$\therefore$ પાર્ટ્સ પર મિલિયન વજન-કદથી $= \dfrac{\text{દ્રાવ્યનો જથ્થો (ગ્રામ)}}{\text{દ્રાવણનું કદ (મિલિ)}} \times 10^6$

$$= \frac{2\times10^{-3}}{2\times10^{3}}\times10^{6} = 1$$

$\therefore$ દ્રાવણના વજન-કદથી પાર્ટ્સ પર મિલિયન 1 માઇક્રોગ્રામમિલિ$^{-1}$ હશે.

તાપમાન બદલાતાં મોલાલિટી, મોલઅંશ, વજનથી ટકાવારીનાં મૂલ્યો બદલાતાં નથી, કારણ કે તેમાં કદનો સમાવેશ નથી. કદ તાપમાન ઉપર આધાર રાખે છે જ્યારે મોલારિટી, નૉર્માલિટી, કદથી ટકાવારી, વજન-કદથી ટકાવારી, ફૉર્માલિટી, વજન-કદથી પાર્ટ્સ પર મિલિયનનાં મૂલ્યો તાપમાન બદલાતાં બદલાય છે. કારણ કે તેમાં કદનો સમાવેશ થાય છે, જે તાપમાન પર આધાર રાખે છે.

2.4 વાયુઓની દ્રાવ્યતા (વાયુમય દ્રાવ્યની પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્યતા) (Solubity of Gases (Solubility of Gaseous Solute in Liquid Solvent))

આપેલા તાપમાને અને દબાણે ચોક્કસ જથ્થાના દ્રાવકમાં ઓગળેલા વાયુમય દ્રાવ્યના મહત્તમ જથ્થાને તે વાયુની દ્રાવ્યતા કહે છે. વાયુમય દ્રાવ્ય અને પ્રવાહી દ્રાવકના સમાંગ મિશ્રણથી બનતા પ્રવાહી દ્રાવણમાં વાયુ દ્રાવ્યતા પર અસર કરતાં પરિબળો નીચે મુજબ છે :

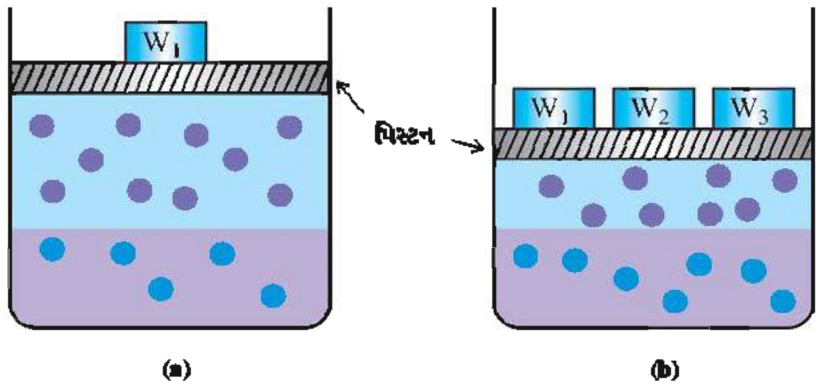
(1) વાયુમય દ્રાવ્ય અને દ્રાવકનો સ્વભાવ : H_2, O_2 અને N_2 જેવા વાયુમય દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતા પાણીમાં ઓછી છે પરંતુ તેની દ્રાવ્યતા ઇથાઇલ આલ્કોહૉલમાં વધારે છે. વળી H_2S અને NH_3 જેવા વાયુમય દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતા પાણીમાં વધારે છે, જ્યારે ઇથાઇલ આલ્કોહૉલમાં દ્રાવ્યતા ઓછી છે. તેથી દ્રાવ્યતાનો આધાર વાયુમય દ્રાવ્ય અને દ્રાવકના સ્વભાવ પર રહે છે.

(2) તાપમાનની અસર : વાયુમય દ્રાવ્યની પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્યતા તાપમાન વધતા ઘટે છે. તાપમાન વધારતા દ્રાવણમાં ઓગળેલો વાયુમય દ્રાવ્ય સામાન્ય રીતે દ્રાવણમાંથી ઊડી જાય છે અને તેથી તાપમાન વધતા વાયુમય દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતા ઘટે છે. આ અસરને લ-શટેલિયરના સિદ્ધાંત દ્વારા પણ સમજાવી શકાય.

વાયુમય દ્રાવ્ય + પ્રવાહી દ્રાવક $\rightleftharpoons$ દ્રાવણ + ઊર્જા

વાયુમય દ્રાવ્યની પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થવાની પ્રક્રિયા ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા છે. હવે સંતુલનમાં રહેલી આ પ્રક્રિયા માટે તાપમાન વધારતાં, લ-શટેલિયરના સિદ્ધાંત પ્રમાણે સંતુલન પ્રતિમાર્ગી દિશામાં ખસે છે. તેથી વાયુમય દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતામાં ઘટાડો થાય છે.

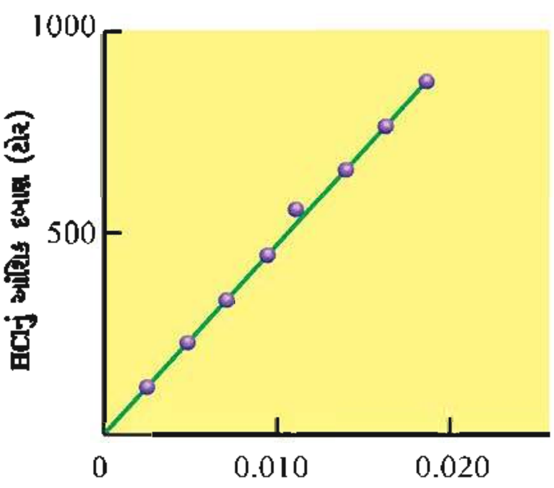
(3) દબાણની અસર : દબાણ વધારવાથી વાયુમય દ્રાવ્યની પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્યતા વધે છે. દ્રાવણની સપાટી ઉપર રહેલા વાયુમય દ્રાવ્યનું દબાણ વધારતા દ્રાવણમાં ઓગળતા વાયુની સાંદ્રતા વધે છે. આમ, વાયુમય દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતામાં વધારો થાય છે. આકૃતિ 2.1(a)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે પ્રણાલીમાં ઉપરના ભાગે વાયુમય દ્રાવ્ય છે જ્યારે નીચેનો ભાગ પ્રવાહી દ્રાવકમાં વાયુમય દ્રાવ્ય ઓગળવાથી બનેલું દ્રાવણ છે. T_1 તાપમાને અને P_1 દબાણે વાયુમય દ્રાવ્ય અને દ્રાવણ વચ્ચે સંતુલન સ્થપાયેલું હોવાથી વાયુના અણુઓનું પ્રવાહી દ્રાવણમાં દાખલ થવાની અને દ્રાવણમાંથી વાયુમય દ્રાવ્યના અણુઓની બહાર



આકૃતિ 2.1 વાયુની દ્રાવ્યતા ઉપર દબાણની અસર દ્રાવ્ય થયેલા વાયુની સાંદ્રતા તે દ્રાવણ ઉપરના વાયુના દબાણને સમપ્રમાણમાં હોય છે

આવવાની ક્રિયાનો વેગ સરખો છે. હવે આકૃતિ 2.1(b)માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે પ્રણાલી પર T_1 તાપમાને તેનું દબાણ P_1થી વધારીને P_2 કરતાં વાયુમય દ્રાવ્યે દ્રાવણની સપાટી ઉપર રોકેલા કદમાં ઘટાડો થાય છે અને એકમ કદમાં રહેલા વાયુમય દ્રાવ્યના અણુઓની સંખ્યા વધે છે. તેથી પ્રવાહી દ્રાવણની સપાટી સાથે અથડાતાં વાયુમય અણુઓની સંખ્યા વધતા દ્રાવણમાં દાખલ થતા અણુઓની સંખ્યા વધે છે. આમ, વાયુમય દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતામાં વધારો થાય છે અને છેવટે સંતુલન સ્થપાય છે. તેથી દ્રાવણ ઉપર રહેલા વાયુમય દ્રાવ્યનું દબાણ વધતાં વાયુમય દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતામાં વધારો થાય છે.

હેન્રીનો નિયમ (Henry's Law) : વાયુમય દ્રાવ્યની પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્યતા અને દબાણ વચ્ચેનો જથ્થાત્મક સંબંધ સૌપ્રથમ હેન્રીએ રજૂ કર્યો. 1803માં હેન્રીએ સ્પષ્ટ કર્યું કે નિયત તાપમાને, વાયુમય દ્રાવ્યની પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્યતાનો આધાર વાયુમય દ્રાવ્યના દબાણ પર રહેલો છે. જેના આધારે હેન્રીનો નિયમ દર્શાવે છે કે, **'અચળ તાપમાને વાયુમય દ્રાવ્યની પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્યતા તે વાયુમય દ્રાવ્યના દબાણના સમપ્રમાણમાં હોય છે.'**



આકૃતિ 2.2 સાઈક્લો હેક્ઝેનના દ્રાવણમાં HClની દ્રાવ્યતા (મોલઅંશમાં)

સમકાલીન ડાલ્ટને પણ સ્વતંત્ર રીતે તારણ કાઢ્યું કે, પ્રવાહી દ્રાવણમાં વાયુમય દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતા, વાયુના આંશિક દબાણનું પરિબળ છે. જો દ્રાવ્યતા માટે દ્રાવણમાંના વાયુમય દ્રાવ્યના મોલઅંશ ગણીએ તો 'દ્રાવણ ઉપર રહેલા વાયુમય દ્રાવ્યનું વિભાગીય દબાણ, દ્રાવણમાં રહેલા તે વાયુમય દ્રાવ્યના મોલઅંશને સપ્રમાણમાં હોય છે.' જો એકમ કદના દ્રાવકમાં X મોલઅંશ વાયુમય દ્રાવ્ય ઓગાળેલો હોય અને તેનું આંશિક દબાણ p હોય, તો હેન્રીના નિયમ મુજબ તેને ગાણિતિક રીતે લખતાં $p \propto X$.

$\therefore$ $p = K_H X$ જ્યાં, K_H હેન્રી અચળાંક છે.

હવે જો દ્રાવણમાં વાયુમય દ્રાવ્યના મોલઅંશ (X) અને તેના આંશિક દબાણ (p) વચ્ચેનો આલેખ દોરવામાં આવે, તો આલેખ આકૃતિ 2.2માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે સીધી રેખામાં પ્રાપ્ત થાય છે અને તેના ઢાળનું મૂલ્ય K_Hના મૂલ્ય જેટલું હોય છે. K_Hનો એકમ બાર છે. જુદા જુદા વાયુમય દ્રાવ્ય માટે અચળ તાપમાને હેન્રી અચળાંક K_Hનાં મૂલ્યો જુદા જુદા હોય છે, જે K_H વાયુના સ્વભાવનું પરિબળ દર્શાવે છે. તેવી જ રીતે દરેક વાયુમય દ્રાવ્ય માટે તાપમાન બદલાતાં K_Hનાં મૂલ્યોમાં ફેરફાર થાય છે જે કોષ્ટક 2.2માં દર્શાવેલ છે.

કોષ્ટક 2.2 કેટલાક વાયુઓ પાણીમાં દ્રાવ્ય થતાં તેના હેન્રીના નિયમના અચળાંકનાં મૂલ્યો

વાયુ	તાપમાન (K)	K_H (kbar)	વાયુ	તાપમાન (K)	K_H (kbar)
He	293	144.97	આર્ગોન	298	40.3
H_2	293	69.16	CO_2	298	1.67
N_2	293	76.48	ફોર્માલ્ડીહાઇડ	298	1.83×10^{-5}
N_2	303	88.4	મિથેન	298	0.413
O_2	293	34.86	વિનાઇલ ક્લોરાઇડ	298	0.611
O_2	303	46.82			

કોષ્ટક 2.2માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે K_Hનાં મૂલ્યો પરથી નીચે દર્શાવેલા પરિણામ તારવી શકાય :

(1) જેમ K_Hનું મૂલ્ય વધારે તેમ વાયુમય દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતા ઘટે છે.

(2) તાપમાન વધતાં K_H નું મૂલ્ય વધે છે એટલે કે વાયુમય દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતા ઘટે છે.

હેન્રીના નિયમની મર્યાદા :

(1) ઊંચા તાપમાને અને નીચા દબાણે જે વાયુઓની વર્તણૂક આદર્શ હોય તેવાં વાયુમય દ્રાવ્યોને આ નિયમ લાગુ પાડી શકાય છે.

(2) જ્યારે દ્રાવ્ય દ્રાવકમાં દ્રવિત થાય છે ત્યારે તેનું સુયોજન કે વિયોજન ન થતું હોય તેવાં દ્રાવ્યને આ નિયમ લાગુ પાડી શકાય છે.

(3) જ્યારે વાયુમય દ્રાવ્ય પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થાય ત્યારે તે દ્રાવક સાથે પ્રક્રિયા કરી સંયોજન બનાવતો ન હોય તેવા વાયુમય દ્રાવ્ય માટે આ નિયમ લાગુ પાડી શકાય છે.

હેન્રીના નિયમની ઉપયોગિતાઓ : હેન્રીના નિયમનો ઉપયોગ ઔદ્યોગિક ક્ષેત્રે અને કેટલીક જૈવ-રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ સમજવા માટે થાય છે.

(1) ઠંડાં પીણાં, સોડાવૉટર, બીયર, શેમ્પેઇન વગેરેમાં CO_2 વાયુની દ્રાવ્યતા વધારવા માટે વાયુને ઊંચા દબાણે બૉટલમાં ભરીને બંધ કરવામાં આવે છે.

(2) ફેફસાંમાં દાખલ થતા ઑક્સિજન વાયુનું આંશિક દબાણ વધુ હોવાથી તે હિમોગ્લોબિન સાથે પ્રક્રિયા કરી ઑક્સિહિમોગ્લોબિન બનાવે છે. પેશીઓમાં ઑક્સિજન વાયુનું આંશિક દબાણ ઓછું હોવાથી, અહીં ઑક્સિહિમોગ્લોબિન પોતાનામાંથી ઑક્સિજન વાયુ મુક્ત કરે છે, જે કોષના કાર્યમાં ઉપયોગી બને છે.

(3) મરજીવા દરિયામાં ડૂબકી મારતી વખતે ઊંચા દબાણે ભરેલા 2 % O_2 અને 98 % He વાયુના મિશ્રણના સિલિન્ડરનો ઉપયોગ કરે છે. હાલમાં 11.7 % He, 56.2 % N_2 અને 32.1 % O_2 વાયુનું મિશ્રણ ધરાવતા સિલિન્ડરનો ઉપયોગ પણ થાય છે.

દાખલો 7 : 298 K તાપમાને CO_2 વાયુનું આંશિક દબાણ 2×10^{-8} બાર હોય, તો તેની પાણીમાં દ્રાવ્યતા મોલઅંશમાં ગણો. CO_2 વાયુ માટે K_Hનું મૂલ્ય 6.02×10^{-4} બાર છે.

ઉકેલ : હેન્રીના નિયમ મુજબ, $p_{CO_2} = K_H \cdot X_{CO_2}$

$$X_{CO_2} = \frac{p_{CO_2}}{K_H} = \frac{2 \times 10^{-8} \text{ બાર}}{6.02 \times 10^{-4} \text{ બાર}}$$

$$= 3.322 \times 10^{-5}$$

$\therefore$ CO_2 વાયુની પાણીમાં દ્રાવ્યતા 3.322×10^{-5} મોલઅંશ હશે.

દાખલો 8 : 273 K તાપમાને He વાયુના સંતૃપ્ત દ્રાવણમાં તેના મોલઅંશ 2.4×10^{-3} હોય, તો દ્રાવણ પર He વાયુનું આંશિક દબાણ ગણો. હેન્રી અચળાંકનું મૂલ્ય 6.71×10^{-6} બાર છે.

ઉકેલ : હેન્રીના નિયમ મુજબ, $p_{He} = K_H \cdot X_{He}$

$$= 6.71 \times 10^{-6} \times 2.4 \times 10^{-3}$$

$$= 1.61 \times 10^{-8} \text{ બાર}$$

∴ દ્રાવણ પર He વાયુનું આંશિક દબાણ 1.61×10^{-8} બાર હશે.

દાખલો 9 : 298 K તાપમાને CO_2 વાયુ પાણીમાંથી પસાર કરતાં 900 મિલિ પાણીમાં કેટલા મિલિ મોલ CO_2 વાયુ દ્રાવ્ય થશે ? K_Hનું મૂલ્ય 6.02×10^{-4} બાર અને CO_2 વાયુનું આંશિક દબાણ 2×10^{-8} બાર છે.

ઉકેલ : CO_2 વાયુના મોલઅંશ $= \dfrac{p_{CO_2}}{K_H} = \dfrac{2 \times 10^{-8}}{6.02 \times 10^{-4}}$

$$= 3.322 \times 10^{-5}$$

હવે, પાણીની ઘનતા 1 ગ્રામ મિલિ$^{-1}$ હોવાથી 900 મિલિ પાણીનું વજન 900 ગ્રામ લઈ શકાય.

∴ H_2Oના મોલ $= \dfrac{w}{M} = \dfrac{900}{18} = 50$ મોલ

ધારો કે CO_2ના મોલ n હોય, તો કુલ મોલ $= (n + 50) \cong 50$ લઈ શકાય.

CO_2ના મોલઅંશ $= \dfrac{CO_2\text{ના મોલ}}{\text{કુલ મોલ}}$

$$3.322 \times 10^{-5} = \frac{n}{50}$$

∴ $n = 3.322 \times 10^{-5} \times 50$

$= 1.661 \times 10^{-3}$ મોલ

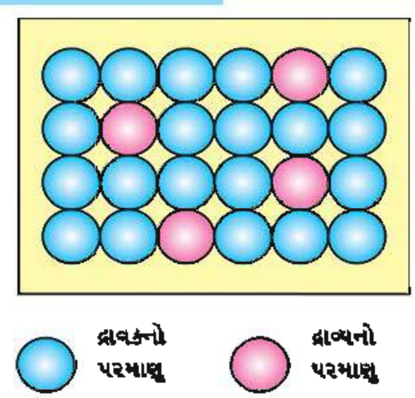
$= 1.661 \times 10^{-3} \times 10^{+3}$ મિલિમોલ

$= 1.661$ મિલિ મોલ

∴ 900 મિલિ પાણીમાં 1.661 મિલિ મોલ CO_2 વાયુ દ્રાવ્ય થશે.

2.5 ઘન દ્રાવ્યની ઘન દ્રાવકમાં દ્રાવ્યતા (Solubity of Solid Solute in Solid Solvent)

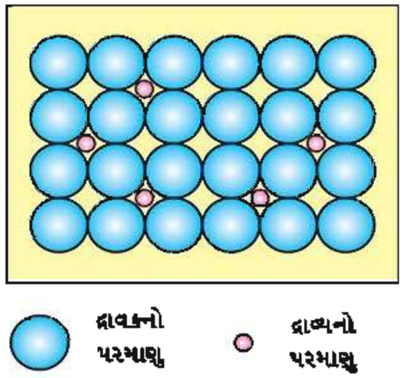
ઘન દ્રાવ્ય જ્યારે ઘન દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થઈને ઘન દ્રાવણ બનાવે છે ત્યારે અણુઓની ગોઠવણી આવાં દ્રાવણોમાં બે રીતે થાય છે : (1) વિસ્થાપિત ઘન દ્રાવણ (2) આંતરાલીય ઘન દ્રાવણ.



આકૃતિ 2.3

(1) વિસ્થાપિત ઘન દ્રાવણ : આકૃતિ 2.3માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે જ્યારે ઘન દ્રાવ્ય અને ઘન દ્રાવકના પરમાણુઓના કદ લગભગ સમાન હોય ત્યારે દ્રાવકના પરમાણુઓની ગોઠવણીમાં, દ્રાવ્યના પરમાણુઓ આવે તથા પરમાણુઓનું ગોઠવણીમાં વિસ્થાપન થાય છે અને દ્રાવ્યના પરમાણુઓ તેમાં ગોઠવાતાં ઘન દ્રાવણ તૈયાર થાય છે. આ પ્રકારના દ્રાવણને વિસ્થાપિત ઘન દ્રાવણ કહે છે. દા.ત., પિત્તળ, બ્રોન્ઝ, સ્ટીલ, મોનલમેટલ વગેરે.

(2) આંતરાલીય ઘન દ્રાવણ : આકૃતિ 2.4માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે જ્યારે ઘન દ્રાવ્ય અને ઘન દ્રાવકના પરમાણુઓના કદમાં મોટો તફાવત હોય ત્યારે અહીં મોટા પરમાણુઓની ગોઠવણીમાં ઉદ્ભવતાં આંતરાલીય છિદ્રમાં નાના પરમાણુઓની ગોઠવણી થાય છે. આ પ્રકારના દ્રાવણને આંતરાલીય ઘન દ્રાવણ કહે છે. દા.ત., ટંગસ્ટન કાર્બાઇડ (WC).



આકૃતિ 2.4

ઘન દ્રાવ્યની પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્યતા : અચળ તાપમાને અને દબાણે આપેલા પ્રવાહી દ્રાવકમાં ઘન દ્રાવ્યનો મહત્તમ જથ્થો ઓગળેલો હોય ત્યારે દ્રાવ્યની તે સાંદ્રતાને તેની દ્રાવ્યતા કહે છે. હવે આ પરિસ્થિતિએ દ્રાવણમાં વધુ દ્રાવ્ય પદાર્થ ઓગાળી શકાશે નહિ. આ દ્રાવણને તે પરિસ્થિતિએ સંતૃપ્ત દ્રાવણ કહે છે. સંતૃપ્ત દ્રાવણમાં ઓગળ્યા વિનાનો ઘન દ્રાવ્ય અને દ્રાવણ વચ્ચે સંતુલન સ્થપાયેલું હોય છે.

ઘન દ્રાવ્ય + પ્રવાહી દ્રાવક $\rightleftharpoons$ પ્રવાહી દ્રાવણ

દરેક ઘન પદાર્થ બધા જ પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થાય તે જરૂરી નથી. દા.ત., મીઠું કે સુરોખાર જેવા આયનીય ઘન દ્રાવ્ય પાણી જેવા ધ્રુવીય દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થાય છે. પરંતુ તે બેન્ઝિન કે કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઇડ જેવા અધ્રુવીય પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થતા નથી. કારણ કે સામાન્ય રીતે આયનીય ઘન દ્રાવ્ય ધ્રુવીય પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થાય છે, તેવી જ રીતે નૅપ્થેલિન જેવા સહસંયોજક ઘન દ્રાવ્ય જે અધ્રુવીય દ્રાવ્ય છે તે અધ્રુવીય પ્રવાહી દ્રાવક બેન્ઝિનમાં દ્રાવ્ય થાય છે, પણ પાણી જેવા ધ્રુવીય પ્રવાહી દ્રાવકમાં અદ્રાવ્ય રહે છે. કારણ કે સામાન્ય રીતે અધ્રુવીય ઘન દ્રાવ્ય, અધ્રુવીય પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થાય છે અને ધ્રુવીય પ્રવાહી દ્રાવકમાં અદ્રાવ્ય રહે છે.

આમ, દ્રાવ્યતાનો આધાર દ્રાવ્ય અને દ્રાવકના સ્વભાવ પર રહેલો છે. આ ઉપરાંત દ્રાવ્યતાનો આધાર બીજાં બે અગત્યનાં પરિબળો – તાપમાન અને દબાણ પર પણ રહેલો છે.

તાપમાનની અસર : જ્યારે ઘન દ્રાવ્ય પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થઈને દ્રાવણ બનાવે છે ત્યારે તેમાં નીચે મુજબ સંતુલન સ્થપાય છે :

દ્રાવ્ય (ઘન) + દ્રાવક (પ્રવાહી) $\rightleftharpoons$ દ્રાવણ (પ્રવાહી)

જો આ સંતુલનમાં રહેલી પ્રક્રિયા ઉષ્માશોષક હોય તો લ-શટેલિયરના સિદ્ધાંત પ્રમાણે તાપમાન વધતાં પ્રક્રિયા પુરોમાર્ગી થશે અને તેથી દ્રાવ્યતા વધે છે તથા જો આ સંતુલનમાં રહેલી પ્રક્રિયા ઉષ્માક્ષેપક હોય, તો તાપમાન વધતાં લ-શટેલિયરના સિદ્ધાંત પ્રમાણે પ્રક્રિયા પ્રતિમાર્ગી થશે અને તેથી દ્રાવ્યતા ઘટે છે.

દબાણની અસર : ઘન દ્રાવ્ય પદાર્થ પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થઈ પ્રવાહી દ્રાવણ બનાવે છે, ત્યારે અહીંયાં પ્રક્રિયા સાથે સંકળાયેલા પદાર્થો ઘન કે પ્રવાહી અવસ્થામાં હોવાથી તે અસંકોચનનો ગુણધર્મ ધરાવે છે. તેથી તેના પર દબાણની અસર ખૂબ ઓછી અથવા નહિવત્ છે.

2.6 દ્રાવણ સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો (Solution Colligative Properties)

જ્યારે શુદ્ધ દ્રાવકમાં પદાર્થ ઓગળીને કે મિશ્ર થઈને દ્રાવણ બનાવે છે ત્યારે દ્રાવકના કેટલાક ગુણધર્મોમાં ફેરફાર થાય છે. જેમ કે શુદ્ધ દ્રાવક કરતાં તેમાંથી બનતા દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ ઓછું થાય છે (ઘટે છે), જ્યારે ઉત્કલનબિંદુ વધે છે અને ઠારબિંદુ ઘટે છે. અભિસરણદબાણમાં પણ ફેરફાર થાય છે. આ ગુણધર્મોમાં થતાં ફેરફારનો આધાર દ્રાવ્યના સંખ્યાકણની સાંદ્રતા પર છે, પરંતુ તેના સ્વભાવ પર નથી. તેથી આ ગુણધર્મોને દ્રાવણ સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો કહે છે. દા.ત., 1 m સાંદ્રતા ધરાવતા ગ્લુકોઝ સાથે, NaCl અને $BaCl_2$ના જલીય દ્રાવણ લઈ સંખ્યાત્મક ગુણધર્મોનો અભ્યાસ કરતાં, માલૂમ પડ્યું કે દરેક દ્રાવણની મોલલ સાંદ્રતા સમાન છે, પરંતુ તેમાં ઓગળેલા દ્રાવ્યના સંખ્યાકણો સમાન નથી. ગ્લુકોઝના દ્રાવણમાં દ્રાવ્યના સંખ્યાકણો 1 m, NaClના દ્રાવણમાં સંખ્યાકણો 2 m અને $BaCl_2$ના દ્રાવણમાં સંખ્યાકણો 3 m હોવાથી તેમના સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો અનુક્રમે 1 : 2 : 3ના પ્રમાણમાં હોય છે. આમ, આ દ્રાવણ સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો દ્રાવણની સાંદ્રતા પર નહિ પરંતુ દ્રાવણમાં હાજર દ્રાવ્યના સંખ્યાકણોની સાંદ્રતા પર આધાર રાખે છે.

2.7 દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ (Vapour Pressure of Solution)

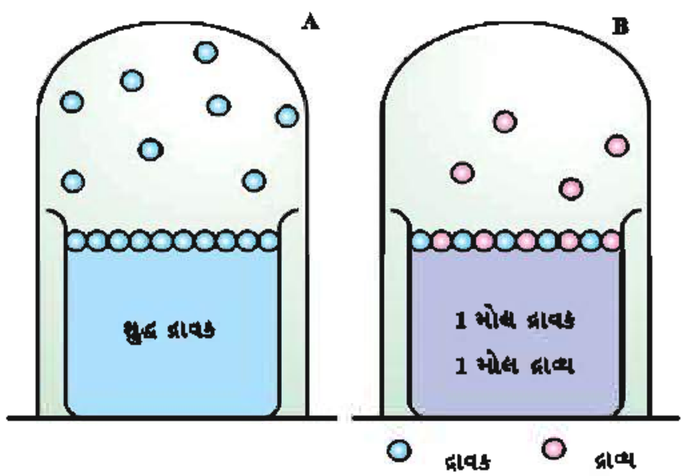
વાયુમય દ્રાવ્ય, પ્રવાહી દ્રાવકમાં ઓગળીને દ્રાવણ બનાવે છે. તેનો અભ્યાસ કર્યા પછી હવે ઘન દ્રાવ્ય અને પ્રવાહી દ્રાવક તેમજ પ્રવાહી દ્રાવ્ય અને પ્રવાહી દ્રાવક વડે બનતા પ્રવાહી દ્રાવણ જે દ્વિઅંગી દ્રાવણ છે, તેના બાષ્પદબાણનો અભ્યાસ કરીશું. ઘન દ્રાવ્યનું બાષ્પદબાણ નોંધપાત્ર હોતું નથી પરંતુ પ્રવાહી દ્રાવ્ય અને પ્રવાહી દ્રાવણને બાષ્પદબાણ હોય છે. ચોક્કસ તાપમાને પ્રવાહી દ્રાવક / દ્રાવણમાં પ્રવાહીમાંથી બાષ્પ અને બાષ્પમાંથી પ્રવાહી ક્રિયાનો વેગ સમાન બનતાં સંતુલન સ્થપાય છે અને તેથી ચોક્કસ તાપમાને દ્રાવણની સપાટી ઉપર લાગતું બાષ્પનું દબાણ અચળ બને છે, જેને દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ કહે છે. બાષ્પદબાણ પર અસર કરતાં પરિબળો નીચે મુજબ છે :

(1) પ્રવાહીનો સ્વભાવ : પ્રવાહીના અણુઓ વચ્ચે જેમ આંતરિય આકર્ષણબળ ઓછું તેમ બાષ્પદબાણ વધુ હોય છે. કારણ કે નિર્બળ આકર્ષણને કારણે પ્રવાહીના અણુઓ વધુ ને વધુ બાષ્પ અવસ્થામાં ફેરવાય છે તેથી બાષ્પદબાણ વધે છે.

(2) તાપમાન : જેમ પ્રવાહીનું તાપમાન વધુ તેમ બાષ્પદબાણ વધુ હોય છે. કારણ કે તાપમાન વધવાથી અણુઓની ગતિજ ઊર્જા વધવાથી પ્રવાહીના વધુ ને વધુ અણુઓ તેની સપાટી છોડી બાષ્પ અવસ્થા પ્રાપ્ત કરે છે. તેથી બાષ્પદબાણ વધે છે.

2.8 રાઉલ્ટનો નિયમ (અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય માટે) (Raoult's Law (For Non-volatile Solute))

ઘન દ્રાવ્ય જ્યારે પ્રવાહી દ્રાવકમાં ઓગળે છે અને પ્રવાહી દ્રાવણ બને છે તેના બાષ્પદબાણનો અભ્યાસ નીચેના સાદા પ્રયોગ દ્વારા સમજી શકાય છે. આકૃતિ 2.5માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે બે સમાન પાત્ર A અને Bમાં અનુક્રમે શુદ્ધ દ્રાવક અને તેમાં અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ઉમેરી બનાવેલ દ્રાવણ લો. શરૂઆતમાં બંને પાત્રમાં લીધેલા પ્રવાહી (દ્રાવક અને દ્રાવણ)ની સપાટી સમાન રાખો. થોડા સમય પછી અવલોકન કરતાં, દ્રાવકની સપાટી, દ્રાવણની સપાટી કરતાં ઓછી થયેલી માલૂમ પડે છે. કારણ કે પાત્ર Aમાં શુદ્ધ દ્રાવકની સપાટી પર બધા જ દ્રાવકના અણુઓ હોવાથી તે વધુ પ્રમાણમાં બાષ્પમાં ફેરવાય છે. જ્યારે પાત્ર Bમાં દ્રાવણની સપાટી પર દ્રાવ્ય અને દ્રાવક એમ બંનેના અણુઓ આવેલા છે, તેથી પાત્ર Bમાં દ્રાવકના અણુ દ્વારા રોકેલી સપાટીનો અંશ ઘટે છે. પરિણામે સપાટી છોડી જતા બાષ્પના અણુઓની સંખ્યા ઘટે છે અને તેથી પાત્ર Bમાં બાષ્પદબાણ ઘટે છે.



(a) શુદ્ધ દ્રાવકનું બાષ્પદબાણમાં (b) દ્રાવણનું બાષ્પદબાણમાં

આકૃતિ 2.5

આમ, શુદ્ધ દ્રાવકમાંથી બનતા દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ હંમેશાં શુદ્ધ દ્રાવક કરતાં ઓછું હોય છે. દ્રાવણના બાષ્પદબાણમાં થતા ઘટાડાનો અભ્યાસ 1887માં રાઉલ્ટે રજૂ કર્યો, જેને રાઉલ્ટનો નિયમ કહે છે. રાઉલ્ટના નિયમ મુજબ 'જો બાષ્પશીલ દ્રાવકમાં અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય પદાર્થ ઓગાળીને મંદ અને આદર્શ દ્રાવણ બનાવવામાં આવે તો બનતા દ્રાવણના બાષ્પદબાણમાં થતો સાપેક્ષ ઘટાડો તેમાં ઓગળેલા દ્રાવ્યના મોલઅંશ જેટલો હોય છે.'

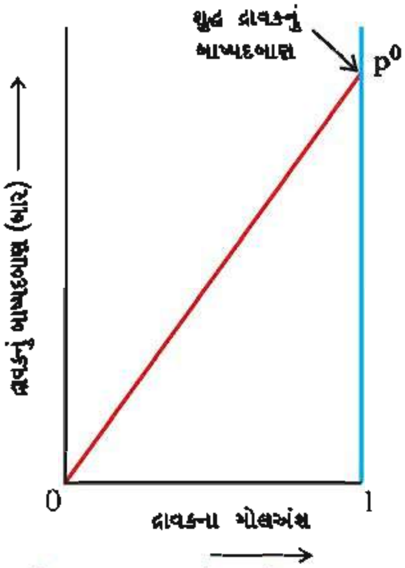
રાઉલ્ટના નિયમની સાબિતી (Proof of Raoult's Law) : દ્વિઅંગી દ્રાવણ માટે રાઉલ્ટના નિયમને સામાન્ય સ્વરૂપે રજૂ કરતાં 'કોઈ પણ દ્રાવણ માટે તેના પ્રત્યેક બાષ્પશીલ ઘટકનું દ્રાવણમાં આંશિક બાષ્પદબાણ, તે ઘટકના મોલઅંશને સમપ્રમાણમાં ચલે છે.' હવે દ્વિઅંગી દ્રાવણ કે જેમાં અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ઓગળેલો છે, તેથી આવા દ્રાવણમાં બાષ્પદબાણ ફક્ત દ્રાવકનું જ હશે. જો દ્રાવણમાં દ્રાવકના બાષ્પદબાણને p_1 અને તેના મોલઅંશને X_1 વડે દર્શાવતાં, રાઉલ્ટના નિયમને ગાણિતિક રીતે લખતાં,

$$p_1 \propto X_1$$

$$p_1 = X_1 \cdot p_1^0 \qquad (2.3)$$

(જ્યાં, p_1^0 ચલનનો અચળાંક છે, જેનું મૂલ્ય શુદ્ધ દ્રાવકના બાષ્પદબાણ જેટલું છે.)

આકૃતિ 2.6માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે બાષ્પદબાણ અને દ્રાવકના મોલઅંશ વચ્ચેનો આલેખ સીધી રેખા છે, જે રાઉલ્ટના નિયમને રજૂ કરે છે. જ્યારે મોલઅંશ X_1નું મૂલ્ય 1 થાય છે ત્યારે $p_1 = p_1^0$ થાય છે, જે આલેખ દ્વારા સ્પષ્ટ થાય છે. હવે સમીકરણ (2.3) પરથી,



આકૃતિ 2.6 રાઉલ્ટના નિયમનો બાષ્પદબાણ અને દ્રાવકના મોલઅંશ વચ્ચેનો સંબંધ

$$\frac{p_1}{p_1^0} = X_1 \qquad (2.4)$$

પરંતુ $X_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$ જ્યાં, n_1 અને n_2 અનુક્રમે દ્રાવક અને દ્રાવ્યના મોલ છે. X_1ની કિંમત સમીકરણ (2.4)માં મૂકતાં,

$\frac{p_1}{p_1^0} = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$ બંને બાજુને 1માંથી બાદ કરતાં

$$1 - \frac{p_1}{p_1^0} = 1 - \frac{n_1}{n_1 + n_2}$$

$$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \qquad (2.5)$$

પરંતુ $\frac{n_2}{n_1 + n_2}$ = દ્રાવ્યના મોલઅંશ = X_2 કિંમત સમીકરણ (2.5)માં મૂકતાં,

$$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = X_2 \qquad (2.6)$$

આમ, શુદ્ધ બાષ્પશીલ દ્રાવકમાં અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ઓગળવાથી બનતા દ્રાવણના બાષ્પદબાણમાં થતો સાપેક્ષ ઘટાડો $\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0}$ તેમાં ઓગળેલા દ્રાવ્યના મોલઅંશ X_2 જેટલો થાય છે.

અતિમંદ દ્રાવણ માટે $n_2 << n_1$ હોવાથી સમીકરણ (2.5)માં $n_1 + n_2 \approx n_1$ મૂકતાં,

$$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = \frac{n_2}{n_1} \qquad (2.7)$$

પરંતુ $n_2 = \frac{w_2}{M_2}$ અને $n_1 = \frac{w_1}{M_1}$ કિંમત સમીકરણ (2.7)માં મૂકતાં,

$$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = \frac{w_2 \times M_1}{M_2 \times w_1} \qquad (2.8)$$

જ્યાં, w_1 = દ્રાવકનું વજન(દળ) M_1 = દ્રાવકનું આણ્વિયદળ

w_2 = દ્રાવ્યનું વજન M_2 = દ્રાવ્યનું આણ્વિયદળ

અતિમંદ દ્રાવણ માટે સમીકરણ (2.8) વડે દ્રાવ્યના આણ્વિયદળની ગણતરી કરી શકાય છે.

રાઉલ્ટના નિયમની મર્યાદાઓ (Limitations of Raoult's Law) :

(1) આ નિયમ અતિમંદ દ્રાવણોને જ લાગુ પાડી શકાય છે.

(2) આ નિયમ આદર્શ દ્રાવણોને જ લાગુ પાડી શકાય છે.

(3) જો દ્રાવણને મંદ કરતાં, તેની ઉષ્માના મૂલ્યમાં ફેરફાર થતો ના હોય, તેવાં દ્રાવણોને લાગુ પાડી શકાય છે.

(4) દ્રાવ્ય અને દ્રાવક બંને પ્રવાહી હોય તો બંનેને મિશ્ર કરતાં દ્રાવણનું કુલ કદ, પ્રવાહી દ્રાવ્ય અને દ્રાવકના કદના સરવાળા જેટલું થાય તેવાં દ્રાવણોને જ લાગુ પાડી શકાય છે.

(5) આ નિયમ વિદ્યુત અવિભાજ્ય જલીય દ્રાવણને તેમજ દ્રાવ્ય જ્યારે દ્રાવકમાં ઓગળે ત્યારે દ્રાવ્યનું સુયોજન કે વિયોજન થતું ન હોય તેવા દ્રાવણને લાગુ પાડી શકાય છે.

2.9 રાઉલ્ટનો નિયમ (બાષ્પશીલ દ્રાવ્ય અને બાષ્પશીલ દ્રાવક માટે) (Raoult's Law for Volatile Solute and Volatile Solvent)

જ્યારે દ્રાવ્ય અને દ્રાવક બંને બાષ્પશીલ પ્રવાહી મિશ્ર થઈને દ્રાવણ બનાવે, ત્યારે બંધપાત્રમાં લીધેલા આ દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ, પ્રવાહી દ્રાવ્ય અને દ્રાવક બંનેના કારણે થતું હોય છે. આ પ્રકારનાં દ્રાવણો માટે રાઉલ્ટના નિયમ મુજબ બંનેના બાષ્પદબાણ, દ્રાવણમાં રહેલા તેના મોલઅંશને સમપ્રમાણમાં ચલે છે.

ધારો કે દ્વિઅંગી દ્રાવણમાં દ્રાવ્ય Aના મોલઅંશ X_A અને તેનું આંશિક બાષ્પદબાણ p_A તથા દ્રાવક Bના મોલઅંશ X_B અને તેનું આંશિક બાષ્પદબાણ p_B હોય, તો રાઉલ્ટના નિયમ મુજબ $p_A \propto X_A$ અને $p_B \propto X_B$ થશે.

પ્રાયોગિક અવલોકનના આધારે રાઉલ્ટે પુરવાર કર્યું કે જો શુદ્ધ દ્રાવ્યનું બાષ્પદબાણ p_A^0 અને શુદ્ધ દ્રાવકનું બાષ્પદબાણ p_B^0 હોય તો,

$p_A = p_A^0 X_A$ (2.9) અને $p_B = p_B^0 X_B$ (2.10) થશે.

હવે બંધપાત્રમાં કુલ આંશિક બાષ્પદબાણ, ડાલ્ટનના આંશિક દબાણના નિયમ પ્રમાણે મૂકીએ તો,

કુલ દબાણ $p = p_A + p_B$

હવે, p_A અને p_Bની કિંમત સમીકરણ (2.9) અને (2.10) માંથી મૂકીએ તો,

કુલ દબાણ $p = p_A^0 X_A + p_B^0 X_B$

$$= p_A^0 (1 - X_B) + p_B^0 X_B \qquad (\because X_A = 1 - X_B)$$

$$= p_A^0 - p_A^0 X_B + p_B^0 X_B$$

$$= p_A^0 + (p_B^0 - p_A^0) X_B \qquad (2.11)$$

તેવી જ રીતે,

કુલ દબાણ $p = p_A + p_B$

$$= p_A^0 X_A + p_B^0 X_B$$

$$= p_A^0 X_A + p_B^0 (1 - X_A) \qquad (\because X_B = 1 - X_A)$$

$$= p_A^0 X_A + p_B^0 - p_B^0 X_A$$

$$= p_B^0 + (p_A^0 - p_B^0) X_A \qquad (2.12)$$

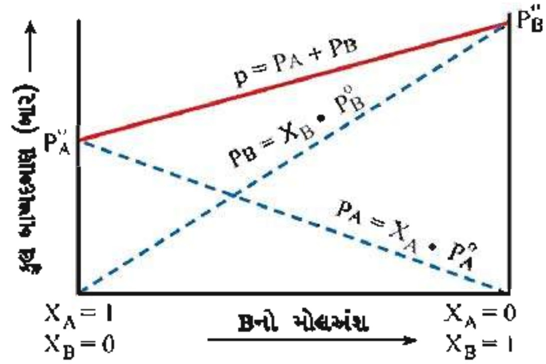
સમીકરણ (2.11) અને (2.12) પરથી નીચેના તારણ તારવી શકાય :

(1) દ્રાવણ પરનું કુલ બાષ્પદબાણ તે કોઈ પણ એક ઘટકના મોલઅંશ X_A અથવા X_B સાથે સંબંધ ધરાવે છે.

(2) દ્રાવણ પરનું કુલ બાષ્પદબાણ ઘટક A અથવા Bના મોલઅંશને સુરેખપ્રમાણમાં હોય છે.

(3) શુદ્ધ ઘટક A અથવા Bના બાષ્પદબાણને આધારે દ્રાવણ પરના કુલ બાષ્પદબાણમાં થતા ફેરફારનો આધાર શુદ્ધ ઘટક A અથવા Bના મોલઅંશના ફેરફાર પર છે.

જો p_A અને p_B સાથે મોલઅંશ X_A અને X_Bનો આલેખ દોરવામાં આવે, તો આકૃતિ 2.7માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે સમીકરણ (2.11)ના આધારે જો $p_B^0 > p_A^0$ હોય, તો એટલે કે ઘટક B એ ઘટક Aની સરખામણીમાં વધુ બાષ્પશીલ હોય, તો દ્રાવણ ઉપરનું કુલ ન્યૂનતમ બાષ્પદબાણ p_A^0 અને કુલ મહત્તમ બાષ્પદબાણ p_B^0 પ્રાપ્ત થશે. જ્યારે $X_A = 1$ હોય ત્યારે દ્રાવણ ઉપરનું કુલ બાષ્પદબાણ p_A^0 અને જ્યારે $X_B = 1$ હોય ત્યારે દ્રાવણ ઉપરનું કુલ બાષ્પદબાણ p_B^0 થશે, જે સમીકરણ (2.11) અને (2.12) દ્વારા સ્પષ્ટ થાય છે.



આકૃતિ 2.7 કુલ બાષ્પદબાણ → મોલઅંશ

દ્રાવણમાં સંતુલન સ્થિતિએ ઘટક A અને ઘટક Bના મોલઅંશ અનુક્રમે બાષ્પકલામાં Y_A અને Y_B હોય, તો સંતુલન સમયે દરેક ઘટકના આંશિક દબાણ p_A અને p_B નીચેના સૂત્ર દ્વારા મેળવી શકાય :

$$p_A = Y_A \cdot P_{\text{કુલ દબાણ}}$$

$$p_B = Y_B \cdot P_{\text{કુલ દબાણ}}$$

રાઉલ્ટનો નિયમ (વાયુમય દ્રાવ્ય અને પ્રવાહી દ્રાવક માટે) : વાયુમય દ્રાવ્ય જ્યારે પ્રવાહી દ્રાવકમાં ઓગળીને દ્રાવણ બનાવે છે ત્યારે તેનું બાષ્પદબાણ રાઉલ્ટના નિયમ મુજબ નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$p_A = p_A^0 \cdot X_A \qquad (2.13)$$

પરંતુ વાયુ દ્રાવ્ય જ્યારે પ્રવાહી દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થાય છે ત્યારે તેની દ્રાવ્યતાને હેન્રીના નિયમ મુજબ નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

$$\text{દ્રાવ્યતા } p = K_H \cdot X_A \qquad (2.14)$$

રાઉલ્ટના નિયમના સમીકરણ (2.13) અને હેન્રીના નિયમના સમીકરણ (2.14)ને સરખાવતાં જણાશે કે બંનેમાં અચળાંકો (જેવાં કે p_A^0 અને K_H) જુદા છે, પરંતુ બાષ્પશીલ ઘટક અથવા વાયુના આંશિક દબાણ તેના મોલઅંશને સમપ્રમાણમાં હોય છે. આથી કહી શકાય કે આદર્શ દ્રાવણ માટે દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતા અને દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ અનુક્રમે હેન્રી અને રાઉલ્ટના નિયમને અનુસરે છે.

આદર્શ દ્રાવણ : જે દ્રાવણ કોઈ પણ સાંદ્રતાએ અને તાપમાને રાઉલ્ટના નિયમનું પાલન કરે છે તેવા દ્રાવણને આદર્શ દ્રાવણ કહે છે. આદર્શ દ્રાવણના બીજા બે ગુણધર્મો જેવા કે,

(1) દ્રાવ્ય અને દ્રાવક મિશ્ર થઈ દ્રાવણ બને, ત્યારે આ ક્રિયા માટેની એન્થાલ્પીમાં થતો ફેરફાર (ΔH) શૂન્ય હોય છે.

(2) જો દ્રાવ્ય અને દ્રાવક પ્રવાહી સ્વરૂપે મિશ્ર થતાં હોય તો દ્રાવણ બનતી વખતે કદમાં થતો ફેરફાર (ΔV) શૂન્ય હોય છે. દ્રાવણની આદર્શ વર્તણૂક સમજવા માટે દ્રાવણના ઘટકો A અને B, જ્યારે શુદ્ધ ઘટક સ્વરૂપે હોય ત્યારે તેમાં A–A અને B–B પ્રકારની આકર્ષક આંતરઆણ્વિય પારસ્પરિક ક્રિયા હશે. જ્યારે દ્વિઅંગી દ્રાવણમાં આ ઉપરાંત A–B પ્રકારની આકર્ષક આંતરઆણ્વિય પારસ્પરિક ક્રિયા પણ હાજર હશે. જો દ્રાવણમાં A–A, B–B વચ્ચેના આંતરઆણ્વિય આકર્ષણબળ અને A–B વચ્ચેના આંતરઆણ્વિય આકર્ષણબળ લગભગ સમાન હોય

તો દ્રાવણ આદર્શ બને છે. દા.ત., બ્રોમોઇથેન અને ક્લોરોઇથેન, બેન્ઝિન અને ટોલ્યુઇન, હેક્ઝેન અને હેપ્ટેન, ક્લોરોબેન્ઝિન અને બ્રોમોબેન્ઝિનના મિશ્રણથી આદર્શ દ્રાવણ બને છે.

બિનઆદર્શ દ્રાવણ : જે દ્રાવણ કોઈ પણ સાંદ્રતાએ અને તાપમાને રાઉલ્ટના નિયમનું પાલન કરતું નથી તેવા દ્રાવણને બિનઆદર્શ દ્રાવણ કહે છે. આ દ્રાવણોને સાચાં દ્રાવણો કહે છે. આવા દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ રાઉલ્ટના નિયમ પ્રમાણે અપેક્ષિત મૂલ્ય કરતા વધારે કે ઓછું હોય છે. તેમાં A–A અને B–B વચ્ચેના આંતરઆણ્વિય આકર્ષણબળ અને A–B આંતરઆણ્વિય આકર્ષણબળ સમાન હોતા નથી. આવાં દ્રાવણો માટે ΔH અને ΔVનાં મૂલ્યો શૂન્ય હોતાં નથી. દા.ત., ફિનોલ અને એનિલીનનું મિશ્રણ, ક્લોરોફોર્મ અને એસિટોનનું મિશ્રણ, HCl અને પાણીનું મિશ્રણ, HNO_3 અને પાણીનું મિશ્રણ બિનઆદર્શ દ્રાવણ બનાવે છે.

દાખલો 10 : 4 % W / W યૂરિયાના જલીય દ્રાવણનું 298 K તાપમાને બાષ્પદબાણ ગણો. 298 K તાપમાને પાણીનું બાષ્પદબાણ 0.025 બાર છે.

ઉકેલ : રાઉલ્ટના નિયમ મુજબ,

$$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = \frac{n_2}{n_1}$$

હવે 4 % W / W યૂરિયાનું દ્રાવણ એટલે 4 ગ્રામ યૂરિયા અને 96 ગ્રામ પાણી અને $p_1^0 = 0.025$ બાર છે.

$$n_1 = \frac{w_1}{M_1} = \frac{96}{18} = 5.33 \text{ મોલ પાણી}$$

$$n_2 = \frac{w_2}{M_2} = \frac{4}{60} = 0.0667 \text{ મોલ યૂરિયા}$$

હવે p_1^0, n_1 અને n_2ની કિંમત રાઉલ્ટના નિયમના સૂત્રમાં મૂકતાં,

$$\frac{0.025 - p_1}{0.025} = \frac{0.0667}{5.33}$$

$$0.025 - p_1 = \frac{0.0667 \times 0.025}{5.33} = 0.000313$$

$\therefore$ $p_1 = 0.025 - 0.000313$

$= 0.02469$ બાર.

$\therefore$ 4 % W/W યૂરિયાના જલીય દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ 0.02469 બાર હશે.

દાખલો 11 : ક્લોરોબેન્ઝિન અને બ્રોમોબેન્ઝિનના બાષ્પદબાણ અનુક્રમે 0.350 બાર અને 0.500 બાર છે. 11.25 ગ્રામ ક્લોરોબેન્ઝિન અને 31.4 ગ્રામ બ્રોમોબેન્ઝિન મિશ્ર કરી બનતા દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ કેટલું થશે ?

ઉકેલ : ક્લોરોબેન્ઝિન અને બ્રોમોબેન્ઝિનના આણ્વિયદળ અનુક્રમે 112.5 અને 157 ગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

$\therefore$ ક્લોરોબેન્ઝિનના મોલ $= \frac{w}{M} = \frac{11.25}{112.5} = 0.1$ મોલ

બ્રોમોબેન્ઝિનના મોલ $= \frac{w}{M} = \frac{31.4}{157} = 0.2$ મોલ

$\therefore$ કુલ મોલ = (0.1 + 0.2) મોલ = 0.3 મોલ

હવે ક્લોરોબેન્ઝિનના મોલઅંશ $X_1 = \frac{0.1}{0.3} = \frac{1}{3}$

બ્રોમોબેન્ઝિનના મોલઅંશ $X_2 = \frac{0.2}{0.3} = \frac{2}{3}$

અહીં, $p_1^0 = 0.350$ બાર અને $p_2^0 = 0.500$ બાર

હવે રાઉલ્ટના નિયમ મુજબ,

p કુલ બાષ્પદબાણ $= p_1^0 + (p_2^0 - p_1^0) X_2$

$= 0.350 + (0.500 - 0.350) \times \frac{2}{3}$

$= 0.350 + \frac{0.150 \times 2}{3}$

$= 0.350 + 0.100$

$= 0.450$ બાર

∴ દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ 0.450 બાર થશે.

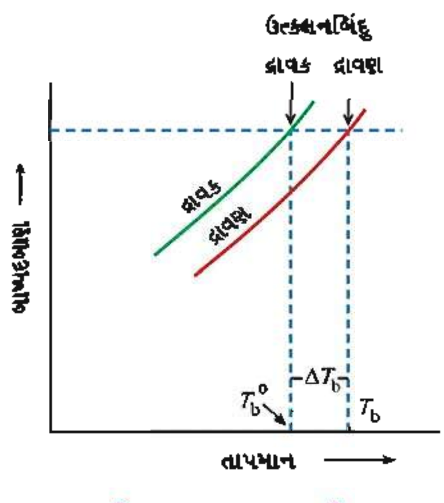
2.10 ઉત્કલનબિંદુમાં ઉન્નયન (Elevation in Boiling Point)

જે તાપમાને કોઈ પણ પ્રવાહી (દ્રાવક અથવા દ્રાવણ)નું બાષ્પદબાણ એક બાર (1 વાતાવરણ) થાય તે તાપમાનને તે પ્રવાહીનું (દ્રાવક અથવા દ્રાવણ) ઉત્કલનબિંદુ કહે છે.

કોઈ પણ તાપમાને શુદ્ધ દ્રાવક કરતા તેના બનાવેલા દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ ઓછું હોય છે અને તાપમાન વધતા બાષ્પદબાણ વધે છે. શુદ્ધ પાણીનું 373 K (373.15 K) તાપમાને બાષ્પદબાણ એક બાર થતાં તે ઊકળે છે. હવે તેમાં અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય (ખાંડ) ઉમેરી દ્રાવણ બનાવતાં, દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ ઘટે છે. તેથી દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ એક બાર જેટલું કરવા માટે દ્રાવણને ગરમ કરવું પડે છે અને 373 K (373.15 K) કરતાં ઊંચા તાપમાને બાષ્પદબાણ એક બાર થતાં દ્રાવણ ઊકળે છે. આમ શુદ્ધ દ્રાવક કરતાં તેનાં દ્રાવણોનું ઉત્કલનબિંદુ વધારે હોય છે. દ્રાવણના ઉત્કલનબિંદુમાં થતા આ વધારાને **ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયન (ΔT_b) કહે છે.**

મોલલ ઉન્નયન અચળાંક : "એક કિલોગ્રામ દ્રાવકમાં એક ગ્રામ આણ્વિયદળ જેટલા વજનનો અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ઓગાળીને દ્રાવણ બનાવીએ તો દ્રાવણના ઉત્કલનબિંદુમાં થતા વધારાને મોલલ ઉન્નયન અચળાંક (K_b) કહે છે." દા.ત., એક કિલોગ્રામ પાણીમાં 342 ગ્રામ ખાંડ અથવા 60 ગ્રામ યુરિયા અથવા 180 ગ્રામ ગ્લુકોઝ એટલે કે પદાર્થનું 1 ગ્રામ આણ્વિયદળ ઓગળવાથી ઉત્કલનબિંદુમાં થતો વધારો (ΔT_b) એકસરખો હોય છે. આમ ઉત્કલનબિંદુમાં થતો વધારો તેમાં ઓગળેલા (દ્રાવ્ય થયેલા) દ્રાવ્યના સ્વભાવ પર આધાર ન રાખતાં દ્રાવ્યના સંખ્યાકણ પર આધાર રાખે છે. તેથી તે દ્રાવણ સંખ્યાત્મક ગુણધર્મ છે.

ઉત્કલન ઉન્નયન અને મોલલ ઉન્નયન અચળાંક : શુદ્ધ દ્રાવક અને તેના બનાવેલા દ્રાવણ માટે જુદાં જુદાં તાપમાને મળતાં તેના બાષ્પદબાણના સંબંધનો આલેખ આકૃતિ 2.8માં દર્શાવ્યા છે. ધારો કે શુદ્ધ દ્રાવકનું ઉત્કલનબિંદુ T_b^0 અને દ્રાવણનું ઉત્કલનબિંદુ T_b હોય, તો ઉત્કલનબિંદુમાં થતો વધારો, $\Delta T_b = T_b - T_b^0$ ને ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયન કહે છે.



આકૃતિ 2.8 બાષ્પદબાણ અને તાપમાન વચ્ચેનો સંબંધ

પ્રાયોગિક અવલોકન દર્શાવે છે કે ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયન (ΔT_b) મંદ અને આદર્શ દ્રાવણમાં રહેલા (ઓગળેલા) દ્રાવ્યની મોલલ સાંદ્રતા (m)ને સમપ્રમાણમાં ચલે છે. તેથી તેને ગાણિતિક રીતે લખતાં,

$\Delta T_b \propto m$

$$\Delta T_b = K_b \times m \quad (2.15)$$

પરંતુ મોલાલિટી $m = \frac{1000 \times w_2}{M_2 \times w_1}$ કિંમત સમીકરણ (2.15)માં મૂકતાં,

$$\Delta T_b = \frac{K_b \times 1000 \times w_2}{M_2 \times w_1}$$

$$K_b = \frac{\Delta T_b \times w_1 \times M_2}{1000 \times w_2} \quad (2.16)$$

જ્યાં, K_b = મોલલ ઉન્નયન અચળાંક w_1 = દ્રાવકનું વજન

w_2 = દ્રાવ્યનું વજન M_2 = દ્રાવ્યનું આણ્વિયદળ

(ΔT_b) = ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયન

એક મોલલ દ્રાવણના ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયનને તેના દ્રાવકનો મોલલ ઉન્નયન અચળાંક K_b કહે છે. તેનો એકમ કેલ્વિન કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ (K kg mol^{-1}) છે.

દાખલો 12 : 2 કિલોગ્રામ પાણીમાં 6 ગ્રામ યૂરિયા ઓગળવાથી મળતા દ્રાવણનું ઉત્કલનબિંદુ ગણો. દ્રાવણનો મોલલ ઉન્નયન અચળાંક 3.2 કે કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

ઉકેલ : $\Delta T_b = \frac{K_b \times 1000 \times w_2}{M_2 \times w_1}$

K_b = 3.2 કિલોગ્રામ કે મોલ$^{-1}$ w_2 = 6 ગ્રામ

w_1 = 2 કિલોગ્રામ = 2000 ગ્રામ M_2 = 60 ગ્રામ મોલ$^{-1}$

$= \frac{3.2 \times 1000 \times 6}{60 \times 2000}$ = 0.16 કેલ્વિન

∴ યૂરિયાના દ્રાવણનું ઉત્કલનબિંદુ = દ્રાવકનું ઉત્કલનબિંદુ + ΔT_b

= 373 K + 0.16 K = 373.16 K

∴ યૂરિયાના દ્રાવણનું ઉત્કલનબિંદુ = 373.16 K હશે.

દાખલો 13 : 5 કિલોગ્રામ પાણીમાં કેટલા ગ્રામ ગ્લુકોઝ ઓગાળવાથી ઉત્કલનબિંદુ 373 Kથી વધીને 373.5 K થશે ? દ્રાવકનો મોલલ ઉન્નયન અચળાંક 2.2 કે કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

ઉકેલ : ઉત્કલનબિંદુમાં ઉન્નયન

ΔT_b = 373.5 K − 373 K = 0.5 K

$$\Delta T_b = \frac{K_b \times 1000 \times w_2}{M_2 \times w_1}$$

$\Delta T_b = 0.5$ K $\quad K_b = 2.2$ કે. કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$

$w_2 = ?$ $\quad M_2 = 180$ ગ્રામ મોલ$^{-1}$

$w_1 = 5$ કિલોગ્રામ = 5000 ગ્રામ

$$w_2 = \frac{\Delta T_b \times M_2 \times w_1}{1000 \times K_b}$$

$$= \frac{0.5 \times 180 \times 5000}{2.2 \times 1000} = 204.5 \text{ ગ્રામ}$$

∴ 5 કિલોગ્રામ પાણીમાં 204.5 ગ્રામ ગ્લુકોઝ ઓગાળવાથી ઉત્કલનબિંદુ 373 Kથી વધીને 373.5 K થશે.

2.11 ઠારબિંદુમાં અવનયન (Depression in Freezing Point)

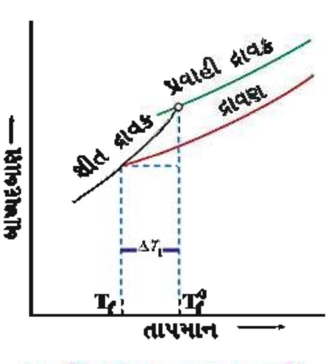
જે તાપમાને પદાર્થની (દ્રાવક અથવા દ્રાવણની) ઘન અને પ્રવાહી અવસ્થા સંતુલનમાં હોય તે તાપમાનને તે પદાર્થનું (દ્રાવક અથવા દ્રાવણનું) ઠારબિંદુ કહે છે.

શુદ્ધ દ્રાવકના ઠારબિંદુ કરતાં તેના બનાવેલા દ્રાવણનું ઠારબિંદુ નીચું હોય છે. આમ દ્રાવક કરતા દ્રાવણના ઠારબિંદુમાં થતા ઘટાડાને તેનો ઠારબિંદુ અવનયન (ΔT_f) કહે છે.

ઠારબિંદુએ તે પદાર્થના (દ્રાવક અથવા દ્રાવણના) ઘન અને પ્રવાહી અવસ્થાના બાષ્પદબાણ સમાન હોય છે. શુદ્ધ દ્રાવક કરતાં તેના બનાવેલા દ્રાવણનું ઠારબિંદુ નીચું હોય છે. કારણ કે રાઉલ્ટના નિયમ મુજબ શુદ્ધ દ્રાવક કરતાં તેમાં અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ઉમેરી બનાવેલા દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ ઓછું હોય છે. તેથી નીચા તાપમાને પ્રવાહી દ્રાવણ અને શુદ્ધ ઘન દ્રાવકના બાષ્પદબાણ સમાન બને છે. આ નીચું તાપમાન તે દ્રાવણનું ઠારબિંદુ છે. આમ શુદ્ધ દ્રાવક કરતાં દ્રાવણનું ઠારબિંદુ નીચું હોય છે.

મોલલ અવનયન અચળાંક (K_f) : '1 કિલોગ્રામ દ્રાવકમાં 1 ગ્રામ આણ્વિયદળ જેટલા વજનનો અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ઓગાળીએ તો દ્રાવણના ઠારબિંદુમાં થતા ઘટાડાને મોલલ અવનયન અચળાંક (K_f) કહે છે.' દા.ત., 1 કિલોગ્રામ પાણીમાં 60 ગ્રામ યૂરિયા અથવા 180 ગ્રામ ગ્લુકોઝ અથવા 342 ગ્રામ ખાંડ એટલે કે 1 ગ્રામ આણ્વિયદળ જેટલો દ્રાવ્ય પદાર્થ ઓગળવાથી બનતાં દ્રાવણોના ઠારબિંદુમાં થતો ઘટાડો (ΔT_f) એકસમાન હોય છે. કારણ કે ઠારબિંદુમાં થતા ઘટાડાનો આધાર તેમાં ઓગાળેલા દ્રાવ્યના સ્વભાવ પર ન રહેતા દ્રાવ્યના સંખ્યાકણ ઉપર આધાર રાખે છે. તેથી તે દ્રાવણ સંખ્યાત્મક ગુણધર્મ છે.

ઠારબિંદુ અવનયન અને મોલલ અવનયન અચળાંક (Depression in freezing point and molal depression constant) : શુદ્ધ દ્રાવક અને તેના બનાવેલા દ્રાવણ માટે જુદા જુદા તાપમાને મળતાં તેના બાષ્પદબાણના સંબંધનો આલેખ આકૃતિ 2.9માં દર્શાવ્યા છે. ધારો કે શુદ્ધ દ્રાવકનું ઠારબિંદુ T_f^0 અને દ્રાવણનું ઠારબિંદુ T_f હોય તો ઠારબિંદુમાં થતા ઘટાડા $\Delta T_f = T_f^0 - T_f$ ને ઠારબિંદુ અવનયન કહે છે.



આકૃતિ 2.9 બાષ્પદબાણ અને તાપમાન વચ્ચેનો સંબંધ

પ્રાયોગિક અવલોકન દર્શાવે છે કે ઠારબિંદુ અવનયન (ΔT_f) મંદ અને આદર્શ દ્રાવણમાં રહેલા (ઓગળેલા) દ્રાવ્યની મોલલ સાંદ્રતા (m)ને સમપ્રમાણમાં ચલે છે. તેથી તેને ગાણિતિક રીતે લખતાં

$$\Delta T_f \propto m$$

$$\therefore \Delta T_f = K_f \times m \qquad (2.17)$$

પરંતુ મોલાલિટી $m = \frac{1000 \times w_2}{M_2 \times w_1}$ કિંમત સમીકરણ (2.17)માં મૂકતાં,

$$\Delta T_f = \frac{K_f \times 1000 \times w_2}{M_2 \times w_1}$$

$$K_f = \frac{\Delta T_f \times w_1 \times M_2}{1000 \times w_2} \quad (2.18)$$

જ્યાં K_f = મોલલ અવનયન અચળાંક　　w_1 = દ્રાવકનું વજન

w_2 = દ્રાવ્યનું વજન　　M_2 = દ્રાવ્યનું આણ્વિયદળ

ΔT_f = ઠારબિંદુ અવનયન

એક મોલલ દ્રાવણના ઠારબિંદુ અવનયનને તેના દ્રાવકનો મોલલ અવનયન અચળાંક (K_f) કહે છે. તેનો એકમ કેલ્વિન કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ ($K\ kg\ mol^{-1}$) છે.

દાખલો 14 : 500 ગ્રામ પાણીમાં 1.8 ગ્રામ ગ્લુકોઝ દ્રાવ્ય કરતાં મળતા દ્રાવણનું ઠારબિંદુ શોધો. દ્રાવક માટે K_fનું મૂલ્ય 1.8 કે કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

ઉકેલ : $\Delta T_f = \frac{K_f \times 1000 \times w_2}{M_2 \times w_1}$

K_f = 1.8 કે. કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$　　w_2 = 1.8 ગ્રામ

M_2 = 180 ગ્રામ મોલ$^{-1}$　　w_1 = 500 ગ્રામ

$$= \frac{1.8 \times 1000 \times 1.8}{180 \times 500} = 0.036$$

હવે શુદ્ધ દ્રાવક (પાણી)નું ઠારબિંદુ 273 K છે.

દ્રાવણનું ઠારબિંદુ = દ્રાવકનું ઠારબિંદુ − ΔT_f

= 273 − 0.036 કે

= 272.964 કે

દ્રાવણનું ઠારબિંદુ 272.964 K થશે.

દાખલો 15 : 2000 ગ્રામ પાણીમાં કેટલા ગ્રામ યૂરિયા દ્રાવ્ય કરવાથી તેના ઠારબિંદુમાં 0.2 કે નો ઘટાડો થાય. દ્રાવક માટે K_f = 2.0 કિલોગ્રામ કેલ્વિન મોલ$^{-1}$ છે.

ઉકેલ : $\Delta T_f = \frac{K_f \times 1000 \times w_2}{M_2 \times w_1}$

$$w_2 = \frac{\Delta T_f \times M_2 \times w_1}{1000 \times K_f}$$

K_f = 2 કિલોગ્રામ કે મોલ$^{-1}$　　w_2 = ?

M_2 = 60 ગ્રામ મોલ$^{-1}$　　w_1 = 2000 ગ્રામ

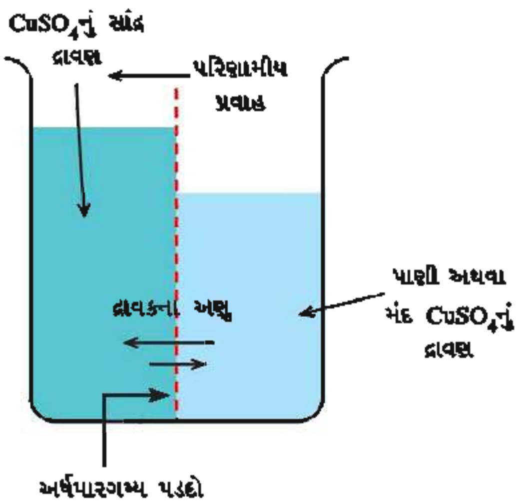
$$= \frac{0.2 \times 60 \times 2000}{1000 \times 2} = 12 \text{ ગ્રામ}$$

2000 ગ્રામ પાણીમાં 12 ગ્રામ યૂરિયા પડશે.

2.12 અભિસરણ (Osmosis), અભિસરણ (અભિસારક) દબાણ અને તેના ઉપયોગ

જુદી જુદી સાંદ્રતા ધરાવતાં દ્રાવણો વચ્ચે અથવા શુદ્ધ દ્રાવક અને દ્રાવણ વચ્ચે અર્ધપારગમ્ય પડદો રાખવામાં આવે ત્યારે અનુક્રમે ઓછી સાંદ્રતા ધરાવતા દ્રાવણથી વધુ સાંદ્રતા ધરાવતા દ્રાવણ તરફ અથવા શુદ્ધ દ્રાવકથી દ્રાવણ તરફ દ્રાવકનો સ્વયંભૂ પ્રવાહ શરૂ થાય છે. આ ઘટનાને **અભિસરણ (Osmosis)** કહે છે. ગ્રીક શબ્દ Osmosisનો અર્થ ધકેલવું (Push) એમ થાય છે. અર્ધપારગમ્ય પડદો ફક્ત દ્રાવકના અણુઓને પસાર થવા દે છે. પણ દ્રાવ્યના અણુઓને પસાર થવા દેતો નથી. આકૃતિ 2.10માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે અર્ધપારગમ્ય પડદાની એક બાજુ સાંદ્ર $CuSO_4$નું દ્રાવણ અને બીજી બાજુ શુદ્ધ પાણી અથવા મંદ $CuSO_4$નું દ્રાવણ ભરો.

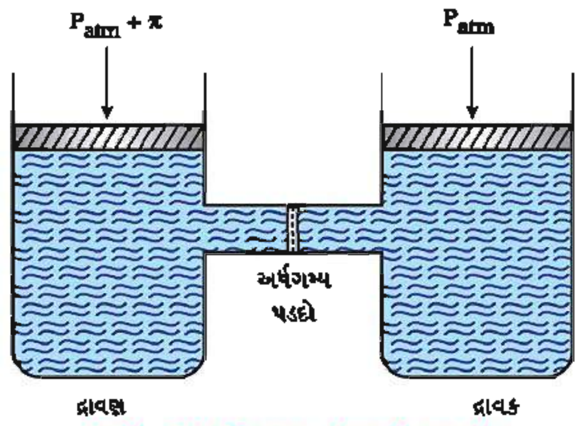
થોડા સમય પછી અવલોકન કરતાં જણાશે કે પાણીના અણુઓ સ્વયંભૂ રીતે સાંદ્ર $CuSO_4$ના દ્રાવણ તરફ વહે છે અને તેથી અર્ધપારગમ્ય પડદાની બંને બાજુ લીધેલા પ્રવાહીની સપાટીની ઊંચાઈમાં ફેરફાર થાય છે. બંને વચ્ચે સંતુલન સ્થપાય ત્યારે પાણીનો આવો સ્વયંભૂ પ્રવાહ અટકી જાય છે.



આકૃતિ 2.10 અભિસરણ

અભિસરણનાં કેટલાંક ઉદાહરણ કુદરતમાં કે રોજિંદા જીવનમાં જોવા મળે છે. દા.ત., સૂકી દ્રાક્ષને પાણીમાં રાખતાં તે ફૂલે છે, મુરઝાયેલા ફૂલને પાણીમાં રાખતાં તે તાજાં બને છે, રક્તકણને ક્ષારીય પાણીમાં રાખતાં સંકોચાય છે. કારણ કે આ દરેક ઘટનામાં પદાર્થની સપાટી અર્ધપારગમ્ય પડદા વડે બંધાયેલી છે અને તેથી અભિસરણ ઘટના માલૂમ પડે છે. વનસ્પતિની કોષદીવાલ, પ્રાણીના કોષની દીવાલ, પ્રાણીઓના મૂત્રાશયની કોથળી વગેરે કુદરતી અર્ધપારગમ્ય પડદા છે જ્યારે પાર્ચમેન્ટ પેપર, સેલોફેન, બટર પેપર, કોપર ફેરોસાયનાઇડ $Cu_2[Fe(CN)_6]$ વગેરે કૃત્રિમ અર્ધપારગમ્ય પડદા છે. આવા કૃત્રિમ અર્ધપારગમ્ય પડદાઓ પૈકી કોપર ફેરોસાયનાઇડ ઉત્તમ અર્ધપારગમ્ય પડદો છે.

અભિસરણ (અભિસારક) દબાણ : આકૃતિ 2.11માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે અર્ધપારગમ્ય પડદાની એક બાજુ દ્રાવણ અને બીજી બાજુ શુદ્ધ દ્રાવક ભરેલા છે તથા બંનેની સપાટીની ઊંચાઈ એકસમાન છે. સમય જતા દ્રાવકના સ્વયંભૂ પ્રવાહ (અભિસરણ) શુદ્ધ દ્રાવકથી દ્રાવણ તરફ શરૂ થાય છે, જેથી શુદ્ધ દ્રાવક અને દ્રાવણની સપાટીની ઊંચાઈમાં ફેરફાર થાય છે. હવે દ્રાવણ પર વધારાનું જે ન્યૂનતમ દબાણ લગાડવાથી તેમાં દાખલ થતો દ્રાવકનો સ્વયંભૂ પ્રવાહ અટકાવી શકાય છે તેવા દબાણને દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ કહે છે.



આકૃતિ 2.11 અભિસરણ દબાણની સમજૂતી

અભિસરણ દબાણના ઉદાહરણો :

(1) વનસ્પતિમાં મૂળ દ્વારા જમીનમાંથી પાણીનું શોષણ અભિસરણ દબાણને આભારી છે.

(2) વનસ્પતિનાં વિવિધ ભાગોમાં પાણીનું પહોંચવું તે અભિસરણ દબાણને આભારી છે.

(3) અભિસરણ દબાણને કારણે પ્રાણીઓના શરીરના વિવિધ ભાગોમાં પાણી પહોંચે છે.

(4) ફૂલનું ખીલવું અને કરમાવું તે પણ અભિસરણ દબાણ દ્વારા નિયંત્રિત કરી શકાય છે.

(5) અભિસરણ દબાણને કારણે રક્તકણને પાણીમાં મૂકવાથી તે ફાટી જાય છે.

(6) છોડનો ઝડપી વિકાસ અને તેના બીજની ફળદ્રુપતા અભિસરણને આભારી છે.

2.13 અભિસરણ દબાણના નિયમો (Laws of Osmotic Pressure)

વૉન્ટ હૉફ અને ફેફરે (Van't Hoff and Pfeiffer) દર્શાવ્યું કે દ્રાવણમાં ઓગળેલો દ્રાવ્ય વાયુની જેમ જ વર્તે છે. મંદ દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ, જો દ્રાવ્ય તે જ તાપમાને વાયુરૂપમાં હોય અને દ્રાવણ જેટલું જ કદ ધારણ કરતો હોય તો તે પરિસ્થિતિએ વાયુના દબાણ જેટલું જ થશે. આથી વાયુને લાગુ પડતા બૉઇલ, ગેલ્યુસેક અને એવોગેડ્રો નિયમો જેવા જ નિયમો વૉન્ટ હૉફે મંદ દ્રાવણ માટે તારવ્યા.

(1) બૉઇલ-વૉન્ટ હૉફનો નિયમ (Boyle's-van't Hoff law) : ''નિયત તાપમાને દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ (π) દ્રાવણની મોલર સાંદ્રતાના સમપ્રમાણમાં ચલે છે.''

ગાણિતિક રીતે લખતાં,

$\pi \propto C$ પરંતુ $C = \frac{n}{V}$ મૂકતાં,

$$\pi \propto \frac{n}{V} \qquad (2.19)$$

જ્યાં, n = દ્રાવ્યના મોલની સંખ્યા V = દ્રાવણનું કદ (લિટર)

$\frac{n}{V}$ = મોલર સાંદ્રતા = C

હવે, n = 1 મોલ સમીકરણ (2.19)માં મૂકતાં,

$$\pi \propto \frac{1}{V} \qquad (2.20)$$

$\pi = K\frac{1}{V}$ જ્યાં, K સમપ્રમાણતા અચળાંક છે.

$$\therefore \pi V = K \qquad (2.21)$$

સમીકરણ (2.21) વાયુ અંગેના બૉઇલના નિયમ pV = Kના સ્વરૂપ જેવું છે.

(2) ગેલ્યુસેક-વૉન્ટ હૉફનો નિયમ (Gay Lussac-van't Hoff law) : ''જો દ્રાવણની સાંદ્રતા અચળ હોય તો દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ નિરપેક્ષ તાપમાનને સમપ્રમાણમાં ચલે છે.''

ગાણિતિક રીતે લખતાં,

$$\pi \propto T \qquad (2.22)$$

π = KT જ્યાં, K સમપ્રમાણતા અચળાંક છે.

$$\frac{\pi}{T} = K \qquad (2.23)$$

સમીકરણ 2.23, વાયુ અંગેના ગેલ્યુસેકના નિયમ $\frac{P}{T} = K$ના સ્વરૂપ જેવું છે.

(3) એવોગેડ્રો-વૉન્ટ હૉફનો નિયમ (Avogadro-van't Hoff Law) : 'એકસરખા તાપમાને જે વિવિધ દ્રાવણોના અભિસરણ દબાણ એકસરખા હોય, તેવાં વિવિધ દ્રાવણોના સરખા કદમાં દ્રાવ્ય અણુઓની સંખ્યા પણ એકસરખી હોય છે.'

ગાણિતિક રીતે લખતાં,

$$\pi \propto n \qquad (2.24)$$

હવે સમીકરણ (2.20) પ્રમાણે

$\pi \propto \frac{1}{V}$ (બોઇલ-વૉન્ટ હોફનો નિયમ) અને સમીકરણ (2.22) પ્રમાણે,

$\pi \propto T$ (ગેલ્યુસેક-વૉન્ટ હોફનો નિયમ)

$$\pi \propto \frac{nT}{V}$$

$\pi = \frac{nRT}{V}$ જ્યાં R સમપ્રમાણતા અચળાંક છે, જેનું મૂલ્ય વાયુ અચળાંક જેટલું છે.

$$\therefore \pi V = nRT \qquad (2.25)$$

π = અભિસરણ દબાણ V = દ્રાવણનું કદ

n = દ્રાવ્યના મોલની સંખ્યા R = વાયુ અચળાંક

T = નિરપેક્ષ તાપમાન

સમીકરણ (2.25) વાયુ અંગેના સાદા વાયુ સમીકરણ PV = nRTના સ્વરૂપ જેવું છે.

હવે સમીકરણ (2.25)માં $n = \frac{w}{M}$ લેતાં

$$\pi V = \frac{wRT}{M}$$

$$\pi = \frac{wRT}{MV} \qquad (2.26)$$

જ્યાં, w = દ્રાવ્યનું વજન (ગ્રામ) M = દ્રાવ્યનું આણ્વિયદળ

2.14 સમઅભિસારી (સમદાબી) દ્રાવણો (Iso-Osmotic (Istonic) Solutions)

જે દ્રાવણોના અભિસરણ દબાણ નિયત તાપમાને સમાન હોય, તેવાં દ્રાવણોને **સમઅભિસારી (સમદાબી) દ્રાવણો** કહે છે. સમઅભિસારી દ્રાવણોને અર્ધપારગમ્ય પડદા દ્વારા અલગ કરતાં તેમની વચ્ચે અભિસરણ થતું નથી. સમઅભિસારી દ્રાવણોના બાષ્પદબાણ સમાન હોય છે. આથી આ પ્રકારનાં દ્રાવણોને સમદાબી દ્રાવણો કહે છે. સમઅભિસારી દ્રાવણોની સાંદ્રતા સમાન હોય છે. દા.ત., 0.91 % W / V, NaClનું દ્રાવણ મનુષ્યના રુધિરમાં આવેલા રક્તકણોમાંના પ્રવાહી સાથે સમઅભિસારી છે. તેવી જ રીતે 0.1 M H_2SO_4નું દ્રાવણ 0.3 M ગ્લુકોઝના દ્રાવણ સાથે સમઅભિસારી છે. જો બે જુદાં જુદાં દ્રાવણના અભિસરણ દબાણ જુદા જુદા હોય, એટલે કે સાંદ્રતા જુદી જુદી હોય તો જે દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ ઓછું છે તે દ્રાવણને વધુ અભિસરણ દબાણ ધરાવતા દ્રાવણની સાપેક્ષમાં **હાઈપોટોનિક (Hypotonic) દ્રાવણ** કહે છે અને જે દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ વધારે છે તેને ઓછા અભિસરણ દબાણ ધરાવતા દ્રાવણની સાપેક્ષમાં **હાઈપરટોનિક (Hypertonic) દ્રાવણ** કહે છે. એટલે કે જેનું અભિસરણ દબાણ ઓછું હોય તેને હાઇપો પૂર્વગ અને જેનું અભિસરણ દબાણ વધારે હોય તેના માટે હાઇપર પૂર્વગ વપરાય છે. દા.ત., 0.91 % W/V સાંદ્રતા કરતા ઓછી સાંદ્રતા ધરાવતું શુદ્ધ NaClનું દ્રાવણ મનુષ્યના રુધિરમાં આવેલા રક્તકણોમાંના પ્રવાહીની સાપેક્ષમાં હાઇપોટોનિક દ્રાવણ છે. પરંતુ 0.91 % W/V સાંદ્રતા કરતાં વધારે સાંદ્રતા ધરાવતું શુદ્ધ NaClનું દ્રાવણ મનુષ્યના રુધિરમાં આવેલા રક્તકણોમાંના પ્રવાહીની સાપેક્ષમાં હાઇપરટોનિક દ્રાવણ છે.

દાખલો 16 : 300 K તાપમાને 5 લિટર દ્રાવણમાં 18 ગ્રામ ગ્લુકોઝ ઓગાળવામાં આવેલો હોય, તો તે દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ ગણો.

ઉકેલ : અભિસરણ દબાણ $\pi = \frac{wRT}{MV}$

M = 180 ગ્રામ મોલ$^{-1}$ V = 5 લિટર

T = 300 K R = 8.314×10^{-2} બાર લિ કે$^{-1}$ મોલ$^{-1}$

$$\pi = \frac{18 \times 8.314 \times 10^{-2} \times 300}{180 \times 5}$$

$$\pi = \frac{18 \times 8.314 \times 10^{-2} \times 300}{900} = 0.4988 \text{ બાર}$$

∴ ગ્લુકોઝના દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ 0.4988 બાર છે.

દાખલો 17 : 300 K તાપમાને 2 લિટર દ્રાવણમાં 6 ગ્રામ યૂરિયા ઓગાળવામાં આવ્યો છે. 300 K તાપમાને NaClના 5 લિટર દ્રાવણમાં કેટલા ગ્રામ NaCl ઓગાળવાથી તે યૂરિયાના દ્રાવણ સાથે સમઅભિસારી દ્રાવણ થશે ?

ઉકેલ : તાપમાન અને Rનાં મૂલ્યો બંને દ્રાવણ માટે સમાન હોવાથી સમઅભિસારી દ્રાવણ માટે સીધું જ લખી શકાય કે,

$$\frac{\text{યૂરિયાના મોલ}}{\text{યૂરિયાના દ્રાવણનું કદ}} = \frac{\text{NaClના મોલ}}{\text{NaClના દ્રાવણનું કદ}}$$

$$\frac{0.1}{2} = \frac{\text{NaClના મોલ (કણ સંખ્યા)}}{5} \quad (\because \text{ યૂરિયાના મોલ } = \frac{w}{M} = \frac{6}{60} = 0.1 \text{ મોલ})$$

$$\text{NaClના મોલ (કણ સંખ્યા)} = \frac{0.1 \times 5}{2} = 0.25 \text{ મોલ}$$

હવે NaCl ($Na^+ + Cl^-$)માં તેની કણસંખ્યા 2 હોવાથી સમઅભિસારી દ્રાવણ માટે ખરેખર NaClના દ્રાવણમાં કણસંખ્યા 0.25 મોલ જરૂરી છે. તેથી 0.25 મોલ કણસંખ્યા મેળવવા માટે NaClની મોલસંખ્યા કણસંખ્યા કરતાં અડધી જરૂરી બનશે.

$$\text{NaClની મોલસંખ્યા} = \frac{0.25 \text{ મોલ}}{2}$$

$$= 0.125 \text{ મોલ}$$

∴ NaClનો ગ્રામમાં જથ્થો = મોલની સંખ્યા × આણ્વિયદળ

$$= 0.125 \times 58.5$$

$$= 7.31 \text{ ગ્રામ}$$

∴ 7.31 ગ્રામ NaCl ઓગાળવાથી તે યૂરિયાના દ્રાવણ સાથે સમઅભિસારી દ્રાવણ થશે.

2.15 આણ્વિયદળ નક્કી કરવાની પદ્ધતિઓ (Methods of Determining Molecular Mass)

કોઈ પણ પદાર્થનું આણ્વિયદળ નક્કી કરવાની વિવિધ પદ્ધતિઓ નીચે મુજબ છે :

(1) રાઉલ્ટના નિયમનો ઉપયોગ (2) મોલલ ઉન્નયન માપન પદ્ધતિ

(3) મોલલ અવનયન માપન પદ્ધતિ (4) અભિસરણ દબાણ માપન પદ્ધતિ

હવે આ પદ્ધતિઓનો વિગતવાર અભ્યાસ કરીશું.

(1) રાઉલ્ટના નિયમનો ઉપયોગ : શુદ્ધ બાષ્પશીલ દ્રાવકમાં, અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ઓગાળવાથી બનતા દ્રાવણ માટે અગાઉ મેળવેલો સમીકરણ (2.8)નો ઉપયોગ કરીને અબાષ્પશીલ દ્રાવ્યનું આણ્વિયદળ (M_2) નક્કી કરી શકાય છે. સમીકરણ (2.8) પ્રમાણે,

$$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = \frac{w_2 \times M_1}{M_2 \times w_1} \quad \text{અથવા}$$

$$M_2 = \frac{p_1^0}{p_1^0 - p_1} \times \frac{w_2 \times M_1}{w_1}$$

પ્રયોગ દ્વારા આપેલા તાપમાને M_1 આણ્વિયદળ અને p_1^0 બાષ્પદબાણ ધરાવતા w_1 ગ્રામ દ્રાવકમાં w_2 ગ્રામ અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ઓગળવાથી બનતા દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ p_1 નક્કી કરવામાં આવે છે અને અવલોકનના અંતે પ્રાપ્ત થતાં મૂલ્યોને સમીકરણ (2.8)માં મૂકવાથી દ્રાવ્યનું આણ્વિયદળ (M_2) શોધી શકાય છે.

દાખલો 18 : 298 K તાપમાને 20 ગ્રામ અબાષ્પશીલ અજ્ઞાત પદાર્થને 360 ગ્રામ પાણીમાં ઓગાળવાથી પાણીનું બાષ્પદબાણ 0.0242 બારથી ઘટીને 0.0238 બાર થાય, તો અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ ગણો.

ઉકેલ : રાઉલ્ટના નિયમ મુજબ,

$$\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = \frac{w_2 \times M_1}{M_2 \times w_1}$$

જ્યાં, $p_1^0 = 0.0242$ બાર $p_1 = 0.0238$ બાર

$w_1 = 360$ ગ્રામ $M_1 = 18$ ગ્રામ મોલ$^{-1}$

$w_2 = 20$ ગ્રામ $M_2 = ?$

$$\frac{0.0242 - 0.0238}{0.0242} = \frac{20 \times 18}{M_2 \times 360}$$

$$\frac{0.0004}{0.0242} = \frac{1}{M_2}$$

$$M_2 = \frac{0.0242}{0.0004}$$

$= 60.5$ ગ્રામ મોલ$^{-1}$

$\therefore$ અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ 60.5 ગ્રામ મોલ$^{-1}$ હશે.

(2) મોલલ ઉન્નયન માપન પદ્ધતિ : શુદ્ધ બાષ્પશીલ દ્રાવકમાં, અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ઓગળવાથી બનતા દ્રાવણ માટે અગાઉ મેળવેલા સમીકરણ (2.16)નો ઉપયોગ કરીને અબાષ્પશીલ દ્રાવ્યનું આણ્વિયદળ (M_2) નક્કી કરી શકાય છે. સમીકરણ (2.16) પ્રમાણે,

$$K_b = \frac{\Delta T_b \times w_1 \times M_2}{1000 \times w_2}$$

$$M_2 = \frac{K_b \times 1000 \times w_2}{\Delta T_b \times w_1} \qquad (2.27)$$

પ્રયોગ દ્વારા આપેલા તાપમાને K_b જેટલા મોલલ ઉન્નયન અચળાંક ધરાવતા w_1 ગ્રામ દ્રાવકમાં w_2 ગ્રામ દ્રાવ્ય ઓગળવાથી બનતા દ્રાવણ માટે મોલલ ઉન્નયન (ΔT_b) અવલોકનના અંતે મેળવી તેને સમીકરણમાં (2.27)માં મૂકવાથી દ્રાવ્યનું આણ્વિયદળ (M_2) શોધી શકાય છે.

દાખલો 19 : 200 ગ્રામ પાણીમાં 0.75 ગ્રામ અજ્ઞાત પદાર્થ ઓગળવાથી મળતા દ્રાવણના ઉત્કલનબિંદુમાં 0.15 કેલ્વિનનો વધારો થાય છે. જો દ્રાવણ માટે મોલલ ઉન્નયન અચળાંક 7.5 કે કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ હોય, તો અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ શોધો.

ઉકેલ : અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ $M_2 = \dfrac{K_b \times 1000 \times w_2}{\Delta T_b \times w_1}$

$K_b = 7.5$ કે કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ $\quad w_2 = 0.75$ ગ્રામ

$\Delta T_b = 0.15$ કે $\quad w_1 = 200$ ગ્રામ

$$M_2 = \frac{7.5 \times 1000 \times 0.75}{0.15 \times 200}$$

$= 187.5$ ગ્રામ મોલ$^{-1}$

∴ અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ 187.5 ગ્રામ મોલ$^{-1}$ હશે.

(3) મોલલ અવનયન માપન પદ્ધતિ : શુદ્ધ બાષ્પશીલ દ્રાવકમાં, અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ઓગળવાથી બનતા દ્રાવણ માટે અગાઉ મેળવેલા સમીકરણ (2.18)નો ઉપયોગ કરીને અબાષ્પશીલ દ્રાવ્યનું આણ્વિયદળ (M_2) નક્કી કરી શકાય છે. સમીકરણ (2.18) પ્રમાણે

$$K_f = \frac{\Delta T_f \times w_1 \times M_2}{1000 \times w_2}$$

$$M_2 = \frac{K_f \times 1000 \times w_2}{\Delta T_f \times w_1} \qquad (2.28)$$

પ્રયોગ કરીને આપેલા તાપમાને K_f જેટલો મોલલ અવનયન અચળાંક ધરાવતા w_1 ગ્રામ દ્રાવકમાં, w_2 ગ્રામ દ્રાવ્ય ઓગળવાથી બનતા દ્રાવણ માટે મોલલ અવનયન (ΔT_f) અવલોકનના અંતે મેળવી તેને સમીકરણ (2.28)માં મૂકી દ્રાવ્યનું આણ્વિયદળ (M_2) શોધી શકાય છે.

દાખલો 20 : 500 ગ્રામ પાણીમાં 2 ગ્રામ અજ્ઞાત પદાર્થ ઓગળવાથી બનતા દ્રાવણના ઠારબિંદુમાં 0.06 કેલ્વિનનો ઘટાડો થાય છે. જો દ્રાવકનો મોલલ અવનયન અચળાંક 5 કે કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ હોય તો અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ શોધો.

ઉકેલ : અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ $M_2 = \dfrac{K_f \times 1000 \times w_2}{\Delta T_f \times w_1}$

$K_f = 5$ કે કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ $\quad w_1 = 500$ ગ્રામ

$\Delta T_f = 0.06$ કેલ્વિન $\quad w_2 = 2$ ગ્રામ

$$M_2 = \frac{5 \times 1000 \times 2}{0.06 \times 500}$$

$= 333.3$ ગ્રામ મોલ$^{-1}$

અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ 333.3 ગ્રામ મોલ$^{-1}$ હશે.

(4) અભિસરણ દબાણ માપન પદ્ધતિ : શુદ્ધ દ્રાવકના ચોક્કસ કદમાં દ્રાવ્ય પદાર્થના ચોક્કસ વજનને ઓગાળીને તૈયાર કરાતા દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ ચોક્કસ તાપમાને નોંધવાથી અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ નીચેના સૂત્ર દ્વારા ગણતરી કરી મેળવી શકાય છે.

$$\text{અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ (M)} = \frac{\text{અજ્ઞાત પદાર્થનું વજન} \times RT}{\text{અભિસરણ દબાણ} \times \text{દ્રાવણનું કદ}}$$

પ્રોટીન, પોલીમર અને વિરાટ અણુઓના આણ્વિયદળ નક્કી કરવા માટે આ પદ્ધતિ વધુ ઉપયોગી છે. કારણ કે આવા અણુઓના આણ્વિયદળ નક્કી કરવા માટે પ્રાયોગિક અવલોકનના અંતે પ્રાપ્ત થતો ઉત્કલનબિંદુમાં વધારો કે ઠારબિંદુમાં થતા ઘટાડાનું પ્રમાણ ખૂબ જ ઓછું (આશરે 10^{-5} K) હોવાથી તેમને ચોકસાઈપૂર્વક માપવા મુશ્કેલ બને છે જ્યારે અભિસરણ દબાણમાં થતા ફેરફારનું મૂલ્ય આશરે 10^{-3} બાર જેટલું હોય છે, જે મિમી એકમમાં માપી શકાય છે. વળી પ્રોટીન જેવા જૈવિક અણુઓ ઊંચા તાપમાને સ્થાયી ન હોવાથી તેનું આણ્વિયદળ મોલલ ઉન્નયન પદ્ધતિ દ્વારા મેળવી શકાય નહિ, પરંતુ ઓરડાના તાપમાને કાર્ય કરતી અભિસરણ દબાણ માપન પદ્ધતિ દ્વારા મેળવી શકાય છે. વળી પોલીમર પદાર્થોની દ્રાવ્યતા ઓછી હોવાથી તે મંદ દ્રાવણ બનાવે છે અને મંદ દ્રાવણ માટે અભિસરણ દબાણ માપન પદ્ધતિમાં પ્રાપ્ત થતાં અવલોકનો સરળતાથી નોંધી શકાય છે જ્યારે આણ્વિયદળ નક્કી કરવાની અન્ય પદ્ધતિમાં પ્રાપ્ત થતા અવલોકનના મૂલ્ય ખૂબ જ નાના હોવાથી ચોકસાઈપૂર્વક (સરળતાથી) માપવાં મુશ્કેલ બને છે. વળી, અભિસરણ દબાણ માપન પદ્ધતિમાં દ્રાવણની સાંદ્રતા મોલાલિટીને બદલે મોલારિટીમાં માપવામાં આવે છે. તેથી અભિસરણ દબાણ માપન પદ્ધતિ બીજી પદ્ધતિઓ કરતાં વધુ ઉપયોગી છે.

દાખલો 21 : 300 K તાપમાને 1.5 ગ્રામ અજ્ઞાત પદાર્થને દ્રાવકમાં ઓગાળી દ્રાવણનું કદ 1.5 લિટર કરવાથી મળતા દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ 0.2 બાર માલૂમ પડે છે, તો અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ ગણો.

ઉકેલ :
$$\text{અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ (M)} = \frac{\text{અજ્ઞાત પદાર્થનું વજન} \times RT}{\text{અભિસરણ દબાણ} \times \text{દ્રાવણનું કદ}}$$

$$= \frac{1.5 \times 8.314 \times 10^{-2} \times 300}{0.2 \times 1.5}$$

$$= 124.71 \text{ ગ્રામ મોલ}^{-1}$$

∴ અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ 124.71 ગ્રામ મોલ^{-1} હશે.

2.16 અસામાન્ય આણ્વિયદળ અને વૉન્ટ હૉફ અવયવ (Abnormal Molecular Mass and van't Hoff Factor)

દ્રાવણના વિવિધ સંખ્યાત્મક ગુણધર્મનો સંબંધ વિદ્યુત અવિભાજ્ય જલીય દ્રાવણને અથવા દ્રાવ્ય જ્યારે દ્રાવકમાં ઓગળીને દ્રાવણ બને ત્યારે દ્રાવ્યનું સુયોજન કે વિયોજન થતું ન હોય તેવા દ્રાવ્યનાં દ્રાવણોને જ લાગુ પડે છે. કારણ કે દ્રાવ્યનું સુયોજન કે વિયોજન થતાં તેમાં દ્રાવ્યના કણની સંખ્યા જે સાંદ્રતા દર્શાવે છે, તેમાં ઘટાડો કે વધારો થાય છે જ્યારે ધ્રુવીય દ્રાવકમાં ધ્રુવીય દ્રાવ્ય ઓગાળવામાં આવે છે ત્યારે દ્રાવ્ય ધ્રુવીય હોવાથી તેનું દ્રાવણમાં આયનીકરણ થાય છે અને દ્રાવણમાં દ્રાવ્યકણોની સંખ્યા વધે છે. દા.ત., પાણીમાં NaCl, K_2SO_4, $FeCl_3$ અને $Fe_2(SO_4)_3$ દ્રાવ્ય થઈને આયનીકરણ થતાં દ્રવ્યકણની સંખ્યા અનુક્રમે 2, 3, 4 અને 5 થાય છે. તેને વિયોજન (dissociation) થયું કહેવાય. દ્રવ્યકણની સંખ્યામાં વધારો થતાં, સંખ્યાત્મક ગુણધર્મનો ઉપયોગ કરીને દ્રાવ્યનું સાચું આણ્વિયદળ મેળવી શકાતું નથી. પ્રયોગના અંતે મળતા આણ્વિયદળને અસામાન્ય આણ્વિયદળ કહે છે. વળી, કેટલાક દ્રાવ્યના અણુઓ દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થાય ત્યારે બે કે તેથી વધુ અણુઓ ભેગા થઈને સંયોજિત અણુ ઉત્પન્ન કરે છે. આ ક્રિયાને સુયોજન કહે છે. દા.ત., એસિટિક એસિડ કે બેન્ઝોઇક એસિડ જ્યારે બેન્ઝિન દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થાય છે ત્યારે દ્રાવ્યના બે અણુઓનું સુયોજન થાય છે અને તેથી દ્રાવણમાં દ્રવ્યકણોની સંખ્યામાં ઘટાડો થાય છે. તેથી આવાં દ્રાવણો માટે સંખ્યાત્મક ગુણધર્મનો ઉપયોગ કરીને દ્રાવ્ય પદાર્થો માટે સાચું આણ્વિયદળ પ્રાપ્ત થતું નથી. સાચા આણ્વિયદળ કરતાં પ્રાપ્ત થતા પ્રાયોગિક આણ્વિયદળનું મૂલ્ય વધારે હોય છે અને આવા પ્રાપ્ત થતા પ્રાયોગિક આણ્વિયદળને પણ અસામાન્ય આણ્વિયદળ કહે છે. વળી, દ્રાવણના સંખ્યાત્મક

ગુણધર્મો માત્ર મંદ દ્રાવણને જ લાગુ પડે છે. કારણ કે સાંદ્ર દ્રાવણ એટલે કે દ્રાવણની સાંદ્રતા વધારે હોય તો દ્રાવ્યના અણુઓ એકબીજાથી નજીક હોય છે. તેથી તેમની વચ્ચે આણ્વિય આકર્ષણબળ ગણનાપાત્ર હોય છે, પરિણામે સંખ્યાત્મક ગુણધર્મોને આધારે સાચું આણ્વિયદળ મેળવી શકાતું નથી. તેથી અસામાન્ય આણ્વિયદળ પ્રાપ્ત થાય છે. તેથી આવા સંજોગોમાં સાચું આણ્વિયદળ મેળવવા માટે 1880માં વૈજ્ઞાનિક વૉન્ટ હોફે એક અવયવ દાખલ કર્યો, જે વૉન્ટ હોફ અવયવ (i) તરીકે ઓળખાય છે.

$$\text{વૉન્ટ હોફ અવયવ (i)} = \frac{\text{દ્રાવ્યનું સામાન્ય આણ્વિયદળ}}{\text{દ્રાવ્યનું અસામાન્ય આણ્વિયદળ}} \quad \text{અથવા}$$

$$= \frac{\text{દ્રાવ્યનું સૈદ્ધાંતિક આણ્વિયદળ}}{\text{દ્રાવ્યનું પ્રાયોગિક આણ્વિયદળ}} \quad \text{અથવા}$$

$$\text{વૉન્ટ હોફ અવયવ (i)} = \frac{\text{સંખ્યાત્મક ગુણધર્મોનું પ્રાયોગિક મૂલ્ય}}{\text{સંખ્યાત્મક ગુણધર્મોનું સૈદ્ધાંતિક મૂલ્ય}}$$

વૉન્ટ હોફ અવયવ (i)ને દાખલ કરતાં સંખ્યાત્મક ગુણધર્મોનાં સૂત્રોને ગાણિતિક સ્વરૂપે નીચે પ્રમાણે લખી શકાય :

રાઉલ્ટનો નિયમ : $\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = i\frac{n_2}{n_1 + n_2} \simeq i\frac{n_2}{n_1}$

ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયન : $\Delta T_b = i\ K_b \cdot m$

ઠારબિંદુ અવનયન : $\Delta T_f = i\ K_f \cdot m$

દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ : $\pi = i\frac{nRT}{V}$

જ્યારે દ્રાવણમાં દ્રાવ્યનું સુયોજન થાય ત્યારે વૉન્ટ હોફ અવયવ (i) નું મૂલ્ય એક કરતાં ઓછું અને વિયોજન થાય ત્યારે તે મૂલ્ય એક કરતાં વધુ હોય છે. પરંતુ સુયોજન કે વિયોજન ન થાય ત્યારે વૉન્ટ હોફ અવયવ (i) નું મૂલ્ય એક થાય છે. કેટલાંક દ્રાવણો માટે વૉન્ટ હોફ અવયવ (i) નાં મૂલ્યો કોષ્ટક 2.3માં દર્શાવેલ છે.

કોષ્ટક 2.3 NaCl, KCl, $MgSO_4$ અને K_2SO_4ની જુદી જુદી સાંદ્રતા માટે વૉન્ટ હોફ અવયવ (i)

ક્ષાર	i નું મૂલ્ય			સંપૂર્ણ વિયોજિત દ્રાવ્ય માટે વૉન્ટ હોફ અવયવ (i)
	0.1 m	0.01 m	0.001 m	
NaCl	1.87	1.94	1.97	2.00
KCl	1.85	1.94	1.98	2.00
$MgSO_4$	1.21	1.53	1.82	2.00
K_2SO_4	2.32	2.70	2.84	3.00

વિયોજન અંશ : દ્રાવણમાં દ્રાવ્યના આપેલા જથ્થાનો જેટલો ભાગ વિયોજન પામે તેને વિયોજન અંશ (α) કહે છે.

$$\text{વિયોજન અંશ } (\alpha) = \frac{i-1}{n-1}$$

જ્યાં, i = વૉન્ટ હોફ અવયવ, n = વિયોજનથી છૂટા પડતા કુલ આયનની સંખ્યા

સુયોજન અંશ (X) : દ્રાવણમાં દ્રાવ્યના આપેલા જથ્થાનો જેટલો ભાગ સુયોજન પામે તેને તેનો સુયોજન અંશ (X) કહે છે.

$$\text{સુયોજનઅંશ } (X) = (1-i)\frac{n}{n-1}$$

જ્યાં, i = વૉન્ટ હૉફ અવયવ, n = સંયોજનથી જોડાતા અણુની સંખ્યા

દાખલો 22 : 1.0 ગ્રામ KCl ને 200 ગ્રામ પાણીમાં ઓગાળવાથી તેના ઠારબિંદુમાં થતો ઘટાડો 0.24 K હોય તો દ્રાવણ માટે વૉન્ટ હૉફ અવયવ (i) ગણો. પાણી માટે ઠારબિંદુ અવનમન અચળાંક 1.86 કે કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

ઉકેલ : $\text{દ્રાવ્યનું આણ્વિયદળ (KCl)} = \dfrac{1000 \times K_f \times \text{KClનું વજન}}{T_f \times \text{દ્રાવકનું વજન}}$

$$= \frac{1000 \times 1.86 \times 1}{0.24 \times 200}$$

$= 38.75$ ગ્રામ મોલ$^{-1}$ = પ્રાયોગિક મૂલ્ય

હવે, KClનું આણ્વિયદળ = 39 + 35.5

$= 74.5$ ગ્રામ મોલ$^{-1}$

$$\text{વૉન્ટ હૉફ અવયવ (i)} = \frac{\text{KClનું સૈદ્ધાંતિક આણ્વિયદળ}}{\text{KClનું પ્રાયોગિક આણ્વિયદળ}}$$

$$= \frac{74.5}{38.75}$$

$$= 1.92$$

∴ KClના વૉન્ટ હૉફ અવયવ (i)નું મૂલ્ય 1.92 હશે.

દાખલો 23 : 1.0 ગ્રામ બેન્ઝોઇક ઍસિડને 25 ગ્રામ બેન્ઝિનમાં દ્રાવ્ય કરતાં તેના ઠારબિંદુમાં થતું અવનયન 0.81 K હોય, તો તેનો સુયોજન અંશ (X) શોધો. દ્રાવકનો મોલલ અવનયન અચળાંક 4.9 કેલ્વિન કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

ઉકેલ : $\text{બેન્ઝોઇક ઍસિડનું આણ્વિયદળ} = \dfrac{1000 \times K_f \times \text{બેન્ઝોઇક ઍસિડનું વજન}}{T_f \times \text{દ્રાવકનું વજન}}$

$= \dfrac{1000 \times 4.9 \times 1}{0.81 \times 25} = 242$ ગ્રામ મોલ$^{-1}$

= બેન્ઝોઇક ઍસિડનું અસામાન્ય (પ્રાયોગિક) આણ્વિયદળ

$$\text{વૉન્ટ હૉફ અવયવ (i)} = \frac{\text{બેન્ઝોઇક ઍસિડનું સૈદ્ધાંતિક આણ્વિયદળ}}{\text{બેન્ઝોઇક ઍસિડનું પ્રાયોગિક આણ્વિયદળ}}$$

$$= \frac{122}{242} \cong 0.5$$

∴ બેન્ઝોઇક ઍસિડનો વૉન્ટ હૉફ અવયવ (i)નું મૂલ્ય 0.5 હશે.

