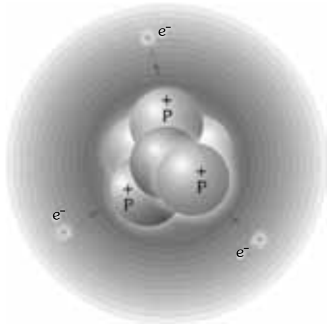
Topperseducations.co.in

रदरफोर्ड ने α-कणों के प्रकीर्णन के प्रेक्षणों के आधार पर सिद्ध किया कि परमाणु का समस्त द्रव्यमान एवं धन-आवेश एक अत्यल्प क्षेत्र में केन्द्रित है। इसे नाभिक कहते हैं।



नाभिक प्रोटॉनों एवं न्यूट्रॉनों से मिलकर बना होता है। किसी नाभिक में उपस्थित प्रोटॉनों की संख्या (परमाणु क्रमांक या प्रोटॉन संख्या) को Z से प्रदर्शित करते हैं। न्यूटॉनों की संख्या को N से प्रदर्शित करते हैं। न्यूट्रॉनों एवं प्रोटॉनों की संख्याओं के योग को नाभिक की द्रव्यमान संख्या (A) कहते हैं। इसलिए $A = Z + N$

न्यूट्रॉनों एवं प्रोटॉनों के सम्मिलित रूप को न्यूक्लिऑन कहते हैं।

नाभिक में दो प्रकार के कण होते हैं : प्रोटॉन एवं न्यूट्रॉन

नाभिकों को संकेत $_{Z}X^{A}$; द्वारा प्रदर्शित किया जाता है यहाँ X-तत्व का रासायनिक संकेत है।

न्यूट्रॉन

न्यूट्रॉन प्रत्येक नाभिक का मूल कण है केवल हाइड्रोजन को छोड़कर। इसकी खोज जेम्स चैडविक ने की।

(1) न्यूट्रॉन पर आवेश : यह उदासीन है

(2) द्रव्यमान : $1.6750 \times 10^{-27}\ kg$

(3) चक्रण कोणीय संवेग : $\frac{1}{2} \times \left(\frac{h}{2\pi}\right) J\text{-}s$

(4) चुम्बकीय आघूर्ण : $9.57 \times 10^{-27}\ J/Tesla$

(5) अर्द्ध-आयु : 12 मिनट

(6) वेधन क्षमता : उच्च

(7) प्रकार : न्यूट्रॉन दो प्रकार के होते हैं, धीमे न्यूट्रॉन एवं तीव्र न्यूट्रॉन, दोनों पूर्णतः नाभिक को भेदने में सक्षम हैं एवं नाभिक को कृत्रिम रूप से विघटित करते हैं।

> नाभिक के बाहर एक स्वतंत्र न्यूट्रॉन अस्थायी होता है तथा यह प्रोटॉन व इलेक्ट्रॉन में विघटित हो जाता है
>
> $$_{0}n^{1} \rightarrow \underset{\text{प्रोटॉन}}{_{1}H^{1}} + \underset{\text{इलेक्ट्रॉन}}{_{-1}\beta^{0}} + \underset{\text{एण्टी- न्यूट्रिनों}}{\bar{\nu}}$$

तापीय न्यूट्रॉन

तीव्र न्यूट्रॉनों को मन्दकों (पैराफिन मोम, भारी जल, ग्रेफाइट) की सहायता से धीमे न्यूट्रॉनों में परिवर्तित किया जा सकता है। जब तीव्र न्यूट्रॉन किसी मन्दक से गुजरते हैं तो वे मन्दक में उपस्थित अणुओं से टकराकर अपनी ऊर्जा अणुओं को स्थानान्तरित कर देते हैं एवं इनकी ऊर्जा कम हो जाती है। कुछ समय पश्चात् दोनों ही समान ऊर्जा प्राप्त कर लेते हैं। तब न्यूट्रॉन मन्दक के अणुओं के साथ तापीय साम्य में आ जाते हैं। इन न्यूट्रॉनों को तापीय न्यूट्रॉन कहते हैं।

❑ तापीय न्यूट्रॉनों की औसत गतिज ऊर्जा लगभग 0.025 eV एवं चाल 2.2 km/s होती है।

नाभिक

नाभिकों को इनमें उपस्थित प्रोटॉनों की संख्या या न्यूट्रॉनों की संख्या के आधार पर वर्गीकृत किया गया है

(1) समस्थानिक

किसी तत्व के वे परमाणु जिनके परमाणु क्रमांक समान हों परन्तु द्रव्यमान संख्या भिन्न-भिन्न हो, समस्थानिक कहलाते हैं। सभी समस्थानिकों के रासायनिक गुण समान होते हैं। कुछ तत्वों के समस्थानिक निम्न हैं

$$_{1}H^{1},\ _{1}H^{2},\ _{1}H^{3} \quad _{8}O^{16},\ _{8}O^{17},\ _{8}O^{18} \quad _{2}He^{3},\ _{2}He^{4} \quad _{17}Cl^{35},\ _{17}Cl^{37} \quad _{92}U^{235},\ _{92}U^{238}$$

(i) समभारिक : वे नाभिक जिनकी द्रव्यमान संख्या (A) समान हो, परन्तु परमाणु क्रमांक (Z) भिन्न-भिन्न हो समभारिक कहलाते हैं। समभारिक आवर्त-सारिणी में भिन्न-भिन्न स्थानों पर होते हैं एवं सभी समभारिकों के रासायनिक गुण भी अलग-अलग होते हैं। कुछ समभारिक निम्न हैं।

$_{1}H^{3}$ एवं $_{2}He^{3}$, $\quad _{6}C^{14}$ एवं $_{7}N^{14}$, $\quad _{8}O^{17}$ एवं $_{9}F^{17}$

(ii) समन्यूट्रॉनिक : वे नाभिक जिनमें न्यूट्रॉनों की संख्या समान हो, सम-न्यूट्रॉनिक कहलाते हैं। इनके परमाणु क्रमांक (Z) एवं (A) दोनों भिन्न-भिन्न होते हैं, परन्तु ($A-Z$) का मान समान होता है। कुछ उदाहरण

$_4Be^9$ एवं $_5B^{10}$, $_6C^{13}$ एवं $_7N^{14}$, $_8O^{18}$ एवं $_9F^{19}$, $_3Li^7$ एवं $_4Be^8$, $_1H^3$ एवं $_2He^4$

(iii) प्रतिबिम्ब नाभिक : वे नाभिक जिनकी द्रव्यमान संख्या A समान हो एवं एक की प्रोटॉन संख्या (Z) दूसरे नाभिक की न्यूट्रॉन संख्या ($A-Z$) के बराबर एवं दूसरे की प्रोटॉन संख्या (Z) पहले की न्यूट्रॉन संख्या ($A-Z$) के बराबर होती है। अर्थात् (इनके परमाणु क्रमांकों का अन्तर एक है।) प्रतिबिम्ब नाभिक कहलाते हैं। उदाहरण :

$_1H^3$ एवं $_2He^3$, $_3Li^7$ एवं $_4Be^7$

(2) नाभिक का आकार

(i) नाभिकीय त्रिज्या : प्रयोगों के आधार पर प्राप्त होता है कि नाभिकीय त्रिज्या $A^{1/3}$ के अनुक्रमानुपाती होती है, यहाँ A नाभिक की द्रव्यमान संख्या है, अर्थात् $R \propto A^{1/3} \Rightarrow R = R_0 A^{1/3}$, जहाँ $R_0 = 1.2 \times 10^{-15}\ m = 1.2\ fm$

- ❑ भारी नाभिकों का आकार हल्के नाभिकों की तुलना में बड़ा होता है।

(ii) नाभिकीय आयतन : नाभिक का आयतन $V = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi R_0^3 A \Rightarrow V \propto A$

(iii) नाभिकीय घनत्व : किसी नाभिक के इकाई आयतन का द्रव्यमान नाभिकीय घनत्व कहलाता है।

$$\text{नाभिकीय घनत्व } (\rho) = \frac{\text{नाभिक का द्रव्यमान}}{\text{नाभिक का आयतन}} = \frac{mA}{\frac{4}{3}\pi (R_0 A^{1/3})^3}$$

यहाँ m = एक न्यूक्लिऑन का औसत द्रव्यमान (= प्रोटॉन का द्रव्यमान + न्यूट्रॉन का द्रव्यमान = $1.66 \times 10^{-27}\ kg$)

एवं mA = नाभिक का द्रव्यमान = प्रोटॉनों एवं न्यूट्रॉनों का योग

$$\Rightarrow \rho = \frac{3m}{4\pi R_0^3} = 2.38 \times 10^{17}\ kg/m^3$$

- ❑ ρ का मान A पर निर्भर नहीं करता है अर्थात् ρ का मान सभी परमाणुओं के लिए समान है।
- ❑ नाभिक के घनत्व का मान इसके केन्द्र पर अधिकतम होता है एवं नाभिक से बाहर की ओर चलने पर घटने लगता है।

(3) नाभिकीय बल

वह बल जो न्यूक्लिऑनों को नाभिक के अन्दर बाँधे रखता है नाभिकीय बल कहलाता है।

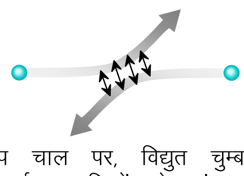
(i) नाभिकीय बल लघु परासरीय बल है। $10^{-15}\ m$ से अधिक दूरी होने पर यह बल कार्य नहीं करता है।

(ii) ये प्रकृति के सभी बलों से शक्तिशाली हैं।

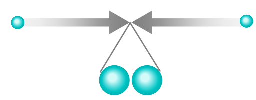
(iii) ये आकर्षी प्रकृति के बल हैं ये नाभिक को स्थायित्व प्रदान करते हैं।

(iv) ये बल आवेश पर निर्भर नहीं करते हैं।

(v) ये बल केन्द्रीय बल नहीं हैं।



अल्प चाल पर, विद्युत चुम्बकीय प्रतिकर्षण नाभिकों के संघट्ट को रोकता है।



उच्च चाल पर, नाभिक अत्यधिक नजदीक आ जाते हैं, एवं नाभिकीय बल इनको बाँधने के लिए पर्याप्त होते हैं

नाभिकीय बल विनिमय बल हैं

वैज्ञानिक युकावा के अनुसार : दो न्यूक्लिऑनों के बीच कार्यरत् नाभिकीय बल, न्यूक्लिऑनों के बीच π मेसॉन कणों के विनिमय के फलस्वरूप उत्पन्न होता है।

π - मेसॉन तीन प्रकार के होते हैं : धनात्मक π मेसॉन (π^+), ऋणात्मक π मेसॉन (π^-), एवं उदासीन π मेसॉन (π^0)

न्यूट्रॉन एवं प्रोटॉन के बीच, आवेशित मेसॉनों के विनिमय के फलस्वरूप, नाभिकीय बल उत्पन्न होता है।

$$p \rightarrow \pi^+ + n, \quad n \rightarrow p + \pi^-$$

न्यूट्रॉन-न्यूट्रॉन एवं प्रोटॉन-प्रोटॉन के बीच नाभिकीय बल उदासीन (π^0) मेसॉनों के विनिमय के फलस्वरूप उत्पन्न होता है

$$p \rightarrow p' + \pi^0 \quad \text{एवं} \quad n \rightarrow n' + \pi^0$$

इस प्रकार π मेसॉन कणों के विनिमय के परिणामस्वरूप न्यूक्लिऑन परस्पर बँधे रहते हैं। अर्थात् नाभिकीय बल उत्पन्न होता है।

कुत्ता-हड्डी अनुरूपता

उपरोक्त अर्न्तक्रिया को कुत्ता व हड्डी की अनुरूपता के आधार पर समझा जा सकता है। मान लीजिए कि दो न्यूक्लिऑन दो कुत्ते हैं जो एक हड्डी को अपने दाँतों की सहायता से पकड़े हुए हैं। दोनों हड्डी को अपने-अपने कब्जे में करना चाहते हैं। अतः इन दोनों को आसानी से अलग-अलग नहीं किया जा सकता है वे दोनों परस्पर हड्डी के द्वारा बँधे हुए हैं। जबकि वे दोनों एक-दूसरे कट्टर दुश्मन हैं। दोनों न्यूक्लिऑनों के बीच मेंसॉन हड्डी का कार्य करते हैं।

(4) परमाण्वीय द्रव्यमान मात्रक (*amu*)

यह परमाणुओं एवं नाभिकों के द्रव्यमानों का मात्रक है।

1 परमाण्वीय द्रव्यमान मात्रक (या 1*amu*) $= \frac{1}{12} \times {}_6C^{12}$ परमाणु का द्रव्यमान $= 1.66 \times 10^{-27}\ kg$

इलेक्ट्रॉन, प्रोटॉन एवं न्यूट्रॉन के द्रव्यमान

इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान (m_e) $= 9.1 \times 10^{-31}\ kg = 0.0005486\ amu$, प्रोटॉन का द्रव्यमान ($m_p$) $= 1.6726 \times 10^{-27}\ kg = 1.007276$ *amu*

न्यूट्रॉन का द्रव्यमान (m_n) $= 1.6750 \times 10^{-27}\ kg = 1.00865\ amu$, हाइड्रोजन परमाणु का द्रव्यमान $(m_e + m_p) = 1.6729 \times 10^{-27}\ kg = 1.0078$ *amu*

