એકમ

6

તત્ત્વોના અલગન(અલગીકરણ)ના સામાન્ય સિદ્ધાંતો અને પ્રક્રમો (General Principles and Processes of Isolation of Elements)

હેતુઓ

આ એકમનો અભ્યાસ કર્યા પછી તમે ....

- ધાતુ કર્મ વિધિઓમાં ભારતીય પરંપરાઓના યોગદાનની કદર કરશો.
- ખનીજ, અયસ્ક (કાચીધાતુ), સંકેન્દ્રણ, સમરિષ્કરણ (Benefaction), નિસ્તાપન, ભૂંજન, શુદ્ધીકરણ વગેરે પર્યાયો સમજાવી શકશો.
- નિષ્કર્ષણ પદ્ધતિઓને લાગુ પાડવામાં આવતા ઑક્સિડેશન અને રિડક્શન સિદ્ધાંતો સમજી શકશો.
- Al, Cu, Zn અને Feના નિષ્કર્ષણના સિદ્ધાંતોને ઉષ્માગતિકીય ખ્યાલો જેવા કે ગિબ્સ-ઊર્જા, એન્ટ્રોપી પ્રયુક્ત કરી શકશો.
- શા માટે કેટલાક ઑક્સાઇડ જેવા કે Cu_2Oનું રિડક્શન Fe_2O_3 કરતાં વધારે સરળ છે તે સમજાવી શકશો.
- શા માટે CO અમુક તાપમાને અનુકૂળ રિડક્શનકર્તા છે. જ્યારે કોક બીજી કેટલાક અન્ય કિસ્સાઓમાં વધારે સારો રિડક્શનકર્તા છે તે સમજાવી શકશો.
- શા માટે રિડક્શન હેતુ માટે વિશિષ્ટ રિડક્શનકર્તા વપરાય છે તે સમજાવી શકશો.

ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર શા માટે નિષ્કર્ષણમાં ધાતુ ઑક્સાઇડના રિડક્શન માટે માત્ર રિડક્શનકર્તા તત્ત્વ અને નિમ્નતમ અમુક વિશિષ્ટ તાપમાન યોગ્ય છે તેમ દર્શાવે છે ?

સંસ્કૃતિનો ઇતિહાસ પ્રાચીન નમૂનાઓમાં ઉપયોગ થયેલી ધાતુઓ સાથે ઘણી રીતે સંકળાયેલ છે. માનવ સંસ્કૃતિના જુદા-જુદા સમયગાળાને જુદી-જુદી ધાતુઓના નામ આપવામાં આવ્યા છે. ધાતુઓના નિષ્કર્ષણના કૌશલ્યે ઘણી ધાતુઓ આપી છે અને માનવ સમાજમાં ઘણા ફેરફારો લાવી છે. તેણે શસ્ત્રો, સાધનો, આભૂષણો, વાસણો વગેરે આપ્યા છે અને સાંસ્કૃતિક જીવનને સમૃદ્ધ કર્યુ છે. ધાતુઓ જેને કેટલીક વખતે 'પ્રાચીન નમૂનાની સાત ધાતુઓ' કહેવામાં આવે છે સોનું, તાંબું, ચાંદી, સીસું, કલાઈ, લોખંડ અને પારો છે. વળી, ઔદ્યોગિક ક્રાંતિ પછી આધુનિક ધાતુકર્મવિધિનો વિકાસ ઘાતાંકીય રીતે થયો છે. અહી તે નોંધવુ રસપ્રદ છે કે ધાતુકર્મવિધિમાંની ઘણી સંકલ્પનાઓના મૂળ ઔદ્યોગિક ક્રાંતિ પહેલાની પ્રાચીન પદ્ધતિઓમાં રહેલા છે. ભારત 7000 વર્ષો અગાઉથી ધાતુકર્મવિધિના કૌશલ્યોની પ્રણાલીમાં સમૃદ્ધ હતું.

ભારતીય ધાતુકર્મવિધિના ઇતિહાસ માટે બે અગત્યના સ્રોતો- પુરાતત્ત્વીય ઉત્ખનન (ખોદકામ) અને સાહિત્યિક પુરાવાઓ છે. ધાતુનો પ્રથમ પુરાવો ભારતીય ઉપખંડમાંના બલુચિસ્તાનમાં મેહગઢમાંથી આશરે 6000 BCE સમયનો મળી આવેલો તાંબાનો મણકો છે.તેના વિશે એમ વિચારવામાં આવ્યુ છે કે તે મૂળ કોપર ધાતુનો છે નહીં કે તેની કાચી ધાતુમાંથી નિષ્કર્ષિત થયેલ છે. રાજસ્થાનના ખેતરીની પૌરાણિક ખાણોમાંથી અને હરિયાણાના મીટાથાળમાંથી મળેલા હડપ્પા સંસ્કૃતિના કલાનમૂનાઓ અને રાજસ્થાન, ગુજરાત, મધ્યપ્રદેશ અને મહારાષ્ટ્રમાં પથરાયેલા આઠ સ્થાનોમાંથી મળેલા કોપરના નમૂનાના વર્ણપટમિતિય અભ્યાસ ભારતમાં કોપર ધાતુકર્મવિધિ ઉપખંડમાંના ચાલ્કોલિથિક સંસ્કૃતિનો સમય સાબિત કરે છે. ભારતીય ચાલ્કોલિથિક તાંબાની વસ્તુઓ મહદ્અંશે

ભારતીય રીતે બનાવેલી હોય તેવી સંભાવના જણાય છે. વસ્તુઓ બનાવવા માટેની ધાતુના નિષ્કર્ષણ માટેની કાચીધાતુ અરવલ્લી પર્વતમાળામાં નિક્ષેપિત કાચીધાતુ ચાલ્કોપાઈરાઈટમાંથી મેળવવામાં આવી હતી. તામ્રપત્રો અને શિલાલેખોમાંથી લખાણના એકત્રીકરણ કરીને આર્કીયોલોજીકલ સર્વે ઑફ ઇન્ડિયા દ્વારા પૂર્વ શતક દરમ્યાન સંકલન અને પ્રકાશન કરવામાં આવ્યુ છે. રાજવી (royal) દસ્તાવેજોને તાંબાના પતરામાં કોતરવામાં આવતા હતા (તામ્રપત્ર). સૌપ્રથમ જાણીતુ તામ્રપત્ર મૌર્ય સમયનો દસ્તાવેજ છે જે દુષ્કાળ રાહત પ્રયાસો દર્શાવે છે. તે ભારતમાં પૂર્વકાલીન અશોક બ્રાહ્મી શિલાલેખો પૈકીનો એક છે.

હડપ્પાના લોકોએ ગોલ્ડ અને સિલ્વર ઉપરાંત તેમની મિશ્રધાતુ ઇલેક્ટ્રમ (electrom)નો પણ ઉપયોગ કરતા હતા. અનેક પ્રકારના ઘરેણાં (આભૂષણો) જેવાં કે હાર (pendant), બંગડીઓ, કીડીયું (beads) અને વીંટીઓ સીરેમીક અથવા કાંસાના પાત્રો (pots)માં જોવા મળેલા છે. અગાઉ ગોલ્ડ અને સિલ્વરના ઘરેણાં સિંધુ ખીણના સ્થળો જેવાં કે મોહેંજોદડો (3000 BCE)માં પણ મળેલાં છે. આ બધા નેશનલ મ્યુઝિયમમાં નવી દિલ્હીમાં મૂકવામાં આવ્યાં છે. ભારતની એક વિશિષ્ટતા (distinction) એ છે કે તેમાં કર્ણાટકની માસ્કી (Maski) વિસ્તારમાં આવેલી દુનિયાની સૌથી ઊંડી પ્રાચીન સોનાની ખાણ છે, જે કાર્બન ડેટિંગનાં અભ્યાસ અનુસાર પ્રથમ સહસ્રાબ્દિ અવધિ (milleniun) BCEની મધ્યમાં સમય દર્શાવે છે.

ઋગ્વેદના સ્તોત્રો ભારતમાં કાંપવાળી (alluvial) ગોલ્ડ નિક્ષેપની જગ્યાઓ દર્શાવે છે. પ્રાચીન સમયમાં સિંધુ નદી ગોલ્ડનો એક અગત્યનો સ્રોત હતો. એ રસપ્રદ છે કે કાંપવાળુ ગોલ્ડ આધુનિક સમયમાં પણ નોંધવામાં આવેલ છે. એવું હાલમાં નોંધવામાં આવ્યું છે કે માનસરોવરના વિસ્તારમાં અને થોક્યાલુંગ (Thokayug)માં ગોલ્ડની મોટી ખાણો છે. *પાલી લખાણ અંગુતારા નિકાયમાં* કાંપવાળી સુવર્ણ (ગોલ્ડ) રજ (dust)માંથી અથવા કણમાંથી ગોલ્ડની પુનઃપ્રાપ્તિ (recovery)નો ઉલ્લેખ કરે છે. વેદિક લખાણોમાં પણ ગોલ્ડના શુદ્ધીકરણના પુરાવા પ્રાપ્ય છે. ત્રીજી અથવા ચોથી સદી BCEમાં મૌર્યયુગમાં લખાયેલ કૌટિલ્યના *અર્થશાસ્ત્રમાં* પણ ખાણો અને ખનીજો અંગેના લાંબા વિભાગમાં રાસાયણિક પદ્ધતિઓ વિશેની માહિતી દર્શાવે છે જેમાં ગોલ્ડ, સિલ્વર, કોપર, લેડ, ટિન અને આયર્નની કાચીધાતુઓનો સમાવેશ કરવાં આવેલ છે. કૌટિલ્ય અનેક પ્રકારના ગોલ્ડનું વર્ણન કરે છે, જેને *રસવિદ્યા* કહે છે, જે કુદરતી રીતે મળતું ગોલ્ડ દ્રાવણ છે. *કાલિદાસે* પણ આવા દ્રાવણો વિશે જણાવેલ છે. એ નવાઈની વાત છે કે લોકોએ આવા દ્રાવણોને કેવી રીતે ઓળખી કાઢ્યા.

પ્રાકૃતિક સોનું તેમાં રહેલી અશુદ્ધિઓના પ્રમાણ અને પ્રકૃતિ (સ્વભાવ) પ્રમાણે જુદા જુદા રંગ ધરાવે છે. એ સ્વભાવિક છે કે પ્રાકૃતિક સોનાના રંગ ગોલ્ડના શુદ્ધીકરણના વિકાસ માટેનું મુખ્ય (major) ચાલક બળ (driving force) હોઈ શકે.

ગંગાની ખીણ અને વિદર્ભની ટેકરીઓમાંના મધ્ય ભાગમાં તાજેતરના ખોદકામ પરથી એમ દર્શાવવામાં આવે છે કે 1800 BCE જેટલા અગાઉના સમયમાં ત્યાં લોખંડ નીપજયું હશે. ઉત્તરપ્રદેશ પુરાતત્ત્વ વિભાગ દ્વારા કરવામાં આવેલા તાજેતરના ખોદકામમાં લોખંડની ભઠ્ઠીઓ, કલાકૃતિઓ, ટ્વીયર (tuyers) અને સ્લેગના સ્તર મળી આવ્યા છે. રેડિયોકાર્બન ડેટિંગ તે વસ્તુઓનો સમયગાળો 1800 અને 1000 BCE વચ્ચેનો છે, તેવો નિર્દેશ કરે છે. ખોદકામના પરિણામો સૂચવે છે કે લોખંડ પ્રગલન (smelting) અને લોખંડની કલાકૃતિઓના ઉત્પાદન વિશે પૂર્વીય વિંધ્યમાં સારી એવી જાણકારી હશે અને તે અગાઉના દ્વિતીય સહસ્રાબ્દીમાં પણ મધ્ય ગંગાના મેદાનોમાં ઉપયોગમાં હશે. લોખંડની કલાકૃતિઓના જથ્થા (પ્રમાણ) અને

તેમના પ્રકાર તથા ટેકનિકલ પ્રગતિ (advancement) સૂચવે છે કે લોખંડનું કાર્ય અગાઉના સમયથી દાખલ થયેલ હોવું જોઈએ. પૂરાવા છે કે દેશના અન્ય ભાગોમાં અગાઉથી લોખંડના કાર્યના વિકાસ માટે એક સ્વતંત્ર કેન્દ્ર હતું.

લોખંડનું પ્રગલન અને લોખંડનો ઉપયોગ દક્ષિણભારતના મહાપાષાણી (megalitbic) સંસ્કૃતિમાં પણ વિશેષ કરીને પ્રસ્થાપિત થયેલ છે. ઘડતર લોખંડના ઘડતર (forging)માં ભારત પ્રથમ સહસ્રાબ્દિ CEમાં ટોચ ઉપર હોવું જોઈએ. ગ્રીક અહેવાલ ભારતમાં ક્રુસિબલ પદ્ધતિથી સ્ટીલનું ઉત્પાદન દર્શાવે છે. આ પદ્ધતિમાં લોખંડ, ચારકોલ અને કાચને એકસાથે ક્રુસિબલમાં મિશ્ર કરવામાં આવતાં અને લોખંડ પીગળે અને કાર્બનને અવશોષિત કરી લે ત્યાં સુધી ગરમ કરવામાં આવતા હતા. આધુનિક ગુણવત્તાવાળા સ્ટીલના ઉત્પાદન માટે ભારત એક મુખ્ય (major) નાવિન્ય લાવનાર તરીકે હતું. ભારતીય સ્ટીલને 'wonder material of the orient' કહેવામાં આવતું. રોમન ઈતિહાસકાર ક્યુન્ટ્સ કાર્ટિયસે (quintus Cartius) નોંધ્યું છે કે તક્ષશિલા (326BC)ના પોરસે મહાન સિકંદરને આપેલી ભેટોમાંની એક અઢી ટન વુટ્ઝ (wootz) સ્ટીલ હતી. વુટ્ઝ સ્ટીલ પ્રાથમિક રીતે વધુ પ્રમાણમાં કાર્બન (1.0 - 1.9%) ધરાવતું સ્ટીલ છે. વુટ્ઝ 'ઉક્કૂ (ukku)' શબ્દનો અંગ્રેજી અનુવાદ છે. જે કર્ણાટક અને આંધ્રપ્રદેશમાં સ્ટીલ માટે વપરાય છે. સાહિત્યિક અહેવાલો સૂચવે છે કે ભારતીય ઉપખંડના દક્ષિણ ભાગમાંથી ભારતીય વુટ્ઝ સ્ટીલની યુરોપ અને આરબ પ્રદેશોમાં નિકાસ કરવામાં આવતી હતી. તે મધ્યપૂર્વમાં અગ્રેસર (prominent) બન્યું તેને દમાસશ સ્ટીલ નામ આપવામાં આવ્યું હતું. માઈકલ ફેરાડેએ લોખંડને અનેક પ્રકારની ધાતુઓ જેમાં ઉમદા ધાતુઓનો પણ સમાવેશ કરાયેલ છે સાથે મિશ્ર કરી તેના જેવી જ (duplicate) મિશ્રધાતુઓ બનાવવા પ્રયત્ન કરેલા પરંતુ નિષ્ફળ રહ્યા હતા.

