૫૪

વિજ્ઞાન પરિચય ગ્રંથશ્રેણી -૯

પરમાણુશક્તિ

યુનિવર્સિટી ગ્રંથ નિર્માણ બોર્ડ
સોમૈયા પબ્લિકેશન્સ્ પ્રા. લિ.

પરમાણુશકિત

તંત્રી મંડળ

૧. શ્રી જે. બી. સેંડિલ

૨. શ્રી સુધીર પંડયા

૩. શ્રી પી. સી. વૈદ્ય

૪. શ્રી કે. બી. શાહ

૫. શ્રી ધીરૂભાઈ દેસાઈ

૬. શ્રી વાસુદેવ મહેતા.

૭. શ્રી જી. ટી. પંડયા.

સંપાદક

શ્રી જે. બી. સેંડિલ

યોજના દાન

હરિ ૐ આશ્રમ નડિયાદ

હરિ ૐ આશ્રમ પ્રેરિત શ્રી ટી. કે. ગજ્જર વિજ્ઞાન પરિચય પુસ્તિકા શ્રેણી

વિજ્ઞાન પરિચય ગ્રંથ શ્રેણી ૬

પરમાણુશક્તિ

શ્રી નરસિંહ ભૂ. શાહ

શ્રી સુધીર પ્ર. પંડ્યા

યુનિવર્સિટી ગ્રંથ નિર્માણ બોર્ડ,
ગુજરાત રાજ્ય અમદાવાદ ૬.

પ્રયોજક

સોમૈયા પબ્લિકેશન્સ પ્રા. લિ.

મુંબઈ - ૧૪

પરમાણુશકિત

© યુનિવર્સિટી ગ્રંથ નિર્માણ બોર્ડ,
ગુજરાત રાજ્ય, અમદાવાદ-૬.

પ્રથમ આવૃત્તિ—૧૯૭૫

મુદ્રક :
શ્રી. ર. દેસાઈ
દિ બુક સેંટર પ્રા. લિ.
૧૦૩, છટમો માર્ગ, શીવ, મુંબઈ—૪૦૦ ૦૨૨

પ્રકાશક :
ગં. શ્રી. કોશે
સોમૈયા પબ્લિકેશન્સ પ્રા. લિ.
મુંબઈ મરાઠી ગ્રંથસંગ્રહાલય માર્ગ,
દાદર, મુંબઈ-૪૦૦ ૦૧૪

નિવેદન

આમજનતામાં વિજ્ઞાન વિશેની સમજ સુદૃઢ થાય, વૈજ્ઞાનિક ભાવના કેળવાય અને વિજ્ઞાન જીવનમાં ઉતરે તે હેતુસર હરિ ૐ આશ્રમવાળા પૂજ્ય મોટાએ યુનિવર્સિટી ગ્રંથ નિર્માણ બોર્ડને રૂા. ૩૦,૦૦૦/- નું એક અનુદાન આપ્યું અને 'વિજ્ઞાન પરિચય પુસ્તિકા શ્રેણી'નો જન્મ થયો.

'કિશોરભારતી' ની જેમ મુંબઈની સોમૈયા પબ્લિકેશન્સે આ શ્રેણીનો પણ સંયુક્ત ઉપક્રમે પ્રકાશિત કરવાનું અને ગુજરાતી ઉપરાંત બીજી ભાષાઓમાં એને રજૂ કરવાનું સ્વીકાર્યું તે શ્રેણીનું સદ્ભાગ્ય રહ્યું.

વિજ્ઞાન પરિચય પુસ્તિકા શ્રેણીનો વિચાર સૌ કોઈને ખૂબ જ ગમ્યો, અને એને લેખકોનો ઉમળકાભર્યો સહકાર સાંપડયો. આ શ્રેણીમાં આ અગાઉ ડૉ. છોટુભાઈ સુથારનું 'તારક તેજ અને રંગ' શ્રી કૃષ્ણકાંત કોટડાવાલાનું 'સૂક્ષ્મ જીવોની સૃષ્ટિ', શ્રી. ભાઈલાલભાઈ વ. પટેલનું 'આપણી વનસ્પતિ', ડૉ. બી. એન. દેસાઈ અને વિજય-ગુપ્ત મૌર્યનું 'હવામાનનું જ્ઞાન શા માટે', અને શ્રી. પદ્મકાંત ર. શાહ નું 'કાગળ' પ્રગટ થયેલાં છે. 'પરમાણુ શક્તિ' ના બે લેખકોમાંથી એક ડૉ. ન. મુ. શાહ નું દુ:ખદ નિધન થતાં આ લખાણની જવાબદારી ડૉ. સુધીર પંડયા ને સંભાળવી પડી છે. એમણે ખંતપૂર્વક એ કામ કર્યું છે, ને આખા મનુષ્ય જીવનને એક કે બીજી રીતે સ્પર્શતા આ વિષયનું સુવાચ્ય ને સુંદર નિરૂપણ કર્યું છે. એટલે આ શ્રેણીની આ છઠ્ઠી પુસ્તિકા જે વૈજ્ઞાનિક સાહિત્યમાં અગત્યનો ઉમેરો કરે છે, તેને વાચકોના હાથમાં મૂકતાં હું આનંદ અનુભવું છું અને આશા રાખું છું કે આગળની પાંચ પુસ્તિકાઓની માફક આને પણ વાચકજગતનો ઉમળકાભર્યો આવકાર મળશે.

આ પુસ્તિકા પ્રગટ કરવા માટેની સઘળી વ્યવસ્થા કરવા બદલ સોમૈયા પબ્લિકેશન્સના સૌનો હું ખાસ આભાર માનું છું.

શ્રેણીના માનસપિતા હરિ ૐ આશ્રમવાળા પૂજ્ય મોટાને તો હું ભૂલી જ કેવી રીતે શકું ?

શ્રેણીના પુસ્તકના પ્રકાશનમાં કેટલાક સમયથી વિલંબ થઈ રહ્યો હતો, પણ પ્રકાશન કાર્યમાં શ્રી સોમૈયા પબ્લિકેશન્સ હવે વેગ આપશે એવી અપેક્ષા અસ્થાને નહિ ગણાય.

યુનિવર્સિટી ગ્રંથ નિર્માણ બોર્ડ
ગુજરાત રાજ્ય, અમદાવાદ-૬

જે. બી. સેંડિલ
અધ્યક્ષ

પ્રારંભિક

આ પુસ્તકની મૂળ હસ્તપ્રત પ્રા. ન. મૂ. શાહે તૈયાર કરેલી. કમભાગ્યે એમનું નિધન થતાં એ મારી પાસે આવી. વખત ઘણો વીતી ગયો હોવાથી એમાં સારા પ્રમાણમાં સુધારા-વધારા કરવાની જરૂર જણાતાં શ્રી. ઈશ્વરભાઈ પટેલની સૂચનાથી મેં એનું મૂળ માળખું ને ઉદ્દેશ એનાં એ રાખીને કેટલોક ભાગ નવેસરથી લખ્યો છે. આમ બંને લેખકોની વિભિન્ન લાક્ષણિકતાઓ પુસ્તકમાં જણાય તો પણ વિસંવાદી નહિ લાગે એવી આશા છે.

પુસ્તકનો મૂળ ઉદ્દેશ તો પરમાણુશકિત અને પરમાણુ-વિકિરણોના અનેક વ્યાવહારિક ઉપયોગોની પ્રાથમિક માહિતી વાચકોને સરળ ભાષામાં આપવાનો હતો. જો ભારતના ભવિષ્યનો પાયો વિજ્ઞાન અને ટેકનોલોજી ઉપરજ રચાવાનો હોય તો એ જરૂરી છે કે મોટા ભાગના નાગરિકો આધુનિક વિજ્ઞાનને સારી રીતે સમજે. આથી વિજ્ઞાનનો અભ્યાસ કર્યો ન હોય એવા પણ અને બને તેટલા બહોળા વાચક સમુદાયને સ્પર્શવાનો આ પ્રયાસ છે. શાળા કે કોલેજના વિદ્યાર્થી બંધુઓને પણ આ પુસ્તક ઉપયોગી નીવડશે એમ મારી ધારણા છે. આમ તો પાનના ગલ્લા પર બેસનાર ભાઈ પણ જીજ્ઞાસા હોય તો વિજ્ઞાનનો આનંદ માણી શકે એવી પણ કંઈક ભાવના ખરી. અલબત્ત એમાંની ત્રુટિઓ અને ઊણપો હું સભાન છું; પણ આ પુબ્તકને લખાણને એની કેટલીક આગવી મર્યાદાઓ હતી. પરમાણુશકિતના ક્ષેત્રે ભારતીય વિકાસ કાર્યક્રમ વિષે કેટલાક ઉલ્લેખ કર્યા છે.

આખીયે હસ્તપ્રત કાળજીપૂર્વક જોઈ જવા બદલ પ્રા. પ્ર. આ. પંડયાને ઋણી છું. લખાણ દરમિયાનજ નહિ પણ એમની આજીવન પ્રેરણા વગર આ લખાયુંજ ન હોત.

સુ. પ્ર. પંડયા

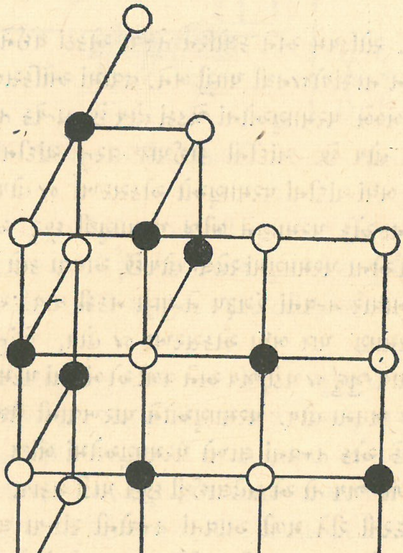
અનુક્રમણિકા

નિવેદન	v
પ્રારંભિક	vi
૧. પરમાણુની આંતરરચના	૧
૨. ઉર્જા	૯
૩. ન્યુકિલયસ બળતણ તરીકે	૧૪
૪. પરમાણુભઠ્ઠી	૨૨
૫. વ્યવહારમાં પરમાણુશકિત	૨૯
૬. કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપ	૩૩

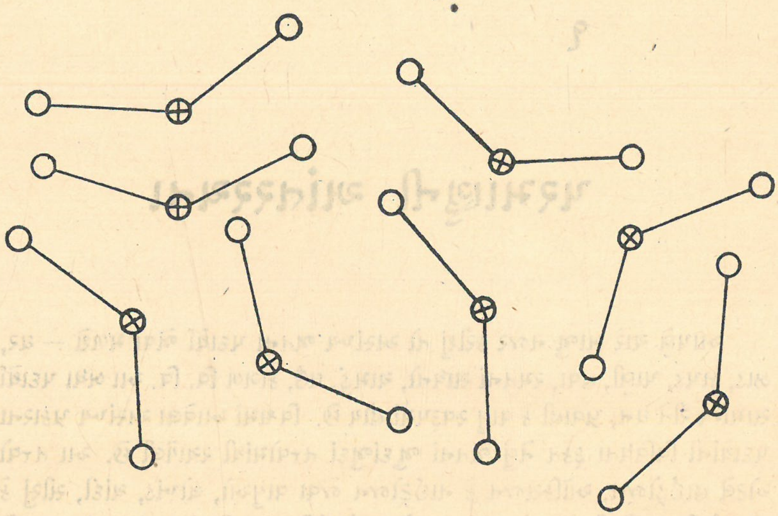
૧

પરમાણુની આંતરરચના

આપણે ચારે બાજુ નજર કરીશું તો અસંખ્ય જાતના પદાર્થો જોવા મળશે — ઘર, ઝાડ, કાપડ, પાણી, હવા, રમતનાં સાધનો, ચામડું, ઘઉં, કાગળ વિ. વિ. આ બધા પદાર્થો સામાન્ય રીતે ઘન, પ્રવાહી કે વાયુ સ્વરૂપમાં હોય છે. વિશ્વમાં આવેલા અસંખ્ય પ્રકારના પદાર્થોની વિવિધતા ફક્ત નેવું જાતનાં જુદાંજુદાં તત્ત્વોમાંથી રચાયેલી છે. આ તત્ત્વો એટલે હાઇડ્રોજન, ઑક્સિજન કે નાઇટ્રોજન જેવા વાયુઓ, લોખંડ, ચાંદી, સીસું કે ઍલ્યુમિનિયમ જેવી ધાતુઓ, ગંધક, પારો, ચૂનો (કેલ્શિયમ) જેવાં જુદાં જુદાં સ્વરૂપ ને



સોડિયમ (○) + ક્લોરીન (●) = મીઠું

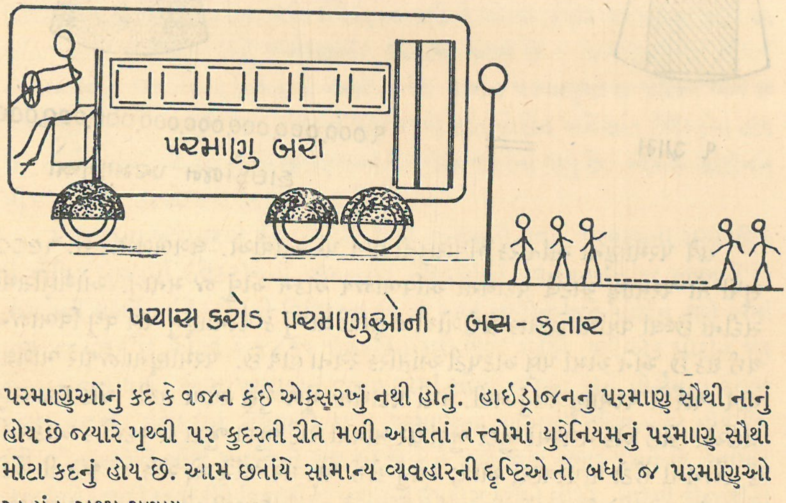


હાઈડ્રોજન (૦) + ઑક્સિજન (⊗) = પાણી

ગુણધર્મવાળા પદાર્થો. સોડિયમ અને કલોરિન તત્ત્વો એકઠાં થઈને મીઠું બને. હાઈડ્રોજન અને ઑકિસજન ના સંયોજનથી પાણી બને. હવામાં ઑકિસજનના આણુઓ હોય છે જે ઑકિસજનના બબ્બે પરમાણુઓનાં જોડકાં હોય છે. પ્રત્યેક તત્ત્વ એક જ પ્રકારનાં પરમાણુઓનું બનેલું હોય છે. ચાંદીની કોઈપણ વસ્તુ ચાંદીનાં જ પરમાણુઓની બનેલી હોય છે. આ બધાં ચાંદીનાં પરમાણુઓ એકસરખાં જ હોય છે. કોઈ પણ રાસાયણિક ક્રિયાથી ચાંદીના એક પરમાણુને બીજા પરમાણુથી છૂટું ઓળખી શકાય નહિ. તત્ત્વના બધા જ ગુણ એના પરમાણુમાં રહેલા હોય છે, અથવા કહો કે પરમાણુના જે કંઈ ગુણધર્મ છે તેને જ આધારે તત્વનાં રંગરૂપ ને ગુણો નકકી થાય. એ જ પ્રમાણે લોખંડ, પારા કે સીસાના પરમાણુ પણ બધા એકસરખા જ હોય, પરંતુ લોખંડનું પરમાણુ ચાંદીના પરમાણુથી સાવ જુદું જ પડી જાય અને વળી એ બંનેનાં પરમાણુ પારાના પરમાણુઓથી સાવ જુદી જ જાતના હોય. પરમાણુઓને પારખવાની વૈજ્ઞાનિક પદ્ધતિઓ હવે તો એવી ખીલી છે કે એક તત્ત્વનાં લાખો પરમાણુઓમાં બીજા તત્ત્વનાં ગણ્યાંગાંઠયાં પરમાણુઓ પણ ભળી જાય તો એ સહેલાઈથી છૂટાં પાડી શકાય.

પૃથ્વી ઉપર કુદરતી રીતે મળી આવતાં તત્ત્વોની સંખ્યા લગભગ નેવું છે. આ ઉપરાંત વૈજ્ઞાનિકોએ પ્રયોગશાળામાં કૃત્રિમ રીતે ઉત્પન્ન કરેલાં એવાં પણ બીજાં લગભગ પંદર તત્ત્વો જાણીતાં છે. આમ આજે કુલ ૧૦૫ જુદાં જુદાં તત્ત્વોની આપણને માહિતી છે. સમય જતાં હજી વધુ તત્ત્વોની શોધખોળ વૈજ્ઞાનિકો કરતા જ રહેશે અને એમ તત્ત્વોની કુલ સંખ્યા હજી વધશે એવું અનુમાન સહેજે કરી શકાય.

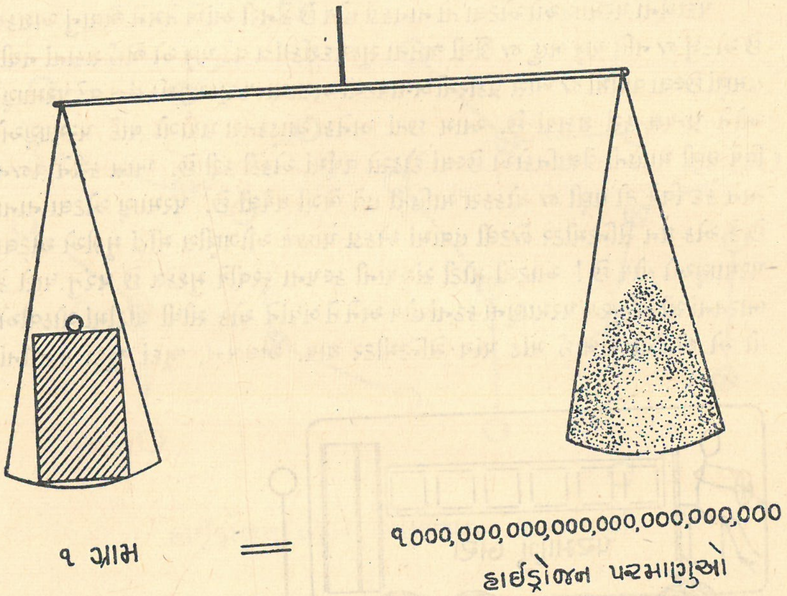
પદાર્થના પરમાણુઓ એટલા તો નાનકડા હોય છે કે નરી આંખે તેમને જોવાનું અશકય છે એટલું જ નહિ પણ બહુ જ ઊંચી જાતના સૂક્ષ્મદર્શકયંત્ર વડે પણ એ જોઈ શકાતાં નથી. હમણાં છેલ્લા વર્ષોમાં જ ખાસ પ્રકારની બનાવટના અસામાન્ય સૂક્ષ્મદર્શક યંત્ર વડે પરમાણુઓને પ્રત્યક્ષ કરી શકાયાં છે. આમ છતાં અનેક આડકતરા પ્રયોગો વાટે પરમાણુઓ વિષે ઘણી માહિતી વૈજ્ઞાનિકોએ છેલ્લાં દોઢસો વર્ષમાં એકઠી કરી છે. ખાસ કરીને વજન અને કદ વિષે તો ઘણી જ ચોકકસ માહિતી હવે ભેગી થયેલી છે. પરમાણુ એટલા નાના છે કે એક ઘન સેન્ટિમીટર જેટલી હવામાં એકડા પાછળ ઓગણીસ મીંડાં મૂકીએ એટલા પરમાણુઓ હોય છે ! આટલી મોટી સંખ્યાની કલ્પના કરવીયે મુશ્કેલ છે પરંતુ ધારો કે ભારતનાં સૌ સ્ત્રીપુરુષ પરમાણુના કદનાં હોય અને તે બધાંને એક સીધી લીટીમાં ગોઠવીએ તો એ લીટીની લંબાઈ માંડ પાંચ સેન્ટિમીટર થાય. અલબત્ત, જુદાં જુદાં તત્ત્વોનાં



પચાસ કરોડ પરમાણુઓની બસ-કતાર

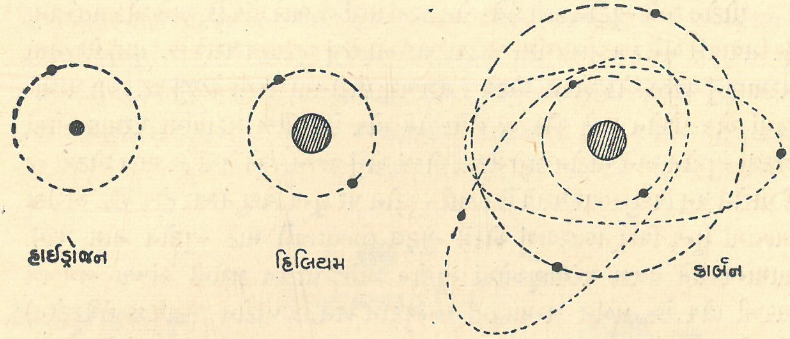
પરમાણુઓનું કદ કે વજન કંઈ એકસરખું નથી હોતું. હાઇડ્રોજનનું પરમાણુ સૌથી નાનું હોય છે જ્યારે પૃથ્વી પર કુદરતી રીતે મળી આવતાં તત્ત્વોમાં યુરેનિયમનું પરમાણુ સૌથી મોટા કદનું હોય છે. આમ છતાંયે સામાન્ય વ્યવહારની દૃષ્ટિએ તો બધાં જ પરમાણુઓ અત્યંત સૂક્ષ્મ ગણાય.

આવા સૂક્ષ્મ પરમાણુઓનું વજન પણ એવું જ સૂક્ષ્મ હોય એ તો સમજી શકાય એવું છે. એક ઘન સેન્ટિમીટર હવામાં આટલાં બધાં પરમાણુ હોવા છતાં એટલી હવાનું વજન કેટલું ઓછું હોય છે ? આ ઉપરથી જ પરમાણુના વજનની કલ્પના કરી શકાય. આપણે રોજિંદા જીવનમાં વજન કિલોગ્રામ કે ગ્રામમાં માપીએ છીએ. આ એકમમાં પરમાણુનું વજન દર્શાવવાનો કંઈ અર્થ જ નહિ. સામાન્ય રીતે હલકામાં હલકો પરમાણુ જે હાઈડ્રોજનનો છે, તેનું જ વજન પરમાણુ દુનિયા માટે એકમ તરીકે લેવામાં આવે છે. દા. ત. નાઈટ્રોજન પરમાણુનું વજન ચૌદ એકમ એટલે કે હાઇડ્રોજનનાં ચૌદ પરમાણુ ભેગાં કરીએ એટલું. એ પ્રમાણે લોખંડનું વજન સત્તાવન એકમ કે ગંધકનું વજન બત્રીસ એકમ એમ કહેવાય.



હવે પરમાણુના આંતરિક બંધારણની વાત પર આવીએ. લગભગ ઈ. સ. ૧૯૦૦ સુધી તો પરમાણુ એટલે પદાર્થનો અવિભાજ્ય એકમ એવું જ મનાતું. ઓગણીસમી સદીનાં છેલ્લાં વર્ષોમાં કેટલાક પ્રયોગોથી જણાવા લાગ્યું કે પરમાણુનું પણ વધુ વિભાજન થઈ શકે છે, અને એમાં પણ અટપટી આંતરિક રચના હોય છે. પરમાણુના જ્યારે ભાગલા થાય ત્યારે તે પરમાણુ રહેતું નથી. તેમાં પદાર્થના મૂળ ગુણ રહેતા નથી. એક ઉદાહરણ લઈએ. કોઈ એક નગરમાં જુદાં જુદાં ઘર બાંધવા માટે જુદા જુદા જ કદની કે આકારની કે વજનની ઈંટો વાપરવામાં આવે; આવું કોઈ પણ ઘર ભાંગે તો એક જ જાતની ઈંટો હાથમાં આવે. કોઈ પણ ઈંટના આકાર કે કદ કે વજન ઉપરથી એ કયા ઘરના ચણતરમાં વપરાઈ છે તે તરત જ કહી શકાય. પણ જો એ જ જુદી જુદી ઈંટોને ભાંગી નાંખવામાં આવે તો એની માટી જ બની જાય. બધી ઈંટોની માટી તો પછી સરખી જ હોય. એ માટી ઉપરથી મૂળ ઘરનો ખ્યાલ આવી શકે નહિ. એમ જ પરમાણુઓ જ્યારે તોડી નાખવામાં આવે ત્યારે એ પદાર્થના જુદા જ સ્વરૂપમાં પલટાઈ જાય છે. બધાં જ પરમાણુઓ ત્રણ પ્રકારના મૂળ કણોમાંથી રચાયેલાં હોય છે. આ ત્રણ મૂળ કણ (અથવા પ્રાથમિક કણ) ના સંયોજનથી સો ઉપરાંત જુદાં જુદાં પરમાણુઓ અને તત્ત્વો બને. આ તત્ત્વોના સંયોજનથી વળી વિશ્વના અસંખ્ય પ્રકારના સજીવ અને નિર્જીવ પદાર્થો બને. વિશ્વના અદ્ભુત વૈવિધ્યના પાયામાં ત્રણ જ પ્રકારના મૂળ કણ એ કેવી નવાઈ?

આ મૂળકણોની ત્રિમૂર્તિનાં નામ ઇલેક્ટ્રોન, પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોન છે. આ કણોની



જુદી જુદી સંખ્યા લેવાથી જુદા જુદા રાસાયણિક ને ભૌતિક ગુણધર્મોવાળાં પરમાણુઓ બને. પરમાણુઓમાં પ્રોટોન અને ઇલેક્ટ્રોન કણોની સંખ્યા હંમેશ સરખી જ હોય છે, અને આ જ સંખ્યા — જેને પરમાણુઅંક કહેવામાં આવે છે — પરમાણુ કયા તત્ત્વનું છે અને એના રૂપરંગગુણ કેવા છે તે નકકી કરે છે. કાર્બન પરમાણુમાં છ પ્રોટોન અને છ ઇલેક્ટ્રોન હોય છે, જયારે નાઇટ્રોજનના પરમાણુમાં સાત પ્રોટોન અને સાત ઇલેક્ટ્રોન હોય છે. કાર્બન કાળો ઘન કોલસો ને નાઈટ્રોજન રંગ વાસ વગરનો વાયુ છે. એક જ પ્રોટોનને લીધે પદાર્થમાં કેટલો બધો ફેર પડી જાય છે ?