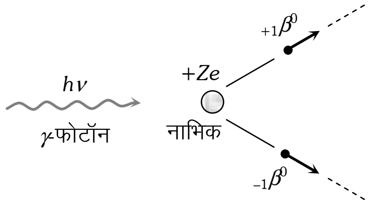
द्रव्यमान – ऊर्जा तुल्यता

आइन्सटीन के अनुसार द्रव्यमान एवं ऊर्जा परस्पर रूपान्तरणीय है। आइन्सटीन के अनुसार द्रव्यमान-ऊर्जा सम्बन्ध निम्न है $E = mc^2$ यहाँ

$c = 3 \times 10^8\ m/sec$ यदि $m = 1\ amu$ हो तब $E = 931\ MeV$ अर्थात् 1 *amu* द्रव्यमान 931 *MeV* ऊर्जा के तुल्य है। अर्थात् 1 *amu* (या 1 *u*) = 931 *MeV*

(5) युग्म उत्पादन एवं युग्म विनाश

जब कोई ऊर्जावान् गामा-किरण फोटॉन किसी भारी पदार्थ पर गिरता है तो वह पदार्थ के किसी नाभिक द्वारा अवशोषित कर लिया जाता है तथा परिणामस्वरूप एक इलेक्ट्रॉन, एक पॉजीट्रॉन उत्पन्न हो जाते हैं। इस प्रक्रिया को युग्म उत्पादन कहते हैं। इसे निम्न समीकरण से प्रदर्शित कर सकते हैं $\underset{(\gamma-\text{फोटॉन})}{h\nu} = \underset{(\text{पॉजीट्रॉन})}{{}_{1}\beta^0} + \underset{(\text{इलेक्ट्रॉन})}{{}_{-1}\beta^0}$



इलेक्ट्रॉन व पॉजीट्रॉन की विराम-द्रव्यमान ऊर्जा

$$E_0 = m_0c^2 = (9.1 \times 10^{-31}\ kg) \times (3.0 \times 10^8\ m/s)^2$$

$$= 8.2 \times 10^{-14}\ J = 0.51\ MeV$$

अतः युग्म उत्पादन होने के लिए आवश्यक है कि γ-फोटॉन की ऊर्जा कम से कम $2 \times 0.51 = 1.02\ MeV$ होनी चाहिए। यदि γ-फोटॉन की ऊर्जा इससे कम है तब यह पदार्थ पर गिरने पर प्रकाश-वैद्युत प्रभाव या कॉम्पटन प्रभाव प्रदर्शित करेगा।

युग्म उत्पादन के विपरीत युग्म विनाश प्रक्रिया भी सम्भव है। जब कभी एक पॉजीट्रॉन व इलेक्ट्रॉन एक-दूसरे के अत्यन्त समीप आते हैं तो वे परस्पर संयोग करके एक-दूसरे का विनाश कर देते हैं तथा उनके स्थान पर दो γ-फोटॉनों (ऊर्जा) की उत्पत्ति हो जाती है। इस प्रक्रिया को ''युग्म विनाश'' कहते हैं। इसे निम्न समीकरण से प्रदर्शित कर सकते हैं

$$\underset{(\text{पॉजीट्रॉन})}{{}_{+1}\beta^0} + \underset{(\text{इलेक्ट्रॉन})}{{}_{-1}\beta^0} = \underset{(\gamma\text{-फोटॉन})}{h\nu} + \underset{(\gamma\text{-फोटॉन})}{h\nu}$$

(6) नाभिक का स्थायित्व

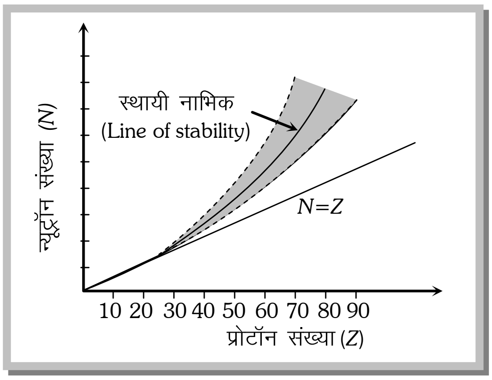
लगभग 1500 ज्ञात नाभिकों में से केवल 260 नाभिक ही स्थायी हैं। शेष अस्थायी नाभिक α, β-एवं γ-क्षय के द्वारा अन्य नाभिक बनाते हैं (इस प्रक्रिया को रेडियो-सक्रियता कहते हैं) नाभिक का स्थायित्व कई कारकों पर निर्भर करता है। उनमें से कुछ नीचे दिए गये हैं

(i) न्यूट्रॉन-प्रोटॉन अनुपात $\left(\frac{N}{Z}\text{ अनुपात}\right)$

किसी परमाणु के समस्त रासायनिक गुण नाभिक में उपस्थित प्रोटॉनों की संख्या (Z) द्वारा निर्धारित होते हैं, परन्तु नाभिक का स्थायित्व दोनों न्यूट्रॉनों व प्रोटॉनों की संख्या पर निर्भर करता है।

हल्के नाभिक अधिक स्थायी होते हैं यदि इनमें न्यूट्रॉनों की संख्या एवं प्रोटॉनों की संख्या समान हो ($N \approx Z$) अर्थात् $\frac{N}{Z} = 1$

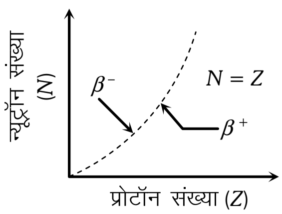
भारी नाभिक तभी स्थायी होते हैं यदि इनमें प्रोटॉनों की तुलना में न्यूट्रॉनों की संख्या अधिक हो। इस प्रकार भारी स्थायी नाभिकों में हल्के नाभिकों की तुलना में अधिक न्यूट्रॉन होते हैं (भारी नाभिकों में प्रोटॉनों की संख्या अधिक होने के कारण इनके बीच प्रतिकर्षी बल अधिक होता है। इसलिए भारी नाभिकों के स्थायी होने के लिए इनमें न्यूट्रॉनों की संख्या भी अधिक होनी चाहिए।)



चित्र में स्थायी नाभिकों के लिए N व Z के बीच ग्राफ को दर्शाया गया है। Z के अधिक मान के लिए नाभिकीय बल नाभिक को बाँधे रहने में असमर्थ हो जाता है, क्योंकि प्रोटॉनों के बीच प्रतिकर्षण बल बढ़ जाता है। यदि प्रोटॉनों की संख्या न्यूट्रानों से अधिक हो तो वैद्युत प्रतिकर्षण बल को नाभिकीय बल सन्तुलित नहीं कर पाता है। Bi के लिए ($Z = 83, A = 209$), न्यूट्रॉनों की संख्या $N - Z = 43$। वे नाभिक जिनके लिए $Z > 83$ है वे सभी अस्थायी हैं।

- नाभिक ${}_{83}Bi^{209}$ सबसे भारी स्थायी नाभिक है।
- वे नाभिक जो स्थायित्व रेखा से ऊपर है, अर्थात् जिनमें न्यूट्रॉनों की संख्या अधिक है, β^- क्षय द्वारा विघटित होते हैं। इस प्रकार के परमाणु क्रमांक Z को अधिक एवं न्यूट्रॉन संख्या N को कम करते हैं। β^- क्षय में $\frac{N}{Z}$ अनुपात घटता है।

  स्थायित्व रेखा से नीचे स्थित नाभिकों में प्रोटॉनों की संख्या अधिक होती है। ये नाभिक β^+ क्षय द्वारा Z को कम एवं N को बढ़ाते हैं। β^+ क्षय में $\frac{N}{Z}$ अनुपात बढ़ता है।



(ii) Z या N की सम या विषम संख्या द्वारा : नाभिकों का स्थायित्व इस आधार पर भी निर्धारित किया जा सकता है कि इसमें न्यूट्रॉन एवं प्रोटॉनों की संख्या सम या विषम है। यह पाया गया है कि सम-सम

नाभिक (सम Z एवं सम-N) अधिक स्थायी होते हैं।

(60% स्थायी नाभिकों में प्रोटॉनों एवं न्यूट्रॉनों दोनों की संख्याएँ सम हैं)

एक सम-विषम नाभिक (सम Z एवं विषम N) या विषम-सम नाभिक (विषम Z एवं सम N) अपेक्षाकृत कम स्थायी होते हैं।

केवल-5 विषम-विषम नाभिक स्थायी प्राप्त हुए हैं $_1H^2$, $_3Li^6$, $_5Be^{10}$, $_7N^{14}$ एवं $_{75}Ta^{180}$

(iii) प्रति न्यूक्लिऑन बन्धन ऊर्जा : सामान्यतः प्रतिन्यूक्लिऑन बन्धन ऊर्जा रखने वाले नाभिक अधिक स्थायी होते हैं।

द्रव्यमान क्षति एवं बन्धन ऊर्जा

(1) द्रव्यमान क्षति (Δm)

नाभिक का द्रव्यमान सदैव इसमें उपस्थित न्यूक्लिऑनों (अवयवी कणों) के द्रव्यमानों के योग से कम प्राप्त होता है, इस द्रव्यमान अन्तर को द्रव्यमान क्षति कहते हैं।

अतः द्रव्यमान क्षति (Δm) = न्यूक्लिऑनों के द्रव्यमानों का योग – नाभिक का द्रव्यमान

$$= \{Zm_p + (A-Z)m_n\} - M = \{Zm_p + Zm_e + (A-Z)m_z\} - M'$$

यहाँ m_p = प्रोटॉन का द्रव्यमान, m_n = न्यूट्रॉन का द्रव्यमान, m_e = इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान,

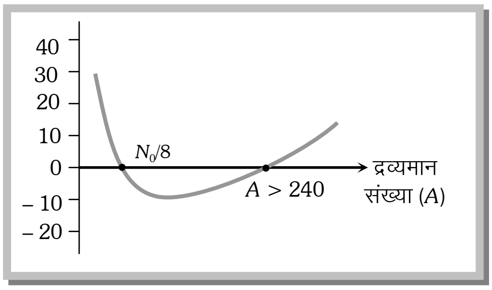
M = नाभिक का द्रव्यमान, Z = परमाणु क्रमांक, A = द्रव्यमान संख्या, M' = सम्पूर्ण परमाणु का द्रव्यमान

❑ एक नाभिक का द्रव्यमान इसके न्यूक्लिऑनों के द्रव्यमानों के योग से 1% कम होता है।

(2) संकुलन गुणांक (Packing fraction)

प्रतिन्यूक्लिऑन द्रव्यमान क्षति को संकुलन गुणांक कहते हैं।

संकुलन गुणांक $(f) = \dfrac{\Delta m}{A} = \dfrac{M-A}{A}$ यहाँ M = नाभिक का द्रव्यमान, A = द्रव्यमान संख्या



(i) संकुलन गुणांक नाभिक के स्थायित्व की माप करता है। संकुलन गुणांक का मान जितना कम होगा, नाभिक उतना ही अधिक स्थायी होगा।

(iii) नाभिक $A = 16$ के लिए, $f \to 0$

(3) बन्धन ऊर्जा (B.E.)

एक स्थायी नाभिक में न्यूट्रॉन एवं प्रोटॉन नाभिकीय बल द्वारा परस्पर बँधे रहते हैं। इन्हें एक-दूसरे से दूर (अनन्त) करने के लिए एक निश्चित ऊर्जा की आवश्यकता होती है। (या नाभिक के निर्माण में जिनकी ऊर्जा मुक्त होती है उस ऊर्जा को नाभिक की बन्धन ऊर्जा कहते हैं।)

या

नाभिक के निर्माण में हुई द्रव्यमान क्षति के तुल्य ऊर्जा नाभिक की बन्धन ऊर्जा कहलाती है।

यदि Δm द्रव्यमान क्षति हो तब आइंस्टीन के द्रव्य-ऊर्जा सम्बन्ध से,

बन्धन ऊर्जा $= \Delta m \cdot c^2 = [\{m_pZ + m_n(A-Z)\} - M] \cdot c^2$

(यहाँ बन्धन ऊर्जा जूल में Δm-kg में हैं।)

यदि Δm amu में मापें तब बन्धन ऊर्जा $= \Delta m\ amu = [\{m_pZ + m_n(A-Z)\} - M]\ amu = \Delta m \times 931\ MeV$

(4) प्रति न्यूक्लिऑन बन्धन ऊर्जा

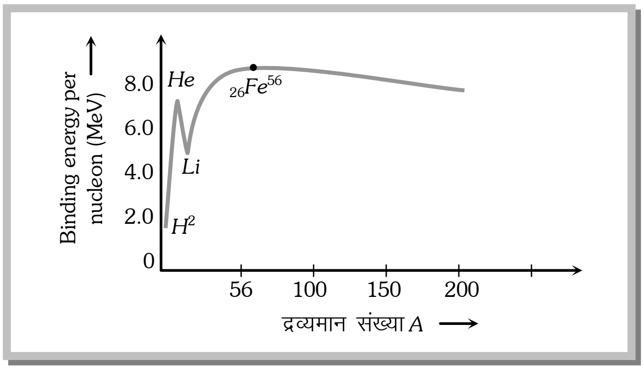
नाभिक से एक न्यूक्लिऑन को मुक्त करने के लिए आवश्यक औसत ऊर्जा को प्रति न्यूक्लिऑन ऊर्जा कहते हैं।

$$\text{प्रति न्यूक्लिऑन बन्धन ऊर्जा} = \frac{\text{कुल बन्धन ऊर्जा}}{\text{द्रव्यमान संख्या (न्यूक्लिऑनों की कुल संख्या)}} = \frac{\Delta m \times 931}{A} \frac{MeV}{\text{न्यूक्लिऑन}}$$

