એકમ

4

તત્ત્વોના અલગીકરણ માટેના સામાન્ય સિદ્ધાંતો અને પદ્ધતિઓ

4.1 પ્રસ્તાવના (Introduction)

કુદરતમાં ઘણાં ઓછાં તત્ત્વો મુક્ત સ્વરૂપે મળી આવે છે. કૉપર 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 ઍલ્યુમિનિયમની 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 જેમસ્ટૉન (નંગ) Al_2O_3ના અશુદ્ધ સ્વરૂપ છે. દા.ત., માણેક (ruby)માં Crની અશુદ્ધિ હોય છે. સેફાયર (saphire)માં Cdની 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 ઍલ્યુમિનિયમ, કૉપર, આયર્ન, ઝિંક જેવી ધાતુઓના નિષ્કર્ષણનો અભ્યાસ કરીશું. કોષ્ટક 4.1માં ઍલ્યુમિનિયમ, કૉપર, આયર્ન અને ઝિંક ધાતુઓની અગત્યની કાચી ધાતુ દર્શાવી છે.

કોષ્ટક 4.1 કેટલીક અગત્યની ધાતુઓની મુખ્ય કાચી ધાતુઓ

ધાતુ	કાચી ધાતુ	ઘટક પ્રમાણ
ઍલ્યુમિનિયમ	બૉક્સાઇટ	$AlO_x(OH)_{3-2x}$ જ્યાં, $0 < x < 1$
	કેઓલીનાઇટ (એક પ્રકારની ચિનાઈ માટી)	$[Al_2(OH)_4Si_2O_5]$
કૉપર	કૉપર પાયરાઇટ્સ	$CuFeS_2$
	મેલેકાઇટ	$CaCO_3 \cdot Cu(OH)_2$
	ક્યુપ્રાઇટ	Cu_2O
	કૉપર ગ્લાન્સ	Cu_2S
આયર્ન	હેમેટાઇટ	Fe_2O_3
	મૅગ્નેટાઇટ	Fe_3O_4
	સિડેરાઇટ	$FeCO_3$
	આયર્ન પાયરાઇટ્સ	FeS_2
ઝિંક	ઝિંક બ્લૅન્ડ અથવા	ZnS
	સ્ફાલેરાઇટ (sphalerite)	
	કેલેમાઇન	$ZnCO_3$
	ઝિંકાઇટ	ZnO

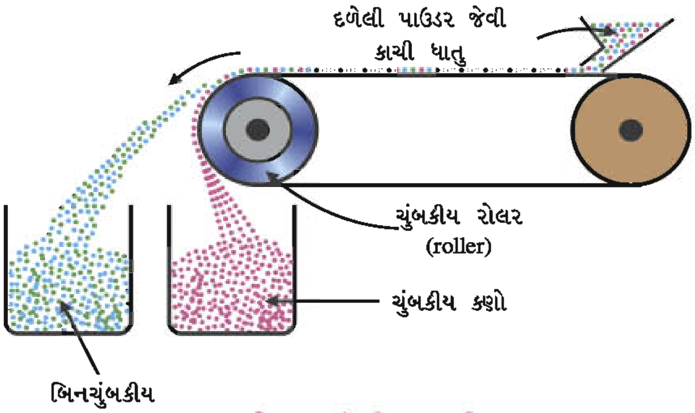
કાચી ધાતુમાંથી ધાતુ મેળવવા માટે ઑક્સાઇડ ખનિજો વધુ પસંદ કરાય છે. કારણ કે સલ્ફાઇડ ખનિજોમાંથી નીકળતો SO_2 વાયુ પ્રદૂષણ કરે છે અને તેમના રિડક્શન પણ મુશ્કેલ છે. આથી ઍલ્યુમિનિયમ માટે બૉક્સાઇટ અને આયર્ન માટે હેમેટાઇટ ઑક્સાઇડનો ઉપયોગ થાય છે. કૉપર અને ઝિંક માટે કોષ્ટક 4.1માં દર્શાવેલ કાચી ધાતુઓમાંથી તેમની પ્રાપ્યતા 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.