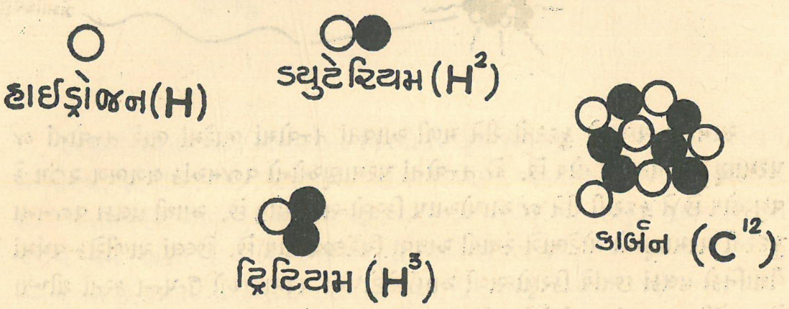
પરમાણુના બંધારણમાં ઇલેક્ટ્રોનનો ફાળો નાનોસૂનો નથી. પરમાણુના રાસાયણિક ને જૈવિક ગુણધર્મો ઇલેક્ટ્રોનની પરમાણુમાં ગોઠવણી ને હલનચલનને જ આભારી છે એમ કહી શકાય. ઇલેક્ટ્રોનની વિશિષ્ટતા એ છે કે એ ન્યુટ્રોન અને પ્રોટોન કણો કરતાં ઘણું જ હલકું છે, એટલે કે ૧૮૩૬ ઇલેક્ટ્રોન કણો ભેગાં કરીએ ત્યારે એક પ્રોટોન કણ જેટલું વજન થાય. આમ પરમાણુનું વજન એમાં રહેલા ન્યુટ્રોન અને પ્રોટોનના વજન જેટલું જ છે. ઇલેક્ટ્રોન સંખ્યાનો ફાળો પરમાણુના વજનમાં નહિવત જ હોય છે. ઇલેક્ટ્રોન કણોનો બીજો મહત્ત્વનો ગુણ એ છે કે તે ઋણ વિદ્યુતભાર ધરાવે છે. આપણે રોજ અનેક જુદી જુદી રીતે વિજળીના પ્રવાહનો ઉપયોગ કરીએ છીએ. તારમાં વીજળીના પ્રવાહનું વહન ઇલેક્ટ્રોનના હલનચલનને જ આભારી છે, વીજપ્રવાહ એ ઇલેક્ટ્રોન કણોનો જ પ્રવાહ છે એમ કહી શકાય. આમ છતાં પરમાણુ ઉપર તો કોઈ વિદ્યુતભાર હોતો નથી. વિદ્યુતક્ષેત્રમાં પરમાણુ તટસ્થ રહે છે. ઇલેક્ટ્રોનના ઋણ વિદ્યુતભારને તટસ્થ કરનારું તત્ત્વ પ્રોટોન છે. જેટલો ઋણ વિદ્યુતભાર ઇલેક્ટ્રોન કણ પર હોય છે એટલો જ ધન વિદ્યુતભાર પ્રત્યેક પ્રોટોન કણ ઉપર હોય છે. આમ પરમાણુમાં જેટલાં ઇલેક્ટ્રોન તેટલાં જ પ્રોટોન હોવાથી કુલ વિદ્યુતભાર શૂન્ય બની રહે છે. ઇલેક્ટ્રોન અને પ્રોટોન પરના વિદ્યુતભારમાં સહેજ પણ ફેર હોત તો કોઈ પણ પદાર્થ વિદ્યુતક્ષેત્રમાં તટસ્થ રહી શકત નહિ, અને તો આખા વિશ્વનું અને જીવંત સ્વરૂપોનું પણ બંધારણ સાવ જુદું જ હોત.

પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોન કણો ઈલેક્ટ્રોન કરતાં ઘણાં જ ભારે હોય છે, અને એક મહત્ત્વના ફેર સિવાય તે બંને કણ ગુણધર્મમાં જોડિયા ભાઈઓ જેવું જ સામ્ય ધરાવે છે. હાઇડ્રોજનના પરમાણુનું વજન એક એકમ, એટલે કે લગભગ પ્રોટોનના વજન જેટલું જ. આ પરમાણુમાં એક પ્રોટોન અને એક જ ઈલેક્ટ્રોન હોય છે. બીજા પદાર્થોના પરમાણુઓમાં જેટલાં ન્યુટ્રોન અને પ્રોટોન કણો તેટલા એકમ એનું વજન. એ બેમાં ફેર માત્ર એટલો જ કે પ્રોટોન ધન વિદ્યુતભાર ધરાવે છે જ્યારે ન્યુટ્રોન પર શૂન્ય વિદ્યુતભાર હોય છે. અંગ્રેજી ભાષામાં શૂન્ય વિદ્યુતભારવાળું એટલે ન્યુટ્રલ (neutral) માટે ન્યુટ્રોન નામ પડયું. સામાન્ય રીતે હલકા પરમાણુઓમાં ન્યુટ્રોન અને પ્રોટોન કણોની સંખ્યા લગભગ સરખી હોય છે. કાર્બન પરમાણુમાં છ ન્યુટ્રોન અને છ પ્રોટોન (સાથે છ ઈલેક્ટ્રોન) હોય છે જ્યારે ઓક્સિજનના પરમાણુમાં આઠ ન્યુટ્રોન અને આઠ પ્રોટોન (સાથે આઠ ઈલેક્ટ્રોન) હોય છે. કાર્બન પરમાણુનું વજન બાર એકમ ને ઑકિસજન પરમાણુનું વજન સોળ એકમ. જેમ જેમ પરમાણુ વધારે મોટું અને ભારે થતું જાય તેમ તેમ એમાં ન્યુટ્રોન સંખ્યા પ્રોટોન સંખ્યા કરતાં વધુ ઝડપથી વધતી જાય છે. મોટા પરમાણુઅંક વાળા એટલે પ્રોટોનની મોટી સંખ્યાવાળા પરમાણુઓમાં ન્યુટ્રોનનો વધારો હોય છે. લોખંડના પરમાણુમાં ૨૬ પ્રોટોન સાથે ૨૮ કે ૩૦ ન્યુટ્રોન હોય છે. યુરેનિયમ જેવા મહાકાય સ્થૂલ પરમાણુમાં ૯૨ પ્રોટોન સાથે ૧૪૫ ન્યુટ્રોન હોય છે. ફક્ત પ્રોટોન (કે ઈલેક્ટ્રોન) ની સંખ્યા પરથી તત્ત્વના રાસાયણિક ગુણધર્મ કળી શકાય, માટે તે સંખ્યા તત્ત્વાંક કે પરમાણુ અંક કહેવાય. ન્યુટ્રોન અને પ્રોટોન સંખ્યાનો સરવાળો પરમાણુ—વજન—અંક કહેવાય.

પરમાણુની અંદર ઈલેક્ટ્રોન, પ્રોટોન અને ન્યુટ્રોન કણોની ગોઠવણી ઘણી જ સરળ અને સુંદર રીતે અને પદ્ધતિસર થયેલી છે, અને તેને આધારે પરમાણુઓના ગુણ અને સ્વરૂપનું વૈવિધ્ય સહેલાઈથી સમજી શકાય છે. પરમાણુની રચના સૂર્યમંડળ જેમ જ થયેલી છે. એમાં કેન્દ્રસ્થાને અતિ સૂક્ષ્મ અને અતિ ઘન ન્યુકિલયસ હોય છે. પરમાણુનાં બધાં ન્યુટ્રોન અને પ્રોટોન આ નાનકડા ન્યુકિલયસમાં સમાયેલાં હોય છે. આથી જ ન્યુકિલયસ ધન વિદ્યુતભાર ધરાવે છે. તેમ જ પરમાણુનું મોટા ભાગનું વજન (થોડાંક ઈલેક્ટ્રોનનું વજન બાદ કરતાં) એમાં જ હોય છે. ન્યુકિલયસનું કદ પણ પરમાણુના કદ કરતાં દસહજારમા ભાગનું હોય છે. પરમાણુને ક્રિકેટ રમવાના મેદાન જેવડું વિશાળ કલ્પવામાં તો આવે એ જ પ્રમાણમાં ન્યુકિલયસ મેદાનને કેન્દ્રસ્થાને પડેલા રમતના દડા જેવું દેખાય. આ ઉપરથી ખ્યાલ આવશે કે પરમાણુમાં મોટે ભાગે તો શૂન્ય અવકાશ જ હોય છે. આ અવકાશમાં પરમાણુના બધા ઈલેક્ટ્રોન કણો ન્યુકિલયસની આજુબાજુ ગોળ ગોળ ફરતા હોય છે — કોઈ પાસે તો કોઈ દૂર.

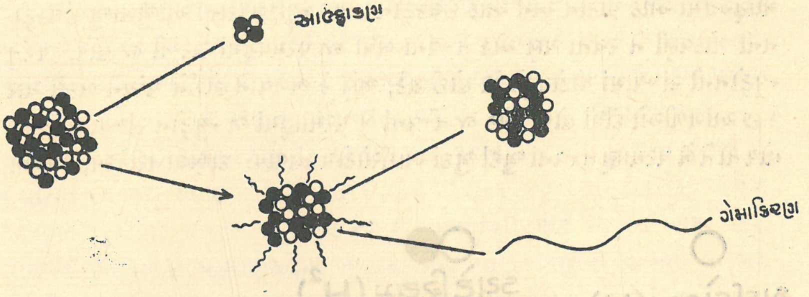
એક જ તત્ત્વના બધા પરમાણુ એકસરખાં જ હોય છે એવું અગાઉ વિધાન કર્યું છે. આમાં હવે સ્હેજ ફેર કરવાની જરૂર ઊભી થાય છે. એક તત્ત્વના બધા જ પરમાણુઓમાં પ્રોટોન અને ઈલેક્ટ્રોનની સંખ્યા તો સરખી જ હોય છે. ઓકિસજનના બધા જ પર-

માણુઓમાં આઠ પ્રોટોન અને આઠ ઇલેક્ટ્રોન હોય. ન્યુક્લિયસની આજુબાજુ ઇલેક્ટ્રોનની ગોઠવણી ને રચના પણ એક તત્ત્વના બધા જ પરમાણુમાં સરખી જ હોય. પરંતુ ન્યુટ્રોનની સંખ્યામાં થોડોઘણો ફેર હોઈ શકે, જાણે કે ભગવાને કોઈને પાંચને બદલે ચાર કે છ આંગળીઓ દીધી હોય. એક જ તત્ત્વનાં બે પરમાણુમાં જો ન્યુટ્રોન સંખ્યામાં ફેરફાર હોય તો તે બે પરમાણુ તત્ત્વનાં જુદાં જુદાં આઈસોટોપ કહેવાય. દાખલા તરીકે ઓકિસજન



તત્ત્વ લઈએ. ઓકિસજનના કેટલાક એવા પણ પરમાણુ કુદરતમાં મળી આવે છે કે જેમાં નવ કે દસ ન્યુટ્રોન હોઈ શકે. પ્રયોગશાળામાં તો છ થી માંડીને ચૌદ જેટલાં ન્યુટ્રોનવાળાં ઓકિસજનના પરમાણુ બનાવી શકાય છે. આ બધા પરમાણુનો પરમાણુ અંક તો આઠ જ, પણ વજન-અંક ૧૪થી માંડીને ૨૨ સુધી હોઈ શકે. મોટા ભાગનાં તત્ત્વોમાં બે કે ત્રણ આઈસોટોપ કુદરતી રીતે મળી આવે છે. હાઈડ્રોજનનાં ત્રણ આઈસોટોપ હોય છે જેમાં એક પ્રોટોન સાથે શૂન્ય, એક કે બે ન્યુટ્રોન હોય છે.

પરમાણુની ભીતરની રચના અને ન્યુક્લિયસના અસ્તિત્વનો ખ્યાલ તો વૈજ્ઞાનિકોને લગભગ ઈ. સ. ૧૯૧૧માં આવ્યો. તે પહેલાના દાયકામાં વૈજ્ઞાનિકોએ પરમાણુમાંથી નીકળતાં જાતજાતનાં કિરણોનો અભ્યાસ કરેલો. યુરેનિયમ, થોરિયમ, રેડિયમ જેવાં અતિભારે પરમાણુઓવાળાં તત્ત્વો કિરણોત્સર્ગી હોય છે. પરમાણુજગતમાં સામાન્ય રીતે બને છે તેમ આ કિરણો પણ નરી આંખે દેખાય એવાં તો હોતાં જ નથી. એમનો અભ્યાસ આડકતરી અસરો માપીને જ થઈ શકે. મુખ્યત્વે આ કિરણો ત્રણ જાતનાં હોય છે. ગ્રીક-ભાષાના મૂળાક્ષરો પરથી એમને આલ્ફા–કિરણો, બીટા–કિરણો તેમ જ ગેમા–કિરણો કહેવામાં આવે છે. પ્રત્યેક કિરણોત્સર્ગી પરમાણુમાંથી આ ત્રણે જાતનાં કિરણો નીકળતાં નથી. કોઈક તત્ત્વમાંથી આલ્ફા, તો કોઈકમાંથી બીટા–કિરણો ઉત્પન્ન થાય છે. આલ્ફા કે બીટા કિરણોના ઉત્સર્જનથી પરમાણુ કેટલીક વાર ઉત્તેજિત અવસ્થામાં આવી જાય છે, અને ત્યાર પછી ગેમા કિરણનું ઉત્સર્જન કરીને શાંત થાય છે. આવાં બધાં કિરણોનું ઉદ્‌ગમ સ્થાન ન્યુક્લિયસ હોય છે. જયારે જયારે ન્યુક્લિયસમાંથી આલ્ફા કે બીટા કિરણો ઉત્પન્ન થાય છે ત્યારે ત્યારે તે ન્યુક્લિયસનું, પરમાણુનું ને તત્ત્વનું સ્વરૂપ બદલાઈ જાય છે.

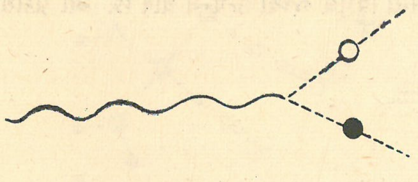


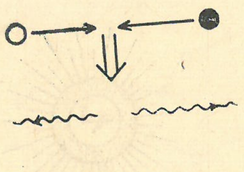
સામાન્ય પણે તો કુદરતી રીતે મળી આવતાં તત્ત્વોમાં ભારેમાં ભારે તત્ત્વોનાં જ પરમાણુ કિરણોત્સર્ગી હોય છે. જે તત્ત્વોનાં પરમાણુઓનો વજનઅંક લગભગ ૨૦૫ કે વધુ હોય છે તે કુદરતી રીતે જ આપોઆપ કિરણોત્સર્ગી હોય છે. આથી હલકા વજનના કુદરતી પરમાણુઓ મોટેભાગે સ્થાયી અથવા ચિરંજીવ હોય છે. છેલ્લાં ચાળીસેક વર્ષમાં વૈજ્ઞાનિકો હલકાં છતાંયે કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપના પરમાણુઓ ઉત્પન્ન કરતાં શીખ્યા છે. ઑકિસજનનાં આઈસોટોપ જેમાં આઠ, નવ કે દસ ન્યુટ્રોન હોય તે સ્થાયી હોય છે, જયારે આઠથી ઓછાં કે દસથી વધુ ન્યુટ્રોનવાળાં આઈસોટોપ કિરણોત્સર્ગી ને અસ્થાયી હોય છે. તે બધાં બીટા કિરણોનું ઉત્સર્જન કરીને બીજાં સ્થાયી પરમાણુઓના સ્વરૂપમાં પલટાઈ જાય છે.

૨

ઊર્જા

વિશ્વની રચના અને બંધારણના નિયમોની સૂઝ મેળવવા માટે વૈજ્ઞાનિકો વિશ્વને બે ભાગમાં વહેંચી નાખે છે : પદાર્થ અને ઊર્જા (સામાન્ય વ્યવહારમાં ઊર્જા ને માટે શકિત શબ્દ પ્રચલિત છે. આપણે પણ બંને શબ્દ એક જ અર્થમાં વાપરીશું.) પ્રથમ દૃષ્ટિએ પદાર્થ અને શકિત તદ્દન વિભિન્ન સ્વરૂપો લાગે છે. પદાર્થ કે દ્રવ્ય જગા રોકે છે, તેને વજન છે, જ્યારે શકિતમાં દ્રવ્યના કોઈ ગુણો હોય એમ જણાતું નથી. ૧૯૦૫માં સુપ્રસિદ્ધ વૈજ્ઞાનિક આઈન્સ્ટાઈને પુરાવાઓ સાથે બતાવ્યું કે પદાર્થ અને શકિત એક જ મૂળ ચીજનાં બે સ્વરૂપ છે. વાસ્તવમાં બંને એક જ છે. પદાર્થ શકિતમાં પલટાઈ શકે છે અને શકિતનું દ્રવ્યમાં રૂપાંતર થઈ શકે છે. બંને રૂપ વચ્ચે સંબંધ દર્શાવતું સૂત્ર છે :





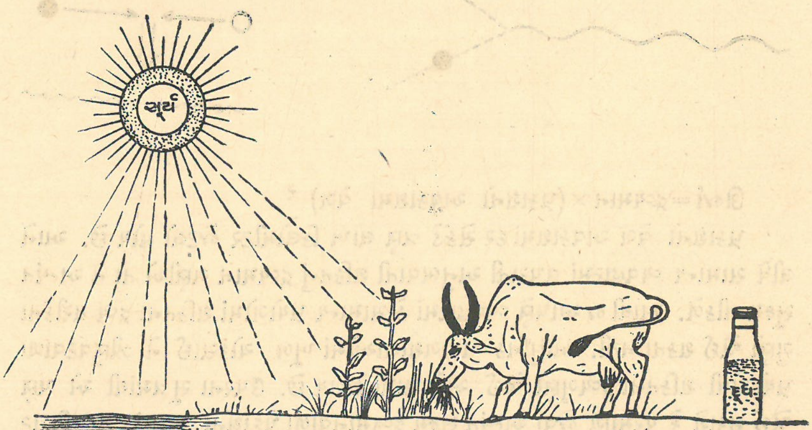
ઊર્જા = દ્રવ્યમાન × (પ્રકાશનો અવકાશમાં વેગ)^{2}

પ્રકાશનો વેગ અવકાશમાં દર સેકંડે ત્રણ લાખ કિલોમીટર જેટલો હોય છે. આને લીધે સામાન્ય વ્યવહારમાં વપરાતી અનુભવાતી શકિતનું દ્રવ્યમાન ગણીએ તો તે અત્યંત સૂક્ષ્મ નીકળે. આથી જ આપણે વ્યવહારમાં કે સામાન્ય પ્રયોગોમાં શકિતના દ્રવ્ય તરીકેના ગુણો જોઈ શકતા નથી. આધુનિક પ્રયોગશાળાઓમાં ખૂબ ચોકસાઈ ને ઝીણવટવાળા પ્રયોગોથી શકિતના દ્રવ્યગુણો જોઈ અને માપી શકાય છે. ઉપરના સૂત્રમાંથી એ પણ જોઈ શકાશે કે પરમાણુ જેવા અત્યંત સૂક્ષ્મ દ્રવ્યમાનવાળા પદાર્થના કણમાં પણ વિરાટ શકિત ભરેલી હોય છે. અલબત્ત, દ્રવ્યનું શકિતમાં રૂપાંતર થાય ત્યારે જ આ શકિત હાથ

લાગે. આ કામ ધારીએ તેવું સહેલું નથી. પરમાણુના ન્યુકિલયસના દ્રવ્યનો ઘણો જ નાનો ભાગ શકિતમાં પલટાઈ જાય છે એ જ પરમાણુશકિતની ઉત્પત્તિનું રહસ્ય છે. આપણે આગળ ઉપર આમ કેવી રીતે, કેવી પ્રક્રિયાઓમાં બને તે વિગતે જોઈશું.

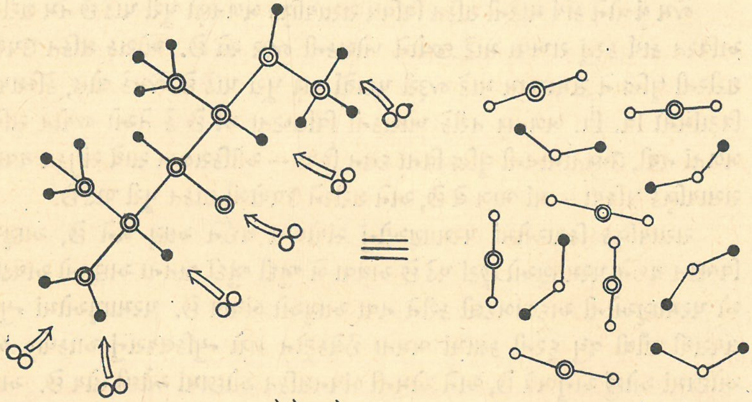
પદાર્થની સાથે સંલગ્ન શકિતનાં અનેક સ્વરૂપ હોઈ શકે. દોડતો દડો ગતિશકિત ધરાવે છે. જેવી ગતિ વધારે તેમ ગતિશકિત પણ વધારે. એ દડો બીજા દડા સાથે અથડાય અને એને ગતિમાં લાવે તો પ્રથમ દડો બીજા દડાને પોતાની ગતિશકિતનો અમુક ભાગ આપે છે. કોઈ પણ પદાર્થમાં — ભલે તે ઘન, પ્રવાહી, કે વાયુ સ્વરૂપમાં હોય — બધા જ અણુઓ સતત ગતિશીલ હોય છે. તે બધા નિરંતર ગતિમાં હોય છે, એક બીજા સાથે અથડાતા હોય છે, ગતિશકિતની આપલે કરતા હોય છે અને ઘન કે પ્રવાહી સ્વરૂપમાં અણુઓ વચ્ચેના બળને લીધે પદાર્થની સપાટી ઓળંગીને બહાર વીખરાઈ જતા નથી. પદાર્થનું ઉષ્ણતામાન એ એમાં રહેલા અણુઓની ગતિશકિતનું જ માપ છે. જેમ પદાર્થને ગરમ કરીએ તેમ અણુઓની ગતિશકિત વધે અને ઉષ્ણતામાન પણ વધે. ગરમી એ પણ શકિતનું જ સ્વરૂપ છે. દબાણ હેઠળની વરાળમાં ગરમીના રૂપમાં શકિત હોય છે. વરાળ-યંત્રમાં વરાળના અણુઓની ગતિશકિત યાંત્રિક ગતિશકિતમાં પલટાઈ જાય છે. આ યંત્રથી ડાયનેમો ચલાવવામાં આવે તો વળી એ યાંત્રિક શકિત વીજળી પ્રવાહ ઉત્પન્ન કરે, ઈલેકટ્રોન કણોને ગતિશકિત આપે. આમ વીજળી–શકિત પેદા થાય. વળી એ વીજ પ્રવાહ ધાતુના પાતળા તારમાંથી પ્રસાર થાય ત્યારે તારને ગરમ કરે. તારનું ઉષ્ણતામાન ઘણું વધી જાય તો એ પ્રકાશિત થાય, અને એમ શકિતનો કેટલોક ભાગ પ્રકાશના સ્વરૂપમાં ફેરવાઈને પ્રસરે.

સૂર્ય ઉપર પ્રકાશના સ્વરૂપમાં શકિતનો વિપુલ જથ્થો ઉત્પન્ન થાય છે. આ પ્રકાશ



પૃથ્વી ઉપર પડે છે અને મોટે ભાગે ગરમીના સ્વરૂપમાં ફેરવાઈ જાય છે. પૃથ્વી પરના જીવનવ્યવહાર માટે ઘણી જરૂરી ક્રિયા એ પ્રકાશનું વનસ્પતિ દ્વારા શોષણ છે. લીલી વનસ્પતિનાં પાંદડાં ઉપર સૂર્યપ્રકાશ પડે છે ત્યારે એ પ્રકાશનું શોષણ કરીને રાસાયણિક પ્રક્રિયા વાટે પોતાની વૃદ્ધિ માટે જરૂરી દ્રવ્યનું નિર્માણ કરે છે. અંગારવાયુ અને ભેજનું પ્રકાશ-શકિત વાપરીને સંયોજન થતાં સાકર, સ્ટાર્ચ, સેલ્યુલોઝ જેવાં સંયોજનો રચાય છે. આમ આપણું જીવન ટકાવી રાખવા જરૂરી અનાજ — ઘઉં, ચોખા, જાતજાતની દાળ વિ.— અને શાકભાજી તેમ જ લાકડું એ બધું સૂર્યપ્રકાશની શકિત વપરાઈને થતી રાસાયણિક ક્રિયાઓને આધારે બને છે: આ પદાર્થોમાં પ્રકાશની શકિત રાસાયણિક સ્વરૂપમાં ફેરવાઈને સંગ્રહિત થયેલી હોય છે.

