B.Sc.
Sem. IV
(PHYSICS)

રેડિયોએક્ટિવીટી

V.D. PATEL
UNIT : II

Q. **કુદરતી રેડિયોએક્ટિવીટી એટલે શું ?**

A. "યુરેનિયમ જેવા કેટલાક ભારે તત્વો નૈસર્ગિક રીતે જ અદૃશ્ય વિકિરણોનું સ્વતઃ ઉત્સર્જન કરે છે. આ ઘટનાને નૈસર્ગિક રેડિયોએક્ટિવીટી કહે છે."

Q. **રેડિયોએક્ટિવ તત્વના સરેરાશ જીવનકાળની વ્યાખ્યા આપી તે માટેનું સૂત્ર મેળવો.**

A. **સરેરાશ જીવનકાળ** : "આપેલા નમૂનામાંના બધા જ ન્યુક્લિયસનો કુલ જીવનકાળ અને તે નમૂનામાંના ન્યુક્લિયસની પ્રારંભિક કુલ સંખ્યાના ગુણોત્તરને સરેરાશ જીવનકાળ કહે છે."

$$\text{સરેરાશ જીવનકાળ } (T) = \frac{\text{આપેલા નમૂનામાંના બધા ન્યુક્લિયસનો કુલ જીવનકાળ}}{\text{તે નમૂનામાંના ન્યુક્લિયસની પ્રારંભિક કુલ સંખ્યા.}}$$

ધારોકે આપેલા નમૂનામાં $t=0$ સમયે અવિભંજીત ન્યુક્લિયસની કુલ સંખ્યા N_0 અને $t=t$ સમયે N છે.

t પછીના સૂક્ષ્મ dt સમયમાં વિભંજન પામતા ન્યુક્લિયસની સંખ્યા ધારો કે dN છે. આ dN ન્યુક્લિયસ t સમય સુધી જીવીત હશે.

$$\therefore \text{ તેમનો કુલ જીવનકાળ} = t \cdot dN \quad \text{-------- (1)}$$

$$\therefore \text{ બધા ન્યુક્લિયસનો જીવનકાળ} = \int_{N_0}^{0} t \cdot dN \quad \text{------ (2)}$$

તેમજ,

$$\text{ન્યુક્લિયસની પ્રારંભિક કુલ સંખ્યા} = \int_{N_0}^{0} dN = -N_0 \quad \text{--- (3)}$$

$\therefore$ સરેરાશ જીવનકાળની વ્યાખ્યા મુજબ,

$$T = \frac{\int_{N_0}^{0} t \cdot dN}{-N_0} \quad \text{---------- (4)}$$

હવે,

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\therefore dN = N_0 \cdot (-\lambda) \cdot e^{-\lambda t} \cdot dt \quad \text{---------- (5)}$$

સમી. (5) ની કિંમત સમી. (4) માં મૂકતાં

$$T = \frac{\int_{N_0}^{0} t \cdot N_0 \cdot (-\lambda) \cdot e^{-\lambda t} \cdot dt}{-N_0}$$

$t=0 \Longrightarrow N=N_0$ અને $t=\infty \Longrightarrow N=0$ નો ઉપયોગ કરતાં,

$$T = \lambda \int_{0}^{\infty} t \cdot e^{-\lambda t} \cdot dt \quad \text{-------- (6)}$$

સમી. (6) માં $\int_0^\infty t \cdot e^{-\lambda t} dt$ પદનું ખંડશઃ સંકલન કરતાં,

$$\int_0^\infty t\cdot e^{-\lambda t}dt = \left[\left(t\cdot\frac{e^{-\lambda t}}{-\lambda}\right)_0^\infty - \int_0^\infty (1)\left(\frac{e^{-\lambda t}}{-\lambda}\right)dt\right]$$

$e > 1 \quad e^{-\infty} = 0$

$$= \left[0 - \left(\frac{e^{-\lambda t}}{\lambda^2}\right)_0^\infty\right]$$

$$= \frac{1}{\lambda^2} \quad \text{-------------} (7)$$

સમી. (7) ની કિંમત સમી. (6) માં મૂકતાં,

$$T = \lambda\cdot\left(\frac{1}{\lambda^2}\right)$$

$$\therefore \boxed{T = \frac{1}{\lambda}} \quad \text{-----------} (8)$$

સમી. (8) દર્શાવે છે કે રેડિયોએક્ટિવ તત્વનો સરેરાશ જીવનકાળ તેના ક્ષય નિયતાંકના વ્યસ્ત પ્રમાણમાં હોય છે.