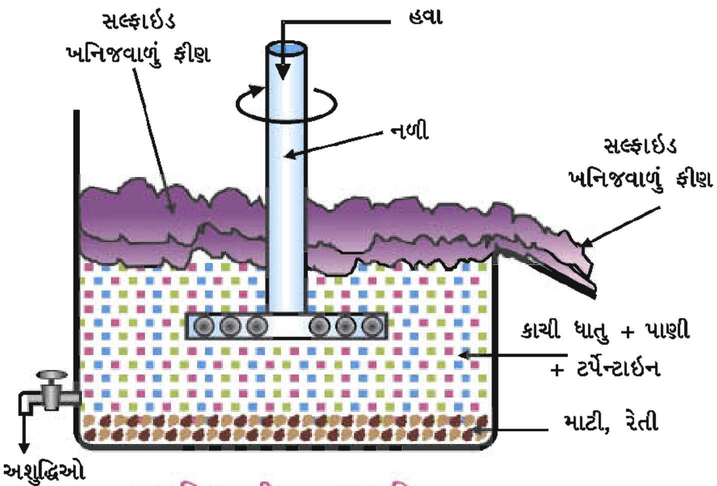
આપણે એક પછી એક આવી ચાર પદ્ધતિઓ (1) જલીય પ્રક્ષાલન (Hydraulic Washing) (2) ચુંબકીય અલગીકરણ (Magnetic Separation) (3) ફીણપ્લવન પદ્ધતિ (Froth Floatation Method) (4) નિક્ષાલન (Leaching) સમજીએ.

(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 ઑઇલ, ચરબીજન્ય ઍસિડ, 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, $Fe_2O_3 \cdot XH_2O(s) \rightarrow Fe_2O_3(s) + XH_2O(g)$

$$ZnCO_3(s) \rightarrow ZnO(s) + CO_2(g)$$

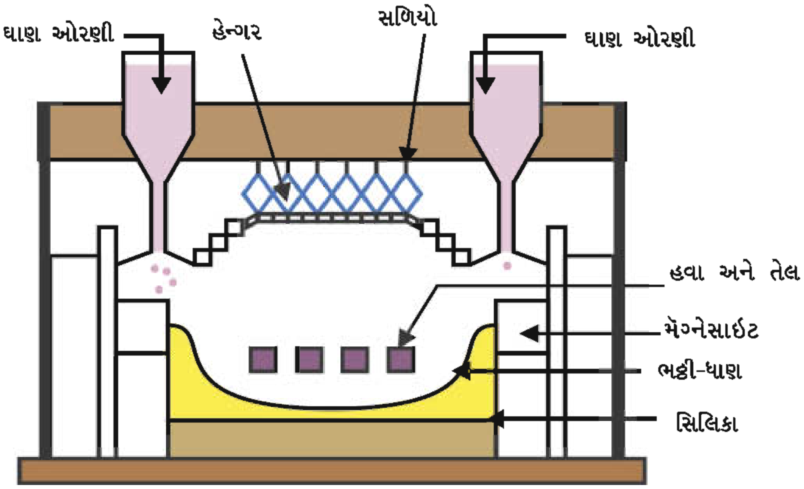
$$CaCO_3 \cdot MgCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + MgO(s) + 2CO_2(g)$$

(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 મેટ્ટ (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, ઍન્ટ્રોપી, ઍન્થાલ્પી

વગેરે પર્યાયો અને વિગતોથી પરિચિત છો. તેમાંય ખાસ કરીને સંતુલન અચળાંક, ગિબ્સ મુક્તઊર્જા વગેરેની સમજણ અહીંયાં ઉપયોગી થઈ પડશે.

ગિબ્સ હેલ્મ હૉલ્ટ્ઝ સમીકરણ $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ તમે શીખ્યા છો. જ્યાં ΔG મુક્તશક્તિ ફેરફાર, ΔH ઍન્થાલ્પી 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 એલિગહામે (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^0 ના ઋણ મૂલ્ય તરફ લઈ જશે. આથી રેડોક્ષ-પ્રક્રિયા એવી હોવી જોઈએ કે તેના $\Delta_f G^0$ 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 $\Delta_f G^0$ 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 જે-તે રેડોક્ષ-પ્રક્રિયાના સંપૂર્ણ કોષનો પ્રમાણિત રિડક્શન પોટૅન્શિયલ છે અને તે ભાગ લેતી બે ધાતુઓના પ્રમાણિત રિડક્શન પોટૅન્શિયલનો તફાવત છે. ΔG^0 = પ્રમાણિત મુક્તશક્તિ ફેરફાર છે. ખૂબ જ ઝડપથી પ્રક્રિયા કરતા ધ્રુવોના ઑક્સિડેશન પોટૅન્શિયલ વધુ ઊંચા અને ધન હોય તેથી તેમના રિડક્શન પોટૅન્શિયલ 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. ધાતુઆયને 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 ઘનનું પણ વિદ્યુતવિભાજન ઉપર પ્રમાણે કરી શકાય પરંતુ પિગલિત ઘનનું 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 પોટેન્શિયલ (E^0) અને મુક્તશક્તિ (ΔG) વિશે અભ્યાસ કર્યો છે. આથી જેનો રિડક્શન પોટેન્શિયલ ઊંચો હોય તેનું કૅથોડ પર