बन्धन ऊर्जा $\propto$ नाभिक का स्थायित्व

बन्धन - ऊर्जा वक्र

यह प्रति न्यूक्लिऑन बन्धन ऊर्जा एवं कुल न्यूक्लिऑनों की संख्या के बीच ग्राफ है।

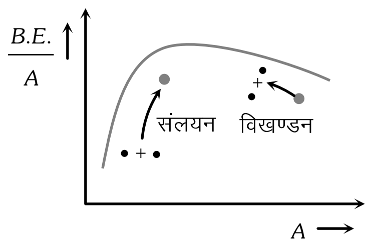


(1) कुल नाभिकों ($A < 20$) के लिए प्रति न्यूक्लिऑन बन्धन ऊर्जा इनके समीप स्थित नाभिकों की तुलना में बहुत अधिक है। जैसे $_2He^4$, $_4Be^8$, $_6C^{12}$, $_8O^{16}$ एवं $_{10}Ne^{20}$ ये नाभिक अपने पड़ोसी नाभिकों से अधिक स्थायी हैं।

(2) द्रव्यमान संख्या $A = 56$ ($_{26}Fe^{56}$) के लिए प्रति न्यूक्लिऑन बन्धन ऊर्जा अधिकतम है। इसका मान 8.8 MeV प्रति न्यूक्लिऑन है।

(3) नाभिकों ($A > 56$) के लिए, प्रति न्यूक्लिऑन बन्धन ऊर्जा क्रमशः घटती है। यूरेनियम ($A = 238$) के लिए प्रति न्यूक्लिऑन बन्धन ऊर्जा घटकर 7.5 MeV रह जाती है।

- ❑ जब एक भारी नाभिक दो हल्के नाभिकों में टूटता है तो हल्के नाभिकों की प्रति न्यूक्लिऑन बन्धन ऊर्जा भारी नाभिकों से अधिक होती है। अतः इस प्रक्रिया (नाभिकीय विखण्डन) में असीम ऊर्जा उत्पन्न होती है।
- ❑ जब बहुत हल्के दो नाभिक मिलकर एक भारी नाभिक बनाते हैं तब प्रति न्यूक्लिऑन बन्धन ऊर्जा बढ़ती हैं अतः इस प्रक्रिया (नाभिकीय संलयन) में भी असीम ऊर्जा उत्पन्न होती है।



नाभिकीय अभिक्रियायें

किसी नाभिक पर तीव्रगामी कणों की बौछार करने पर इसका एक अन्य नाभिक में परिवर्तन होना नाभिकीय अभिक्रिया कहलाती है। किसी नाभिकीय अभिक्रिया का सामान्य समीकरण निम्न है

$$\underset{\text{(माता नाभिक)}}{X} + \underset{\text{(आपतित कण)}}{a} \longrightarrow \underset{\text{(नाभिक)}}{C} \longrightarrow \underset{\text{(पुत्री नाभिक)}}{Y} + \underset{\text{(उत्पन्न कण)}}{b} + \underset{\text{(ऊर्जा)}}{Q}$$

यहाँ X एवं a क्रियाकारक एवं Y एवं b उत्पाद कहलाते हैं। उपरोक्त अभिक्रिया को संक्षेप में $X(a, b)\, Y$ द्वारा भी निरूपित कर सकते हैं।

Topperseducations.co.in

(1) नाभिकीय अभिक्रिया का Q मान

किसी नाभिकीय अभिक्रिया में उत्पन्न या अवशोषित ऊर्जा के मान को नाभिकीय अभिक्रिया का Q मान कहते हैं।

Q-मान = (क्रियाकारकों का द्रव्यमान – उत्पादों का द्रव्यमान) $\times c^2$ जूल

= (क्रियाकारकों का द्रव्यमान – उत्पादों का द्रव्यमान) amu

यदि $Q < 0$, तब नाभिकीय अभिक्रिया ऊष्माशोषी अभिक्रिया कहलाती है। (ऊष्मा अवशोषित होती है)

यदि $Q > 0$, तब नाभिकीय अभिक्रिया ऊष्माक्षेपी अभिक्रिया कहलाती है (ऊष्मा मुक्त होती है)

(2) नाभिकीय अभिक्रिया में संरक्षी नियम

(i) द्रव्यमान संख्या एवं आवेश संख्या संरक्षण : नीचे दी गई नाभिकीय अभिक्रिया में

$$_2He^4 + {}_7N^{14} \rightarrow {}_8O^{17} + {}_1H^1$$

	अभिक्रिया से पहले	अभिक्रिया के बाद
द्रव्यमान संख्या $(A) \rightarrow$	$4 + 14 = 18$	$17 + 1 = 18$
आवेश संख्या $(Z) \rightarrow$	$2 + 7 = 9$	$8 + 1 = 9$

(ii) संवेग संरक्षण : अभिक्रिया के प्रारम्भ में कणों के रेखीय संवेग एवं कोणीय संवेग, अभिक्रिया के बाद में प्राप्त कणों के रेखीय संवेग एवं कोणीय संवेग आपस में बराबर होते हैं। अर्थात् $\Sigma p = 0$

(iii) ऊर्जा संरक्षण : अभिक्रिया के पहले एवं बाद में कुल ऊर्जा नियत रहती है। पद Q अभिक्रिया की ऊर्जा को संतुलित करने के लिए जोड़ा जाता है।

(3) सामान्य नाभिकीय अभिक्रियायें

नाभिकीय अभिक्रिया द्वारा नाभिक का कृत्रिम विघटन होता है। रदरफोर्ड ने सन् 1919 में सर्वप्रथम कृत्रिम विघटन द्वारा (नाभिकीय अभिक्रिया) नाइट्रोजन को ऑक्सीजन में परिवर्तित किया।

$$_2He^4 + {}_7N^{14} \rightarrow {}_9F^{18} \rightarrow {}_8O^{17} + {}_1H^1$$

इसे (α, p) अभिक्रिया भी कहते हैं, कुछ अन्य नाभिकीय अभिक्रियायें निम्न हैं

(p, n) अभिक्रिया $\Rightarrow \quad {}_1H^1 + {}_5B^{11} \rightarrow {}_6C^{12} \rightarrow {}_6C^{11} + {}_0n^1$

(p, α) अभिक्रिया $\Rightarrow \quad {}_1H^1 + {}_3Li^{11} \rightarrow {}_4Be^8 \rightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4$

(p, γ) अभिक्रिया $\Rightarrow \quad {}_1H^1 + {}_6C^{12} \rightarrow {}_7N^{13} \rightarrow {}_7N^{13} + \gamma$

(n, p) अभिक्रिया $\Rightarrow \quad {}_0n^1 + {}_7N^{14} \rightarrow {}_7N^{15} \rightarrow {}_6C^{14} + {}_1H^1$

(γ, n) अभिक्रिया $\Rightarrow \quad \gamma + {}_1H^2 \rightarrow {}_1H^1 + {}_0n^1$

सामान्य विखण्डन एवं संलयन

नाभिकीय विखण्डन

एक भारी नाभिक का दो हल्के नाभिकों में टूटना नाभिकीय विखण्डन कहलाता है। इस अभिक्रिया में भारी नाभिक पर एक ऊर्जावान् कण की बौछार की जाती है। परिणामस्वरूप असीम ऊर्जा उत्पन्न होती है।

नाभिकीय विखण्डन की घटना (क्रिया) की खोज वैज्ञानिक ऑटोहान (Ottohann) एवं एफ० स्ट्रॉसमान (Strassmon) एवं इसकी व्याख्या नाभिक के द्रव बूँद मॉडल के आधार पर N. Bohr एवं J. A. Wheeler की गई।

(1) U^{235} नाभिक की विखण्डन अभिक्रिया

(i) नाभिकीय अभिक्रिया :

$$_{92}U^{235} + {}_0n^1 \rightarrow \underset{\text{(अस्थायी नाभिक)}}{_{92}U^{236}} \rightarrow {}_{56}Ba^{141} + {}_{36}Kr^{92} + 3{}_0n^1 + Q$$

(ii) U^{235} के विखण्डन से उत्सर्जित ऊर्जा का मान 200 MeV या 0.8 MeV प्रति न्यूक्लिऑन है।

(iii) $_{92}U^{235}$ के विखण्डन से औसतन 2.5 न्यूट्रॉन प्राप्त होते हैं, जिन्हें तीव्रगामी न्यूट्रॉन कहा जाता है एवं इनकी ऊर्जा (प्रत्येक की) लगभग 2 MeV होती है। ये तीव्रगामी न्यूट्रॉन अभिक्रिया से पलायन कर सकते हैं। अतः अभिक्रिया को चालू रखने के लिए इन्हें मन्द करने की आवश्यकता होती है।

(iv) U^{235} का विखण्डन सिर्फ मन्दगामी न्यूट्रॉनों से होता हैं। (जिनकी ऊर्जा लगभग 1eV होती है) या तापीय न्यूट्रॉनों से (जिसकी ऊर्जा लगभग 0.025 eV होती हैं) होता हैं।

(v) 50 kg U^{235} के विखण्डन से लगभग 4×10^{15} J की ऊर्जा निकलती है। यह लगभग 20,000 टन TNT के समतुल्य है। हिरोशिमा पर गिराये गये नाभिकीय बम की विस्फोट क्षमता (शक्ति) इसी क्रम की थी।

(vi) यौगिक नाभिक का द्रव्यमान विखण्डन उत्पाद के द्रव्यमानों के योग से अधिक होना चाहिए।

(vii) $\dfrac{\text{बन्धन ऊर्जा}}{\text{A}}$ का मान किसी यौगिक नाभिक के लिए हमेशा विखण्डन से प्राप्त उत्पादों से कम होना चाहिए।

(viii) यह स्मरण रखने की बात है कि प्रत्येक यूरेनियम नाभिक के विखण्डन से हमेशा $_{56}Ba$ एवं $_{36}Kr$ ही उत्पन्न नहीं होते हैं बल्कि वे मध्यम परमाणु भार के स्थायी समस्थानिक हो सकते हैं।

U^{235} विखण्डन की कुछ अन्य अभिक्रियाएँ इस प्रकार हैं

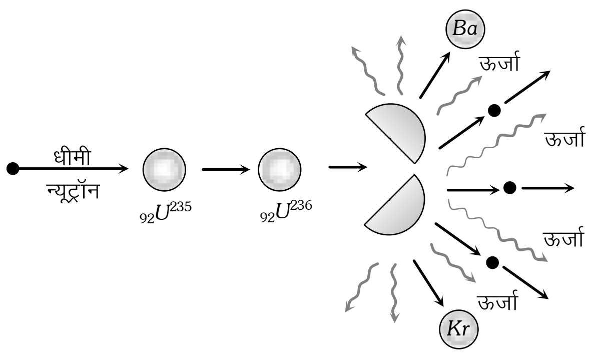
$$_{92}U^{235} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{54}Xe^{140} + {}_{38}Sr^{94} + 2{}_0n^1$$

$$\rightarrow {}_{57}La^{148} + {}_{35}Br^{85} + 3\,{}_0n^1$$

$$\rightarrow \text{अन्य अभिक्रियाएँ}$$

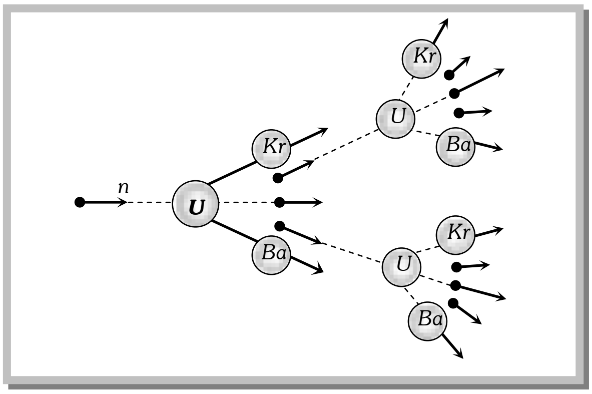
(ix) विखण्डन अभिक्रियाओं से उत्पन्न न्यूट्रॉनों को (Prompt) न्यूट्रॉन कहते हैं।

(x) उत्सर्जित ऊर्जा मुख्यतः विखण्डित पिण्डों की गतिज के रूप में मुक्त होती हैं।



(2) **श्रृंखला अभिक्रिया**

नाभिकीय विखण्डन में प्रचुर मात्रा में ऊर्जा के उत्सर्जन के साथ-साथ तीन अतिरिक्त न्यूट्रॉन भी उत्पन्न होते हैं। ये न्यूट्रॉन उचित स्थिति में पुनः दूसरे नाभिकों का विखण्डन करके बहुत अधिक संख्या में न्यूट्रॉन उत्पन्न करते हैं। इस प्रकार नाभिकीय विखण्डन की एक श्रृंखला स्थापित हो जाती है जो तब तक जारी रहती है जब तक कि पूरा यूरेनियम खत्म न हो जाये।