સુયોજન અંશ $(X) = (1-i)\ \frac{n}{n-1}$

$$= (1 - 0.5)\left(\frac{2}{2-1}\right)$$

$$= 0.5 \times 2 = 1$$

∴ બેન્ઝોઇક ઍસિડનો સુયોજન અંશ X = 1

દાખલો 24 : 0.01 m $K_3[Fe(CN)_6]$ના જલીય દ્રાવણના ઠારબિંદુમાં મળતો ઘટાડો 0.062 K હોય, તો દ્રાવ્યનો વિયોજન અંશ (α) ગણો. દ્રાવકનો મોલલ અવનયન અચળાંક (K_f) 1.86 કેલ્વિન કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

ઉકેલ : દ્રાવણના ઠારબિંદુમાં મળતો ઘટાડો (સૈદ્ધાંતિક)

$\Delta T_f = K_f \cdot m = 1.86 \times 0.01 = 0.0186$ કેલ્વિન

વૉન્ટ હૉફ અવયવ (i) = $\frac{\text{દ્રાવણના ઠારબિંદુમાં મળતો પ્રાયોગિક ઘટાડો}}{\text{દ્રાવણના ઠારબિંદુમાં મળતો સૈદ્ધાંતિક ઘટાડો}}$

$$= \frac{0.062}{0.0186} = 3.33$$

જ્યારે $K_3[Fe(CN)_6]$ પાણીમાં ઓગળી દ્રાવણ બનાવે ત્યારે તેના આયનીકરણથી મળતા કુલ આયનની સંખ્યા (n) = 3 + 1 = 4 થાય છે.

$$K_3[Fe(CN)_6](aq) \rightleftharpoons 3K^+(aq) + [Fe(CN)_6]^{3-}(aq)$$

∴ $K_3[Fe(CN)_6]$નો વિયોજન અંશ (α) $= \frac{i-1}{n-1} = \frac{3.33-1}{4-1} = 0.778$

∴ $K_3[Fe(CN)_6]$નો વિયોજન અંશ (α) = 0.778 હશે.

દાખલો 25 : 100 ગ્રામ બેન્ઝિનમાં 2 ગ્રામ ફિનોલ ઓગાળવાથી તેના ઠારબિંદુમાં 0.69 Kનો ઘટાડો થાય છે. જો તેનું સુયોજન દ્વિઅણુક (dimeric) હોય તો તેનો સુયોજન અંશ (X) ગણો. દ્રાવક માટે મોલલ અવનયન અચળાંક (K_f) 5.12 કેલ્વિન કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

ઉકેલ : ફિનોલ (C_6H_5OH)નું સૈદ્ધાંતિક આણ્વિયદળ = 94 ગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

ફિનોલનું પ્રાયોગિક આણ્વિયદળ = $\frac{1000 \times K_f \times \text{દ્રાવ્યનું વજન}}{\Delta T_f \times \text{દ્રાવકનું વજન}}$

$$= \frac{1000 \times 5.12 \times 2}{0.69 \times 100}$$

= 148.4 ગ્રામ મોલ$^{-1}$ = ફિનોલનું અસામાન્ય આણ્વિયદળ

ફિનોલ માટે વૉન્ટ હૉફ અવયવ (i) = $\frac{\text{ફિનોલનું સૈદ્ધાંતિક આણ્વિયદળ}}{\text{ફિનોલનું પ્રાયોગિક આણ્વિયદળ}}$

$$= \frac{94}{148.4}$$

$$= 0.633$$

ફિનોલ માટે સુયોજન અંશ $(X) = (1-i)\ \frac{n}{n-1}$

$$= (1-0.633)\ \frac{2}{2-1}$$

$$= 0.367 \times 2 = 0.734$$

ફિનોલ માટે સુયોજન અંશ (X)નું મૂલ્ય 0.734 હશે.

સારાંશ

- બે કે તેથી વધુ પદાર્થ મિશ્ર થઈને સમાંગ અથવા એકરૂપ મિશ્રણ બનાવે તો તેવા મિશ્રણને દ્રાવણ કહે છે.
- દ્રાવણમાં જે ઘટકનું પ્રમાણ સૌથી વધારે હોય તેને દ્રાવક અને જે ઘટક અથવા ઘટકોનું પ્રમાણ ઓછું હોય તેને દ્રાવ્ય કહે છે.
- દ્રાવણમાં એક દ્રાવક અને એક કે એક કરતાં વધુ દ્રાવ્ય ઘટકો હોઈ શકે.
- જે દ્રાવણમાં એક દ્રાવ્ય અને એક દ્રાવક હોય તેવા દ્રાવણને દ્વિઅંગી દ્રાવણ કહે છે.
- દ્રાવણોના ત્રણ પ્રકાર છે : ઘન દ્રાવણ, પ્રવાહી દ્રાવણ અને વાયુમય દ્રાવણ.
- આપેલા દ્રાવણમાં દ્રાવકની જે ભૌતિક અવસ્થા હોય તે દ્રાવણની ભૌતિક અવસ્થા બને છે.
- ધ્રુવીય દ્રાવકમાં ધ્રુવીય દ્રાવ્ય અને અધ્રુવીય દ્રાવકમાં અધ્રુવીય દ્રાવ્ય ઓગાળતાં સમાંગ મિશ્રણ (દ્રાવણ) બને છે.
- જો દ્રાવ્યમાં –OH સમૂહની સંખ્યામાં વધારો થતો હોય તો તે પાણીમાં વધુ દ્રાવ્ય હોય છે.
- મોટા ભાગના આયનીય પદાર્થો ધ્રુવીય દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય હોય છે.
- દ્રાવક તરીકે પાણી હોય તો તેને જલીય દ્રાવણ કહે છે અને તે સિવાયના દ્રાવકોથી બનતા દ્રાવણને બિનજલીય દ્રાવણ કહે છે.
- **ફૉર્માલિટી :** 1 લિટર જલીય દ્રાવણમાં પદાર્થના 1 ગ્રામ સૂત્રદળ જેટલું વજન ઓગાળતાં મળતા દ્રાવણને 1 ફૉર્મલ (F) દ્રાવણ કહે છે.

  $$\text{ફૉર્માલિટી (F)} = \frac{1000 \times \text{દ્રાવ્યનું વજન (ગ્રામમાં)}}{\text{દ્રાવ્યનું પ્રમાણ સૂત્રદળ} \times \text{દ્રાવ્યનું કદ (મિલિ)}}$$

- **વજન-કદથી ટકાવારી (% W / V) :** 100 મિલિ દ્રાવણમાં દ્રાવ્ય થયેલા પદાર્થના વજનને તેના વજન-કદથી ટકા કહે છે.

  $$(\%\ W / V) = \frac{100 \times \text{દ્રાવ્યનું વજન}}{\text{દ્રાવણનું કદ}}$$

- **કદથી ટકાવારી (% V / V) :** 100 મિલિ દ્રાવણમાં દ્રાવ્ય થયેલા પદાર્થના કદને કદથી ટકા (% V / V) કહે છે.

$$(\% V / V) = \frac{100 \times \text{દ્રાવ્યનું કદ (મિલિ)}}{\text{દ્રાવણનું કદ (મિલિ)}}$$

- **પાર્ટ્સ પર મિલિયન (ppm) :** કેટલીક વખત દ્રાવણમાં દ્રાવ્યની માત્રા ખૂબ જ અલ્પ પ્રમાણમાં હોય ત્યારે તેને પાર્ટ્સ પર મિલિયન (ppm) વડે દર્શાવાય છે. પાર્ટ્સ પર મિલિયન એકમ જુદી જુદી ત્રણ રીતે રજૂ શકાય :

  (1) વજન-વજનથી પાર્ટ્સ પર મિલિયન (2) વજન-કદથી પાર્ટ્સ પર મિલિયન (3) કદ-કદથી પાર્ટ્સ પર મિલિયન

- $$\text{વજન-કદથી પાર્ટ્સ પર મિલિયન} = \frac{\text{દ્રાવ્યનો જથ્થો (મિલિગ્રામ)}}{\text{દ્રાવણનો જથ્થો (લિટર)}}$$

  તેથી તેનો એકમ મિલિગ્રામ લિટર$^{-1}$ લખી શકાય.

- આપેલા તાપમાને અને દબાણે ચોક્કસ જથ્થાના દ્રાવકમાં ઓગળેલા પદાર્થના મહત્તમ જથ્થાને તે પદાર્થની દ્રાવ્યતા કહે છે.
- ઘન, પ્રવાહી અને વાયુની દ્રાવ્યતા પર તાપમાનની અસર થાય છે.
- **હેન્રીનો નિયમ :** 'અચળ તાપમાને વાયુમય દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતા પ્રવાહી દ્રાવકમાં તે વાયુના દબાણના સમપ્રમાણમાં હોય છે.'
- વાયુમય દ્રાવ્યનું આંશિક દબાણ $p = K_H \cdot X$ જયાં, K_H હેન્રીનો અચળાંક છે, જે તાપમાન પર આધાર રાખે છે.
- હેન્રીના નિયમની મર્યાદાઓ અને ઉપયોગો એકમમાં દર્શાવ્યા પ્રમાણે છે.
- ઘન દ્રાવ્ય જ્યારે ઘન દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય થાય ત્યારે વિસ્થાપિત ઘન દ્રાવણ (પિત્તળ, બ્રૉન્ઝ, સ્ટીલ મોનલ મેટલ વગેરે) તેમજ આંતરાલીય ઘન દ્રાવણ (WC) બનાવે છે.
- ઘન દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતાથી પ્રવાહી દ્રાવકમાં બનતા દ્રાવણ પર અસર કરતાં પરિબળો તાપમાન અને દબાણ છે.
- જો દ્રાવ્યને દ્રાવકમાં ઓગાળી દ્રાવણ બનાવવામાં આવે તો બાષ્પદબાણમાં ઘટાડો, ઉત્કલનબિંદુમાં વધારો અને ઠારબિંદુમાં ઘટાડો થાય છે. દ્રાવણના આ ગુણધર્મોને દ્રાવણના સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.
- **રાઉલ્ટનો નિયમ :** બાષ્પશીલ દ્રાવકમાં અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ઓગાળવાથી બનતા દ્રાવણના બાષ્પદબાણમાં થતો સાપેક્ષ ઘટાડો દ્રાવ્યના મોલઅંશ બરાબર હોય છે.

  ગાણિતિક રીતે લખતાં, $X_2 = \frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0}$

- રાઉલ્ટના નિયમની કેટલીક મર્યાદાઓ છે પરંતુ જે દ્રાવણો સાંદ્રતાની સંપૂર્ણ મર્યાદામાં રાઉલ્ટના નિયમને અનુસરે છે તેને આદર્શ દ્રાવણ કહે છે અને જે દ્રાવણો રાઉલ્ટના નિયમને અનુસરતા નથી તેમને બિનઆદર્શ દ્રાવણો અથવા સાચાં દ્રાવણો કહે છે.
- શુદ્ધ દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય ઓગાળી બનાવાતા દ્રાવણના ઉત્કલનબિંદુમાં થતાં વધારાને ઉત્કલનબિંદુમાં ઉન્નયન કહે છે.

- **મોલલ ઉન્નયન અચળાંક :** 1 કિલોગ્રામ દ્રાવકમાં 1 ગ્રામ આણ્વિયદળ જેટલા વજનનો અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ઓગાળીને દ્રાવણ બનાવતાં તેના ઉત્કલનબિંદુમાં થતા વધારાને મોલલ ઉન્નયન અચળાંક કહે છે.

$$K_b = \frac{\Delta T_b \times w_1 \times M_2}{1000 \times w_2}$$ થશે.

- **મોલલ અવનયન અચળાંક :** 1 કિલોગ્રામ દ્રાવકમાં 1 ગ્રામ આણ્વિયદળ જેટલા વજનનો અબાષ્પશીલ દ્રાવ્ય ઓગાળીને દ્રાવણ બનાવતાં તેના ઠારબિંદુમાં થતા ઘટાડાને મોલલ અવનયન અચળાંક (K_f) કહે છે.

$$K_f = \frac{\Delta T_f \times M_2 \times w_1}{1000 \times w_2}$$ થશે.

- **અભિસરણ :** જુદી જુદી સાંદ્રતા ધરાવતાં દ્રાવણોને અર્ધપારગમ્ય પડદા વડે અલગ કરતાં, ઓછી સાંદ્રતા ધરાવતાં દ્રાવણથી વધુ સાંદ્રતા ધરાવતા દ્રાવણ તરફ દ્રાવકના સ્વયંભૂ પ્રવાહને અભિસરણ કહે છે.
- **અભિસરણ દબાણ :** જે દબાણ લગાડવાથી આ અભિસરણને અટકાવી શકાય તેને અભિસરણ દબાણ (π) કહે છે.
- **બૉઈલ-વૉન્ટ હૉફનો નિયમ :** નિયત તાપમાને દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ (π) દ્રાવણની મોલર સાંદ્રતાના સમપ્રમાણમાં હોય છે. $\pi \propto C$
- **ગેલ્યુસેક-વૉન્ટ હૉફ નિયમ :** જો દ્રાવણની સાંદ્રતા અચળ હોય તો દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ તેના નિરપેક્ષ તાપમાનના સમપ્રમાણમાં હોય છે. $\pi \propto T$
- **ઍવોગેડ્રો-વૉન્ટ હૉફનો નિયમ :** સરખા તાપમાને જેના અભિસરણ દબાણ એકસમાન હોય તેવાં વિવિધ દ્રાવણોના સરખા કદમાં દ્રાવ્ય અણુઓની સંખ્યા એકસમાન હોય છે. $\pi \propto n$

$$\pi = \frac{nRT}{V} = \frac{wRT}{MV}$$ થશે.

- **સમઅભિસારી (સમદાબી) દ્રાવણો :** જે દ્રાવણોના અભિસરણ દબાણ સમાન હોય તેવાં દ્રાવણોને સમઅભિસારી અથવા સમદાબી દ્રાવણો કહે છે.
- જે દ્રાવણમાં બીજા દ્રાવણની સરખામણીમાં અભિસરણ દબાણ ઓછું છે તેને હાઇપોટોનિક દ્રાવણ કહે છે.
- જે દ્રાવણમાં બીજા દ્રાવણની સરખામણીમાં અભિસરણ દબાણ વધુ છે તેને હાઇપરટોનિક દ્રાવણ કહે છે.
- **આણ્વિયદળ નક્કી કરવાની વિવિધ પદ્ધતિઓ :**

(i) રાઉલ્ટના નિયમનો ઉપયોગ : $\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = \frac{w_2 \times M_1}{M_2 \times w_1}$

(ii) મોલલ ઉન્નયન માપન પદ્ધતિ :

$$\text{દ્રાવ્ય પદાર્થનું આણ્વિયદળ} = \frac{K_b \times 1000 \times \text{દ્રાવ્ય પદાર્થનું વજન}}{\text{ઉત્કલનબિંદુમાં ઉન્નયન} \times \text{દ્રાવકનું વજન}}$$

(iii) મોલલ અવનયન માપન પદ્ધતિ :

$$\text{દ્રાવ્ય પદાર્થનું આણ્વિયદળ} = \frac{K_f \times 1000 \times \text{દ્રાવ્ય પદાર્થનું વજન}}{\text{ઠારબિંદુમાં અવનયન} \times \text{દ્રાવકનું વજન}}$$

(iv) અભિસરણ દબાણ માપન પદ્ધતિ :

$$\text{દ્રાવ્ય પદાર્થનું આણ્વિયદળ} = \frac{\text{દ્રાવ્ય પદાર્થનું વજન} \times RT}{\text{દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ} \times \text{દ્રાવણનું કદ}}$$

- દ્રાવણના સંખ્યાત્મક ગુણધર્મો એવાં દ્રાવણોને લાગુ પડે છે જેઓ સુયોજન કે વિયોજન પામતા નથી.
- વૉન્ટ હૉફ અવયવ (i) સામાન્ય વર્તણૂકથી થતા વિચલન માટે દાખલ કરવામાં આવ્યો.
- $\text{વૉન્ટ હૉફ અવયવ (i)} = \frac{\text{દ્રાવ્યનું સૈદ્ધાંતિક આણ્વિયદળ}}{\text{દ્રાવ્યનું પ્રાયોગિક આણ્વિયદળ}}$
- રાઉલ્ટનો નિયમ : $\frac{p_1^0 - p_1}{p_1^0} = i\,\frac{n_2}{n_1 + n_2} \simeq i\,\frac{n_2}{n_1}$
- ઉત્કલનબિંદુ ઉન્નયન : $\Delta T_b = i\ K_b \cdot m$
- ઠારબિંદુ અવનયન : $\Delta T_f = i\ K_f \cdot m$
- દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ : $\pi = i\,\frac{nRT}{V}$
- સુયોજન અંશ (X) $= (1 - i)\,\frac{n}{n-1}$
- વિયોજન અંશ $(\alpha) = \frac{i-1}{n-1}$

સ્વાધ્યાય

1. આપેલા વિકલ્પોમાંથી યોગ્ય વિકલ્પ પસંદ કરો :

(1) તાપમાન બદલાતાં કઈ સાંદ્રતાના એકમના મૂલ્યમાં ફેરફાર થાય છે ?

(A) નૉર્માલિટી (B) મોલારિટી (C) % v/v (D) બધી જ

(2) પેટ્રોલ કયા પ્રકારનું દ્રાવણ છે ?

(A) ઘન-પ્રવાહી (B) પ્રવાહી-પ્રવાહી (C) વાયુ-પ્રવાહી (D) બધા જ

(3) 10 મિલિ દ્રાવણમાં 2×10^{-6} ગ્રામ CO_2 દ્રાવ્ય થયેલો હોય, તો તેની સાંદ્રતા ppmના એકમમાં કેટલી હશે ?

(A) 2 (B) 0.2 (C) 200 (D) 2×10^{-6}

(4) ઇથાઇલ આલ્કોહોલમાં નીચેનામાંથી કયા વાયુની દ્રાવ્યતા સૌથી વધુ હશે ?

(A) H_2S (B) NH_3 (C) N_2 (D) CO_2

(5) નીચેનામાંથી કયો પદાર્થ પાણીમાં સૌથી વધુ દ્રાવ્ય હશે ?

(A) ઇથેનોલ (B) ઇથિલીન ગ્લાયકોલ

(C) ગ્લિસરીન (D) પ્રોપેનોલ

(6) તાપમાન વધતાં વાયુમય દ્રાવ્યની પ્રવાહીમાં દ્રાવ્યતાનું મૂલ્ય

(A) વધે છે. (B) ઘટે છે. (C) અચળ રહે છે. (D) કહી શકાય નહિ.

(7) તાપમાન વધતાં હેન્રી અચળાંકનું મૂલ્ય

(A) ઘટે છે. (B) વધે છે. (C) અચળ રહે છે. (D) કહી શકાય નહિ.

(8) કયા દ્રાવણના બાષ્પદબાણ પર તાપમાનની અસર સૌથી વધુ વર્તાય છે ?

(A) ખાંડનું દ્રાવણ (B) NaClનું દ્રાવણ (C) $BaCl_2$નું દ્રાવણ (D) જલીય H_2S

(9) 0.02 m સાંદ્રતા ધરાવતા નીચેનામાંથી કયા દ્રાવણનું ઉત્કલનબિંદુ સૌથી વધારે હશે ?

(A) યુરિયા (B) NaCl (C) Na_2SO_4 (D) $K_4[Fe(CN)_6]$

(10) 0.5 M ગ્લુકોઝનું જલીય દ્રાવણ કયા દ્રાવણ સાથે સમઅભિસારી હશે ?

(A) 0.1 m NaCl (B) 0.05 m NaCl (C) 0.25 m NaCl (D) 1 m NaCl

(11) $FeCl_3$ના જલીય મંદ દ્રાવણ માટે વૉન્ટ હોફ અવયવ (i)નું મૂલ્ય કેટલું હશે ?

(A) 1 (B) < 1 (C) > 1 (D) શૂન્ય

(12) એસિટિક એસિડને બેન્ઝિનમાં ઓગાળતાં બનતા દ્રાવણ માટે વૉન્ટ હૉફ અવયવ (i)નું મૂલ્ય કેટલું હશે?

(A) 0 (B) 1 (C) > 1 (D) < 1

(13) 10 % W/W NaOHના જલીય દ્રાવણની મોલાલિટીનું મૂલ્ય કેટલું હશે ?

(A) 2.778 (B) 2.5 (C) 10 (D) 5

(14) કયા દ્રવ્ય માટે તેના જલીય દ્રાવણનું વૉન્ટ હૉફ અવયવનું મૂલ્ય એક હશે ?

(A) મીઠું (B) સુરોખાર (C) ગ્લુકોઝ (D) વિનેગાર

(15) કયા દ્રાવ્યના જલીય દ્રાવણ માટે વૉન્ટ હોફ અવયવ (i)નું મૂલ્ય 1 ન હોય ?

(A) ગ્લુકોઝ (B) ખાંડ (C) ફ્રુક્ટોઝ (D) સરકો

(16) બિનઆદર્શ દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ રાઉલ્ટના નિયમથી મળેલા બાષ્પદબાણ કરતાં

(A) વધુ હોય. (B) ઓછું હોય. (C) સમાન હોય. (D) A અને B બંને

(17) કયું દ્રાવણ હાઇપોટોનિક કહી શકાય ?

(A) 0.1 m NaCl (B) 0.1 m ખાંડ

(C) 0.1m Na_2SO_4 (D) 0.1 m $FeCl_3$

(18) બાષ્પશીલ ઘટક A અને Bના જલીય દ્રાવણનું સંતુલન સ્થિતિએ કુલ દબાણ 0.02 બાર છે. જો ઘટકAના મોલઅંશ 0.2 હોય, તો ઘટક Bનું આંશિક દબાણ કેટલું હશે ?

(A) 0.02 બાર (B) 0.04 બાર (C) 0.016 બાર (D) 0.2 બાર

(19) કયું દ્રાવણ હાઇપરટોનિક કહી શકાય ?

(A) 0.01 M $FeCl_3$ (B) 0.01 M NaOH

(C) 0.1 M યુરિયા (D) 0.1 M Na_2SO_4

2. નીચેના પ્રશ્નોના ટૂંકમાં જવાબ લખો :

(1) વ્યાખ્યા આપો : દ્રાવણ

(2) દ્રાવણમાં દ્રાવ્ય અને દ્રાવક કોને કહે છે ?

(3) દ્રાવણના પ્રકાર લખો.

(4) ભેજવાળી હવા, ઝિંક સંરસ અને સૂકી હવા કયા પ્રકારના દ્રાવણ છે ?

(5) વ્યાખ્યા આપો : ફૉર્માલિટી, દ્રાવ્યતા, ppm

(6) દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતા પર તાપમાનની અસર વર્ણવો.

(7) વિસ્થાપિત ઘન દ્રાવણનાં ઉદાહરણ જણાવો.

(8) સંતૃપ્ત દ્રાવણ એટલે શું ?

(9) મોલલ ઉન્નયન એટલે શું ?

(10) મોલલ અવનયન એટલે શું ?

(11) બૉઇલ-વૉન્ટ હૉફનો નિયમ લખો.

(12) અભિસરણ એટલે શું ?

(13) અભિસરણ દબાણ એટલે શું ?

(14) અસામાન્ય આણ્વિયદળ એટલે શું ?

(15) સુયોજન અંશ (X)નું સૂત્ર લખો.

(16) દ્વિઅંગી દ્રાવણ કોને કહેવાય ?

(17) વૉન્ટ હૉફ અવયવનું મૂલ્ય એક કરતાં વધુ ક્યારે હશે ?

(18) સમઅભિસારી દ્રાવણ કોને કહેવાય ?

(19) પોલીમર માટે આણ્વિયદળ નક્કી કરવા કઈ પદ્ધતિ વધુ યોગ્ય છે ?

(20) ઠારબિંદુ એટલે શું ?

3. નીચેના પ્રશ્નોના ઉત્તર લખો :

(1) ઘન દ્રાવણના પ્રકાર, ઉદાહરણ સહિત લખો.

(2) વાયુ દ્રાવણના પ્રકાર, ઉદાહરણ સહિત લખો.

(3) % V/V ટૂંકમાં સમજાવો.

(4) ppm એકમ ઉદાહરણથી સમજાવો.

(5) જલીય H_2Sના દ્રાવણમાં દ્રાવ્યની દ્રાવ્યતા પર અસર કરતાં પરિબળો લખો.

(6) હેન્રીના નિયમની ઉપયોગિતા લખો.

(7) વિસ્થાપિત ઘન દ્રાવણ ટૂંકમાં સમજાવો.

(8) આંતરાલીય ઘન દ્રાવણ ટૂંકમાં સમજાવો.

(9) અભિસરણ દબાણના બે ઉપયોગો લખો.

(10) મોલલ ઉન્નયન માપન પદ્ધતિ સમજાવો.

(11) સુયોજન અને વિયોજન સમજાવો.

(12) દ્રાવણના સંખ્યાત્મક ગુણધર્મ એટલે શું ?

(13) વૉન્ટ હૉફ અવયવ (i) શાથી દાખલ કરવો પડ્યો ?

4. નીચેના પ્રશ્નોના વિગતવાર ઉત્તર લખો :

(1) હેન્રીનો નિયમ લખો, સૂત્ર તારવો અને મર્યાદા લખો.

(2) મોલલ ઉન્નયન અચળાંક એટલે શું ? સૂત્ર તારવો.

(3) રાઉલ્ટનો નિયમ લખી, સૂત્ર તારવો.

(4) વાયુમય દ્રાવ્ય અને પ્રવાહી દ્રાવકથી બનતા દ્રાવણની દ્રાવ્યતા પર અસર કરતાં પરિબળો લખી સમજાવો.

(5) બાષ્પશીલ દ્રાવ્ય અને દ્રાવક માટે રાઉલ્ટના નિયમનું સૂત્ર તારવો.

(6) મોલલ અવનયન અચળાંક એટલે શું ? સૂત્ર તારવો.

(7) આણ્વિયદળ નક્કી કરવાની જુદી જુદી રીત લખી સમજાવો.

(8) અભિસરણ દબાણના નિયમો લખી સૂત્ર તારવો.

(9) સમઅભિસારી દ્રાવણો સમજાવી, અભિસરણ દબાણના નિયમ લખો.

(10) અસામાન્ય આણ્વિયદળ સમજાવી, વૉન્ટ હૉફ અવયવ સમજાવો.

(11) વૉન્ટ હૉફ અવયવ (i) દાખલ કરવાથી મળતા સંખ્યાત્મક ગુણધર્મોનાં સૂત્ર સમજાવો.

(12) નીચેના દાખલા ગણો :

(1) 2 લિટર દ્રાવણમાં 4.78 ગ્રામ પોટાશ ઍલમ દ્રાવ્ય થાય તો દ્રાવણની ફૉર્માલિટી ગણો.

(2) 5 % V / V સાંદ્રતા ધરાવતું ઇથેનૉલનું 2 લિટર જલીય દ્રાવણ બનાવવા કેટલા મિલિ ઇથેનૉલની જરૂર પડે ?

(3) 0.2 M NaOHના દ્રાવણની વજન-કદથી ટકાવારી શોધો.

(4) 2 લિટર દ્રાવણમાં 2×10^{-7} કિલોગ્રામ કેલ્શિયમ બાયકાર્બોનેટ દ્રાવ્ય થયેલો હોય તો દ્રાવણના ppm ગણો.

(5) 300 K તાપમાને Cl_2 વાયુનું આંશિક દબાણ 2.5×10^{-8} બાર હોય તો તેની પાણીમાં દ્રાવ્યતા મોલઅંશમાં ગણો. વાયુ માટે K_Hનું મૂલ્ય 7.1×10^{-4} બાર છે.

(6) 300 K તાપમાને H_2S વાયુ 1 લિટર પાણીમાંથી પસાર કરતાં કેટલા મિલિમોલ દ્રાવ્ય થશે ? K_Hનું મૂલ્ય 5.6×10^{-4} બાર છે અને વાયુનું આંશિક દબાણ 3×10^{-8} બાર છે.

(7) 0.1 m ગ્લુકોઝના જલીય દ્રાવણનું 300 K તાપમાને બાષ્પદબાણ ગણો. 300 K તાપમાને પાણીનું બાષ્પદબાણ 0.03 બાર છે.

(8) બેન્ઝિન અને ટોલ્યુઇનના બાષ્પદબાણ અનુક્રમે 0.9 બાર અને 0.85 બાર છે. 7.8 ગ્રામ બેન્ઝિનને 180 ગ્રામ ટોલ્યુઇનમાં મિશ્ર કરતાં બનતા દ્રાવણનું બાષ્પદબાણ ગણો.

(9) 2.5 % W / W સાંદ્રતા ધરાવતા ખાંડના દ્રાવણનું ઉત્કલનબિંદુ શોધો. દ્રાવકના મોલલ ઉન્નયન અચળાંકનું મૂલ્ય 4 કે કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

(10) 500 ગ્રામ પાણીમાં કેટલા ગ્રામ યૂરિયા ઓગાળવાથી મળતા દ્રાવણના ઠારબિંદુમાં 0.2 કેલ્વિનનો ઘટાડો થાય છે ? દ્રાવકના K_f નું મૂલ્ય 3.2 કે કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

(11) 298 K તાપમાને 2 લિટર જલીય દ્રાવણમાં કેટલા ગ્રામ ગ્લુકોઝ ઓગાળવાથી દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ 0.5 બાર થાય ?

(12) 2 % W / V યૂરિયાના જલીય દ્રાવણનું 300 K તાપમાન અભિસરણ દબાણ ગણો. આ દ્રાવણ NaOHના જલીય દ્રાવણના કેટલા % W / V સાથે સમઅભિસારી હશે ?

(13) 298 K તાપમાને 10 ગ્રામ અબાષ્પશીલ અજ્ઞાત પદાર્થને 540 ગ્રામ પાણીમાં ઓગાળવાથી પાણીનું બાષ્પદબાણ 0.0335 બારથી ઘટીને 0.033 બાર માલૂમ પડે, તો અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ શોધો.

(14) 500 ગ્રામ પાણીમાં 1.5 ગ્રામ અજ્ઞાત પદાર્થ દ્રાવ્ય કરતાં તેના ઉત્કલનબિંદુમાં 0.2 Kનો વધારો થાય છે, તો અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ શોધો. દ્રાવકનો મોલલ ઉન્નયન અચળાંક 3 કે કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

(15) 1 કિલોગ્રામ પાણીમાં 2 ગ્રામ અજ્ઞાત પદાર્થ દ્રાવ્ય કરતાં તેના ઠારબિંદુમાં 0.4 Kનો ઘટાડો થાય છે. જો દ્રાવકનો મોલલ અવનયન અચળાંક 4.5 કે કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ હોય, તો દ્રાવ્યનું આણ્વિયદળ શોધો.

(16) 10 લિટર દ્રાવણમાં 300 K તાપમાને 5 ગ્રામ અજ્ઞાત પદાર્થ ઓગાળવાથી દ્રાવણનું અભિસરણ દબાણ 0.2 બાર માલૂમ પડે, તો અજ્ઞાત પદાર્થનું આણ્વિયદળ ગણો.

(17) 2 ગ્રામ $FeCl_3$ને 250 મિલિ પાણીમાં દ્રાવ્ય કરતાં તેના ઠારબિંદુમાં થતો ઘટાડો 0.3 K માલૂમ પડે છે. દ્રાવણ માટે વૉન્ટ હૉફ અવયવ (i) ગણો. દ્રાવક માટે મોલલ અવનયન અચળાંક 1.5 કે કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

(18) 0.02 m $Al_2(SO_4)_3$ના જલીય દ્રાવણના ઉત્કલનબિંદુમાં 0.04 Kનો વધારો થતો હોય, તો દ્રાવ્યનો વિયોજન અંશ ગણો. દ્રાવકનો મોલલ ઉન્નયન અચળાંક 1.9 કે કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

(19) 100 ગ્રામ ટોલ્યુઇનમાં 1.5 ગ્રામ ફિનોલ ઓગાળવાથી તેના ઠારબિંદુમાં 0.56 Kનો ઘટાડો થાય છે. જો તેનું સુયોજન દ્વિઅણુક હોય, તો તેનો સુયોજન અંશ ગણો. દ્રાવક માટે મોલલ અવનયન અચળાંક 4 કે. કિલોગ્રામ મોલ$^{-1}$ છે.

•

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 :

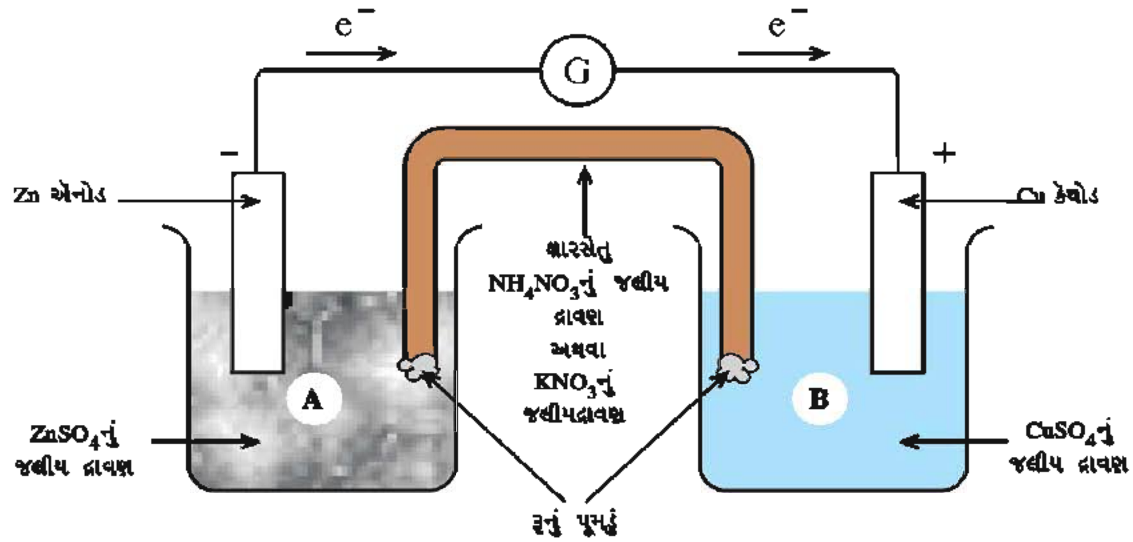
$$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$$

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

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

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

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 ગેલ્વેનોમીટર 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 ગેલ્વેનિક 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., $Zn(s) \mid Zn^{2+}(aq)$ અને $Cu(s) \mid Cu^{2+}(aq)$. 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 ઇલેક્ટ્રોન 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 ઇલેક્ટ્રોન 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 $\parallel$ (બે ઊભી લીટી) ચિહ્ન દ્વારા દર્શાવાય છે. જો ક્ષારસેતુનો ઉપયોગ ન કરવામાં આવ્યો હોય તો તેમાં $\mid$ (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) $Zn(s) \mid Zn^{2+}(aq, 1M) \parallel Cu^{2+}(aq, 1M) \mid Cu(s)$

(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 ઇલેક્ટ્રોન મેળવવાની કે ઇલેક્ટ્રોન 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 બ્લેકનો 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 કોપરના તાર

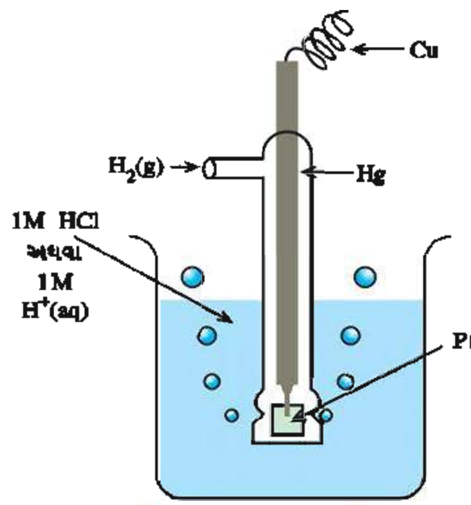
મારફત બાહ્ય જોડાણ કરવામાં આવે છે. આ પછી પરથી 298 K તાપમાને અને 1 બાર દબાણે ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ પસાર કરવામાં આવે છે.

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 પ્લૅટિનમની પટ્ટી પર નીચેની રિડક્શન પ્રક્રિયા થાય છે :

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

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

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



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 વોલ્ટ 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 હાઇડ્રોજન 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. વોલ્ટમીટર 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) $\ominus\ Zn(s)\,|\,Zn^{2+}(1M)\,||\,Cu^{2+}(1M)\,|\,Cu(s)\ \oplus$

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 રેડૉક્ષ 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 :

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

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 હાઇડ્રોજન 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.,

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

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

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

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

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

દાખલો 1 : 298 K તાપમાને નીચે આપેલા કોષનો પોટેન્શિયલ 2.36 વોલ્ટ 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 : $Mg(s) + 2H^+(aq) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + H_2(g)$

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

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

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

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

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

દાખલો 2 : 298 K તાપમાન નીચે આપેલા કોષનો પોટેન્શિયલ 0.34 વોલ્ટ છે, તો કોપર 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 કોપરનો વિદ્યુતધ્રુવ કૅથોડ છે.

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

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

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

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

આ અર્ધ કોષનો પ્રમાણિત રિડક્શન-પોટેન્શિયલ $E^0_{Cu^{2+} \mid Cu} = 0.34$ વોલ્ટ થશે અને આ જ અર્ધ કોષના પ્રમાણિત ઑક્સિડેશન પોટેન્શિયલ $E^0_{Cu \mid Cu^{2+}} = -0.34$ વોલ્ટ 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 પોટેન્શિયલનાં 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 પોટેન્શિયલનું 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 વોલ્ટ છે, જે $E^0_{Cu^{2+}|Cu}$ના મૂલ્ય +0.34 વોલ્ટ 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 : $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$ (રેડોક્ષ)

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

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

$$= 0.34 - (-0.76)$$

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

3.5 ઈ.એમ.એફ. શ્રેણી (emf Series)

જ્યારે વિદ્યુતકોષનો પોટૅન્શિયલ હાઈડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવના સંદર્ભમાં માપવામાં આવે ત્યારે બીજા વિદ્યુતધ્રુવના પોટૅન્શિયલને **ઈલેક્ટ્રોમોટિવ 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 (↓)

$Br_2 + 2e^-$	→	$2Br^-$	1.09
$NO_3^- + 4H^+ + 3e^-$	→	$NO(g) + 2H_2O$	0.97
$2Hg^{2+} + 2e^-$	→	Hg_2^{2+}	0.92
$Ag^+ + e^-$	→	$Ag(s)$	0.80
$Fe^{3+} + e^-$	→	Fe^{2+}	0.77
$O_2(g) + 2H^+ + 2e^-$	→	H_2O_2	0.68
$I_2 + 2e^-$	→	$2I^-$	0.54
$Cu^+ + e^-$	→	$Cu(s)$	0.52
$Cu^{2+} + 2e^-$	→	$Cu(s)$	0.34
$AgCl(s) + e^-$	→	$Ag(s) + Cl^-$	0.22
$AgBr(s) + e^-$	→	$Ag(s) + Br^-$	0.10
$2H^+ + 2e^-$	→	$H_2(g)$	**0.00**
$Pb^{2+} + 2e^-$	→	$Pb(s)$	– 0.13
$Sn^{2+} + 2e^-$	→	$Sn(s)$	– 0.14
$Ni^{2+} + 2e^-$	→	$Ni(s)$	– 0.25
$Fe^{2+} + 2e^-$	→	$Fe(s)$	– 0.44
$Cr^{3+} + 3e^-$	→	$Cr(s)$	– 0.74
$Zn^{2+} + 2e^-$	→	$Zn(s)$	– 0.76
$2H_2O + 2e^-$	→	$H_2(g) + 2OH^-(aq)$	– 0.83
$Al^{3+} + 3e^-$	→	$Al(s)$	– 1.66
$Mg^{2+} + 2e^-$	→	$Mg(s)$	– 2.36
$Na^+ + e^-$	→	$Na(s)$	– 2.71
$Ca^{2+} + 2e^-$	→	$Ca(s)$	– 2.87
$K^+ + e^-$	→	$K(s)$	– 2.93
$Li^+ + e^-$	→	$Li(s)$	– 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 ક્યો વિદ્યુતધ્રુવ ઍનોડ બનશે અને ક્યો 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) $E^0_{Zn^{2+}|Zn} = -0.76$ વોલ્ટ (2) $E^0_{Ag^+|Ag} = 0.80$ વોલ્ટ

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

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

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

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

$$= 1.56 \text{ વોલ્ટ}$$

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

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) $\oplus$

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

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

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

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

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

$$= (-0.28) - (-2.37) = 2.09 \text{ વોલ્ટ}$$

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 કૅલ્વિનમાં અને $[M^{n+}]$ સ્વરૂપની સાંદ્રતા દર્શાવે છે.

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

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

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

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

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

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 :

$$aA + bB \xrightleftharpoons{ne^-} cC + dD$$

નર્ન્સ્ટ સમીકરણ અનુસાર,

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

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

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

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

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

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

જેમાં દર્શાવેલા પોટેન્શિયલ ઑક્સિડેશન પોટેન્શિયલ હોય છે.

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

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

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

ઉકેલ : અહીં ઝિંકનો વિદ્યુતધ્રુવ એનોડ અને કોપરનો વિદ્યુતધ્રુવ કૅથોડ છે. તેના પ્રમાણિત રિડક્શન પોટેન્શિયલ મૂલ્યો આપેલાં છે, જેના પરથી મૂલ્યની ગણતરી કરતાં,

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

$$= 0.34 - (-\ 0.76\ )$$

$$= 0.34 + 0.76$$

$= 1.10$ વોલ્ટ

કોષ-પ્રક્રિયા :

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

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

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

અહીં, $n = 2$ થશે.

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

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

$$= 1.10 - 0.0295 \log 2.0$$

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

$$= 1.10 - 0.0089$$

$= 1.0911$ વોલ્ટ

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. $E^0_{Cell} = 3.17$ વોલ્ટ

ઉકેલ : કોષ નીચે પ્રમાણે લખાય :

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

કોષ-પ્રક્રિયા :

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

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

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

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.

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

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

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

સામાન્ય રીતે વધારે સાંદ્રતાવાળા દ્રાવણમાં રિડક્શન થવાથી તે જમણી બાજુ લખાશે અને તે કેથોડ તરીકે વર્તશે. સાંદ્રતા કોષના કોષ પોટેન્શિયલ 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 પોટેન્શિયલ અને ઑક્સિડેશન પોટેન્શિયલના 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 એનોડ અર્ધ કોષ અને કેથોડ અર્ધ કોષનાં પોટેન્શિયલ 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 પોટેન્શિયલ 0.80 વૉલ્ટ છે. 298 K તાપમાને નીચે આપેલા કોષનો પોટેન્શિયલ ગણો :

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

ઉકેલ :

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

એનોડ : $Ag(s) \rightleftharpoons Ag^+(0.25M) + e^-$ (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 $E^0_{Cell} = 0.00$ વોલ્ટ છે.

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

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

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

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

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

$$\ominus\ Cu(s) \mid Cu^{2+}(0.1M) \parallel Cu^{2+}(1M) \mid Cu(s)\ \oplus$$

ઉકેલ :

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

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

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

(C_2) (C_1)

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

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

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

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

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

સાંદ્રતા કોષનો પોટેન્શિયલ 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 પોટેન્શિયલ શૂન્ય થાય છે.

જો કોષના પોટેન્શિયલનું મૂલ્ય ઋણ મળે તો તે સૂચવે છે કે જેને એનોડ માનવામાં આવ્યો છે તે વાસ્તવમાં કેથોડ છે અને જેને કેથોડ માનવામાં આવ્યો છે તે વાસ્તવમાં એનોડ છે.

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

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

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

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

સંતુલન અચળાંકની ગણતરી (Calculation of Equilibrium constant) : ડેનિયલ 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 પોટેન્શિયોમીટર 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 :

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

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

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 :

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

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

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

$\therefore$ 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 પોટેન્શિયલ 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 :

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

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

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

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

$\ominus$ 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 વોલ્ટ

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 વોલ્ટ છે. HClના દ્રાવણની pH ગણો. ($E^0_{(Sn^{2+}|Sn)}$ = − 0.14 વોલ્ટ)

$\ominus$ 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 વોલ્ટ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$\therefore pH = 1.396$

દાખલો 12 : 298 K તાપમાને નીચે આપેલા કોષનો પોટેન્શિયલ 0.53 વોલ્ટ 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 $E^0_{Cell} = 0.00$ વોલ્ટ 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 $[H^+] = \frac{K_W}{(0.002)}$

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

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

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

$8.983 = -\log K_W - 5.0$

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

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

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 કૅથોડ 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 કૅથોડ 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 ઇલેક્ટ્રોનીય 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 મેગ્નેશિયમ અને $\frac{1}{3}$ મોલ ઍલ્યુમિનિયમનું અનુરૂપ દળ જમા થાય છે.

1 મોલ ઇલેક્ટ્રૉન દ્વારા વહન થતા વિદ્યુતના જથ્થાને 1 ફેરાડે 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 ફેરાડે (F) $= 1.602 \times 10^{-19} \times 6.022 \times 10^{23}$

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

કુલોમ્બ એકમમાં 1 ફેરાડે = 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 ફેરાડે 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)	$\frac{\text{મોલ}}{\text{F}}$
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

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

કેથોડ 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,

એનોડ 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 × 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 × t

= 10 × 193 × 60 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 ફેરાડે વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવાથી 1 મોલ Cu અને 4 ફેરાડે વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવાથી 1 મોલ O_2 વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે.

Cu માટે 2 ફેરાડે વિદ્યુતપ્રવાહ પસાર કરવાથી 1 મોલ મળશે.

1.2 ફેરાડે 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 નાઇટ્રેટ ($AgNO_3$)ના જલીય દ્રાવણમાં ગ્રેફાઇટના ધ્રુવો વચ્ચે 5 એમ્પિયરનો 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 કૅથોડ અને ગ્રેફાઇટના ઍનોડ વડે કરતા કૅથોડ પર Na ધાતુ અને ઍનોડ પર Cl_2 વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે.

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

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

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 કૅથોડ 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 કૅથોડ પર $Na^+(aq)$નું રિડક્શન મુશ્કેલ હોવાથી $Na^+(aq)$ને બદલે H_2Oના રિડક્શનથી H_2 વાયુ મળે છે અને $OH^-(aq)$ બને છે.

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

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.

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

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 કૅથોડ ઉપર H_2 વાયુ મળે છે. આમ, સાંદ્ર NaClના દ્રાવણના વિદ્યુતવિભાજનથી ઍનોડ ઉપર Cl_2 વાયુ, કૅથોડ ઉપર H_2 વાયુ મળે છે અને દ્રાવણમાં NaOH ઉત્પન્ન થાય છે. દ્રાવણમાંના Na^+ આયન અને કૅથોડ 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 ગ્રેફાઇટના 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 કોપર 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 કોપર 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 કોપરના 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 ગ્રેફાઇટના 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 કોપર 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 વોલ્ટ છે.

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

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

$= -\ 63979.50$ કુલોમ્બ વોલ્ટ

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

ઉકેલ : આ પ્રક્રિયા માટે n = 2 છે.

$$\Delta G^0 = -\ nFE^0_{Cell} = -\ RTlnk = -\ 2.303RTlogk$$

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

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

$\log K = 37.2074$

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

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

$= -\ 212300.0$ 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 એનોડ કહે છે.	(4) જે વિદ્યુતધ્રુવ બૅટરીના ધનધ્રુવ સાથે જોડવામાં આવે છે તેને એનોડ 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. ઇલેક્ટ્રોપ્લેટિંગ, ધાતુના શુદ્ધિકરણમાં

3.14 ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન માટે વિદ્યુતવિભાજન (Electrolysis For Industrial Products)

કોષ્ટક 3.3માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે પદાર્થોનું વિદ્યુતવિભાજન કરતાં કૅથોડ અને એનોડ 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) ઇલેક્ટ્રોન 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}
કોપર	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 Λ_m (ગ્રીક અક્ષર લેમ્ડા) વડે દર્શાવવામાં આવે છે.

$$\text{મોલરવાહકતા } \Lambda_m = \frac{K \times 1000}{C}$$

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 પ્લૅટિનમ ધ્રુવો વચ્ચે રહેલા એકમ કદ ધરાવતા આપેલી સાંદ્રતાના વિદ્યુતવિભાજ્યના દ્રાવણ વડે થતું વિદ્યુતવહન એ દ્રાવણની વાહકતા છે.

ઉપરની હકીકત નીચેના સૂત્રથી સ્પષ્ટ થશે :

$G = \frac{KA}{l} = K$, 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)

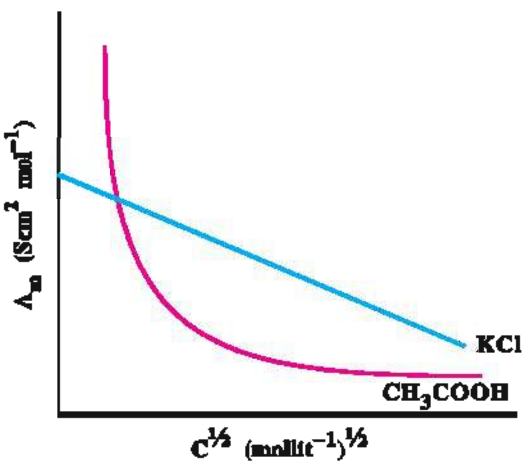
$\therefore \Lambda_m = K \cdot V$

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 એસિટિક 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. કોહલરોશના 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$^{-1}$ એસિટિક એસિડની વાહકતા 4.95×10^{-5} S cm^{-1} છે જો એસિટિક એસિડની 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 એસિટિક એસિડની સીમિત મોલરવાહકતાનું મૂલ્ય ગણો.

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

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

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

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

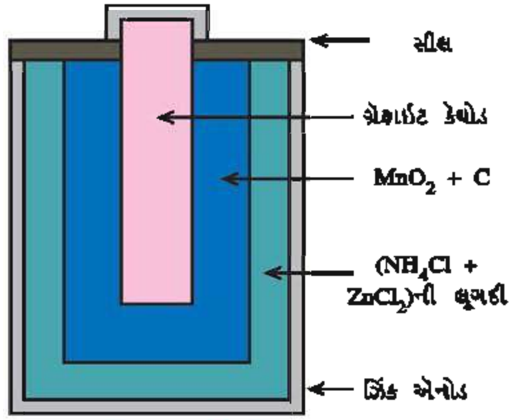
3.19 બેટરી (Batteries)

ઔદ્યોગિક કોષ અને બળતણ કોષ (Commercial Cells and Fuel Cells) : કોઈ પણ કોષ વિદ્યુતપ્રવાહ મેળવવાનો એક સ્રોત છે. કોષ (બેટરી)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.

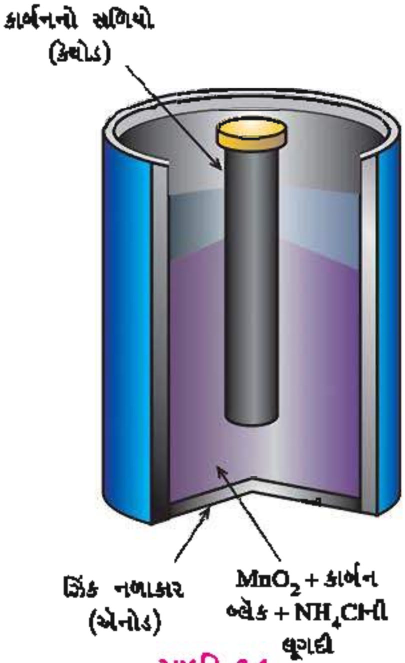


આકૃતિ 3.3 સૂકો કોષ

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

આ કોષમાં ઝિંક ધાતુના બંધ તળિયાવાળા નળાકારની અંદરની બાજુ પાતળા છિદ્રાળુ કાગળનું અસ્તર લગાડેલું હોય છે. આ નળાકારના મધ્ય ભાગમાં ગ્રેફાઇટનો 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 ગ્રેફાઇટનો 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 ગ્રેફાઇટના સળિયાને વિદ્યુતવાહક તાર વડે જોડવામાં આવે છે ત્યારે ઝિંક એનોડ તરીકે અને MnO_2ના સંપર્કમાં રહેલો ગ્રેફાઇટનો સળિયો કૅથોડ તરીકે વર્તે છે. આ વિદ્યુતધ્રુવો પર થતી પ્રક્રિયાઓ નીચે પ્રમાણે છે :



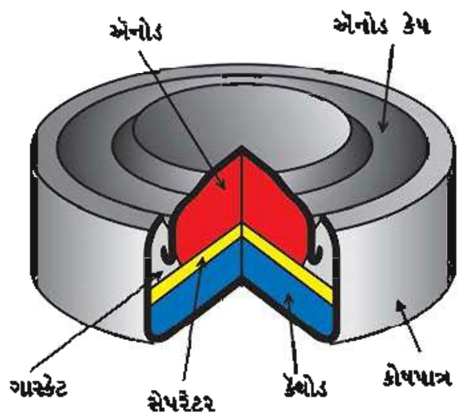
આકૃતિ 3.4

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

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

વાસ્તવમાં કૅથોડ પરની પ્રક્રિયાથી મળતી મૅંગેનીઝયુક્ત નીપજ કોષના સતત વપરાશના સમય અને તે વપરાશ વચ્ચેના સમયના ગાળા પર પણ આધાર રાખે છે. આ કોષનો પોટેન્શિયલ 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 એનોડ સ્વરૂપે અને લૂગદી (HgO) મરક્યુરી ઑક્સાઇડ અને કાર્બન કૅથોડ 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

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

એનોડ 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.

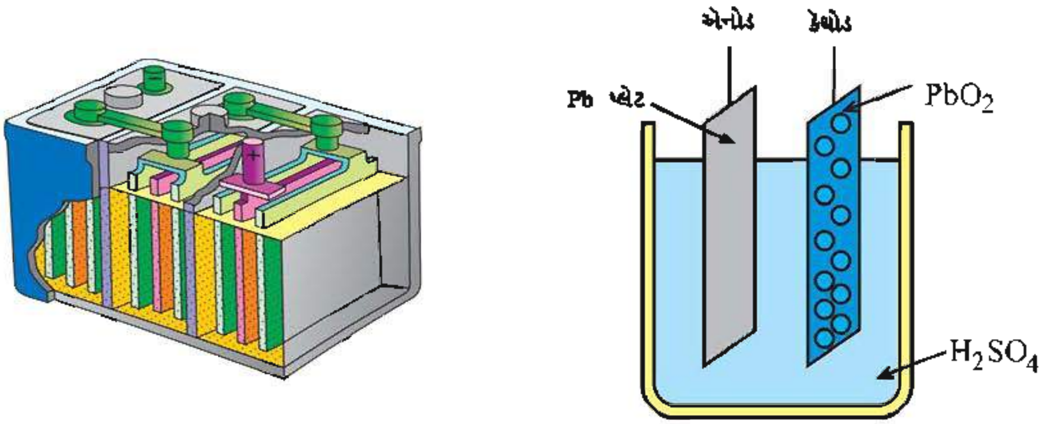
3.19.2 દ્વિતીયક કોષ (Secondary cell) : પુનઃજીવિત એટલે પુનઃઉત્પાદિત કરી શકાય તેવા પ્રકારના કોષને દ્વિતીયક કોષ કહે છે. લેડ-સંગ્રાહક કોષ અને Ni-Cd સંગ્રાહક કોષ દ્વિતીયક કોષ છે.

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 :

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

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

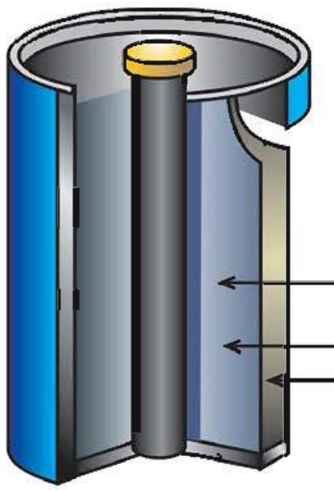
લેડ સંગ્રાહક કોષના એક જ પાત્રમાં ભરેલા દ્રાવણમાં એકથી વધારે ઍનોડ અને કૅથોડ ડુબાડી તેને શ્રેણીમાં જોડવાથી 2.0 વોલ્ટથી વધારે પોટેન્શિયલ મેળવી શકાય છે. કારની બૅટરીમાં છ કોષો જોડી 12 વોલ્ટ મેળવી શકાય છે. 11થી 12 કોષોને શ્રેણીમાં જોડી 22થી 24 વોલ્ટ જેટલું વીજદબાણ મેળવી શકાય.

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.

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

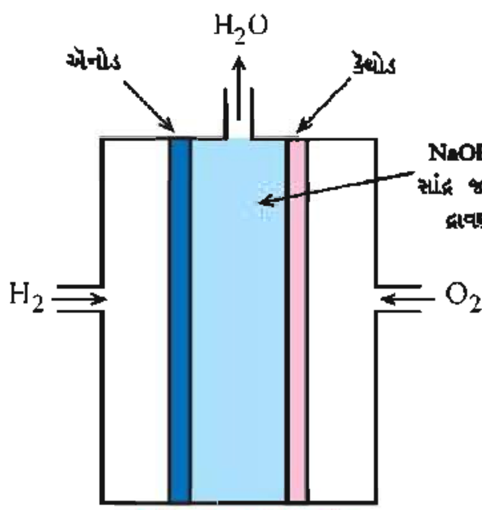


આકૃતિ 3.7 Ni-Cd સંગ્રાહકકોષ

આપણે જાણીએ છીએ કે, બળતણનું દહન કરવાથી ઉષ્મા ઉત્પન્ન થાય છે. સાબરમતી, ગાંધીનગર, વણાકબોરી વગેરે થર્મલ પાવરસ્ટેશનોમાં 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.**

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

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

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

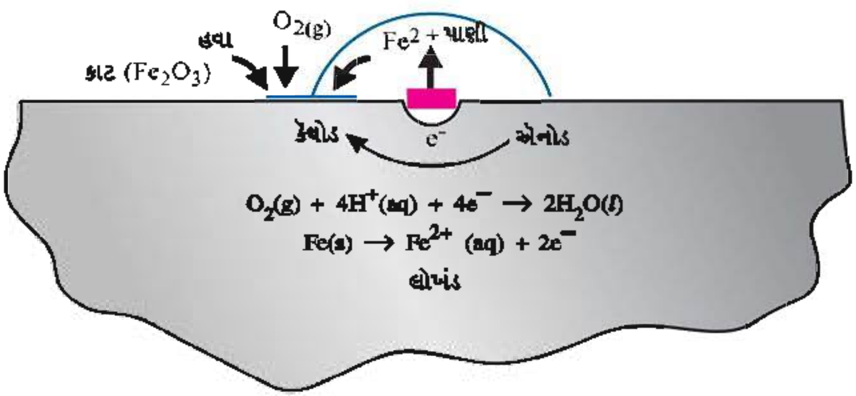
કોષ-પ્રક્રિયા : $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l) + 571.7$ kJ

સૈદ્ધાંતિક દષ્ટિએ 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 એપોલો પ્રોગ્રામમાં અવકાશયાનમાં આ પ્રકારના કોષનો ઉપયોગ કર્યો હતો. તદુપરાંત 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. તદુપરાંત 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 :

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

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 ગેલ્વેનાઇઝ્ડ આયર્ન કહે છે. જો ગેલ્વેનાઇઝ્ડ 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 રૅડોક્ષ પ્રક્રિયા છે.
- વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાં રાસાયણિકઊર્જાનું વિદ્યુતઊર્જામાં રૂપાંતર થાય છે અને વિદ્યુતઊર્જા ઉત્પન્ન કરે છે.
- વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ વૉલ્ટેઇક અથવા ગેલ્વેનિક 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. $\ominus\ Zn(s)\ |\ Zn^{2+}(1M)\ ||\ Cu^{2+}(1M)\ |\ Cu(s)\ \oplus$ 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., $Zn(s) | Zn^{2+}(aq)$; $Fe(s) | Fe^{2+}(aq)$
- વાયુ વિદ્યુતધ્રુવનું નિરૂપણ નિષ્ક્રિય ધાતુ વાયુનું આણ્વિય સૂત્ર અને સક્રિય આયનોનાં સૂત્રો દ્વારા કરવામાં આવે છે. દા.ત., $Pt | H_2(g)$ (1 બાર) $| H^+(aq)$.
- પ્રમાણિત હાઇડ્રોજનવાયુ વિદ્યુતધ્રુવ સંદર્ભ અર્ધ કોષ તરીકે વર્તે છે. તેનો પ્રમાણિત પોટેન્શિયલ 0.0 વોલ્ટ ગણવામાં આવે છે. પ્રમાણિત H ધ્રુવની મદદથી અજ્ઞાત-ધ્રુવના પ્રમાણિત પોટેન્શિયલના 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 પોટેન્શિયલ E_{Cell} કહે છે.
- કોષ પ્રમાણિત હોય તો તેનો કોષ પોટેન્શિયલ E^0_{Cell} વડે દર્શાવાય છે. કોષનો સાચો પોટેન્શિયલ માપવા માટે પોટેન્શિયોમીટરનો ઉપયોગ થાય છે.
- કોષ પોટેન્શિયલ E_{Cell} = E કૅથોડનો રિડક્શન પોટેન્શિયલ − E ઍનોડનો રિડક્શન પોટેન્શિયલ

  E^0_{Cell} = E^0 કૅથોડનો પ્રમાણિત પોટેન્શિયલ − E^0 ઍનોડનો પ્રમાણિત પોટેન્શિયલ
- વિદ્યુતકોષનો પોટેન્શિયલ હાઇડ્રોજન વિદ્યુતધ્રુવના સંદર્ભમાં માપવામાં આવે ત્યારે બીજા વિદ્યુતધ્રુવના પોટેન્શિયલ ઇલેક્ટ્રોમોટિવ 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., $\ominus$ $Fe(s) | Fe^{2+}$ (0.6M) $\|$ Fe^{2+} (0.8M) $| Fe(s)$ $\oplus$ 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 ફૅરાડેએ 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. $R \propto \frac{l}{A}$ $\quad R = \rho\frac{l}{A}$ 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 ઑક્સાઈડ 150 K તાપમાને અતિસુવાહકો હોય છે.

- આયનીય વહનશીલતા અને મોલરવાહકતા $\Lambda_m = \frac{K \times 1000}{C}$; 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 $\Lambda_m = \frac{KA}{l}$ જ્યાં, $l = 1$ અને A = V (એક મોલ વિદ્યુતવિભાજ્ય દ્રાવણનું કદ)

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

- મોલરવાહકતાને અનંત મંદને વાહકતા સીમિત મોલરવાહકતા $\overset{0}{\Lambda}_m$ વડે દર્શાવવામાં આવે છે. કોહ્લરોશનો આયનોના સ્વતંત્ર અભિગમનનો સિદ્ધાંત : "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 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 : $2MnO_2(s) + 2NH_4^+(aq) + 2e^- \rightarrow Mn_2O_3(s) + 2NH_3(g) + H_2O(l)$

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

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

આ કોષમાં રાસાયણિક પ્રક્રિયા દરમિયાન 2.0 વોલ્ટ જેટલો વીજપ્રવાહ ઉત્પન્ન થાય છે. કોષોને શ્રેણીમાં જોડી ઊંચો વોલ્ટેજ 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 કૅથોડ 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 ક્યો કોષ સિદ્ધાંતથી જુદો પડે છે ?

(A) સંગ્રાહક કોષ (B) વિદ્યુતવિભાજન કોષ

(C) બળતણ કોષ (D) લેક્લાન્શે કોષ

(4) ડેનિયલ 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 પોટેન્શિયલનો તફાવત શૂન્ય થવાથી

(C) કોષમાં થતી પ્રક્રિયાની દિશા ઊલટાવવાથી

(D) સાંદ્રતામાં ફેરફાર થવાથી

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

(A) ગેલ્વેનોમીટર (B) એમિટર (C) પોટેન્શિયોમીટર (D) વૉલ્ટમીટર

(7) M, N, O, P અને Q પ્રમાણિત અર્ધ કોષના, પ્રમાણિત પરિસ્થિતિમાં, પ્રમાણિત પોટેન્શિયલના ચઢતા ક્રમમાં હોય તો ક્યા બે અર્ધ કોષોના જોડાણ કરવાથી મળતા કોષનો કોષ પોટેન્શિયલ 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) $\ominus$ $Fe(s) \mid Fe^{2+}(1M) \parallel Cd(s) \mid Cd^{2+}(1M)$ $\oplus$

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

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

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

(10) સિલ્વરનાઈટ્રેટના 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 પોટેન્શિયલનાં 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 કેથોડ અને એનોડ 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) ગેલ્વેનોમીટર (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-પોટેન્શિયલની વ્યાખ્યા લખો.

(6) કોષ-પોટેન્શિયલ 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 વોલ્ટ મૂલ્ય કેવાં પરિબળોમાં થાય છે ?

(11) કોષ-પોટેન્શિયલની ઉપયોગિતા લખો.

(12) ફેરાડેનો વિદ્યુતવિભાજન માટેનો આધુનિક નિયમ લખો.

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

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

(15) પ્રાઇમરી કોષ અને સેકન્ડરી કોષ એટલે શું ?

(16) વિદ્યુતવિભાજનની ઉપયોગિતા લખો.

(17) સૂકા કોષમાં વપરાતા રસાયણનાં નામ લખો.

(18) હાઇડ્રોજન 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 એસિડના દ્રાવણમાં પડી ગઈ છે. ચિંતાનું કારણ બનશે ? શા માટે ?

(24) એલ્યુમિનિયમની બાલદીમાં મોરથુથુ (કોપર 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 એમ્પિયર 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) કોહલરોશનો નિયમ લખો.

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

(32) $\Lambda^0_m = \nu_+ \lambda^0_{m^+} + \nu_- \lambda^0_{m^-}$ 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 : સેક્રિફિસિયલ એનોડ 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 ગ્રેફાઇટના 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 નિરુપણ કરતાં મુક્તશક્તિનો ફેરફાર અને સંતુલન અચળાંક શોધો.

(15) અવરોધકતા અને વિશિષ્ટ વાહકતા સમજાવો.

(16) ઔદ્યોગિક વપરાશના કોષનું વર્ગીકરણ લખી ઉદાહરણ આપો.

(17) લેકલાન્શે કોષ સમજાવો.

(18) ધાતુક્ષારણના નિવારણના ઉપાયો લખો.

(19) લોખંડના ક્ષારણની પ્રક્રિયાઓ લખો.

(20) Zn(s) | Zn^{2+}(0.6M) || Cd^{2+}(0.85M) | 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 નિરૂપણ 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) કોહલરોશનો 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 ક્યાં 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) $\ominus$ $Cd \mid Cd^{2+}(0.02M) \parallel H^{+}(1M) \mid \frac{1}{2} H_2$(1 બાર)$\mid Pt$ $\oplus$

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

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

(3) Sn^{2+} | Sn અને Ni^{2+} | Ni અર્ધ કોષના પ્રમાણિત પોટેન્શિયલના 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 પોટેન્શિયલ 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 પોટેન્શિયલ 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 ગ્રેફાઇટના વિદ્યુતધ્રુવો વચ્ચે $CuSO_4$ના વિદ્યુતવિભાજન કોષ દરમિયાન 18.4 એમ્પિયરનો વિદ્યુતપ્રવાહ 1 કલાક અને 42 મિનિટ માટે પસાર કરતાં કેટલા ગ્રામ Cu મળશે અને કેટલા કદ 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 ગ્રેફાઇટના ધ્રુવોથી વિદ્યુતવિભાજન કરતાં 250 મિલિલિટર મિનિટ$^{-1}$ O_2 વાયુ કેટલા એમ્પિયરનો વીજપ્રવાહ પસાર કરતાં મળશે ?

(8) $AgNO_3$ના વિદ્યુતવિભાજન કોષમાં 5 એમ્પિયરનો વીજપ્રવાહ 2.7 કલાક માટે પસાર કરતાં કેથોડ 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 એમ્પિયરનો વીજપ્રવાહ કેટલા સમય માટે પસાર કરવો પડશે ?

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

•

એકમ

4

તત્ત્વોના અલગીકરણ માટેના સામાન્ય સિદ્ધાંતો અને પદ્ધતિઓ

4.1 પ્રસ્તાવના (Introduction)

કુદરતમાં ઘણાં ઓછાં તત્ત્વો મુક્ત સ્વરૂપે મળી આવે છે. કોપર જેવી ધાતુ; કાર્બન, સલ્ફર જેવી અધાતુઓ તથા હિલિયમ અને બીજા નિષ્ક્રિય વાયુઓ કુદરતમાં મુક્ત સ્વરૂપે મળે છે. આ સિવાયની ઘણી બધી ધાતુઓ અને અધાતુઓ સંયોજિત સ્વરૂપે પૃથ્વીના પોપડામાં કુદરતી રૂપે મળી આવે છે. તમે જાણો છો કે, ધાતુઓ આપણા જીવનમાં ઉપયોગી હોઈ તેમને તેમનાં સંયોજનોમાંથી ધાતુ સ્વરૂપે મેળવી શકાય છે. આ માટે ઘણા બધા ભૌતિક રાસાયણિક સિદ્ધાંતોના સમન્વયથી નિષ્કર્ષણ, અલગીકરણ વગેરે જેવી પદ્ધતિઓથી ધાતુ મેળવી શકાય. આ પ્રકારના સંપૂર્ણ પ્રક્રમને **ધાતુકર્મવિધિ** કહે છે. ધાતુ મેળવવા માટે તેનાં આર્થિક અને ઔદ્યોગિક પાસાંઓને ધ્યાનમાં રાખીને પદ્ધતિઓ વિકસાવાય છે અને ઉપયોગમાં લેવાય છે. તત્ત્વો મેળવવા માટેના કેટલાક હેતુઓ સરખા હોય છે છતાં પણ ખનિજ અથવા કાચી ધાતુને આધારે કેટલીક ખાસ પદ્ધતિઓ વિકસાવેલ છે.

ખનિજ કુદરતમાં મળી આવતો પદાર્થ છે જે પૃથ્વીના પોપડામાં સમાયેલો છે અને તેને ખોદીને બહાર કાઢવામાં આવે છે. મળી આવતી બધી ખનિજો ધાતુ મેળવવામાં ઉપયોગી હોતી નથી કારણ કે કેટલાકમાંથી બહુ ઓછા પ્રમાણમાં ધાતુ મળે છે. આથી જેમાંથી સારા પ્રમાણમાં ધાતુ મેળવી શકાય તેને **કાચી ધાતુ** અથવા **અયસ્ક (ore)** કહે છે. દા.ત., ઍલ્યુમિનોસિલિકેટમાંથી ઍલ્યુમિનિયમ મેળવવું વ્યાવહારિક નથી પડતું, પરંતુ અન્ય ખનિજ બૉક્સાઇટમાંથી તે સારા પ્રમાણમાં મેળવી શકાય. કાચી ધાતુમાં મેળવવાનું તત્ત્વ એકલું ન જ હોય પણ અનિચ્છનીય તથા કેટલાક ભૂમિય પદાર્થો જેને અશુદ્ધ કહી શકાય તેવા હોય છે, તેમને **ગેંગ (gangue)** કહે છે. કાચી ધાતુમાંથી ધાતુ મેળવવા માટેના મુખ્ય તબક્કાઓ નીચે પ્રમાણે છે :

(1) કાચી ધાતુનું સંકેન્દ્રિકરણ (2) સંકેન્દ્રિત કાચી ધાતુમાંથી ધાતુનું અલગીકરણ (3) ધાતુનું શુદ્ધિકરણ

આમ, કાચી ધાતુમાંથી વૈજ્ઞાનિક અને ઔદ્યોગિક પ્રક્રમોનો ઉપયોગ કરી ધાતુઓનું અલગીકરણ કરવાની કુલ પ્રક્રિયાને **ધાતુકર્મવિધિ (metallurgy)** કહે છે.

આ એકમમાં આપણે કાચી ધાતુના અસરકારક સંકેન્દ્રિકરણ માટેના તબક્કા, ધાતુકર્મવિધિના કેટલાક સામાન્ય સિદ્ધાંતો જેમાં ઉષ્માગતિકીય અને વિદ્યુત રાસાયણિક બાબતોનો સમાવેશ થતો હોય તેનો તથા રિડક્શન દ્વારા ધાતુ મેળવવામાં ઉપયોગ વગેરેનો અભ્યાસ કરીશું.

4.2 ધાતુઓનાં પ્રાપ્તિસ્થાન (Occurrence of Metals)

પૃથ્વીના પોપડામાં જુદાં જુદાં તત્ત્વોની પ્રચુરતા (abundance) અલગ અલગ હોય છે. ધાતુઓમાં એલ્યુમિનિયમની પ્રચુરતા સૌથી વધુ છે. પૃથ્વીના પોપડામાંથી મળતાં તત્ત્વોમાં તેનું સ્થાન ત્રીજું છે. જે વજનથી આશરે 8.3 % જેટલું છે. તેની મુખ્ય ખનિજોમાં અબરખ અને ચિનાઈ માટી (clays) છે. કેટલાક જેમસ્ટોન (નંગ) Al_2O_3ના અશુદ્ધ સ્વરૂપ છે. દા.ત., માણેક (ruby)માં Crની અશુદ્ધિ હોય છે. સેફાયર (saphire)માં Coની અશુદ્ધિ હોય છે. પૃથ્વીના પોપડામાં બીજા સ્થાને મળી આવતું તત્ત્વ આયર્ન (લોખંડ) છે. તે ઘણાં બધાં સંયોજનોરૂપે મળી આવે છે અને તે ઘણું ઉપયોગી તત્ત્વ છે. આપણા શરીરમાંના રુધિરમાં રહેલા હિમોગ્લોબિનમાં પણ તે સંયોજિત સ્વરૂપે છે. આપણે આ એકમમાં એલ્યુમિનિયમ, કોપર, આયર્ન, ઝિંક જેવી ધાતુઓના નિષ્કર્ષણનો અભ્યાસ કરીશું. કોષ્ટક 4.1માં એલ્યુમિનિયમ, કોપર, આયર્ન અને ઝિંક ધાતુઓની અગત્યની કાચી ધાતુ દર્શાવી છે.

કોષ્ટક 4.1 કેટલીક અગત્યની ધાતુઓની મુખ્ય કાચી ધાતુઓ

ધાતુ	કાચી ધાતુ	ઘટક પ્રમાણ
એલ્યુમિનિયમ	બૉક્સાઇટ	$AlO_x(OH)_{3-2x}$ જ્યાં, $0 < x < 1$
	કેઓલીનાઇટ (એક પ્રકારની ચિનાઈ માટી)	$[Al_2(OH)_4Si_2O_5]$
કોપર	કોપર પાયરાઇટ્સ	$CuFeS_2$
	મેલેકાઇટ	$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$
	ક્યુપ્રાઇટ	Cu_2O
	કોપર ગ્લાન્સ	Cu_2S
આયર્ન	હેમેટાઇટ	Fe_2O_3
	મૅગ્નેટાઇટ	Fe_3O_4
	સિડેરાઇટ	$FeCO_3$
	આયર્ન પાયરાઇટ્સ	FeS_2
ઝિંક	ઝિંક બ્લેન્ડ અથવા	ZnS
	સ્ફાલેરાઇટ (sphalerite)	
	કેલેમાઇન	$ZnCO_3$
	ઝિંકાઇટ	ZnO

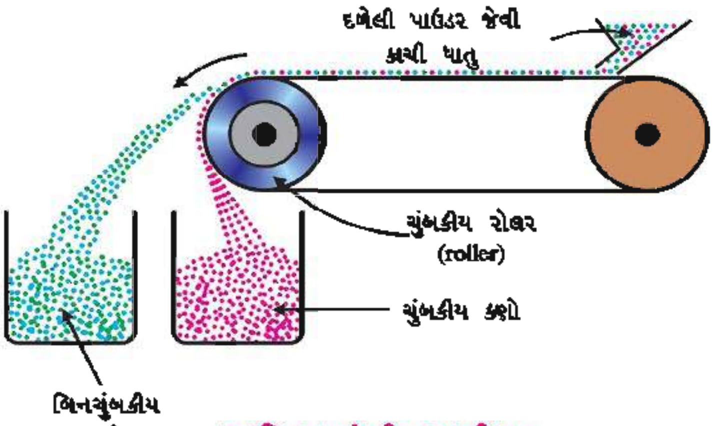
કાચી ધાતુમાંથી ધાતુ મેળવવા માટે ઑક્સાઇડ ખનિજો વધુ પસંદ કરાય છે. કારણ કે સલ્ફાઇડ ખનિજોમાંથી નીકળતો SO_2 વાયુ પ્રદૂષણ કરે છે અને તેમના રિડક્શન પણ મુશ્કેલ છે. આથી ઍલ્યુમિનિયમ માટે બૉક્સાઇટ અને આયર્ન માટે હેમેટાઇટ ઑક્સાઇડનો ઉપયોગ થાય છે. કોપર અને ઝિંક માટે કોષ્ટક 4.1માં દર્શાવેલ કાચી ધાતુઓમાંથી તેમની પ્રાપ્યતા તથા તેને સંબંધિત પરિબળો ધ્યાનમાં રાખીને પસંદ કરવામાં આવે છે. કાચી ધાતુનું સંકેન્દ્રીકરણ કરતાં પહેલાં તેમને તોડવા કે દળવામાં આવે છે, જેથી તે યોગ્ય માપના (કદના) બને.

4.3 કાચી ધાતુ(અયસ્ક)નું સંકેન્દ્રીકરણ (Concentration of Ores)

આપણે અગાઉ જોયું તેમ કાચી ધાતુમાં રેતી, ચિનાઈ માટી વગેરે જેવી અશુદ્ધિઓ હોય છે. આ અશુદ્ધિઓને દૂર કરી શક્ય તેટલી વધુ કાચી ધાતુ મેળવવી તેને સંકેન્દ્રીકરણ કહે છે. તેમાં ઘણા તબક્કાઓ હોય છે. આ તબક્કાઓની પસંદગીનો આધાર કાચી ધાતુના ભૌતિક ગુણધર્મો પર અને ગેંગના ગુણધર્મો પર રહેલો છે. કાચી ધાતુના સંકેન્દ્રીકરણ દરમિયાન બે બાબતો અગત્યની છે : (1) યોગ્ય પદ્ધતિ દ્વારા વધુમાં વધુ કાચી ધાતુ સંકેન્દ્રિત રૂપે મેળવવી. (2) પર્યાવરણને અસર કરતાં પરિબળોથી પર્યાવરણ જોખમાય નહિ.

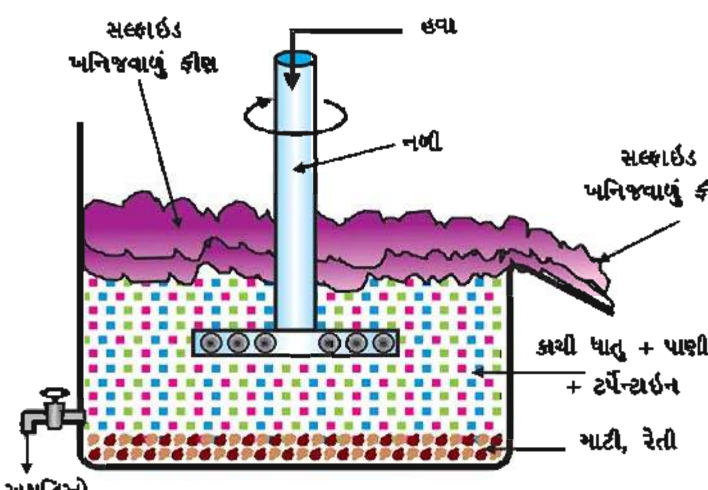
આપણે એક પછી એક આવી ચાર પદ્ધતિઓ (1) જલીય પ્રક્ષાલન (Hydraulic Washing) (2) ચુંબકીય અલગીકરણ (Magnetic Separation) (3) ફીણપ્લવન પદ્ધતિ (Froth Floatation Method) (4) નિક્ષાલન (Leaching) સમજીએ.

(1) જલીય પ્રક્ષાલન : આ પદ્ધતિમાં કાચી ધાતુ અને ગેંગની સાપેક્ષ ઘનતાનો સિદ્ધાંત સમાયેલ છે, માટે તેને સાપેક્ષ ઘનતા અલગીકરણ કહી શકાય. આવી પદ્ધતિમાં કાચી ધાતુને એક પાત્રમાં લઈ તેના ઉપરના ભાગમાંથી પાણીનો પ્રવાહ પસાર કરવામાં આવે છે. જેથી પાઉડર થયેલી કાચી ધાતુ ધોવાય છે અને ગેંગના હલકા કણો ધોવાઈ જાય છે. કાચી ધાતુ છેવટે એકઠી થાય છે.



આકૃતિ 4.1 ચુંબકીય અલગીકરણ

(2) ચુંબકીય અલગીકરણ : આ પદ્ધતિમાં કાચી ધાતુના ઘટકોના ચુંબકીય ગુણધર્મોનો સિદ્ધાંત સમાયેલો છે. કાચી ધાતુ અને ગેંગ બંનેમાંથી કોઈ એક જો ચુંબકીય આકર્ષણ પામી શકતી હોય તો ચુંબકીય ક્ષેત્ર લાગુ પાડી શકાય. આમ, ચુંબકીય આકર્ષણ અને ચુંબકીય આકર્ષણ ન ધરાવતાં ઘટકો અલગ પડી જાય છે. આ પદ્ધતિ આયર્નની કાચી ધાતુ માટે લાગુ પાડી શકાય છે. આકૃતિ 4.1માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે દળેલી પાઉડર જેવી કાચી ધાતુને એક ચુંબકીય રોલર (roller) પર મૂકવામાં આવે છે અને ચુંબકીય ક્ષેત્ર લાગુ પાડવામાં આવે છે. ચુંબકીય રોલરને કન્વેયર (લઈ જનાર) પટ્ટો પણ કહે છે, જે ચુંબકીય રોલર પર ગોઠવાયેલો હોય છે. ચુંબકીય આકર્ષણ પામતાં ઘટકો આકર્ષણને કારણે આકૃતિ 4.1માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે રોલર તરફ ખેંચાય છે. જ્યારે બિનચુંબકીય આકર્ષણીય ઘટકો રોલરથી દૂર પડે છે. આમ, ચુંબકીય અલગીકરણથી કાચી ધાતુનું સંકેન્દ્રીકરણ કરી શકાય છે.



આકૃતિ 4.2 ફીણપ્લવન પદ્ધતિ

(3) ફીણપ્લવન પદ્ધતિ : આ પદ્ધતિ મુખ્યત્વે સલ્ફાઇડયુક્ત કાચી ધાતુઓનાં સંકેન્દ્રીકરણ માટે વપરાય છે. કાચી ધાતુને દળીને પાઉડર રૂપમાં ફેરવી પાણીમાં નિલંબિત કરવામાં આવે છે. તેમાં ફીણ ઉત્પન્ન કરે અને સંકેન્દ્રિત કાચી ધાતુને એકઠી કરે તેવા પદાર્થો ઉમેરવામાં આવે છે. જેમ કે, પાઇન ઓઇલ, ચરબીજન્ય એસિડ, ટર્પેન્ટાઇન, ઝેન્થેટ સંયોજનો વગેરેને કાચી ધાતુને એકઠી કરવાના પદાર્થો તરીકે ઉમેરવામાં આવે છે. તેઓ પાણી સાથે ભળતા ન હોવાથી કાચી ધાતુને સંકેન્દ્રિત તથા ભેજરહિત કરે છે. આ ઉપરાંત ક્રેસોલ, એનિલિન જેવા ફીણ સ્થાયીકારક (Froth Stabilisers) પદાર્થો ઉમેરવામાં આવે છે.

ખનિજના કણો પાઇન ઑઇલ જેવા પદાર્થથી ભીંજાય છે, જ્યારે ગેંગના કણો પાણીથી ભીંજાય છે. આકૃતિ 4.2માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે મિશ્રણમાં હવા દાખલ કરવામાં આવે છે પરિણામે દ્રાવણ ખળભળે છે અને કાચી ધાતુના કણોને ઉત્પન્ન થતાં હલકા ફીણ સાથે ઉપર લઈ જાય છે. આ ફીણ હલકું હોવાથી ઉપરના ભાગમાંથી ઝારા વડે બહાર કાઢી લઈ તેને ગરમ કરી કાચી ધાતુના કણો મેળવાય છે. બાકીની અશુદ્ધિઓ પાણીવાળા દ્રાવણમાં નીચે નિલંબિત રહી જાય છે. કેટલીક વખત સલ્ફાઇડયુક્ત બે કાચી ધાતુને પણ અલગ કરી શકાય છે. આ માટે ઑઇલ અને પાણીનું પ્રમાણ યોગ્ય રીતે પસંદ કરવામાં આવે છે અને કેટલાક અવસાદકો (depressants)નો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. જેમકે ZnS અને PbS ધરાવતી કાચી ધાતુમાં NaCNનો અવસાદક તરીકે ઉપયોગ કરવામાં આવે, તો ફીણ સાથે માત્ર PbS ઉપર આવે છે અને ZnS ફીણમાં આવતો નથી. આનું કારણ અદ્રાવ્ય ZnSમાંથી પાણીમાં દ્રાવ્ય $Na_2[Zn(CN)_4]$ સંકીર્ણ બનવાનું હોઈ શકે છે.

(4) નિક્ષાલન : જ્યારે કાચી ધાતુ કોઈ યોગ્ય દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય હોય ત્યારે આ પદ્ધતિનો ઉપયોગ થઈ શકે છે. આ પદ્ધતિ નીચેનાં ઉદાહરણોથી સમજી શકાશે :

(A) બૉક્સાઇટમાંથી ઍલ્યુમિનાનું નિક્ષાલન : તમે જાણો છો તે પ્રમાણે બૉક્સાઇટ ઍલ્યુમિનિયમની કાચી ધાતુ છે, જે બૉક્સાઇટમાંથી ઍલ્યુમિનાનું નિક્ષાલન છે. આનો અભ્યાસ આગળ આ એકમમાં કરીશું.

(B) નિક્ષાલનનું બીજું ઉદાહરણ સિલ્વર અને ગોલ્ડની ધાતુકર્મવિધિનું છે. તેમાં ઑક્સિજનની હાજરીમાં સિલ્વરનું NaCN વડે અને ગોલ્ડનું KCN વડે નિક્ષાલન કરવામાં આવે છે. નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયા દ્વારા ધાતુ વિસ્થાપિત સ્વરૂપે મળે છે :

$$4M(s) + 8CN^-(aq) + 2H_2O(l) + O_2(g) \rightarrow [4M(CN)_2]^-(aq) + 4OH^-(aq)$$

(જ્યાં M = સિલ્વર અથવા ગોલ્ડ)

$$2[M(CN)_2]^-(aq) + Zn(s) \rightarrow [Zn(CN)_4]^{2-}(aq) + 2M(s)$$

4.4 સંકેન્દ્રિત કાચી ધાતુ(અયસ્ક)માંથી અપરિષ્કૃત ધાતુનું નિષ્કર્ષણ (Extraction of Crude Metal from the Concentrated Ore)

સંકેન્દ્રિત કાચી ધાતુના સંયોજનમાં મેળવવાની ધાતુ આયન સ્વરૂપે હોય છે માટે તેમને રિડક્શન દ્વારા મેળવી શકાય. પરંતુ આ માટે સંકેન્દ્રિત કાચી ધાતુને રિડક્શન પામે તેવા યોગ્ય સ્વરૂપમાં ફેરવવી જરૂરી છે. જેમકે સલ્ફાઇડ કાચી ધાતુને ઑક્સાઇડ કાચી ધાતુમાં ફેરવ્યા પછી જ રિડક્શન કરી શકાય. કારણ કે ઑક્સાઇડનું રિડક્શન સરળ છે. આથી કાચી ધાતુમાંથી ધાતુ મેળવવાના તબક્કાઓને નીચેના બે ભાગમાં વહેંચી શકાય :

(1) ઑક્સાઇડમાં પરિવર્તન (2) ઑક્સાઇડનું ધાતુમાં રિડક્શન

(1) ઑક્સાઇડમાં પરિવર્તન : આ પરિવર્તન માટે બે પ્રક્રિયાઓ કરવી પડે છે : (i) કેલ્શિનેશન (ii) ભૂંજન (roasting).

(i) કેલ્શિનેશન : કેલ્શિનેશન દરમિયાન કાચી ધાતુને સખત ગરમ કરવામાં આવે છે, જેથી બધા જ બાષ્પશીલ પદાર્થો દૂર થઈ ધાતુ ઑક્સાઇડ રહી જાય છે.

જેમ કે, $Fe_2O_3 \cdot XH_2O(s) \rightarrow Fe_2O_3(s) + XH_2O(g)$

$$ZnCO_3(s) \rightarrow ZnO(s) + CO_2(g)$$

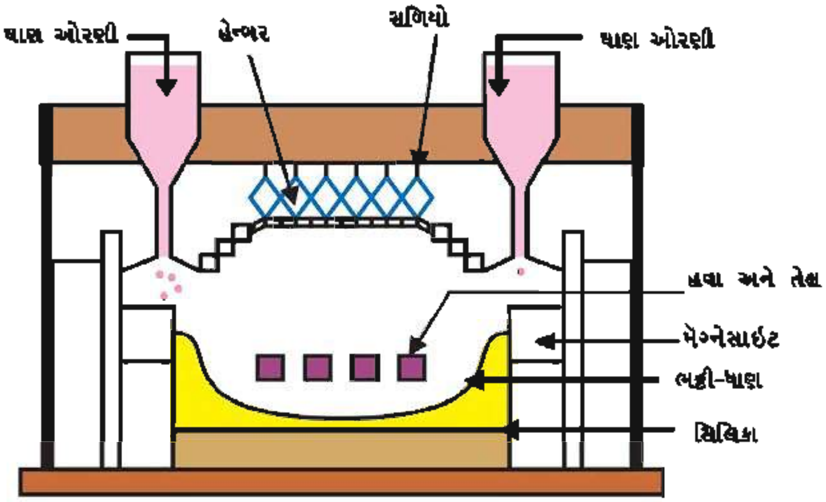
$$CaCO_3 \cdot MgCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + MgO(s) + 2CO_2(g)$$

(ii) ભૂંજન : કાચી ધાતુને તે ધાતુના ગલનબિંદુથી નીચા તાપમાને આકૃતિ 4.3માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે પરાવર્તની ભઠ્ઠીમાં (reverberatory furnace) સતત હવા દાખલ કરી ગરમ કરવામાં આવે છે. સલ્ફાઇડયુક્ત કાચી ધાતુઓનું ભૂંજન નીચેની પ્રક્રિયા પ્રમાણે થાય છે :

$$2PbS(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2PbO(s) + 2SO_2(g)$$

$$2ZnS(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2ZnO(s) + 2SO_2(g)$$

$$2Cu_2S(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Cu_2O(s) + 2SO_2(g)$$



આકૃતિ 4.3 પરાવર્તની ભઠ્ઠી

જો કૉપરની કાચી ધાતુ સલ્ફાઇડયુક્ત હોય તો પરાવર્તની ભઠ્ઠીમાં ગરમ કરવામાં આવે છે. જો કાચી ધાતુ આયર્નયુક્ત હોય તો તેને ગરમ કરતાં પહેલાં તેમાં સિલિકા ઉમેરવામાં આવે છે, જેથી આયર્ન ઑક્સાઇડ સાથે પ્રક્રિયા કરી આયર્ન સિલિકેટ ($FeSiO_3$) બનાવે છે, તે **સ્લૅગ** તરીકે ઓળખાય છે.

$$FeO(s) + SiO_2(s) \xrightarrow{\Delta} FeSiO_3(s)$$

આ જ પ્રમાણે કૉપર ધાતુ એક મિશ્ર પદાર્થ બનાવે છે, જે Cu_2S અને FeSનું મિશ્રણ છે. તેને **મેટ (Matte)** કહે છે. ઉત્પન્ન થતો SO_2 વાયુ સલ્ફ્યુરિક ઍસિડની બનાવટમાં વાપરી શકાય.

(2) કાચી ધાતુના ઑક્સાઇડનું ધાતુમાં રિડક્શન : રિડક્શન-પ્રક્રિયા દરમિયાન કાચી ધાતુ સાથે યોગ્ય રિડક્શનકર્તા (જેમ કે C અથવા CO અથવા અન્ય કોઈ ધાતુ)નો ઉપયોગ પણ કરવામાં આવે છે. કાર્બન જેવા રિડક્શનકર્તા ધાતુના ઑક્સાઇડ સાથે સંયોજાઈ ધાતુ ઑક્સાઇડનું રિડક્શન કરી ધાતુ આપે છે.

જેમ કે $M_xO_y + yC \rightarrow xM + yCO$

ધાતુ ઑક્સાઇડ તેમની સ્થાયિતા પ્રમાણે સહેલાઈથી અથવા મુશ્કેલીથી રિડક્શન પામે છે. સહેલાઈથી રિડક્શન પામતા ઑક્સાઇડમાંથી સામાન્ય રિડક્શનકર્તા પદાર્થના ઉપયોગથી રિડક્શન દ્વારા ધાતુ મેળવી શકાય છે. દા.ત., Fe_2O_3માંથી Fe ધાતુ, પરંતુ Al_2O_3 જેવા સ્થાયી ઑક્સાઇડનું રિડક્શન ઇલેક્ટ્રૉન સ્વીકારીને થઈ શકે છે. તમે જાણો છો તેમ ઇલેક્ટ્રૉનનો સ્વીકાર કરવો અથવા ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવો રિડક્શન-પ્રક્રિયા છે. આમ, ઇલેક્ટ્રૉન મેળવીને થતી રિડક્શન પ્રક્રિયાને **ઇલેક્ટ્રૉનેશન (electronation)** કહેવામાં આવે છે. જોકે બંને પ્રકારની રિડક્શન-પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉષ્માની જરૂર પડે છે. આ ઘટનાઓ સમજવા માટે ઉષ્માગતિશાસ્ત્રના સિદ્ધાંતો, વિધેયો વગેરેની સમજણ મેળવવી પડે છે. તેનો વિગતવાર અભ્યાસ મુદ્દા નં. 4.5માં કરીશું.

ઉષ્મીય રિડક્શન માટે જરૂરી તાપમાનના ફેરફારોને સમજવા માટે અને કયો પદાર્થ ધાતુ ઑક્સાઇડની આ રિડક્શન-પ્રક્રિયા માટે યોગ્ય રહેશે તે માટે ગિબ્સ મુક્તશક્તિની ગણતરી અને તેનું અર્થઘટન જરૂરી બને છે. તાપમાનના ફેરફાર સાથે ધાતુકર્મવિધિના અભ્યાસને **પાયરો (ઉત્તાપીય) ધાતુકર્મવિધિ (pyrometallurgy)** કહે છે.

4.5 ધાતુકર્મવિધિના ઉષ્માગતિય સિદ્ધાંતો (Thermodynamic Principles of Metallurgy)

ધાતુકર્મવિધિના સિદ્ધાંતને સમજવા માટે ઉષ્માગતિશાસ્ત્રના કેટલાક પાયાના ખ્યાલોની જાણકારી હોવી જરૂરી છે. તમે ધોરણ 11ના બંને સિમેસ્ટરના અભ્યાસથી રાસાયણિક સંતુલન, સંતુલન અચળાંક, ગિબ્સ મુક્તઊર્જા, એન્ટ્રોપી, એન્થાલ્પી

વગેરે પર્યાયો અને વિગતોથી પરિચિત છો. તેમાંય ખાસ કરીને સંતુલન અચળાંક, ગિબ્સ મુક્તઊર્જા વગેરેની સમજણ અહીંયાં ઉપયોગી થઈ પડશે.

ગિબ્સ હેલ્મ હોલ્ટ્ઝ સમીકરણ $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ તમે શીખ્યા છો. જ્યાં ΔG મુક્તશક્તિ ફેરફાર, ΔH એન્થાલ્પી ફેરફાર અને ΔS ઍન્ટ્રોપી ફેરફાર છે તથા T તાપમાન કેલ્વિન એકમમાં છે. અગત્યનો બીજો સંબંધ $\Delta G^0 = -RT\ln K$ પણ તમે શીખ્યા છો. જ્યાં, K = સંતુલન અચળાંક, R = વાયુઅચળાંક અને ΔG^0 = પ્રમાણિત મુક્તઊર્જા ફેરફાર છે. ΔGનાં ત્રણ મૂલ્યો સંભવી શકે : ધન, શૂન્ય અને ઋણ. જો ΔG^0નું મૂલ્ય ધન હોય તો પ્રક્રિયા સ્વયંસ્ફુરિત ન હોય, શૂન્ય હોય તો પ્રક્રિયા સંતુલન સ્થિતિમાં હોય અને ઋણ હોય તો પ્રક્રિયા સ્વયંસ્ફુરિત હોય. આ ઉપરાંત Kનું મૂલ્ય < 1, 0 અને > 1 હોઈ શકે. જો Kનું મૂલ્ય < 1 હોય તો નીપજોનું પ્રમાણ પ્રક્રિયકો કરતાં ઓછું રહે એટલે કે નીપજ ઓછી મળે શૂન્ય હોય તો સંતુલન હોય માટે બંને સરખા પ્રમાણમાં રહે અને 1થી વધુ હોય તો નીપજનું પ્રમાણ વધારે મળે. આ ઉપરાંત લ'શૅટેલિયરનો નિયમ પણ અગત્યનો ભાગ ભજવે છે.

આપણે જોયું તેમ ΔGનું ઋણ મૂલ્ય-પ્રક્રિયાને નીપજ તરફ લઈ જાય. જો $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ સમીકરણમાં તાપમાન Tનું મૂલ્ય વધારીએ તો ΔSનું પ્રમાણ વધે અને તેથી ગુણાકાર $T\Delta S$ પણ વધે. જેથી $\Delta H - T\Delta S$ અથવા ΔG ઋણ બને અને તેથી પ્રક્રિયા નીપજ તરફ જાય.

પ્રક્રિયા માટે ΔG^0 નું મૂલ્ય નિયત તાપમાને નિશ્ચિત હોય. તેથી પ્રક્રમમાં પ્રક્રિયકો અને નીપજોને એકઠા કર્યા બાદ પ્રક્રિયાને અસર કરતાં પરિબળો સાંદ્રતા, તાપમાન, દબાણ વગેરે એવી રીતે ગોઠવીએ કે ΔGનું મૂલ્ય ઋણ થાય. આમ થાય તો પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં નીપજ તરફ સ્વયંસ્ફુરિત બને. ΔG^0 વિરુદ્ધ Tના આલેખો દોરીને તેમનો અભ્યાસ વૈજ્ઞાનિક એલિંગહામે (H. J. T. Ellingham) કરેલો અને તેથી આ આલેખો એલિંગહામ આકૃતિઓ (diagrams) કહેવાય છે. તે ઉપયોગી છે પરંતુ તેની મર્યાદાઓ પણ છે. આપણે અહીં તેનો વિગતે અભ્યાસ નહિ કરીએ.

જ્યારે રિડક્શનકર્તા પદાર્થ પ્રક્રિયામાં ભાગ લે ત્યારે તેનો ઑક્સાઇડ બને અને ધાતુ ઑક્સાઇડ રિડક્શન પામે. રિડક્શનકર્તા પદાર્થનું કાર્ય ΔG^0 મૂલ્ય ઋણ કરવાનું હોય છે. આમ, ઑક્સિડેશન-રિડક્શન પ્રક્રિયાની મુક્તઊર્જા તફાવત શૂન્ય થવો જોઈએ.

રિડક્શન-પ્રક્રિયાથી ધાતુ મેળવવામાં સંકળાયેલા ઉષ્માગતિકીય સિદ્ધાંતોને આધારે કહી શકાય કે તાપમાનનો વધારો ΔG^0ના ઋણ મૂલ્ય તરફ લઈ જશે. આથી રેડોક્ષ-પ્રક્રિયા એવી હોવી જોઈએ કે તેના $\Delta_r G^0$ નું મૂલ્ય ઋણ મળે. જો કે તાપમાનનો વધારો ઉષ્માક્ષેપક પ્રક્રિયા માટે નુકસાનકારક, પરંતુ ઉષ્માશોષક પ્રક્રિયા માટે ફાયદાકારક બને. અંતમાં ધ્યાન એ રાખવું જોઈએ કે રિડક્શનકર્તા એવો હોવો જોઈએ કે ધાતુના ઑક્સાઇડ સાથેની તેની રિડક્શન-પ્રક્રિયા શક્ય તેટલી સ્વયંસ્ફુરિત એટલે કે $\Delta_r G^0$ નું મૂલ્ય શક્ય તેટલું ઋણ આપે તેવી હોવી જોઈએ. તેથી ધાતુઑક્સાઇડ રિડક્શન-પ્રક્રિયાની ક્ષમતા વધુ મળે છે. આમ, આપણે નક્કી કરી શકીએ કે રિડક્શન માટે કાર્બન, કાર્બન મૉનોક્સાઇડ અથવા કોઈ ધાતુનો ઉપયોગ કરીએ તો વધુ નીપજ એટલે કે વધુ ધાતુ મળે. ટૂંકમાં, રિડક્શનકર્તાની પસંદગી ΔG^0ના ઋણ મૂલ્યની માત્રા પર રહેશે. આપણે સંતુલનમાં અભ્યાસ કર્યો હતો તેમ કોઈ પણ પ્રક્રિયામાં વધુમાં વધુ નીપજ મેળવવા માટે સંતુલન અચળાંક Kનું મૂલ્ય વધુમાં વધુ અને તેને અનુરૂપ મુક્તઊર્જા ફેરફારના મૂલ્યમાં વધુ ઘટાડો ફાયદાકારક છે. આથી તાપમાન, દબાણ, રિડક્શનકર્તા વગેરેનો સમન્વય કરી 'ઑપ્ટિમમ' (optimum) સ્થિતિનું નિર્માણ કરી શકીએ તો શક્ય તેટલી વધુ નીપજ એટલે ધાતુઑક્સાઇડના રિડક્શનથી ધાતુનું વધુ પ્રમાણ મેળવી શકીએ. આવા ઉષ્માગતિકીય સિદ્ધાંતોને ભૌતિક-રાસાયણિક (physico-chemical) સિદ્ધાંતો પણ કહેવામાં આવે છે.

4.6 ધાતુકર્મવિધિના વિદ્યુતરાસાયણિક સિદ્ધાંતો (Electrochemical Principles of Metallurgy)

ઉત્તાપીય ધાતુકર્મવિધિ (pyrometallurgy)માં ઉષ્માગતિશાસ્ત્રના સિદ્ધાંતોનો ઉપયોગ અગાઉ ઑક્સાઇડમાંથી ધાતુ મેળવવામાં શીખ્યા. આ ઉપરાંત ધાતુઓનું તેમનાં જલીય દ્રાવણો અથવા પિગલિત અવસ્થામાં રહેલાં ધાતુ આયનોનું પણ રિડક્શન કરવા માટે વિદ્યુતરસાયણના સિદ્ધાંતો ઉપયોગી અને ફાયદાકારક નીવડી શકે. આ માટે વિદ્યુતવિભાજન અથવા બીજી કોઈ ધાતુ ઉમેરીને (રિડક્શન પોટૅન્શિયલને ધ્યાનમાં લઈને) પણ આયનોનું રિડક્શન કરી ધાતુ મેળવી શકાય.

પિગલિત ક્ષારોના વિદ્યુતવિભાજનથી રિડક્શન-પ્રક્રિયા દ્વારા ધાતુ મેળવી શકાય. જેમાં વિદ્યુતરાસાયણિક સિદ્ધાંતો સમાયેલા છે. આપણે કેટલાક સમીકરણો શીખી ગયાં છીએ. જેમ કે,

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0, \ \Delta G^0 = -RT\,ln K$$

$$\Delta G^0 = -nFE^0 \text{ અને } E^0 = \frac{RT}{nF} ln K$$

આમાંથી ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર અને વિદ્યુતરસાયણને સાંકળતા સમીકરણનો વિચાર કરીએ તો તે સમીકરણ $\Delta G^0 = -nFE^0$ છે. જ્યાં, n પ્રક્રિયામાં સંકળાયેલા ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા છે. F = ફેરાડેનું મૂલ્ય = 96500 કુલંબ છે. E^0 જેન્તે રેડોક્ષ-પ્રક્રિયાના સંપૂર્ણ કોષનો પ્રમાણિત રિડક્શન પોટેન્શિયલ છે અને તે ભાગ લેતી બે ધાતુઓના પ્રમાણિત રિડક્શન પોટેન્શિયલનો તફાવત છે. ΔG^0 = પ્રમાણિત મુક્તશક્તિ ફેરફાર છે. ખૂબ જ ઝડપથી પ્રક્રિયા કરતા ધ્રુવોના ઑક્સિડેશન પોટેન્શિયલ વધુ ઊંચા અને ધન હોય તેથી તેમના રિડક્શન પોટેન્શિયલ ખૂબ નીચાં અને ઋણ હોય માટે તેમનું રિડક્શન કરવું મુશ્કેલ પડે. પરંતુ જો E^0નું મૂલ્ય ધન મળે તો ΔG^0નું મૂલ્ય ઋણ થાય અને તેથી પ્રક્રિયા સ્વયંસ્ફુરિત બને. આથી જો ઓછી સક્રિય ધાતુના આયનોના દ્રાવણમાં સક્રિય ધાતુ ઉમેરવામાં આવે તો ધાતુઆયન રિડક્શન પામી ધાતુ સ્વરૂપમાં ફેરવાય અને ઉમેરેલી ધાતુ દ્રાવણમાં આયન તરીકે મળે. જેમ કે,

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

પ્રવૃત્તિ : તમે પ્રયોગશાળામાં કૉપર સલ્ફેટનું જલીય દ્રાવણ બનાવો. આ દ્રાવણમાં લોખંડની ખીલી મૂકો. બે કલાક બાદ જુઓ શું થયું છે ? દ્રાવણનો વાદળી રંગ ઝાંખો પડ્યો હશે અને લોખંડની ખીલી પર લાલ કણો જમા થયેલા હશે. આ અવલોકન ઉપર દર્શાવેલી પ્રક્રિયાનું છે, તો સમજાવો કે કઈ ધાતુનું ઑક્સિડેશન, કઈ ધાતુનું રિડક્શન, દ્રાવણમાંથી કયા આયન રિડક્શન પામ્યા હશે અને દ્રાવણમાં કયા આયન ઑક્સિડેશન દ્વારા ગયા હશે ? વિદ્યુતરસાયણનો એકમ ભણી ગયા હોય તો આ પ્રક્રિયાનો E^0 cell ગણો. તેના મૂલ્ય પરથી ΔG^0નું મૂલ્ય ગણો અને વિદ્યુતરસાયણનો ધાતુકર્મવિધિમાં ઉપયોગ સાબિત કરી આપો.

આ ઉપરાંત ઊલટો પ્રયોગ કરી જુઓ. $FeSO_4$ના દ્રાવણમાં કૉપર ધાતુની પટ્ટી મૂકો. શું થાય છે ? સમજાવો. કારણો આપો. પ્રયોગપોથીમાં આ પ્રકારના પ્રયોગોનો સમાવેશ કરેલ છે.

વિદ્યુતવિભાજનમાં તમે અભ્યાસ કર્યો છે કે ધાતુઆયન દ્રાવણમાંથી કૅથોડ પર જમા થાય છે. કૅથોડ પર હંમેશાં રિડક્શન થાય. આ રિડક્શન માટે કૅથોડ પરના ઇલેક્ટ્રૉન દાખલ થયાં. ધાતુઆયનને તેને સ્વીકાર્યા માટે રિડક્શન-પ્રક્રિયા થઈ અને ધાતુઆયનમાંથી ધાતુ મળી. સામાન્ય રીતે ગમે તે ધાતુનો કૅથોડ વાપરી શકાય. કારણ કે કૅથોડ ઉપર ધાતુ જમા થવાની છે, કૅથોડ ઓગળવાનો નથી. પરંતુ અશુદ્ધિઓને દાખલ ન થવા દેવા માટે નિષ્ક્રિય કૅથોડ અથવા જે ધાતુ જમા થતી હોય તેનો બનાવેલો કૅથોડ વાપરવો હિતાવહ છે. આનો વિગતે અભ્યાસ ધાતુના શુદ્ધિકરણના મુદ્દામાં કરીશું.

પિગલિત ધનનું પણ વિદ્યુતવિભાજન ઉપર પ્રમાણે કરી શકાય પરંતુ પિગલિત ધનનું ગલનબિંદુ ખૂબ ઊંચું હોય તો તેને નીચું લાવવા માટે કેટલાક પદાર્થ ઉમેરાય છે, જેને અભિવાહ (flux) કહે છે. તેથી નીચાં તાપમાને વિદ્યુતવિભાજન કરી શકાય છે. Al_2O_3માંથી Al મેળવવાની વિધિમાં ક્રાયોલાઇટ (Na_3AlF_6) અથવા કૅલ્શિયમ ફ્લોરાઇડ (CaF_2) ઉમેરવામાં આવે છે. આનો વિગતે અભ્યાસ ઍલ્યુમિનિયમ ધાતુના નિષ્કર્ષણમાં કરીશું.