બળતણમાં પણ શકિત રાસાયણિક સ્વરૂપમાં સંગ્રહાયેલી હોય છે. દહનક્રિયા થાય ત્યારે આ શકિત ગરમીના સ્વરૂપમાં બહાર આવે છે. પદાર્થના આણુઓ પરમાણુઓના સંયોજનથી બનેલા હોય છે. હાઈડ્રોજન અને ઑકિસજનના પરમાણુઓનું ચોકકસ નિયમ પ્રમાણે સંયોજન થાય — એક ઑકિસજનના પરમાણુ સાથે બે હાઈડ્રોજનના પરમાણુઓ સંધાય — ત્યારે પાણીના આણુઓ બને. પદાર્થના આણુમાં પરમાણુઓને



બળતણના આણુ પર પ્રાણવાયુના આણુઓનો હુમલો ≡ અંગારવાયુ + પાણીનાં આણુઓ + શકિત

બાંધી રાખવા માટે પણ શકિતની જરૂર તો પડે જ ને ? પરમાણુઓમાંથી આણુ રચવા માટે કોઈ પ્રકારની શકિત વાપરવી પડે. આ શકિત આણુમાંના પરમાણુઓની બંધનશકિત તરીકે આણુમાં સંગ્રહાઈ રહે. આપણે અગાઉ જોયું તેમ સૂર્યની પ્રકાશશકિત પાંદડાઓમાં બંધાતા આણુઓમાં સંગ્રહાઈ રહે. આ બંધનશકિત તે જ આણુઓની રાસાયણિક શકિત. યોગ્ય પ્રકારની રાસાયણિક ક્રિયાઓ વડે આ પરમાણુઓનાં બંધન શિથિલ થાય, પરમાણુ છૂટા પડે કે ઓછી બંધનશકિતની જરૂર વાળાં બીજા નવતર આણુઓમાં ફેરવાઈ જાય ત્યારે

આ બંધનશકિત કે રાસાયણિક શકિત ગરમીના સ્વરૂપમાં આપણને પાછી મળે. બળતણોની દહનક્રિયામાં સામાન્ય રીતે બળતણના પદાર્થનું હવામાંના ઓકિસજન સાથે સંયોજન થતાં બળતણનાં આણુઓનાં બંધન છૂટાં પડે છે, અને ઓછી બંધનશકિતવાળાં અંગારવાયુ અને પાણીનાં આણુઓ ઉત્પન્ન થાય છે. દહન એ આમ રાસાયણિક પ્રક્રિયા છે. એમાં રાસાયણિક શકિતનું વિમોચન થાય છે. વનસ્પતિના પદાર્થને — જેમકે લાકડાંને — દીવાસળી ચાંપવાથી તે સળગી ઊઠે છે, એનું ઉષ્ણતામાન એકદમ વધી જતાં એમાંથી જ્યોત નીકળે છે, સંગ્રહાયેલી રાસાયણિક શકિત ગરમીના રૂપમાં બહાર આવે છે, અને પાણી ને અંગારવાયુ ઉત્પન્ન થાય છે. અહીં યાદ રાખવું ઘટે કે મૂળ લાકડાની ઉત્પત્તિ ભેજ, અંગારવાયુ અને પ્રકાશશકિતમાંથી જ થયેલી હતી. આમ જ્યારે જ્યારે આપણે બળતણ વાપરીએ છીએ ત્યારે સૂર્યની મૂળ સંગ્રહાયેલી શકિતનો જ ખર્ચ કરીએ છીએ.

કોલસો, પેટ્રોલિયમ કે ભૂગર્ભમાંથી નીકળતા ગેસ જેવા બળતણમાં રહેલી રાસાયણિક શકિતનું મૂળસ્થાન પણ સૂર્ય જ છે. કોલસો એટલે અબજો કે કરોડો વર્ષો પૂર્વે પૃથ્વી પર જે વનસ્પતિ હતી તેના અસ્થિસમા અવશેષો. એ જ પ્રમાણે પેટ્રોલિયમ પણ વનસ્પતિજ કે પ્રાણીજ પદાર્થોના અવશેષ. કોલસો ને પેટ્રોલિયમ લાંબા કાળ સુધી જમીનના થરોના દબાણ હેઠળ રહેવાથી આજનું સ્વરૂપ પામ્યાં છે.

જેમ યંત્રોને કાર્ય માટેની શકિત વિવિધ રાસાયણિક બળતણો પૂરી પાડે છે તેમ શરીરને અવિરત કાર્ય કરતું રાખવા માટે જીવોને ખોરાકની જરૂર રહે છે. ખોરાક શકિત ઉપરાંત શરીરની વૃદ્ધિ ને સમારકામ માટે જરૂરી પદાર્થો પણ પૂરા પાડે છે જેમકે લોહ, કેલ્શિયમ, વિટામિનો વિ. વિ. બળતણ તરીકે ખોરાકની વિશિષ્ટતા એ છે કે તેઓ જ્યોત સહિત બળતાં નથી, ઉષ્ણતામાનની વૃદ્ધિ વિના દહન ક્રિયા — ઑકિસજન સાથે સંયુકત થવાની રાસાયણિક પ્રક્રિયા — માં ભાગ લે છે, અને શરીરને ઉપયોગી શકિત પૂરી પાડે છે.

રાસાયણિક ક્રિયાઓમાં પરમાણુઓનું સંયોજન થઈને આણુ બને છે, આણુઓ વિભકત થઈને પરમાણુઓ છૂટાં પડે છે અથવા બે જુદી જુદી જાતના આણુઓ અથડાતાં એ પરમાણુઓની અદલાબદલી કરીને નવા આણુઓ બંધાય છે. પરમાણુઓમાં ન્યુકિલયસથી સૌથી વધુ દૂરની કક્ષામાં ભમતા ઈલેકટ્રોન કણો ન્યુકિલયસનું આકર્ષણ બળ ઓછામાં ઓછું અનુભવે છે, અને એમની બંધનશકિત ઓછામાં ઓછી હોય છે. આવા ઈલેકટ્રોન કણો રાસાયણિક પ્રક્રિયામાં અગત્યનો ભાગ ભજવે છે. બે પરમાણુઓ વચ્ચે આવા ઈલેકટ્રોનની અદલાબદલી થવાથી રાસાયણિક બંધનો સર્જાય છે. આમ રાસાયણિક બંધનો પરમાણુના સૌથી ઉપરના સ્તરમાં આવેલા ઈલેકટ્રોન કણો વડે રચાયેલાં બંધનો છે. રાસાયણિક ક્રિયાઓમાં ઉત્પન્ન થતી શકિત આવા ઉપરના સ્તરના ઈલેકટ્રોનની ગોઠવણીમાં થતા ફેરફારમાંથી ઉદ્‌ભવે છે. આપણે કહી શકીએ કે રાસાયણિક શકિત— રોજિંદા સામાન્ય બળતણોમાંથી મળતી શકિત — પરમાણુના ઉપલા થરોને ખોતરવાથી મળતી શકિત છે. એ પણ પરમાણુશકિત તો છે જ, પણ અત્યાર સુધી એને એ નામે ઓળખવામાં આવી નથી. આપણે આગળ ઉપર જોઈશું કે જેને પરમાણુશકિત તરીકે

ઓળખવામાં આવે છે એ સાચેસાચ તો ન્યુકિલયસમાંથી ઉદ્‌ભવતી શકિત છે અને એને ન્યુકિલયસ શકિત કહેવી જોઈએ. સાચી પરમાણુશકિત તો રાસાયણિક શકિત જ છે જે માનવજાતે અગ્નિની શોધ કરી ત્યારથી અનેક સ્વરૂપમાં વાપરે છે જ. આપણે તો હાલ પ્રચલિત રૂઢિ પ્રમાણે પરમાણુશકિત એટલે ન્યુકિલયસમાંથી ઉત્પન્ન થતી શકિતની વાત કરીશું.

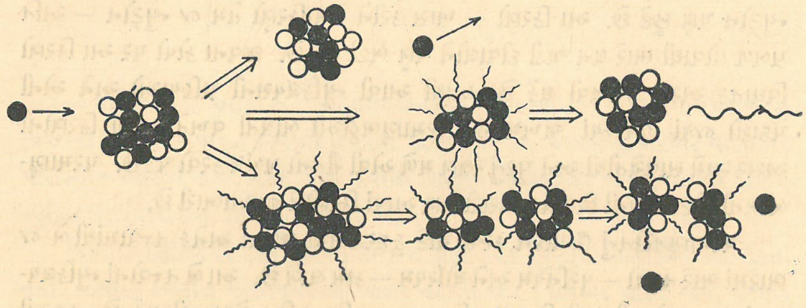
૩

ન્યુક્લિયસ બળતણ તરીકે

આપણે અગાઉ જોયું કે પરમાણુનું ન્યુક્લિયસ તો અતિસૂક્ષ્મ હોય છે અને એમાં પરમાણુનું બધું જ દ્રવ્ય સમાયેલું હોય છે. આમ ન્યુક્લિયસનું દ્રવ્ય અતિશય ઘટ્ટ હોય છે. ન્યુક્લિયસની ઘનતા પાણી કરતાં લાખ અબજ ગણી થાય ! પદાર્થને આટલો સઘન બનાવવા માટે કેટલું બળ વાપરવું પડે, કેટલી શકિત ખર્ચવી પડે ? આવા અત્યંત ઘન પદાર્થમાં અપાર શકિતનો સંગ્રહ હોય એમાં નવાઈ નહિ. ન્યુક્લિયસમાં પ્રોટોન રહેલા છે. બધા જ પ્રોટોન ધન વિદ્યુતભાર ધરાવે છે. વિદ્યુતશાસ્ત્રનો નિયમ એવો છે કે સમવિદ્યુતભારવાળાં બધાં જ કણો વચ્ચે અપાકર્ષણનું બળ હોય છે, એટલે કે ન્યુક્લિયસ-માંના બધાં જ પ્રોટોન એકબીજાને વધુ ને વધુ દૂર ધકેલવા જ પ્રયત્ન કરે. આથી ઊલટું પરમાણુની રચનામાં ધન વિદ્યુતભારવાળાં ન્યુક્લિયસ અને ઋણ વિદ્યુતભારવાળાં ઈલેકટ્રોન વચ્ચેનું આકર્ષણનું વિદ્યુતબળ મહત્ત્વનો ભાગ ભજવે છે અને પરમાણુના ઈલેકટ્રોનની બંધનશકિતનો સ્ત્રોત આ જ બળ છે. ન્યુક્લિયસના નાનકડા કદમાં અનેક ન્યુટ્રોન અને પ્રોટોન કણોને સાંકળી રાખનાર, બાંધી રાખનાર બળોને ન્યુક્લિયસ બળો કહેવામાં આવે છે. આ બળો ન્યુટ્રોનને ન્યુટ્રોન સાથે, પ્રોટોન ને પ્રોટોન સાથે ને ન્યુટ્રોન ને પ્રોટોન સાથે બાંધે છે. આ બળોનું સ્વરૂપ ને માત્રા વિદ્યુતબળો કે ગુરુત્વાકર્ષણનાં બળો કરતાં સાવ જુદાં જ હોય છે. બીજાં બળો કરતાં આ ન્યુક્લિયસનાં બળો ઘણાં શકિતશાળી હોય છે. આમ અણુમાં રહેલાં પરમાણુઓ વચ્ચેનાં બંધનો કે પરમાણુમાં ન્યુક્લિયસ અને ઈલેકટ્રોન વચ્ચેનાં બંધનો કરતાં ન્યુક્લિયસમાંના ન્યુટ્રોન-પ્રોટોન વચ્ચેનાં બંધનોમાં અનેકગણી વધુ શકિત સંગ્રહાયેલી હોય છે — હજાર, દસ હજાર કે લાખગણી વધુ. દહન-ક્રિયા જેવી રાસાયણિક ક્રિયાઓમાં બળતણનાં અણુઓ ભાગ લે ત્યારે રાસાયણિક શકિતનું વિમોચન થાય છે, એમ જ ન્યુક્લિયસ જયારે કેટલીક ક્રિયાઓમાં ભાગ લે (જેને ન્યુક્લિઅર પ્રક્રિયા કહી શકાય) ત્યારે એમાંથી ન્યુક્લિયર શકિતનું વિમોચન થઈ શકે. ન્યુક્લિયસમાંના બંધનોની ગાંઠ ઉકેલતાં આવડે તો શકિતનો પ્રબળ સ્ત્રોત પ્રાપ્ત થાય.

ન્યુક્લિયર શકિતના ઉત્પાદન માટે જે વિશિષ્ટ પ્રકારની પ્રક્રિયા વપરાય છે તે છે ન્યુટ્રોન વડે થતું ન્યુક્લિયસનું વિભાજન. જયારે ન્યુક્લિયસ સાથે શકિતશાળી કે પ્રવેગિત

કણો જેવાં કે ન્યુટ્રોન, પ્રોટોન કે આલ્ફાકણ અથડાય છે ત્યારે ન્યુક્લિયસમાં જાતજાતના ફેરફાર થાય છે. જ્યારે ન્યુટ્રોન દૂરથી ન્યુક્લિયસ પાસે આવે ત્યારે ન્યુક્લિયસનું આકર્ષક ન્યુક્લિયસ બળ એના પર અસર કરે છે. કેટલીક વાર ન્યુટ્રોન દૂરથી ધસમસતું દોડી આવે ત્યારે આકર્ષણબળને લીધે એની દિશા ને વેગ ફેરવાઈને એ બીજી તરફ વળી જાય એવું પણ બને છે. આવી ક્રિયાને ન્યુટ્રોનનું વિકિરણ કહેવામાં આવે છે. કોઈ વાર ન્યુક્લિયસના આકર્ષણને વશ થઈને ન્યુટ્રોન ન્યુક્લિયસમાં જ શોષાઈ જાય એમ પણ બને. આવે વખતે ન્યુટ્રોનની શકિત ન્યુક્લિયસને મળતાં તે ઉત્તેજિત અવસ્થામાં આવી જાય. પરિણામે અનેક પ્રકારની ક્રિયાઓ બની શકે. ફક્ત ગેમાકિરણનું ઉત્સર્જન કરીને ન્યુક્લિયસ એની પાયાની શાંત સ્થિતિમાં આવી જાય એમ બને. કોઈ વાર આવા ઉત્તેજિત ન્યુક્લિયસમાંથી પ્રોટોન કે આલ્ફાકણનું પણ ઉત્સર્જન થઈ શકે. મોટે ભાગે ન્યુટ્રોન શોષણની ક્રિયાને અંતે બનતું નવું ન્યુક્લિયસ કિરણોત્સર્ગી અને અસ્થાયી હોય છે. જ્યારે ઘણાં જ ભારે



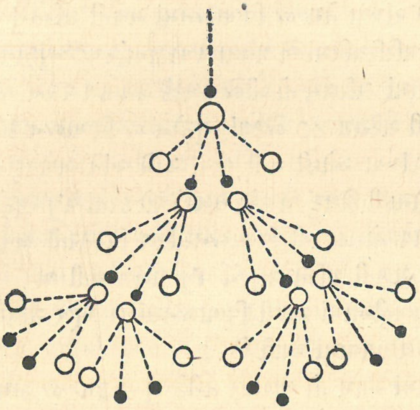
મોટા યુરેનિયમ કે થોરિયમ જેવા ન્યુક્લિયસમાં ન્યુટ્રોનનું શોષણ થાય ત્યારે એક વિલક્ષણ ઘટના બને છે. આવા ભારે ન્યુક્લિયસનું બે નાનાં, હલકાં ને લગભગ સરખાં વજનનાં ન્યુક્લિયસમાં વિભાજન થઈ જાય છે. આવી વિભાજનક્રિયામાં ઉત્પન્ન થતાં અંતિમ ન્યુક્લિયસનાં વજનનો સરવાળો મૂળ ન્યુક્લિયસના વજન કરતાં ઓછો હોય છે. બાકીનું દ્રવ્ય શકિતમાં પલટાઈ ગયેલું હોય છે. આમ તો ન્યુક્લિયસના વજનનો માંડ હજારમો ભાગ શકિતમાં રૂપાંતર પામે છે, પણ આઈન્સ્ટાઈનના સૂત્રમાં પ્રકાશના વેગનો આંકડો એટલો મોટો છે કે નાનકડા દ્રવ્યમાંથી મળતી શકિત પણ અત્યંત વિપુલ હોય છે. આમ ન્યુટ્રોન વડે થતી ન્યુક્લિયસની વિભાજન ક્રિયામાં પ્રચંડ શકિત છૂટી પડે છે.

બીજી એક ક્રિયામાંથી પણ ન્યુક્લિયસની શકિત મેળવી શકાય. જ્યારે હાઈડ્રોજન કે એના એક કે બે ન્યુટ્રોનવાળા આઈસોટોપનાં ન્યુક્લિયસનું સંયોજન થાય અને હિલિયમ કે લિથિયમ જેવાં સહેજ વધુ ભારે ન્યુક્લિયસ બંધાય ત્યારે પણ કેટલુંક વધારાનું દ્રવ્ય શકિત સ્વરૂપે છૂટું પડે છે. તારાઓમાં હાઈડ્રોજન વિશાળ પ્રમાણમાં હોય છે, અને તે જ

બળતણ તરીકે વપરાય છે. એના સંયોજનની ક્રિયામાં બીજા ભારે તત્ત્વો ઉત્પન્ન થાય છે ને આડપેદાશ તરીકે શકિત ગરમી, તેજ ને પ્રકાશના સ્વરૂપમાં ઉદ્‌ભવે છે. તારાઓના પ્રકાશનું મૂળ આમ ન્યુકિલયર શકિત છે. પૃથ્વી પર પણ દરિયાના પાણીમાં હાઇડ્રોજન અને એના આઈસોટોપનો વિશાળ સંગ્રહ છે. સિદ્ધાંત તરીકે આપણે જાણીએ છીએ કે એ વાપરીને પરમાણુશકિત ઉત્પન્ન થઈ શકશે. પણ કેટલીક વ્યાવહારિક મુશ્કેલીઓને લીધે આ ક્રિયા પૃથ્વી પર હજી વાપરી શકાય એવી સ્થિતિમાં આવી નથી. અનેક દેશોમાં આવી ન્યુકિલયસની સંયોજનક્રિયા સિદ્ધ કરવા માટે ખૂબ જોરદાર સંશોધન ચાલી રહ્યું છે. આ પુસ્તકમાં આપણે આ ક્રિયા વિષે ઝાઝી વાત નહિ કરીએ. હાલ તો પરમાણુશકિતના વ્યાવહારિક ઉપયોગ માટે યુરેનિયમની વિભાજન ક્રિયા જ પરમાણુભઠ્ઠીઓમાં વપરાય છે.

ન્યુકિલયસની વિભાજનક્રિયામાં ગતિ અને ગરમી સ્વરૂપે શકિત છૂટે છે એટલું જ નહિ પણ ઉત્પન્ન થતાં ન્યુકિલયસ પણ સામાન્ય રીતે ઘણાં ઉત્તેજિત અને અસ્થાયી સ્વરૂપમાં હોવાથી એમાંથી બીટા કે ગેમા કિરણો પણ છૂટે છે, તેમ જ બીજાં બે ત્રણ ન્યુટ્રોન પણ છૂટે છે. આ કિરણો — ખાસ કરીને ગેમાકિરણો તેમ જ ન્યુટ્રોન — અતિ પ્રબળ હોવાથી ભારે ઘન જાડી દીવાલોને પણ ભેદી શકે છે. જીવના કોષો પર આ કિરણો વિઘાતક અસર ઉપજાવી શકે છે. આથી આવી ન્યુકિલયસની પ્રક્રિયાઓ અને એની પેદાશો જ્યાં હોય ત્યાં જોખમ છે. પરમાણુભઠ્ઠીઓ બાંધતી વખતે આવાં કિરણોની અસર સામે સાવચેતીથી અને પૂરતું રક્ષણ મળે એવી રીતનો પ્રબંધ કરવો પડે છે. પરમાણુ-બૉંબની મોટાભાગની વિઘાતક અસરો પણ આવાં કિરણોને જ આભારી છે.

પરમાણુશકિતનું ઉત્પાદન કરવા માટે કુદરતમાંથી મળતાં અનેક તત્ત્વોમાંથી બે જ ભારેમાં ભારે તત્ત્વો — યુરેનિયમ અને થોરિયમ — કામ લાગે છે. આ બે તત્ત્વોનાં ન્યુકિલયસમાં જ ન્યુટ્રોનથી થતી વિભાજનક્રિયા વ્યાવહારિક શકિત પેદા કરી શકે છે. કુદરતી રીતે જે યુરેનિયમ ધાતુ મળી આવે છે તેમાં બે આઈસોટોપ હોય છે. આ બે જાતનાં પરમાણુઓનો વજન–અંક ૨૩૫ અને ૨૩૮ હોવાથી તે યુ–૨૩૫ અને યુ–૨૩૮ નામે ઓળખાય છે. કુદરતી યુરેનિયમમાં મોટે ભાગે યુ–૨૩૮ જ હોય છે, અને યુ–૨૩૫નું પ્રમાણ ઘણું ઓછું (૦.૭ ટકા જેટલું જ) હોય છે. પરંતુ પરમાણુશકિતના ઉત્પાદન માટે યુ–૨૩૫ જ ખરા મહત્ત્વનું છે. આ યુ–૨૩૫ના પરમાણુઓનાં ન્યુકિલયસ હવામાં ફરતા, ધીમી ગતિવાળા ન્યુટ્રોનનું શોષણ કરી શકે છે, વિભાજન પામે છે અને વિપુલ શકિત ઉત્પન્ન કરે છે. યુ–૨૩૮ના ન્યુકિલયસ મંદગતિવાળા ન્યુટ્રોનનું શોષણ બહુ ઓછા પ્રમાણમાં કરી શકે છે, ને તેમનું આવું વિભાજન થતું નથી. યુ–૨૩૫ના વિભાજનનું બેવડું મહત્વ છે. એક તો એમાંથી પ્રાપ્ત થતી શકિતને ગરમીના સ્વરૂપમાં ફેરવીને એના અનેક ઉપયોગ થઈ શકે. બીજું આવી વિભાજનક્રિયામાં એકથી વધુ ન્યુટ્રોન પણ ન્યુકિલયસમાંથી છૂટા પડે છે. આવા વધારાના ન્યુટ્રોન બીજાં યુ–૨૩૫ના ન્યુકિલયસ સાથે ભટકાઈને એનું વિભાજન કરે, એમાં નવા ન્યુટ્રોન છૂટાં પડે, વળી બીજી વિભાજન-ક્રિયા થાય, એમ અસ્ખલિત સાંકળ જેમ વિભાજનક્રિયા ચાલ્યા જ કરે, વધુ ને વધુ શકિત

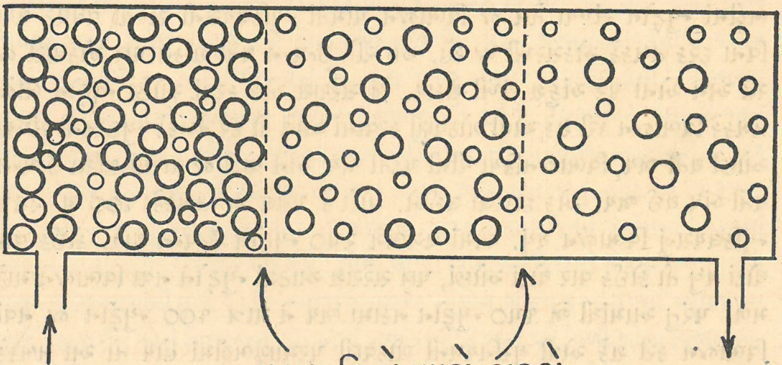


ઉત્પન્ન થતી જ રહે. આવી રીતે પરમાણુશકિતનું અવિરત—બધું જ યુ–૨૩૫ વપરાઈ ન જાય ત્યાં સુધી—ઉત્પાદન કરવાની શકયતા ઊભી થાય છે. અલબત્ત, ખરેખર વાસ્તવિક પરિસ્થિતિ આટલી સરળ નથી, પણ પાયાનો સિદ્ધાંત તો આટલો જ છે. આવી ક્રિયાને ન્યુકિલયસ વિભાજન સાંકળ કહેવામાં આવે છે.

વિભાજનસાંકળમાં દરેક તબકકે ઉત્પન્ન થતાં દરેક ન્યુટ્રોન વિભાજન કરી શકતાં નથી. કેટલાંક ન્યુટ્રોન યુરેનિયમમાંથી બહાર નીકળી જાય , હવામાં પ્રસરી જાય, કેટલાંક યુ–૨૩૮ ન્યુકિલયસમાં શોષાઈ જાય એવું પણ બને. આપણે આગળ જતાં વિગતવાર જોઈશું કે પરમાણુભઠ્ઠીમાં એવી રચના ને ગોઠવણી થઈ શકે કે દરેક તબકકે દરેક ન્યુકિલયસ-માંથી નીકળતાં ન્યુટ્રોનમાંનું એક જ ન્યુટ્રોન નવું વિભાજન કરી શકે. આમ થાય તો ભઠ્ઠીમાં ન્યુટ્રોન સંખ્યા તેમ જ વિભાજન પામતાં ન્યુકિલયસની સંખ્યા વધઘટ થયા વિના દરેક તબકકે એકસરખી જ રહે. આ રીતે ઉત્પન્ન થતી શકિત પણ એકધારી જ રહે અને એના પર અંકુશ રાખી શકાય. જો સરેરાશ એક કરતાં ઓછા ન્યુટ્રોન બીજે તબકકે વિભાજન કરી શકે એવી ગોઠવણી કરવામાં આવે તો દર તબકકે ન્યુટ્રોનની સંખ્યા ઓછી થતી જાય, વિભાજનક્રિયા ધીમી પડતી જાય, અને થોડી જ વારમાં શકિત ઉત્પન્ન થતી બંધ થઈ જાય. એક દાખલો લઈએ. ધારો કે પહેલે જ તબકકે ૧૦૦ યુ–૨૩૫ ન્યુકિલયસનું વિભાજન થયું. એમાં લગભગ ૨૫૦ ન્યુટ્રોન ઉત્પન્ન થાય. કોઈક વાર થોડાં વધુ તો કોઈક વાર થોડાં ઓછાં, પણ સરેરાશ આટલાં ન્યુટ્રોન નવા વિભાજન માટે મળે. પરંતુ આમાંથી જો ૧૫૦ ન્યુટ્રોન નકામા જાય ને માત્ર ૧૦૦ ન્યુટ્રોન જ નવાં વિભાજન કરી શકે એવી યુરેનિયમની ગોઠવણી પરમાણુભઠ્ઠીમાં હોય તો આ તબકકે વળી ૨૫૦ ન્યુટ્રોન ઉત્પન્ન થાય. આમ દર તબકકે સો જ વિભાજનક્રિયાઓ થાય,

અને કુલ ન્યુટ્રોન સંખ્યા તેમ જ વિભાજનમાં મળતી શકિતનું સાતત્ય જળવાઈ રહે. આથી જરા જુદી પરિસ્થિતિમાં જો પહેલા તબકકાના ૨૫૦ ન્યુટ્રોનમાંથી ફકત ૯૦ જેટલા જ વિભાજન ક્રિયામાં પરિણમે તો બીજે તબકકે લગભગ ૨૨૫ જેટલા જ ન્યુટ્રોન જન્મે અને એમાંથી વળી સરેરાશ ૮૦ જેટલાં ન્યુટ્રોન જ વિભાજન કરી શકે. આમ ઉત્પન્ન થતાં ન્યુટ્રોનની સંખ્યા ઓછી થતી જાય, અને અંતે બળતણની ક્રિયા મંદ પડીને બંધ થઈ જાય. એનાથી ઊલટું જો દરેક તબકકે સો કરતાં વધુ ન્યુટ્રોન વિભાજન કરી શકે એવી વ્યવસ્થા હોય તો ઝડપથી વિભાજનસાંકળ વિસ્તરતી જાય, ન્યુટ્રોન સંખ્યા વધે અને દરેક તબકકે મળતી શકિત વધુ ને વધુ પ્રબળ થતી જાય. આપણે આગળ ઉપર જોઈશું કે પરમાણુભઠ્ઠીઓમાં આવી વિભાજનસાંકળ ખૂબ સાવચેતીપૂર્વક અંકુશ અને નિયંત્રણ રાખીને ચલાવવામાં આવે છે.