श्रृंखला अभिक्रिया में विखण्डनीय नाभिकों की संख्या बहुत अधिक होती हैं, इसलिए बहुत शीघ्र प्रचुर मात्रा में ऊर्जा उत्पन्न होती हैं।

श्रृंखला अभिक्रिया की कठिनाई

(i) U^{238} नाभिकों के द्वारा न्यूट्रॉनों का अवशोषण, प्राकृतिक यूरेनियम में मुख्यतः U^{238} समस्थानिक (99.3%) होते हैं एवं बहुत कम (0.7%) U^{235} होते हैं। U^{238} नाभिक तीव्रगामी न्यूट्रॉनों से विखण्डनीय होते हैं, जबकि U^{235} मन्दगामी न्यूट्रॉनों से। U^{238} नाभिकों की अधिकता के कारण इसकी न्यूट्रॉनों के साथ टक्कर की संभावना अधिक होती है। U^{238} नाभिकों से टक्कर के कारण न्यूट्रॉनों की गति मन्द हो जाती है जिससे आगे U^{238} का विखण्डन संभव नहीं होता है (क्योंकि मन्द न्यूट्रॉन U^{238} नाभिक से अवशोषित हो जाते हैं) और श्रृंखला अभिक्रिया बन्द हो जाती है।

निराकरण : (i) श्रृंखला अभिक्रिया जारी (Sustain) रखने के लिए साधारण यूरेनियम से $_{92}U^{235}$ को पृथक किया जाता है। ऐसे यूरेनियम को संवर्धित (Enriched) यूरेनियम कहा जाता है जो तीव्रगामी एवं मन्दगामी दोनों न्यूट्रॉनों से विखण्डनीय होते हैं। इस प्रकार श्रृंखला अभिक्रिया का क्रम जारी रहता है।

(ii) यदि न्यूट्रॉनों को लगभग 0.3 eV ऊर्जा तक किसी विधि के द्वारा मंदित किया जाये तो U^{238} नाभिक के द्वारा इनके अवशोषण की संभावना बहुत कम हो जाती है, जबकि U^{235} नाभिकों के विखण्डन की संभावना बढ़ जाती है। यह क्रिया मंदक (Moderators) के द्वारा सम्पादित की जाती है। मंदक के रूप में ग्रेफाइट एवं भारी पानी का उपयोग होता है।

(iii) क्रांतिक आकार : विखण्डन में उत्सर्जित न्यूट्रॉनों का वेग बहुत अधिक होता है। जिससे ये मन्द होने के पहले बहुत अधिक दूरी तय करते हैं। यदि विखण्डनीय पदार्थ का आकार छोटा हो तो ये उत्सर्जित न्यूट्रॉन मन्द होने के पहले विखण्डनीय पदार्थ से बाहर हो जायेंगे। इस प्रकार श्रृंखला अभिक्रिया जारी नहीं रह पाती है।

निराकरण : अतः विखण्डनीय पदार्थ का आकार क्रांतिक आकार से अधिक होना चाहिए।

श्रृंखला अभिक्रिया जो एक बार प्रारम्भ होती है, नियत दर से जारी रहेगी, त्वरित होगी या मंदित होगी, एक गुणांक पर निर्भर करती है जिसे न्यूट्रॉन का पुनरूत्पादन गुणांक (k) कहा जाता है। इसे इस प्रकार परिभाषित किया जाता है

$$k = \frac{\text{न्यूट्रॉनों के उत्सर्जन की दर}}{\text{न्यूट्रॉनों के हानि की दर}}$$

→ यदि $k = 1$ हो तो श्रृंखला अभिक्रिया स्थायी रूप से जारी रहेगी। इस समय विखण्डनशील पदार्थ के द्रव्यमान को क्रान्तिक द्रव्यमान एवं आकार को क्रांतिक आकार कहते हैं।

→ यदि $k > 1$ हो, तो श्रृंखला अभिक्रिया त्वरित होगी तथा विस्फोट होगा। इस समय विखण्डनशील पदार्थ के द्रव्यमान को अतिक्रांतिक द्रव्यमान कहते हैं। इसका उपयोग परमाणु बम में होता है।

→ यदि $k < 1$ हो, तो श्रृंखला अभिक्रिया धीरे-धीरे बन्द हो जाएगी। इस समय विखण्डनशील पदार्थ के द्रव्यमान को न्यून क्रांतिक द्रव्यमान कहते हैं।

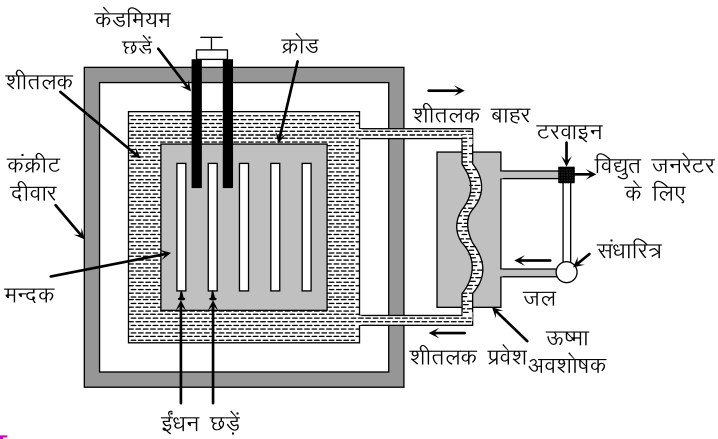
श्रृंखला अभिक्रिया के प्रकार : यह दो प्रकार की होती है

नियंत्रित श्रृंखला अभिक्रिया	अनियंत्रित श्रृंखला अभिक्रिया
कृत्रिम विधि से नियंत्रित किया जाता है।	इस प्रकार की नाभिकीय अभिक्रिया पर कोई नियंत्रण नहीं होता है।
एक के अतिरिक्त सभी न्यूट्रॉन अवशोषित होते हैं।	अभिक्रिया में एक से अधिक न्यूट्रॉन भाग लेते हैं।
अभिक्रिया दर धीमी होती है।	दर तेज होती है।
पुनरूत्पादन गुणांक $k = 1$ होता है।	पुनरूत्पादन गुणांक $k > 1$ होता है।
इस अभिक्रिया से उत्पन्न ऊर्जा हमेशा विस्फोट ऊर्जा से कम होता है।	इस अभिक्रिया से बहुत अधिक परिमाण में ऊर्जा निकलती है।
नाभिकीय भट्टी का सिद्धान्त इस अभिक्रिया पर आधारित है।	परमाणु बम का सिद्धान्त इस अभिक्रिया पर आधारित है।

- एक परमाणु बम से उत्पन्न ऊर्जा 2000 टन TNT के तुल्य होती है। एक उत्पन्न ताप 10^7 °C कोटि का होता है।

नाभिकीय भट्टी

यह एक संयंत्र है जिसमें नाभिकीय विखण्डन नियंत्रित श्रृंखला अभिक्रिया के द्वारा सम्पन्न होता है। इसे परमाणु पाईल (Pile) भी कहा जाता है। अतः यह एक नियंत्रित ऊर्जा स्रोत है जिसका उपयोग बहुत अधिक उद्देश्यों के लिए होता है



(1) नाभिकीय भट्टी के मुख्य भाग

(i) ईंधन (या विखण्डनीय पदार्थ) : विखण्डनीय पदार्थ को ईंधन कहा जाता है। उदाहरण : यूरेनियम समस्थानिक (U^{235}), थोरियम समस्थानिक (Th^{232}) एवं प्लूटोनियम समस्थानिक (Pu^{239}, Pu^{240} एवं Pu^{241})।

(ii) मंदक : तीव्रगामी न्यूट्रॉनों की गति को मन्द करने के लिए उपयुक्त कम परमाणुभार वाले पदार्थों को मंदक कहते हैं, जैसे : ग्रेफाइड, भारी पानी (D_2O)।

(iii) नियंत्रक पदार्थ : नियंत्रक पदार्थ का उपयोग श्रृंखला अभिक्रिया को नियंत्रित करने एवं नियत दर पर सम्पन्न करने के लिए किया जाता है। ये पदार्थ विखण्डन के लिए उपलब्ध न्यूट्रॉनों की संख्या को नियंत्रित करते हैं। उदाहरणस्वरूप कैडमियम छड़ को भट्टी के अन्दर प्रविष्ट किया जाता है क्योंकि ये न्यूट्रॉनों का अवशोषण करते हैं। कैडमियम छड़ को भट्टी के अन्दर या बाहर करके विखण्डन के लिए उपलब्ध न्यूट्रॉनों की संख्या को नियंत्रित किया जाता है।

(iv) शीतलक : विखण्डन के दौरान उत्पन्न ऊष्मा को अवशोषित करने के लिए प्रयुक्त पदार्थों को शीतलक कहते हैं। जैसे भारी पानी, द्रव ऑक्सीजन, CO_2, नाइट्रोजन इत्यादि।

(v) परिरक्षक आवरण : भट्टी के चारों तरफ कार्य कर रहे सजीव प्राणियों की रक्षा हेतु (हानिकारक विकिरणों से) प्रयुक्त सीमेण्ट व कंकरीट युक्त आवरण को परिरक्षक आवरण कहते हैं।

- अन्य विखण्डनीय पदार्थों की तुलना में प्लूटोनियम उत्तम ईंधन है, क्योंकि इसका विखण्डन मन्द एवं तीव्र न्यूट्रॉन दोनों के द्वारा किया जा सकता है। इसे U^{238} से प्राप्त किया जा सकता है।
- नाभिकीय भट्टी का सर्वप्रथम निर्माण फर्मी ने किया।
- भारत की प्रथम नाभिकीय भट्टी अप्सरा है।

(2) नाभिकीय भट्टी के उपयोग

(i) विद्युत ऊर्जा के उत्पादन में।

(ii) रेडियो समस्थानिकों के उत्पादन में जिसका उपयोग चिकित्सा विज्ञान, कृषि एवं उद्योग में होता है।

(iii) Pu^{239} के निर्माण में जिसका उपयोग परमाणु बम में होता है।

(iv) तीव्रगामी न्यूट्रॉनों के उत्पादन में जिसका उपयोग कैंसर उपचार में एवं नाभिकीय अनुसंधान में होता है।

- वह परमाणु भट्टी जिसमें उत्पादित पदार्थ खर्च होने वाले पदार्थ की तुलना में अधिक होता है, प्रजनक भट्टी (Breeder reactor) कहलाता है।

नाभिकीय संलयन

वह प्रक्रिया जिसमें दो या दो से अधिक हल्के नाभिक संयुक्त होकर एक भारी नाभिक का निर्माण करते हैं, नाभिकीय संलयन कहलाती है। उत्पन्न भारी नाभिक का द्रव्यमान पितृ (Parent) नाभिकों के द्रव्यमान के योग से कम होता है एवं द्रव्यमान का यह अंतर प्रचुर मात्रा में ऊर्जा उत्सर्जित करता है

$$_1H^2 + {_1H^2} \rightarrow {_1H^3} + {_1H^1} + 4MeV$$

$$_1H^3 + {_1H^2} \rightarrow {_2He^4} + {_0n^1} + 17.6\,MeV$$

या

$$_1H^2 + {_1H^2} \rightarrow {_2He^4} + 24MeV$$

नाभिकीय संलयन के लिए बहुत उच्च दाब ($\approx 10^6$ वायुमण्डलीय दाब) एवं उच्च तापक्रम ($10^7\,K$ से $10^8\,K$ के क्रम में) की आवश्यकता होती है। अतः इस अभिक्रिया को तापीय नाभिकीय अभिक्रिया भी कहा जाता है।

नाभिकीय संलयन से प्राप्त ऊर्जा का मान नाभिकीय विखण्डन से अधिक होता हैं यूरेनियम के एक परमाणु के विखण्डन से प्राप्त ऊर्जा का मान 200 MeV है जबकि ड्यूट्रॉन ($_1H^2$) एवं ट्राइटन ($_1H^3$) के संलयन में उत्पन्न ऊर्जा का मान लगभग 17.6 MeV है। नाभिकीय विखण्डन में प्रति न्यूक्लिऑन उत्पन्न ऊर्जा लगभग 0.85 MeV होता है एवं संलयन में इसका मान 4.4 MeV है। अतः ईंधन के समान द्रव्यमान के लिए संलयन क्रिया में उत्पन्न ऊर्जा का मान विखण्डन की तुलना में बहुत अधिक होता है।

प्लाज्मा : नाभिकीय संलयन के लिए आवश्यक $10^8\,K$ के क्रम का तापक्रम हल्के तत्वों के परमाणु को पूर्णतः आयनित कर देता है। इलेक्ट्रॉन बादल एवं मूल नाभिकों के मिश्रण को प्लाज्मा कहा जाता है। सूर्य का प्रचुर गुरुत्वीय क्षेत्र अपने अन्दर प्लाज्मा अवस्था को आकर्षित किए हुए है।