દ્રાવણમાંના આયનનું રિડક્શન થઈ શુદ્ધ ધાતુ જમા થાય છે. ઍનોડ પરની અશુદ્ધ ધાતુનું ઑક્સિડેશન થઈ દ્રાવણમાં આયન સ્વરૂપે દાખલ થાય છે. જો યોગ્ય પોટૅન્શિયલ ગોઠવવામાં આવે તો મળતી ધાતુનું પ્રમાણ પસાર કરેલા વિદ્યુતના જથ્થાના સમપ્રમાણમાં હોય છે. આ તમે ફેરાડેના વિદ્યુતવિભાજનના પ્રથમ નિયમમાં શીખી ગયા છો.

ઍનોડ : $M(s) \longrightarrow M^{n+}(aq) + ne^-$

કૅથોડ : $M^{n+}(aq) + ne^- \longrightarrow M(s)$

અશુદ્ધ કૉપર ધાતુનું શુદ્ધિકરણ આ પદ્ધતિથી કરી શકાય છે, જેમાં નીચે પ્રમાણેની પ્રક્રિયાઓ થાય છે :

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

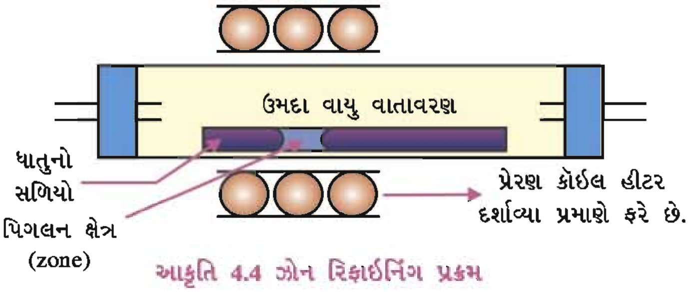
કૅથોડ : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$

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 મોબાઇલ 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 લિગેન્ડ 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) ઍલ્યુમિનાનું 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 ઊભયગુણધર્મી 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.

$$Al_2O_3(s) + 2NaOH(aq) + 3H_2O(l) \rightarrow 2Na[Al(OH)_4](aq)$$

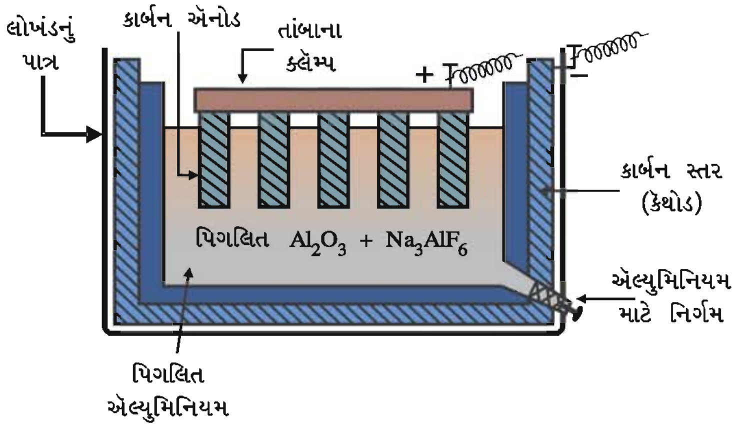
દ્રાવણને ગાળી લેવાથી દ્રાવણમાં સોડિયમ ઍલ્યુમિનેટ મળે છે. તેમાં CO_2 વાયુ પસાર કરી દ્રાવણનું તટસ્થીકરણ કરતાં જલીય Al_2O_3 અવક્ષેપન પામે છે. આ તબક્કે તાજા જ બનાવેલા જલીય Al_2O_3 અથવા $Al(OH)_3$ના અવક્ષેપ ઉમેરવામાં આવે છે, જે દ્રાવણમાંના Al_2O_3નું અવક્ષેપન કરવામાં પ્રેરિત અસર ઉપજાવે છે.

$$2Na[Al(OH)_4](aq) + 2CO_2(g) \rightarrow Al_2O_3 \cdot XH_2O(s) + 2NaHCO_3(aq)$$

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 ગ્રેફાઇટનું 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. ગ્રેફાઇટના 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 ગ્રેફાઇટમાંનો 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 હૉલ (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 મોનૉક્સાઇડ (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.