4.7 ઑક્સિડેશન-રિડક્શન (Oxidation-Reduction)

ઑક્સિડેશન અને રિડક્શનની જુદી જુદી વ્યાખ્યાઓનો તમે અભ્યાસ કર્યો છે. તેમાંની એક વ્યાખ્યાનો ઉપયોગ અહીંયાં કરીશું. ઑક્સિડેશન એટલે ઇલેક્ટ્રૉન ગુમાવવો અને રિડક્શન એટલે ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવો. ધાતુમાંથી ધાતુ આયન બની ઇલેક્ટ્રૉન ગુમાવે તે ઑક્સિડેશન-પ્રક્રિયા અને ધાતુઆયન ઇલેક્ટ્રૉન સ્વીકારી ધાતુ આપે તે રિડક્શન-પ્રક્રિયા કહેવાય. આ પદ્ધતિ મુખ્યત્વે અધાતુઓ માટે છે. આપણે નીચેની પ્રક્રિયાનો અભ્યાસ કરીએ, જે દરિયાના પાણી (બ્રાઇન)માંથી ક્લોરિન મેળવવા માટેની પ્રક્રિયા છે.

$$2Cl^-(aq) + 2H_2O(l) \longrightarrow 2OH^-(aq) + H_2(g) + Cl_2(g)$$

આ પ્રક્રિયામાં ΔG^0નું મૂલ્ય +422 kJ જણાયું છે. તેના પરથી $\Delta G^0 = -nFE^0$ સમીકરણ દ્વારા E^0નું મૂલ્ય ગણીએ તો તેનું મૂલ્ય (–2.186 V) મળશે. આપણે અગાઉ શીખ્યા તેમ E^0નું મૂલ્ય ઋણ હોવાથી પ્રક્રિયા પુરોગામી દિશામાં થશે નહિ. આથી જો (–2.186 V)થી વધારે બાહ્ય ઈ.એમ.એફ. લાગુ પાડીએ તો જ પ્રક્રિયા થાય અને Cl_2 વાયુ ઍનોડ પર મળે. દ્રાવણમાં NaOH રહે. કારણ કે H_2 વાયુ તરીકે કૅથોડ પર મળે છે. Cl^- માંથી Cl_2 બનવાની પ્રક્રિયા ઑક્સિડેશન છે માટે ઍનોડ પર જ થાય. ધારો કે પિગલિત NaClનું વિદ્યુતવિભાજન કરીએ તો ઍનોડ પર Cl_2 વાયુ મળશે અને કૅથોડ પર Na ધાતુ મળશે. દ્રાવણમાં NaOH નહિ મળે. અગાઉ નિક્ષાલનમાં જોયું કે ગોલ્ડ અને સિલ્વર મેળવવા માટે સોડિયમ સાયનાઇડ (NaCN) વડે પ્રક્ષાલન કરવામાં આવ્યું હતું. Agમાંથી Ag^+ અને Auમાંથી Au^+ બનવાની પ્રક્રિયા ઑક્સિડેશન છે. આથી પ્રક્ષાલન દ્વારા ગોલ્ડ અથવા સિલ્વરના સાયનાઇડ સંકીર્ણ આયન અનુક્રમે $[Au(CN)_2]^-$ અને $[Ag(CN)_2]^-$ બનશે. તેનું ઝિંક ધાતુ વડે રિડક્શન કરી ગોલ્ડ અથવા સિલ્વર ધાતુ મેળવી શકાય. જેમ કે,

$$4Au(s) + 8CN^-(aq) + 2H_2O(l) + O_2(g) \longrightarrow 4[Au(CN)_2]^-(aq) + 4OH^-(aq)$$

$$4Ag(s) + 8CN^-(aq) + 2H_2O(l) + O_2(g) \longrightarrow 4[Ag(CN)_2]^-(aq) + 4OH^-(aq)$$

અને ત્યાર પછી

$$2[Au(CN)_2]^-(aq) + Zn(s) \longrightarrow 2Au(s) + [Zn(CN)_4]^{2-}(aq)$$

$$2[Ag(CN)_2]^-(aq) + Zn(s) \longrightarrow 2Ag(s) + [Zn(CN)_4]^{2-}(aq)$$

ઉપરની પ્રક્રિયાઓમાં Zn રિડક્શનકર્તા તરીકે વર્તે છે.

4.8 અશુદ્ધ ધાતુઓનું શુદ્ધિકરણ (Refining of Impure Metals)

અગાઉ ચર્ચા કરેલ પદ્ધતિઓમાંથી કોઈ પણ પદ્ધતિ કે પ્રક્રમ દ્વારા મેળવાયેલી ધાતુમાં અશુદ્ધિ રહેવાની સંભાવના હોય છે. આથી ખૂબ જ શુદ્ધ ધાતુઓ મેળવવા માટે તેમનું શુદ્ધિકરણ કરી શકાય તેટલું ઊંચું શુદ્ધિકરણ પ્રાપ્ત કરી શકાય છે. આ માટે વપરાતી શુદ્ધિકરણની પદ્ધતિઓ ધાતુના ગુણધર્મો, તેમાં રહેલી અશુદ્ધિઓ વગેરેને ધ્યાનમાં રાખીને ઉપયોગ કરાય છે. આવી કેટલીક શુદ્ધિકરણ પદ્ધતિઓ નીચે પ્રમાણે છે :

(1) નિસ્યંદન (Distillation)
(2) દ્રવગલન (Liquation)
(3) વિદ્યુતવિભાજન (Electrolysis)
(4) ઝોન શુદ્ધિકરણ (Zone refining)
(5) બાષ્પ અવસ્થા શુદ્ધિકરણ (Vapour phase refining)
(6) ક્રોમેટોગ્રાફીય પદ્ધતિઓ (Chromatographic methods)

(1) નિસ્યંદન : ઝિંક અને મરક્યુરિ જેવી પ્રમાણમાં નીચા ગલનબિંદુ ધરાવતી ધાતુઓ માટે આ પદ્ધતિનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. અશુદ્ધ ધાતુઓનું નિસ્યંદન કરવાથી મળતી બાષ્પને ઠારીને શુદ્ધ ધાતુ મેળવી શકાય છે. પારા જેવી ધાતુનું નીચા દબાણે નિસ્યંદન કરવા દબાણ ઘટાડવું પડે છે, જે શૂન્યાવકાશ નિસ્યંદન પદ્ધતિ દ્વારા મેળવી શકાય.

(2) દ્રવગલન : આ પદ્ધતિનો ઉપયોગ ટિન જેવી નીચા ગલનબિંદુ ધરાવતી ધાતુના શુદ્ધિકરણ માટે થાય છે. આ માટે અશુદ્ધ ધાતુને એક ગરમ ઢળતી સપાટી પરથી પસાર કરવામાં આવે છે; જેથી ઊંચા તાપમાને ગલન પામતી અશુદ્ધિઓમાંથી નીચા ગલનબિંદુવાળી ધાતુ શુદ્ધ સ્વરૂપે મેળવી શકાય. ઢળતી સપાટીનું તાપમાન ગોઠવી શકાય છે.

(3) વિદ્યુતવિભાજન : આમાં અશુદ્ધ ધાતુને ઍનોડ બનાવવામાં આવે છે અને તે જ ધાતુની શુદ્ધ પટ્ટીને કૅથોડ બનાવવામાં આવે છે. હવે આ જ ધાતુના યોગ્ય ક્ષારના જલીય દ્રાવણમાં આ ધ્રુવો ડુબાડવામાં આવે છે. દ્રાવણમાં યોગ્ય વિદ્યુતપ્રવાહ દાખલ કરવામાં આવે તો વિદ્યુતવિભાજન દ્વારા કૅથોડ પર શુદ્ધ ધાતુ જમા અને અશુદ્ધ ધાતુ ઍનોડ પર ઑક્સિડેશન પામી દ્રાવણમાં આયન સ્વરૂપે જશે. કેટલીક ઉમદા ધાતુઓ ઍનોડની આગળ પંક (mud) સ્વરૂપે એકઠી થાય છે, જેને ઍનોડ પંક કહે છે. આ પદ્ધતિમાં વિદ્યુતરસાયણનો સિદ્ધાંત સમાયેલો છે. અગાઉ તમે કોષના પ્રમાણિત પોટૅન્શિયલ (E^0) અને મુક્તશક્તિ (ΔG) વિશે અભ્યાસ કર્યો છે. આથી જેનો રિડક્શન પોટૅન્શિયલ ઊંચો હોય તેનું કૅથોડ પર

દ્રાવણમાંના આયનનું રિડક્શન થઈ શુદ્ધ ધાતુ જમા થાય છે. એનોડ પરની અશુદ્ધ ધાતુનું ઑક્સિડેશન થઈ દ્રાવણમાં આયન સ્વરૂપે દાખલ થાય છે. જો યોગ્ય પોટેન્શિયલ ગોઠવવામાં આવે તો મળતી ધાતુનું પ્રમાણ પસાર કરેલા વિદ્યુતના જથ્થાના સમપ્રમાણમાં હોય છે. આ તમે ફેરાડેના વિદ્યુતવિભાજનના પ્રથમ નિયમમાં શીખી ગયા છો.

એનોડ : $M(s) \longrightarrow M^{n+}(aq) + ne^-$

કૅથોડ : $M^{n+}(aq) + ne^- \longrightarrow M(s)$

અશુદ્ધ કોપર ધાતુનું શુદ્ધિકરણ આ પદ્ધતિથી કરી શકાય છે, જેમાં નીચે પ્રમાણેની પ્રક્રિયાઓ થાય છે :

એનોડ : $Cu(s) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$

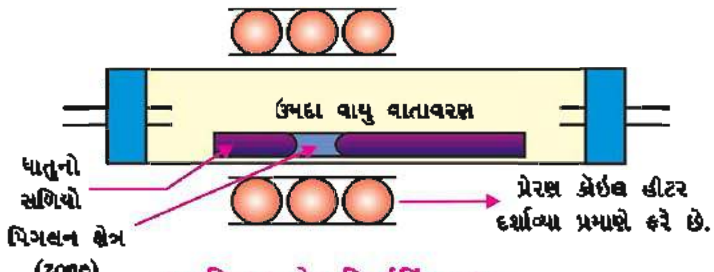
કૅથોડ : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$

બંને પ્રક્રિયાઓનો સમન્વય કરતાં,

$Cu(s)$ (અશુદ્ધ) $\rightarrow$ $Cu(s)$ (શુદ્ધ)

આમ, અશુદ્ધમાંથી શુદ્ધ કૉપર ધાતુ મળે છે. ઝિંક જેવી ધાતુનું પણ આ પદ્ધતિથી શુદ્ધ સ્વરૂપ મેળવી શકાય છે.

(4) ઝોન શુદ્ધિકરણ : આ પદ્ધતિથી સિલિકોન, જર્મેનિયમ જેવી અર્ધ ધાતુઓનું શુદ્ધિકરણ કરવામાં આવે છે. આ પદ્ધતિનો સિદ્ધાંત એ છે કે કેટલીક ધાતુઓની અશુદ્ધિઓ તેમના પિગલનમાં વધુ દ્રાવ્ય હોય છે. પરંતુ ઘન અવસ્થામાં ઓછી દ્રાવ્ય હોય છે. ઝોન શુદ્ધિકરણ પદ્ધતિમાં પણ આ જ સિદ્ધાંતનો ઉપયોગ થાય છે.



આકૃતિ 4.4 ઝોન રિફાઈનિંગ પ્રક્રમ

આ પદ્ધતિમાં ગોળાકાર મોબાઈલ હીટરને નળીના અશુદ્ધ અર્ધ ધાતુના એક છેડે ફિક્સ કરવામાં આવે છે. આકૃતિ 4.4માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે પિગલિત ઝોનને હીટર સાથે આગળ ખસેડવામાં આવે છે. જેમ જેમ હીટર આગળ વધે છે તેમ તેમ શુદ્ધ અર્ધ ધાતુ (તત્ત્વ) પિગલિત દ્રવમાંથી અલગ પડે છે અને અશુદ્ધ પિગલિત દ્રવ સાથે આગળ વધે છે. આ પદ્ધતિનું પુનરાવર્તન કરવામાં આવે છે અને એક જ દિશામાં હીટરને ફેરવવામાં આવે છે. તેને નળાકારમાં છેડાને કાપીને દૂર કરવામાં આવે છે. બાષ્પ બનેલી અર્ધ ધાતુ ઠંડી પડતાં શુદ્ધ સ્વરૂપે મળે છે. હવાની તથા ગરમીની અસર ન થાય માટે નળાકારમાં નિષ્ક્રિય વાયુ ભરેલું વાતાવરણ રાખવામાં આવે છે. અર્ધવાહકો માટે જરૂરી અતિશુદ્ધ સિલિકોન આ પદ્ધતિથી મેળવાય છે. આ ઉપરાંત જર્મેનિયમ, બોરોન, ગૅલિયમ અને ઇન્ડિયમ જેવી અર્ધ ધાતુઓ/ધાતુઓનું શુદ્ધિકરણ આ પદ્ધતિથી કરવામાં આવે છે.

(5) બાષ્પ અવસ્થા શુદ્ધિકરણ : આ પદ્ધતિમાં અશુદ્ધ ધાતુની યોગ્ય પદાર્થ સાથે પ્રક્રિયા કરી તેનું બાષ્પશીલ સંયોજન બનાવવામાં આવે છે, જે વાયુ સ્વરૂપમાં હોવાથી અન્ય પાત્રમાં ભેગું કરી શકાય. ત્યાર બાદ આ બાષ્પશીલ સંયોજનનું વિઘટન કરતાં શુદ્ધ ધાતુ મળે છે અને મળતી આડપેદાશનો ઉપયોગ ફરી અશુદ્ધ ધાતુ સાથેની પ્રક્રિયા માટે કરી શકાય છે. આમ, આ પદ્ધતિના સિદ્ધાંતમાં બે બાબતો છે : (1) જે-તે ધાતુનું બાષ્પશીલ સંયોજન યોગ્ય પદાર્થ સાથે બનવું જોઈએ. (2) મળેલા બાષ્પશીલ સંયોજનનું સરળતાથી વિઘટન થવું જોઈએ. આમ બને તો ધાતુ મેળવવી સરળ બને. આપણે નિકલના શુદ્ધિકરણ વિશે જોઈએ, અશુદ્ધ નિકલની 330-350 K તાપમાને કાર્બન મોનૉક્સાઇડના ગરમ પ્રવાહ સાથે પ્રક્રિયા કરવામાં આવે છે. જેથી નિકલ ટેટ્રાકાર્બોનિલ નામનું સંકીર્ણ સંયોજન $[Ni(CO)_4]$ બને છે. તેમાં નિકલ ધાતુ સીધી જ કાર્બોનિલ જેવા તટસ્થ લિગૅન્ડ સાથે સંયોજાય છે. આમ મળેલા નિકલ કાર્બોનિલ સંયોજનને 450-470 K તાપમાને ગરમ કરતાં વિઘટન પામે છે અને શુદ્ધ નિકલ ધાતુ મળે છે. મળતાં કાર્બન મોનૉક્સાઇડને ફરી અશુદ્ધ નિકલ ધાતુમાંથી નિકલ કાર્બોનિલ બનાવવામાં વાપરી શકાય છે જેથી ખર્ચ ઓછો આવે. આ પદ્ધતિ વૈજ્ઞાનિક મોન્ડે (Mond) વિકસાવેલી માટે તેને **મોન્ડ કાર્બોનિલ પદ્ધતિ** કહે છે.

આ પ્રમાણે વાન આર્કેલ (Van Arkel) પદ્ધતિનો ઉપયોગ કરી ઝિર્કોનિયમ અથવા ટિટેનિયમ જેવી ધાતુઓનું શુદ્ધિકરણ કરી શકાય છે. આ પદ્ધતિથી ઝિર્કોનિયમ અને ટિટેનિયમ જેવી ધાતુઓમાં અશુદ્ધિ સ્વરૂપે રહેલા ઑક્સિજન અને નાઇટ્રોજન દૂર કરી શકાય છે. અશુદ્ધ ધાતુને શૂન્યાવકાશ કરેલ પાત્રમાં આયોડિન સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે. ધાતુના આયોડાઇડ વધુ બાષ્પશીલ હોઈ બાષ્પમાં ફેરવાય છે.

$$Zr(s) + 2I_2(g) \longrightarrow ZrI_4(g)$$

$$Ti(s) + 2I_2(g) \longrightarrow TiI_4(g)$$

આમ મળતાં ધાતુ આયોડાઇડને 1800 K તાપમાને ટંગસ્ટનના તાર (filament) પર વિદ્યુતીય રીતે ગરમ કરી વિઘટિત કરવામાં આવે છે, જેથી શુદ્ધ ધાતુ તાર પર જમા થાય છે.

$$ZrI_4(g) \longrightarrow Zr(s) + 2I_2(g)$$

$$TiI_4(g) \longrightarrow Ti(s) + 2I_2(g)$$

(6) ક્રોમેટોગ્રાફીય પદ્ધતિ : આ પદ્ધતિમાં અધિશોષણનો સિદ્ધાંત સમાવિષ્ટ છે. કોઈ એક અધિશોષક પર જુદા જુદા ધાતુ આયનોનો અધિશોષણ ક્રમ અથવા ક્ષમતા અલગ અલગ હોય છે. આથી જો કોઈ ધાતુ આયનોના મિશ્રણને કોઈ યોગ્ય ઘન અધિશોષક પર યોગ્ય દ્રાવકની મદદથી પસાર કરવામાં આવે તો મિશ્રણમાંના ઘટકો અધિશોષકના જુદા જુદા ભાગોમાં અધિશોષિત થાય છે. અધિશોષકમાંના આ અધિશોષિત ભાગોને અલગ અલગ કરી નિક્ષાલક (eluent) દ્વારા મેળવવામાં આવે છે કારણ કે જે-તે આયન કે પદાર્થ જે-તે નિક્ષાલકમાં દ્રાવ્ય બને છે. તમે પૃષ્ઠઘટના એકમમાં અધિશોષણ વિશે વિગતે અભ્યાસ કરશો. Al_2O_3 જેવા ઘન અથવા ફિલ્ટર પેપર જેવા કાગળ અથવા કોઈ યોગ્ય નિષ્ક્રિય વાયુ અધિશોષક તરીકે વાપરી શકાય. જો Al_2O_3 જેવો ઘન પદાર્થ અધિશોષક તરીકે વાપરીએ તો તેને એક કાચની નળીમાં ભરીને ઉપયોગમાં લઈ શકાય. જેથી કાચની નળીમાં એક સ્તંભ અથવા કૉલમ (column) બનશે, તેથી આ ક્રોમેટોગ્રાફીને **કૉલમ ક્રોમેટોગ્રાફી** કહે છે. જો ફિલ્ટર પેપરની પટ્ટી કાપી તેના પર યોગ્ય દ્રાવક દ્વારા ધાતુઆયનોનું અલગીકરણ કરી શકાય તો તેને **પેપર ક્રોમેટોગ્રાફી** કહે છે. જો કોઈ યોગ્ય ટેકા (support) પર વાયુમય પદાર્થનો ઉપયોગ કરી અલગીકરણ કરવામાં આવે તો તેને **ગૅસ ક્રોમેટોગ્રાફી** કહે છે. તમારી પ્રયોગપોથીમાં અધિશોષણ અને કૉલમ ક્રોમેટોગ્રાફીના પ્રયોગો નિર્દેશન માટે સમાવિષ્ટ કરેલાં છે, જે શિક્ષકની મદદથી પ્રવૃત્તિરૂપે કરજો. વિજ્ઞાન કેટલું રસપ્રદ, સુંદર, આનંદમય અને નાવિન્યતાવાળું (innovative) છે તેનો અનુભવ થશે. કેટલાક રંગકો, ધનાયનો, ઋણાયનો વગેરેનું અલગીકરણ પણ યોગ્ય ક્રોમેટોગ્રાફી પદ્ધતિ દ્વારા કરી શકાય.

4.9 ઍલ્યુમિનિયમ (Al), કૉપર (Cu), આયર્ન (Fe) અને ઝિંક (Zn) ધાતુઓનું નિષ્કર્ષણ (Extraction of Aluminium (Al), Copper (Cu), Iron (Fe) and Zinc (Zn) Metals)

(1) ઍલ્યુમિનિયમનું નિષ્કર્ષણ : ઍલ્યુમિનિયમના નિષ્કર્ષણને બે વિભાગમાં વહેંચી શકાય :

(A) કાચી ધાતુ (બૉક્સાઇટ)માંથી શુદ્ધ ઍલ્યુમિના (Al_2O_3) મેળવવું.

(B) એલ્યુમિનાનું રિડક્શન કરી ઍલ્યુમિનિયમ(Al) ધાતુ મેળવવી.

(A) કાચી ધાતુ (બૉક્સાઇટ)માંથી શુદ્ધ ઍલ્યુમિના મેળવવું : ઍલ્યુમિનિયમની મુખ્ય ખનિજોમાંની એક બૉક્સાઇટ છે, જેમાંથી ઍલ્યુમિનિયમ ધાતુ મેળવવામાં આવે છે. અશુદ્ધ બૉક્સાઇટમાં સિલિકા (SiO_2), આયર્નના ઑક્સાઇડ અને ટીટેનિયમ ડાયૉક્સાઇડ (TiO_2) અશુદ્ધિ તરીકે હોય છે. અગાઉ જોયું તેમ ખનિજ બૉક્સાઇટને દળીને નાના કણોમાં ફેરવવામાં આવે છે. ત્યાર બાદ તેનું 6થી 8 % સાંદ્ર NaOHના દ્રાવણ સાથે 473-523 K તાપમાન અને 35-36 બાર દબાણ હેઠળ પકવવામાં (digested) આવે છે. આ પ્રક્રિયાના કારણે Al_2O_3 ઉભયગુણધર્મી ઑક્સાઇડ, NaOH જેવા બેઇઝ સાથે પ્રક્રિયા કરી દ્રાવ્ય હાઇડ્રેટ સોડિયમ ઍલ્યુમિનેટ $Na[Al(OH)_4]$ સંકીર્ણ બનાવે છે. જેને IUPAC પ્રમાણે સોડિયમ ટેટ્રા હાઇડ્રો ઍલ્યુમિનેટ (III) તરીકે દર્શાવી શકાય. બાકી રહેલા ઘટકો પણ NaOHમાં દ્રવી જઈ દ્રાવ્ય સોડિયમ સિલિકેટ બનાવે છે પરંતુ આયર્ન અને ટિટેનિયમના હાઇડ્રૉક્સાઇડ અદ્રાવ્ય હોઈ અવક્ષેપન આપે છે.

$$Al_2O_3(s) + 2NaOH(aq) + 3H_2O(l) \rightarrow 2Na[Al(OH)_4](aq)$$

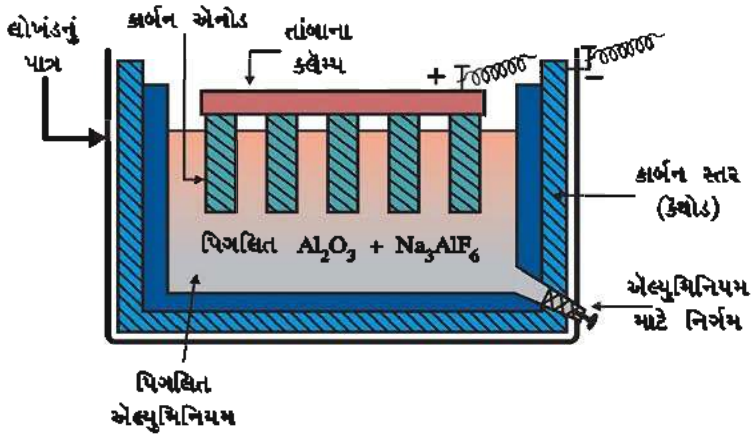
દ્રાવણને ગાળી લેવાથી દ્રાવણમાં સોડિયમ ઍલ્યુમિનેટ મળે છે. તેમાં CO_2 વાયુ પસાર કરી દ્રાવણનું તટસ્થીકરણ કરતાં જલીય Al_2O_3 અવક્ષેપન પામે છે. આ તબક્કે તાજા જ બનાવેલા જલીય Al_2O_3 અથવા $Al(OH)_3$ના અવક્ષેપ ઉમેરવામાં આવે છે, જે દ્રાવણમાંના Al_2O_3નું અવક્ષેપન કરવામાં પ્રેરિત અસર ઉપજાવે છે.

$$2Na[Al(OH)_4](aq) + 2CO_2(g) \rightarrow Al_2O_3 \cdot XH_2O(s) + 2NaHCO_3(aq)$$

સોડિયમ સિલિકેટ દ્રાવણમાં રહી જાય છે. અદ્રાવ્ય જલીય ઍલ્યુમિના (Al_2O_3)ને ગાળી લેવામાં આવે છે. તેને 1470 K તાપમાને તપાવતા શુદ્ધ ઍલ્યુમિના મળે છે.

$$Al_2O_3 \cdot XH_2O(s) \xrightarrow{1470\ K} Al_2O_3(s) + XH_2O(g)$$

(B) ઍલ્યુમિનાનું રિડક્શન કરી ઍલ્યુમિનિયમ ધાતુ મેળવવી : Al_2O_3 વિદ્યુતનું વહન કરતો નથી તથા તેનું ગલનબિંદુ ઘણું ઊંચું છે માટે તેમાંથી શુદ્ધ ઍલ્યુમિનિયમ ધાતુ મેળવતાં પહેલાં તેમાં વિદ્યુતનું વહન થઈ શકે તથા વિદ્યુતવિભાજન થઈ કૅથોડ પર ઍલ્યુમિનિયમ ધાતુ મળે તેવી ગોઠવણ કરવી પડે છે. તેથી Al_2O_3 સાથે ક્રાયોલાઇટ (Na_3AlF_6) અથવા CaF_2 જેવા પદાર્થ ઉમેરવામાં આવે છે. આમ અગાઉ શીખ્યા તેવા ભૌતિક-રાસાયણિક સિદ્ધાંતો અથવા ઉષ્માગતિશાસ્ત્રનો ઉપયોગ કરી ΔG^0નું મૂલ્ય વધુ ઋણ બને તેવી પ્રણાલી બનાવવામાં આવે છે. આ મિશ્રણને લોખંડના એક પાત્રમાં-જેમાં અંદરની બાજુએ ગ્રૅફાઇટનું પડ હોય છે, જે કૅથોડ તરીકે કાર્ય કરે છે તેમાં લેવામાં આવે છે. આકૃતિ 4.5માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે કાર્બનના ઍનોડ વાપરવામાં આવે છે અને વિદ્યુતવિભાજ્ય તરીકે પિગલિત Al_2O_3 + Na_3AlF_6 નું મિશ્રણ લેવામાં આવે છે. આ માટે તાપમાન ઊંચું રાખવું પડે છે. ગ્રૅફાઇટના કૅથોડ પર રિડક્શન થઈ ઍલ્યુમિનિયમ ધાતુ મળે છે. તે કોષના ઊંચા તાપમાનને કારણે પિગલિત સ્વરૂપમાં હોવાથી કોષના નીચેના ભાગમાં આવેલા છિદ્ર દ્વારા પ્રવાહી સ્વરૂપે ઍલ્યુમિનિયમ બહાર આવે છે. તે ઠરતાં ઘન સ્વરૂપે ઍલ્યુમિનિયમ ધાતુ મળે છે. આમ ગ્રૅફાઇટમાંનો કાર્બન રિડક્શનકર્તા તરીકે કાર્ય કરે છે.



આકૃતિ 4.5 ઍલ્યુમિનિયમ ધાતુના નિષ્કર્ષણ માટે વિદ્યુતવિભાજન કોષ

$$2Al_2O_3(s) + 3C(s) \longrightarrow 4Al(s) + 3CO_2(g)$$

આ પદ્ધતિ વૈજ્ઞાનિકો હોલ (Hall) અને હેરોલ્ટે (Heroult) સ્વતંત્ર રીતે શોધી હતી અને તેથી તેને **હૉલ-હેરોલ્ટ (Hall-Heroult) પ્રક્રમ** કહે છે. Al_2O_3માંના ઍનોડ પર મુક્ત થતો ઑક્સિજન ઍનોડ સાથે જ પ્રક્રિયા કરે છે. કારણ કે ઍનોડ કાર્બનનો બનેલો છે અને તાપમાન ઊંચા છે, તેથી કાર્બન મોનોક્સાઇડ (CO) અને કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ (CO_2) બને છે.

કૅથોડ પર થતી પ્રક્રિયા : $Al^{3+}(l) + 3e^- \longrightarrow Al(l)$

ઍનોડ પર થતી પ્રક્રિયા : $C(s) + O^{2-}$ (પિગલિત ક્ષાર) $\longrightarrow CO(g) + 2e^-$

$C(s) + 2O^{2-}$ (પિગલિત ક્ષાર) $\longrightarrow CO_2(g) + 4e^-$

આમ ઍનોડ પરનો કાર્બન વપરાઈ જાય છે અથવા ખવાઈ જાય છે. એક અંદાજ પ્રમાણે ઉત્પન્ન થતાં 1 કિલોગ્રામ ઍલ્યુમિનિયમ દીઠ 0.5 કિલોગ્રામ કાર્બન ખવાઈ જાય છે અથવા વપરાઈ જાય છે. આથી કાર્બનના ઍનોડ અવારનવાર

બદલવા પડે છે. બૉક્સાઇટનું વૈશ્વિકસ્તરે ઉત્પાદન આશરે 100 મિલિયન ટન જેટલું છે, જ્યારે ભારત આશરે 1 મિલિયન ટન જેટલું ઉત્પાદન કરે છે.

એલ્યુમિનિયમના ઉપયોગો : એલ્યુમિનિયમ હલકી ધાતુ હોવાથી તેનો ઉપયોગ એરોપ્લેનના ભાગો, ઘર-વપરાશનાં સાધનો, રેસ માટેની મોટરનાં સાધનો બનાવવામાં થાય છે. તે વિદ્યુતનું વાહક હોવાથી વીજળીના તારમાં વપરાતું હતું પણ હાલમાં તેનો વપરાશ ઘટી ગયો છે. તેનો રિડક્શનકર્તા તરીકે ઉપયોગ કરી ક્રોમિયમ, મૅંગેનીઝ જેવી ધાતુઓના ઑક્સાઇડમાંથી તે ધાતુઓ મેળવી શકાય છે. ફટકડી તેનું અગત્યનું અને ઉપયોગી સંયોજન છે. તે ડ્યુરેલ્યુમિન, મૅગ્નેલિયમ, એલ્નીકો તથા એલ્યુમિનિયમ બ્રોન્ઝ જેવી મિશ્ર ધાતુઓ બનાવે છે. જે એરોપ્લેનના ભાગો બનાવવામાં, વૈજ્ઞાનિક તુલાના ભાગો બનાવવામાં, ચલણી સિક્કા બનાવવામાં વગેરેમાં વપરાય છે. તેના પાતળા વરખનો સિગારેટના ખોખામાં, ગરમ પદાર્થોને ગરમ રાખવા તથા કાગળ પૅકિંગને બદલે પૅકિંગમાં ઉપયોગ થાય છે.

(2) કૉપર ધાતુનું નિષ્કર્ષણ : કૉપર ધાતુના નિષ્કર્ષણ માટે કૉપરની ઘણી કાચી ધાતુઓ હોવા છતાં કૉપર પાઇરાઇટ($CuFeS_2$)નો ઉપયોગ થાય છે. મુક્ત અવસ્થામાં મળતા કોપરની સાથેની અશુદ્ધિઓ દૂર કરી કોપર ધાતુ મેળવી શકાય છે. આ પદ્ધતિથી આશરે 5 % કૉપર ધાતુ મેળવવામાં આવે છે. કાચી ધાતુ કાર્બોનેટ કે ઑક્સાઇડ સ્વરૂપે હોય તેને યોગ્ય રિડક્શનકર્તા સાથે ક્ષેપક (Fire) ભઠ્ઠીમાં ગરમ કરવામાં આવે છે. ત્યાર બાદ કોક અને રેતી સાથે ગરમ કરતાં ઑક્સાઇડનું રિડક્શન થઈ કૉપર ધાતુ મળે છે. પરંતુ કાચી ધાતુ સલ્ફાઇડ સ્વરૂપે હોય તો અગાઉ જોયું તેમ સીધું રિડક્શન થઈ શકતું નથી માટે ઑક્સાઇડમાં ફેરવી રિડક્શન કરવું પડે છે. આ પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉત્પન્ન થતો સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ વાયુ વાતાવરણમાં પ્રદૂષણ ફેલાવે છે. પાઇરાઇટ્સની નીચી જાતની કાચી ધાતુ માટે ભીની ધાતુકર્મવિધિ વપરાય છે, જ્યારે ઊંચી જાતની કાચી ધાતુ માટે સૂકી ધાતુકર્મવિધિ વપરાય છે. કોપરને સલ્ફર માટે વધારે આકર્ષણ હોઈ કૉપર સલ્ફાઇડનું રિડક્શન મુશ્કેલ હોય છે. તાપમાનના વધારા સાથે આ આકર્ષણ વધે છે. આયર્નને ઑક્સિજન માટે વધારે આકર્ષણ હોય છે. સૂકી ધાતુકર્મવિધિને પાંચ તબક્કામાં વહેંચી શકાય : (i) સંકેન્દ્રણ (Concentration) (ii) નિસ્તાપન અથવા ભૂંજન (Roasting) (iii) પ્રદ્રાવણ (Smelting) (iv) બેસેમરીકરણ (Bessemerisation) (v) શુદ્ધિકરણ (Refining).

(i) સંકેન્દ્રણ : કુદરતમાં મળી આવતાં કોપરના સલ્ફાઇડ ખનિજોમાં આશરે 2 % જેટલું કૉપર હોય છે. કાચી ધાતુનું સંકેન્દ્રણ કરવા માટે ફીણપ્લાવન પદ્ધતિ વપરાય છે. (**યાદ કરો :** અગાઉ શીખ્યા તે પ્રમાણે ફીણપ્લાવન પદ્ધતિ સલ્ફાઇડ ખનિજોના સંકેન્દ્રણ માટે વપરાય છે.) દળેલા ખનિજને પાણીમાં નિલંબિત કરી તેમાં ટર્પેન્ટાઇન તેલ અથવા કાયોલાઇટ તેલ ઉમેરવામાં આવે છે. ત્યાર બાદ તેમાં હવા ફૂંકવામાં આવે છે. આથી તેલ ખનિજ પર લાગી જાય છે અને હવાના પરપોટાઓ સાથે ઉપરના ભાગમાં ફીણ તરીકે એકઠું થાય છે અને અશુદ્ધિઓ તથા કચરો નીચે જમા થાય છે. ફીણને ઝારા વડે કાઢી લેવામાં આવે છે. આ પ્રમાણે સાંદ્રણ કરવાથી લગભગ 25 % કોપર ધરાવતી કાચી ધાતુ મળે છે.

(ii) નિસ્તાપન અથવા ભૂંજન : ફીણપ્લાવન પદ્ધતિથી મેળવેલી કાચી ધાતુનું હવામાં ભૂંજન કરવામાં આવે છે. જેથી ઊંચા તાપમાનને કારણે ભેજ વરાળરૂપે અને સલ્ફર તથા આર્સેનિક તેમના ઑક્સાઇડ એટલે કે સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ અને આર્સેનિયસ ઑક્સાઇડ સ્વરૂપે દૂર થાય છે. ભૂંજન દરમિયાન આયર્ન સલ્ફાઇડનું આયર્ન ઑક્સાઇડમાં રૂપાંતર ન થાય ત્યાં સુધી ક્યુપ્રસ સલ્ફાઇડનું તેના ઑક્સાઇડમાં રૂપાંતર થતું નથી.

$$2CuFeS_2(s) + 4O_2(g) \longrightarrow Cu_2S(s) + 2FeO(s) + 3SO_2(g)$$

(iii) પ્રદ્રાવણ : ભૂંજનથી મળેલા મિશ્રણને વાતભઠ્ઠીમાં રેતી (SiO_2) સાથે પીગાળવામાં આવે છે તેથી રેતી અને આયર્ન ઑક્સાઇડ સંયોજાઈ આયર્ન સિલિકેટ ($FeSiO_3$) બનાવે છે, જેને **સ્લૅગ (Slag)** કહે છે. તે હલકો હોવાથી મિશ્રણ ઉપર તરતો રહે છે અને તેથી તેને વખતોવખત મિશ્રણ પરથી દૂર કરવામાં આવે છે. આમ પ્રદ્રાવણ દરમિયાન આયર્ન ઑક્સાઇડ સ્લૅગરૂપે દૂર થાય છે.

$$2FeS(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2FeO(s) + 2SO_2(g)$$

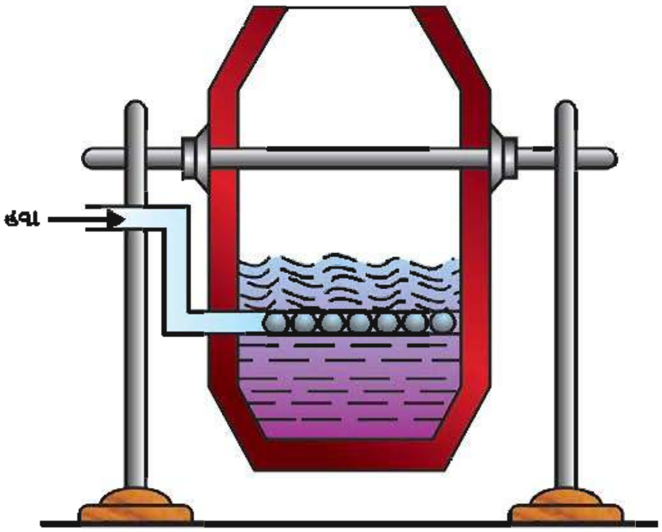
$$FeO(s) + SiO_2(s) \longrightarrow FeSiO_3(s)$$

ભૂંજન દરમિયાન જો ક્યુપ્રસ સલ્ફાઇડ સાથે ક્યુપ્રસ ઑક્સાઇડ બન્યો હોય તો તે ક્યુપ્રસ સલ્ફાઇડમાં ફેરવાય છે.

$$Cu_2O(s) + FeS(s) \longrightarrow Cu_2S(s) + FeO(s)$$

આ રીતે મળતા FeOને સ્લૅગ તરીકે દૂર કરી શકાય છે. ત્યાર બાદ મળતા મિશ્રણમાં આયર્ન સલ્ફાઇડ (FeS) અને ક્યુપ્રસ સલ્ફાઇડ(Cu_2S)નું મિશ્રણ હોય છે. જેને 'મેટ્ટે' (matte) કહે છે. તે ભારે હોવાથી પાત્રમાં તળિયે એકઠી થાય છે અને હલકો આયર્ન સિલિકેટનો સ્લૅગ તરતો રહે છે. જેથી તેને દૂર કરવો સરળ પડે છે.

(iv) બેસેમરીકરણ : બેસેમરીકરણ વિધિમાં મિશ્રણમાં રહી ગયેલા આયર્નને દૂર કરવામાં આવે છે. આ માટે પ્રદ્રાવણથી મળેલા દ્રવને (મિશ્રણને) બેસમર પરિવર્તક (Bassemer's Converter)માં રેડવામાં આવે છે અને તેમાં જરૂર પૂરતી રેતી ઉમેરી આકૃતિ 4.6માં બતાવ્યા પ્રમાણે કન્વર્ટરને ઊભી (શિરોલંબ) સ્થિતિમાં લાવવામાં આવે છે. તેમાં ઊંચા દબાણે હવા દાખલ કરવામાં આવે છે. તેથી આયર્ન સલ્ફાઇડનું ઑક્સાઇડમાં રૂપાંતર થાય છે અને રેતી સાથે સંયોજાઈ આયર્ન સિલિકેટ (સ્લૅગ) બને છે.



આકૃતિ 4.6 બેસેમરીકરણ

$$2FeS(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2FeO(s) + 2SO_2(g)$$

$$FeO(s) + SiO_2(s) \longrightarrow FeSiO_3(s)$$

બેસેમરીકરણ દરમિયાન બધા જ આયર્ન સલ્ફાઇડનું આયર્ન ઑક્સાઇડમાં રૂપાંતર થયા બાદ જ ક્યુપ્રસ સલ્ફાઇડનું ઑક્સિડેશન થઈ ક્યુપ્રસ ઑક્સાઇડ બને છે. જ્યારે પૂરતા પ્રમાણમાં ક્યુપ્રસ ઑક્સાઇડ બને છે ત્યારે હવા દાખલ કરવાનું બંધ કરવામાં આવે છે. ક્યુપ્રસ સલ્ફાઇડ અને ક્યુપ્રસ ઑક્સાઇડ વચ્ચે સ્વયં ઑક્સિડેશનને લીધે કૉપર દ્રવ સ્થિતિમાં મળે છે.

$$2Cu_2S(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2Cu_2O(s) + 2SO_2(g)$$

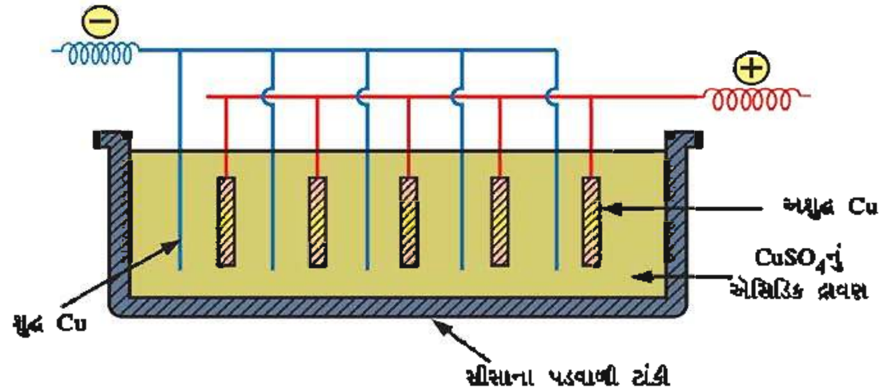
$$Cu_2S(s) + 2Cu_2O(s) \longrightarrow 6Cu(s) + SO_2(g)$$

કૉપરને દ્રવ સ્થિતિમાં બેસેમર કન્વર્ટરમાંથી કાઢી લેવામાં આવે છે. આ કૉપર જેમ જેમ ઠંડું પડે છે તેમ તેમ દ્રવમાંથી સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ વાયુના પરપોટા નીકળતા જણાય છે. આથી કૉપરની સપાટી પર ફોલ્લા પડ્યાં હોય તેવું લાગે છે, જેને **ફોલ્લાવાળું તાંબુ (Blister Copper)** કહે છે. આ કૉપર લગભગ 95 % શુદ્ધ હોય છે. તેમાં મુખ્યત્વે સલ્ફર અને લોખંડની અશુદ્ધિઓ હોય છે. અલ્પ પ્રમાણમાં Zn, Si, As, Sb, Bi, Au, Pt જેવી અશુદ્ધિઓ પણ હોય છે.

(v) શુદ્ધિકરણ :

(A) ઉષ્મા શુદ્ધિકરણ : ફોલ્લાવાળા તાંબાને હવાની હાજરીમાં ક્ષેપક ભઠ્ઠીમાં ગરમ કરવામાં આવે છે, જેથી As, Sb વગેરેના બાષ્પશીલ ઑક્સાઇડ દૂર થાય છે. Fe, Bi, Zn વગેરેના સિલિકેટ કૉપર પર સ્લૅગ તરીકે તરે છે, જેને દૂર કરવામાં આવે છે. રહી જતી અશુદ્ધિઓ જેવી કે Ag, Au, Ptને દૂર કરી શકાતી નથી. આ દરમિયાન થોડો ક્યુપ્રસ ઑક્સાઇડ ઉત્પન્ન થાય છે, જે કૉપરમાં ઓગળે છે અને તેથી તે બરડ બની જાય છે. તેને બરડ બનતો રોકવા દ્રવ તાંબા પર કોલસાની ભૂકી પાથરીને, દ્રવને ઝાડની તાજી કાપેલી ડાળી વડે હલાવવામાં આવે છે. કૉપરની ગરમીને કારણે લાકડાની ડાળીનું વિચ્છેદક નિસ્યંદન થઈ મિથેન જેવા વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે, જે ક્યુપ્રસ ઑક્સાઇડનું કૉપરમાં રિડક્શન કરે છે. આ રીતે મળતું કૉપર 99.5 % શુદ્ધ હોય છે. તે ઘણું મજબૂત હોવાથી સામાન્ય વપરાશમાં ઉપયોગી છે.

(B) વિદ્યુતવિભાજન : ઉષ્મા શુદ્ધિકરણથી મેળવેલ કોપરમાં થોડી ઘણી અશુદ્ધિને કારણે તે સારું વિદ્યુતવાહક હોતું નથી. તેમાં Ag, Au, Pt જેવી ઉમદા ધાતુઓ રહેલી હોવાથી તે મેળવી લેવી હિતાવહ છે. આથી સંપૂર્ણ શુદ્ધ કોપર મેળવવા માટે વિદ્યુતવિભાજન પદ્ધતિ ઉપયોગમાં લેવાય છે. આકૃતિ 4.7માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે કોપર સલ્ફેટના મંદ સલ્ફ્યુરિક એસિડમાં બનાવેલા દ્રાવણને વિદ્યુતવિભાજ્ય તરીકે એક પાત્રમાં લેવામાં આવે છે. તેમાં અશુદ્ધ કોપરની જાડી પટ્ટીઓ અથવા સળિયા એનોડ તરીકે અને શુદ્ધ કોપરની પટ્ટી કેથોડ તરીકે લટકાવવામાં આવે છે. વિદ્યુતપ્રવાહ દ્રાવણોમાં પસાર કરતા વિદ્યુતવિભાજન દ્વારા એનોડ અને કેથોડ પર નીચે પ્રમાણેની પ્રક્રિયાઓ થાય છે :



આકૃતિ 4.7 કોપરનું વિદ્યુતવિભાજન

એનોડ : Cu(s) (અશુદ્ધ) $\longrightarrow$ Cu^{2+}(aq) + $2e^-$ (ઑક્સિડેશન)

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

એકંદર પ્રક્રિયા : Cu(s) (અશુદ્ધ) $\longrightarrow$ Cu(s) (શુદ્ધ)

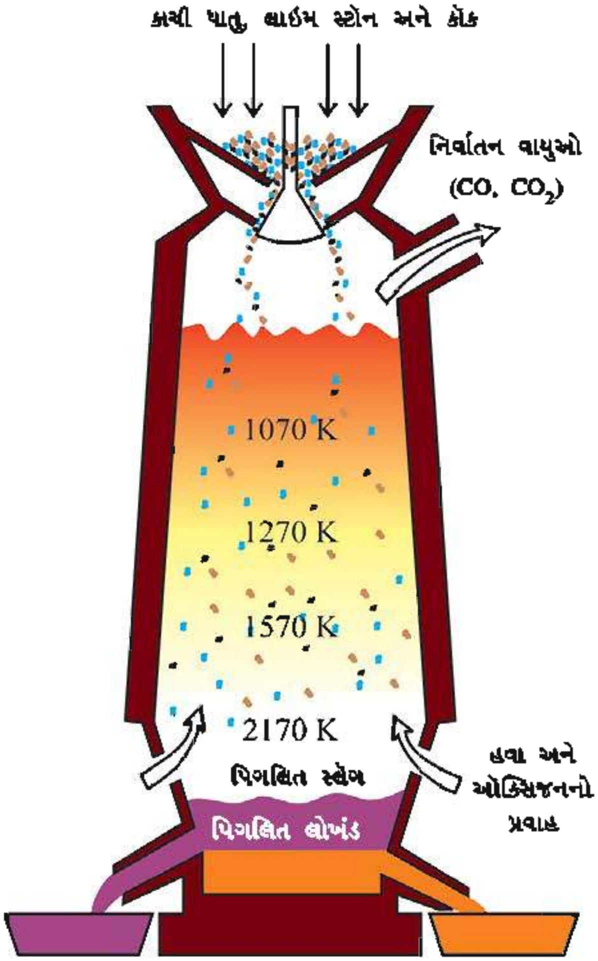
આમ, વીજપ્રવાહ ચાલુ રહે ત્યાં સુધી અશુદ્ધ કોપરનું કોપર આયનમાં ઑક્સિડેશન થઈ દ્રાવણમાં જાય છે અને દ્રાવણમાંનું કોપર આયન રિડક્શન દ્વારા શુદ્ધ કોપર ધાતુમાં ફેરવાય છે, જે કેથોડ પર જમા થાય છે. Ag, Au અને Pt જેવી ઉમદા ધાતુઓનું ઑક્સિડેશન ન થતું હોવાથી તે એનોડ નીચે જમા થાય છે, જેને **એનોડ પંક (anode mud)** કહે છે. તેમાંથી Ag, Au, Pt ધાતુઓ મેળવી શકાય છે. કેથોડ પર મળતા કોપરની શુદ્ધતા 99.96થી 99.99 % જેટલી હોય છે.

કોપરના ઉપયોગો : કોપરનો ઉપયોગ વિદ્યુતીય સાધનો બનાવવામાં, બોઇલરની નળીઓ બનાવવા, પતરાં તથા ગૃહઉપયોગી વાસણો બનાવવામાં, ચલણી સિક્કા તથા સોનાનાં ઘરેણાંને ટકાઉ બનાવવા માટે ઉમેરવામાં આવે છે. Ag, Au જેવી ધાતુઓના આયનો તેમના દ્રાવણમાંથી ધાતુરૂપે મેળવવાની રિડક્શન પ્રક્રિયામાં પણ વપરાય છે. આ ઉપરાંત કોપર ઘણી બધી મિશ્ર ધાતુઓ બનાવે છે. જેમાંની કેટલીક જાણીતી મિશ્ર ધાતુઓમાં પિત્તળ, કાંસુ, જર્મન સિલ્વર, મોનલ મેટલ, બેલ મેટલ, ડેલ્ટા મેટલ, કોન્સ્ટન્ટન, મુન્ટ્ઝ મેટલ, ફોસ્ફર બ્રૉન્ઝ, એલ્યુમિનિયમ બ્રૉન્ઝ વગેરે છે.

(3) આયર્ન ધાતુનું નિષ્કર્ષણ : આયર્નની કાચી ધાતુઓ પૈકી હેમેટાઇટ (Fe_2O_3)નો ઉપયોગ આયર્ન ધાતુ મેળવવા માટે થાય છે. આ માટેના ત્રણ તબક્કાઓ છે :

(i) ભૂંજન અને કેલ્શિનેશન (ii) રિડક્શન અને પ્રદ્રાવણ (iii) શુદ્ધિકરણ

(i) ભૂંજન અને કેલ્શિનેશન : આયર્ન ધરાવતી ઑક્સાઇડ સ્વરૂપની કાચી ધાતુઓને પહેલા થોડા કોલ સાથે ભઠ્ઠીમાં ગરમ કરી ભૂંજન કરવામાં આવે છે જેથી તેમાંથી ભેજ, કાર્બોનેટનું વિઘટન થઈ કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ વગેરે બાષ્પશીલ અશુદ્ધિઓ દૂર થાય છે. ફેરસ ઑક્સાઇડનું ફેરિક ઑક્સાઇડમાં રૂપાંતર થતું હોવાથી તે સિલિકા સાથે સંયોજાઈ પ્રદ્રાવણ સ્લેગ બનાવતો નથી. ભઠ્ઠીમાં રહેલું મિશ્રણ છિદ્રાળુ બને છે.



આકૃતિ 4.8 વાતભઠ્ઠી

(ii) રિડક્શન અને પ્રદ્રાવણ : ભૂંજનથી મળેલા છિદ્રાળુ મિશ્રણમાં લાઇમ સ્ટોન, કોક વગેરે ઉમેરી તેમને આકૃતિ 4.8માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે વાતભઠ્ઠી (Blast Furnace)ના ઉપરના ભાગમાંથી ઉમેરવામાં આવે છે. અહીં ઑક્સાઇડનું આયર્ન ધાતુમાં રિડક્શન થાય છે. વાતભઠ્ઠીમાં થતી પ્રક્રિયાઓ સમજવામાં ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર ઉપયોગી નીવડે છે. જેમ કે કોકમાંથી બનતો કાર્બન મોનોક્સાઇડ કેવી રીતે રિડક્શન કરે છે ? શા માટે આવી જ ભઠ્ઠી પસંદ કરવામાં આવી છે ? આ ભઠ્ઠીનું મુખ્ય કાર્ય નીચેની પ્રક્રિયાઓ પૂરી કરવાનું છે :

$$FeO(s) + C(s) \longrightarrow Fe(s/l) + CO(g) \qquad (4.1)$$

આમ કોક સીધું જ રિડક્શન કરી શકે છે. કાર્બન સાથે FeOમાંથી મળતો ઑક્સિજન સંયોજાઈ CO વાયુ બનાવે છે.

$$FeO(s) \longrightarrow Fe(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \qquad [\Delta G\,(FeO, Fe)] \qquad (4.2)$$

$$C(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO(g) \qquad [\Delta G\,(C, CO)] \qquad (4.3)$$

ઉપરોક્ત સરળ પ્રક્રિયાઓ (4.2) અને (4.3)ના સમન્વયથી પ્રક્રિયા (4.1) મળે છે. આથી પ્રક્રિયાનો મુક્તશક્તિ ફેરફાર ($\Delta_r G$) નીચે પ્રમાણે થશે :

$$\Delta_r G = \Delta G\,(C,CO) + \Delta G\,(FeO,\ Fe) \qquad (4.4)$$

જો ΔGનું મૂલ્ય ઋણ મળે તો જ પ્રક્રિયા પરિણમે. આથી $\Delta_r G$ અને તાપમાનના અભ્યાસ પરથી જુદાં જુદાં તાપમાને $\Delta_r G$માં થતા ફેરફારોનો અભ્યાસ કરી વાતભઠ્ઠીમાં થતી પ્રક્રિયાઓના તાપમાનનું નિયંત્રણ કરીને પ્રક્રિયા પરિણમે તેવું કરી શકાય. તમે ધોરણ 10માં ભણી ગયા છો કે વાતભઠ્ઠી ખૂબ ઊંચી ભઠ્ઠી છે અને તેમાં જુદી જુદી ઊંચાઈએ તાપમાન જુદાં જુદાં હોય છે. 500-800 K (વાતભઠ્ઠીમાં નીચા તાપમાનનો ગાળો) તાપમાને નીચેની પ્રક્રિયાઓ થાય છે :

$$3Fe_2O_3(s) + CO(g) \longrightarrow 2Fe_3O_4(s) + CO_2(g)$$

$$Fe_3O_4(s) + CO(g) \longrightarrow 3FeO(s) + CO_2(g)$$

$$Fe_2O_3(s) + CO(g) \longrightarrow 2FeO(s) + CO_2(g)$$

900-1500 K (વાતભઠ્ઠીમાં ઊંચા તાપમાનનો ગાળો) તાપમાને નીચેની પ્રક્રિયાઓ થાય છે :

$$C(s) + CO_2(g) \longrightarrow 2CO(g)$$

$$FeO(s) + CO(g) \longrightarrow Fe(s) + CO_2(g)$$

લાઇમસ્ટોનનું વિઘટન થઈ મળતો કૅલ્શિયમ ઑક્સાઇડ કાચી ધાતુમાંની સિલિકેટ અશુદ્ધિને સ્લૅગ તરીકે દૂર કરે છે. સ્લૅગ પિગલિત સ્વરૂપમાં હોઈ આયર્નથી અલગ પડી જાય છે. આમ, વાતભઠ્ઠીમાં જુદાં જુદાં તાપમાને થતી પ્રક્રિયાઓ નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :

(i) 500-900 K તાપમાનના ગાળામાં

$$3Fe_2O_3(s) + CO(g) \longrightarrow 2Fe_3O_4(s) + CO_2(g)$$
(કાચી ધાતુ)

$$Fe_3O_4(s) + CO(g) \longrightarrow 3FeO(s) + CO_2(g)$$

$$CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g)$$
(લાઈમ સ્ટોન)

$$CaO(s) + SiO_2(s) \longrightarrow \underset{\text{(સ્લૅગ)}}{CaSiO_3(s)}$$

(ii) 1270 K તાપમાને

$$FeO(s) + CO(g) \longrightarrow Fe(s) + CO_2(g)$$

$$C(s) + CO_2(g) \longrightarrow 2CO(g)$$
(કોક)

$$FeO(s) + C(s) \longrightarrow Fe(s) + CO(g)$$

(iii) 2170 K તાપમાને પિગળિત સ્લૅગ બને છે.

(iv) 2170 K કરતાં ઊંચા તાપમાને પિગ આયર્ન બને છે.

વાતભઠ્ઠીમાંથી મળેલું આયર્ન 4 % કાર્બન ધરાવે છે અને ઘણી અશુદ્ધિઓ ઉપરાંત અલ્પ પ્રમાણમાં S, P, Si, Mn વગેરે ધરાવે છે. તેને **પિગ આયર્ન (Pig iron)** કહે છે. પિગ આયર્નને જુદા જુદા આકારમાં ઘડી શકાય છે. ઘડતર લોખંડ (Cast iron) પિગ આયર્ન કરતાં અલગ છે. પિગ આયર્ન, આયર્નનો ભંગાર અને કોકના મિશ્રણમાં ગરમ હવા ફૂંકવાથી ઘડતર લોખંડ બને છે. તેમાં કાર્બનનું પ્રમાણ કંઈક અંશે ઓછું (આશરે 3 %) જેટલું હોય છે. તે સખત અને બરડ હોય છે.

(iii) શુદ્ધિકરણ : ભરતર લોખંડ (Wrought iron) અથવા દબનીય લોખંડ (Malleable iron) વ્યાવહારિક લોખંડમાંનું સૌથી શુદ્ધ સ્વરૂપ છે. ભરતર લોખંડને ઘડતર લોખંડમાંથી પરાવર્તની ભઠ્ઠી (reverberatory)માં બનાવવામાં આવે છે કે જેમાં હેમેટાઇટનું પડ લગાવેલું હોય છે. હેમેટાઇટ કાર્બનનું કાર્બન મોનોક્સાઇડમાં રૂપાંતર કરે છે.

$$Fe_2O_3(s) + 3C(s) \longrightarrow 2Fe(s) + 3CO(g)$$

લાઇમસ્ટોનને અભિવાહક (flux) તરીકે ઉમેરવામાં આવે છે અને સલ્ફર, સિલિકોન તથા ફૉસ્ફરસનું ઑક્સિડેશન થઈ સ્લૅગ સાથે નીકળી જાય છે. ધાતુને ભઠ્ઠીમાંથી બહાર કાઢી લઈ રોલર વચ્ચેથી પસાર કરતાં સ્લૅગ દૂર થાય છે અને આયર્ન ધાતુ મળે છે.

આયર્નના ઉપયોગો : આયર્નનું સૌથી વધુ અગત્યનું સ્વરૂપ ઘડતર લોખંડ છે. તેને ઘડી શકાતું હોઈ તે સ્ટવ, રેલવેના પાટા, ગટરના પાઇપ, રમકડાં વગેરે બનાવવામાં વપરાય છે. તે ભરતર લોખંડ અને સ્ટીલ બનાવવામાં વપરાય છે. ભરતર લોખંડ વહાણના લંગર (anchor), તાર, બોલ્ટ, સાંકળો, ખેતીવાડીનાં સાધનો વગેરે બનાવવામાં વપરાય છે. સ્ટીલના અનેક ઉપયોગો છે. આયર્ન સાથે અન્ય ધાતુઓ ભેળવી ઇચ્છનીય ગુણધર્મવાળા જુદા જુદા પ્રકારના સ્ટીલ બનાવી શકાય છે. નિકલ ધરાવતા સ્ટીલનો ઉપયોગ દોરડાઓ, ઑટોમોબાઇલ, ઍરોપ્લેનના ભાગો, લોલકો, માપવા માટેની ટેપ વગેરેમાં થાય છે. ક્રોમિયમ ધરાવતા સ્ટીલનો ઉપયોગ કાપવાના અને દળવાનાં યંત્રોમાં તથા સ્ટેનલેસ સ્ટીલનો ઉપયોગ સાઇકલ, ઑટોમોબાઇલ, વાસણો, પેન વગેરેમાં થાય છે.

(4) ઝિંક ધાતુનું નિષ્કર્ષણ : ઝિંક ધાતુની કાચી ધાતુઓ, ઑક્સાઇડ, કાર્બોનેટ અને સલ્ફાઇડ સ્વરૂપે મળી આવે છે. જેમાંની ઝિંક સલ્ફાઇડ ઝિંક બ્લેન્ડ તરીકે ઓળખાય છે. તેનો ઉપયોગ મહદંશે ઝિંક ધાતુ મેળવવા થાય છે. કાર્બન

વડે રિડક્શન દ્વારા ઝિંક ધાતુ મેળવાય છે. આ નિષ્કર્ષણ જુદા જુદા ચાર તબક્કામાં થાય છે : (i) સંકેન્દ્રીકરણ (ii) ભૂંજન (iii) રિડક્શન (iv) શુદ્ધિકરણ

(i) સંકેન્દ્રીકરણ : ઝિંકની કાચી ધાતુ ZnS સલ્ફાઇડયુક્ત ખનિજ હોવાથી તેનું અગાઉ શીખ્યા તેમ ફીણપ્લાવન પદ્ધતિનો ઉપયોગ કરી સંકેન્દ્રીકરણ કરવામાં આવે છે. તે ગેલિના (લેડ સલ્ફાઇડ-PbS), રેતી વગેરે અશુદ્ધિઓ ધરાવે છે. તેને દળીને પાઉડર સ્વરૂપમાં ફેરવી એક પાત્રમાં લેવામાં આવે છે, જેમાં પાણી ઉમેરવામાં આવે છે. તેમાં ટર્પેન્ટાઇન ઓઇલ ઉમેરી હવા પસાર કરવામાં આવે છે. આથી ઝિંકના સલ્ફાઇડ ખનિજ હલકા હોવાથી હવાના પરપોટા દ્વારા બનતા હલકા ફીણ સાથે ઉપર આવી જાય છે. જ્યારે અન્ય અશુદ્ધિ દ્રાવણમાં રહી જાય છે અથવા તળિયે બેસી જાય છે. આમ ફીણપ્લાવન વિધિથી મળેલા ફીણને વખતોવખત ઝારા વડે દૂર કરી સંકેન્દ્રિત કાચી ધાતુ એકઠી કરવામાં આવે છે. જો ખનિજ તરીકે કેલેમાઇન હોય તો તેમાં ગેલિનાની અશુદ્ધિ ન હોવાથી આ પ્રક્રિયા કરવી પડતી નથી.

(ii) ભૂંજન : સંકેન્દ્રિત કાચી ધાતુ ZnS અથવા કેલેમાઇનનું હવામાં ભૂંજન કરવામાં આવે છે. જેથી તે ઓક્સાઇડ સ્વરૂપ ZnOમાં ફેરવાય છે. કાચી ધાતુ તરીકે ZnS હોય ત્યારે એ ધ્યાન રાખવું જરૂરી બને છે કે તે શક્ય તેટલું ZnOમાં ફેરવાય, નહિ તો મુક્ત થતો SO_2 વાયુ સાથે સંયોજાઈ ઝિંક સલ્ફેટમાં ફેરવાઈ જાય છે.

$$2ZnS(s) + 3O_2(g) \xrightarrow{\Delta} 2ZnO(s) + 2SO_2(g)$$

જો કાર્બોનેટ ખનિજ હોય તો,

$$ZnCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} ZnO(s) + CO_2(g)$$

આમ, ઝિંક ઓક્સાઇડ મેળવાય છે.

(iii) રિડક્શન : ભૂંજન દ્વારા મેળવેલ ઝિંક ઓક્સાઇડને પાઉડર સ્વરૂપ ધરાવતા કોલ અથવા એન્થ્રેસાઈટ કોલ સાથે મિશ્ર કરી નળાકારીય રિટોર્ટ (retort) જે અગ્નિરોધક (fire clay) ઈંટોનો બનેલો હોય છે. તેમાં લાલચોળ થાય તે રીતે સખત ગરમ કરવામાં આવે છે. રિટોર્ટનો એક છેડો બંધ હોય છે અને તેના બીજા ખુલ્લા ભાગ સાથે બીજા રિટોર્ટ જોડવામાં આવે છે. જેથી તે શીતક (condensor) તરીકે કામ કરે છે અને બહાર આવતી ઝિંકની બાષ્પને ઠંડી પાડે છે. આવા ઘણા બધા રિટોર્ટ એકબીજા સાથે જોડી શકાય. તેને તેના મુખ તરફ ઢળતો રાખવામાં આવે છે. જ્યારે ગરમ કરવામાં આવે ત્યારે કાર્બન, ઝિંક ઓક્સાઇડના ઓક્સિજન સાથે સંયોજાઈ કાર્બન મોનોક્સાઇડ બનાવે છે. કાર્બન મોનોક્સાઇડ ચિનાઈ માટીના ટ્યૂબના છેડે વાદળી જ્યોતથી બળે છે. થોડા સમય પછી જ્યોત વધુ તેજસ્વી બને છે જે દર્શાવે છે કે હવે ધાતુની બાષ્પ બનવા લાગી છે. એક નાનું શીતક કે જે લોખંડનું બનાવેલું હોય છે જેને પ્રોલોંગ (prolong) અથવા નોઝલ કહે છે. તેને ચિનાઈ માટીની ટ્યૂબના દરેક છેડા સાથે જોડવામાં આવે છે જેથી ઝિંક ધાતુ ઠરીને તેમાં જમા થાય છે. આ ધાતુને કાઢી લઈ તેને ચોસલામાં ઢાળવામાં આવે છે જેથી આપણને વ્યાપારિક (commercial) ધોરણે ઝિંક મળે છે જેને **સ્પેલ્ટર (spelter)** કહે છે.

$$ZnO(s) + C(s) \xrightarrow{\Delta} Zn(s) + CO(g)$$

શરૂઆતમાં આવતા નિસ્યંદિત પ્રવાહીમાં કેડમિયમની અશુદ્ધિ નીકળી જાય છે કારણ કે તે સહેલાઈથી રિડક્શન પામે છે અને તે ઝિંક કરતાં વધુ બાષ્પશીલ છે.

(iv) શુદ્ધિકરણ : રિડક્શન દ્વારા મેળવેલ Zn જેને સ્પેલ્ટર કહે છે, તેમાં Fe, Al, As, Sb જેવી અશુદ્ધિઓ હોય છે જેને વારંવાર નિસ્યંદન દ્વારા દૂર કરી શકાય છે. પરંતુ શુદ્ધ ઝિંક સલ્ફેટનું દ્રાવણ મેળવવા માટે તેની મંદ H_2SO_4 સાથે પ્રક્રિયા કરવામાં આવે છે. ઝિંક સલ્ફેટના આ દ્રાવણનું ઘનિષ્ઠ શુદ્ધિકરણ કરવામાં આવે છે. કેડમિયમનું ઝિંક રજ વડે અવક્ષેપન કરવામાં આવે છે. આયર્ન ફેરિક અવસ્થામાં ફેરવાય છે. Al, Sb અને Asને યોગ્ય એસિડિકતાવાળા દ્રાવણથી અલગ કરવામાં આવે છે. ત્યાર બાદ દ્રાવણને ગાળી લઈ શુદ્ધ ઝિંક સલ્ફેટનું દ્રાવણ મેળવવામાં આવે છે. અગાઉ કોપર

માટે જોયું તેમ અશુદ્ધ ઝિંકનો ઍનોડ બનાવવામાં આવે છે અને શુદ્ધ ઝિંકની પટ્ટી અથવા સળિયાનો કૅથોડ બનાવવામાં આવે છે. વિદ્યુતવિભાજ્ય તરીકે મંદ H_2SO_4 ધરાવતું $ZnSO_4$નું દ્રાવણ રાખવામાં આવે છે. ઍનોડ અને કૅથોડ પર નીચે પ્રમાણે પ્રક્રિયાઓ થાય છે :

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

કૅથોડ : $Zn^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Zn(s)$ (શુદ્ધ) (રિડક્શન)

કુલ પ્રક્રિયા : $Zn(s)$ (અશુદ્ધ) $\longrightarrow Zn(s)$ (શુદ્ધ)

ઝિંકના ઉપયોગો : ઝિંકનો ઉપયોગ વિદ્યુતીય કોષ બનાવવામાં, ઝિંકનો ઢોળ ચઢાવવામાં તથા ગૅલ્વેનાઇઝિંગ માટે પણ છે. પિત્તળ, જર્મન-સિલ્વર જેવી મિશ્ર ધાતુઓમાં કૉપર સાથે વપરાય છે. ઝિંક પાઉડર રિડક્શન-પ્રક્રિયામાં વપરાય છે. Ag^+ અથવા Au^{3+} આયન ધરાવતાં દ્રાવણોમાંથી ચાંદી (Ag) અને ગોલ્ડ (Au) ધાતુ સ્વરૂપે રિડક્શન દ્વારા મેળવાય છે. લોખંડના પતરા પર ઢોળ ચઢાવી ગૅલ્વેનાઇઝ્ડ આયર્ન, ક્ષારણથી રક્ષણ મેળવવામાં ઉપયોગી છે.

સારાંશ

લોખંડ, તાંબુ, ચાંદી, સોનું, પારા જેવી ધાતુઓ અને ઑક્સિજન, નાઇટ્રોજન જેવી અધાતુઓ માનવજીવન સાથે આદિકાળથી સંકળાયેલી છે. આ બધી ધાતુઓ આપણે શુદ્ધ સ્વરૂપમાં અથવા અન્ય કોઈ પદાર્થ સાથે ભેળવેલી મિશ્ર ધાતુ તરીકે વાપરતા આવ્યા છીએ. આવી ધાતુઓ મેળવતા પહેલાં ઘણીબધી પ્રક્રિયાઓ અને પ્રક્રમોનો ઉપયોગ કરવો પડે છે.

ધાતુઓ મોટે ભાગે તેમના ઑક્સાઇડ, સલ્ફાઇડ કે કાર્બોનેટ સંયોજન સ્વરૂપે સંયોજિત અવસ્થામાં અને ઘણા ઓછા કિસ્સાઓમાં મુક્ત સ્વરૂપે મળી આવે છે. પૃથ્વીના પોપડામાં તેમના પ્રમાણમાં અલગ અલગ હોય છે, જે પદાર્થો ખડક, ખાણ અથવા પૃથ્વીના પોપડામાંથી મેળવવામાં આવે છે તેને ખનિજ કહે છે. એક જ ધાતુના એક કરતાં વધુ ખનિજ હોઈ શકે છે. દરેક ખનિજમાંથી ધાતુ કે તત્ત્વનું એકસરખું પ્રમાણ પણ મળતું નથી. આથી જુદાં જુદાં ખનિજોમાંથી સૌથી વધુ અને ઊંચી ગુણવત્તાવાળો ભાગ મેળવીએ તેને કાચી ધાતુ કહે છે. જેમ કે લોખંડ માટે હેમેટાઇટ, ઍલ્યુમિનિયમ માટે બૉક્સાઇટ, કૉપર માટે કૉપર પાઇરાઇટ્સ, ઝિંક માટે ઝિંક બ્લેન્ડ વગેરે.

કાચી ધાતુમાંથી ધાતુનું નિષ્કર્ષણ કરવાની સમગ્ર પ્રક્રિયાને ધાતુકર્મવિધિ કહે છે. આ એકમમાં આપણે કેટલીક ધાતુઓની તેમના ખનિજ અથવા કાચી ધાતુમાં નિષ્કર્ષણ કરવા વિશે અભ્યાસ કર્યો છે. અશુદ્ધિઓ, ભૂમિય પદાર્થો વગેરે સાથેના ધાતુના સંયોજિત સ્વરૂપને ગૅંગ (gangue) કહે છે. કાચી ધાતુમાંથી ધાતુ મેળવવા માટે અગત્યના ત્રણ તબક્કા છે : (i) કાચી ધાતુનું સંકેન્દ્રિકરણ (ii) સંકેન્દ્રિત કાચી ધાતુમાંથી ધાતુનું અલગીકરણ અને (iii) ધાતુનું શુદ્ધિકરણ. પૃથ્વીના પોપડામાં ઍલ્યુમિનિયમની કાચી ધાતુની પ્રચુરતા પૃથ્વીના પોપડામાંથી મળતાં તત્ત્વોમાં ત્રીજે સ્થાને છે. કાચી ધાતુના સંકેન્દ્રિકરણમાં અશુદ્ધિઓ, ધાતુના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મો તથા પર્યાવરણને નુકસાન ન કરે તે બાબતોને ધ્યાનમાં રાખી પદ્ધતિઓ વિકસાવવામાં આવે છે. સંકેન્દ્રિકરણ માટેની પદ્ધતિઓમાં (1) જલીય પ્રક્ષાલન (2) ચુંબકીય અલગીકરણ (3) ફીણપ્લાવન પદ્ધતિ અને (4) નિક્ષાલન પદ્ધતિ છે. જલીય પ્રક્ષાલનનો સિદ્ધાંત ગૅંગની સાપેક્ષ ઘનતાનો છે. ચુંબકીય અલગીકરણ પદ્ધતિમાં ચુંબકીય ક્ષેત્રમાં આકર્ષણ-અપાકર્ષણનો સિદ્ધાંત છે. ફીણપ્લાવન પદ્ધતિમાં સલ્ફાઇડ ખનિજોની કૃત્રિમ રીતે ફીણ ઉત્પન્ન કરી સંકેન્દ્રિત કરવામાં આવે છે. નિક્ષાલનમાં જુદા જુદા દ્રાવ્યની જુદા જુદા દ્રાવકોમાં દ્રાવ્યતાનો સિદ્ધાંત છે.

કાચી ધાતુ (અયસ્ક)માંથી અપરિષ્કૃત (crude) ધાતુના નિષ્કર્ષણમાં કેટલાક તબક્કાઓ સંકળાયેલા છે. જેમ કે ઑક્સાઇડમાં પરિવર્તન અને ઑક્સાઇડનું ધાતુમાં રિડક્શન. ઑક્સાઇડમાં પરિવર્તન માટે ઉપયોગમાં લેવાતા તબક્કાઓમાં (1) કૅલ્શિનેશન (2) ભૂંજન - જેના દ્વારા ધાતુ ઑક્સાઇડ સ્વરૂપમાં મેળવાય છે. કેટલાક પદાર્થોને

દૂર કરવા માટે કેટલાક પદાર્થો ઉમેરાય છે. જેમ કે આયર્ન ઑક્સાઇડને દૂર કરવા રેતી (સિલિકા) ઉમેરવામાં આવે છે. જેથી આયર્ન સિલિકેટ ($FeSiO_3$) સ્લેગ સ્વરૂપમાં મળે છે. તે હલકો હોવાથી દૂર કરી શકાય છે. આવાં કાર્યો માટે વપરાતી ભઠ્ઠીઓમાં પરાવર્તની ભઠ્ઠી ક્ષેપક ભઠ્ઠી અને વાતભઠ્ઠી જેવી ભઠ્ઠીઓ વપરાશમાં લેવાય છે.

ધાતુના ઑક્સાઇડ મેળવ્યા બાદ તેની યોગ્ય રિડક્શનકર્તા સાથે પ્રક્રિયા કરી ધાતુ મેળવાય છે. રિડક્શનકર્તા તરીકે કાર્બન, કોલ, કાર્બન મોનૉક્સાઇડ, સક્રિય ધાતુ વગેરેનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. તાપમાનના ફેરફાર સાથેના ધાતુકર્મવિધિના અભ્યાસને 'પાયરો (ઉત્તાપીય) ધાતુકર્મવિધિ' (pyrometallurgy) કહે છે. વિદ્યુતપ્રવાહ દ્વારા ઇલેક્ટ્રોનનો ઉપયોગ કરીને પણ રિડક્શન કરી શકાય છે.

ઉષ્માગતિશાસ્ત્રમાંના સિદ્ધાંતો, રાસાયણિક સંતુલન, લ-શેટેલિયરનો સિદ્ધાંત તથા મુક્તશક્તિ ફેરફાર, સંતુલન અચળાંક, એન્થાલ્પી, એન્ટ્રોપી વગેરે પર્યાયોનો અભ્યાસ અને જાણકારી ધાતુકર્મવિધિમાં ખૂબ જ જરૂરી બને છે. કોઈ પણ પ્રક્રિયા નીપજમાં પરિણમવા માટે સંતુલન અચળાંકનું મૂલ્ય 1 કરતાં વધુ હોવું જોઈએ અને તેને અનુરૂપ મુક્તશક્તિ ફેરફારનું મૂલ્ય શક્ય તેટલું વધુ ઋણ હોવું જરૂરી છે. વૈજ્ઞાનિક એલિંગહામે (Ellingham) પ્રમાણિત મુક્તશક્તિ ઘટાડો ($-\Delta G^0$) અને તાપમાન (કેલ્વિન એકમ) વચ્ચેના સંબંધનો અભ્યાસ કર્યો જેને એલિંગહામ આકૃતિઓ કહે છે. ધાતુકર્મવિધિ સાથે સંકળાયેલા ભૌતિક-રાસાયણિક સિદ્ધાંતોનો પણ આ એકમમાં ઉપયોગ સમજાવેલ છે. ઑક્સિડેશન એટલે ઇલેક્ટ્રોન ગુમાવવો જે વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાં એનોડ પર થાય છે અને રિડક્શન એટલે ઇલેક્ટ્રોન મેળવવો, જે વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાં કેથોડ પર થાય છે. તેથી અશુદ્ધ ધાતુનું એનોડ દ્વારા ઑક્સિડેશન કરી શુદ્ધ ધાતુ કેથોડ પર રિડક્શન દ્વારા જમા કરી શકાય છે. જેમ કે અશુદ્ધ કોપરના એનોડ પરથી શુદ્ધ કૉપર કેથોડ પર મેળવી શકાય છે. આ પદ્ધતિ દ્વારા મળતી ધાતુની શુદ્ધતા લગભગ 100 % છે. કેટલીક ધાતુઓને યોગ્ય પ્રક્રિયક ઉમેરી, દ્રાવ્ય સંકીર્ણ સંયોજન સ્વરૂપમાં ફેરવી અન્ય અશુદ્ધિઓથી અલગ કરી શકાય. જેમ કે સિલ્વર અને ગોલ્ડ જેવી ધાતુઓની સોડિયમ સાયનાઇડ જેવા પદાર્થો સાથેની પ્રક્રિયા.

અશુદ્ધ ધાતુઓના શુદ્ધિકરણ માટે નીચેની પદ્ધતિઓ ઉપયોગમાં લેવાય છે : (1) નિસ્યંદન (2) દ્રવગલન (3) વિદ્યુતવિભાજન (4) ઝોન શુદ્ધિકરણ (5) બાષ્પ અવસ્થા શુદ્ધિકરણ (6) ક્રોમેટોગ્રાફીય પદ્ધતિઓ.

પારા જેવી ધાતુ નિસ્યંદનથી શુદ્ધ કરી શકાય છે. ટિન જેવી ધાતુ દ્રવગલનથી શુદ્ધ કરી શકાય છે. કૉપર જેવી ધાતુ વિદ્યુતવિભાજન પદ્ધતિથી, સિલિકોન જેવી અર્ધ ધાતુ ઝોન રિફાઇનિંગ પદ્ધતિથી અને નિકલ જેવી ધાતુનું નિકલ કાર્બોનિલ જેવું વાયુમય સંયોજન બનાવી બાષ્પ અવસ્થા પદ્ધતિથી શુદ્ધ કરી શકાય છે. વાન આર્કેલ પદ્ધતિથી ઝિર્કોનિયમ અને ટિટેનિયમ જેવી ધાતુઓનું શુદ્ધિકરણ કરી શકાય છે. કેટલીક ધાતુઓના આયનોને ક્રોમેટોગ્રાફીય અલગીકરણથી શુદ્ધ રીતે મેળવ્યા બાદ રિડક્શન દ્વારા ધાતુ સ્વરૂપે મેળવી શકાય છે.

આ ઉપરાંત આ એકમમાં ઍલ્યુમિનિયમ, કોપર, આયર્ન અને ઝિંક ધાતુઓના નિષ્કર્ષણનો અભ્યાસ કર્યો. આ અભ્યાસને નીચેના કોષ્ટકમાં સારાંશરૂપે દર્શાવી શકાય :

ક્રમ	કાચી ધાતુ	શુદ્ધ ધાતુ	પદ્ધતિ અને તેનું નામ
1.	બૉક્સાઇટ ($Al_2O_3 \cdot XH_2O$)	ઍલ્યુમિનિયમ	વિદ્યુતવિભાજન દ્વારા હૉલ-હેરૉલ્ટ પદ્ધતિ
2.	કૉપર પાઇરાઇટ્સ ($CuFeS_2$)	કૉપર	ઉષ્મીય શુદ્ધિકરણ અને વિદ્યુતવિભાજન પદ્ધતિ
3.	હેમેટાઇટ (Fe_2O_3)	આયર્ન	વાતભઠ્ઠીના ઉપયોગથી
4.	ઝિંક બ્લૅન્ડ (ZnS)	ઝિંક	વિદ્યુતવિભાજન પદ્ધતિ

આ ઉપરાંત આ એકમમાં દરેક ધાતુના ઉપયોગો, તેમની અન્ય ધાતુઓ સાથેની મિશ્ર ધાતુઓ વગેરેનો સમાવેશ પણ કરવામાં આવેલ છે. દેશની આર્થિક સ્થિતિમાં ધાતુ અને અધાતુના નિષ્કર્ષણથી મળતી નીપજો અગત્યનો ભાગ ભજવે છે.

સ્વાધ્યાય

1. આપેલા વિકલ્પોમાંથી યોગ્ય વિકલ્પ પસંદ કરો :

(1) એલ્યુમિનિયમની કાચી ધાતુ કઈ છે ?

(A) બૉક્સાઇટ (B) હેમેટાઇટ (C) કૉપર પાઇરાઇટ્સ (D) ઝિંક બ્લેન્ડ

(2) કૉપરની કાચી ધાતુ કઈ છે ?

(A) બૉક્સાઇટ (B) હેમેટાઇટ (C) કૉપર પાઇરાઇટ્સ (D) ઝિંક બ્લેન્ડ

(3) ઝિંકની કાચી ધાતુ કઈ છે ?

(A) બૉક્સાઇટ (B) હેમેટાઇટ (C) કૉપર પાઇરાઇટ્સ (D) ઝિંક બ્લેન્ડ

(4) આયર્નની કાચી ધાતુ કઈ છે ?

(A) બૉક્સાઇટ (B) હેમેટાઇટ (C) કૉપર પાઇરાઇટ્સ (D) ઝિંક બ્લેન્ડ

(5) ઝોન રિફાઇનિંગ પદ્ધતિથી કઈ ધાતુનું શુદ્ધિકરણ કરવામાં આવે છે ?

(A) કૉપર (B) ઝિંક (C) સિલિકોન (D) એલ્યુમિનિયમ

(6) વિદ્યુતવિભાજન પદ્ધતિથી કઈ ધાતુનું શુદ્ધિકરણ કરવામાં આવે છે ?

(A) મરક્યુરિ (B) ઝિંક (C) ટિન (D) સિલિકોન

(7) એલ્યુમિનિયમના શુદ્ધિકરણમાં વપરાતી પદ્ધતિનું નામ શું છે ?

(A) વાન આર્કેલ (B) બેસેમરીકરણ (C) હૉલ-હેરોલ્ટ (D) હિટલર-લંડન

(8) કાચી ધાતુને ખૂબ તપાવી ઑક્સાઇડમાં રૂપાંતર કરવું તેને શું કહે છે ?

(A) ભૂંજન (B) નિસ્યંદન (C) પ્રવાહીકરણ (D) વિદ્યુતવિભાજન

(9) કઈ પદ્ધતિમાં તાપમાનનો ગાળો અગત્યનો ભાગ ભજવે છે ?

(A) વિદ્યુતવિભાજન (B) ઝોન રિફાઇનિંગ (C) વાતભઠ્ઠી (D) નિક્ષાલન

(10) ક્રોમેટોગ્રાફીય અલગીકરણમાં કયો સિદ્ધાંત સમાયેલો છે ?

(A) અવક્ષેપન (B) જલીયકરણ (C) વિઘટન (D) અધિશોષણ

2. નીચેના પ્રશ્નોના ટૂંકમાં ઉત્તર લખો :

(1) ઝોન રિફાઇનિંગ પદ્ધતિનો સિદ્ધાંત સમજાવો અને તેનાથી કઈ ધાતુનું શુદ્ધિકરણ થઈ શકે તે જણાવો.

(2) ભૂંજન અને કેલ્શિનેશન વિગતવાર સમજાવો.

(3) રિડક્શનકર્તા તરીકે કાર્બન અને કાર્બન મોનૉક્સાઇડના ઉપયોગનું વર્ણન કરો.

(4) વિદ્યુતવિભાજન રિડક્શન પદ્ધતિ છે તે સમજાવો.

(5) વાતભઠ્ઠીમાં જુદાં જુદાં તાપમાન ગાળામાં થતી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ લખો.

3. નીચેના પ્રશ્નોના ઉત્તર લખો :

(1) ખનિજમાંથી કાચી ધાતુ મેળવવાની રીતોનું ટૂંકમાં વર્ણન કરો.

(2) ધાતુકર્મવિધિમાં ભૌતિક-રાસાયણિક સિદ્ધાંતોનો ઉપયોગ સમજાવો.

(3) હૉલ-હેરોલ્ટ પદ્ધતિ વર્ણવો.

(4) અશુદ્ધ કૉપરનું વિદ્યુતવિભાજન સમજાવો.

(5) ઝોન રિફાઇનિંગ પદ્ધતિ વિગતવાર સમજાવો.

4. નીચેના પ્રશ્નોના વિગતવાર ઉત્તર લખો :

(1) સ્લૅગ એટલે શું ? તેની શી જરૂરિયાત છે અને તે કઈ ધાતુના નિષ્કર્ષણમાં વપરાય છે ?

(2) હૉલ-હેરોલ્ટ પદ્ધતિમાં વપરાતાં ક્રાયોલાઇટ અથવા કૅલ્શિયમ ફ્લોરાઇડ અંગેના ભૌતિક-રાસાયણિક સિદ્ધાંતો ચર્ચો.

(3) ભૂંજન, કૅલ્શિનેશન, શુદ્ધિકરણ, વિદ્યુતવિભાજ્ય, ઝોન રિફાઇનિંગ પર્યાયો, યોગ્ય ઉદાહરણ આપી સમજાવો.

(4) બૉક્સાઇટમાંથી શુદ્ધ ઍલ્યુમિના મેળવવાની રીતનું વિગતવાર વર્ણન કરો.

(5) નીચેની ઘટનાઓ માટે કારણ આપો :

(1) ઍલ્યુમિનિયમના શુદ્ધિકરણમાં કાર્બનના ઍનોડ બદલવા પડે છે.

(2) સલ્ફાઇડયુક્ત કાચી ધાતુ માટે ફીણપ્લવનવિધિ અનિવાર્ય બને છે.

(3) આયર્ન સલ્ફાઇડની હાજરી હોય ત્યાં સુધી આયર્ન ઑક્સાઇડનું રિડક્શન થતું નથી.

(4) ઍલ્યુમિનિયમના શુદ્ધિકરણમાં ક્રાયોલાઇટ ઉમેરવામાં આવે છે.

(5) ગોલ્ડ અને સિલ્વર જેવી ધાતુઓના શુદ્ધિકરણમાં તેમના સંકીર્ણ સંયોજનના દ્રાવણ વપરાય છે.

એકમ

5

p-વિભાગનાં તત્ત્વો II

5.1 પ્રસ્તાવના (Introduction)

ધોરણ 11માં આપણે શીખી ગયા છીએ કે, સમૂહ 13થી 18માં આવેલાં તત્ત્વોમાં છેલ્લો ઇલેક્ટ્રૉન p-કક્ષકમાં ભરાય છે. તેથી આ તત્ત્વોને p-વિભાગનાં તત્ત્વો કહે છે. આ તત્ત્વોની બાહ્યતમ કક્ષાની ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના ns^2np^{1-6} (He સિવાય, Heની ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના $1s^2$) છે. p-વિભાગનાં તત્ત્વોના ગુણધર્મો તેઓના પરમાણ્વિય કદ, આયનીકરણ એન્થાલ્પી, ઇલેક્ટ્રૉન-પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી અને વિદ્યુતઋણતા જેવાં પરિબળો પર આધાર રાખે છે. બીજા આવર્તનાં તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રૉનીય રચનામાં d-કક્ષકોની ગેરહાજરી અને ત્રીજાથી સાતમા આવર્તનાં તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રૉનીય રચનામાં d- અને/અથવા અને f-કક્ષકોની હાજરીને કારણે p-વિભાગનાં તત્ત્વોના ગુણધર્મોમાં ખૂબ જ વિવિધતા જોવા મળે છે. આ ઉપરાંત આ વિભાગમાં ધાતુ, અધાતુ અને અર્ધ ધાતુ તત્ત્વોની હાજરીને કારણે પણ વિવિધતા જોવા મળે છે.

5.2 સમૂહ-15નાં તત્ત્વો (Elements of Group-15)

સમૂહ-15માં નાઇટ્રોજન, ફૉસ્ફરસ, આર્સેનિક, ઍન્ટિમની અને બિસ્મથનો સમાવેશ થાય છે. આ સમૂહનું પ્રથમ તત્ત્વ નાઇટ્રોજન હોવાથી આ સમૂહને નાઇટ્રોજન સમૂહ તરીકે પણ ઓળખવામાં આવે છે. એક જ સમૂહનાં તત્ત્વોમાં ઉપરથી નીચે તરફ જઈએ તેમ અધાતુથી અર્ધ ધાતુ અને ત્યાર બાદ ધાત્વિક ગુણધર્મોમાં વધારો જોવા મળે છે. નાઇટ્રોજન અને ફૉસ્ફરસ અધાતુ તત્ત્વો, આર્સેનિક અને ઍન્ટિમની અર્ધ ધાતુ તત્ત્વો તથા બિસ્મથ ધાતુ તત્ત્વ છે. ડાયનાઇટ્રોજન વાયુ હવામાં કદથી આશરે 78 % જેટલો હાજર હોય છે. પૃથ્વીના પોપડામાંથી નાઇટ્રોજન તત્ત્વ સોડિયમ નાઇટ્રેટ-$NaNO_3$ (ચિલી સૉલ્ટપીટર) અને પોટૅશિયમ નાઇટ્રેટ-KNO_3 (ઇન્ડિયન સૉલ્ટપીટર) તરીકે મળી આવે છે. ફૉસ્ફરસ તત્ત્વ એપેટાઇટ ખનિજો $Ca_9(PO_4)_6 \cdot CaX_2$ (X = F, Cl, OH)માંથી મળી આવે છે. દા.ત., ફ્લોર એપેટાઇટ $Ca_9(PO_4)_6 \cdot CaF_2$. ફૉસ્ફરસ પ્રાણી અને વનસ્પતિના બંધારણમાં અગત્યનો ઘટક છે. તે સજીવકોષ તેમજ હાડકામાં હાજર હોય છે. ઈંડાં અને દૂધમાં ફૉસ્ફોપ્રોટીન હોય છે. આ સમૂહનાં તત્ત્વોના અગત્યના પરમાણ્વિય અને ભૌતિક ગુણધર્મો કોષ્ટક 5.1માં દર્શાવેલ છે.

કોષ્ટક 5.1 સમૂહ-15નાં તત્ત્વોના પરમાણ્વિય અને ભૌતિક ગુણધર્મો

ગુણધર્મો	N	P	As	Sb	Bi
પરમાણ્વિય-ક્રમાંક	7	15	33	51	83
પરમાણ્વિય દળ (ગ્રામ મોલ$^{-1}$)	14.01	30.97	74.92	121.75	208.98
ઇલેક્ટ્રોનીય રચના	$[He]2s^2 2p^3$	$[Ne]3s^2 3p^3$	$[Ar]3d^{10} 4s^2 4p^3$	$[Kr]4d^{10} 5s^2 5p^3$	$[Xe]4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^3$
આયનીકરણ એન્થાલ્પી (I)	1402	1012	947	834	703
($\Delta_i H$) (કિલોજૂલમોલ$^{-1}$) (II)	2856	1903	1798	1595	1610
(III)	4577	2910	2736	2443	2466
વિદ્યુતઋણતા	3.0	2.1	2.0	1.9	1.9
સહસંયોજક ત્રિજ્યા (pm)	70	110	121	141	148
આયનીય ત્રિજ્યા (pm)	171	212	222	76	103
ગલનબિંદુ (K)	63	317	1089	904	544
ઉત્કલનબિંદુ (K)	77.2	554	888	1860	1837
ઘનતા (ગ્રામ સેમી$^{-3}$) (298 K)	0.879	1.823	5.77	6.697	9.808

5.2.1 ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના, પ્રાપ્તિસ્થાન, ઑક્સિડેશન અવસ્થા (Electronic Configuration, Occurrence, Oxidation State) :

ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના : સમૂહ-15નાં તત્ત્વોની સંયોજકતા કક્ષાની ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના ns^2np^3 છે. આ તત્ત્વોની s-કક્ષક સંપૂર્ણ ભરાયેલી અને p-કક્ષકો અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલી હોવાથી આ તત્ત્વો વિશેષ રીતે સ્થાયી છે.

પ્રાપ્તિસ્થાન : સમૂહ-15નાં તત્ત્વોની મુખ્ય ખનિજો કોષ્ટક 5.2માં દર્શાવેલી છે.

કોષ્ટક 5.2 સમૂહ-15નાં તત્ત્વોની મુખ્ય ખનિજો

તત્ત્વો	મુખ્ય ખનિજોનું બંધારણ અને નામ
નાઇટ્રોજન	મુક્ત વાયુરૂપે પૃથ્વીના વાતાવરણમાં લગભગ 78 %, વનસ્પતિજ અને પ્રાણીજન્ય પ્રોટીનમાં લગભગ 17 %, $NaNO_3$ ચિલી સૉલ્ટપીટર, KNO_3 સૂરોખાર (ઇન્ડિયન સૉલ્ટ પીટર)
ફોસ્ફરસ	કેલ્શિયમ ફૉસ્ફેટ $Ca_3(PO_4)_2$ હાડકાં અને દાંતમાં લગભગ 60 %, $Ca_9(PO_4)_6 \cdot CaF_2$ ફ્લોરએપેટાઇટ, $Ca_9(PO_4)_6 \cdot CaCl_2$ ક્લોરએપેટાઇટ, $Ca_9(PO_4)_6 \cdot Ca(OH)_2$ હાઇડ્રૉક્સિએપેટાઇટ
આર્સેનિક	As_4S_4 રીઅલ્ગાર (જ્વાળામુખી પ્રદેશોમાં), As_2S_3 ઓર્પિમેન્ટ, $FeAsS_2$ આર્સેનોપાયરાઇટ
ઍન્ટિમની	Sb_2S_3 સ્ટિબાઇન, Sb_2O_4 ઍન્ટિમની ઑર
બિસ્મથ	Bi_2S_3 બિસ્મુથાઇન, Bi_2O_3 બિસ્માઇટ, $(BiO)_2CO_3$ બિસ્મથસ્પાર

ઑક્સિડેશન અવસ્થા : સમૂહ-15નાં તત્ત્વોની સામાન્ય ઑક્સિડેશન અવસ્થા –3, +3 અને +5 છે. સમૂહમાં નીચે તરફ જતાં પરમાણ્વિય કદ અને ધાત્વિક ગુણ વધવાને કારણે તત્ત્વોનું –3 ઑક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવવાનું વલણ ઘટે છે. તેવી જ રીતે +5 ઑક્સિડેશન અવસ્થાની સ્થાયીતા પણ સમૂહમાં નીચે તરફ જતાં ઘટે છે. નાઇટ્રોજન તત્ત્વ જ્યારે ઑક્સિડેશન તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયા કરે છે ત્યારે તે +1થી +5 ઑક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે. કેટલાક ઓક્સોએસિડમાં ફૉસ્ફરસ +1, +3, +4, +5 ઑક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે. સમૂહ-15નાં તત્ત્વોની ઑક્સિડેશન અવસ્થા કોષ્ટક 5.3માં દર્શાવેલ છે.

કોષ્ટક 5.3 સમૂહ-15નાં તત્ત્વોની ઑક્સિડેશન અવસ્થા

તત્ત્વો	N	P, As	Sb	Bi
ઑક્સિડેશન અવસ્થા	–3થી +5	–3, +3, +5	+3, +5	+3

5.2.2 ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા (Periodicity in Physical and Chemical Properties) :

(1) ભૌતિક ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા : કોષ્ટક 5.1ના આધારે કહી શકાય કે, સમૂહ-15નાં તત્ત્વોમાં પરમાણ્વિય ક્રમાંકના વધારા સાથે પરમાણ્વિય કદ વધવાનું, આયનીકરણ એન્થાલ્પી ઘટવાનું તથા વિદ્યુતઋણતા ઘટવાનું સામાન્ય વલણ જોવા મળે છે. તેથી પરમાણ્વિય-ક્રમાંકના વધારા સાથે ધાત્વિક ગુણ પણ વધે છે.

(i) પરમાણ્વિય અને આયનીય ત્રિજ્યા : સમૂહ-15માં ઉપરથી નીચે તરફ જઈએ તેમ પરમાણ્વિય અને આયનીય ત્રિજ્યા વધે છે. નાઇટ્રોજન તત્ત્વથી ફૉસ્ફરસ તત્ત્વ તરફ જતાં તેમની પરમાણ્વિય ત્રિજ્યામાં નોંધપાત્ર વધારો થાય છે. પરંતુ Asથી Bi તરફ જતાં તેમની પરમાણ્વિય ત્રિજ્યામાં થોડો વધારો થાય છે. આમ, થવાનું કારણ ભારે તત્ત્વોમાં સંપૂર્ણ ભરાયેલી d- અથવા/અને f-કક્ષકોની હાજરી છે. (કોષ્ટક 5.1)

(ii) આયનીકરણ એન્થાલ્પી : સમૂહ-15માં ઉપરથી નીચે તરફ જઈએ તેમ પરમાણ્વિય કદ વધવાની સાથે આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય ઘટે છે. આ તત્ત્વોની પ્રથમ આયનીકરણ એન્થાલ્પી ($\Delta_i H_1$), દ્વિતીય આયનીકરણ એન્થાલ્પી ($\Delta_i H_2$) અને તૃતીય આયનીકરણ એન્થાલ્પી ($\Delta_i H_3$)નો ક્રમ $\Delta_i H_1 < \Delta_i H_2 < \Delta_i H_3$ છે (કોષ્ટક 5.1). સમૂહ-15નાં તત્ત્વોમાં p-કક્ષકો અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલી હોવાથી તેઓ વિશિષ્ટ સ્થાયીતા ધરાવે છે. તેથી આ તત્ત્વોમાંથી ઇલેક્ટ્રૉન સરળતાથી દૂર થતો નથી. આમ, એક જ આવર્તમાં સમૂહ-15ના તત્ત્વની આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય, સમૂહ-14ના તત્ત્વની આયનીકરણ એન્થાલ્પીના મૂલ્ય કરતાં વધુ હોય છે.

(iii) વિદ્યુતઋણતા : સામાન્ય રીતે સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં પરમાણ્વિય-ક્રમાંક વધવાની સાથે પરમાણ્વિય કદ વધે છે. તેથી વિદ્યુતઋણતા ઘટે છે. ભારે તત્ત્વોમાં વિદ્યુતઋણતાનો તફાવત ઓછો જોવા મળે છે. (કોષ્ટક 5.1)

આ સમૂહનાં તત્ત્વો બહુપરમાણ્વિય છે. નાઇટ્રોજન અને બિસ્મથ તત્ત્વો સિવાયના આ સમૂહનાં બધાં તત્ત્વો અપરરૂપો ધરાવે છે.

(2) રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા :

(i) હાઇડ્રોજન તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયા : સમૂહ-15નાં બધા તત્ત્વો હાઇડ્રોજન તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયા કરી MH_3 (જ્યાં M = N, P, As, Sb અથવા Bi) પ્રકારના હાઇડ્રાઇડ બનાવે છે. સમૂહમાં NH_3થી BiH_3 તરફ જતાં હાઇડ્રાઇડ સંયોજનોની સ્થાયીતા ઘટે છે, પરંતુ રિડક્શનકર્તા તરીકેનો ગુણધર્મ વધે છે. આ હાઇડ્રાઇડ સંયોજનોની બેઝિકતાનો ક્રમ $NH_3 > PH_3 > AsH_3 > SbH_3 > BiH_3$ છે.

(ii) ઑક્સિજન તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયા : સમૂહ-15નાં તત્ત્વો ઑક્સિજન તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયા કરી બે પ્રકારના ઓક્સાઇડ M_2O_3 અને M_2O_5 બનાવે છે. ઊંચી ઑક્સિડેશન અવસ્થા ધરાવતાં તત્ત્વોના ઓક્સાઇડ, નીચી ઑક્સિડેશન અવસ્થા ધરાવતાં તત્ત્વો કરતાં વધુ ઍસિડિક હોય છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં ઍસિડિક ગુણધર્મ ઘટે છે. નાઇટ્રોજન અને ફૉસ્ફરસના M_2O_3 પ્રકારના ઓક્સાઇડ ઍસિડિક, આર્સેનિક અને એન્ટિમનીના ઓક્સાઇડ ઊભયગુણી તથા બિસ્મથના ઓક્સાઇડ બેઝિક છે. આ સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં ધાતુ ગુણધર્મનો વિકાસ દર્શાવે છે.

(iii) હેલોજન તત્ત્વો સાથે પ્રક્રિયા : સમૂહ-15નાં તત્ત્વો હેલોજન સાથે પ્રક્રિયા કરી MX_3 અને MX_5 પ્રકારના હેલાઇડ સંયોજનો બનાવે છે. નાઇટ્રોજન પરમાણુની સંયોજકતા કક્ષામાં *d*-કક્ષકો ન હોવાથી તે પેન્ટાહેલાઇડ સંયોજન બનાવી શકતો નથી. ટ્રાયહેલાઇડ કરતાં પેન્ટાહેલાઇડ વધુ સહસંયોજક છે. નાઇટ્રોજન તત્ત્વ સિવાયનાં તત્ત્વોના બધા ટ્રાયહેલાઇડ સ્થાયી છે. જ્યારે નાઇટ્રોજન તત્ત્વનો ફક્ત એક જ ટ્રાયહેલાઇડ NF_3 સ્થાયી છે. BiF_3 સિવાયના ટ્રાયહેલાઇડ સંયોજનો સહસંયોજક છે.

(iv) ધાતુ તત્ત્વો સાથે પ્રક્રિયા : સમૂહ-15નાં બધાં તત્ત્વો, ધાતુ તત્ત્વો સાથે પ્રક્રિયા કરી Ca_3N_2 (કૅલ્શિયમ નાઇટ્રાઇડ), Ca_3P_2 (કૅલ્શિયમ ફોસ્ફાઇડ), Na_3As (સોડિયમ આર્સેનાઇડ), Zn_3Sb_2 (ઝિંક ઍન્ટિમોનાઇડ) અને Mg_3Bi_2 (મૅગ્નેશિયમ બિસ્મુંથાઇડ) દ્વિઅંગી સંયોજનો બનાવે છે. તેમાં N, P, As, Sb અને Biની ઑક્સિડેશન અવસ્થા (–3) છે.

5.3 નાઇટ્રોજન (Nitrogen)

5.3.1 ડાયનાઇટ્રોજન વાયુની બનાવટ, ગુણધર્મો અને ઉપયોગો (Preparation, Properties and Uses of Dinitrogen Gas) :

(1) ડાયનાઇટ્રોજન વાયુની બનાવટ : વ્યાપારી ધોરણે ડાયનાઇટ્રોજન હવાના પ્રવાહીકરણ અને વિભાગીય નિસ્યંદનથી બનાવાય છે. પ્રવાહી ડાયનાઇટ્રોજનનું ઉત્કલનબિંદુ 77.2 K હોવાથી નિસ્યંદન દરમિયાન તે પ્રથમ મળે છે. જ્યારે પ્રવાહી ડાયઑક્સિજનનું ઉત્કલનબિંદુ 90 K હોવાથી તે પાત્રમાં બાકી રહે છે. પ્રયોગશાળામાં ડાયનાઇટ્રોજન વાયુ, જલીય એમોનિયમ ક્લોરાઇડની અને જલીય સોડિયમ નાઇટ્રાઇટ સાથેની પ્રક્રિયાથી બનાવી શકાય છે.

$$NH_4Cl(aq) + NaNO_2(aq) \rightarrow N_2(g) + 2H_2O(l) + NaCl(aq)$$

આ પ્રક્રિયા દરમિયાન થોડા પ્રમાણમાં NO અને HNO_3 પણ બને છે. તે દૂર કરવા માટે પ્રક્રિયા દરમિયાન ઉત્પન્ન થતા વાયુને પોટૅશિયમ ડાયક્રોમેટ અને જલીય સલ્ફ્યુરિક ઍસિડના મિશ્રણમાંથી પસાર કરવામાં આવે છે.

એમોનિયમ ડાયક્રોમેટના ઉષ્મીય વિઘટનથી પણ ડાયનાઇટ્રોજન વાયુ બનાવી શકાય છે.

$$(NH_4)_2Cr_2O_7(s) \xrightarrow{\Delta} N_2(g) + 4H_2O(l) + Cr_2O_3(s)$$

અતિશુદ્ધ ડાયનાઇટ્રોજન વાયુ સોડિયમ અથવા બેરિયમ એઝાઇડના ઉષ્મીય વિઘટનથી મેળવાય છે.

$$Ba(N_3)_2(s) \xrightarrow{\Delta} Ba(s) + 3N_2(g)$$

(2) ગુણધર્મો :

(i) ભૌતિક ગુણધર્મો :

- ડાયનાઇટ્રોજન વાયુ રંગવિહીન, સ્વાદવિહીન અને બિનઝેરી છે.
- તે બે સ્થાયી સમસ્થાનિકો ^{14}N અને ^{15}N ધરાવે છે.
- તે પાણીમાં અલ્પદ્રાવ્ય છે.
- ઓરડાના તાપમાને તે નિષ્ક્રિય હોય છે પરંતુ તાપમાન વધવાની સાથે તેની પ્રતિક્રિયાત્મકતા(Reactivity)માં વધારો થાય છે.

(ii) રાસાયણિક ગુણધર્મો : ઊંચા તાપમાને તે કેટલીક ધાતુઓ સાથે પ્રક્રિયા કરી આયનીય નાઇટ્રાઇડ અને અધાતુઓ સાથે પ્રક્રિયા કરી સહસંયોજક નાઇટ્રાઇડ બનાવે છે.

દા.ત., $6Li(s) + N_2(g) \xrightarrow{\Delta} 2Li_3N(s)$

$$3Mg(s) + N_2(g) \xrightarrow{\Delta} Mg_3N_2(s)$$

$$2B(s) + N_2(g) \xrightarrow{\Delta} 2BN(s)$$

તે ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ અને ડાયઑક્સિજન વાયુ સાથે પ્રક્રિયા કરી અનુક્રમે એમોનિયા વાયુ અને નાઇટ્રિક ઑક્સાઇડ વાયુ બનાવે છે.

$$N_2(g) + 3H_2(g) \xrightleftharpoons[\text{200 બાર દબાણ}]{773\ K} 2NH_3(g)$$

[FeO]

$$N_2(g) + O_2(g) \xrightleftharpoons{\Delta} 2NO(g)$$

(3) ઉપયોગો :

- એમોનિયા વાયુના ઉત્પાદનમાં અને નાઇટ્રોજન તત્ત્વ ધરાવતાં અન્ય રસાયણોના ઔદ્યોગિક ઉત્પાદનમાં ઉપયોગી છે.
- કેટલીક ધાતુકર્મવિધિઓમાં નિષ્ક્રિય વાતાવરણ માટે વિદ્યુતગોળામાં, નાઇટ્રિક ઍસિડની બનાવટમાં તથા હવામાંના ઑક્સિજનની ક્રિયાશીલતા ડાયનાઇટ્રોજન વાયુની હાજરીને કારણે ઘટે છે. તેથી તે શ્વાસોચ્છ્વાસમાં ઉપયોગી બને છે.
- પ્રવાહી ડાયનાઇટ્રોજનનો ઉપયોગ જૈવિક પદાર્થો તથા ખાદ્યપદાર્થોની જાળવણી માટે શીતક તરીકે થાય છે.