જ્યારે લોખંડની અયસ્કને ઘન સ્વરૂપમાં ચારકોલનો ઉપોયગ કરી રિડક્શન કરવામાં આવે છે ત્યારે છિદ્રાળુ લોખંડનાં ચોસલા (બ્લોક) બને છે આથી રિડક્શન પામેલા લોખંડના ચોસલાંને છિદ્રાળુ લોખંડના ચોસલા કહેવામાં આવે છે. આ પદાર્થમાંથી ગરમ ઘડતર દ્વારા છિદ્રાળુતા દૂર કરીને કોઈપણ ઉપયોગી વસ્તુ મેળવી શકાય છે. આ રીતે મેળવેલ લોખંડને ઘડતર લોખંડ કહે છે. ઘડતર લોખંડનું આશ્ચર્યજનક ઉદાહરણ પ્રાચીન ભારતમાં બનાવેલ જાણીતો લોહસ્તંભ છે તેને દિલ્હીમાં હાલની સ્થિતિમાં છે તેવો 5મી સદી CEમાં સ્થાપિત કરવામાં આવેલો. તેના પર કોતરેલું સંસ્કૃતભાષામાંનું લખાણ સૂચવે છે કે ગુપ્તયુગ દરમ્યાન તેને અન્ય કોઈ જગ્યાએથી અહિંયા લાવવામાં આવ્યો હતો. તેનું સરેરાશ સંઘટન (વજન %માં) દર્શાવે છે કે સ્તંભના ઘડતર લોખંડમાં લોખંડ ઉપરાંત 0.15% C, 0.05% Si, 0.05% Mn, 0.25 % P, 0.005% Ni, 0.03% Cu અને 0.02% N હાજર છે. આ સ્તંભની સૌથી અગત્યની બાબત એ છે કે 1600વર્ષથી વાતાવરણમાં ખુલ્લો રહેલો હોવા છતાં ક્ષારણનું કોઈ ચિહ્ન દેખાતું નથી.

સ્લેગમાંથી ચારકોલના રેડિયોકાર્બન ડેટિગ પરથી પૂરવાર થયું છે કે મેઘાલયની ખાસી (khasi) ટેકરીઓમાં સતત પ્રગલન થાય છે. આ સ્લેગનું સ્તર 353 BCE થી CE128ના સમયનું છે. આ અભ્યાસ સૂચવે છે કે ઉત્તરપૂર્વ ભારતના સમગ્ર વિસ્તારમાં લોખંડ પ્રગલનના પ્રાચીન સ્થળો છે. અગાઉના લોખંડ અયસ્કના ખોદકામના અવશેષો અને લોખંડનું ઉત્પાદન અત્યારે હાલમાં પણ ખાસી ટેકરીઓની દૃશ્યભૂમિ (landscape)માં જોવા મળે છે. બ્રિટિશ પ્રકૃતિવિદો (Naturalist) જેમણે પૂર્વ 19મી સદીમાં મેઘાલયની મુલાકાત લીધી હતી. તેમણે ખાસી ટેકરીઓના ઉપરના ભાગમાં લોખંડ ઉદ્યોગના વિકાસનું વર્ણન કરેલ છે.

રાજસ્થાનની જાવર (Zawar) ખાણોમાં છઠ્ઠી અથવા પાંચમી BCE દરમ્યાનના ઝિંકના ઉત્પાદનના પુરાતત્ત્વીય પુરાવા મળી આવેલ છે. ભારત સૌપ્રથમ દેશ હતો જેણે ઝિંકના નિસ્યંદન અંગેની પારંગતતા મેળવી હતી. નીચા ઉત્કલન બિંદુને કારણે ઝિંકની અયસ્કનું પ્રગલન કરવામાં આવે છે ત્યારે ઝિંક બાષ્પમાં ફેરવાય છે. શુદ્ધ ઝિંક વ્યવહારદક્ષ (sophistiated) અધોમુખ (downward) નિસ્યંદન પ્રવિધિથી ઉત્પન્ન કરી શકાય છે જેમાં બાષ્પને નીચેના સંગ્રહપાત્ર (container)માં સંઘનિત કરવામાં

આવે છે. આ પદ્ધતિ પારાને પણ લાગુ પાડવામાં આવી હતી. ભારતીય ધાતુકર્મવીરો આ પ્રવિધિમાં નિષ્ણાંત હતા. આનું 14મી સદીના સંસ્કૃત લખાણમાં વર્ણન કરવામાં આવ્યું છે.

ભારતીયોને પારા વિશેનું જ્ઞાન હતું.તેઓએ તેનો વૈદકીય હેતુ માટે ઉપયોગ કર્યો હતો. ખોદકામ અને ધાતુકર્મવિધિના વિકાસમાં બ્રિટિશ સાંસ્થાનિક યુગ દરમ્યાન અધોગતિ (decline) આવી હતી. 19મી સદીમાં ફરી રાજસ્થાનની ખાણો જે લગભગ લુપ્ત થવા આવેલી હતી અને લગભગ છોડી દેવામાં આવેલી તેના ખોદકામમાં વેગ આવ્યો. 1947માં જ્યારે ભારતે આઝાદી મેળવી ત્યારે વિજ્ઞાન વિશેના યુરોપીય સાહિત્યે પોતાની મેળે દેશમાં ધીમે ધીમે માર્ગ શોધી કાઢ્યો હતો. આમ, પશ્ચાત સ્વાતંત્ર્ય (post independnce) યુગમાં ભારત સરકારે રાષ્ટ્ર ઘડતરની પ્રક્રિયાની શરૂઆત જુદી જુદી વિજ્ઞાન અને ટેકનોલોજી સંસ્થાઓની સ્થાપના દ્વારા કરી. નીચેના વિભાગોમાં આપણે તત્ત્વોના નિષ્કર્ષણની આધુનિક પદ્ધતિઓ વિશે શીખીશું.

6.1 ધાતુઓના પ્રાપ્તિસ્થાન (Occurrence of Metals)

કેટલાંક તત્ત્વો જેવાં કે કાર્બન, સલ્ફર, ગોલ્ડ અને ઉમદા વાયુ પૃથ્વીના પોપડામાં મુક્ત અવસ્થામાં જ્યારે બીજા સંયોજિત સ્વરૂપે મળી આવે છે. આ તત્ત્વો પ્રચુરતામાં વિચરણ (vary) ધરાવે છે. ધાતુઓમાં, ઍલ્યુમિનિયમ ખૂબ જ વિપુલ પ્રમાણમાં છે. તે પૃથ્વીના પોપડામાં સૌથી વધુ પ્રમાણ (8.3 % લગભગ વજનથી) ધરાવતું ત્રીજા ક્રમે છે. તે અબરખ (mica) અને માટી (clay) સહિત ઘણા બધા અગ્નિકૃત ખડકોનો મુખ્ય ઘટક છે. કેટલાક જેમસ્ટોન (gemstone) Al_2O_3ના અશુદ્ધ સ્વરૂપ છે ઉદાહરણ તરીકે 'માણેક(ruby)' અને 'નીલમ (sapphire)' જેવા જેમસ્ટોનમાં અનુક્રમે Cr અને Co અશુદ્ધિઓ તરીકે હોય છે. આયર્ન (લોખંડ-લોહ) પૃથ્વીના પોપડામાં સૌથી વધુ પ્રમાણમાં મળી આવતી ધાતુ તરીકે બીજા સ્થાને છે. તે અનેક સંયોજનો બનાવે છે અને તેમના વિવિધ ઉપયોગ તેને ખૂબ જ અગત્યના તત્ત્વનું સ્થાન આપે છે. ઉપરાંત તે જૈવિક પ્રણાલીઓમાં આવશ્યક તત્ત્વોમાંનું એક છે.

કોઈ ધાતુ મેળવવા માટે, આપણે સૌપ્રથમ એવા **ખનીજને** શોધીએ છીએ જે પૃથ્વીના પોપડામાં મળી આવતા હોય અને તેનું ખનન (mining) કરી શકાય છે. ધાતુના મળી આવતા ઘણા ખનીજોમાંથી માત્ર કેટલાકનો જ તે ધાતુના સ્રોત તરીકે ઉપયોગ કરી શકાય છે. આવા ખનીજ **અયસ્ક (કાચી ધાતુ) (ore)** તરીકે ઓળખાય છે.

ઍલ્યુમિનિયમ, આયર્ન, કૉપર અને ઝિંકના મુખ્ય અયસ્ક કોષ્ટક 6.1માં આપેલ છે.

કોષ્ટક 6.1 : કેટલીક અગત્યની ધાતુઓની મુખ્ય અયસ્ક

ધાતુ	અયસ્ક	સંઘટન (composition)
ઍલ્યુમિનિયમ	બૉક્સાઇટ	$AlO_x(OH)_{3-2x}$ (જ્યાં $0 < x < 1$)
	કેઓલીનાઇટ (માટીના સ્વરૂપે)	$[Al_2(OH)_4Si_2O_5]$
આયર્ન	હેમેટાઇટ	Fe_2O_3
	મૅગ્નેટાઇટ	Fe_3O_4
	સિડેરાઇટ	$FeCO_3$
	આયર્ન પાયરાઇટ્સ	FeS_2
કૉપર	કૉપર પાયરાઇટ્સ	$CuFeS_2$
	મેલેકાઇટ	$CuCO_3$, $Cu(OH)_2$
	ક્યુપ્રાઇટ	Cu_2O
	કૉપરગ્લાન્સ	Cu_2S
ઝિંક	ઝિંક બ્લેન્ડ અથવા સ્ફાલેરાઇટ	ZnS
	કેલેમાઇન	$ZnCO_3$
	ઝિંકાઇટ	ZnO

કોઈ ચોક્કસ તત્ત્વ વિવિધ સંયોજનોસ્વરૂપે હોય છે. તત્ત્વની તેના સંયોજનમાંથી અલગકરણ પ્રક્રમ એવીહોવી જોઈએ કે તે રાસાયણરીતે સુગમ અને વ્યાપારિક દૃષ્ટિએ ટકી રહે.

નિષ્કર્ષણના હેતુ માટે ઍલ્યુમિનિયમ માટે બૉક્સાઈટ પસંદ કરવામાં આવે છે. આયર્ન માટે સામાન્ય રીતે ઑક્સાઇડ અયસ્ક જે વિપુલ પ્રમાણમાં હોય છે તે અને SO_2 જેવા પ્રદૂષક વાયુઓ ઉત્પન્ન ન કરતા હોય (જેમ કે આયર્ન પાયરાઈટસ વડે પેદા થાય છે.) તેનો ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. કૉપર અને ઝિંક માટે યાદીમાં દર્શાવેલ કોઈ પણ અયસ્ક (કોષ્ટક 6.1) જેનો આધાર તેની પ્રાપ્તિ અને અન્ય સંબંધિત પરિબળો છે તે લેવામાં આવે છે.

ધાતુનું તેના અયસ્કમાંથી અલગીકરણ કરવા માટેની સંપૂર્ણ વૈજ્ઞાનિક અને ટેકનોલોજીય પ્રક્રમને **ધાતુકર્મવિધિ** તરીકે ઓળખવામાં આવે છે. તત્ત્વનું તેના સંયોજિત સ્વરૂપમાંથી નિષ્કર્ષણ અને અલગીકરણમાં રસાયણિવિજ્ઞાનના વિવિધ સિધ્ધાંતો સમાવેલા હોય છે. જો કે ધાતુઓના બધા નિષ્કર્ષણ પ્રક્રમોમાં કેટલાક સામાન્ય સિદ્ધાંતો સમાન હોય છે.

ભાગ્યે જ કોઈ અયસ્ક ઇચ્છિત પદાર્થ ધરાવતો હોય છે. તે સામાન્ય રીતે ભૂમીય (earthly) અથવા અનિચ્છિત પદાર્થો જે **ગેંગ** (gangue) તરીકે ઓળખાય છે તેના વડે સંદૂષિત (contiminated) થયેલો હોય છે. ધાતુઓનું અયસ્કમાંથી નિષ્કર્ષણ અને અલગનમાં નીચેના મુખ્ય તબક્કાઓનો સમાવેશ થાય છે.

- અયસ્કનું સંકેન્દ્રણ
- ધાતુનું તેની સંકેન્દ્રિત અયસ્કમાંથી અલગન અને
- ધાતુનું શુદ્ધીકરણ

આ એકમમાં આપણે પ્રથમ અયસ્કના અસરકારક સંકેન્દ્રણ માટેના જુદા જુદા તબક્કાની ચર્ચા કરીશું. ત્યારબાદ આપણે કેટલાક સામાન્ય ધાતુકર્મવિધિના પ્રક્રમોના સિદ્ધાંતોની ચર્ચા કરીશું. તે સિદ્ધાંતોમાં આપણે ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર અને સંકેન્દ્રિત અયસ્કનું ધાતુમાં અસરકારક રિડક્શન માટે સમાવિષ્ટ વિદ્યુતરાસાયણિક બાબતોની પણ ચર્ચા કરીશું.

6.2 અયસ્કનું સંકેન્દ્રણ (Concentration of Ores)

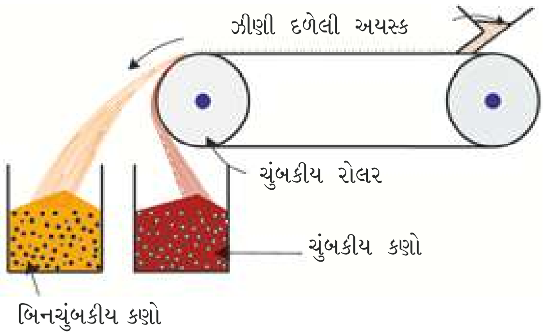
અનિચ્છનીય પદાર્થો(જેમ કે, રેતી, માટી વગેરે)ને અયસ્કમાંથી દૂર કરવાનું સંકેન્દ્રણ, સજાવટ (dressing), સમપરિષ્કરણ (benefaction) તરીકે ઓળખાય છે. સંકેન્દ્રણ માટે આગળ વધતાં પહેલાં અયસ્કનું ક્રમણ અથવા વર્ગીકરણ કરવામાં આવે છે અને યોગ્ય માપમાં કચરવામાં આવે છે. તે કેટલાક તબક્કાઓનો સમાવેશ કરે છે અને આ તબક્કાઓની પસંદગી હાજર ધાતુના સંયોજનના અને ગેંગના ભૌતિક ગુણધર્મો પર આધાર રાખે છે. ધાતુનો પ્રકાર, પ્રાપ્ય સગવડતાઓ અને પર્યાવરણીય પરિબળોને પણ ધ્યાનમાં લેવામાં આવે છે. કેટલીક અગત્યની પદ્ધતિઓનું નીચે વર્ણન કરેલ છે.

6.2.1 જલીય પ્રક્ષાલન (Hydraulic Washing)

આ પદ્ધતિ અયસ્કની અને ગેંગકણોની વિશિષ્ટ ઘનતાના તફાવત પર આધારિત છે એટલે જ તે ઘનતા (gravity) અલગીકરણ છે. આવા એક પ્રક્રમમાં ઉપર તરફ જતાં પાણીના વહેણ(પ્રવાહ)નો ઉપયોગ ચૂર્ણ કરેલ(પાઉડર કરેલ)ને ધોવા માટે વાપરવામાં આવે છે. હલકા ગેંગકણો ધોવાઈ જાય છે અને ભારે અયસ્ક પાછળ રહી જાય છે.