ઍલ્યુમિનિયમના ઉપયોગો : ઍલ્યુમિનિયમ હલકી ધાતુ હોવાથી તેનો ઉપયોગ ઍરોપ્લેનના 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 ઍલ્યુમિનિયમ બ્રોન્ઝ જેવી મિશ્ર ધાતુઓ બનાવે છે. જે ઍરોપ્લેનના 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 કૉપરની સાથેની અશુદ્ધિઓ દૂર કરી કૉપર 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 કૉક 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. કૉપરને 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 કૉપરના 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 ક્રાયોલાઇટ 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 % કૉપર 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.

$$2FeS(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2FeO(s) + 2SO_2(g)$$

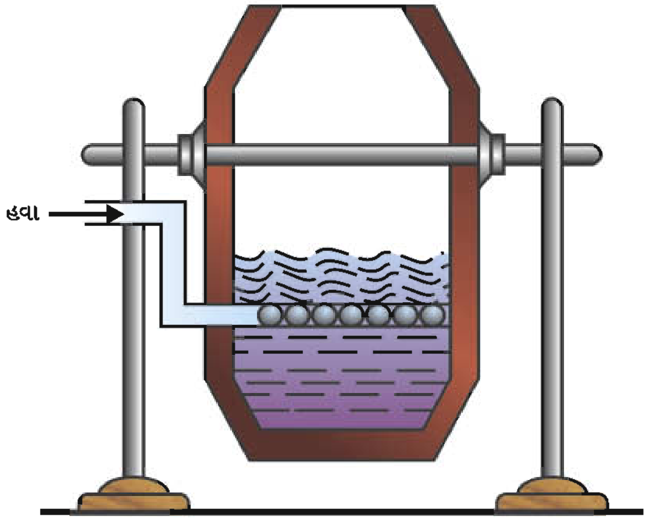
$$FeO(s) + SiO_2(s) \longrightarrow FeSiO_3(s)$$

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.

$$2Cu_2S(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2Cu_2O(s) + 2SO_2(g)$$

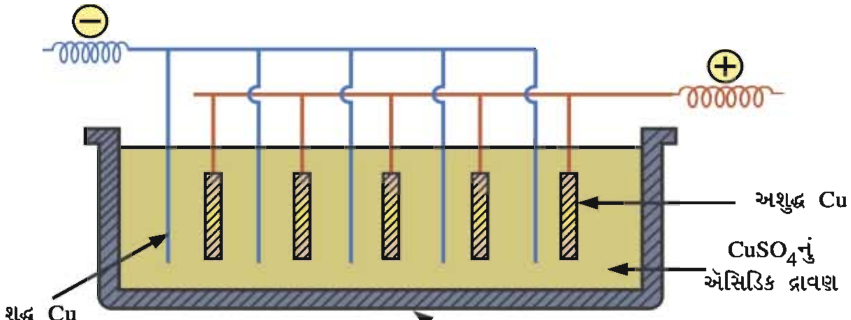
$$Cu_2S(s) + 2Cu_2O(s) \longrightarrow 6Cu(s) + SO_2(g)$$

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 કૉપરમાં 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 કૉપર મેળવવા માટે વિદ્યુતવિભાજન પદ્ધતિ ઉપયોગમાં લેવાય છે. આકૃતિ 4.7માં દર્શાવ્યા પ્રમાણે કૉપર સલ્ફેટના મંદ સલ્ફ્યુરિક ઍસિડમાં બનાવેલા દ્રાવણને વિદ્યુતવિભાજ્ય તરીકે એક પાત્રમાં લેવામાં આવે છે. તેમાં અશુદ્ધ કૉપરની જાડી પટ્ટીઓ અથવા સળિયા ઍનોડ તરીકે અને શુદ્ધ કૉપરની પટ્ટી કૅથોડ તરીકે લટકાવવામાં આવે છે. વિદ્યુતપ્રવાહ દ્રાવણોમાં પસાર કરતા વિદ્યુતવિભાજન દ્વારા ઍનોડ અને કૅથોડ પર નીચે પ્રમાણેની પ્રક્રિયાઓ થાય છે :