Q. રેડિયોએક્ટિવ વૃદ્ધિ અને ક્ષય સમજાવો.

A. "રેડિયોએક્ટિવીટી દરમ્યાન અસ્થાયી તત્વ વિભંજન પામી બીજા તત્વમાં રૂપાંતર પામે છે. ઉત્પન્ન થયેલું નવું તત્વ જો અસ્થાયી હોય તો તે પણ આગળ વિભંજન પામે છે અને બીજું નવું તત્વ બને છે. આ દરમ્યાનને રેડિયોએક્ટિવ ક્ષય કે વૃદ્ધિ અથવા પરંપરિત રેડિયોએક્ટિવ રૂપાંતરણ કહે છે."

આ દરમ્યાન વિભંજન પામતા તત્વને જનક તથા ક્ષય થવાથી ઉત્પન્ન થતા નવા તત્વને જનિત તત્વ કહે છે. આથી દરમ્યાન દરેક તત્વનો જથ્થો સમયના વિધેય તરીકે જાણવા માટે કેટલાક વિકલ સમી.નો ઉકેલ મેળવવામાં આવે છે.

ધારોકે, જનક તત્વ 'A' નો ક્ષય થવાથી ઉત્પન્ન થયેલું જનિત તત્વ 'B' પણ વિભંજન પામે છે અને સ્થાયી તત્વ 'C' ઉત્પન્ન કરે છે, એટલેકે $A \rightarrow B \rightarrow C$.

ધારો કે, $t=0$ સમયે A તત્વના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા N_0 અને $t=0$ સમયે B તત્વના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા શૂન્ય હોય તથા $t=t$ સમયે તત્વોના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા N_A, N_B અને N_C છે, તેમજ તેમના ક્ષય નિયતાંકો અનુક્રમે λ_A, λ_B અને λ_C છે.

$\therefore$ A તત્વનો ક્ષય પામવાનો દર, $\frac{dN_A}{dt} = -\lambda_A N_A$ -- (1)

A માંથી B તત્વ બનતું હોવાથી B તત્વ આ જ દરથી $(\lambda_A N_A)$ વૃદ્ધિ પામે છે. પરંતુ B તત્વ પોતે પણ રેડિયોએક્ટિવ હોવાથી $(\lambda_B N_B)$ દરથી ક્ષય પામે છે. માટે B તત્વનો ચોખ્ખો વૃદ્ધિ દર,

$$\frac{dN_B}{dt} = \lambda_A N_A - \lambda_B N_B \quad \text{-------} (2)$$

હવે, તત્વ 'C' સ્થાયી હોવાથી ક્ષય પામતું નથી. તેથી તે $\lambda_B N_B$ દરથી વૃદ્ધિ પામે છે.

$$\frac{dN_C}{dt} = \lambda_B N_B \quad \text{------------} (3)$$

સમી. (1) માં dN_A/dt આગળ મૂકેલું ઋણ ચિન્હ ક્ષય થતો હોવાનું સૂચન કરે છે.

જ્યારે સમી. (2) અને (3) માં dN_B/dt અને dN_C/dt આગળ મૂકાતાં ચિન્હ કોઈ પણ નથી. જે વૃદ્ધિ દર સૂચવે છે.

t સમયે A-તત્વના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા,

$$\boxed{N_A = N_0 \cdot e^{-\lambda_A t}} \quad \text{------------} (4)$$

સમી. (4) ની કિંમત સમી. (2) માં મૂકતાં,

$$\frac{dN_B}{dt} = \lambda_A \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda_A t} - \lambda_B N_B$$

$$\therefore \frac{dN_B}{dt} + \lambda_B N_B = \lambda_A \cdot N_0 e^{-\lambda_A t} \quad \text{------------} (5)$$

સમી. (5) ની બંને બાજુને $e^{\lambda_B t}$ વડે ગુણતાં

$$\frac{dN_B}{dt} \cdot e^{\lambda_B t} + \lambda_B N_B \cdot e^{\lambda_B t} = \lambda_A N_0 e^{(\lambda_B - \lambda_A)t}$$

$$\therefore \frac{d}{dt}\left[N_B e^{\lambda_B t}\right] = \lambda_A N_0 \cdot e^{(\lambda_B - \lambda_A)t} \quad \text{---------} (6)$$

સમી. (6) નું સંકલન કરતાં,

$$N_B \cdot e^{\lambda_B t} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} \cdot N_0 \cdot e^{(\lambda_B - \lambda_A)t} + C \quad \text{------} (7)$$

જ્યાં C એ સંકલનનો અચળાંક છે.

