Chapter-1

રેડિયો એક્ટિવીટી (Radioactivity)

2.1પરિચય(Introduction):

રેડિયોએક્ટિવિટીની શોધ સાથે 1896 ની શરૂઆતમાં અણુ ન્યુક્લી વિશે જ્ઞાન શરૂ થયું. 1895 માં, રોન્ટજેને એક્સ-રેની શોધ કરી. ફ્રેન્ચ વૈજ્ઞાનિક બેકરેલને રોન્ટજેનના કામમાં રસ પડ્યો. એક્સ-રેનું ઉત્પાદન હંમેશા એક્સ-રે ટ્યુબ (કાચ) ની સામગ્રીમાંથી ફ્લોરોસેન્સ સાથે હોય છે તે હકીકતથી બેકરેલને પકડવામાં આવ્યો હતો. તેણે વિચાર્યું કે જ્યારે પણ ફ્લોરોસેન્સ હોય ત્યારે એક્સ-રે અસ્તિત્વમાં હોય છે. આ સમસ્યાની તપાસ કરવા માટે , બેકરેલે યુરેનિયમ સલ્ફેટ લીધો , જે સૂર્યપ્રકાશની ક્રિયા હેઠળ ફ્લોરોસેસ થાય છે. તેણે જોયું કે ફ્લોરોસન્ટ યુરેનિયમ સલ્ફેટ કિરણો આપે છે , જે જાડા કાળા કાગળમાં વીંટળાયેલી હોય ત્યારે પણ ફોટોગ્રાફિક પ્લેટને અસર કરી શકે છે. બેકરેલએ દલીલ કરી હતી કે ફ્લોરોસન્ટ મીઠાએ એક્સ-રેને જન્મ આપ્યો હતો , જે કાળા કાગળમાં ઘૂસી ગયો હતો અને ફોટોગ્રાફિક પ્લેટને અસર કરી હતી.

પરંતુ તેણે તરત જ જોયું કે તે ભૂલથી હતો. આવા એક પ્રયોગ દરમિયાન આકાશ વાદળછાયું હતું અને યુરેનિયમ મીઠું ભાગ્યે જ ફ્લોરોસન્ટ હતું. ફોટોગ્રાફિક પ્લેટ વિકસાવવા પર , બેકરેલ તેના પર પહેલાની જેમ શ્યામ સ્પોટ જોઈને આશ્ચર્યચકિત થઈ ગયા. તેણે દેખીતી રીતે જ કેટલાક નવા પ્રકારના કિરણો (1896) પર ઠોકર મારી હતી જે જાડા રેપરમાં પ્રવેશી શકે છે અને ફોટોગ્રાફિક પ્લેટને અસર કરી શકે છે. તે ટૂંક સમયમાં સ્થાપિત થયું હતું કે યુરેનિયમનું કોઈપણ મીઠું બેકરેલ કિરણો બહાર કાઢે છે. એક્સ-રેથી વિપરીત ,જે એક્સ-રે ટ્યુબમાં માત્ર વિશેષ પરિસ્થિતિઓમાં જ દેખાય છે, બેકરેલ કિરણો સ્વયંસ્ફુરિત રીતે ઉત્સર્જિત થાય છે.

શું યુરેનિયમ એકમાત્ર પદાર્થ છે જે બેકરેલ કિરણો ઉત્સર્જિત કરે છે ? મેરી ક્યુરીએ શોધી કાઢ્યું કે પિચબ્લેન્ડે, ઓર કે જેમાંથી યુરેનિયમ કાઢવામાં આવે છે , તેના યુરેનિયમની સામગ્રી કરતાં વધુ તીવ્રતા સાથે બેકરેલ કિરણો બહાર કાઢે છે. રાસાયણિક વિભાજનની લાંબી અને કપરી પ્રક્રિયા પછી , મેરી ક્યુરી અને તેના પતિ પિયર ક્યુરીએ બે નવા તત્વો , પોલોનિયમ અને રેડિયમની શોધ કરી, જે બેકરેલ કિરણો બહાર કાઢે છે.

તેઓએ બેકરેલ કિરણો ઉત્સર્જિત કરવામાં સક્ષમ તમામ પદાર્થોને 'કિરણોત્સર્ગી' નામ આપ્યું અને આ ઘટના પોતે જ 'રેડિયોએક્ટિવિટી' તરીકે જાણીતી થઈ.

રેડિયમની શોધ એ એક મહાન ઘટના હતી , કારણ કે તે યુરેનિયમ કરતાં લગભગ એક મિલિયન ગણું વધુ કિરણોત્સર્ગી હોવાનું જાણવા મળ્યું હતું. રેડિયમ રેડિયેશનની આ શક્તિએ રેડિયોએક્ટિવિટીને વ્યવસ્થિત રીતે અભ્યાસ કરવાનું શક્ય બનાવ્યું.

2.2 રેડિયોએક્ટિવ કિરણોના ગુણધર્મો(Properties of Radioactive Rays):

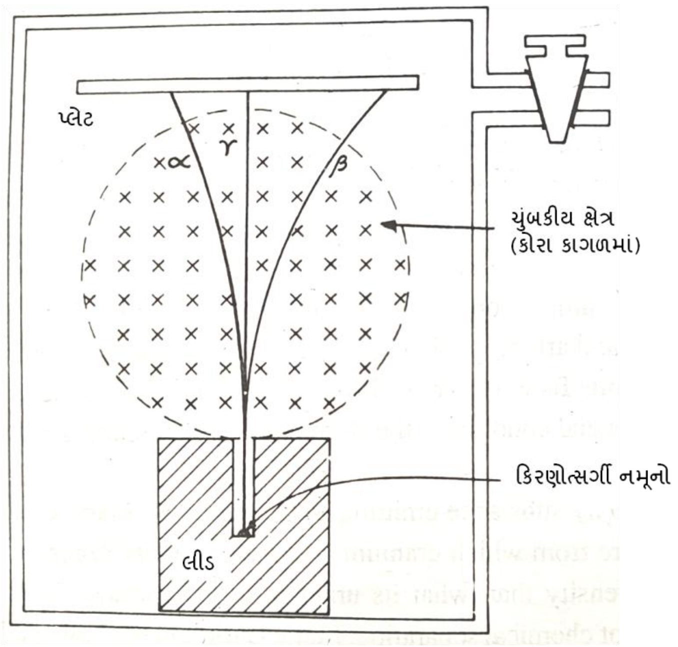
(1) કેલરીમેટ્રિક પ્રયોગ દ્વારા, ક્યુરીએ અંદાજ લગાવ્યો કે એક ગ્રામ રેડિયમ એક કલાકમાં 140 કેલરી મુક્ત કરે છે. નાની હોવા છતાં, આ ઉર્જા ખૂબ લાંબા સમય સુધી સતત મુક્ત થાય છે.

(ii) કિરણોત્સર્ગી કિરણો આસપાસની હવાને આયનીકરણ કરે છે અને ફોટોગ્રાફિક પ્લેટોને અસર કરે છે.

(iii) કિરણોત્સર્ગી કિરણો વિવિધ કોષો અને પેશીઓ પર અલગ રીતે કાર્ય કરે છે. કોષો કે જે ઝડપથી વધે છે તે આ કિરણો દ્વારા સૌથી વધુ સરળતાથી નાશ પામે છે. આ ઉત્કૃષ્ટ શોધે રેડિયમને ગાંઠો, ખાસ કરીને કેન્સરની વૃદ્ધિ સામે લડવા માટે ચિકિત્સકો માટે અમૂલ્ય સહાયતા બનાવી.

(iv) ઝીંક સલ્ફાઇડ, બેરિયમ પ્લેટિનોસાઇનાઇડ, વગેરે જેવા પદાર્થોમાં ફ્લોરોસેન્સ ઉત્પન્ન થાય છે. ઝીંક સલ્ફાઇડમાં રેડિયમની થોડી માત્રા ઉમેરીને, આપણે એક સંયોજન મેળવી શકીએ છીએ જે અંધારામાં સતત ચમકતું હોય છે. આનો ઉપયોગ અંધારામાં વાંચવા માટે જરૂરી હોય તેવા સાધનો માટે ચમકદાર ઘડિયાળના ડાયલ્સ , ગન સાઈટ અને ઈન્સ્ટ્રુમેન્ટ પોઈન્ટર્સ (કોટિંગ) બનાવવા માટે થઈ શકે છે.

(v) રધરફોર્ડે શોધી કાઢ્યું કે રેડિયમ નમૂનામાંથી કિરણોત્સર્ગી કિરણોનો કિરણ મજબૂત ચુંબકીય અથવા ઇલેક્ટ્રિક ક્ષેત્રમાં ત્રણ ઘટકોમાં વિભાજીત થાય છે.



આકૃતિ 2.1. ચુંબકીય ક્ષેત્ર દ્વારા α, β, γ કિરણોનું વિચલન.

(a) α-રે (કણો) એ હિલીયમ અણુઓના મધ્યવર્તી કેન્દ્ર છે. આ ઓળખ રધરફોર્ડ અને રોયડ્સ દ્વારા 1909 માં કરવામાં આવી હતી. સ્પેક્ટ્રોસ્કોપિક પદ્ધતિ દ્વારા , તેઓ રેડોન ગેસના મૂળ શુદ્ધ

નમૂનામાં હિલીયમના નિશાન બનાવે છે , જે આલ્ફા ઉત્સર્જક છે. જ્યારે શુદ્ધ રેડોન ગેસ ધરાવતી નળીમાંથી ઇલેક્ટ્રિક ડિસ્ચાર્જ પસાર થતો હતો, ત્યારે શરૂઆતમાં માત્ર લાક્ષણિક રેડોન રેખાઓ દેખાતી હતી.