6.2.2 ચુંબકીય અલગીકરણ (Magnetic Separation)

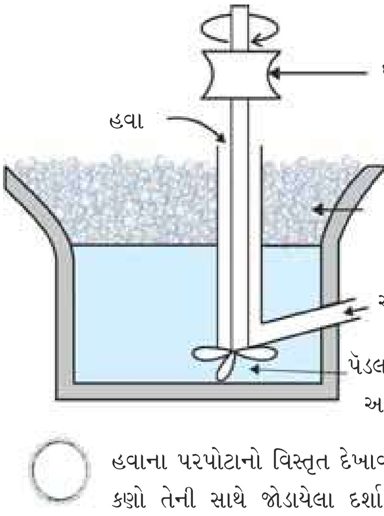
આ અયસ્ક સંયોજનોના ચુંબકીય ગુણધર્મમાં તફાવત પર આધારિત છે. અયસ્ક અથવા ગેંગ (આ બેમાંથી એક) જો ચુંબકીય ક્ષેત્ર વડે આકર્ષિત થવાને માટે સક્ષમ હોય, તો આવું અલગીકરણ કરવામાં આવે છે. દા.ત., આયર્નની અયસ્ક ચુંબક વડે આકર્ષાય છે તેથી બિનચુંબકીય અશુદ્ધિઓને ચુંબકીય અલગીકરણ દ્વારા અલગ કરી શકાય છે. દળેલી અયસ્કને ચુંબકીય રોલર પર ફરતા કન્વેયર બેલ્ટ (વહન કરતો પટ્ટો) પરપડવા દેવામાં આવે છે (આકૃતિ 6.1) જેથી ચુંબકીય પદાર્થો બેલ્ટ તરફ આકર્ષાયેલા રહીને તેની નજીકમાં પડે છે.



આકૃતિ 6.1 : ચુંબકીય અલગીકરણ (વ્યવસ્થા રેખાચિત્ર)

6.2.3 ફીણપ્લવન પદ્ધતિ (Froth Floatation Method)

આ પદ્ધતિ ગેંગને સલ્ફાઇડયુક્ત અયસ્કમાંથી દૂર કરવા માટે ઉપયોગમાં લેવાય છે. આ પદ્ધતિમાં, પાઉડર કરેલી અયસ્કનું પાણી સાથેનું નિલંબન (suspension) બનાવવામાં આવે છે. તેમાં સંગ્રાહક (collector) અને *ફીણ સ્થાયીકારક* ઉમેરવામાં આવે છે. સંગ્રાહકો (જેમ કે, પાઈન ઑઈલ, ફેટી ઍસિડ, ઝેન્થેટ વગેરે) ખનીજ કણોની બિનઆર્દ્રતા (non-wettability) વધારે છે અને ફીણ સ્થાયીકારકો (જેમ કે, ક્રેસોલ, એનિલિન) ફીણને સ્થાયી કરે છે.



આકૃતિ 6.2 : ફીણ પ્લવન પદ્ધતિ (વ્યવસ્થા રેખાચિત્ર)

ખનીજના કણો તેલ વડે ભીંજાય છે. જ્યારે ગેંગકણો પાણીથી ભીંજાય છે. ઘૂમતું પૅડલ મિશ્રણને ક્ષોભિત (agitate) કરે છે અને તેમાં હવાને ખેંચે છે. આને પરિણામે ફીણની રચના થાય છે જે ખનીજના કણોને લઈ જાય છે. ફીણ હલકું છે અને તેથી તારવી લેવાય છે (skimmed). ત્યારબાદ અયસ્કના કણો મેળવવા માટે તેને સૂકવવામાં આવે છે.

કેટલીક વખત તેલ અને પાણીનું પ્રમાણ નક્કી કરીને અથવા 'અવનમક' (depressant) ઉમેરીને બે સલ્ફાઇડ અયસ્કોને અલગ કરવાનું શક્ય છે. ઉદાહરણ તરીકે ZnS અને PbS ધરાવતી અયસ્ક માટે વપરાતો અવનમક NaCN છે. તે પસંદગી આધારે ZnSને ફીણ તરફ આવતો અટકાવે છે અને PbSને ફીણ તરફ જવા દે છે.

નવસર્જક ધોબણ

જો કોઈનો વૈજ્ઞાનિક સ્વભાવ હોય અને અવલોકન માટે સજાગ (attentive) હોય તો તે ચમત્કાર (wonders) કરી શકે છે. એક ધોબણને પણ નવસર્જન કરવાનું મન હોય છે. તેણી ખાણીયાના બધાં જ ઉપવસ્ત્રો ધોતી હતી ત્યારે તેણીએ નોંધ્યું કે ધોવાના ટબના તળિયામાં રેતી અને એકસરખી ધૂળ (મેલ) પડ્યા. જે ખાસ હતું તે એ હતું કે ખાણમાંથી કૉપર ધરાવતા સંયોજનોના કણો કપડાં પર આવતા હતા અને તે સાબુના ફીણ સાથે સંયોજાઈને ઉપરના ભાગમાં આવ્યા હતા. તેણીના ગ્રાહકોમાંના એક શ્રીમતી કેરી એવરસન (Carrie Eversen) રસાયણશાસ્ત્રી હતા. ધોબણે શ્રીમતી એવરસનને પોતાનો અનુભવ કહ્યો. શ્રીમતી એવરસને વિચાર્યું કે આ વિચારનો કૉપર સંયોજનોને તેમના ખડકીય અને ભૂમીય પદાર્થોથી મોટા પાયા પર દૂર કરવા માટે ઉપયોગ કરી શકાય. આ પ્રમાણે શોધખોળનો જન્મ થયો. એ સમયે કૉપરની એ જ અયસ્ક નિષ્કર્ષણમાં જેમાં ધાતુ સવિશેષ પ્રમાણ હોય તે વપરાતી હતી. ફીણ પ્લવન પદ્ધતિની શોધ નિમ્ન કક્ષાની અયસ્કમાંથી કૉપરનું ખનન કરવામાં ફાયદાકારક જણાઈ. વિશ્વમાં કૉપરનું ઉત્પાદન વધી ગયું અને ધાતુ વધારે સસ્તી બની.

6.2.4 નિક્ષાલન (Leaching)

નિક્ષાલન સામાન્ય રીતે અયસ્ક જો કોઈ યોગ્ય દ્રાવકમાં દ્રાવ્ય હોય તો ઉપયોગમાં લેવાય છે. નીચેના ઉદાહરણો આ પદ્ધતિ દર્શાવે છે.

(a) *બૉક્સાઈટમાંથી ઍલ્યુમિનાનું નિક્ષાલન :*

ઍલ્યુમિનિયમની મુખ્ય અયસ્ક બૉક્સાઈટ સામાન્ય રીતે SiO_2, આયર્ન ઑક્સાઈડ અને ટાઈટેનિયમ ઑક્સાઈડ (TiO_2) અશુદ્ધિ તરીકે ધરાવતી હોય છે. ચૂર્ણ કરેલી અયસ્કને 473 - 523 K તાપમાન અને 35 - 36 bar દબાણે NaOHના સાંદ્ર દ્રાવણ સાથે ગ્રંથિત (digested) કરવામાં આવે છે આ રીતે Al_2O_3નું સોડિયમ ઍલ્યુમિનેટ તરીકે નિષ્કર્ષણ કરવામાં આવે છે. અશુદ્ધિ

SiO_2 પણ સોડિયમ સિલિકેટ બનાવી દ્રાવ્ય થાય છે. અને અન્ય અશુદ્ધિઓ બાકી રહી જાય છે.

$$Al_2O_3(s) + 2NaOH(aq) + 3H_2O(l) \rightarrow 2Na[Al(OH)_4](aq) \quad (6.1)$$

દ્રાવણમાંનો ઍલ્યુમિનેટ CO_2 વાયુ પસાર કરવાથી જળયુક્ત Al_2O_3માં અવક્ષેપન પામે છે. આ તબક્કે તાજા બનાવેલા જળયુક્ત Al_2O_3 સાથે દ્રાવણમાં બીજારોપણ કરવામાં આવે છે જે અવક્ષેપનને પ્રેરિત કરે છે.

$$2Na[Al(OH)_4](aq) + 2CO_2(g) \rightarrow Al_2O_3{\cdot}xH_2O(s) + 2NaHCO_3(aq) \quad (6.2)$$

સોડિયમ સિલિકેટ દ્રાવણમાં રહી જાય છે અને જળયુક્ત ઍલ્યુમિનાને ગાળી લેવામાં આવે છે અને ગરમ કરીને શુદ્ધ Al_2O_3 પરત મેળવવામાં આવે છે.

$$Al_2O_3 \cdot xH_2O(s) \xrightarrow{1470K} Al_2O_3(s) + xH_2O(g) \quad (6.3)$$

(b) *અન્ય ઉદાહરણો :*

સિલ્વર અને ગોલ્ડ બંનેની ધાતુકર્મવિધિમાં જે-તે ધાતુનું NaCN અથવા KCNના મંદ દ્રાવણ સાથે હવા (O_2)ની હાજરીમાં નિક્ષાલન કરવામાં આવે છે ત્યારબાદ વિસ્થાપન દ્વારા તે ધાતુ મેળવી શકાય છે.

$$4M(s) + 8CN^-(aq) + 2H_2O(aq) + O_2(g) \rightarrow 4[M(CN)_2]^- (aq) + 4OH^-(aq) \text{ (M = Ag અથવા Au)} \quad (6.4)$$

$$2[M(CN)_2]^- (aq) + Zn(s) \rightarrow [Zn(CN)_4]^{2-}(aq) + 2M(s) \quad (6.5)$$

લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

6.1 કોષ્ટક 6.1માં જણાવેલ અયસ્કોમાંથી કઈ ચુંબકીય અલગીકરણ પદ્ધતિ વડે સંકેન્દ્રિત કરી શકાય છે ?

6.2 ઍલ્યુમિનિયમના નિષ્કર્ષણમાં પ્રક્ષાલનની શી અગત્ય (સાર્થકતા) છે ?

6.3 સંકેન્દ્રિત અયસ્કમાંથી અપરિષ્કૃત (અશુદ્ધ) ધાતુનું નિષ્કર્ષણ (Extraction of Crude Metal from Concentrated Ore)

સંકેન્દ્રિત અયસ્કને એવા સ્વરૂપમાં પરિવર્તિત કરવી જોઈએ જેથી તે રિડક્શન માટે યોગ્ય બને. સામાન્ય રીતે સલ્ફાઈડ અયસ્કને રિડક્શન પહેલાં ઑક્સાઇડમાં પરિવર્તિત કરવામાં આવે છે. ઑક્સાઇડનું રિડક્શન કરવું વધારે સરળ છે. આમ, સંકેન્દ્રિત અયસ્કમાંથી ધાતુનું અલગીકરણ બે મુખ્ય મુદ્દાઓનો સમાવેશ કરે છે. જેમ કે,

(a) ઑક્સાઇડમાં પરિવર્તન

(b) ઑક્સાઇડનું ધાતુમાં રિડક્શન

(a) ઑક્સાઇડમાં પરિવર્તન

(i) *નિસ્તાપન (calcination)* : નિસ્તાપનમાં ગરમ કરવાની પ્રક્રિયાનો સમાવેશ થાય છે. આ પ્રક્રિયા બાષ્પશીલ દ્રવ્યોને દૂર કરે છે અને ધાતુ ઓક્સાઇડને બાકી રહેવા દે છે.

$$Fe_2O_3 \cdot xH_2O(s) \xrightarrow{\Delta} Fe_2O_3(s) + xH_2O(g) \quad (6.6)$$

$$ZnCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} ZnO(s) + CO_2(g) \quad (6.7)$$

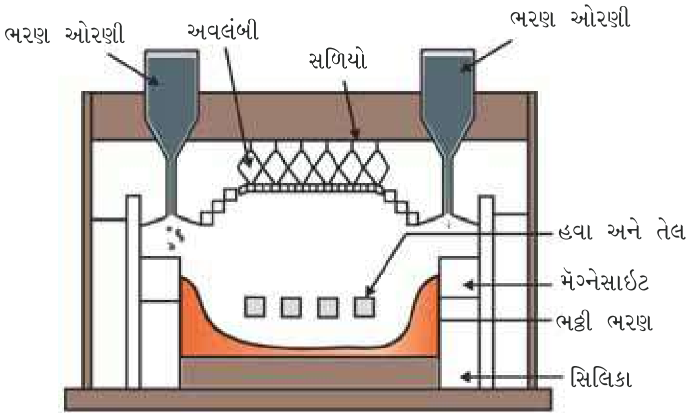
$$CaCO_3.MgCO_3(s) \xrightarrow{\Delta} CaO(s) + MgO(s) + 2CO_2(g) \quad (6.8)$$

(ii) *ભૂંજન (Roasting)* : ભૂંજનમાં અયસ્કને ધાતુના ગલનબિંદુથી નીચા તાપમાને હવાના નિયમિત પુરવઠા સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે. સલ્ફાઈડ અયસ્કનો સમાવેશ કરતી કેટલીક પ્રક્રિયા આ પ્રમાણે છે :

$$2ZnS + 3O_2 \rightarrow 2ZnO + 2SO_2 \quad (6.9)$$

$$2PbS + 3O_2 \rightarrow 2PbO + 2SO_2 \quad (6.10)$$

$$2Cu_2S + 3O_2 \rightarrow 2Cu_2O + 2SO_2 \quad (6.11)$$



આકૃતિ 6.3 : આધુનિક પરાવર્તની ભઠ્ઠીનો વિભાગ

કૉપરની સલ્ફાઇડ અયસ્કને પરાવર્તની ભઠ્ઠી(**reverberatory furnace**)માં ગરમ કરવામાં આવે છે. જો અયસ્ક આયર્ન ધરાવતી હોય તો તેને ગરમ કરતાં પહેલાં સિલિકા સાથે મિશ્ર કરવામાં આવે છે. આયર્ન ઑક્સાઇડ આયર્ન સિલિકેટના 'ધાતુમલ (slag)'* તરીકે અને કૉપર 'કૉપર મેટ્ટે (**matte**)' સ્વરૂપમાં નીપજે છે, જે Cu_2S અને FeS ધરાવે છે. તે નીપજે છે.

$$FeO + SiO_2 \rightarrow \underset{(\text{ધાતુમલ})}{FeSiO_3} \quad (6.12)$$

ઉત્પાદન પામતો SO_2 વાયુ H_2SO_4 ઉત્પાદનમાં વપરાય છે.

(b) *ઑક્સાઇડનું ધાતુમાં રિડક્શન*

ધાતુ ઑક્સાઇડના રિડક્શનમાં તેને રિડક્શનકર્તા તરીકે (C અથવા CO અથવા અન્ય કોઈ ધાતુ પણ) વર્તતા કોઈ અન્ય પદાર્થ સાથે ગરમ કરવામાં આવે છે. રિડક્શનકર્તા (જેમ કે, કાર્બન) ધાતુ ઑક્સાઇડના ઑક્સિજન સાથે સંયોજાય છે.

$$M_xO_y + yC \rightarrow xM + yCO \quad (6.13)$$

કેટલાક ધાતુ ઑક્સાઇડ સહેલાઈથી રિડક્શન પામે છે જ્યારે કેટલાકને રિડક્શન કરવા ઘણા જ મુશ્કેલ હોય છે. (રિડક્શનનો અર્થ છે કે ધાતુ આયન દ્વારા ઇલેક્ટ્રૉન મેળવવો) કોઈ પણ કિસ્સામાં ગરમીની જરૂર પડે છે.