હવે, $t = 0$ સમયે $N_B = 0$ હોવાથી સમી. (7) પરથી

$$0 = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} \cdot N_0 + C$$

$$\therefore C = -\frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} \cdot N_0$$

સમી. (7) માં C ની કિંમત મૂકી બંને બાજુ $e^{\lambda_B t}$ વડે ભાગતાં,

$$\boxed{N_B = N_0 \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A}\left(e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}\right)} \quad \text{----} (8)$$

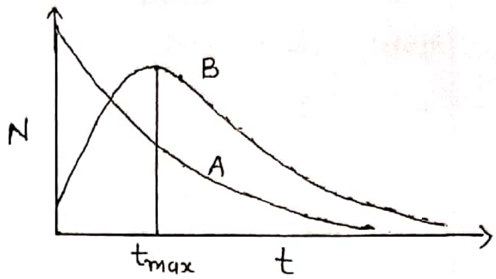
સમી. (8) એ t સમયે B-તત્વના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા દર્શાવે છે.

આ જ રીતે C તત્વના ન્યુક્લિયસની t સમયે સંખ્યા નીચેના સમીકરણથી મળે છે.

$$N_C = N_0\left[1+\frac{\lambda_A}{\lambda_B-\lambda_A}\cdot e^{-\lambda_B t} - \frac{\lambda_B}{\lambda_B-\lambda_A}\cdot e^{-\lambda_A t}\right] \text{----} (3)$$

પરંતુ જો t=0 સમયે B અને C તત્વના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા શૂન્ય ન હોય, પરંતુ તે અનુક્રમે N_B^0 અને N_C^0 હોય તો સમી. (4) અને સમી. (3) માં અનુક્રમે $N_B^0 e^{-\lambda_B t}$ અને $N_C^0 + N_B^0[1-e^{-\lambda_B t}]$ પદો ઉમેરાય છે.

N_A અને N_B નો t વિરુદ્ધના આલેખ આકૃતિ મુજબ મળે છે.



Q. A→B→C (સ્થાયી) રૂપાંતરણના કિસ્સામાં B તત્વની એક્ટિવિટી મહત્તમ બને તે સમય t_{max} શોધો.

A. રેડિયોએક્ટિવિટી એ ન્યુક્લિયસની સંખ્યાના સમપ્રમાણમાં હોય છે. તેથી B તત્વની એક્ટિવિટી મહત્તમ બને તે સમયે N_B પણ મહત્તમ હોય છે. સમય સાપેક્ષે N_B મહત્તમ બને તે માટેની શરત નીચે મુજબ છે,

$$\frac{dN_B}{dt} = 0$$

પરંતુ $N_B = N_0 \frac{\lambda_A}{\lambda_B-\lambda_A}\left(e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}\right)$

$$\therefore \frac{d}{dt}\left[N_0 \frac{\lambda_A}{\lambda_B-\lambda_A}\left(e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}\right)\right] = 0$$

$$\therefore N_0 \frac{\lambda_A}{\lambda_B-\lambda_A}\left(-\lambda_A e^{-\lambda_A t_{max}} + \lambda_B e^{-\lambda_B t_{max}}\right) = 0$$

$$\therefore \lambda_A e^{-\lambda_A t_{max}} = \lambda_B e^{-\lambda_B t_{max}}$$

$$\therefore \frac{e^{-\lambda_A t_{max}}}{e^{-\lambda_B t_{max}}} = \frac{\lambda_B}{\lambda_A}$$

$$\therefore (\lambda_B - \lambda_A) t_{max} = \ln\left(\frac{\lambda_B}{\lambda_A}\right)$$

$$\boxed{\therefore t_{max} = \frac{\ln\left(\frac{\lambda_B}{\lambda_A}\right)}{\lambda_B - \lambda_A}}$$

Q. આદર્શ સંતુલન સમજાવો. (Ideal equilibrium)

A. A, B અને C તત્વોના પરંપરિત રૂપાંતરણની ક્રિયામાં B તત્વના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા મહત્તમ બને ત્યારે ($t=t_{max}$ સમયે),

$$\frac{dN_B}{dt} = 0$$

$$\therefore \frac{dN_B}{dt} = \lambda_A N_A - \lambda_B N_B = 0$$

$$\therefore \lambda_A N_A = \lambda_B N_B \quad \text{------} \ (1)$$

પરંતુ,

$$\lambda_A N_A = \lambda_A \cdot N_0' \cdot e^{-\lambda_A' t_{max}}$$

$$= \lambda_A \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda_A\left(\frac{\ln \frac{\lambda_B}{\lambda_A}}{\lambda_B-\lambda_A}\right)}$$

$$= \lambda_A N_0 \left(\frac{\lambda_A}{\lambda_B}\right)^{\frac{\lambda_A}{\lambda_B-\lambda_A}} \quad (\because e^{\ln_e x} = x)$$