5.3.2 સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વોથી અલગ પડવું (અનિયમિત વર્તણૂક) (Distinction from other Elements of Group (Anomalous Behaviour)) :

(i) નાઇટ્રોજનનો દ્વિપરમાણ્વિય અણુ - ડાયનાઇટ્રોજન (N_2) વાયુરૂપે છે જ્યારે અન્ય તત્ત્વો M_4 અણુ તરીકે ઘન સ્થિતિમાં હોય છે. (અપવાદ-Bi)

(ii) નાઇટ્રોજન તત્ત્વ અપરરૂપો ધરાવતાં નથી જ્યારે અન્ય તત્ત્વો અપરરૂપો ધરાવે છે.

(iii) નાઇટ્રોજનના ટ્રાયૉક્સાઇડ N_2O_3 અને પેન્ટૉક્સાઇડ N_2O_5 એક આણ્વિય છે જ્યારે અન્ય તત્ત્વોનાં ટ્રાયૉક્સાઇડ અને પેન્ટૉક્સાઇડ દ્વિઆણ્વિય છે.

દા.ત., P_4O_6, As_4O_6, P_4O_{10} અને As_4O_{10}

(iv) નાઇટ્રોજન તત્ત્વના ટ્રાયહાઇડ્રાઇડ (NH_3) બિનઝેરી છે જ્યારે અન્ય તત્ત્વોના ટ્રાયહાઇડ્રાઇડ ઝેરી છે. દા.ત., ફૉસ્ફિન (PH_3), આર્સિન (AsH_3) વગેરે.

(v) નાઇટ્રોજન અધાતુ હોવાથી તેનાં ઑક્સાઇડ સંયોજનો ઍસિડિક ગુણધર્મ ધરાવે છે.

(vi) NF_3 સિવાયના નાઇટ્રોજનના બીજા હેલાઇડ વિસ્ફોટક છે જ્યારે બીજાં તત્ત્વોના હેલાઇડ સ્થાયી છે.

(vii) નાઇટ્રોજન તત્ત્વના નાના કદ અને ઊંચી વિદ્યુતઋણતાના કારણે તેમાં $p\pi-p\pi$ બંધ બનાવવાનો વિશિષ્ટ ગુણ છે. જ્યારે સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વો આવા ગુણ ધરાવતા નથી. પરિણામે નાઇટ્રોજન તત્ત્વ ત્રિબંધ ધરાવતા $N\equiv N$ ડાયનાઇટ્રોજન વાયુ તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે. જ્યારે સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વો P–P, As–As અને Sb–Sb એકલબંધ ધરાવે છે. Bi ધાત્વિક બંધ રચે છે.

(viii) નાઇટ્રોજન તત્ત્વની સંયોજકતા કક્ષામાં d-કક્ષકો પ્રાપ્ય નથી તેથી નાઇટ્રોજનની મહત્તમ બંધન-ક્ષમતા 4 છે. પરિણામે નાઇટ્રોજન તત્ત્વ $d\pi-p\pi$ બંધ રચી શકતું નથી. આ સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વો આ બંધ રચી શકે છે. દા.ત., $R_3P = O$ અથવા $R_3P = CH_2$ જ્યાં R = આલ્કાઇલ સમૂહ છે. ફૉસ્ફરસ અને આર્સેનિક તત્ત્વો, સંક્રાંતિ ધાતુ તત્ત્વો સાથે $d\pi-d\pi$ બંધ પણ બનાવે છે, જેમાં ફૉસ્ફરસ અને આર્સેનિકનાં સંયોજનો– $P(C_2H_5)_3$ અને $As(C_6H_5)_3$ લિગાન્ડ તરીકે વર્તે છે.

5.3.3 નાઇટ્રોજન તત્ત્વનાં સંયોજનો (Compounds of Nitrogen Element) :

(1) એમોનિયા (NH_3) :

(i) બનાવટ : હવામાં અલ્પ પ્રમાણમાં એમોનિયા વાયુ રહેલો છે. આ ઉપરાંત યૂરિયા જેવા નાઇટ્રોજનયુક્ત કાર્બનિક પદાર્થોના ક્ષયન (decay)થી પણ એમોનિયા વાયુ બને છે.

$$NH_2CONH_2(s) + H_2O(l) \rightleftharpoons 2NH_3(g) + CO_2(g)$$

એમોનિયમ ક્ષારની સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ કે કેલ્શિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ સાથેની પ્રક્રિયાથી પણ એમોનિયા વાયુ મેળવી શકાય છે.

$$(NH_4)_2SO_4(s) + 2NaOH(aq) \rightarrow 2NH_3(g) + 2H_2O(l) + Na_2SO_4(aq)$$

$$2NH_4Cl(s) + Ca(OH)_2(aq) \rightarrow 2NH_3(g) + 2H_2O(l) + CaCl_2(aq)$$

ઔદ્યોગિક રીતે એમોનિયા વાયુનું ઉત્પાદન હેબરવિધિથી થાય છે.

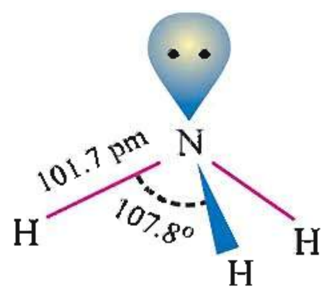
$$N_2(g) + 3H_2(g) \underset{773\,K,\,[FeO]}{\overset{200 \text{ બાર દબાણ}}{\rightleftharpoons}} 2NH_3(g) \quad \Delta_f H = -46.1 \text{ કિલો જૂલ મોલ}^{-1}$$

લ-શેટેલિયરના સિદ્ધાંત મુજબ એમોનિયા વાયુના વધુ ઉત્પાદન માટે પ્રક્રિયાનું દબાણ 200 બાર, તાપમાન 773 K તથા ઉદ્દીપક તરીકે FeOની સાથે થોડા પ્રમાણમાં K_2O અને Al_2O_3નો **પ્રવર્ધક (promoter)** તરીકે ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. મેગ્નેશિયમ નાઇટ્રાઇડનું જળવિભાજન કરવાથી પણ એમોનિયા વાયુ મળે છે.

$$Mg_3N_2(s) + 6H_2O(l) \rightarrow 3Mg(OH)_2(s) + 2NH_3(g)$$

(ii) ગુણધર્મો :

(A) ભૌતિક ગુણધર્મો :



- એમોનિયા રંગવિહીન તીવ્ર વાસવાળો વાયુ છે.
- તેના ઠારબિંદુ (freezing point) અને ઉત્કલનબિંદુ (boiling point) અનુક્રમે 198.4 K અને 239.7 K છે.
- એમોનિયા અણુ ટ્રાયગોનલ પીરામિડલ બંધારણ ધરાવે છે, જેમાં ત્રણ બંધકારક અને એક અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મ રહેલા હોય છે.

(B) રાસાયણિક ગુણધર્મો :

- એમોનિયા વાયુ પાણીમાં દ્રાવ્ય થઈ એમોનિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ બનાવે છે. જે નિર્બળ બેઇઝ તરીકે વર્તે છે.

$$NH_3(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$$

- એમોનિયા વાયુનું જલીય દ્રાવણ એસિડ સાથે પ્રક્રિયા કરી એમોનિયમ ક્ષાર બનાવે છે.

$$NH_4OH(aq) + HCl(aq) \rightleftharpoons NH_4Cl(aq) + H_2O(l)$$

- એમોનિયા વાયુનું જલીય દ્રાવણ, ધાતુક્ષારના જલીય દ્રાવણ સાથે પ્રક્રિયા કરી ધાતુના હાઇડ્રોક્સાઇડ બનાવે છે.

$$NH_4OH(aq) + ZnSO_4(aq) \rightarrow Zn(OH)_2(s) + (NH_4)_2SO_4(aq)$$

- એમોનિયા અણુમાં નાઇટ્રોજન પરમાણુ પાસે અબંધકારક ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મ હોવાથી તે લુઈસ બેઇઝ તરીકે વર્તે છે. તે ધાતુઆયન સાથે સવર્ગ સહસંયોજક બંધ બનાવી સંકીર્ણ આયન બનાવે છે.

$$Cu^{2+}(aq) + 4NH_3(aq) \rightleftharpoons [Cu(NH_3)_4]^{2+}(aq)$$

(વાદળી) (ઘેરો વાદળી)

(iii) ઉપયોગો :

- એમોનિયા વાયુ એમોનિયમ નાઇટ્રેટ, યૂરિયા, એમોનિયમ ફૉસ્ફેટ તથા એમોનિયમ સલ્ફેટ જેવા નાઇટ્રોજનયુક્ત ખાતરો બનાવવામાં ઉપયોગી છે.
- તે નાઇટ્રિક ઍસિડ જેવા કેટલાક અગત્યના અકાર્બનિક સંયોજનોની બનાવટમાં પણ ઉપયોગી છે.
- પ્રવાહી એમોનિયા શીતક (refrigerant) તરીકે ઉપયોગી છે.

(2) નાઇટ્રિક ઍસિડ (HNO_3) :

(i) બનાવટ : પ્રયોગશાળામાં નાઇટ્રિક ઍસિડ બનાવવા માટે કાચના રિટૉર્ટમાં સોડિયમ નાઇટ્રેટ અથવા પોટૅશિયમ નાઇટ્રેટને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક ઍસિડ સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે.

$$NaNO_3(s) + H_2SO_4(aq) \xrightarrow{\Delta} NaHSO_4(aq) + HNO_3(aq)$$

સાંદ્ર જલીય નાઇટ્રિક ઍસિડનું P_4O_{10}ની હાજરીમાં નિસ્યંદન કરવાથી નિર્જળ નાઇટ્રિક ઍસિડ પ્રાપ્ત થાય છે. નાઇટ્રિક ઍસિડનું ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન એમોનિયાના ઉદ્દીપકીય ઑક્સિડેશનથી કરવામાં આવે છે. આ પદ્ધતિને ઓસ્વાલ્ડની પદ્ધતિ કહે છે, જેમાં નીચેની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ સમાયેલી છે :

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) \xrightarrow[\text{500 K, 9 બાર}]{[Pt\ (90\%) + Rh\ (10\%)]} 4NO(g) + 6H_2O(g)$$

$$2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

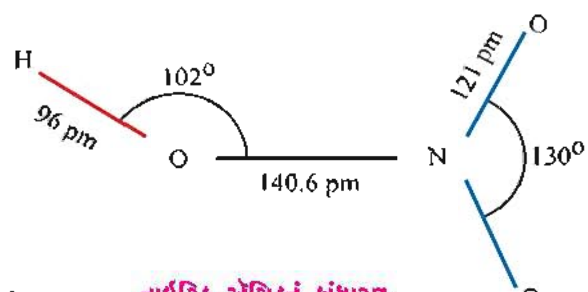
$$3NO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow 2HNO_3(aq) + NO(g)$$

આ રીતે પ્રાપ્ત થતાં જલીય નાઇટ્રિક ઍસિડનું નિસ્યંદન કરી વજનથી લગભગ 68.5 % સાંદ્રતાવાળો ઍસિડ મેળવી શકાય છે. 98 % સાંદ્રતાવાળો નાઇટ્રિક ઍસિડ મેળવવા તેનું સાંદ્ર H_2SO_4 વડે નિર્જળીકરણ કરવામાં આવે છે.

(ii) ગુણધર્મો :

(A) ભૌતિક ગુણધર્મો :

- નાઇટ્રિક ઍસિડ રંગવિહીન પ્રવાહી છે.
- તેના ઠારબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ અનુક્રમે 231.4 K અને 355.6 K છે.
- 298 K તાપમાને તેની ઘનતા 1.504 ગ્રામ મિલિ$^{-1}$ છે.



નાઇટ્રિક ઍસિડનું બંધારણ

- વાયુરૂપ અવસ્થામાં નાઇટ્રિક ઍસિડ સમતલીય બંધારણ ધરાવે છે.

(B) રાસાયણિક ગુણધર્મો :

- નાઇટ્રિક ઍસિડનું જલીય દ્રાવણ પ્રબળ ઍસિડ તરીકે વર્તે છે, જેમાં H_3O^+ અને NO_3^- આયનો હાજર હોય છે.

$$HNO_3(aq) + H_2O(l) \rightarrow H_3O^+(aq) + NO_3^-(aq)$$

- સાંદ્ર નાઇટ્રિક એસિડ પ્રબળ ઓક્સિડેશનકર્તા છે. તે સોનું, પ્લેટિનમ જેવી ઉમદા ધાતુઓ સિવાયની અન્ય ધાતુઓ સાથે ત્વરિત પ્રક્રિયા કરે છે. Cr, Al જેવી ધાતુઓ સાંદ્ર નાઇટ્રિક ઍસિડમાં દ્રાવ્ય થતી નથી. કારણ કે પ્રક્રિયા દરમિયાન આ ધાતુઓ પર નિષ્ક્રિય ઑક્સાઇડ પડ રચાય છે. સામાન્ય રીતે ધાતુઓની નાઇટ્રિક એસિડ સાથેની પ્રક્રિયાથી ધાતુના નાઇટ્રેટ ક્ષાર બને છે. જો આ પ્રક્રિયામાં મંદ નાઇટ્રિક એસિડનો ઉપયોગ કરવામાં આવે, તો NO કે N_2O અને સાંદ્ર નાઇટ્રિક એસિડનો ઉપયોગ કરવામાં વાપરવામાં આવે તો NO_2 વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે.

$$4Cu(s) + 10HNO_3(\text{મંદ}, aq) \rightarrow 4Cu(NO_3)_2(aq) + N_2O(g) + 5H_2O(l)$$

$$3Cu(s) + 8HNO_3(10\text{-}30\ \%, aq) \rightarrow 3Cu(NO_3)_2(aq) + 2NO(g) + 4H_2O(l)$$

$$Cu(s) + 4HNO_3(\text{સાંદ્ર}, aq) \rightarrow Cu(NO_3)_2(aq) + 2NO_2(g) + 2H_2O(l)$$

$$Zn(s) + 4HNO_3(\text{સાંદ્ર}, aq) \rightarrow Zn(NO_3)_2(aq) + 2NO_2(g) + 2H_2O(l)$$

- અધાતુ તત્ત્વોનાં સંયોજનોનું ઑક્સિડેશન સાંદ્ર HNO_3 વડે થાય છે.

$$I_2(s) + 10HNO_3(l) \rightarrow \underset{\text{આયોડિક એસિડ}}{2HIO_3(aq)} + 10NO_2(g) + 4H_2O(l)$$

$$C(s) + 4HNO_3(l) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l) + 4NO_2(g)$$

$$S_8(s) + 48HNO_3(l) \rightarrow 8H_2SO_4(aq) + 48NO_2(g) + 16H_2O(l)$$

$$P_4(s) + 20HNO_3(l) \rightarrow 4H_3PO_4(aq) + 20NO_2(g) + 4H_2O(l)$$

- નાઇટ્રિક એસિડનું જલીય દ્રાવણ વીંટી કસોટી દર્શાવે છે. આ વીંટી કસોટી NO_3^- આયન ધરાવતું જલીય દ્રાવણ આપતું હોવાથી, HNO_3નું જલીય દ્રાવણ પણ આ કસોટી આપે છે.

વીંટી કસોટી : NO_3^- આયન ધરાવતા જલીય દ્રાવણમાં ફેરસ સલ્ફેટનું તાજું બનાવેલું દ્રાવણ ઉમેરવામાં આવે છે. ત્યાર બાદ ટેસ્ટટ્યૂબની અંદરની દીવાલ મારફતે સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડને તૈયાર થયેલા મિશ્રણમાં ધીમે ધીમે ઉમેરવામાં આવે છે (જરૂર પડે મિશ્રણને ઠંડું પાડવામાં આવે છે). **મિશ્ર દ્રાવણ અને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડની સપાટી જે સ્થાને ભેગા થાય ત્યાં કથ્થાઈ રંગની વીંટી (ring) નાઇટ્રોસો સંકીર્ણને કારણે જોવા મળે છે.** પ્રયોગશાળામાં અકાર્બનિક પદાર્થના ગુણદર્શક પૃથક્કરણ દરમિયાન NO_3^- આયનની હાજરી જાણવા આ વીંટી કસોટી કરવામાં આવે છે.

$$NO_3^-(aq) + 3Fe^{2+}(aq) + 4H^+(aq) \rightarrow NO(g) + 3Fe^{3+}(aq) + 2H_2O(l)$$

$$[Fe(H_2O)_6]^{3+}(aq) + NO(g) \rightarrow \underset{\text{(કથ્થાઈ)}}{[Fe(H_2O)_5(NO)]^{3+}(aq)} + H_2O(l)$$

(iii) ઉપયોગો :

- નાઇટ્રિક એસિડનો મુખ્ય ઉપયોગ એમોનિયમ નાઇટ્રેટ જેવા ખાતર તથા ટ્રાયનાઇટ્રો ટોલ્યુઇન અને નાઇટ્રોગ્લિસરીન જેવા વિસ્ફોટક પદાર્થોની બનાવટમાં થાય છે.
- તે રૉકેટ બળતણમાં ઑક્સિડેશનકર્તા તરીકે પણ ઉપયોગી છે.

(3) નાઇટ્રોજનના ઑક્સાઇડ :

નાઇટ્રોજન ઑક્સાઇડ સંયોજનોની બનાવટ, બંધારણ અને ગુણધર્મો : નાઇટ્રોજન વિવિધ ઑક્સિડેશન અવસ્થામાં ઘણાં ઑક્સાઇડ સંયોજનો બનાવે છે. નાઇટ્રોજન ઑક્સાઇડ સંયોજનોનાં નામ, આણ્વિયસૂત્ર, નાઇટ્રોજન તત્ત્વની ઑક્સિડેશન અવસ્થા, બનાવટ અને સામાન્ય ગુણધર્મો કોષ્ટક 5.4માં દર્શાવેલ છે.

કોષ્ટક 5.4 નાઇટ્રોજનના ઑક્સાઇડ

નાઇટ્રોજનના ઑક્સાઇડનું નામ	આણ્વિય સૂત્ર	નાઇટ્રોજન તત્ત્વની ઑક્સિડેશન અવસ્થા	બનાવટની સામાન્ય પદ્ધતિ	ભૌતિક સ્થિતિ અને રાસાયણિક સ્વભાવ
ડાયનાઇટ્રોજન ઑક્સાઇડ [નાઇટ્રોજન(I)ઑક્સાઇડ]	N_2O	+ 1	$NH_4NO_3 \xrightarrow{\Delta} N_2O + 2H_2O$	રંગવિહીન વાયુ, તટસ્થ
નાઇટ્રોજન મોનોક્સાઇડ [નાઇટ્રોજન(II)ઑક્સાઇડ]	NO	+ 2	$2NaNO_2 + 2FeSO_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + NaHSO_4 + 2H_2O + 2NO$	રંગવિહીન વાયુ, તટસ્થ
ડાયનાઇટ્રોજન ટ્રાયોક્સાઇડ [નાઇટ્રોજન(III)ઑક્સાઇડ]	N_2O_3	+ 3	$2NO + N_2O_4 \xrightarrow{250\,K} 2N_2O_3$	વાદળી રંગનો ઘન પદાર્થ, એસિડિક
નાઇટ્રોજન ડાયોક્સાઇડ [નાઇટ્રોજન(IV)ઑક્સાઇડ]	NO_2	+ 4	$2Pb(NO_3)_2 \xrightarrow{673\,K} 4NO_2 + 2PbO$	બદામી રંગનો વાયુ, એસિડિક
ડાયનાઇટ્રોજન ટેટ્રોક્સાઇડ [નાઇટ્રોજન(IV)ઑક્સાઇડ]	N_2O_4	+ 4	$2NO_2 \underset{\text{ગરમ કરતાં}}{\overset{\text{ઠંડુ પાડતાં}}{\rightleftharpoons}} N_2O_4$	રંગવિહીન ઘન / પ્રવાહી, એસિડિક
ડાયનાઇટ્રોજન પેન્ટોક્સાઇડ [નાઇટ્રોજન(V)ઑક્સાઇડ]	N_2O_5	+ 5	$4HNO_3 + P_4O_{10} \rightarrow 4HPO_3 + 2N_2O_5$	રંગવિહીન ઘન પદાર્થ, એસિડિક

નાઇટ્રિક ઑક્સાઇડ (NO)માં એક અયુગ્મિત ઇલેક્ટ્રૉનની હાજરીને કારણે પ્રવાહી સ્થિતિમાં તે આંશિક બહુલીકરણ પામે છે અને ઘન અવસ્થામાં દ્વિપરમાણ્વિય અણુ તરીકે વર્તે છે. નાઇટ્રિક ઑક્સાઇડ, ઑક્સિજન સાથે સંયોજાઈ નાઇટ્રોજન ડાયોક્સાઇડ બનાવે છે.

$$2NO(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO_2(g)$$

વાયુ અવસ્થામાં નાઇટ્રોજન ડાયોક્સાઇડ દ્વિપરમાણ્વિય રચના ધરાવતું સંયોજન બનાવે છે, જે નીચે મુજબ સંતુલિત સ્થિતિ પ્રાપ્ત કરી N_2O_4 બનાવે છે.

$$\underset{\text{બદામી – અનુચુંબકીય}}{2NO_2(g)} \rightleftharpoons \underset{\text{રંગવિહીન – પ્રતિચુંબકીય}}{N_2O_4(g)} \text{ (ડાયનાઇટ્રોજન ટેટ્રોક્સાઇડ)}$$

નાઇટ્રોજનના ઑક્સાઇડ, પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરી નાઇટ્રોજનના ઑક્સોએસિડ સંયોજનો બનાવે છે.

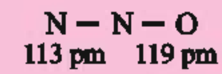
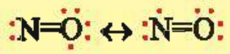
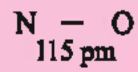
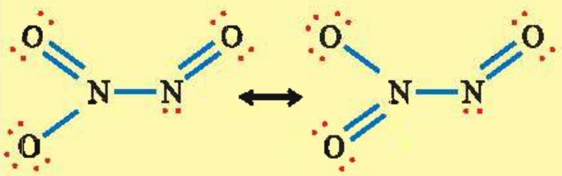
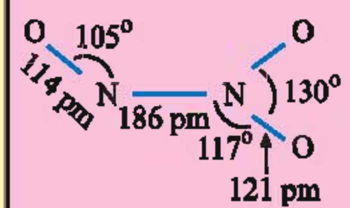
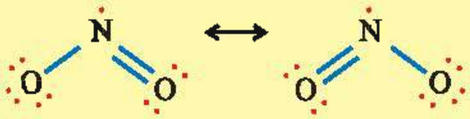
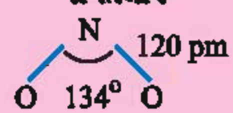
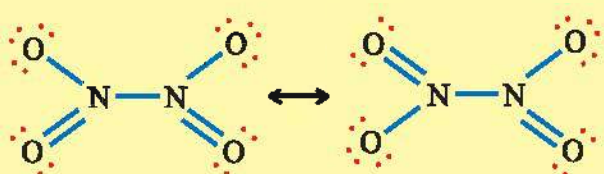
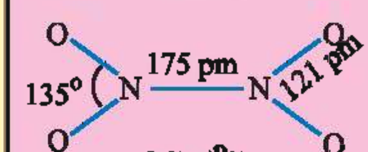
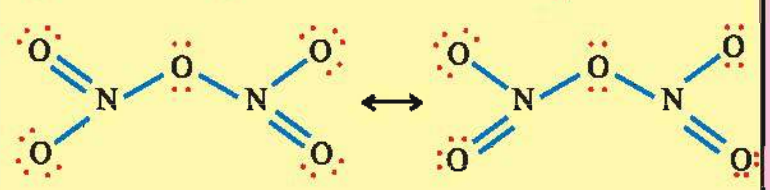
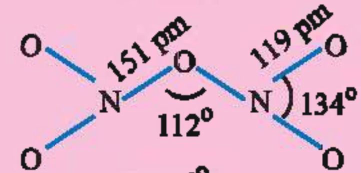
$$2NO_2(g) + H_2O(l) \longrightarrow HNO_2(aq) + HNO_3(aq)$$

$$N_2O_3(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons 2HNO_2(aq)$$

$$N_2O_5(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons 2HNO_3(aq)$$

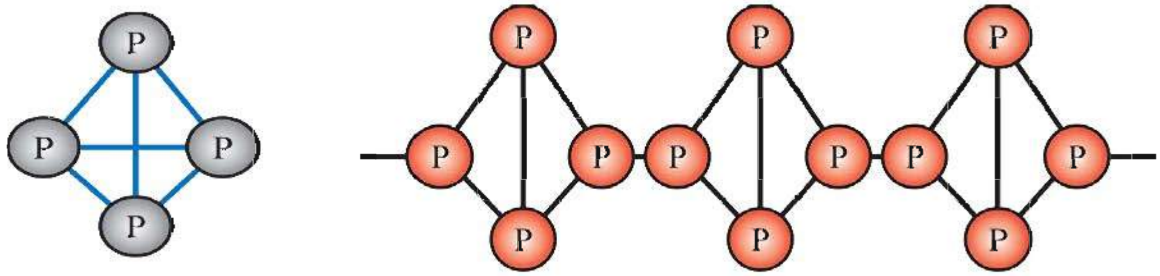
આથી જ N_2O_3 અને N_2O_5ને અનુક્રમે HNO_2 અને HNO_3 ના એનહાઈડ્રાઈડ કહે છે. કોષ્ટક 5.5માં નાઈટ્રોજનના ઑક્સાઈડનાં સસ્પંદન સૂત્રો તથા તેમના બંધ વિશેની માહિતી રજૂ કરેલી છે.

કોષ્ટક 5.5 નાઈટ્રોજનના ઑક્સાઈડનાં સસ્પંદન સૂત્રો

આણ્વિય સૂત્ર	સસ્પંદન સૂત્રો	બંધ અંગેની વિગત
N_2O		 રેખીય
NO		
N_2O_3		 સમતલીય
NO_2		 કોણીય
N_2O_4		 સમતલીય
N_2O_5		 સમતલીય

5.4 ફૉસ્ફરસ (Phosphorus)

5.4.1 ફૉસ્ફરસનાં અપરરૂપો (Allotropes of Phosphorus) : ફૉસ્ફરસના જાણીતા અપરરૂપોમાં સફેદ (પીળો), રાતા અને કાળા ફૉસ્ફરસનો સમાવેશ થાય છે. ઔદ્યોગિક સંશ્લેષણથી બનાવાતો સફેદ ફૉસ્ફરસ ઝેરી, મીણ જેવો સફેદ ઘન પદાર્થ છે. જેમાં વિભિન્ન ચતુષ્ફલકીય P_4 અણુઓ હોય છે. રાતો ફૉસ્ફરસ બિનઝેરી છે તથા તે બહુલક સ્વરૂપમાં હોય છે. ફૉસ્ફરસનાં અપરરૂપોને આકૃતિ 5.1માં દર્શાવેલ છે.



(a) સફેદ (પીળો) ફૉસ્ફરસ (b) રાતો ફૉસ્ફરસ

આકૃતિ 5.1 ફૉસ્ફરસનાં અપરરૂપો

સફેદ ફૉસ્ફરસ પાણીમાં અદ્રાવ્ય છે. પરંતુ કાર્બન ડાયસલ્ફાઇડ (CS_2) જેવા દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય છે. તે અંધારામાં ચળકે છે. નિષ્ક્રિય વાતાવરણમાં સફેદ ફૉસ્ફરસ ઉકળતા NaOHના દ્રાવણ સાથે રેડોક્ષ–પ્રક્રિયા કરી ફૉસ્ફીન (PH_3) બનાવે છે.

$$P_4(s) + 3NaOH(aq) + 3H_2O(l) \longrightarrow PH_3(g) + 3NaH_2PO_2(aq)$$

(સોડિયમ હાઇપો ફૉસ્ફાઇટ)

સફેદ ફૉસ્ફરસનું ગલનબિંદુ 317 K છે. તે અતિક્રિયાશીલ છે તથા હવામાં ખૂલ્લો રાખતા સળગી ઊઠે છે. આથી તેનો પાણીમાં સંગ્રહ કરવામાં આવે છે. સફેદ ફૉસ્ફરસને હવાની ગેરહાજરીમાં 573 K તાપમાને ગરમ કરવાથી તે વધુ સ્થાયી રાતા સ્વરૂપમાં ફેરવાય છે. રાતા ફૉસ્ફરસનું ગલનબિંદુ 873 K છે. સફેદ ફૉસ્ફરસની સરખામણીમાં તે CS_2 જેવા દ્રાવકમાં ઓછો દ્રાવ્ય અને ઓછો ક્રિયાશીલ છે. તેથી તે હવાના સંપર્કમાં સળગી ઊઠતો નથી. સફેદ ફૉસ્ફરસની વધુ ક્રિયાશીલતા તેનાં અસાધારણ બંધારણને લીધે છે. જેના કારણે P_4 અણુમાં તણાવ ઉત્પન્ન થાય છે. તેથી P_4ની ભૌમિતિક રચનામાં બંધકોણ 60^0 જેટલો હોય છે. જેના કારણે p-કક્ષકો સાથે શીર્ષ રીત મુજબ જોડાયેલી હોતી નથી. આથી p–p બંધ વળેલો હોય છે. જેથી આ બંધ નબળો અને ક્રિયાશીલ બને છે. પરિણામે સફેદ ફૉસ્ફરસ હવાના સંપર્કમાં આવતા તરત જ સળગી ઊઠે છે.

કાળા ફૉસ્ફરસનાં બે રૂપો જોવા મળે છે, α–કાળો ફૉસ્ફરસ અને β–કાળો ફૉસ્ફરસ. રાતા ફૉસ્ફરસને બંધ નળીમાં 803 K તાપમાને ગરમ કરવાથી α–કાળો ફૉસ્ફરસ મળે છે. β–કાળો ફૉસ્ફરસ મેળવવા માટે સફેદ ફૉસ્ફરસને ઊંચા દબાણે 473 K તાપમાને ગરમ કરવામાં આવે છે.

5.4.2 ફૉસ્ફરસનાં સંયોજનો (Compounds of Phosphorus) :

(1) ફૉસ્ફીન (PH_3) :

(i) બનાવટ : કૅલ્શિયમ ફૉસ્ફાઇડની પાણી અથવા મંદ હાઇડ્રોક્લોરિક ઍસિડ સાથે પ્રક્રિયા કરતાં ફૉસ્ફીન મળે છે.

$$Ca_3P_2(s) + 6H_2O(l) \longrightarrow 3Ca(OH)_2(aq) + 2PH_3(g)$$

$$Ca_3P_2(s) + 6HCl(aq) \longrightarrow 3CaCl_2(aq) + 2PH_3(g)$$

પ્રયોગશાળામાં કાર્બન ડાયોક્સાઇડના નિષ્ક્રિય વાતાવરણમાં સફેદ ફૉસ્ફરસની સાંદ્ર NaOH સાથે પ્રક્રિયા કરી ફૉસ્ફીન બનાવાય છે.

$$P_4(s) + 3NaOH(aq) + 3H_2O(l) \longrightarrow PH_3(g) + 3NaH_2PO_2(aq)$$

સોડિયમ હાઇપોફૉસ્ફાઇટ

(ii) ગુણધર્મો :

(A) ભૌતિક ગુણધર્મો :

- ફૉસ્ફીન રંગવિહીન, સડેલી માછલી જેવી દુર્ગંધવાળો, અતિઝેરી વાયુ છે.
- તે પાણીમાં અલ્પદ્રાવ્ય છે.

(B) રાસાયણિક ગુણધર્મો :

- ફૉસ્ફીન HNO_3, Cl_2 અને Br_2 જેવા ઑક્સિડેશનકર્તા પદાર્થોના સંપર્કમાં આવે ત્યારે ધડાકો કરે છે.
- ફૉસ્ફીનને કૉપર સલ્ફેટ અથવા મરક્યુરિક ક્લોરાઇડના જલીય દ્રાવણમાં શોષવામાં આવે, તો તેને અનુરૂપ ફૉસ્ફાઇડ બને છે.

$$3CuSO_4(aq) + 2PH_3(g) \longrightarrow Cu_3P_2(g) + 3H_2SO_4(aq)$$

$$3HgCl_2(aq) + 2PH_3(g) \longrightarrow Hg_3P_2(g) + 6HCl(aq)$$

- ફૉસ્ફીન નિર્બળ બેઇઝ છે. તે HBr સાથે પ્રક્રિયા કરી ફૉસ્ફોનિયમ બ્રોમાઇડ (PH_4Br) આપે છે.

$$PH_3(g) + HBr(g) \longrightarrow PH_4Br(g)$$

(iii) ઉપયોગો :

- ફૉસ્ફીનના સ્વયંભૂ દહન થવાના ગુણધર્મને કારણે તેનો ઉપયોગ હોલ્મ્સ સિગ્નલ (Holme's Signals)માં થાય છે. કેલ્શિયમ કાર્બાઇડ અને કેલ્શિયમ ફૉસ્ફાઇડ ધરાવતા પાત્રમાં કાણું પાડીને દરિયામાં ફેંકતા ઉત્પન્ન થતો વાયુ સળગે છે, જે સિગ્નલનું કાર્ય કરે છે.
- તેનો ઉપયોગ ધૂમ્રપડદા (smoke screen) બનાવવામાં પણ થાય છે.

(2) ફૉસ્ફરસ ટ્રાયક્લોરાઇડ (PCl_3) :

(i) બનાવટ : સફેદ ફૉસ્ફરસ પર સૂકા (dry) ક્લોરિન વાયુને ઊંચા તાપમાને પસાર કરતાં ફૉસ્ફરસ ટ્રાયક્લોરાઇડ મળે છે.

$$P_4(s) + 6Cl_2(g) \xrightarrow{\Delta} 4PCl_3(l)$$

સફેદ ફૉસ્ફરસની થાયોનિલ ક્લોરાઇડ ($SOCl_2$) સાથેની પ્રક્રિયાથી પણ ફૉસ્ફરસ ટ્રાયક્લોરાઇડ મળે છે.

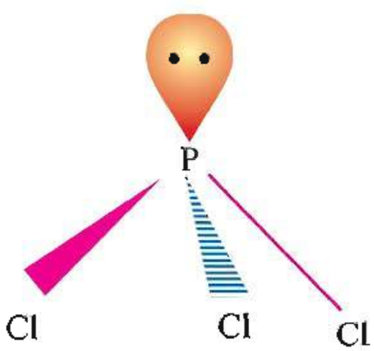
$$P_4(s) + 8SOCl_2(l) \rightarrow 4PCl_3(l) + 4SO_2(g) + \underset{\text{સલ્ફર ક્લોરાઇડ}}{2S_2Cl_2(g)}$$

(ii) ગુણધર્મો :

(A) ભૌતિક ગુણધર્મો :

- ફૉસ્ફરસ ટ્રાયક્લોરાઇડ રંગવિહીન, ધુમાયમાન પ્રવાહી (fuming liquid) છે.
- તેનું ઉત્કલનબિંદુ 349 K છે.
- તે બેન્ઝિન, ક્લોરોફોર્મ, ઈથર, કાર્બન ડાયસલ્ફાઇડ જેવાં દ્રાવકોમાં દ્રાવ્ય થાય છે.
- તેનો આકાર પિરામિડલ છે.

(B) રાસાયણિક ગુણધર્મો :



ફૉસ્ફરસ ટ્રાયક્લોરાઇડ

- ફૉસ્ફરસ ટ્રાયક્લોરાઇડ હવા કે પાણીના સંપર્કમાં આવતાં ધુમાડો ઉત્પન્ન કરે છે. કારણ કે PCl_3માં રહેલા P–Cl બંધનું વિઘટન થઈ પરિણામી નીપજ ફૉસ્ફરસ ઍસિડ (H_3PO_3)માં પરિવર્તન પામે છે.

$$PCl_3(l) + 3H_2O(l) \longrightarrow H_3PO_3(aq) + 3HCl(aq)$$

- તે –OH ધરાવતા સમૂહવાળાં કાર્બનિક સંયોજનો જેવા કે CH_3COOH, C_2H_5OH સાથે નીચે મુજબ પ્રક્રિયા કરે છે :

$$3CH_3COOH(l) + PCl_3(l) \longrightarrow 3CH_3COCl(l) + H_3PO_3(l)$$

$$3C_2H_5OH(l) + PCl_3(l) \longrightarrow 3C_2H_5Cl(l) + H_3PO_3(l)$$

(3) ફૉસ્ફરસ પેન્ટાક્લોરાઇડ (PCl_5) :

(i) બનાવટ : સફેદ ફૉસ્ફરસની સૂકા ક્લોરિન વાયુ સાથે વધુ પ્રમાણમાં પ્રક્રિયા કરતાં ફૉસ્ફરસ પેન્ટાક્લોરાઇડ મળે છે.

$$P_4(s) + 10Cl_2(g) \longrightarrow 4PCl_5(s)$$

સફેદ ફૉસ્ફરસની સલ્ફ્યુરાઇલ ક્લોરાઇડ (SO_2Cl_2) સાથેની પ્રક્રિયાથી પણ ફૉસ્ફરસ પેન્ટાક્લોરાઇડ મળે છે.

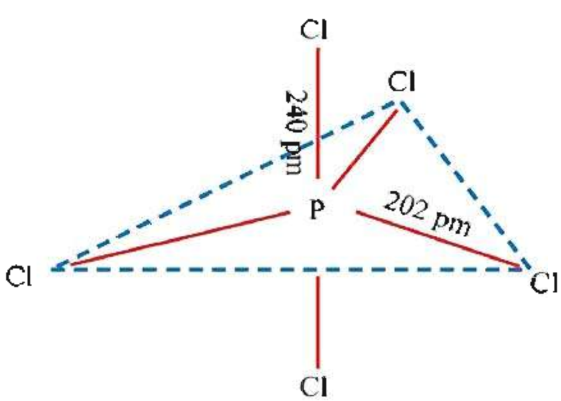
$$P_4(s) + 10SO_2Cl_2(l) \longrightarrow 4PCl_5(s) + 10SO_2(g)$$

(ii) ગુણધર્મો :

(A) ભૌતિક ગુણધર્મો :

- ફૉસ્ફરસ પેન્ટાક્લોરાઇડ પીળાશપડતો સફેદ રંગનો ઘન પદાર્થ છે.
- તેનું ગલનબિંદુ 440 K છે.
- પ્રવાહી અને વાયુમય સ્થિતિમાં PCl_5 ટ્રાયગોનલ બાયપિરામિડ આકાર ધરાવે છે.

(B) રાસાયણિક ગુણધર્મો :



પ્રવાહી કે વાયુમય ફૉસ્ફરસ પેન્ટાક્લોરાઇડનું બંધારણ

- ફૉસ્ફરસ પેન્ટાક્લોરાઇડ હવામાંના ભેજ સાથે જળવિભાજન પ્રક્રિયા કરી ફૉસ્ફરસ ઑક્સિક્લોરાઇડમાં રૂપાંતર થાય છે અને છેવટે ફૉસ્ફોરિક ઍસિડ બને છે.

$$PCl_5(s) + H_2O(g) \longrightarrow POCl_3(l) + 2HCl(g)$$

$$POCl_3(l) + 3H_2O(g) \longrightarrow H_3PO_4(aq) + 3HCl(aq)$$

- ફૉસ્ફરસ પેન્ટાક્લોરાઇડને ગરમ કરતાં તે ઊર્ધ્વપાતન પામે છે જ્યારે વધુ ગરમ કરતાં તે વિઘટન પામે છે.

$$PCl_5(s) \xrightarrow{\Delta} PCl_3(l) + Cl_2(g)$$

- તે –OH સમૂહ ધરાવતાં સમૂહવાળાં કાર્બનિક સંયોજનો સાથે પ્રક્રિયા કરી તેના ક્લોરો વ્યુત્પન્નો આપે છે.

$$CH_3COOH(l) + PCl_5(s) \longrightarrow CH_3COCl(l) + POCl_3(l) + HCl(l)$$

$$C_2H_5OH(l) + PCl_5(l) \longrightarrow C_2H_5Cl(l) + POCl_3(l) + HCl(l)$$

- ધાતુના ટુકડા સાથે PCl_5ને ગરમ કરતાં અનુવર્તી ધાતુ ક્લોરાઇડ બને છે.

$$2Ag(s) + PCl_5(s) \xrightarrow{\Delta} 2AgCl(s) + PCl_3(l)$$

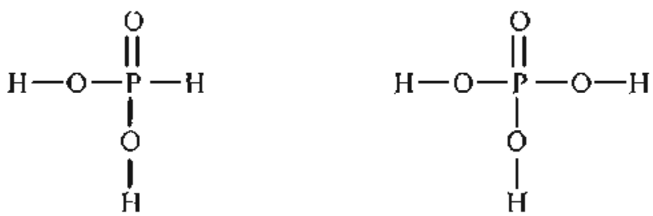
$$Sn(s) + 2PCl_5(s) \xrightarrow{\Delta} SnCl_4(s) + 2PCl_3(l)$$

(4) ફોસ્ફરસનાં ઑક્સોઍસિડ : ફોસ્ફરસના વિવિધ ઑક્સોઍસિડ ફોસ્ફરસના ઑક્સાઇડની પાણી સાથેની પ્રક્રિયાથી મેળવાય છે.

$P_4O_6(s) + 6H_2O(l) \longrightarrow 4H_3PO_3(aq)$ ઑર્થોફોસ્ફરસ ઍસિડ

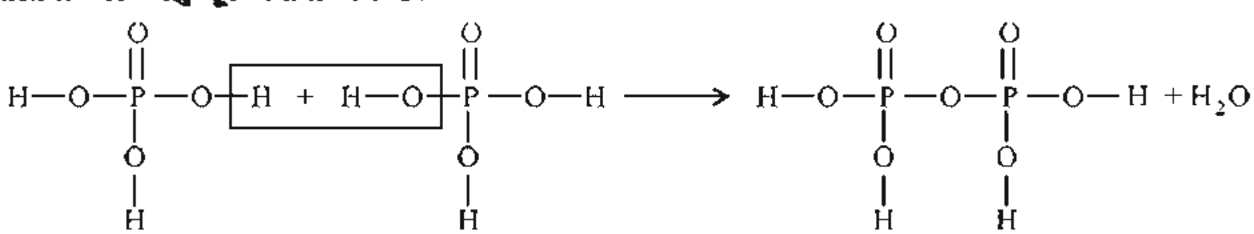
$P_4O_{10}(s) + 6H_2O(l) \longrightarrow 4H_3PO_4(aq)$ ઑર્થોફૉસ્ફોરિક ઍસિડ

ઑર્થોફોસ્ફરસ ઍસિડ (H_3PO_3) નિર્બળ ડાયપ્રોટિક ઍસિડ છે, કારણ કે તેના ત્રણ હાઇડ્રોજન પરમાણુમાંથી બે જ હાઇડ્રોજન પરમાણુ ઑક્સિજન પરમાણુ સાથે જોડાયેલા છે. ફોસ્ફરસ સાથે સીધા જ જોડાયેલા હાઇડ્રોજન પરમાણુ ઍસિડિક નથી, કારણ કે P તથા H બંનેની વિદ્યુતઋણતા એકસરખી હોવાથી P–H બંધ અધ્રુવીય છે. ઑર્થોફૉસ્ફોરિક ઍસિડમાં ત્રણેય હાઇડ્રોજન પરમાણુ ઑક્સિજન પરમાણુ સાથે જોડાયેલા હોવાથી તે નિર્બળ ટ્રાઇપ્રોટિક ઍસિડ છે. આ બંને અણુમાં ફોસ્ફરસ પરમાણુની આસપાસ અન્ય પરમાણુઓ સમચતુષ્ફલકીય આકારમાં ગોઠવાયેલા હોય છે. ઉપરાંત બંને અણુમાં ક્રમિક વિયોજન અચળાંક (successive dissociation constant) લગભગ 10^5ના ગુણકથી ઘટતો જાય છે.



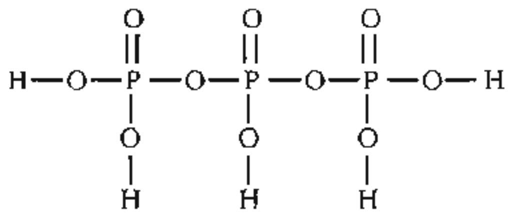
ઑર્થોફોસ્ફરસ ઍસિડ H_3PO_3	ઑર્થોફૉસ્ફોરિક ઍસિડ H_3PO_4
$Ka_1 = 1.0 \times 10^{-2}$	$Ka_1 = 7.5 \times 10^{-3}$
$Ka_2 = 2.6 \times 10^{-7}$	$Ka_2 = 6.2 \times 10^{-8}$
	$Ka_3 = 4.8 \times 10^{-13}$

ડાયફૉસ્ફોરિક ઍસિડ ($H_4P_2O_7$)ને પાયરોફૉસ્ફોરિક ઍસિડ પણ કહે છે, જે બે H_3PO_4ના સંયોજન દરમિયાન પાણીનો એક અણુ દૂર થવાથી મળે છે.

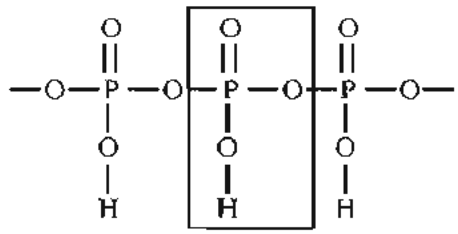


પાયરોફૉસ્ફોરિક ઍસિડ

ટ્રાયમેટાફૉસ્ફોરિક ઍસિડ $H_5P_3O_{10}$માં HPO_3 એકમ ત્રણ વખત પુનરાવર્તિત થાય છે. $(HPO_3)_n$ને પોલિમેટા ફૉસ્ફોરિક ઍસિડ તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.

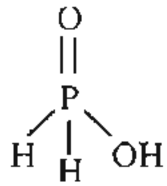


ટ્રાયમેટાફૉસ્ફોરિક ઍસિડ $H_5P_3O_{10}$



પોલિમેટાફૉસ્ફોરિક ઍસિડ HPO_3
એકમ પુનરાવર્તિત થાય છે

આ બધાં જ ઍસિડમાં ફૉસ્ફરસનો ઑક્સિડેશન આંક +5 છે. હાઇપોફૉસ્ફરસ ઍસિડને ફૉસ્ફોનિક ઍસિડ પણ કહે છે. તેનું સૂત્ર H_3PO_2 છે અને ફૉસ્ફરસનો ઑક્સિડેશનઆંક +1 છે.



H_3PO_2નું બંધારણીય સૂત્ર

5.5 સમૂહ-16નાં તત્ત્વો (Elements of Group-16)

સમૂહ-16માં ઑક્સિજન, સલ્ફર, સેલેનિયમ, ટેલુરિયમ અને પોલોનિયમ તત્ત્વોનો સમાવેશ થાય છે. આ તત્ત્વોને **ઑક્સિજન સમૂહનાં** તત્ત્વો અથવા **ચાલ્કોજન** તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. આ સમૂહનાં તત્ત્વોના અગત્યના પરમાણ્વિય અને ભૌતિક ગુણધર્મો કોષ્ટક 5.6માં દર્શાવેલ છે.

કોષ્ટક 5.6 સમૂહ-16નાં તત્ત્વોના પરમાણ્વિય અને ભૌતિક ગુણધર્મો

ગુણધર્મો	O	S	Se	Te	Po
પરમાણ્વિય-ક્રમાંક	8	16	34	52	84
પરમાણ્વિય દળ (ગ્રામ મોલ$^{-1}$)	16.00	32.06	78.96	127.60	210.00
ઇલેક્ટ્રોનીય રચના	$[He]2s^22p^4$	$[Ne]3s^23p^4$	$[Ar]3d^{10}4s^24p^4$	$[Kr]4d^{10}5s^25p^4$	$[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^26p^4$
આયનીકરણ એન્થાલ્પી (Δ_iH_1) (કિલો જૂલ મોલ$^{-1}$)	1314	1000	941	869	813
વિદ્યુતઋણતા	3.50	2.44	2.48	2.01	1.76
સહસંયોજક ત્રિજ્યા (pm)	66	104	117	137	146
આયનીય ત્રિજ્યા (pm)	140	184	198	221	230
ગલનબિંદુ (K)	55	393	490	725	520
ઉત્કલનબિંદુ (K)	90	718	958	1260	1235
ઘનતા (ગ્રામ સેમી$^{-3}$) (298 K)	1.32	2.06	4.19	6.25	–

5.5.1 ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના, પ્રાપ્તિસ્થાન, ઑક્સિડેશન અવસ્થા (Electronic Configuration, Occurrence, Oxidation State) :

ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના : સમૂહ-16નાં તત્ત્વોની સંયોજકતા કક્ષાની ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના ns^2np^4 છે.

પ્રાપ્તિસ્થાન : ઑક્સિજન પૃથ્વી પર સૌથી વધુ પ્રમાણમાં મળી આવતું તત્ત્વ છે. પૃથ્વીના પોપડાના દળના 46.6 % જેટલું ઑક્સિજન તત્ત્વ અસ્તિત્વ ધરાવે છે. સૂકી હવામાં કદથી 20.946 % જેટલું ઑક્સિજન તત્ત્વ હાજર છે. પૃથ્વીના પોપડામાં તેના દળના 0.03-0.1% જેટલા સલ્ફર રહેલો હોય છે. તે સંયોજિત સ્વરૂપે એટલે કે સલ્ફેટ સંયોજનો જેવા કે જિપ્સમ ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), ઇપ્સમ સૉલ્ટ ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), બેરાઇટ ($BaSO_4$) અને સલ્ફાઇડ સંયોજનો જેવા કે ગેલિના (PbS), ઝિંકબ્લેન્ડ (ZnS), કૉપર પાઇરાઇટ્સ ($CuFeS_2$) સ્વરૂપે મળે છે. ઈંડાં, પ્રોટીન, લસણ, ડુંગળી, વાળ અને ઊનમાં રહેલા કાર્બનિક પદાર્થોમાં સલ્ફર રહેલો હોય છે. સેલેનિયમ અને ટેલુરિયમ, સેલેનાઇડ અને ટેલુરાઇડ સંયોજનો તરીકે મળી આવે છે. થોરિયમ અને યુરેનિયમના ખનિજના ક્ષય (decay) થવાથી પોલોનિયમ મળે છે.

ઑક્સિડેશન અવસ્થા : સમૂહ-16નાં તત્ત્વોની સંયોજકતા કક્ષામાં 6 ઇલેક્ટ્રૉન છે, એટલે કે અષ્ટકરચના પૂર્ણ કરવા બે ઇલેક્ટ્રૉન ઓછા છે. આથી આવાં તત્ત્વોની ઑક્સિડેશન અવસ્થા –2 છે. આ તત્ત્વોના (–2) ઑક્સિડેશન અવસ્થાની સ્થાયીતા સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં ઘટે છે. પોલોનિયમ (–2) ઑક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવતું નથી. ઑક્સિજન તત્ત્વની વિદ્યુતઋણતા વધુ હોવાથી તે (–2) ઑક્સિડેશન અવસ્થા ધરાવે છે પણ OF_2માં તેની ઑક્સિડેશન અવસ્થા (+2) છે. આ સમૂહનાં તત્ત્વો +2, +4, +6 ઑક્સિડેશન અવસ્થા દર્શાવે છે. સલ્ફર, સેલેનિયમ અને ટેલુરિયમ સામાન્ય રીતે ઑક્સિજન સાથેનાં સંયોજનોમાં +4 ઑક્સિડેશન અવસ્થા અને ફ્લોરિન સાથેનાં સંયોજનોમાં +6 ઑક્સિડેશન અવસ્થા ધરાવે છે. સમૂહ-16માં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં +6 ઑક્સિડેશન અવસ્થાની સ્થાયીતા ઘટે છે અને +4 ઑક્સિડેશન અવસ્થાની સ્થાયીતા વધે છે. સમૂહ-16નાં તત્ત્વોની ઑક્સિડેશન અવસ્થા કોષ્ટક 5.7માં દર્શાવેલ છે.

કોષ્ટક 5.7 સમૂહ-16નાં તત્ત્વોની ઑક્સિડેશન અવસ્થા

તત્ત્વો	O	S	Se	Te	Po
ઑક્સિડેશન અવસ્થા	–2, –1, +1, +2	–2, +2, +4, +6	–2, +2, +4, +6	–2, +2, +4, +6	+2, +4

5.5.2 ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા (Periodicity in Physical and Chemical Properties) :

(1) ભૌતિક ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા : કોષ્ટક 5.6ના આધારે કહી શકાય કે સમૂહ-16નાં તત્ત્વોમાં પરમાણ્વિય-ક્રમાંકના વધારા સાથે પરમાણ્વિય કદ વધવાનું, આયનીકરણ ઍન્થાલ્પી ઘટવાનું તથા વિદ્યુતઋણતા ઘટવાનું સામાન્ય વલણ જોવા મળે છે. તેથી પરમાણ્વિય-ક્રમાંકના વધારા સાથે ધાત્વિક ગુણ પણ વધે છે.

(i) પરમાણ્વિય અને આયનીય ત્રિજ્યા : સમૂહ-16માં ઉપરથી નીચે તરફ જઈએ તેમ તત્ત્વોમાં કક્ષાની સંખ્યામાં વધારો થવાથી પરમાણ્વિય અને આયનીય ત્રિજ્યા વધે છે. અપવાદ તરીકે ઑક્સિજન તત્ત્વની પરમાણ્વિય ત્રિજ્યા અને આયનીય ત્રિજ્યા સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વોની સરખામણીમાં ઓછી છે. (કોષ્ટક 5.6)

(ii) આયનીકરણ ઍન્થાલ્પી : સમૂહ-16માં નીચે તરફ જઈએ તેમ પરમાણ્વિય કદ વધવાની સાથે આયનીકરણ ઍન્થાલ્પીનું મૂલ્ય ઘટે છે. આ સમૂહનાં તત્ત્વોની આયનીકરણ ઍન્થાલ્પીનું મૂલ્ય, સમૂહ-15ના અનુવર્તી આવર્તનાં તત્ત્વોની સરખામણીમાં ઓછું હોય છે. કારણ કે સમૂહ-15નાં તત્ત્વો અર્ધપૂર્ણ ભરાયેલ p કક્ષકોને કારણે વિશિષ્ટ સ્થાયીતા ધરાવે છે. (કોષ્ટક 5.6)

(iii) વિદ્યુતઋણતા : બધાં તત્ત્વોમાં ફ્લોરિન તત્ત્વ પછી ઑક્સિજન તત્ત્વની વિદ્યુતઋણતા સૌથી વધુ છે. સામાન્ય રીતે સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં પરમાણ્વિય-ક્રમાંક વધવાની સાથે પરમાણ્વિય કદ વધે છે. તેથી વિદ્યુતઋણતા ઘટે છે (કોષ્ટક 5.6).

(2) રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા :

(i) હાઇડ્રોજન તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયા : સમૂહ-16નાં બધાં તત્ત્વો હાઇડ્રોજન તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયા કરી H_2M (જ્યાં M = S, Se, Te, Po) પ્રકારના હાઇડ્રાઇડ બનાવે છે. સમૂહમાં H_2Oથી H_2Te તરફ જતાં હાઇડ્રાઇડ સંયોજનોનો એસિડિક ગુણધર્મ વધતો જાય છે. કારણ કે સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં M–H બંધની વિયોજન એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય ઘટતું જાય છે.

(ii) ઑક્સિજન તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયા : સમૂહ-16નાં બધાં તત્ત્વો ઑક્સિજન તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયા કરી MO_2 અને MO_3 પ્રકારના ઑક્સાઇડ બનાવે છે (જ્યાં M = S, Se, Te, Po). ઓઝોન (O_3) અને સલ્ફરડાયૉક્સાઇડ (SO_2) વાયુસ્વરૂપે અને સેલેનિયમ ડાયૉક્સાઇડ (SeO_2) ઘન સ્વરૂપે હોય છે. આ ડાયૉક્સાઇડ સંયોજનોનો રિડક્શનકર્તા તરીકેનો ગુણધર્મ SO_2થી TeO_2 તરફ જતાં ઘટે છે. SO_2 રિડક્શનકર્તા છે; જ્યારે TeO_2 ઑક્સિડેશનકર્તા છે. આ બધા ઑક્સાઇડ એસિડિક સ્વભાવ ધરાવે છે.

(iii) હેલોજન તત્ત્વો સાથે પ્રક્રિયા : સમૂહ-16નાં તત્ત્વો હેલોજન સાથે પ્રક્રિયા કરી MX_6, MX_4 અને MX_2 પ્રકારનાં હેલાઇડ સંયોજનો બનાવે છે (જ્યાં M = સમૂહ-16નાં તત્ત્વો, X = હેલોજન તત્ત્વ). હેલાઇડ સંયોજનોની સ્થાયીતાનો ક્રમ $F^- > Cl^- > Br^- > I^-$ છે. હેક્ઝાહેલાઇડ સંયોજનો પૈકી માત્ર હેક્ઝાફ્લોરાઇડ સંયોજનો સ્થાયી માલૂમ પડ્યા છે.

5.6 ઑક્સિજન (Oxygen)

5.6.1 ડાયઑક્સિજન વાયુની બનાવટ, ગુણધર્મો અને ઉપયોગો (Preparation, Properties and Uses of Dioxygen Gas) :

(1) ડાયઑક્સિજન વાયુની બનાવટ : પ્રયોગશાળામાં ડાયઑક્સિજન (O_2) વાયુ નીચેની રીતે બનાવાય છે :

(i) $KClO_3$ અને $KMnO_4$ જેવા ઑક્સિજનયુક્ત સંયોજનો ઉષ્મીય વિઘટન અથવા એસિડમય પાણીના વિદ્યુતવિભાજનથી મેળવાય છે.

$$2KClO_3(s) \xrightarrow[{[MnO_2]}]{\text{ગરમી}} 2KCl(s) + 3O_2(g)$$

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

(ii) કેટલીક ધાતુઓના ઑક્સાઇડના ઉષ્મીય વિઘટનથી ડાયઑક્સિજન વાયુ મળે છે.

$$2Ag_2O(s) \xrightarrow{\Delta} 4Ag(s) + O_2(g)$$

$$2HgO(s) \xrightarrow{\Delta} 4Hg(l) + O_2(g)$$

$$2Pb_3O_4(s) \xrightarrow{\Delta} 6PbO(s) + O_2(g)$$

$$2PbO_2(s) \xrightarrow{\Delta} 2PbO(s) + O_2(g)$$

(iii) મૅંગેનીઝ ડાયૉક્સાઇડની હાજરીમાં H_2O_2નું વિઘટન થઈ ડાયઑક્સિજન વાયુ મળે છે.

$$2H_2O_2(l) \xrightarrow[\text{ગરમી}]{[MnO_2]} 2H_2O(l) + O_2(g)$$

ડાયઑક્સિજન વાયુના ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન માટે સૌપ્રથમ હવામાંથી કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ અને પાણીની વરાળ દૂર કરવામાં આવે છે. ત્યાર બાદ બાકી રહેલા વાયુમિશ્રણના પ્રવાહીકરણ અને વિભાગીય નિસ્યંદનથી ડાયનાઇટ્રોજન અને ડાયઑક્સિજન વાયુ મળે છે.

(2) ગુણધર્મો :

(i) ભૌતિક ગુણધર્મો :

- ડાયઑક્સિજન રંગવિહીન અને ગંધવિહીન વાયુ છે.
- તે ત્રણ સ્થાયી સમસ્થાનિકો ^{16}O, ^{17}O અને ^{18}O ધરાવે છે.
- તે અનુચુંબકીય છે.
- 293 K તાપમાને 100 cm^3 પાણીમાં 3.08 cm^3 જેટલો ડાયઑક્સિજન વાયુ દ્રાવ્ય થાય છે, જે દરિયાઈ અને જલીય સજીવોના જીવન ટકાવી રાખવા પૂરતો છે.
- તે 90 K તાપમાને પ્રવાહીમાં તથા 55 K તાપમાને ઠંડું પડી ઘન સ્વરૂપમાં રૂપાંતર પામે છે.

(ii) રાસાયણિક ગુણધર્મો : ડાયઑક્સિજન વાયુ કેટલીક નિષ્ક્રિય ધાતુઓ (દા.ત., Au, Pt) અને ઉમદા વાયુતત્ત્વો સિવાયના મોટા ભાગનાં ધાતુ તત્ત્વો અને અધાતુ તત્ત્વો સાથે પ્રક્રિયા કરે છે. ડાયઑક્સિજન વાયુની કેટલાંક ધાતુ તત્ત્વો, અધાતુ તત્ત્વો અને અન્ય સંયોજનો સાથેની પ્રક્રિયાઓ નીચે દર્શાવેલ છે :

$$2Ca(s) + O_2(g) \rightarrow 2CaO(s)$$

$$4Al(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2Al_2O_3(s)$$

$$P_4(s) + 5O_2(g) \rightarrow P_4O_{10}(s)$$

$$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$$

$$2ZnS(s) + 3O_2(g) \rightarrow 2ZnO(s) + 2SO_2(g)$$

$$CH_4(g) + 3O_2(g) \rightarrow 2CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

$$2SO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{[V_2O_5]} 2SO_3(g)$$

$$4HCl(g) + O_2(g) \xrightarrow{[CuCl_2]} 2Cl_2(g) + 2H_2O(g)$$

(3) ઉપયોગો :

- ડાયઑક્સિજન વાયુ શ્વસનક્રિયામાં તથા દહન-પ્રક્રિયામાં ઉપયોગી છે.
- સ્ટીલની બનાવટમાં ડાયઑક્સિજન વાયુ ઉપયોગી છે.
- ઑક્સિ એસિટિલિન જ્યોતમાં ડાયઑક્સિજન વાયુનો ઉપયોગ થાય છે. આ જ્યોતથી ખૂબ જ ઊંચું તાપમાન મેળવી શકાતું હોઈ તે ધાતુઓના વેલ્ડિંગ કાર્યમાં વપરાય છે.
- ડાયઑક્સિજન વાયુના સિલિન્ડર હૉસ્પિટલમાં દર્દીઓની સારવાર માટે તથા પર્વતારોહકો અને પાણીમાં ઊંડે જતા મરજીવાઓની તથા વિમાનમાં બેઠેલા યાત્રીઓની શ્વસનક્રિયા માટે ઉપયોગી છે.

5.6.2 સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વોથી અલગ પડવું (અનિયમિત વર્તણૂક) (Distinction from other Elements of Group (Anomalous Behaviour)) :

(i) ઓરડાના તાપમાને ઑક્સિજન વાયુ સ્વરૂપે છે જ્યારે સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વો ઘન સ્વરૂપે છે.

(ii) ઑક્સિજન દ્વિપરમાણ્વિય અણુ (O_2) તરીકે જ્યારે અન્ય તત્ત્વો બહુપરમાણ્વિય અણુ તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે.

(iii) ઑક્સિજન અધાતુ તત્ત્વ છે. સમૂહમાં પરમાણ્વિય-ક્રમાંક વધવાની સાથે તત્ત્વોનો ધાત્વિક ગુણ વધે છે.

(iv) ઑક્સિજન તત્ત્વની સંયોજકતા કક્ષામાં d-કક્ષકો પ્રાપ્ય નથી. તેથી તે નીચી ઑક્સિડેશન અવસ્થાઓ (–2, –1, 1, 2) ધરાવે છે. જ્યારે સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વોમાં d-કક્ષકો પ્રાપ્ય હોવાને કારણે સંયોજકતા કક્ષાનું વિસ્તરણ થઈ શકે છે. તેથી આ તત્ત્વો ઊંચી ઑક્સિડેશન અવસ્થાઓ (–2, 2, 4, 6) ધરાવે છે. (જુઓ કોષ્ટક 5.7.)

(v) ઑક્સિજન તત્ત્વ તેના નાના કદ અને વધુ વિદ્યુતઋણતાના કારણે પાણીમાં હાઇડ્રોજન પરમાણુ સાથે હાઇડ્રોજનબંધ રચે છે. તેથી H_2Oમાં જોવા મળતો પ્રબળ હાઇડ્રોજનબંધ H_2Sમાં જોવા મળતો નથી.

5.6.3 ઑક્સિજનનાં સંયોજનો (Compounds of Oxygen) :

(1) સાદા ઑક્સાઇડ : ઑક્સિજન બીજા તત્ત્વ સાથે સંયોજાઈ જે દ્વિઅંગી સંયોજન (Binary compound) બનાવે છે તેને ઑક્સાઇડ કહે છે. અગાઉ નોંધ્યું તેમ ઑક્સિજન તત્ત્વ આવર્તકોષ્ટકના મોટા ભાગનાં તત્ત્વો સાથે સંયોજાય છે. કેટલાંક તત્ત્વો ઑક્સિજન સાથે સંયોજાઈ એક કરતાં વધુ સંયોજનો બનાવે છે. ઑક્સિજન તત્ત્વ આયનીય તેમજ સહસંયોજક એમ બંને પ્રકારનાં સંયોજનો બનાવી શકે છે. સાદાં ઑક્સાઇડ સંયોજનોનું તેઓના ઍસિડિક, બેઝિક અને ઊભયગુણી ગુણધર્મોને આધારે વર્ગીકરણ કરાય છે.

જે ઑક્સાઇડ સંયોજનો પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરી ઍસિડ આપે છે તેને ઍસિડિક ઑક્સાઇડ કહે છે. દા.ત., SO_2, Cl_2O_7, CO_2, N_2O_5 વગેરે.

$$SO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow H_2SO_3(aq)$$

સામાન્ય રીતે અધાતુના ઑક્સાઇડ ઍસિડિક હોય છે.

જે ઑક્સાઇડ સંયોજનો પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરી બેઇઝ આપે છે તેને બેઝિક ઑક્સાઇડ કહે છે. દા.ત., Na_2O, CaO, BaO વગેરે.

$$CaO(s) + H_2O(l) \rightarrow Ca(OH)_2(aq)$$

સામાન્ય રીતે ધાતુઓના ઑક્સાઇડ બેઝિક હોય છે. કેટલાક ઑક્સાઇડ ઍસિડિક અને બેઝિક એમ બંને સ્વભાવ ધરાવતા હોય છે. આ ઑક્સાઇડને ઊભયગુણી ઑક્સાઇડ કહે છે. તેઓ ઍસિડ અને બેઇઝ બંને સાથે પ્રક્રિયા કરી શકે છે. કેટલાક ઑક્સાઇડ ઍસિડિક કે બેઝિક પૈકીનો એક પણ સ્વભાવ ધરાવતા નથી. આ ઑક્સાઇડને તટસ્થ ઑક્સાઇડ કહે છે. દા.ત., CO, NO અને N_2O. Al_2O_3 નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે ઍસિડ અને બેઇઝ બંને સાથે પ્રક્રિયા કરે છે, તેથી તે ઊભયગુણી ઑક્સાઇડ છે.

$$Al_2O_3(s) + 6HCl(aq) + 9H_2O(l) \rightarrow 2[Al(H_2O)_6]^{3+}(aq) + 6Cl^-(aq)$$

$$Al_2O_3(s) + 6NaOH(aq) + 3H_2O(l) \rightarrow 2Na_3[Al(OH)_6](aq)$$

(2) ઓઝોન : ઓઝોન ઑક્સિજનનું અપરરૂપ (allotrope) છે. દરિયાની સપાટીથી 20 કિલોમીટર ઊંચાઈએ સૂર્યપ્રકાશની હાજરીમાં વાતાવરણના ઑક્સિજનમાંથી ઓઝોન વાયુ બને છે. આ ઓઝોન વાયુનું સ્તર પારજાંબલી (ultraviolet) કિરણોની હાનિકારક અસરથી પૃથ્વીનું રક્ષણ કરે છે.

(i) બનાવટ : પ્રયોગશાળામાં સિમેન્સ (Siemens) અને બ્રોડી (Brodie)ના ઓઝોનાઇઝર સાધનનો ઉપયોગ કરી ઓઝોન વાયુ બનાવી શકાય છે. સિમેન્સના ઓઝોનાઇઝરમાં ઠંડા, શુષ્ક ઑક્સિજનને શાંત વિદ્યુત વીજભારની હાજરીમાં પસાર કરતાં ઓઝોન મળે છે.

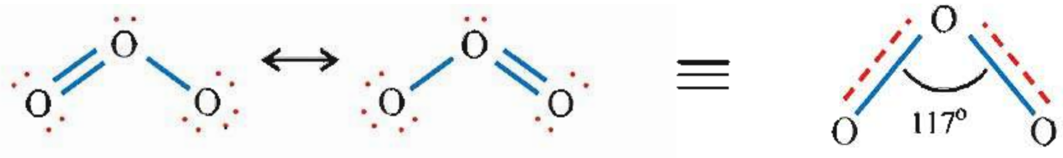
$$3O_2(g) \rightarrow 2O_3(g) \quad \Delta H = 142.7 \text{ કિલો જૂલ મોલ}^{-1}$$

ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન માટે સિમેન્સ અને હેલેસ્કેનું ઓઝોનાઇઝર વપરાય છે. જેમાં ઍલ્યુમિનિયમના સળિયાઓ વચ્ચે 8000થી 10,000 વૉલ્ટ વિદ્યુતદબાણ વપરાય છે. વિદ્યુતવિભાજન પદ્ધતિમાં ઍસિડિક પાણીમાં પ્લેટિનમ ધ્રુવોનો ઉપયોગ કરી ઍનોડ પર મળતા વાયુમાં 95 % ઓઝોન અને 5 % ઑક્સિજન વાયુ હોય છે.

(ii) ગુણધર્મો :

(A) ભૌતિક ગુણધર્મો :

- ઓઝોન વાયુ સ્વરૂપમાં આછો ભૂરો રંગ, પ્રવાહી સ્વરૂપમાં ઘેરો ભૂરો રંગ અને ઘન સ્વરૂપમાં ઘેરો જાંબલી રંગ ધરાવે છે.
- ઓઝોન લાક્ષણિક વાસ ધરાવે છે.
- ઓઝોનનું ઓછું પ્રમાણ નુકસાનકારક નથી. પરંતુ તેનું પ્રમાણ 100 ppm કરતાં વધી જાય તો શ્વાસ લેવામાં તકલીફ ઊભી થાય છે, તેને પરિણામે માથાનો દુખાવો અને ગૂંગળામણનો અનુભવ થાય છે.
- ઓઝોનના સસ્પંદનસૂત્રો નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે છે :



ઓઝોન અણુના સસ્પંદન સૂત્રો

(B) રાસાયણિક ગુણધર્મો :

- ઓઝોનના વિઘટનથી નવજાત ઑક્સિજન (O) છૂટો પડે છે. તેથી તે પ્રબળ ઑક્સિડેશનકર્તા છે.

$$O_3(g) \rightarrow O_2(g) + O(g)$$

તેથી ઓઝોન વાયુ લેડ સલ્ફાઇડનું લેડ સલ્ફેટમાં અને આયોડાઇડ આયનનું આયોડિનમાં ઑક્સિડેશન કરે છે.

$$PbS(s) + 4O_3(g) \rightarrow PbSO_4(s) + 4O_2(g)$$

$$2I^-(aq) + H_2O(l) + O_3(g) \rightarrow 2OH^-(aq) + I_2(s) + O_2(g)$$

- સુપરસોનિક જેટ વિમાનના એક્ઝોસ્ટ (exhaust) દ્વારા બહાર નીકળતા વાયુઓમાંના નાઇટ્રિક ઑક્સાઇડ સાથે ઓઝોન-પ્રક્રિયા કરીને નાઇટ્રોજન ડાયૉક્સાઇડ વાયુ બનાવે છે.

$$NO(g) + O_3(g) \rightarrow NO_2(g) + O_2(g)$$

- આ જ પ્રમાણે ભેજયુક્ત સલ્ફર, ફૉસ્ફરસ અને આર્સેનિક સાથે ઑક્સિડેશન કરી ઑક્સિઍસિડ સંયોજનો બનાવે છે.

$$S(s) + H_2O(l) + 3O_3(g) \rightarrow H_2SO_4(aq) + 3O_2(g)$$

$$2P(s) + 3H_2O(l) + 5O_3(g) \rightarrow 2H_3PO_4(aq) + 5O_2(g)$$

$$2As(s) + 3H_2O(l) + 5O_3(g) \rightarrow 2H_3AsO_4(aq) + 5O_2(g)$$

(iii) ઉપયોગો :

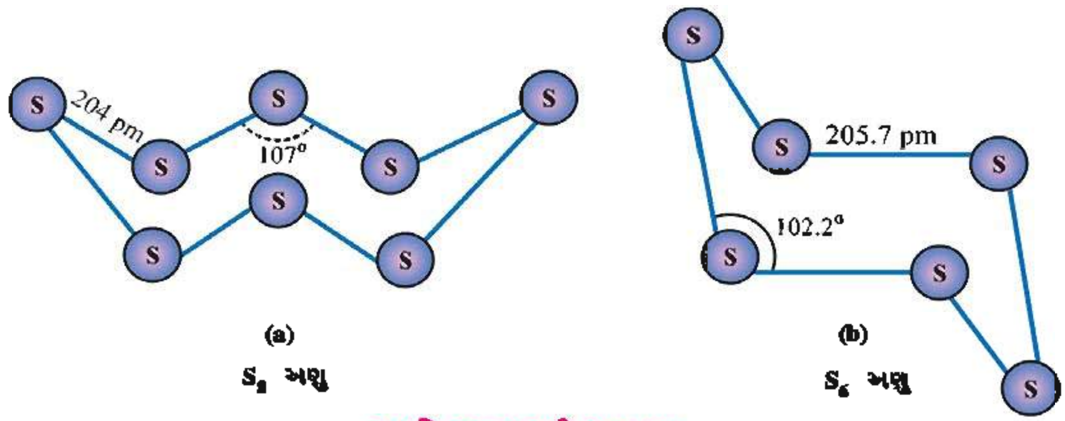
- પીવાના પાણીને જીવાણુમુક્ત કરવા ઓઝોન વાયુનો ઉપયોગ થાય છે.
- તે વિવિધ તેલ, લોટ (flour) અને સ્ટાર્ચની વિરંજન (bleaching) ક્રિયામાં વિરંજક (bleaching agent) તરીકે ઉપયોગી છે.
- તે પોટૅશિયમ પરમૅંગેનેટના ઉત્પાદનમાં ઑક્સિડેશનકર્તા તરીકે ઉપયોગી છે.

5.7 સલ્ફર (Sulphur)

5.7.1 સલ્ફરનાં અપરરૂપો (Allotropes of Sulphur) :

સલ્ફરનાં વિવિધ અપરરૂપોમાં રહોમ્બિક સલ્ફર (α-સલ્ફર) અને મોનોક્લિનિક સલ્ફર (β-સલ્ફર) સૌથી અગત્યના છે. ઓરડાના તાપમાને સલ્ફરનું સ્થાયી સ્વરૂપ રહોમ્બિક સલ્ફર છે, જ્યારે તેને 369 K તાપમાને ગરમ કરવામાં આવે છે ત્યારે તે મોનોક્લિનિક સલ્ફરમાં રૂપાંતર પામે છે.

રહોમ્બિક સલ્ફર (α-સલ્ફર) : રહોમ્બિક સલ્ફર પીળા રંગનું હોય છે. તેનું ગલનબિંદુ 385.8 K છે. સલ્ફરના CS_2માં બનાવેલા દ્રાવણનું બાષ્પીભવન કરતાં રહોમ્બિક સલ્ફર મળે છે. તે પાણીમાં અદ્રાવ્ય પણ બેન્ઝિન, આલ્કોહોલ જેવા કાર્બનિક દ્રાવકોમાં દ્રાવ્ય છે.



આકૃતિ 5.2 સલ્ફરની અણુરચના

મોનોક્લિનિક સલ્ફર (β-સલ્ફર) : મોનોક્લિનિક સલ્ફર CS_2માં દ્રાવ્ય છે. તેનું ગલનબિંદુ 393 K છે. રહોમ્બિક સલ્ફરને એક ડિશમાં પીગાળીને ઠંડું પાડતાં મોનોક્લિનિક સલ્ફર મળે છે. મોનોક્લિનિક સલ્ફર 369 K કરતા ઊંચા તાપમાને સ્થાયી છે અને તેનાથી નીચા તાપમાને રહોમ્બિક સલ્ફરમાં ફેરવાય છે. તેનાથી ઊલટું, રહોમ્બિક સલ્ફર 369 K કરતા નીચા તાપમાને સ્થાયી છે અને તેનાથી ઊંચા તાપમાને મોનોક્લિનિકમાં ફેરવાય છે. 369 K તાપમાને બંને અપરરૂપો સ્થાયી છે. આ તાપમાનને સંક્રાંતિ તાપમાન (transition temperature) પણ કહે છે. આ બંને અપરરૂપો S_8 અણુ ધરાવે છે. આ બંને સ્વરૂપોમાં S_8 અણુઓ ક્રાઉન (crown form – તાજ, મુગટ) સ્વરૂપે રહેલા હોય છે, જે આકૃતિ 5.2 (a) માં દર્શાવેલ છે. છેલ્લા બે દાયકામાં થયેલા સંશોધનના પરિણામરૂપ 6થી 20 પરમાણુ ધરાવતા સલ્ફરના અણુઓ બનાવી શકાય છે. S_6 અણુની ચક્રીય રચના ખુરશી સ્વરૂપ (Chair form)ની રચના ધરાવે છે, જે આકૃતિ 5.2 (b)માં દર્શાવેલ છે.

5.7.2 સલ્ફરનાં સંયોજનો (Compounds of Sulphur)

(1) સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ :

(i) બનાવટ : સલ્ફરનું જ્યારે હવા અથવા ઑક્સિજન વાયુ સાથે (6થી 8 % જેટલા સલ્ફર ટ્રાયોક્સાઇડ સાથે) દહન કરવામાં આવે છે ત્યારે સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ મળે છે.

$$S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$$

પ્રયોગશાળામાં સોડિયમ સલ્ફાઇટની હાઇડ્રોક્લોરિક ઍસિડ સાથેની પ્રક્રિયાથી સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ મેળવી શકાય છે.

$$Na_2SO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow SO_2(g) + H_2O(l) + 2NaCl(aq)$$

ઉદ્યોગોમાં સલ્ફાઇડ ખનિજના ભૂંજન દરમિયાન સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ ઉપનીપજ તરીકે મળે છે.

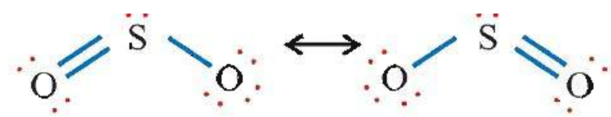
$$4FeS_2(s) + 11O_2(g) \rightarrow 2Fe_2O_3(s) + 8SO_2(g)$$

આ રીતે મેળવેલા સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ વાયુને સૂકો (dry) કરી દબાણ હેઠળ પ્રવાહી સ્થિતિમાં લાવીને સ્ટીલના સિલિન્ડરમાં સંગ્રહ કરવામાં આવે છે.

(ii) ગુણધર્મો :

(A) ભૌતિક ગુણધર્મો :

- સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ વાયુ રંગવિહીન તીવ્ર વાસવાળો અને દાહક અસર ઉપજાવતો વાયુ છે.
- તે પાણીમાં ખૂબ જ પ્રમાણમાં દ્રાવ્ય છે.
- ઓરડાના તાપમાને અને 2 બાર દબાણે તેનું પ્રવાહીકરણ થાય છે. તેનું ઉત્કલનબિંદુ 263 K છે.
- સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ અણુ કોણીય છે. તેનાં સસ્પંદન સૂત્રો નીચે પ્રમાણે છે :



SO_2 અણુના સસ્પંદન સૂત્રો

(B) રાસાયણિક ગુણધર્મો :

- સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડને પાણીમાં પસાર કરતાં સલ્ફ્યુરસ એસિડનું દ્રાવણ મળે છે.

$$SO_2(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_2SO_3(aq)$$

- તે NaOH સાથે પ્રક્રિયા કરી પ્રથમ તબક્કામાં સોડિયમ સલ્ફાઇટ બનાવે છે, જે વધુ પ્રમાણમાં સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ સાથે પ્રક્રિયા કરી સોડિયમ હાઇડ્રોજન સલ્ફાઇટ બનાવે છે.

$$2NaOH(aq) + SO_2(g) \rightarrow Na_2SO_3(aq) + H_2O(l)$$

$$Na_2SO_3(aq) + H_2O(l) + SO_2(g) \rightarrow 2NaHSO_3(aq)$$

- ચારકોલ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ, ક્લોરિન વાયુ સાથે પ્રક્રિયા કરી સલ્ફ્યુરાઇલ ક્લોરાઇડ (SO_2Cl_2) બનાવે છે. વેનેડિયમ પેન્ટોક્સાઇડ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં ઑક્સિડેશન થતાં સલ્ફર ટ્રાયૉક્સાઇડ બને છે.

$$SO_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow SO_2Cl_2(l)$$

$$2SO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{[V_2O_5]} 2SO_3(g)$$

એસિડિક $KMnO_4$ના દ્રાવણને રંગવિહીન કરે છે. આમ તે રિડક્શનકર્તા તરીકે વર્તે છે.

$$5SO_2(g) + 2MnO_4^-(aq) + 2H_2O(l) \rightarrow 5SO_4^{2-}(aq) + 4H^+(aq) + 2Mn^{2+}(aq)$$

(iii) ઉપયોગો :

- તે પેટ્રોલિયમ અને ખાંડના શુદ્ધીકરણમાં ઉપયોગી છે.
- ઊન અને રેશમને બ્લિચ કરવામાં પણ વપરાય છે.
- કેટલાક કાર્બનિક અને અકાર્બનિક પદાર્થોને દ્રાવ્ય કરવા માટે પ્રવાહી સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ દ્રાવક તરીકે વપરાય છે.
- સલ્ફ્યુરિક એસિડ, સોડિયમ હાઇડ્રોજન સલ્ફાઇટ અને કૅલ્શિયમ હાઇડ્રોજન સલ્ફાઇટના ઔદ્યોગિક ઉત્પાદનમાં સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ ઉપયોગી છે.

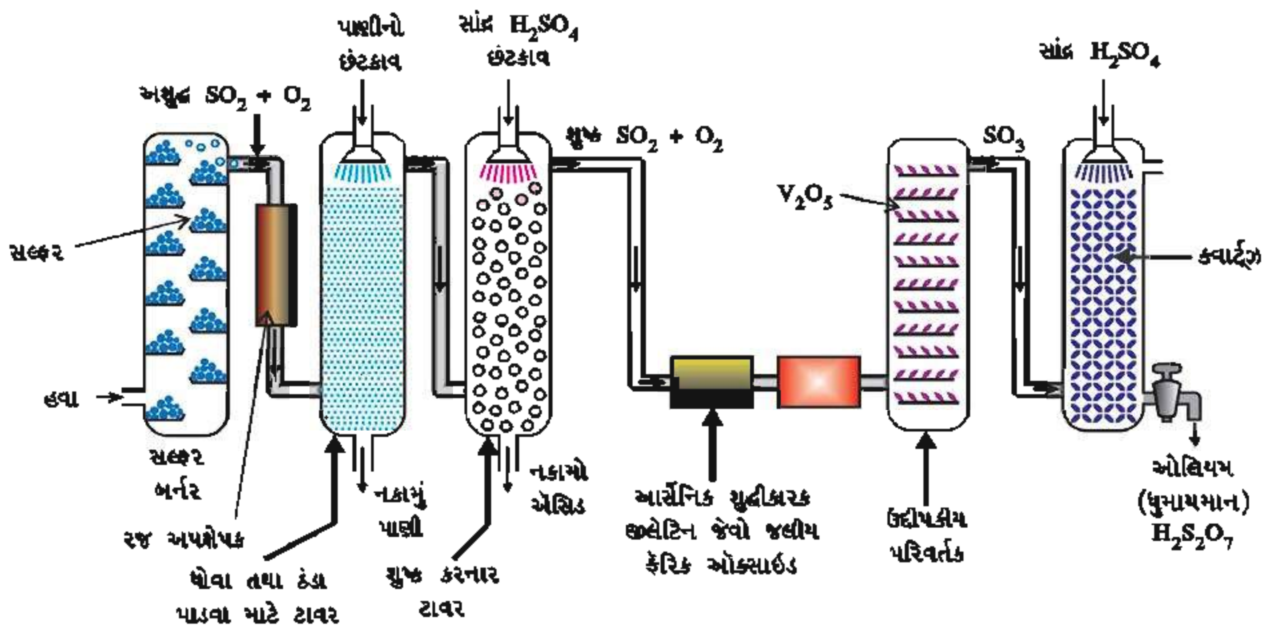
(2) સલ્ફ્યુરિક ઍસિડ (H_2SO_4) :

(i) ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન : સલ્ફ્યુરિક ઍસિડના ઉત્પાદનની સંપર્કવિધિમાં મુખ્યત્વે ત્રણ તબક્કાનો સમાવેશ થાય છે :

(1) સલ્ફર અથવા સલ્ફાઇડ ખનિજનું હવામાં દહન કરી સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ વાયુ મેળવવો.

(2) વેનેડિયમ પેન્ટોક્સાઇડ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ વાયુનું સલ્ફર ટ્રાયૉક્સાઇડ વાયુમાં ઑક્સિજનની મદદથી રૂપાંતર કરવું.

(3) આ રીતે પ્રાપ્ત થયેલા સલ્ફર ટ્રાયૉક્સાઇડ વાયુને સલ્ફ્યુરિક ઍસિડમાં શોષી ધુમાયમાન સલ્ફ્યુરિક ઍસિડ અથવા ઓલિયમ ($H_2S_2O_7$) મેળવી શકાય છે.



આકૃતિ 5.3 સંપર્કવિધિ દ્વારા સલ્ફ્યુરિક ઍસિડનું ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન

સૌપ્રથમ સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ વાયુમાંથી આર્સેનિક સંયોજનો અને બીજી અશુદ્ધિઓ દૂર કરી તેનું શુદ્ધીકરણ કરવામાં આવે છે. સંપર્કવિધિથી H_2SO_4નાં ઉત્પાદનનો અગત્યનો તબક્કો સલ્ફર ડાયૉક્સાઇડ વાયુનું વેનેડિયમ પેન્ટોક્સાઇડ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં ઉદ્દીપકીય ઑક્સિડેશન કરી સલ્ફર ટ્રાયૉક્સાઇડ વાયુ બનાવવાનો છે.

$$2SO_2(g) + O_2(g) \xrightarrow{[V_2O_5]} 2SO_3(g) \ \Delta_rH = -196.6 \text{ કિલો જૂલ મોલ}^{-1}$$

આ પ્રક્રિયા ઉષ્માક્ષેપક છે. પુરોગામી પ્રણાલીનું કદ ઘટે છે. તેથી લ-શેટેલિયરના સિદ્ધાંત પ્રમાણે વધુ નીપજ મેળવવા માટે નીચું તાપમાન અને ઊંચું દબાણ જરૂરી છે. પરંતુ ખૂબ જ નીચું તાપમાન રાખવાથી ઑક્સિડેશન-પ્રક્રિયાનો વેગ ઘટી જાય છે. વ્યવહારમાં આ પ્રક્રિયા 2 બાર દબાણે અને 720 K તાપમાને કરવામાં આવે છે. આ રીતે પ્રાપ્ત થયેલા સલ્ફર ટ્રાયૉક્સાઇડ વાયુને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક ઍસિડમાં શોષી લેવામાં આવે છે. પરિણામે ધુમાયમાન સલ્ફ્યુરિક ઍસિડ અથવા ઓલિયમ ($H_2S_2O_7$) મળે છે. આ ઓલિયમનું પાણી વડે મંદન કરી જરૂરી સાંદ્રતાવાળો સલ્ફ્યુરિક ઍસિડ મેળવી શકાય છે.

$$SO_3(g) + H_2SO_4(l) \rightarrow H_2S_2O_7(l) \text{ (ઓલિયમ)}$$

સંપર્કવિધિથી 96 થી 98 % શુદ્ધતાવાળો H_2SO_4 મેળવી શકાય છે.

(ii) ગુણધર્મો :

(A) ભૌતિક ગુણધર્મો :

- સલ્ફ્યુરિક એસિડ રંગવિહીન ઘટ્ટ તેલી પ્રવાહી છે.
- તેની વિશિષ્ટ ઘનતા 298 K તાપમાને 1.84 છે.
- તેનું ઠારબિંદુ 283 K અને ઉત્કલનબિંદુ 611 K છે.
- તે પાણીમાં દ્રાવ્ય થાય છે ત્યારે ઉષ્માનું ઉત્સર્જન કરે છે. તેથી સલ્ફ્યુરિક એસિડના દ્રાવણની બનાવટ વખતે ખૂબ જ કાળજી રાખવી જરૂરી છે. આ માટે સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડને પાણીમાં ધીમે ધીમે સતત હલાવતા રહીને ઉમેરવામાં આવે છે અથવા પાત્રની આજુબાજુ બરફ રાખવામાં આવે છે.

(B) રાસાયણિક ગુણધર્મો :

- જલીય દ્રાવણમાં સલ્ફ્યુરિક એસિડનું આયનીકરણ બે તબક્કામાં થાય છે.

$$H_2SO_4(aq) + H_2O(l) \rightarrow H_3O^+(aq) + HSO_4^-(aq) \quad Ka_1 > 10 \text{ (ખૂબ જ ઊંચું મૂલ્ય)}$$

$$HSO_4^-(aq) + H_2O(l) \rightarrow H_3O^+(aq) + SO_4^{2-}(aq) \quad Ka_2 = 1.2 \times 10^{-2}$$

- Ka_1નું ખૂબ જ ઊંચું મૂલ્ય સૂચવે છે કે તેનું વધુ પ્રમાણમાં આયનીકરણ થઈ H^+ અને HSO_4^- આયનો મળે છે. Kaનું ઊંચું મૂલ્ય, એસિડની વધુ પ્રબળતા સૂચવે છે.
- સલ્ફ્યુરિક એસિડ આલ્કલી સાથે સામાન્ય સલ્ફેટ (દા.ત., Na_2SO_4, $CuSO_4$) અને એસિડ સલ્ફેટ અથવા બાય સલ્ફેટ અથવા સોડિયમ હાઇડ્રોજન સલ્ફેટ ($NaHSO_4$) એમ બે પ્રકારના ક્ષારો બનાવે છે.
- નીચી બાષ્પશીલતાને કારણે તે અન્ય એસિડની બનાવટમાં વપરાય છે.

$$2MX(s) + H_2SO_4(l) \rightarrow 2HX(l) + M_2SO_4(aq)$$

(જ્યાં M = ધાતુઆયન અને X = F^-, Cl^-, NO_3^-)

- સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડ પ્રબળ ભેજશોષક પદાર્થ છે. ભેજવાળા વાયુઓને સાંદ્ર H_2SO_4માંથી પસાર કરતાં તે સૂકા (dry) બને છે. (આ વાયુઓ H_2SO_4 સાથે પ્રક્રિયા કરતા ન હોવા જોઈએ.) તે કાર્બનિક સંયોજનોમાંથી પાણી દૂર કરે છે. દા.ત.,

$$C_{12}H_{22}O_{11} \xrightarrow{H_2SO_4} 12C + 11H_2O$$

આ ચેરિંગ પ્રક્રિયાથી ખાંડ કાળી પડી જાય છે.

ગરમ સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડ ઑક્સિડેશનકર્તા તરીકે વર્તે છે. ધાતુ અને અધાતુઓનું સાંદ્ર H_2SO_4 વડે ઑક્સિડેશન થાય છે અને સલ્ફ્યુરિક એસિડનું રિડક્શન થઈ SO_2માં રૂપાંતર થાય છે.

$$Cu(s) + 2H_2SO_4(\text{સાંદ્ર})(l) \rightarrow CuSO_4(aq) + SO_2(g) + 2H_2O(l)$$

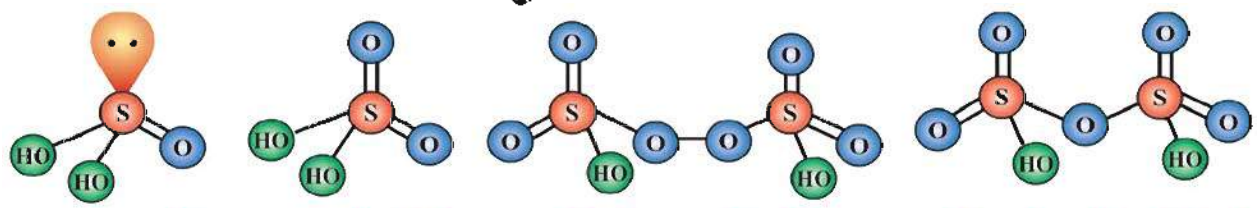
$$S(s) + 2H_2SO_4(\text{સાંદ્ર})(l) \rightarrow 3SO_2(g) + 2H_2O(l)$$

$$C(s) + 2H_2SO_4(\text{સાંદ્ર})(l) \rightarrow CO_2(g) + 2SO_2(g) + 2H_2O(l)$$

(ii) ઉપયોગો :

- સલ્ફ્યુરિક ઍસિડ મહત્ત્વનું ઔદ્યોગિક રસાયણ છે.
- મોટા ભાગના રાસાયણિક પદાર્થો જેવા કે ખાતર, રંગ, સાંશ્લેષિત રેસા, સાબુ અને ડિટરજન્ટની બનાવટમાં તથા પેટ્રોલિયમ શુદ્ધીકરણ અને ધાતુકર્મવિધિ(Metallurgy)માં સલ્ફ્યુરિક ઍસિડ વિશેષ ઉપયોગી હોવાથી તેને **રસાયણોનો રાજા** કહેવામાં આવે છે.
- તે પ્રયોગશાળામાં પ્રક્રિયક તરીકે પણ વપરાય છે.

(3) સલ્ફરના ઑક્સોઍસિડ : સલ્ફરના વિવિધ પ્રકારનાં ઑક્સોએસિડ H_2SO_3, $H_2S_2O_3$, $H_2S_2O_4$, $H_2S_2O_5$, $H_2S_xO_6$ (x = 2થી 5), H_2SO_4, $H_2S_2O_7$, H_2SO_5, $H_2S_2O_8$ જેવાં સંયોજનો બનાવે છે. અહીં આપણે આ પૈકીનાં કેટલાંક ઑક્સોએસિડના માત્ર બંધારણ જ જોઈશું, જે નીચે દર્શાવ્યા છે :



સલ્ફ્યુરસ ઍસિડ H_2SO_3 | સલ્ફ્યુરિક ઍસિડ H_2SO_4 | પેરોક્સોડાયસલ્ફ્યુરિક ઍસિડ $H_2S_2O_8$ | પાયરોસલ્ફ્યુરિક ઍસિડ (ઑલિયમ) $H_2S_2O_7$

5.8 સમૂહ-17નાં તત્ત્વો (Elements of Group-17)

ફ્લોરિન, ક્લોરિન, બ્રોમિન, આયોડિન અને ઍસ્ટેટીન સમૂહ-17નાં તત્ત્વો છે. આ તત્ત્વોને સંયુક્ત રીતે હેલોજન તત્ત્વો તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. તેઓ સક્રિય અધાતુ તત્ત્વો છે. આ સમૂહનાં તત્ત્વોના ગુણધર્મોમાં એકંદરે વધુ સામ્યતા જોવા મળે છે. ઍસ્ટેટીન રેડિયોસક્રિય તત્ત્વ છે. આ સમૂહનાં તત્ત્વોના અગત્યના પરમાણ્વિય અને ભૌતિક ગુણધર્મો કોષ્ટક 5.8માં દર્શાવેલ છે.

કોષ્ટક 5.8 સમૂહ-17નાં તત્ત્વોના પરમાણ્વિય અને ભૌતિક ગુણધર્મો

ગુણધર્મો	F	Cl	Br	I	At
પરમાણ્વિય-ક્રમાંક	9	17	35	53	85
પરમાણ્વિય દળ (ગ્રામ મોલ$^{-1}$)	19.00	35.45	79.90	126.90	210
ઇલેક્ટ્રોનીય રચના	[He]$2s^22p^5$	[Ne]$3s^23p^5$	[Ar]$3d^{10}4s^24p^5$	[Kr]$4d^{10}5s^25p^5$	[Xe]$4f^{14}5d^{10}6s^26p^5$
આયનીકરણ એન્થાલ્પી (Δ_iH_1) (કિલો જૂલ મોલ$^{-1}$)	1680	1256	1142	1008	–
ઇલેક્ટ્રોન-પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી (કિલો જૂલ મોલ$^{-1}$)	–328	–349	–325	–295	–
વિદ્યુતઋણતા	4.0	3.2	3.0	2.7	2.2
સહસંયોજક ત્રિજ્યા (pm)	64	99	114	133	–
આયનીય ત્રિજ્યા (pm)	133	184	196	220	–
	F_2	Cl_2	Br_2	I_2	–
ગલનબિંદુ (K)	54.4	172.0	265.8	386.6	–
ઉત્કલનબિંદુ (K)	84.9	239.0	332.5	458.2	–
ઘનતા (ગ્રામ સેમી$^{-3}$) (298 K)	1.5	1.66	3.19	4.94	–

5.8.1 ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના, પ્રાપ્તિસ્થાન, ઑક્સિડેશન અવસ્થા (Electronic Configuration, Occurrence, Oxidation State) :

ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના : સમૂહ-17નાં તત્ત્વોની સંયોજકતા કક્ષાની ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના ns^2np^5 છે. આ તત્ત્વોને તેઓની નજીકનાં નિષ્ક્રિય વાયુતત્ત્વો જેવી ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના પ્રાપ્ત કરવા માટે એક ઇલેક્ટ્રૉન ખૂટે છે.

પ્રાપ્તિસ્થાન : સમૂહ-17નાં તત્ત્વોની મુખ્ય ખનીજો કોષ્ટક 5.9માં દર્શાવેલ છે.

કોષ્ટક 5.9 સમૂહ-17નાં તત્ત્વોની મુખ્ય ખનીજો

તત્ત્વો	મુખ્ય ખનીજોનું બંધારણ અને નામ
ફ્લોરિન	CaF_2 – ફ્લોસ્પાર, Na_3AlF_6 – ક્રાયોલાઇટ, $Ca_9(PO_4)_6CaF_2$ – ફ્લોર એપેટાઇટ
ક્લોરિન	NaCl – સોડિયમ ક્લોરાઇડ, KCl – પોટેશિયમ ક્લોરાઇડ (દ્રાવ્ય ક્ષારરૂપે)
બ્રોમિન	NaBr – સોડિયમ બ્રોમાઇડ, KBr – પોટેશિયમ બ્રોમાઇડ, $MgBr_2$ – મૅગ્નેશિયમ બ્રોમાઇડ (દ્રાવ્ય ક્ષારરૂપે)
આયોડિન	$NaIO_3$ – સોડિયમ આયોડેટ

ઑક્સિડેશન અવસ્થા : આ સમૂહનાં તત્ત્વોમાં ફ્લોરિન સૌથી વધુ વિદ્યુતઋણમય તત્ત્વ છે. પરિણામે તેનાં બધાં સંયોજનોમાં તેની ઑક્સિડેશન અવસ્થા (–1) છે. જોકે સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતા ધન ઑક્સિડેશન અવસ્થા પ્રાપ્ત કરવાની વૃત્તિ વધે છે. દા.ત., ક્લોરિનના ઓક્સોએસિડ સંયોજનો. કેટલીક વાર ક્લોરિન બ્રોમિન અને આયોડિન તત્ત્વોનાં સંયોજનોમાં તેમની ઑક્સિડેશન અવસ્થા –1, +1, +3, +5, +7 જોવા મળે છે.

5.8.2 ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા (Periodicity in Physical and Chemical Properties) :

(1) ભૌતિક ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા : કોષ્ટક 5.9ના આધારે કહી શકાય કે, સમૂહ-17નાં તત્ત્વોમાં પરમાણ્વિય-ક્રમાંકના વધારા સાથે પરમાણ્વિય કદ વધવાનું, આયનીકરણ એન્થાલ્પી ઘટવાનું તથા વિદ્યુતઋણતા ઘટવાનું સામાન્ય વલણ જોવા મળે છે.

(i) પરમાણ્વિય અને આયનીય ત્રિજ્યા : હેલોજન સમૂહનાં તત્ત્વોની પરમાણ્વિય ત્રિજ્યા તેના અનુવર્તી આવર્તમાં રહેલાં અન્ય તત્ત્વોની સરખામણીમાં સૌથી ઓછી હોય છે. કારણ કે હેલોજન તત્ત્વો મહત્તમ અસરકારક કેન્દ્રિય વીજભાર ધરાવે છે. દા.ત., બીજા આવર્તમાં સમૂહ-17નું ફ્લોરિન તત્ત્વ અન્ય તત્ત્વો કરતા સૌથી ઓછી પરમાણ્વિય ત્રિજ્યા ધરાવે છે. સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ એટલે કે ફ્લોરિન તત્ત્વથી આયોડિન તત્ત્વ તરફ જતાં મુખ્ય ક્વૉન્ટમ આંક વધવાને કારણે પરમાણ્વિય અને આયનીય ત્રિજ્યામાં વધારો થતો જાય છે.

(ii) આયનીકરણ એન્થાલ્પી : સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં પરમાણ્વિય કદ વધવાને કારણે આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય ઘટે છે.

(iii) ઇલેક્ટ્રૉનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી : આવર્તમાંનાં તત્ત્વો પૈકી હેલોજન તત્ત્વની ઇલેક્ટ્રૉનપ્રાપ્તિ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય વધુ ઋણ હોય છે. આનું કારણ હેલોજન તત્ત્વોમાં ઉમદાં વાયુતત્ત્વોની સ્થાયી ઇલેક્ટ્રૉનીય-રચના કરતાં એક જ ઇલેક્ટ્રૉન ઓછો હોય છે. સમૂહ-17માં ઉપરથી નીચે તરફ જતાં તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રૉન-પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય ઓછું ઋણ થતું જાય છે. પરંતુ કોષ્ટક 5.8 દર્શાવે છે કે F તત્ત્વ કરતા Cl તત્ત્વની ઇલેક્ટ્રૉન-પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય વધુ ઋણ છે. આમ થવાનું કારણ નવો ઉમેરાતો ઇલેક્ટ્રૉન F તત્ત્વની 2p કક્ષકમાં અને Cl તત્ત્વની 3p કક્ષકમાં સ્થાન લેશે. આપણે (ધોરણ 11 સિમેસ્ટર I)ના એકમ 3માં શીખી ગયા તે પ્રમાણે 3p કક્ષક કરતા 2p કક્ષકમાં ઇલેક્ટ્રૉન-ઇલેક્ટ્રૉન વચ્ચેનું અપાકર્ષણ વધુ હોવાથી ઇલેક્ટ્રૉન 3p કક્ષકમાં વધુ સરળતાથી દાખલ થઈ શકે છે.

(iv) વિદ્યુતઋણતા : હેલોજન તત્ત્વોની વિદ્યુતઋણતા વધુ હોય છે. સમૂહ-17માં ઉપરથી નીચે તરફ જતા વિદ્યુતઋણતા ઘટે છે. આવર્તકોષ્ટકમાંનાં બધાં તત્ત્વો પૈકી ફ્લોરિન તત્ત્વની વિદ્યુતઋણતા સૌથી વધુ છે.

(2) રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા :

(i) હાઇડ્રોજન તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયા : બધાં જ હેલોજન તત્ત્વો હાઇડ્રોજન તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયા કરી હાઇડ્રોજન હેલાઇડ સંયોજનો બનાવે છે. પણ હાઇડ્રોજન તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયાની વૃત્તિ ફ્લોરિનથી આયોડિન તત્ત્વ તરફ જતા ઘટે છે. આ સંયોજનો પાણીમાં દ્રાવ્ય થઈ હાઇડ્રોહેલિક ઍસિડ બનાવે છે. આ ઍસિડ સંયોજનોની ઍસિડિક પ્રબળતાનો ક્રમ HF < HCl < HBr < HI છે. આ હેલાઇડ સંયોજનોની સ્થાયીતા સમૂહમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતા H–X બંધની વિયોજન ઍન્થાલ્પીનું મૂલ્ય ઘટવાની સાથે ઘટે છે. આ સંયોજનોની સ્થાયીતાનો ક્રમ HF > HCl > HBr > HI છે.

(ii) ઑક્સિજન તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયા : હેલોજન તત્ત્વો, ઑક્સિજન તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયા કરી ઘણા ઑક્સાઇડ બનાવે છે, જે પૈકીના મોટા ભાગના અસ્થાયી હોય છે. દા.ત., ફ્લોરિન તત્ત્વ બે ઑક્સાઇડ OF_2 અને O_2F_2 બનાવે છે. તે પૈકીનો OF_2 સંયોજન 298 K તાપમાને ઉષ્મીય રીતે સ્થાયી છે. ક્લોરિન, બ્રોમિન અને આયોડિન તત્ત્વો ઑક્સાઇડ બનાવે છે. તેમાં હેલોજન તત્ત્વોની ઑક્સિડેશન અવસ્થા +1થી +7 હોય છે. આ ઑક્સાઇડની સ્થાયીતાનો ક્રમ I > Cl > Br છે.

(iii) હેલોજન તત્ત્વો સાથે પ્રક્રિયા : હેલોજન તત્ત્વ, તે જ સમૂહના અન્ય તત્ત્વ સાથે જોડાઈને જે સંયોજન બનાવે છે તેને આંતરહેલોજન સંયોજનો કહે છે. દા.ત., XX', XX'_3, XX'_5 અને XX'_7 સંયોજનો; જ્યાં X = મોટા કદનાં હેલોજન તત્ત્વો, X' = નાનાં કદનાં હેલોજન તત્ત્વો.

(iv) ધાતુ તત્ત્વો સાથે પ્રક્રિયા : હેલોજન તત્ત્વો, ધાતુ તત્ત્વો સાથે પ્રક્રિયા કરી અનુવર્તી ધાતુહેલાઇડ સંયોજનો બનાવે છે. દા.ત., બ્રોમિન તત્ત્વ, સોડિયમ તત્ત્વ સાથે પ્રક્રિયા કરી સોડિયમ બ્રોમાઇડ બનાવે છે.

$$2Na(s) + Br_2(l) \longrightarrow 2NaBr(s)$$

ધાતુ હેલાઇડમાં આયનીય લાક્ષણિકતાનો ક્રમ MF > MCl > MBr > MI છે.

5.8.3 ફ્લોરિન તત્ત્વનું સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વોથી અલગ પડવું (અનિયમિત વર્તણૂક) (Distinction of Fluorine Element from other Elements of Group (Anomalous Behaviour)) :

(i) ફ્લોરિન તત્ત્વના નાના કદ, વધુ વિદ્યુતઋણતા, F–F બંધની વિયોજન ઍન્થાલ્પીનું ઓછું મૂલ્ય, સંયોજકતા કક્ષામાં *d*-કક્ષકો અપ્રાપ્ય હોવાથી તે હેલોજન સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વોથી અનિયમિત વર્તણૂક દર્શાવે છે. ફ્લોરિન તત્ત્વની આયનીકરણ ઍન્થાલ્પી અને વિદ્યુતઋણતા સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વોના આ ગુણધર્મો પ્રત્યેના વલણ(trends)ની અપેક્ષાએ વધુ છે. જ્યારે પરમાણ્વિય અને આયનીય ત્રિજ્યા, ગલનબિંદુ અને ઉત્કલનબિંદુ તથા ઇલેક્ટ્રોનપ્રાપ્તિ ઍન્થાલ્પીના મૂલ્ય સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વોની સરખામણીમાં અપેક્ષા કરતાં ઓછાં છે.