આકૃતિ 4.7 કૉપરનું વિદ્યુતવિભાજન

ઍનોડ : Cu(s) (અશુદ્ધ) $\longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^-$ (ઑક્સિડેશન)

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

એકંદર પ્રક્રિયા : Cu(s) (અશુદ્ધ) $\longrightarrow$ Cu(s) (શુદ્ધ)

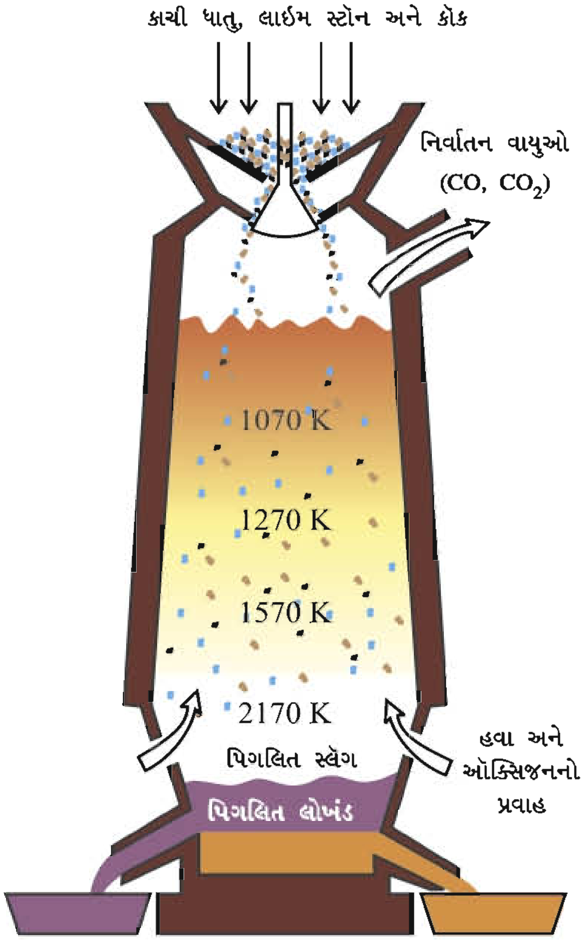
આમ, વીજપ્રવાહ ચાલુ રહે ત્યાં સુધી અશુદ્ધ કૉપરનું કૉપર આયનમાં ઑક્સિડેશન થઈ દ્રાવણમાં જાય છે અને દ્રાવણમાંનું કૉપર આયન રિડક્શન દ્વારા શુદ્ધ કૉપર ધાતુમાં ફેરવાય છે, જે કૅથોડ પર જમા થાય છે. Ag, Au અને Pt જેવી ઉમદા ધાતુઓનું ઑક્સિડેશન ન થતું હોવાથી તે ઍનોડ નીચે જમા થાય છે, જેને **ઍનોડ પંક (anode mud)** કહે છે. તેમાંથી Ag, Au, Pt ધાતુઓ મેળવી શકાય છે. કૅથોડ પર મળતા કૉપરની શુદ્ધતા 99.96થી 99.99 % જેટલી હોય છે.

કૉપરના ઉપયોગો : કૉપરનો ઉપયોગ વિદ્યુતીય સાધનો બનાવવામાં, બૉઇલરની 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 કૉપર ઘણી બધી મિશ્ર ધાતુઓ બનાવે છે. જેમાંની કેટલીક જાણીતી મિશ્ર ધાતુઓમાં પિત્તળ, કાંસુ, જર્મન સિલ્વર, મોનલ મૅટલ, બેલ મૅટલ, ડેલ્ટા મૅટલ, કૉન્સ્ટન્ટન, મુન્ટ્ઝ મૅટલ, ફૉસ્ફર બ્રૉન્ઝ, ઍલ્યુમિનિયમ 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 સ્લૅગ બનાવતો નથી. ભઠ્ઠીમાં રહેલું મિશ્રણ છિદ્રાળુ બને છે.