એક દિવસ પછી રધરફોર્ડને જાણવા મળ્યું કે , રેડોન રેખાઓ થોડી નબળી પડી અને નવી રેખાઓ દેખાવા લાગી. આ નવી રેખાઓને હિલીયમ સ્પેક્ટ્રમથી ઓળખવામાં આવી હતી. જેમ જેમ દિવસો વીતતા ગયા તેમ , રેડોન સ્પેક્ટ્રમ નબળો પડવા લાગ્યો જ્યારે હિલીયમ રેખાઓ વધુ તેજસ્વી થવા લાગી. આમ, પ્રથમ વખત, લોકોએ એક તત્વ (રેડોન)નો ક્ષય અને નવા તત્વ હિલીયમનો 'જન્મ' જોયો. આવા પરિવર્તન કે જેમાં પિતૃ તત્વ નવા તત્વને જન્મ આપે છે. જેને પુત્રી ઉત્પાદન કહેવાય છે-કિરણોત્સર્ગી કિરણો ઉત્સર્જિત કરીને તેને કિરણોત્સર્ગી રૂપાંતરણ કહેવામાં આવે છે. રેડોનના ઉપરના ઉદાહરણ માટે , આપણે કિરણોત્સર્ગી રૂપાંતર સમીકરણ આ રીતે લખી શકીએ:

$^{222}_{86}\mathrm{Rn} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{218}_{84}\mathrm{Po}$--------------------(2.1)

પિતૃ તત્વ → α-કણો + પુત્રી ઉત્પાદન

નોંધ લો કે કિરણોત્સર્ગી રૂપાંતર દરમિયાન, સમૂહ સંખ્યા અને કુલ ચાર્જ સચવાય છે.

સમીકરણ 2.1 એ પરમાણુ પ્રતિક્રિયાનું ઉદાહરણ છે.

સ્પષ્ટપણે, રેડિયોએક્ટિવિટી એક પરમાણુ ઘટના છે. બીજા શબ્દોમાં કહીએ તો , કિરણોત્સર્ગી કિરણો અણુ ન્યુક્લિયસમાંથી બહાર આવે છે.

આલ્ફા ઘટાડાના થોડા ઉદાહરણો છે.

$^{238}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{234}_{90}\mathrm{Th}$ ---------------------(2.2)

$^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{222}_{86}Rn$ --------------------------(2.3)

$^{218}_{84}Po \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{214}_{82}Pb$--------------(2.4)

આલ્ફા કિરણોને કાગળની પાતળી શીટ દ્વારા રોકી શકાય છે. બીજી બાજુ, તેઓ હવામાં તીવ્ર આયનીકરણનું કારણ બને છે. મોટાભાગના α - કણો ~1.5 x 10^7 m/s અને ~ 2.2 ×10^7 m/s વચ્ચેના વેગ સાથે ઉત્સર્જિત થાય છે. સમાન પ્રકારના ન્યુક્લીમાંથી ઉત્સર્જિત α -કણોના કોઈપણ જૂથમાં હંમેશા ચોક્કસ વેગ હોય છે અને તેથી ચોક્કસ ઊર્જા હોય છે.

આલ્ફા કણો આપેલ સામગ્રીમાં ચોક્કસ અંતરને આવરી લે છે , વ્યવહારીક રીતે કોઈપણ તીવ્રતાના નુકશાન વિના અને પછી અચાનક નાના અંતરે સંપૂર્ણ રીતે શોષાય છે. તેઓ આપેલ સામગ્રીની અંદર જે ચોક્કસ અંતર મુસાફરી કરે છે તેને તે સામગ્રીમાં તેમની શ્રેણી કહેવામાં આવે છે. ઉદાહરણ તરીકે, રેડિયમ (Ra) ના α -કણોની હવામાં શ્રેણી 3.4 સેમી જેટલી અને 0° સે અને 76 સે.મી. દબાણનું હોય છે.

(b) β કિરણો ઇલેક્ટ્રોન સાથે સરખા છે. તેથી બી-કણમાં પ્રોટોનનો સમૂહ (1/1836) હોય છે.
β ઘટાડાના કેટલાક ઉદાહરણો છે:

$^{234}_{90}Th \rightarrow {}^{234}_{91}Pa + {}^{0}_{-1}e$ -------------------(2.5)

$^{210}_{83}Bi \rightarrow {}^{210}_{84}Po + {}^{0}_{-1}e$ --------------------(2.6)

$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$ --------------------(2.7)

નોંધ લો કે સામૂહિક સંખ્યા અને ચાર્જ સાચવેલ છે અને પુત્રી ઉત્પાદન સામયિક કોષ્ટકમાં એક સ્થાન ઉપર ખસે છે , કારણ કે ન્યુક્લિયસ દ્વારા નકારાત્મક ચાર્જની ખોટ હકારાત્મક ચાર્જનો લાભ સૂચવે છે. બીટા કિરણો હવામાં ખૂબ ઓછા આયનીકરણનું કારણ બને છે , પરંતુ α-રે કરતાં 100 ગણા વધુ ઘૂસી જાય છે. તેઓ થોડા મીમી જાડા એલ્યુમિનિયમની શીટમાં પ્રવેશ કરી શકે છે.

વિવિધ ન્યુક્લિય રેન્જમાંથી 0.99c સુધી ઉત્સર્જિત બી-કણોનો વેગ , જ્યાં $c = 3 \times 10^{8}$m/s, પ્રકાશનો વેગ છે. ચોક્કસ β -સક્રિય તત્વ શૂન્ય અને ચોક્કસ મહત્તમ વચ્ચે બદલાતી ઊર્જા સાથે β -કણો બહાર કાઢે છે. આ મહત્તમ ઊર્જાને અંતિમ બિંદુ ઊર્જા કહેવામાં આવે છે.

(c) γ-કિરણો ઇલેક્ટ્રોમેગ્નેટિક સ્પેક્ટ્રમનો ભાગ છે. તેમની તરંગલંબાઇ સામાન્ય રીતે X-રે સાથે સંકળાયેલા કરતા નાની હોય છે. આમ, સામાન્ય રીતે γ -રે ફોટોન (ફોટોનની ઉર્જા ,$E = hf = hc/\lambda$) X-રે ફોટોન કરતાં વધુ ઊર્જાવાન હોય છે અને X-રે કરતાં પણ વધુ ભેદી હોય છે. (તેઓ B-કિરણો કરતાં ~100 ગણા વધુ ઘૂસી જાય છે.) γ -રે ફોટોનની તરંગલંબાઇ $\sim 1.7 \times 10^{-8}$ cm અને $\sim 4 \times 10^{-8}$cm ની વચ્ચે હોય છે.

γ -કિરણોને કારણે આયનીકરણ એ ફોટોઇલેક્ટ્રિક અસર છે. તેમની મોટી ઊર્જાને કારણે , γ-રે ફોટોન માત્ર અણુઓની બાહ્ય ભ્રમણકક્ષા (વહન બેન્ડ પર વેલેન્સ ભ્રમણકક્ષા) માંથી જ નહીં પણ આંતરિક ભ્રમણકક્ષામાંથી પણ ઇલેક્ટ્રોનને વિખેરી શકે છે. આ ફોટોઈલેક્ટ્રીક અસર ઉપરાંત, γ -કિરણો (1) કોમ્પટન સ્કેટરિંગ દ્વારા ઊર્જા ગુમાવે છે, જેમાં γ -ફોટન ઈલેક્ટ્રોન સાથે

અથડાય છે અને તરંગલંબાઈ $(\Delta\lambda = h/m_0C(1-\cos\alpha))$માં ફેરફાર સાથે વિખેરાઈ જાય છે , અને (2) જોડી ઉત્પાદન જેમાં γ -ફોટનને ઇલેક્ટ્રોન અને પોઝીટ્રોન ધરાવતી જોડીમાં રૂપાંતરિત કરવામાં આવે છે. આ માટે, γ-રેની ઊર્જા > 1.02 MeV હોવી જોઈએ.

કુદરતીરેડિયોએક્ટિવીટી(Natural Radioactivity):

બેક્વેરેલ નામના વૈજ્ઞાનિકે જણાવ્યું કે કુદરતમાં મળતા તત્વો પૈકી $z = 82$ અથવા તેના કરતા વધારે પરમાણુ ક્રમાંક ધરાવતાં તત્વો અસ્થાયી હોય છે. અને તેઓ આપ મેળે વિભંજન પામે છે. અને અદ્રશ્ય કિરણોનું સ્વયંમ ઉત્સર્જન કરી નવા જ તત્વમાં રૂપાંતર પામે છે.આ ઘટનાને કુદરતી (નૈસર્ગિક) રેડિયો એક્ટિવીટી કહે છે.

2.3 રેડિયો એક્ટિવીટી ક્ષયનો નિયમ અથવા ચરઘાતાંકીય નિયમ (The Law of Radioactive Decay):

કોઇ રેડિયો એક્ટિવ તત્વનો કોઇપણ ક્ષણે વિભંજન દરને તે ક્ષણે તે તત્વના અવિભંજીત પરમાણુઓની સંખ્યાને સમપ્રમાણમાં હોય છે.

એટલે કે $-\frac{dN}{dt} \propto N$

$$\therefore\ -\frac{dN}{dt} = \lambda\, N$$

જ્યાં λ ને રેડિયો એક્ટિવ નિયતાંક કહે છે. ઋણ નિશાની સમય જતાં N માં ઘટાડો થાય છે તે સૂચવે છે. આ સમીકરણનું સંકલન કરતાં,

$$\therefore\ \int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\int_{o}^{t} \lambda dt$$

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

આ સમીકરણને વિભંજનનો ચરઘાંતાંકીય નિયમ કહે છે. જ્યાં N_0એ $t = 0$ સમયે તત્વમાં ન્યુક્લિયસની સંખ્યા છે. અને Nએ$t = t$ સમયે હાજર રહેલા પરમાણુની સંખ્યા છે.

અર્ધજીવન કાળ (Half Life):

જે સમયગાળામાં આપેલા રેડિયો એક્ટિવ તત્વના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા શરૂઆતની સંખ્યા $(t = 0$ સમયે $N_0)$ કરતાં અડધી બને તે સમ્ય ગાળાને તે તત્વનો અર્ધજીવન કાળ $T_{1/2}$ કહે છે.

$$\therefore \frac{N}{N_0} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$$

$$\therefore e^{\lambda T} = 2$$

$$\therefore \lambda T = log_e^2 = 0.693$$

અર્ધજીવન કાળ $T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$

આ સમીકરણની મદદથી તત્વનો અર્ધજીવન કાળ મેળવી શકાય છે.