(ii) ફ્લોરિન માત્ર એક જ સ્થાયી ઑક્સોઍસિડ બનાવે છે. જ્યારે અન્ય હેલોજન તત્ત્વો ઘણાં ઑક્સોઍસિડ બનાવે છે.

(iii) પ્રબળ હાઇડ્રોજનબંધની હાજરીને કારણે હાઇડ્રોજન ફ્લોરાઇડ પ્રવાહી સ્થિતિમાં હોય છે જ્યારે અન્ય હાઇડ્રોજન હેલાઇડ વાયુ સ્થિતિમાં હોય છે.

5.9 ક્લોરિન (Chlorine)

5.9.1 ડાયક્લોરિન વાયુની બનાવટ, ગુણધર્મો અને ઉપયોગો (Preparation, Properties and Uses of Dichlorine Gas) :

(1) બનાવટ : ડાયક્લોરિન વાયુ નીચેના પૈકી કોઈ પણ પ્રક્રિયાથી બનાવી શકાય છે :

(i) મૅંગેનીઝ ડાયૉક્સાઇડની સાંદ્ર HCl સાથે પ્રક્રિયા થઈ ડાયક્લોરિન વાયુ બને છે.

$$MnO_2(s) + 4HCl(l) \longrightarrow MnCl_2(aq) + Cl_2(g) + 2H_2O(l)$$

(ii) પોટૅશિયમ પરમૅંગેનેટની હાઇડ્રોક્લોરિક ઍસિડ સાથેની પ્રક્રિયાથી ક્લોરિન વાયુ મળે છે.

$$2KMnO_4(s) + 16HCl(l) \longrightarrow 2KCl(aq) + 2MnCl_2(aq) + 8H_2O(l) + 5Cl_2(g)$$

(iii) ડેકન વિધિ (Deacon's Process) : 723 K તાપમાને $CuCl_2$ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં હાઇડ્રોજન ક્લોરાઇડ વાયુનું હવામાંના ઑક્સિજન વડે ઑક્સિડેશન કરી ક્લોરિન વાયુ મેળવી શકાય છે.

$$4HCl(l) + O_2(g) \xrightarrow{[CuCl_2]} 2H_2O(l) + 2Cl_2(g)$$

(iv) વિદ્યુતવિભાજનની રીત : બ્રાઇન(NaClનું સંતૃપ્ત દ્રાવણ)ના વિદ્યુતવિભાજનથી ક્લોરિન વાયુ મેળવી શકાય છે. ક્લોરિન વાયુ ઍનોડ પર જમા થાય છે. કેટલાક ઉદ્યોગોમાં ક્લોરિન વાયુ ઉપપેદાશ તરીકે પણ મળી આવે છે.

પ્રક્રિયા (i) અને (ii) દ્વારા પ્રયોગશાળામાં તથા પ્રક્રિયા (iii) અને (iv) દ્વારા ઉદ્યોગોમાં ક્લોરિન વાયુ બનાવી શકાય છે.

(2) ગુણધર્મો :

(i) ભૌતિક ગુણધર્મો :

- ક્લોરિન વાયુ ગૂંગળામણ કરે તેવો તીવ્ર વાસવાળો વાયુ છે.
- તે હવા કરતાં 2થી 5 ગણો ભારે છે.
- તે 239 K તાપમાને લીલાશપડતા પીળા રંગના પ્રવાહીમાં રૂપાંતર પામે છે.

(ii) રાસાયણિક ગુણધર્મો : ક્લોરિન વાયુ પ્રબળ ઑક્સિડેશનકર્તા હોઈ ધાતુ તથા અધાતુઓ સાથે પ્રક્રિયા કરી અનુવર્તી ક્લોરાઇડ સંયોજનો બનાવે છે.

$$2Al(s) + 3Cl_2(g) \rightarrow 2AlCl_3(s)$$

$$2Na(s) + Cl_2(g) \rightarrow 2NaCl(s)$$

$$2Fe(s) + 3Cl_2(g) \rightarrow 2FeCl_3(s)$$

$$P_4(s) + 6Cl_2(g) \rightarrow 4PCl_3(l)$$

$$S_8(s) + 4Cl_2(g) \rightarrow 4S_2Cl_2(l)$$

- હાઇડ્રોજન પ્રત્યે ખૂબ જ આકર્ષણ હોવાથી તે ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ સાથે અથવા હાઇડ્રોજન ધરાવતાં સંયોજનો સાથે જોડાઈ HCl બનાવે છે.

$$H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$$

$$H_2S(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g) + S(s)$$

- ડાયક્લોરિન વાયુની વધુ પડતા એમોનિયા વાયુ સાથેની પ્રક્રિયાથી એમોનિયમ ક્લોરાઇડ અને ડાયનાઇટ્રોજન વાયુ બને છે. જ્યારે આ પ્રક્રિયામાં ડાયક્લોરિન વાયુનું પ્રમાણ વધુ હોય ત્યારે નાઇટ્રોજન ટ્રાયક્લોરાઇડ (વિસ્ફોટક પદાર્થ) બને છે.

$8NH_3(g) + 3Cl_2(g) \rightarrow 6NH_4Cl(s) + N_2(g)$

(વધુ પ્રમાણમાં)

$NH_3(g) + 3Cl_2(g) \rightarrow NCl_3(g) + 3HCl(g)$

(વધુ પ્રમાણમાં)

- તે ઠંડા અને મંદ આલ્કલી સાથે પ્રક્રિયા કરી ક્લોરાઇડ અને હાયપોક્લોરાઇટનું મિશ્રણ આપે છે. જ્યારે ગરમ અને સાંદ્ર આલ્કલી સાથે પ્રક્રિયા કરી ક્લોરાઇડ અને ક્લોરેટ આપે છે.

$2NaOH(aq) + Cl_2(g) \rightarrow NaCl(aq) + NaOCl(aq) + H_2O(l)$

(ઠંડો અને મંદ)

$6NaOH(aq) + 3Cl_2(g) \rightarrow 5NaCl(aq) + NaClO_3(aq) + 3H_2O(l)$

(ગરમ અને સાંદ્ર)

- તે ભીંજવેલા ચૂના (slaked lime) સાથે પ્રક્રિયા કરી બ્લિચિંગ પાઉડર બનાવે છે.

$2Ca(OH)_2(aq) + 2Cl_2(g) \rightarrow Ca(OCl)_2(aq) + CaCl_2(aq) + 2H_2O(l)$

બ્લિચિંગ પાઉડરના સંઘટકો $Ca(OCl)_2 \cdot CaCl_2 \cdot Ca(OH)_2 \cdot 2H_2O$ છે.

- ડાયક્લોરિન વાયુ સંતૃપ્ત હાઇડ્રોકાર્બન સાથે સૂર્યપ્રકાશની હાજરીમાં પ્રક્રિયા કરી વિસ્થાપિત નીપજો અને અસંતૃપ્ત હાઇડ્રોકાર્બન સાથે પ્રક્રિયા કરી યોગશીલ નીપજો આપે છે.

$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{UV} CH_3Cl + HCl$

મિથેન　ડાયક્લોરિન વાયુ　　ક્લોરોમિથેન

$C_2H_4 + Cl_2 \xrightarrow{\text{ઓરડાના તાપમાને}} C_2H_4Cl_2$

ઇથિન　ડાયક્લોરિન વાયુ　　1,2–ડાયક્લોરો ઇથેન

- ક્લોરિન જળને લાંબો સમય રાખી મૂકવાથી તેમાં HCl અને HOCl બનવાને કારણે તે તેનો પીળો રંગ ગુમાવે છે. આ રીતે મળતો હાયપોક્લોરસ ઍસિડ (HOCl) નવજાત ઑક્સિજન આપે છે, જે ઑક્સિડેશન અને બ્લિચિંગ ગુણધર્મ માટે જવાબદાર છે.

$2FeSO_4(s) + H_2SO_4(l) + Cl_2(g) \rightarrow Fe_2(SO_4)_3(s) + 2HCl(l)$

$Na_2SO_3(s) + Cl_2(g) + H_2O(l) \rightarrow Na_2SO_4(aq) + 2HCl(aq)$

(3) ઉપયોગો :

- કાગળ અને શણની બનાવટમાં વપરાતા લાકડાના માવાને બ્લીચ કરવા ડાયક્લોરિન વાયુ વપરાય છે.
- સોનું અને પ્લેટિનમના નિષ્કર્ષણમાં, દવા, રંગકો તથા કાર્બનિક સંયોજનોની બનાવટમાં, પીવાના પાણીને જીવાણુમુક્ત કરવા માટે ડાયક્લોરિન વાયુ ઉપયોગી છે.

- તે ફોસ્જિન ($COCl_2$), અશ્રુવાયુ (CCl_3NO_2) અને મસ્ટાર્ડ વાયુ [$ClCH_2CH_2SCH_2CH_2Cl$] જેવા ઝેરી વાયુઓની બનાવટમાં વપરાય છે.

5.9.2 હાઇડ્રોજન ક્લોરાઇડ વાયુની બનાવટ, ગુણધર્મો અને ઉપયોગો (Preparation of Hydrogen Chloride Gas, Properties and Uses) :

(1) બનાવટ : પ્રયોગશાળામાં સોડિયમ ક્લોરાઇડ અને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડ વચ્ચે પ્રક્રિયા થઈ હાઇડ્રોજન ક્લોરાઇડ બનાવી શકાય છે.

$$NaCl(s) + H_2SO_4(aq) \xrightarrow{420\ K} NaHSO_4(aq) + HCl(g)$$

$$NaHSO_4(aq) + NaCl(s) \rightarrow Na_2SO_4(aq) + HCl(g)$$

આ HCl વાયુને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક એસિડમાંથી પસાર કરતા તે સૂકો (dry) બને છે.

(2) ગુણધર્મો :

(i) ભૌતિક ગુણધર્મો :

- તે રંગવિહીન, તીવ્ર વાસવાળો વાયુ છે.
- તે 189 K તાપમાને રંગવિહીન પ્રવાહીમાં અને 159 K તાપમાને સફેદ સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થમાં રૂપાંતર પામે છે.
- તે પાણીમાં ખૂબ જ દ્રાવ્ય છે.

(ii) રાસાયણિક ગુણધર્મો :

- હાઇડ્રોજન ક્લોરાઇડ વાયુનું જલીય દ્રાવણ હાઇડ્રોક્લોરિક એસિડ કહેવાય છે.
- હાઇડ્રોજન ક્લોરાઇડ વાયુનું પાણીમાં સંપૂર્ણ આયનીકરણ થતું હોવાથી તે પ્રબળ એસિડ તરીકે વર્તે છે.

$$HCl(g) + H_2O(l) \rightarrow H_3O^+(aq) + Cl^-(aq)$$

- હાઇડ્રોક્લોરિક એસિડ, એમોનિયા વાયુ સાથે પ્રક્રિયા કરી NH_4Clના સફેદ ધુમાડા આપે છે.

$$HCl(aq) + NH_3(g) \rightarrow NH_4Cl(g)$$

- ઉમદા ધાતુઓ જેવી કે સોનુ, પ્લેટિનમ વગેરેને દ્રાવ્ય કરવા માટે ત્રણ ભાગ સાંદ્ર HCl અને એક ભાગ સાંદ્ર HNO_3નું મિશ્રણ જેને એક્વારિજીયા (અમ્લરાજ) કહે છે.

$$Au(s) + 4H^+(aq) + NO_3^-(aq) + 4Cl^-(aq) \rightarrow AuCl_4^-(aq) + NO(g) + 2H_2O(l)$$

$$3Pt(s) + 16H^+(aq) + 4NO_3^-(aq) + 18Cl^-(aq) \rightarrow 3PtCl_6^{2-}(aq) + 4NO(g) + 8H_2O(l)$$

- તે નિર્બળ એસિડના ક્ષારોનું વિઘટન કરે છે.

$$Na_2CO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow 2NaCl(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

$$NaHCO_3(s) + HCl(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

(iii) ઉપયોગો :

- હાઇડ્રોજન ક્લોરાઇડ વાયુ; ક્લોરિન, એમોનિયમ ક્લોરાઇડ અને ગ્લુકોઝના ઉત્પાદનમાં ઉપયોગી છે.
- તે પ્રયોગશાળામાં પ્રક્રિયક તરીકે પણ ઉપયોગી છે.

5.10 આંતરહેલોજન સંયોજનોની બનાવટ, ગુણધર્મો અને ઉપયોગો (Preparation, Properties and Uses of Interhalogen Compounds)

બે જુદાં જુદાં હેલોજન તત્ત્વો એકબીજા સાથે પ્રક્રિયા કરી જે સંયોજનો બનાવે છે તેને **આંતરહેલોજન સંયોજનો** કહે છે. દા.ત., XX', XX'_3, XX'_5 અને XX'_7 સંયોજનો; જ્યાં X = મોટા કદના હેલોજન તત્ત્વો, X' = નાના કદનાં હેલોજન તત્ત્વો.

(1) બનાવટ : આંતરહેલોજન સંયોજનો, હેલોજન તત્ત્વોની એકબીજા સાથેની સીધી પ્રક્રિયાથી મેળવી શકાય છે.

$$Cl_2(g) + F_2(g) \xrightarrow{473\ K} 2ClF(g)$$

(સમાન કદ) (ક્લોરિન ફ્લોરાઇડ)

$$Cl_2(g) + 3F_2(g) \xrightarrow{573\ K} 2ClF_3(g)$$

(વધુ પ્રમાણમાં) (ક્લોરિન ટ્રાયફ્લોરાઇડ)

$$I_2(s) + Cl_2(g) \rightarrow 2ICl(s)$$

(સમાન મોલ) (આયોડિન ક્લોરાઇડ)

$$I_2(s) + 3Cl_2(g) \rightarrow 2ICl_3(g)$$

(વધુ પ્રમાણમાં) (આયોડિન ટ્રાયક્લોરાઇડ)

$$Br_2(g) + 3F_2(g) \rightarrow 2BrF_3(l)$$

(બ્રોમિન ટ્રાયફ્લોરાઇડ)

$$Br_2(g) + 5F_2(g) \rightarrow 2BrF_5(l)$$

(વધુ પ્રમાણમાં) (બ્રોમિન પેન્ટાફ્લોરાઇડ)

(2) ગુણધર્મો : આંતર હેલોજન સંયોજનોના કેટલાક ગુણધર્મો કોષ્ટક 5.10માં દર્શાવેલા છે.

કોષ્ટક 5.10 આંતરહેલોજન સંયોજનોના કેટલાક ગુણધર્મો

પ્રકાર	રાસાયણિક સૂત્ર	ભૌતિક સ્થિતિ અને રંગ	બંધારણ (આકાર)
XX'	ClF	રંગવિહીન વાયુ	–
	BrF	આછો બદામી રંગ	–
	IF	સ્પેક્ટ્રોસ્કોપિક પદ્ધતિથી ઓળખવામાં આવે છે.	–
	BrCl	વાયુ	–
	ICl	ચળકતો લાલ ઘન (α-સ્વરૂપ)	–
		બદામી લાલ ઘન (β-સ્વરૂપ)	–
	IBr	કાળો ઘન	

XX'_3	ClF_3	રંગવિહીન વાયુ	કોણીય T – આકાર
	BrF_3	પીળું લીલું પ્રવાહી	કોણીય T – આકાર
	IF_3	પીળો પાઉડર	કોણીય T – આકાર
	ICl_3	નારંગી રંગનો ઘન	કોણીય T – આકાર
XX'_5	IF_5	રંગવિહીન વાયુ પરંતુ 77 Kથી નીચા તાપમાને ઘન	સમચોરસ પિરામિડલ
	BrF_5	રંગવિહીન પ્રવાહી	સમચોરસ પિરામિડલ
	ClF_5	રંગવિહીન પ્રવાહી	સમચોરસ પિરામિડલ
XX'_7	IF_7	રંગવિહીન વાયુ	પેન્ટાગોનલ બાય પિરામિડ

(i) ભૌતિક ગુણધર્મો : મોટા ભાગનાં આંતરહેલોજન સંયોજનો બાષ્પશીલ ઘન અથવા પ્રવાહી સ્વરૂપે હોય છે. કેટલાંક સંયોજનો વાયુ સ્વરૂપે પણ હોય છે. (કોષ્ટક 5.10)

(ii) રાસાયણિક ગુણધર્મો : સામાન્ય રીતે આંતરહેલોજન સંયોજનો, તેના અનુવર્તી હેલોજન તત્ત્વ કરતા વધુ સક્રિય હોય છે (ફ્લોરિન સિવાય), કારણ કે આંતરહેલોજન સંયોજનોમાં X–X' બંધ, X–X બંધની સાપેક્ષમાં નિર્બળ છે. આંતરહેલોજન સંયોજનોના જળવિભાજનથી તેમાંના નાના કદના હેલોજન તત્ત્વમાંથી હેલાઇડ આયન અને મોટા કદના હેલોજન તત્ત્વમાંથી હાઇપોહેલાઇટ (XX' માટે), હેલાઇટ (XX'_3 માટે), હેલેટ (XX'_5 માટે) અને પરહેલેટ (XX'_7 માટે) આયન બને છે.

$$XX' + H_2O \rightarrow HX' + HOX$$

(3) ઉપયોગો :

- આંતરહેલોજન સંયોજનો બિનજલીય દ્રાવક તરીકે વપરાય છે.
- તેઓ ખૂબ સારા ફ્લોરિનેટિંગ પ્રક્રિયકો છે.
- ClF_3 અને BrF_3નો ઉપયોગ U^{235} મેળવવા માટેના UF_6ના સંકેન્દ્રણ માટે થાય છે.

$$U(s) + 3ClF_3(l) \rightarrow UF_6(g) + 3ClF(g)$$

5.11 હેલોજન તત્ત્વોનાં ઑક્સોઍસિડ સંયોજનો (Oxoacid Compounds of Halogen Elements)

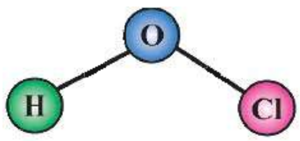
ફ્લોરિન તત્ત્વના નાના કદ અને વધુ વિદ્યુતઋણમયતાને કારણે તે ફક્ત એક જ ઑક્સોઍસિડ બનાવે છે. HOFને ફ્લોરિક (I) ઍસિડ અથવા હાયપોફ્લોરસ ઍસિડ કહે છે. બીજાં હેલોજન તત્ત્વો વધુ સંખ્યામાં ઑક્સોઍસિડ સંયોજનો બનાવે છે. મોટા ભાગનાં સંયોજનોને શુદ્ધ સ્વરૂપે અલગ કરી શકાતા નથી. તેઓ જલીય દ્રાવણ તરીકે કે ક્ષારરૂપે સ્થાયી હોય છે. હેલોજનનાં ઑક્સોઍસિડ સંયોજનો કોષ્ટક 5.11માં દર્શાવ્યા છે

કોષ્ટક 5.11 હેલોજનના ઑક્સોઍસિડ સંયોજનો

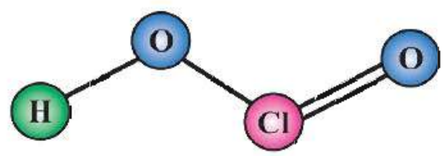
હેલિક (I) ઍસિડ (હાયપોહેલસ ઍસિડ)	HOF (હાયપોફ્લોરસ ઍસિડ)	HOCl (હાયપોક્લોરસ ઍસિડ)	HOBr (હાયપોબ્રોમસ ઍસિડ)	HOI (હાયપોઆયોડસ ઍસિડ)
હેલિક (III) ઍસિડ (હેલસ ઍસિડ)	–	HOClO (ક્લોરસ ઍસિડ)	–	–
હેલિક (V) ઍસિડ (હેલિક ઍસિડ)	–	$HOClO_2$ (ક્લોરિક ઍસિડ)	$HOBrO_2$ (બ્રોમિક ઍસિડ)	$HOIO_2$ (આયોડિક ઍસિડ)
હેલિક (VII) ઍસિડ (પરહેલિક ઍસિડ)	–	$HOClO_3$ (પરક્લોરિક ઍસિડ)	$HOBrO_3$ (પરબ્રોમિક ઍસિડ)	$HOIO_3$ (પરઆયોડિક ઍસિડ)

હેલોજનનાં ઑક્સોઍસિડ સંયોજનોની પ્રબળતા, હેલોજનની ઑક્સિડેશન અવસ્થા વધવા સાથે વધે છે. દા.ત., HClO અતિ નિર્બળ ઍસિડ છે. જેમાં Cl તત્ત્વની ઑક્સિડેશન અવસ્થા (+1) છે. $HClO_4$ ખૂબ જ પ્રબળ ઍસિડ છે, જેમાં Cl તત્ત્વની ઑક્સિડેશન અવસ્થા (+7) છે.

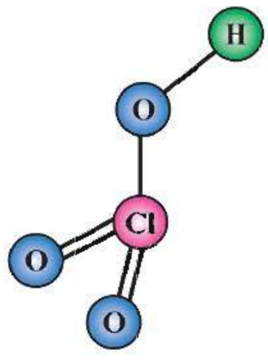
અહીં આપણે આ પૈકીના કેટલાક ઑક્સોઍસિડના માત્ર બંધારણ જ જોઈશું, જે નીચે દર્શાવેલ છે :



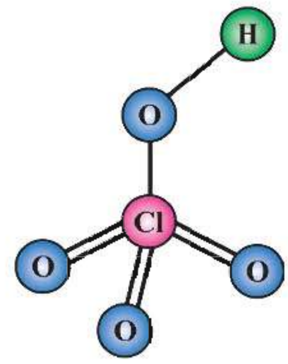
હાયપોક્લોરસ ઍસિડ



ક્લોરસ ઍસિડ



ક્લોરિક ઍસિડ



પરક્લોરિક ઍસિડ

5.12 સમૂહ-18નાં તત્ત્વો (Elements of Group-18)

સમૂહ-18માં છ તત્ત્વો હિલિયમ, નિયૉન, આર્ગૉન, ક્રિપ્ટૉન, ઝેનૉન અને રેડૉન આવેલાં છે. આ તત્ત્વોને **નિષ્ક્રિય વાયુઓ** અથવા **ઉમદા વાયુઓ** તરીકે પણ ઓળખવામાં આવે છે. આ તત્ત્વોને ધાતુઓ કે અધાતુઓ તરીકે ગણવામાં આવતાં નથી. આ બધાં તત્ત્વો ઓરડાના તાપમાને વાયુ સ્વરૂપે અને રાસાયણિક રીતે નિષ્ક્રિય છે. તેથી તેઓ બહુ જ ઓછાં સંયોજનો બનાવે છે. આ સમૂહનાં તત્ત્વોનાં અગત્યના પરમાણ્વિય અને ભૌતિક ગુણધર્મો કોષ્ટક 5.12માં દર્શાવેલ છે.

કોષ્ટક 5.12 સમૂહ 18નાં તત્ત્વોના પરમાણ્વિય અને ભૌતિક ગુણધર્મો

ગુણધર્મો	He	Ne	Ar	Kr	Xe	Rn
પરમાણ્વિય-ક્રમાંક	2	10	18	36	54	86
પરમાણ્વિય દળ (ગ્રામ મોલ$^{-1}$)	4.00	20.18	39.95	83.80	131.30	222.00
ઇલેક્ટ્રોનીય રચના	$1s^2$	$[He]2s^22p^6$	$[Ne]3s^23p^6$	$[Ar]3d^{10}4s^24p^6$	$[Kr]4d^{10}5s^25p^6$	$[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^26p^6$
આયનીકરણ એન્થાલ્પી (Δ_iH) (કિલો જૂલ મોલ$^{-1}$)	2372	2080	1520	1351	1170	1037
ઇલેક્ટ્રોન-પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી (કિલો જૂલ મોલ$^{-1}$)	48	116	96	96	77	68
પરમાણ્વિય ત્રિજ્યા (pm)	120	160	190	200	220	–
ગલનબિંદુ (K)	–	24.6	83.8	115.9	161.3	202
ઉત્કલનબિંદુ (K)	4.2	27.1	87.2	119.7	165.0	211
ઘનતા (ગ્રામ સેમી$^{-3}$) (298 K)	1.8×10^{-4}	9.0×10^{-4}	1.8×10^{-3}	3.7×10^{-3}	5.9×10^{-3}	9.7×10^{-3}

5.12.1 ઇલેક્ટ્રોનીય રચના, પ્રાપ્તિસ્થાન, ઑક્સિડેશન અવસ્થા (Electronic Configuration, Occurrence Oxidation State) :

ઇલેક્ટ્રોનીય રચના : હિલિયમ ($1s^2$) સિવાયના સમૂહ-18નાં તત્ત્વોની સંયોજકતા કક્ષાની સામાન્ય ઇલેક્ટ્રોનીય રચના ns^2np^6 છે. હિલિયમ સિવાયના આ સમૂહનાં બધાં તત્ત્વોની બાહ્યતમ કક્ષા ઇલેક્ટ્રોનથી પૂર્ણ ભરાયેલી હોય છે. તેથી આ તત્ત્વો રાસાયણિક રીતે નિષ્ક્રિય હોય છે.

પ્રાપ્તિસ્થાન : રેડોન સિવાયના બધા ઉમદા વાયુઓ વાતાવરણમાંથી મળી આવે છે. સૌથી વધુ હિલિયમ કુદરત અને કુદરતી વાયુમાંથી મળી આવે છે. આર્ગોન સૂકી હવામાં (dry air) કદથી 1 % જેટલું પ્રમાણ ધરાવે છે.

ઑક્સિડેશન અવસ્થા : Xe તેનાં સંયોજનોમાં +2, +4, +6 કે +8 ઑક્સિડેશન અવસ્થા ધરાવે છે.

5.12.2 ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા (Periodicity in Physical and Chemical Properties) :

(1) ભૌતિક ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા : કોષ્ટક 5.12ના આધારે કહી શકાય કે, સમૂહ-18નાં તત્ત્વોમાં પરમાણ્વિય-ક્રમાંકના વધારા સાથે પરમાણ્વિય કદ વધવાનું અને આયનીકરણ એન્થાલ્પી ઘટવાનું સામાન્ય વલણ જોવા મળે છે.

(i) પરમાણ્વિય ત્રિજ્યા : સમૂહમાં નીચે તરફ જતા પરમાણ્વિય-ક્રમાંક વધવાની સાથે પરમાણ્વિય ત્રિજ્યા પણ વધે છે.

(ii) આયનીકરણ એન્થાલ્પી : સમૂહ-18નાં તત્ત્વોની સ્થાયી ઇલેક્ટ્રોન રચનાને કારણે તેમની આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય ઘણું ઊંચું જોવા મળે છે. સમૂહમાં નીચે તરફ જતા પરમાણ્વિય કદ વધવાની સાથે આયનીકરણ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય ઘટે છે.

(iii) ઇલેક્ટ્રોન-પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પી : આ સમૂહનાં તત્ત્વોની સ્થાયી ઇલેક્ટ્રોનરચનાને કારણે તેઓની ઇલેક્ટ્રોન સ્વીકારવાની વૃત્તિ નથી. તેથી આ તત્ત્વોની ઇલેક્ટ્રોન-પ્રાપ્તિ એન્થાલ્પીનું મૂલ્ય વધુ ધન જોવા મળે છે.

5.13 ઝેનોન-ફ્લોરિન સંયોજનો (Xenon-Fluorine Compounds)

ઝેનોન તત્ત્વ, ફ્લોરિન સાથે ત્રણ સંયોજનો બનાવે છે : XeF_2, XeF_4 અને XeF_6. આ સંયોજનો મેળવવા માટે ઝેનોનની ફ્લોરિન સાથેની પ્રક્રિયા ચોક્કસ પરિસ્થિતિ રાખી કરવામાં આવે છે.

$$Xe(g) + F_2(g) \xrightarrow{673\ K,\ 1\ \text{બાર}} XeF_2(s)$$

(વધુ પ્રમાણમાં)

$$Xe(g) + 2F_2(g) \xrightarrow{873\ K,\ 7\ \text{બાર}} XeF_4(s)$$

(1:5 પ્રમાણ)

$$Xe(g) + 3F_2(g) \xrightarrow{573\ K,\ 60\text{-}70\ \text{બાર}} XeF_6(s)$$

(1:20 પ્રમાણ)

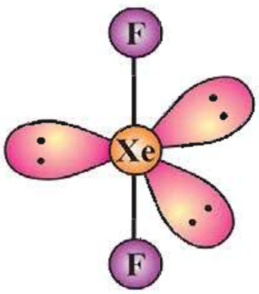
XeF_4 અને O_2F_2ની 143 K તાપમાને રાસાયણિક પ્રક્રિયાથી XeF_6 મેળવાય છે.

$$XeF_4(s) + O_2F_2(g) \rightarrow XeF_6(s) + O_2(g)$$

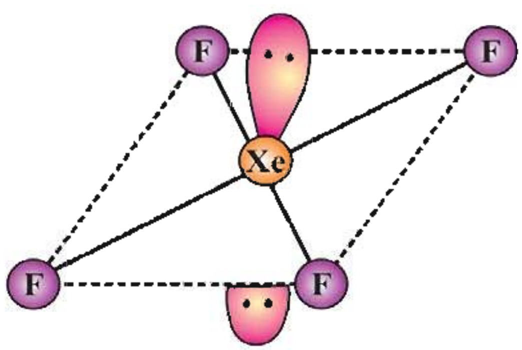
XeF_2, XeF_4 અને XeF_6 રંગવિહીન સ્ફટિકમય ઘન પદાર્થો છે. તેઓ 298 K તાપમાને સરળતાથી ઊર્ધ્વપાતન પામે છે. તેઓ પ્રબળ ફ્લોરિનેટિંગ એજન્ટ છે. પાણીના અલ્પ જથ્થામાં પણ તેમનું જળવિભાજન થાય છે. દા.ત.,

$$2XeF_2(s) + 2H_2O(l) \rightarrow 2Xe(g) + 4HF(aq) + O_2(g)$$

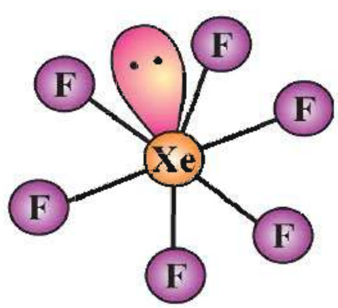
કેટલાંક અગત્યનાં ઝેનોન-ફ્લોરિન સંયોજનોના બંધારણ નીચે દર્શાવ્યા છે :



XeF_2
(રેખીય)



XeF_4
(સમતલીય સમચોરસ)



XeF_6
(વિકૃત અષ્ટફલકીય)

5.14 ઝેનોન-ઑક્સિજન સંયોજનો (Xenon-Oxygen Compounds)

XeF_4 અને XeF_6નું પાણી વડે જળવિભાજન થવાથી ઝેનોન ટ્રાયૉક્સાઇડ–XeO_3 બને છે.

$$6XeF_4(s) + 12H_2O(l) \rightarrow 4Xe(g) + 2XeO_3(s) + 24HF(aq) + 3O_2(g)$$

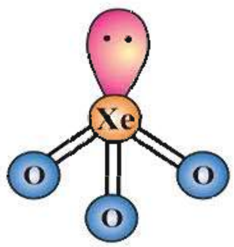
$$XeF_6(s) + 3H_2O(l) \rightarrow XeO_3(s) + 6HF(aq)$$

XeF_6નું આંશિક જળવિભાજન થવાથી ઝેનોનના ઑક્સિફ્લોરાઇડ સંયોજનો–$XeOF_4$ અને XeO_2F_2 બને છે.

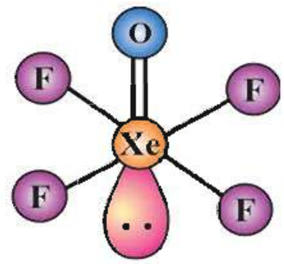
$$XeF_6(s) + H_2O(l) \rightarrow XeOF_4(l) + 2HF(aq)$$

$$XeF_6(s) + 2H_2O(l) \rightarrow XeO_2F_2(l) + 4HF(aq)$$

XeO_3 રંગવિહીન સ્ફોટક ઘન પદાર્થ છે. તે ત્રિકોણીય પિરામિડલ બંધારણ ધરાવે છે. $XeOF_4$ રંગવિહીન બાષ્પશીલ પ્રવાહી છે. તે સમચોરસ પિરામિડલ બંધારણ ધરાવે છે. XeO_3 અને $XeOF_4$ના બંધારણ નીચે દર્શાવ્યા છે :



XeO_3 ત્રિકોણીય પિરામિડલ



$XeOF_4$ સમચોરસ

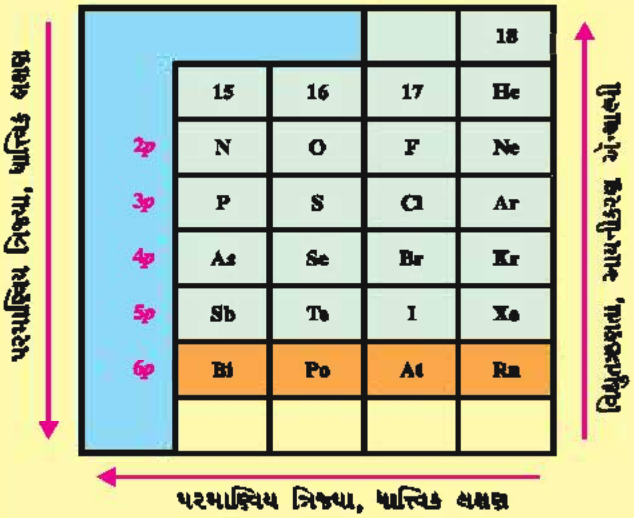
સારાંશ

આવર્ત કોષ્ટકમાં સમૂહ-13થી 18 સુધીનાં તત્ત્વોને p-વિભાગનાં તત્ત્વો તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. આ તત્ત્વોનું સામાન્ય ઇલેક્ટ્રોનીય બંધારણ ns^2np^{1-6} છે. આ એકમમાં આપણે સમૂહ-15, 16, 17 અને 18નાં તત્ત્વોનો અભ્યાસ કર્યો છે.

સમૂહ-15, 16, 17, 18નાં તત્ત્વોનો સામાન્ય પરિચય

	સમૂહ-15	સમૂહ-16	સમૂહ-17	સમૂહ-18
સામાન્ય નામ/ઓળખ	નાઇટ્રોજન સમૂહ	ચાલ્કોજન અથવા ઑક્સિજન સમૂહ	હેલોજન સમૂહ	ઉમદા વાયુસમૂહ
સંયોજકતા કક્ષાની ઇલેક્ટ્રોનીય રચના	ns^2np^3	ns^2np^4	ns^2np^5	ns^2np^6
ઑક્સિડેશન અવસ્થા	N –3થી +5	O –2, –1, +1, +2	F –1	Ne –
	P, As –3, +3, +5	S, Se, Te –2, +2, +4, +6	Cl, Br, I –1, +1, +3, +5, +7	Xe +2, +4, +6, +8
	Sb, Bi +3, +5	Po +2, +4	– –	– –

સમૂહ 15, 16, 17, 18નાં તત્ત્વોની ગુણધર્મોમાં આવર્તિતા



સમૂહ-15નું પ્રથમ તત્ત્વ નાઇટ્રોજન, સમૂહનાં અન્ય તત્ત્વોથી ઘણી બધી રીતે અલગ પડે છે, જેનું કારણ તેનું નાનું કદ; નાઇટ્રોજન પરમાણુઓ વચ્ચે pπ–pπ ત્રિબંધ રચવાની ક્ષમતા તથા d-કક્ષકોની અપ્રાપ્તિ છે. આ સમૂહનાં તત્ત્વોમાં ઉપરથી નીચે તરફ જતા ગુણધર્મોમાં ફેરફાર જોવા મળે છે. ડાયનાઇટ્રોજન (N_2) વાયુ પ્રયોગશાળામાં તેમજ ઔદ્યોગિક ધોરણે બનાવી શકાય છે. નાઇટ્રોજન તત્ત્વના ઑક્સાઇડ N_2O, NO, N_2O_3, N_2O_4 અને N_2O_5 છે, જે સસ્પંદન સૂત્રો ધરાવે છે. એમોનિયા અને નાઇટ્રિક ઍસિડ, નાઇટ્રોજનનાં સંયોજનો છે. ફૉસ્ફરસ તત્ત્વ P_4 તરીકે અસ્તિત્વ ધરાવે છે. તે ઘણાં અપરરૂપો ધરાવે છે. તે હાઇડ્રાઇડ, હેલાઇડ અને ઑક્સોઍસિડ સંયોજનો બનાવે છે.

સમૂહ-16નું પોલોનિયમ તત્ત્વ રેડિયોસક્રિય છે. ઑક્સિજન તત્ત્વ ધાતુઓ સાથે ધાતુ ઑક્સાઇડ બનાવે છે. ઑક્સિજન તત્ત્વનું અપરરૂપ ઓઝોન પ્રબળ ઑક્સિડેશનકર્તા છે. સલ્ફર તત્ત્વ વિવિધ અપરરૂપો ધરાવે છે, જે પૈકી α અને β અપરરૂપો વધુ અગત્યના છે. સલ્ફર તત્ત્વ ઑક્સિજન સાથે સંયોજાઈ SO_2 અને SO_3 જેવા ઑક્સાઇડ સંયોજનો બનાવે છે. સલ્ફરના વિવિધ ઑક્સોઍસિડ પૈકી સલ્ફ્યુરિક ઍસિડ સૌથી અગત્યનો છે. તેને 'રસાયણોનો રાજા' કહે છે.

એસ્ટેટીન તત્ત્વ રેડિયોસક્રિય છે. આ તત્ત્વોને સ્થાયી ઇલેક્ટ્રૉનીયરચના પ્રાપ્ત કરવા એક ઇલેક્ટ્રૉનની જરૂર હોઈ તેઓ ખૂબ જ સક્રિય છે. પરિણામે આ સમૂહનાં તત્ત્વો મુક્તાવસ્થામાં મળી આવતા નથી પરંતુ સંયોજિત અવસ્થામાં ઋણઆયન તરીકે મળી આવે છે. આ સમૂહનાં તત્ત્વો ઑક્સાઇડ, હાઇડ્રોજન હેલાઇડ, આંતરહેલોજન સંયોજનો અને ઑક્સોઍસિડ સંયોજનો બનાવે છે.

સમૂહ-18નું રેડૉન તત્ત્વ રેડિયોસક્રિય છે. આ સમૂહનાં બધાં જ તત્ત્વોમાં અષ્ટક રચના પૂર્ણ થયેલી હોવાથી તેઓ રાસાયણિક રીતે નિષ્ક્રિય છે. આ સમૂહનું ઝેનોન તત્ત્વ વિશિષ્ટ પ્રક્રિયા પરિસ્થિતિ હેઠળ ફ્લોરિન અને ઑક્સિજન તત્ત્વ સાથે સંયોજાઈ ફ્લોરાઇડ અને ઑક્સાઇડ સંયોજનો બનાવે છે.

સ્વાધ્યાય

1. આપેલા વિકલ્પોમાંથી યોગ્ય વિકલ્પ પસંદ કરો :

(1) p-વિભાગનાં તત્ત્વોમાં કુલ કેટલા સમૂહ આવેલા છે ?

(A) 3 (B) 4 (C) 5 (D) 6

(2) ચિલી સૉલ્ટપીટરનું આણ્વિય સૂત્ર કયું છે ?

(A) KNO_3 (B) $NaNO_3$ (C) $Ca(NO_3)_2$ (D) $Ba(NO_3)_2$

(3) નીચેના પૈકી કયા આયનની હાજરી જાણવા માટે વીંટી કસોટી ઉપયોગી છે ?

(A) NO^- (B) NO_3^- (C) NO_2 (D) N_2O

(4) નીચેના પૈકી કયાં ચાર તત્ત્વોના સમૂહને ચાલ્કોજન કહે છે ?

(A) નાઇટ્રોજન, ફોસ્ફરસ, આર્સેનિક અને એન્ટિમની

(B) ઑક્સિજન, સલ્ફર, સેલેનિયમ અને ટેલુરિયમ

(C) ફ્લોરિન, ક્લોરિન, બ્રોમિન અને આયોડિન

(D) હિલિયમ, નિયોન, આર્ગોન અને ક્રિપ્ટોન

(5) નીચેના પૈકી કઈ ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના સમૂહ-16ના તત્ત્વોની સંયોજકતા કક્ષાની સામાન્ય ઇલેક્ટ્રૉનીય રચના છે ?

(A) ns^2np^3 (B) ns^2np^4 (C) ns^2np^6 (D) ns^2np^5

(6) નીચેના પૈકી ક્લોરિનનો કયો ઑક્સોઍસિડ સૌથી વધુ પ્રબળ છે ?

(A) $HClO_3$ (B) $HClO$ (C) $HClO_4$ (D) $HClO_2$

(7) નીચેના પૈકી સ્થાયીતાના સંદર્ભમાં કયો ક્રમ સાચો છે ?

(A) $HF > HBr > HCl > HI$ (B) $HI < HCl < HBr < HF$

(C) $HF > HCl > HBr > HI$ (D) $HF > HI > HCl > HBr$

(8) નીચેના પૈકી કયું સંયોજન આંતરહેલોજન સંયોજન છે ?

(A) XeF_4 (B) IF_7 (C) $NaCl$ (D) CaF_2

(9) ઓલિયમનું આણ્વિય સૂત્ર કયું છે ?

(A) H_2SO_3 (B) H_2SO_5 (C) $H_2S_2O_7$ (D) $H_2S_2O_8$

(10) નીચેનામાંથી કયા ઑક્સાઇડમાં નાઇટ્રોજન તત્ત્વની ઑક્સિડેશન અવસ્થા (+4) છે ?

(A) N_2O_3 (B) N_2O_4 (C) N_2O_5 (D) N_2O

2. નીચેના પ્રશ્નોના ટૂંકમાં ઉત્તર લખો :

(1) ફોસ્ફરસનાં અગત્યનાં ત્રણ અપરરૂપો જણાવો.

(2) નીચેનાં સંયોજનોમાં લીટી દોરેલાં તત્ત્વોની ઑક્સિડેશન અવસ્થા જણાવો :

(i) $\underline{Cl}_2O$ (ii) $\underline{Cl}O_2$ (iii) $K\underline{Br}O_3$ (iv) $Na\underline{Cl}O_4$

(3) NO_2નાં સંસ્પંદન સૂત્રો દોરો.

(4) સલ્ફર તત્ત્વના ચાર ઑક્સોઍસિડના આણ્વિય સૂત્ર લખો.

(5) ક્લોરિન તત્ત્વના એક ઑક્સોઍસિડનું નામ અને આણ્વિય સૂત્ર જણાવો.

(6) ફોસ્ફરસ ટ્રાયક્લોરાઇડની બનાવટ-પ્રક્રિયા લખો.

(7) સલ્ફર ડાયોક્સાઇડ વાયુના બે ઉપયોગો જણાવો.

(8) ફૉસ્ફરસના કયા અપરરૂપનો પાણીમાં સંગ્રહ કરવામાં આવે છે ?

(9) સલ્ફરના બે અપરરૂપો ર્‌હૉમ્બિક અને મૉનોક્લિનિક માટેનું સંક્રાંતિ તાપમાન જણાવો.

(10) પોલિમેટાફૉસ્ફોરિક ઍસિડનું આણ્વિય સૂત્ર લખો.

3. **નીચેના પ્રશ્નોના ઉત્તર લખો :**

(1) એક જ આવર્તમાં સમૂહ-15ના તત્ત્વની આયનીકરણ ઍન્થાલ્પીનું મૂલ્ય, સમૂહ-14ના તત્ત્વની આયનીકરણ ઍન્થાલ્પીના મૂલ્ય કરતા વધુ હોય છે. શા માટે ?

(2) એમોનિયા વાયુના બે રાસાયણિક ગુણધર્મો લખો.

(3) નાઇટ્રેટ આયનની પરખ માટેની વીંટી કસોટી લખો.

(4) સલ્ફરનાં અપરરૂપોનું આંતરપરિવર્તન સમજાવો.

(5) આંતરહેલોજન સંયોજનો એટલે શું ? તેના પ્રકાર જણાવી દરેકનું એક-એક ઉદાહરણ આપો.

(6) ક્લોરિન વાયુની એમોનિયા વાયુ સાથેની પ્રક્રિયા લખો.

(7) ફૉસ્ફરસનાં ઑક્સાઇડ સંયોજનોની પાણી સાથેની બે પ્રક્રિયાઓ લખો.

(8) ઝેનોન-ફ્લોરિન અને ઝેનોન-ઑક્સિજન સંયોજનોનાં બે-બે ઉદાહરણો લખો.

(9) સમૂહ-16નાં તત્ત્વોની ઑક્સિડેશન અવસ્થાઓ જણાવો.

(10) ડાયઑક્સિજન વાયુની બનાવટની બે પ્રક્રિયાઓ લખો.

4. **નીચેના પ્રશ્નોના વિગતવાર ઉત્તર લખો :**

(1) સમૂહ-15નાં તત્ત્વોની હાઇડ્રોજન તત્ત્વ, ઑક્સિજન તત્ત્વ, હેલોજન તત્ત્વો અને ધાતુ તત્ત્વો સાથેની પ્રક્રિયાઓની ચર્ચા કરો.

(2) નાઇટ્રોજન તત્ત્વની સમૂહ-15નાં અન્ય તત્ત્વોથી અનિયમિત વર્તણૂક સમજાવો.

(3) નાઇટ્રિક ઍસિડની બનાવટ, ગુણધર્મો અને ઉપયોગો ચર્ચો.

(4) 'નાઇટ્રોજનના ઑક્સાઇડ' વિશે ટૂંક નોંધ લખો.

(5) ડાયઑક્સિજન વાયુની બનાવટ, ગુણધર્મો અને ઉપયોગો ચર્ચો.

(6) સંપર્કવિધિ દ્વારા સલ્ફ્યુરિક ઍસિડનું ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન ચર્ચો.

(7) સલ્ફર તત્ત્વના ચાર ઑક્સોઍસિડનાં નામ, આણ્વિય સૂત્ર અને બંધારણીય સૂત્રો લખો.

(8) હાઇડ્રોજન ક્લોરાઇડ વાયુના રાસાયણિક ગુણધર્મો ચર્ચો.

(9) ફૉસ્ફરસ ટ્રાયક્લોરાઇડની બનાવટ અને ગુણધર્મો લખો.

(10) ઓઝોન વાયુની બનાવટ, ગુણધર્મો અને ઉપયોગ ચર્ચો.

•

એકમ

6

હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનો

6.1 પ્રસ્તાવના (Introduction)

આવર્તકોષ્ટકમાં આવેલાં તત્ત્વો પૈકી સૌથી વધુ સંયોજનો કાર્બન તત્ત્વના છે. કાર્બન તત્ત્વની ચતુઃસંયોજકતા હાઇડ્રોજનથી સંતોષાય તો બનતાં સંયોજનોને હાઇડ્રોકાર્બન કહે છે. હાઇડ્રોકાર્બન સંયોજનમાંના હાઇડ્રોજનનું વિસ્થાપન એક કે તેથી વધુ હેલોજન તત્ત્વો (X = F, Cl, Br, I) દ્વારા કરતાં મળતાં સંયોજનોને હેલોજનયુક્ત કાર્બનિક સંયોજનો કહે છે. આ સંયોજનોને કાર્બનિક હેલાઇડ પણ કહે છે.

આલ્કેન શ્રેણીના હાઇડ્રોકાર્બન (મિથેન, ઇથેન, પ્રોપેન) વગેરેમાંના હાઇડ્રોજન પરમાણુનું વિસ્થાપન હેલોજન પરમાણુ વડે કરતાં મળતાં સંયોજનોને હેલોઆલ્કેન (આલ્કાઇલ હેલાઇડ) કહે છે જ્યારે એરીન શ્રેણીના હાઇડ્રોકાર્બન (દા.ત., બેન્ઝિન)માંના હાઇડ્રોજન પરમાણુનું વિસ્થાપન હેલોજન પરમાણુ વડે કરતાં મળતાં સંયોજનોને હેલોએરીન (એરાઇલ હેલાઇડ) કહે છે. હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનોમાં કાર્બન અને હેલોજન વચ્ચે (C–X) સહસંયોજકબંધની રચના થાય છે. આ સંયોજનો કુદરતમાં મુક્ત સ્વરૂપે મળતા નથી. પરંતુ રાસાયણિક સંશ્લેષણથી મેળવી શકાય છે. બીજાં કાર્બનિક સંયોજનોમાં આલ્કાઇલ કે એરાઇલ સમૂહ દાખલ કરવા આ સંયોજનો ઉપયોગી બને છે. કાર્બનિક સંયોજનો નીપજ સ્વરૂપે મેળવવા પ્રારંભિક પ્રક્રિયક અથવા શરૂઆતના કાચા માલ તરીકે આ સંયોજનોનું આગવું મહત્ત્વ છે. આ ઉપરાંત, હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનો સારાં દ્રાવકો પણ છે. માનવશરીરમાં રોગપ્રતિકારક શક્તિ મેળવવા, શારીરિક વિકાસ અને જૈવરાસાયણિક પ્રક્રિયાઓમાં ઉત્સેચક તરીકે, અંતઃસ્રાવમાં (થાયરોક્સિનમાં આયોડિન), શરીરની શસ્ત્રક્રિયામાં નિશ્ચેતક તરીકે વપરાતા પદાર્થ (ક્લોરોફોર્મ), ટાઇફોઇડ, મલેરિયા જેવા રોગોના ઉપચાર માટેનાં ઔષધોમાં આ સંયોજનો ઉપયોગી છે. આમ, હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનો રોજિંદા જીવનમાં અને ઉદ્યોગોમાં ખૂબ જ મહત્ત્વના છે. આ એકમમાં આપણે હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનોના ભૌતિક અને રાસાયણિક ગુણધર્મો, બનાવટ અને ઉપયોગો વિશે અભ્યાસ કરીશું. આ ઉપરાંત, પોલિહેલોજન સંયોજનોની પર્યાવરણ પર થતી અસર વિશે પણ માહિતી મેળવીશું.

6.2 વર્ગીકરણ (Classification)

હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનોનું વર્ગીકરણ નીચે પ્રમાણે થાય છે :

(1) હેલોજન પરમાણુની સંખ્યાના આધારે વર્ગીકરણ : આલ્કાઇલ કે એરાઇલ સમૂહ સાથે જોડાયેલ સમાન હેલોજન તત્ત્વની સંખ્યા એક, બે, ત્રણ, ચાર કે તેથી વધુ હોય તે પ્રમાણે તેમને અનુક્રમે મોનો, ડાય, ટ્રાય, ટેટ્રા કે પોલિહેલોજન સ્વરૂપે વર્ગીકૃત કરવામાં આવે છે. દા.ત., હેલોઆલ્કેન માટે

(i) R–X મોનો હેલોઆલ્કેન → એક જ હેલોજન પરમાણુ હોવાથી

દા.ત., CH_3CH_2Cl મોનોક્લોરોઇથેન → એક જ ક્લોરિન પરમાણુ હોવાથી

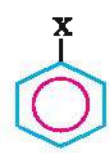
(ii) $R–X_2$ ડાયહેલોઆલ્કેન → બે હેલોજન પરમાણુ હોવાથી

દા.ત., $CH_2(Br)—CH_2(Br)$ 1, 2-ડાયબ્રોમોઇથેન → બે બ્રોમિન પરમાણુ હોવાથી

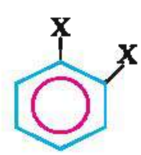
(iii) $R–X_3$ ટ્રાયહેલોઆલ્કેન → ત્રણ હેલોજન પરમાણુ હોવાથી

દા.ત., $CH_2(Cl)—CH(Cl)—CH_2(Cl)$ 1, 2, 3-ટ્રાયક્લોરોપ્રોપેન → ત્રણ ક્લોરિન પરમાણુ હોવાથી એરોમેટિક સંયોજનોમાં હેલોજન પરમાણુની સંખ્યાને આધારે નીચે પ્રમાણે વર્ગીકરણ કરી શકાય છે :

હેલોએરીન માટે,

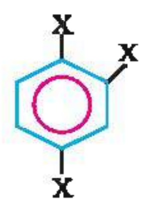


મોનોહેલોબેન્ઝિન



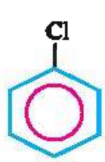
or

ડાયહેલોબેન્ઝિન

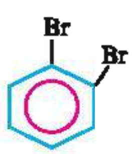


ટ્રાયહેલોબેન્ઝિન

ઉદાહરણ :



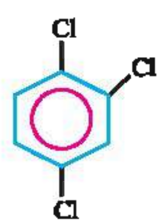
ક્લોરોબેન્ઝિન



1, 2-ડાયબ્રોમોબેન્ઝિન (o-ડાયબ્રોમોબેન્ઝિન)

or

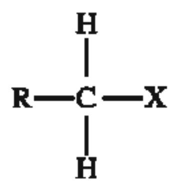
1, 4-ડાયબ્રોમોબેન્ઝિન (p-ડાયબ્રોમોબેન્ઝિન)



1, 2, 4-ટ્રાયક્લોરોબેન્ઝિન

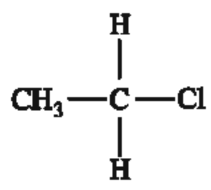
(2) હેલોજનયુક્ત કાર્બનિક સંયોજનોમાં હેલોજન ધરાવતો કાર્બન પરમાણુ sp^3 સંકરણ ધરાવતો હોય ત્યારે : હેલોજનયુક્ત કાર્બનિક સંયોજનોમાં હેલોજન (X = F, Cl, Br, I) ધરાવતો કાર્બન sp^3 સંકરણ ધરાવતો હોય ત્યારે તેવાં સંયોજનોને નીચે પ્રમાણે ત્રણ પ્રકારે વર્ગીકૃત કરી શકાય :

(a) હેલોઆલ્કેન અથવા આલ્કાઇલ હેલાઇડ : હેલોજન ધરાવતો કાર્બન કે જે sp^3 સંકરણ ધરાવે છે તે બીજા એક જ કાર્બન પરમાણુ સાથે જોડાયેલા હોય, તો તેને **પ્રાથમિક (1^0) આલ્કાઇલ હેલાઇડ** કહે છે.



પ્રાથમિક (1^0) હેલોઆલ્કેન

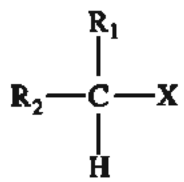
(પ્રાથમિક આલ્કાઇલ હેલાઇડ)



પ્રાથમિક (1^0)

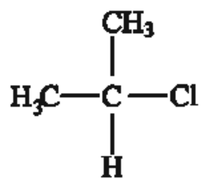
ક્લોરોઇથેન

હેલોજન પરમાણુ ધરાવતો કાર્બન પરમાણુ કે જે sp^3 સંકરણ ધરાવે છે, તે બીજા બે કાર્બન પરમાણુઓ સાથે જોડાયેલ હોય, તો તેને **દ્વિતીયક (2^0) આલ્કાઇલ હેલાઇડ** કહે છે.



દ્વિતીયક (2^0) હેલોઆલ્કેન

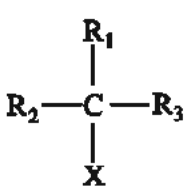
(દ્વિતીયક આલ્કાઇલ હેલાઇડ)



દ્વિતીયક (2^0)

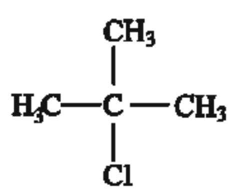
2-ક્લોરોપ્રોપેન

હેલોજન પરમાણુ ધરાવતો કાર્બન પરમાણુ કે જે sp^3 સંકરણ ધરાવે છે તે બીજા ત્રણ કાર્બન પરમાણુઓ સાથે જોડાયેલ હોય, તો તેને **તૃતીયક (3^0) આલ્કાઇલ હેલાઇડ** કહે છે.



તૃતીયક (3^0) હેલોઆલ્કેન

(તૃતીયક આલ્કાઇલ હેલાઇડ)



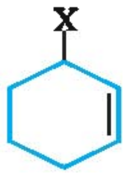
2-ક્લોરો-2-મિથાઇલ પ્રોપેન

(તૃતીયક બ્યુટાઇલ ક્લોરાઇડ)

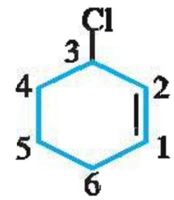
(b) એલાઇલિક હેલાઇડ : હેલોજન ધરાવતો કાર્બન પરમાણુ કે જે sp^3 સંકરણ ધરાવે છે તે દ્વિબંધ ધરાવતા બીજા કાર્બન (–C=C–) સાથે જોડાયેલો હોય, તો તે સંયોજનોને એલાઇલિક હેલાઇડ કહે છે.

દા.ત., (1) $CH_2=CH-CH_2-X$ એલાઇલિક હેલાઇડ (3-હેલોપ્રોપ્-1-ઇન)

(2) $CH_3-HC=CH-CH_2-Cl$ 1-ક્લોરોબ્યુટ્-2-ઇન

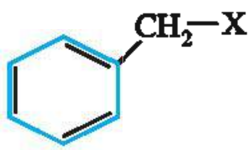


3-હેલોસાયક્લોહેક્ઝ્-1-ઈન

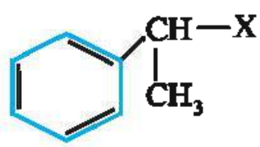


3-ક્લોરોસાયક્લોહેક્ઝ્-1-ઈન

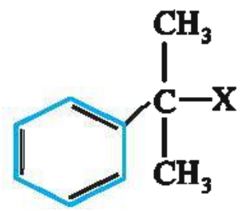
(c) બેન્ઝાઈલિક હેલાઈડ : હેલોજન ધરાવતો કાર્બન કે જે sp^3 સંકરણ ધરાવે છે તે બેન્ઝિન ચક્રના કાર્બન સાથે જોડાયેલ હોય, તો તે સંયોજનોને બેન્ઝાઈલિક હેલાઈડ કહે છે.



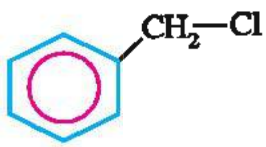
(1^0)



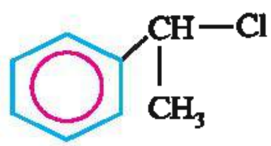
(2^0)



(3^0)



બેન્ઝાઈલ ક્લોરાઈડ

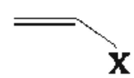


(1-ક્લોરોઈથાઈલ) બેન્ઝિન

(1-ક્લોરો-1-મિથાઈલઈથાઈલ) બેન્ઝિન

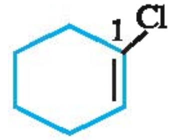
(3) હેલાઈડ સંયોજનોમાં હેલોજન ધરાવતો કાર્બન sp^2 સંકરણ ધરાવતો હોય ત્યારે : હેલાઈડ સંયોજનોમાં હેલોજન (X = F, Cl, Br, I) ધરાવતો કાર્બન પરમાણુ sp^2 સંકરણ ધરાવતો હોય, ત્યારે તેવાં સંયોજનોને નીચે પ્રમાણે બે પ્રકારે વર્ગીકૃત કરી શકાય છે :

(a) વિનાઈલ હેલાઈડ : આ પ્રકારનાં હેલાઈડ સંયોજનોમાં હેલોજન પરમાણુ કાર્બન-કાર્બન (–C=C–) દ્વિબંધ ધરાવતા sp^2 સંકરણ ધરાવતા કાર્બન સાથે જોડાયેલ હોય છે.

(1) $CH_2{=}CH{-}X$ અથવા 

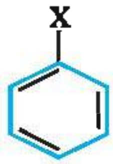
દા.ત., $CH_2{=}CH{-}Cl$

1-ક્લોરોઈથિન
(વિનાઈલ ક્લોરાઈડ)

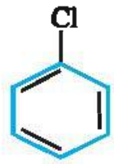
(2) દા.ત., 

1-ક્લોરોસાયક્લોહેક્ઝ્-1-ઈન

(b) એરાઈલ હેલાઈડ : આ પ્રકારનાં હેલાઈડ સંયોજનોમાં sp^2 સંકરણ ધરાવતા ઍરોમેટિક વલયના કાર્બન પરમાણુ સાથે હેલોજન પરમાણુ જોડાયેલા હોય છે.



હેલોબેન્ઝિન



ક્લોરોબેન્ઝિન

6.3 હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનોના સામાન્ય તથા IUPAC નામકરણ (Common and IUPAC Nomenclature of Haloalkane and Haloarene Compounds)

હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનોના IUPAC નામકરણ માટે હેલોજન પરમાણુ જોડાયેલ હોય તેવા હાઈડ્રોકાર્બનની લાંબામાં લાંબી કાર્બનશૃંખલા નક્કી કરી તેના હાઈડ્રોકાર્બન નામની આગળ હેલો પૂર્વગ જોડવામાં આવે છે. જેમ કે, ફ્લોરિન, ક્લોરિન, બ્રોમિન, આયોડિન માટે અનુક્રમે ફ્લોરો, ક્લોરો, બ્રોમો, આયોડો પૂર્વગ વપરાય છે. ત્રણ કે તેથી વધુ કાર્બન પરમાણુ ધરાવતા હેલોઆલ્કેન માટે હેલોજનનું સ્થાન દર્શાવતો લઘુતમ-ક્રમાંક નામની પૂર્વે દર્શાવવામાં આવે છે. જેમ કે, 1-ક્લોરોપ્રોપેન (CH_3–CH_2–CH_2–Cl), 2-ક્લોરોપ્રોપેન (CH_3–CHCl–CH_3) વગેરે.

હેલોઆલ્કેન કે હેલોએરીન સંયોજનોમાં જો સમાન હેલોજન બે, ત્રણ, ચાર કે તેથી વધુ સંખ્યામાં હોય, તો તેમની સંખ્યા દર્શાવતો પૂર્વગ અનુક્રમે ડાય, ટ્રાય, ટ્રેટા વગેરે વપરાય છે. જેમ કે 1, 2-ડાયક્લોરોઈથેન CH_2— CH_2.

Cl	Cl

હેલોએરીનનું સામાન્ય નામ એરાઈલ હેલાઈડ છે. હેલોએરીનના IUPAC નામકરણ માટે હેલોજન તત્ત્વના અનુવર્તી પૂર્વગના નામ પછી ઍરોમેટિક કેન્દ્રનું નામ જોડવામાં આવે છે. દા.ત., ક્લોરોબેન્ઝિન

ડાયહેલોજન વ્યુત્પન્ન માટે o, m અને p પૂર્વગનો ઉપયોગ સામાન્ય નામકરણમાં થાય છે, પણ IUPAC નામકરણમાં 1, 2; 1, 3 અને 1, 4નો ઉપયોગ થાય છે. એક જ પ્રકારના હેલોજન પરમાણુ ધરાવતાં ડાયહેલો સંયોજનોનું વર્ગીકરણ જેમીનલ હેલાઈડ અને વિસીનલ હેલાઈડમાં થાય છે. જેમીનલ હેલાઈડ એટલે બંને હેલોજન પરમાણુ એક જ કાર્બન પરમાણુ પર હાજર હોય છે અને વિસીનલ હેલાઈડમાં બંને હેલોજન પરમાણુ પાસપાસેના કાર્બન પરમાણુ સાથે જોડાયેલા હોય છે. સામાન્ય નામકરણ પદ્ધતિમાં જેમીનલ ડાયહેલાઈડને આલ્કીલીડીન હેલાઈડ અને વિસીનલ ડાયહેલાઈડને આલ્કીલીન ડાયહેલાઈડ કહેવાય છે, જ્યારે IUPAC નામકરણ પદ્ધતિમાં તેમને ડાયહેલોઆલ્કેન કહે છે.

દા.ત., (1) H_3C–$CHCl_2$નું સામાન્ય નામ ઇથીલીડીન ક્લોરાઈડ જ્યારે IUPAC નામ 1,1-ડાયક્લોરોઈથેન છે.

(2) CH_2— CH_2નું સામાન્ય નામ ઇથીલીન ડાયક્લોરાઈડ અને IUPAC નામ 1,2-ડાયક્લોરોઈથેન છે.

Cl	Cl

કોષ્ટક 6.1 હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનોનાં સામાન્ય નામ તથા IUPAC નામ

બંધારણીય સૂત્ર	IUPAC નામ	સામાન્ય નામ
CH_3Cl	ક્લોરોમિથેન	મિથાઇલ ક્લોરાઇડ
CH_3CH_2Cl	ક્લોરોઇથેન	ઇથાઇલ ક્લોરાઇડ
$CH_3CH_2CH_2Cl$	1-ક્લોરોપ્રોપેન	n-પ્રોપાઇલ ક્લોરાઇડ
$CH_3-CH-CH_3$ $\vert$ Cl	2-ક્લોરોપ્રોપેન	આઇસો પ્રોપાઇલ ક્લોરાઇડ અથવા દ્વિતીયક (2^0) પ્રોપાઇલ ક્લોરાઇડ
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-Br$	1-બ્રોમોબ્યુટેન	n-બ્યુટાઇલ બ્રોમાઇડ
$CH_3-CH-CH_2-Br$ $\vert$ CH_3	1-બ્રોમો 2-મિથાઇલપ્રોપેન	આઇસો બ્યુટાઇલ બ્રોમાઇડ
$CH_3-CH-CH_2-CH_3$ $\vert$ Br	2-બ્રોમોબ્યુટેન	દ્વિતીયક (2^0) બ્યુટાઇલ બ્રોમાઇડ
CH_3 $\vert$ CH_3-C-Br $\vert$ CH_3	2-બ્રોમો-2-મિથાઇલપ્રોપેન	તૃતીયક (3^0) બ્યુટાઇલ બ્રોમાઇડ
CH_3 $\vert$ $H_3C-C-CH_2-Br$ $\vert$ CH_3	1-બ્રોમો-2, 2-ડાયમિથાઇલપ્રોપેન	નિયો પેન્ટાઇલ બ્રોમાઇડ
$H_2C=CH-Cl$	ક્લોરોઇથિન	વિનાઇલ ક્લોરાઇડ
$H_3C-CH=CH-CH-CH_3$ $\vert$ Br	4-બ્રોમોપેન્ટ્-2-ઇન	–
$H_2C=CH-CH_2-Br$	3-બ્રોમોપ્રોપીન	એલાઇલ બ્રોમાઇડ

	ક્લોરોબેન્ઝિન	ફિનાઇલ ક્લોરાઇડ
	(ક્લોરોમિથાઇલ)બેન્ઝિન	બેન્ઝાઇલ ક્લોરાઇડ

6.4 C–X બંધનો સ્વભાવ (Nature of C–X Bond)

હેલોજન પરમાણુની વિદ્યુતઋણતા કાર્બન પરમાણુની વિદ્યુતઋણતા કરતાં વધુ હોવાથી હેલોઆલ્કેનમાં કાર્બનહેલોજન વચ્ચેનો બંધ (C–X) ધ્રુવીય બને છે. $-\overset{|}{\underset{|}{C}}^{\delta+}-X^{\delta-}$ વધુ વિદ્યુતઋણતા ધરાવતા હેલોજન સમૂહ તરફ સહસંયોજકબંધના ઇલેક્ટ્રોનયુગ્મ વધુ આકર્ષાતા હોવાથી હેલોજન પરમાણુ પર અંશતઃ ઋણવીજભાર (δ –) અને કાર્બન પરમાણુ પર અંશતઃ ધનવીજભાર (δ +) ઉત્પન્ન થાય છે.

હેલોઆલ્કેનમાં રહેલા હેલોજન F, Cl, Br અને Iના પરમાણ્વિય કદ ક્રમશઃ વધે છે, તેથી C–Xની બંધલંબાઈમાં ક્રમશઃ વધારો થાય છે અને બંધએન્થાલ્પી ક્રમશઃ ઘટે છે.

CH_3–F > CH_3–Cl > CH_3–Br > CH_3–I

C–Fથી C–I તરફ જતાં બંધલંબાઈ, બંધએન્થાલ્પી અને બંધની ધ્રુવીયતાનાં મૂલ્યોમાં થતા ફેરફાર નીચેના કોષ્ટક 6.2માં દર્શાવ્યા છે :

કોષ્ટક 6.2 કેટલાંક આલ્કાઇલ હેલાઇડ સંયોજનોની બંધલંબાઈ, બંધએન્થાલ્પી અને બંધધ્રુવીયતાના મૂલ્ય

બંધ	બંધલંબાઈ (pm)	બંધએન્થાલ્પી (કિલો જૂલ મોલ$^{-1}$)	બંધધ્રુવીયતા (ડીબાય)
CH_3–F	139	452	1.847
CH_3–Cl	178	351	1.860
CH_3–Br	193	293	1.830
CH_3–I	214	234	1.636

6.5 હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનોની બનાવટ (Preparation of Haloalkane and Haloarene Compounds)

(1) આલ્કોહોલમાંથી : આલ્કોહોલમાંથી હેલોઆલ્કેન બનાવવાની પ્રક્રિયા સરળ છે. આલ્કોહોલમાંના હાઇડ્રોક્સિલ સમૂહ –OHનું વિસ્થાપન હેલોજન વડે કરતાં હેલોઆલ્કેન મળે છે. આલ્કોહોલમાંથી હેલોઆલ્કેનની બનાવટની કેટલીક પ્રક્રિયાઓ નીચે પ્રમાણે છે :

(a) નિર્જળ ઝિંક ક્લોરાઇડની હાજરીમાં આલ્કોહોલમાંથી શુષ્ક હાઇડ્રોજનહેલાઇડ વાયુ પસાર કરતાં અથવા આલ્કોહોલ અને સાંદ્ર હાઇડ્રોજન હેલાઇડને ઊંચા તાપમાને ગરમ કરતાં હેલોઆલ્કેન મળે છે.

$$R-OH + H-X \xrightarrow[\Delta]{\text{નિર્જળ } ZnCl_2} R-X + H_2O$$

આલ્કોહોલ　હાઇડ્રોજન હેલાઇડ　　હેલોઆલ્કેન

દા.ત., $$CH_3-CH_2-OH + HCl \xrightarrow[\Delta]{\text{નિર્જળ } ZnCl_2} CH_3-CH_2-Cl + H_2O$$

ઇથેનોલ　હાઇડ્રોક્લોરિક ઍસિડ　　1 - ક્લોરોઇથેન

ઇથેનોલની હાઇડ્રોક્લોરિક ઍસિડ સાથે નિર્જળ ઝિંક ક્લોરાઇડની હાજરીમાં ઊંચા તાપમાને પ્રક્રિયા કરતાં પાણીનો અણુ મુક્ત થઈ ક્લોરોઇથેન મળે છે. પ્રાથમિક અને દ્વિતીયક આલ્કોહોલમાંથી ઉપરની પદ્ધતિ દ્વારા હેલોઆલ્કેન મળે છે. પરંતુ તૃતીયક આલ્કોહોલને નિર્જળ $ZnCl_2$ની હાજરીમાં સાંદ્ર HCl સાથે ઓરડાના તાપમાને મિશ્ર કરી હલાવતાં હેલોઆલ્કેન મળે છે. આલ્કોહોલનો હેલોઍસિડ સાથેની પ્રક્રિયાનો સક્રિયતાક્રમ $3^0 > 2^0 > 1^0$ છે. આ પ્રક્રિયાને આધારે પ્રયોગશાળામાં પ્રાથમિક, દ્વિતીયક અને તૃતીયક આલ્કોહોલની પરખ થઈ શકે છે, જેને **લ્યુકાસ કસોટી** કહે છે.

એરાઇલ હેલાઇડની બનાવટ માટે આ પદ્ધતિનો ઉપયોગ કરી શકાતો નથી. કારણ કે ફિનોલમાં રહેલો હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહનો ઑક્સિજન બેન્ઝિનચક્રના દ્વિબંધ ધરાવતા કાર્બન સાથે જોડાયેલ હોવાથી કાર્બન-ઑક્સિજન બંધ આંશિક દ્વિબંધ લાક્ષણિકતા ધરાવે છે, જે મજબૂત હોવાથી તેને તોડવો મુશ્કેલ છે.

(b) આલ્કોહોલની સોડિયમ હેલાઇડ અને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક ઍસિડ સાથે થતી પ્રક્રિયાથી હેલોઆલ્કેન મળે છે.

$$R-OH + NaX + H_2SO_4 \longrightarrow R-X + NaHSO_4 + H_2O$$

આલ્કોહોલ　સોડિયમ હેલાઇડ　　હેલો આલ્કેન　સોડિયમ હાઇડ્રોજન સલ્ફેટ

દા.ત., ઇથેનોલની સોડિયમ બ્રોમાઇડ અને સાંદ્ર H_2SO_4 સાથે પ્રક્રિયા કરવાથી બ્રોમોઇથેન મળે છે.

$$CH_3CH_2OH + NaBr + H_2SO_4 \longrightarrow CH_3CH_2Br + NaHSO_4 + H_2O$$

ઇથેનોલ　સોડિયમ બ્રોમાઇડ　　1 - બ્રોમોઇથેન (ઇથાઇલ બ્રોમાઇડ)

(c) આલ્કોહોલની ફૉસ્ફરસના હેલાઇડ સાથેની પ્રક્રિયાથી હેલોઆલ્કેન મળે છે. આ પ્રક્રિયાથી વધુ શુદ્ધ અને વધુ પ્રમાણમાં હેલોઆલ્કેન મળે છે.

$$3R-OH + PX_3 \longrightarrow 3R-X + H_3PO_3 \quad (\text{જ્યાં } X = Cl, Br)$$

આલ્કોહોલ　ફૉસ્ફરસ ટ્રાયહેલાઇડ　હેલો આલ્કેન　ફૉસ્ફરસ ઍસિડ

$$R-OH + PCl_5 \longrightarrow R-Cl + POCl_3 + HCl$$

આલ્કોહોલ　ફૉસ્ફરસ પેન્ટાક્લોરાઇડ　ક્લોરો આલ્કેન　ફૉસ્ફરસ ઑક્સિક્લોરાઇડ

$$R-OH + X_2 \xrightarrow{\text{લાલ P}} R-X \; (\text{જ્યાં } X = Br, I)$$

આલ્કોહોલ　ડાયહેલોજન　હેલોઆલ્કેન

(d) આલ્કોહોલની થાયોનિલ ક્લોરાઇડ ($SOCl_2$) સાથેની પ્રક્રિયાથી હેલોઆલ્કેન મળે છે.

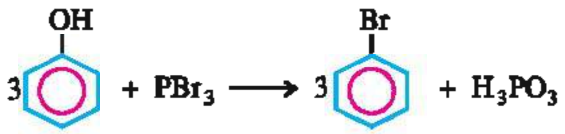
$$R-OH + SOCl_2 \longrightarrow R-Cl + HCl + SO_2$$

આલ્કોહોલ　થાયોનિલ ક્લોરાઇડ　હેલોઆલ્કેન

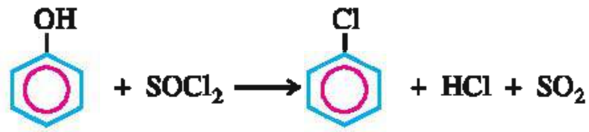
$$CH_3-CH_2-CH_2-OH + SOCl_2 \longrightarrow CH_3-CH_2-CH_2-Cl + HCl + SO_2$$

પ્રોપેન્-1-ઓલ　　1-ક્લોરોપ્રોપેન

(e) ફિનોલમાંથી હેલોએરીન બનાવવા માટે ફિનોલની PBr_3 અથવા $SOCl_2$ જેવા પ્રક્રિયકો સાથે પ્રક્રિયા કરવામાં આવે છે.



ફિનોલ ફોસ્ફરસ ટ્રાયબ્રોમાઇડ બ્રોમોબેન્ઝિન ફોસ્ફરસ એસિડ



ક્લોરોબેન્ઝિન

ઉપરની બંને પ્રક્રિયાઓથી મળતી નીપજ બ્રોમોબેન્ઝિન અને ક્લોરોબેન્ઝિન અલ્પ પ્રમાણમાં મળે છે.

(2) હાઇડ્રોકાર્બનમાંથી :

(a) મુક્તમૂલક હેલોજીનેશન : ડાયહેલોજનના સમવિભાજનથી મળતા મુક્તમૂલક X ની આલ્કેન સંયોજન સાથેની વિસ્થાપન-પ્રક્રિયાથી હેલોઆલ્કેન મળે છે. દા.ત.,

(i) મિથેનની ડાયક્લોરિન વાયુ સાથે પારજાંબલી પ્રકાશની હાજરીમાં પ્રક્રિયા કરતાં ક્લોરોમિથેન મળે છે.

$$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3Cl + HCl$$

મિથેન ક્લોરોમિથેન

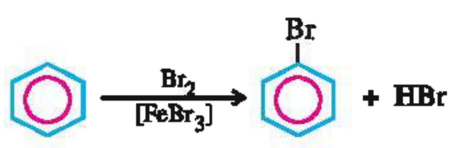
(ii) પ્રોપેનની ડાયક્લોરિન વાયુ સાથે પારજાંબલી પ્રકાશની હાજરીમાં હેલોજીનેશનની પ્રક્રિયાથી ક્લોરોપ્રોપેનના સમઘટકોનું મિશ્રણ મળે છે.

$$CH_3CH_2CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3-CH_2-CH_2-Cl + CH_3-\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}-CH_3$$

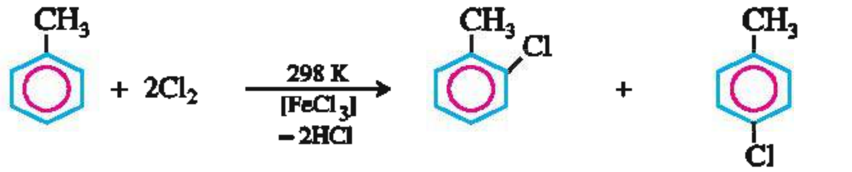
પ્રોપેન 1-ક્લોરોપ્રોપેન (45 %) 2-ક્લોરોપ્રોપેન (55 %)

(b) ઇલેક્ટ્રૉન અનુરાગી વિસ્થાપન દ્વારા : બેન્ઝિન અને ટોલ્યુઇનમાં થતી ક્લોરિનેશન કે બ્રોમિનેશન-પ્રક્રિયામાં સૌપ્રથમ ડાયહેલોજનવાયુ (Cl_2 કે Br_2), ઉદ્દીપક Fe અથવા FeX_3 સાથે પ્રક્રિયા કરી ઇલેક્ટ્રૉન અનુરાગી આયન (લુઈસ ઍસિડ) X^+ આપે છે. તેને ઇલેક્ટ્રૉન અનુરાગી પ્રક્રિયક કહે છે. બેન્ઝિનના π ઇલેક્ટ્રૉન વાદળ ધરાવતા કાર્બન ઉપરથી H^+ મુક્ત થઈ તેના સ્થાને X^+ દાખલ થતો હોઈ ઇલેક્ટ્રૉન અનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયા થાય છે.

બેન્ઝિનની Br_2 સાથે 303થી 313 K તાપમાને $FeBr_3$ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં બ્રોમિનેશનની પ્રક્રિયાથી બ્રોમોબેન્ઝિન મળે છે.



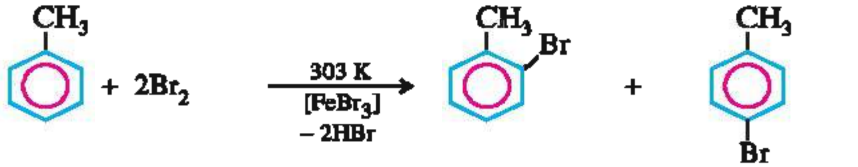
બેન્ઝિન બ્રોમોબેન્ઝિન



ટોલ્યુઇન

1-ક્લોરો-2-મિથાઇલબેન્ઝિન (o-ક્લોરોટોલ્યુઇન)

1-ક્લોરો-4-મિથાઇલબેન્ઝિન (p-ક્લોરોટોલ્યુઇન)



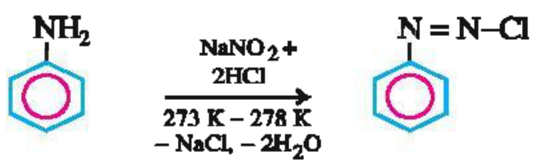
ટોલ્યુઇન

1-બ્રોમો-2-મિથાઇલબેન્ઝિન (o-બ્રોમોટોલ્યુઇન)

1-બ્રોમો-4-મિથાઇલબેન્ઝિન (p-બ્રોમોટોલ્યુઇન)

આ રીતે મળતી ઑર્થો અને પેરા નીપજો વચ્ચે ઉત્કલનબિંદુનો મોટો તફાવત હોવાથી તેમને સરળતાથી અલગ કરી શકાય છે. ડાયફ્લોરિનની ક્રિયાશીલતા વધુ હોવા છતાં ડાયફ્લોરિન સાથે આ પ્રક્રિયા યોગ્ય નીપજ આપતી નથી.

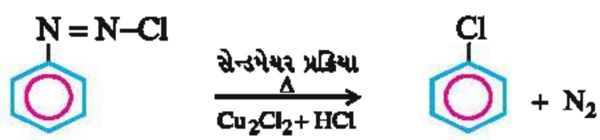
(c) સેન્ડમેયર (Sandmeyer) પ્રક્રિયા : એનિલીન જેવા પ્રાથમિક એરાઇલ એમાઇનને નીચા તાપમાને (273 Kથી 278 K) હાઇડ્રોક્લોરિક ઍસિડમાં સોડિયમ નાઇટ્રાઇટ ($NaNO_2$)ની હાજરીમાં ઓગાળતાં બેન્ઝિન ડાયેઝોનિયમ ક્લોરાઇડ મળે છે.



એનિલીન

બેન્ઝિનડાયેઝોનિયમક્લોરાઇડ

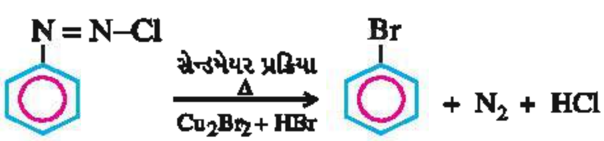
મળેલ બેન્ઝિન ડાયેઝોનિયમ ક્લોરાઇડ ઓરડાના તાપમાને અસ્થાયી નીપજ છે. તેથી તાજા બનાવેલ બેન્ઝિન ડાયેઝોનિયમ ક્લોરાઇડને ક્યુપ્રસ ક્લોરાઇડના હાઇડ્રોક્લોરિક ઍસિડમાં બનાવેલા દ્રાવણ સાથે ગરમ કરતાં ક્લોરોબેન્ઝિન મળે છે. આ પ્રક્રિયાને **સેન્ડમેયર પ્રક્રિયા** કહે છે.



બેન્ઝિનડાયેઝોનિયમક્લોરાઇડ

ક્લોરોબેન્ઝિન

તાજા બનાવેલા ડાયઝોનિયમ ક્લોરાઇડના દ્રાવણમાં ક્યુપ્રસ ક્લોરાઇડની જગ્યાએ ક્યુપ્રસબ્રોમાઇડ મિશ્ર કરતાં ડાયઝોનિયમ સમૂહ બ્રોમિન વડે વિસ્થાપિત થાય છે.



બેન્ઝિનડાયેઝોનિયમક્લોરાઇડ

બ્રોમોબેન્ઝિન

તાજા બનાવેલા બેન્ઝિન ડાયઝોનિયમ ક્લોરાઇડની પોટેશિયમ આયોડાઇડ સાથે ઊંચા તાપમાને પ્રક્રિયા કરતાં આયોડોબેન્ઝિન મળે છે.

બેન્ઝિનડાયેઝોનિયમક્લોરાઇડ આયોડોબેન્ઝિન

(d) આલ્કીનમાંથી :

(i) હાઇડ્રોજન હેલાઇડ સાથેની યોગશીલ પ્રક્રિયા : આલ્કીનની હાઇડ્રોજન હેલાઇડ (HX) સાથેની પ્રક્રિયામાં કાર્બન-કાર્બન પરમાણુ વચ્ચેનો π–બંધ તૂટી યોગશીલ પ્રક્રિયા થઈ એક કાર્બન પર H અને બીજા કાર્બન પર X જોડાય છે. આ પ્રક્રિયાને **હાઇડ્રોહેલોજીનેશન-પ્રક્રિયા** પણ કહે છે.

$$>C=C< \; + \; HX \longrightarrow >\underset{H}{\underset{|}{C}}-\underset{X}{\underset{|}{C}}< \qquad (\text{જ્યાં } X = Cl, Br, I)$$

આલ્કિન હાઇડ્રોજન હેલાઇડ હેલોઆલ્કેન

દા.ત., ઇથીનની હાઇડ્રોક્લોરિક ઍસિડ સાથે યોગશીલ પ્રક્રિયાથી ક્લોરોઇથેન મળે છે.

$$CH_2=CH_2 + HCl \longrightarrow CH_3-CH_2-Cl$$

ઇથીન ક્લોરોઇથેન

પ્રોપીનની હાઇડ્રોબ્રોમિક ઍસિડ સાથેની યોગશીલ પ્રક્રિયાથી બ્રોમોપ્રોપેનના બે સમઘટકો મળે છે.

માર્કોવનિકોવના નિયમ પ્રમાણે 2-બ્રોમોપ્રોપેન નીપજ મહત્તમ પ્રમાણમાં મળે છે. (જુઓ ધોરણ 11, સિમેસ્ટર II, એકમ–6, હાઇડ્રોકાર્બન)

$$CH_3-CH=CH_2 + HBr \longrightarrow CH_3-CH_2-CH_2-Br \; +$$

પ્રોપીન 1-બ્રોમોપ્રોપેન (અલ્પ પ્રમાણમાં)

$$CH_3-\underset{Br}{\underset{|}{CH}}-CH_3$$

2-બ્રોમોપ્રોપેન (મહત્તમ પ્રમાણમાં)

(ii) ડાયહેલોજન વાયુ સાથેની યોગશીલ પ્રક્રિયા : આલ્કીનની ડાયહેલોજન વાયુ સાથેની પ્રક્રિયાથી ઇથિલીનિક દ્વિબંધમાંનો π–બંધ તૂટી યોગશીલ પ્રક્રિયા થઈ ડાયહેલોજન અણુના બંને પરમાણુ ઉમેરાતાં ડાયહેલોજનયુક્ત આલ્કેન મળે છે. આ પ્રક્રિયાને **હેલોજીનેશન-પ્રક્રિયા** કહે છે. દા.ત., ઇથીનની CCl_4માં બનાવેલા બ્રોમિનના દ્રાવણ સાથે યોગશીલ પ્રક્રિયાથી 1, 2–ડાયબ્રોમોઇથેન મળે છે.

$$CH_2=CH_2 + Br_2 \xrightarrow{CCl_4} \underset{Br}{\underset{|}{CH_2}}-\underset{Br}{\underset{|}{CH_2}}$$

ઇથીન ડાયબ્રોમીન 1,2-ડાયબ્રોમોઇથેન

(4) હેલોજન વિનિમય દ્વારા : બ્રોમોઆલ્કેન કે ક્લોરોઆલ્કેનની શુષ્ક એસિટોનમાં બનાવેલા સોડિયમ આયોડાઇડના દ્રાવણ સાથે પ્રક્રિયા કરતાં આયોડોઆલ્કેન મળે છે. આ પ્રક્રિયા **ફિન્કલસ્ટેઇન (Finkelstein) પ્રક્રિયા** તરીકે ઓળખાય છે.

$$R-X + NaI \xrightarrow{\text{એસિટોન}} R-I + NaX \quad (\text{જ્યાં, } X = Cl, Br)$$

હેલોઆલ્કેન સોડિયમ આયોડાઇડ આયોડોઆલ્કેન

દા.ત.,

$$CH_3-Cl + NaI \xrightarrow{\text{એસિટોન}} CH_3-I + NaCl$$

ક્લોરોમિથેન સોડિયમ આયોડાઇડ આયોડોમિથેન

$$CH_3-CH_2-Br + NaI \xrightarrow{\text{એસિટોન}} CH_3-CH_2-I + NaBr$$

બ્રોમોઇથેન સોડિયમ આયોડાઇડ આયોડોઇથેન

બ્રોમોમિથેન કે ક્લોરોમિથેનની AgF, Hg_2F_2, CoF_2 અથવા SbF_3 જેવા ધાત્વિક ફ્લોરાઇડ સાથેની પ્રક્રિયાથી પણ ફ્લોરોમિથેન મળે છે. આ પ્રક્રિયાને **સ્વાર્ટ્ઝ (Swartz) પ્રક્રિયા** કહે છે.

$$CH_3-Br + AgF \longrightarrow CH_3-F + AgBr$$

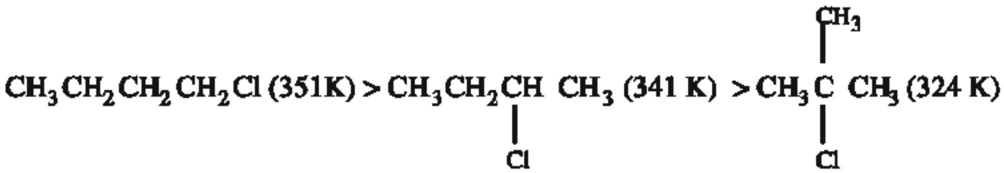
બ્રોમોમિથેન સિલ્વર ફ્લોરાઇડ ફ્લોરોમિથેન સિલ્વર બ્રોમાઇડ

6.6 ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties)

- શુદ્ધ હેલોઆલ્કેન સંયોજનો રંગવિહીન હોય છે.
- પ્રકાશની હાજરીમાં બ્રોમાઇડ અને આયોડાઇડ સંયોજનો રંગીન હોય છે.
- બાષ્પશીલ હેલાઇડ સંયોજનો મીઠી વાસ ધરાવે છે.
- એક, બે કે ત્રણ કાર્બન પરમાણુ ધરાવતા હેલાઇડ સામાન્ય તાપમાને વાયુ અવસ્થામાં જ્યારે ત્રણથી વધુ કાર્બન પરમાણુ ધરાવતા હેલાઇડ પ્રવાહી કે ઘન અવસ્થામાં હોય છે.
- હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનોમાં $>\overset{\delta+}{C}-\overset{\delta-}{X}$ બંધ ધ્રુવીય હોવાથી આંતરઆણ્વિય આકર્ષણબળ (વાન્ ડર વાલ્સ) વધે છે. પરિણામે અનુવર્તી આલ્કેન કરતાં હેલોઆલ્કેનના ઉત્કલનબિંદુ ઊંચા હોય છે. દા.ત., CH_3Cl (249 K) > CH_4 (109 K)
- મોનોહેલોઆલ્કેનમાં જેમ જેમ કાર્બન પરમાણુની સંખ્યા વધે તેમ તેમ તેમના ઉત્કલનબિંદુમાં વધારો થાય છે.

  દા.ત., CH_3Cl (249 K) < CH_3CH_2Cl (285 K) < $CH_3CH_2CH_2Cl$ (320 K)
- સમાન કાર્બન પરમાણુની સંખ્યા અને સમાન હેલોજન પરમાણુ ધરાવતા સમઘટકીય હેલોઆલ્કેનમાં પ્રાથમિક (1^0)થી દ્વિતીયક(2^0) અને દ્વિતીયક(2^0)થી તૃતીયક (3^0) તરફ જતાં ઉત્કલનબિંદુમાં ઘટાડો થાય છે.

દા.ત.,



- સમાન આલ્કાઈલ સમૂહ ધરાવતા હેલોઆલ્કેનમાં હેલોજન પરમાણુ બદલાતાં નીચેના ક્રમમાં ઉત્કલનબિંદુ ઘટે છે.

  $CH_3I > CH_3Br > CH_3Cl > CH_3F$

- હેલોઆલ્કેન કરતાં હેલોએરીન સંયોજનોમાં C–X બંધલંબાઈ ટૂંકી હોવાથી પ્રબળ બંધની હાજરીને લીધે હેલોએરીન સંયોજનોના ઉત્કલનબિંદુ ઊંચા હોય છે.

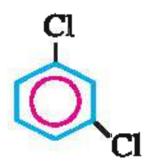
- ડાયહેલોએરીન સંયોજનોમાં (1, 2) ઓર્થો, (1, 3) મેટા અને (1, 4) પેરા સમઘટકોના ઉત્કલનબિંદુમાં બહુ જ ઓછો તફાવત હોય છે.

453 K

1, 2-ડાયક્લોરોબેન્ઝિન

448 K

1, 4-ડાયક્લોરોબેન્ઝિન



446 K

1, 3-ડાયક્લોરોબેન્ઝિન

- પોલીક્લોરોઆલ્કેન, બ્રોમોઆલ્કેન અને આયોડોઆલ્કેનની ઘનતા પાણી કરતાં વધુ હોય છે અને જેમ જેમ કાર્બન અથવા હેલોજન પરમાણુની સંખ્યા અથવા હેલોજન પરમાણુનો પરમાણ્વિય દળ વધે તેમ ઘનતામાં વધારો થાય છે.

કોષ્ટક 6.3 કેટલાક હેલોઆલ્કેનની ઘનતા (298 K)

સંયોજન	ઘનતા ($g ml^{-1}$)	સંયોજન	ઘનતા ($g ml^{-1}$)
$n–C_3H_7Cl$	0.89	CH_2Cl_2	1.336
$n–C_3H_7Br$	1.335	$CHCl_3$	1.489
$n–C_3H_7I$	1.747	CCl_4	1.595

હેલોઆલ્કેન સંયોજનો પાણીમાં અલ્પદ્રાવ્ય છે જ્યારે એસિટોન, ઇથેનોલ જેવા કાર્બનિક દ્રાવકો પાણીમાં દ્રાવ્ય છે.

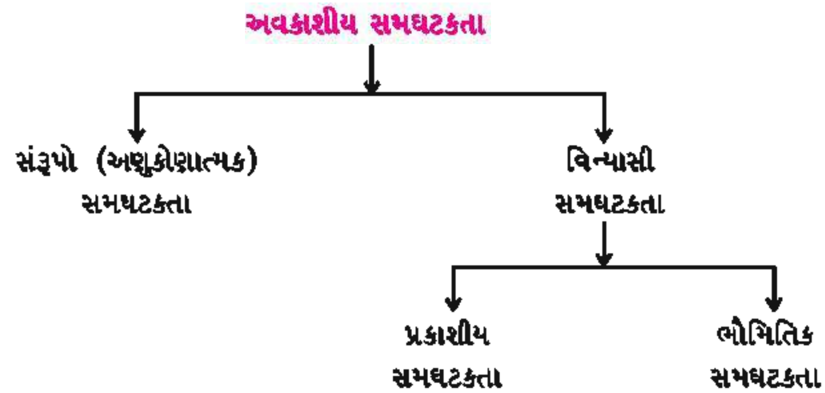
હેલોઆલ્કેનના રાસાયણિક ગુણધર્મ સમજવા માટે અવકાશ રસાયણની કેટલીક સંકલ્પના સમજવી જરૂરી છે.

6.7 D, L (સાપેક્ષ વિન્યાસ) અને R, S (નિરપેક્ષ વિન્યાસ) નામકરણ

કાર્બનિક રસાયણની જે શાખામાં સંયોજનના ત્રિપરમાણીય બંધારણનો અભ્યાસ કરવામાં આવે છે, તેને **અવકાશ-રસાયણ** તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. અવકાશ-રસાયણમાં સમઘટકતા એ પાયાનો ગુણધર્મ છે.

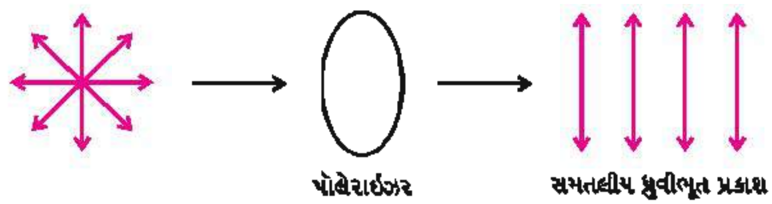
સમઘટકતાના મુખ્યત્વે બે પ્રકાર છે : (1) બંધારણીય સમઘટકતા અને (2) અવકાશીય સમઘટકતા.

બંધારણીય સમઘટકતા વિશે ધોરણ 11, સિમેસ્ટર Iમાં અભ્યાસ કર્યો છે. અવકાશીય સમઘટકતાનું વર્ગીકરણ નીચે પ્રમાણે છે :



પ્રકાશીય સમઘટકતા સમજવા તેના સંબંધિત પદો – સમતલીય ધ્રુવીભૂત પ્રકાશ અને પ્રકાશ ક્રિયાશીલતા, કિરાલિટી વિશેનો અભ્યાસ જરૂરી છે.

(1) સમતલીય ધ્રુવીભૂત પ્રકાશ : સફેદ પ્રકાશમાં સાત રંગ હોય છે. વિવિધ તરંગલંબાઈ ધરાવતો પ્રકાશ દરેક શક્ય સમતલમાં કંપન કરતો હોય છે. આવા પ્રકાશને જ્યારે નિકોલ પ્રિઝમ કે પોલેરોઇડમાંથી પસાર કરવામાં આવે છે ત્યારે નિર્ગમન પામતા પ્રકાશમાં વીજકંપનો ફક્ત એક જ સમતલમાં (તળમાં) થતા જોવા મળે છે. આ પ્રકાશને **સમતલીય ધ્રુવીભૂત પ્રકાશ** કહે છે.



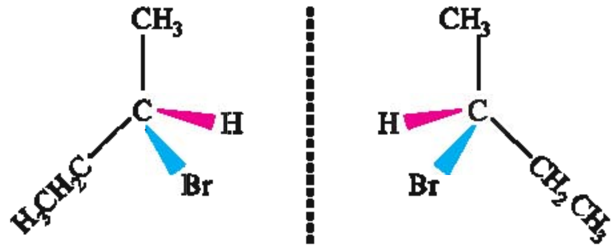
(2) પ્રકાશ ક્રિયાશીલતા : જે પદાર્થ ધ્રુવીભૂત પ્રકાશના તળનું કોણાવર્તન કરવાની ક્ષમતા ધરાવે છે, તેને **પ્રકાશ ક્રિયાશીલ પદાર્થ** કહે છે. કેટલાક પ્રકાશ ક્રિયાશીલ પદાર્થો ધ્રુવીભૂત પ્રકાશના તલનું ડાબી બાજુ કોણાવર્તન કરતાં હોવાથી તેમને **વામભ્રમણીય (levo rotatory) પદાર્થો** કહે છે તેને *l* અથવા (–) સંજ્ઞા દ્વારા દર્શાવાય છે. જે પદાર્થો પ્રકાશના તલનું જમણી બાજુ કોણાવર્તન કરે તો તેમને **દક્ષિણભ્રમણીય (dextro rotatory)** પદાર્થો કહે છે. તેને *d* અથવા (+) સંજ્ઞા દ્વારા દર્શાવાય છે.

(3) કિરાલિટી : પ્રકાશ ક્રિયાશીલતાનું મુખ્ય કારણ આણ્વિય અસંમિતતા છે. પ્રત્યેક પ્રકાશ ક્રિયાશીલ સંયોજનોમાં ઓછામાં ઓછો એક અસમ (chiral) કાર્બન હોવો જોઈએ. જે કાર્બનની ચારેય સંયોજકતા જુદા જુદા સમૂહો દ્વારા સંતોષાયેલી હોય તો તેવો કાર્બન **અસમકાર્બન** કહેવાય છે. જે પદાર્થો તેમના પ્રતિબિંબ ઉપર અધ્યારોપિત ના થતાં હોય તેમને **કિરાલ પદાર્થો** કહે છે. આ ગુણધર્મોને **કિરાલિટી** કહે છે. દા.ત., હાથ કે પગના પંજા અને અંગ્રેજી **મૂળાક્ષરો જેવા કે B, C, D, E** વગેરે.

જે પદાર્થો તેમના પ્રતિબિંબ ઉપર અધ્યારોપિત કરી શકતા હોય તેને **બિનકિરાલ (અકિરાલ) પદાર્થો** કહે છે. દા.ત., ચમચી અને અંગ્રેજી **મૂળાક્ષરો જેવા કે A, H, I, M** વગેરે.

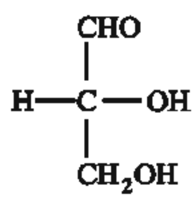
જે સંયોજનમાં એક કિરાલ કાર્બન આવેલો હોય તેમાં નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે એકબીજા પર અધ્યારોપિત ના થઈ શકે તેવા પ્રતિબિંબી સમઘટકો મળે છે :

દા.ત., 2-બ્રોમોબ્યુટેન કિરાલ અણુ છે. તે નીચે મુજબ એકબીજા ઉપર અધ્યારોપિત ના કરી શકાય તેવા બે પ્રતિબિંબી સમઘટકો આપે છે.

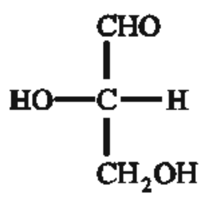


2-બ્રોમોબ્યુટેન

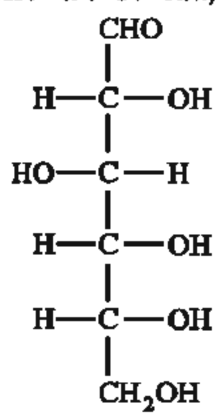
D અને L વિન્યાસ (સાપેક્ષ વિન્યાસ) : D અને L પર્યાયો સામાન્ય રીતે કાર્બોહાઇડ્રેટ અને એમિનોએસિડના વિન્યાસને સમજાવવા માટે વપરાય છે. કાર્બોહાઇડ્રેટ સંયોજનની ફિશરરચનામાં અંતિમ કિરાલ કાર્બન સાથેનો –OH સમૂહ, જો જમણી બાજુ જોડાયેલ હોય તો **D વિન્યાસ** અને ડાબી બાજુ જોડાયેલ હોય તો તેને **L વિન્યાસ** કહે છે. એમિનોએસિડમાં $–NH_2$ સમૂહના સ્થાનને અનુરૂપ D અને L વિન્યાસ નક્કી થાય છે. દા.ત,



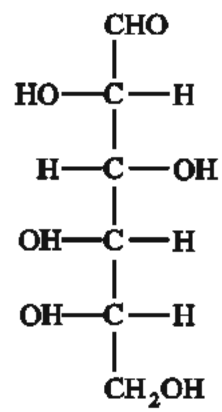
D-ગ્લિસરાલ્ડિહાઇડ



L-ગ્લિસરાલ્ડિહાઇડ

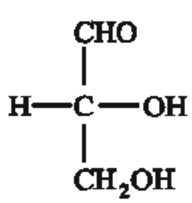


D-ગ્લુકોઝ

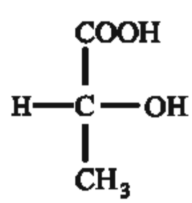


L-ગ્લુકોઝ

અહીં એ નોંધવું જરૂરી છે કે Dને d સાથે અને Lને *l* સાથે કોઈ સીધો સંબંધ નથી. એટલે કે D વિન્યાસ ધરાવનાર સંયોજન d કે *l* પ્રકારનું હોઈ શકે છે. તે જ રીતે L-વિન્યાસ ધરાવનાર સંયોજન પણ d કે *l* પ્રકારનું હોઈ શકે છે. દા.ત., D-ગ્લિસરાલ્ડિહાઇડ અને D-લેક્ટિક ઍસિડ પ્રાયોગિક રીતે અનુક્રમે d (+) અને *l* (–) માલૂમ પડ્યા છે.



D-(+)-ગ્લિસરાલ્ડિહાઇડ



D-(–)-લેક્ટિક ઍસિડ

સંયોજનના D કે L વિન્યાસ સૈદ્ધાંતિક રીતે નક્કી થાય છે, જ્યારે d કે *l* વિન્યાસ પ્રાયોગિક રીતે પોલારીમીટર સાધનના ઉપયોગથી નક્કી થાય છે. એક જ સંયોજનના D અને L વિન્યાસ એકબીજાના પ્રતિબિંબી સમઘટકો હોય છે.

R–S નામકરણ (નિરપેક્ષ વિન્યાસ) : અસમ કાર્બન ધરાવતા કિરાલ સંયોજનોના પ્રતિબિંબી સમઘટકોની ઓળખ માટે R–S નામકરણ પદ્ધતિ પ્રચલિત છે.

આ R–S નામકરણ પદ્ધતિ કાહ્ન, ઇનગોલ્ડ અને પ્રીલોગે (Cahn, Ingold and Prelog) રજૂ કરી હતી. આ પદ્ધતિમાં સમઘટકોના વિન્યાસને **R–** (લૅટિન શબ્દ Rectus = જમણો) અને **S –** (લૅટિન શબ્દ Sinister = ડાબો) દ્વારા દર્શાવાય છે.

આ નામકરણ માટે અસમ કાર્બન સાથે જોડાયેલા ચારેય સમૂહોને અગ્રિતાક્રમ (1, 2, 3, 4) આપવામાં આવે છે. આ પદ્ધતિ માટે બે સોપાન ઉપયોગમાં લેવાય છે.

સોપાન–1 : અસમ કાર્બન સાથે જોડાયેલા સમૂહોનો અગ્રિમતાક્રમ નક્કી કરવો :

(1) અગ્રિમતાક્રમ માટે અસમ કાર્બન સાથે જોડાયેલ સમૂહ કે પરમાણુના પ્રથમ પરમાણુનો પરમાણ્વિય-ક્રમાંકને ધ્યાનમાં લેવામાં આવે છે, જે પરમાણુનો પરમાણ્વિય-ક્રમાંક સૌથી વધુ હોય તે પ્રથમ અગ્રિમતા મેળવશે. દા.ત., અસમ કાર્બન સાથે $-H$, $-NH_2$, $-CH_3$, $-Br$ જોડાયેલા હોય, તો નીચે મુજબ અગ્રિમતાક્રમ આપવામાં આવે છે :

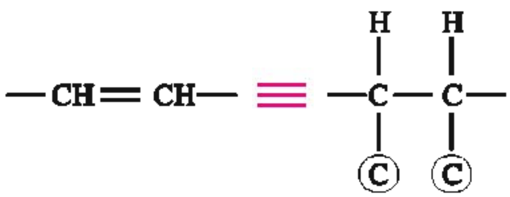
$-Br \rightarrow 1$, $-NH_2 \rightarrow 2$, $-CH_3 \rightarrow 3$, $-H \rightarrow 4$

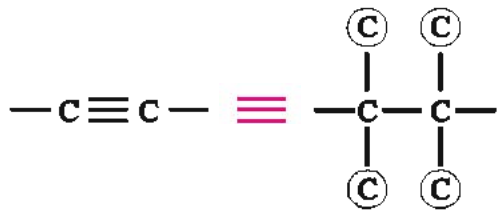
(Z = 35) (Z = 7) (Z = 6) (Z = 1)

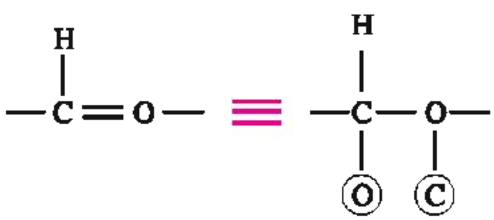
(2) જો અસમ કાર્બન પરમાણુ સાથે બે સમસ્થાનિક જોડાયેલા હોય તો વધારે પરમાણ્વિય દળ ધરાવતા સમસ્થાનિકને ઓછા પરમાણ્વિય દળ ધરાવતા સમસ્થાનિકની સરખામણીએ અગ્રિમતાક્રમ અપાય છે. દા.ત., અસમ કાર્બન પરમાણુ સાથે H, Br, C, D (ડ્યુટેરિયમ) પરમાણુઓ જોડાયેલા હોય, તો Br, C, D અને Hને અનુક્રમે 1, 2, 3 અને 4 અગ્રિમતાક્રમ આપવામાં આવે છે.

(3) જો અસમ કાર્બન પરમાણુ સાથે જોડાયેલ બે સમૂહોના પ્રથમ પરમાણુ સમાન હોય, તો તે સમૂહના પછીના ક્રમના પરમાણુના પરમાણ્વિય-ક્રમાંકને ધ્યાનમાં લેવો પડે છે. દા.ત., અસમ કાર્બન પરમાણુ સાથે $-CH_2NH_2$, $-CH_3$, $-CH_2OH$, $-CH_2CH_3$ સમૂહો જોડાયેલ હોય તો $-CH_2OH$, $-CH_2NH_2$, $-CH_2CH_3$ અને $-CH_3$ને અનુક્રમે 1, 2, 3, 4 અગ્રિમતાક્રમ આપવામાં આવે છે.

