अध्याय 13

नाभिक

Nuclei

प्रश्नावली

प्रश्न 1. (a) लीथियम के दो स्थायी समस्थानिकों $^{6}_{3}\mathrm{Li}$ एवं $^{7}_{3}\mathrm{Li}$ की बहुलता का प्रतिशत क्रमशः 7.5 एवं 92.5 है। इन समस्थानिकों के द्रव्यमान क्रमशः 6.01512 u एवं 7.01600 u हैं। लीथियम का परमाणु द्रव्यमान ज्ञात कीजिए।

(b) बोरॉन के दो स्थायी समस्थानिक $^{10}_{5}\mathrm{B}$ एवं $^{11}_{5}\mathrm{B}$ हैं। उनके द्रव्यमान क्रमशः 10.01294 u एवं 11.00931 u एवं बोरॉन का परमाणु भार 10.811 u है। $^{10}_{5}\mathrm{B}$ एवं $^{11}_{5}\mathrm{B}$ की बहुलता ज्ञात कीजिए।

हल

(a) Li^{6} की बहुलता प्रतिशत = 7.5%

Li^{7} की बहुलता प्रतिशत = 92.5%

Li^{6} का परमाणु भार = 6.01512 u

https://www.evidyarthi.in/

Ques 1 नाइट्रोजन नाभिक ($^{14}_{7}N$), की बंधन-ऊर्जा MeV में ज्ञात कीजिए $m_N = 14.00307$ u

हल प्रोटॉन का द्रव्यमान, $m_p = 1.00783$ u,

न्यूट्रॉन का द्रव्यमान, $m_n = 1.00867$ u

$_7N^{14}$ में 7 प्रोटॉन तथा 7 न्यूट्रॉन हैं।

द्रव्यमान क्षति = नाभिक का द्रव्यमान – न्यूक्लियानों का द्रव्यमान

$$= 7m_p + 7m_n - m_N$$
$$= 7 \times 1.00783 + 7 \times 1.00867 - 14.00307$$
$$= 7.05481 + 7.06069 - 14.00307 = 0.11243 \text{ u}$$

नाइट्रोजन के नाभिक की बन्धन ऊर्जा = $\Delta m \times 931$ MeV

$$= 0.11243 \times 931 \text{ MeV}$$
$$= 104.67 \text{ MeV}$$

अत: बन्धन ऊर्जा 104.67 MeV है।

Ques 2 निम्नलिखित आँकड़ों के आधार पर $^{56}_{26}Fe$ एवं $^{209}_{83}Bi$ नाभिकों की बन्धन ऊर्जा MeV में ज्ञात कीजिए।

$m\,(^{56}_{26}Fe) = 55.934939$ u, $m\,(^{209}_{83}Bi) = 208.980388$ u

हल प्रोटॉन का द्रव्यमान, $m_p = 1.00783$ u

न्यूट्रॉन का द्रव्यमान, $m_n = 1.00867$ u

(i) $^{56}_{26}Fe$ हेतु

$_{26}Fe^{56}$ में 26 प्रोटॉन तथा 30 न्यूट्रॉन है।

द्रव्यमान क्षति (Δm) = [न्यूक्लियानों (Fe) का भार – Fe का भार]

द्रव्यमान क्षति (Δm) = $26 \times m_p + 30 \times m_n - m_N$

$$= 26 \times 1.00783 + 30 \times 1.00867 - 55.934939$$
$$= 26.20345 + 30.25995 - 55.934939$$
$$= 0.528461 \text{ u}$$

कुल बंधन ऊर्जा = $\Delta m \times 931$ MeV

$$= 0.528461 \times 931.5$$
$$= 492.26 \text{ MeV}$$

$_{26}Fe^{56}$ की प्रति न्यूक्लियान औसत बंधन ऊर्जा $= \dfrac{\text{बंधन ऊर्जा}}{\text{न्यूक्लियानों की संख्या}}$

$$= \frac{492.26}{56}$$
$$= 8.790 \text{ MeV}$$

https://www.evidyarthi.in/

(ii) $_{83}Bi^{209}$ हेतु

इसमें 83 प्रोटॉन तथा 126 न्यूट्रॉन हैं

द्रव्यमान क्षति Δm = न्यूक्लियानों का भार – $_{83}Bi^{209}$ का भार

$= 83 \times m_p + 126 \times m_n - m_N$

$= 83 \times 1.007825 + 126 \times 1.008665 - 208.980388$

$= 83.649475 + 127.091790 - 208.980388$

$= 1.760877$ u

बंधन ऊर्जा $= \Delta m \times 931$ MeV $= 1.760877 \times 931.5 = 1640.26$ MeV

अत: प्रति न्यूक्लियान बंधन ऊर्जा $_{83}Bi^{209}$

$$= \frac{\text{बंधन ऊर्जा}}{\text{न्यूक्लियानों की संख्या}} = \frac{1640.26}{209} = 7.848 \text{ MeV}$$