પરમાણુભઠ્ઠીમાં આમ તો બળતણ તરીકે યુ–૨૩૫ જ કામ લાગે, પણ કુદરતમાં શુદ્ધ યુ–૨૩૫ મળતું નથી. કુદરતી યુરેનિયમમાં યુ–૨૩૫ નું પ્રમાણ બહુ જ ઓછું હોવાથી એને યુ–૨૩૮થી છૂટું પાડી શુદ્ધ સ્વરૂપમાં મેળવવું એ ઘણું મુશ્કેલ અને ખર્ચાળ બને છે. આથી સામાન્ય રીતે કેટલીક રાસાયણિક કે ભૌતિક ક્રિયાઓ વડે કુદરતી યુરેનિયમમાં જ યુ–૨૩૫નું પ્રમાણ થોડા અંશે વધારવામાં આવે છે. આવું યુ–૨૩૫નું પ્રમાણ વધારેલું ‘તવંગર’ યુરેનિયમ બળતણ તરીકે અણુભઠ્ઠીઓમાં વાપરવામાં આવે છે. યુરેનિયમના બંને આઈસોટોપના વજનમાં માત્ર એક ટકાનો જ તફાવત છે, બાકી બધી રીતે બંને તદ્દન સરખા જ છે, આથી બંને આઈસોટોપના પરમાણુ છૂટા પાડવાનું ઘણું જ મુશ્કેલ બને છે. સામાન્ય રીતે તે છૂટા પાડવાની વિવિધ રીતો આ પરમાણુઓના વજનમાં —એમાં રહેલા દ્રવ્યસમૂહમાં—જે સહેજસાજ ફેર છે તેનો લાભ ઉઠાવે છે. ગયા પ્રકરણમાં આપણે જોયું કે પદાર્થના પરમાણુઓની નિરંતર ગતિનું માપ તે ઉષ્ણતામાન. જેમ ઉષ્ણ-તામાન વધે તેમ પરમાણુઓની ગતિશકિત વધે. સરેરાશ દરેક પરમાણુની ગતિશકિત



સુક્ષ્મ છિદ્રોવાળો પડદો

સરખી જ હોય. આથી જે પરમાણુનું વજન કે દ્રવ્યમાન ઓછું હોય તેનો વેગ વધારે હોય અને તે થોડા સમયમાં વધારે દૂર સુધી પ્રસરી શકે. આ સિદ્ધાંતનો ઉપયોગ યુરેનિયમના બે આઈસોટોપ છૂટા પાડવા માટે કરવામાં આવે છે. યુરેનિયમનું ફ્લ્યુઓરીન તત્ત્વ સાથે સંયોજન થતાં યુરેનિયમ હેક્સાફ્લોરાઈડ વાયુ બને છે. આ વાયુને કરોડો સૂક્ષ્મ છિદ્રોવાળી મોટી દીવાલમાંથી પસાર કરવામાં આવે. બંને આઈસોટોપ વાળા વાયુનાં આણુઓ ધીરેધીરે છિદ્રોમાંથી પ્રસાર થતાં અવરોધક દીવાલની બીજી બાજુ આવે. યુ–૨૩૫નું વજન–સહેજ ઓછું હોવાને લીધે, અને બધાં જ આણુઓની ગતિશકિત એકસરખી હોવાથી (સરખું ઉષ્ણતામાન) હલકા આઈસોટોપવાળાં આણુઓનો વેગ વધુ, તે પ્રસરે વધુ ઝડપથી ને દીવાલને વેધીને વધુ પ્રમાણમાં બીજી બાજુ પહોંચે. આમ વાયુપ્રસરણની ક્રિયાથી છિદ્રોમાંથી પસાર થતાં વાયુમાં યુ–૨૩૫નું પ્રમાણ વધે. આ પ્રમાણે યુરેનિયમ હેક્સા ફ્લોરાઈડ વાયુને અનેક વાર સૂક્ષ્મ છિદ્રો કે નલિકાઓમાંથી પસાર કરવામાં આવે ત્યારે એમાં ઉત્તરોત્તર યુ–૨૩૫નું પ્રમાણ વધતું જાય. યુ–૨૩૫ને લગભગ શુદ્ધ સ્વરૂપે મેળવવા પણ આ જ રીતનો ઉપયોગ થઈ શકે.

યુ–૨૩૫ છૂટું પાડવા માટે બીજી પણ અનેક રીતો છે. આ બધી રીતોનું વિગતવાર વર્ણન નહિ કરીએ. એક રીત હમણાં હમણાં વ્યાવહારિક ધોરણે ઉપયોગમાં લેવાઈ છે. આ પદ્ધતિ કોઈ પણ ભારે અને હલકાં પ્રવાહી કે વાયુને છૂટાં પાડવા માટે વાપરી શકાય. ભારે તેમ જ હલકા પ્રવાહીનું મિશ્રણ આપણે એક મોટા વાસણમાં લઈને એ વાસણને જોરથી ગોળગોળ ઘુમાવીએ તો આણુઓ પર જે કેન્દ્રત્યાગી બળ કામ કરે તેને લીધે ભારે પ્રવાહી વાસણની કોર પાસેના ભાગ તરફ આવી જાય અને હલકું પ્રવાહી કેન્દ્રભાગમાં એકઠું થાય. આવી જ રીતે વાસણમાં યુરેનિયમ હેક્સાફ્લોરાઈડ વાયુને ભરીને મોટી ચક્રગતિથી ઘુમાવીએ તો યુ–૨૩૫ના આણુઓવાળો ભાગ પણ કેન્દ્રમાં એકઠો થાય. આવો કેન્દ્રમાં એકઠો થતો વાયુ છૂટો કાઢી લઈને ફરી બીજા વાસણમાં આવી જ શુદ્ધિકરણની ક્રિયા ફરી કરી શકાય. આમ વારંવાર ફરીફરી શુદ્ધિકરણ કરવાથી ઈચ્છિત પ્રમાણમાં યુ–૨૩૫નાં પરમાણુવાળો વાયુ એકઠો થઈ શકે.

પરમાણુભઠ્ઠીમાં વાપરવા માટે યુ–૨૩૫ સિવાય બીજાં કેટલાંક બળતણો પણ કૃત્રિમ રીતે બનાવી શકાય છે. પરમાણુભઠ્ઠીમાં વપરાતું બધું યુ–૨૩૮ સાવ નકામું છે એવું નથી. યુ–૨૩૫માંથી છૂટતા કેટલાક ન્યુટ્રોન કણો યુ–૨૩૮ના ન્યુક્લિયસમાં શોષાઈ જાય છે. પરિણામે યુ–૨૩૯ આઈસોટોપ બને છે. આ આઈસોટોપ અસ્થાયી અને કિરણોત્સર્ગી છે. થોડી જ મિનિટોમાં તે બીટા કિરણની ઉત્પત્તિ સાથે નેપ્ચ્યુનિયમ નામના તત્ત્વમાં ફેરવાઈ જાય છે. આ ન્યુક્લિયસ પણ અસ્થાયી છે અને થોડાક દિવસોમાં એ પણ બીટા કિરણ પેદા કરીને પ્લુટોનિયમ નામની નવી જ ધાતુના પરમાણુમાં ફેરવાઈ જાય છે. પ્લુટોનિયમ આઈસોટોપ પણ અસ્થાયી તો છે જ, પણ એનો જીવનકાળ હજારો વર્ષનો હોવાથી તે આપણે માટે સ્થાયી જેવું જ ગણી શકાય. આ પ્લુટોનિયમ ન્યુક્લિયસનું યુ–૨૩૫ જેમ જ વિભાજન થઈ શકે છે અને એમાંથી શકિત પ્રાપ્ત થઈ શકે છે.

પરમાણુભઠ્ઠીમાં વપરાયેલા યુરેનિયમમાંથી પ્લુટોનિયમ છૂટું પાડીને એને બળતણ તરીકે વાપરવા ઉપયોગમાં લઈ શકાય. પરમાણુભઠ્ઠીની આ એક અદ્ભુત ખૂબી છે કે એ જેમ યુરેનિયમ બળતણ વાપરતી જાય તેમ જ કેટલેક અંશે નવું બળતણ પણ સાથેસાથે જ ઉત્પન્ન કરતી જાય છે. પ્લુટોનિયમ છૂટું પાડવાની ક્રિયામાંતીવ્ર કિરણોત્સર્ગી પદાર્થનું પૃથ્થકરણ કરવાનું હોવાથી તે અઘરી ને જોખમી છે. મુંબઈમાં ટ્રોમ્બે ખાતે પ્લુટોનિયમ છૂટું પાડવા માટેનું નાનું કારખાનું બનાવવામાં આવ્યું છે. ઘણા ઓછા દેશોમાં આવી સગવડ હોય છે, અને અહીં એ સ્વદેશી પ્રયાસોથી જ શકય બન્યું છે એ આપણે માટે ગૌરવની વાત છે.

આપણા દેશમાં યુરેનિયમનું ઉત્પાદન ઝાઝું નથી, પરંતુ થોરિયમ ધાતુ વિશાળ પ્રમાણમાં મળે તેમ છે. કેરાળામાં દરિયાકાંઠે મળી આવતી રેતીમાં થોરિયમનું વિપુલ પ્રમાણ હોય છે. આ થોરિયમનું સામાન્ય આઈસોટોપ ૨૩૨ વજન અંક વાળું હોય છે, અને તે પણ યુ–૨૩૮ની જેમ બળતણ તરીકે પરમાણુભઠ્ઠીમાં વાપરવા માટે ખાસ કામનું નથી. પરંતુ જો આ સામાન્ય થોરિયમને યુરોનિયમ સાથે મિશ્ર કરીને પરમાણુ-ભઠ્ઠીમાં યોગ્ય રીતે ગોઠવવામાં આવે તો થોડા વખત પછી એ પણ 'રંધાઈને' એટલે કે યુ–૨૩૫માંથી નીકળતાં ન્યુટ્રોનનું શોષણ કરીને યુ–૨૩૩ નામના આઈસોટોપમાં પલટાઈ જાય છે. યુરેનિયમનું આ નવું આઈસોટોપ બળતણ તરીકેની ક્ષમતા ધરાવે છે. આપણું એ સદ્ભાગ્ય છે કે યુ–૨૩૫ના વિભાજનમાં એકથી વધુ ન્યુટ્રોન ઉત્પન્ન થાય છે જેથી એક વિભાજન સાંકળ ચાલુ રાખવા કામ લાગે ને બીજાનો પ્લુટોનિયમ કે યુ–૨૩૩ જેવું બળતણ ઉત્પાદન કરવા ઉપયોગ થાય. વૈજ્ઞાનિકો એવી પરમાણુ ભઠ્ઠીઓ બાંધવા માગે છે કે એમાં જેટલું બળતણ વપરાય તેટલું જ કે તેથી વધુયે બળતણ ઉત્પન્ન થઈ શકે. આવી ભઠ્ઠીઓને પ્રજનક-ભઠ્ઠીઓ કહેવાય. આપણા દેશમાં હાલ શરૂ થતી પરમાણુભઠ્ઠીઓમાં યુ–૨૩૫નો બળતણ તરીકે ઉપયોગ થાય છે, પણ ધીરેધીરે નવી બનનારી ભઠ્ઠીઓમાં થોરિયમ ઉમેરીને નવું બળતણ ઉત્પાદન કરવામાં આવશે. આ માટેનું જરૂરી સંશોધનકાર્ય હમણાં ચાલી રહ્યું છે.

માનવીને ઉપયોગી અન્ય બળતણોની જેમ ન્યુકિલયર બળતણો પણ જમીનમાંથી ખનીજ રૂપે મળે છે. પરંતુ આ બળતણોને ઉપયોગમાં લેતાં પહેલાં સારી એવી જહેમત ઉઠાવીને રાસાયણિક ને ભૌતિક ક્રિયાઓ દ્વારા તેનું શુદ્ધિકરણ કરવું જરૂરી થાય છે. યુરેનિયમ અને થોરિયમવાળાં ખનીજો દુર્લભ છે. ગત મહાયુદ્ધ પહેલાં તો એવાં ખનીજોનો ખાસ ઉપયોગ નહોતો. રંગીન કાચની બનાવટમાં લીલું —પીળું પ્રસ્ફુરણ આપવા માટે યુરે-નિયમ વપરાતું. પેટ્રોમેક્ષની બત્તીમાં મેન્ટલની બનાવટમાં થોરિયમ વપરાતું. આ શિવાય તો યુરેનિયમવાળા ખનીજમાંથી રેડિયમ કાઢવા માટે એની માંગ રહેતી અને આડપેદાશ તરીકે જ યુરેનિયમ કાઢવામાં આવતું. કેન્સર કે એવા રોગના નિવારણ માટે રેડિયમની ત્યારે ઘણી માંગ રહેતી. યુરેનિયમના પરમાણુ મંદ કિરણોત્સર્ગી હોય છે, અને લાંબે ગાળે ધીમેધીમે અનેક વચગાળાના તત્ત્વોમાં ફેરવાતાં ફેરવાતાં સીસામાં પરિણમે છે. આમાં

એક વચલા તબકકે રેડિયમના પરમાણુનું સર્જન થાય છે. આથી યુરેનિયમવાળા ખનીજમાં થોડુંક રેડિયમ હંમેશ રહેલું હોય છે.

યુરેનિયમનું એક ખનીજ પીચબ્લેન્ડ કહેવાય છે. એમાં યુરેનિયમ કાળા ઓકસાઈડ સ્વરૂપે આવેલું છે. આ ખનીજ મોટેભાગે ઝેકોસ્લાવેકિયામાં, ઝામ્બિયામાં અને કેનેડામાંથી મળી આવે છે. આપણે ત્યાં બિહાર રાજ્યમાં પણ યુરેનિયમવાળા ખનીજની ખાણો જડી છે. યુરેનિયમનું બીજું ખનીજ કાર્નોટાઈટ કહેવાય છે. આ મોટે ભાગે અમેરિકામાં કોલોરાડો નદીના પ્રદેશમાં તેમ જ ઓસ્ટ્રેલિયામાં મળી આવે છે. દક્ષિણ આફ્રિકાની સોનાની ખાણોમાં તેમ જ દક્ષિણ પૂર્વ અમેરિકામાં ફોસ્ફેટની ખાણોમાં પણ યુરેનિયમવાળી શિલાઓ મળે છે. આમાં યુરેનિયમનું પ્રમાણ ઘણું ઓછું હોવા છતાં એ પ્રમાણમાં ઓછે ખર્ચે કાઢી શકાય છે. આ ઉપરાંત પણ આમ તો યુરેનિયમ આછાપાતળા પ્રમાણમાં પૃથ્વીનાં પડોમાં ખૂબ વીખરાયેલું પડયું છે. પૃથ્વીની સપાટીના થરોમાં તે ચાંદી કરતાં સો ગણું વધુ વિપુલ છે એમ અડસટ્ટો છે. તે ઉપરાંત દરિયાના પાણીમાં પણ દર ઘન માઈલે બે પાંચ ટન જેટલું યુરેનિયમ હોય છે. પણ બધું જ યુરેનિયમ પૃથ્વીના પેટાળમાંથી કે સમુદ્રના પાણીમાંથી છૂટું પાડવું શકય નથી. આ ક્રિયા ઘણી ખર્ચાળ ને મુશ્કેલ પડે. છતાં પણ આજે જાણીતાં ને વાપરી શકાય એવાં ખનીજોમાં રહેલ યુરેનિયમમાંથી ઉત્પન્ન થઈ શકતી શકિત આપણી ભવિષ્યની જરૂરિયાતોને ઘણા દાયકાસુધી પૂરી પાડશે.

૪

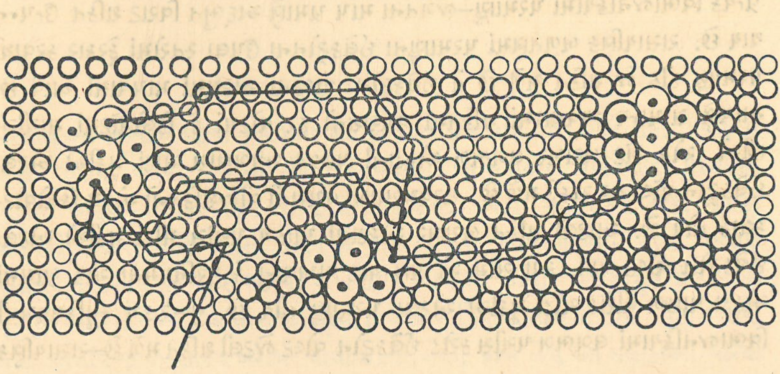
પરમાણુભઠ્ઠી

પરમાણુ બળતણ વાપરીને શકિત ઉત્પન્ન કરવા માટે ખાસ પ્રકારની પરમાણુ બનાવવી પડે. ક્ષમતાપૂર્વક વિપુલ શકિતનું ઉત્પાદન કરવા માટે પરમાણુભઠ્ઠીનું મ ઘણું છે, કારણ ઘણા જ થોડા બળતણમાંથી એ અકલ્પ્ય પ્રમાણમાં ઊર્જા મેળવી આ છે. એક કિલોગ્રામ યુ-૨૩૫ બળતણ વાપરીને લગભગ ૩૦ લાખ કિલોગ્રામ કોલસાંથી મળતી શકિતનું ઉત્પાદન થાય. આ બધી શકિત મોટે ભાગે તો ગરમીના સ્વરૂપમાં મળે, તેને વાપરીને પાણીની વરાળ ઊંચા દબાણ હેઠળ બનાવી શકાય. વરાળના ઉપયોગથી યંત્રો ચલાવાય, વીજળી પેદા કરાય, કે મકાનો ગરમ કરી શકાય. પરમાણુભઠ્ઠીમાં વારંવાર બળતણ ઉમેરવું પડતું નથી. વર્ષે, બે વર્ષે એકાદ વાર જૂનું 'રંધાયેલું' બળતણ કાઢી લઈને નવું બળતણ ઉમેરવું પડે. આપણા દેશમાં જ્યાં કોલસા કે તેલ જેવું બળતણ દૂર દૂરથી લાવવું પડે છે ત્યાં પરમાણુભઠ્ઠીઓ બાંધવાથી સહેલાઈથી સસ્તી વીજળીશકિત ઉત્પન્ન થઈ શકે. આમ વીજળીશકિત પર આધારિત નવા ઉદ્યોગો ખીલે, ખેતીવાડીમાં જરૂરી પાણી ઉલેચવા, પંપ ચલાવવા વીજળી મળે, અને શહેરોના વસવાટોમાં જોઈતી વીજળી પણ પ્રાપ્ત થાય.

પરમાણુભઠ્ઠીમાં જાતજાતનાં કૃત્રિમ તત્ત્વો — એમાંનાં ઘણાં કિરણોત્સર્ગી સ્વરૂપમાં— પણ બહોળા પ્રમાણમાં ઉત્પન્ન થાય છે. ભઠ્ઠીની શકિતનું જેટલું મહત્ત્વ છે તેટલું જ આ આડપેદાશોનું પણ છે. તે દવાદારૂમાં, ખેતીમાં, ઉદ્યોગોમાં, વિવિધ સંશોધનોમાં અનેક રીતે ઉપયોગી થઈ પડે છે. આ બધી વાતો આપણે આગળ જોઈશું.

છેલ્લાં પચીસ વર્ષમાં તો દુનિયાના અનેક દેશોમાં જાતજાતની પરમાણુભઠ્ઠીઓ બંધાઈ છે. ફકત વીજશકિત ઉત્પાદન કરવા માટે જ નહિ, પણ જહાજો ચલાવવા માટે, અથવા પ્લુટોનિયમ કે યુ-૨૩૩ (થોરિયમમાંથી) પેદા કરવા માટે ખાસ પ્રકારની ભઠ્ઠીઓ બાંધવામાં આવી છે. રેલ્વેનાં એંજિન કે ચંદ્રયાનને વહી જતા વિરાટ રોકેટને માટે પણ પરમાણુભઠ્ઠી રચવાના પ્રયાસ થઈ રહ્યા છે. એપોલો ચંદ્રયાનના પ્રવાસીઓ ચંદ્ર પર કેટલીક નાનકડી પ્રયોગશાળાઓ ગોઠવી આવ્યા છે, તેને ચાલુ રાખવા જરૂરી શકિત પણ નાનકડી પરમાણુભઠ્ઠીઓ જ પૂરી પાડે છે.

હવે આપણે પરમાણુભઠ્ઠીની રચનાનો થોડો પરિચય મેળવીએ. યુરેનિયમની વિભાજન-સાંકળ કેવી રીતે શકિત આપે છે તે અગાઉ જોયું. એમાં હવે થોડીક વિગતો ઉમેરવાની જરૂર છે. યુ–૨૩૫ના ન્યુકિલયસનું વિભાજન કરવા માટે ગમે તે ન્યુટ્રોન ખપ લાગતું નથી. આ ક્રિયા માટે અમુક ચોકકસ શકિત ધરાવતા, અમુક જ વેગવાળા ન્યુટ્રોન કણોની જરૂર પડે છે. જો ન્યુટ્રોનની શકિત કે વેગ સહેજ વધુ કે ઓછી હોય તો વિભાજન-ક્રિયા થાય નહિ, ને ન્યુટ્રોન સાથેની અથડામણ વિફળ જાય. યુ–૨૩૫ના વિભાજનમાં ઉત્પન્ન થતા આડપેદાશ તરીકેના ન્યુટ્રોન બહુ ઝડપી હોય છે, વિભાજન માટે જરૂરી કરતાં ઘણા વધુ વેગવાળા હોય છે. આમ આ ન્યુટ્રોનને વિભાજન માટે અસરકારક બનાવવા માટે ધીમા પાડવા પડે. આ માટે પરમાણુબળતણ સાથે બીજા કોઈ તત્ત્વનું મિશ્રણ કરવું પડે છે. ન્યુટ્રોન આવા બીજા તત્ત્વના પરમાણુઓ સાથે અથડાય ત્યારે એમની ગતિમાં ઘટાડો થાય છે. વારંવાર આવી અથડામણ થવાથી એમનો વેગ ઝડપથી મંદ થાય છે. ગતિશાસ્ત્રના સામાન્ય નિયમો મુજબ આવું બીજું તત્ત્વ જેમ વધારે હલકું હોય તેમ એ વધુ ઝડપથી અને વધુ પ્રમાણમાં ન્યુટ્રોનનો વેગ ધીમો પાડી શકે. આવા તત્ત્વને અંગ્રેજીમાં ‘મોડરેટર’ કહેવામાં આવે છે, ગુજરાતીમાં અપવેગક કહી શકાય. હાઇડ્રોજનના પરમાણુ હલકામાં હલકા હોવાથી તે પાણીના સ્વરૂપમાં અપવેગક તરીકે વાપરી શકાય. આમાં એક મુશ્કેલી એ છે કે હાઈડ્રોજનના ન્યુકિલયસ પ્રોટોન સાથેની અથડામણ થતાં પ્રોટોન ન્યુટ્રોનને શોષી લે, પોતાની સાથે બાંધી રાખે એવી શકયતા સારા એવા પ્રમાણમાં હોય છે. ન્યુકિલયર બળોની આવી વિચિત્રતાને લીધે હાઇડ્રોજનની ક્ષમતા અપવેગક તરીકે ઘણી હોવા છતાં પરમાણુભઠ્ઠીમાં અતિકીમતી ન્યુટ્રોન એ ચોરી લેતું હોવાથી એ ઝાઝું વપરાતું નથી. અપવેગક તત્ત્વ એવું જોઈએ કે હલકું હોવા છતાં તે ન્યુટ્રોનનું શોષણ કરતું ન હોય. આવા ગુણ ભારે હાઈડ્રોજન (જેના ન્યુકિલયસ ડયુટેરિયમમાં એક પ્રોટોન અને એક ન્યુટ્રોન હોય છે), ગ્રેફાઈટ સ્વરૂપમાં કાર્બન કે બેરિલિયમમાં હોય છે, અને તે તત્ત્વો પરમાણુભઠ્ઠીમાં અપવેગક તરીકે વપરાય છે. ગ્રેફાઈટ શુદ્ધ સ્વરૂપમાં, મોટા જથ્થામાં ને પ્રમાણમાં સસ્તો હોઈ સુપ્રાપ્ય છે.