(4) દ્વિબંધ કે ત્રિબંધ ધરાવતા સમૂહોને અગ્રિમતાક્રમ આપતી વખતે તેમાંના દરેક π બંધ તોડીને તેને સ્થાને કલ્પિત પરમાણુઓને જોડાયેલા કલ્પવામાં આવે છે.

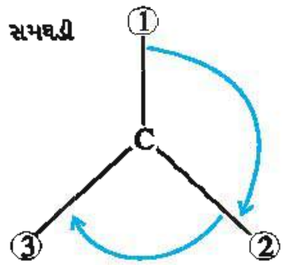


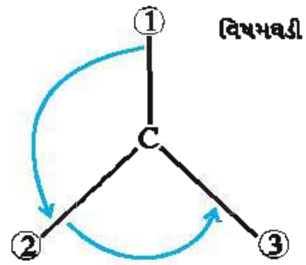




ઉપરના અગ્રિમતાક્રમ નિયમોને આધારે કેટલાક મહત્ત્વપૂર્ણ સમૂહોનો ક્રમ નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય :
$-I > -Br > -Cl > -SO_3H > -SH > -F > -OCOR > -OR > -OH > -NO_2 > -NR_2 > -NHR > -COOR > -COOH > -COR > -CHO > -CH_2OH > -CN > -CH_3 > -D > -H$

સોપાન 2 : R અને S વિન્યાસ નક્કી કરવા : સોપાન 1 મુજબ અગ્રિમતાક્રમ નક્કી કર્યા બાદ ત્રિપરિમાણીય રચનામાં સૌથી નિમ્ન અગ્રિમતાક્રમ ધરાવનાર સમૂહ એટલે કે 4 નંબરના સમૂહને જોનારથી દૂર ગોઠવવામાં આવે છે. ત્યાર બાદ અણુને નિમ્ન અગ્રતાવાળા સમૂહથી વિરુદ્ધ દિશામાંથી (સામેથી) અવલોકવામાં આવે છે. બાકીના ત્રણેય સમૂહો (1, 2 અને 3)નો ચડતો ક્રમ 1→2→3 જો સમઘડી દિશામાં (જમણી બાજુ) હોય તો તે સમઘટકોનો વિન્યાસ R ગણવામાં આવે છે. પરંતુ જો આ ક્રમ ઘડિયાળના કાંટાની વિરુદ્ધ દિશામાં (ડાબી બાજુ) હોય તો તેનો વિન્યાસ S ગણવામાં આવે છે.

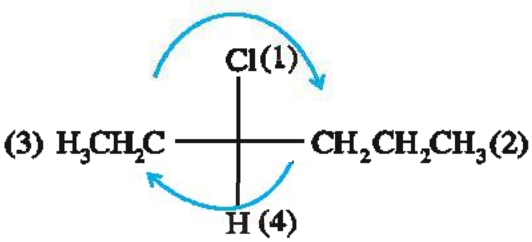


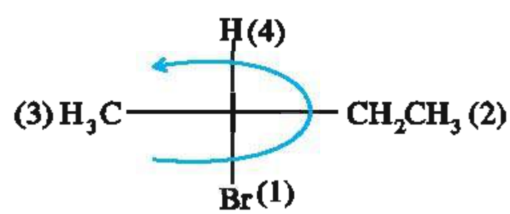


R- વિન્યાસ

S- વિન્યાસ

ઉપર ચર્ચા કરેલ નિયમો મુજબ સંયોજનોના ત્રિપરમાણ્વીય બંધારણની કલ્પના કરવી પડે જે મુશ્કેલ જણાય છે. સામાન્ય રીતે કિરાલ સંયોજનોને દ્વિપરમાણ્વીય ફિશર રચનામાં દર્શાવવા વધુ અનુકૂળ રહે છે. સંયોજનોની ફિશર રચનામાં નીચો અગ્રતાક્રમ (4) દર્શાવતો સમૂહ ઊભી લાઈનમાં ગોઠવાયેલા હોય અને 1→2→3 સમઘડી દિશામાં હોય તો R અને પ્રતિઘડી દિશામાં હોય તો S વિન્યાસ ગણવામાં આવે છે. દા.ત.,



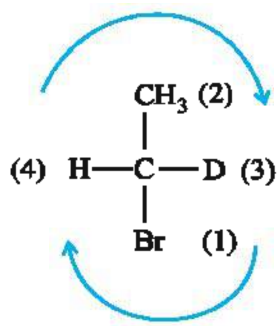


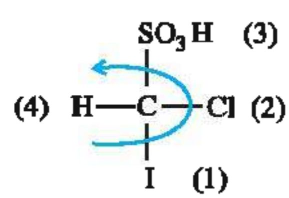
R-વિન્યાસ

S-વિન્યાસ

સંયોજનોની ફિશર રચનામાં અગ્રિમતા ક્રમ (4) દર્શાવતો સમૂહ આડી લાઈનમાં ગોઠવાયેલો હોય તો તેવા સંયોજનનો વિન્યાસ ઉપર મુજબ નક્કી કરવામાં આવતા વિન્યાસથી ઊલટો હોય છે. એટલે કે આવા કિસ્સામાં 1→2→3 સમઘડી દિશામાં હોય તો S અને પ્રતિઘડી દિશામાં હોય તો R–વિન્યાસ ગણવામાં આવે છે. આ સમજૂતી વૈજ્ઞાનિક એપ્લિંગે (Epling) 1982માં આપી હતી.

દા.ત.,





S-વિન્યાસ

R-વિન્યાસ

6.8. રાસાયણિક ગુણધર્મો (રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ) (Chemical Properties (Chemical Reactions))

6.8.1 હેલોઆલ્કેન સંયોજનોની પ્રક્રિયાઓ (Reactions of Haloalkane Compounds) :

(1) કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ : હેલોઆલ્કેન સંયોજનોમાં $C^{\delta+}-X^{\delta-}$ બંધ ધ્રુવીય હોવાથી કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયકો ($:Nu^-$) અંશતઃ ધનવીજભારિત કાર્બન વડે આકર્ષાય છે અને હેલોજનનું વિસ્થાપન કરે છે. કેન્દ્રાનુરાગી આયનો

કે જે લુઇસ બેઇઝ છે તેમને કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક કહે છે. તેમના દ્વારા થતી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયાને કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયા કહે છે, જેને ટૂંકમાં SN પ્રક્રિયા (Nucleophilic Substitution Reaction) કહે છે.

$$:Nu^- + \gt C^{\delta+}-X^{\delta-} \longrightarrow \gt C-Nu + :X^-$$

કેટલાક કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયકો નીચે પ્રમાણે છે :

$:OH^-$, $:OR^-$, $:X^-$, $:CN^-$, $RCOO^-:$, $:SH^-$, $:NH_2^-$, $^-O-\ddot{N}=O$ વગેરે, જે લુઇસ બેઇઝ પણ છે.

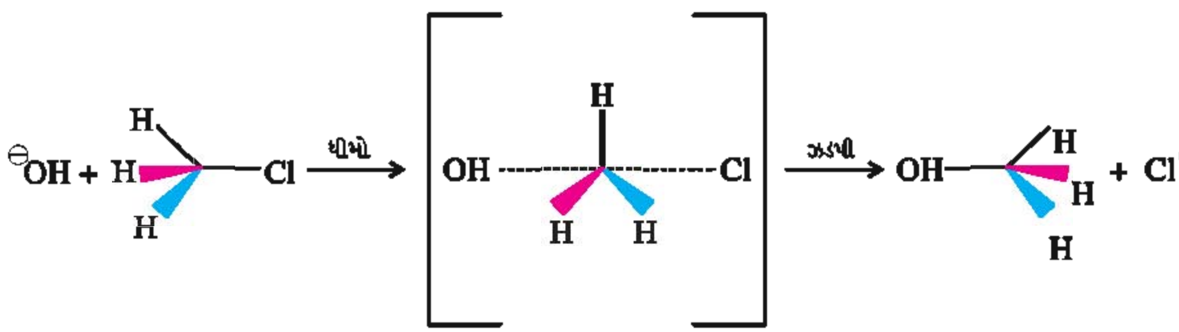
સાયનાઇડ અને નાઇટ્રાઇટ જેવા કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયકો બે કેન્દ્રાનુરાગી કેન્દ્ર ધરાવે છે. સાયનાઇડ સમૂહનું બંધારણ બે રીતે વિભાજિત થયેલ હોય છે. સાયનાઇડ સમૂહ બે જુદી જુદી રીતે કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક તરીકે વર્તે છે. તેમાંના એકમાં કાર્બન કેન્દ્રાનુરાગી કેન્દ્ર તરીકે વર્તે છે. જેથી ($-C\equiv N$) કેન્દ્રાનુરાગી આયન દ્વારા (આલ્કાઇલ સાયનાઇડ) નીપજ મળે છે. જ્યારે બીજા બંધારણમાં નાઇટ્રોજન કેન્દ્રાનુરાગી કેન્દ્ર તરીકે વર્તે છે. જેથી ($:C\equiv N^-$) કેન્દ્રાનુરાગી આયન દ્વારા આઇસોસાયનાઇડ નીપજ મળે છે.

આ જ પ્રમાણે નાઇટ્રાઇટમાં ($O^- - \ddot{N} = O$) કેન્દ્રાનુરાગી આયનમાં ઑક્સિજન સાથેના જોડાણથી આલ્કાઇલ નાઇટ્રાઇટ નીપજ મળે છે. જ્યારે નાઇટ્રોજન પરમાણુ સાથેના જોડાણથી નાઇટ્રોઆલ્કેન નીપજ મળે છે :

કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓની ક્રિયાવિધિ નીચે પ્રમાણે બે રીતે વર્ગીકૃત કરવામાં આવે છે :

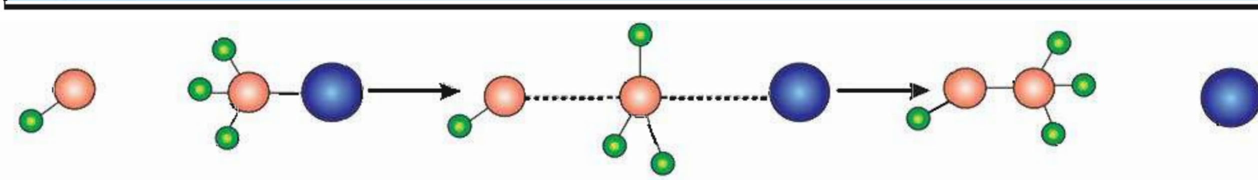
(a) દ્વિઆણ્વીય કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન (SN^2) પ્રક્રિયા (Bimolecular Nucleophillic Substitution Reaction) : ક્લોરોમિથેન (CH_3Cl)ની હાઇડ્રૉક્સાઇડ આયન ($:OH^-$) સાથેની કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયા દ્વિતીય ક્રમની પ્રક્રિયા છે. રાસાયણિક ગતિકી (Chemical Kinetics)ના સિદ્ધાંત પ્રમાણે આ પ્રક્રિયાક્રમ બંને પ્રક્રિયકોની સાંદ્રતા પર આધાર રાખતો હોઈ આ પ્રક્રિયા દ્વિતીય ક્રમની છે.

આપણે નીચેના ઉદાહરણને સમજીએ :



ફક્ત જાણકારી માટે :

ઉપરની પ્રક્રિયામાં ડાર્ક (ગાઢી) લાઇનથી બતાવેલ બંધ સમતલની બહારની બાજુએ છે. લાઇટ (આછી) લાઇનથી બતાવેલ બંધ સમતલની પાછળ તરફ જાય છે જ્યારે સીધી લાઇનથી દર્શાવેલ બંધ પેપરના સમતલ પર છે.



આકૃતિ 6.2

દાખલ થતો હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહ લીલા ટપકાંથી દર્શાવ્યો છે.

વાદળી રંગનો ગોળો દૂર થતો હેલાઇડ આયન છે.

1937માં વૈજ્ઞાનિકો એડવર્ડ ડેવિસ હ્યુઝ (Edward Davis Hughes) અને સર ક્રિસ્ટોફર ઇનગોલ્ડે (Sir Christopher Ingold) SN^2 પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિ રજૂ કરી, જે નીચેની વિગત પરથી સમજી શકાય છે :

દ્વિઆણ્વિય કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન (Bimolecular Nucleophillic Substitution) પ્રક્રિયાને **SN^2 પ્રક્રિયા** કહે છે.

SN^2 પ્રક્રિયા સબસ્ટ્રેટ (S) અને કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક ($:Nu^-$) વચ્ચે થતી દ્વિઆણ્વિય પ્રક્રિયા છે. SN^2 પ્રક્રિયા એક જ તબક્કામાં મધ્યસ્થ નીપજ બનાવ્યા સિવાય થાય છે. આ પ્રક્રિયામાં સબસ્ટ્રેટ (પ્રક્રિયાકારક)નું અસમવિભાજન થતું નથી. આ પ્રક્રિયામાં ભાગ લેતો કાર્બન sp^3 સંકરણ ધરાવે છે પરંતુ સંક્રાંતિ અવસ્થા સમયે તે sp^2 સંકરણ ધરાવે છે. સંક્રાંતિ અવસ્થામાં બંધ અંશતઃ બનેલા તથા તૂટેલા હોય છે. આ પ્રક્રિયાના પ્રથમ તબક્કામાં મુક્ત થતા સમૂહ Cl^-ની હાજરીમાં જ કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક OH^- પ્રક્રિયા કરે છે અને સંક્રાંતિ અવસ્થા પ્રાપ્ત થાય છે. આમ, સંક્રાંતિ અવસ્થામાં કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક અને સબસ્ટ્રેટ બંને જોડાય છે.

સંક્રાંતિ અવસ્થા સમયે Cl^- સાથેનો બંધ નિર્બળ બને છે અને કેન્દ્રાનુરાગી OH^- નો બંધ બનવાની શરૂઆત થાય છે. આ સમયે કાર્બન પરમાણુ સાથેના ત્રણેય હાઇડ્રોજન પરમાણુ એક જ સમતલમાં ગોઠવાય છે. કેન્દ્રાનુરાગી OH^- અને મુક્ત થતો સમૂહ બંને ઋણ હોવાથી હંમેશાં મુક્ત થતા સમૂહની વિરુદ્ધ દિશામાં કેન્દ્રાનુરાગી જોડાય છે. મળતી નીપજની અવકાશીય ગોઠવણી પ્રક્રિયકની અવકાશીય ગોઠવણીથી બિલકુલ વિરુદ્ધ દિશામાં હોય છે એટલે કે SN^2 પ્રક્રિયાના પરિણામે સબસ્ટ્રેટમાંથી બનતી નીપજમાં ઇન્વર્ઝન જોવા મળે છે, જે આકૃતિ 6.2માં દર્શાવ્યું છે.

SN^2 પ્રક્રિયાનો વેગ સબસ્ટ્રેટ અને કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક તેમ બંનેની સાંદ્રતા પર આધાર રાખે છે.

પ્રક્રિયાવેગ = $K\ [S]^1\ [Nu^-]^1$ જ્યાં, S = સબસ્ટ્રેટ

Nu^- = કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક

તેથી SN^2 પ્રક્રિયા દ્વિતીય ક્રમની પ્રક્રિયા છે. આમ, વેગનિર્ણાયક તબક્કામાં ઓછી ઇલેક્ટ્રૉન ઘનતા ધરાવતા કાર્બન પર કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક-પ્રક્રિયા કરે ત્યારે સંક્રાંતિ અવસ્થામાં પ્રક્રિયાકારક અને પ્રક્રિયક બંનેની સાંદ્રતાથી વેગનિયંત્રિત થાય તેવી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓને દ્વિઆણ્વિય કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયા (SN^2) કહે છે.

(b) એક આણ્વિય કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન (SN^1) પ્રક્રિયા (Unimolecular Nucleophilic Substitution (SN^1) Reaction) : SN^1 (એક આણ્વિય કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન) પ્રક્રિયા બે તબક્કામાં થાય છે. SN^1 પ્રક્રિયામાં સબસ્ટ્રેટનું પ્રથમ અસમવિભાજન થઈ કાર્બોકેટાયન (કાર્બોનિયમ આયન) બને છે. કાર્બોકેટાયન બનવા C–X બંધ તોડવાની શક્તિ ધ્રુવીય દ્રાવકો જેવા કે પાણી, આલ્કોહૉલ, એસેટિક એસિડ દ્વારા મળે છે. બીજા તબક્કામાં કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક, કાર્બોકેટાયન સાથે જોડાય છે.

તૃતીયક બ્યુટાઇલ બ્રોમાઇડની હાઇડ્રૉક્સાઇડ આયન સાથેની પ્રક્રિયાથી તૃતીયક બ્યુટાઇલ આલ્કોહૉલ નીપજ તરીકે મળે છે.

આ પ્રક્રિયા રાસાયણિક ગતિકી અનુસાર પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા છે.

$$(CH_3)_3C-Br + OH^- \longrightarrow (CH_3)_3-C-OH + Br^-$$

તૃતીયક બ્યુટાઇલ બ્રોમાઇડ   તૃતીયક બ્યુટાઇલ આલ્કોહૉલ

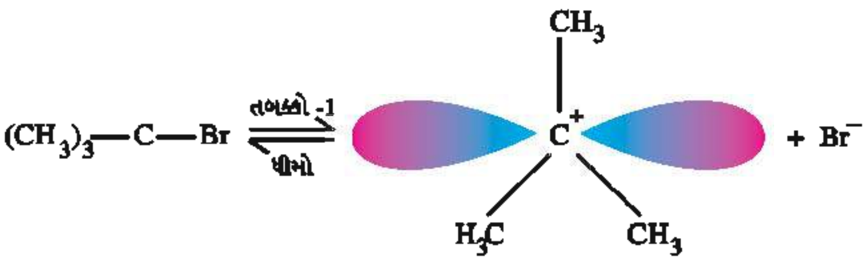
આ પ્રક્રિયાનો ક્રમ માત્ર સબસ્ટ્રેટની સાંદ્રતા પર આધાર રાખતો હોઈ તે પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા છે.

∴ પ્રક્રિયાવેગ α [$(CH_3)_3C$–Br]

= K [$(CH_3)_3C$–Br]

આ પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિ નીચે પ્રમાણે બે તબક્કામાં થાય છે :

તબક્કો 1 :

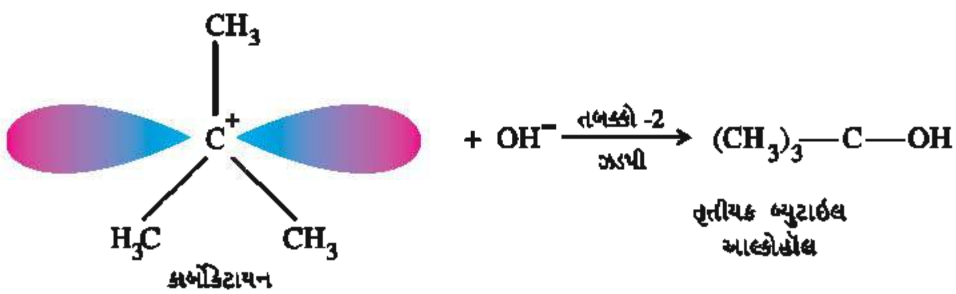


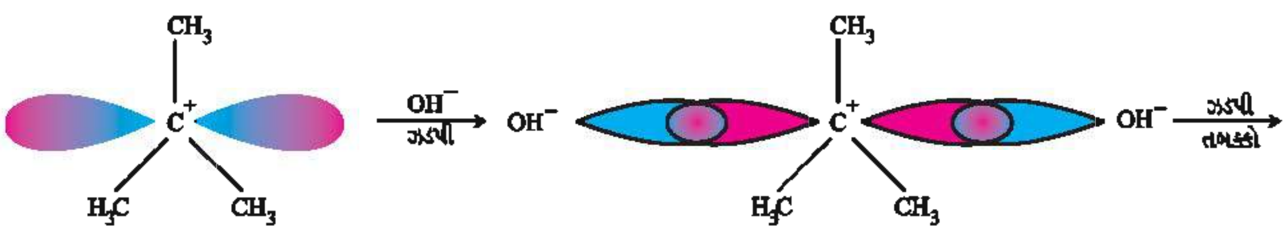
કાર્બોકેટાયન
(કાર્બોનિયમ આયન)

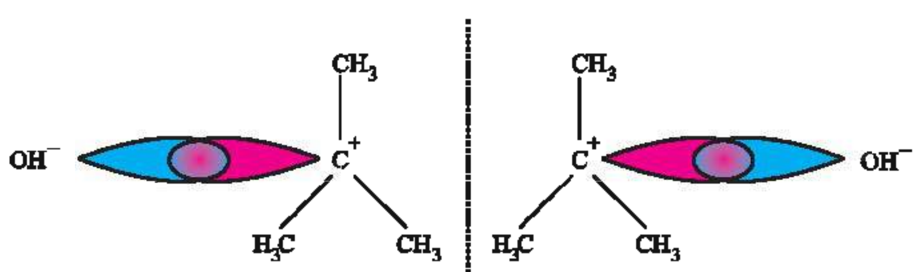
ધ્રુવીય C–Br બંધ ધીમે ધીમે તૂટતો જાય છે અને કાર્બોકેટાયન તથા બ્રોમાઇડ આયન બને છે. આ તબક્કો ધીમો હોવાથી વેગનિર્ણાયક તબક્કો છે.

તબક્કો 2 :

કાર્બોકેટાયન પર કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક આક્રમણ કરી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયા પૂર્ણ કરે છે.







વસ્તુ-પ્રતિબિંબ

ઉપર દર્શાવ્યા પ્રમાણે કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક (OH^-) કાર્બોકેટાયનની બંને બાજુથી આક્રમણ કરી શકે છે જે વસ્તુ પ્રતિબિંબ છે. ઉપરના ઉદાહરણમાં પ્રક્રિયક બ્યુટાઇલ બ્રોમાઇડ પ્રકાશક્રિયાશીલ નથી માટે મળતી નીપજ પ્રકાશક્રિયાશીલ નથી. પરંતુ પ્રક્રિયક તરીકેનો હેલોઆલ્કેન પ્રકાશ ક્રિયાશીલ હોય તો (દા.ત., દ્વિતીયક બ્યુટાઇલ બ્રોમાઇડ) કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક કાર્બોકેટાયનની બંને બાજુથી આક્રમણ કરી શકતો હોવાથી બનતી નીપજ પ્રકાશક્રિયાશીલ સમઘટકો- દક્ષિણભ્રમણીય (ડેક્સ્ટ્રો) અને વામ (લીવો) ભ્રમણીયનું સમાન પ્રમાણ મળે છે. આ મિશ્રણને **રેસેમિક મિશ્રણ** કહે છે.

પ્રક્રિયાના આ બીજા ઝડપી તબક્કામાં કાર્બોકેટાયન ઝડપથી કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક (OH^-) સાથે જોડાઈને નીપજ આપે છે. તેથી SN^1 પ્રક્રિયાનો વેગ કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયકની સાંદ્રતા પર સહેજ પણ આધાર રાખતો નથી પરંતુ સબસ્ટ્રેટની સાંદ્રતા પર આધાર રાખે છે.

પ્રક્રિયાવેગ = $K[S]^1$ જ્યાં S = સબસ્ટ્રેટ. આમ, SN^1 પ્રક્રિયા પ્રથમક્રમની પ્રક્રિયા છે.

SN^1 પ્રક્રિયાનો વેગ સબસ્ટ્રેટની સાંદ્રતા, કાર્બોકેટાયન બનવાની સરળતા અને કાર્બોકેટાયનની સ્થાયીતા પર આધાર રાખે છે. SN^1 પ્રક્રિયામાં નિર્બળ કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક પણ સરળતાથી પ્રક્રિયા કરે છે. જેમ કાર્બોકેટાયનની સ્થાયીતા વધારે તેમ SN^1 પ્રક્રિયાનો વેગ વધે છે. તૃતીયક કાર્બન પર સ્થાયી કાર્બોકેટાયન રચતા કાર્બન પરમાણુ પર SN^1 પ્રક્રિયાથી સરળ બને છે જ્યારે SN^2 પ્રક્રિયા મુશ્કેલ છે.

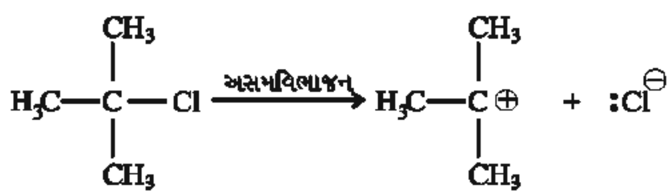
આલ્કાઇલ હેલાઇડમાં SN^1 અને SN^2 પ્રક્રિયા થવાની સરળતાનો ક્રમ નીચે મુજબ છે :

SN^2 પ્રક્રિયા →

તૃતીયક હેલાઇડ, દ્વિતીયક હેલાઇડ, પ્રાથમિક હેલાઇડ, CH_3X

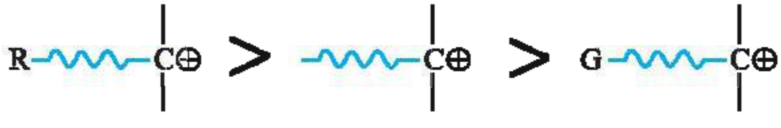
← SN^1 પ્રક્રિયા

કાર્બોકેટાયનની સ્થાયીતા : 3^0 બ્યુટાઇલ ક્લોરાઇડની કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયા દરમિયાન નીચે મુજબ C–Cl બંધનું અસમવિભાજન થઈ મધ્યસ્થી તરીકે 3^0-બ્યુટાઇલ કાર્બોકેટાયન મળે છે.



3^0-બ્યુટાઇલ ક્લોરાઇડ 3^0-બ્યુટાઇલ કાર્બોકેટાયન

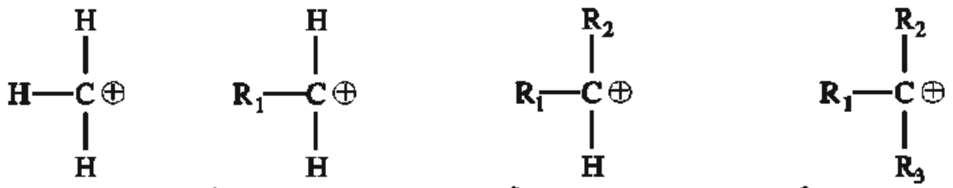
કાર્બન પરના ધનભારના વિતરણને કારણે કાર્બોકેટાયનની સ્થાયીતા વધે છે. તેથી કોઈ પણ પરિબળ કે જે ઇલેક્ટ્રોનની ઊણપ ધરાવતા કાર્બનના ધનવીજભારનું વિતરણ કરે અને બાકી રહેલા આયન પર ધનવીજભારની સરખી વહેંચણી થાય તો કાર્બોકેટાયનની સ્થાયીતા વધે છે. આથી કાર્બોકેટાયનની સાથે ઇલેક્ટ્રોનદાતા સમૂહ જોડાયેલ હોય તો સ્થાયીતા વધે છે. તેનાથી ઊલટું ઇલેક્ટ્રોન-આકર્ષક સમૂહ (electron attracting group) કાર્બોકેટાયનની સાથે જોડાય તો સ્થાયીતા ઘટે છે.



R = ઇલેક્ટ્રોન દાતા સમૂહ G = ઇલેક્ટ્રોન આકર્ષક સમૂહ

ધનવીજભાર ધરાવતા કાર્બન પરમાણુ સાથે જોડાયેલ આલ્કાઇલ સમૂહ ઇલેક્ટ્રૉન મુક્ત થતી પ્રેરક અસર (I) ધરાવે છે. આથી જે કાર્બન સાથે આલ્કાઇલ સમૂહ જોડાયેલો છે તે કાર્બનના ધનવીજભારની અસર ઓછી થશે. આથી આલ્કાઇલ સમૂહ અંશતઃ ધનભારિત થશે. આ ધનવીજભારના વિતરણને કારણે કાર્બોકેટાયનની સ્થાયીતા વધશે.

દા.ત.,



મિથાઇલ કેટાયન 1^0 (પ્રાથમિક) કાર્બોકેટાયન 2^0 (દ્વિતીયક) કાર્બોકેટાયન 3^0 (તૃતીયક) કાર્બોકેટાયન

તૃતીયક કાર્બોકેટાયન સૌથી વધુ સ્થાયીતા ધરાવે છે, કારણ કે તેની સાથે ત્રણ આલ્કાઇલ સમૂહ જોડાયેલ છે, જ્યારે દ્વિતીયક કાર્બોકેટાયન સાથે બે આલ્કાઇલ સમૂહ જોડાયેલા છે. તે પ્રાથમિક કાર્બોકેટાયન કરતાં વધારે સ્થાયીતા ધરાવે છે. એવો કાર્બોકેટાયન કે જેની સાથે એક પણ આલ્કાઇલ સમૂહ જોડાયેલા નથી તેની સ્થાયીતા સૌથી ઓછી છે.

આમ, કાર્બોકેટાયનની સ્થાયીતાનો ક્રમ નીચે પ્રમાણે દર્શાવી શકાય છે :

$3^0\ C^{\oplus} > 2^0\ C^{\oplus} > 1^0\ C^{\oplus} > C^{\oplus}H_3$ અથવા

તૃતીયક $C^{\oplus}$ > દ્વિતીયક $C^{\oplus}$ > પ્રાથમિક $C^{\oplus}$ > $C^{\oplus}H_3$. પ્રક્રિયાવેગનો આધાર મળતા કાર્બોકેટાયનની સ્થાયીતા પર રહેલો છે.

ઇલેક્ટ્રૉનની ઊણપ ધરાવતા કાર્બોકેટાયન કાર્બન સાથે ઇલેક્ટ્રૉન આકર્ષિત પરમાણુ અથવા સમૂહ જોડાયેલ હોય, તો કાર્બોકેટાયનની સ્થાયીતા ઘટે છે.

કાર્બોકેટાયનની સ્થાયીતા નક્કી કરવા માટે સસ્પંદન પણ એક મહત્ત્વનું પરિબળ છે. જો ઇલેક્ટ્રૉનયુગ્મની ઊણપ ધરાવતો કાર્બન અસંતૃપ્ત પ્રણાલી સાથે જોડાયેલો હોય, તો તેનું સસ્પંદન બંધારણ દોરી શકાય છે. જેમાં ધનવીજભાર આખા અણુ પર વિસ્થાનીકૃત થાય છે.

સાદા આલ્કાઇલ સમૂહ કરતાં કાર્બોકેટાયન કે જેમાં સસ્પંદન બંધારણ શક્ય છે તેવા કાર્બોકેટાયનની સ્થાયીતા વધુ હોય છે, જે નીચેના ઉદાહરણ વડે સ્પષ્ટ કરી શકાય છે :

(2) વિલોપન-પ્રક્રિયાઓ (Elimination Reactions) : β–કાર્બન પર હાઇડ્રોજન ધરાવતા હેલોઆલ્કેનની પોટેશિયમ હાઇડ્રૉક્સાઇડના ઇથેનોલિક દ્રાવણ સાથેની પ્રક્રિયાથી આલ્કીન બને છે. હેલોઆલ્કેનના α-પરમાણુ પરનો હેલોજન અને β–કાર્બન પરમાણુ પરનો હાઇડ્રોજન મુક્ત થઈ α અને β–કાર્બન પરમાણુ વચ્ચે દ્વિબંધ રચાવાથી આલ્કીન સંયોજન બને છે. આ પ્રક્રિયાને β–વિલોપન-પ્રક્રિયા કહે છે. આ પ્રક્રિયાને ડિહાઇડ્રોહેલોજીનેશન પણ કહે છે.

$$^{\beta}CH_3 - {}^{\alpha}CH_2 - Cl + KOH \xrightarrow{\text{ઇથેનોલ}} CH_2 = CH_2 + KCl + H_2O$$

ક્લોરોઇથેન ઇથીન

જ્યારે હેલોઆલ્કેનમાં એકથી વધુ β–હાઇડ્રોજન હોય ત્યારે એકથી વધુ આલ્કીન નીપજ સ્વરૂપે મળે છે. સામાન્ય રીતે આલ્કીનની એક નીપજનું પ્રમાણ વધુ હોય છે, જે મુખ્ય નીપજ તરીકે ઓળખાય છે અને બીજી નીપજનું પ્રમાણ ઓછું હોય છે.

1875માં રશિયન વૈજ્ઞાનિક એલેક્ઝાન્ડર ઝેઇત્સેવેએ (Alexander Zaitsev) (તેનો ઉચ્ચાર સેટઝેફ (Saytzeff) પણ થાય છે.) એક સૂત્ર આપ્યું. તેના પ્રમાણે "ડિહાઇડ્રોહેલોજીનેશન પ્રક્રિયામાં મળતી આલ્કીન નીપજ પૈકી જે આલ્કીન નીપજમાં દ્વિબંધ ધરાવતા કાર્બન વધુ સંખ્યામાં આલ્કાઇલ સમૂહ સાથે જોડાયેલા હોય તે નીપજ વધુ પ્રમાણમાં મળે છે."

દા.ત.,

$$CH_3-CH_2-\underset{\underset{Br}{|}}{CH}-CH_3 + KOH \xrightarrow[-H_2O,\ -KBr]{\text{ઇથેનોલ}} \begin{cases} CH_3-CH=CH-CH_3 \\ CH_3-CH_2-CH=CH_2 \end{cases}$$

2-બ્રોમોબ્યુટેન

બ્યુટ્-2-ઇન (વધુ પ્રમાણમાં)

બ્યુટ્-1-ઇન (ઓછા પ્રમાણમાં)

(3) ધાતુ સાથેની પ્રક્રિયા : હેલોઆલ્કેનની ધાતુઓ સાથેની પ્રક્રિયાથી કાર્બન અને ધાતુ વચ્ચે રાસાયણિક બંધની રચના થઈ મળતાં સંયોજનો કાર્બધાત્વિક (Organo-metallic) સંયોજનો તરીકે જાણીતા છે.

(a) ગ્રિગ્નાર્ડ (Grignard) પ્રક્રિયા : 1900માં વિક્ટર ગ્રિગ્નાર્ડ (Victor Grignard) કાર્બધાત્વિક સંયોજનોમાં એક અગત્યનું સંયોજન આલ્કાઇલ મેગ્નેશિયમ હેલાઇડ શોધ્યું. તે **ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક RMgX** તરીકે જાણીતું બન્યું. ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયકની હેલોઆલ્કેન સાથેની પ્રક્રિયાથી આલ્કેન મેળવી શકાય છે.

$$R-X+Mg \xrightarrow{\text{સૂકો ઈથર}} R-Mg-X$$

હેલોઆલ્કેન → આલ્કાઇલ મેગ્નેશિયમ હેલાઇડ (ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક)

$$R-Mg-X \xrightarrow[HX]{\text{જલીય}} R-H + MgX_2$$

ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક → આલ્કેન હાઇડ્રોકાર્બન + મેગ્નેશિયમ ડાયહેલાઇડ

$$CH_3-CH_2-Cl+Mg \xrightarrow{\text{સૂકો ઈથર}} CH_3-CH_2-Mg-Cl \xrightarrow[-MgCl_2]{\text{જલીય } HCl} CH_3-CH_3$$

ક્લોરોઇથેન → ઇથાઇલ મેગ્નેશિયમ ક્લોરાઇડ (ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક) → ઇથેન

$$CH_3-I+Mg \xrightarrow{\text{સૂકો ઈથર}} CH_3-Mg-I \xrightarrow[\text{જલીય એસિડ}]{\text{જળવિભાજન } H_2O} CH_4+Mg(OH)I$$

આયોડોમિથેન → મિથાઇલ મેગ્નેશિયમ આયોડાઇડ (ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક) → મિથેન

(b) વુર્ટ્ઝ-પ્રક્રિયા : હેલોઆલ્કેનની સૂકા ઈથરમાં સોડિયમ ધાતુ સાથેની પ્રક્રિયાથી મૂળ હેલોઆલ્કેનમાં રહેલા કાર્બન કરતા બમણા કાર્બન ધરાવતો આલ્કેન મળે છે. આ પ્રક્રિયાને **વુર્ટ્ઝ-પ્રક્રિયા** કહે છે.

$$2R-X+2Na \xrightarrow{\text{સૂકો ઈથર}} R-R+2NaX$$

દા.ત.,

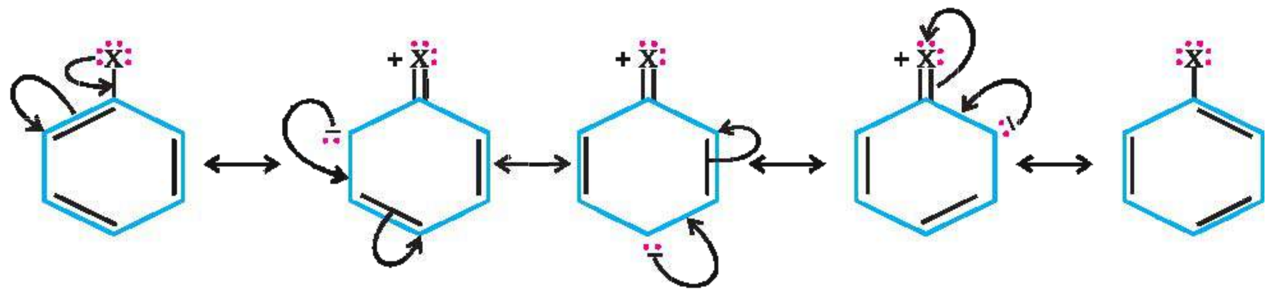
$$\underset{\text{ક્લોરોમિથેન}}{2CH_3Cl}+2Na \xrightarrow{\text{સૂકો ઈથર}} \underset{\text{ઇથેન}}{CH_3-CH_3}+2NaCl$$

$$\underset{\text{ક્લોરોઇથેન}}{2CH_3CH_2Cl}+2Na \xrightarrow{\text{સૂકો ઈથર}} \underset{\text{n-બ્યુટેન}}{CH_3CH_2CH_2CH_3}+2NaCl$$

6.8.2 હેલોએરીન સંયોજનોની પ્રક્રિયાઓ (Reactions of Haloarene Compounds) :

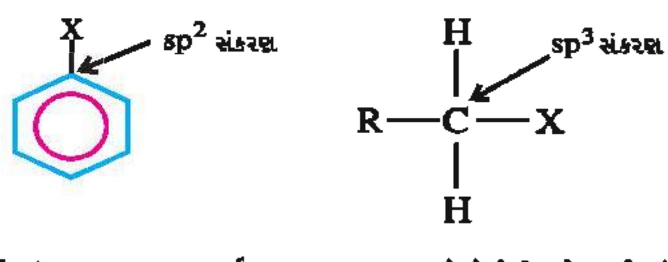
(1) કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયા : હેલોએરીન સંયોજનોમાં કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયાઓ હેલોઆલ્કેન જેટલી સરળ નથી. હેલોએરીન સંયોજનોમાં કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયા મુશ્કેલ હોવાનાં કારણો નીચે પ્રમાણે છે :

(i) સસ્પંદન અસર : હેલોએરીન સંયોજનોમાં હેલોજન પરમાણુ પર રહેલ ઇલેક્ટ્રૉનયુગ્મને કારણે હેલોકેટાયનની રચના થાય છે. આ કેટાયનના નીચે દર્શાવ્યા પ્રમાણે સસ્પંદનરૂપો શક્ય બને છે :



સસ્પંદન રૂપોના કારણે C–X બંધ ટૂંકો બને છે. પરિણામે હેલોઆલ્કેન કરતાં હેલોએરીનમાં કાર્બન-હેલોજન બંધની પ્રબળતા વધુ છે. તેથી હેલોએરીન સંયોજનોમાં કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયા માટે પ્રબળ પ્રક્રિયા પરિસ્થિતિની આવશ્યકતા રહે છે. દા.ત., ક્લોરોબેન્ઝિનમાં C–Cl બંધલંબાઈ 169 pm છે, જે ક્લોરોમિથેનની C–Cl બંધલંબાઈ 177 pm કરતાં ટૂંકી હોવાથી ક્લોરોબેન્ઝિનમાં કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ મુશ્કેલ છે.

(ii) C–X બંધમાં કાર્બન પરમાણુના સંકરણમાં તફાવત : હેલોએરીન સંયોજનોમાં હેલોજન સાથે જોડાયેલ કાર્બન પરમાણુ sp^2 સંકરણ ધરાવે છે. જ્યારે હેલોઆલ્કેનમાં હેલોજન સાથે જોડાયેલ કાર્બન sp^3 સંકરણ ધરાવે છે.

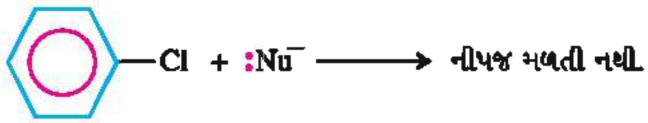


હેલોઆલ્કેનના sp^3 સંકરણ ધરાવતા કાર્બન પરમાણુ કરતા હેલોએરીનનો sp^2 સંકરણ ધરાવતો કાર્બન પરમાણુ વધુ વિદ્યુતઋણતા ધરાવતો હોવાથી C–X બંધના ઇલેક્ટ્રૉનયુગ્મને પોતાની તરફ ખેંચે છે. પરિણામે C–X બંધલંબાઈ (169 pm) ટૂંકી થાય છે. વધુ બંધલંબાઈ ધરાવતા હેલોઆલ્કેનના C–X બંધ કરતાં ટૂંકી બંધલંબાઈ ધરાવતા હેલોએરીનના C–X બંધને તોડવા વધુ ઊર્જાની જરૂર પડે છે. પરિણામે હેલોએરીન સંયોજનોની કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયા માટેની ક્રિયાશીલતા હેલોઆલ્કેન સંયોજનોની સરખામણીમાં ઓછી હોય છે.

(iii) અસ્થાયી ફિનાઈલ કેટાયન : હેલોએરીન સંયોજનોમાં ફિનાઈલ કેટાયન બનતો હોવાથી સામાન્ય પરિસ્થિતિમાં તેનું સ્વ-આયનીકરણ શક્ય બનતું નથી. ફિનાઈલ કેટાયનમાં સસ્પંદનરૂપો સ્વ-આયનીકરણ પ્રક્રિયાની સ્થાયીતા ઘટાડે છે. આથી હેલોએરીન સંયોજનોમાં SN^1 પ્રક્રિયા શક્ય બનતી નથી.

$$CH_3 - Cl + :Nu^- \longrightarrow CH_3 - Nu + :Cl^-$$

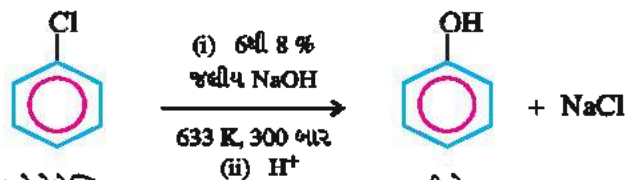
1 - ક્લોરોમિથેન



ક્લોરોબેન્ઝિન

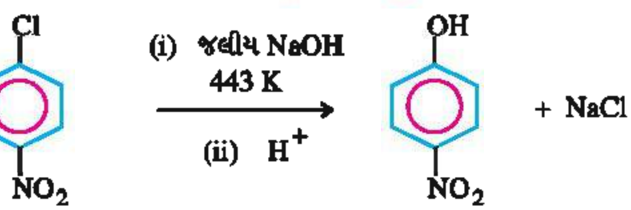
પ્રક્રિયાઓ : હેલોએરીનમાં પ્રબળ પ્રક્રિયા પરિસ્થિતિમાં થતી કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયાઓ નીચે પ્રમાણે છે :

(i) $:OH^-$ સમૂહ દ્વારા વિસ્થાપન : ક્લોરોબેન્ઝિનની 633 K તાપમાને અને 300 બાર દબાણે 6 થી 8 % જલીય NaOH સાથેની પ્રક્રિયાથી ફિનોલ બને છે. આ પદ્ધતિને **ડાઉ પદ્ધતિ** કહે છે.

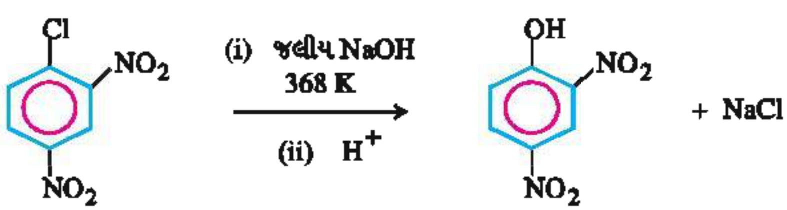


ક્લોરોબેન્ઝિન ફીનોલ

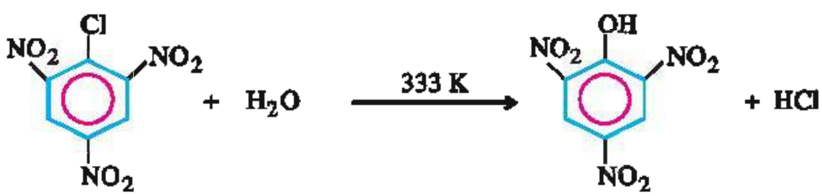
(ii) $:OH^-$ સમૂહ દ્વારા ઇલેક્ટ્રોન આકર્ષક સમૂહ ($-NO_2$)ની હાજરીમાં Cl પરમાણુનું વિસ્થાપન :



1-ક્લોરો-4-નાઇટ્રોબેન્ઝિન 4-નાઇટ્રો ફીનોલ (55 % નીપજ)



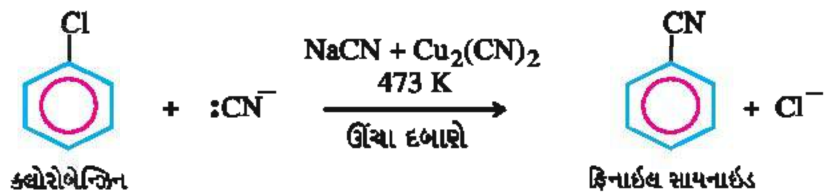
1-ક્લોરો-2, 4-ડાયનાઇટ્રોબેન્ઝિન 2, 4-ડાયનાઇટ્રોફીનોલ (76 % નીપજ)



1-ક્લોરો-2, 4, 6-ટ્રાયનાઇટ્રોબેન્ઝિન 2, 4, 6-ટ્રાયનાઇટ્રોફીનોલ (93 % નીપજ)

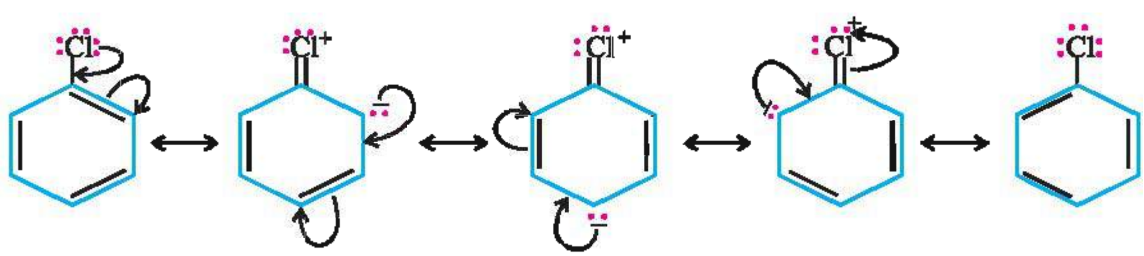
ક્લોરોબેન્ઝિન સાથે જોડાયેલા ઇલેક્ટ્રૉન આકર્ષક સમૂહ ($-NO_2$) જો ઑર્થો કે પેરા સ્થાને હોય તો પ્રબળ પ્રક્રિયા પરિસ્થિતિમાં 443 K જેટલા ઊંચા તાપમાને ક્લોરાઇડ (Cl^-)નું વિસ્થાપન ($:OH^-$) સમૂહ દ્વારા થાય છે અને 55 % જેટલી નીપજ મળે છે. જો ક્લોરોબેન્ઝિન સાથે જોડાયેલા ઇલેક્ટ્રૉન આકર્ષક સમૂહ ($-NO_2$) ઑર્થો અને પેરા એમ બે સ્થાને હોય તો પ્રબળ પ્રક્રિયા પરિસ્થિતિમાં 368 K જેટલા ઊંચા તાપમાને ક્લોરાઇડ (Cl^-)નું વિસ્થાપન ($:OH^-$) સમૂહ દ્વારા થાય છે અને 76 % જેટલી નીપજ મળે છે. પણ જ્યારે ક્લોરોબેન્ઝિન સાથે જોડાયેલ ઇલેક્ટ્રૉન આકર્ષક સમૂહ ($-NO_2$) બે ઑર્થો અને એક પેરા એમ ત્રણેય સ્થાને હોય તો 333 K તાપમાને તેને ગરમ કરતાં સરળતાથી ક્લોરાઇડ (Cl^-)નું વિસ્થાપન ($:OH^-$) સમૂહ દ્વારા થાય છે અને 93 % જેટલી 2, 4, 6 ટ્રાયનાઇટ્રો ફીનોલ (TNP) નીપજ મળે છે.

(iii) $:CN^-$ સમૂહ દ્વારા વિસ્થાપન : ક્લોરોબેન્ઝિનની 473 K તાપમાને અને ઊંચા દબાણે $Cu_2(CN)_2$ની હાજરીમાં NaCN સાથેની પ્રક્રિયાથી ફિનાઇલ સાયનાઇડ બને છે.



(2) ઇલેક્ટ્રૉન અનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયાઓ : હેલોએરીન સંયોજનોમાં હેલોજન ઑર્થો-પેરા સ્થાન-નિર્દેશક અસર કરનાર સમૂહ હોવા છતાં બેન્ઝિન કેન્દ્રની ક્રિયાશીલતામાં ઘટાડો કરે છે. આથી હેલોજન સમૂહો બીજા ઑર્થો-પેરા નિર્દેશકો કરતાં જુદા પડે છે.

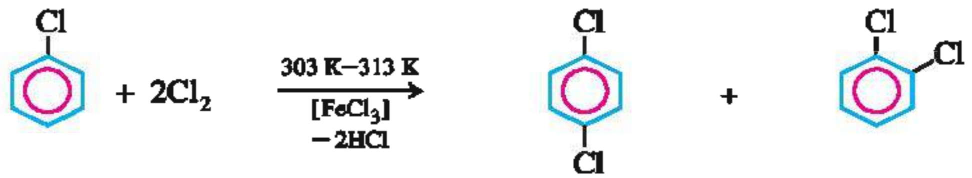
ક્લોરોબેન્ઝિનમાં વિદ્યુતઋણીય ક્લોરિન સમૂહને લીધે ઋણપ્રેરક (–I) અસર (Negative inductive effect) ઉત્પન્ન થાય છે. ક્લોરિન પર રહેલા અબંધકારક ઇલેક્ટ્રૉનયુગ્મોને કારણે સસ્પંદનરૂપોની શક્યતા વધે છે, જે નીચેની રચનાઓ પરથી જોઈ શકાય છે :



સસ્પંદનના કારણે મેટા સ્થાન કરતાં ઑર્થો અને પેરા સ્થાનની ઇલેક્ટ્રૉન ઘનતા વધે છે. ક્લોરિન તેની ઋણપ્રેરક અસર (–I)ના કારણે ફિનાઇલ કેન્દ્રમાંથી ઇલેક્ટ્રૉન આકર્ષે છે. પરિણામ સ્વરૂપે ઋણપ્રેરક અસર (–I) (Negative inductive effect) સસ્પંદન કરતાં વધી જાય છે, જેને લીધે બેન્ઝિનચક્ર નિષ્ક્રિય બનવા પ્રયાસ કરે છે. તેથી ક્લોરોબેન્ઝિન જેવા હેલોએરીન સંયોજનોમાં ઇલેક્ટ્રૉન અનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયાઓ ધીમી હોય છે. બેન્ઝિનની સાપેક્ષમાં ક્લોરોબેન્ઝિનમાં આ પ્રક્રિયાઓ માટે પ્રબળ પ્રક્રિયા પરિસ્થિતિ જરૂરી બને છે.

ક્લોરોબેન્ઝિનમાં જોવા મળતી કેટલીક ઇલેક્ટ્રૉન અનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયાઓ જેવી કે હેલોજીનેશન, નાઇટ્રેશન, સલ્ફોનેશન અને ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ પ્રક્રિયાઓ નીચે દર્શાવેલ છે :

(a) ક્લોરિનેશન :

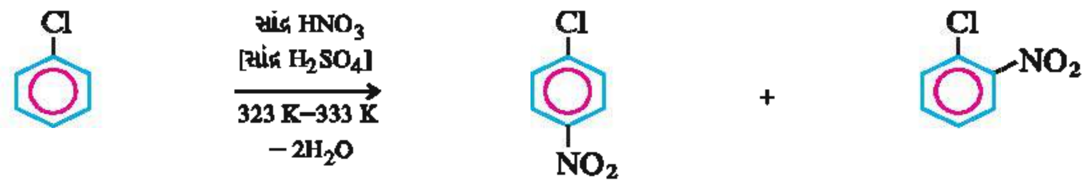


ક્લોરોબેન્ઝિન

1, 4-ડાયક્લોરોબેન્ઝિન (p-ડાયક્લોરોબેન્ઝિન)

1, 2-ડાયક્લોરોબેન્ઝિન (o-ડાયક્લોરોબેન્ઝિન)

(b) નાઈટ્રેશન :

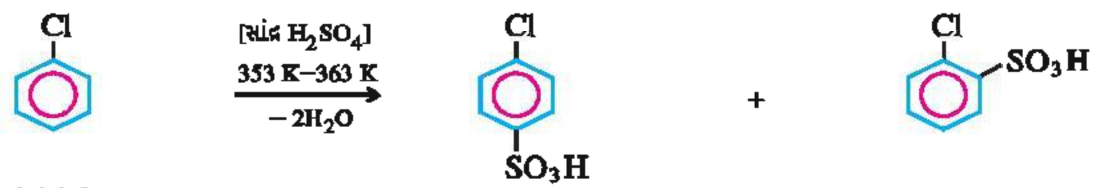


ક્લોરોબેન્ઝિન

1-ક્લોરો-4-નાઇટ્રોબેન્ઝિન (p-ક્લોરોનાઇટ્રોબેન્ઝિન)

1-ક્લોરો-2-નાઇટ્રોબેન્ઝિન (o-ક્લોરોનાઇટ્રોબેન્ઝિન)

(c) સલ્ફોનેશન :

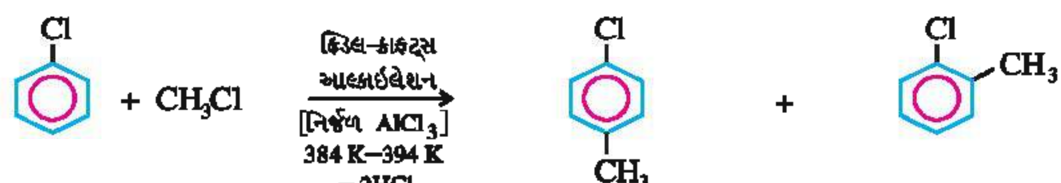


ક્લોરોબેન્ઝિન

4-ક્લોરોબેન્ઝિન સલ્ફોનિક ઍસિડ (p-ક્લોરોબેન્ઝિન સલ્ફોનિક ઍસિડ)

2-ક્લોરોબેન્ઝિન સલ્ફોનિક ઍસિડ (o-ક્લોરોબેન્ઝિન સલ્ફોનિક ઍસિડ)

(d) ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ આલ્કાઈલેશન :

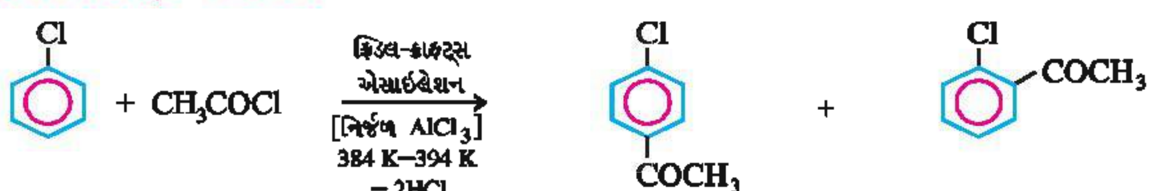


ક્લોરોબેન્ઝિન

1-ક્લોરો-4-મિથાઈલબેન્ઝિન (p-ક્લોરોટોલ્યુઇન)

1-ક્લોરો-2-મિથાઈલબેન્ઝિન (o-ક્લોરોટોલ્યુઇન)

(e) ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ એસાઈલેશન :



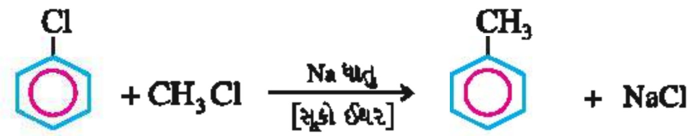
ક્લોરોબેન્ઝિન

1-(4-ક્લોરો ફિનાઇલ) ઇથેન્-1-ઓન (p-ક્લોરોએસિટોફિનોન)

1-(2-ક્લોરો ફિનાઇલ) ઇથેન્-1-ઓન (o-ક્લોરોએસિટોફિનોન)

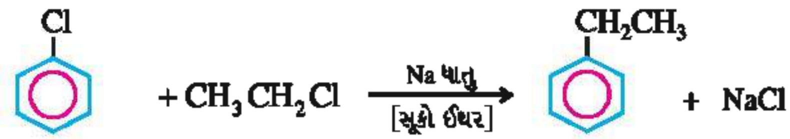
(3) ધાતુ સાથેની પ્રક્રિયા (Reaction with metal) :

(i) વુર્ટ્ઝ-ફિટિગ-પ્રક્રિયા : ક્લોરોબેન્ઝિન અને મિથાઇલ ક્લોરાઇડના મિશ્રણની સૂકા ઈથરમાં સોડિયમ ધાતુ સાથેની પ્રક્રિયાથી ટોલ્યુઇન મળે છે. આ પ્રક્રિયાને વુર્ટ્ઝ-ફિટિગ-પ્રક્રિયા કહે છે.



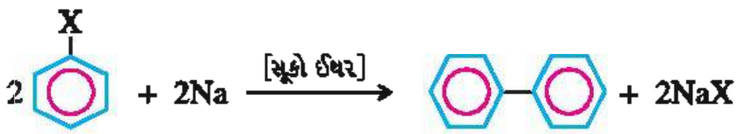
ક્લોરોબેન્ઝિન ટોલ્યુઇન

તે જ પ્રમાણે ક્લોરોબેન્ઝિનની ઇથાઇલ ક્લોરાઇડ સાથેની પ્રક્રિયાથી ઇથાઇલ બેન્ઝિન મળે છે.



ક્લોરોબેન્ઝિન 1- ક્લોરોઇથેન (ઇથાઇલ ક્લોરાઇડ) ઇથાઇલ બેન્ઝિન

(ii) ફિટિગ પ્રક્રિયા : એરાઇલ હેલાઇડની સૂકા ઈથરમાં સોડિયમ ધાતુ સાથેની પ્રક્રિયાથી બે એરાઇલ સમૂહ જોડાઈ નીપજ આપે છે. આ પ્રક્રિયાને ફિટિગ-પ્રક્રિયા કહે છે.



હેલોબેન્ઝિન ડાયફિનાઇલ

6.9 પોલીહેલોજન સંયોજનો (Polyhalogen Compounds)

(1) ડાયક્લોરોમિથેન – CH_2Cl_2 (મિથિલીન ક્લોરાઇડ) :

બનાવટ :

(i) ક્લોરોફૉર્મ ($CHCl_3$)નું રિડક્શન Zn + HClની હાજરીમાં કરવાથી ડાયક્લોરોમિથેન બને છે.

$$CHCl_3 + 2[H] \xrightarrow{Zn + HCl} CH_2Cl_2 + HCl$$

ડાયક્લોરોમિથેન (મિથિલીન ક્લોરાઇડ)

(ii) હાલમાં મિથેનના ક્લોરિનેશનથી ડાયક્લોરોમિથેન બનાવવામાં આવે છે.

$$\underset{\text{મિથેન}}{CH_4} \xrightarrow[Cl_2 \;\; -HCl]{\text{ક્લોરિનેશન } h\nu} \underset{\text{ક્લોરોમિથેન}}{CH_3Cl} \xrightarrow[Cl_2 \;\; -HCl]{\text{ક્લોરિનેશન } h\nu} \underset{\text{ડાયક્લોરોમિથેન}}{CH_2Cl_2}$$

(iii) ક્લોરોફોર્મના રિડક્શનથી પણ ડાયક્લોરોમિથેન મળે છે.

$$\underset{\text{મિથેન}}{CHCl_3} \xrightarrow[\text{[Ni]}]{\text{રિડક્શન } H_2} \underset{\text{ડાયક્લોરોમિથેન}}{CH_2Cl_2} + HCl$$

ગુણધર્મો અને ઉપયોગો :

- ડાયક્લોરોમિથેન રંગવિહીન પ્રવાહી છે.
- તેનું ઉત્કલનબિંદુ 313 K છે.
- તે ઉદ્યોગોમાં દ્રાવક તરીકે ઉપયોગી છે. મોટા ભાગે રંગ દૂર કરવા વપરાતા રસાયણના ઉત્પાદનમાં દ્રાવક તરીકે વપરાય છે. તે માણસના ચેતાતંત્ર માટે નુકસાનકર્તા છે. ડાયક્લોરોમિથેન આંખના સીધા સંપર્કમાં આવે, તો પારદર્શકપટલ (cornea)ને નુકસાન કરે છે.
- આ ઉપરાંત ચામડીના સીધા સંપર્કમાં આવે તો લાલ ચકામા થઈ જાય છે.

(2) ટ્રાયક્લોરોમિથેન $CHCl_3$ (ક્લોરોફોર્મ) :

બનાવટ :

(i) ઈથેનોલની બ્લીચિંગ પાઉડરની હાજરીમાં ડાયક્લોરિન વાયુ સાથેની પ્રક્રિયાથી ક્લોરોફોર્મ મેળવવામાં આવે છે.

$$\underset{\text{ઈથેનોલ}}{CH_3CH_2OH} + Cl_2 \xrightarrow[\substack{\text{બ્લીચિંગ પાઉડર} \\ -2HCl}]{[O]} \underset{\substack{\text{ઈથેનાલ} \\ \text{(એસિટાલ્ડિહાઇડ)}}}{CH_3CHO} \xrightarrow[\substack{\text{બ્લીચિંગ પાઉડર} \\ -2HCl}]{3Cl_2} \underset{\text{ક્લોરલ}}{CCl_3CHO}$$

$$\underset{\text{ક્લોરલ}}{2CCl_3CHO} + \underset{\substack{\text{કૅલ્શિયમ} \\ \text{હાઇડ્રોક્સાઇડ}}}{Ca(OH)_2} \longrightarrow \underset{\substack{\text{ટ્રાયક્લોરોમિથેન} \\ \text{(ક્લોરોફોર્મ)}}}{2CHCl_3} + \underset{\text{કૅલ્શિયમ ફૉર્મેટ}}{(HCOO)_2Ca}$$

(ii) આયર્નની હાજરીમાં પાણીની મદદથી કાર્બનટેટ્રાક્લોરાઇડના અપૂર્ણ રિડક્શનથી ક્લોરોફોર્મ બને છે.

$$\underset{\substack{\text{ટેટ્રાક્લોરોમિથેન} \\ \text{(કાર્બનટેટ્રાક્લોરાઇડ)}}}{CCl_4} + H_2 \xrightarrow[H_2O]{[Fe]} \underset{\substack{\text{ટ્રાયક્લોરોમિથેન} \\ \text{(ક્લોરોફોર્મ)}}}{CHCl_3} + HCl$$

(iii) ક્લોરલહાઇડ્રેટની સાંદ્ર આલ્કલી સાથેની પ્રક્રિયાથી શુદ્ધ ક્લોરોફોર્મ બને છે.

$$\underset{\text{ક્લોરલ હાઇડ્રેટ}}{CCl_3CH(OH)_2} + \underset{\substack{\text{સાંદ્ર સોડિયમ} \\ \text{હાઇડ્રોક્સાઇડ}}}{NaOH} \longrightarrow \underset{\text{ક્લોરોફોર્મ}}{CHCl_3} + \underset{\text{સોડિયમ ફૉર્મેટ}}{HCOONa} + H_2O$$

ગુણધર્મો અને ઉપયોગો :

- ક્લોરોફોર્મ રંગવિહીન પ્રવાહી છે.
- તેનું ઉત્કલનબિંદુ 334 K છે.

- તેની બાષ્પ દહનશીલ છે.
- તે મીઠી વાસ ધરાવે છે.
- તે આલ્કોહૉલ અને ઈથરમાં દ્રાવ્ય છે.
- હવામાં ખુલ્લો રાખતાં ઑક્સિડેશન થઈ ઝેરી પદાર્થ કાર્બોનાઈલ ક્લોરાઇડ ($COCl_2$) બને છે, જે ફોસ્જિન તરીકે ઓળખાય છે.
- નિશ્ચેતક તરીકે વપરાતો ક્લોરોફૉર્મ ફોસ્જિનમાં રૂપાંતરિત ન થાય તે માટે તેમાં આલ્કોહૉલ ઉમેરવામાં આવે છે.
- ક્લોરોફૉર્મનો ઉપયોગ દ્રાવક તરીકે થાય છે. આ ઉપરાંત ઑપરેશન દરમિયાન દર્દીને બેભાન કરવા નિશ્ચેતક તરીકે થાય છે.

(3) ટેટ્રાક્લોરોમિથેન (કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઇડ)-CCl_4 :

(i) નિર્જળ $AlCl_3$ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં કાર્બન ડાયસલ્ફાઇડની ડાયક્લોરિન વાયુ સાથેની પ્રક્રિયાથી ટેટ્રાક્લોરો મિથેન બને છે.

$$\underset{\text{કાર્બન ડાયસલ્ફાઇડ}}{CS_2} + 3Cl_2 \xrightarrow{[\text{નિર્જળ } AlCl_3]} \underset{\substack{\text{ટેટ્રાક્લોરોમિથેન} \\ \text{(કાર્બન ટેટ્રાક્લોરાઇડ)}}}{CCl_4} + \underset{\substack{\text{સલ્ફર} \\ \text{ડાયક્લોરાઇડ}}}{S_2Cl_2}$$

(ii) મિથેનના ક્લોરિનેશનથી ટેટ્રાક્લોરો મિથેન બને છે.

$$CH_4 + 4Cl_2 \xrightarrow{h\nu} \underset{\text{ટેટ્રાક્લોરોમિથેન}}{CCl_4} + 4HCl$$

ગુણધર્મો અને ઉપયોગો :

- કાર્બનટેટ્રાક્લોરાઇડ રંગવિહીન, સુગંધીદાર પાણી કરતાં ભારે પ્રવાહી છે.
- તે પાણીમાં અદ્રાવ્ય છે, પરંતુ ઈથેનોલ અને ઈથરમાં દ્રાવ્ય છે.
- તેનું ઉત્કલનબિંદુ 350 K છે.
- તેની બાષ્પ ન સળગે તેવી હોવાથી તેલ, ચરબી અને પેટ્રોલ જેવા પદાર્થોમાં લાગેલી આગને બુઝાવવા માટે પાયરીનના નામે CCl_4નો ઉપયોગ થાય છે.

ઊંચા તાપમાને (લગભગ 773 K) પણ સ્થાયી છે. જ્યારે ઊંચા તાપમાને પાણી સાથે સંપર્કમાં આવતાં ઝેરી પદાર્થ ફોસ્જિન બને છે. તેથી આગ બુઝાવતી વખતે કાળજી રાખવી પડે છે. ઉદ્યોગોમાં દ્રાવક તરીકે તથા ડ્રાયક્લીનિંગમાં ઉપયોગી છે.

(4) ટ્રાયઆયોડોમિથેન : CHI_3 (આયોડોફોર્મ) :

બનાવટ : CH_3CHOH- ધરાવતા આલ્કોહૉલ અથવા એસિટોનની સોડિયમ કાર્બોનેટ અથવા મંદ NaOHના દ્રાવણની સાથે આયોડિનના દ્રાવણની પ્રક્રિયાથી આયોડોફોર્મ બને છે.

$$CH_3CH_2OH + 3Na_2CO_3 + 4I_2 \rightarrow \underset{\substack{\text{ટ્રાયઆયોડોમિથેન} \\ \text{(આયોડોફોર્મ)}}}{CHI_3} + 5NaI + HCOONa + 3CO_2 + 2H_2O$$

$$\underset{\text{ટ્રાયઆયોડોમિથેન (આયોડોફોર્મ)}}{CH_3COCH_3 + 4NaOH + 3I_2 \longrightarrow CHI_3} + 3NaI + \underset{\text{સોડિયમ એસિટેટ}}{CH_3COONa} + 3H_2O$$

ગુણધર્મો અને ઉપયોગો :

- આયોડોફોર્મ આછા પીળા રંગનો સ્ફટિકમય, વાસ ધરાવતો પદાર્થ છે.
- તેનું ગલનબિંદુ 392 K છે. તે પાણીમાં અદ્રાવ્ય છે. પરંતુ કાર્બનિક દ્રાવકો જેવા કે ઇથેનોલ, ઈથર વગેરેમાં દ્રાવ્ય છે.
- આયોડોફોર્મમાંથી આયોડિન છૂટું પડતું હોવાથી ચેપનાશક તરીકે તે દવામાં ઉપયોગી છે.

(5) ડાયક્લોરો ડાયફ્લોરોમિથેન (CCl_2F_2) ફ્રિઓન (ક્લોરોફ્લોરોકાર્બન) :

બનાવટ : એન્ટિમની પેન્ટાક્લોરાઇડની હાજરીમાં ઊંચા દબાણે કાર્બનટેટ્રાક્લોરાઇડ અને એન્ટિમની ટ્રાયફ્લોરાઇડ વચ્ચેની પ્રક્રિયાથી ક્લોરોફ્લોરોકાર્બન બને છે.

$$\underset{\text{કાર્બન ટેટ્રા-ક્લોરાઇડ}}{3CCl_4} + 2SbF_3 \xrightarrow[\text{ઊંચું દબાણ}]{SbCl_5} \underset{\text{ફ્રિઓન (CFC) ડાયક્લોરો ડાયફ્લોરોમિથેન}}{3CCl_2F_2} + 2SbCl_3$$

આ સંયોજનોની વિશાળ શ્રેણી છે. જેમાં CCl_2F_2ને ફ્રિઓન 12 તરીકે ઓળખવામાં આવે છે.

ગુણધર્મો અને ઉપયોગો :

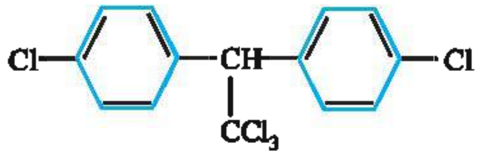
- ફ્રિઓન રંગવિહીન, વાસવિહીન વાયુ છે.
- તેનું ઉત્કલનબિંદુ 243 K છે.
- તેની અસરથી ધાતુને કાટ લાગતો નથી.

રેફ્રિજરેટર અને એરકંડિશનરમાં તેનો વધુ ઉપયોગ થાય છે. તેમાં CCl_2F_2 અને $C_2Cl_2F_4$ શ્રેણીના ફ્રિઓન વધુ વપરાય છે. સુગંધીદાર પદાર્થો કે જે જંતુનાશક પદાર્થો માટેના એરોસોલ મિશ્રણમાં તેનો ઉપયોગ થાય છે. જેમાં ફ્રિઓન-22, $CClF_3$, CCl_2F_2, CCl_3F વગેરે પણ ઉપયોગી છે.

CFC ઓઝોનના આવરણને નુકસાનકર્તા પુરવાર થયેલ છે.

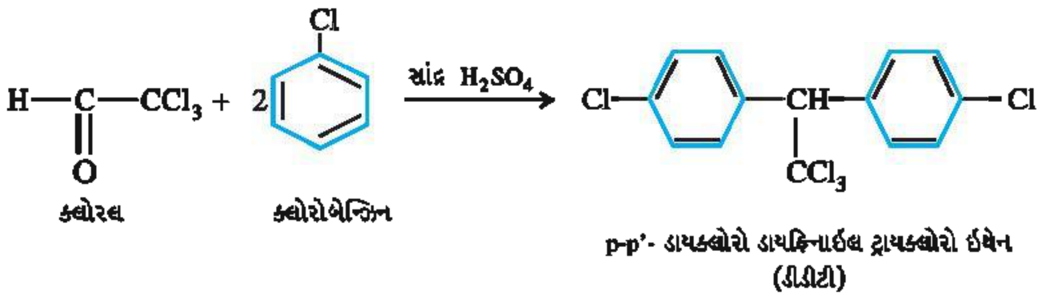
(6) p-p' ડાયક્લોરો ડાયફિનાઈલટ્રાયક્લોરો ઈથેન (DDT) :

બંધારણીય સૂત્ર :



p-p'- ડાયક્લોરો ડાયફિનાઈલ ટ્રાયક્લોરોઈથેન (DDT)

બનાવટ : ક્લોરલ અને ક્લોરોબેન્ઝિનની સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક ઍસિડની હાજરીમાં પ્રક્રિયા કરતાં ડીડીટી બને છે.



ગુણધર્મો અને ઉપયોગો :

- ડીડીટી સફેદ ઘન પદાર્થ છે.
- તેમાંથી ક્લોરિનની તીવ્ર વાસ આવે છે અને તેનાથી આંખો બળે છે. તે શરીરમાં પ્રવેશે તો કેન્સર થવાની શક્યતા રહે છે.
- તે ઘરગથ્થું જંતુનાશક તરીકે ઉપયોગી છે.

સારાંશ

હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનોનું વર્ગીકરણ તેમની સાથે જોડાયેલ એક, બે, ત્રણ કે તેથી વધુ હેલોજન પરમાણુના આધારે અનુક્રમે મોનો, ડાય, ટ્રાય અને પોલિસ્વરૂપે થાય છે. હેલોજન ક્રિયાશીલ સમૂહ, જે કાર્બન સાથે જોડાયેલ હોય તેની લાક્ષણિકતા પ્રમાણે પ્રાથમિક, દ્વિતીયક, તૃતીયક હેલાઇડ સ્વરૂપે વર્ગીકૃત કરવામાં આવે છે. આ ઉપરાંત હેલોસંયોજનોનું વર્ગીકરણ હેલોજન ધરાવતા કાર્બન sp^3 કે sp^2 સંકરણ ધરાવે તે પ્રમાણે આલ્કાઇલ, એલાઈલિક, બેન્ઝાઈલિક, વિનાઇલ અને એરાઇલ હેલાઇડ સ્વરૂપે કરવામાં આવે છે.

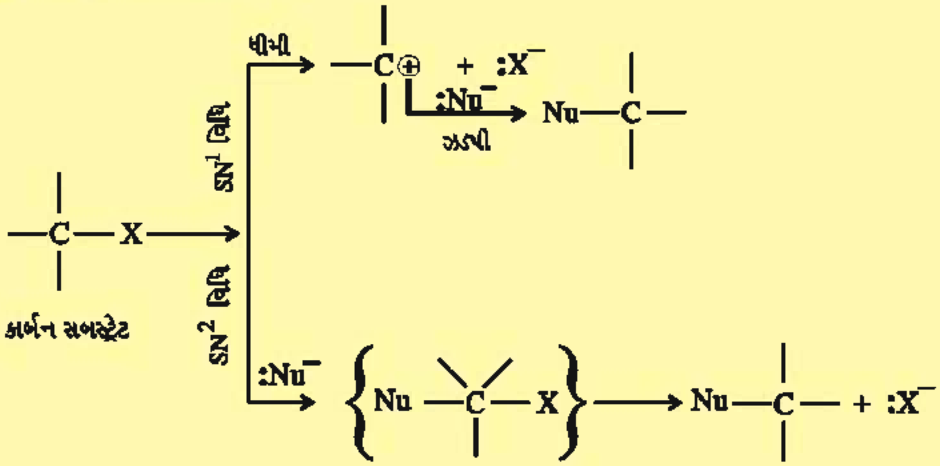
આલ્કાઇલ હેલાઇડ કે એરાઇલ હેલાઇડના IUPAC નામકરણ માટે હેલો પૂર્વગનો ઉપયોગ થાય છે. જેમ કે, F, Cl, Br, I માટે અનુક્રમે ફ્લોરો, ક્લોરો, બ્રોમો, આયોડો વગેરે.

આ સંયોજનોમાં કાર્બનની વિદ્યુતઋણતા કરતાં હેલોજનની વિદ્યુતઋણતા વધુ હોવાના કારણે $C^{\delta+}-X^{\delta-}$ બંધ ધ્રુવીય બને છે અને કાર્બન પર આંશિક ધનવીજભાર અને હેલોજન પર આંશિક ઋણવીજભાર ઉત્પન્ન થાય છે.

હેલોઆલ્કેન સંયોજનોની બનાવટ આલ્કોહોલમાંથી હાઇડ્રોક્સિલ –OH સમૂહનું વિસ્થાપન હેલોજન –X દ્વારા થઈ શકે છે. તે જ પ્રમાણે હાઇડ્રોકાર્બનમાંથી હેલોજીનેશનથી, ચક્રીય હાઇડ્રોકાર્બનમાં ઇલેક્ટ્રૉન અનુરાગી વિસ્થાપન દ્વારા, આલ્કીનમાં યોગશીલ પ્રક્રિયા દ્વારા, હેલોજન વિનિમય દ્વારા પણ આલ્કાઇલ હેલાઇડ કે એરાઇલ-હેલાઇડ સંયોજનો બનાવી શકાય છે.

હેલોકાર્બન સંયોજનોમાં $C^{\delta+}-X^{\delta-}$ ધ્રુવીય બંધ હોવાથી અને આંતરઆણ્વિય આકર્ષણબળો વધુ હોવાથી તેના અનુવર્તી હાઇડ્રોકાર્બન કરતાં હેલોકાર્બનના ઉત્કલનબિંદુ ઊંચા જોવા મળે છે. હેલોઆલ્કેન કરતાં હેલોએરીન સંયોજનોમાં C–X બંધલંબાઈ ટૂંકી હોવાથી ઉત્કલનબિંદુ ઊંચા હોય છે. હેલોકાર્બન સંયોજનો પાણીમાં અલ્પ દ્રાવ્ય છે, પરંતુ કાર્બનિક દ્રાવકોમાં દ્રાવ્ય થાય છે.

આલ્કાઈલ હેલાઈડમાં $C^{\delta+}-X^{\delta-}$ બંધની ધ્રુવીયતાને કારણે કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયકો ($:Nu^-$) અંશતઃ ધનભારિત કાર્બન પ્રત્યે આકર્ષાઈ કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયાઓ આપે છે. આ વિસ્થાપન-પ્રક્રિયાઓની ક્રિયાવિધિને બે SN^1 અને SN^2 સ્વરૂપે વર્ગીકૃત કરવામાં આવે છે.



રાસાયણિક ગતિકીના સિદ્ધાંત પ્રમાણે SN^1 પ્રથમ ક્રમની પ્રક્રિયા છે જ્યારે SN^2 દ્વિતીય ક્રમની પ્રક્રિયા છે. કાર્બોકેટાયનની સ્થિરતાનો આધાર ઇલેક્ટ્રોનદાતા સમૂહ, પ્રેરક અસર (I) અને સસ્પંદન પરિબળ પર રહેલો છે.

અવકાશ રસાયણની દૃષ્ટિએ હેલોકાર્બન સંયોજનોમાંથી ઉત્પન્ન થતા કિરાલ કાર્બનની પ્રકાશક્રિયાશીલ સમઘટકતાના કારણે રેસેમિક મિશ્રણ નીપજ સ્વરૂપે મળે છે.

હેલોઆલ્કેન સંયોજનોની રાસાયણિક લાક્ષણિકતાના આધારે વિલોપન-પ્રક્રિયા, ધાતુ સાથેની ગ્રિગ્નાર્ડ-પ્રક્રિયા, વુર્ટ્ઝ-પ્રક્રિયા દ્વારા વિવિધ નીપજો મેળવી શકાય છે.

હેલોએરીન સંયોજનો દ્વારા થતી પ્રક્રિયાઓ જેવી કે કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયાઓમાં સસ્પંદન અસર, C–X બંધમાં સંકરણનો તફાવત, અસ્થાયી ફિનાઇલ કેટાયનની અસર દ્વારા વિવિધ નીપજો મેળવી શકાય છે.

હેલોએરીન સંયોજનો ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયાઓ આપે છે. આ ઉપરાંત પ્રબળ પ્રક્રિયા પરિસ્થિતિમાં કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયાઓ પણ આપે છે.

હેલોએરીનના ક્રિયાશીલ સમૂહ –Xનું વિસ્થાપન –OH સમૂહ દ્વારા કરી ફીનોલ મેળવી શકાય છે. તે જ રીતે –CN સમૂહ દ્વારા –Xનું વિસ્થાપન કરતાં એરાઇલ સાયનાઇડ મેળવી શકાય છે. હેલોએરીનના ફિનાઇલ કેન્દ્રમાં થતી ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન-પ્રક્રિયાઓ તેનાં સસ્પંદન રૂપોના કારણે વધુ સ્થાયી છે. આ પ્રક્રિયાઓમાં હેલોજીનેશન, નાઇટ્રેશન, સલ્ફોનેશન, ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ પ્રક્રિયાઓની ઑર્થો-પેરા નીપજો હેલોજન ક્રિયાશીલ સમૂહની ઑર્થો-પેરા નિર્દેશક અસર સમજાવે છે.

હેલોએરીન સોડિયમ ધાતુ સાથે વુર્ટ્ઝ, ફિટિગ જેવી વિવિધ પ્રક્રિયાઓ આપે છે.

કેટલાંક અગત્યના હેલોકાર્બન સંયોજનોમાં ડાયક્લોરોમિથેન (CH_2Cl_2), ટ્રાયક્લોરોમિથેન ($CHCl_3$), ક્લોરલ (CCl_3CHO), ટેટ્રાક્લોરોમિથેન (CCl_4), આયોડોફોર્મ (CHI_3), ફ્રિઓન, ડીડીટી વગેરેનો સમાવેશ થાય છે. આમાંના મોટા ભાગનાં સંયોજનોનું વિઘટન સરળતાથી થતું ન હોવાથી ઓઝોનના સ્તરને નુકસાનકર્તા હોવાથી તેઓ પર્યાવરણ માટે જોખમી પુરવાર થાય છે.

સ્વાધ્યાય

1. આપેલા વિકલ્પોમાંથી યોગ્ય વિકલ્પ પસંદ કરો :

(1) હેલોઆલ્કેનમાં કાર્બન અને હેલોજન વચ્ચે .... બંધ રચાય છે.

(A) આયનીય (B) વાન્ ડર વાલ્સ (C) સહસંયોજક (D) હાઈડ્રોજન

(2) હેલોએરીન સંયોજનોમાં હેલોજન ક્યા સંકરણ ધરાવતા કાર્બન સાથે જોડાય છે ?

(A) sp^2 (B) sp^3 (C) sp (D) dsp^2

(3) હેલોઆલ્કેનમાં C–X બંધમાં કાર્બન અંશતઃ ક્યો વીજભાર ધરાવે છે ?

(A) વીજભારરહિત (B) ઋણ (C) ધન (D) એનાયોનિક

(4) નીચેના પૈકી ક્યો બંધ સૌથી વધુ પ્રબળ હોય છે ?

(A) $>C-F$ (B) $>C-Cl$ (C) $>C-Br$ (D) $>C-I$

(5) નીચેના પૈકી ક્યો વિનાઈલ હેલાઈડ છે ?

(A) CH_2Cl_2 (B) $CH_2=CH-Cl$ (C) $CH\equiv C-Cl$ (D) $CH_2(Cl)-CH_2(Cl)$

(6) $R-OH + PX_5 \rightarrow R-X + B + HX$માં B શું છે ?

(A) $HPOX_3$ (B) H_3PO_3 (C) POX_3 (D) H_3PO_2

(7) બેન્ઝિનમાંથી બ્રોમિનેશન દ્વારા બ્રોમોબેન્ઝિનની બનાવટમાં ક્યો ઉદ્દીપક વપરાય છે ?

(A) $FeBr_3$ (B) HBr (C) $AlBr_3$ (D) Br_2

(8) $CH_3-Br + Ag-F \rightarrow CH_3F + AgBr$ પ્રક્રિયા ક્યા નામે ઓળખાય છે ?

(A) ગ્રિગ્નાર્ડ (B) વુર્ટ્ઝ (C) ફિટિગ (D) સ્વાર્ટ્ઝ

(9) કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયકો લુઈસના સિદ્ધાંત પ્રમાણે શું છે ?

(A) એસિડ (B) બેઈઝ (C) તટસ્થ અણુઓ (D) ધન આયનો

(10) કાર્બોકેટાયનની સ્થાપીતાનો આધાર નીચેનામાંથી ક્યા પરિબળ પર રહેલો છે ?

(A) સસ્પંદન (B) તાપમાન (C) સંક્રાંતિ અવસ્થા (D) પ્રક્રિયાવેગ

(11) પ્રકાશક્રિયાશીલ પદાર્થ કોને કહે છે ?

(A) ધ્રુવીભૂત પ્રકાશનું પરાવર્તન કરે તેને. (B) ધ્રુવીભૂત પ્રકાશના તલનું કોણાવર્તન કરે તેને.

(C) ધ્રુવીભૂત પ્રકાશનો વેગ વધારે તેને. (D) ધ્રુવીભૂત પ્રકાશનું શોષણ કરે તેને.

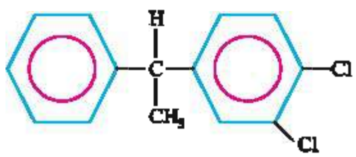
(12) અસમમિત કાર્બન સાથે જોડાયેલ Br, Cl, F તથા Hને અગ્રિમતાક્રમ આપી ગોઠવો.

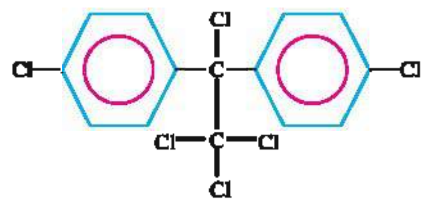
(A) H, Cl, Br, F (B) H, Cl, F, Br (C) Br, Cl, F, H (D) H, F, Br, Cl

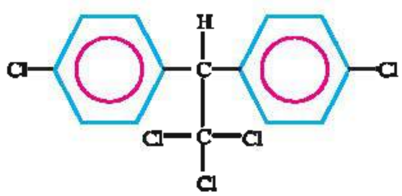
(13) $2C_6H_5–X + 2Na \xrightarrow{\text{સૂકો ઈથર}} A + 2NaX$ પ્રક્રિયામાં મળતી નીપજ A શું હશે ?

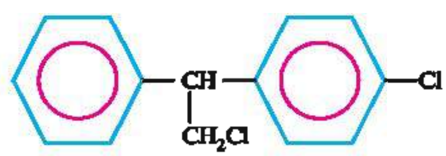
(A) C_6H_5Cl (B) $C_{12}H_{10}$ (C) $C_6H_5–C_6H_5$ (D) C_6H_5Na

(14) DDT નું બંધારણીય સૂત્ર કયું છે ?

(A) 

(B) 

(C) 

(D) 

(15) કયો પદાર્થ સળગી ઊઠે તેવો છે ?

(A) DDT (B) ફ્રિઓન (C) CHI_3 (D) $CHCl_3$

2. નીચેના પ્રશ્નોના ટૂંકમાં ઉત્તર લખો :

(1) નીચેનાં સંયોજનોના IUPAC નામ લખો :

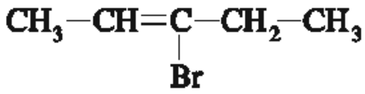
(i) $(CH_3)_2–CH–CH(Cl)–CH_3$ (ii) $CH_3–CH(CH_3)–CH(CH_3)–Cl$

(iii) $CH_3–C(C_2H_5)_2–CH_2–Cl$ (iv) $CH_3–C(ClC_2H_5)–CH_2–Br$

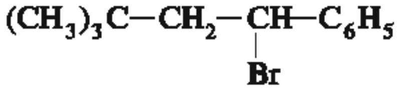
(v) $Cl–CH_2–C≡C–CH_2–Cl$

(2) નીચેનાં સંયોજનોને આલ્કાઇલ, એલાઇલિક, બેન્ઝાઇલિક, વિનાઇલ અથવા એરાઇલ હેલાઇડ સ્વરૂપે વર્ગીકૃત કરો :

(i) $C_6H_5CH_2Br$ (ii) $CH_3–CH=CH–Cl$

(iii) 

(iv) $CH_3-CH_2-CH_2-Br$

(v) 

(3) નીચેનાનાં બંધારણીય સૂત્ર લખો :

(i) 2-બ્રોમો-3-મિથાઇલ પેન્ટેન

(ii) 1-ક્લોરો-4-મિથાઇલ સાયક્લોહેક્ઝેન

(iii) 1,4-ડાયક્લોરો બ્યુટ્-2-ઇન

(iv) 1-ક્લોરો-4-દ્વિતીયક બ્યુટાઇલ-2-મિથાઇલ બેન્ઝિન

(4) 1^0, 2^0, 3^0 હેલોઆલ્કેનનાં ઉદાહરણ આપો.

(5) હેલોઆલ્કેનમાં C–X બંધની ધ્રુવીયતાનું કારણ આપો.

(6) 1^0, 2^0, 3^0 બેન્ઝાઇલ હેલાઇડનાં ઉદાહરણ આપો.

(7) કિરાલિટી એટલે શું ?

(8) હેલોઆલ્કેનમાં આલ્કેન કરતાં આંતરઆણ્વિય આકર્ષણબળ વધુ હોય છે ? શા માટે ?

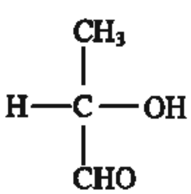
(9) SN^1 પ્રક્રિયા કોને કહેવાય ?

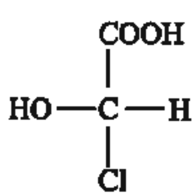
(10) SN^2 પ્રક્રિયાને દ્વિઆણ્વિય વિસ્થાપન-પ્રક્રિયા શા માટે કહે છે ?

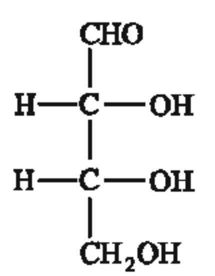
(11) ક્લોરોફૉર્મને હવામાં ખુલ્લો રાખતાં કયો ઝેરી પદાર્થ બને છે ?

(12) કાર્બોકેટાયનની સ્થાયિતા કયા પરિબળ પર આધારિત છે ?

(13) નીચેનાં સંયોજનોના D અથવા L વિન્યાસ જણાવો :

(1) 

(2) 

(3) 

3. નીચેના પ્રશ્નોના ઉત્તર લખો :

(1) હેલોજન પરમાણુની સંખ્યાના આધારે હેલોઆલ્કેનનું વર્ગીકરણ યોગ્ય ઉદાહરણ દ્વારા દર્શાવો.

(2) આલ્કોહોલમાંથી હેલોઆલ્કેનની બનાવટ-પ્રક્રિયા સમીકરણ આપી સમજાવો.

(3) એલેક્ઝાન્ડર ઝેઇત્સેવની ફોર્મ્યુલા યોગ્ય ઉદાહરણ દ્વારા વર્ણવો.

(4) હેલોએરીનમાં OH^- સમૂહ દ્વારા વિસ્થાપન-પ્રક્રિયાના માત્ર સમીકરણ આપો.

(5) મિથીલીન ક્લોરાઇડની બનાવટ લખો.

(6) ડાયક્લોરોમિથેનના ગુણધર્મો જણાવો.

(7) 2, 3 ડાયબ્રોમોબ્યુટેન પ્રકાશક્રિયાશીલ છે ?

(8) SN^1 અને SN^2 પ્રક્રિયામાં પ્રક્રિયાવેગ પર અસર કરતાં પરિબળો સમજાવો.

(9) ક્લોરોફોર્મના ભૌતિક ગુણધર્મો અને ઉપયોગો લખો.

(10) હેલોએરીનની કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયામાં સસ્પંદન અસર પર નોંધ લખો.

4. નીચેના પ્રશ્નોના વિગતવાર ઉત્તર લખો :

(1) હેલોજન પરમાણુની સંખ્યાના આધારે હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનોનું વર્ગીકરણ સમજાવો.

(2) C–X બંધ વિશે નોંધ લખો.

(3) હેલોઆલ્કેનમાં β–વિલોપન પ્રક્રિયા પર નોંધ લખો.

(4) નીચેની ઇલેક્ટ્રૉન અનુરાગી પ્રક્રિયાઓ આપો :

(i) ક્લોરીનેશન (ii) નાઇટ્રેશન (iii) સલ્ફોનેશન (iv) ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ એસાઇલેશન (v) ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ આલ્કાઇલેશન

(5) હેલોએરીનની ફીટીગ પ્રક્રિયા વિગતે સમજાવો.

(6) SN^1 પ્રક્રિયા વિગતવાર સમજાવો.

(7) SN^2 પ્રક્રિયા વિશે નોંધ લખો.

(8) ટેટ્રાક્લોરોમિથેનની બનાવટ, ગુણધર્મો અને ઉપયોગો જણાવો.

(9) આયોડોફોર્મની બનાવટ આપો અને તબીબીક્ષેત્રે તેનું મહત્ત્વ સમજાવો.

(10) ફ્રિઓનના પ્રકાર જણાવો અને શીતક તરીકે ફ્રિઓન સમજાવો.

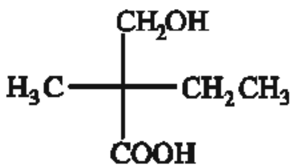
(11) કાર્બોકેટાયનની સ્થાયિતા સમજાવો.

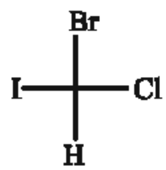
(12) R–S નામકરણ નક્કી કરવાના બંને સોપાન સમજાવો.

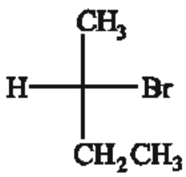
(13) D–L નામકરણ સમજાવો.

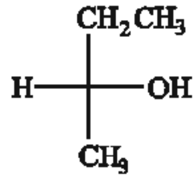
(14) કોઈપણ ત્રણ પોલીહેલોજન સંયોજન વિશે નોંધ લખો.

(15) નીચેના સંયોજનોના R કે S વિન્યાસ જણાવો :

(1) 

(2) 

(3) 

(4) 

એકમ

7

આલ્કોહૉલ, ફિનૉલ અને ઈથર સંયોજનો

7.1 પ્રસ્તાવના (Introduction)

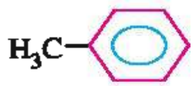
આપણે અગાઉ શીખી ગયાં છીએ કે, જ્યારે હાઇડ્રોકાર્બનમાંના એક અથવા વધારે હાઇડ્રોજન પરમાણુનું અન્ય પરમાણુ કે પરમાણુસમૂહ (ક્રિયાશીલ સમૂહ) વડે વિસ્થાપન થાય છે ત્યારે નવાં કાર્બનિક સંયોજનો બને છે. જો હાઇડ્રોકાર્બનના સંતૃપ્ત કાર્બન સાથે જોડાયેલા હાઇડ્રોજન પરમાણુનું વિસ્થાપન હાઇડ્રોક્સિલ સમૂહ (–OH) વડે થાય તો આલ્કોહૉલ મળે છે.

દા.ત.,

હાઇડ્રોકાર્બન	આલ્કોહૉલ
CH_4	CH_3OH
$H_2C{=}CHCH_3$	$H_2C{=}CHCH_2OH$
$HC{\equiv}C{-}CH_3$	$HC{\equiv}C{-}CH_2OH$

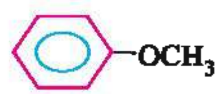
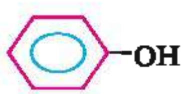
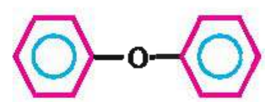
આમ, **આલ્કોહૉલનું સામાન્ય સૂત્ર R–OH છે;** જ્યાં R = આલ્કાઇલ (alkyl) અથવા આલ્કીનાઇલ (alkenyl) અથવા આલ્કાઇનાઇલ (alkynyl) અથવા ઍરાઇલ આલ્કાઇલ (aryl alkyl) સમૂહ છે. જો ઍરોમેટિક કેન્દ્રના કાર્બનના હાઇડ્રોજન પરમાણુનું વિસ્થાપન હાઇડ્રોક્સિલ સમૂહ વડે થાય તો ફિનોલ મળે છે.

દા.ત.,

હાઇડ્રોકાર્બન	ફિનોલ
	

આમ, **ફિનોલનું સામાન્ય સૂત્ર Ar – OH છે;** જ્યાં Ar = ઍરાઇલ સમૂહ છે. જો આલ્કોહૉલ અથવા ફિનોલના હાઇડ્રોક્સિલ સમૂહમાંના હાઇડ્રોજન પરમાણુનું વિસ્થાપન આલ્કાઇલ અથવા આલ્કીનાઇલ અથવા આલ્કાઇનાઇલ અથવા ઍરાઇલ સમૂહ વડે થાય તો ઈથર બને છે.

દા.ત.,

આલ્કોહૉલ / ફિનોલ	ઈથર
CH_3OH	CH_3OCH_3
$H_2C{=}CHCH_2OH$	$H_2C{=}CHCH_2OCH_3$
$HC{\equiv}CCH_2OH$	$HC{\equiv}CCH_2OCH_3$
	
	

આમ, **ઈથરનું સામાન્ય સૂત્ર R_1/Ar_1 –O–R_2/Ar_2 છે;** જ્યાં R_1 અને R_2 = આલ્કાઇલ અથવા આલ્કીનાઇન અથવા આલ્કાઇનાઇલ સમૂહ તથા Ar_1 અને Ar_2 = ઍરાઇલ સમૂહ હોય છે.

આલ્કોહૉલ અને ઈથરનું સામાન્ય સૂત્ર એક જ $C_nH_{2n+2}O$ છે. પરંતુ ક્રિયાશીલ સમૂહ જુદા હોવાથી તેને ક્રિયાશીલ સમૂહ સમઘટકો કહે છે. જેમ કે ઇથેનોલ અથવા મિથૉક્સીમિથેનના આણ્વિય સૂત્ર C_2H_6O સમાન છે પરંતુ બંધારણીય સૂત્ર CH_3CH_2OH અને CH_3OCH_3 જુદા ક્રિયાશીલ સમૂહ ધરાવે છે.

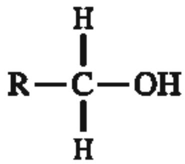
7.2 આલ્કોહૉલનું વર્ગીકરણ (Classification of Alcohols)

આલ્કોહૉલના બંધારણમાં હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહ જે કાર્બન સાથે જોડાયેલો હોય તે કાર્બનના આધારે આલ્કોહૉલનું વર્ગીકરણ ત્રણ પ્રકારે થાય છે : (1) પ્રાથમિક (1^0) આલ્કોહૉલ (2) દ્વિતીયક (2^0) આલ્કોહૉલ અને (3) તૃતીયક (3^0) આલ્કોહૉલ.

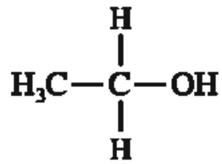
(1) પ્રાથમિક (1^0) આલ્કોહૉલ : જે આલ્કોહૉલમાં હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહ પ્રાથમિક કાર્બન સાથે જોડાયેલો હોય તેને પ્રાથમિક (1^0) આલ્કોહૉલ કહે છે.

(2) દ્વિતીયક (2^0) આલ્કોહૉલ : જે આલ્કોહૉલમાં હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહ દ્વિતીયક કાર્બન સાથે જોડાયેલો હોય તેને દ્વિતીયક (2^0) આલ્કોહૉલ કહે છે.

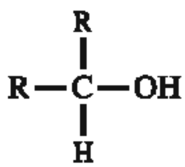
(3) તૃતીયક (3^0) આલ્કોહૉલ : જે આલ્કોહૉલમાં હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહ તૃતીયક કાર્બન સાથે જોડાયેલો હોય તેને તૃતીયક (3^0) આલ્કોહૉલ કહે છે.



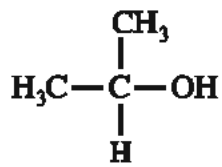
પ્રાથમિક (1^0) આલ્કોહૉલ



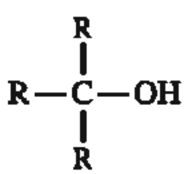
પ્રાથમિક (1^0) આલ્કોહૉલ



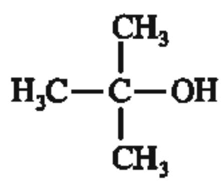
દ્વિતીયક (2^0) આલ્કોહૉલ



દ્વિતીયક (2^0) આલ્કોહૉલ



તૃતીયક (3^0) આલ્કોહૉલ



તૃતીયક (3^0) આલ્કોહૉલ

7.3 આલ્કોહૉલનું નામકરણ (Nomenclature of Alcohols)

સામાન્ય નામ : આલ્કોહૉલના સામાન્ય નામ માટે –OH સમૂહ સાથે જોડાયેલ હાઇડ્રોકાર્બન સમૂહના નામને અંતે **આલ્કોહૉલ** શબ્દ જોડવામાં આવે છે.

દા.ત., CH_3OH મિથાઇલ આલ્કોહૉલ

CH_3CH_2OH ઇથાઇલ આલ્કોહૉલ

—CH_2OH બેન્ઝાઇલ આલ્કોહૉલ

IUPAC નામ :

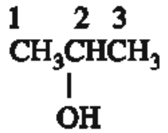
(1) આલ્કોહૉલમાં આલ્કોહૉલ સમૂહ ધરાવતી હાઇડ્રોકાર્બન મૂળની દીર્ઘતમ કાર્બનશૃંખલા નક્કી કર્યા પછી હાઇડ્રોકાર્બન નામના અંતિમ અક્ષરમાંથી સ્વર **'અ'** દૂર કરી **'ઑલ'** પ્રત્યય જોડવામાં આવે છે. જેમ કે, મિથેનમાંથી 'અ' દૂર કરી 'ઑલ' પ્રત્યય જોડવાથી **મિથેન્ + ઑલ = મિથેનોલ** અને તે જ પ્રમાણે ઇથેનમાંથી **ઇથેન્ + ઑલ = ઇથેનોલ** બને છે.

દા.ત., CH_3OH મિથેનોલ CH_3CH_2OH ઇથેનોલ

(2) બે કરતાં વધુ કાર્બન ધરાવતા આલ્કોહોલમાં હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહનું સ્થાન દર્શાવતો લઘુતમ-ક્રમાંક 'ઑલ' પ્રત્યયની આગળ દર્શાવવામાં આવે છે.

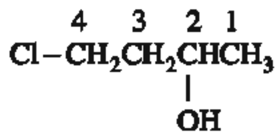
દા.ત.,

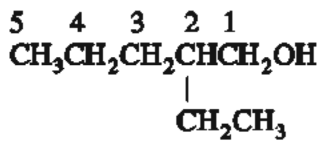
$\overset{3}{C}H_3\overset{2}{C}H_2\overset{1}{C}H_2OH$ — પ્રોપેન્-1-ઑલ

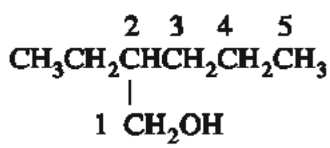

પ્રોપેન્-2-ઑલ

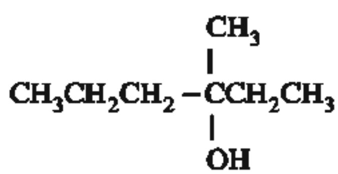
$H_2\overset{3}{C}=\overset{2}{C}H\overset{1}{C}H_2OH$ — પ્રોપ્-2-ઇન્-1-ઑલ

$H\overset{3}{C}\equiv\overset{2}{C}\,\overset{1}{C}H_2OH$ — પ્રોપ્-2-આઇન્-1-ઑલ


4-ક્લોરોબ્યુટેન્-2-ઑલ

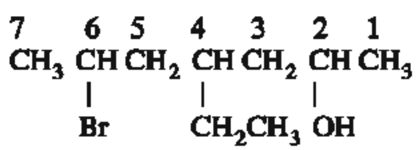

2-ઇથાઇલપેન્ટેન્-1-ઑલ


2-ઇથાઇલપેન્ટેન્-1-ઑલ


3-મિથાઇલહેક્ઝેન્-3-ઑલ

(3) જો આલ્કોહોલ અણુમાં એક કરતાં વધુ વિસ્થાપિત સમૂહો હોય, તો નામકરણમાં તેમને અંગ્રેજી મૂળાક્ષરોના ક્રમમાં (alphabetical order) દર્શાવવામાં આવે છે.

દા.ત.,


6-બ્રોમો-4-ઇથાઇલહેપ્ટેન્-2-ઑલ

4 3 2 1
$ClCH_2CH_2CHCH_2OH$
|
CH_3

4–ક્લોરો–2–મિથાઇલબ્યુટેન્–1–ઑલ

5 4 3 2 1
$CH_3CHCH_2CHCH_2OH$
| |
CH_3 CH_3

2,4–ડાયમિથાઇલપેન્ટેન્–1–ઑલ

(4) એક કરતાં વધુ હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહ ધરાવતા આલ્કોહૉલમાં હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહની સંખ્યા જેવી કે બે, ત્રણ વગેરે માટે અનુક્રમે ડાય, ટ્રાય વગેરે પૂર્વગ 'ઑલ' પ્રત્યયના પહેલાં લખવામાં આવે છે. અહીં હાઇડ્રોકાર્બન સભ્યના નામના અંતિમ અક્ષરમાંથી સ્વર 'અ' દૂર કરવામાં આવતો નથી.

દા.ત.,

CH_2CH_2
| |
OH OH

ઇથેન–1, 2–ડાયોલ

CH_2 CH CH_2
| | |
OH OH OH

પ્રોપેન–1, 2, 3–ટ્રાયોલ

4 3 2 1
$CH_3CHCH_2CH_2OH$
|
OH

બ્યુટેન–1, 3–ડાયોલ

5 4 3 2 1
$HOCH_2CH_2CH = CHCH_2OH$

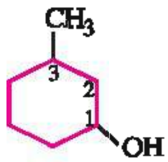
પેન્ટ્–2–ઇન–1, 5–ડાયોલ

(5) આલ્કોહૉલ અણુમાં હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહ ચક્રીય પ્રણાલીના જે કાર્બન સાથે જોડાયેલ હોય તે કાર્બનને પ્રથમ ક્રમ આપવામાં આવે છે.

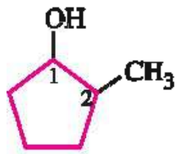
દા.ત.,

સાયક્લોપેન્ટેનોલ

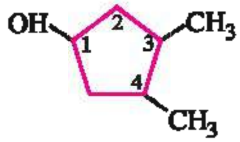
સાયક્લોહેક્ઝેનોલ



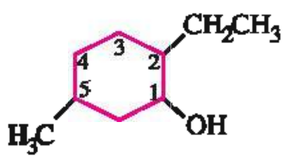
3–મિથાઇલસાયક્લોહેક્ઝેનોલ



2–મિથાઇલસાયક્લોપેન્ટેનોલ



3, 4–ડાયમિથાઇલસાયક્લોપેન્ટેનોલ

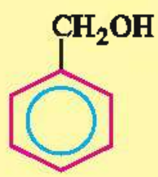


2–ઇથાઇલ–5–મિથાઇલસાયક્લોહેક્ઝેનોલ

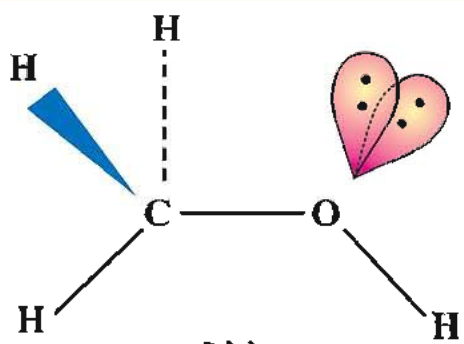
કોષ્ટક 7.1માં કેટલાક આલ્કોહૉલ સંયોજનના બંધારણીય સૂત્ર, IUPAC નામ, સામાન્ય નામ, પ્રકાર અને ઉત્કલનબિંદુ દર્શાવ્યા છે.