સરેરાશ જીવનકાળ (Mean Life):

રેડિયો એક્ટિવ તત્વમાં આવેલા બધાં જ ન્યુક્લિયસ એક સાથે વિભંજન પામતા નથી. જુદા જુદા ન્યુક્લિયઓ જુદા જુદા સમયકાળ સુધી અસ્તિત્વ ધરાવે છે. અને ત્યારબાદ વિભંજન પામે છે. આમ , ન્યુક્લિયસનું આયુષ્ય શૂન્ય થી માડીને ગમે તેટલું મોટું હોઇ શકે છે. તેથી ન્યુક્લિયસોના જીવનકાળના સરેરાશ મૂલ્યને તે તત્વનો સરેરાશ જીવનકાળ (τ)કહે છે.

સરેરાશ જીવનકાળ$(\tau) = \frac{\text{આપેલા નમૂનામાંના બધા ન્યુક્લિયસોનો કુલ જીવનકાળતે}}{\text{નમૂનામાંના ન્યુક્લિયસની પ્રારંભિક કુલ સંખ્યા}}$

ધારો કે $t = 0$ સમયે આપેલા રેડિયોએક્ટિવ તત્વમાં N_0 પરમાણુ છે. t સમયે વિભંજન પામ્યા સિવાયના બાકી રહેલા ન્યુક્લિયસોની સંખ્યા N છે. t અને $t + dt$ સમયના ગાળામાં dN ન્યુક્લિયસ વિભંજન પામે છે. આ dN ન્યુક્લિયસ tસમય સુધી તો જીવંત રહ્યા છે. આથી dN ન્યુક્લિયસોનો કુલ જીવનકાળ $= t \times dN$ થશે.

આપેલા નમૂનાના જથ્થાને સંપૂર્ણ પણે વિભંજન પામતા અનંત સમય લાગે છે. તેથી અનંત સમયના dt જેવા અનંત ગાળા પાડી શકાય અને દરેક ગાળામાં વિભંજન ગાળા પાડી શકાય અને દરેક ગાળામાં વિભંજન પામતાં પરમાણુની સંખ્યા શોધી બધાં પરમાણુઓનો કુલ જીવનકાળ $= (dN_1 \times t_1) + (dN_2 \times t_2) + (dN_3 \times t_3) + \cdots \dots \dots \dots$ થશે

કુલ જીવનકાળ $= \sum_{t=0}^{\infty} dN \times t$

$= \int_0^{\infty} dN \times t$($\sum$ ની જગ્યા $\int$ સંકલન મૂકી શકાય છે) __________ (1)

આથી સરેરાશ જીવનકાળ $\tau = \frac{\int_0^{\infty} t.dN}{N_0}$ ___________ (2)

$N = N_0 e^{-\lambda t}$સમી. પરથી

$$dN = N_0 e^{-\lambda t}(-\lambda)dt$$

dNનું મૂલ્ય સમી. (2) માં મૂકતાં

$$\therefore\ \tau = \frac{\int_0^\infty t \cdot N_0 e^{-\lambda t}\,(-\lambda)dt}{N_0}$$

$\tau = -\lambda \int_0^\infty e^{-\lambda t} \cdot t\, dt$__________(3)

ખંડશઃ સંકલનની રીતે

$$\int uvdx = u\int vdx - \int\left(\frac{du}{dx}\int vdx\right)dx$$

સમી. (3) માં $u = t$ અને $\mathrm{v} = e^{-\lambda t}$

$$\therefore\ \int vdx = \frac{e^{-\lambda t}}{-\lambda}$$

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

સંકલનની limit મૂકતાં પ્રથમ પદ શૂન્ય થશે.

આથી$\tau = -\lambda \int_0^\infty \frac{e^{-\lambda t}}{-\lambda}dt$

$$= \int_0^\infty e^{-\lambda t}\,dt$$

$$= -\frac{e^{-\lambda t}}{-\lambda}$$

$\therefore\ \tau = \frac{1}{\lambda}$__________ (4)

આમ, રેડિયો એક્ટિવ તત્વનો સરેરાશ જીવનકાળ તેના ક્ષય નિયતાંક્ના વ્યસ્ત જેટલો હોય છે.

અર્ધજીવનકાળના સમી.$T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$ પ્રમાણે

$T_{1/2} = 0.693\,\tau$ __________ (5)

આમ, સમી. (5) અર્ધજીવનકાળ અને સરેરાશ જીવનકાળ વચ્ચેનો સંબંધ દર્શાવે છે.

એક્ટિવીટીના એકમ (Unit of Activity):

સૌથી વધુ ઉપયોગમાં લેવાતું એકમ ક્યુરી છે. તે મૂળરૂપે રેડિયમના એક ગ્રામના ક્ષયના દર પર આધારિત હતું. પ્રયોગોએ પરિણામ આવ્યું કે રેડિયમના ગ્રામ દીઠ સેકન્ડમાં લગભગ

3.7×10^{10} વિઘટન થાય છે. જે આ નંબર મળ્યો તે મૂળભૂત અને તેને ક્યુરી કહે છે. માટે હવે વ્યાખ્યા,

એક ક્યુરી $= \ 1\,Ci = 3.7 \times 10^{10}\,\frac{\text{વિઘટન}}{\text{સેકન્ડ}}$

બધા જ પ્રકારના ન્યુક્લિયર વિઘટનમાં આ શરત વપરાય છે.

ક્યુરીની એક્ટિવીટી એ વિકિરણનું મજબૂત ઉદભવ છે. માટે,

1 મીલીક્યુરી = $1\,m\,Ci$ =$10^{-3}Ci$(ક્યુરી)

1 માઇક્રોક્યુરી = $1\,\mu\,Ci$ =$10^{-6}Ci$(ક્યુરી)

કેટલીક વખત એક્ટિવીટીના એકમ તરીકે રૂથરફોર્ડ પણ ઉપયોગ થાય છે.

1 રૂથરફોર્ડ $=$ 1 $rd \ = 10^{6}\,\frac{\text{વિઘટન}}{\text{સેકન્ડ}}$

1 મીલી રૂથરફોર્ડ $(1m\,rd) = 10^{-3}\,rd$

1 માઇક્રો રૂથરફોર્ડ $(1\mu\,rd) = 10^{-6}rd$

2.4 રેડિયોએક્ટિવિટીની સ્ટેટિસ્ટિકલ પ્રકૃતિ(Statistical Nature of Radioactivity)

અગાઉના વિભાગમાં આપણે N, કિરણોત્સર્ગી ન્યુક્લીની સંખ્યાની t સમયે , સતત ચલ તરીકે ચર્ચા કરી છે . t અને t + dt ની વચ્ચે ક્ષીણ થતા મધ્યવર્તી કેન્દ્રોની સંખ્યા dN ની સરખામણીમાં N ખૂબ મોટી હોય ત્યાં સુધી આ કરવા માટે ન્યાયી છે.સામાન્ય રીતે આવું થાય છે, કારણ કે કિરણોત્સર્ગી સામગ્રીના એક મિનિટમાં પણ આપણી પાસે ખૂબ મોટી સંખ્યામાં ન્યુક્લી હોય છે, દા.ત.,એક માઇક્રોગ્રામ રેડિયમમાં, હજુ પણ 2.7×10^{15} રેડિયમ ન્યુક્લી હોય છે.

વાસ્તવમાં N સતત બદલાય છે અને dV નું સૌથી નાનું મૂલ્ય એક છે , જે એક ન્યુક્લિયસના ઘટાડાને અનુરૂપ છે. આમ જોઈ શકાય કે , કિરણોત્સર્ગી ઘટાડાનો નિયમ માત્ર કિરણોત્સર્ગી સામગ્રીના નમૂના માટે જ માન્ય છે જે dV ને વિભેદક તરીકે ગણવામાં સક્ષમ કરવા માટે પૂરતા પ્રમાણમાં વિશાળ છે. અર્ધ જીવન અને સરેરાશ જીવનની વિભાવનાઓ અર્થહીન બની જાય છે જ્યારે તમારી પાસે માત્ર થોડા ન્યુક્લિયસ ધરાવતા નમૂના હોય. ઉદાહરણ તરીકે, જો તમને કહેવામાં આવે કે, નમૂના ધારક પર 100 સક્રિય ન્યુક્લી, અને સામગ્રીનું અર્ધ જીવન એક કલાક છે, તો તેનો અર્થ એ નથી કે એક કલાક પછી તમારી પાસે 50 ન્યુક્લીઓ બાકી રહેશે.

નમૂનામાં ન્યુક્લીની સંખ્યા વધી હોવાથી , અમે કહી શકતા નથી કે આપેલ ક્ષણે કયા ન્યુક્લી ક્ષીણ થશે તેમાંથી અડધા જીવન પછી ક્ષીણ થશે. તેને અડધા વિશે કહી શકીએ છીએ મૂળભૂત રીતે તેથી, કિરણોત્સર્ગી ઘટના પ્રકૃતિમાં આંકડાકીય છે. આપેલ ક્ષણે કયા કિરણોત્સર્ગી ન્યુક્લિયસનો ક્ષીણ થશે તે કહી શકતા નથી , જો કે આપેલ નમૂનાનો પૂરતો મોટો ભાગ હોવા છતાં, આપેલ નમૂનાનો કયો ભાગ સમયના અંતરાલમાં ક્ષીણ થશે તેની આગાહી કરી શકીય છે.આ તમામ ક્વોન્ટમ યાંત્રિક ઘટનાઓની લાક્ષણિકતા છે , દા.ત., પ્રકાશનું ઉત્સર્જન જ્યારે અણુઓ ડી-એક્સાઈટ થાય છે.

નીચે મુજબ, આંકડાકીય દલીલોના આધારે કિરણોત્સર્ગી ઘટાડાનો કાયદો મેળવવો શક્ય છે. ધારો કે ન્યુક્લિયસનું વિઘટન માત્ર તકના નિયમ પર આધાર રાખે છે અને ન્યુક્લિયસના ક્ષીણ થવાની સંભાવના P તેના પ્રકારના તમામ ન્યુક્લિયસ માટે સમાન છે.વધુમાં , P એ ન્યુક્લિયસની ઉંમર અથવા ભૂતકાળના ઇતિહાસથી સ્વતંત્ર છે.