प्रयोगशाला में नाभिकीय संलयन की क्रिया सम्पादित करने में मुख्य कठिनाई उच्च तापक्रम $10^8\,K$ पर प्लाज्मा को निहित रखना है, क्योंकि कोई ठोस बर्तन इस उच्च तापक्रम को सहन नहीं कर सकता है। यदि इस समस्या (प्लाज्मा को निहित रखना) का हल कर लिया जाये तो समूद्री जल में बहुत अधिक परिमाण में उपस्थित ड्यूट्रॉन नहीं खत्म होने वाले ऊर्जा स्रोत की तरह कार्य करेगा।

- प्रयोगशाला में नाभिकीय संलयन प्राप्त करने के लिए जिस उपकरण का उपयोग किया जाता है, उसे टोकामार्क (Tokamark) कहा जाता है।

तारों की ऊर्जा (Stellar energy)

वह ऊर्जा जो सूर्य एवं तारों से लगातार प्राप्त होते हैं। सूर्य लगभग 10^{26} जूल/सैकण्ड की दर से ऊर्जा विकरित कर रहा है।

वैज्ञानिक हेंस वेथे (Hans Bethe) के अनुसार सूर्य (एवं अन्य तारों में) में हाइड्रोजन नाभिकों का संलयन लगातार हीलियम नाभिक में होता रहता है, जिससे उत्पन्न ऊर्जा ही सूर्य (या अन्य तारों) का ऊर्जा स्रोत है।

सूर्य एवं तारों की ऊर्जा को दो चक्रों के द्वारा व्यक्त किया जाता है :

प्रोटॉन-प्रोटॉन चक्र (*P-P* चक्र)	कार्बन-नाइट्रोजन चक्र (*C-N* चक्र)
${}_1H^1 + {}_1H^1 \rightarrow {}_1H^2 + {}_1e^0 + Q_1$	${}_1H^1 + {}_6C^{12} \rightarrow {}_7N^{13} + Q_1$
${}_1H^2 + {}_1H^1 \rightarrow {}_2He^3 + Q_2$	${}_7N^{13} \rightarrow {}_6C^{13} + {}_{+1}e^0$
${}_2He^3 + {}_2He^3 \rightarrow {}_2He^4 + 2{}_1H^1 + Q_3$	${}_1H^1 + {}_6C^{13} \rightarrow {}_7N^{14} + Q_2$
$4\,{}_1H^1 \rightarrow {}_2He^4 + 2\,{}_{+1}e^0 + 2\gamma + 26.7\,MeV$	${}_1H^1 +{}_7N^{14} \rightarrow {}_8O^{15} + Q_3$
	${}_8O^{15} \rightarrow {}_7N^{15} + {}_1e^0 + Q_4$
	${}_1H^1 + {}_7N^{15} \rightarrow {}_6C^{12} + {}_2He^4$
	$4\,{}_1H^1 \rightarrow {}_2He^4 + 2\,{}_1e^0 + 24.7\,MeV$

सूर्य के द्रव्यमान का लगभग 90% भाग हाइड्रोजन एवं हीलियम होता है।

नाभिकीय बम

यह अनियंत्रित नाभिकीय अभिक्रिया पर आधारित होता है

परमाणु बम	हाइड्रोजन बम
नाभिकीय विखण्डन पर आधारित होता है, इसमें U^{235} का विखण्डन होता है।	नाभिकीय संलयन पर आधारित होता है, इसमें ड्यूट्रॉन एवं ट्रिटियम के मिश्रण का उपयोग होता है।
इसमें क्रांतिक आकार महत्वपूर्ण होता है।	क्रांतिक आकार की कोई सीमा नहीं है।
इसमें सामान्य ताप एवं दाब पर विस्फोट संभव है।	इसमें उच्च ताप व दाब की आवश्यकता होती है।
हाइड्रोजन बम की तुलना में कम परिमाण में ऊर्जा उत्पन्न होता है।	परमाणु बम की तुलना में अधिक ऊर्जा उत्पन्न होती है इसलिए परमाणु बम की तुलना में अधिक खतरनाक होता है।

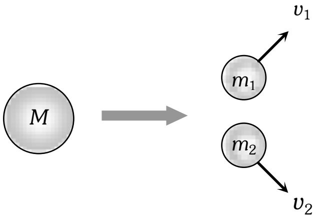
Concepts

- *पृथ्वी की तुलना में मूल (Base) नाभिकों से भरी परखनली ज्यादा भारी होगी।*
- *हाइड्रोजन तत्व के नाभिक में सिर्फ प्रोटॉन होता है, अतः हम कह सकते हैं कि हाइड्रोजन परमाणु का नाभिक प्रोट्रॉन है।*
- *यदि किसी तत्व में पाये गये सापेक्षिक समस्थानिकों का अनुपात $n_1 : n_2$ हो, जिसके परमाणुभार m_1 एवं m_2 हों तो तत्व का परमाणु भार*
$$M = \frac{n_1 m_1 + n_2 m_2}{n_1 + n_2}$$

Example: 1 विराम में स्थित एक भारी नाभिक दो टुकड़ों में टूट जाता है ये टुकड़े 8 : 1 के वेग से गतिशील हो जाते हैं। तो टुकड़ों की त्रिज्याओं का अनुपात होगा [EAMCET (Engg.) 2001]

(a) 1 : 2 (b) 1 : 4 (c) 4 : 1 (d) 2 : 1

Solution : (a)



रेखीय संवेग संरक्षण से, $m_1 v_1 = m_2 v_2$

$$\Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{8}{1} = \frac{m_2}{m_1} \qquad \text{...... (i)}$$

एवं $r \propto A^{1/3} \Rightarrow \frac{r_1}{r_2} = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{1/3} = \left(\frac{1}{8}\right)^{1/3} = \frac{1}{2}$

Example: 2 $^{27}_{13}Al$ एवं $^{125}_{52}Te$ नाभिक की त्रिज्याओं का अनुपात लगभग होगा [J & K CET 2000]

(a) 6 : 10 (b) 13 : 52 (c) 40 : 177 (d) 14 : 7

Solution : (a) $r \propto A^{1/3} \Rightarrow \frac{r_1}{r_2} = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{1/3} = \left(\frac{27}{125}\right)^{1/3} = \frac{8}{5} = \frac{6}{10}$

Example: 3 यदि एवोगेड्रो की संख्या का मान 6×10^{23} हो तो $_6C^{14}$ परमाणु के 14 g में प्रोटॉनों, न्यूट्रॉनों एवं इलेक्ट्रॉनों की संख्या क्रमशः होगी

(a) $36 \times 10^{23}, 48 \times 10^{23}, 36 \times 10^{23}$ (b) $36 \times 10^{23}, 36 \times 10^{23}, 36 \times 10^{21}$

(c) $48 \times 10^{23}, 36 \times 10^{23}, 48 \times 10^{21}$ (d) $48 \times 10^{23}, 48 \times 10^{23}, 36 \times 10^{21}$

Solution : (a) चूँकि $_6C^{14}$ परमाणु में प्रोटॉनों, न्यूट्रॉनों एवं इलेक्ट्रॉनों की संख्या क्रमशः 6, 8 एवं 6 हैं तथा $_6C^{14}$ के 14 gm में परमाणुओं की संख्या 6×10^{23} है। अतः $_6C^{14}$ परमाणु के 14 gm में प्रोटॉनों, न्यूट्रॉनों एवं इलेक्ट्रॉनों की संख्या क्रमशः $6 \times 6 \times 10^{23} = 36 \times 10^{23}$, $8 \times 6 \times 10^{23} = 48 \times 10^{23}$ एवं $6 \times 6 \times 10^{23} = 36 \times 10^{23}$ है।

Example: 4 Cu^{64} के दो नाभिक एक–दूसरे के सम्पर्क में हैं तो निकाय के स्थिरविद्युतीय प्रतिकर्षण ऊर्जा का मान होगा

(a) 0.788 MeV (b) 7.88 MeV (c) 126.15 MeV (d) 788 MeV

Solution : (c) प्रत्येक नाभिक की त्रिज्या $R = R_0(A)^{1/3} = 1.2(64)^{1/3} = 4.8\, fm$

एवं दो नाभिकों के बीच की दूरी $(r) = 2R$

$$\therefore \text{स्थितिज ऊर्जा } U = \frac{k \cdot q^2}{r} = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19} \times 29)^2}{2 \times 4.8 \times 10^{-15} \times 1.6 \times 10^{-19}} = 126.15\, MeV.$$

Example: 5 जब $_{92}U^{235}$ का विखण्डन होता है तो इसके द्रव्यमान का 0.1% ऊर्जा के रूप में परिवर्तित हो जाता है। यदि 1 kg $_{92}U^{235}$ का विखण्डन होता है तो कितनी ऊर्जा उत्पन्न होगी [MP PET 1994; MP PMT/PET 1998; BHU 2001; BVP 2003]

(a) $9 \times 10^{10} J$ (b) $9 \times 10^{11} J$ (c) $9 \times 10^{12} J$ (d) $9 \times 10^{13} J$

Solution : (d) $E = \Delta m \cdot c^2 \Rightarrow E = \left(\frac{0.1}{100} \times 1\right)(3 \times 10^8)^2 = 9 \times 10^{13} J$

Example: 6 1 gm हाइड्रोजन नाभिकीय संलयन अभिक्रिया के द्वारा 0.993 gm हीलियम में परिवर्तित होता है तो उत्सर्जित ऊर्जा का मान होगा, [EAMCET (Med.) 1995; CPMT 1999]

(a) $63 \times 10^7 J$ (b) $63 \times 10^{10} J$ (c) $63 \times 10^{14} J$ (d) $63 \times 10^{20} J$

Solution : (b) $\Delta m = 1 - 0.993 = 0.007\, gm$

$\therefore E = \Delta mc^2 = 0.007 \times 10^{-3} \times (3 \times 10^8)^2 = 63 \times 10^{10} J$

Example: 7 ड्यूटीरियम एवं हीलियम परमाणु की प्रति न्यूक्लियॉन बन्धन ऊर्जा 1.1 *MeV* एवं 7 *MeV* है। यदि दो ड्यूटिरियम नाभिक, हीलियम परमाणु के निर्माण के लिए संलयित होते हैं तो उत्पन्न ऊर्जा है।

[MP PMT 1992; Roorkee 1994; IIT-JEE 1996; AIIMS 1997; Haryana PMT 2000; Pb PMT 2001; CPMT 2001; AIEEE 2004]

(a) 13.9 *MeV* (b) 26.9 *MeV* (c) 23.6 *MeV* (d) 19.2 *MeV*

Solution : (c) $_1H^2 + {_1H^2} \rightarrow {_2He^4} + Q$

हीलियम नाभिक की कुल बंधन ऊर्जा $= 4 \times 7 = 28\ MeV$

एवं प्रत्येक ड्यूट्रॉन की कुल बंधन ऊर्जा $= 2 \times 1.1 = 2.2\ MeV$

$\therefore$ उत्सर्जित ऊर्जा $= 28 - 2 \times 2.2 = 23.6\ MeV$

Example: 8 प्रोटॉन एवं न्यूट्रॉन के द्रव्यमान क्रमशः 1.0087 *amu* एवं 1.0073 *amu* हैं। यदि न्यूट्रॉन एवं प्रोटॉन संयुक्त होकर हीलियम नाभिक ($\alpha -$कण) 4.0015 *amu* को उत्पन्न करते हैं तो हीलियम नाभिक की बन्धन ऊर्जा होगी [1 *amu*= 931 *MeV*]

[CPMT 1986; MP PMT 1995; CBSE 2003]

(a) 28.4 *MeV* (b) 20.8 *MeV* (c) 27.3 *MeV* (d) 14.2 *MeV*

Solution : (a) हीलियम नाभिक में दो न्यूट्रॉन एवं दो प्रोटॉन होते हैं।,

इसलिए बंधन ऊर्जा $E = \Delta m\ amu = \Delta m \times 931\ MeV$

$\Rightarrow E = (2 \times m_p + 2m_n - M) \times 931\ MeV = (2 \times 1.0073 + 2 \times 1.0087 - 4.0015) \times 931 = 28.4\ MeV$

Example: 9 एक परमाणु भट्टी की शक्ति 300 *MW* है। यदि U^{238} के एक परमाणु के विखंडन से उत्सर्जित ऊर्जा 170 *MeV* हो तो प्रति घंटे यूरेनियम नाभिक विखंडन की संख्या होगी [UPSEAT 2000]

(a) 5×10^{15} (b) 10×10^{20} (c) 40×10^{21} (d) 30×10^{25}

Solution : (c) $P = \frac{W}{t} = \frac{n \times E}{t}$ जहाँ n = विखंडित यूरेनियम परमाणु की संख्या एवं E = प्रत्येक विखंडन से उत्सर्जित ऊर्जा है।

$300 \times 10^6 = \frac{n \times 170 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}}{3600} \Rightarrow n = 40 \times 10^{21}$

Example: 10 O^{16} एवं O^{17} के प्रति न्यूक्लिऑन बंधन की ऊर्जा क्रमशः 7.97 *MeV* एवं 7.75 *MeV* है। O^{17} नाभिक से एक न्यूट्रॉन को बाहर निकालने के लिए आवश्यक ऊर्जा का मान होगा [IIT-JEE 1995]