હવે, $\lambda = \frac{0.693}{T}$ નો ઉપયોગ કરતાં,

$$\lambda_A N_A = \lambda_A N_0 \left(\frac{T_B}{T_A}\right)^{\frac{T_B}{T_A-T_B}} \quad \text{------} \ (2)$$

હવે, સમી. (1) દર્શાવે છે કે t_{max} સમયે જનક અને જનિત તત્વોની એક્ટિવીટી સમાન બને છે.

આમ, "જ્યારે બાકી રહેલા જનક તત્વની એક્ટિવીટી એકઠા થયેલા જનિત તત્વની એક્ટિવીટી જેટલી બને ત્યારે આદર્શ સંતુલન રચાયું કહેવાય." આવું સંતુલન જે સમયે જનિતના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા મહત્તમ બને ત્યારે જ (તે સમયે જ) રચાય છે. તે પછી એ લાંબો સમય જળવાતું નથી.

$t=0$ થી $t=t_{max}$ સુધાના સમયગાળામાં જનક તત્વનું જનિત તત્વમાં રૂપાંતર થતું હોવાથી $\frac{dN_B}{dt}$ ધન છે. જે દર્શાવે છે કે જનક તત્વની એક્ટિવીટી વધુ છે.

$t=t_{max}$ થી $t=\infty$ સુધીના સમયગાળામાં જનિત તત્વ જનક તત્વ તરીકે વર્તે છે. અને નવા તત્વમાં રૂપાંતર પામતું હોય છે. તેથી dN_B/dt ઋણ હોય છે. જે દર્શાવે છે કે જનિત તત્વની એક્ટિવીટી જનક તત્વની એક્ટિવીટી કરતાં વધારે હોય છે.

Q. ટ્રાન્સીએન્ટ સંતુલન સમજાવો. (ક્ષણિક સંતુલન સમજાવો.)

જ્યારે જનક તત્વ જનિત તત્વ કરતાં દીર્ઘજીવી ($T_A > T_B$) હોય પરંતુ T_A નું મૂલ્ય T_B કરતાં અતિશય વધારે ન હોય ત્યારે તેમની વચ્ચે ટ્રાન્સીએન્ટ સંતુલન રચાય છે.

હવે,

$$N_A = N_0 e^{-\lambda_A t} \quad \text{------} \ (1)$$

અને

$$N_B = N_0 \frac{\lambda_A}{\lambda_B-\lambda_A}\left[e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}\right] \quad \text{----} \ (2)$$

સમી. ① અને ② પરથી,

$$\lambda_A N_A = \lambda_A N_0 \cdot e^{-\lambda_A t} \quad \text{-------- ③}$$

અને

$$\lambda_B N_B = \frac{\lambda_A \lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A} N_0 \left[e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}\right] \quad \text{--- ④}$$

સમી. ④ અને સમી. ③ નો ગુણોત્તર લેતાં,

$$\frac{\lambda_B N_B}{\lambda_A N_A} = \frac{\lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A}\left[1 - e^{-(\lambda_B - \lambda_A)t}\right]$$

t ના ઘણા મોટા મૂલ્ય માટે એટલે કે ઘણા લાંબા સમય બાદ $e^{(\lambda_B - \lambda_A)t}$ પદને અવગણતાં,

$$\frac{\lambda_B N_B}{\lambda_A N_A} = \frac{\lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A}$$

હવે, $\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$ નો ઉપયોગ કરતાં,

$$\frac{\lambda_B N_B}{\lambda_A N_A} = \frac{T_A}{T_A - T_B} = \text{અચળ}$$

આમ ઘણા ઘણા લાંબા ($t>>$) સમય બાદ, A અને B તત્વની એક્ટિવીટી અચળ બનશે. જો કે, સમાન નથી. આવું સંતુલન ટ્રાન્સીએન્ટ સંતુલન કહેવાય છે. જો કે હવે પછી દરેક સમયે તેમની એક્ટિવીટીઓનો ગુણોત્તર અચળ જળવાઈ રહેશે.