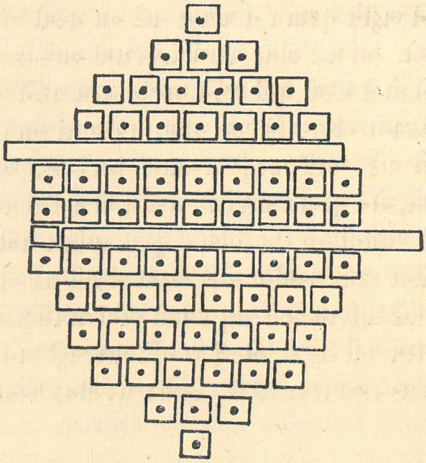
આમ પરમાણુભઠ્ઠીના કેન્દ્રમાં યુરેનિયમ જેવું બળતણ ને ગ્રેફાઈટ કે ભારે પાણી જેવું અપવેગક રહેલાં હોય છે. ન્યુટ્રોન કણ ઉપર વીજભાર હોતો નથી એટલે પ્રોટોન કે આલ્ફાકણ કરતાં પદાર્થમાં તે પ્રબળ ભેદનશકિત ધરાવે છે. આમ યુ–૨૩૫ના વિભાજનમાં ઉત્પન્ન થતા ન્યુટ્રોનમાંથી કેટલાક તો ભઠ્ઠીના હૃદયમાંથી સીધા બહાર નીકળી જવાના ને ખોવાઈ જવાના. જેમ બળતણ તથા અપવેગકનો જથ્થો વધુ મોટો તેમ પ્રમાણમાં ઓછા ન્યુટ્રોન-કણો બહાર ખોવાઈ જશે. આમ પરમાણુભઠ્ઠીમાં ગોઠવેલા બળતણ કે અપવેગક નો જથ્થો ઓછામાં ઓછો અમુક કદનો તો જોઈએ જ, એથી ઓછો હોય તો ઘણા બધા ન્યુટ્રોન બહાર નીકળી જાય ને વિભાજનસાંકળ ખીલે નહિ. ન્યુટ્રોનનો આવી જાતનો વ્યય ઓછો કરવા પરમાણુભઠ્ઠીમાં બળતણ અને અપવેગકની ચારે બાજુ એવો પદાર્થ ગોઠવવામાં આવે છે કે જે બહાર નીકળી જતાં ન્યુટ્રોનને પાછાં વાળે. આવા પદાર્થને "ન્યુટ્રોન અરીસો" કહી શકાય. એના પરમાણુઓ સાથે અથડાતાં ન્યુટ્રોન પાછાં વળે છે અને પુન: બળતણમાં પ્રવેશે છે.

પરમાણુભઠ્ઠીમાં ન્યુટ્રોન કણોની સંખ્યા બહુ જ મહત્ત્વની છે. એ પૂરતી હોય તો જ વિભાજન સાંકળ ચાલુ રહે અને પૂરતી ઊર્જા ઉત્પન્ન થાય. આપણે અગાઉ જોયું તેમ અપવેગકનાં પરમાણુઓ થોડે અંશે તો ન્યુટ્રોનનું હરણ કરી લેવાનાં. યુ–૨૩૮માં કેટલાંક ન્યુટ્રોન શોષાઈ જવાનાં. તે ઉપરાંત કેટલાંક ન્યુટ્રોન ભઠ્ઠીની બહાર નીકળી વેરાઈ જાય. અપવેગક કે બળતણ જેવા પદાર્થો સો ટકા શુદ્ધ તો હોતા જ નથી. એમાં થોડી અશુદ્ધિ સ્વરૂપે બીજાં કેટલાંક તત્ત્વોનાં પરમાણુ રહેલાં હોય જ. એ બધા પણ ન્યુટ્રોનને ચોરી લેવામાં થોડો ભાગ ભજવે. આમ પરમાણુભઠ્ઠીમાં બહુ કાળજીપૂર્વક અટપટી અને સંકુલ ગણત્રીઓ કર્યા પછી બળતણ, અપવેગક વિ. ની ગોઠવણી તેમજ જથ્થાનું માપ નક્કી કરવું પડે છે, અને તેમની રચના ન્યુટ્રોનના જમા—ઉધાર હિસાબ માટે બહુ જ સંભાળપૂર્વક કરવી જરૂરી બને છે.

સામાન્ય રીતે પરમાણુભઠ્ઠીમાં ન્યુટ્રોન ઓછામાં ઓછા વેડફાય, વધુમાં વધુ યુ–૨૩૫ના વિભાજન માટે પ્રાપ્ય બને એ માટે ખૂબ મહેનત ને સંભાળ લેવામાં આવે છે. પ્રત્યેક વિભાજનક્રિયામાં પરમાણુ–જગતના માપ પ્રમાણે અદ્‌ભુત વિરાટ શકિત ઉત્પન્ન થાય છે. રાસાયણિક બળતણમાં પરમાણુના ઈલેક્ટ્રોનના ઉપલા સ્તરોમાં ફેરફાર કરવાથી પરમાણુ દીઠ જે શકિત મળે છે તે ઈલેક્ટ્રોન વોલ્ટના એકમમાં માપવામાં આવે છે. આપણે સામાન્ય વ્યવહારમાં શકિતના વપરાશનો દર વૉટમાં કે કિલોવૉટમાં માપીએ છીએ. એક વૉટ બરાબર લગભગ એકડાની પાછળ ઓગણીસ મીંડાં મૂકીએ એટલા ઈલેક્ટ્રોન વૉલ્ટ દર સેકંડે મળે છે. ઘરવપરાશમાં વપરાતી વીજશકિતનો એકમ કિલોવોટ-કલાક હોય છે. આટલી શકિત બરાબર એકડાની પાછળ પચીસ મીંડાં મૂકીએ એટલા ઈલેક્ટ્રોન વોલ્ટ થાય. આ સામે એ પણ યાદ રાખવાનું કે યુરેનિયમના એક ગ્રામમાં એકડા પાછળ વીસેક મીંડાં મૂકીએ એટલા પરમાણુ હોય છે. યુ–૨૩૫ ન્યુક્લિયસની વિભાજનક્રિયામાં લગભગ પચીસ કરોડ ઈલેક્ટ્રોન વોલ્ટ જેટલી શકિત મળે છે—રાસાયણિક

ક્રિયામાં મળે તે કરતાં કરોડો ગણી ! આથી સ્હેલાઈથી સમજાશે કે યુરેનિયમના એક ગ્રામનું પૂરુ વિભાજન થઈ શકે તો કેટલા વિપુલ પ્રમાણમાં શકિતનું ઉત્પાદન થઈ શકે.

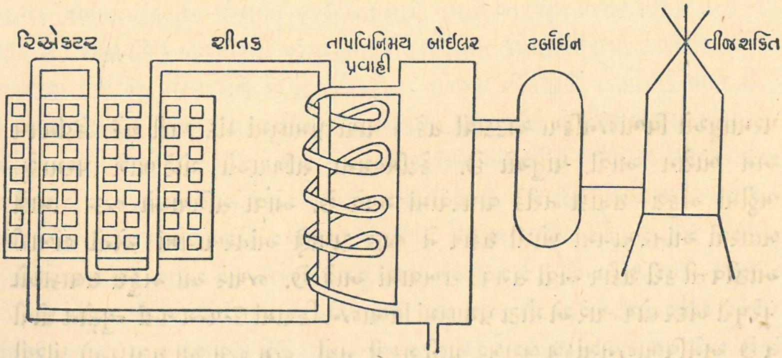
પરમાણુભઠ્ઠીમાં આટલી બધી શકિત ઉત્પન્ન થતી હોય ત્યારે એના ઉપર પૂરતો અંકુશ રાખવો પણ બહુ જરૂરી બને છે. ન્યુટ્રોન સંખ્યા પર અંકુશ ન રહે અને એ વધવા માંડે તો ઝડપથી ઉત્પન્ન થતી શકિતનું પ્રમાણ પણ વધે ને ઘડીના છઠ્ઠા ભાગમાં પરમાણુભઠ્ઠી ફાટે. ન્યુટ્રોન સંખ્યાના નિયમન માટે પરમાણુભઠ્ઠીમાં અંકુશ—શલાકાઓ રાખવામાં આવે છે. કેટલીક ધાતુઓ એવી હોય છે કે વિભાજન કરી શકે એવા ધીમા ન્યુટ્રોન કણોનું એ વિપુલ પ્રમાણમાં શોષણ કરી લે છે. પરિણામે આવી ધાતુના પરમાણુ કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપ બની જાય એ ખરૂં, પણ પોતાનો ભોગ આપીને ન્યુટ્રોન ચૂસી લઈને આ



પરમાણુઓ વિભાજનક્રિયા અટકાવી શકે કે ધાર્યા પ્રમાણમાં મંદ પાડી શકે. કેડમિયમ અને બોરોન આવી ધાતુઓ છે. કેડમિયમના સળિયાઓ મોટે ભાગે પરમાણુભઠ્ઠીમાં અંકુશ—શલાકા તરીકે વાપરવામાં આવે છે. આવા સળિયાઓ જરૂર પ્રમાણે બહારથી આંતરભાગમાં ખોસી શકાય ને જરૂર પ્રમાણે આંતરભાગમાં એની લંબાઈ ઓછીવત્તી કરી શકાય એવી સગવડ રાખવામાં આવે છે. જયારે આ અંકુશ શલાકાઓ પૂરેપૂરી અંદર હોય ત્યારે એ મોટા પ્રમાણમાં વિભાજન ક્રિયામાં ઉત્પન્ન થતાં ન્યુટ્રોન શોષી લે છે અનેવિભાજનસાંકળ બરાબર ચાલી શકતી નથી. જેમ જેમ આ શલાકાઓ ધીરેથી

બહાર ખેંચતા જઈએ તેમ તેમ ભઠ્ઠીમાં ન્યુટ્રોનનું પ્રમાણ વધતું જાય છે, વિભાજન પ્રક્રિયા વધુ પ્રબળ બનતી જાય છે અને ધારેલા અંતર સુધી શલાકાઓ ભઠ્ઠીમાં ખોસેલી રાખવાથી ઈચ્છિત સ્તર પર વિભાજનસાંકળ ચાલુ રાખી શકાય છે. આમ કેડમિયમ શલાકાઓનો ઉપયોગ કરીને ધારેલા વેગથી પરમાણુભઠ્ઠીમાં શક્તિ ઉત્પન્ન થઈ શકે. સહીસલામતીના પગલા તરીકે ભઠ્ઠીમાં એવી રચના કરવામાં આવે છે કે સ્વયંસંચાલિત સાધનો વડે ભઠ્ઠીમાં હાજર ન્યુટ્રોન કણોની સંખ્યાનું માપ સતત લેવાતું જ રહે, અને એની વધઘટ થાય તેમ આપોઆપ અંકુશ-શલાકાનું પણ હલનચલન થતું રહે જેથી ન્યુટ્રોન સંખ્યા નિર્ણિત માપથી વધુ કે ઓછી થાય નહિ.

પરમાણુભઠ્ઠીની પ્રાથમિક પેદાશ શક્તિ છે. પ્રથમ તો આ શક્તિ મુખ્યત્વે વિભાજનમાં ઉત્પન્ન થતા ન્યુક્લિયસના ટુકડાઓની ગતિશક્તિ તરીકે વ્યક્ત થાય છે. પરમાણુઓની ગતિશક્તિનું મોટા પાયા પર અભિવ્યક્ત થતું સ્વરૂપ એ જ ગરમી. આમ પરમાણુભઠ્ઠીના હાર્દમાં પ્રચંડ ગરમી ઉત્પન્ન થાય છે. આ ગરમીને લીધે ભઠ્ઠીનું ઉષ્ણતામાન ઘણું વધી જાય અને ભઠ્ઠીને નુકશાન ન થાય તે માટે આ ગરમી ખેંચી લેવા માટે કોઈક ગોઠવણ કરવી જોઈએ. આ માટે શીતક પદાર્થ વાપરવામાં આવે છે. ભઠ્ઠીમાં ભારે દબાણ હેઠળ હવા મોકલીએ તો તે ગરમી ચૂસી લઈને અત્યંત ગરમ થઈને બહાર આવે. કેટલીક વાર ભારે દબાણ હેઠળનો અંગારવાયુ પણ આમ વાપરવામાં આવે છે. કોઈ પરમાણુભઠ્ઠીઓમાં નળીઓ વાટે પાણી ફરતું રાખવામાં આવે છે, આ પાણી ઊકળીને વરાળ રૂપે બહાર આવે, એને પૂરતા દબાણ હેઠળ રાખીને બીજા યંત્રો ચલાવવામાં ઉપયોગમાં લઈ શકાય. હવા કે પાણીનો આ રીતે ઉપયોગ પૂરતો કાર્યક્ષમ નથી. ઊંચા ઉષ્ણતામાને ઊકળે એવું અને નાના કદમાં ગરમીનો મોટો જથ્થો સંગ્રહી શકે એવું કોઈ પ્રવાહી વધુ કામમાં આવે. આ માટે સોડિયમ જેવી ધાતુ પ્રવાહી રૂપમાં વાપરી શકાય. શીતક પરમાણુભઠ્ઠીને વધુ પડતી ગરમ થતી રોકે છે, એટલું જ નહિ પણ ભઠ્ઠી અને વીજશક્તિ ઉત્પન્ન કરનાર આખરી યંત્ર વચ્ચે આવશ્યક કડી છે. કેટલીક વાર શીતક પરમાણુભઠ્ઠીના હાર્દમાંથી



પસાર થતું હોવાથી ન્યુટ્રોનનો મારો સહન કરે છે (આમ શીતક પણ બને તેટલાં ઓછાં ન્યુટ્રોન શોષી લે એવું હોવું જોઈએ), અને સ્વયં કિરણોત્સર્ગી બને છે, આવા કિરણોત્સર્ગી પદાર્થને વીજઉત્પાદન કરનાર યંત્રોમાં સીધો જવા ન દેવાય. આથી આવું હોય ત્યારે શીતક અને વીજઉત્પાદક યંત્રો વચ્ચે વળી એક કડી રૂપ તાપવિનિમય માટે બીજું દ્રવ્ય વાપરવું પડે છે. આ દ્રવ્ય શીતકમાંથી ઉષ્ણતા વહી જાય છે જ્યારે કિરણોત્સર્ગી શીતક ઠંડુ થઈને પાછું ભઠ્ઠીમાં પ્રવેશે છે.

પરમાણુભઠ્ઠીમાં માત્ર શકિત જ ઉત્પન્ન થાય છે એવું નથી. એમાં અનેક પ્રકારના કિરણોત્સર્ગી પદાર્થો પણ ઉત્પન્ન થાય છે. એમાંથી આલ્ફા, બીટા કે ગેમા–કિરણોનું ઉત્સર્જન થાય. ભઠ્ઠીમાં ન્યુટ્રોન તો હંમેશ વીખરાયેલાં હોય જ. ન્યુટ્રોન તેમ જ ગેમા–કિરણોની પદાર્થને વીંધીને આરપાર નીકળી જવાની ભેદનશકિત ઘણી પ્રબળ હોય છે. આવાં કિરણો ભઠ્ઠીની બહાર આવીને બીજા પદાર્થોના પરમાણુ ન્યુક્લિયસ પર પડે ત્યારે ખતરનાક અસર ઉપજાવે છે, અસહ્ય કિરણોત્સાર ઉપજાવે છે. જો આ કિરણો જીવકોષ પર પડે તો તેની અસર જીવ માટે વિઘાતક બને. આથી ન્યુટ્રોન તેમ જ ગેમા - કિરણો સામે રક્ષણ માટે પરમાણુ ભઠ્ઠીની આજુબાજુ મજબૂત જાડી રક્ષક દીવાલ બાંધવી જોઈએ. આ માટે સામાન્ય રીતે બે–ત્રણ મીટર જાડી કોન્ક્રીટની ભીંત ભઠ્ઠીની આજુબાજુ ચણી લેવામાં આવે છે. જ્યાં વિકિરણોનો વધુ ભય હોય ત્યાં ગજવેલનાં કે સીસાંનાં પતરાં પણ વપરાય. આ રક્ષક દીવાલની જરૂરિયાત નાનકડી પરમાણુભઠ્ઠીઓ બાંધવામાં વ્યાવહારિક મુશ્કેલી ઊભી કરે છે. ભઠ્ઠી ભલે ગમે તેટલી નાની હોય પણ આસપાસ જાડી રક્ષક દીવાલ તો જોઈએ જ. આને લીધે ભઠ્ઠીનું કદ અને ભાર ખૂબ જ વધી જાય. આથી વિમાન કે રોકેટ હાંકવા માટે કે ઘરવપરાશ પૂરતી વીજળી પ્રાપ્ત કરવા માટે નાની પરમાણુ ભઠ્ઠી બાંધી શકાય પણ એની રક્ષક ઢાલનું વજન ને કદ એને અવ્યવહારૂ બનાવી મૂકે.

પરમાણુભઠ્ઠીની વિશિષ્ઠતાઓ અને એનાં વિવિધ અંગો આપણે જોયાં. સામાન્ય શકિત ઉત્પાદક વ્યવસ્થામાં રાસાયણિક બળતણો વાપરીને ગરમી પેદા કરવામાં આવે છે અને તેનાથી વરાળ ઉત્પન્ન કરીને ટર્બાઈન જેવાં યંત્રો ચલાવી વીજશકિત ઉત્પન્ન થાય છે. પરમાણુભઠ્ઠીમાં ગરમી ઉત્પન્ન કરવા ન્યુક્લિયસની વિભાજનક્રિયા વપરાય એટલું જ, બાકી શીતક કે તાપવિનિમય કરતું દ્રવ્ય ગરમીને બહાર ખેંચી લાવે પછીની વ્યવસ્થા તો સામાન્ય વીજઉત્પાદક યંત્રો જેવી જ હોય છે.

પરમાણુભઠ્ઠીઓની રચના ઉપર હજીયે ખૂબ સંશોધન જુદા જુદા દેશોમાં થઈ રહ્યું છે, અને તે માટે બળતણ, અપવેગક, શીતક વિ. તરીકે જુદા જુદા પદાર્થો ને જુદી જુદી ગોઠવણીઓ અજમાવવામાં આવે છે. એક રચનામાં ક્ષારોનું પાણીમાં દ્રાવણ તૈયાર કરવામાં આવે છે. આ દ્રાવણ તરવા માટે બાંધવામાં આવતા હોજમાં ભરવામાં આવે છે, અને તેમાં વિભાજનક્રિયા ચાલે છે. આમાં પાણી અપવેગક, શીતક તેમ જ રક્ષક ઢાલ તરીકે કામ આપે છે. મુંબઈમાં ટ્રોમ્બે ખાતે પ્રથમ બંધાયેલી "અપ્સરા" નામની ભઠ્ઠી આ

પ્રકારની છે. પાણીમાં યુરેનિયમ જેવા બળતણના સળિયા પણ ગોઠવીને ભઠ્ઠી બનાવી શકાય. બળતણ તરીકે સામાન્ય રીતે યુરેનિયમના—કુદરતી અથવા યુ–૨૩૫નું પ્રમાણ કૃત્રિમ રીતે વધારેલા તવંગર—સળિયા વપરાય છે. ગ્રેફાઈટ જેવા અપવેગકનાં મોટાં ગચિયાંમાં કાણાં પાડીને આ સળિયા ગોઠવવામાં આવે. ગ્રેફાઈટ—યુરેનિયમના આવા સમૂહોને ચોકક્સ ગણત્રી પ્રમાણેની ભૂમિતિમાં ગોઠવવા જોઈએ. ગ્રેફાઈટને બદલે ભારે હાઇડ્રોજન (ડ્યુટેરિયમ)નું બનાવેલું "ભારે" પાણી પણ વપરાય છે.

ભારતને માટે ખાસ ઉપયોગી પરમાણુભઠ્ઠી તે બળતણવર્ધક ભઠ્ઠી છે. આમાં શક્તિ ઉત્પાદન કરવા સાથે જ યુ–૨૩૮નું પ્લુટોનિયમમાં રૂપાંતર કરવું કે થોરિયમનું યુ–૨૩૩માં રૂપાંતર કરવું ખૂબ જ મહત્ત્વનું છે. આવી ભઠ્ઠીઓ જેટલું બળતણ વાપરે તેટલું જ કે તેથીયે વધુ બળતણ ઉત્પન્ન કરે–માટે બળતણવર્ધક ભઠ્ઠી કહેવાય. હજી આવી ભઠ્ઠીઓની રચના પ્રાયોગિક સ્વરૂપમાં છે અને તેને પૂરી વ્યાવહારિક સ્વરૂપે વિકસાવતાં વાર લાગશે. મદ્રાસ પાસે કાલપકકમમાં પ્રાયોગિક રીતે આવી ભઠ્ઠી બાંધવાનો ભારતના આણુશક્તિપંચનો ઈરાદો છે. સામાન્ય ભઠ્ઠી કરતાં આ બે રીતે જુદી પડી આવે. સામાન્ય પરમાણુભઠ્ઠીમાં વધુમાં વધુ શક્તિ ઉત્પાદન કરવાની ક્ષમતા સિદ્ધ કરવા માટે બને તેટલાં વધુ ન્યુટ્રોન યુ–૨૩૫ના વિભાજન માટે મળે એવી વ્યવસ્થા કરવામાં આવે છે. આથી યુ–૨૩૮માં નિરર્થક રીતે બને તેટલાં ઓછાં ન્યુટ્રોન શોષાય તેવી ગોઠવણી કરવી જરૂરી બને છે. આથી ઊલટું બળતણવર્ધક ભઠ્ઠીમાં વિભાજન સાંકળ ચાલુ રાખવા પૂરતાંજ જરૂરી ન્યુટ્રોન યુ–૨૩૫ને મળે, અને વધારાનાં ન્યુટ્રોનમાંથી બને તેટલાં યુ-૨૩૮માં શોષાય એવી ગોઠવણ કરવી પડે. અહીં શક્તિનું ઉત્પાદન ગૌણ બની જાય છે. વિભાજનસાંકળ ચાલુ રહે અને યુ–૨૩૮ પ્લુટોનિયમમાં ફેરવવા માટે ન્યુટ્રોન પૂરાં પાડતી રહે એ જ મહત્ત્વનું બની રહે છે. બીજું, યુરેનિયમ બળતણનો પૂરેપૂરો લાભ લેવા માટે, શક્તિ બને તેટલી વધુ અને સસ્તી પ્રાપ્ય બને તે માટે યુરેનિયમ બળતણ પરમાણુભઠ્ઠીમાં પૂરે પૂરું વપરાઈ રહે ત્યાં સુધી રાખવું જોઈએ. આ દરમિયાન પ્લુટોનિયમનો જથ્થો એકઠો થવા માંડે, વધવા માંડે. પરંતુ જેમ જેમ યુ–૨૩૮માંથી પ્લુટોનિયમ બનતું જાય તેમ તેમ ધીરેધીરે ન્યુટ્રોન એની સાથે અથડાવાથી એ પણ વિભાજનક્રિયામાં ભાગ લેતું થાય. એક તરફથી ન્યુટ્રોન અને યુ–૨૩૮ પ્લુટોનિયમ ઉત્પન્ન કરે, બીજી બાજુ ન્યુટ્રોનના મારાથી પ્લુટોનિયમ બળતણ તરીકે વપરાવા પણ માંડે. આમ પરમાણુભઠ્ઠીમાં શરૂઆતમાં પ્લુટોનિયમનો જથ્થો વધે, પણ અમુક સમય પછી વળી તે ઓછો થવા માંડે, વપરાવા માંડે. વધુમાં વધુ પ્લુટોનિયમ પ્રાપ્ત કરવું હોય તો યુરેનિયમના સળિયા યુ–૨૩૫નો પૂરેપૂરો ઉપયોગ થઈ રહે તે પહેલાં જ બહાર કાઢી લેવા પડે, અને નવું બળતણ ઉમેરવું પડે. આમ પ્લુટોનિયમ–સંવર્ધક ભઠ્ઠીમાં યુરેનિયમ બળતણનો પૂરેપૂરો ઉપયોગ થઈ શકતો નથી, પણ પ્લુટોનિયમની અગત્ય ઘણી વધારે હોવાથી એટલો ભોગ આપવો જરૂરી બને છે.

૫

પરમાણુશકિતનું વ્યવહારિક મહત્ત્વ

કોઈ પણ દેશની આર્થિક સમૃદ્ધિ એમાં ઉદ્યોગોની ખીલવણી કેટલે અંશે થઈ છે તે ઉપર આધાર રાખે છે. ઊદ્યોગો માટે ઊર્જા જોઈએ, પાવર જોઈએ. ઉર્જા મેળવવાનાં સામાન્ય સાધનો કોલસો, પેટ્રોલિયમ, કુદરતી રીતે ભૂગર્ભમાંથી મળતો વાયુ, જળપ્રપાત (કુદરતી કે કૃત્રિમ) વિ. છે. આજે અનેક આંકડાઓથી સાબિત થયું છે કે જેમ કોઈ પણ દેશમાં શકિતનું ઉત્પાદન અને વપરાશ વધારે તેમ એ દેશની સમૃદ્ધિ પણ વધુ. શકિત ઉત્પાદનના આંકડાઓ જોતાં જુદા જુદા દેશો વચ્ચેની વિષમતા તરત જ નજરે ચઢે એવી છે. દરેક દેશ પોતાના લોકોનું જીવનધોરણ ઊંચું લાવવા મથે છે, માથા દીઠ આવક વધારવા ઈચ્છે છે. આ માટે સૌથી પ્રથમ શકિતનો પુરવઠો વધારવો જોઈએ. ખેતીવાડી માટે પણ, પાણી કૂવામાંથી કાઢવા ને સીંચવા, રાસાયણિક ખાતરો કે જંતુઘ્ન દવાઓનું ઉત્પાદન કરવા શકિતની જરૂર તો પડે જ. ખેતી સુધરે તો પૂરતો ખોરાક લોકોને મળે, તંદુરસ્તી સુધરે, પ્રજાની કાર્યક્ષમતા વધે. પણ આવાં શકિત પ્રાપ્તિનાં સાધનો પૃથ્વી પર મર્યાદિત પ્રમાણમાં જ છે. ઘણા દેશોમાં તો આવાં સાધનોની ભારે ઊણપ વર્તાય છે. પૃથ્વીનો સરેરાશ ઔદ્યોગિક વિકાસ જો આજની જેમ જ વધતો રહે તો આ બધાં રાસાયણિક બળતણોનો પુરવઠો પૃથ્વી પરથી થોડાક દાયકાઓમાં જ નષ્ટ થઈ જાય. આથી ભવિષ્યમાં લાંબા સમય સુધી શકિત ઉત્પાદન કરવા માટે માનવજાતને યુરેનિયમ અને થોરિયમ જેવાં પરમાણુબળતણ ઉપર જ આધાર રાખવો પડશે. આપણે જોયું તેમ પરમાણુબળતણ ઘણા સઘન સ્વરૂપમાં શકિતનો સ્ત્રોત છે. કોલસાના વેગનોની આખી એક માલગાડી દેશને એક છેડેથી બીજે છેડે લઈ જવા કરતાં એકાદ ટન યુરેનિયમ લઈ જવું ઘણું વધારે સરળ અને સસ્તું તેમ જ ઝડપી બને, અને ઘણી વધુ શકિત આપે. વળી પરમાણુભઠ્ઠીમાં વારંવાર સતત બળતણ ઉમેરવું પડતું નથી એ પણ એક મોટો ફાયદો છે. એક વાર પરમાણુભઠ્ઠી ચાલુ કર્યા પછી લાંબો સમય બીજી કોઈ મુશ્કેલી વગર તે સતત એકધારી શકિતનું ઉત્પાદન કરતી રહે છે. પરમાણુભઠ્ઠી આપોઆપ પ્લુટોનિયમ કે યુ–૨૩૩ જેવું નવું બળતણ પણ પેદા કરતી રહે છે, એટલું જ નહિ પણ આપણે આગળ જોઈશું કે પરમાણુબળતણની “રાખ” પણ અત્યંત કીમતી અને ઉપયોગી છે, કારણ એમાં અનેક પ્રકારનાં

કિરણોત્સર્ગી દ્રવ્યો હોય છે, અને તે છૂટાં પાડીને વિવિધ રીતે ઉપયોગમાં લઈ શકાય છે.