(a) 3.52 (b) 3.64 (c) 4.23 (d) 7.86

Solution : (c) $O^{17} \rightarrow O^{16} + {_0n^1}$

$\therefore$ आवश्यक ऊर्जा $= O^{17}$ की बंधन ऊर्जा $- O^{16}$ की बंधन ऊर्जा $= 17 \times 7.75 - 16 \times 7.97 = 4.23\ MeV$

Example: 11 एक γ किरण फोटॉन एक इलेक्ट्रॉन–पोजिट्रॉन युग्म की उत्पत्ति करता है। यदि इलेक्ट्रॉन की विराम ऊर्जा द्रव्यमान 0.5 *MeV* तथा इलेक्ट्रॉन–पॉजिट्रॉन युग्म की गतिज ऊर्जा 0.78 *MeV* हो तो γ किरण फोटॉन ऊर्जा होगी

(a) 0.78 *MeV* (b) 1.78 *MeV* (c) 1.28 *MeV* (d) 0.28 *MeV*

Solution : (b) γ-किरण फोटॉन की ऊर्जा $= 0.5 + 0.5 + 0.78 = 1.78\ MeV$

Example: 12 U^{234} के एक क्यूरी का द्रव्यमान होता है [MNR 1985]

(a) $3.7 \times 10^{10}\ gm$ (b) $2.348 \times 10^{23}\ gm$ (c) $1.48 \times 10^{-11}\ gm$ (d) $6.25 \times 10^{-34}\ gm$

Solution : (c) 1 *क्यूरी* $= 3.71 \times 10^{10}$ विघटन/सेकेण्ड एवं U^{234} के 6.02×10^{23} परमाणु का द्रव्यमान $= 234 gm$

$\therefore 3.71 \times 10^{10}$ परमाणु का द्रव्यमान $= \frac{234 \times 3.71 \times 10^{10}}{6.02 \times 10^{23}} = 1.48 \times 10^{-11} gm$

Example: 13 नाभिकीय संलयन अभिक्रिया ${}_1^2H + {}_1^3H \to {}_2^4He + n$, में दो नाभिकों के बीच प्रतिकर्षी स्थितिज ऊर्जा $-7.7\times10^{-14} J$ है। अभिक्रिया प्रारम्भ करने के लिए गैसों को किस तापक्रम तक गर्म करना चाहिये। [वोल्ट्ज़मान नियतांक $k = 1.38\times10^{-23} J/K$ है] [AIEEE 2003]

(a) $10^9 K$ (b) $10^7 K$ (c) $10^5 K$ (d) $10^3 K$

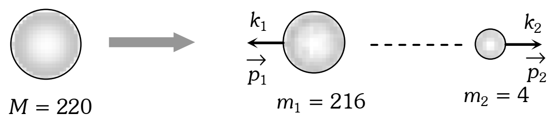
Solution : (a) TK तापक्रम पर गैस की गतिज ऊर्जा $=3/2\ kT$

$\therefore \frac{3}{2}kT = 7.7\times10^{-14} J \Rightarrow T = 3.7\times10^9 K$

Example: 14 एक नाभिक जो प्रारम्भ में विराम हैं एवं इसकी द्रव्यमान संख्या 220 है, एक α-कण उत्सर्जित करता है यदि अभिक्रिया का Q मान 5.5 MeV हो तो α-कण की गतिज ऊर्जा होगी, [IIT-JEE (Screening) 2003]

(a) 4.4 MeV (b) 5.4 MeV (c) 5.6 MeV (d) 6.5 MeV

Solution : (b)



अभिक्रिया का Q-मान 5.5 eV है, अतः $k_1 + k_2 = 5.5\ MeV$ ......(i)

संवेग संरक्षण सिद्धान्त से $p_1 = p_2 \Rightarrow \sqrt{2(216)k_1} = \sqrt{2(4)k_2} \Rightarrow k_2 = 54\ k_1$ ......(ii)

समीकरण (i) एवं (ii) से प्राप्त होता है, $k_2 = 5.4\ MeV$

Example: 15 यदि m_p प्रोटॉन का द्रव्यमान, m_n न्यूट्रॉन का द्रव्यमान M_1 ${}_{10}^{20}Ne$ नाभिक का द्रव्यमान तथा M_2 ${}_{20}^{40}Ca$ नाभिक का द्रव्यमान है, तो [IIT 1998; DPMT 2000]

(a) $M_2 = 2M_1$ (b) $M_2 > 2M_1$ (c) $M_2 < 2M_1$ (d) $M_1 < 10(m_n + m_p)$

Solution : (c, d) द्रव्यमान क्षति (जो नाभिक के बंधन ऊर्जा के लिए उत्तरदायी है) के कारण नाभिक के द्रव्यमान का मान हमेशा अपने अवयवी (constituent) कणों के कुल द्रव्यमान से कम होता है। चूँकि ${}_{10}^{20}Ne$ नाभिक में 10 प्रोटॉन एवं 10 न्यूट्रॉन हैं, इसलिए

${}_{10}^{20}Ne$ का द्रव्यमान $M_1 < 10(m_p + m_n)$

साथ ही नाभिक जितना अधिक भारी होता है, इसकी द्रव्यमान क्षति भी उतनी ही अधिक होती है अतः $20(m_n + m_p) - M_2 > 10(m_p + m_n) - M_1$

या $10(m_p + m_n) > M_2 - M_1$

$\Rightarrow M_2 < M_1 + 10(m_p + m_n) \Rightarrow M_2 < M_1 + M_1 \Rightarrow M_2 < 2M_1$

Tricky example: 1

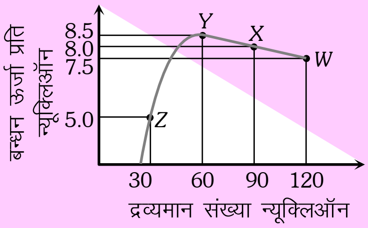
बंधन ऊर्जा प्रति न्यूक्लियान तथा (292^s) नाभिक के द्रव्यमान के बीच के वक्र को चित्र में दिखाया गया है। W, X, Y एवं Z चार नाभिक इस वक्र पर इंगित हैं। नाभिकीय अभिक्रिया जिसमें ऊर्जा पैदा होगी, वह [IIT-JEE 1999]

(a) $Y \rightarrow 2Z$

(b) $W \rightarrow X + Z$

(c) $W \rightarrow 2Y$

(d) $X \rightarrow Y + Z$



Solution : (c) किसी अभिक्रिया से ऊर्जा का उत्सर्जन तभी होता है जब नाभिक की कुल बंधन ऊर्जा (प्रति न्यूक्लिऑन बंधन ऊर्जा × न्यूक्लिनों की संख्या) अधिक होती है। अर्थात् प्रतिफल (उत्पाद)(Product) की कुल बंधन ऊर्जा का मान क्रियाकारक (Reactants) से अधिक होता है। गणना से हम पाते हैं कि उपर्युक्त स्थिति (Option) (c) में प्राप्त होता है।

दिया गया है $W \rightarrow 2Y$

क्रियाकारक (Reactants) की बंधन ऊर्जा $= 120 \times 7.5 = 900\ MeV$

एवं उत्पाद (Products) की बंधन ऊर्जा $= 2\,(60 \times 8.5) = 1020\ MeV > 900\ MeV$

रेडियोसक्रियता

भारी (अस्थायी) परमाणुओं के नाभिकों से स्वतः विकिरणों के उत्सर्जन की घटना को रेडियो-सक्रियता कहा जाता है एवं वे तत्व जो ऐसी घटना दर्शाते हैं, रेडियोसक्रिय तत्व कहलाते हैं।

(1) सन् 1896 में हेनरी बैकरल ने यूरेनियम लवण में रेडियोसक्रियता की खोज की।

(2) यूरेनियम नाभिक से रेडियोसक्रियता की खोज के बाद पेरे क्यूरी एवं मैडम क्यूरी ने एक नये रेडियोसक्रिय तत्व 'रेडियम' (जो यूरेनियम से 10^6 गुना अधिक रेडियोसक्रिय है) की खोज की।

(3) रेडियोसक्रिय तत्वों के उदाहरण हैं : यूरेनियम, रेडियम, थोरियम पोलोनियम, नेप्चूनियम इत्यादि।

(4) रेडियोसक्रियता पर पदार्थ के भौतिक (दाब, तापक्रम, विद्युत या चुम्बकीय क्षेत्र) एवं रासायनिक गुणों का कोई प्रभाव नहीं पड़ता है।

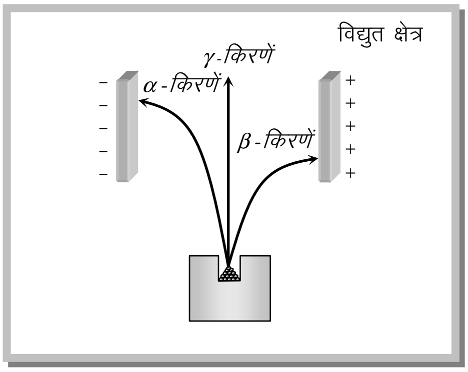
(5) वे सभी तत्व जिनकी परमाणु संख्या 82 से अधिक हैं, प्राकृतिक रेडियोसक्रिय हैं।

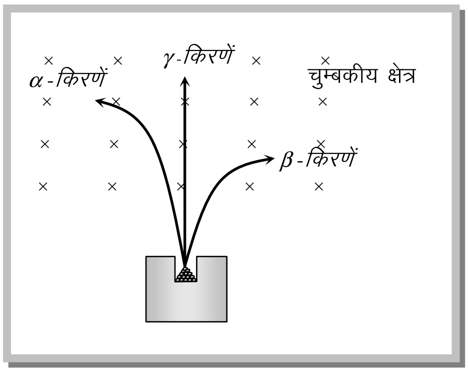
(6) हल्के तत्वों का तेज गतिशील कणों की बमबारी से रेडियोसक्रिय तत्वों में परिवर्तन होने की घटना (क्रिया) को कृत्रिम या प्रेरित रेडियोसक्रियता कहा जाता है।

(7) रेडियोसक्रियता एक नाभिकीय क्रिया है, न कि परमाण्विक। अतः रेडियोसक्रियता का परमाणु के इलेक्ट्रॉनिक विन्यास से कोई सम्बन्ध नहीं होता है।

नाभिकीय विकिरण

रदरफोर्ड के प्रयोग के अनुसार जब एक रेडियोसक्रिय पदार्थ के नमूने को लेड के एक बक्से में रखा जाता है एवं उत्सर्जित विकिरण को एक पतले छिद्र से गुजारा जाता है तो ये विकिरण बाहरी विद्युत क्षेत्र में तीन भागों में बँट जाते हैं





(i) विकिरणें जो ऋण-प्लेट की ओर विक्षेपित होते हैं, α-कण कहलाते हैं (ये धनावेशित कणों की किरण हैं)

(ii) विकिरणें जो धन-प्लेट की ओर विक्षेपित होती हैं, β-कण कहलाते हैं (ये ऋणावेशित कणों की किरण हैं)

(iii) विकिरणें जो अविक्षेपित रहती हैं, γ-किरण कहलाती हैं (ये फोटॉन या विद्युत-चुम्बकीय तरंगें हैं)

- जब ये विकिरण चुम्बकीय क्षेत्र से गुजरती हैं तो समान परिणाम (Result) प्राप्त होते हैं।
- कोई भी रेडियोसक्रिय पदार्थ एक-साथ α एवं β दोनों कण उत्सर्जित नहीं करते हैं α - या β-कणों के उत्सर्जन के बाद γ-किरणें भी उत्सर्जित होते हैं।
- β-कण कक्षीय इलेक्ट्रॉन नहीं होते हैं, ये नाभिक से निकलते हैं। नाभिक के अन्दर न्यूट्रॉन, एक प्रोटॉन एवं एक इलेक्ट्रॉन में विघटित होता है। इलेक्ट्रॉन नाभिक के बाहर β-किरण के रूप में उत्सर्जित होते हैं।

α, β एवं γ-विकिरणों के गुण

गुण	α- कण	β - कण	γ- किरण
1. प्रकृति	हीलियम नाभिक या द्वि-आयनित हीलियम परमाणु ($_2He^4$)	तेज गति से गतिशील इलेक्ट्रॉन ($-\beta^0$ या β^-)	फोटॉन (विद्युत चुम्बकीय तरंग)
2. आवेश	$+ 2e$	$- e$	शून्य
3. द्रव्यमान	$4\ m_p$ (m_p = प्रोटॉन का द्रव्यमान $= 1.87 \times 10^{-27}$	m_e (जहाँ m_e = इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान) $= 9.1 \times 10^{-31}\ kg$	द्रव्यमानहीन
4. वेग	$\approx 10^7\ m/s$	प्रकाश के वेग का 1% से 99%	प्रकाश के वेग के बराबर
5. गतिज ऊर्जा का क्रम	4 *MeV* से 9 *MeV*	न्यूनतम निश्चित मान से 1.2 *MeV* के बीच के सभी संभव मान	न्यूनतम मान से 2.23 *MeV* के बीच
6. भेदन क्षमता (γ, β, α)	1 (कागज के एक पेज से रोका जा सकता है)	100 (α-कण से 100 गुना अधिक)	10,000 (β कण से 100 गुना अधिक एवं लोहे (या लेड) चादर के 30 *cm* तक)
7. आयनन क्षमता ($\alpha > \beta > \gamma$)	10,000	100	1
8. विद्युत एवं चुम्बकीय क्षेत्रों का	विक्षेपित होता है	विक्षेपित होता है	अप्रभावित रहता है