કોષ્ટક 7.1 આલ્કોહૉલ સંયોજનો

બંધારણીય સૂત્ર	IUPAC નામ	સામાન્ય નામ	પ્રકાર	ઉત્કલનબિંદુ (K)
CH_3OH	મિથેનોલ	મિથાઇલ આલ્કોહૉલ	1^0	338
CH_3CH_2OH	ઇથેનોલ	ઇથાઇલ આલ્કોહૉલ	1^0	351
$CH_3CH_2CH_2OH$	પ્રોપેન્-1-ઑલ	n-પ્રોપાઇલ આલ્કોહૉલ	1^0	370
CH_3CHCH_3 (2-સ્થાને OH)	પ્રોપેન્–2–ઑલ	આઇસોપ્રોપાઇલ આલ્કોહૉલ	2^0	355
$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$	બ્યુટેન્–1–ઑલ	n–બ્યુટાઇલ આલ્કોહૉલ	1^0	390
CH_3CHCH_2OH (2-સ્થાને CH_3)	2–મિથાઇલપ્રોપેન્–1–ઑલ	આઇસોબ્યુટાઇલ આલ્કોહૉલ	1^0	381

$CH_3CH_2CHCH_3$ | OH	બ્યુટેન્-2-ઑલ	દ્વિતીયક બ્યુટાઇલ આલ્કોહૉલ	2^0	373
CH_3 | $H_3C-C-CH_3$ | OH	2-મિથાઇલપ્રોપેન્-2-ઑલ	તૃતીયક બ્યુટાઇલ આલ્કોહૉલ	3^0	356
CH_2CH_2 | | OH OH	ઇથેન-1, 2-ડાયોલ	ઇથિલિન ગ્લાયકોલ	1^01^0	471
CH_2 CH CH_2 | | | OH OH OH	પ્રોપેન-1, 2, 3-ટ્રાયોલ	ગ્લિસરોલ (ગ્લિસરીન)	$1^02^01^0$	563
	ફિનાઇલ મિથેનોલ	બેન્ઝાઇલ આલ્કોહૉલ	1^0	478

7.4 આલ્કોહૉલનું ઇલેક્ટ્રૉનીય બંધારણ (Electronic Structure of Alcohols)



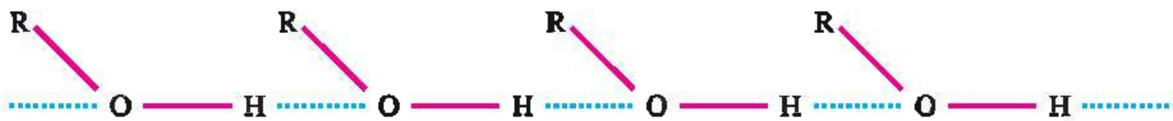
મિથેનોલ

C–O અને O–H	σ-બંધ
C અને O	sp^3 સંકરણ
C–O–H ખૂણો	108.5^0

7.5 આલ્કોહૉલના ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties of Alcohols)

આલ્કોહૉલ સંયોજનોમાં હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહના ઑક્સિજન પરમાણુની વિદ્યુતઋણતા (3.5), હાઇડ્રોજન પરમાણુની વિદ્યુતઋણતા (2.1) કરતાં વધુ હોવાથી ઑક્સિજન ઉપર આંશિક ઋણ વીજભાર (δ–) અને હાઇડ્રોજન ઉપર આંશિક

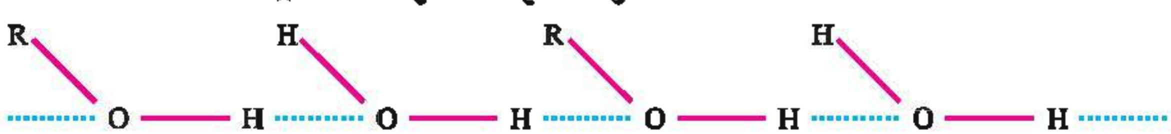
ધન વીજભાર (δ+) ઉદ્ભવે છે. તેથી $O^{\delta-}-H^{\delta+}$ બંધ ધ્રુવીય બને છે અને પ્રવાહી આલ્કોહૉલના અણુઓ વચ્ચે આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ રચાવાથી આંતરઆણ્વિય આકર્ષણ વધે છે. આ આકર્ષણબળોને તોડવા વધુ ઊર્જાની જરૂર પડે છે. જે પ્રવાહી આલ્કોહૉલ અણુઓમાં આ આકર્ષણબળ વધુ તેમ તેને તોડી વાયુ સ્વરૂપમાં ફેરવવા માટે વધુ ઉષ્માઊર્જાની જરૂર પડે છે. એટલે કે ઉત્કલનબિંદુનું મૂલ્ય વધે છે. આલ્કેનમાં આવા હાઇડ્રોજનબંધ રચાતા નથી. કારણ કે તેમાં ધ્રુવીય બંધ ગેરહાજર હોય છે. આથી **લગભગ સમાન આણ્વિયદળ ધરાવતા આલ્કેન કરતાં આલ્કોહૉલના ઉત્કલનબિંદુ ઊંચા હોય છે.** દા.ત., પ્રોપેન (આણ્વિયદળ = 44 ગ્રામ મોલ$^{-1}$, ઉત્કલનબિંદુ = 231 K) કરતાં ઇથેનોલનું (આણ્વિયદળ = 46 ગ્રામ મોલ$^{-1}$, ઉત્કલનબિંદુ = 351 K) ઉત્કલનબિંદુ ઊંચું હોય છે તથા બ્યુટેન (આણ્વિયદળ = 58 ગ્રામ મોલ$^{-1}$, ઉત્કલનબિંદુ = 273 K) કરતાં પ્રોપેનોલનું (આણ્વિયદળ = 60 ગ્રામ મોલ$^{-1}$, ઉત્કલનબિંદુ = 370 K) ઉત્કલનબિંદુ ઊંચું હોય છે.



આલ્કોહૉલના અણુઓ વચ્ચે આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ

પ્રાથમિક આલ્કોહૉલની રેખીય શ્રેણીમાં જેમ કાર્બનસંખ્યા ક્રમશઃ વધે તેમ આલ્કોહૉલનું ઉત્કલનબિંદુ ક્રમશઃ વધે છે. કારણ કે કાર્બનસંખ્યા વધવાની સાથે આંતરઆણ્વિય અંતર ઘટતું હોવાથી આંતરઆણ્વિય આકર્ષણબળ વધે છે. દા.ત., મિથેનોલથી બ્યુટેન્–1–ઑલ તરફ જતાં ઉત્કલનબિંદુ ક્રમશઃ વધે છે (કોષ્ટક 7.1). ત્રણ કે ત્રણથી વધુ કાર્બન ધરાવતાં અને સમાન આણ્વિય સૂત્રવાળા પ્રાથમિક (1^0) આલ્કોહૉલની સરખામણીમાં દ્વિતીયક (2^0) આલ્કોહૉલમાં અને દ્વિતીયક આલ્કોહૉલની સરખામણીમાં તૃતીયક (3^0) આલ્કોહૉલમાં શાખીય શૃંખલા વધુ હોવાથી સપાટીનું ક્ષેત્રફળ ઘટે છે અને આંતરઆણ્વિય અંતર વધે છે, જ્યારે આંતરઆણ્વિય આકર્ષણ ઘટે છે. આથી **સમાન આણ્વિય સૂત્ર ધરાવતા પ્રાથમિક આલ્કોહૉલ કરતાં દ્વિતીયક આલ્કોહૉલ અને દ્વિતીયક આલ્કોહૉલ કરતાં તૃતીયક આલ્કોહૉલમાં આંતરઆણ્વિય આકર્ષણ ઘટવાથી તેના ઉત્કલનબિંદુ નીચાં હોય છે.** દા.ત., પ્રોપેન્–1–ઑલ (પ્રાથમિક) (ઉત્કલનબિંદુ 370 K) કરતાં પ્રોપેન્–2–ઑલ (દ્વિતીયક) (ઉત્કલનબિંદુ 355 K)નું ઉત્કલનબિંદુ નીચું હોય છે તથા C_4H_9OH આણ્વિયસૂત્રવાળા આલ્કોહૉલના ત્રણ સમઘટકો બ્યુટેન્–1–ઑલ (પ્રાથમિક) (ઉત્કલનબિંદુ 390 K), બ્યુટેન્–2–ઑલ (દ્વિતીયક) (ઉત્કલનબિંદુ 373 K) અને 2–મિથાઇલપ્રોપેન્–2–ઑલ (તૃતીયક) (ઉત્કલનબિંદુ 356 K)ના ઉત્કલનબિંદુમાં ક્રમશઃ ઘટાડો થાય છે.

આલ્કોહૉલના જલીય દ્રાવણમાં ધ્રુવીય અણુ પાણી અને ધ્રુવીય અણુ આલ્કોહૉલના અણુઓ વચ્ચે હાઇડ્રોજનબંધ રચાવાથી તેઓની વચ્ચે આંતરઆણ્વિય આકર્ષણ વધે છે. આથી ઓછું આણ્વિયદળ ધરાવતા મિથેનોલ અને ઇથેનોલ પાણીમાં સુદ્રાવ્ય છે. જ્યારે આલ્કોહૉલમાંના હાઇડ્રોકાર્બન સમૂહમાં જેમ કાર્બનસંખ્યા વધે તેમ આણ્વિયદળ વધવાથી જલીય દ્રાવ્યતા ઘટે છે. કારણ કે હાઇડ્રોજનબંધ વધુ લાંબી શૃંખલા સુધી સંભવી શકતો નથી.



આલ્કોહૉલ અને પાણીના અણુઓ વચ્ચે આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ

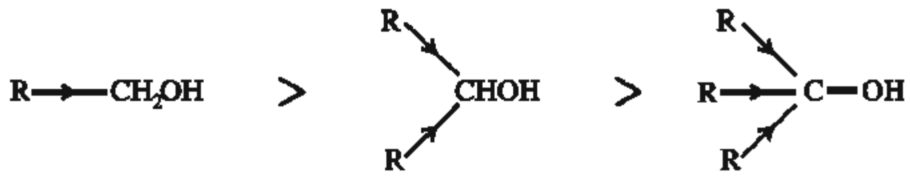
આપણે અગાઉ સમજ્યા તેમ આલ્કોહૉલના બે અણુઓ વચ્ચે તથા આલ્કોહૉલ અને પાણીના અણુઓ વચ્ચે હાઇડ્રોજનબંધ બને છે. આથી **આલ્કોહૉલમાં જેમ હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહની સંખ્યા વધે તેમ ઉત્કલનબિંદુ અને પાણીમાં દ્રાવ્યતામાં વધારો થાય છે.** જેમ કે ઇથેનોલ (ઉત્કલનબિંદુ 351 K), ઇથેન–1, 2–ડાયોલ (ઉત્કલનબિંદુ 471 K) અને પ્રોપેન–1, 2, 3–ટ્રાયોલ (ઉત્કલનબિંદુ 563 K)ના ઉત્કલનબિંદુ અને જલીય દ્રાવ્યતામાં ક્રમશઃ વધારો થાય છે.

આલ્કોહૉલની ઍસિડિકતા : આલ્કોહૉલમાં રહેલો O–H બંધ ધ્રુવીય હોવાથી આલ્કોહૉલનું જલીય દ્રાવણ સહેજ ઍસિડિક ગુણધર્મ ધરાવે છે. આલ્કોહૉલ પાણી જેવો ઍસિડિક ગુણધર્મ ધરાવે છે. મિથેનોલ સિવાયના મોટા ભાગના આલ્કોહૉલ પાણી કરતાં ઓછા ઍસિડિક હોય છે.

$$R-\ddot{\underset{\cdot\cdot}{O}}-H + H_2O \rightleftharpoons R-\ddot{\underset{\cdot\cdot}{O}}:^{-} + H_3O^{+}$$

આલ્કોહૉલ — આલ્કોક્સાઇડ આયન

આલ્કોહૉલ સંયોજનોમાં –R(–CH_3, –C_2H_5) જેવા ઇલેક્ટ્રૉનપૂરક સમૂહો O–H બંધની ઇલેક્ટ્રૉન ઘનતા વધારે છે. તેથી O–H બંધની ધ્રુવીયતા ઘટે છે. પરિણામે ઍસિડિક ગુણધર્મમાં ઘટાડો થાય છે. આમ, આલ્કોહૉલ સંયોજનોની ઍસિડિક પ્રબળતાનો ક્રમ,



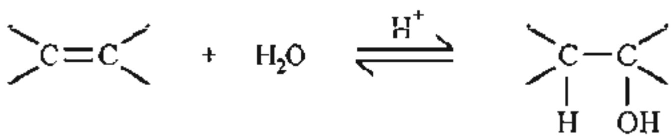
પ્રાથમિક આલ્કોહૉલ — દ્વિતીયક આલ્કોહૉલ — તૃતીયક આલ્કોહૉલ

7.6 આલ્કોહૉલની બનાવટ (Preparation of Alcohols)

આલ્કોહૉલ જુદી જુદી પદ્ધતિઓથી બનાવી શકાય છે.

(1) આલ્કીન સંયોજનોમાંથી આલ્કોહૉલ :

(i) ઍસિડ ઉદ્દીપકીય હાઇડ્રેશન દ્વારા : આલ્કીન સંયોજનો ઍસિડ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરી આલ્કોહૉલ બનાવે છે.



આલ્કીન — આલ્કોહૉલ

જો શરૂઆતના પદાર્થ તરીકે અસંમિત આલ્કીન (unsymmetrical alkene)નો ઉપયોગ કરવામાં આવે તો થતી યોગશીલ પ્રક્રિયા માર્કોનિકોવના નિયમને અનુસરી આલ્કોહૉલ આપે છે.

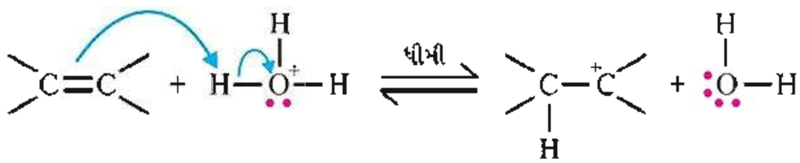
$$CH_3CH{=}CH_2 + H_2O \underset{}{\overset{H^+}{\rightleftharpoons}} CH_3-\underset{\substack{|\\ OH}}{CH}-CH_3$$

પ્રોપીન — પ્રોપેન્-2-ઓલ

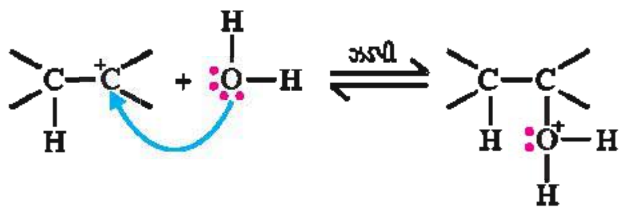
ક્રિયાવિધિ (Mechanism) :

તબક્કો 1 : આલ્કીન અણુ જલીય ઍસિડમાંના H_3O^+માંથી પ્રોટોન સ્વીકારી કાર્બોકેટાયન બનાવે છે.

$$H_2\ddot{O}: + H^+ \longrightarrow H_3O^{+}:$$

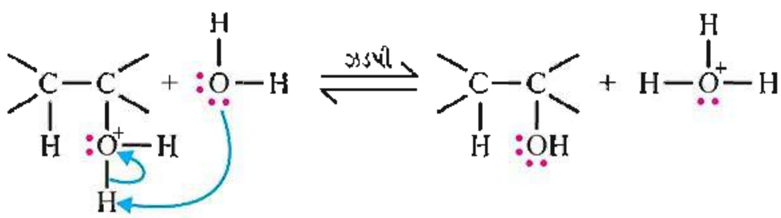


તબક્કો 2 : કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક (પાણી) કાર્બોકેટાયન પર હુમલો કરી પ્રોટોનેટેડ આલ્કોહૉલ બનાવે છે.



પ્રોટોનેટેડ આલ્કોહૉલ

તબક્કો 3 : પ્રોટોન દૂર થઈ આલ્કોહૉલ બને છે.



> **નોંધ : વક્રતીર (Curved Arrow) (↷) દોરવા અંગેનો ખ્યાલ :** પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિમાં વક્રતીર (↷ કે ↶) દ્વારા ઇલેક્ટ્રૉન સ્થાનાંતર સરળતાથી સમજી શકાય છે. આ વક્રતીર હંમેશાં વધુ ઇલેક્ટ્રૉન ધરાવતી (સામાન્ય રીતે ઋણવીજભારિત) સ્પીસીઝથી ઓછા ઇલેક્ટ્રૉન ધરાવતી (સામાન્ય રીતે ધનવીજભારિત) સ્પીસીઝ તરફ દોરવામાં આવે છે. આ તીર દોરવાની શરૂઆત ઇલેક્ટ્રૉન સ્રોત(ઇલેક્ટ્રૉનયુગ્મ કે બંધ)ના સ્થાનેથી કરાય છે. તેને દોરવાની શરૂઆત કોઈ પરમાણુ પરથી કરવામાં આવતી નથી. આ વક્રતીર પરમાણુનું સ્થાનાંતર સૂચવતો નથી.

(ii) હાઇડ્રોબોરેશન-ઑક્સિડેશન દ્વારા : પ્રયોગશાળામાં આલ્કોહૉલની બનાવટ માટે આલ્કીન સંયોજનોમાં પાણીના અણુનું અપ્રત્યક્ષ રીતે ઉમેરણ ડાયબોરેન$(BH_3)_2$ની હાજરીમાં થઈ શકે છે. આલ્કીન સંયોજન સાથે ડાયબોરેન પ્રક્રિયા કરી યોગશીલ નીપજ ટ્રાયઆલ્કાઇલ બોરેન આપે છે, જેને હાઇડ્રોબોરેશન પ્રક્રિયા કહે છે. ટ્રાયઆલ્કાઇલ બોરેનનું જલીય સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડની હાજરીમાં હાઇડ્રોજન પેરોક્સાઇડ વડે ઑક્સિડેશન થઈ આલ્કોહૉલ મળે છે.

$$\underset{\text{પ્રોપીન}}{3(CH_3CH=CH_2)} \xrightarrow[\text{હાઇડ્રોબોરેશન}]{(BH_3)_2} \underset{\text{ટ્રાયપ્રોપાઇલ બોરેન}}{(CH_3CH_2CH_2)_3B} \xrightarrow[\text{ઑક્સિડેશન}]{H_2O_2/OH^-} \underset{\text{પ્રોપેન્-1-ઑલ}}{3CH_3CH_2CH_2OH}$$

ક્રિયાવિધિ (Mechanism) :

તબક્કો 1 : પ્રોપીન જેવા આલ્ક્-1-ઇનની ડાયબોરેન સાથે પ્રક્રિયા કરતાં આલ્ક્-1-ઇનના ત્રણ અણુના દ્વિબંધમાં બોરેન હાઇડ્રાઇડ ઉમેરાઈ ટ્રાયઆલ્કાઇલ બોરેન બને છે. આ હાઇડ્રોબોરેશન પ્રક્રિયા પ્રતિમાર્કોનિકોવ નિયમને અનુસરે છે.

તેથી બોરોન પરમાણુ આલ્કીનના દ્વિબંધમાં સંકળાયેલ કાર્બન પૈકી વધુ હાઇડ્રોજન પરમાણુ ધરાવતા કાર્બન સાથે અને હાઇડ્રોજન પરમાણુ ઓછા હાઇડ્રોજન પરમાણુ ધરાવતા કાર્બન સાથે જોડાય છે.

$$\underset{\text{પ્રોપીન}}{CH_3-CH=CH_2} + (H-BH_2)_2 \longrightarrow CH_3-\underset{\underset{H}{|}}{CH}-CH_2-BH_2$$

એટલે કે $CH_3-CH_2-CH_2-BH-H$

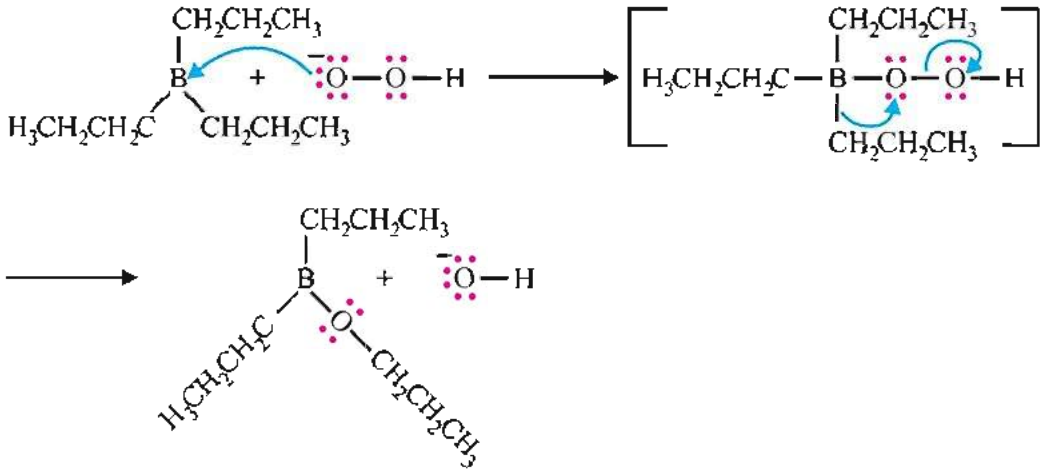
$$\xrightarrow{CH_3-CH=CH_2} CH_3-\underset{\underset{H}{|}}{CH}-CH_2-BH-CH_2-CH_2-CH_3$$

એટલે કે $(CH_3CH_2CH_2)_2B-H$

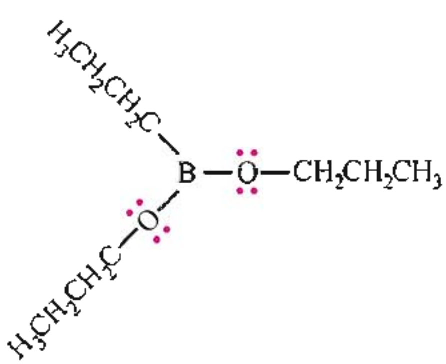
$$\xrightarrow{CH_3-CH=CH_2} CH_3-\underset{\underset{H}{|}}{CH}-CH_2-B-(CH_3CH_2CH_2)_2$$

એટલે કે $\underset{\text{ટ્રાયપ્રોપાઇલ બોરેન}}{(CH_3CH_2CH_2)_3B}$

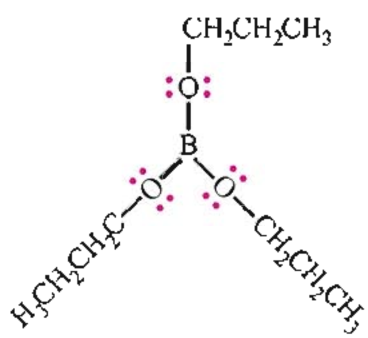
તબક્કો 2 : ટ્રાયપ્રોપાઇલ બોરેનનું હાઇડ્રોજન પેરોક્સાઇડ વડે ઑક્સિડેશન થઈ ટ્રાયપ્રોપાઇલ બોરેટ બને છે.



આ પ્રક્રિયાનું બે વખત પુનરાવર્તન થઈ અનુક્રમે

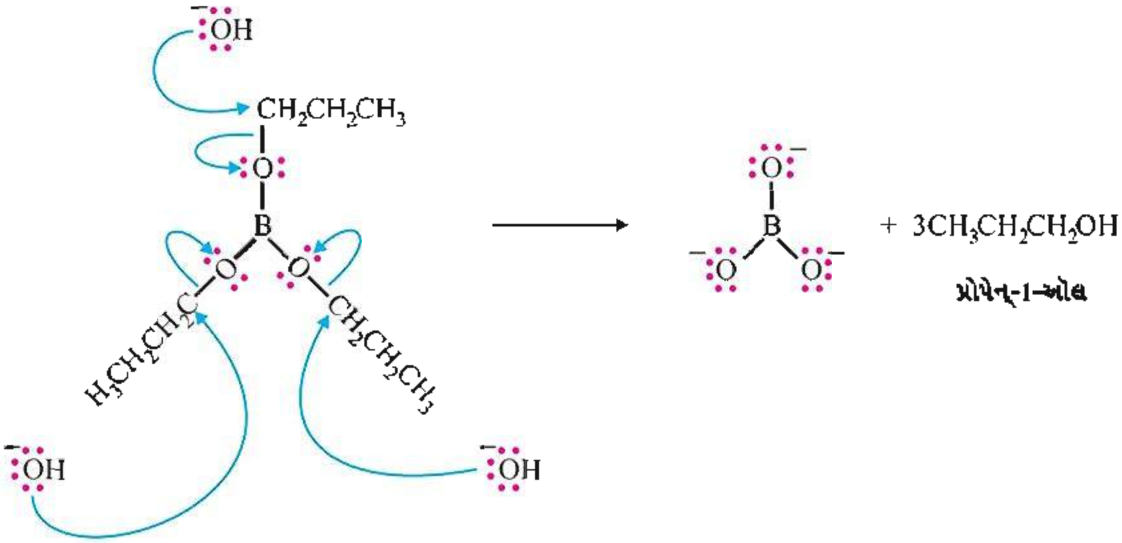


અને



મળે છે.

તબક્કો 3 : ટ્રાયપ્રોપાઇલ બોરેટનું બેઝિક માધ્યમમાં જળવિભાજન થઈ પ્રોપેન્–1–ઓલના ત્રણ અણુ અને બોરેટ આયન બને છે.



આમ, એસિડ ઉદ્દીપકીય હાઇડ્રેશન દ્વારા આલ્કોહૉલની બનાવટ દરમ્યાન –OH સમૂહ આલ્કીનના દ્વિબંધ ધરાવતા કાર્બન કે જે ઓછા હાઇડ્રોજન ધરાવે છે તેની સાથે સંયોજાય છે. તેનાથી ઊલટું હાઇડ્રોબોરેશન–ઑક્સિડેશન દ્વારા આલ્કોહૉલની બનાવટ દરમ્યાન –OH સમૂહ આલ્કીનના દ્વિબંધ ધરાવતા કાર્બન કે જે વધુ હાઇડ્રોજન ધરાવે છે તેની સાથે સંયોજાય છે.

દા.ત.,

$$\underset{\text{હેક્ઝ્-1-ઈન}}{CH_3CH_2CH_2CH_2CH{=}CH_2} \xrightarrow{H_3O^+,\ H_2O} \underset{\text{હેક્ઝેન્-2-ઓલ}}{CH_3CH_2CH_2CH_2CH(OH)CH_3}$$

$$\underset{\text{હેક્ઝ્-1-ઈન}}{CH_3CH_2CH_2CH_2CH{=}CH_2} \xrightarrow[(2)\ H_2O_2,\ OH^-]{(1)\ (BH_3)_2} \underset{\text{હેક્ઝેન્-1-ઓલ}}{CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2OH}$$

(2) કાર્બોનિલ સંયોજનોમાંથી આલ્કોહૉલ :

(i) આલ્ડિહાઇડ અને કિટોનના રિડક્શન દ્વારા : આલ્ડિહાઇડ અને કીટોનનું રિડક્શન સોડિયમ બોરોહાઇડ્રાઇડ ($NaBH_4$) અથવા લિથિયમ એલ્યુમિનિયમ હાઇડ્રાઇડ ($LiAlH_4$) વડે કરી આલ્કોહૉલ મેળવી શકાય છે. **આલ્ડિહાઇડના રિડક્શનથી 1^0 આલ્કોહૉલ અને કિટોનના રિડક્શનથી 2^0 આલ્કોહૉલ મળે છે.**

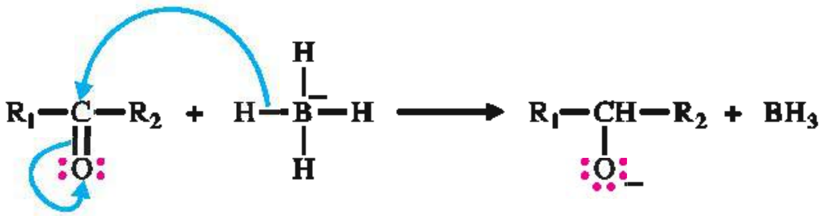
$$\underset{\text{આલ્ડિહાઇડ}}{4RCHO} \xrightarrow[(ii)\ H_2O]{(i)\ NaBH_4} \underset{1^0\ \text{આલ્કોહૉલ}}{4RCH_2OH}$$

$$\underset{\text{કીટોન}}{4R_1COR_2} \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } NaBH_4} \underset{\text{2}^0\text{ આલ્કોહોલ}}{4R_1-\underset{|}{\overset{}{CH}}(OH)-R_2}$$

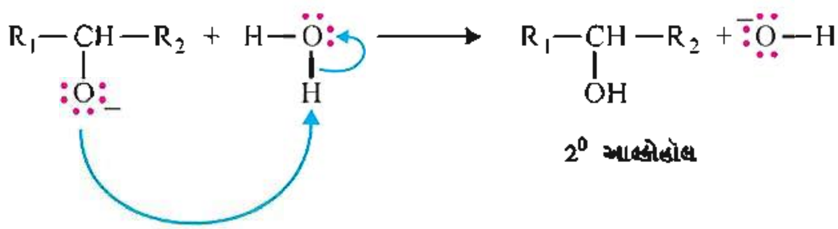
ક્રિયાવિધિ (Mechanism) :

તબક્કો 1 : સોડિયમ બોરોહાઇડ્રાઇડ પ્રક્રિયકનો હાઇડ્રાઇડ આયન ($:H^-$) કાર્બોનિલ કાર્બન સાથે જોડાઈ આલ્કોક્સાઇડ આયન બનાવે છે.

$$NaBH_4 \rightleftharpoons Na^+ + BH_4^-$$



તબક્કો 2 : આલ્કોક્સાઇડ આયનની પાણી સાથે પ્રક્રિયા થઈ આલ્કોહોલ બને છે.



2^0 આલ્કોહોલ

આ પ્રક્રિયા વધુ ત્રણ વખત પુનરાવર્તિત થઈ પ્રક્રિયાને અંતે ચાર મોલ કીટોનમાંથી ચાર મોલ 2^0 આલ્કોહોલ બનાવે છે. આ માટે 1 મોલ સોડિયમ બોરોહાઇડ્રાઇડ વપરાય છે.

આ ક્રિયાવિધિમાં R_2ના સ્થાને H મૂકવાથી આલ્ડિહાઇડના રિડક્શનથી આલ્કોહોલ મેળવવાની ક્રિયાવિધિ સમજી શકાય છે.

$$\underset{\text{બ્યુટેનાલ}}{4CH_3CH_2CH_2CHO} \xrightarrow[H_2O]{NaBH_4} \underset{\text{બ્યુટેન્-1-ઑલ}}{4CH_3CH_2CH_2CH_2OH}$$

$$\underset{\text{બ્યુટેનોન}}{4CH_3CH_2C(=O)CH_3} \xrightarrow[H_2O]{NaBH_4} \underset{\text{બ્યુટેન્-2-ઑલ}}{4CH_3CH_2CH(OH)CH_3}$$

(ii) કાર્બોક્સિલિક એસિડ અથવા એસ્ટરના રિડક્શન દ્વારા : લિથિયમ ઍલ્યુમિનિયમ હાઇડ્રાઇડ જેવા પ્રબળ રિડક્શનકર્તાના ઉપયોગથી કાર્બોક્સિલિક એસિડ અથવા એસ્ટરનું રિડક્શન કરી પ્રાથમિક આલ્કોહોલ મેળવી શકાય છે.

$$RCOOH \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } LiAlH_4} RCH_2OH$$

કાર્બોક્સિલિક એસિડ — 1^0 - આલ્કોહૉલ

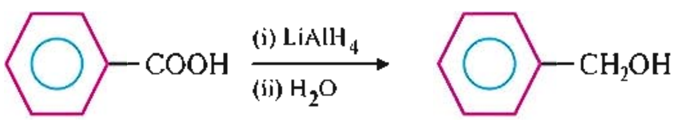
$$R_1COOR_2 \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } LiAlH_4} R_1CH_2OH + R_2OH$$

એસ્ટર — 1^0 આલ્કોહૉલ — 1^0 આલ્કોહૉલ

દા.ત.,

$$CH_3COOH \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } LiAlH_4} CH_3CH_2OH$$

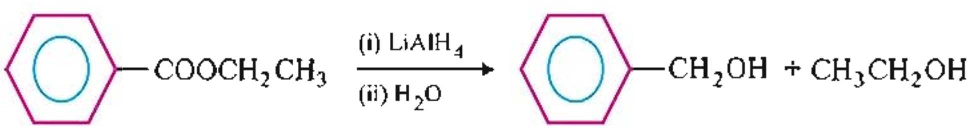
એસિટિક એસિડ અથવા ઇથેનોઇક એસિડ — ઇથેનોલ



બેન્ઝોઇક એસિડ — ફિનાઇલ મિથેનોલ (બેન્ઝાઇલ આલ્કોહૉલ)

$$CH_3COOCH_2CH_3 \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } LiAlH_4} CH_3CH_2OH + CH_3CH_2OH$$

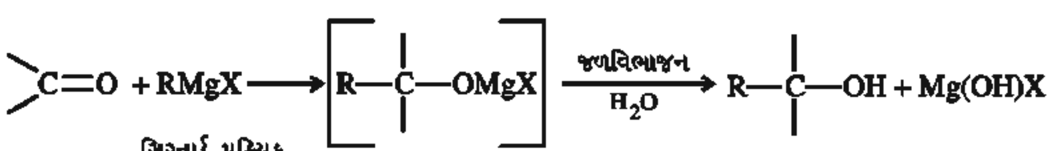
ઇથાઇલ ઇથેનોએટ (ઇથાઇલ એસિટેટ) — ઇથેનોલ — ઇથેનોલ



ઇથાઇલ બેન્ઝોએટ — ફિનાઇલ મિથેનોલ — ઇથેનોલ

(3) ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક દ્વારા આલ્કોહૉલ :

કાર્બોનિલ સંયોજનોમાં ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક ઉમેરાઈ 1^0, 2^0 અથવા 3^0 આલ્કોહૉલ બને છે.



કાર્બોનિલ સંયોજન — મધ્યવર્તી નીપજ — આલ્કોહૉલ

(i) ફોર્માલ્ડિહાઇડ સાથે ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક પ્રક્રિયા કરી 1^0 આલ્કોહોલ આપે છે.

$$\underset{\substack{\text{ફોર્માલ્ડિહાઇડ}\\ \text{અથવા}\\ \text{મિથેનાલ}}}{HCHO} + \underset{\substack{\text{ગ્રિગ્નાર્ડ}\\ \text{પ્રક્રિયક}}}{RMgX} \longrightarrow \underset{\text{મધ્યવર્તી નીપજ}}{[RCH_2OMgX]} \xrightarrow[H_2O]{\text{જળવિભાજન}} \underset{1^0\text{આલ્કોહોલ}}{RCH_2OH} + Mg(OH)X$$

(ii) ફોર્માલ્ડિહાઇડ સિવાયના અન્ય આલ્ડિહાઇડ સંયોજનો સાથે ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક પ્રક્રિયા કરી 2^0 આલ્કોહોલ બનાવે છે.

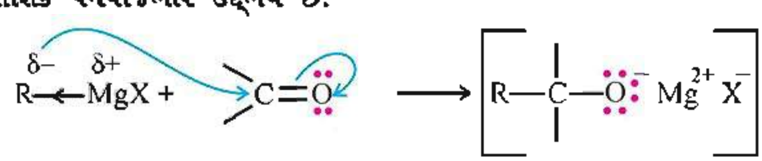
$$\underset{\text{આલ્ડિહાઇડ}}{R'CHO} + \underset{\text{ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક}}{RMgX} \longrightarrow \underset{\text{મધ્યવર્તી નીપજ}}{\left[R'-\overset{\overset{\large R}{|}}{C}H-OMgX\right]} \xrightarrow[H_2O]{\text{જળવિભાજન}} \underset{2^0\text{આલ્કોહોલ}}{R'-\overset{\overset{\large R}{|}}{C}H-OH} + Mg(OH)X$$

(iii) કિટોન સંયોજનો સાથે ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક પ્રક્રિયા કરી 3^0 આલ્કોહોલ બનાવે છે.

$$\underset{\text{કીટોન}}{R'COR''} + RMgX \longrightarrow \underset{\text{મધ્યવર્તી નીપજ}}{\left[R'-\overset{\overset{\large R}{|}}{\underset{\underset{\large R''}{|}}{C}}-OMgX\right]} \xrightarrow[H_2O]{\text{જળવિભાજન}} \underset{3^0\text{ આલ્કોહોલ}}{R'-\overset{\overset{\large R}{|}}{\underset{\underset{\large R''}{|}}{C}}-OH} + Mg(OH)X$$

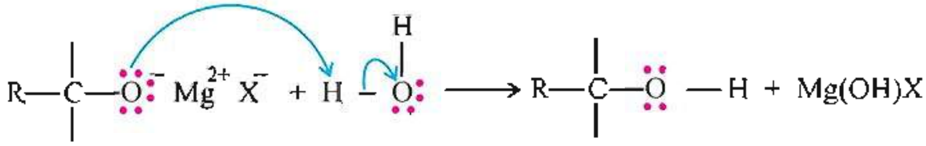
ક્રિયાવિધિ :

તબક્કો 1 : ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક, કાર્બોનિલ સંયોજનોમાં ઉમેરાઈ મધ્યવર્તી સંયોજન બનાવે છે. ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક RMgXમાં Rમાંના કાર્બન પરમાણુની વિદ્યુતઋણતા (2.5), મૅગ્નેશિયમ પરમાણુની વિદ્યુતઋણતા (1.2) કરતા વધુ હોવાથી R–Mg બંધમાંનું સહિયારું ઇલેક્ટ્રૉનયુગ્મ R તરફ વધુ આકર્ષાયેલું રહેતું હોવાથી R ઉપર આંશિક ઋણવીજભાર અને Mg પરમાણુ ઉપર આંશિક ધનવીજભાર ઉદ્ભવે છે.



મધ્યવર્તી સંયોજન
હેલોમૅગ્નેશિયમ આલ્કોક્સાઇડ

તબક્કો 2 : મધ્યવર્તી નીપજ પાણી સાથે પ્રક્રિયા કરી આલ્કોહોલ બનાવે છે.



આલ્કોહોલ

ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયકથી બનતા આલ્કોહોલનાં ઉદાહરણો

$$C_6H_5MgBr + HCHO \longrightarrow [C_6H_5CH_2OMgBr] \xrightarrow[H_2O \atop -Mg(OH)Br]{\text{જળવિભાજન}} C_6H_5CH_2OH$$

ફિનાઇલ મેગ્નેશિયમ બ્રોમાઇડ — ફોર્માલ્ડિહાઇડ અથવા મિથેનાલ — ફિનાઇલ મિથેનોલ

$$CH_3CH_2MgBr + CH_3CHO \longrightarrow \left[CH_3CH_2 - \overset{\displaystyle CH_3}{\underset{\displaystyle H}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}} - OMgBr \right] \xrightarrow[H_2O \atop -Mg(OH)Br]{\text{જળવિભાજન}} CH_3CH_2\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}H}CH_3$$

ઇથાઇલ મેગ્નેશિયમ બ્રોમાઇડ — ઍસિટાલ્ડિહાઇડ અથવા ઇથેનાલ — બ્યુટેન્-2-ઓલ

$$CH_3CH_2CH_2CH_2MgBr + CH_3COCH_3 \longrightarrow \left[CH_3CH_2CH_2CH_2 - \overset{\displaystyle CH_3}{\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}} - OMgBr \right]$$

બ્યુટાઇલ મેગ્નેશિયમ બ્રોમાઇડ — પ્રોપેનોન (ઍસિટોન)

$$\xrightarrow[H_2O \atop -Mg(OH)Br]{\text{જળવિભાજન}} CH_3CH_2CH_2CH_2 - \overset{\displaystyle CH_3}{\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{\underset{|}{C}}}} - OH$$

2-મિથાઇલહેક્ઝેન્-2-ઓલ

(4) આથવણ પદ્ધતિ વડે આલ્કોહૉલની બનાવટ :

ઇથેનોલની બનાવટ માટે આથવણ પદ્ધતિ વધુ ઉપયોગી બને છે. ઇથેનોલના ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન માટે આ પદ્ધતિ વિશેષ વપરાય છે. મોલાસીસ (Molasses)માં રહેલી ખાંડનું આથવણ ઇન્વર્ટેઝ ઉત્સેચક વડે થવાથી ગ્લુકોઝ અને ફ્રુક્ટોઝ બને છે.

$$\underset{\text{ખાંડ}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \xrightarrow[\text{ઉત્સેચક}]{\text{ઇન્વર્ટેઝ}} \underset{\text{ગ્લુકોઝ}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{ફ્રુક્ટોઝ}}{C_6H_{12}O_6}$$

ગ્લુકોઝ અને ફ્રુક્ટોઝનું આથવણ યીસ્ટમાં રહેલ ઝાયમેઝ ઉત્સેચક વડે કરવાથી ઇથેનોલ બને છે અને કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ વાયુ ઉત્પન્ન થાય છે.

$$\underset{\text{ગ્લુકોઝ અથવા ફ્રુક્ટોઝ}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow[\text{ઉત્સેચક}]{\text{ઝાયમેઝ}} \underset{\text{ઇથેનોલ}}{2C_2H_5OH} + 2CO_2$$

અંતિમ દ્રાવણના નિસ્યંદનથી 95 % ઇથેનોલ અને 5 % પાણીનું એઝિયોટ્રોપિક (azeotropic) મિશ્રણ એટલે કે એક જ ઘટક $C_2H_5OH{\cdot}H_2O$ તરીકે મળે છે. શુદ્ધ ઇથેનોલ મેમ્બ્રેઇન ટેક્નોલૉજી (membrane technology) વડે મેળવાય છે.

શુદ્ધ ઇથેનોલ રંગવિહીન પ્રવાહી હોય છે. તેનું ઉત્કલનબિંદુ 351 K છે. તેનો ઉપયોગ રંગ-ઉત્પાદન એકમોમાં દ્રાવક તરીકે થાય છે. તેના ઉપયોગથી અનેક કાર્બનિક સંયોજનો બનાવી શકાય છે.

7.7 આલ્કોહૉલની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ (Chemical Reactions of Alcohols)

આલ્કોહોલમાં બે પ્રકારની પ્રક્રિયાઓ થાય છે. કેટલીક પ્રક્રિયાઓમાં R–O–Hમાંનો O–H બંધ તૂટે છે અને કેટલીક પ્રક્રિયાઓમાં R–O બંધ તૂટે છે. આ પ્રકારની પ્રક્રિયાઓથી વિવિધ પ્રકારનાં કાર્બનિક સંયોજનો મળે છે.

(1) O–H બંધ તૂટવાથી થતી પ્રક્રિયાઓ :

(i) આલ્કોહૉલની સક્રિય ધાતુ સાથેની પ્રક્રિયા : પાણીની જેમ આલ્કોહૉલ પણ Li, Na, K, Mg, Al અને અન્ય સક્રિય ધાતુઓ સાથે પ્રક્રિયા કરી ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ મુક્ત કરે છે અને ધાતુ આલ્કોક્સાઇડ બનાવે છે. આ ધાતુ આલ્કોક્સાઇડ, સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ કરતાં વધુ પ્રબળ બેઇઝ તરીકે વર્તે છે.

દા.ત.,

$$\underset{\text{પાણી}}{2H_2O} + \underset{\text{સોડિયમ ધાતુ}}{2Na} \longrightarrow \underset{\text{સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ}}{2NaOH} + \underset{\text{ડાયહાઇડ્રોજન વાયુ}}{H_2(g)}$$

$$\underset{\text{મિથેનોલ}}{2CH_3OH} + 2Na \longrightarrow \underset{\text{સોડિયમ મિથોક્સાઇડ}}{2CH_3ONa} + H_2(g)$$

$$\underset{\text{ઇથેનોલ}}{2CH_3CH_2OH} + \underset{\text{મૅગ્નેશિયમ ધાતુ}}{Mg} \longrightarrow \underset{\text{મૅગ્નેશિયમ ઇથૉક્સાઇડ}}{(CH_3CH_2O)_2Mg} + H_2(g)$$

(ii) આલ્કોહૉલની એસિડ સાથેની પ્રક્રિયા : આલ્કોહૉલ, એસિડ ઉદ્દીપકની હાજરીમાં કાર્બૉક્સિલિક એસિડ સાથે સંઘનન (condensation) પ્રક્રિયા કરી એસ્ટર બનાવે છે. આ પ્રક્રિયાને **એસ્ટરીકરણ** કહે છે.

$$\underset{\text{આલ્કોહૉલ}}{R-OH} + \underset{\text{એસિડ}}{R'-COOH} \xrightleftharpoons{H^+} \underset{\text{એસ્ટર}}{R'COOR} + H_2O$$

દા.ત.,

$$\underset{\text{મિથેનોલ}}{CH_3OH} + \underset{\text{બેન્ઝોઇક એસિડ}}{C_6H_5COOH} \xrightleftharpoons{H^+} \underset{\text{મિથાઇલ બેન્ઝોએટ}}{C_6H_5COOCH_3} + H_2O$$

$$\underset{\text{ઇથેનોલ}}{CH_3CH_2OH} + \underset{\text{એસિટિક એસિડ}}{CH_3COOH} \xrightleftharpoons{H^+} \underset{\text{ઇથાઇલ ઇથેનોએટ (ઇથાઇલ એસિટેટ)}}{CH_3COOCH_2CH_3} + H_2O$$

બેન્ઝોઇક એસિડની પ્રક્રિયા ચિહ્નિત (labelled) કરેલા રેડિયોસક્રિય O^{18} ધરાવતા મિથેનોલ સાથે કરતા મળતી એસ્ટર નીપજમાં O^{18} જોવા મળ્યો, તે દર્શાવે છે કે એસ્ટરીકરણ દરમિયાન એસિડ અણુમાંથી OH^- અને આલ્કોહૉલ અણુમાંથી H^+ એમ એકંદરે પાણીનો અણુ દૂર થાય છે.

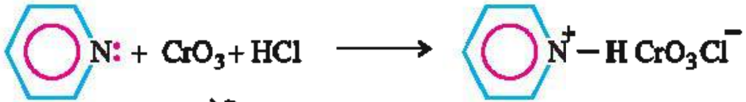
$$\underset{\text{બેન્ઝોઇક એસિડ}}{C_6H_5CO \vdots OH} + \underset{\text{મિથેનોલ}}{CH_3O^{18}H} \xrightleftharpoons{H^+} \underset{\text{મિથાઇલ બેન્ઝોએટ}}{C_6H_5COO^{18}CH_3} + H_2O$$

(iii) આલ્કોહૉલનું ઑક્સિડેશન : આલ્કોહૉલના ઑક્સિડેશન દરમ્યાન –OH સમૂહ ધરાવતા કાર્બન પરથી એક અથવા વધારે હાઇડ્રોજન પરમાણુ દૂર થાય છે. આલ્કોહૉલના ઑક્સિડેશનથી મળતી નીપજનો આધાર આલ્કોહૉલના પ્રકાર

અને પ્રક્રિયક પર રહેલો છે. આલ્કોહોલના ઑક્સિડેશન માટે **ક્રોમિક ઍસિડ (H_2CrO_4)** અથવા **પોટૅશિયમ પરમૅંગેનેટ ($KMnO_4$)** અથવા **પિરિડિનિયમ ક્લોરોક્રોમેટ (PCC)** પ્રક્રિયકો ઑક્સિડેશનકર્તા તરીકે વપરાય છે.

$$Na_2Cr_2O_7 \text{ OR } K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \xrightarrow[-K_2SO_4]{-Na_2SO_4 \text{ or}} H_2Cr_2O_7 \xrightleftharpoons{H_2O} 2H_2CrO_4$$

સોડિયમ ડાયક્રોમેટ   પોટૅશિયમ ડાયક્રોમેટ   ક્રોમિક ઍસિડ



પિરિડિન   ક્રોમિયમ ટ્રાયોક્સાઇડ   પિરિડિનિયમ ક્લોરોક્રોમેટ (PCC)

પ્રાથમિક આલ્કોહોલનું $KMnO_4$ અથવા H_2CrO_4 વડે ઑક્સિડેશન કરતાં પ્રથમ આલ્ડિહાઇડ મળે છે. અહીં આ આલ્ડિહાઇડને નીપજ તરીકે મેળવવો મુશ્કેલ છે. કારણ કે આ આલ્ડિહાઇડનું ઑક્સિડેશન, આલ્કોહોલના ઑક્સિડેશન કરતાં પણ વધુ સરળતાથી થતું હોવાથી તે ઝડપથી કાર્બોક્સિલિક ઍસિડમાં ફેરવાય છે. આમ **1^0 આલ્કોહોલનું $KMnO_4$ અથવા H_2CrO_4 જેવા પ્રબળ ઑક્સિડેશનકર્તા વડે ઑક્સિડેશન કરતાં સામાન્ય નીપજ તરીકે કાર્બોક્સિલિક ઍસિડ મળે છે.**

$$R-CH_2OH \xrightarrow[Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4 \; -H_2O]{[O]} R-CHO \xrightarrow[Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} R-COOH$$

1^0 આલ્કોહોલ   આલ્ડિહાઇડ   કાર્બોક્સિલિક ઍસિડ

દા.ત.,

$$CH_3CH_2CH_2CH_2OH \xrightarrow[Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} CH_3CH_2CH_2COOH$$

બ્યુટેન્-1-ઓલ   બ્યુટેનોઇક ઍસિડ

$$CH_3\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}HCH_2OH \xrightarrow[Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} CH_3\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}HCOOH$$

2-મિથાઇલપ્રોપેન્-1-ઓલ   2-મિથાઇલપ્રોપેનોઇક ઍસિડ

1^0 આલ્કોહોલનું પિરિડિનિયમ ક્લોરોક્રોમેટ (PCC) જેવા મંદ ઑક્સિડેશનકર્તા વડે ઑક્સિડેશન કરતાં આલ્ડિહાઇડ બને છે. ત્યાર બાદ આલ્ડિહાઇડનું ઑક્સિડેશન થતું નથી. આ પ્રક્રિયા ડાયક્લોરોમિથેન (CH_2Cl_2) જેવા નિર્જળ દ્રાવકમાં કરવામાં આવે છે.

$$R-CH_2OH \xrightarrow[CH_2Cl_2]{PCC\,[O]} R-CHO$$

1^0આલ્કોહોલ   આલ્ડિહાઇડ

$$CH_3CH_2CH_2CH_2OH \xrightarrow[CH_2Cl_2]{PCC\,[O]} CH_3CH_2CH_2CHO$$

બ્યુટેન્-1-ઓલ   બ્યુટેનાલ

$$\underset{\substack{|\\ CH_3}}{CH_3CHCH_2OH} \xrightarrow[CH_2Cl_2]{PCC\ [O]} \underset{\substack{|\\ CH_3}}{CH_3CHCHO}$$

2-મિથાઇલપ્રોપેન્-1-ઑલ 2-મિથાઇલપ્રોપેનાલ

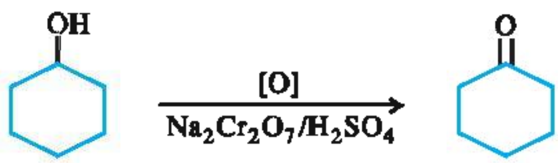
2^0 આલ્કોહૉલનું H_2CrO_4 કે $KMnO_4$ વડે ઑક્સિડેશન થઈ કિટોન બને છે.

$$\underset{\substack{|\\ OH}}{R-CH-R'} \xrightarrow[Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\substack{\|\\ O}}{R-C-R'}$$

2^0 આલ્કોહૉલ કિટોન

$$\underset{\substack{|\\ OH}}{CH_3-CH-CH_3} \xrightarrow[Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\substack{\|\\ O}}{CH_3-C-CH_3}$$

પ્રોપેન્-2-ઑલ પ્રોપેનોન (એસિટોન)



સાયક્લોહેક્ઝેનોલ સાયક્લોહેક્ઝેનોન

3^0 આલ્કોહૉલમાં –OH સમૂહ ધરાવતાં કાર્બન પાસે હાઇડ્રોજન પરમાણુ જોડાયેલો ન હોવાથી તેનું પ્રબળ ઑક્સિડેશનકર્તા વડે પણ ઑક્સિડેશન થતું નથી.

$$R-\overset{\substack{R'\\ |}}{\underset{\substack{|\\ R''}}{C}}-OH \xrightarrow[Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \text{ઑક્સિડેશન થતું નથી.}$$

3^0 આલ્કોહૉલ

(2) C–O બંધ તૂટવાથી થતી પ્રક્રિયાઓ :

(i) આલ્કોહૉલની હેલોજન ઍસિડ સાથેની પ્રક્રિયા : આલ્કોહૉલને નિર્જળ ઝિંક ક્લોરાઇડની હાજરીમાં સાંદ્ર હાઇડ્રોક્લોરિક ઍસિડ સાથે ગરમ કરતાં ક્લોરો આલ્કેન મળે છે. આ પ્રક્રિયા 3^0 આલ્કોહૉલ સાથે ઝડપી, 2^0 આલ્કોહૉલ સાથે ધીમી અને 1^0 આલ્કોહૉલ સાથે મુશ્કેલ હોય છે.

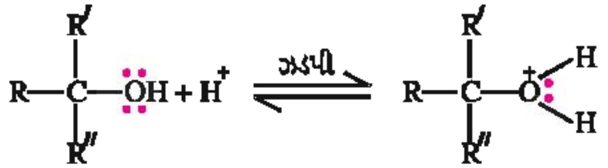
$$\underset{\text{આલ્કોહૉલ}}{R-OH} + \underset{\text{સાંદ્ર હાઇડ્રોક્લોરિક ઍસિડ}}{HCl} \xrightarrow[\Delta]{\text{નિર્જળ } ZnCl_2} \underset{\text{ક્લોરો આલ્કેન}}{R-Cl} + H_2O$$

આ પ્રક્રિયાને આધારે પ્રયોગશાળામાં પ્રાથમિક, દ્વિતીયક અને તૃતીયક આલ્કોહૉલની પરખ થઈ શકે છે, જેને **લ્યુકાસ કસોટી (Lucas test)** કહે છે. આ કસોટીમાં આલ્કોહૉલના નમૂનામાં નિર્જળ ઝિંક ક્લોરાઇડ અને સાંદ્ર હાઇડ્રોક્લોરિક

ઍસિડ ઉમેરી મિશ્રણને બરાબર હલાવી સહેજ ગરમ કરીને થોડી વાર રાખવામાં આવે છે. જો મિશ્રણની સપાટી ઉપર ખૂબ જ થોડા સમયમાં તૈલીબિંદુ મુક્ત થાય તો 3^0 આલ્કોહૉલ, પાંચ મિનિટમાં મિશ્રણ ડહોળું થાય તો 2^0 આલ્કોહૉલ અને પ્રક્રિયા થયા વિના મિશ્રણ ચોખ્ખું રહે તો 1^0 આલ્કોહૉલની પરખ કરી શકાય છે. તૃતીયક આલ્કોહૉલની સાંદ્ર હાઇડ્રોક્લોરિક ઍસિડ સાથેની પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિ સમજીએ.

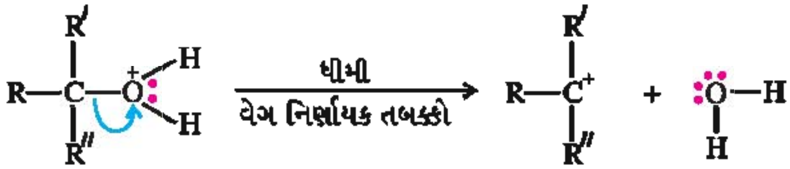
ક્રિયાવિધિ :

તબક્કો 1 : તૃતીયક આલ્કોહૉલ ઍસિડમાંના H^+ વડે પ્રોટોનેશન પામી ઑક્ઝોનિયમ આયનમાં ફેરવાય છે. આ તબક્કો ઝડપી હોય છે.



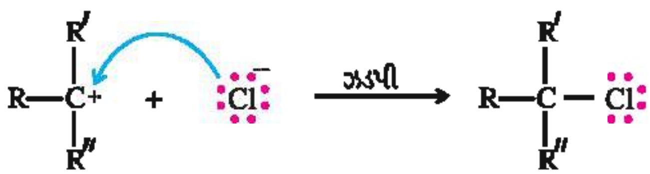
3^0 આલ્કોહૉલ ઑક્ઝોનિયમ આયન

તબક્કો 2 : ઑક્ઝોનિયમ આયનમાંથી પાણીનો અણુ દૂર થઈ 3^0 કાર્બોકેટાયન બને છે. આ તબક્કો ધીમો હોવાથી વેગનિર્ણાયક તબક્કો કહેવાય છે.



3^0 કાર્બોકેટાયન

તબક્કો 3 : 3^0 કાર્બોકેટાયન Cl^- સાથે ઝડપી પ્રક્રિયા કરી ક્લોરોઆલ્કેન બનાવે છે.



ક્લોરોઆલ્કેન

(ii) આલ્કોહૉલની ફૉસ્ફરસ ટ્રાયબ્રોમાઇડ સાથે પ્રક્રિયા : 1^0 અને 2^0 આલ્કોહૉલ ફૉસ્ફરસ ટ્રાયબ્રોમાઇડ સાથે પ્રક્રિયા કરી બ્રોમોઆલ્કેન બનાવે છે.

$$3(R-OH) + PBr_3 \longrightarrow 3(R-Br) + H_3PO_3$$

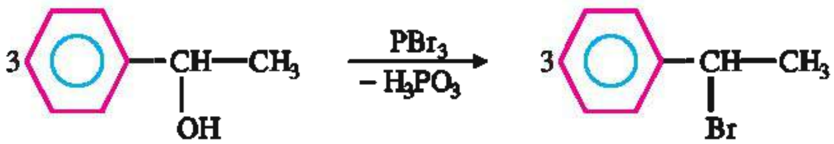
1^0 અથવા 2^0 આલ્કોહૉલ   ફૉસ્ફરસ ટ્રાયબ્રોમાઇડ   બ્રોમો આલ્કેન   ફૉસ્ફરસ ઍસિડ

$$3CH_3CH_2OH \xrightarrow[-H_3PO_3]{PBr_3} 3CH_3CH_2Br$$

ઇથેનોલ   બ્રોમો ઇથેન

$$3CH_3CH_2\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}H}CH_2OH \xrightarrow[-H_3PO_3]{PBr_3} 3CH_3CH_2\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}H}CH_2Br$$

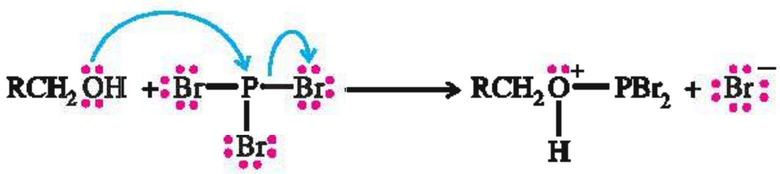
2-મિથાઇલબ્યુટેન્-1-ઓલ　　　　1-બ્રોમો-2-મિથાઇલબ્યુટેન



1-ફિનાઇલઇથેનોલ　　　　(1-બ્રોમોઇથાઇલ) બેન્ઝીન

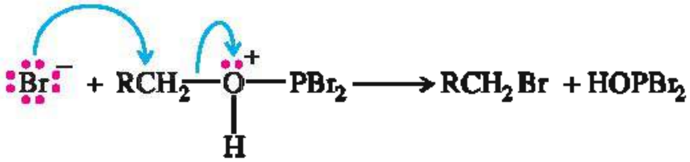
ક્રિયાવિધિ :

તબક્કો 1 : આલ્કોહોલની ફોસ્ફરસ ટ્રાયબ્રોમાઇડ સાથે પ્રક્રિયા થઈ મધ્યવર્તી સંયોજન આલ્કાઇલડાયબ્રોમોફોસ્ફાઇટ બને છે.



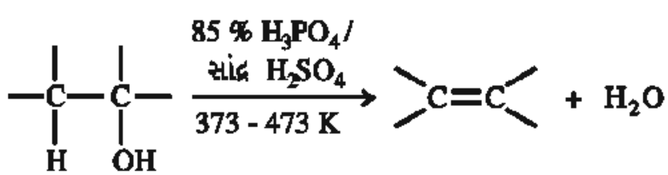
પ્રોટોનેટેડ આલ્કાઇલ ડાયબ્રોમોફોસ્ફાઇટ

તબક્કો 2 : બ્રોમાઇડ આયન કાર્બન પર હુમલો કરી હેલોઆલ્કેન બનાવે છે.



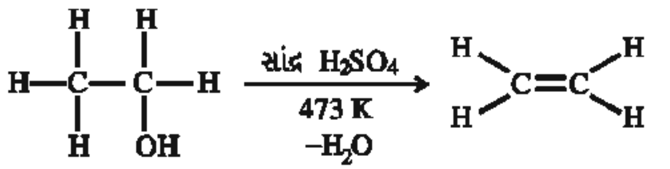
આ $HOPBr_2$ આલ્કોહોલના બીજા અણુઓ સાથે પ્રક્રિયા કરે છે. આમ, પ્રક્રિયાને અંતે આલ્કોહોલના ત્રણ મોલમાંથી ત્રણ મોલ હેલોઆલ્કેન બને છે. આ માટે 1 મોલ ફૉસ્ફરસ ટ્રાયબ્રોમાઇડ વપરાય છે.

(iii) આલ્કોહોલનું નિર્જળીકરણ : આલ્કોહોલ અણુના પાસપાસેના કાર્બન પરથી પાણીનો અણુ દૂર થઈ આલ્કીન બને છે. **પાણીના અણુ દૂર થવાની પ્રક્રિયાને નિર્જળીકરણ કહે છે.** પ્રયોગશાળામાં આલ્કોહોલનું નિર્જળીકરણ કરવા માટે તેને 85 % ફોસ્ફોરિક ઍસિડ અથવા સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક ઍસિડની હાજરીમાં 373 Kથી 473 K તાપમાને ગરમ કરવામાં આવે છે.



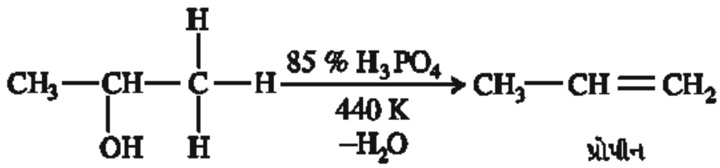
આલ્કોહોલ　　　　આલ્કીન

ઇથેનોલ(પ્રાથમિક આલ્કોહોલ)ને 473 K તાપમાને ગરમ કરવાથી તે ઇથિનમાં ફેરવાય છે.



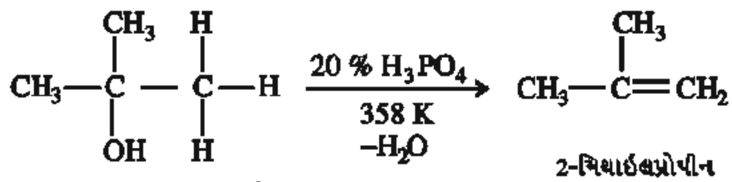
ઇથેનોલ ઇથીન

2^0 અને 3^0 આલ્કોહોલ મંદ પરિસ્થિતિમાં પણ નિર્જળીકરણ પ્રક્રિયા આપે છે.



પ્રોપીન

પ્રોપેન્-2-ઓલ



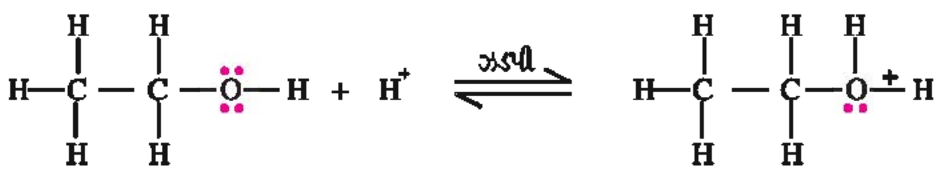
2-મિથાઇલપ્રોપીન

2-મિથાઇલપ્રોપેન્-2-ઓલ

આમ, આલ્કોહોલની નિર્જળીકરણ પ્રક્રિયા થવાની સરળતાનો ક્રમ 3^0 આલ્કોહોલ > 2^0 આલ્કોહોલ > 1^0 આલ્કોહોલ છે. અહીં આપણે ઇથેનોલની નિર્જળીકરણ પ્રક્રિયાની ક્રિયાવિધિ સમજીશું.

ક્રિયાવિધિ :

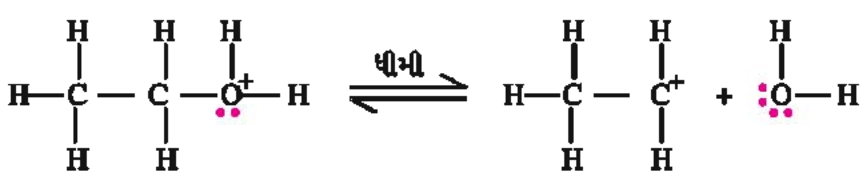
તબક્કો 1 : ઇથેનોલનું ઍસિડમાંના H^+ વડે પ્રોટોનેશન થઈ ઇથાઇલ ઑક્ઝોનિયમ આયન બને છે.



આલ્કોહોલ
(ઇથેનોલ)

પ્રોટોનેટેડ આલ્કોહોલ
(ઇથાઇલ ઑક્ઝોનિયમ આયન)

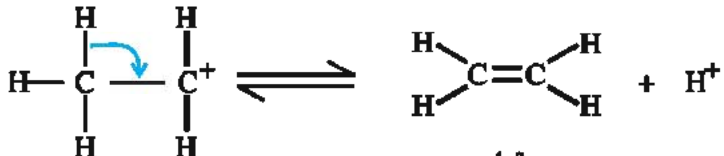
તબક્કો 2 : ઇથાઇલ ઑક્ઝોનિયમ આયનમાંથી પાણીનો અણુ દૂર થઈ કાર્બોકેટાયન બને છે. આ તબક્કો ધીમો હોવાથી વેગનિર્ણાયક તબક્કો કહેવાય છે.



પ્રોટોનેટેડ
આલ્કોહોલ

કાર્બોકેટાયન

તબક્કો 3 : કાર્બોકેટાયનમાંથી પ્રોટોન દૂર થઈ ઇથીન બને છે.



ઇથીન

(iv) આલ્કોહૉલનું રિડક્શન : બંધ પાત્રમાં લાલ ફૉસ્ફરસ અને સાંદ્ર હાઇડ્રોઆયોડિક ઍસિડ સાથે ગરમ કરવાથી આલ્કેન બને છે. આ રિડક્શન પ્રક્રિયાથી મિથેનોલમાંથી મિથેન અને ઇથેનોલમાંથી ઇથેન બને છે.

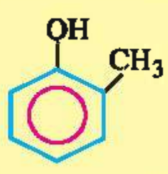
$$\underset{\text{મિથેનોલ}}{CH_3OH} + \underset{\text{સાંદ્ર હાઇડ્રોઆયોડિક ઍસિડ}}{2HI} \xrightarrow[\Delta]{\text{લાલ ફૉસ્ફરસ}} \underset{\text{મિથેન}}{CH_4} + I_2 + H_2O$$

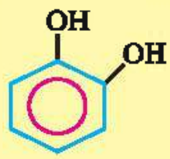
$$\underset{\text{ઇથેનોલ}}{CH_3CH_2OH} + \underset{\text{સાંદ્ર હાઇડ્રોઆયોડિક ઍસિડ}}{2HI} \xrightarrow[\Delta]{\text{લાલ ફૉસ્ફરસ}} \underset{\text{ઇથેન}}{CH_3CH_3} + I_2 + H_2O$$

7.8 ફિનૉલનું નામકરણ (Nomenclature of Phenols)

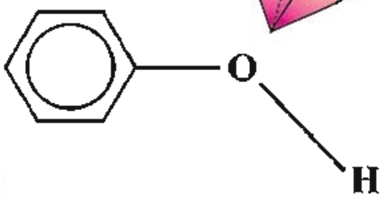
ફિનૉલ અને તેના કેટલાંક વ્યુત્પન્નો મોટે ભાગે સામાન્ય નામથી પ્રચલિત છે. દા.ત., ફિનૉલ, ઑર્થો-ક્રેસોલ, મેટા-ક્રેસોલ, પેરા-ક્રેસોલ, કેટેકોલ, રિસોર્સિનોલ, હાઇડ્રોક્વિનોન, પિક્રિક ઍસિડ વગેરે. ફિનૉલના સામાન્ય નામ, IUPAC નામ તરીકે પણ સ્વીકારાયાં છે. ફિનૉલનાં વ્યુત્પન્નોના IUPAC નામ માટે ફિનૉલને મૂળ હાઇડ્રોકાર્બન ગણી ઍરોમેટિક વલયના વિસ્થાપિત અન્ય સમૂહોનું સ્થાન દર્શાવવામાં આવે છે. આ માટે –OH સમૂહ, જે કાર્બન સાથે જોડાયેલ હોય તેને પ્રથમ ક્રમ આપવામાં આવે છે. વિસ્થાપિત સમૂહોનું સ્થાન દર્શાવવા માટે ઑર્થો (1, 2–દ્વિવિસ્થાપિત), મેટા (1, 3–દ્વિવિસ્થાપિત), પેરા (1, 4–દ્વિવિસ્થાપિત) શબ્દો સામાન્ય નામકરણમાં વપરાય છે. વિસ્થાપિત સમૂહોને અંગ્રેજી મૂળાક્ષરોના ક્રમમાં લખવામાં આવે છે. કોષ્ટક 7.2માં કેટલાંક ફિનૉલ સંયોજનોના બંધારણીય સૂત્ર, IUPAC નામ, સામાન્ય નામ દર્શાવ્યા છે.

કોષ્ટક 7.2 ફિનૉલ સંયોજનો

બંધારણીય સૂત્ર	IUPAC નામ	સામાન્ય નામ
	ફિનૉલ	ફિનૉલ
	2–મિથાઇલફિનૉલ	o–ક્રેસોલ

	3–મિથાઇલફિનોલ	m–ક્રેસોલ
	4–મિથાઇલફિનોલ	p–ક્રેસોલ
	બેન્ઝિન–1, 2–ડાયોલ	કેટેકોલ
	બેન્ઝિન–1, 3–ડાયોલ	રિસોર્સિનોલ
	બેન્ઝિન–1, 4–ડાયોલ	હાઇડ્રોક્વિનોન (ક્વિનોલ)
	2, 4, 6–ટ્રાયનાઇટ્રોફિનોલ	પિક્રિક એસિડ
	5–ક્લોરો–2–મિથાઇલફિનોલ	––

7.9 ફિનોલનું ઇલેક્ટ્રોનીય બંધારણ (Electronic Structure of Phenol)



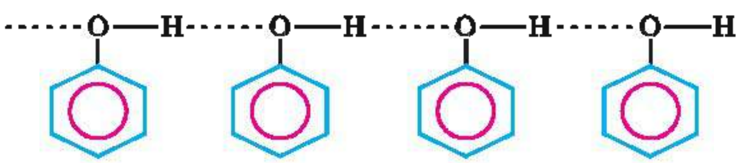
C–O અને O–H	σ–બંધ
C sp^2 સંકરણ	O sp^3 સંકરણ
C–O–H ખૂણો	109^0

7.10 ફિનોલના ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties of Phenols)

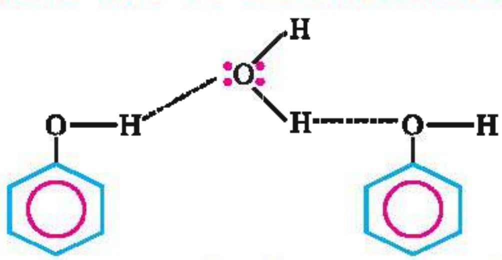
ફિનોલમાં હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહ હોવાથી તે પ્રવાહી સ્થિતિમાં આલ્કોહોલની જેમ ફિનોલના અન્ય અણુ સાથે તેમજ પાણીના અણુ સાથે આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ બનાવે છે. તેથી આંતરઆણ્વિય આકર્ષણ વધે છે. પરિણામે લગભગ સમાન આણ્વિયદળ ધરાવતા ટોલ્યુઇન (એરિન સંયોજનો) અને ક્લોરો બેન્ઝિન (હેલોએરિન સંયોજનો) કરતાં ફિનોલનું ઉત્કલનબિંદુ તથા પાણીમાં દ્રાવ્યતા વધુ હોય છે (કોષ્ટક 7.3).

કોષ્ટક 7.3 ફિનોલ, એરિન અને હેલોએરિન સંયોજનના ભૌતિક ગુણધર્મોની સરખામણી (298 K)

ભૌતિક ગુણધર્મો	સંયોજનો		
	ફિનોલ	ટોલ્યુઇન	ક્લોરોબેન્ઝિન
આણ્વિયદળ (ગ્રામ મોલ$^{-1}$)	94	92	96
ઉત્કલનબિંદુ (K)	455	384	358
પાણીમાં દ્રાવ્યતા (ગ્રામ / 100 મિલિ)	8.2	0.05	0.2



ફિનોલના અણુઓ વચ્ચે આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ

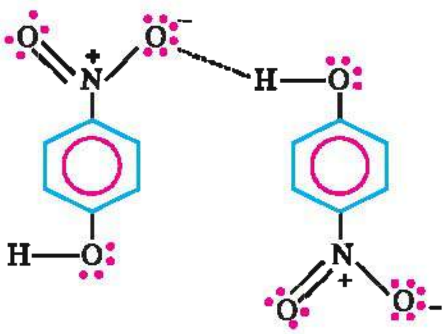


ફિનોલ અને પાણીના અણુઓ વચ્ચે આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ

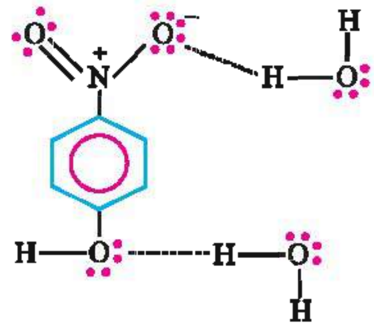
કેટલાક ઑર્થોવિસ્થાપિત ફિનોલ જેવા કે o–નાઇટ્રોફિનોલનું ગલનબિંદુ તથા પાણીમાં દ્રાવ્યતા તેના m– અને p–સમઘટકો કરતાં ઓછી જોવા મળે છે (કોષ્ટક 7.4). કારણ કે m– અને p–નાઇટ્રોફિનોલ, તેના અન્ય અણુ તથા પાણીના અણુ સાથે આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ બનાવે છે, જ્યારે o–નાઇટ્રોફિનોલમાં આંતઃઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ બને છે. આ બંધમાં રોકાયેલો હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહનો હાઇડ્રોજન પરમાણુ, o–નાઇટ્રોફિનોલના અન્ય અણુ સાથે કે પાણીના અણુ સાથે આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ બનાવી શકતો નથી.

કોષ્ટક 7.4 નાઇટ્રોફિનોલના સમઘટકોના ભૌતિક ગુણધર્મો (298 K)

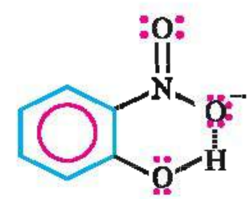
સંયોજન	ભૌતિક ગુણધર્મો	
	ગલનબિંદુ (K)	પાણીમાં દ્રાવ્યતા (ગ્રામ / 100 મિલિ)
o–નાઇટ્રોફિનોલ	45	0.2
m–નાઇટ્રોફિનોલ	96	1.4
p–નાઇટ્રોફિનોલ	114	1.7



p-નાઇટ્રોફિનોલના અણુઓ વચ્ચે આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ

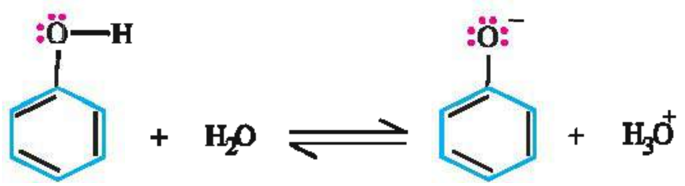


p-નાઇટ્રોફિનોલ અને પાણીના અણુઓ વચ્ચે આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ



o-નાઇટ્રોફિનોલમાં આંતઃઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ

ફિનોલની ઍસિડિકતા : ફિનોલનું જલીય દ્રાવણ ભૂરા લિટમસપત્રને લાલ બનાવે છે. તદુપરાંત તેનું તટસ્થીકરણ સોડિયમ કાર્બોનેટના દ્રાવણ સાથે ન થતાં સોડિયમ હાઇડ્રૉક્સાઇડના દ્રાવણ સાથે થાય છે, જે ફિનોલનો નિર્બળ ઍસિડિક ગુણધર્મ સૂચવે છે. ફિનોલમાં રહેલ ધ્રુવીય O–H બંધ તેની ઍસિડિકતા માટે જવાબદાર હોય છે.



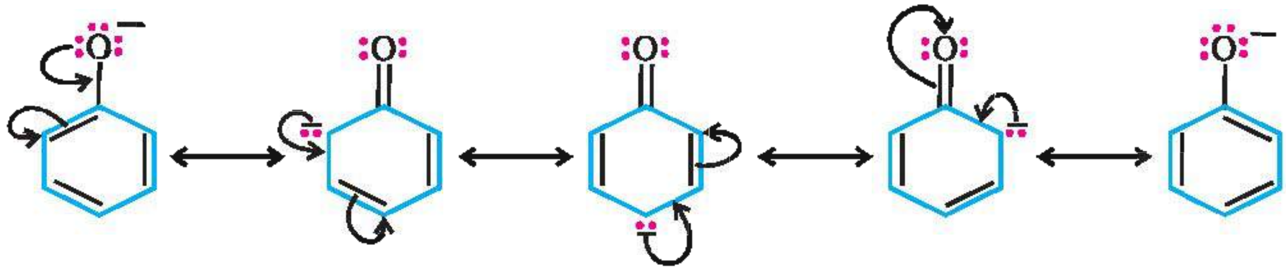
ફિનોલ ફિનોક્સાઇડ આયન

અહીં સહજ રીતે પ્રશ્ન થાય કે આલ્કોહોલ અને ફિનોલમાં કોની ઍસિડિકતા વધુ હશે ? આ અંગે આપણે વિચારીએ. આપણે અગાઉ ચર્ચા કરી તેમ આલ્કોહોલમાંથી આલ્કોક્સાઇડ આયન બને છે.

$$R—\ddot{\underset{\cdot\cdot}{O}}H + H_2O \rightleftharpoons R—\ddot{\underset{\cdot\cdot}{O}}\!:^- + H_3O^+$$

આલ્કોહોલ આલ્કોક્સાઇડ આયન

આલ્કોક્સાઇડમાં ઋણવીજભાર ઑક્સિજન પરમાણુ પર સ્થાનીકૃત થયેલો છે, એટલે કે તેનાં સસ્પંદન સૂત્રો મળતા નથી. ફિનોક્સાઇડ આયનમાં ઑક્સિજન પરમાણુ પરનો ઋણવીજભાર વિસ્થાનીકૃત પામે છે. તેથી ફિનોક્સાઇડ આયનના એક કરતાં વધુ સસ્પંદન સૂત્રો મળે છે. આમ, ફિનોક્સાઇડ આયનની સ્થિરતા આલ્કોક્સાઇડ આયન કરતા વધુ છે.

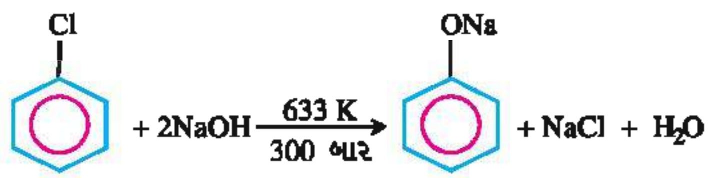


ફિનોક્સાઇડ આયનની સ્થાયીતા વધુ હોવાથી તેની H_3O^+ સાથે પ્રક્રિયા થઈ ફિનોલ બનવાની એટલે કે પ્રતિગામી પ્રક્રિયા થવાની સરળતા આલ્કોક્સાઇડ આયનની સરખામણીમાં ઘણી ઓછી હોય છે. એટલે કે ફિનોલના જલીય દ્રાવણમાં આલ્કોહોલના જલીય દ્રાવણ કરતાં H_3O^+ની સાંદ્રતા વધુ હોય છે. આમ, **આલ્કોહોલ કરતાં ફિનોલનું જલીય દ્રાવણ વધુ એસિડિક હોય છે.**

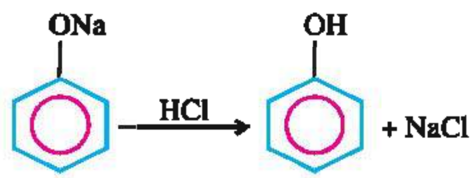
7.11 ફિનોલની બનાવટ (Preparation of Phenol)

ફિનોલ અતિ મહત્ત્વનું ઔદ્યોગિક રસાયણ છે. તે કેટલાંક રંગકો, ઔષધો અને પોલિમર પદાર્થના ઉત્પાદનમાં વપરાય છે. ફિનોલનું ઉત્પાદન જુદી જુદી પદ્ધતિઓ વડે કરી શકાય છે.

(1) ડાઉ પદ્ધતિ : ફિનોલના ઔદ્યોગિક ઉત્પાદનમાં આ પદ્ધતિ વપરાય છે. આ પદ્ધતિમાં ક્લોરોબેન્ઝિન અને 6–8 % સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડના જલીય દ્રાવણના મિશ્રણને બંધ પાત્રમાં 300 બાર દબાણે અને 633 K તાપમાને ગરમ કરતાં ફિનોલનો સોડિયમ ક્ષાર (સોડિયમ ફિનોક્સાઇડ) મધ્યસ્થી નીપજ તરીકે મળે છે. પ્રક્રિયા મિશ્રણમાંથી વધારાનું ક્લોરોબેન્ઝિન દૂર કરી બાકીના દ્રાવણમાં એસિડ ઉમેરતાં ફિનોલ મળે છે.



ક્લોરોબેન્ઝિન સોડિયમ ફિનોક્સાઇડ



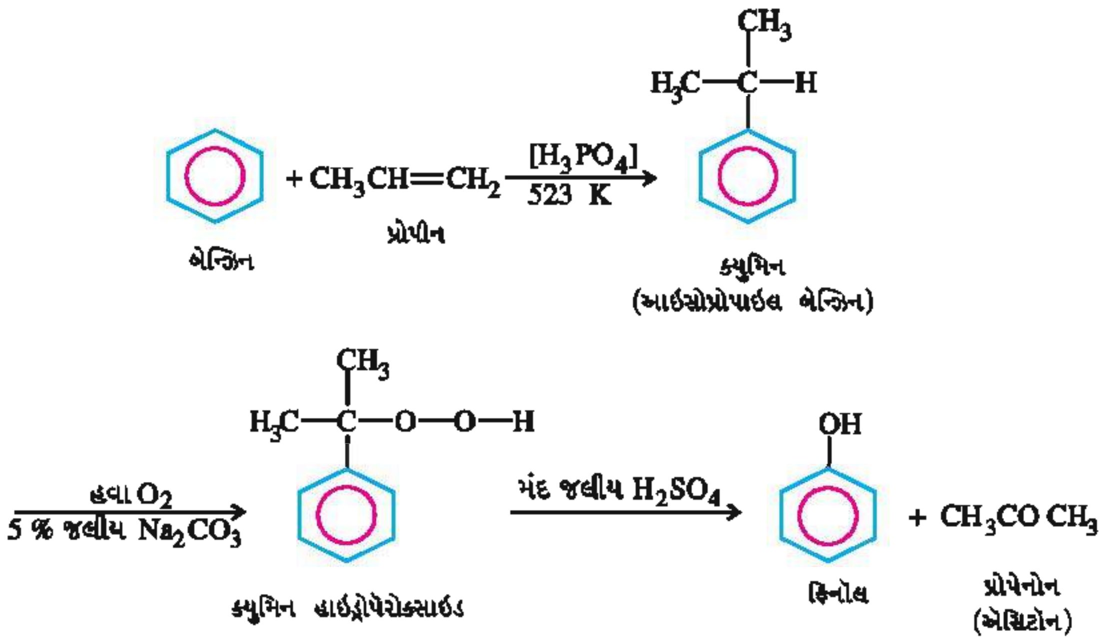
સોડિયમ ફિનોક્સાઇડ ફિનોલ

પ્રક્રિયા દરમિયાન સોડિયમ ફિનોક્સાઇડ અને વધારાના ક્લોરોબેન્ઝિન વચ્ચે પ્રક્રિયા થઈ ફિનોક્સિબેન્ઝિન (ડાયફિનાઇલ ઇથર) આડપેદાશ તરીકે મળે છે, જે ફિનોલનું ઉત્પાદન ઘટાડે છે. આ મુશ્કેલી દૂર કરવા માટે પ્રક્રિયાની શરૂઆતથી પ્રક્રિયા મિશ્રણમાં ફિનોક્સિબેન્ઝિન (ડાયફિનાઇલ ઇથર) ઉમેરવામાં આવે છે. તેથી લશટેલિયરના સિદ્ધાંત મુજબ આડપેદાશનું પ્રમાણ ઘટે છે. કારણ કે નીચે દર્શાવેલ પ્રક્રિયા પ્રતિગામી દિશામાં આગળ વધે છે :

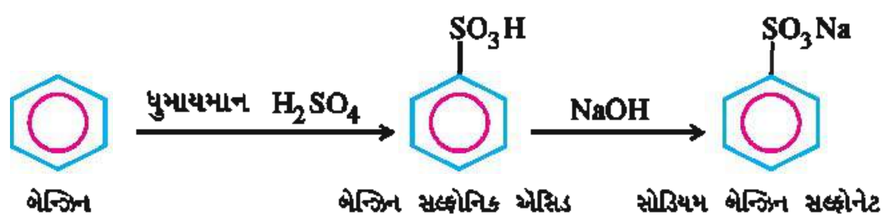
સોડિયમ ફિનોક્સાઇડ ક્લોરોબેન્ઝિન ફિનોક્સિબેન્ઝિન (ડાયફિનાઇલ ઇથર)

(2) ક્યુમિન પદ્ધતિ : આ પદ્ધતિમાં બેન્ઝિન અને પ્રોપીનના મિશ્રણને બંધ પાત્રમાં ફૉસ્ફોરિક ઍસિડ (H_3PO_4) ઉદ્દીપકની હાજરીમાં 523 K તાપમાને ગરમ કરતાં ક્યુમિન (આઇસોપ્રોપાઇલ બેન્ઝિન) બને છે. ક્યુમિન અને 5 % જલીય સોડિયમ કાર્બોનેટના મિશ્રણની અંદર હવા પસાર કરતાં ઑક્સિડેશનથી ક્યુમિન હાઇડ્રોપેરોક્સાઇડ બને છે. તેની મંદ સલ્ફ્યુરિક ઍસિડ સાથેની પ્રક્રિયાથી ફિનૉલ અને પ્રોપેનોન (ઍસિટોન) બને છે. આ પદ્ધતિમાં આડપેદાશ તરીકે મળતો પ્રોપેનોન ઉપયોગી દ્રાવક છે.

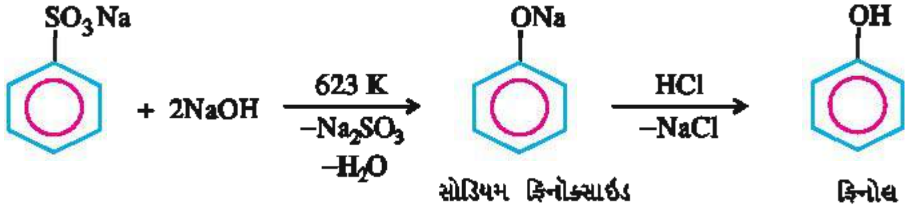
આ પદ્ધતિથી ઓછા ખર્ચે ઊંચી શુદ્ધતાવાળો ફિનૉલ બનાવી શકાય છે. તેથી ફિનૉલના ઔદ્યોગિક ઉત્પાદનમાં મોટા ભાગે આ પદ્ધતિનો જ ઉપયોગ થાય છે.



(3) સોડિયમ બેન્ઝિન સલ્ફોનેટમાંથી ફિનૉલ : બેન્ઝિનની ક્રમશઃ ધુમાયમાન H_2SO_4 અને NaOH સાથે પ્રક્રિયા કરતાં સોડિયમ બેન્ઝિન સલ્ફોનેટ મળે છે.

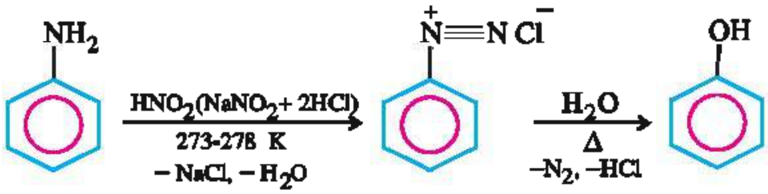


સોડિયમ બેન્ઝિન સલ્ફોનેટને સોડિયમ હાઇડ્રૉક્સાઇડ સાથે 623 K તાપમાને પીગાળતા સોડિયમ ફિનૉક્સાઇડ મળે છે. તેની ઍસિડ સાથે પ્રક્રિયા કરતાં ફિનૉલ મળે છે.



ફિનૉલના ઉત્પાદન માટે સૌપ્રથમ આ પદ્ધતિને 1890માં જર્મનીમાં વિકસાવવામાં આવી હતી.

(4) ડાયએઝોનિયમ ક્ષારમાંથી ફિનોલ : એનિલીનની નાઇટ્રસ એસિડ $-HNO_2$ ($NaNO_2$ + HCl) સાથે નીચા તાપમાને પ્રક્રિયા કરતાં બેન્ઝિન ડાયએઝોનિયમ ક્લોરાઇડ મળે છે. તેને પાણી સાથે ગરમ કરતાં ફિનોલ મળે છે.



એનિલીન અથવા બેન્ઝિનેમાઇન — બેન્ઝિનડાયએઝોનિયમ ક્લોરાઇડ — ફિનોલ

7.12 ફિનોલની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ (Chemical Reactions of Phenol)

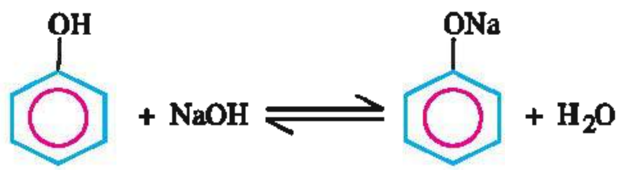
ફિનોલમાં બે પ્રકારની પ્રક્રિયાઓ થાય છે :

(1) –OH સમૂહને કારણે થતી પ્રક્રિયાઓ

(2) એરોમેટિક વલયમાં થતી પ્રક્રિયાઓ

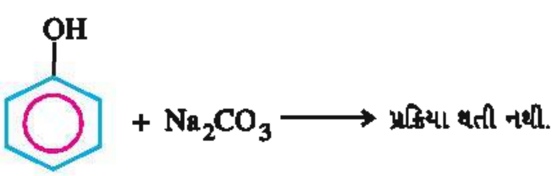
(1) –OH સમૂહને કારણે થતી પ્રક્રિયાઓ :

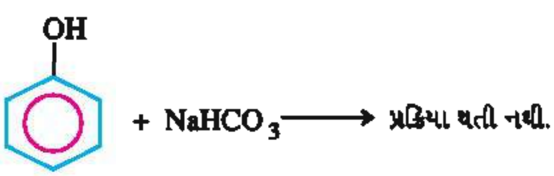
(i) ક્ષારનું બનવું : ફિનોલની જલીય સોડિયમ હાઇડ્રોક્સાઇડ સાથેની પ્રક્રિયાથી ક્ષાર અને પાણી બને છે.



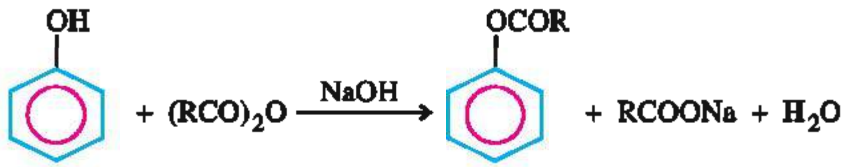
ફિનોલ — સોડિયમ ફિનોક્સાઇડ

ફિનોલ નિર્બળ એસિડ હોવાને લીધે તે સોડિયમ કાર્બોનેટ અને સોડિયમ હાઇડ્રોજન કાર્બોનેટ સાથે પ્રક્રિયા આપતો નથી.

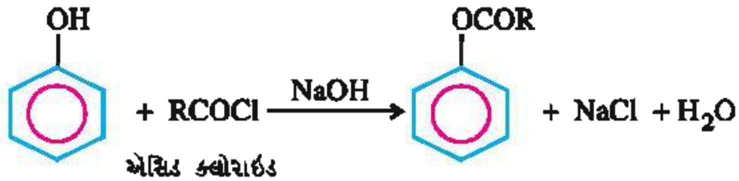




(ii) ફિનાઇલ એસ્ટરનું બનવું : ફિનોલ આલ્કલી માધ્યમમાં એસિડ એનહાઇડ્રાઇડ કે એસિડ ક્લોરાઇડ સાથે પ્રક્રિયા કરી ફિનાઇલ એસ્ટર બનાવે છે.

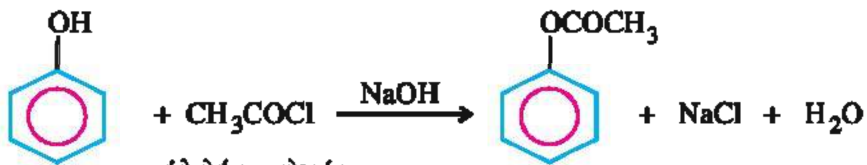


એસિડ એનહાઈડ્રાઈડ   ફિનાઈલ એસ્ટર

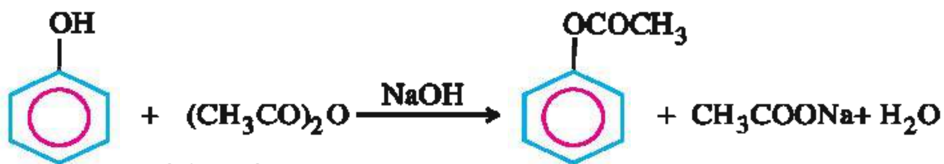


એસિડ ક્લોરાઈડ

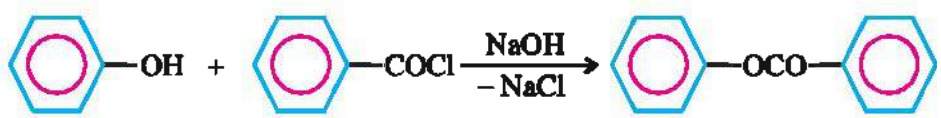
ફિનાઈલ એસ્ટર



ઈથેનોઈલ ક્લોરાઈડ (એસિટાઈલ ક્લોરાઈડ)   ફિનાઈલ એસિટેટ



ઈથેનોઈક એનહાઈડ્રાઈડ (એસિટિક એનહાઈડ્રાઈડ)   ફિનાઈલ એસિટેટ

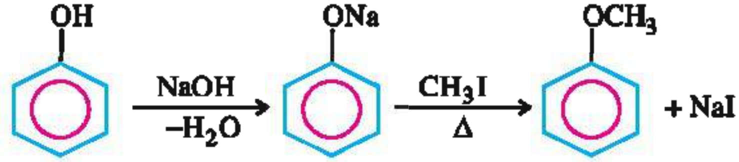


બેન્ઝોઈલ ક્લોરાઈડ   ફિનાઈલ બેન્ઝોએટ

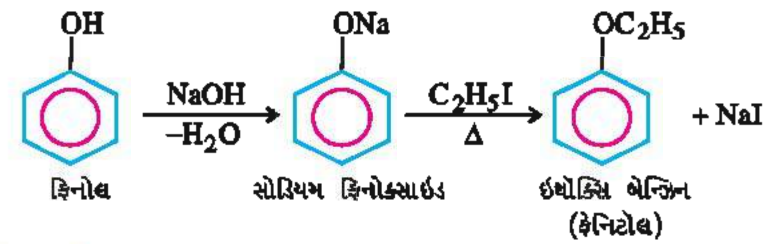
(iii) એરાઈલ ઈથરનું બનવું : ફિનોલનું જલીય સોડિયમ હાઈડ્રોક્સાઈડમાં દ્રાવણ બનાવી તેમાં હેલોઆલ્કેન ઉમેરી ગરમ કરવાથી ઈથર બને છે. ઈથર બનવાની આ પ્રક્રિયાને વિલિયમસન સંશ્લેષણ (Williamson Synthesis) કહે છે.

$$ArOH \xrightarrow[-H_2O]{NaOH} ArO^-Na^+ \xrightarrow[\Delta]{R-X} ArOR + NaX$$

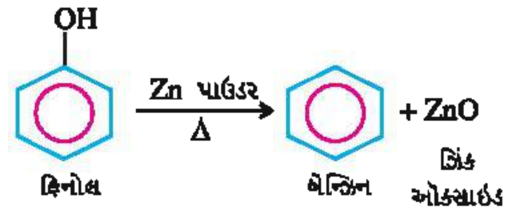
દા.ત.,



ફિનોલ   સોડિયમ ફિનોક્સાઈડ   એનિસોલ અથવા મિથોક્સિ બેન્ઝિન



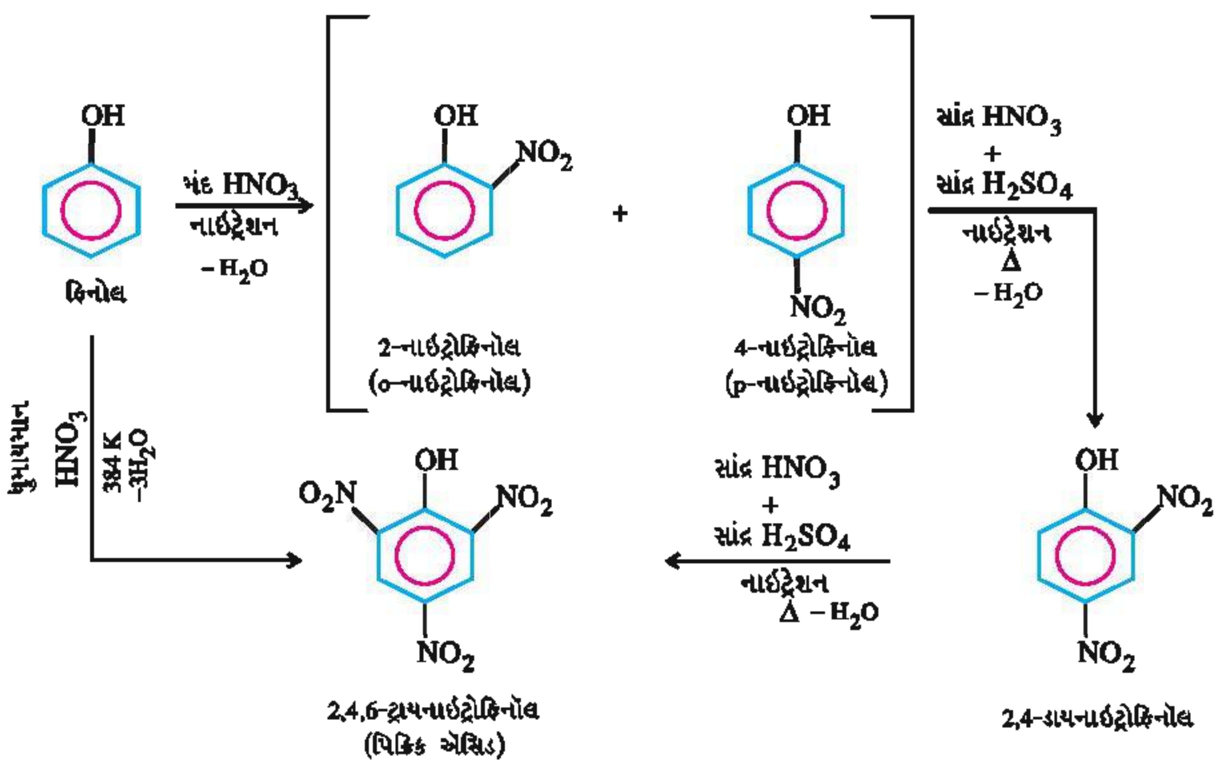
(iv) બેન્ઝિનનું બનવું : નિર્જળ ફિનોલ અને ઝિંક પાઉડરના મિશ્રણને ગરમ કરતાં બેન્ઝિન અને ઝિંક ઑક્સાઇડ બને છે. આ પ્રક્રિયામાં ઍરોમેટિક કેન્દ્ર સાથે જોડાયેલો હાઇડ્રૉક્સિ સમૂહ દૂર થાય છે.



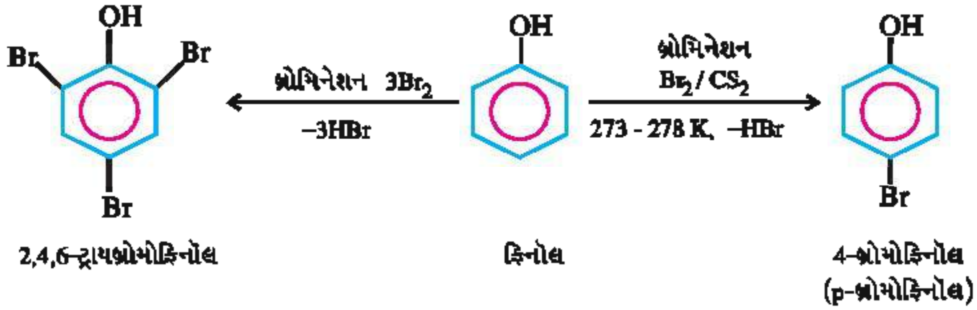
(2) ઍરોમેટિક વલયમાં થતી પ્રક્રિયાઓ :

(i) ઇલેક્ટ્રૉન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયા : ફિનોલમાંનો હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહ ઑર્થો-પૅરાનિર્દેશક હોવાથી, ફિનોલની નાઇટ્રેશન અને બ્રોમિનેશન જેવી ઇલેક્ટ્રૉન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓથી ઑર્થો-પૅરા વ્યુત્પન્નો મળે છે.

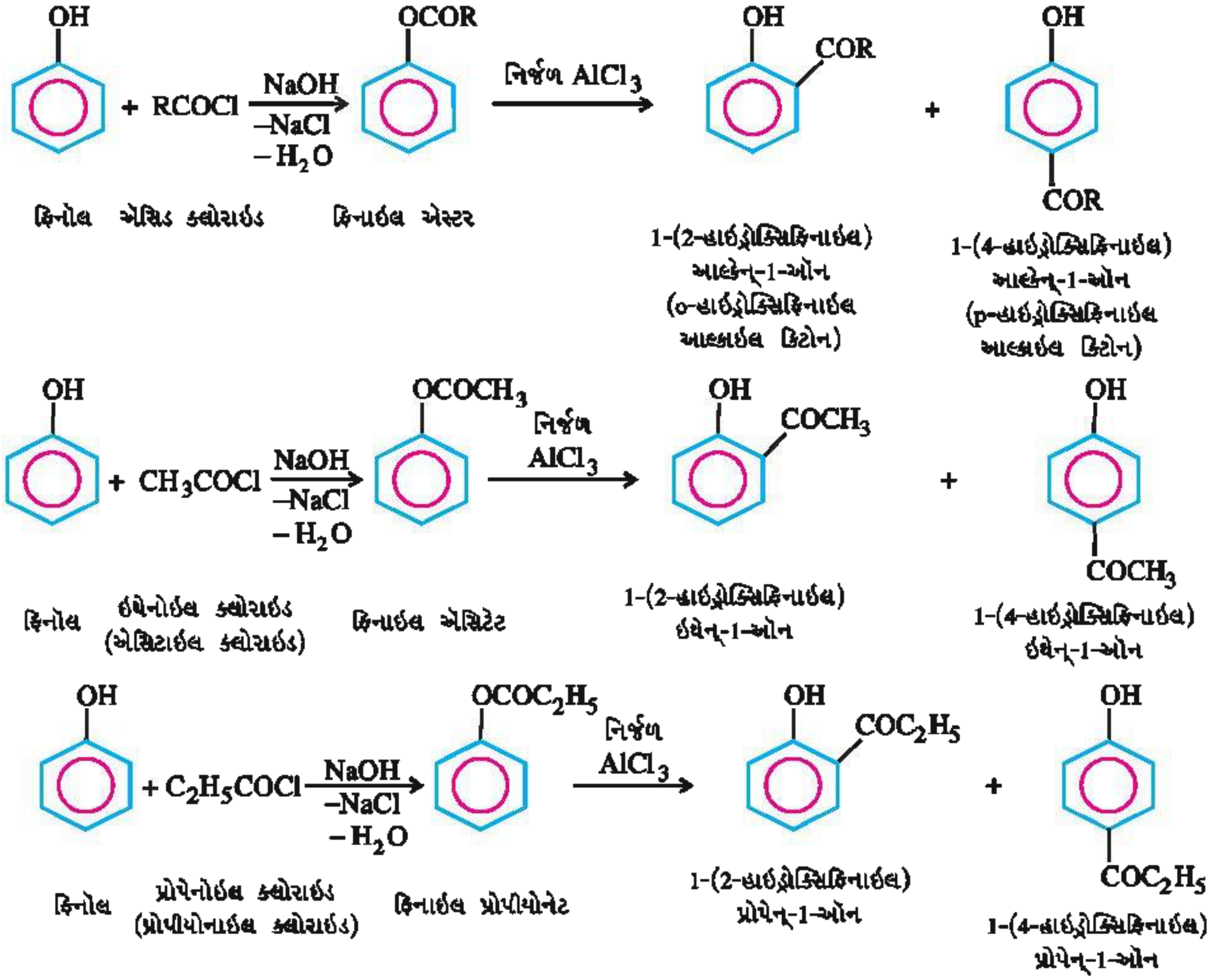
(A) ફિનોલનું નાઇટ્રેશન : સામાન્ય તાપમાને ફિનોલ અને મંદ નાઇટ્રિક ઍસિડ વચ્ચેની રાસાયણિક પ્રક્રિયાથી 2–નાઇટ્રોફિનોલ (ઑર્થો-નાઇટ્રોફિનોલ) અને 4–નાઇટ્રોફિનોલ (પૅરા-નાઇટ્રોફિનોલ)નું મિશ્રણ બને છે. તેને પ્રથમ નાઇટ્રેશન પ્રક્રિયા કહે છે. તેનું દ્વિતીય નાઇટ્રેશન સાંદ્ર HNO_3 અને સાંદ્ર H_2SO_4ના મિશ્રણ સાથે ગરમ કરતાં 2, 4–ડાયનાઇટ્રોફિનોલ અને તૃતીય નાઇટ્રેશનથી 2, 4, 6–ટ્રાયનાઇટ્રોફિનોલ (પિક્રિક ઍસિડ) બને છે. ફિનોલની સાંદ્ર નાઇટ્રિક ઍસિડ સાથેની પ્રક્રિયાથી પણ પિક્રિક ઍસિડ મળે છે, પરંતુ આ પ્રક્રિયાથી મળતી નીપજનું પ્રમાણ ઓછું હોય છે.