P માત્ર સમય અંતરાલ પર આધાર રાખે છે અને ટૂંકા અંતરાલ માટે , તે અંતરાલના પ્રમાણસર છે, એટલે કે

$P = \lambda\Delta t$ ----------(2.17)

સંભાવના Q_1, કે સમય અંતરાલ Δt દરમિયાન ન્યુક્લિયસ ક્ષીણ થશે નહીં:

$Q_1 = 1 - P = 1 - \lambda\Delta t$

સંભાવના Q_2, કે $2\Delta t$ સમય દરમિયાન ન્યુક્લિયસ ક્ષીણ થશે નહીં :

$Q_2 = (1-P)(1-P) = (1-\lambda\Delta t)^2$

સામાન્ય રીતે, સંભાવના Q_n કે ન્યુક્લિયસ આવા અંતરાલોમાં ટકી રહે છે, તે છે:

$Q_n = (1-\lambda\Delta t)^n$ ---------------------(2.18)

અંતરાલોથી બનેલા મર્યાદિત સમય અંતરાલ Δt ને ધ્યાનમાં લો, એટલે કે

$$\Delta t = t/n$$
$$Q_n = (1-\frac{\lambda t}{n})^n$$

પરંતુ આ જથ્થાની મર્યાદા Q_n કારણ કે $n \to \infty$, $\frac{N}{N_0}$ છે, સમય t પછી,

હવે $Q_n = 1 - n\frac{\lambda t}{n} + \frac{n(n-1)}{2!}\frac{\lambda^2 t^2}{n^2} - \frac{n(n-1)(n-2)}{3!}\frac{\lambda^3 t^3}{n^3} + - - -$

$$= 1 - \lambda t + \left(1-\frac{1}{n}\right)\frac{\lambda^2 t^2}{2!} - \left(1-\frac{1}{n}\right)\left(1-\frac{2}{n}\right)\frac{\lambda^3 t^3}{3!} + - - - - - - - -$$
$$\therefore \lim_{n\to\infty} Q_n = \frac{N}{N_0} = 1 - \lambda t + \frac{\lambda^2 t^2}{2!} - \frac{\lambda^3 t^3}{3!} + - - - - - - - -$$
$$= e^{-\lambda t}$$

કિરણોત્સર્ગી ઘટાડાનો નિયમ આપતાં,

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

2.5 ન્યુક્લિયર ફિઝિક્સની સ્ટેટિસ્ટિકલ ભૂલો (The Statistical Errors of Nuclear Physics): ગાઉગર કાઉન્ટર જેવા ડિટેક્ટરનો ઉપયોગ કરીને કિરણોત્સર્ગી કણોની ગણતરી કરવી શક્ય છે. અગાઉના વિભાગમાંથી, જાણતાં N ની કોઈપણ મર્યાદિત સંખ્યાના અવલોકન માટે જરૂરી સમય આંકડાકીય વધઘટને આધીન છે, જે અવલોકન કરેલ ગણતરી દરમાં ભૂલને જન્મ આપે છે, $n = N/t$. આ રેડિયોએક્ટિવિટીની ઘટના માટે મૂળભૂત છે અને સાધનની મિલકત નથી. આપેલ સમયમાં જોવાયેલી ગણતરીઓની સંખ્યા પોઈસન વિતરણનું પાલન કરે છે.

N કણોની t સમયાંતરે અવલોકન કરવામાં આવે તેવી સંભાવનાને P લો.ધારો કે t સમય અંતરાલને n સમાન અંતરાલોમાં એટલા નાનામાં વિભાજિત કરવામાં આવે કે અંતરાલમાં બે કણોના ઉત્સર્જનની સંભાવના નજીવી હોય.

આપેલ અંતરાલમાં એક કણના ઉત્સર્જનની સંભાવના, N/n છે, જ્યાં N એ સરેરાશ સંખ્યા છે. આ વિભાગનો હેતુ ક્ષીણ થતા મધ્યવર્તી કેન્દ્ર N ની વાસ્તવિક સંખ્યા અને સરેરાશ સંખ્યા $\overline{N}$ વચ્ચેની વધઘટ અથવા તફાવતોની સારવાર કરવાનો છે ,કેટલીકવાર $< N >$ દ્વારા સૂચવવામાં આવે છે.

પ્રથમ N અંતરાલો અને બાકીના $(n - N)$ અંતરાલોમાં N કણોના ઉત્સર્જનની સંભાવના છે:

$$\left(\frac{\overline{N}}{n}\right)^N \left(1 - \frac{\overline{N}}{n}\right)^{n-N} \text{ ------------------ } (2.19)$$

કુલ સમય t માં N કણો મેળવવાની આ માત્ર એક જ સંભવિત રીત છે. પહેલો કણ અંતરાલોમાંથી કોઈપણ એકમાં, બીજો કણ બાકીના $(n - 1)$માંથી કોઈપણ એકમાં હોઈ શકે છે અને તેથી વધુ, જેથી અંતે N^{th} બાકીના કોઈપણ $(n + 1 - N)$માં હોઈ શકે. N^{th} કણ તે કબજે કરે છે અને તે તમામ $(n - N)$ સુશુપ્ત અંતરાલો વચ્ચેના અંતરાલમાંથી કોઈપણ એક પસંદ કરી શકે છે આમ અંતરાલોમાં N કણોને વિતરિત કરવાની રીતોની સંખ્યા છે:

$$n(n-1)(n-2)\ldots\ldots\ldots(n-N+1)$$

જો કે, આ બધી રીતો સ્વતંત્ર નથી , કારણ કે પરિણામને પ્રભાવિત કર્યા વિના કણોની અદલાબદલી થઈ શકે છે. તેથી, આવશ્યકપણે અલગ-અલગ રીતોની સંખ્યા

$$= \frac{n(n-1)(n-2)\ldots\ldots(n-N+1)}{\text{કણોને વિનિમય કરવાની રીતોની સંખ્યા}}$$

N કણોમાંથી કોઈપણ એકને પ્રથમ તરીકે પસંદ કરી શકાય છે , બાકીનામાંથી કોઈપણ એક $(N - 1)$બીજા તરીકે અને તેથી વધુ.

$$\therefore \text{ કણોને બદલવાની રીતોની સંખ્યા} = N!$$

તેથી,N ગણતરીઓ મેળવવાની સંભાવના છે,

$$P_N = \frac{n(n-1)(n-2)\ldots..(n-N+1)}{N!}\left(\frac{\overline{N}}{n}\right)^N \left(1 - \frac{\overline{N}}{n}\right)^{n-N} \text{ -------------} (2.20)$$

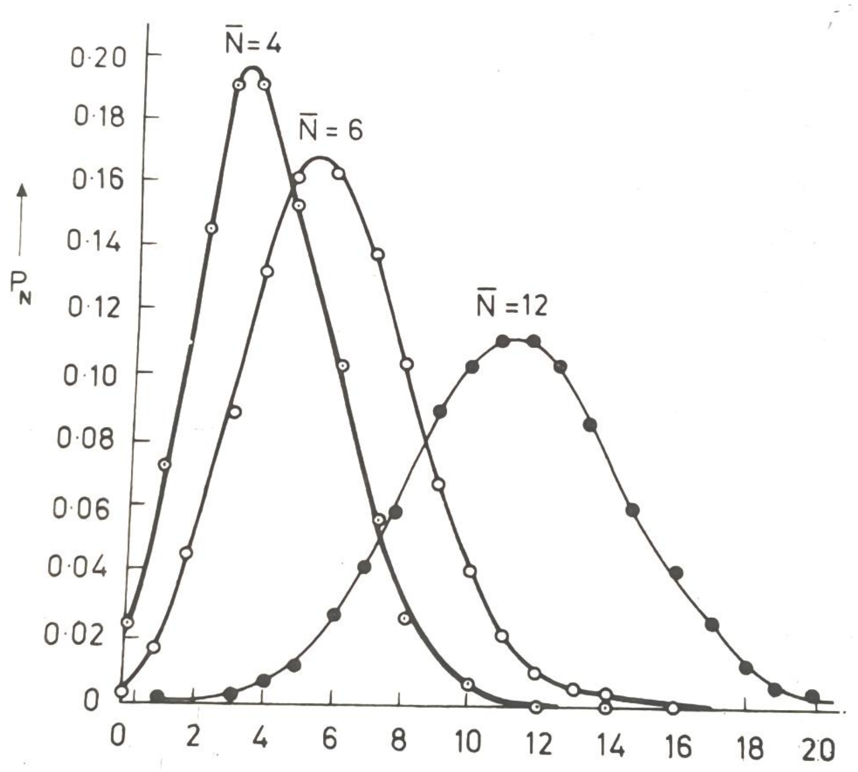
આ દ્વિપદી વિતરણ કાયદો છે.

જ્યારે n→∞, Eq. (2.20) બને છે

$$P_N = \frac{n^N}{N!}\left(\frac{\bar{N}}{n}\right)^N e^{-\bar{N}}$$

$$= \frac{\bar{N}^N e^{-\bar{N}}}{N!} \text{-----------------(2.21)}$$

આ પ્રખ્યાત પોઈસન વિતરણ સૂત્ર છે. તે આકૃતિ 2.4 માં દર્શાવવામાં આવ્યું છે.



આકૃતિ-2.2 પોઈસનની શ્રેણી. નોંધ લો કે જેમ જેમ N મોટો થાય છે તેમ, વળાંક મહત્તમ વિશે વધુ સપ્રમાણ બને છે.