પરમાણુભઠ્ઠીમાં ઉત્પન્ન થતી શકિત શરૂઆતમાં મોંઘી લાગે. પરમાણુબળતણની કિંમત રાસાયણિક બળતણો કરતાં ઘણી વધુ. વળી ભઠ્ઠીમાં તીવ્ર કિરણોત્સાર હોવાથી એનું નિયમન અને અંદર કોઈ પણ હલનચલન માટેની વ્યવસ્થા દૂરથી જ સ્વયંસંચાલિત યંત્રો વડે કરી શકાય એવી ગોઠવણ કરવી પડે. ભઠ્ઠીની આજુબાજુ રક્ષક દીવાલ બાંધવાનો પણ ખર્ચ આવે. પણ આ બધા ખર્ચ સામે બળતણની લાંબો સમય ટકવાની ક્ષમતા, યુરેનિયમ વપરાયા પછી પણ એમાં ઉત્પન્ન થતું નવું બળતણ, નવાં કિરણોત્સર્ગી દ્રવ્યો અને તેમની કિંમત એવા બીજા ફાયદા પણ ધ્યાનમાં લેવા જોઈએ. આજે પરમાણુશાસ્ત્ર એટલું વિકસ્યું છે કે જ્યાં સામાન્ય રાસાયણિક બળતણો સ્હેલાઈથી અને સસ્તાં પ્રાપ્ય નથી ત્યાં તો પરમાણુશકિત આર્થિક દૃષ્ટિએ પણ વ્યવહારુ જ લાગે. ભવિષ્યમાં જેમ આ વિજ્ઞાન વધુ ને વધુ વિકસશે તેમ પરમાણુશકિત ઉપર જ બધા દેશ આધાર રાખતા થઈ જશે. શરૂઆતમાં પરમાણુભઠ્ઠીઓ નાના પાયા ઉપર બંધાતી. જેમ જેમ એના બાંધકામ અને સંચાલનનો વધુ અનુભવ મળતો ગયો તેમ તેમ વધુ મોટા પાયા પર આવી ભઠ્ઠીઓ બંધાય છે. તારાપુર ખાતેની અણુભઠ્ઠી બે ભાગમાં બંધાયેલી છે, અને દરેક ભાગ લગભગ બસો મેગાવોટ જેટલો પાવર ઉત્પન્ન કરે છે. ભવિષ્યમાં પાંચસો કે હજાર મેગાવોટ ઉત્પન્ન કરે એવાં મોટાં પરમાણુ શકિતનાં મથકો બંધાશે. જેમ મોટા પાયા પર શકિતનું ઉત્પાદન થાય તેમ તે વધારે સસ્તી પડશે. એક ઠેકાણે વીજળીનો મોટો જથ્થો પેદા કરીને તેને તાર વાટે દૂરદૂર સુધી ભારે દબાણ હેઠળ લઈ જવાનું સરળ પડે. આખા દેશ માટે એકસૂત્રી વીજશકિતનું વિતરણ કરવાની જાળ રચવી અને તેમાં કેટલાંક મુકરર કરેલાં સ્થળોએ મોટા પાયા પર વીજળી ઉત્પાદન કરીને ઠાલવવી એ વ્યવહારૂ બની રહેશે.

ઘણા દેશોમાં મીઠા પાણીની તંગી વર્તાય છે. જેમ વસ્તી વધતી જાય, ઉદ્યોગો અને કારખાનાં વધતાં જાય, ખેતી વધતી જાય તેમ વધુને વધુ મીઠા પાણીની જરૂર પડવાની. પરંતુ મીઠા પાણીનો ભૂગર્ભમાં સંગ્રહાયેલો જથ્થો પણ મર્યાદિત જ હોય છે. આથી ખારા પાણીને મીઠું બનાવવા અનેક નુસખાઓ અજમાવાય છે. આવી પદ્ધતિઓમાં પણ મૂળે તો શકિતની જ જરૂર પડે. મોટા પાયા પર પરમાણુશકિત પ્રાપ્ય હોય તો એની સાથે ખારા પાણીને મીઠું બનાવવાનું કારખાનું પણ જોડી દેવાય. આમ કરવાથી પરમાણુભઠ્ઠીમાં બનેલી વરાળનો ઉપયોગ થઈ શકે છે, અને મીઠું પાણી બનાવવાની પદ્ધતિ સસ્તી પડે છે. આપણા અણુશકિતપંચે એક એવી યોજના ઘડી છે કે એમાં હજાર કે એથીયે વધુ મેગાવોટ વીજળી ઉત્પન્ન કરતી પરમાણુભઠ્ઠી સાથે દરિયાનું પાણી મીઠું બનાવવાનું કારખાનું જોડી દેવું. મીઠા પાણીનો ઉપયોગ ખેતી માટે થાય, ખેતીની પેદાશ ઉદ્યોગો માટે વપરાય. દરિયાના પાણીમાંથી છૂટાં પડેલાં રાસાયણિક દ્રવ્યો પણ ઉદ્યોગોમાં વાપરી શકાય. આવા ઉદ્યોગો ચલાવવા માટે જરૂરી વીજળી પણ પરમાણુભઠ્ઠી જ પૂરી પાડે. આવી સર્વગ્રાહી યોજના પ્રજાની આબાદીનો પાયો નાંખી શકે. ગુજરાતમાં સાગરકાંઠે આવી યોજના આકાર લઈ શકે.

પરમાણુભઠ્ઠીમાં ન્યુટ્રોન, ગેમાકિરણો વિ. પદાર્થના પરમાણુઓના બંધારણમાં મૂળભૂત ફેરફારો કરી નાખે એવાં વિકિરણો ઉત્પન્ન થાય છે. એની અસર ભઠ્ઠી બાંધવા માટે જે કોઈ પદાર્થો ઉપયોગમાં લઈએ તે પદાર્થો પર થવાની જ. એટલે ભઠ્ઠી બાંધતાં પહેલાં જુદા જુદા પદાર્થો પર થતી આવાં વિકિરણોની અસરનો પદ્ધતિસર વૈજ્ઞાનિક અભ્યાસ કરવો પડે. આવી શોધખોળની સગવડ માટે ઘણી પરમાણુભઠ્ઠીઓમાં એવી વ્યવસ્થા રાખવામાં આવે છે કે ન્યુટ્રોન જેવા કણોનો પ્રબળ પ્રવાહ એક નળીમાં ઠાલવવામાં આવે, અને તે પ્રવાહ જુદા જુદા પદાર્થો પર પડે. પાછળથી આ પદાર્થોને પ્રયોગશાળામાં લઈ જઈ, તેમનું વિશ્લેષણ કરી ન્યુટ્રોનની અસરો માપી શકાય. પરમાણુભઠ્ઠીઓ બાંધ-વાની શકયતા ઊભી થઈ ત્યારથી આમ એક નવા જ પ્રકારનું પદાર્થવિજ્ઞાન અસ્તિત્વમાં આવ્યું છે. ન્યુટ્રોનના આઘાતની અસરથી પદાર્થના બંધારણ વિષે બીજી રીતે દુષ્પ્રાપ્ય એવી ઘણી માહિતી મેળવી શકાય છે. વળી પરમાણુઉદ્યોગને લીધે નવા ગુણધર્મોવાળી સાવ નવી જ સંમિશ્ર ધાતુઓ ઉત્પન્ન કરવાનું વૈજ્ઞાનિકોને પ્રોત્સાહન મળ્યું છે. દાખલા તરીકે ઝિર્કોનિયમ અને એની મિશ્ર ધાતુઓની જરૂર પરમાણુભઠ્ઠીમાં પડે છે એવી પહેલાં કદીયે નહોતી પડી.

અહીં એક વાત ફરી ધ્યાનમાં લેવી જોઈએ કે ન્યુકિલયસની વિભાજન ક્રિયામાં યુરેનિયમના કુલ દ્રવ્યનો એક દશાંશ ટકા જેટલો જ ભાગ શકિતમાં ફેરવાઈ જાય છે. બાકીનું મોટા ભાગનું દ્રવ્ય તો વિભાજનમાં ઉત્પન્ન થતાં બે નાનકડાં ન્યુકિલયસમાં હોય છે. આટલા ઓછા પ્રમાણમાં દ્રવ્યનું શકિતમાં રૂપાંતર થવા છતાં આટલા વિપુલ પ્રમાણમાં શકિતનું ઉત્પાદન થાય તો વધુ અંશે દ્રવ્યનું રૂપાંતર થાય એવી કોઈ પરમાણુશકિતક્રિયા હાથ આવે તો પરમાણુશકિતનું ઉત્પાદન ખૂબ જ વધે. આવા પ્રયત્નો થાય છે અને થતા રહેશે. વળી પરમાણુભઠ્ઠીમાં ગરમીનું પહેલાં વરાળ બનાવવા માટે ને પછી તે વાટે વીજશકિત પેદા કરવામાં રૂપાંતર થાય છે. એ ક્રિયા બહુ ક્ષમતા ધરાવતી નથી. આમાં ઘણી શકિત વેડફાય છે અને પરમાણુમાંથી ઉત્પન્ન થતી શકિતના માંડ પચીસ ટકા વીજ-શકિત સ્વરૂપે પ્રાપ્ત થાય છે. જો પરમાણુશકિતને સીધી જ વીજળીમાં ફેરવી શકાય તો શકિતનો ઘણો બચાવ થાય. આ દિશામાં પણ અનેક સંશોધનો ચાલુ જ છે.

વાહનવ્યવહાર માટે પરમાણુશકિતનો ઉપયોગ થઈ શકે તો ઘણા જ ફાયદા થાય. પરમાણુભઠ્ઠીને જરૂરી રક્ષક આવરણને લીધે તેનું કદ ને વજન એટલાં વધી જાય છે કે વાહનો માટે એનો વ્યાપક ઉપયોગ શકય બન્યો નથી. ભવિષ્યમાં કયારેક ઘણે દૂર જતી, ઘણી લાંબી અવકાશયાત્રાઓ માટે પરમાણુશકિત વપરાશે ખરી. હાલ તો એનો વ્યાવહા-રિક ઉપયોગ કેટલાંક જહાજોમાં જ થયો છે. અમેરિકાએ સૌ પ્રથમ "નૉટિલસ" નામની સબમરીનમાં પરમાણુભઠ્ઠી ગોઠવી. આમાં યુ–૨૩૫નું પ્રમાણ વધારેલું સમૃદ્ધ યુરેનિયમ બળતણ વપરાય છે, અને સાદું પાણી અપવેગક તેમ જ શીતક તરીકે ઉપયોગમાં લેવાય છે. લશ્કરી દૃષ્ટિએ આવી નૌકાના ફાયદા દેખીતા છે. સામાન્ય જહાજ જેમ વારંવાર બળતણ લેવા કોઈ બંદર શોધવું ન પડે. લાંબો સમય, લાંબા અંતર સુધી એ સ્વતંત્ર

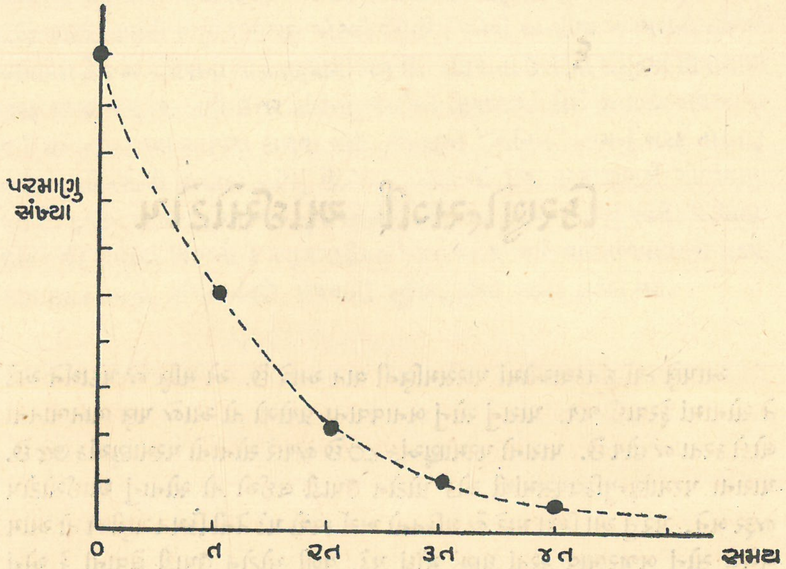
મુસાફરી કરી શકે. રાસાયણિક બળતણની જેમ પરમાણુબળતણને પ્રાણવાયુની જરૂર નહિ એટલે હવાની જરૂરિયાત પણ એટલી ઓછી . એવી જ બીજી સબમરીનો હવે તો અમેરિકા તેમ જ રશિયાના નૌકાકાફલામાં પણ છે. રશિયાના ઉત્તરના સમુદ્રમાં શિયાળામાં બરફ થીજી જાય છે. તેથી ઉત્તર કાંઠાનાં બંદરોએ શિયાળામાં કોઈ જહાજી અવરજવર થઈ શકે નહિ. આ આપદા ટાળવા માટે રશિયાએ "લેનિન" નામનું બરફ તોડનારૂં જબરૂં શકિતશાળી જહાજ બાંધ્યું છે. આ જહાજમાં પણ પરમાણુભઠ્ઠી ગોઠવવામાં આવી છે, અને એ આખા એક વર્ષ સુધી સ્હેલાઈથી સ્વતંત્ર દરિયામાં ફરતું રહેશે. પરમાણુ-શકિત વડે ચાલતાં વિમાનો કે આગગાડીઓ શકય બનશે ત્યારે વાહનવ્યવહારની ઝડપ, માલવાહક ક્ષમતા, લાંબાં અંતરો કાપવાની સુવિધા એવા અનેક ફાયદા થશે.

૬

કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપ

આપણે ત્યાં દંતકથાઓમાં પારસમણિની વાત આવે છે. એ મણિ જે પદાર્થને અડે તે સોનામાં ફેરવાઈ જાય. પારાનું સોનું બનાવવાના પ્રયોગો તો આજે પણ ભાતભાતના લોકો કરતા જ હોય છે. પારાનો પરમાણુઅંક ૮૦ છે જ્યારે સોનાનો પરમાણુઅંક ૭૯ છે. પારાના પરમાણુન્યુકિલયસમાંથી એક પ્રોટોન ઉપાડી લઈએ તો સોનાનું આઈસોટોપ જરૂર બને. પરંતુ આ ક્રિયા માટે જે શકિતનો ખર્ચ કરવો પડે તેની કિંમત ગણીએ તો આમ બનેલું સોનું બજારભાવ કરતાં ઘણું મોંઘું પડે. વળી પ્રોટોન ઉપાડી લેવાની કે એનું ન્યુટ્રોનમાં રૂપાંતર કરવાની ક્રિયા કંઈ સહેલી નથી, અને સાદી રાસાયણિક પ્રક્રિયાઓ વડે તો એમ થઈ જ ન શકે. વળી આવી રીતે બનાવેલું સોનાનું આઈસોટોપ પરમાણુ મોટે ભાગે અસ્થાયી અને કિરણોત્સર્ગી નીવડે, જેથી એનો પ્રાપ્તિઆનંદ પણ ક્ષણજીવી જ રહે.

પરમાણુભઠ્ઠી વીસમી સદીના પારસમણિ જેવી છે. એમાં પારાનું સોનું તો બનતું નથી, પણ અનેક પ્રકારનાં નૈસર્ગિક રીતે અપ્રાપ્ય એવાં કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપ બનાવી શકાય છે, અને આવાં આઈસોટોપ ખૂબ ઉપયોગી નીવડયાં છે. જ્યારે યુરેનિયમ ન્યુકિલયસનું વિભાજન થાય છે ત્યારે એના વિભકત થયેલા બે નાના ટુકડામાં પ્રોટોન કરતાં ન્યુટ્રોનનું પ્રમાણ ઘણું વધારે હોય છે. આથી આવાં પેદા થયેલાં ન્યુકિલયસ કિરણોત્સર્ગી હોય છે અને વારંવાર બીટા અને ગેમા કિરણોનું ઉત્સર્જન કરીને આખરે કોઈક સ્થાયી ન્યુકિલયસમાં પરિણમે છે. ન્યુકિલયસમાંથી કિરણોત્સાર એ આપોઆપ બનતી ક્રિયા છે. કિરણોત્સાર થતાં પહેલાં એ કેટલું ટકે છે તે ઉપરથી ન્યુકિલયસના અસ્થાયીપણાનું માપ નીકળે પરંતુ કિરણોત્સારની ક્રિયા સંભાવ્યતાના નિયમો મુજબ બને છે. કોઈ પણ કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપનાં સો પરમાણુઓ લઈએ તો બધાં એક સાથે જ કિરણોત્સાર કરે એવું બનતું નથી. કોઈ પરમાણુ વહેલા કિરણોત્સાર કરે તો કોઈ મોડા. આપણે આ પરમાણુઓનું અવલોકન કરીએ તો જણાશે કે અમુક સમય પછી સોમાંથી પચાસ જ પરમાણુ બચ્યા હશે. વળી એટલા જ સમય પછી જોઈએ તો એમાંથી અડધાં એટલે કે પચીસ જ બચ્યાં હશે. આમ પરમાણુઓનો ચોકકસ જથ્થો લઈએ તો એમાંથી અડધાં બાકી રહે અને અડધાં કિરણોત્સાર કરી રહે એ સ્થિતિએ પહોંચતાં હંમેશાં અમુક ચોકકસ સમય જાય. આ



સમયને અર્ધજીવનકાળ કહી શકાય, અને તે જ ન્યુક્લિયસના અસ્થાયી પણાનું માપ છે.

યુરેનિયમના વિભાજનમાં ઉત્પન્ન થતાં કિરણોત્સર્ગી પરમાણુઓને છૂટા પાડવાનું કામ સહેલું નથી. એ યુરેનિયમના સળિયાઓમાં જ મોટે ભાગે જકડાયેલા રહે છે, અને જ્યારે બળતણ બદલવા માટે એ સળિયાઓ બહાર કાઢી લેવામાં આવે ત્યારે આ કિરણોત્સર્ગી દ્રવ્યોને કંઈક અંશે રાસાયણિક ક્રિયાઓ દ્વારા છૂટાં પાડવામાં આવે. આ ઉપરાંત પરમાણુભઠ્ઠીમાં જે અનેક ન્યુટ્રોન હરતાંફરતાં હોય છે તે પણ જે કોઈ પદાર્થ ઉપર પડે—યુરેનિયમના સળિયા ઉપરનું એલ્યુમિનિયમ કે સ્ટેનલેસ સ્ટીલનું આવરણ, અપવેગક, શીતક કે ભઠ્ઠીના બાંધકામમાં વપરાયેલ કોઈ પણ પદાર્થ—તેમાં કિરણોત્સાર ઉત્પન્ન કરી શકે. આનો સારામાં સારો દાખલો આપણે જોયો. યુ–૨૩૮નાં ન્યુક્લિયસ ન્યુટ્રોનનું શોષણ કરીને અસ્થાયી યુ–૨૩૯ આઈસોટોપ બને છે. એનો અર્ધજીવનકાળ લગભગ ૨૩ મિનિટનો હોય છે, અને એ બીટા કિરણનું ઉત્સર્જન કરીને નેપ્ચ્યુનિયમ–૨૩૯માં ફેરવાઈ જાય છે. આ આઈસોટોપ પણ અસ્થાયી છે, અને એનો અર્ધજીવનકાળ લગભગ ૨.૩ દિવસનો છે. આમાંથી બીટા કિરણનું ઉત્સર્જન થતાં પ્લુટોનિયમ–૨૩૯ આઈસોટોપ બને છે. એ પણ અસ્થાયી તો છે જ, પણ એનો અર્ધજીવનકાળ ઘણો લાંબો હોવાથી તે લગભગ સ્થાયી તરીકે જ ઉપયોગમાં લઈ શકાય.

પરમાણુભઠ્ઠીઓ બની તે પહેલાં પણ કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપ જાણીતાં તો હતાં, પણ તેમને કૃત્રિમ રીતે પ્રયોગશાળામાં બનાવવાં મુશ્કેલ છે. આમ તો કુદરત પણ વાતા-

વરણમાં કે પૃથ્વીના પટમાં વિશ્વકિરણોના મારથી કેટલાક કિરણોત્સર્ગી પરમાણુઓ બનાવે છે, પણ તે બહુ જ નાના પ્રમાણમાં. પ્રયોગ શાળામાં પરમાણુ ભંજક યંત્રો (જેવાં કે સાયક્લોટ્રોન (cyclotron)) વાપરીને થોડેઘણે અંશે કિરણોત્સર્ગી પરમાણુઓ બનાવી શકાય. પણ તે બહુ મોંઘાં પડે, ઘણા ઓછાં બને અને બહુ ઓછી જાતના બને. આમ પરમાણુભઠ્ઠીઓના વપરાશ પહેલાં કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપ એકંદરે દુર્લભ્ય ગણાતાં. છતાંયે એમની જરૂરિયાત અને ઉપયોગિતાનું તો વૈજ્ઞાનિકોને પૂરેપૂરૂં ભાન હતું જ.

પરમાણુભઠ્ઠીમાં નાનકડી બારીઓ રાખી શકાય, અને એ વાટે કોઈ પણ પદાર્થના નમૂના ભઠ્ઠીના હાર્દમાં ધકેલી શકાય અને અમુક વખત પછી બહાર ખેંચી લઈ શકાય એવી સ્વયંસંચાલિત વ્યવસ્થા ગોઠવી શકાય. ભઠ્ઠીમાં પદાર્થના નમૂના પર ન્યુટ્રોન કણોનો મારો ચાલતાં તેમાં કિરણોત્સારી પરમાણુઓ પેદા થાય. દાખલા તરીકે કોબાલ્ટ ધાતુના સ્થાયી પરમાણુઓનું વજન ૫૯ એકમ હોય છે . એને પરમાણુભઠ્ઠીમાં મૂકતાં એનાં ન્યુક્લિયસ એક ન્યુટ્રોન શોષી લઈને કોબાલ્ટ–૬૦ આઈસોટોપ બને. આ કિરણોત્સર્ગી હોય છે અને એનાં કિરણો કેન્સર જેવા દર્દમાં ખૂબ ઉપયોગી નીવડે છે. બનતાં સુધી શકિત ઉત્પન્ન કરવા માટે રચાયેલી ભઠ્ઠીમાં આવી આઈસોટોપ ઉત્પન્ન કરવાની વ્યવસ્થા કરવામાં આવતી નથી, કારણ એમાં તો ન્યુટ્રોનનો આવો કોઈ વ્યય પોસાય નહિ. આથી આઈસોટોપ બનાવવાનું કાર્ય મોટેભાગે એ માટે ખાસ રચાયેલી કે સંશોધન માટેની ભઠ્ઠીઓમાં જ કરવામાં આવે છે. આ પ્રમાણે જુદા જુદા ઉપયોગો માટે સેંકડો જાતના કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપ બનાવાયાં છે.

કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપના ફાયદા અને ઉપયોગનાં બે મુખ્ય કારણો છે. આ પરમાણુઓ આઈસોટોપ હોવાથી તેમના બધા જ રાસાયણિક અને જૈવિક ગુણધર્મો સામાન્ય સ્થાયી પરમાણુઓ જેવા જ હોય છે. આથી જે જે ક્રિયાઓમાં જેવી રીતે તત્ત્વનાં સ્થાયી પરમાણુઓ ભાગ લે છે તે જ રીતે આવા કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપના પરમાણુઓ પણ ભાગ લે છે. કાર્બનનું ચૌદ એકમ વજનનું પરમાણુ કિરણોત્સર્ગી છે. પરંતુ તે બીજી બધી રીતે સ્થાયી કાર્બન–૧૨ પરમાણુ જેવું જ છે. કાર્બન–૧૨નાં જે રાસાયણિક સંયોજનો થાય તેમ જ કાર્બન–૧૪નાં પણ થાય. કોઈ પણ ક્રિયામાં જયાં કાર્બન–૧૨ જાય ત્યાં જ કાર્બન–૧૪ પણ જાય. બીજું, આ પરમાણુઓ કિરણોત્સર્ગી હોવાથી એ જયાં જાય ત્યાં પરખાયા વગર રહે નહિ. એમના કિરણોત્સારને લીધે જુદાં જુદાં યંત્રોથી એ સહેલાઈથી પારખી શકાય. આપણે જોઈશું કે આવાં આઈસોટોપના અનેક જુદા જુદા ઉપયોગ આ બે ગુણધર્મોને જ આભારી છે. કિરણોત્સાર પારખવાનાં યંત્રો તો આજે એટલાં ચોકકસ ને સૂક્ષ્મ બનાવી શકાયાં છે કે કિરણોત્સર્ગી પરમાણુઓને એમના ઊગમ-સ્થાનથી હજારો માઈલો દૂર પણ પરખી શકાય. દસ અબજ સ્થાયી પરમાણુઓમાં એક પરમાણુ કિરણોત્સર્ગી હોય તો પણ તેને ઓળખી શકાય. કાર્બન–૧૪ વાપરીને ખાંડ બનાવવામાં આવે તો સાદી ખાંડના દસ કરોડ ટનમાં પચાસેક ગ્રામ આવી કિરણોત્સર્ગી ખાંડ ભેળવાયેલી હોય તો પણ તરત ખબર પડી આવે.