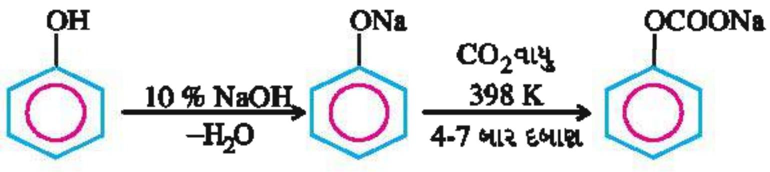
(B) ફિનોલનું બ્રોમિનેશન : ફિનોલમાં સામાન્ય તાપમાને બ્રોમિનજળ ઉમેરવાથી 2, 4, 6–ટ્રાયબ્રોમોફિનોલના સફેદ અવક્ષેપ મળે છે. જ્યારે 273થી 278 K તાપમાને બ્રોમિનનું કાર્બન ડાયસલ્ફાઇડમાં બનાવેલું દ્રાવણ, ફિનોલમાં ઉમેરવાથી 4–બ્રોમો ફિનોલ મળે છે.



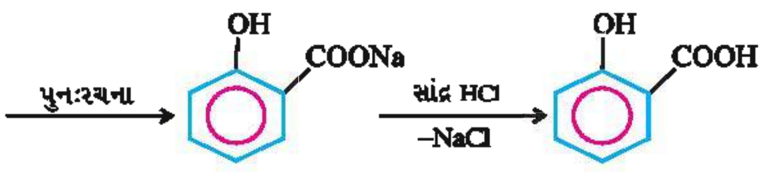
(ii) ફ્રાઈસ પુનર્વિન્યાસ : ફિનોલમાંથી ફિનોલિક કિટોન બનાવવા માટે, ફિનોલની એસિડ ક્લોરાઇડ કે એસિડ એનહાઇડ્રાઇડ સાથે પ્રક્રિયા કરતાં ફિનાઇલ એસ્ટર બને છે. આ એસ્ટરની ઍલ્યુમિનિયમ ક્લોરાઇડ સાથે પ્રક્રિયા કરતાં ફિનોલિક ઑક્સિજન સાથે જોડાયેલ એસાઇલ સમૂહ (–COR) એરોમેટિક કેન્દ્રમાં તેના ઑર્થો અથવા પેરા સ્થાને સ્થળાંતર (transfer) પામે છે. આ પ્રક્રિયાને ફ્રાઈસ પુનર્વિન્યાસ (Fries rearrangement) કહે છે.



(iii) કોલ્બે-સ્મિટ્ પ્રક્રિયા : ફિનોલને 10 % સોડિયમ હાઇડ્રૉક્સાઇડના જલીય દ્રાવણમાં ઓગાળી, બંધ પાત્રમાં 4–7 બાર દબાણે અને 398 K તાપમાને કાર્બન ડાયૉક્સાઇડ વાયુ સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે. આથી પ્રથમ તબક્કે અસ્થાયી ફિનોક્સિ સોડિયમ ફોર્મેટ બને છે, જે પુનઃરચનાથી સોડિયમ-2-હાઇડ્રૉક્સિ બેન્ઝોએટ(સોડિયમ સેલિસિલેટ)માં ફેરવાય છે. પ્રક્રિયા પૂર્ણ થયા બાદ દ્રાવણને સાંદ્ર હાઇડ્રોક્લોરિક ઍસિડ વડે ઍસિડિક કરતાં 2–હાઇડ્રૉક્સિ બેન્ઝોઇક ઍસિડ(સેલિસિલિક ઍસિડ)ના સફેદ અવક્ષેપ મળે છે. 2–હાઇડ્રૉક્સિ બેન્ઝોઇક ઍસિડનો ઉપયોગ 2–ઍસિટાઇલોક્સિ બેન્ઝોઇક ઍસિડ (ઍસ્પિરીન) અને મિથાઇલ 2–હાઇડ્રૉક્સિ બેન્ઝોએટ (મિથાઇલ સેલિસિલેટ) જેવાં વેદનાહર ઔષધો બનાવવામાં થાય છે.

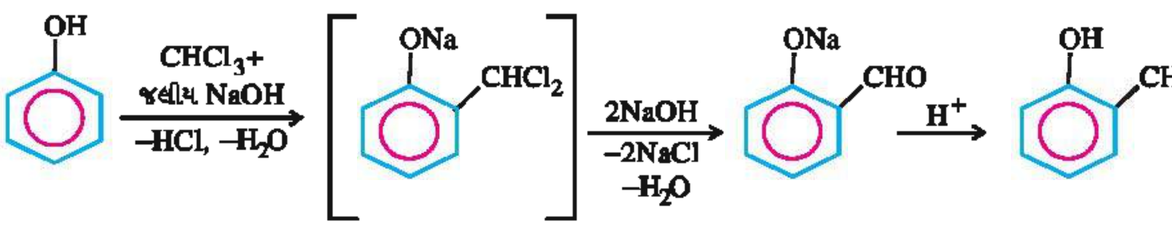


ફિનોલ   સોડિયમ ફિનોક્સાઇડ   ફિનોક્સિ સોડિયમ ફોર્મેટ (અસ્થાયી)



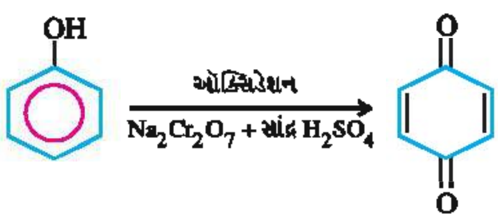
સોડિયમ-2-હાઇડ્રૉક્સિબેન્ઝોએટ (સોડિયમ સેલિસિલેટ)   2-હાઇડ્રૉક્સિબેન્ઝોઇક ઍસિડ (સેલિસિલિક ઍસિડ)

(iv) રીમર-ટિમાન પ્રક્રિયા : ફિનોલને જલીય સોડિયમ હાઇડ્રૉક્સાઇડના દ્રાવણની હાજરીમાં ટ્રાયક્લોરો મિથેન (ક્લોરોફોર્મ) સાથે ગરમ કરતાં, ઍરોમેટિક વલયમાં આલ્ડિહાઇડ સમૂહ દાખલ થાય છે. આ પ્રક્રિયાને રીમર-ટિમાન પ્રક્રિયા (Reimer–Tiemann reaction) કહે છે. મધ્યસ્થી સંયોજન તરીકે બનતા વિસ્થાપિત ડાયક્લોરો ફિનાઇલ મિથેન(બેન્ઝાલ ક્લોરાઇડ)નું આલ્કલાઇન માધ્યમમાં જળવિભાજન થઈ 2–હાઇડ્રૉક્સિ બેન્ઝાલ્ડિહાઇડ (સેલિસાલ્ડિહાઇડ) બને છે.



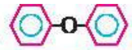
ફિનોલ   મધ્યસ્થી સંયોજન   સોડિયમ-2-હાઇડ્રૉક્સિ બેન્ઝાલ્ડિહાઇડ   2-હાઇડ્રૉક્સિબેન્ઝાલ્ડિહાઇડ (સેલિસાલ્ડિહાઇડ)

(v) ફિનોલનું ઑક્સિડેશન : ક્રોમિક ઍસિડ ($Na_2Cr_2O_7$ + સાંદ્ર H_2SO_4) વડે ફિનોલનું ઑક્સિડેશન થઈ 1,4–બેન્ઝોક્વિનોન બને છે.



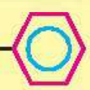
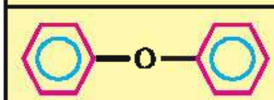
ફિનોલ   સાયક્લોહેક્ઝા-2,5-ડાઇન-1,4-ડાયોન (1,4-બેન્ઝોક્વિનોન)

7.13 ઈથર સંયોજનોનું નામકરણ (Nomenclature of Ether Compounds)

ઈથરનું સામાન્ય સૂત્ર $R_1/Ar_1–O–R_2/Ar_2$ છે એ આપણે આ એકમની શરૂઆતમાં સમજ્યા. જ્યાં R_1 અને R_2 = આલ્કાઈલ અથવા આલ્કીનાઈલ અથવા આલ્કાઈનાઈલ સમૂહ તથા Ar_1 અને Ar_2= એરાઈલ સમૂહ છે. જો ઈથર સંયોજનોમાંના ઑક્સિજન સાથે જોડાયેલા બંને હાઇડ્રોકાર્બન સમૂહ સમાન હોય, તો તેને **સાદા અથવા સમમિતીય ઈથર (Symmetrical ether)** કહેવાય છે. દા.ત., CH_3OCH_3, $C_2H_5OC_2H_5$,  વગેરે. જો ઈથરમાંના ઑક્સિજન સાથે જોડાયેલા બંને હાઇડ્રોકાર્બન સમૂહ જુદા હોય, તો તેને **મિશ્ર અથવા અસમમિતીય ઈથર (Unsymmetrical ether)** કહેવાય છે. દા.ત., $CH_3OCH_2CH_3$, $CH_3OCH_2CH_2CH_3$, $-OCH_3$ વગેરે.

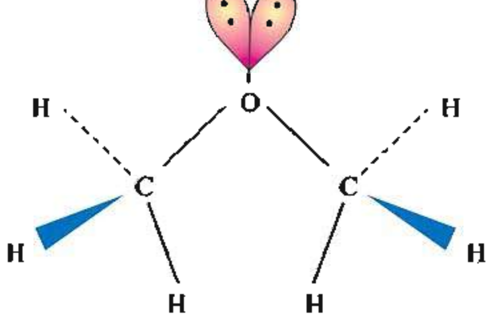
ઈથરના સામાન્ય નામકરણમાં ઑક્સિજન સાથે જોડાયેલા બે હાઇડ્રોકાર્બન સમૂહોને અંગ્રેજી મૂળાક્ષરોના ક્રમમાં લખ્યા બાદ અંતે 'ઈથર' શબ્દ મૂકવામાં આવે છે. જો બંને સમૂહ સમાન હોય તો નામ પહેલાં 'ડાય' પૂર્વગ જોડ્યા પછી અંતમાં 'ઈથર' શબ્દ મૂકવામાં આવે છે (જુઓ કોષ્ટક 7.5). **ઈથરના IUPAC નામકરણમાં ઈથરને આલ્કોક્સિ (RO–) અથવા ફિનૉક્સિ (ArO–) સમૂહ દ્વારા વિસ્થાપિત થયેલ હાઇડ્રોકાર્બન તરીકે દર્શાવવામાં આવે છે.** આલ્કોક્સિ અથવા ફિનૉક્સિ સમૂહના નામ માટે આલ્કાઈલ કે ફિનાઈલ સમૂહના નામના અંતેથી 'આઈલ (yl)' દૂર કરી 'ઑક્સિ (oxy)' પ્રત્યય લગાવવામાં આવે છે. દા.ત., CH_3O–(મિથૉક્સિ), C_2H_5O–(ઇથૉક્સિ), –O–(ફિનૉક્સિ). આમ, ઈથરમાંના ઑક્સિજન સાથે જોડાયેલી દીર્ઘતમ કાર્બનશૃંખલા ધરાવતા હાઇડ્રોકાર્બન નામની પૂર્વે વિસ્થાપક આલ્કોક્સિ અથવા ફિનૉક્સિ સમૂહના નામને પૂર્વગ તરીકે જોડીને ઈથરનું IUPAC નામ લખવામાં આવે છે. (જુઓ કોષ્ટક 7.5)

કોષ્ટક 7.5 ઈથર સંયોજનો

બંધારણીય સૂત્ર	IUPAC નામ	સામાન્ય નામ	પ્રકાર
$CH_3–O–CH_3$	મિથૉક્સિમિથેન	ડાયમિથાઈલ ઈથર	સમમિતીય
$CH_3–O–CH_2CH_3$	મિથૉક્સિઇથેન	ઇથાઈલ મિથાઈલ ઈથર	અસમમિતીય
$CH_3CH_2–O–CH_2CH_3$	ઇથૉક્સિઇથેન	ડાયઇથાઈલ ઈથર	સમમિતીય
CH_3O— 	મિથૉક્સિબેન્ઝિન અથવા એનિસોલ	મિથાઈલ ફિનાઈલ ઈથર (એનિસોલ)	અસમમિતીય
CH_3CH_2O—	ઇથૉક્સિબેન્ઝિન	ઇથાઈલ ફિનાઈલ ઈથર (ફિનિટોલ)	અસમમિતીય
	ફિનૉક્સિબેન્ઝિન	ડાયફિનાઈલ ઈથર	સમમિતીય
$H_2C=CHCH_2OCH_3$	3–મિથૉક્સિપ્રોપ્–1–ઈન	મિથાઈલ પ્રોપીનાઈલ ઈથર	અસમમિતીય
$HC≡CCH_2OCH_3$	3–મિથૉક્સિપ્રોપ્–1–આઇન	મિથાઈલ પ્રોપાઇનાઈલ ઈથર	અસમમિતીય
$CH_2=CH–O–CH=CH_2$	ઇથિનૉક્સિઇથિન	ડાયવિનાઈલ ઈથર	સમમિતીય
$CH_3CH_2OCH(CH_3)CH_3$	2–ઇથૉક્સિપ્રોપેન	ઇથાઈલ આઇસોપ્રોપાઈલ ઈથર	અસમમિતીય

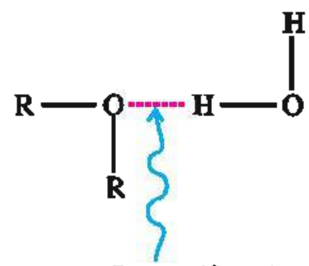
7.14 ઈથરનું ઈલેક્ટ્રૉનીય બંધારણ (Electronic Structure of Ether)

C–O	σ–બંધ
C અને O	sp^3 સંકરણ
C–O–C ખૂણો	111.7^0



7.15 ઈથરના ભૌતિક ગુણધર્મો (Physical Properties of Ether)

સમાન આણ્વિયદળ ધરાવતા આલ્કોહોલ કરતાં ઈથરના ઉત્કલનબિંદુ ખૂબ નીચાં હોય છે. કારણ કે ઈથરમાં આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ હોતા નથી. દા.ત., ઇથેનોલ (આણ્વિયદળ = 46 ગ્રામ મોલ$^{-1}$, ઉત્કલનબિંદુ = 351 K) કરતા મિથોક્સિમિથેનનું (આણ્વિયદળ = 46 ગ્રામ મોલ$^{-1}$, ઉત્કલનબિંદુ = 248 K) ઉત્કલનબિંદુ અને બ્યુટેન્–1–ઑલ (આણ્વિયદળ = 74 ગ્રામ મોલ$^{-1}$, ઉત્કલનબિંદુ = 390 K) કરતા ઈથૉક્સિઇથેન (આણ્વિયદળ = 74 ગ્રામ મોલ$^{-1}$, ઉત્કલનબિંદુ = 308 K)નું ઉત્કલનબિંદુ ખૂબ નીચું હોય છે. ઈથર, પાણીના અણુ સાથે આલ્કોહૉલની જેમ આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ બનાવે છે. તેથી ઈથરની પાણીમાં દ્રાવ્યતા તેને સમાન આણ્વિયદળ ધરાવતાં આલ્કોહૉલ જેટલી હોય છે. દા.ત., 298 K તાપમાને, સમાન આણ્વિયદળ ધરાવતા બ્યુટેન્–1–ઑલ અને ઈથૉક્સિઇથેનની 100 ગ્રામ પાણીમાં દ્રાવ્યતા આશરે 8 ગ્રામ જેટલી છે.



આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ

ઈથર અને પાણીના અણુઓ વચ્ચે આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ

7.16 ઈથરની બનાવટ (Preparation of Ethers)

ઈથરની બનાવટ માટે મુખ્યત્વે બે પદ્ધતિઓ પ્રચલિત છે :

(1) આલ્કોહૉલના નિર્જળીકરણ દ્વારા : આલ્કોહૉલનું નિર્જળીકરણ ઍસિડની હાજરીમાં શક્ય બને છે. આ પ્રક્રિયાની નીપજ આલ્કીન હશે કે ઈથર તેનો આધાર પ્રક્રિયાની પરિસ્થિતિ પર રહેલો છે. દા.ત., ઇથેનોલનું સલ્ફ્યુરિક ઍસિડની હાજરીમાં 443 K તાપમાને નિર્જળીકરણ કરવાથી ઇથિન બને છે અને 413 K તાપમાને કરવાથી મુખ્ય નીપજ તરીકે ઇથૉક્સિઇથેન મળે છે.

$$\underset{\text{ઇથેનોલ}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow[443\ K]{\text{વધુ સાંદ્ર } H_2SO_4} \underset{\text{ઇથિન}}{H_2C=CH_2}$$

$$\underset{\text{ઇથેનોલ}}{2CH_3CH_2OH} \xrightarrow[413\ K]{\text{સાંદ્ર } H_2SO_4} \underset{\text{ઇથૉક્સિઇથેન (ડાયઇથાઇલ ઈથર)}}{C_2H_5OC_2H_5}$$

બે મોલ ઇથેનોલ અને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક ઍસિડની 413 K તાપમાને પ્રક્રિયા થવાથી મળતા ઇથૉક્સિઇથેનનું ઉત્કલનબિંદુ 308 K જેટલું નીચું હોવાથી પ્રક્રિયાના તાપમાને તે બાષ્પ સ્વરૂપે મળે છે. બાષ્પને જળશીતકમાંથી પસાર કરી ઠંડી પાડતાં પ્રવાહી ઈથર મળે છે. આ પ્રક્રિયામાં જો એક તરફથી ઇથેનોલ સતત ઉમેરવામાં આવે અને બીજી તરફથી સતત પ્રવાહી ઇથૉક્સિઇથેન મળે તેવું આયોજન કરવામાં આવે, તો આ પદ્ધતિને સતત ઈથરીકરણ કહે છે. ઈથરનું ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન આ પદ્ધતિ વડે થાય છે.

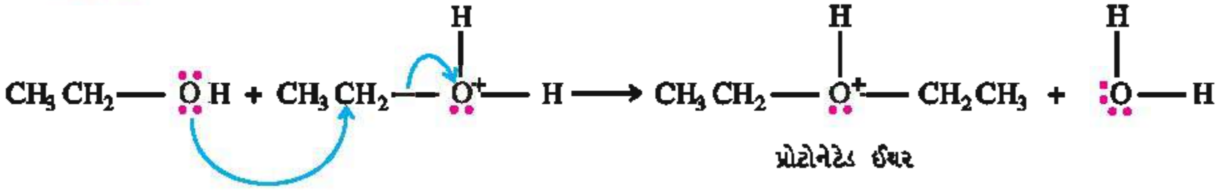
ક્રિયાવિધિ :

તબક્કો 1 : આલ્કોહૉલ, સલ્ફ્યુરિક ઍસિડનો પ્રોટોન સ્વીકારી પ્રોટોનેટેડ આલ્કોહૉલ બને છે.

$$CH_3CH_2-\ddot{\underset{\cdot\cdot}{O}}H + H^+ \longrightarrow CH_3CH_2-\underset{\cdot\cdot}{\overset{H}{\overset{|}{O^+}}}-H$$

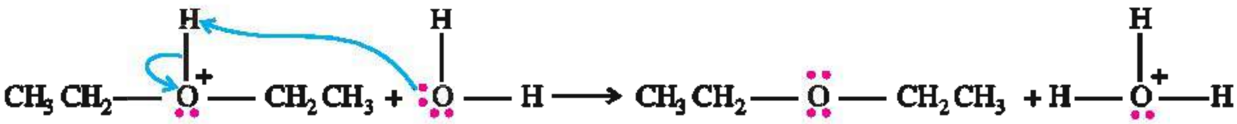
ઇથેનોલ — પ્રોટોનેટેડ ઇથેનોલ

તબક્કો 2 : આલ્કોહૉલનો બીજો અણુ કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક તરીકે વર્તી પ્રોટોનેટેડ આલ્કોહૉલ પર હુમલો કરે છે.



પ્રોટોનેટેડ ઈથર

તબક્કો 3 : પ્રોટોનેટેડ ઈથરમાંથી પ્રોટોન દૂર થઈ ઈથર બને છે.



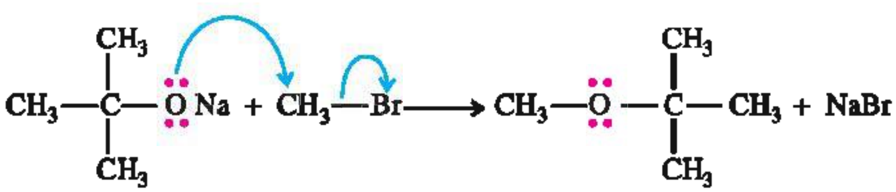
ઇથૉક્સિ ઇથેન

(2) વિલિયમસન સંશ્લેષણ દ્વારા : અંગ્રેજ રસાયણવિજ્ઞાની ઍલેક્ઝાન્ડર વિલિયમ વિલિયમસન્સે (Alexander William Williamson) અસમમિતીય ઈથરના સંશ્લેષણ માટેની કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયા શોધી હતી. આ પ્રક્રિયાને વિલિયમસન સંશ્લેષણ કહે છે. આ સંશ્લેષણ, સોડિયમ આલ્કોક્સાઇડ અને હેલોઆલ્કેનની દ્વિઆણ્વિય કેન્દ્રાનુરાગી વિસ્થાપન (SN^2) પ્રક્રિયા છે.

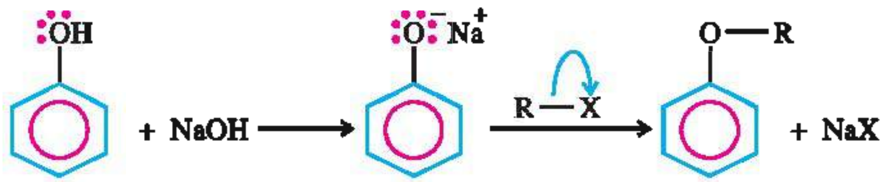
$$R-\ddot{\underset{\cdot\cdot}{O}}Na + R'-X \longrightarrow R-\ddot{\underset{\cdot\cdot}{O}}-R' + NaX$$

સોડિયમ આલ્કોક્સાઇડ — હેલો આલ્કેન — અસમમિતીય ઈથર

સોડિયમ આલ્કોક્સાઇડમાં –R તરીકે દ્વિતીયક કે તૃતીયક આલ્કાઇલ સમૂહ હોય તોપણ ઈથરનું સંશ્લેષણ આ પ્રક્રિયાથી થઈ શકે છે.



પ્રાથમિક હેલોઆલ્કેન જ ઈથરનું સંશ્લેષણ સરળતાથી કરી શકે છે. જો દ્વિતીયક કે તૃતીયક હેલોઆલ્કેન વાપરવામાં આવે તો વિલોપન (elimination) પ્રક્રિયા થઈ આલ્કીન બને છે. આ પ્રક્રિયાથી ફિનૉલમાંથી પણ ઈથર બનાવી શકાય છે.



ફિનોલ આલ્કોક્સિ બેન્ઝિન

7.17 ઈથરની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ (Chemical Reactions of Ether)

ઈથર સંયોજનોની રાસાયણિક ક્રિયાશીલતા પ્રમાણમાં ઓછી હોવાથી તેનું ઑક્સિડેશન અને રિડક્શન થતું નથી. ઉપરાંત સક્રિય ધાતુ કે બેઇઝ સાથે પણ પ્રક્રિયા થતી નથી. પરંતુ પ્રબળ ઍસિડ સાથે કેટલીક પ્રક્રિયાઓ આપે છે. સામાન્ય રીતે ઈથરમાં બે પ્રકારની પ્રક્રિયાઓ થાય છે :

(1) C–O બંધ તૂટવાથી થતી પ્રક્રિયાઓ

(2) ઍરોમેટિક વલયમાં થતી ઇલેક્ટ્રૉન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ

(1) C–O બંધ તૂટવાથી થતી પ્રક્રિયાઓ :

(i) મંદ ઍસિડ સાથેની પ્રક્રિયા : ઇથૉક્સિઇથેન (ડાયઇથાઇલ ઈથર) અને મંદ સલ્ફ્યુરિક ઍસિડના મિશ્રણને બંધ પાત્રમાં દબાણ હેઠળ ગરમ કરતાં જળવિભાજનથી બે મોલ ઇથેનોલ મળે છે.

$$\underset{\text{ઇથૉક્સિઇથેન}}{CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3} + H_2O \xrightarrow[\Delta,\ \text{દબાણ}]{\text{જળવિભાજન, મંદ } H_2SO_4} \underset{\text{ઇથેનોલ}}{2CH_3CH_2OH}$$

(ii) હાઇડ્રોજન હેલાઇડ સાથે પ્રક્રિયા : ઇથૉક્સિઇથેન અને બે મોલ સાંદ્ર હાઇડ્રોબ્રોમાઇડના મિશ્રણને ઊંચા તાપમાને ગરમ કરતાં બે મોલ બ્રોમોઇથેન મળે છે.

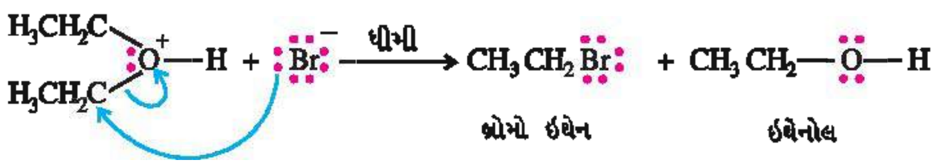
$$\underset{\text{ઇથૉક્સિ ઇથેન}}{CH_3CH_2OCH_2CH_3} + \underset{\text{હાઇડ્રોજન બ્રોમાઇડ}}{2HBr} \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{બ્રોમોઇથેન}}{2CH_3CH_2Br} + H_2O$$

ક્રિયાવિધિ :

તબક્કો 1 : ઇથૉક્સિઇથેન, હાઇડ્રોજન બ્રોમાઇડનો પ્રોટોન સ્વીકારી પ્રોટોનેટેડ ઈથરમાં ફેરવાય છે.

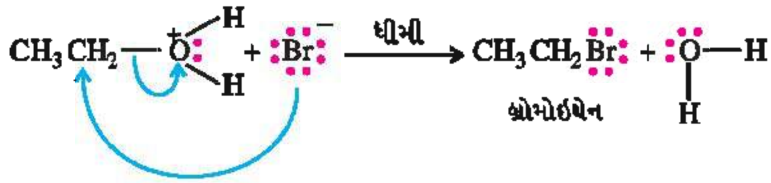
પ્રોટોનેટેડ ઈથર

તબક્કો 2 : બ્રોમાઇડ આયન કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક તરીકે વર્તી પ્રોટોનેટેડ ઈથરના કાર્બન પર હુમલો કરે છે. આ તબક્કા દરમિયાન એક મોલ બ્રોમોઇથેન (ઇથાઇલ બ્રોમાઇડ) અને એક મોલ ઇથેનોલ બને છે.



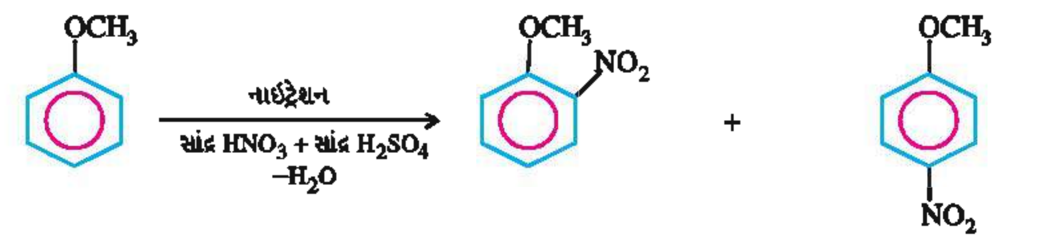
તબક્કો 3 : ઈથેનોલ, હાઈડ્રોજન બ્રોમાઈડનો પ્રોટોન સ્વીકારી પ્રોટોનેટેડ ઈથેનોલમાં ફેરવાય છે.

તબક્કો 4 : બ્રોમાઈડ આયન કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક તરીકે વર્તી પ્રોટોનેટેડ ઈથેનોલના કાર્બન પર હુમલો કરે છે. આ તબક્કા દરમિયાન બ્રોમોઈથેન અને પાણી બને છે.



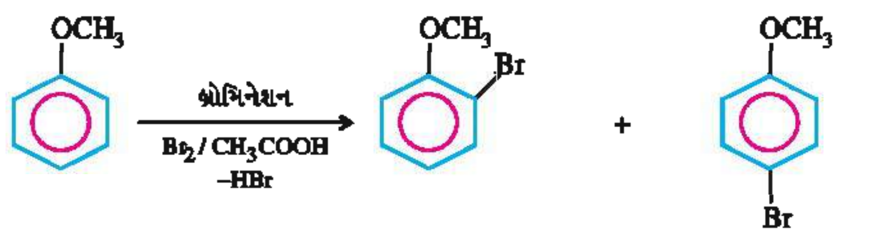
(2) ઍરોમેટિક વલયમાં થતી ઈલેક્ટ્રૉન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ : આલ્કોક્સિ એરિન (આલ્કાઈલ એરાઈલ ઈથર) સંયોજનોમાં –OR સમૂહ ઑર્થો-પૅરાનિર્દેશક હોવાથી, તેની ઈલેક્ટ્રૉન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ દરમિયાન ઑર્થો-પૅરા નીપજનું મિશ્રણ મળે છે. આ પ્રક્રિયાઓ એનિસોલના ઉદાહરણ દ્વારા સમજીએ.

(i) નાઈટ્રેશન : એનિસોલની સાંદ્ર નાઈટ્રિક ઍસિડ અને સાંદ્ર સલ્ફ્યુરિક ઍસિડના મિશ્રણ સાથેની નાઈટ્રેશન પ્રક્રિયાથી 1–મિથૉક્સિ–2–નાઈટ્રોબેન્ઝિન (o–નાઈટ્રોએનિસોલ) અને 1–મિથૉક્સિ –4–નાઈટ્રોબેન્ઝિન(p–નાઈટ્રોએનિસોલ)નું મિશ્રણ મળે છે.



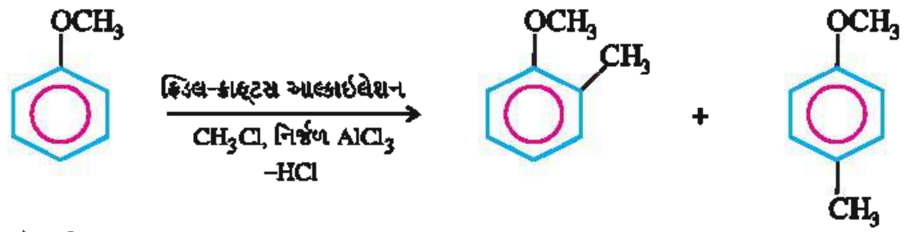
એનિસોલ | 1-મિથૉક્સિ-2-નાઈટ્રોબેન્ઝિન (o–નાઈટ્રોએનિસોલ) | 1-મિથૉક્સિ-4-નાઈટ્રોબેન્ઝિન (p–નાઈટ્રોએનિસોલ)

(ii) બ્રોમિનેશન : એનિસોલની એસિટિક ઍસિડમાં બ્રોમિન સાથેની બ્રોમિનેશન પ્રક્રિયાથી 1–બ્રોમો–2–મિથૉક્સિબેન્ઝિન (o–બ્રોમોએનિસોલ) અને 1–બ્રોમો–4–મિથૉક્સિબેન્ઝિન (p–બ્રોમોએનિસોલ) મળે છે.



એનિસોલ | 1-બ્રોમો-2-મિથૉક્સિબેન્ઝિન (o–બ્રોમોએનિસોલ) | 1-બ્રોમો-4-મિથૉક્સિબેન્ઝિન (p–બ્રોમોએનિસોલ)

(iii) ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ આલ્કાઈલેશન : નિર્જળ એલ્યુમિનિયમ ક્લોરાઇડની હાજરીમાં એનિસોલની ક્લોરોમિથેન (મિથાઇલ ક્લોરાઇડ) સાથેની ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ આલ્કાઈલેશન પ્રક્રિયાથી 1-મિથૉક્સિ-2-મિથાઇલબેન્ઝિન (o-મિથૉક્સિટોલ્યુઇન) અને 1-મિથૉક્સિ-4-મિથાઇલબેન્ઝિન (p-મિથૉક્સિ ટોલ્યુઇન) મળે છે.

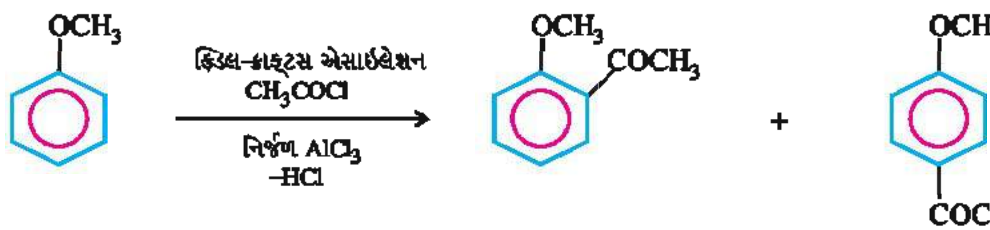


એનિસોલ

1-મિથૉક્સિ-2-મિથાઇલબેન્ઝિન (o-મિથૉક્સિ ટોલ્યુઇન)

1-મિથૉક્સિ-4-મિથાઇલબેન્ઝિન (p-મિથૉક્સિ ટોલ્યુઇન)

(iv) ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ એસાઈલેશન : નિર્જળ એલ્યુમિનિયમ ક્લોરાઇડની હાજરીમાં એનિસોલની ઇથેનોઇલક્લોરાઇડ (એસિટાઇલ ક્લોરાઇડ) સાથેની ફ્રિડલ-ક્રાફ્ટ્સ એસાઈલેશન પ્રક્રિયાથી 1-(2-મિથૉક્સિફિનાઇલ) ઇથેન્-1-ઓન (o-મિથૉક્સિ એસિટોફિનોન) અને 1-(4-મિથૉક્સિફિનાઇલ) ઇથેન્-1-ઓન (p-મિથૉક્સિ એસિટોફિનોન) મળે છે.



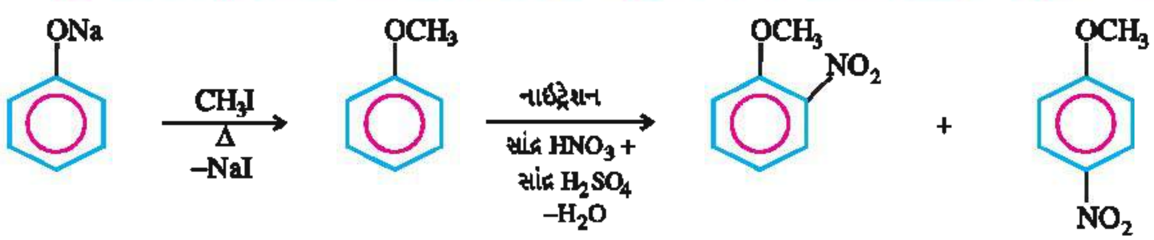
એનિસોલ

1-(2-મિથૉક્સિફિનાઇલ)ઇથેન્-1-ઓન (o-મિથૉક્સિ એસિટોફિનોન)

1-(4-મિથૉક્સિફિનાઇલ)ઇથેન્-1-ઓન (p-મિથૉક્સિ એસિટોફિનોન)

કેટલાંક કાર્બનિક પરિવર્તનો :

(1) સોડિયમ ફિનોક્સાઇડમાંથી 1–મિથૉક્સિ–2–નાઇટ્રોબેન્ઝિન અને 1–મિથૉક્સિ–4–નાઇટ્રોબેન્ઝિન :



સોડિયમ ફિનોક્સાઇડ

એનિસોલ

1-મિથૉક્સિ-2-નાઇટ્રોબેન્ઝિન (o-નાઇટ્રોએનિસોલ)

1-મિથૉક્સિ-4-નાઇટ્રોબેન્ઝિન (p-નાઇટ્રોએનિસોલ)

(2) એસિટિક એસિડમાંથી ઇથેનાલ (એસિટાલ્ડિહાઇડ) :

$$CH_3COOH \xrightarrow[(ii)\ H_2O]{(i)\ LiAlH_4} CH_3CH_2OH \xrightarrow[CH_2Cl_2]{\text{પિરિડિનિયમ ક્લોરો ક્રોમેટ (PCC)}} CH_3CHO$$

એસિટિક એસિડ — ઇથેનોલ — ઇથેનાલ (એસિટાલ્ડિહાઇડ)

(3) ઈથેનોલમાંથી બ્રોમોઈથેન :

$$2CH_3CH_2OH \xrightarrow[413\,K,\,-H_2O]{H_2SO_4} C_2H_5OC_2H_5 \xrightarrow[\Delta]{2HBr} 2CH_3CH_2Br + H_2O$$

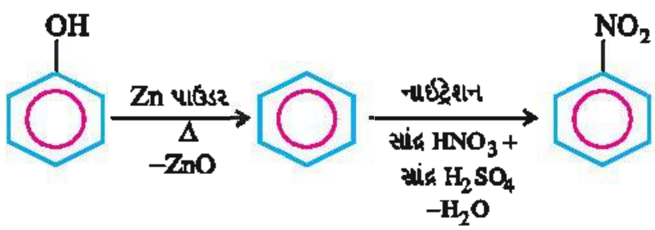
ઈથેનોલ ઈથૉક્સિઈથેન બ્રોમોઈથેન

(4) ઈથેનાલમાંથી પ્રોપેન્-2-ઑલ :

$$CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-H + CH_3MgBr \longrightarrow CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{H}{|}}{C}}-OMgBr \xrightarrow[H_2O,\ -Mg(OH)Br]{\text{જળવિભાજન}} CH_3-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-CH_3$$

ઈથેનાલ મિથાઈલ મૅગ્નેશિયમ બ્રોમાઈડ પ્રોપેન્-2-ઑલ

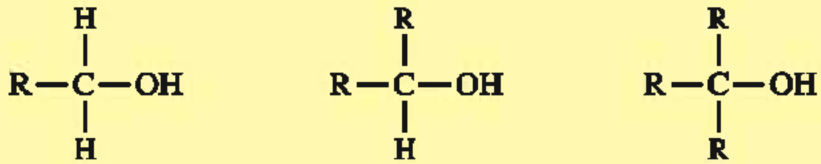
(5) ફિનૉલમાંથી નાઈટ્રોબેન્ઝિન :



ફિનોલ બેન્ઝિન નાઈટ્રોબેન્ઝિન

સારાંશ

- હાઈડ્રોકાર્બનના સંતૃપ્ત કાર્બન સાથે જોડાયેલા હાઈડ્રોજનનું વિસ્થાપન હાઈડ્રૉક્સિલ સમૂહ (–OH) વડે થાય તો આલ્કોહૉલ બને છે. આલ્કોહૉલનું સામાન્ય સૂત્ર R–OH છે. જ્યાં R = આલ્કાઈલ (alkyl) અથવા આલ્કીનાઈન (alkenyl) અથવા આલ્કાઈનાઈલ (alkynyl) અથવા ઍરાઈલ આલ્કાઈલ (aryl alkyl) છે.
- જો ઍરોમેટિક કેન્દ્રના કાર્બનના હાઈડ્રોજનનું વિસ્થાપન હાઈડ્રૉક્સિલ સમૂહ વડે થાય તો ફિનોલ બને છે. ફિનોલનું સામાન્ય સૂત્ર Ar–OH છે. જ્યાં Ar = ઍરાઈલ સમૂહ છે.
- જે આલ્કોહૉલ અથવા ફિનોલના હાઈડ્રૉક્સિલ સમૂહમાંના હાઈડ્રોજનનું વિસ્થાપન આલ્કાઈલ અથવા આલ્કીનાઈન અથવા આલ્કાઈનાઈલ અથવા ઍરાઈલ સમૂહ વડે થાય તો ઈથર બને છે. ઈથરનું સામાન્ય સૂત્ર R_1/Ar_1–O–R_2/Ar_2 છે, જ્યાં R_1 અને R_2 = આલ્કાઈલ અથવા આલ્કીનાઈલ અથવા આલ્કાઈનાઈલ તથા Ar_1 અને Ar_2 = ઍરાઈલ સમૂહ છે.
- જે આલ્કોહૉલમાં હાઈડ્રૉક્સિલ સમૂહ પ્રાથમિક કાર્બન સાથે જોડાયેલો હોય તેને પ્રાથમિક આલ્કોહૉલ, દ્વિતીયક કાર્બન સાથે જોડાયેલો હોય તેને દ્વિતીયક આલ્કોહૉલ અને તૃતીયક કાર્બન સાથે જોડાયેલા હોય તેને તૃતીયક આલ્કોહૉલ કહે છે.



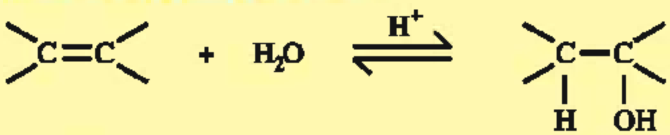
પ્રાથમિક (1^0) આલ્કોહોલ   દ્વિતીયક (2^0) આલ્કોહોલ   તૃતીયક (3^0) આલ્કોહોલ

આલ્કોહોલના ભૌતિક ગુણધર્મો : લગભગ સમાન આણ્વિયદળ ધરાવતા આલ્કેન કરતા આલ્કોહોલના ઉત્કલનબિંદુ ઊંચા હોય છે. પ્રાથમિક આલ્કોહોલની રેખીય શ્રેણીમાં જેમ કાર્બનસંખ્યા ક્રમશઃ વધે તેમ આલ્કોહોલનું ઉત્કલનબિંદુ ક્રમશઃ વધે છે. સમાન આણ્વિય સૂત્ર ધરાવતા પ્રાથમિક આલ્કોહોલ કરતાં દ્વિતીયક આલ્કોહોલનું અને દ્વિતીયક આલ્કોહોલ કરતાં તૃતીયક આલ્કોહોલનું ઉત્કલનબિંદુ નીચું હોય છે. આલ્કોહોલમાં હાઇડ્રૉક્સિલ સમૂહની સંખ્યા વધે તેમ ઉત્કલનબિંદુ અને પાણીમાં દ્રાવ્યતામાં વધારો થાય છે.

આલ્કોહોલની બનાવટ :

(1) આલ્કીન સંયોજનોમાંથી આલ્કોહોલ :

(i) ઍસિડ ઉદ્દીપકીય હાઇડ્રેશન દ્વારા :



આલ્કીન   આલ્કોહોલ

(ii) હાઇડ્રોબોરેશન–ઑક્સિડેશન દ્વારા :

$$3(CH_3CH{=}CH_2) \xrightarrow[\text{હાઇડ્રોબોરેશન}]{(BH_3)_2} (CH_3CH_2CH_2)_3\,B \xrightarrow[\text{ઑક્સિડેશન}]{H_2O_2/OH^-} 3CH_3CH_2CH_2OH$$

પ્રોપીન   ટ્રાયપ્રોપાઇલ બોરેન   પ્રોપેન્ -1- ઓલ

(2) કાર્બોનિલ સંયોજનોમાંથી આલ્કોહોલ :

(i) આલ્ડિહાઇડ અને કિટોનના રિડક્શન દ્વારા :

$$4RCHO \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } NaBH_4} 4RCH_2OH$$

આલ્ડિહાઇડ 1^0 આલ્કોહોલ

$$4R_1COR_2 \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } NaBH_4} 4R_1-\underset{\displaystyle |\atop \displaystyle OH}{CH}-R_2$$

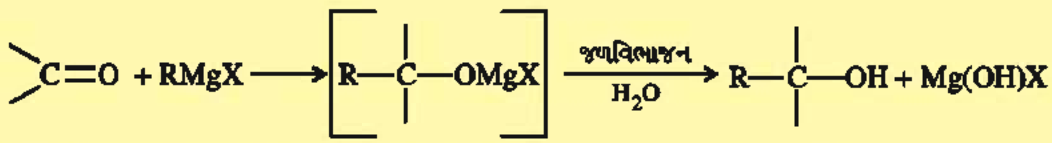
કિટોન 2^0 આલ્કોહોલ

(ii) કાર્બોક્સિલિક ઍસિડ અથવા એસ્ટરના રિડક્શન દ્વારા :

$$\underset{\text{કાર્બોક્સિલિક ઍસિડ}}{RCOOH} \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } LiAlH_4} \underset{1^0\text{ - આલ્કોહૉલ}}{RCH_2OH}$$

$$\underset{\text{એસ્ટર}}{R_1COOR_2} \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } LiAlH_4} \underset{1^0\text{આલ્કોહૉલ}}{R_1CH_2OH} + \underset{1^0\text{આલ્કોહૉલ}}{R_2OH}$$

(3) ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક દ્વારા આલ્કોહૉલ :



કાર્બોનિલ સંયોજન ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક મધ્યવર્તી નીપજ આલ્કોહૉલ

(4) આથવણ પદ્ધતિ દ્વારા :

$$\underset{\text{ખાંડ}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \xrightarrow[\text{ઉત્સેચક}]{\text{ઇન્વર્ટેઝ}} \underset{\text{ગ્લુકોઝ}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{ફ્રુક્ટોઝ}}{C_6H_{12}O_6}$$

$$\underset{\text{ગ્લુકોઝ અથવા ફ્રુક્ટોઝ}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow[\text{ઉત્સેચક}]{\text{ઝાયમેઝ}} \underset{\text{ઇથેનૉલ}}{2C_2H_5OH} + 2CO_2$$

આલ્કોહૉલની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ :

(1) O–H બંધ તૂટવાથી થતી પ્રક્રિયાઓ :

(i) સક્રિય ધાતુ સાથેની પ્રક્રિયા :

$$\underset{\text{મિથેનૉલ}}{2CH_3OH} + \underset{\text{સોડિયમ ધાતુ}}{2Na} \longrightarrow \underset{\text{સોડિયમ મિથોક્સાઇડ}}{2CH_3ONa} + H_2(g)$$

$$\underset{\text{ઇથેનૉલ}}{2CH_3CH_2OH} + \underset{\text{મૅગ્નેશિયમ ધાતુ}}{Mg} \longrightarrow \underset{\text{મૅગ્નેશિયમ ઇથોક્સાઇડ}}{(CH_3CH_2O)_2Mg} + H_2(g)$$

(ii) ઍસિડ સાથેની પ્રક્રિયા :

$$\underset{\text{આલ્કોહૉલ}}{R-OH} + \underset{\text{ઍસિડ}}{R'-COOH} \overset{H^+}{\rightleftharpoons} \underset{\text{એસ્ટર}}{R'COOR} + H_2O$$

(iii) ઑક્સિડેશન પ્રક્રિયા :

$$\underset{1^0 \text{ આલ્કોહોલ}}{R-CH_2OH} \xrightarrow[Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4 \; H_2O]{[O]} \underset{\text{આલ્ડિહાઇડ}}{R-CHO} \xrightarrow[Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\text{કાર્બોક્સિલિક ઍસિડ}}{R-COOH}$$

$$\underset{1^0 \text{આલ્કોહોલ}}{R-CH_2OH} \xrightarrow[CH_2Cl_2]{PCC[O]} \underset{\text{આલ્ડિહાઇડ}}{R-CHO}$$

$$\underset{2^0 \text{ આલ્કોહોલ}}{R-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-R'} \xrightarrow[Na_2Cr_2O_7/H_2SO_4]{[O]} \underset{\text{કિટોન}}{R-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-R'}$$

(2) C–O બંધ તૂટવાથી થતી પ્રક્રિયાઓ :

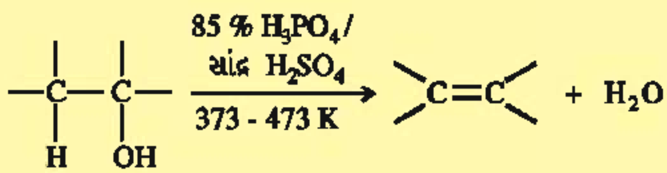
(i) હેલોજન ઍસિડ સાથેની પ્રક્રિયા (લ્યુકાસ કસોટી) :

$$\underset{\text{આલ્કોહોલ}}{R-OH} + \underset{\text{સાંદ્ર હાઇડ્રોક્લોરિક ઍસિડ}}{HCl} \xrightarrow[\Delta]{\text{નિર્જળ } ZnCl_2} \underset{\text{ક્લોરો આલ્કેન}}{R-Cl} + H_2O$$

(ii) ફૉસ્ફરસ ટ્રાયબ્રોમાઇડ સાથેની પ્રક્રિયા :

$$\underset{1^0 \text{ અને } 2^0 \text{ આલ્કોહોલ}}{3(R-OH)} + \underset{\text{ફોસ્ફરસ ટ્રાયબ્રોમાઇડ}}{PBr_3} \xrightarrow[\Delta]{} \underset{\text{બ્રોમો આલ્કેન}}{3(R-Br)} + \underset{\text{ફોસ્ફરસ ઍસિડ}}{H_3PO_3}$$

(iii) આલ્કોહોલનું નિર્જળીકરણ :



આલ્કોહોલ આલ્કીન

આલ્કોહોલની નિર્જળીકરણ પ્રક્રિયા થવાની સરળતાનો ક્રમ

3^0 આલ્કોહોલ > 2^0 આલ્કોહોલ > 1^0 આલ્કોહોલ

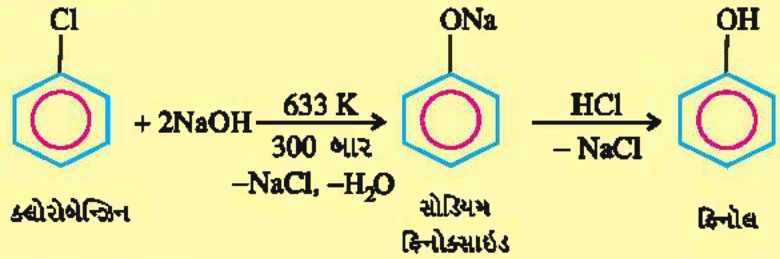
(iv) આલ્કોહોલનું રિડક્શન :

$$\underset{\text{આલ્કોહોલ}}{R-OH} + \underset{\text{સાંદ્ર હાઇડ્રો આયોડિક ઍસિડ}}{2HI} \xrightarrow[\Delta]{\text{લાલ ફોસ્ફરસ}} \underset{\text{આલ્કેન}}{R-H} + I_2 + H_2O$$

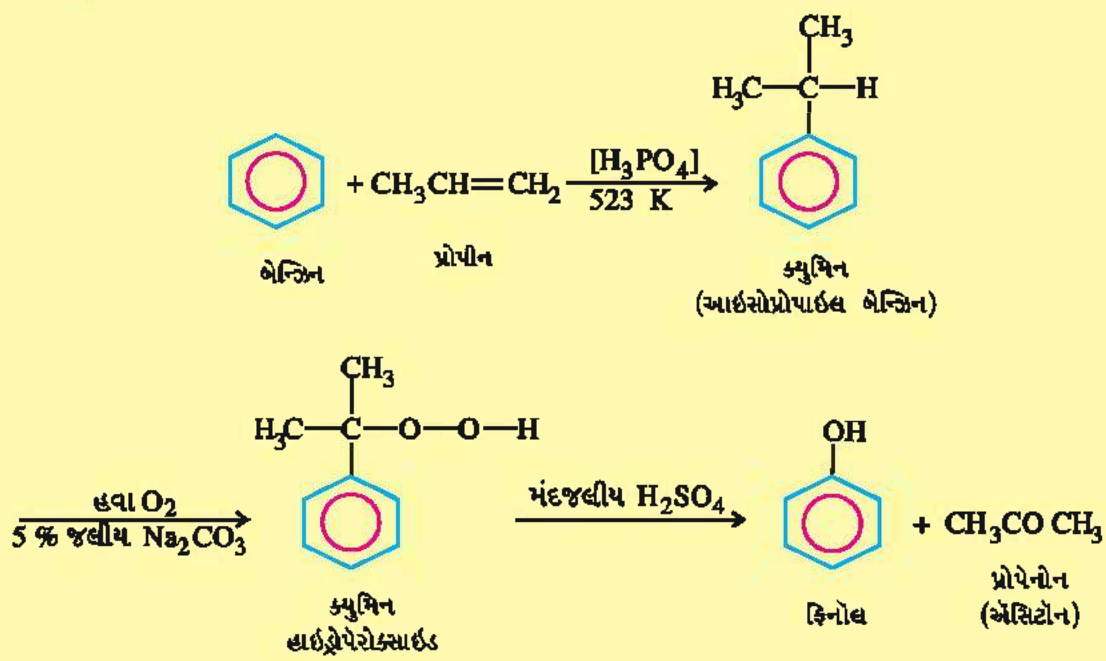
ફિનૉલના ભૌતિક ગુણધર્મો : લગભગ સમાન આણ્વિયદળ ધરાવતા ટૉલ્યુઇન (એરિન સંયોજનો) અને ફ્લૉરોબેન્ઝિન (હેલોએરિન સંયોજનો) કરતાં ફિનૉલનું ઉત્કલનબિંદુ તથા પાણીમાં દ્રાવ્યતા વધુ હોય છે. નાઇટ્રોફિનૉલ જેવા ઑર્થોવિસ્થાપિત ફિનૉલનું ગલનબિંદુ તથા પાણીમાં દ્રાવ્યતા તેના મેટા– અને પેરા–સમઘટકો કરતાં ઓછી જોવા મળે છે. ફિનૉલનું જલીય દ્રાવણ એસિડિક સ્વભાવ દર્શાવે છે.

ફિનૉલની બનાવટ :

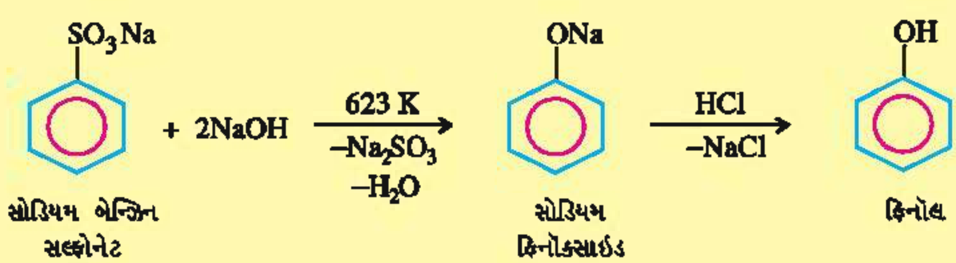
(1) ડાઉ પદ્ધતિ :



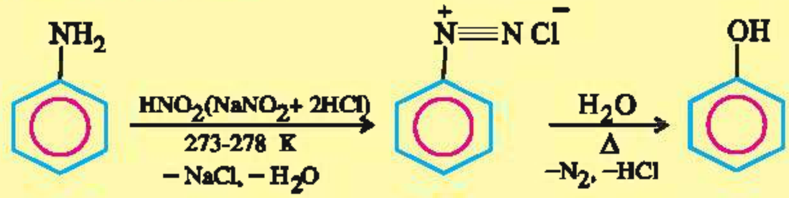
(2) ક્યુમિન પદ્ધતિ :



(3) સોડિયમ બેન્ઝિન સલ્ફોનેટમાંથી :



(4) ડાયએઝોનિયમ ક્ષારમાંથી :

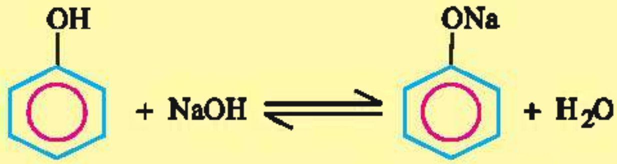


એનિલીન અથવા બેન્ઝિનેમાઇન — બેન્ઝિનડાયએઝોનિયમ ક્લોરાઇડ — ફિનોલ

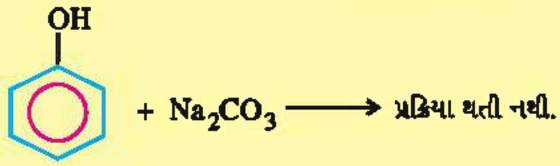
ફિનોલની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ :

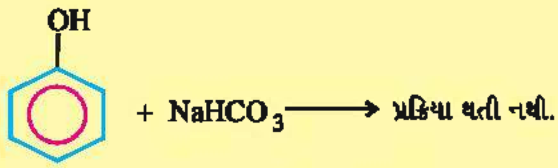
(1) –OH સમૂહને કારણે થતી પ્રક્રિયાઓ :

(i) ક્ષારનું બનવું :



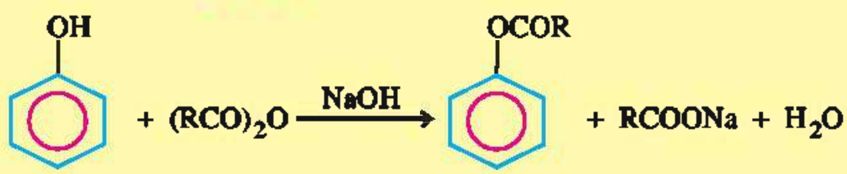
ફિનોલ — સોડિયમ ફિનોક્સાઇડ



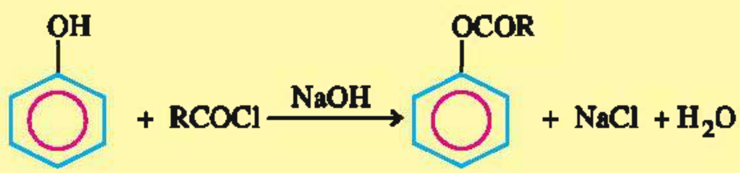


આમ, ફિનોલનો સ્વભાવ નિર્બળ એસિડ જેવો છે.

(ii) ફિનાઇલ એસ્ટરનું બનવું :



ફિનોલ — એસિડ એનહાઇડ્રાઇડ — ફિનાઇલ એસ્ટર



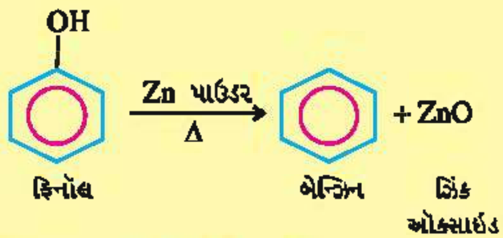
ફિનોલ — એસિડ ક્લોરાઇડ — ફિનાઇલ એસ્ટર

(iii) એરાઇલ ઈથરનું બનવું :

$$ArOH \xrightarrow[-H_2O]{NaOH} ArO^{-}Na^{+} \xrightarrow[\Delta]{R-X} ArOR + NaX$$

એરાઇલ ઈથર

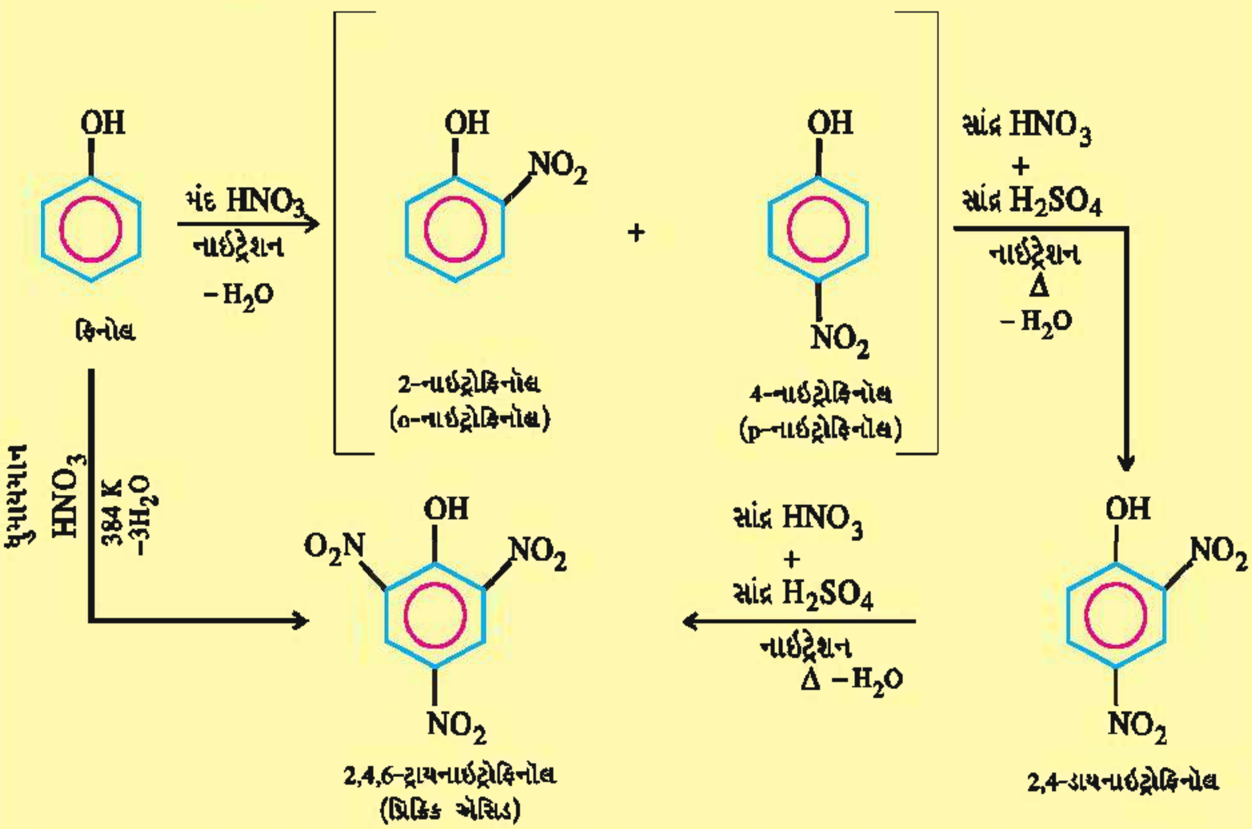
(iv) બેન્ઝિનનું બનવું :



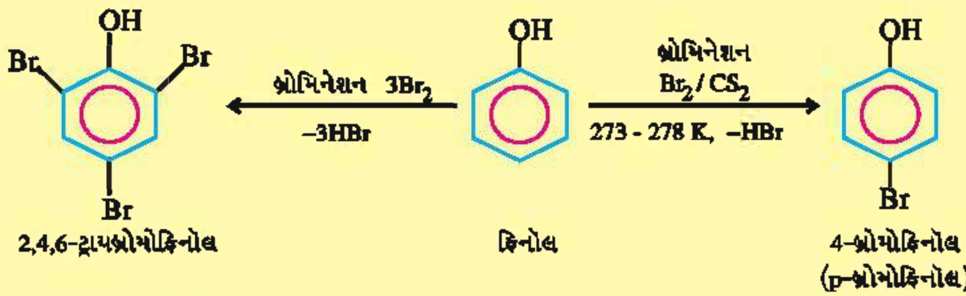
(2) ઍરોમેટિક વલયમાં થતી પ્રક્રિયાઓ :

(i) ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ :

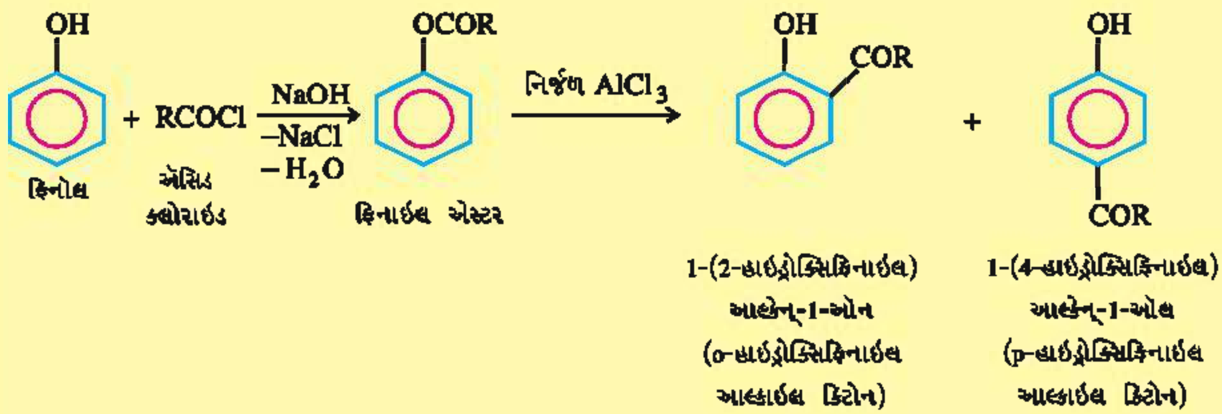
(A) ફિનોલનું નાઇટ્રેશન :



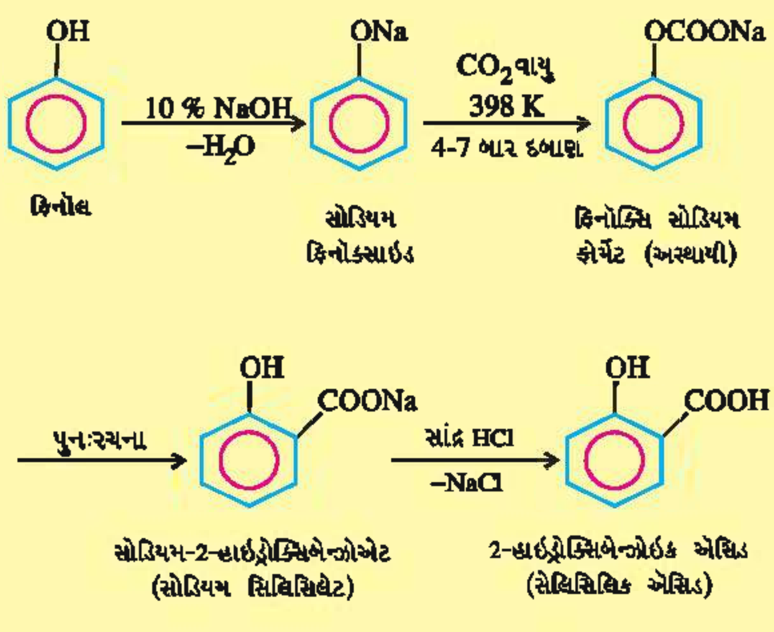
(B) ફિનૉલનું બ્રોમિનેશન :



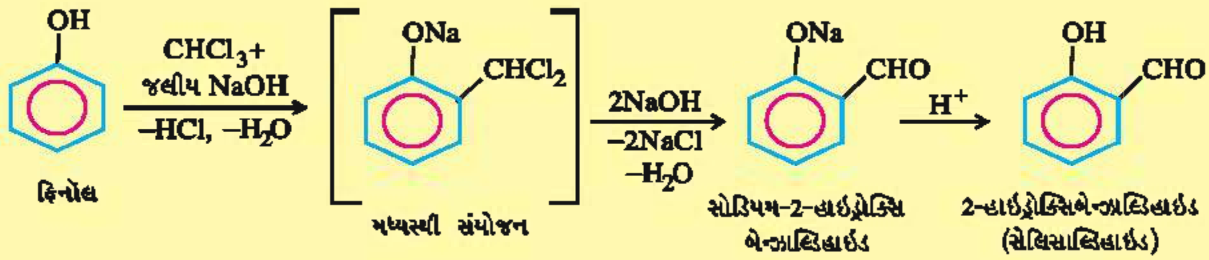
(ii) ફ્રાઈસ પુનર્વિન્યાસ :



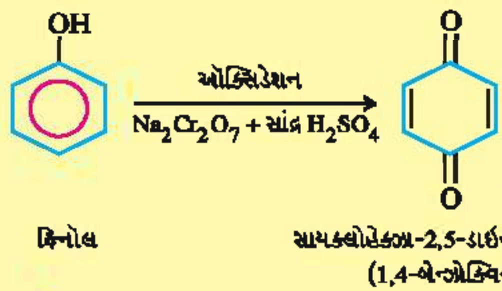
(iii) કૉલ્બે-સ્મિટ્ પ્રક્રિયા :



(iv) રીમર-ટિમાન પ્રક્રિયા :



(v) ફિનોલનું ઑક્સિડેશન :



ઈથરના ભૌતિક ગુણધર્મો : સમાન આણ્વિયદળ ધરાવતા આલ્કોહોલ કરતાં ઈથરનાં ઉત્કલનબિંદુ નીચાં હોય છે. કારણ કે ઈથરમાં આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ હોતા નથી.

ઈથરની બનાવટ :

(1) આલ્કોહૉલના નિર્જળીકરણ દ્વારા :

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow[443\ K]{\text{વધુ સાંદ્ર } H_2SO_4} H_2C=CH_2$$

ઇથેનોલ   ઇથિન

$$2CH_3CH_2OH \xrightarrow[413\ K]{\text{સાંદ્ર } H_2SO_4} C_2H_5OC_2H_5$$

ઇથેનોલ   ઇથોક્સિઇથેન (ડાયઇથાઇલ ઈથર)

(2) વિલિયમસન સંશ્લેષણ દ્વારા :

$$R-\ddot{\underset{\cdot\cdot}{O}}Na + R'-X \longrightarrow R-\ddot{\underset{\cdot\cdot}{O}}-R' + NaX$$

સોડિયમ આલ્કોક્સાઇડ   હેલો આલ્કેન   અસમમિતીય ઈથર

પ્રાથમિક હેલોઆલ્કેન જ આ પ્રક્રિયા સરળતાથી આપી શકે છે.

ઈથરના રાસાયણિક ગુણધર્મો :

(1) C–O બંધ તૂટવાથી થતી પ્રક્રિયાઓ :

(i) મંદ ઍસિડ સાથેની પ્રક્રિયા :

$$CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_3 + H_2O \xrightarrow[\Delta,\ \text{દબાણ}]{\text{જળવિભાજન, મંદ } H_2SO_4} 2CH_3CH_2OH$$

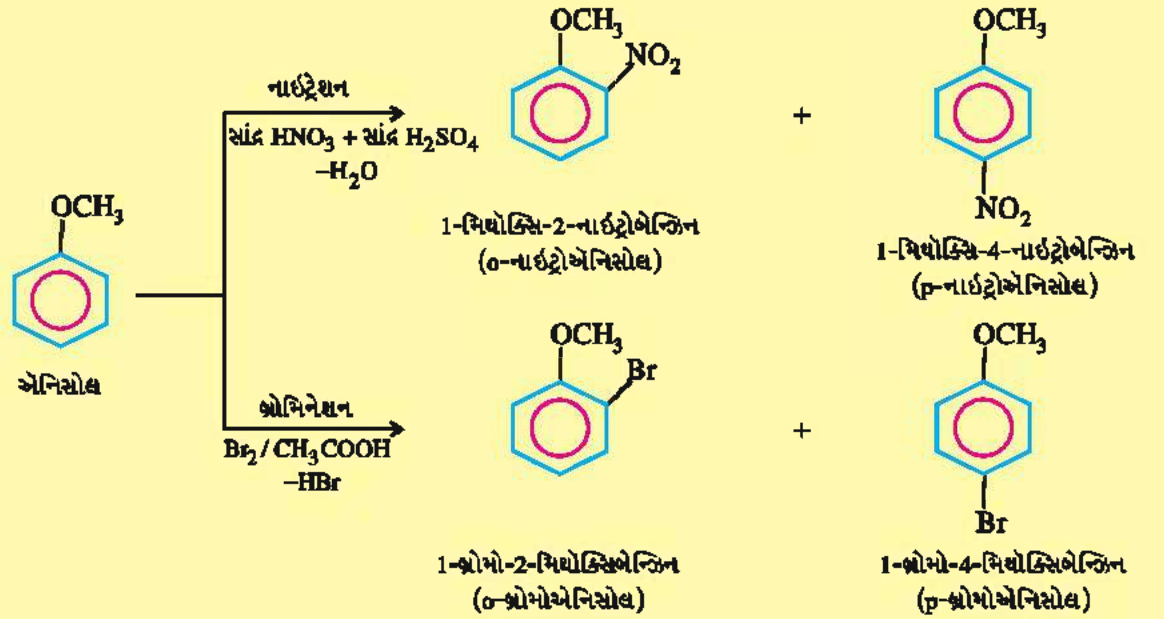
ઇથોક્સિઇથેન   ઇથેનોલ

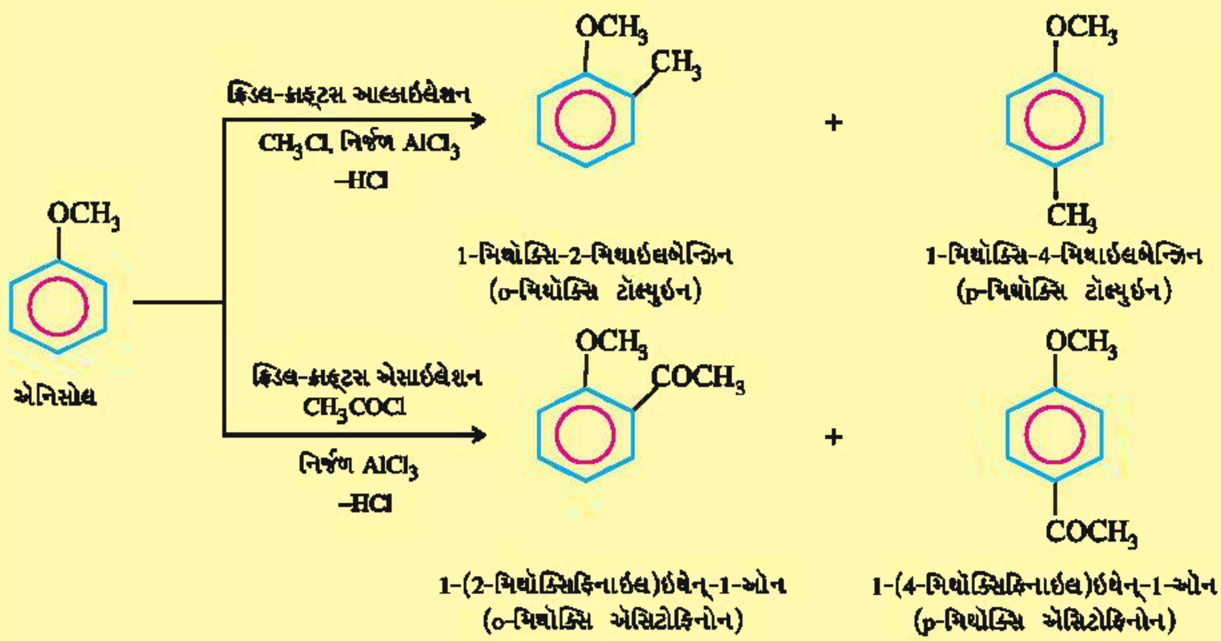
(ii) હાઇડ્રોજન હેલાઇડ સાથેની પ્રક્રિયા :

$$\underset{\text{ઇથોક્સિ ઇથેન}}{CH_3CH_2OCH_2CH_3} + \underset{\text{હાઇડ્રોજન બ્રોમાઇડ}}{2HBr} \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{બ્રોમોઇથેન}}{2CH_3CH_2Br} + H_2O$$

(2) એરોમેટિક વલયમાં થતી ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ :

આલ્કાઇલ એરાઇલ ઈથરમાં –OR સમૂહ ઓર્થો-પેરાનિર્દેશક હોવાથી, તેની ઇલેક્ટ્રોન અનુરાગી વિસ્થાપન પ્રક્રિયાઓ દરમિયાન ઓર્થો-પેરા નીપજનું મિશ્રણ મળે છે.





સ્વાધ્યાય

1. આપેલા વિકલ્પોમાંથી યોગ્ય વિકલ્પ પસંદ કરો :

(1) ક્યું સામાન્ય સૂત્ર આલ્કોહૉલનું છે ?

(A) $R_1–O–R_2$ (B) Ar–OH (C) R–OH (D) $Ar_1–O–Ar_2$

(2) ક્યું સૂત્ર તૃતીયક આલ્કોહૉલનું છે ?

(A) CH_3OH (B) $(CH_3)_2CHOH$ (C) $(CH_3)_3COH$ (D) CH_3CH_2OH

(3) ઉત્કલનબિંદુ માટે નીચેના પૈકી ક્યો ક્રમ સાચો છે ?

(A) ક્લોરોઇથેન $<$ ઇથેન $<$ ઇથેનોલ (B) ઇથેન $<$ ક્લોરોઇથેન $<$ ઇથેનોલ

(C) ઇથેનોલ $<$ ઇથેન $<$ ક્લોરોઇથેન (D) ઇથેન $>$ ક્લોરોઇથેન $>$ ઇથેનોલ

(4) નીચેના પૈકી ક્યો પદાર્થ રિડક્શનકર્તા છે ?

(A) પોટૅશિયમ પરમૅંગેનેટ (B) લિથિયમ ઍલ્યુમિનિયમ હાઇડ્રાઇડ

(C) ક્રોમિક ઍસિડ (D) પિરિડિનિયમ ક્લોરો ક્રોમેટ

(5) નીચેના પૈકી ક્યો પદાર્થ અસમમિતીય ઈથર છે ?

(A) (B) $C_2H_5–O–CH_2CH_3$

(C) $CH_3–O–C_2H_5$ (D) $CH_3–O–CH_3$

(6) 2^0 આલ્કોહૉલનું ક્રોમિક ઍસિડ વડે ઑક્સિડેશન કરતાં શું મળે છે ?

(A) આલ્ડિહાઇડ (B) કિટોન (C) કાર્બોક્સિલિક ઍસિડ (D) એસ્ટર

(7) નીચેના પૈકી શેમાં આંતરઆણ્વિય હાઇડ્રોજનબંધ નથી ?

(A) આલ્કોહૉલ–આલ્કોહૉલ (B) આલ્કોહૉલ–પાણી

(C) ઈથર–ઈથર (D) ઈથર–પાણી

(8) નીચેના પૈકી કઈ સ્પીસીઝ કેન્દ્રાનુરાગી પ્રક્રિયક છે ?

(A) E (B) E^+ (C) E^- (D) $\dot{E}$

(9) નીચેના પૈકી કયું વિધાન સાચું છે ?

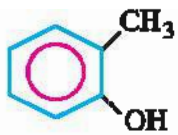
(A) નિર્જળીકરણ પ્રક્રિયા દરમિયાન પ્રક્રિયકમાં H_2O અણુ ઉમેરાય છે.

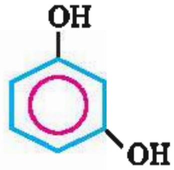
(B) લ્યુકાસ કસોટી ઈથરની પરખ માટે વપરાય છે.

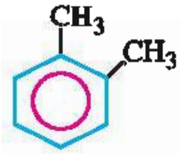
(C) એસ્ટરીકરણ દરમિયાન ઍસિડ અણુમાંથી OH^- અને આલ્કોહૉલમાંથી H^+ દૂર થાય છે.

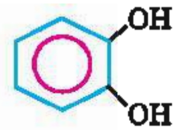
(D) એસ્ટરીકરણ દરમ્યાન ઍસિડ અણુમાંથી H^+ અને આલ્કોહૉલમાંથી OH^- દૂર થાય છે.

(10) કયું બંધારણીય સૂત્ર o–ક્રેસોલનું છે ?

(A) 

(B) 

(C) 

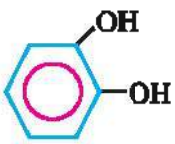
(D) 

2. નીચેના પ્રશ્નોના ટૂંકમાં ઉત્તર લખો :

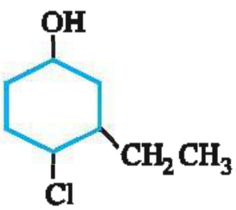
(A) નીચે આપેલાં સંયોજનોનાં IUPAC નામ લખો :

(1) $CH_3OCH(CH_3)_2$

(2) $CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH=CH_2$

(3) 

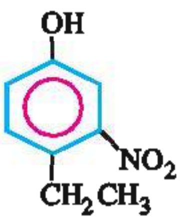
(4)

(5) 

(6) $CH_3CH_2CH_2CH(OCH_3)CH_2CH_2CH_3$

(7) $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-OH$

(8) $CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_2-\underset{\displaystyle C_6H_5}{\underset{|}{CH}}-CH_3$

(9) 

(10) $CH_3-\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3$

(B) નીચે જણાવેલ IUPAC નામવાળાં સંયોજનોના બંધારણ દર્શાવો :

(1) 1–ઇથોક્સિ–3–મિથાઇલપેન્ટેન

(2) 2–ક્લોરોપેન્ટેન્–3–ઓલ

(3) 3–બ્રોમોફિનોલ

(4) 2–નાઇટ્રોફિનોલ

(5) સાયક્લોહેક્ઝેન–1,2–ડાયોલ

(6) 2–આઇસોપ્રોપોક્સિપેન્ટેન

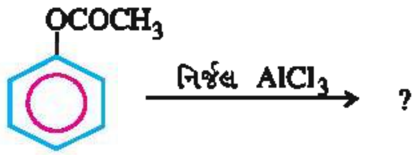
(7) 2,2–ડાયમિથાઇલપ્રોપેન્–1–ઓલ

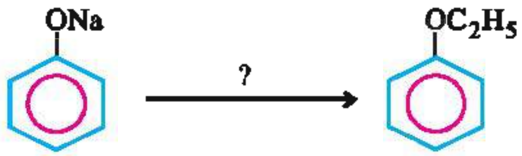
(8) 2,4–ડાયમિથાઇલપેન્ટેન્–1–ઓલ

(9) 2,6–ડાયમિથાઇલફિનોલ

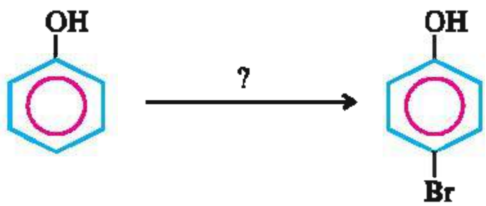
(10) 1,2–ડાયમિથોક્સિઇથેન

(C) નીચેની રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ પૂર્ણ કરો :

(1) 

(2) 

(3) $? + 2HBr \xrightarrow{\Delta} 2CH_3CH_2Br$

(4) 

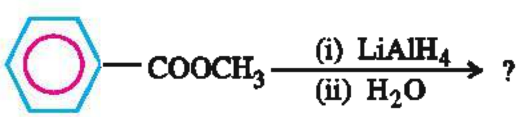
(5) $? + \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } LiAlH_4} 2C_2H_5OH$

(6) $4CH_3CH_2COCH_3 \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O]{\text{(i) } NaBH_4} ?$

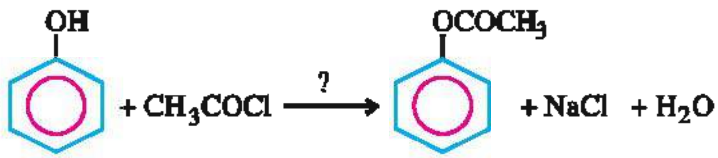
(7) $3CH_3CH_2\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}H}CH_2OH \xrightarrow{PBr_3} ?$

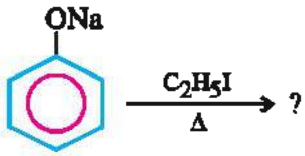
(8) $C_2H_5OH + ? \overset{H^+}{\rightleftharpoons} CH_3COOCH_2CH_3 + H_2O$

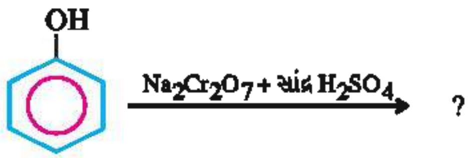
(9) $CH_3CH_2CH_2CH_2CH=CH_2 \xrightarrow{H_3O^+,\ H_2O} ?$

(10) 

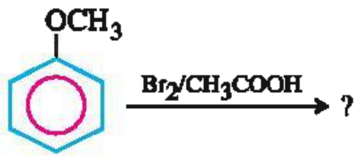
(11) $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}H}-CH_2OH \xrightarrow{?} CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}H}-COOH$

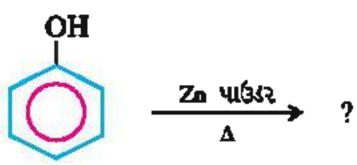
(12) 

(13) 

(14) 

(15) $CH_3CH_2OH \xrightarrow{?} C_2H_5OC_2H_5$

(16) 

(17) 

(18) $CH_3CH_2OH \xrightarrow[\text{443 K}]{\text{વધુ સાંદ્ર } H_2SO_4} ?$

(19) $CH_3CH_2OH + 2HI \xrightarrow{?} C_2H_6 + I_2 + H_2O$

(20) $CH_3CH_2CH_2CH = CH_2 \xrightarrow[\text{(ii) } H_2O_2, OH^-]{\text{(i) } (BH_3)_2} ?$

3. નીચેના પ્રશ્નોના ટૂંકમાં ઉત્તર આપો :

(A) નીચેનાં વિધાનોનાં વૈજ્ઞાનિક કારણો આપી ઉદાહરણ સહિત સમજાવો :

(1) સમાન આણ્વિયદળ ધરાવતા આલ્કેન કરતાં આલ્કોહૉલના ઉત્કલનબિંદુ ઊંચા હોય છે.

(2) સમઘટકીય આલ્કોહૉલમાં પ્રાથમિકથી તૃતીયક તરફ જતાં તેના ઉત્કલનબિંદુમાં ઘટાડો થાય છે.

(3) લગભગ સમાન આણ્વિયદળ ધરાવતા ટોલ્યુઇન અને ક્લોરોબેન્ઝિન કરતાં ફિનોલનું ઉત્કલનબિંદુ ઊંચું હોય છે.

(4) o–નાઇટ્રોફિનોલનું ગલનબિંદુ અને પાણીમાં દ્રાવ્યતા, m– અને p–નાઇટ્રોફિનોલ કરતાં ઓછી જોવા મળે છે.

(5) આલ્કોહોલ કરતાં ફિનોલનું જલીય દ્રાવ્ય વધુ એસિડિક હોય છે.

(6) સમાન આણ્વિયદળ ધરાવતાં આલ્કોહોલ કરતા ઈથરના ઉત્કલનબિંદુ પ્રમાણમાં ખૂબ નીચાં હોય છે.

(B) નીચેનાં કાર્બનિક સંયોજનોના રાસાયણિક પરિવર્તનનાં સમીકરણ લખો :

(1) પ્રોપીનમાંથી એસિટોન

(2) પ્રોપીનમાંથી પ્રોપેન્–1–ઑલ

(3) હેક્ઝ્–1–ઇનમાંથી હેક્ઝેન્–2–ઑલ

(4) એસિટાલ્ડિહાઇડમાંથી બ્યુટેન્–2–ઑલ

(5) ક્લોરોબેન્ઝિનમાંથી ફિનોલ

(6) એનિલીનમાંથી ફિનોલ

(7) ફિનોલમાંથી ઇથોક્સિબેન્ઝિન

(8) ફિનોલમાંથી 2, 4–ડાયનાઇટ્રોફિનોલ

(9) ફિનોલમાંથી 2–હાઇડ્રોક્સિબેન્ઝોઇક એસિડ

(10) ફિનોલમાંથી 2–હાઇડ્રોક્સિબેન્ઝાલ્ડિહાઇડ

(11) સોડિયમ ફિનોક્સાઇડમાંથી 1-મિથોક્સિ-2-મિથાઇલબેન્ઝિન અને 1-મિથોક્સિ-4-મિથાઇલબેન્ઝિન

(12) ફિનોલમાંથી 1–(2–હાઇડ્રોક્સિફિનાઇલ) પ્રોપેન્–1–ઓન અને 1–(4–હાઇડ્રોક્સિફિનાઇલ) પ્રોપેન્–1–ઓન

(C) નીચેની પ્રક્રિયાઓ માટે રાસાયણિક સમીકરણ લખો :

(1) પ્રાથમિક, દ્વિતીયક અને તૃતીયક આલ્કોહોલની ઑક્સિડેશન પ્રક્રિયા

(2) ઇથેનોલ સાથે (i) Mg (ii) CH_3COOH (iii) PBr_3 (iv) HIની પ્રક્રિયા

(3) ફિનોલમાંથી (i) ફિનાઇલ એસિટેટ (ii) એનિસોલ (iii) બેન્ઝિન મેળવવાની પ્રક્રિયાઓ

(4) ફિનોલની નાઇટ્રેશન અને બ્રોમિનેશન પ્રક્રિયા

(5) ઇથોક્સિઇથેન સાથે (i) મંદ H_2SO_4 (ii) સાંદ્ર HBrની પ્રક્રિયા

(6) એનિસોલની નાઇટ્રેશન અને બ્રોમિનેશન પ્રક્રિયા

(7) એનિસોલની ફ્રિડલ–ક્રાફ્ટ્સ આલ્કાઇલેશન અને એસાઇલેશન પ્રક્રિયા

4. નીચેના પ્રશ્નોના વિગતવાર ઉત્તર આપો :

(A) નીચેની પ્રક્રિયાઓ ક્રિયાવિધિ સહિત સમજાવો :

(1) આલ્કીનમાંથી આલ્કોહોલ મેળવવાની એસિડ ઉદ્દીપકીય હાઇડ્રેશન પ્રક્રિયા

(2) આલ્કીનમાંથી આલ્કોહોલ મેળવવાની હાઇડ્રોબોરેશન-ઑક્સિડેશન પ્રક્રિયા

(3) આલ્ડિહાઇડ અને કિટોનના રિડક્શન દ્વારા આલ્કોહોલ મેળવવાની પ્રક્રિયા

(4) ગ્રિગ્નાર્ડ પ્રક્રિયક દ્વારા કાર્બોનિલ સંયોજનોમાંથી આલ્કોહોલ મેળવવાની પ્રક્રિયા

(5) તૃતીયક આલ્કોહોલ સાથે હાઇડ્રોક્લોરિક એસિડની પ્રક્રિયા

(6) આલ્કોહોલની ફૉસ્ફરસ ટ્રાયબ્રોમાઇડ સાથેની પ્રક્રિયા

(7) ઇથેનોલના નિર્જળીકરણ દ્વારા ઇથિન બનાવવાની પ્રક્રિયા

(8) આલ્કોહોલના નિર્જળીકરણ દ્વારા ઈથર બનવાની પ્રક્રિયા

(9) $CH_3CH_2OCH_2CH_3 + 2HBr \xrightarrow{\Delta} 2CH_3CH_2Br + H_2O$

(B) નીચેના પર ટૂંક નોંધ લખો :

(1) આથવણ પદ્ધતિ વડે આલ્કોહોલની બનાવટ

(2) ડાઉ પદ્ધતિ અને ક્યુમિન પદ્ધતિ વડે ફિનોલનું ઔદ્યોગિક ઉત્પાદન

(3) લ્યુકાસ કસોટી

(4) ફ્રાઇસ પુનર્વિન્યાસ

(5) કૉલ્બે-સ્મિટ્ પ્રક્રિયા

(6) રીમર-ટિમાન પ્રક્રિયા

(7) વિલિયમસન સંશ્લેષણ

(8) આલ્કોહોલ અને ઈથરનું વર્ગીકરણ

•

પારિભાષિક શબ્દો

એકમ

1

ઘન અવસ્થા

એકમ કોશ	-	Unit cell
દ્રવ	-	Fluid
ગોઠવણી	-	Arrangement
સ્ફટિકમય	-	Crystalline
અસ્ફટિકમય	-	Amorphous
આણ્વિય	-	Molecular
આંતરઆણ્વિય આકર્ષણ	-	Intermolecular attraction
ધાત્વિક	-	Metallic
વિસર્જન	-	Dispersion
સુવાહક	-	Conductor
અવાહક	-	Insulator
ધ્રુવીય	-	Polar
ઇલેક્ટ્રોન સમુદ્ર નમૂનો	-	Electron sea model
સીમિત	-	Limiting
વિરાટ અણુઓ	-	Giant molecules
દ્વિધ્રુવીય-દ્વિધ્રુવીય	-	Dipolar-dipolar
મૃદુ, પોચું	-	Soft
બિનસ્થાનીકૃત	-	Delocalised
યાંત્રિક સામર્થ્ય	-	Mechanical strength
અવકાશ	-	Space
સમદૈશિકતા	-	Isotropy
વિષમદૈશિકતા	-	Anisotropy
ગાળો	-	Range
ત્રિપરમાણીય	-	Three dimensional
જાલક-લેટિસ	-	Lattice
આદિમ	-	Primitive
ધાર	-	Edge
ફલકકેન્દ્રિત	-	Face centred
અંતઃકેન્દ્રિત	-	Body centred
અંત (છેડો) કેન્દ્રિત	-	End centred

પેકિંગ-ક્ષમતા	-	Packing efficiency
વિકર્ણીય	-	Diagonally
ગોળો	-	Sphere
ગોઠવાયેલો	-	Aligned
થપ્પી	-	Stack
હરોળ	-	Row
ચતુષ્ફલકીય છિદ્ર	-	Tetrahedral void
અષ્ટફલકીય છિદ્ર	-	Octahedral void
ઢાંકતી	-	Covered
સ્તર	-	Layer
બિંદુ ક્ષતિ	-	Point defect
એકાકી સ્ફટિક	-	Single crystal
તત્ત્વયોગમિતીય	-	Stoichiometric
આંતરાલીય	-	Interstitial
અશુદ્ધિ	-	Impurity
બિનતત્ત્વયોગમિતીય	-	Non stoichiometric
રંગ-કેન્દ્ર	-	Colour centre

ધાતુ ઊણપ	-	Metal deficiency
વિસ્થાપનીય	-	Substitutional
વીજઅવાહકો	-	Insulator
અર્ધવાહકો	-	Semiconductors
સંમિશ્રણ	-	Overlap
વાહકતાપટ	-	Conduction band
સંયોજકતાપટ	-	Valence band
પ્રતિબંધિત	-	Restricted
શક્તિ-ગેપ	-	Energy gap
આંશિક ભરાયેલ	-	Partially filled
આંતરિક	-	Intrinsic
પ્રતિભાવ	-	Response
અનુચુંબકીય	-	Paramagnetic
પ્રતિચુંબકીય	-	Diamagnetic
માત્રા	-	Magnitude
પટ સિદ્ધાંત	-	Band theory

એકમ

2

દ્રાવણો

દ્વિઅંગી	-	Binary
ગાળણ	-	Filteration
ઠારણ	-	Settling

સમાંગ	-	Homogeneous
આંતરક્રિયા	-	Interaction
દ્રાવ્ય	-	Solute

દ્રાવક	-	Solvent
સુયોજન	-	Association
વિયોજન	-	Dissociation
વિસ્થાપિત	-	Substituted
આંતરાલીય	-	Interstitial
દ્રાવ્યતા	-	Solubility
ધ્રુવીય	-	Polar
અધ્રુવીય	-	Non-Polar
સંખ્યાત્મક	-	Colligative
બાષ્પશીલ	-	Volatile
અબાષ્પશીલ	-	Non-volatile
મોલઅંશ	-	Mole-Fraction

આદર્શ દ્રાવણ	-	Ideal solution
બિનઆદર્શ દ્રાવણ	-	Non-Ideal solution
ઉન્નયન	-	Elevation
અવનયન	-	Depression
અભિસરણ	-	Osmosis
અભિસરણ દબાણ	-	Osmotic pressure
સમઅભિસારી (સમદાબી)	-	Iso osmotic (Isotonic)
અસામાન્ય	-	Abnormal
આણ્વિયદળ		Molecular mass
સુયોજન અંશ	-	Degree of association
વિયોજન અંશ	-	Degree of dissociation

એકમ

3

વિદ્યુતરસાયણ

વિદ્યુતરાસાયણિક કોષ	-	Electrochemical cell
ઑક્સિડેશન	-	Oxidation
રિડક્શન	-	Reduction
ઉપકરણ	-	Device
ક્ષારસેતુ	-	Salt-bridge

ગેલ્વેનિક કોષ	-	Galvanic cell
વોલ્ટાઇક કોષ	-	Voltaic cell
ડેનિયલ કોષ	-	Daniell cell
વિદ્યુતધ્રુવ	-	Electrode
પ્રમાણિત કોષ	-	Standard cell

અર્ધ કોષ	-	Half-cell
વાયુ-ધ્રુવ	-	Gas electrode
ઍનોડ	-	Anode
કૅથોડ	-	Cathode
વોલ્ટ	-	Volt
કોષ પોટૅન્શિયલ	-	Cell potential
જલીય	-	Aqueous
સંદર્ભધ્રુવ	-	Reference electrode
સાંકેતિક	-	Symbolic
સાંદ્રતાકોષ	-	Concentration cell
નર્ન્સ્ટ સમીકરણ	-	Nernst equation
વિદ્યુતવિભાજન	-	Electrolysis
ફેરાડે	-	Faraday
તત્ત્વયોગમિતિ	-	Stoichiometry
કુલોમ્બ	-	Coloumb
પિગાળેલ	-	Molten
ઢોળ ચઢાવવાં	-	Electroplating
ઍનોડ પંક	-	Anodemud
બલિદાન આપનાર ઍનોડ	-	Sacrificial Anode
નિરોધકો	-	Inhibitors
મુક્તઊર્જા	-	Free Energy
ઔદ્યોગિક	-	Industrial
સ્થાનાંતરિત	-	Delocalised
વિદ્યુતીયવહન	-	Electrical conduction
ધાત્વિક વાહકો	-	Metallic conductors
વિદ્યુતીય અવરોધ	-	Electrical resistance
અવરોધકતા	-	Resistivity
ઓહ્મ	-	Ohm
વિશિષ્ટ અવરોધ	-	Specific resistance
વિશિષ્ટ વાહકતા	-	Specific conductance
સીમેન્સ	-	Siemens
કાર્બનિક બહુલકો	-	Organic polymers
સુવાહકો	-	Conductors
અતિસુવાહક	-	Superconductor
અર્ધ વાહક	-	Semiconductor
અવાહક	-	Insulator
આયનીય વહનશીલતા	-	Ionic mobility
મોલર વાહકતા	-	Molar conductivity
સ્નિગ્ધતા	-	Viscosity
અભિગમન	-	Migration
સ્વતંત્ર અભિગમન	-	Independent migration
આંતર્છેદ	-	Intercept
વિદ્યુતવિભાજ્ય	-	Electrolyte
ઔદ્યોગિક કોષ	-	Commercial cell
બળતણ કોષ	-	Fuel cell
સંગ્રાહક કોષ	-	Storage cell
પ્રાથમિક કોષ	-	Primary cell
દ્વિતીયક કોષ	-	Secondary cell

વાદળી	-	Sponge
ક્ષારણ	-	Corrosion
વિયોજન અંશ	-	Degree of dissociation

કાટ	-	Rust
ચાંદીનો ચળકાટ ઝાંખો પડે છે	-	Tarnishing of silver
ક્ષમતા	-	Efficiency

એકમ

4

તત્ત્વોના અલગીકરણ માટેના સામાન્ય સિદ્ધાંતો અને પદ્ધતિઓ

ધાતુકર્મવિધિ	-	Metallurgy
નિષ્કર્ષણ	-	Extraction
અલગીકરણ	-	Separation
અયસ્ક	-	Ore
પ્રચુરતા	-	Abundance
માટી	-	Clays
નિક્ષાલન	-	Leaching
સ્થાયીકરણ	-	Stabilisers
અવસાદકો	-	Depressants
અપરિષ્કૃત	-	Crude
ભૂંજન	-	Roasting
પરાવર્તની ભઠ્ઠી	-	Reverberatory furnace
ભૌતિક રાસાયણિક સિદ્ધાંતો	-	Physico-chemical Principles

ઉત્તાપીય	-	Pyrometallurgy
અભિવાહ	-	Flux
નિસ્યંદન	-	Distillation
દ્રવગલન	-	Liquation
વિદ્યુતવિભાજન	-	Electrolysis
ઍનોડ પંક	-	Anode mud
નિક્ષાલક	-	Eluent
પ્રદ્રાવણ	-	Smelting
ફોલ્લાવાળું તાંબુ	-	Blister copper
વાતભઠ્ઠી	-	Blast furnace
ઘડતર લોખંડ	-	Cast iron
ભરતર લોખંડ	-	Wrought iron
ટિપનીય લોખંડ	-	Malleable iron

એકમ

5

p-વિભાગનાં તત્ત્વો II

પ્રાપ્તિસ્થાન	-	Occurrence
ઑક્સિડેશન અવસ્થા	-	Oxidation state
અપરરૂપો	-	Allotropes
ધાતુકર્મવિધિ	-	Metallurgy
પ્રવર્ધક	-	Promotor
ઠારબિંદુ	-	Freezing point
શીતક	-	Refrigerant
દ્વિઅંગી સંયોજન	-	Binary compound
પારજાંબલી કિરણો	-	Ultraviolet rays

ક્રમિક વિયોજન-	-	Successive dissociation
અચળાંક		Constant
વિરંજક	-	Bleaching agent
સંક્રાંતિ તાપમાન	-	Transition temperature
અનિયમિત વર્તણૂક	-	Anomalous behaviour
આંતર હેલોજન સંયોજન	-	Inter halogen compound
ઉર્ધ્વપાતન	-	Sublimation
વીંટી કસોટી	-	Ring test

એકમ

6

હેલોઆલ્કેન અને હેલોએરીન સંયોજનો

વિસ્થાપન	-	Substitution
સંયોજનો	-	Compounds
વિદ્યુતઋણતા	-	Electronegativity

ધ્રુવીયતા	-	Dipole moment
સૂકો (નિર્જળ)	-	Anhydrous
ઉત્કલનબિંદુ	-	Boiling point

ઘનતા	-	Density
કેન્દ્રાનુરાગી	-	Nucleophilic
ઇલેક્ટ્રૉન અનુરાગી	-	Electrophilic
એકઆણ્વિય	-	Unimolecular
દ્વિઆણ્વિય	-	Bimolecular
પ્રક્રિયાકારક	-	Substrate
પ્રક્રિયક	-	Reagent
નીપજ	-	Product
અવકાશીય ગોઠવણી	-	Spatial arrangement
રાસાયણિક ગતિશાસ્ત્ર	-	Chemical kinetics
સંક્રાંતિ અવસ્થા	-	Transition state
સ્થાયીતા	-	Stability
અસમવિભાજન / વિષમવિભાજન	-	Heterolytic fission
સંસ્પંદન	-	Resonance

અવકાશ-રસાયણ	-	Stereochemistry
ત્રિપરિમાણીય	-	Three dimensional
અવકાશીય સમઘટકો	-	Stereoisomers
પ્રકાશીય સમઘટકો	-	Optical isomers
સંરૂપો	-	Conformors
વિન્યાસી	-	Cofigurational
ધ્રુવીભૂત પ્રકાશ	-	Polarised light
પ્રકાશક્રિયાશીલ	-	Optically active
વામભ્રમણીય	-	Levo rotatory
દક્ષિણ ભ્રમણીય	-	Dextro rotatory
અસંમિત / અસમમિત	-	Asymmetric
અધ્યારોપિત	-	Superimposable
અગ્નિશામક	-	Fire extinguisher
સળગી ઊઠે તેવો	-	Combustible

એકમ

7

આલ્કોહૉલ, ફિનૉલ અને ઇથર સંયોજનો

પ્રાથમિક	-	Primary
દ્વિતીયક	-	Secondary
તૃતીયક	-	Tertiary

આંતરઆણ્વિય	-	Intermolecular
આકર્ષણ બળ		Attraction force
આંતરઆણ્વિય	-	Intermolecular

હાઇડ્રોજન બંધ		Hydrogen bond
આંતઃઆણ્વિય	-	Intramolecular
હાઇડ્રોજન બંધ		Hydrogen bond
ઇલેક્ટ્રોનપૂરક સમૂહો	-	Electron releasing Groups
કાર્બોકેટાયન	-	Carbocation
મધ્યસ્થી નિપજ	-	Intermediate product
સંઘનન	-	Condensation
વિલોપન	-	Elimination

નિર્જળીકરણ	-	Dehydration
ઉત્સેચક	-	Enzyme
સ્થાનીકૃત	-	Localised
વિસ્થાનીકૃત	-	Delocalised
વેદનાહર ઔષધો	-	Analgesic drugs
સસ્પંદન	-	Resonance
સમમિતીય	-	Symmetrical
અસમમિતીય	-	Unsymmetrical
વેગ નિર્ણાયક તબક્કો	-	Rate determining step

• • •

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Difference								
											1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	4	8	12	17	21	25	29	33	37
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	4	8	11	15	19	23	26	30	34
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	3	7	10	14	17	21	24	28	31
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	3	6	10	13	16	19	23	26	29
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	3	6	9	12	15	18	21	24	27
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	3	6	8	11	14	17	20	22	25
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3	5	8	11	13	16	18	21	24
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	2	5	7	10	12	15	17	20	22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	2	5	7	9	12	14	16	19	21
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	2	4	7	9	11	13	16	18	20
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	2	4	6	8	11	13	15	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2	4	5	7	9	11	12	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2	3	5	6	8	9	11	13	14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	10	11	12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5575	5587	5566	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	8	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1	2	3	4	5	7	8	9	10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	8	9	10
41	6128	6238	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6345	6454	6464	6474	6484	6494	6503	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	5	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Difference								
											1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7769	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	5	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	4	4	5	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	4	5	5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9843	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	2	2	3	3	3	4
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Difference								
											1	2	3	4	5	6	7	8	9
.00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	1045	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227	0	1	1	1	1	2	2	2	3
.09	1230	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1253	1256	0	1	1	1	1	2	2	2	3
.10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285	0	1	1	1	1	2	2	2	3
.11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346	0	1	1	1	2	2	2	2	3
.13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.15	1413	1416	1419	1422	1426	1429	1432	1435	1439	1442	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1476	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1574	1578	1581	0	1	1	1	2	2	3	3	3
.20	1585	1289	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	0	1	1	1	2	2	3	3	3
.21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656	0	1	1	2	2	2	3	3	3
.22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1687	1690	1694	0	1	1	2	2	2	3	3	3
.23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858	0	1	1	2	2	3	3	3	4
.27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901	0	1	1	2	2	3	3	3	4
.28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	2286	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2380	2388	2393	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506	1	1	2	2	3	3	4	5	5
.40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564	1	1	2	2	3	4	4	5	5
.41	2570	2576	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	1	1	2	2	3	4	4	5	5
.42	2630	2636	2642	2649	2655	2661	2667	2673	2679	2685	1	1	2	2	3	4	4	5	6
.43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748	1	1	2	3	3	4	4	5	6
.44	2754	2761	2767	2773	2780	2786	2793	2799	2805	2812	1	1	2	3	3	4	4	5	6
.45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	2877	1	1	2	3	3	4	5	5	6
.46	2884	2891	2897	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944	1	1	2	3	3	4	5	5	6
.47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013	1	1	2	3	3	4	5	5	6
.48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	1	1	2	3	4	4	5	6	6
.49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155	1	1	2	3	4	4	5	6	6
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mean Difference								
											1	2	3	4	5	6	7	8	9
.50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	1	1	2	3	4	4	5	6	7
.51	3236	3243	3251	3258	3266	3273	3281	3289	3296	3304	1	2	2	3	4	5	5	6	7
.52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	2	3	4	5	5	6	7
.53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	2	3	4	5	6	6	7
.54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1	2	2	3	4	5	6	6	7
.55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	2	3	4	5	6	7	7
.56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1	2	3	3	4	5	6	7	8
.57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1	2	3	3	4	5	6	7	8
.58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	4	5	6	7	8
.59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	5	6	7	8
.60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	6	7	8
.61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7	9	10
.67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	7	8	9	10
.68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	6	7	8	9	10
.69	4898	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1	2	3	5	6	7	8	9	10
.70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1	2	4	5	6	7	8	9	11
.71	5129	5140	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1	2	4	5	6	7	8	10	11
.72	5248	5260	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1	2	4	5	6	7	9	10	11
.73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11
.74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12
.75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12
.76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	11	12
.77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1	3	4	5	7	8	10	11	12
.78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152	1	3	4	6	7	8	10	11	13
.79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1	3	4	6	7	9	10	11	13
.80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1	3	4	6	7	9	10	12	13
.81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2	3	5	6	8	9	11	12	14
.82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6715	6730	6745	2	3	5	6	8	9	11	12	14
.83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2	3	5	6	8	9	11	13	14
.84	6918	6934	6950	6966	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2	3	5	6	8	10	11	13	15
.85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15
.86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	2	3	5	7	8	10	12	13	15
.87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2	3	5	7	9	10	12	14	16
.88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2	4	5	7	9	11	112	14	16
.89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2	4	5	7	9	11	12	14	16
.90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	5	7	9	11	13	15	17
.91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17
.92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	15	17
.93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2	4	6	8	10	12	14	16	18
.94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	2	4	6	8	10	12	14	16	18
.95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2	4	6	8	10	12	15	17	19
.96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2	4	6	8	11	13	15	17	19
.97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	2	4	7	9	11	13	15	17	20
.98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20
.99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	2	5	7	9	11	14	16	18	20
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9