6.4 ધાતુકર્મવિધિના ઉષ્માગતિય સિદ્ધાંતો (Thermodynamic Principles of Metallurgy)

ઉષ્માગતિશાસ્ત્રની કેટલીક પાયાની સંકલ્પનાઓ ધાતકર્મવિધિમાં રૂપાંતરણોના સિદ્ધાંતને સમજવામાં મદદ કરે છે. અહીંયા ગિબ્સ-ઊર્જા સૌથી વધુ સાર્થક પર્યાય છે. ઉષ્મીય રિડક્શન તાપધાતુકર્મવિધિ (pyrometallurgy)માં તાપમાનમાં વિચરણ (variation) માટે અને કયું તત્ત્વ આપેલ ધાતુ ઑક્સાઇડ (M_xO_y) માટે યોગ્ય રહેશે તે અંગેનું અર્થઘટન ગિબ્ઝ-ઊર્જાથી કરવામાં આવે છે. ઉષ્મીય રિડક્શન સરળતાથી થાય તે માટેનો માપદંડ આપેલા તાપમાને ગિબ્ઝ-ઊર્જા ફેરફારનું મૂલ્ય ઋણ થવું જોઈએ તે છે. ગિબ્સ-ઊર્જામાં ફેરફાર કોઈ દર્શાવેલા તાપમાને ΔGને નીચેના સમીકરણ વડે દર્શાવાય છે.

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (6.14)$$

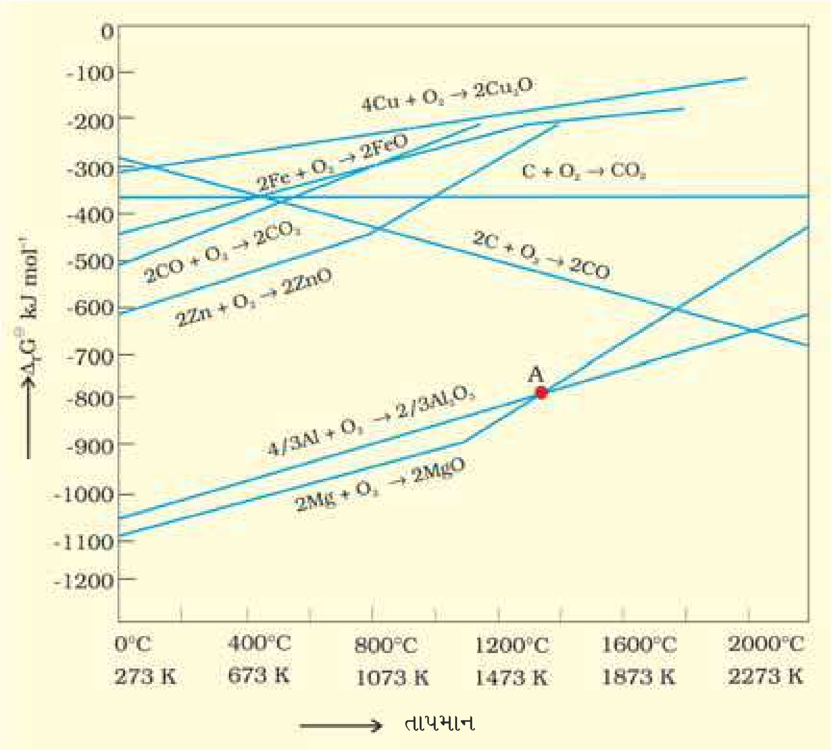
જ્યાં પ્રક્રિયા માટે ΔH એન્થાલ્પી ફેરફાર અને ΔS એન્ટ્રોપી ફેરફાર છે. સમીકરણ 6.14માં જ્યારે ΔGનું મૂલ્ય ઋણ હોય છે ત્યારે જ કોઈ પણ પ્રક્રિયા આગળ વધશે.

1. જો ΔS ધન હોય તો તાપમાન (T) વધારતાં $T\Delta S$નું મૂલ્ય વધશે તેથી $\Delta H < T\Delta S$ થાય, આ પરિસ્થિતિમાં તાપમાન વધતાં ΔG ઋણ બનશે.
2. જો બે પ્રક્રિયાઓ એટલે કે ઓક્સિડેશન અને રિડક્શનના યુગ્મનથી થતી એકંદર પ્રક્રિયા માટે ΔGનું મૂલ્ય ઋણ પરિણમે તો અંતિમ પ્રક્રિયા સરળતાથી થાય છે,

* *ધાતુકર્મવિધિ દરમિયાન 'અભિવાહ' (flux) ઉમેરવામાં આવે છે જે ગેંગ સાથે સંયોજાય છે અને સ્લેગની રચના કરે છે. સ્લેગ અયસ્કમાંથી ગેંગ કરતાં વધારે સરળતાથી અલગ થઈ શકે છે. આ રીતે, ગેંગને દૂર કરવું વધુ સરળ બને છે.*

આ રીતનું યુગ્મન ઓક્સાઇડના નિર્માણ માટે ગિબ્ઝ-ઊર્જા ($\Delta_r G^\theta$) વિરુદ્ધ Tના આલેખ દ્વારા સરળતાથી સમજી શકાય છે (આકૃતિ 6.4). આ આલેખ જ્યારે એક ગ્રામ મોલ ઑક્સિજન વપરાય ત્યારે થતાં મુક્ત ઊર્જા ફેરફાર માટેનો છે.

ગિબ્સ-ઊર્જાની આલેખીય રજૂઆત સૌપ્રથમ એચ. જે. ટી. એલિંગહામ (H.J.T. Ellingham) દ્વારા ઉપયોગમાં લેવામાં આવેલી. ઑક્સાઇડના રિડક્શનમાં રિડક્શનકર્તાની પસંદગીની ગણતરી માટે નિર્વિવાદ (sound) પાયો પૂરો પાડે છે. આ **એલિંગહામ આકૃતિ** તરીકે ઓળખાય છે. આવી આકૃતિઓ અયસ્કના તાપીય રિડક્શનની સુગમતા માટે મદદરૂપ થાય છે.



આકૃતિ 6.4 : કેટલાક ઑક્સાઇડની બનાવટ માટે વપરાતા પ્રતિ મોલ ઑક્સિજન (એલિંગહામ આકૃતિ) ગિબ્સ-ઊર્જા ΔG^θ વિરુદ્ધ T ના વક્ર

આપણે જાણીએ છીએ કે રિડક્શન દરમિયાન ધાતુનો ઑક્સાઇડ વિઘટન પામે છે અને રિડક્શનકર્તા ઑક્સિજન દૂર કરે છે. રિડક્શનકર્તાનો ફાળો રિડક્શનકર્તાનું ઑક્સિડેશન અને ધાતુ ઑક્સાઇડનું રિડક્શન એવી બે પ્રક્રિયાઓના $\Delta_r G^\theta$ નો સરવાળો પુરતો મોટો અને ઋણ કરવાનો છે.

$$M_xO(s) \rightarrow xM\ (\text{ઘન અ થવા પ્રવાહી})+\frac{1}{2}O_2(g)\left[\Delta rG^\theta_{(M_xO,M)}\right] \quad (6.15)$$

જો રિડક્શન કાર્બન દ્વારા કરવામાં આવ્યું હોય તો રિડક્શનકર્તા (એટલે કે, C)નું ઑક્સિડેશન નીચે પ્રમાણે થાય :

$$C(s)+\frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO(g) \quad [\Delta_r G^\theta_{(C,CO)}] \quad (6.16)$$

જો કાર્બન સંપૂર્ણ ઑક્સિશેન CO_2માં થયું હોત તો,

$$\frac{1}{2}C(s)+\frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow \frac{1}{2}CO_2(g) \quad [\frac{1}{2}\Delta_r G^\theta_{(C,CO_2)}] \quad (6.17)$$

પ્રક્રિયા 6.15 અને 6.16 નું યુગ્મન કરતા આપણને

$$M_xO(s) + C(s) \rightarrow xM\ (s \text{ અથવા } l) + CO(g) \text{ મળે છે.} \quad (6.18)$$

પ્રક્રિયા 6.15 અને 6.17 નું યુગ્મન કરતા આપણને

$$M_xO(s) + \frac{1}{2}C(s) \rightarrow xM\ (s \text{ અથવા } l) + \frac{1}{2}CO_2(g) \text{ મળે છે.} \quad (6.19)$$

આજ પ્રમાણે, જો કાર્બન મોનોક્સાઇડ રિડક્શનકર્તા હોય તો, પ્રક્રિયા 6.15 અને નીચે દર્શાવેલી પ્રક્રિયા 6.20નું યુગ્મન કરવું પડશે.

$$CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g) \quad [\Delta_r G^{\theta}_{(CO,CO_2)}] \quad (6.20)$$

એકંદર પ્રક્રિયા નીચે મુજબ થશે :

$$M_xO(s) + CO(s) \rightarrow xM\ (s \text{ અથવા } l) + CO_2(g) \quad (6.21)$$

એલિંગહામ (Ellingham) આકૃતિ :

(a) એલિંગહામ આકૃતિ સામાન્ય રીતે કેટલીક ધાતુઓના ઑક્સાઇડ અને રિડક્શનકર્તાના નિર્માણ માટે $\Delta_r G^{\theta}$ વિરુદ્ધ Tનો આલેખ હોય છે એટલે કે પ્રક્રિયા,

$2xM(s) + O_2(g) \rightarrow 2M_xO(s)$ માટે

આ પ્રક્રિયામાં વાયુમય જથ્થો ઓકસાઇડના નિર્માણમાં વપરાય છે, આથી ઓકસાઇડના નિર્માણમાં આણ્વીય યાદચ્છિકતા ઘટે છે જે ΔS નું મૂલ્ય ઋણ બનાવે છે પરિણામે સમીકરણ (6.14)માં $T\Delta S$ પદની નિશાની ધન થશે. પરિણામે તાપમાન (T) વધવા છતાં પણ $\Delta_r G^{\theta}$ નું મૂલ્ય વધારા તરફ ખસે છે. પરિણામે $M_xO(s)$ ના નિર્માણની મોટાભાગની ઉપરોક્ત પ્રક્રિયાઓ માટેના વક્રમાંના ઢાળ ધન હોય છે.

(b) દરેક આલેખ સીધી રેખા છે અને ઢાળ ઉપરની તરફ હોય છે સિવાય કે જ્યારે કેટલાક કલામાં ફેરફાર ($s \rightarrow l$ અથવા $l \rightarrow g$) થાય છે ત્યારે. એ તાપમાન કે જ્યારે આવો ફેરફાર થાય છે તેને ઢાળમાં વધારા સાથે ધન બાજુ પર દર્શાવલ છે. જેમ કે, Zn, ZnO આલેખ, ગલનબિંદુ વક્રમાં એકદમ (abrupt) ફેરફાર દર્શાવે છે.

(c) જ્યારે તાપમાન વધે ત્યારે વક્રમાં એક બિંદુ એવુ આવે છે જ્યારે વક્ર $\Delta_r G^{\theta} = 0$ રેખાને ઓળંગે છે. આ તાપમાનથી નીચેના તાપમાને ઓક્સાઇડ બનવા માટેનો $\Delta_r G^{\theta}$ ઋણ હોય છે, તેથી M_xO સ્થાયી હોય છે. આ બિંદુથી ઉપર ઓક્સાઇના નિર્માણની મૂક્ત ઊર્જા ધન હોય છે તેથી M_xO આપમેળે જ વિઘટન પામશે.

(d) સલ્ફાઇડ અને હેલાઇડ માટે આવા સરખા જ આલેખો તૈયાર કરવામાં આવેલ છે અને એ સ્પષ્ટ બને છે કે M_xSનું રિડક્શન શા માટે મુશ્કેલ છે.

એલિંગહામ આકૃતિની મર્યાદાઓ :

1. આલેખ માત્ર સૂચવે છે કે પ્રક્રિયા શક્ય છે કે નહિ ? એટલે કે રિડક્શનકર્તા વડે રિડક્શનનું વલણ દર્શાવે છે. આ એટલા માટે છે કારણ કે તે માત્ર ઉષ્માગતિકીય સંકલ્પનાઓ પર આધારિત છે. તે રિડક્શન પ્રક્રિયા માટેની ગતિકી વિશે કાંઈ કહેતું નથી. રિડકશન પ્રક્રિયા કેટલી ઝડપી હશે તેવા પ્રશ્નોનો ઉત્તર આપી શકતું નથી. તેમ છતાં તે સમજાવે છે કે પ્રક્રિયા જ્યારે દરેક સ્પિસીઝ ઘન અવસ્થામાં હોય ત્યારે કેમ ધીમી (sluggish) હોય છે અને જ્યારે પીગળે છે ત્યારે સરળ હોય છે. એ નોંધવું રસપ્રદ છે કે ΔH (એન્થાલ્પી ફેરફાર) અને ΔSના (એન્ટ્રોપી ફેરફાર) મૂલ્યો કોઈ પણ પ્રક્રિયા માટે તાપમાન બદલતા પણ લગભગ અચળ રહે છે. આથી સમીકરણ (6.14)માં પ્રભુત્વ ધરાવતો ચલ (variable) T બને છે. તેમ છતાં ΔS સંયોજનની ભૌતિક અવસ્થા પર વિશેષ આધાર રાખે છે. એન્ટ્રોપી પ્રણાલીમાં અવ્યવસ્થા (disorder) અથવા યાદચ્છિકતા (randomness) પર આધાર રાખે છે. જો સંયોજન પીગળશે તો ($s \rightarrow l$) અથવા બાષ્પાયન પામશે તો ($l \rightarrow g$) એન્ટ્રોપી વધે છે. કારણ કે કલા ઘનથી પ્રવાહીમાં અથવા પ્રવાહીમાંથી વાયુમાં ફેરવાતાં આણ્વીય યાદચ્છિકતા વધે છે.

2. $\Delta_r G^{\theta}$નું અર્થઘટન K પર ($\Delta G^{\theta} = -RT\ln K$) આધારિત છે. આમ તે ધારી લે છે કે પ્રક્રિયકો અને નીપજો સંતુલનમાં છે.

$M_xO + A_{red} \rightleftharpoons xM + AO_{ox}$

તે હંમેશાં સાચું હોતું નથી કારણ કે પ્રક્રિયક / નીપજ ઘન પદાર્થ હોઈ શકે. ઔદ્યોગિક પ્રક્રમોમાં પ્રક્રિયકો અને નીપજો બહુ જ ઓછા સમય માટે સંપર્કમાં હોય છે.

આ 6.18 અને 6.21 પ્રક્રિયાઓ ધાતુ ઑક્સાઇડ M_xOનું ખરેખર (actual) રિડક્શન વર્ણવે છે જેની આપણને પૂર્ણતા માટે જરૂર છે. સામાન્ય રીતે આ પ્રક્રિયાઓના $\Delta_r G^\theta$ના મૂલ્યો અનુવર્તી ઑક્સાઇડ $\Delta_f G^0$ મૂલ્યોમાંથી મળશે.