*** ઉદાહરણો**

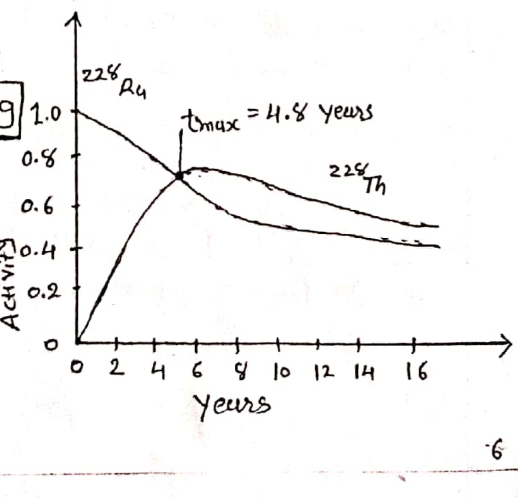
(1)

$${}^{228}_{88}Ra \xrightarrow[(T=6.7\ \text{વર્ષ})]{\beta^-} {}^{228}_{89}Ac \xrightarrow[(T=6\ \text{કલાક})]{\beta^-} {}^{228}_{90}Th \xrightarrow[(T=1.9\ \text{વર્ષ})]{\alpha} {}^{224}_{88}Ra$$

અહીં Ac ની હાજરી ઘણા ઓછા સમય માટે હોવાથી T ખૂબ નાનો હશે. Ac માટે T ને અવગણી Ra^{228} અને Th^{228} વચ્ચે સીધી જ પ્રક્રિયા ગણતાં ટ્રાન્સીએન્ટ સંતુલન વખતે એક્ટિવીટીનો ગુણોત્તર

$$\frac{I_B}{I_A} = \frac{I_{Th}}{I_{Ra}} = \frac{T_A}{T_A - T_B}$$

$$\therefore \frac{I_B}{I_A} = \frac{6.7}{6.7 - 1.9} = \boxed{1.39}$$



આમ, Th ની એક્ટિવીટી Ra કરતાં 1.39 ગણી હશે. અને હવે પછી કાયમ માટે આટલા ગણી જ રહેશે.

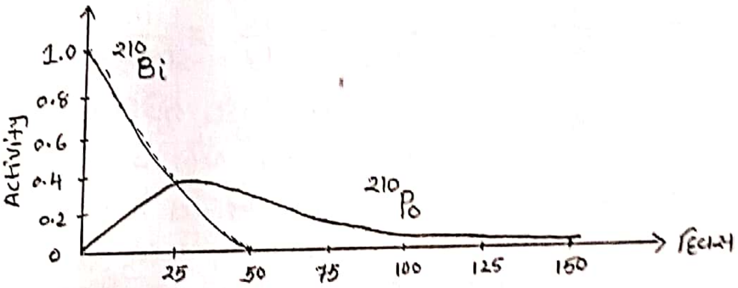
(૨) $_{90}Th^{227} \xrightarrow[(T=18.9\ \text{દિ.})]{\alpha} {}_{88}Ra^{223} \xrightarrow[(T=11.2\ \text{દિ})]{\alpha} {}_{86}Rn^{219}$ માં

$$\frac{I_{Br}}{I_A} = \frac{I_{Ra}}{I_{Th}} = \frac{18.9}{18.9-11.2} = 2.454$$

Q. સંતુલન અશક્ય ક્યારે બને ?

A. જો જનિત તત્વ જનક તત્વ કરતાં દીર્ઘ જીવી હોય એટલે કે $(T_B > T_A)$ તો $\lambda_B N_B/\lambda_A N_A$ ગુણોત્તર સમયના વધવા સાથે સતત વધતો જાય છે. અમુક સમય બાદ જનિત તત્વની એક્ટિવીટી, શેષ રહેલા જનક તત્વની એક્ટિવીટીથી સ્વતંત્ર થઈ જાય છે અને ત્યાર પછી તેમની વચ્ચે કોઈ સંતુલન રચાવવાની શક્યતા રહેતી નથી. એટલે કે સંતુલન અશક્ય બને છે.

$$_{83}Bi^{210} \xrightarrow[T=5.1\ \text{દિ}]{\beta^-} {}_{84}Po^{210} \xrightarrow[T=138.4\ \text{દિ.}]{\alpha} {}_{82}Pb^{206}$$



Q. સેક્યુલર સંતુલન સમજાવો. (કાયમી સંતુલન સમજાવો)

A. જો જનક તત્વ જનિત તત્વ કરતાં અતિશય વધારે દીર્ઘજીવી હોય એટલે કે $T_A >>> T_B$ હોયતો $\lambda_A << \lambda_B$ હશે.

હવે,
$$\lambda_B N_B = \lambda_A N_A \frac{\lambda_B}{\lambda_B-\lambda_A}\left[1-e^{-(\lambda_B-\lambda_A)t}\right] \quad \text{----(1)}$$