કડક શબ્દોમાં કહીએ તો , સમીકરણ- (2.21) માત્ર N ના અવિભાજ્ય મૂલ્યો માટે જ માન્ય છે. જો કે, આ સૂત્ર દ્વારા આપવામાં આવેલા બિંદુઓ દ્વારા N ની સામે P_N નો સતત વળાંક N ના નાના મૂલ્યો માટે અસમપ્રમાણ મહત્તમ સાથેનો વળાંક આપે છે. જેમ N મોટું થાય છે તેમ વળાંક લગભગ સપ્રમાણ બને છે.મહત્તમ અને તે વિશ્લેષણાત્મક રીતે બતાવી શકાય છે કે પોઈસન વિતરણ ગૌસ ભૂલ વળાંક સુધી પહોંચે છે. પછી,

$$P_N = \frac{1}{\sqrt{2\pi\bar{N}}} e^{-\left(\frac{(N-\bar{N})^2}{2N}\right)} \qquad \text{-----------------(2.22)}$$

જે ગૌસ નિયમ છે.

∴ જો આપેલ સમય t માં સરેરાશ N ગણતરીઓ જોવામાં આવે , તો પ્રમાણભૂત વિચલનગણતરીની સંખ્યામાં,

$S = \sqrt{\bar{N}}$ -------------(2.23)

$\left(\therefore \text{ ચોકસાઇ અનુક્રમણિકા } h = \frac{1}{\sqrt{2\bar{N}}} \text{ and } S = \frac{\sqrt{2}}{h}\right)$

સામાન્ય રીતે એક જ રીડિંગ લેવામાં આવે છે , જે N ની પૂરતી નજીક હોવાનું માનવામાં આવે છે. આમ પ્રમાણભૂત વિચલન,

$$S = \sqrt{N}$$

2.6 રેડિયો એક્ટિવનો ઉત્પન્ન અને ક્ષય (Radioactivity Growth and Decay):

રેડિયો એક્ટિવીટીની ઘટનામાં જે તત્વ અસ્થાયી (unstable) હોય તેનું વિભંજન થાય છે. અને બીજા તત્વમાં રૂપાંતર પામે છે. અને ઉત્પન્ન થયેલું તત્વ પણ અસ્થાયી હોય તો તે પણ વિભંજન પામે છે અને આમ બીજું નવું તત્વ બને છે. આમ છેલ્લે જ્યારે સ્થાયી (stable)તત્વ મળે છે ત્યારે પ્રક્રિયા અટકી જાય છે. જેને પરંપરિત રેડિયો એક્ટિવ રૂપાંતરણ (Successive Radioactive trans formation)કહે છે.

ધારો કે જનક તત્વ A નો ક્ષય થવાથી ઉત્પન્ન થયેલું જનિત તત્વB પણ વિભંજન પામે છે. અને સ્થાયી તત્વCઉત્પન્ન કરે છે એટલે કે આ શ્રેણીને $A \rightarrow B \rightarrow C$ કહે છે.

A, B અને C તત્વના ક્ષય નિયતાંકો અનુક્રમે λ_A, λ_Bઅનેλ_Cઅને t સમયે જે તે તત્વના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા અનુક્રમે N_A, N_BઅનેN_C છે. $t = 0$ સમયે A તત્વના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા N_0 છે. જ્યારે $t = 0$ સમયે B તત્વના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા શૂન્ય છે.

A તત્વનો ક્ષય પામવાનો દર

$$-\frac{dN_A}{dt} = \lambda_A N_A \qquad ----------(1)$$

Aતત્વમાંથી B તત્વ બને છે. B તત્વ આજ દરથી ($\lambda_A N_A$દરથી) વૃધ્ધિ પામે છે. પરંતુ B તત્વ પોતે પણ રેડિયો એક્ટિવ હોવાથી તે $\lambda_B N_B$ દરથી ક્ષય પામે છે. આમ , Bતત્વ માટે ચોખ્ખો વૃધ્ધિ દર

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

અહીં C તત્વ સ્થાયી હોવાથી તે ક્ષય પામતું નથી અને $\lambda_B N_B$ દરથી વૃધ્ધિ પામે છે. તેથી તેનો વિઘટનનો દર t

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

સમી.(1) માં ઋણ ચિન્હ છે તે તત્વનો ક્ષય દર્શાવે છે. જ્યારે સમી. (2) અને (3) માં ધન ચિન્હ છે જે વૃધ્ધિ દર દર્શાવે છે. કોઇ t સમયે A તત્વના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા

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

આ N_A ની કિંમત સમી. (2) માં મૂકતાં

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

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

આ સમી. ની બંને બાજુ એ $e^{\lambda_B t}$ વડે ગુણતાં,

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

સમી. (5) નું સંકલન કરતાં,

$$\int \frac{d}{dt}\left(N_B e^{\lambda_B t}\right) dt = \lambda_A N_B \int e^{(\lambda_B - \lambda_A)t}\, dt$$

$$\therefore N_B e^{\lambda_B t} = \lambda_A N_0 \frac{e^{(\lambda_B - \lambda_A)t}}{\lambda_B - \lambda_A} + \mathrm{C}\ (\text{સંકલનનો અચળાંક}) ------(6)$$

સંકલનના અચળાંક C નું મૂલ્ય શોધવા માટે $t = 0$ સમયે $N_B = 0$ હોવાથી સમી. (6) નીચે પ્રમાણે બને.

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

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

આ C ની કિંમત સમી.(6) માં મૂકતાં,

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

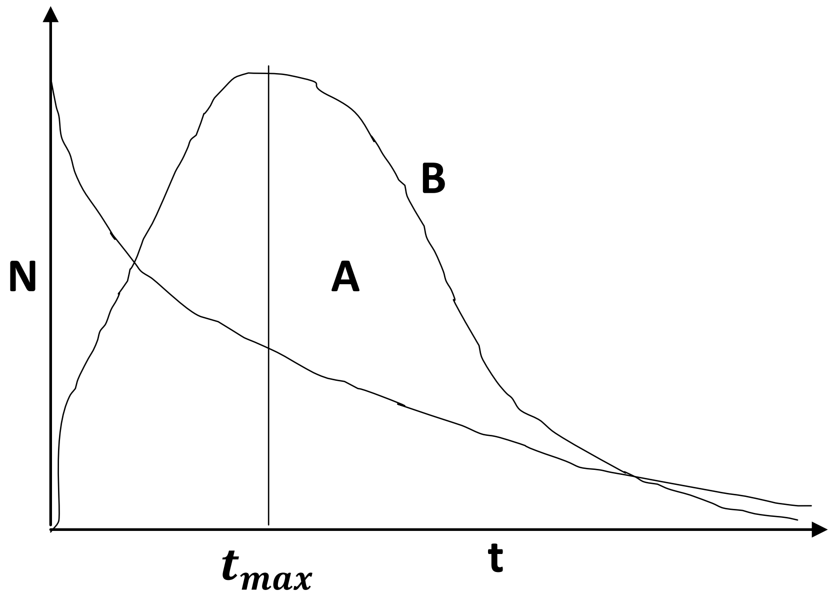
$$= N_0 \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A}\left(e^{\lambda_B t} \cdot e^{-\lambda_A t} - 1\right)$$

$$\therefore N_B = N_0 \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A}\left(\frac{e^{\lambda_B t} \cdot e^{-\lambda_A t} - 1}{e^{\lambda_B t}}\right)$$

$$\therefore\ N_B = N_0 \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A}\left(e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}\right) - - - - - - - - (7)$$

આમ, આ સમી.(7)ની મદદથી t સમયે B તત્વના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા દર્શાવે છે.

N_AઅનેN_B નાં t વિરૂધ્ધના આલેખ આકૃતિમાં દર્શાવ્યો છે.



મહતમ સમય t_{max}(Maximum time t_{max}):

જે સમયે B તત્વની એક્ટિવીટી મહતમ બને તે સમયે N_B પણ મહતમ હોય કારણ કે એક્ટિવીટી ન્યુક્લિયસની સંખ્યાના સમપ્રમાણમાં હોય છે.

સમી.(6)માં N_B મહતમ બને તે માટેની શરત $\frac{dN_B}{dt} = 0$ થશે.

સમી. (7) નું વિકલન કરતાં,

$$\frac{dN_B}{dt} = 0 = \frac{\lambda_0 \lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A}\left[-\lambda_A e^{-\lambda_A t_{max}} + \lambda_B e^{-\lambda_B t_{max}}\right]$$

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

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

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

$$\therefore \quad t_{max} = \frac{\ln\frac{\lambda_B}{\lambda_A}}{\lambda_B - \lambda_A} \quad ---------(8)$$

2.7 આદર્શ સંતુલન (Ideal Equilibrium):

A, B અને Cતત્વોના પરંપરિત રૂપાંતરણની ક્રિયામાં B તત્વના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા મહતમ બને ત્યારે $(t = t_{max})$ સમયે

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

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

$$\therefore \lambda_A N_A = \lambda_B N_B \text{પણ} \lambda_A N_A = \lambda_A N_0 e^{-\lambda_A t_{max}} \quad -----------(9)$$

સમી.(8) માંથી t_{max} નું મૂલ્ય મૂકતાં,

$$\lambda_A N_A = \lambda_A N_0 e^{-\lambda_A \left[\frac{\ln\frac{\lambda_B}{\lambda_A}}{\lambda_B - \lambda_A}\right]}$$

$$\lambda_A N_A = \lambda_A N_0 \left(\frac{\lambda_A}{\lambda_B}\right)^{\frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A}} \quad ---------(10)$$

$$\lambda_A = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{T} \text{પરથી} \lambda_A = \frac{0.693}{\tau_A} \quad , \quad \lambda_B = \frac{0.693}{\tau_B}$$

$$\lambda_A - \lambda_B = \frac{0.693}{T_A} - \frac{0.693}{T_B} = 0.693\left[\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_B}\right] = 0.693\left[\frac{-T_B - T_A}{T_A T_B}\right]$$

આથી સમી.(10)$\lambda_A N_A = \lambda_A N_0 \left(\frac{T_B}{T_A}\right)^{\left(\frac{T_A}{T_A - T_B}\right)} \quad ---------(11)$

$\lambda_A N_A = \lambda_B N_B$એમ પણ દર્શાવે છે કે જનક અને જનિત તત્વોની એક્ટિવીટી t_{max} સમયે સમાન થાય છે. જ્યારે બાકી રહેલા જનક તત્વની એક્ટિવીટી એકઠા થયેલા જનિત તત્વની એક્ટિવીટી જેટલી બને ત્યારે આદર્શ સંતુલન રચાયું કહેવાય છે. આવા સંતુલન જે સમયે જનિતના ન્યુક્લિયસની સંખ્યા મહતમ બને ત્યારે જ (ફક્ત તે સમયે જ) રચાય છે. તે પછી એ સંતુલન લાંબો સમય જળવાતું નથી.