આપણે જોયું તે પ્રમાણે, ગરમી આપવી (એટલે કે Tમાં વધારો કરવો) $\Delta_r G^\theta$ ના ઋણ મૂલ્યની તરફેણ કરે છે. આથી તાપમાન એવું પસંદ કરવામાં આવે છે જેથી કરીને બંને સંયુક્ત રેડોક્ષ પ્રક્રિયામાં $\Delta_r G^\theta$ નું મૂલ્ય ઋણ મળે. $\Delta_r G^\theta$ વિરુદ્ધ Tના આલેખ (એલિંગહામ આકૃતિ 6.4)માં બંને વક્ર(M_xO બનવા માટેનો વક્ર અને રિડક્શનકર્તા પદાર્થના ઑક્સિડેશન માટેનો વક્ર)નું પ્રતિચ્છેદન (intersection) તે દર્શાવે છે. આ બિંદુ પછી $\Delta_r G^\theta$ મૂલ્ય સંયુક્ત પ્રક્રિયા માટે વધુ ઋણ જેથી M_xOનું સરળતાથી રિડક્શન શક્ય બને છે. આ બિંદુ પછીની $\Delta_r G^\theta$ના બે મૂલ્યોનો તફાવત નક્કી કરે છે કે ઉપરની રેખાના ઑક્સાઇડનું રિડક્શન એવા તત્ત્વ વડે સરળતાથી થાય છે કે જેના ઓક્સાઇડ નિર્માણ નીચેની રેખા વડે દર્શાવેલ છે. જો આ તફાવત વધુ હોય તો આ રિડક્શન વધારે સરળ છે.

કોયડો 6.1 મૅગ્નેશિયમ ઍલ્યુમિનાનું રિડક્શન કરે તેની શરતો સૂચવો. બંને સમીકરણ નીચે પ્રમાણે છે :

ઉકેલ : (a) $\frac{4}{3}Al + O_2 \rightarrow \frac{2}{3}Al_2O_3$ (b) $2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$

Al_2O_3 અને MgO વક્ર(આકૃતિ 6.4માં ‘A’ તરીકે ચિહ્ન કરેલ છે)ના પ્રતિચ્છેદન બિંદુએ પ્રક્રિયા માટે ΔG^θ શૂન્ય થાય છે.

$$\frac{2}{3}Al_2O_3 + 2Mg \rightarrow 2MgO + \frac{4}{3}Al$$

આથી નીચા બિંદુએ મૅગ્નેશિયમ ઍલ્યુમિનાનું રિડક્શન કરી શકે.

કોયડો 6.2 ઉષ્માગતિકીય રીતે સુગમ હોવા છતાં ઍલ્યુમિનિયમની ધાતુકર્મવિધિની પદ્ધતિમાં ઍલ્યુમિનિયમના રિડક્શન માટે મૅગ્નેશિયમ વપરાતું નથી. શા માટે ?

ઉકેલ : Al_2O_3 અને MgO વક્રના પ્રતિચ્છેદનબિંદુની નીચેના તાપમાને મૅગ્નેશિયમ ઍલ્યુમિનાનું રિડક્શન કરી શકે પરંતુ પ્રક્રમ બિનવ્યવહારુ થશે.

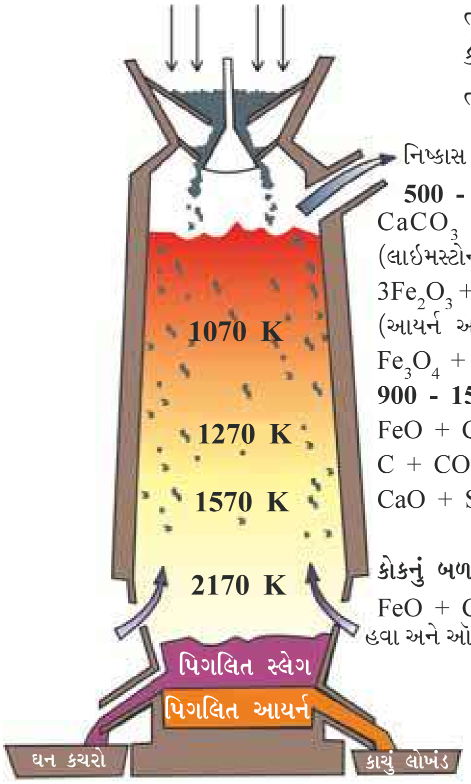
કોયડો 6.3 રિડક્શન તાપમાને જો બનતી ધાતુ પ્રવાહી સ્વરૂપમાં હોય તો ધાતુ ઑક્સાઇડનું રિડક્શન શા માટે વધારે સરળ હોય છે ?

ઉકેલ : ધાતુ જ્યારે ઘન અવસ્થામાં હોય તેના કરતાં જ્યારે તે પ્રવાહી અવસ્થામાં હોય તો એન્ટ્રોપી વધારે હોય છે. જ્યારે ધાતુ ઑક્સાઇડ ઘન અવસ્થામાં રિડક્શન પામે અને નીપજેલી ધાતુ પ્રવાહી અવસ્થામાં હોય ત્યારે રિડક્શન પ્રક્રિયાના એન્ટ્રોપી ફેરફાર (ΔS)નું મૂલ્ય વધારે ધન બાજુ હોય છે. આમ $\Delta_r G^\theta$ નું મૂલ્ય ઋણ બાજુ તરફ વધારે હોય છે અને રિડક્શન વધુ સરળ બને છે.

6.4.1 અનુપ્રયોગો (Applications)

(a) આયર્નનું તેના ઑક્સાઇડમાંથી નિષ્કર્ષણ :

સાંદ્રણ કર્યા બાદ આયર્નની ઓક્સાઇડ અયસ્કો (Fe_2O_3, Fe_3O_4)ના મિશ્રણમાંથી પાણી દૂર કરવા, કાર્બોનેટના વિઘટન કરવા અને સલ્ફાઇડનું ઑક્સિડેશન કરવા માટે નિસ્તાપન / ભૂંજન કરવામાં આવે છે. ત્યારબાદ આયર્નના ઑક્સાઇડને લાઇમસ્ટોન અને કોક સાથે મિશ્ર કરી વાતભઠ્ઠીમાં ઉપરથી નાંખવામાં આવે છે. અહીંયા ઑક્સાઇડ ધાતુમાં રિડક્શન પામે છે.



આકૃતિ 6.5 : વાતભઠ્ઠી

વાતભઠ્ઠીમાં (આકૃતિ 6.5) આયર્ન ઑક્સાઈડનું રિડક્શન જુદા જુદા તાપમાનના ગાળામાં થાય છે. વાતભઠ્ઠીના તળિયેથી ગરમ હવા ફૂંકવામાં આવે છે અને કોકને બાળવામાં આવે છે જેથી ભઠ્ઠીના નીચેના ભાગમાં આશરે 2200 K જેટલું તાપમાન થાય છે. કોકના બળવાથી પ્રક્રમ માટે જરૂરી ઉષ્મા મળી રહે છે. CO અને ઉષ્મા ભઠ્ઠીના ઉપરના ભાગમાં જાય છે. ઉપરના ભાગમાં તાપમાન નીચું હોય છે અને ઉપરથી આવતા આયર્ન ઑક્સાઈડ (Fe_2O_3 અને Fe_3O_4) તબક્કાવાર FeOમાં રિડક્શન પામે છે. આ પ્રક્રિયાઓનો સારાંશ નીચે પ્રમાણે આપી શકાય.

500 - 800 K તાપમાને (વાત ભઠ્ઠીમાં નીચા તાપમાનનો ગાળો) -

Fe_2O_3 નું પ્રથમ Fe_3O_4 માં રિડક્શન થાય છે અને ત્યારબાદ FeOમાં રિડક્શન થાય છે.

$$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2 \quad (6.22)$$

$$Fe_3O_4 + 4CO \rightarrow 3Fe + 4CO_2 \quad (6.23)$$

$$Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2FeO + CO_2 \quad (6.24)$$

લાઈમસ્ટોન પણ CaO માં વિઘટિત થાય છે જે અયસ્કની સિલિકેટ અશુદ્ધિને સ્લેગ તરીકે દૂર કરે છે. સ્લેગ પિગલિત સ્વરૂપમાં હોય છે અને આયર્નથી અલગ પડી જાય છે.

900 - 1500 K તાપમાને (વાતભઠ્ઠીમાં ઊંચા તાપમાનનો ગાળો)

$$C + CO_2 \rightarrow 2CO \quad (6.25)$$

$$FeO + CO \rightarrow 3Fe + 4CO_2 \quad (6.26)$$

ઉષ્માગતિશાસ્ત્ર આપણને કોક ઑક્સાઈડનું કેવી રીતે રિડક્શન કરે છે અને શા માટે આ ભઠ્ઠીનો ઉપયોગ કરવામાં આવ્યો છે તે સમજવામાં મદદ કરે છે. આ પ્રક્રમમાં મુખ્ય રિડક્શન તબક્કામાંનો એક નીચે પ્રમાણે છે.

$$FeO(s) + C(s) \rightarrow Fe(s/l) + CO(g) \quad (6.27)$$

તેને બે સાદી પ્રક્રિયાઓના યુગ્મ તરીકે વિચારી શકીએ એકમાં FeOનું રિડક્શન થાય છે અને બીજામાં Cનું COમાં ઑક્સિડેશન થાય છે.

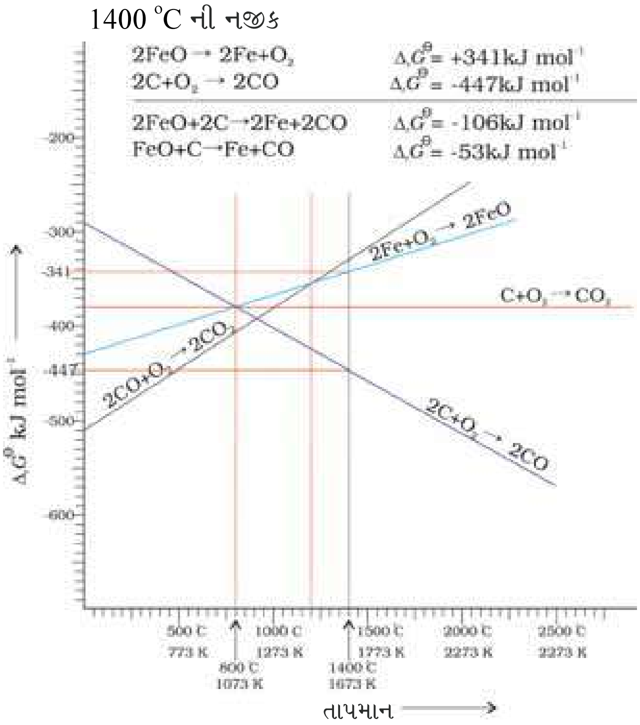
$$FeO(s) \rightarrow Fe(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \quad [\Delta_r G^\theta_{(FeO,\,Fe)}] \quad (6.28)$$

$$C(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO(g) \quad [\Delta_r G^\theta_{(C,\,CO)}] \quad (6.29)$$

જ્યારે બંને પ્રક્રિયાઓ થઈને સમીકરણ (6.27) પ્રમાણે નીપજ મળે છે ત્યારે ચોખ્ખી (net) ગિબ્સ-ઊર્જા ફેરફાર નીચે પ્રમાણે થાય છે.

$$\Delta_r G^\theta_{(C,\,CO)} + \Delta_r G^\theta_{(FeO,\,Fe)} = \Delta_r G^\theta \quad (6.30)$$

એ સ્વાભાવિક છે જ્યારે સમીકરણ (6.30)ની જમણી બાજુ ઋણ બને ત્યારે જ પરિણામી પ્રક્રિયા થાય. $\Delta_r G^0$ વિરુદ્ધ Tના આલેખમાં Fe-FeO ફેરફાર દર્શાવતો વક્ર ઉપરની તરફ જાય છે અને C →CO, [C, CO] ફેરફાર દર્શાવતો વક્ર નીચેની તરફ જાય છે. આ વક્રો એકબીજાને આશરે 1073 K તાપમાને પ્રતિચ્છેદન કરે છે. 1073 K (આશરે) કરતાં તાપમાન ઉપર જાય છે ત્યારે C, CO રેખા Fe, FeO રેખાની નીચે આવે છે. $[\Delta_r G^\theta_{(C,CO)}] < [\Delta_r G^\theta_{(Fe,\,FeC)}]$ આથી 1073 K થી ઉપર 900 - 1500 K તાપમાનના વિસ્તારમાં (ગાળામાં) કોક FeOનું રિડક્શન કરશે અને તે પોતે COમાં ઑક્સિડેશન પામશે. આ બાબતને આપણે આકૃતિ 6.6 ($\Delta_r G^\theta$ના અંદાજિત મૂલ્યો આપેલા છે) દ્વારા સમજીએ. આશરે 1673 K (1400 ^{0}C) તાપમાને થતી પ્રક્રિયા



આકૃતિ 6.6 : આયર્ન અને કાર્બનના ઑક્સાઇડની બનાવટ (રચના) માટે ગિબ્સ-ઊર્જા વિરુદ્ધ Tનો આલેખ. (એલિંગન આકૃતિ)

$2FeO \rightarrow 2Fe + O_2$ માટે $\Delta_r G^\theta$નું મૂલ્ય +341 $KJmol^{-1}$ છે કારણ કે તે Fe - FeO ફેરફારની વિરુદ્ધ પ્રક્રિયા છે તથા પ્રક્રિયા $2C + O_2 \rightarrow 2CO$ માટે $\Delta_r G^\theta$નું મૂલ્ય -447 $KJmol^{-1}$ છે. જો આપણે એકંદર પ્રક્રિયા (6.27) માટે $\Delta_r G^\theta$ની ગણતરી કરીએ તો તેનું મૂલ્ય -53 $KJmol^{-1}$ થશે. તેથી પ્રક્રિયા 6.27 સરળતાથી થશે. આજ પ્રમાણે, Fe_3O_4 અને Fe_2O_3નું CO વડે પ્રમાણમાં નીચા તાપમાને રિડક્શન તેમના વક્રના CO, CO_2 વક્ર સાથેનું પ્રતિચ્છેદન (intersection) સરખામણીના આધારે સમજાવી શકાય.

વાતભઠ્ઠીમાંથી મેળવેલું આયર્ન આશરે 4% કાર્બન અને અલ્પ પ્રમાણમાં ઘણી અશુદ્ધિઓ (જેમ કે, S, P, Si, Mn) ધરાવે છે. આને કાચું લોખંડ કહે છે અને જુદા જુદા આકારમાં ઢાળી શકાય છે. ભરતર લોખંડ કાચા લોખંડથી અલગ છે અને તેને વાતભઠ્ઠીનો ઉપયોગ કરીને કાચા લોખંડને લોખંડના ભંગાર (scrap) અને કોક સાથે પીગાળીને મેળવાય છે. તે કાર્બન ઘટકનું થોડું ઓછું પ્રમાણ (આશરે 3 %) ધરાવે છે અને તે સખત અને બરડ હોય છે.

આગળ પરના (further) રિડક્શન :

ઘડતર લોખંડ (**wrougth iron**) અથવા દબનીય લોખંડ (malleable iron) વ્યાપારિક (commercial) ધોરણે લોખંડનું સૌથી શુદ્ધ સ્વરૂપ છે અને તેને ભરતર લોખંડમાંથી હેમેટાઇટ વડે પડ ચઢાવેલી (lined) પરાવર્તની ભઠ્ઠીમાં અશુદ્ધિઓનું ઑક્સિડેશન કરીને બનાવવામાં આવે છે. આ હેમેટાઇટ કાર્બનનું કાર્બન મોનૉક્સાઇડમાં ઑક્સિડેશન કરે છે.