પણ, $\lambda_A << \lambda_B$, હોવાથી, સમી. (1) નીચે મુજબ લખી શકાય.

$$\lambda_B N_B = \lambda_A N_A \cdot \frac{\lambda_B}{\lambda_B-\lambda_A}\left[1-e^{-\lambda_B t}\right] \quad \text{----(2)}$$

ઘણા લાંબા સમય બાદ $(t >> T_B)$,

$$e^{-\lambda_B t} \approx 0$$

$$\therefore \lambda_B N_B = \lambda_A N_A$$

ઉપરના સંજોગોમાં $(\lambda_A << \lambda_B)$ જનિત તત્વની એક્ટિવીટી જનક તત્વની એક્ટિવીટી જેટલી થાય છે. આવું સંતુલન Secular સંતુલન કહેવાય છે.

આ સમગ્ર ઘટનાની ભૌતિક પરિસ્થિતિ આ પ્રમાણે સમજી શકાય છે. જનક તત્વ જ્યારે અત્યંત દીર્ઘજીવી હોય દા.ત. U^{238} નો અર્ધજીવનકાળ 4.51×10^9 વર્ષ છે ત્યારે જનક તત્વની એક્ટિવીટી લગભગ અચળ લઈ શકીએ, કારણ કે આપણે જે સમયગાળા માટેનાં અવલોકનો લેતા હોઈએ તે સમયગાળામાં તેના ન્યુક્લિયસની સંખ્યામાં નોંધપાત્ર ફેરફાર થતો નથી. અને તેથી જનિત તત્વનો ઉત્પાદનનો દર પણ અચળ લઈ શકાય. આમ જનિત તત્વનો જથ્થો વધતો જતાં કોઈ તેનો ક્ષય દર (એક્ટિવીટી) પણ વધતો જાય છે, અને જ્યારે બંનેના અર્થાત્ જનક અને જનિતના ક્ષય દર સમાન બને ત્યારે તેઓ એકબીજા સાથે સેક્યુલર સંતુલનમાં છે તેમ કહેવાય,

$$\lambda_B N_B = \lambda_A N_A \text{ પરથી,}$$

$$\frac{N_B}{N_A} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B}$$

હવે, $\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}}$ નો ઉપયોગ કરતાં

$$\frac{\lambda_B}{\lambda_A} = \frac{N_A}{N_B} = \frac{T_A}{T_B}$$

આમ, જનક અને જનિતના ન્યુક્લિયસની સંખ્યાઓનો ગુણોત્તર પણ અચળ રહે છે અને તેમના અર્ધઆયુના ગુણોત્તર જેટલો હોય છે.

આ પરથી યુરેનિયમમાં રહેલા રેડિયમનું ટકાવાર પ્રમાણ કેમ અચળ જણાય છે તે સમજી શકાય છે.

$$\frac{N_B}{N_A} = \frac{T_B}{T_A} \text{ પરથી } \frac{N_{Ra}}{N_U} = \frac{T_{Ra}}{T_U} = \frac{1620 \text{ વર્ષ}}{4.5 \times 10^9 \text{ વર્ષ}} = 3.6 \times 10^{-7}$$

જે લગભગ 3.2 ટન જેટલા શુદ્ધ યુરેનિયમમાં 1 ગ્રામ રેડિયમનો જથ્થો હોવાનું દર્શાવે છે. પ્રાયોગિક રીતે પણ આટલું પ્રમાણ જણાય છે.

અહી Ra એ U નું તરતનું જનિત તત્વ નથી પણ બીજાં તત્વો મારફતે રૂપાંતર પામીને તે બનતું હોય છે. પરંતુ U નું અર્ધઆયુ તે બધામાં ઘણું વધારે હોવાથી બીજાં તત્વો U-સાથે સેક્યુલર સંતુલનમાં ગણી શકાય.

Q. 'કાર્બન ડેટીંગ' રીતથી પૃથ્વીની ઉંમર નક્કી કરો.

A. પૃથ્વી પરના ધરતીકંપો, તેની સપાટી કે પેટાળમાં થતા મોટા ફેરફારો વગેરેની કોઈ અસર રેડિયોએક્ટિવીટીની ઘટના પર થતી નથી, તેથી અહી રેડિયોએક્ટિવીટીની ઘટના પર આધારિત કાર્બન ડેટીંગની રીતથી પૃથ્વીની ઉંમર નક્કી કરવા જરૂરી સૂત્ર મેળવીશું.