ઉપરના ગ્રાફ પરથી સ્પષ્ટ છે કે $t = 0$ થી $t = t_{max}$ સુધીના ગાળામાં $\frac{dN_B}{dt}$ ધન છે જે દર્શાવે છે કે આ ગાળામાં A ની એક્ટિવીટી B કરતાં વધુ છે. $t = t_{max}$ થી $t = \infty$ માટેના

સમય ગાળામાં $\frac{dN_B}{dt}$ ઋણ છે જે દર્શાવે છે કે હવે જનિતની એક્ટિવીટી જનકની એક્ટિવીટી કરતાં વધારે છે.

2.8 ટ્રાન્સિએન્ટ સંતુલન (Transient Equilibrium):

જ્યારે જનક તત્વ , જનિત તત્વ કરતાં દીર્ઘજીવા હોય $(T_A > T_B)$ પરંતુ T_A નું મૂલ્ય T_B કરતાં અતિશય વધારે ન હોય ત્યારે તેમની વચ્ચે ટ્રાન્સિએન્ટ સંતુલન(ક્ષણિક સંતુલન) તરીકે ઓળખાતું સંતુલન રચાય છે.

$$N_A = N_0 e^{-\lambda_A t} \quad ---------(12)$$

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

બંને બાજુ λ_B વડે ગુણતાં

$$\lambda_B N_B = \frac{\lambda_A \lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A} N_0\left[e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}\right] \quad ----------(13)$$

સમી.(12) માં બંને બાજુ λ_A વડે ગુણતાં

$$\lambda_A N_A = \lambda_A N_0 e^{-\lambda_A t} \quad ------(14)$$

સમી.(13) ને સમી. (14) વડે ભાગતાં,

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

tના ઘણા મોટા મૂલ્ય માટે (એટલે કે ઘણા લાંબા સમય બાદ $e^{-(\lambda_B - \lambda_A)t}$ ને અવગણી શકાય.

$$\therefore \frac{\lambda_B N_B}{\lambda_A B_A} = \frac{\lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A}$$

તેમાં $T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} = \tau \Rightarrow \lambda = \frac{0.693}{\tau}$ પરથી,

જમણી બાજુના પદમાં $\lambda_B = \frac{0.693}{T_B}$

અને $\lambda_B - \lambda_A = \frac{0.693}{T_B} - \frac{0.693}{T_A}$

$$= 0.693\left(\frac{1}{T_B} - \frac{1}{T_A}\right) = 0.693\left(\frac{T_A - T_B}{T_A T_B}\right)$$

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

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

2.9 રેડિયો એક્ટિવ શ્રેણી(Radio active Series):

રેડિયો એક્ટિવ તત્વ અસ્થાયી હોવાને કારણે α અથવા β કણનું ઉત્સર્જન કરે છે. અને નવા તત્વમાં રૂપાંતર પામે છે. વિભંજન પામતું તત્વ જનક તત્વ અને નવા ઉત્પન્ન થયેલા તત્વને જનિત (daughter element) તત્વ કહે છે. આ રૂપાંતર થયેલું તત્વ પન રેડિયો એક્ટિવ હોય તો તે પણ α અથવા β કણનું ઉત્સર્જન કરી ત્રીજા તત્વમાં રૂપાંતર પામે છે. આમ , આ પ્રક્રિયા પરંપરીત આગળ વધે છે. અને છેવટે જ્યારે સ્થાયી તત્વ ઉત્પન્ન થાય છે ત્યારે વિભંજન પામવાની ક્રિયા અટકે છે. આ રીતે પરંપરીત વિભંજન પામતા રેડિયો એક્ટિવ તત્વોનો ક્રમવાર સમૂહ રેડિયો એક્ટિવ શ્રેણી રચે છે.

કુદરતમાં ચાર રેડિયો એક્ટિવ શ્રેણીઓ મળે છે. થોરીયમ $_{90}Th^{232}$, નેપચ્યુનિયમ $_{93}NP^{237}$,યુરેનિયમ $_{92}U^{238}$,$_{92}U^{235}$અને એક્ટિનિયમ $_{89}AC^{227}$ છે. જેને અનુક્રમે $4n, 4n+1, 4n+2, 4n+3$ શ્રેણી કહે છે.

સામાન્ય રીતે આ દરેક શ્રેણીમાં અંતિમ સ્થાયી તત્વ તરીકે Pb (સીસાનો આઇસોટોપ) મળે છે.

સંતુલન અશકય

જો જનિત તત્વ જનક કરતાં દીર્ઘજીવી હોય $(T_B - T_A)$ તો $\frac{\lambda_B N_B}{\lambda_A N_A}$ ગુણોતર સમયના વધવા સાથે સતત વધતો જાય છે. અમુક સમય બાદ જનિત તત્વની એક્ટિવીટી શેષ રહેલા જનકની એક્ટિવીટીથી સ્વતંત્ર થઇ જાય છે. અને તેમની વચ્ચે કોઇ સંતુલન રચવાની શક્યતા નથી.

2.10 સેક્યુલર સંતુલન(Secular Equilibrium):

જો જનક તત્વ જનિત તત્વ કરતાં અતિશય વધારે દીર્ઘજીવી હોય (એટલે કે$T_A >>> T_B$ હોય) તો $\lambda_A << \lambda_B$ હશે. તેથી

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

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

બને છે અને ઘણા લાંબા સમય બાદ $(t >> T_B)$

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

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

આ સંજોગોમાં (ઘણા લાંબા સમય બાદ અને $\lambda_A << \lambda_B$ હોય તો) જનિત તત્વની એક્ટિવીટી જનકની એક્ટિવીટી જેટલી થાય છે. આવું સંતુલન સેક્યુલર સંતુલન કહેવાય છે.

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

$$\lambda_B N_B = \lambda_A N_A \text{માં}$$

$\lambda = \frac{0.693}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{\tau}$લખતાં

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

હવે જનક અને જનિતના ન્યુક્લિયસની સંખ્યાઓનો ગુણોતર 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.

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

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

જો કે Raએ U નું તરતનું જનિત તત્વ નથી પણ બીજા તત્વો મારફતે રૂપાંતર પામીને તે બનતું હોય છે. પરંતુ U નું અર્ધઆયુ તે બધામાં ઘણું વધારે હોવાથી (પરંપરામાંનું અંતિમ તત્વPbસિવાયના) બીજા તત્વો Uસાથે સેક્યુલર સંતુલનમાં ગણી શકાય.

2.11પૃથ્વીની ઉંમર નક્કી કરવી.(Determination of the age of the earth)

રેડિયોએકટીવીટી એ ઉતમ ઘડિયાળ છે. જેનાથી આપણે પૃથ્વીની ઉંમરનો અંદાજ કાઢી શકીયે છીએ. કારણ કે તે પર્યાવરણીય પરિવર્તન અથવા કુદરતી ઉથલપાથલથી સંપૂર્ણપણે પ્રભાવિત છે.જેવી કે ભૂકંપ, તોફાન વગેરે. ભૂસ્તરશાસ્ત્રીય યુગનું નિર્ધારણ ઘણી વાર તેને લીડ પધ્ધતિઓ કહેવાય છે. તેમાં નીચેની પરમાણુ પ્રક્રિયાઓ સામેલ છે.

$${}_{92}U^{238} \rightarrow 8\,, \alpha\text{કણોનું ઉત્સર્જન} \rightarrow {}_{82}Pb^{206}$$

$${}_{92}U^{235} \rightarrow 7\,, \alpha\text{કણોનું ઉત્સર્જન} \rightarrow {}_{82}Pb^{207}$$

$${}_{90}Th^{232} \rightarrow 6\,, \alpha\text{કણોનું ઉત્સર્જન} \rightarrow {}_{82}Pb^{208}$$

સમયનો અંદાજ કેવી રીતે કરી શકાય તે સમજાવવા માટે ${}_{92}U^{238}$ શ્રેણીનો વિચાર કરો. ${}_{82}Pb^{206}$આ સ્થિર અંતિમ ઉત્પાદન છેઅને માટે $\lambda_{Pb} = 0$લઇ શકીયે છીએ.${}_{92}U^{238}$નું અર્ધ જીવન કાળ 4.5×10^9 છે. આથી પૂરતા સમય પછી (અબજ વર્ષ) માત્ર તત્વો જ હાજર છે. કોઇપણ નોંધપાત્ર રકમ યુરેનિયમ અને સીસું હશે. આ એટલા માટે છે કારણ કે તમામ ઘટકો યુરેનિયમ શ્રેણી પિતૃ અને માત્ર લેડ સાથે બિનસાંપ્રદાયિક સંતુલનમાં હશે.જ્યારે યુરેનિયમ સતત ખતમ થશે ત્યારે જે રીતે એક જળાશયમાંથી પાણીના પ્રવાહને અન્યની સાથે(ટાંકીઓ , ક્નેકટિંગ પાઇપો) પાઇપ દ્વારા જોડાણ કરી ભેગું કરવામાં આવે છે. અહીં ટાંકીઓ , કનેકટિંગ પાઇપોનો વ્યાસ સંભાવના નક્કી કરે છે. પ્રવાહનો દર પરિસ્થિતિ કિરણોત્સર્ગી શ્રેણીના દર સમાન છે. છેવટે સ્થિર ઉત્પાદનમાં સમાપ્ત થાય છે. તેથી આના માટે સમીકરણ 7 લાગુ પાડવું શક્ય છે. માત્ર પ્રથમ અને બીજા તત્વો માટે નહીં ($A \rightarrow B$) પણ પ્રથમ અને છેલ્લા સુધી. (ઉદાહરણ માટે${}_{92}U^{238}$અને${}_{82}Pb^{206}$)

સમીકરણ 7મુજબ,

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

$$\lambda_A = \lambda_U$$

$\lambda_B = \lambda_{Pb} = 0$, Pb

$$N_B = N_{Pb}$$

$$N_0 = N_v$$

$$N_{Pb} = -N_v\left(e^{-\lambda_U t} - 1\right)$$

$= N_v\left(1 - e^{-\lambda_U t}\right)$ ------------(15)

${}_{92}U^{238}$હંમેશા સમાવે છે ${}_{82}Pb^{206}$ જે કિરણોત્સર્ગી મૂળના હોવાનું માની શકાય છે. (${}_{82}Pb^{206}$ અંતિમ ઉત્પાદન છે.)