प्रभाव			
9. ऊर्जा-स्पेक्ट्रम	रेखीय एवं विविक्त	सतत्	रेखीय एवं विविक्त
10. द्रव्य से अन्योन्य क्रिया	ऊष्मा उत्पन्न करते हैं	ऊष्मा उत्पन्न करते हैं	प्रकाश-विद्युत प्रभाव, कॉम्पटन प्रभाव, युग्म उत्पादन उत्पन्न करती है।
11. विघटन समीकरण	${}_ZX^A \xrightarrow{\alpha-\text{क्षय}}$ ${}_{Z-2}Y^{A-4} + {}_2He^4$ ${}_ZX^A \xrightarrow{n_\alpha} {}_{Z'}Y^{A'}$ $\Rightarrow \boldsymbol{n_\alpha = \frac{A'-A}{4}}$	${}_ZX^A \rightarrow {}_{Z+1}Y^A + {}_{-1}e^0 + \bar{\nu}$ ${}_ZX^A \xrightarrow{n_\beta} {}_{Z'}X^A$ $\Rightarrow \boldsymbol{n_\beta = (2n_\alpha - Z + Z')}$	${}_zX^A \rightarrow {}_zX^a + \gamma$

रेडियोसक्रिय विघटन

(1) रेडियोसक्रिय विघटन का नियम

रदरफोर्ड एवं सोडी के अनुसार रेडियो-सक्रिय विघटन नियम को इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :

''किसी क्षण रेडियो सक्रिय परमाणुओं के विघटन की दर उस क्षण उपस्थित परमाणुओं की संख्या के समानुपाती होती है।''

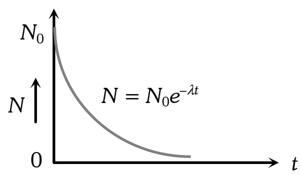
$-\frac{dN}{dt} \propto N \quad \Rightarrow \frac{dN}{dt} = -\lambda N$ यह दिखाया जा सकता है, कि $N = N_0e^{-\lambda t}$

उपयुक्त समीकरण को द्रव्यमान के रूप में इस प्रकार लिखा जा सकता है $M = M_0e^{-\lambda t}$

यहाँ N = t sec के बाद शेष अविघटित परमाणुओं की संख्या, N_0 = प्रारम्भ (t = 0) में उपस्थित परमाणुओं की संख्या, M = t समय पर रेडियो-सक्रिय नाभिक का द्रव्यमान, M_0 = प्रारम्भ (t = 0) में रेडियो-सक्रिय नाभिक का द्रव्यमान, $N_0 - N$ = t समय में विघटित नाभिकों की संख्या

$\frac{dN}{dt}$ = विघटन की दर, λ = विघटन स्थिरांक या क्षय स्थिरांक या रेडियो सक्रिय स्थिरांक या रदरफोर्ड व सोडी स्थिरांक या प्रति सैकण्ड नाभिक के क्षय होने की प्रायिकता।

- ❑ λ का मान पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर करता है, इसका मान समय एवं किसी भौतिक व रासायनिक परिवर्तन से स्वतंत्र होता है।



(2) सक्रियता

किसी पदार्थ की सक्रियता उस पदार्थ के विघटन की दर (या count rate या प्रति सैकण्ड विघटित होने वाले परमाणुओं की संख्या) के द्वारा व्यक्त किया जाता है अर्थात् $A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$

यहाँ A_0 = प्रारम्भिक (t = 0) सक्रियता, A = t-समय पश्चात् सक्रियता

सक्रियता या रेडियो-सक्रियता की इकाई (मात्रक)

सक्रियता की इकाई बैकरल (Bq), क्यूरी (Ci) तथा रदरफोर्ड (Rd) होते हैं।

1 बैकरल = 1 विघटन / सैकण्ड, 1 रदरफोर्ड = 10^6 विघटन / सैकण्ड, 1 क्यूरी = 3.7×10^{11} विघटन / सैकण्ड

- किसी पदार्थ के एक ग्राम की सक्रियता को विशिष्ट सक्रियता कहा जाता है। 1 gm रेडियम – 226 की विशिष्ट सक्रियता 1 क्यूरी कहलाती है।
- 1 मिली-क्यूरी = 37 रदरफोर्ड
- जैसे-जैसे अविघटित नाभिकों की संख्या समय के साथ घटती जाती है, रेडियो सक्रिय पदार्थों की सक्रियता भी घटती है।
- सक्रियता $\propto \dfrac{1}{\text{अर्द्धआयु}}$

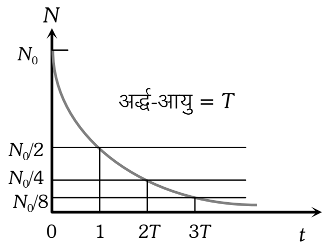
(3) अर्द्ध-आयु ($T_{1/2}$)

वह समय जिसमें एक रेडियो-सक्रिय पदार्थ का द्रव्यमान या परमाणु की संख्या, प्रारम्भिक मान की आधी रह जाती है, अर्द्ध-आयु कहलाती है। अर्थात्

यदि $N = \dfrac{N_0}{2}$ हो तो $t = T_{1/2}$

समीकरण $N = N_0 e^{-\lambda t}$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda (T_{1/2})} \Rightarrow T_{1/2} = \frac{\log_e 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$



समय (t)	N = अविघटित परमाणुओं की संख्या (N_0 = प्रारम्भिक परमाणुओं की संख्या)	सक्रिय परमाणुओं का अविघटित भाग (N/N_0) अस्तित्व की प्रायिकता	विघटित परमाणुओं का भिन्नात्मक मान $(N_0 - N)/N_0$ विघटन (क्षय) की प्रायिकता
$t = 0$	N_0	1 (100%)	0
$t = T_{1/2}$	$\dfrac{N_0}{2}$	$\dfrac{1}{2}$ (50%)	$\dfrac{1}{2}$ (50%)
$t = 2(T_{1/2})$	$\dfrac{1}{2} \times \dfrac{N_0}{2} = \dfrac{N_0}{(2)^2}$	$\dfrac{1}{4}$ (25%)	$\dfrac{3}{4}$ (75%)
$t = 3(T_{1/2})$	$\dfrac{1}{2} \times \dfrac{N_0}{(2)} = \dfrac{N_0}{(2)^3}$	$\dfrac{1}{8}$ (12.5%)	$\dfrac{7}{8}$ (87.5%)
$t = 10\ (T_{1/2})$	$\dfrac{N_0}{(2)^{10}}$	$\left(\dfrac{1}{2}\right)^{10} \approx 0.1\%$	$\approx 99.9\%$
$t = n\ (N_{1/2})$	$\dfrac{N}{(2)^2}$	$\left(\dfrac{1}{2}\right)^{n}$	$\left\{1 - \left(\dfrac{1}{2}\right)^{n}\right\}$

महत्वपूर्ण सम्बन्ध

n अर्द्ध-आयु के बाद अविघटित परमाणुओं की संख्या $N = N_0 \left(\dfrac{1}{2}\right)^n = N_0 \left(\dfrac{1}{2}\right)^{t/T_{1/2}}$

(4) माध्य (या औसत) आयु (τ)

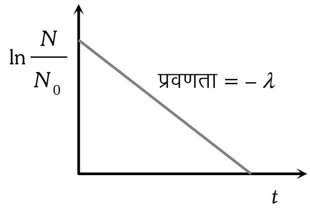
वह समय जब तक रेडियो-सक्रिय पदार्थ प्रभावी रहता है, माध्य (या औसत) आयु कहलाता है।

अन्य परिभाषायें

(i) माध्य आयु को सभी परमाणुओं की आयुओं के योग एवं परमाणुओं की कुल संख्या के अनुपात के द्वारा भी व्यक्त किया जाता है।

अर्थात् $\tau = \frac{\text{सभी परमाणुओं की आयुओं का योग}}{\text{परमाणुओं की कुल संख्या}} = \frac{1}{\lambda}$

(ii) सूत्र $N = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{\ln \frac{N}{N_0}}{t} = -\lambda$ ग्राफ में दिखायी गयी सरल रेखा की ढाल



अर्थात् विघटन वक्र के ढाल का व्युत्क्रम परिमाण में औसत आयु (τ) के बराबर होता है।

(iii) सूत्र $N = N_0 e^{-\lambda t}$ से,

यदि $t = \frac{1}{\lambda} = \tau$ हो तो $N = N_0 e^{-1} = N_0 \left(\frac{1}{e}\right) = 0.37 N_0 =$ N_0 का 37%

अर्थात् वह समय जिसमें रेडियोसक्रिय परिमाणुओं की संख्या घटकर अपने प्रारम्भिक संख्या की $\frac{1}{e}$ या 0.37 गुना या 37% रह जाती है, उस तत्व की माध्य (औसत) आयु कहलाती है। या

वह समय जिसमें रेडियोसक्रिय परमाणुओं की संख्या $(N_0 - N)$ अपने प्रारम्भिक मान की $\left(1 - \frac{1}{e}\right)$ या 0.63 गुना या 63% विघटित हो जाती है, माध्य आयु कहलाती है।

(iv) $T_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \tau = \frac{1}{0.693} . (t_{1/2}) = 1.44 (T_{1/2})$

अर्थात् माध्य आयु, अर्द्धआयु से लगभग 44% अधिक होती है। $\therefore \tau > T_{(1/2)}$

- ❑ किसी रेडियो सक्रिय पदार्थ की अर्द्ध-आयु एवं माध्य-आयु समय या दाब, तापक्रम इत्यादि के साथ परिवर्तित नहीं होती है।

रेडियोसक्रिय श्रेणियाँ

यदि एक रेडियोसक्रिय विघटन से उत्पन्न समस्थानिक रेडियोसक्रिय होते हैं। तो ये स्वयं भी विघटित होते हैं। विघटनों का यह क्रम रेडियो-सक्रिय श्रेणियाँ कहलाती हैं। प्रकृति में पाये जाने वाले रेडियोसक्रिय नाभिक मुख्यत: चार श्रेणियों के सदस्य होते हैं।

ये श्रेणियाँ निम्न हैं :

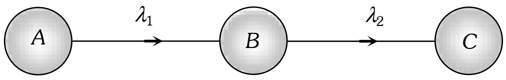
द्रव्यमान संख्या	श्रेणी (प्रकृति)	मूल तत्व	स्थायी एवं अंतिम तत्व	पूर्ण संख्या n	क्षयित कणों की संख्या
$4n$	थोरियम (प्राकृतिक)	$_{90}Th^{232}$	$_{82}Pb^{208}$	52	$\alpha = 6, \beta = 4$
$4n + 1$	नेपच्यूनियम (कृत्रिम)	$_{93}Np^{237}$	$_{83}Bi^{209}$	52	$\alpha = 8, \beta = 5$
$4n + 2$	यूरेनियम (प्राकृतिक)	$_{92}U^{238}$	$_{82}Pb^{206}$	51	$\alpha = 8, \beta = 6$
$4n + 3$	ऐक्टिनियम (प्राकृतिक)	$_{89}Ac^{227}$	$_{82}Pb^{207}$	51	$\alpha = 7, \beta = 4$

- ❑ $4n + 1$ श्रेणी $_{94}PU^{241}$ से प्रारम्भ होती है, लेकिन प्राय: नेपच्युनियम श्रेणी कहलाती हैं, क्योंकि श्रेणी में लम्बी अवधि तक नेपच्यूनियम रहते हैं।

❑ $4n+3$ श्रेणी वास्तव में $_{92}U^{235}$ से प्रारम्भ होती है।

क्रमिक विघटन एवं रेडियोसक्रिय संतुलन

मानाकि एक रेडियोसक्रिय तत्व A विघटित होकर दूसरा रेडियोसक्रिय तत्व B उत्पन्न करते हैं जो पुनः विघटित होकर एक स्थायी तत्व C उत्पन्न करते हैं, तो ऐसे विघटन क्रमिक विघटन कहलाते हैं।



A की विघटन पर $= \frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$ (जो B के उत्पन्न होने की दर है)

एवं B की विघटन दर $= \frac{dN_2}{dt} = -\lambda_2 N_2$

$\therefore$ B के उत्पन्न होने की कुल दर = A की विघटन दर – B की विघटन पर

$= \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$

संतुलन

रेडियो-सक्रिय संतुलन में किसी रेडियो-सक्रिय उत्पाद (Product) के विघटन की दर का मान ठीक पूर्ववर्ती सदस्य के उत्पन्न होने की दर के बराबर होता है।

अर्थात् $\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 \Rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{N_2}{N_2} = \frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{(T_{1/2})}{(T_{1/2})_1}$

❑ क्रमिक विघटन में यदि समय $t=0$ नाभिकों की संख्या N_0 हो तो t समय पर उत्पाद B की नाभिक संख्या $N_2 = \frac{\lambda_1 N_0}{(\lambda_2 - \lambda_1)}(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$ जहाँ λ_1 एवं λ_2 क्रमशः A एवं B के विघटन स्थिरांक हैं।