કાર્બન ડેટીંગ રીત :

વાતાવરણમાંના નાઈટ્રોજન પર બહારના અવકાશમાંથી આવતા કોસ્મિક કિરણોમાં રહેલા ન્યુટ્રોનના મારાથી વાતાવરણમાં સતત ${}_6C^{14}$ સતત બનતો જ રહે છે.

$${}_7N^{14} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_6C^{14} + {}_1H^1$$

ઉપરોક્ત પ્રક્રિયામાં ${}_6C^{14}$ જે β કણના ઉત્સર્જન દ્વારા ક્ષય પામે છે.

$${}_6C^{14} \longrightarrow {}_7N^{14} + {}_{-1}\beta^0 + \bar{\nu} \text{ (એન્ટીન્યુટ્રીનો)}$$

અહીં $_6C^{14}$ નું અર્ધઆયુ 5730 વર્ષ છે જે ઘણું મોટું હોવાથી તેનો પુરાતત્વવાદ અને ઉત્ક્રાંતિવાદમાં ખૂબ ઉપયોગી છે. વાતાવરણમાંનો $_6C^{14}$; હાઈડ્રોજન અને ઓક્-સિજન સાથે સંયોજન પામી કાર્બોહિત દ્રવ્યમાં સતત રૂપાંતર પામતો જ હોય છે તેથી જો તે વાતાવરણમાં સતત બનતો જતો ન હોત તો ક્યારનો ય વપરાઈને ખલાસ થઈ જાત અને વાતાવરણમાં હાજર જ ન હોત.

યુવાન વૃક્ષ કે પ્રાણીમાં $_6C^{14}$ ની એક્ટિવીટી વાતાવરણમાંની તેની એક્ટિવીટી જેટલી (એટલે કે 15.3 વિભંજન / મિનિટ) જણાય છે.

વાતાવરણમાં રેડિયોકાર્બન ($_6C^{14}$) બન્યા પછી તે O_2 સાથે સંયોજાઈને જે CO_2 બનાવે છે તેને લીલી વનસ્પતિ ગ્રહણ કરીને પ્રકાશસંશ્લેષણની ક્રિયામાં પાણી અને સૂર્યપ્રકાશ સાથે ઉપયોગ કરે છે અને કાર્બોહાઈડ્રેટ બનાવે છે. પ્રાણીઓ આ વનસ્પતિ ખાય એટલે પ્રાણીઓ પણ રેડિયોએક્ટિવ બને છે.

જ્યારે કોઈ વનસ્પતિ કે પ્રાણી મૃત્યુ પામે છે ત્યારે તે કાર્બનને પોતાની અંદર કોઈપણ સ્વરૂપે લેવાનું બંધ કરે છે અને તે ક્ષણથી તેના મૃત શરીરમાં $_6C^{14}$ નો ક્ષય થવાની એકમાત્ર પ્રક્રિયા બાકી રહેલી હોય છે.

મૃત પ્રાણીના અવશેષોની કે મૃત વનસ્પતિની એક્ટિવીટી માપીને તેનું મૃત્યુ થયા પછી આજ સુધી વ્યતિત થયેલો સમય અંદાજી શકાય છે.

વનસ્પતિઓ અને પ્રાણીઓ એમ બધા સજીવોના દેહમાં રેડિયોકાર્બન $_6C^{14}$ અને સામાન્ય કાર્બન $_6C^{12}$ ના જથ્થાનો ગુણોત્તર એક જ સરખો હોય છે તેમ જણાયું છે.

વનસ્પતિ અને પ્રાણીઓના મૃત્યુ પછી તેઓ રેડિયો કાર્બન લેવાનું બંધ કરે પણ તેમના દેહમાં રહેલા રેડિયો કાર્બન $_6C^{14}$ નો ક્ષય થવાનું ચાલુ રહે છે. આથી, પ્રાણી કે વનસ્પતિના મૃત્યુ બાદ, રેડિયોકાર્બન $_6C^{14}$ ના જથ્થા, અને સામાન્ય કાર્બન $_6C^{12}$ ના જથ્થાના ગુણોત્તરનું મૂલ્ય સમય વધતાં ઘટતું જાય છે. આ ગુણોત્તરનું મૂલ્ય જાણવાથી તે સજીવના મૃત્યુ પછી વ્યતિત થયેલો સમય t જાણી શકાય છે.

હકીકતમાં સજીવના મૃત અવશેષને બાળીને તેમાંથી બનેલા CO_2 ની એક સંવેદી β - કાઉન્ટર વડે એક્ટિવીટી R માપવામાં આવે છે. તેટલા જ દળના જીવંત સજીવની એક્ટિવીટી R_0 હોય તો,

$$R = R_0 e^{-\lambda t}$$

$$\therefore \ t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{R_0}{R}$$

આ પરથી સમય t શોધવામાં આવે છે.