Pb અણુઓની વર્તમાન સંખ્યા + U અણુઓની વર્તમાન સંખ્યા = મૂળરુપે હાજર U અણુઓની સંખ્યા

$N_{Pb} + N_U = N_v$ ---------(16)

સમી.(15) અનેસમી. (16) આપવા માટે એકસાથે ઉકેલી શકાય છે.

$t = \frac{1}{\lambda_U} \log\left(\frac{N_{Pb} + N_U}{N_U}\right)$ --------(17)

આમ, સ્પેક્ટ્રો રસાયણિક રીતે નમૂનાનું વિશ્લેષણ કરીને અને તેના યુરેનિયમને જાણીને તે નમૂનાની ઉંમરનો અંદાજ લગાવવો શક્ય છે. સૌથી વધુ સમય પરિબળ એ સુનિશ્ચિત કરવાનું છે કે કોઇ હિલિયમ અથવા યુરેનિયમ ખડકના નમૂના ડ્યુરીમાંથી આજીવન છટકી શકતું નથી. સપાટી પરના સૌથી જૂના ખડકો લગભગ 3×10^9 વર્ષની વયના હોવાનું જાણવા મળ્યું છે. જ્યારે ઉલ્કાઓની ઉંમર નક્કી કરવા માટે સમાન પધ્ધતિ લાગુ કરવામાં આવે છે. ત્યારે તે જોવા મળે છે. આમાંની સૌથી જૂની આશરે 4.5×10^9 વર્ષ છે. આ પૃથ્વીની ઉંમરને અનુરૂપ છે. સપાટીના ખડકોના વિભાજનથી અલગ છે.

બીજી $^{206}Pb/^{207}Pb$આઇસોટોપીક અને રેડિયોજેનીક લીડનો ગુણોતરની પધ્ધ્તિનો ઉલ્લેખ કરી શકાય.

સમી.(15) નો ઉપયોગ કરીતાં,તે સરળ છે.

$\frac{^{206}Pb}{^{207}Pb} = \frac{^{238}U\left(1-e^{-\lambda_U t}\right)}{^{235}U\left(1-e^{-\lambda'_U t}\right)}$ ---------(18)

જ્યાં $\lambda_U = \lambda\ of\ ^{238}U$ અને$\lambda'_U = \lambda\ of\ ^{235}U$

સમી.(18) નું મૂલ્યાંકન કરી t ગણી શકાય છે.

આ પધ્ધતિનો મુખ્ય ગેરલાભ એ રેડોન છે જે ^{238}U ક્ષયમાં રચાય છે. 3.82 દિવસનું અર્ધ જીવન અને વાયુમુક્ત હોવાથી પ્રણાલીમાંથી છટકી શકે છે. આમ , આ પધ્ધતિ અથવા પ્રથમ પધ્ધતિ માટે ખડકોના નમૂનાઓમાંથી લેવાના હોય છે. વિશાળ પિચબ્લેન્ડ , ઉંડે દફનાવવામાં આવેલ આવા કિસ્સામાં ગેસ ખડકોમાં પોલાણ અને રેડોન (T=3.82દિવસ)થી ખૂબ દૂર ફસાઇ જશે. ફેલાય તેવી અપેક્ષા રાખી શકાતી નથી.

2.12 કાર્બન ડેટીંગ – પુરાતત્વીય સમય સ્કેલ (Carbon Dating- Archaeological Time Scale):

વાતાવરણમાં રહેલા નાઇટ્રોજન પર અવકાશમાં થી આવતા કોસ્મિકકિરણોમાં રહેલા ન્યૂટ્રોનના મારાથી વાતાવરણમાં સતત $_6C^{14}$ બનતો જ રહે છે. ન્યુક્લિયર સમી.

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

માં 6 પ્રોટોન અને 6 ન્યૂટ્રોન ધરાવતો ${}_6C^{14}$ એ કાર્બનનો ન્યૂટ્રોન સમૃધ્ધ આઇસોટોપ છે. કે જે β એક્ટિવ છે.${}_6C^{14} \rightarrow {}_6N^{14} + \beta + \bar{\nu}$

વાતાવરણમાં${}_6C^{14}$ નું પ્રમાણ અચળ છે. વાતાવરણનો ${}_6C^{12}$ હાઇડ્રોજન અને ઓક્સીજન સાથે સંયોજાઇ કાર્બોદિત દ્રવ્યમાં સતત રૂપાંતર પામતો જ હોય છે. તેથી જો તે વાતાવરણમાં સતત બનતો જતો ન હોય તો ક્યારનોય વપરાઇને ખલાસ થઇ જાત અને વાતાવરણમાં હાજર જ ન હોત. ${}_6C^{14}$ નું અર્ધ આયુ(5730 વર્ષ) ઘણું મોટું હોવાથી તેનો પુરાતત્વવાદ અને ઉત્ક્રાંતિવાદમાં ખૂબ ઉપયોગ થાય છે.

જીવંત વનસ્પતિ ${}_6C^{14}$નુંCo_2 ના રૂપમાં શોષણ કરે છે અને પ્રકાશ સંશ્લેષણની ક્રિયામાં પાણી અને સૂર્યપ્રકાશ સાથે ઉપયોગ કરે છે. અને કાર્બોહાઇડ્રેટ બનાવે છે. પ્રાણીઓ આ વનસ્પતિ ખાય એટલે પ્રાણીઓ પણ રેડિયો એક્ટિવ બને છે. વનસ્પતિ અને પ્રાણીઓ એમ બધા સજીવોના દેહમાં રેડિયોકાર્બન ${}_6C^{14}$ અને સામાન્ય કાર્બન ${}_6C^{12}$ ના જથ્થાનો ગુણોતર એક સરખો હોય છે.તેમ જણાયુ છે.

જ્યારે કોઇ વનસ્પતિ કે પ્રાણી મૃત્યુ પામે છે ત્યારે તે કાર્બનને પોતાની અંદર કોઇપણ સ્વરૂપે લેવાનું બંધ કરે છે. અને તે ક્ષણથી તેના મૃત શરીરમાં ${}_6C^{14}$ નો ક્ષય થવાની એક માત્ર પ્રક્રિયા બાકી રહેતી હોય છે.

દા.ત. $t = 0$ સમયે જીવંત વનસ્પતિમાંથી લાકડાનો એક ટૂકડો કાપીએ. આ વખતે જીવંત વનસ્પતિની અને કપાયેલા લાકડાનીβઉત્સર્જનની એક્ટીવીટી સમાન હશે. પરંતુ કપાયેલો ટુકડો વાતાવરણમાંથી ${}_6C^{14}$ નું શોષણ કરતો નથી પરંતુ તેમના દેહમાં રહેલા ${}_6C^{14}$ ના ન્યુક્લિયસનો ક્ષય થવાથી ઘટાડો થશે. આથી પ્રાણી કે વનસ્પતિના મૃત્યુ બાદ રેડિયો કાર્બન ${}_6C^{14}$ના જથ્થા અને સામાન્ય કાર્બન ${}_6C^{12}$ ના જથ્થાના ગુણોતરનું મુલ્ય સમય વધતાં ઘટતું જાય છે. આ ગુણોતરનું મુલ્ય જાણવાથી સજીવના મૃત્યુ પછી ઉપરનું મુલ્ય શોધીએ તે દરમ્યાન વ્યતિત થયેલો સમય જાણી શકાય છે. સમય પછી જો ટુકડામાં બાકી રહેતા ${}_6C^{14}$ ન્યુક્લિયસની સંખ્યા N હોય તો ચર ઘાતાંકીય નિયમ પ્રમાણે

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

હવે જો $t = 0$ સમયે વિભંજનના દર ને A_o અને $t = t$ સમયે વિભંજનનો દર A_t હોય તો

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$\frac{A_t}{A_0} = e^{-\lambda t}$$

$$\therefore \frac{A_0}{A_t} = e^{\lambda t}$$

$$\lambda t = \ln\frac{A_0}{A_t}$$
$$\therefore t = \frac{1}{\lambda}\ln\left(\frac{A_0}{A_t}\right)$$

જ્યાં $A_0 = t = 0$ સમયે જીવંત વનસ્પતિની એક્ટીવીટી છેઅને $A_t = t = t$ સમયે કપાયેલા(મૃત) વનસ્પતિના ટુકડાની એક્ટીવીટી છે.

આમ, મૃત વનસ્પતિની એક્ટીવીટી માપીને તેના મૃત્યુ થયા પછી આજ સુધી વ્યતિત થયેલ સમય અંદાજી શકાય છે.

ઉદાહરણ: પુરાતત્વીય અભિયાનમાં ચારકોલમાંથી એક પ્રાચીન અગ્નિ-ખડક ખોદવામાં આવ્યો હતો. આ નમૂનાએ 11.3 કાઉન્ટ પ્રતિ ગ્રામ પ્રતિ મિનિટની ^{14}C પ્રવૃતિ દર્શાવી છે. સંપૂર્ણ જીવંત વૃક્ષમાં ^{14}C ની પ્રવૃતિ પ્રજાતિઓથી સ્વતંત્ર છે. અને તે પ્રતિ ~ 15.3 ગણતરીઓ છે તો ગ્રામ પ્રતિ મિનિટ ચારકોલના નમૂનાની ઉંમરનો અંદાજ કાઢો.

$$11.3 = 15.3e^{-\lambda t}$$
$$\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{5730\,years}$$

$1.354 = e^{\lambda t} = e^{0.000121\,t}$ જ્યાં $t =$ વર્ષ

$$t = \text{ચારકોલ નમૂનાની ઉંમર વર્ષમાં}$$
$$= \frac{\log_e 1.354}{0.000121}\,years = 2504.65\,years$$

2.13ઉદાહરણો (Examples):

1. રેડોનનો અર્ધજીવનકાળ 3.8 દિવસ છે. કેટલા દિવસ પછી રેડોનનો ફક્ત 1/20 ભાગ જ બાકી રહેશે ?