આકૃતિ 4.8 વાતભઠ્ઠી

(ii) રિડક્શન અને પ્રદ્રાવણ : ભૂંજનથી મળેલા છિદ્રાળુ મિશ્રણમાં લાઈમ સ્ટૉન, કૉક 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 કૉકમાંથી બનતો કાર્બન મોનૉક્સાઇડ કેવી રીતે રિડક્શન કરે છે ? શા માટે આવી જ ભઠ્ઠી પસંદ કરવામાં આવી છે ? આ ભઠ્ઠીનું મુખ્ય કાર્ય નીચેની પ્રક્રિયાઓ પૂરી કરવાનું છે :

$$FeO(s) + C(s) \longrightarrow Fe(s/l) + CO(g) \quad (4.1)$$

આમ કૉક સીધું જ રિડક્શન કરી શકે છે. કાર્બન સાથે FeOમાંથી મળતો ઑક્સિજન સંયોજાઈ CO વાયુ બનાવે છે.

$$FeO(s) \longrightarrow Fe(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \quad [\Delta G\ (FeO, Fe)] \quad (4.2)$$

$$C(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO(g) \quad [\Delta G\ (C, CO)] \quad (4.3)$$

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 :

$$\Delta_r G = \Delta G\ (C,CO) + \Delta G\ (FeO, Fe) \quad (4.4)$$

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 :

$$C(s) + CO_2(g) \longrightarrow 2CO(g)$$

$$FeO(s) + CO(g) \longrightarrow Fe(s) + CO_2(g)$$

લાઈમસ્ટૉનનું 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)

$$Fe_3O_4(s) + CO(g) \longrightarrow 3FeO(s) + CO_2(g)$$

$$CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g)$$
(લાઇમ સ્ટોન)

$$CaO(s) + SiO_2(s) \longrightarrow CaSiO_3(s)$$
(સ્લૅગ)

(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 પિગલિત 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 કૉકના 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 મોનૉક્સાઇડમાં રૂપાંતર કરે છે.

$$Fe_2O_3(s) + 3C(s) \longrightarrow 2Fe(s) + 3CO(g)$$

લાઈમસ્ટોનને 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 પાઈપ, રમકડાં વગેરે બનાવવામાં વપરાય છે. તે ભરતર લોખંડ અને સ્ટીલ બનાવવામાં વપરાય છે. ભરતર લોખંડ વહાણના લંગર (anchor), તાર, બૉલ્ટ, 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 બ્લૅન્ડ 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 ગૅલિના (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 ઑઇલ 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 ગૅલિનાની અશુદ્ધિ ન હોવાથી આ પ્રક્રિયા કરવી પડતી નથી.

(ii) ભૂંજન : સંકેન્દ્રિત કાચી ધાતુ ZnS અથવા કેલેમાઇનનું હવામાં ભૂંજન કરવામાં આવે છે. જેથી તે ઑક્સાઇડ 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 ઑક્સાઇડ મેળવાય છે.

(iii) રિડક્શન : ભૂંજન દ્વારા મેળવેલ ઝિંક ઑક્સાઇડને પાઉડર સ્વરૂપ ધરાવતા કૉલ અથવા ઍન્થ્રેસાઇટ કૉલ સાથે મિશ્ર કરી નળાકારીય રિટૉર્ટ (retort) જે અગ્નિરોધક (fire clay) ઈંટોનો બનેલો હોય છે. તેમાં લાલચોળ થાય તે રીતે સખત ગરમ કરવામાં આવે છે. રિટૉર્ટનો એક છેડો બંધ હોય છે અને તેના બીજા ખુલ્લા ભાગ સાથે બીજા રિટૉર્ટ જોડવામાં આવે છે. જેથી તે શીતક (condensor) તરીકે કામ કરે છે અને બહાર આવતી ઝિંકની બાષ્પને ઠંડી પાડે છે. આવા ઘણા બધા રિટૉર્ટ એકબીજા સાથે જોડી શકાય. તેને તેના મુખ તરફ ઢળતો રાખવામાં આવે છે. જ્યારે ગરમ કરવામાં આવે ત્યારે કાર્બન, ઝિંક ઑક્સાઇડના ઑક્સિજન સાથે સંયોજાઈ કાર્બન મોનૉક્સાઇડ બનાવે છે. કાર્બન મોનૉક્સાઇડ 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 પ્રોલૉંગ (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 ઍસિડિકતાવાળા દ્રાવણથી અલગ કરવામાં આવે છે. ત્યાર બાદ દ્રાવણને ગાળી લઈ શુદ્ધ ઝિંક સલ્ફેટનું દ્રાવણ મેળવવામાં આવે છે. અગાઉ કૉપર