BEST OF LUCK

આ રીતે પરંપરામાં વિભંજન પામતા રેડિયો એક્ટિવ તત્ત્વનો ક્રમવાર સમૂહ રેડિયો એક્ટિવ શ્રેણી રચે છે.

કુદરતી રીતે મળી આવતા ન્યુક્લાઈડ્ઝ (ન્યુક્લિયસના નમૂના) નો અભ્યાસ કરતાં તેમને ચાર શ્રેણીઓમાં વહેંચી શકાય છે જે આકૃતિ (4), આકૃતિ (5), આકૃતિ (6), અને આકૃતિ (7)માં દર્શાવેલી છે.

α-કણના વિભંજનથી પરમાણુ દળાંકમાં 4 જેટલો ફેરફાર થાય છે તે હકીકતને લીધે કુલ આવી 4 પ્રકારની શ્રેણીઓ રચાતી જણાઈ છે.

${}_{90}Th^{232}$ શ્રેણીના બધા સભ્યોના પરમાણુ દળાંકનાં મૂલ્યો $4n$ વડે દર્શાવી શકાય છે તેથી તેને $4n$ શ્રેણી કહે છે. તે જ રીતે બીજી શ્રેણીઓનું પણ સમજવું.

	શ્રેણી	જનક	જનકનું અર્ધ આયુ	સ્થાયી અંતિમ નિપજ
$A = 4n$	થોરિયમ	${}_{90}Th^{232}$	1.39×10^{10} વર્ષ	${}_{82}Pb^{208}$
$A = 4n + 1$	નેપ્ચ્યુનિયમ	${}_{93}NP^{237}$	2.25×10^{6} વર્ષ	${}_{83}Bi^{209}$
$A = 4n + 2$	યુરેનિયમ	${}_{92}U^{238}$	4.51×10^{9} વર્ષ	${}_{82}Pb^{206}$
$A = 4n + 3$	એક્ટિનિયમ	${}_{92}U^{235}$	7.07×10^{8} વર્ષ	${}_{82}Pb^{207}$

${}_{93}NP^{237}$ નું અર્ધઆયુ $\tau_{1\ 2} = T = 2.25 \times 10^{6}$ વર્ષ એ પૃથ્વીની અંદાજિત ઉંમર $\sim 10^{10}$ વર્ષની સરખામણીએ ઘણું નાનું હોવાથી તે શ્રેણીના સભ્યો હાલમાં કુદરતમાં મળતા નથી. પરંતુ ભારે તત્ત્વો પર ન્યુટ્રોનનો મારો ચલાવીને તેમને પ્રયોગશાળામાં બનાવી શકાય છે.

શાખા વિભંજન :

સામાન્ય રીતે દરેક તત્ત્વ એક જ રીતે વિભંજન પામે છે. α-કણ ઉત્સર્જીત કરીને કે β-કણ ઉત્સર્જિત કરીને. પણ આકૃતિઓમાં $4n$ શ્રેણીમાં ${}_{83}Bi^{212}$ જુઓ. તે બે રીતે વિભંજન પામે છે. ${}_{83}Bi^{212}$ એ 66.3% સંભાવનાથી β કણનું ઉત્સર્જન કરી ${}_{84}Po^{212}$ અને 33.7 % સંભાવનાથી α કણનું ઉત્સર્જન કરી ${}_{81}Tl^{208}$ બનાવે છે જે ફરીથી અનુક્રમે α અને β કણોના ઉત્સર્જન દ્વારા એક જ નીપજ ${}_{82}Pb^{208}$ બનાવે છે. એક જ તત્ત્વની એક કરતાં વધુ રીતે વિભંજન પામીને નવું એક જ તત્ત્વ બનાવવાની ક્રિયાને શાખા વિભંજન કહે છે.

α-કણના ઉત્સર્જની સંભાવના λ_α અને β-કણના ઉત્સર્જની સંભાવના λ_β હોય તો કુલ એક્ટિવીટી

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N = -(\lambda_\alpha + \lambda_\beta) N \qquad \text{........(54)}$$

અને સરેરાશ જીવનકાળ $\tau = \dfrac{1}{\lambda_\alpha + \lambda_\beta}$ ....(55)

આ પરથી, $\tau = \dfrac{1}{\tau} = \dfrac{1}{\tau_\alpha} + \dfrac{1}{\tau_\beta}$ ....(56)

$\dfrac{\lambda_\alpha}{\lambda_\beta}$ ને શાખા ગુણોત્તર (branching ratio) કહે છે.