શરૂઆતમાં $t = 0$ સમયે રેડોનનો N_0 ભાગ છે.t દિવસ પછી રેડોનનો બાકી રહેતો ભાગ

$$N = \frac{1}{20}\times N_0$$

ક્ષયનિયતાંક $\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{3.8}day^{-1}$

ચરઘાતાંકીય સૂત્ર પ્રમાણે,

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

$$\frac{N_0}{20} = N_0 e^{-\lambda t}$$
$$\frac{1}{20} = e^{-\lambda t}$$
$$20 = e^{\lambda t}$$
$$\lambda t = \ln 20 = \ 2.303 \times \ \log_{10} 20$$
$$\therefore t = \frac{2.303 \times \ \log_{10} 20 \times 3.8}{0.693} = 16.43\, day$$

2. કોઇ એક રેડિયો એક્ટિવ પદાર્થની એક્ટિવીટી 1 કલાક અને 20 મિનિટમાં ઘટીને 1/16 ભાગની થાય તો તેનો અર્ધજીવનકાળ શોધો.

$N = N_0 e^{-\lambda t} t = 1$ કલાક 20 મિનિટ

$\frac{N_0}{16} = N_0 e^{-\lambda t}$ =80 મિનિટ

$$\lambda\, 80 = \ e^{\lambda t}$$
$$\lambda t = \ln 16 = \ 2.303 \times \ \log_{10} 16$$
$$\lambda = \frac{2.303 \times \ \log_{10} 16}{80} = 0.03464\, min^{-1}$$

હવે અર્ધજીવનકાળ $T = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{0.03464} =$ 20 મિનિટ

3. $\boldsymbol{RaB}$ $(\boldsymbol{Pb^{214}})$નો અર્ધજીવનકાળ 26.8 મિનિટ છે. 1 ક્યુરી એક્ટિવીટી મેળવવા માટે તેનું કેટલા ગ્રામ દળ લેવું જોઇએ તે ગણો.

RaBની એક્ટિવીટી $= \frac{dN}{dt} =$ 1 ક્યુરી $= 3.7 \times 10^{10}$વિભંજન/સેકન્ડ

ક્ષયનિયતાંક $\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{26.8 \times 60}$

હવે 1 ક્યુરી એક્ટિવીટી માટે RaB ના પરમાણુની સંખ્યા N હોય તો,

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N$$
$$N = \frac{dN/dt}{\lambda} = \frac{3.7 \times 10^{10} \times 26.8 \times 100}{0.693}$$

6.02×10^{23} પરમાણુ = 1 ગ્રામ પરમાણુ = 214 ગ્રામ હોય તો

1 ક્યુરી એક્ટિવીટી ધરાવતા RaB માટે દળ

$$= \frac{214 \times 3.7 \times 10^{10} \times 26.8 \times 60}{0.693} = 0.3052 \times 10^{-8}\ gms.$$

4. સેક્યુલર સંતુલન વખતે $_{92}U^{238}$ ના દર 2.8×10^6 પરમાણુ દીઠ $_{88}Ra^{226}$ નો એક પરમાણુ હોય છે. Ra નો અર્ધઆયુ 1620 વર્ષ હોય તો યુરેનિયમનો અર્ધાઆયુ શોધો.

સંતુલન માટેનું સમી. $\frac{N_A}{N_B} = \frac{T_A}{T_B}$

$_{88}Ra^{226}$ નો અર્ધઆયુ $T_A = 1620$ વર્ષ તેના પરમાણુની સંખ્યા $N_A = 1$ છે.

$_{92}U^{238}$ ના પરમાણુની સંખ્યા $N_B = 2.8 \times 10^6$

$$\therefore\ T_B = T_A \cdot \frac{N_B}{N_A} = \frac{1620 \times 2.8 \times 10^6}{1}$$

યુરેનિયમનો અર્ધઆયુ $T_B = 4.5 \times 10^9$ વર્ષ

5.1 ગ્રામ Ra^{226} ની એક્ટિવીટી 1 ક્યુરી છે તો તેનો ક્ષય નિયતાંક અને અર્ધજીવનકાળ શોધો.

આપેલા તત્વના પરમાણુદળાંક A જેટલા ગ્રામ દળને એક મોલ કહે છે. અને તેમાં એવોગેડ્રો અંક (6.2×10^{23}) જેટલા પરમાણુ હોય છે.

આથી આપેલા તત્વનું દળ જો m હોય અને તેનો પરમાણુદળ A હોય તો તેમાં રહેલા પરમાણુની સંખ્યા $N = \frac{6.2 \times 10^{23} \times m}{A}$

1 ગ્રામ Ra^{226} માં ન્યુક્લિયસની સંખ્યા$N = \frac{6.2 \times 10^{23} \times 1}{226}$

1 ક્યુરી $= 3.7 \times 10^{10}$ વિભંજન/ સેકન્ડ $= \frac{dN}{dt}$ =એક્ટિવીટી કહે છે.

હવે, $\frac{dN}{dT} = \lambda N$

$$\therefore\ \lambda = \frac{dN/dT}{N} = \frac{3.7 \times 10^{10} \times 226}{6.02 \times 10^{23} \times 1} = 1.389 \times 10^{11}\ sec^{-1}$$

અને અર્ધજીવનકાળ $T = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{1.389 \times 10^{-11}} = 4.98 \times 10^{10} sec$

6. Ra^{226} નો અર્ધજીવનકાળ 1260 વર્ષ છે અને U^{238} નો અર્ધજીવનકાળ 4.5×10^9 વર્ષ છે. આ પરથી 1 ગ્રામ U^{238} સાથે સેક્યુલર રેડિયો એક્ટિવીટી સંતુલનમાં રહેલા Ra^{226} નું દળ શોધો.

સેક્યુલર સંતુલન માટેનું સમી. વાપરતાં,

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

જેમાં $T_1 = U^{238}$ નો અર્ધજીવનકાળ $= 4.5 \times 10^9$ વર્ષ

$T_2 = Ra^{226}$ નો અર્ધજીવનકાળ $= 1260$ વર્ષ

હવે 1 ગ્રામ U^{238} ન્યુકલિયસની સંખ્યા

$$N_1 = \frac{6.02 \times 10^{23} \times 1}{238}$$

તે જ પ્રમાણે m ગ્રામ Ra^{226} માં ન્યુક્લિયસની સંખ્યા

$$N_2 = \frac{6.02 \times 10^{23} \times n}{226}$$

$$\therefore\ N_2 = \frac{T_2}{T_1} \times\ N_1$$

$$\frac{6.02 \times 10^{23} \times m}{226} = \frac{1260}{4.5 \times 10^9} \times \frac{6.02 \times 10^{23} \times 1}{238}$$

$$\therefore\ Ra^{226}\text{નું દળ m ગ્રામ } = \frac{1260}{4.5 \times 10^9} \times \frac{226}{238} \times 1 = 2.658 \times 10^{-7} gram$$

7. સેક્યુલર સંતુલન વખતે Ra^{226} ના દર 1.8×10^6 પરમાણુ દીઠ Rn^{222} નો બે પરમાણુ હોય છે. રેડિયમનો અર્ધઆયુ 1620 વર્ષ હોય તો Rn^{222} નો અર્ધાઆયુ શોધો.

સંતુલન માટેનું સમી. $\frac{N_A}{N_B} = \frac{T_A}{T_B}$

Ra^{226} નો અર્ધઆયુ $T_A = 1620$ વર્ષ તેના પરમાણુની સંખ્યા $N_A = 1.8 \times 10^6$ છે.

Rn^{222} ના પરમાણુની સંખ્યા $N_B = 1.8 \times 10^6$

$$\therefore\ T_B = T_A\ \cdot \frac{N_B}{N_A}\ =\ \frac{1620 \times 2}{1.8 \times 10^6} = 1800 \times 10^{-6} = 0.0018\text{વર્ષ}$$

Rn^{222}નો અર્ધઆયુ $T_B = 0.0018$વર્ષ

8. Ra^{226} અને Rn^{222} નો અર્ધજીવનકાળ અનુક્રમે 1600 વર્ષ અને 3.8 દિવસ છે. 1 ગ્રામ Ra^{226} સાથે સેક્યુલર રેડિયો એક્ટિવ સંતુલનમાં રહેલા Rn^{222} નું દળ શોધો.

સેક્યુલર સંતુલન માટેનું સમી. વાપરતાં,

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

જેમાં $T_1 = Ra^{226}$ નો અર્ધજીવનકાળ = 3.8 દિવસ

$T_2 = Rn^{222}$ નો અર્ધજીવનકાળ $= 1600$ વર્ષ

હવે 1 ગ્રામ Ra^{226} ન્યુકલિયસની સંખ્યા $N_1 = \frac{6.02\times10^{23}\times1}{226}$

તે જ પ્રમાણે m ગ્રામ Rn^{222} માં ન્યુક્લિયસની સંખ્યા

$$N_2 = \frac{6.02 \times 10^{23} \times m}{222}$$

$$\therefore\ N_2 = \frac{T_2}{T_1} \times\ N_1$$

$$\frac{6.02 \times 10^{23} \times m}{222} = \frac{1600}{3.8 \times 365} \times \frac{6.02 \times 10^{23} \times 1}{226}$$

$$\therefore\ Rn^{222}\text{નું દળ m ગ્રામ}\ = \frac{13.8}{1600 \times 365} \times \frac{222}{226} = 6.395 \times 10^{-6} gram$$

9. રેડિયો એક્ટિવ તત્વોનો રેડિયો એક્ટિવ નિયતાંક $13 \times 10^{-12} sec^{-1}$છે.તો તેનો અર્ધજીવનકાળ શોધો.

ક્ષયનિયતાંક $\lambda = 13 \times 10^{-12} sec^{-1}$

અર્ધજીવનકાળ $T = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{13\times10^{-12}} = 54 \times 10^9 sec$