$Fe_2O_3 + 3C \rightarrow 2Fe + 3CO$ (6.31)

લાઇમસ્ટોનને અભિવાહ (flux) તરીકે ઉમેરવામાં આવે છે અને સલ્ફર, સિલિકોન અને ફૉસ્ફરસ ઑક્સિડેશન પામે છે અને સ્લેગમાં પસાર થાય છે. ધાતુને કાઢી લેવામાં આવે છે અને રોલર(rollers)માંથી પસાર કરી સ્લેગમાંથી મુક્ત કરવામાં આવે છે.

(b) ક્યુપ્રસ ઑક્સાઇડ [કૉપર (I) ઑક્સાઇડ]માંથી કૉપરનું નિષ્કર્ષણ :

ઑક્સાઇડની બનાવટ અંગેનો $\Delta_r G^\theta$ વિરુદ્ધ Tના આલેખ (આકૃતિ 6.4) Cu_2O રેખા લગભગ ઉપર (ઊંચે) છે. આથી કૉપરની ઑક્સાઇડ અયસ્કને કોક સાથે ગરમ કરતાં સીધુ ધાતુમાં રિડક્શન સહેલાઈથી થાય છે. (C, CO) અને (C, CO_2) બંને રેખાઓ આલેખમાં ખાસ કરીને 500 - 600 K તાપમાનથી ઘણી જ નીચી જગ્યાએ છે. ઘણી અયસ્કો સલ્ફાઇડ છે અને કેટલીક આયર્ન પણ ધરાવતી હોય. સલ્ફાઇડ અયસ્કનું ભૂંજન / પ્રગલન (smelting) કરવાથી ઑક્સાઇડ મળે છે.

$2Cu_2S + 3O_2 \rightarrow 2Cu_2O + 2SO_2$ (6.32)

ત્યારબાદ ઑક્સાઇડનું કોકનો ઉપયોગ કરીને સહેલાઈથી ધાત્વીય કૉપરમાં રિડક્શન કરી શકાય.

$Cu_2O + 3C \rightarrow 2Cu + 2CO$ (6.33)

ખરેખર પ્રક્રમમાં અયસ્કને સિલિકા સાથે મિશ્ર કરીને પરાવર્તની ભઠ્ઠીમાં ગરમ કરવામાં આવે છે. ભઠ્ઠીમાં આયર્ન ઑક્સાઇડ, આયર્ન સિલિકેટના સ્લેગ તરીકે બને છે અને કૉપર મેટ્ટેના સ્વરૂપમાં કૉપર બને છે. આ Cu_2S અને FeS ધરાવે છે.

$FeO + SiO_2 \rightarrow FeSiO_3$(સ્લેગ) (6.34)

ત્યારબાદ કૉપર મેટ્ટેને સિલિકાના પડવાળા (lined) પરિવર્તક (converter)માં લેવામાં આવે છે. (ભરણ કરવામાં આવે છે). થોડીક સિલિકા પણ ઉમેરવામાં આવે છે અને ગરમ હવાનો વાત ફૂંકવામાં આવે છે

જેથી બાકી રહેલા FeSનું FeO અને Cu_2S/CuOનું કૉપર ધાતુમાં પરિવર્તન થાય. નીચેની પ્રક્રિયાઓ થાય છે.

$$2FeS + 3O_2 \rightarrow 2FeO + 2SO_2 \quad (6.35)$$

$$FeO + SiO_2 \rightarrow FeSiO_3 \quad (6.36)$$

$$2Cu_2S + 3O_2 \rightarrow 2Cu_2O + 2SO_2 \quad (6.37)$$

$$2Cu_2O + Cu_2S \rightarrow 6Cu + SO_2 \quad (6.38)$$

ઘનસ્વરૂપમાં મળેલા કૉપર પર ફોલ્લા (blisters) દેખાય છે. જે SO_2ના ઉત્પન્ન થવાથી હોય છે અને તેથી આને ફોલ્લાવાળું કૉપર (**blister copper**) કહેવામાં આવે છે.

(c) *ઝિંક ઑક્સાઇડમાંથી ઝિંકનું નિષ્કર્ષણ :*

ઝિંક ઑક્સાઇડનું રિડક્શન કોક વાપરીને કરવામાં આવે છે. આ કિસ્સામાં તાપમાન/ગરમી કૉપરના કિસ્સા કરતાં વધારે ઊંચું હોય છે. ગરમ કરવાના હેતુ માટે ઑક્સાઇડની કોક અને માટી સાથે નાની ઈંટો (brickettes) બનાવવામાં આવે છે.

$$ZnO + C \xrightarrow{\text{કોક}, 1673 K} Zn + CO \quad (6.39)$$

ધાતુનું નિસ્યંદન કરવામાં આવે છે અને ઝડપી શીતન (chilling) કરીને એકઠી કરવામાં આવે છે.

લખાણ સંબંધિત પ્રશ્નો

6.3 પ્રક્રિયા $Cr_2O_3 + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 2Cr$ $(\Delta_rG^\theta = -421$ kJ) ગિબ્સ-ઊર્જા મૂલ્યોના આધારે ઉષ્માગતિકીય રીતે સુગમ (feasible) છે. તે ઓરડાના તાપમાને શા માટે થતી નથી ?

6.4 શું એ સાચું છે કે કોઈક પરિસ્થિતિમાં Mg, Al_2O_3નું રિડક્શન કરી શકે અને MgOનું રિડક્શન Al કરી શકે ? આ પરિસ્થિતિ શું હશે ?

6.5 ધાતુકર્મવિધિના વિદ્યુત-રાસાયણિક સિદ્ધાંતો (Electrochemical Principles of Metallurgy)

આપણે તાપ ધાતુકર્મવિધિને (**pyrometallurgy**) ઉષ્માગતિકીય સિદ્ધાંતો કેવી રીતે લાગુ પાડી શકીએ તે શીખ્યા. આવા જ સિદ્ધાંતો દ્રાવણમાં અથવા પિગલિત અવસ્થામાંના ધાતુ આયનોના રિડક્શન કરવા માટે અસરકારક છે. અહીંયા તે વિદ્યુતવિભાજન દ્વારા અથવા કેટલાક રિડક્શનકર્તા તત્ત્વોના ઉમેરણથી રિડક્શન કરવામાં આવે છે.

પિગલિત ધાતુક્ષારના રિડક્શનમાં વિદ્યુતવિભાજન કરવામાં આવે છે. આવી પદ્ધતિઓ વિદ્યુતરાસાયણિક સિદ્ધાંત પર આધારિત છે જેને નીચેના સમીકરણ દ્વારા સમજી શકાય.

$$\Delta G^\ominus = -nE^\ominus F \quad (6.40)$$

અહીંયા, n ઇલેક્ટ્રૉનની સંખ્યા છે અને $E^\ominus$ પ્રણાલી દ્વારા રચાયેલા રેડોક્ષ યુગ્મ-(couple)નો પ્રમાણિત વિદ્યુત પોટૅન્શિયલ છે, વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક ધાતુઓના રિડક્શન પોટૅન્શિયલના મૂલ્યો વધુ ઋણ હોય છે. તેથી તેમનું રિડક્શન મુશ્કેલ છે. જો બે $E^\ominus$ મૂલ્યોનો તફાવત ધન $E^\ominus$ને અનુરૂપ હોય અને પરિણામે સમીકરણ (6.40)માં $\Delta G^\ominus$નું મૂલ્ય ઋણ બને તો ઓછી પ્રતિક્રિયાત્મક (reactive) ધાતુ દ્રાવણમાંથી બહાર આવી જશે અને વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક ધાતુ દ્રાવણમાં જશે. દા.ત.

$$Cu^{2+}(aq) + Fe(s) \rightarrow Cu(s) + Fe^{2+}(aq) \quad (6.41)$$

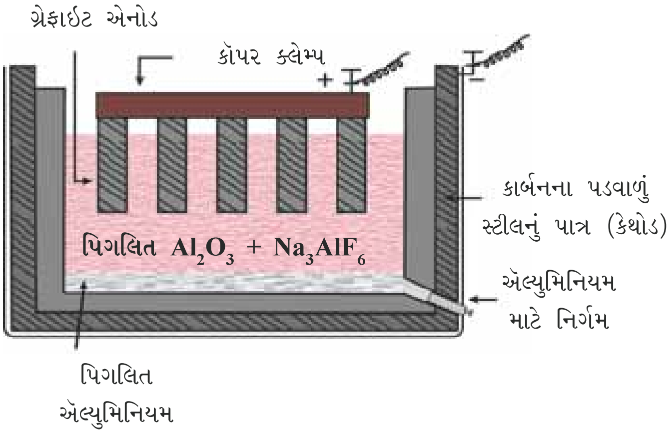
સાદા વિદ્યુતવિભાજનમાં M^{n+} આયન ઋણ વિદ્યુતધ્રુવ (કૅથોડ) તરફ વિભારિત થાય છે અને ત્યાં નિક્ષેપિત થાય છે. નીપજતી ધાતુની પ્રતિક્રિયાત્મકતાને ધ્યાનમાં રાખીને સાવચેતી રાખવામાં આવે છે અને યોગ્ય પદાર્થોનો વિદ્યુતધ્રુવ તરીક ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. કેટલીક વખત અભિવાહ પિગલિત દ્રવ્યને વધુ વિદ્યુતવાહક બનાવવામાં માટે ઉમેરવામાં આવે છે.

ઍલ્યુમિનિયમ

ઍલ્યુમિનિયમની ધાતુકર્મવિધિમાં શુદ્ધ કરેલા Al_2O_3ને Na_3AlF_6 અથવા CaF_2 સાથે મિશ્ર કરવામાં આવે છે. જે મેટ્રિક્સ (matrix)નું ગલનબિંદુ નીચું લાવે છે અને વાહકતામાં વધારો કરે છે. પિગલિત મેટ્રિક્સ(matrix)નું વિદ્યુતવિભાજન કરવામાં આવે છે. કાર્બનનું પડ (lining) ચઢાવેલ સ્ટીલનું વાસણ કેથોડ તરીકે અને ગ્રેફાઈટ એનોડ તરીકે વપરાય છે. એકંદર પ્રક્રિયા નીચે પ્રમાણે લખી શકાય.

$$2Al_2O_3 + 3C \rightarrow 4Al + 3CO_2 \quad (6.42)$$

આ પ્રક્રમ વિશાળ પાયા પર હૉલ-હેરોલ્ટ **(Hall-Heroult)** પદ્ધતિ તરીકે ઓળખાય છે.



આકૃતિ 6.7 : ઍલ્યુમિનિયમના નિષ્કર્ષણ માટેનો વિદ્યુતવિભાજન કોષ

આમ, પિગલિત દ્રવ્યનું વિદ્યુતવિભાજન કોષમાં કાર્બન વિદ્યુતધ્રુવો વાપરીને કરવામાં આવે છે. એનોડ પર ઉત્પન્ન થતો ઑક્સિજન એનાડના કાર્બન સાથે પ્રક્રિયા કરે છે અને CO અને CO_2 નીપજે છે. આ પ્રમાણે દર એક કિલોગ્રામ ઍલ્યુમિનિયમની નીપજ માટે આશરે 0.5 કિલોગ્રામ કાર્બન એનોડ બળી જાય છે. વિદ્યુતવિભાજનની પ્રક્રિયાઓ નીચે પ્રમાણે છે.

કેથોડ : Al^{3+} (પિગલિત) $+ 3e^- \rightarrow Al(l)$ (6.43)

એનોડ : $C(s) + O^{2-}$ (પિગલિત) $\rightarrow CO(g) + 2e^-$ (6.44)

$C(s) + 2O^{2-}$ (પિગલિત) $\rightarrow CO_2(g) + 4e^-$ (6.45)

નિમ્ન કક્ષાની અયસ્ક અને ભંગારમાંથી કૉપર

નિમ્નકક્ષાની અયસ્કમાંથી કૉપર જલધાતુકર્મ વિધિ(hydrometallurgy)થી નિષ્કર્ષિત કરવામાં આવે છે. તેનું ઍસિડ અથવા બૅક્ટેરિયાનો ઉપયોગ કરી પ્રક્ષાલન (leaching) કરવામાં આવે છે. Cu^{2+} આયન ધરાવતા દ્રાવણની લોખંડના ભંગાર અથવા H_2 સાથે (સમીકરણ 6.40 : 6.46) પ્રક્રિયા કરવામાં આવે છે.

$$Cu^{2+}(aq) + H_2(g) \rightarrow Cu(s) + 2H^+(aq) \quad (6.46)$$

કોયડો 6.4 એક જગ્યા પર નિમ્નકક્ષાની કૉપર અયસ્ક પ્રાપ્ય છે અને ઝિંક અને આયર્નનો ભંગાર પણ પ્રાપ્ય છે. આ બંને ભંગારમાંથી કયો ભંગાર પ્રક્ષાલન કરેલી અયસ્કનું રિડક્શન કરવા માટે વધુ યોગ્ય હશે અને શા માટે ?

ઉકેલ : ઝિંક વિદ્યુતરાસાયણિક શ્રેણીમાં આયર્ન કરતાં ઉપર છે (વધુ પ્રતિક્રિયાત્મક ધાતુ ઝિંક છે) આથી ઝિંકના ભંગારમાં રિડક્શન વધારે ઝડપી થશે. પરંતુ ઝિંક આયર્ન કરતાં વધુ મોંઘી ધાતુ છે આથી આયર્નના ભંગારનો ઉપયોગ કરવો સલાહ ભરેલું છે અને ફાયદાકારક છે.

6.6 ઑક્સિડેશન - રિડક્શન (Oxidation-Reduction)

રિડક્શન ઉપરાંત કેટલાક નિષ્કર્ષણ ઑક્સિડેશન આધારિત છે ખાસ કરીને અધાતુઓ માટે છે. ઑક્સિડેશન પર આધારિત ખૂબ જ સામાન્ય ઉદાહરણ બ્રાઇન(ક્લોરિન દરિયાના પાણીમાં સામાન્ય ક્ષાર તરીકે પ્રચુર પ્રમાણમાં છે)માંથી ક્લોરિનનું નિષ્કર્ષણ છે.

$$2Cl^-(aq) + 2H_2O(l) \rightarrow 2OH^-(aq) + H_2(g) + Cl_2(g) \quad (6.47)$$

આ પ્રક્રિયા માટે $\Delta G^{\ominus}$નું મૂલ્ય + 422 kJ છે. જ્યારે તેને $E^{\ominus}$માં ($\Delta G^{\ominus} = -nFE^{\ominus}$નો ઉપયોગ કરીને) ફેરવતાં આપણને $E^{\ominus} = -2.2$ V મળે છે. એ સ્વાભાવિક છે કે 2.2 V કરતાં વધારે બાહ્ય ઇ.એમ.એફ.ની જરૂર પડશે. પરંતુ વિદ્યુતવિભાજનમાં કેટલીક બાધક (hindering) પ્રક્રિયાઓને પણ ઉપરવટ (overcome) થવા માટે વધુ પોટેન્શિયલની જરૂર પડે છે. આથી, વિદ્યુતવિભાજનથી ક્લોરિન વાયુ મેળવાય છે અને H_2 અને જલીય NaOH ઉપપેદાશો તરીકે મળે છે. પિગલિત NaClનું વિદ્યુતવિભાજન પણ કહી શકાય. પરંતુ, આ કિસ્સામાં Na ધાતુ મળશે અને નહિ કે NaOH.