रेडियो सक्रिय समस्थानिकों के उपयोग

(1) चिकित्सा के क्षेत्र में

(i) रक्त की जाँच के लिए, क्रोमियम - 51

(ii) रक्त परिसंचरण की जाँच के लिए - सोडियम - 24

(iii) मस्तिष्क के ट्यूमर (Tumour) का पता लगाने के लिए रेडियो पारा - 203

(iv) गल - ग्रन्थि (Thyroid gland) की खराबी की जाँच के लिए रेडियो आयोडीन - 131

(v) कैंसर के लिए - कोबाल्ट - 60

(vi) रक्त के लिए - सोना - 189

(vii) चर्म रोगों के लिए - फॉस्फोरस - 31

(2) पुरातत्व के क्षेत्र में

(i) C^{14} का उपयोग पुरातत्व वस्तुओं की आयु ज्ञात करने में (कार्बन डेटिंग)

(ii) K^{40} का उपयोग उल्का पिण्डों की आयु ज्ञात करने में

(iii) सीसे के समस्थानिकों से पृथ्वी की आयु ज्ञात करने में

(3) कृषि के क्षेत्र में

(i) आलुओं को कीड़ों से बचाने के लिए CO^{60}

(ii) कृत्रिम वर्षा कराने में AgI

(iii) उर्वरकों के रूप में P^{32}।

Topperseducations.co.in

(4) ट्रेसर के रूप में - (ट्रेसर) : किसी मिश्रण में उपस्थित रेडियोसमस्थानिक की अति सूक्ष्म मात्रा को ट्रेसर कहते हैं।

(i) ट्रेसर तकनीक में : किसी पेड़ या जीव-जन्तु के शरीर में हो रहे जैव रासायनिक अभिक्रियाओं का पता लगाने में।

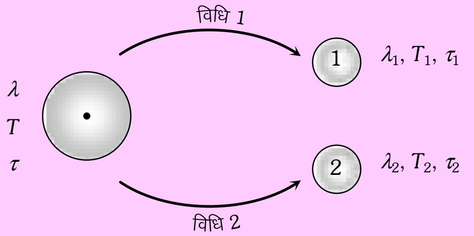
(5) उद्योग के क्षेत्र में

(i) तेल या पानी की पाइप लाईन में रिसाव पता लगाने में (ii) मशीनों के कल-पुर्जों की जाँच करने में।

(6) अनुसंधान में : (i) ग्रहों की आयु ज्ञात करने में।

Concept

☞ *यदि एक नाभिक दो भिन्न-भिन्न विधि के द्वारा एक-साथ क्षय करते हों एवं इनके इनके क्षय (विघटन) स्थिरांक λ_1 एवं λ_2, अर्द्ध-आयु T_1 एवं T_2 तथा माध्य τ_1 एवं τ_2 हो, तो*



$\Rightarrow \lambda = \lambda_1 + \lambda_2$

$\Rightarrow T = \dfrac{T_1 T_2}{T_1 + T_2}$

$\Rightarrow \tau = \dfrac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2}$

Example: 16 जब $_{90}Th^{228}$, $_{83}Bi^{212}$ में परिवर्तित होता है तो उत्सर्जित α–एवं β–कणों की संख्या क्रमशः है [MP PET 2002]

(a) $8\alpha, 7\beta$ (b) $4\alpha, 7\beta$ (c) $4\alpha, 4\beta$ (d) $4\alpha, 1\beta$

Solution : (d) $_{Z=90}Th^{A=228} \rightarrow {}_{Z'=83}Bi^{A'=212}$

$\therefore$ उत्सर्जित α-कणों की संख्या, $n_\alpha = \dfrac{A - A'}{4} = \dfrac{228 - 212}{4} = 4$

एवं उत्सर्जित β- कणों की संख्या, $n_\beta = 2n_\alpha - Z + Z' = 2 \times 4 - 90 + 83 = 1$

Example: 17 एक रेडियोधर्मी पदार्थ 40 दिनों में अपनी सक्रियता के 1/16th भाग तक विघटित हो जाता है। रेडियोधर्मी पदार्थ की अर्द्धआयु दिनों में होगी [AIEEE 2003]

(a) 2.5 (b) 5 (c) 10 (d) 20

Solution : (c) $N = N_0 \left(\dfrac{1}{2}\right)^{t/T_{1/2}} \Rightarrow \dfrac{N}{N_0} = \dfrac{1}{16} = \left(\dfrac{1}{2}\right)^{40/T_{1/2}} \Rightarrow T_{1/2} = 10$ दिन

Example: 18 प्रारम्भ में $(t = 0)$ पर रेडियाधर्मी तत्व के प्रतिदर्श (नमूना) का द्रव्यमान 10 gm है। दो औसत आयु बाद में इस तत्व के प्रतिवर्ष का द्रव्यमान लगभग होगा [CBSE PMT 2003]

(a) 2.50 gm (b) 3.70 gm (c) 6.30 gm (d) 1.35 gm

Solution : (d) $M = M_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow M = 10 e^{-\lambda(2\tau)} = 10 e^{-\lambda\left(\frac{2}{\lambda}\right)} = 10\left(\dfrac{1}{e}\right)^2 = 1.359\, gm$

Example: 19 ^{215}At की अर्द्धआयु 100 μs है, तो ^{215}At के प्रतिदर्श की रेडियो-सक्रियता प्रारम्भिक मान की 1/16th गुनी होने में लगा समय है [IIT-JEE (Screening) 2002]

(a) 400 μs (b) 6.3 μs (c) 40 μs (d) 300 μs

Solution : (a) $N = N_0 \left(\dfrac{1}{2}\right)^n \Rightarrow \dfrac{N}{N_0} = \left(\dfrac{1}{2}\right)^{t/T_{1/2}} \Rightarrow \dfrac{1}{16} = \left(\dfrac{1}{2}\right)^{t/100} \Rightarrow t = 400\, \mu\, sec$

Example: 20 एक रेडियो-सक्रिय पदार्थ की α एवं β उत्सर्जन के लिए माध्य आयु क्रमशः 1620 वर्ष एवं 405 वर्ष है। कितने समय के बाद सक्रियता घटकर एक चौथाई हो जायेगा [RPET 1999]

(a) 405 वर्ष (b) 1620 वर्ष (c) 449 वर्ष (d) इनमें से कोई नहीं

Solution : (c) $\lambda_\alpha = \frac{1}{1620}$ / वर्ष एवं $\lambda_\beta = \frac{1}{405}$ / वर्ष

दिया गया है कि अवशेष सक्रियता $\frac{A}{A_0} = \frac{1}{4}$

कुल क्षय स्थिरांक, $\lambda = \lambda_\alpha + \lambda_\beta = \frac{1}{1620} + \frac{1}{405} = \frac{1}{324}$ प्रति वर्ष

हम जानते हैं कि $A = A_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow t = \frac{1}{\lambda}\log_e \frac{A_0}{A} \Rightarrow t = \frac{1}{\lambda}\log_e 4 = \frac{2}{\lambda}\log_e 2 = 324 \times 2 \times 0.693 = 449$ वर्ष

Example: 21 किसी क्षण रेडियो-सक्रिय पदार्थों के द्रव्यमान का अनुपात 2 : 1 है एवं इनकी अर्द्धआयु का मान क्रमशः 12 एवं 16 घंटा है। तो दो दिन बाद पदार्थों का अनुपात होगा [RPMT 1996]

(a) 1 : 1 (b) 2 : 1 (c) 1 : 2 (d) 1 : 4

Solution : (a)

$$N = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{(N_0)_1}{(N_0)_2} \times \frac{(1/2)^{n_1}}{(1/2)^{n_2}} = \frac{2}{1} \times \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2\times 24}{12}}}{\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2\times 24}{16}}} = \frac{1}{1}$$

Example: 22 एक ताजे बने रेडियोएक्टिव स्त्रोत से (जिसकी अर्द्धआयु 2 घंटे हैं), उत्सर्जित विकिरण की तीव्रता सुरक्षित स्तर से 64 गुना है। वह न्यूनतम समय जिसके पश्चात इस स्त्रोत से सुरक्षापूर्वक कार्य किया जा सकेगा [IIT 1983; SCRA 1996]

(a) 6 *hours* (b) 12 *hours* (c) 24 *hours* (d) 128 *hours*

Solution : (b)

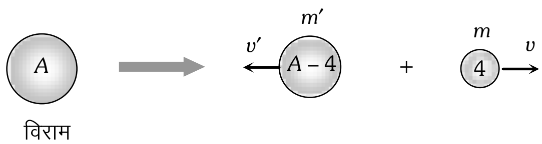
$$A = A_0\left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow \frac{A}{A_0} = \frac{1}{64} = \left(\frac{1}{2}\right)^0 = \left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow n = 6$$

$$\Rightarrow \frac{t}{T_{1/2}} = 6 \Rightarrow t = 6 \times 2 = 12 \ \ hours$$

Example: 23 एक नाभिक जिसकी परमाणु संख्या A है, प्रारम्भ में स्थिर है एवं v वेग से एक α- कण का उत्सर्जन करता है। तो पुत्री (Daughter) नाभिक किस चाल से प्रतिक्षेप करेगा [DCE 2000; AIIMS 2004]

(a) $2v/(A+4)$ (b) $4v/(A+4)$ (c) $4v/(A-4)$ (d) $2v/(A-4)$

Solution : (c)



संवेग संरक्षण सिद्धान्त से, $4v = (A-4)v' \Rightarrow v' = \frac{4v}{A-4}$

Example: 24 किसी रेडियो-सक्रिय स्त्रोत से कांउट दर (Counting rate) समय $t = 0$ पर 1600 काउंट/सैकण्ड एवं समय $t = 8$ सैकण्ड पर 100 काउंट/सैकण्ड है। समय $t = 6$ सैकण्ड पर प्रक्षेपित काउंट दर होगा [MP PET 1996; UPSEAT 2000]

(a) 400 (b) 300 (c) 200 (d) 150

Solution : (c) $A = A_0\left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow 100 = 1600\left(\frac{1}{2}\right)^{8/T_{1/2}} \Rightarrow \frac{1}{16} = \left(\frac{1}{2}\right)^{8/T_{1/2}} \Rightarrow T_{1/2} = 2\,sec$

पुनः उपर्युक्त व्यंजक का उपयोग करने पर समय $t = 6\,sec$ पर $A = 1600\left(\frac{1}{2}\right)^{6/2} = 200$

Example: 25 एक न्यूट्रॉन किरण की गतिज ऊर्जा 0.0837 *eV* है। न्यूट्रॉन की अर्द्धआयु 693*s* सैकण्ड हैं एवं इसका द्रव्यमान 1.675×10^{-27} *kg* है। तो 40*m* की दूरी तय करने पर न्यूट्रॉन का विघटित भाग होगा

(a) 10^{-3} (b) 10^{-4} (c) 10^{-5} (d) 10^{-6}

Solution : (c) $v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{\frac{2\times0.0837\times1.6\times10^{-19}}{1.675\times10^{-27}}} = 4\times10^3\,m/sec$

$\therefore$ न्यूट्रॉन के द्वारा 40 *m* की दूरी तय करने में लगा समय $\Delta t' = \frac{40}{4\times10^3} = 10^{-2}\,sec$

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

$\therefore$ $\Delta t\; sec$ में क्षयित न्यूट्रॉन का भाग $\frac{\Delta N}{N} = \lambda\,\Delta t = \frac{0.693}{T}\Delta t = \frac{0.693}{693}\times10^{-2} = 10^{-5}$

Example: 26 एक रेडियो-सक्रिय तत्व का 6 दिन में क्षयित भाग 7/8 है तो 10 दिन में क्षयित भाग होगा

(a) 77/80 (b) 71/80 (c) 31/32 (d) 15/16

Solution : (c) $N = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{t/T_{1/2}} \Rightarrow t = \frac{T_{1/2}\log_e\left(\frac{N_0}{N}\right)}{\log_e(2)} \Rightarrow t \propto \log_e\frac{N_0}{N} \Rightarrow \frac{t_1}{t_2} = \frac{\left(\log_e\frac{N_0}{N}\right)_1}{\left(\log_e\frac{N_0}{N}\right)_2}$

अतः $\frac{6}{10} = \frac{\log_e(8/1)}{\log_e(N_0/N)} \Rightarrow \log_e\frac{N_0}{N} = \frac{10}{6}\log_e(8) = \log_e 32 \Rightarrow \frac{N_0}{N} = 32$

क्षयित भाग $= 1 - \frac{1}{32} = \frac{31}{32}$

Tricky example: 2

एक पदार्थ की अर्द्धआयु 20 मिनट है तो 33% एवं 67% क्षय होने के बीच का समय होगा [AIIMS 2000]

(a) 40 मिनट (b) 20 मिनट (c) 30 मिनट (d) 25 मिनट

Solution : (b) माना कि, N_0 = प्रारम्भ में नाभिकों की संख्या

$\therefore$ 33% क्षय होने के बाद अविघटित नाभिक की संख्या $= 0.67\,N_0$

एवं 67% क्षय होने के बाद अविघटित नाभिक की संख्या $= 0.33\,N_0$

$0.33\,N_0 \simeq \frac{0.67N_0}{2}$ एवं एक अर्द्धआयु काल में अविघटित नाभिकों की संख्या आधी होती है ।