આ ગુણોને લીધે કિરણોત્સર્ગી પરમાણુઓનો અનેક ક્ષેત્રોમાં વ્યાપક ઉપયોગ નિદર્શક (અંગ્રેજીમાં tracer) તરીકે થાય છે. શરીરમાં ખાંડ ખાધા પછી કાર્બન તત્ત્વનું શું થાય છે તે જાણવું હોય તો કાર્બન–૧૪ વાળી થોડીક ખાંડ માણસને પાણીમાં ઓગાળીને આપવામાં આવે. ત્યાર પછી કિરણોત્સાર માપવાનાં યંત્રો વડે આ ખાંડ પેટમાં કેટલો સમય રહી ? લોહીના પ્રવાહમાં ક્યારે ભળી ? લોહી એને શરીરમાં ક્યાં ક્યાં લઈ ગયું ? શરીરમાંથી આ ખાંડ ક્યારે નીકળી ગઈ ? વિ. અનેક પ્રશ્નોના જવાબ મેળવી શકાય. આવા અનેક દાખલાઓ આપણે સહેજ આગળ જોઈશું.

કિરણોત્સર્ગી તત્ત્વોનાં વિકિરણો–બીટા કે ગેમા કિરણોનો–પણ વિવિધ રીતે ઉપયોગ કરવામાં આવે છે. પરમાણુભઠ્ઠીમાં લગભગ દરેક તત્ત્વનાં કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપ બનાવી શકાય છે એટલું જ નહિ પણ મૂળ તત્ત્વ પર ઓછો કે લાંબો સમય ન્યુટ્રોનનો મારો ચલાવીને જોઈએ તેટલી તીવ્ર માત્રામાં કિરણોત્સાર ઉત્પન્ન કરી શકાય છે. ક્યુરી દંપતીએ રેડિયમ તત્ત્વ શોધ્યું ત્યારથી જ એનો કેન્સરના રોગી કોષોનો નાશ કરવા માટે ઉપયોગ થતો આવ્યો છે. રેડિયમનાં વિકિરણોના મારથી કેન્સરવાળા કોષ તૂટી જાય છે. રેડિયમ દુર્લભ છે અને માટે અત્યંત મોંઘું છે. આજે હોસ્પિટલોમાં રેડિયમની જગાએ બીજા અનેક જાતના કિરણોત્સર્ગી પદાર્થો પરમાણુભઠ્ઠીમાં જોઈએ તેટલી તીવ્ર માત્રામાં બનાવીને વાપરી શકાય છે. ખાસ કરીને કૃત્રિમ રીતે બનાવેલું કોબાલ્ટ—૬૦ તત્ત્વ આ રીતે વપરાય છે, અને રેડિયમ કરતાં હજાર ગણું સસ્તું પડે છે.

વૈજ્ઞાનિકો માટે તો અનેક રીતે આ કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપ એમનાં મૂળભૂત સંશોધનોમાં ઉપયોગી થઈ પડયાં છે. પારામાંથી સોનું ઉત્પન્ન કરવાને બદલે વૈજ્ઞાનિકો પરમાણુભઠ્ઠીમાં સોનાનું ૧૯૭ એકમ વજનનું આઈસોટોપ મૂકીને એમાંથી પારાનું ૧૯૮ એકમ વજનવાળું શુદ્ધ આઈસોટોપ બનાવે છે. સામાન્ય પારો બે ત્રણ આઈસો-ટોપનું મિશ્રણ છે. પારાનું શુદ્ધ આઈસોટોપ નળીમાં ભરી એમાંથી વીજળી પસાર કરતાં જે શુદ્ધ તેજનો વર્ણપટ્ટ ઉત્પન્ન થાય છે, તે વાપરીને લંબાઈ માપવા માટેનો એકમ પારાની તેજરેખાની તરંગલંબાઈના એકમમાં અતિશય ચોકસાઈથી નક્કી કરી શકાયો છે. વૈજ્ઞાનિકો અવળચંડા તો ખરાજ ને ? સોનાનો પારો બનાવે, અને તે પણ ચોકસાઈથી લંબાઈનો એકમ નક્કી કરવા માટે.

પુરાતત્ત્વશાસ્ત્રીઓ માટે તો કાર્બન–૧૪ જેવું કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપ અણમોલ વરદાન જેવું થઈ પડયું છે. વાતાવરણમાં સતત વિશ્વકિરણોનો પ્રવાહ અવકાશમાંથી આવતો જ હોય છે. વિશ્વકિરણોમાં મોટે ભાગે અતિશકિતશાળી વેગવાન પ્રોટોન કણો હોય છે. આ પ્રોટોન જ્યારે વાતાવરણના જુદા જુદા અણુઓ સાથે અથડાય છે ત્યારે તેના ન્યુકિલયસમાં સારી એવી ભાંગફોડ થાય છે. આવી અથડામણમાં ન્યુટ્રોન મોટા પ્રમાણમાં ઉત્પન્ન થાય છે, અને વાતાવરણમાં જ્યારે પણ એ નાઇટ્રોજનના પરમાણુ સાથે અથડાય ત્યારે તેમાં શોષાઈને કિરણોત્સર્ગી કાર્બન–૧૪ પરમાણુ બને છે. આમ વાતાવરણમાં સતત કાર્બન–૧૪નું ઉત્પાદન થતું જ હોય છે, અને પૃથ્વી પર નાઇટ્રોજન-

વાળું વાતાવરણ રચાયું ત્યારથી આ ક્રિયા ચાલુ જ છે. કાર્બન–૧૪ના પરમાણુ ઓકિસજન સાથે ભેળા થતાં કિરણોત્સર્ગી અંગારવાયુ રચાય છે. સામાન્ય અંગારવાયુની સાથે સાથે જ વનસ્પતિ કાર્બન–૧૪ વાળા અંગારવાયુને પણ શોષી લે છે, અને સૂર્યપ્રકાશની મદદથી તેનું ખોરાકમાં પરિવર્તન કરે છે. આમ દરેક વનસ્પતિમાં થોડા ઘણા કિરણોત્સારની પ્રવૃત્તિ ચાલતી જ હોય છે. કાર્બન–૧૪ નો અર્ધજીવનકાળ લગભગ ૫૦૦૦ વર્ષ છે, એટલે એનાં પરમાણુઓ લાંબો સમય ટકી રહે છે. કાર્બન–૧૪નાં પગલાં સ્હેલાઈથી ભૂંસાતાં નથી. પ્રાણીઓ વનસ્પતિ ખાય, અને વનસ્પતિ ખાનારાં બીજા પ્રાણીઓનો પણ આહાર કરે. આમ પ્રાણીઓમાં પણ કેટલેક અંશે કાર્બન–૧૪ આવે. જ્યાં સુધી વનસ્પતિ કે પ્રાણી જીવંત હોય ત્યાં સુધી એમાં કાર્બન–૧૪ના શોષણની તેમ જ બહિર્ગમનની ક્રિયાઓ ચાલુ જ રહે છે, અને જીવનક્રિયાઓની સ્થાયી સમતુલામાં કાર્બન–૧૪નું અમુક ચોકકસ પ્રમાણ જીવંત વનસ્પતિ કે પ્રાણીમાં જળવાઈ રહે છે. જ્યારે પણ આવી વનસ્પતિ કે પ્રાણી મૃત્યુ પામે છે ત્યારે એમાં નવું કાર્બન–૧૪ ઉમેરાતું શોષાતું બંધ થઈ જાય છે. ત્યાર પછી તો એમાં મૃત્યુ સમયે હાજર કાર્બન–૧૪ના પરમાણુ કિરણોત્સારને લીધે ધીરેધીરે ઓછા થતા જાય છે—પાંચેક હજાર વર્ષમાં એમનું પ્રમાણ અર્ધું થઈ જાય, દસેક હજાર વર્ષ પછી કિરણોત્સારનું પ્રમાણ ચોથાભાગનું જ થઈ જાય. આ કારણથી પુરાતત્વશાસ્ત્રમાં કોઈ પણ પુરાતન અવશેષમાં રહેલા કાર્બન–૧૪નું પ્રમાણ જાણવાથી એ અવશેષ કેટલા પુરાણા છે તે જાણી શકાય. કાર્બન–૧૪નું પ્રમાણ એક પ્રકારનું પરમાણુ-તારીખિયું ગણી શકાય.

પુરાતત્ત્વશાસ્ત્રીઓ જમીનમાં ખોદકામ કરીને જે અવશેષો ખોળી કાઢે છે તેમાં સામાન્ય રીતે કંઈક તો એવું તત્ત્વ હોય છે જે એક કાળે જીવંત સ્વરૂપમાં હોય—લાકડું, હાડકાં, ચામડું, કાપડ, રાખ, વિ. આવા પદાર્થનો નાનકડો નમૂનો લઈને તે બાળીને તેમાંથી કાર્બન છૂટો પાડી લેવામાં આવે અને કિરણોત્સાર માપવાનાં અત્યંત નાજુક, સૂક્ષ્મ યંત્રો વડે તેમાંનું કાર્બન–૧૪નું પ્રમાણ નકકી કરવામાં આવે. આ પ્રમાણને આજે જીવંત પદાર્થમાંના કાર્બન–૧૪ સાથે સરખાવતાં અવશેષ કેટલો પુરાતન છે તે ખબર પડે. પાંચ–સાત હજાર વર્ષ જુના અવશેષોનો ઊગમકાળ તો ઘણી જ ચોકસાઈથી મેળવી શકાય, માત્ર પચાસ સો વર્ષની અચોકકસતા સાથે. અલબત્ત, પદાર્થ પચીસેક હજાર કે વધુ વર્ષ જુનો હોય તો એમાં કાર્બન–૧૪નું પ્રમાણ એટલું ઓછું થઈ ગયું હોય કે તે પૂરતી ચોકસાઈથી માપી શકાય નહિ.

કૃષિવિજ્ઞાનમાં તો કિરણોત્સર્ગી પરમાણુઓની મદદથી એક નવો ક્રાંતિયુગ શરૂ થયો છે એમ કહી શકાય. જુદી જુદી જાતના ખાતરોના પ્રમાણસર ઉપયોગથી જમીનમાંથી મળતા પાકમાં મબલખ વધારો થઈ શકે છે એ તો જાણીતું છે. પણ ખાતરમાં જે અનેક તત્ત્વો રહેલાં છે—નાઇટ્રોજન, ફોસ્ફરસ વિ.—તેમાંથી કયું તત્ત્વ કયા પાકને વધુ જરૂરી છે, છોડ કયા તત્ત્વને કેટલા પ્રમાણમાં ગ્રહણ કરે છે, કેટલી ઝડપથી ખાતરનાં તત્ત્વો છોડ-વામાં શોષાઈ જાય છે, ખાતર કેવી રીતે જમીનમાં ભેળવવું જોઈએ અને કયારે જેથી છોડના

વિકાસ માટે એ વધુમાં વધુ અસરકારક બની રહે, એ બધા પ્રશ્નોના જવાબ પહેલાં મેળવવા જોઈએ. આ કામમાં કિરણોત્સર્ગી પરમાણુઓનો નિદર્શક (tracer) તરીકે ખૂબ ઉપયોગ થયો છે.

પહેલાં એમ માનવામાં આવતું કે બધા છોડ અને વૃક્ષ મૂળ દ્વારા જ જમીનમાંથી પોષણ અને ખોરાક મેળવે છે. છાલ કે પાંદડાં ખોરાક શોષી શકતાં નથી. પરંતુ ખાતરમાં નિદર્શક પરમાણુઓ ભેળવીને એવું ખાતર પ્રવાહી રૂપમાં છોડ પર છાંટવાથી પૂરવાર થયું છે કે પાંદડાં પણ ખાતરને ખૂબ અસરકારક રીતે ચૂસી લઈ શકે છે. છોડ કે વૃક્ષનાં મૂળિયાંના વિસ્તાર કરતાં પાંદડાંની કુલ સપાટીનો વિસ્તાર તો અનેકગણો હોય છે. આમ જમીનમાં ખાતર નાખવા કરતાં એને પ્રવાહી રૂપમાં પાંદડાં ઉપર છાંટવામાં આવે તો એ ખાતરનો પૂરેપૂરો ઉપયોગ છોડ કરી શકે છે, જ્યારે જમીનમાં નાખેલા ખાતરનો દસ-વીસ ટકા જેટલો જ ભાગ છોડને કામ આવે છે. આવી જ રીતે જંતુનાશક દવાઓમાં પણ નિદર્શક તત્ત્વો ભેળવવાથી આવી દવાઓમાં કયું તત્ત્વ વધુ અસરકારક છે, છોડના કયા ભાગોમાં આવી દવા પ્રસરે છે ને કેટલી ઝડપથી વિ. જાણી શકાય, અને જુદા જુદા છોડને તેમના રોગો માટે સૌથી વધુ અસરકારક દવાઓ યોજી શકાય. દવા ક્યારે છાંટવી, કેટલા પ્રમાણમાં છાંટવી વિ. જાણવું ઘણું જરૂરી છે.

ગાય, ભેંસ, ઘેટાં કે મરઘાં જેવાં પ્રાણીઓના સંવર્ધન માટે પણ નિદર્શકો વાપરીને ઘણી જરૂરી માહિતી મેળવી શકાય છે. પ્રજીવક બી–૧૨ જેવા દ્રવ્યમાં કિરણોત્સર્ગી કોબાલ્ટ ઉમેરીને ઘેટાં ને મરઘાં વધારે ઝડપથી અને વધારે પુષ્ટ કેમ કરી શકાય તે જાણવામાં આવ્યું છે. તેમજ કિરણોત્સર્ગી કૅલ્શિયમ અને ફોસ્ફરસ પ્રાણીઓના આહારમાં ભેળવવાથી પ્રાણીઓનાં હાડકાં કેટલી ઝડપથી બંધાય છે, એમાં ઘસારો કેટલી ઝડપથી પહોંચે છે વિ. જાણી શકાય. દરેક ખોરાકમાં કાર્બન તત્ત્વ તો હોય છે જ. એમાં કાર્બન–૧૪ ભેળવીને પ્રાણીઓને આપવાથી ગાયોનું દૂધ કેમ વધી શકે અથવા ઘેટાંનાં ઊનનું ઉત્પાદન કેમ વધે તે વિષે બીજી રીતે દુર્લભ એવી માહિતી મેળવી શકાઈ છે.

આ કિરણોત્સર્ગી નિદર્શક પરમાણુઓ પાક, છોડ અને પ્રાણીઓના સંવર્ધનને લગતાં સંશોધનમાં ઉપયોગી થઈ પડે છે એટલું જ નહિ પણ નવા જ પ્રકારના, વધુ સારી જાતના છોડ અને પ્રાણીઓ ઉત્પન્ન કરવામાં પણ મદદ કરે છે. છોડ, પ્રાણી, કે માનવજાત જેવાં જીવનનાં સ્વરૂપ સામાન્ય રીતે તો પેઢી દર પેઢી આનુવંશિકતાના નિયમો પ્રમાણે સ્થાયી અને બદલાયા વગરના રહે છે. પણ કુદરતી કારણોસર અવારનવાર જીવકોષમાં આનુવંશિકતાનું નિયંત્રણ કરનાર દ્રવ્યમાં ફેરફાર થાય છે. આ ફેર વિશ્વકિરણોના પ્રપાતથી થતો હોય કે બીજા કોઈ વિકિરણોની અસરથી પણ થતો હોય. આવા ફેરફારથી બીજી પેઢીએ પ્રગટતા જીવનના સ્વરૂપમાં ફેર પડે છે. સાધારણ રીતે હજારમાંથી નવસોનવાણુ ફેરફાર તો જીવનને ખતરા રૂપ જ હોય છે, અને આવી બદલાયેલી જીવનની જાતિ લાંબું ટકતી નથી. પણ ક્યારેક એવો ફેરફાર વધારે સારી, વધારે ગુણવાળી જાતિમાં પરિણમે છે. આથી વનસ્પતિ અને પ્રાણીઓનાં સંવર્ધન કરનાર વિજ્ઞાનીઓ હંમેશ આવા અચાનક

પ્રકૃતિજન્ય લાભદાયક ફેરફારવાળી નવી જાતિ માટે શોધ કરતા જ હોય છે. દા. ત. સફરજનનાં ઝાડો ઉછેરતાં કોઈકવાર વધુ ઉત્કૃષ્ટ સફરજનનો છોડ કે એકાદ ડાળી કે ફળ જણાઈ આવે. આવું સફરજન વધુ મીઠું હોય, કે વધુ વહેલું પાકતું હોય કે કોઈ રોગનો વધુ સારી રીતે સામનો કરી શકતું હોય એમ બને. આવી જાતને સંભાળીને એનું રક્ષણ અને ઉછેર કરીને એમાંથી અનેક નવા છોડ, ફળ ઉત્પન્ન કરી શકાય.

વનસ્પતિ કે પ્રાણીઓની જાતમાં આવા આનુવંશિક ફેરફારથી ઉત્પન્ન થતી નવી જાતને અંગ્રેજીમાં mutation કહેવામાં આવે છે. કુદરતી રીતે જીવનની જાતમાં આવા ફેરફાર એકંદરે જવલ્લે જ થાય છે, પરંતુ જો કોઈ રીતે આવા ફેરફારોની માત્રા અને ઝડપ વધારી શકાય તો વધુ ને વધુ સારી જાતની વનસ્પતિ કે પશુજાતિ મેળવવામાં ફાયદો થાય. કિરણોત્સર્ગી પદાર્થોના વિકિરણના મારથી આવા આનુવંશિક ફેરફાર ઉત્પન્ન થઈ શકે છે. ક્ષ—કિરણો, ગેમા-કિરણો કે ન્યુટ્રોનકણો જીવકોષ પર પડે ત્યારે એના દ્રવ્યમાં અનેક ફેરફારો થાય છે, અને એને કારણે નવા જ ગુણધર્મોવાળા જીવકોષ બને. આમ વર્ષે વર્ષે એકનો એક પાક ફરી ઉગાડવો અને એમાં લાખ—દસલાખ છોડમાં એકાદ જુદા ગુણધર્મોવાળો મળી આવે એની શોધ કરતા રહેવું એના કરતાં છોડનાં બી અથવા તાજા ઊગતા છોડ પર કિરણોત્સર્ગી પદાર્થોના સંસર્ગથી ઝડપથી અસર ઉપજાવવી અને દરેક પાકમાં અનેક મ્યુટેશન મેળવવાં એ કૃષિવિજ્ઞાનીઓને મોટો ફાયદો થયો છે. વનસ્પતિ પર આવા અખતરા કરવાનો એક ઉપાય "ગેમા—ક્ષેત્ર" બનાવવાનો છે. એકાદ નાનકડું પ્રાયોગિક ખેતર બનાવીને એમાં અત્યંત તીવ્ર કિરણોત્સાર ધરાવતા કોબાલ્ટ—૬૦ તત્ત્વને ઊંચા થાંભલા પરથી લટકાવવામાં આવે છે, એની આજુબાજુ જુદા જુદા અંતરે વર્તુલાકારમાં જુદા જુદા છોડ રોપવામાં આવે. આમાં ટામેટાં, બટાકા, કેળાં, કેરી, ગુલાબ, ચોખા, ઘઉં, વિ. ગમે તે જાતો લઈ શકાય. કોબાલ્ટ—૬૦માંથી ઉત્પન્ન થતાં શકિતશાળી ગેમા-કિરણોની અસર આ બધા છોડ પર થશે અને જાતજાતના ગુણવિકારવાળા છોડ ઉત્પન્ન થશે. આવા ગેમા—ક્ષેત્રમાં કિરણોત્સારની માત્રા સામાન્ય રીતે એટલી તીવ્ર હોય છે કે માણસને માટે એમાં પ્રવેશ કરવો જોખમી ગણાય. દિલ્હીમાં કૃષિવિજ્ઞાનના સંશોધન માટે સંસ્થા છે ત્યાં તાજેતરમાં જ આવું ગેમા-ક્ષેત્ર રચવામાં આવ્યું છે. ભારતની પરમાણુભઠ્ઠીઓમાં પેદા થયેલા કિરણોત્સર્ગી પદાર્થો ત્યાં વાપરવામાં આવે છે. ગેમા-ક્ષેત્રમાંના છોડોને અવારનવાર તપાસવામાં આવે છે, અને જે કોઈ નવી જાત ઉત્પન્ન થયેલી જણાય તેને કાઢી લઈ, બીજા ક્ષેત્રમાં રોપી એના ગુણધર્મ ચકાસવામાં આવે છે.

ગેમા-ક્ષેત્ર સિવાય પણ વનસ્પતિના ગુણધર્મમાં ફેરફાર યોજવાની, નવી જાતો ઉપજાવવાની રીતો છે. કેટલીક વાર જુદી જુદી જાતનું બિયારણ નાનકડી પ્લાસ્ટિક પેટીમાં મૂકીને પરમાણુભઠ્ઠીમાં એકાદ બારી વાટે દાખલ કરવામાં આવે. ત્યાં થોડો વખત ન્યુટ્રોનકણોથી શેકાયા બાદ આ બી બહાર કાઢી લઈને એની વાવણી કરવામાં આવે તો મોટા પ્રમાણમાં એ જ છોડની નવતર જાતો ઉત્પન્ન થાય, અને એમાંની કેટલીક યોગ્ય નવીન ગુણવત્તા ધરાવતી પણ મળી રહે. કેટલીક વાર ગેમા-કિરણોના શકિતશાળી સ્રોતને મોટી

ટ્રકમાં ભરી ખેતરમાં લઈ જઈ ત્યાં ફેરવવામાં આવે તો પણ ધાર્યું પરિણામ મેળવી શકાય. આવા અનેક પ્રયોગોથી ઓટ, મકાઈ, ઘઉં, ચોખા, સફરજન, વિ. અનેક પાકોની નવી જાતો મેળવી શકાય છે જે વિવિધ રોગની અસરથી મુકત રહે છે, વધારે પાક આપે છે, અથવા જરૂર પ્રમાણે વહેલો કે મોડો ફાલ આપે છે.

આ જ પ્રમાણે ઢોર, ઘેટાં, ઘોડા, વિ. પશુઓના વીર્યને પણ ગેમા કે ન્યુટ્રોન કિરણો આપીને એનો પશુસંવર્ધનના પ્રયોગોમાં ઉપયોગ થઈ શકે અને ઉત્તમ કોટિનાં પ્રાણીઓ ઉત્પન્ન કરવાના પ્રયત્નો કરાય.

આજે દુનિયામાં જે અનાજ ઉત્પન્ન થાય છે તેનો સારો એવો ભાગ ઉપયોગમાં લઈ શકાતો નથી, કારણ એ વપરાય તે પહેલાં સડી જાય છે કે બગડી જાય છે. અનાજને શીતાગારોમાં સંગ્રહ કરી રાખવું કે હવા ન પહોંચી શકે એવા ડબ્બાઓમાં ભરી રાખવાથી તેનો બચાવ થઈ શકે. પણ મોટા પાયા પર આમ કરવાની વ્યાવહારિક મુશ્કેલીઓ છે, તે ઉપરાંત આમ કરવાથી અનાજના કે ફળના સ્વાદમાં ફેરફાર થવાનો ડર રહે છે. કિરણોત્સર્ગી પદાર્થોનાં વિકિરણોના આઘાતથી ખોરાકમાં રહેલાં જીવાણુઓ નાશ પામે છે. એનાથી ખોરાકનો દેખાવ કે સ્વાદ બદલાતાં નથી. આવું વિકિરણોથી "ધોયેલું" અનાજ કે ફળ કે ખોરાક ડબ્બામાં ભરી રાખીએ કે પ્લાસ્ટિકના કાગળમાં વીંટાળી રાખીએ તો ઘણો લાંબો સમય ટકી શકે.

આપણે જે કંઈ આહાર લઈએ છીએ તેનું મૂળ તો છે લીલી વનસ્પતિ. વનસ્પતિ હવામાંથી પાણી, અંગારવાયુ, જમીનમાંથી થોડાં ખનીજ તત્ત્વો અને બાકી સૂર્યપ્રકાશની શકિત વાપરીને મૂળ ખોરાક ઉત્પન્ન કરે છે. આ ક્રિયા લાગે છે અત્યંત સરળ. એમાં વપરાતી ચીજોનું બંધારણ સાદું છે, તેમ જ ક્રિયાને અંતે ઉત્પન્ન થતા રાસાયણિક પદાર્થો પણ કંઈ બહુ જટિલ બંધારણવાળા નથી. છતાંયે આ ક્રિયા—જેને તેજસંશ્લેષણ (Photosynthesis) કહેવામાં આવે છે—વાસ્તવમાં અત્યંત અટપટી અને સ્હેલાઈથી સમજાય નહિ એવી છે. એમાં વચ્ચેના પગલાંઓમાં અનેક સંયોજન બને છે ને તૂટે છે. કેટલાક તબકકે તો ઉત્પન્ન થતાં સંયોજનો પળ બે પળમાં જ તૂટી જાય છે. વળી આ તેજસંશ્લેષણ ક્રિયા વનસ્પતિમાં પૂરતી કાર્યક્ષમ નથી. વનસ્પતિ સૂર્યની શકિત જેટલી ગ્રહણ કરે છે તેમાં માંડ એક ટકો ખોરાક બનાવવામાં વાપરે છે, બાકીની નિરર્થક જાય છે. જીવનના ટકાવ ને વિકાસ માટે મૂળભૂત અગત્યની આ ક્રિયાનું રહસ્ય જો વૈજ્ઞાનિકો સમજી શકે તો તેની પ્રયોગશાળામાં વનસ્પતિની મદદ વગર નકલ કરી શકાય, સુધારણા કરી શકાય, સૂર્યશકિતનો વધુ સારો ઉપયોગ કરી શકાય, અને દુનિયાની વધતી જતી વસતી માટે કુદરતી ખોરાકનો પુરવઠો વધારી શકાય.