અગાઉ શીખ્યા તે પ્રમાણે ગોલ્ડ અને સિલ્વરનું નિષ્કર્ષણ ધાતુના CN^- વડે નિક્ષાલન(leaching)નો સમાવેશ કરે છે. આ પણ ઑક્સિડેશન પ્રક્રિયા ($Ag \rightarrow Ag^+$ અથવા $Au \rightarrow Au^+$) છે. ધાતુને પાછળથી વિસ્થાપન (displacement) પદ્ધતિ વડે પુનઃ મેળવવામાં આવે છે.

$$4Au(s) + 8CN^-(aq) + 2H_2O(aq) + O_2(g) \rightarrow 4[Au(CN)_2]^-(aq) + 4OH^-(aq) \quad (6.48)$$

$$2[Au(CN)_2]^-(aq) + Zn(s) \rightarrow 2Au(s) + [Zn(CN)_4]^{2-}(aq) \quad (6.49)$$

આ પ્રક્રિયામાં ઝિંક રિડક્શનકર્તા તરીકે વર્તે છે.

6.7 શુદ્ધીકરણ (પરિષ્કરણ) (Refining)

કોઈ પણ પદ્ધતિથી મેળવેલ ધાતુ સામાન્ય રીતે કેટલીક અશુદ્ધિથી સંદૂષિત (contaminnated) હોય છે. ઊંચી શુદ્ધતાવાળી ધાતુઓ મેળવવા માટે કેટલીક પદ્ધતિઓ વપરાય છે, જે ધાતુઓ અને અશુદ્ધિઓના ગુણધર્મોમાં રહેલા જુદાપણા પર આધારિત હોય છે. તેમાંની કેટલીક નીચેની યાદીમાં આપેલ છે :

(a) નિસ્યંદન (b) દ્રાવગલન (liquation)

(c) વિદ્યુતવિભાજન (d) ઝોન શુદ્ધીકરણ

(e) બાષ્પકલા શુદ્ધીકરણ (f) ક્રોમેટોગ્રાફિક પદ્ધતિઓ

અહીંયા તેમને વિસ્તૃતતાથી વર્ણવેલ છે.

(a) નિસ્યંદન :

ઝિંક અને મરક્યુરી જેવી નીચા ઉત્કલનબિંદુ ધરાવતી ધાતુઓ માટે આ વધારે ઉપયોગી છે અશુદ્ધ ધાતુનું બાષ્પીભવન કરવામાં આવે છે જેથી નિસ્યંદિત (distillate) તરીકે ધાતુ મેળવાય છે.

(b) દ્રાવગલન :

આ પદ્ધતિમાં ટિન જેવી નીચા તાપમાને ગલન પામતી ધાતુને ઢાળવાળી સપાટી પરથી વહેવડાવવામાં આવે છે. આ રીતે ઊંચા ગલનબિંદુવાળી અશુદ્ધિઓથી અલગ કરી શકાય છે.

(c) વિદ્યુતવિભાજનીય શુદ્ધીકરણ :

આ પદ્ધતિમાં અશુદ્ધ ધાતુ એનોડ તરીકે વર્તે છે. આ જ ધાતુની શુદ્ધ નાની પટ્ટીને કેથોડ તરીકે વાપરવામાં આવે છે. તેમને તે જ ધાતુના દ્રાવ્ય ક્ષાર ધરાવતા વિદ્યુતવિભાજ્ય પાત્ર(bath)માં મૂકવામાં આવે છે. વધુ બેઝિક ધાતુ દ્રાવણમાં રહી જાય છે અને ઓછી બેઝિક ધાતુ એનોડ પંક (mud) તરફ જાય છે. આ પ્રક્રમને વિદ્યુતધ્રુવના વિદ્યુતધ્રુવ પોટૅન્શિયલ, અધિવૉલ્ટતા (ovevoltage) અને ગિબ્સ-ઊર્જાના સંકલ્પનાના આધારે સમજાવી શકાય જેનો તમે અગાઉના વિભાગમાં અભ્યાસ કર્યો છે. પ્રક્રિયાઓ નીચે પ્રમાણે છે.

એનોડ : $M \rightarrow M^{n+} + ne^-$

કેથોડ : $M^{n+} + ne^- \rightarrow M$ (6.50)

કૉપરનું શુદ્ધીકરણ વિદ્યુતવિભાજનીય પદ્ધતિનો ઉપયોગ કરીને કરવામાં આવે છે. એનોડ અશુદ્ધ કૉપરના હોય છે શુદ્ધ કૉપરની પટ્ટી કેથોડ તરીકે લેવામાં આવે છે. વિદ્યુતવિભાજ્ય કૉપર સલ્ફેટનું ઍસિડિક દ્રાવણ હોય છે અને વિદ્યુત વિભાજનનું ચોખ્ખું (net) પરિણામ કૉપરનું એનોડમાંથી કેથોડમાં શુદ્ધ કૉપર તરીકે સ્થાનાંતરણ હોય છે.

એનોડ : $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$

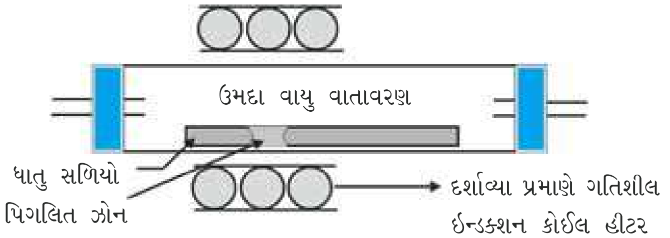
કેનોડ : $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ (6.51)

ફોલ્લાવાળા તાંબામાંથી અશુદ્ધિઓ એનોડ પંક તરીકે નિક્ષેપિત થાય છે જે એન્ટિમની, સેલેનિયમ, ટેલુરિયમ, સિલ્વર, ગોલ્ડ અને પ્લેટિનમ ધરાવે છે. આ તત્ત્વોની પુનઃપ્રાપ્તિ (recovery) શુદ્ધીકરણની કિંમતને સરભર કરી શકે છે.

ઝિંક પણ આ જ પ્રમાણે શુદ્ધ કરી શકાય.

(d) *ઝોન શુદ્ધીકરણ (રીફાઈનિંગ) :*

આ પદ્ધતિ એ સિદ્ધાંત પર આધારિત છે કે અશુદ્ધિઓ ધાતુના ઘન સ્વરૂપને બદલે પીગળેલ(melt)માં વધુ દ્રાવ્ય હોય છે. અશુદ્ધ ધાતુના સળિયાના એક છેડે ફરતે ગતિશીલ (mobile) હીટરને જડવામાં આવે છે (fixed) (આકૃતિ 6.8). પિગલિત ઝોન હીટરની સાથે સાથે આગળ વધે છે. જેમ હીટર આગળ વધે તેમ પાછળ રહી ગયેલી પિગલિત ધાતુમાંથી શુદ્ધ ધાતુ સ્ફટિકિકરણ પામતી જાય છે તથા હીટરની હલનચલન વડે ઉત્પન્ન થયેલા નવા પિગલિત ઝોનમાં અશુદ્ધિઓ પસાર થતી જાય છે. આ પદ્ધતિ કેટલીક વખત પુનરાવર્તિત કરવામાં આવે છે અને હીટરને તે જ દિશામાં ખસેડવામાં આવે છે. એક છેડે અશુદ્ધીઓ સંકેન્દ્રિત થાય છે. આ છેડાને કાપી નાંખવામાં આવે છે. આ પદ્ધતિ અર્ધવાહકો બનાવવામાં તથા અન્ય ધાતુઓને વધુ ઊંચી શુદ્ધતાવાળી મેળવવામાં ઘણી જ ઉપયોગી છે. જેમ કે, જર્મેનિયમ, સિલિકોન, બોરોન, ગેલિયમ અને ઈન્ડિયમ.



આકૃતિ 6.7 : ઝોન શુદ્ધીકરણ (રીફાઈનિંગ) પ્રક્મ

(e) *બાષ્પકલા શુદ્ધીકરણ :*

આ પદ્ધતિમાં ધાતુને તેના બાષ્પશીલ સંયોજનમાં પરિવર્તિત કરી એકઠી કરવામાં આવે છે, જેનુ વિઘટન કરી શુદ્ધ ધાતુ મેળવી શકાય છે. આની બે જરૂરિયાતો નીચે પ્રમાણે છે.

(i) પ્રાપ્ય પ્રક્રિયક સાથે ધાતુએ બાષ્પશીલ સંયોજનનું નિર્માણ કરવું પડે છે.

(ii) બાષ્પશીલ સંયોજન સહેલાઈથી વિઘટનીય હોવો જોઈએ જેથી પુનઃપ્રાપ્તિ સરળ બને.

નીચેના ઉદાહરણો આ તક્નિકીને સમજાવશે.

નિકલના શુદ્ધીકરણ માટેનો મોન્ડ (Mond) પ્રક્મ : આ પ્રક્મમાં નિકલને કાર્બન મોનૉક્સાઈડના પ્રવાહમાં ગરમ કરવામાં આવે છે જેથી બાષ્પશીલ સંકીર્ણ નિકલ ટેટ્રાકાર્બોનિલ બને છે. આ સંકીર્ણનું ઊંચા તાપમાને વિઘટન થતાં શુદ્ધ ધાતુ મેળે છે.

$$Ni + 4CO \xrightarrow{330-350\ K} Ni(CO)_4 \qquad (6.52)$$

$$Ni(CO)_4 \xrightarrow{450-470\ K} Ni + 4CO \qquad (6.53)$$

ઝિર્કોનિયમ અને ટાઈટેનિયમના શુદ્ધીકરણ માટેના વાન આર્કેલ (van Arkel) પદ્ધતિ : આ પદ્ધતિ Zr અને Ti જેવી કેટલીક ધાતુઓમાં અશુદ્ધિ સ્વરૂપ રહેલા બધા જ ઑક્સિજન અને નાઈટ્રોજનને દૂર કરવા માટે ઘણી ઉપયોગી છે અપરિષ્કૃત (crude) ધાતુને આયોડિન સાથે શૂન્યાવકાશ કરેલ પાત્રમાં ગરમ કરવામાં આવે છે. ધાતુ આયોડાઈડ વધુ સહસંયોજક હોવાથી બાષ્પિત થાય છે (volatilised).

$$Zr + 2I_2 \rightarrow ZrI_4 \qquad (6.54)$$

ધાતુ આયોડાઈડને વિદ્યુતીય રીતે આશરે 1800 K તાપમાને ગરમ કરેલા ટંગસ્ટન તાર (filament) પર વિઘટિત કરવામાં આવે છે. આમ શુદ્ધ ધાતુ તે તાર પર નિક્ષેપિત થાય છે.

$$ZrI_4 \rightarrow Zr + 2I_2 \qquad (6.55)$$

(f) *ક્રોમેટોગ્રાફિક પદ્ધતિઓ :*

તમે ધોરણ XI (એકમ-12)માં પદાર્થોના શુદ્ધીકરણ માટેની ક્રોમેટોગ્રાફિક પદ્ધતિઓ વિષે શીખ્યા છો. સ્તંભ ક્રોમેટોગ્રાફી જે તત્ત્વો અલ્પ માત્રામાં પ્રાપ્ય હોય તેના માટે અને અશુદ્ધિઓ જે-તે તત્ત્વોના રાસાયણિક ગુણધર્મો સાથે વધુ જુદાપણુ ધરાવતી નથી તેના માટે વધુ ઉપયોગી છે.

6.8 ઍલ્યુમિનિયમ, કૉપર, ઝિંક અને આયર્નના ઉપયોગો (Uses of Aluminium, Copper, Zinc and Iron)

ઍલ્યુમિનિયમના વરખ (foils) ખાદ્ય પદાર્થોના ઢાંકણ (wrapper) તરીકે વપરાય છે. ધાતુની ઝીણી રજ રંગો અને લેકરમાં વપરાય છે. ઍલ્યુમિનિયમ ખૂબ જ સક્રિય હોવાથી તેનો ઉપયોગ ક્રોમિયમ અને મૅંગેનીઝ ધાતુઓને તેમના ઑક્સાઇડમાંથી મેળવવા માટે થાય છે. ઍલ્યુમિનિયમના તાર વિદ્યુતના વાહક તરીકે વપરાય છે. ઍલ્યુમિનિયમની મિશ્રધાતુઓ હલકી હોવાથી ઘણી જ ઉપયોગી છે.

કૉપરનો ઉપયોગ વિદ્યુતીય ઉદ્યોગોમાં તાર બનાવવા માટે તથા પાણી અને વરાળ માટેની પાઇપ બનાવવા પણ થાય છે. તે કેટલીક તેની મિશ્રધાતુઓમાં વપરાય છે જે કૉપર કરતાં વધુ મજબૂત હોય છે. જેમ કે, પિત્તળ (ઝિંક સાથે), બ્રોન્ઝ (ટિન સાથે) અને ચલણી સિક્કા (નિકલ સાથે).

ઝિંકનો ઉપયોગ આયર્ન પર જસતનો ઢોળ (galvanising) ચઢાવવા માટે થાય છે. તે મોટા પ્રમાણમાં બૅટરીમાં વપરાય છે, કેટલીક મિશ્રધાતુઓમાં ઘટક તરીકે વપરાય છે. જેમ કે, પિત્તળ [Cu 60 %, Zn 40 %] અને જર્મન સિલ્વર [Cu 25-30 %, Zn 25-30 %, Ni 40-50 %] ઝિંકની રજ (dust), રંગકો, રંગો વગેરેના ઉત્પાદનમાં રિડક્શનકર્તા તરીકે વપરાય છે.

ભરતર લોખંડ જે આયર્નનું સૌથી વધુ ઉપયોગી સ્વરૂપ છે તેનો ઉપયોગ, સ્ટવ, રેલવેના સ્લીપર, ગટરની પાઇપ, રમકડાં વગેરેમાં થાય છે. તેનો ઘડતર લોખંડ અને સ્ટીલના ઉત્પાદનમાં ઉપયોગ થાય છે. ઘડતર લોખંડનો ઉપયોગ લંગર, તાર, બોલ્ટ, સાંકળ અને કૃષિય સાધનોની બનાવટમાં થાય છે. સ્ટીલના ઘણા ઉપયોગ છે. તેમાં અન્ય ધાતુઓ ઉમેરવાથી સ્ટીલની મિશ્રધાતુ બને છે. નિકલ સ્ટીલનો ઉપયોગ કેબલ, ઓટોમોબાઇલ અને એરોપ્લેનના ભાગો, લોલક, માપન માટેની ટૅપ (માપપટ્ટી) બનાવવામાં, ક્રોમ સ્ટીલનો ઉપયોગ સાધનો કાપવા માટે અને દળવાના મશીન (ક્રશર)માં અને સ્ટેનલેસ સ્ટીલનો ઉપયોગ સાઇકલ, ઓટોમોબાઇલ, વાસણો, પેન વગેરે બનાવવામાં થાય છે.