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 બ્લૅન્ડ 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 પ્રચૂરતા 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) કેલ્શિનેશન (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 ($FeSiO_3$) સ્લૅગ 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, કૉલ, કાર્બન મોનૉક્સાઇડ, સક્રિય ધાતુ વગેરેનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. તાપમાનના ફેરફાર સાથેના ધાતુકર્મવિધિના અભ્યાસને 'પાયરો (ઉત્તતાપીય) ધાતુકર્મવિધિ' (pyrometallurgy) કહે છે. વિદ્યુતપ્રવાહ દ્વારા ઇલેક્ટ્રૉનનો ઉપયોગ કરીને પણ રિડક્શન કરી શકાય છે.

ઉષ્માગતિશાસ્ત્રમાંના સિદ્ધાંતો, રાસાયણિક સંતુલન, લ-શૅટેલિયરનો સિદ્ધાંત તથા મુક્તશક્તિ ફેરફાર, સંતુલન અચળાંક, ઍન્થાલ્પી, ઍન્ટ્રોપી 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 ઍલિંગહામે (Ellingham) પ્રમાણિત મુક્તશક્તિ ઘટાડો ($-\Delta G^0$) અને તાપમાન (કેલ્વિન એકમ) વચ્ચેના સંબંધનો અભ્યાસ કર્યો જેને ઍલિંગહામ આકૃતિઓ કહે છે. ધાતુકર્મવિધિ સાથે સંકળાયેલા ભૌતિક-રાસાયણિક સિદ્ધાંતોનો પણ આ એકમમાં ઉપયોગ સમજાવેલ છે. ઑક્સિડેશન એટલે ઇલેક્ટ્રૉન ગુમાવવો જે વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાં ઍનોડ પર થાય છે અને રિડક્શન એટલે ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવો, જે વિદ્યુતરાસાયણિક કોષમાં કૅથોડ પર થાય છે. તેથી અશુદ્ધ ધાતુનું ઍનોડ દ્વારા ઑક્સિડેશન કરી શુદ્ધ ધાતુ કૅથોડ પર રિડક્શન દ્વારા જમા કરી શકાય છે. જેમ કે અશુદ્ધ કૉપરના ઍનોડ પરથી શુદ્ધ કૉપર કૅથોડ 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, કૉપર, 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) ઍલ્યુમિનિયમની કાચી ધાતુ કઈ છે ?

(A) બૉક્સાઇટ (B) હેમેટાઇટ (C) કૉપર પાઇરાઇટ્સ (D) ઝિંક બ્લૅન્ડ

(2) કૉપરની કાચી ધાતુ કઈ છે ?

(A) બૉક્સાઇટ (B) હેમેટાઇટ (C) કૉપર પાઇરાઇટ્સ (D) ઝિંક બ્લૅન્ડ

(3) ઝિંકની કાચી ધાતુ કઈ છે ?

(A) બૉક્સાઇટ (B) હેમેટાઇટ (C) કૉપર પાઇરાઇટ્સ (D) ઝિંક બ્લૅન્ડ

(4) આયર્નની કાચી ધાતુ કઈ છે ?

(A) બૉક્સાઇટ (B) હેમેટાઇટ (C) કૉપર પાઇરાઇટ્સ (D) ઝિંક બ્લૅન્ડ

(5) ઝોન રિફાઇનિંગ પદ્ધતિથી કઈ ધાતુનું શુદ્ધિકરણ કરવામાં આવે છે ?

(A) કૉપર (B) ઝિંક (C) સિલિકોન (D) ઍલ્યુમિનિયમ

(6) વિદ્યુતવિભાજન પદ્ધતિથી કઈ ધાતુનું શુદ્ધિકરણ કરવામાં આવે છે ?

(A) મરક્યુરિ (B) ઝિંક (C) ટિન (D) સિલિકોન

(7) ઍલ્યુમિનિયમના શુદ્ધિકરણમાં વપરાતી પદ્ધતિનું નામ શું છે ?

(A) વાન આર્કેલ (B) બેસેમરીકરણ (C) હૉલ-હેરૉલ્ટ (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-હેરૉલ્ટ 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-હેરૉલ્ટ 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.

•