વર્ષોથી વૈજ્ઞાનિકો તેજસંશ્લેષણની ક્રિયાનું રહસ્ય ઉકેલવા, એની કડીઓને સમજવા પ્રયાસ કરી રહ્યા છે. આવા પ્રયોગોમાં નિદર્શક તત્ત્વો ઘણો મહત્ત્વનો ફાળો આપે છે. નિદર્શકથી કોઈ પણ સંયોજન પર ચિહ્ન લગાડી શકાય અને એ સંયોજનનું પછી શું થાય છે કયાં જાય છે તે જોઈ શકાય. કાર્બન–૧૪ વાળો અંગારવાયુ બનાવીને વનસ્પતિને

મળતી હવામાં ભેળવવામાં આવે તો પાંદડામાં એના ઉપયોગથી કિરણોત્સર્ગી સંયોજનો બને અને એ સંયોજનો છૂટાં પાડી શકાય, ઓળખી શકાય અને એમની વિવિધ રાસાયણિક ક્રિયાઓ તબક્કાવાર અનુસરી શકાય. આ જ પ્રમાણે પ્રાણવાયુ–૧૮ આઈસોટોપ વાપરવાથી વનસ્પતિમાંથી જે પ્રાણવાયુ મુક્ત થાય છે તે અંગારવાયુમાંથી છૂટો પડે છે કે પાણીના અણુમાંથી તે નક્કી થઈ શકે. જ્યારે વનસ્પતિને પ્રાણવાયુ–૧૮ વાળો અંગારવાયુ પૂરો પાડવામાં આવે છે ત્યારે ઉત્પન્ન થતા પ્રાણવાયુમાં ૧૮ આઈસોટોપ હોતું નથી. આમ વનસ્પતિ જે પ્રાણવાયુ ઉત્પન્ન કરે છે તે પાણીમાંથી છૂટો પડેલો છે એ જાણી શકાયું છે. તેજસંશ્લેષણની ક્રિયા સમજાશે ત્યારે કૃત્રિમ ખોરાક પ્રયોગશાળામાં અને કારખાનાઓમાં ધાર્યા પ્રમાણમાં સર્જી શકાશે. એ શક્ય બનશે તે કિરણોત્સર્ગી નિદર્શકોની સહાયથી જ.

જીવનનિભાવ માટે જેમ ખોરાકની જરૂર છે તેમ જ શરીરને અવારનવાર થતા રોગોનું ઝડપી ચોક્કસ નિદાન અને સારવાર એટલાં જ જરૂરી છે, આ ક્ષેત્રમાં પણ કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપ ઘણો મહત્ત્વનો ફાળો આપે છે. આવાં આઈસોટોપ બીજા વિશ્વયુદ્ધ પછી સરળતાથી મળતાં થયાં ત્યારે પહેલા જ દાયકામાં ફક્ત અમેરિકામાં જ પાંચ લાખથીયે વધુ દર્દીઓના રોગનિદાન માટે કિરણોત્સારનો ઉપયોગ કરવામાં આવેલો. નિદર્શક તત્ત્વનો શરીરની ક્રિયાઓનું અનુસરણ કરવા માટે, શરીરમાં ચોક્કસ ક્યાં બગાડ છે તે નક્કી કરવા માટે અને ખાસ તો મગજ, હૃદય અને લોહીના તંત્રનું નિદાન કરવા માટે ઘણો ઉપયોગ થાય છે, ખાસ કરીને કિરણોત્સર્ગી આયોડિન–૧૩૧, ફોસ્ફોરસ–૩૨ અને સોડિયમ–૨૪ જેવાં આઈસોટોપ અનેક કામમાં આવે છે. આયોડિન–૧૩૧ તો પરમાણુભઠ્ઠીમાં યુરેનિયમ ન્યુક્લિયસના વિભાજનના ફળ રૂપે મળે છે, એટલે કે પરમાણુ-બળતણની રાખમાંથી મળે છે, અને તે બીજાં તત્ત્વોમાંથી એકંદરે સહેલાઈથી છૂટું પાડી શકાય છે.

ગળામાં થાયરોઈડ નામની ગ્રંથિ હોય છે. અને શરીરના વિકાસમાં તે મહત્ત્વનો ભાગ ભજવે છે. આ ગ્રંથિને આયોડિન તત્ત્વ ઘણું કામનું છે, અને શરીરમાં ઉમેરવામાં આવતું આયોડિન ઝડપથી ત્યાં જમા થાય છે. થાયરોઈડનો વધુ પડતો વિકાસ એ રોગ છે જેનું નિદાન કરવા આયોડિન–૧૩૧ ઉપયોગમાં લેવાય છે. આવા આઈસોટોપવાળું સોડિયમ આયોડાઈડ સંયોજન દર્દીને ખોરાકમાં આપી ગળા પાસે કિરણોત્સાર માપવાનું યંત્ર ગોઠવી થાયરોઈડમાં આયોડિન કેટલી ઝડપથી એકઠું થાય છે અને આ ગ્રંથિ કેટલી ક્રિયાશીલ છે તે માપી શકાય. મગજમાં ગૂમડું (tumour) થાય તે બહારથી પારખવું ઘણું મુશ્કેલ છે. પરંતુ આવાં ગૂમડાં કેટલાક પ્રકારનાં સંયોજનો મગજના બીજા તંદુરસ્ત કોષ કરતાં વધુ ઝડપથી ગ્રહણ કરી લે છે. આયોડિન–૧૩૧ કે ફોસ્ફોરસ–૩૨ વાળાં સંયોજનો શરીરમાં દાખલ કરવાથી તે ઝડપથી મગજના ગૂમડાવાળા ભાગમાં પહોંચી જાય છે. આયોડિન–૧૩૨માંથી નીકળતાં ગેમા–કિરણો કે ફોસ્ફોરસ–૩૨માંથી નીકળતાં બીટા કિરણો (ઇલેક્ટ્રોન કણો) તરત જ કુશળ જાસુસની જેમ ગૂમડાના સ્થાનની માહિતી

આપે છે.

નિદાનકાર્યમાટે વપરાતાં આઈસોટોપ શરીરને નુકશાન ન કરે, તંદુરસ્ત કોષોને નિરર્થક નષ્ટ ન કરે તે માટે સાવચેતીથી પસંદ કરવાં જોઈએ. કિરણોત્સારની માત્રા વધુ પડતી તીવ્ર ન હોય, આવું તત્ત્વ શરીરમાંથી ઝટ બહાર નીકળી જતું હોય કે એનો અર્ધજીવન-કાળ એવો ટૂંકો હોય કે ઝડપથી એનો કિરણોત્સાર અટકી જાય એ બધું ખ્યાલમાં રાખવું જરૂરી છે. પણ કિરણોત્સારની જીવકોષ નષ્ટ કરવાની શકિતને પણ કામે લગાડી શકાય. કયુરિ દંપતીએ ફ્રાંસમાં કિરણોત્સારી રેડિયમની શોધ કરી ત્યારથી જ રેડિયમનો આવો ઉપયોગ થતો આવ્યો છે. હવે તો રેડિયમ કરતાંયે વધુ શકિતશાળી, વધુ સુલભ્ય, સસ્તાં કિરણોત્સર્ગી દ્રવ્યો પરમાણુભઠ્ઠીમાં બનાવી શકાય છે. આમાંનું એક અગત્યનું અને ઘણું વપરાતું આઈસોટોપ કોબાલ્ટ–૬૦ છે. આજે તો ઘણી હોસ્પિટલોમાં કોબાલ્ટ–૬૦નાં કિરણો કેન્સરના દર્દીઓને આપવામાં આવે છે. થાયરોઈડ ગ્રંથિનો વધુ પડતો વિકાસ રોકવા માટે આયોડિન–૧૩૧ની તીવ્ર માત્રા વાળું સોડિયમ–આયોડાઈડ દર્દીને આપવાથી એનાં ગેમા કિરણો આપોઆપ થાયરોઈડ ગ્રંથિના કેટલાક ભાગને બાળી નાખે છે, અને રોગને કાબૂમાં લાવે છે. આવા આયોડિન આઈસોટોપનો અર્ધજીવનકાળ આઠેક દિવસનો જ છે. આવી રીતે મગજમાં ગૂમડાંનો ઉપાય કરવા માટે દર્દીને બોરોન તત્ત્વવાળા પ્રવાહીનું ઇન્જેકશન આપવામાં આવે છે. આ બોરોન ગૂમડામાં પહોંચી જાય ત્યારે દર્દીને પરમાણુ-ભઠ્ઠી પાસે યોગ્ય રીતે સુવાડી એના મગજ ઉપર ન્યુટ્રોન કિરણોનો મારો ચલાવવાથી બોરોન સક્રિય અને કિરણોત્સર્ગી બને છે. એનાં ગેમા-કિરણો ગૂમડાંને બાળી નાખે છે. અલબત્ત આવો પ્રયોગ ઘણી સંભાળપૂર્વક કરવો જોઈએ. શરીરમાં હાડકાંનાં બંધા-રણમાં ફોસ્ફોરસનાં સંયોજનો આવેલાં છે. કેટલીક વાર હાડકાંના ગરમાં લોહીનાં રાતાં કણોની વધુ પડતી પેદાશ થવાથી પોલિસિથેમિયા વેરા નામનો રોગ થાય છે. આના ઉપાય તરીકે દર્દીને કિરણોત્સર્ગી ફોસ્ફોરસ–૩૨ આપવાથી તે પણ હાડકાંમાં પહોંચે છે, અને એનાં બીટાકિરણોની અસરથી લોહીના રાતાકણનું ઉત્પાદન ઘટે છે.

રોગિષ્ટ કોષોને બહારથી કિરણો આપવાનું હંમેશ શકય ન બને, ખાસ કરીને એવા કોષ શરીરમાં બહુ ઊંડે હોય ત્યારે. એવે વખતે આપણે અગાઉ જોયું તે પ્રમાણે એ કોષ કે ગ્રંથિ ઝડપથી ગ્રહણ કરતી હોય એવા કોઈ તત્ત્વનું કિરણોત્સર્ગી આઈસોટોપ શરીરમાં દાખલ કરવાથી રોગિષ્ટ કોષમાં જ કિરણોનો સ્ત્રોત જમા થઈ શકે. કેટલીક વાર આવું શકય ન હોય ત્યારે બીજાં તત્ત્વો વાપરવામાં આવે છે. કિરણોત્સર્ગી સોનું બનાવીને એની નાનકડી ગોળીઓ શરીરમાં દાખલ કરી શકાય અને જયાં કેન્સર જેવા રોગિષ્ટ કોષ હોય ત્યાં મૂકવાથી તેમનો નાશ કરી શકાય. આવી જ રીતે કોબાલ્ટ–૬૦ વાળી નાનકડી સોય કે મણકા શરીરમાં દાખલ કરી શકાય.

વૈદક અને ઔષધશાસ્ત્રમાં પરમાણુવિકિરણોનો એટલો વ્યાપક ઉપયોગ થવા લાગ્યો છે કે ફકત વૈદ્યકીય ઉપયોગમાં લઈ શકાય એવી નાનકડી ખાસ બનાવટની પરમાણુભઠ્ઠીઓ બનાવવામાં આવી છે. પશ્ચિમના દેશોમાં મોટી હોસ્પિટલોમાં અંતર્ગત ભાગ તરીકે જ

આવી પરમાણુભઠ્ઠીઓ રાખવાની યોજનાઓ થાય છે જેથી દર્દીને તાત્કાલિક સારવાર આપી શકાય અને કોઈ વાર જરૂરી ઘણા ટૂંકા જીવનકાળવાળાં આઈસોટોપ ત્યાં જ તાબડતોબ બનાવીને વાપરી શકાય. અલબત્ત આપણે ત્યાં તો હજી આઈસોટોપના હોસ્પિટલોમાં આવા ઉપયોગ બહુ પ્રાથમિક કક્ષામાં છે.

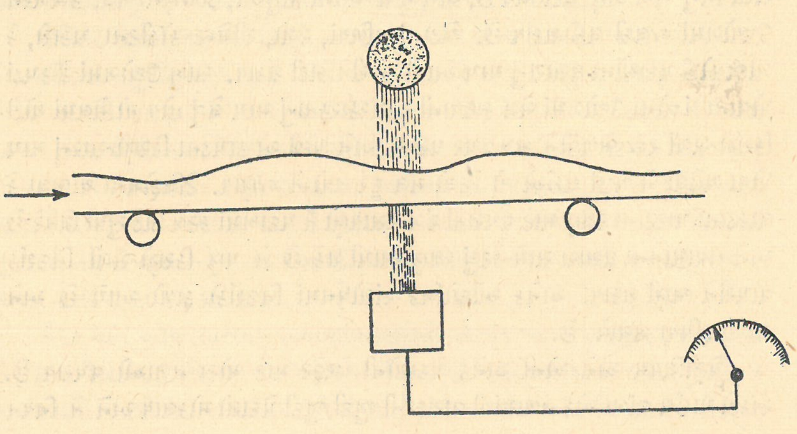
અનેક પ્રકારના ઉદ્યોગોમાં કિરણોત્સર્ગી પરમાણુઓ અલાદીનના જીનની જેમ કામમાં લેવાયા છે. કહે છે કે આવા પરમાણુઓના ઔદ્યોગિક ઉપયોગ શરૂ થયા પછી એક દાયકામાં જ એને લીધે વર્ષે અબજ રૂપિયાનો બચાવ અમેરિકામાં થવા લાગ્યો હતો. કિરણોત્સર્ગી પરમાણુઓવાળી ઉપયોગી ચીજો જરૂર પ્રમાણે બનાવવી ને ઉદ્યોગોને પૂરી પાડવી એ જ એક મોટો ઉદ્યોગ થઈ પડયો છે. કિરણોત્સારનો ઉપયોગ અહીં પણ નિદર્શક તરીકે, વિકિરણોનું કોઈ પદાર્થમાં શોષણ માપીને તે પદાર્થની બનાવટ પર નિયંત્રણ રાખવા માટે, અને નાના પાયા ઉપર પણ ઘણી સગવડવાળા શકિતકેન્દ્ર તરીકે થાય છે.,

મોટર, ટ્રક કે એવું વાહન બનાવનારાઓને યંત્રમાં કઈ પ્રકારની ધાતુ વાપરવાથી ઓછામાં ઓછો ઘસારો પહોંચે એ જાણવું જરૂરી બને છે. આ માહિતી મેળવવા જુદી જુદી ધાતુઓનાં કે ધાતુમિશ્રણનાં યંત્રો બનાવી પ્રયોગ કરી શકાય. આ દરેક યંત્રની બનાવટમાં બહુ જ થોડા પ્રમાણમાં કિરણોત્સર્ગી લોખંડ વાપરવામાં આવે, અને યંત્ર થોડો વખત ચલાવ્યા પછી તેમાં વાપરેલું ઊંજણ તેલ તપાસવામાં આવે તો યંત્રને વત્તો ઓછો ઘસારો થયો હોય તે પ્રમાણે તેલમાં વત્તી ઓછી કિરણોત્સારની માત્રા જણાઈ આવે. આવો ઘસારો એટલો સૂક્ષ્મ હોય કે ભલભલાં સૂક્ષ્મદર્શક યંત્રથી પણ જાણી ન શકાય, છતાં કિરણોત્સર્ગી પરમાણુઓને લીધે તે તરત જ માપી શકાય છે. એવી જ રીતે વાહનોના ટાયરના ઘસારાનું માપ લેવું હોય તો ટાયરની બનાવટમાં સ્હેજ કોઈ કિરણોત્સર્ગી પદાર્થ વાપરવામાં આવે અને પછી એ ટાયરવાળું વાહન થોડા જ વાર દોડાવવામાં આવે તો જમીન પર રબર ઘસાવાથી આવેલા કિરણોત્સારનું માપ લઈ શકાય. આવા પ્રયોગોથી સંશોધનનું ખર્ચ ઘણું ઘટી જાય છે, અને નવી જાતની ધાતુઓ, ઊંજણના તેલ, કે રબરને ઉપયોગમાં જલદી લઈ શકાય છે. જોડાનાં તળિયાં, રંગો, સીમેન્ટ કોંક્રીટના પ્રકારો, કે બીજા કોઈ પદાર્થોના ઘસારાનું માપ આવી જ રીતે કાઢી શકાય. સાબુ ઉદ્યોગમાં કે કપડાં ધોવાના યંત્રોના ઉદ્યોગમાં મેલ કાઢવાની અસરકારકતાનું માપ લેવું હોય તો મેલમાં થોડી કિરણોત્સર્ગી રજ ભેળવીને કાપડ પર ઘસાય, અને પછી એ કાપડના કિરણોત્સારનું માપ ધોયા પહેલાં ને પછી લઈએ તો કેટલો મેલ દૂર થયો તે જણાય. ટેલિફોનના થાંભલા કે લાકડાના પાટડાના રક્ષણ માટે વપરાતાં રંગ રસાયણો તે પદાર્થમાં કેટલે ઊંડે સુધી ઊતરે છે અને હવામાનના ઘસારા સામે કેટલું રક્ષણ આપી શકે છે તે પણ કિરણોત્સર્ગી નિદર્શક વાપરીને જાણી શકાય. અનેક ઔદ્યોગિક સંશોધનમાં નિદર્શકો ફાળો આપે છે અને લાખો રૂપિયા બચાવે છે.

પેટ્રોલિયમ અને એની અનેક પેદાશોની હેરફેર માટે મોટા નળાઓ વપરાય છે. સેંકડો માઈલ લાંબા એક નળામાંથી વારાફરતી જુદી જુદી પેદાશો મોકલાય અને તે નિયત

સ્થળે પહોંચતાં જુદી જુદી ટાંકીઓમાં ભરાય. આમાં એક પ્રકારના તેલનો પુરવઠો કયારે પૂરો થયો અને બીજી પેદાશનો પુરવઠો શરૂ થયો તે સીમા જાણવા માટે પણ કિરણોત્સારનો ઉપયોગ થાય છે. જયાં એક પ્રકારનું તેલ પૂરું થાય ત્યાં સહેજ કિરણોત્સર્ગી પદાર્થ ભેળવવામાં આવે અને નળાને છેડે કિરણોત્સાર માપનારૂં ગણક (counter) યંત્ર રાખવામાં આવે તો એ યંત્રનો ટકટકારો તરત જ એક ટાંકી બંધ કરીને બીજી ટાંકી ખોલવાની સૂચના આપે. કારખાનાઓમાં યંત્ર સાથે કામ કરનાર કારીગરના હાથ યંત્રમાં દબાઈ ન જાય એવી ગોઠવણ પણ કિરણોત્સર્ગી દ્રવ્યો કરી આપે. કારીગર બંને હાથે કિરણોત્સર્ગી દ્રવ્યવાળો કાંડાપટ્ટો પહેરે છે. કિરણોત્સાર માપતું ગણકયંત્ર ભયજનક યંત્રભાગ પાસે ગોઠવેલું હોય છે. જો કારીગરનો હાથ કે કાંડું આ ભાગમાં હોય તો ગણકયંત્ર તરત જ ચેતવણી આપે છે અને યંત્ર કામ કરતું અટકાવી દે છે.

કિરણોત્સર્ગી દ્રવ્યો કોઈ પણ જાતના પતરાની જાડાઈ માપવાના કામમાં આવે છે, પછી તે કાગળ હોય કે લોહનું કે એલ્યુમિનિયમનું કે કોઈ પણ ધાતુનું પતરું હોય. વિકિરણો -બીટા કે ગેમા કિરણો-પાતળા પતરાની આરપાર જઈ શકે છે, પરંતુ આમ કરતાં પતરાંની જાડાઈ પ્રમાણે એમનું ઓછાવત્તા પ્રમાણમાં શોષણ થાય છે. પતરાંની એક બાજુ કિરણોત્સર્ગી પદાર્થ ગોઠવ્યો હોય અને બીજી બાજુ માપ લેનાર ગણકયંત્ર ગોઠવ્યું હોય તો વિકિરણની માત્રામાં થતો સૂક્ષ્મતમ ફેરફાર પણ નોંધી શકાય અને આમ બીજી કોઈ રીતે ન માપી શકાય એવો આછો પાતળો ફેરફાર પણ પતરાંની જાડાઈમાં થાય તો તરત નોંધી શકાય. આવી નોંધ બહુ ઝડપથી અને બહુ ચોકસાઈથી, અને સતત—પતરૂં ઝડપથી પસાર થતું હોય તો પણ—રાખી શકાય છે એ મોટો ફાયદો છે. સિગરેટ ઉદ્યોગમાં પણ બધી સિગરેટ એક સરખા માપની, એક સરખા વજનની બની છે કે નહિ તે માપવા આવી ગોઠવણ વપરાય છે, આવી સતત ચકાસણીથી કારખાનામાં વ્યય ઓછો થાય અને બનાવટની ગુણવત્તા વધે.



જાતજાતના રંગીન પ્રકાશ ઉત્પન્ન કરવા માટે પણ કિરણોત્સર્ગી સ્ટ્રોન્શિયમ-૯૦ ધાતુનું આઈસોટોપ વપરાય છે. આ આઈસોટોપ પરમાણુભઠ્ઠીની રાખમાંથી જ—ન્યુક્લિયસ વિભાજનના ફળ રૂપે—મળી આવે છે. મોટી, ભભકાદાર, સતત તેજસ્વી અને વિવિધ રંગોની સંજ્ઞાઓ બનાવવા માટે સ્ટ્રોન્શિયમ-૯૦નો ઉપયોગ વ્યાપક બન્યો છે. સંજ્ઞા-પાટિયાંઓ ઉપર આ આઈસોટોપનું પાતળું સ્તર લગાડીને એના ઉપર "ફોસ્ફોર" નામનું રસાયણ ચોપડવામાં આવે છે. સ્ટ્રોન્શિયમમાંથી નીકળતાં બીટા કિરણો એટલે કે ઈલેક્ટ્રોન કણો ફોસ્ફોરના અણુઓ પર પડે ત્યારે તેમાંથી રંગીન પ્રકાશ ઉત્પન્ન થાય છે. ફોસ્ફોર પણ જાતજાતનાં આવે છે અને જુદા જુદા રંગ—શ્વેત, રકત, લીલો, જાંબલી, કે નારંગી—ઉત્પન્ન કરે છે.

આપણે ઘરમાં જે વીજપ્રવાહનો ઉપયોગ કરીએ છીએ તે ઈલેક્ટ્રોન કણોના હલન-ચલનથી શકય બને છે. સ્ટ્રોન્શિયમ-૯૦ જેવા આઈસોટોપમાંથી નીકળતાં ઈલેક્ટ્રોનનો ઉપયોગ કરીને વીજપ્રવાહ ચલાવી શકાય-બેટરી બનાવી શકાય-આવી નાનકડી પરમાણુ-બેટરી બનાવવાના સફળ પ્રયોગો થયા છે. હજી એમાંથી શકિત અને પાવર બહુ નાના પ્રમાણમાં મળે છે, પણ વધુ સંશોધનથી આવી બેટરી વધુ શકિતશાળી બનાવી શકાશે. અત્યારે પણ આવી બેટરી અનેક જાતના ઉપયોગમાં લઈ શકાય છે.

પરમાણુઓનાં વિકિરણોની એક અદ્‌ભુત શકિત પદાર્થના ગુણધર્મો ફેરવવાની છે. જે પદાર્થ પર આ વિકિરણો પડે તેનું બંધારણ બદલાઈ જાય છે, કારણ કે અણુઓ પર વિકિરણ પડતાં એમાં ભાંગતોડ થાય છે અને ફેરબદલી થાય છે. સૂર્યના પ્રકાશમાં રહેલા રંગ કે કાપડ પર આવી જ વિક્રિયા થાય છે. સામાન્ય રીતે તો આવા ફેરફારથી પદાર્થને નુકશાન થાય છે—તે વળી જાય, બરડ થઈ જાય કે ધૂળ થઈ જાય. પરંતુ કેટલાક પદાર્થના બંધારણમાં ફાયદાકારક ફેરફાર થાય છે. પોલિઈથિલિન પ્લાસ્ટિક તો હવે અનેક ઘરગથ્થુ વપરાશની ચીજોથી જાણીતું છે. આવા પ્લાસ્ટિકની નળીઓ કે શીશીઓમાં ગરમ પ્રવાહી ભરી શકાતું નથી. ગરમીથી પ્લાસ્ટિક પોચું પડી જાય છે, વળી જાય છે. પરમાણુ-કિરણો જયારે આ પોલિઈથિલિન પર પડે ત્યારે એ પ્લાસ્ટિક એવું કઠણ બને છે કે એમાં ઊકળતું પાણી કે વરાળ પણ પસાર કરી શકાય.

પશ્ચિમના અનેક દેશોમાં કિરણોત્સર્ગી દ્રવ્યોનો વપરાશ, અને એ શકય બનાવતાં અનેક સાધનોની બનાવટ મહાઉદ્યોગ બન્યાં છે. આપણે ત્યાં પણ જેમ જેમ આવાં દ્રવ્યોનો વપરાશ વધતો જશે તેમ તેમ એની આજુબાજુ અનેક સંકીર્ણ અને પ્રકીર્ણ ઉદ્યોગો ખીલશે. આ માટે ઈજનેરો, ભૌતિકશાસ્ત્રીઓ અને રસાયણશાસ્ત્રીઓની પણ મોટી સંખ્યામાં જરૂર પડશે. પરમાણુવિજ્ઞાન અને એના અનેક વ્યવહારિક ઉપયોગો આજની ઊછરતી પેઢી માટે આવકારદાયક આહ્‌વાન છે.