સારાંશ

ઔદ્યોગિકક્રાંતિ પછી આધુનિક ધાતુકર્મવિધિની વૃદ્ધિ અનેક ગણી વધી છે, તેમ છતાં ધાતુકર્મવિધિમાં અનેક આધુનિક સંકલ્પનાઓના મૂળ ઔદ્યોગિકક્રાંતિ અગાઉના સમયની પ્રાચીન પદ્ધતિઓમાં રહેલા છે. 7000 વર્ષો કરતાં વધારે સમયથી ભારત ધાતુકર્મવિધિના કૌશલ્યોની ઉચ્ચ પ્રણાલી ધરાવે છે. પ્રાચીન ભારતીય ધાતુકર્મવિધિ જાણકારોએ આપેલા મુખ્ય ફાળાને કારણે તેઓનું નામ વિશ્વના ધાતુકર્મવિધિના ઇતિહાસમાં નોંધપાત્ર સ્થાન પામ્યુ છે. ઝિંક અને ઉચ્ચ કાર્બન ધરાવતા સ્ટીલના કિસ્સામાં પ્રાચીન ભારતે આધુનિક ધાતુકર્મવિધિની પ્રગતિના પાયાના વિકાસમાં નોંધપાત્ર ફાળો આપ્યો છે જે ધાતુકર્મવિધિના અભ્યાસને ઔદ્યોગિકક્રાંતિ તરફ દોરી જાય છે.

અનેક હેતુઓ માટે ધાતુઓની જરૂર પડે છે. આ માટે, આપણને તેઓ જેમાં હાજર હોય તેવા અને તેમનું વ્યાપારિક ધોરણે સુગમ થઈ શકે તેમ હોય તેવા તેમના ખનીજોમાંથી તેમના નિષ્કર્ષણની જરૂર પડે છે. આ ખનીજો **અયસ્ક (કાચી ધાતુ)** તરીકે ઓળખાય છે. ધાતુઓની અયસ્ક ઘણી બધી અશુદ્ધિઓ સાથે જોડાયેલી હોય છે. આ અશુદ્ધિઓને અમુક અંશે દૂર કરવી તે **સંકેન્દ્રણ** તબક્કામાં મેળવાય છે. સંકેન્દ્રિત અયસ્ક પછી ધાતુ રાસાયણિક રીતે મેળવાય છે. સામાન્ય રીતે ધાતુ-સંયોજનો(જેમ કે, ઑક્સાઇડ, સલ્ફાઇડ)નું ધાતુમાં રિડક્શન કરવામાં આવે છે. રિડક્શનકર્તા તરીકે વપરાતાં પદાર્થોમાં કાર્બન, CO અથવા કેટલીક

ધાતુઓ પણ હોય છે. આ રિડક્શન પ્રક્રિયામાં, ઉષ્માગતિકીય અને વિદ્યુતરાસાયણિક સંકલ્પનાઓ(ખ્યાલો)ને યોગ્ય અગત્ય આપવામાં આવે છે. ધાતુ ઑક્સાઇડ રિડક્શનકર્તા સાથે પ્રક્રિયા કરે છે; ચોખ્ખી (net) ગિબ્સઊર્જા ફેરફાર ઋણ હોય છે, જે તાપમાન વધારતાં વધારે ઋણ બને છે. ઘનમાંથી પ્રવાહી અથવા વાયુમાં ભૌતિક અવસ્થાનું પરિવર્તન અને વાયુમય અવસ્થાની રચના સમગ્ર પ્રણાલીની ગિબ્સઊર્જામાં ઘટાડાની તરફેણ કરે છે. આ સંકલ્પનાને આલેખીય રીતે ΔG^{θ} વિરુદ્ધ Tના (એલિંગહામ આકૃતિ) જુદા જુદા તાપમાને આવી ઑક્સિડેશન / રિડક્શન પ્રક્રિયાઓ માટે રજૂ કરવામાં આવે છે. વિદ્યુતધ્રુવ પોટૅન્શિયલની સંકલ્પના ધાતુઓ (જેમ કે, Al, Ag, Au)ના અલગન માટે ઉપયોગી થાય છે. જ્યાં બે રેડોક્ષ યુગ્મોનો સરવાળો ધન હોય છે જેથી ગિબ્સઊર્જા ઋણ હોય છે. સામાન્ય પદ્ધતિઓથી મેળવાયેલ ધાતુઓ હજુ પણ ગૌણ (minor) અશુદ્ધિઓ ધરાવે છે. શુદ્ધ ધાતુઓ મેળવવામાં શુદ્ધીકરણની જરૂર પડે છે. શુદ્ધીકરણ પ્રક્રિયા ધાતુ અને અશુદ્ધિના ગુણધર્મો વચ્ચેના ફેરફારો (વિચલન) પર આધાર રાખે છે. ઍલ્યુમિનિયમનું નિષ્કર્ષણ સામાન્ય રીતે તેની બૉક્સાઇટ અયસ્કમાંથી NaOH વડે પ્રક્ષાલન દ્વારા કરવામાં આવે છે. આ રીતે બનાવાતો સોડિયમ ઍલ્યુમિનેટ અલગ કરવામાં આવે છે અને પછી તટસ્થીકરણ કરવામાં આવે છે જેથી જળયુક્ત ઑક્સાઇડ પાછો મળે છે. પછી તેનું ક્રાયોલાઇટને અભિવાહ (flux) તરીકે વાપરીને વિદ્યુતવિભાજિત કરવામાં આવે છે. આયર્નનું નિષ્કર્ષણ તેના ઑક્સાઇડ અયસ્કનું વાતભઠ્ઠીમાં રિડક્શન દ્વારા કરવામાં આવે છે. કૉપર પરાવર્તિની ભઠ્ઠીમાં પ્રગલન અને ગરમ કરીને નિષ્કર્ષિત કરવામાં આવે છે. ઝિંક ઑક્સાઇડમાંથી ઝિંકનું નિષ્કર્ષણ કોક વાપરીને કરવામાં આવે છે. ધાતુના શુદ્ધીકરણ માટે કેટલીક પદ્ધતિઓ વપરાય છે. ધાતુઓ સામાન્ય રીતે વધુ વિશાળ પ્રમાણમાં વપરાય છે અને તેણે અનેક પ્રકારના ઉદ્યોગોના વિકાસમાં સાર્થક રીતે ફાળો આપેલ છે.

નીચેના કોષ્ટકમાં કેટલીક ધાતુઓના પ્રાપ્તિસ્થાન અને નિષ્કર્ષણનો સારાંશ આપેલ છે.

ધાતુ	પ્રાપ્તિસ્થાન	નિષ્કર્ષણ માટે સામાન્ય પદ્ધતિ	નોંધ
ઍલ્યુમિનિયમ	1. બૉક્સાઇટ ($Al_2O_3 \cdot xH_2O$) 2. ક્રાયોલાઇટ (Na_3AlF_6)	પિગલિત Na_3AlF_6 માં દ્રાવ્ય કરેલ Al_2O_3નું વિદ્યુતવિભાજન	નિષ્કર્ષણ માટે વિદ્યુતનો સારો સ્રોત જરૂરી છે.
આયર્ન	1. હેમેટાઇટ (Fe_2O_3) 2. મૅગ્નેટાઇટ (Fe_3O_4)	વાતભઠ્ઠીમાં CO અને કોક સાથે ઑક્સાઇડનું રિડક્શન	2170 K જેટલું તાપમાન જરૂરી છે.
કૉપર	1. કૉપર,પાયરાઇટ્સ ($CuFeS_2$) 2. કૉપર ગ્લાન્સ (Cu_2S) 3. મેલેકાઇટ $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ 4. ક્યુપ્રાઇટ (Cu_2O)	સલ્ફાઇડનું અંશતઃ ભૂંજન અને રિડક્શન	ખાસ બનાવેલા પરિવર્તકમાં તેનું સ્વયં-રિડક્શન સહેલાઈથી થાય છે. નિમ્ન કક્ષાની અયસ્કમાંથી જળ-ધાતુકર્મવિધિમાં સલ્ફ્યુરિક ઍસિડનો પ્રક્ષાલનમાં ઉપયોગ થાય છે.
ઝિંક	1. ઝિંક બ્લેન્ડ અથવા સ્ફાલેરાઇટ (ZnS) 2. કેલેમાઇન ($ZnCO_3$) 3. ઝિંકાઇટ (ZnO)	ભૂંજન અને ત્યારબાદ કોક સાથે રિડક્શન	ધાતુને વિભાગીય નિસ્યંદન દ્વારા શુદ્ધ કરી શકાય.

સ્વાધ્યાય

6.1 કૉપરનું જળધાતુકર્મવિધિથી નિષ્કર્ષણ કરી શકાય છે પણ ઝિંકનું નહિ. સમજાવો.

6.2 ફીણ પ્લવન પદ્ધતિમાં અવસાદક શું ભાગ ભજવે છે ?

6.3 રિડક્શન દ્વારા કૉપરનું નિષ્કર્ષણ તેની ઑક્સાઇડ અયસ્કમાંથી કરતાં તેની પાયરાઇટ અયસ્કમાંથી કરવું વધારે મુશ્કેલ શા માટે છે ?

6.4 સમજાવો : (i) ઝોન શુદ્ધીકરણ (રિફાઇનિંગ) (ii) સ્તંભ ક્રોમેટોગ્રાફી

6.5 673 K તાપમાને C અને COમાંથી કયો સારો રિડક્શનકર્તા છે ?

6.6 કૉપરના વિદ્યુતવિભાજન શુદ્ધીકરણમાં મળતા એનોડ પંકમાં હાજર રહેલા સામાન્ય તત્ત્વોના નામ લખો. તે શા માટે તે પ્રમાણે હાજર હોય છે ?

6.7 આયર્નના નિષ્કર્ષણ દરમિયાન વાત ભઠ્ઠીમાંના જુદા જુદા ઝોનમાં થતી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ લખો.

6.8 ઝિંક બ્લેન્ડમાંથી ઝિંકના નિષ્કર્ષણમાં થતી પ્રક્રિયાઓના રાસાયણિક સમીકરણ લખો.

6.9 કૉપરની ધાતુકર્મવિધિમાં સિલિકા શો ભાગ ભજવે છે ?

6.10 જો તત્ત્વ ખૂબજ ઓછા જથ્થામાં પ્રાપ્ય હોય તો તેના શુદ્ધીકરણ માટે કઇ પદ્ધતિ વધુ યોગ્ય રહેશે ?

6.11 જો કોઈ તત્ત્વમાં તેના રાસાયણિક ગુણધર્મો સાથે વધુ સામ્યતા ધરાવતા રાસાયણિક ગુણધર્મોવાળી અશુદ્ધિઓ હાજર હોય તો તે તત્ત્વના શુદ્ધીકરણ માટે તમે કઈ પદ્ધતિ સૂચવશો ?

6.12 નિકલના શુદ્ધીકરણની પદ્ધતિનું વર્ણન કરો.

6.13 સિલિકા સાથે સંલગ્ન બૉક્સાઇટ અયસ્કમાંની સિલિકામાંથી ઍલ્યુમિનાને કેવી રીતે અલગ કરશો ?

6.14 ઉદાહરણ આપી 'ભૂંજન' અને 'નિસ્તાપન' વચ્ચે ભેદ દર્શાવો.

6.15 ભરતર લોખંડ, કાચું લોખંડ (pig iron)થી કેવી રીતે અલગ પડે છે ?

6.16 'ખનીજ' અને 'અયસ્ક' વચ્ચે ભેદ દર્શાવો.

6.17 કૉપર મેટ્ટેને શા માટે સિલિકાના સ્તરવાળા, પરિવર્તકમાં મૂકવામાં આવે છે ?

6.18 ઍલ્યુમિનિયમની ધાતુકર્મવિધિમાં ક્રાયોલાઇટ શું ભાગ ભજવે છે ?

6.19 નિમ્ન કક્ષાની કૉપર અયસ્કની બાબતમાં કેવી રીતે નિક્ષાલન કરવામાં આવે છે ?

6.20 COનો ઉપયોગ કરીને ઝિંક ઑક્સાઇડનું રિડક્શન કરીને ઝિંક ઑક્સાઇડમાંથી ઝિંકનું નિષ્કર્ષણ શા માટે કરવામાં આવતું નથી ?

6.21 Cr_2O_3ની $\Delta_rG^\ominus$નું મૂલ્ય -540 kJ mol^{-1} છે અને Al_2O_3ની $\Delta_rG^\ominus$નું મૂલ્ય -827 kJ mol^{-1} છે. Cr_2O_3નું Al સાથે રિડક્શન શક્ય છે ?

6.22 ZnO માટે C અને COમાંથી કયો વધારે સારો રિડક્શનકર્તા છે ?

6.23 કોઈ પણ વિશિષ્ટ બાબતમાં રિડક્શનકર્તાની પસંદગીનો આધાર ઉષ્માગતિકીય પરિબળ છે. આ નિવેદન સાથે તમે કેટલે અંશે સહમત છો ? તમારા જવાબને બે ઉદાહરણ સાથે આધારભૂત બનાવો.

6.24 જે પદ્ધતિમાં આડ પેદાશ (ઉપપેદાશ) તરીકે ક્લોરિન મેળવવામાં આવતો હોય તે પ્રક્રમ(પદ્ધતિ)નું નામ લખો. જો NaClના જલીય દ્રાવણનું વિદ્યુતવિભાજન કરવામાં આવે તો શું થશે ?

6.25 ઍલ્યુમિનિયમની ધાતુકર્મવિધિમાં ગ્રેફાઇટનાં સળિયા શું ભાગ ભજવે છે ?

6.26 નીચેની પદ્ધતિઓ વડે ધાતુઓના શુદ્ધીકરણમાંના સિદ્ધાંતોની રૂપરેખા આપો :

(i) ઝોન શુદ્ધીકરણ (રિફાઇનિંગ) (ii) વિદ્યુતવિભાજ્ય શુદ્ધીકરણ (iii) બાષ્પકલા શુદ્ધીકરણ

6.27 જેમાં MgOનું Al રિડક્શન કરે તેવી અપેક્ષા માટે પરિસ્થિતિઓનું પ્રાક્કથન કરો (સૂચન : લખાણ સંબંધિત પ્રશ્ન 6.4 જુઓ)

લખાણ સંબંધિત કેટલાક પ્રશ્નોના જવાબો

6.1 અયસ્ક જેમાં ઘટકોમાંનો એક (અશુદ્ધિ અથવા ખરેખર અયસ્ક) ચુંબકીય છે, તેને સંકેન્દ્રિત કરી શકાય. ઉદાહરણ તરીકે આયર્ન ધરાવતી અયસ્ક (હેમેટાઇટ, મૅગ્નેટાઇટ, સિડેરાઇટ અને આયર્ન પાયરાઇટસ).

6.2 નિક્ષાલન અર્થસૂચક છે કારણ કે તે SiO_2, Fe_2O_3 વગેરે અશુદ્ધિઓને બૉક્સાઇટ અયસ્કમાંથી દૂર કરવામાં મદદ કરે છે.

6.3 ઉષ્માગતિકીય રીતે સુગમ (feasible) પ્રક્રિયાઓમાં કેટલાક પ્રમાણમાં સક્રિયકરણ ઊર્જા આવશ્યક હોય છે. આથી જ ઉષ્માની જરૂર પડે છે.

6.4 હા, 1350 ^{o}Cથી નીચા તાપમાને Mg, Al_2O_3નું રિડક્શન કરી શકે અને 1350 ^{o}Cથી ઊંચા તાપમાને Al, MgOનું રિડક્શન કરી શકે. આને માટેનું અનુમાન $\Delta G^{\ominus}$ વિરુદ્ધ Tના આલેખ(આકૃતિ 6.4)માંથી કરી શકાય.