अत: प्रति न्यूक्लियान बंधन ऊर्जा Fe के लिए Bi से अधिक है।

Ques 3 **एक दिए गए सिक्के का द्रव्यमान 3.0 g है। उस ऊर्जा की गणना कीजिए जो इस सिक्के के सभी न्यूट्रॉनों एवं प्रोटॉनों को एक-दूसरे से अलग करने के लिए आवश्यक हो। सरलता के लिए मान लीजिए कि सिक्का पूर्णत: $^{63}_{29}Cu$ परमाणुओं का बना है। ($^{63}_{29}Cu$ की द्रव्यमान = 62.92960 u)।**

हल सिक्के का द्रव्यमान = 3 g

1 g Cu में परमाणुओं की संख्या $= \frac{6.023 \times 10^{23}}{63}$

3 g Cu में परमाणुओं की संख्या $= \frac{6.023 \times 10^{23}}{63} \times 3 = 2.868 \times 10^{22}$

Cu परमाणु में प्रोटॉनों की संख्या = 29

Cu परमाणु में न्यूट्रॉनों की संख्या = 63 – 29 = 34

द्रव्यमान क्षति (प्रति परमाणु), $\Delta m = 29 \times m_p + 34 \times m_n - m_{Cu}$

$= 29 \times 1.00783 + 34 \times 1.00867 - 62.9260$

$= 0.59225$ u

$\therefore$ सभी परमाणुओं में द्रव्यमान क्षति $= 0.59225 \times 2.868 \times 10^{22}$

$= 1.6985 \times 10^{22}$ u

बंधन ऊर्जा = द्रव्यमान क्षति × 931 MeV

$= 1.6985 \times 10^{22} \times 931 = 1.58 \times 10^{25}$ MeV

अत: सभी न्यूट्रॉनों व प्रोटॉनों को अलग करने में आवश्यक ऊर्जा 1.58×10^{25} MeV जो बंधन ऊर्जा है।

https://www.evidyarthi.in/

आवोगाद्रो संख्या के अनुसार,

6.023×10^{23} ($_{27}Co^{60}$) परमाणुओं का द्रव्यमान = 60 g

$_{27}Co^{60}$ के 7.133×10^{16} के परमाणु का भार = $\frac{60 \times 7.133 \times 10^{16}}{6.023 \times 10^{23}}$.

द्रव्यमान $m = 7.12 \times 10^{-6}$ g

अत: आवश्यक द्रव्यमान 7.12×10^{-6} g है। [$_{27}Co^{60}$]

Ques 4 **स्वर्ण के समस्थानिक $^{197}_{78}Au$ एवं रजत के समस्थानिक $^{107}_{47}Ag$ की नाभिकीय त्रिज्या के अनुपात का सन्निकट मान ज्ञात कीजिए।**

हल नाभिक की त्रिज्या, $R = R_0 A^{1/3}$

जहाँ, A द्रव्यमान संख्या है तथा R_0 मूलानुपाती नियतांक है

$\therefore$ $R \propto A^{1/3}$

$\therefore$ $\frac{R_{gold}}{R_{silver}} = \left(\frac{A_{gold}}{A_{silver}}\right)^{1/3} = \left(\frac{197}{107}\right)^{13} = 1.225$

$= 1.23$

https://www.evidyarthi.in/

Ques 5

.किसी नाभिकीय अभिक्रिया $A + b \rightarrow C + d$ का Q-मान निम्नलिखित समीकरण द्वारा परिभाषित होता है,

$Q = [m_A + m_b - m_c = m_d]c^2$

जहाँ, दिए गए द्रव्यमान, नाभिकीय विराम द्रव्यमान (rest mass) हैं। दिए गए आँकड़ों के आधार पर बताइए कि निम्नलिखित अभिक्रियाएँ ऊष्माक्षेपी हैं या ऊष्माशोषी।

(a) ${}_1^1H + {}_1^3H \longrightarrow {}_1^2H + {}_1^2H$

(b) ${}_6^{12}C + {}_6^{12}C \longrightarrow {}_{10}^{20}Ne + {}_2^4He$

दिए गए परमाणु द्रव्यमान इस प्रकार हैं

$$m({}_1^2H) = 2.014102 \text{ u},$$

$$m({}_1^3H) = 3.016049 \text{ u},$$

$$m({}_6^{12}C) = 12.000000 \text{ u},$$

$$m({}_{10}^{20}Ne) = 19.992439 \text{ u}.$$

हल दी गयी समीकरण

(a) ${}_1^1H + {}_1^3H \longrightarrow {}_1^2H + {}_1^2H$

द्रव्यमान क्षति $\Delta m = m({}_1^1H) + m({}_1^3H) - 2m({}_1^2H)$

$= 1.007825 + 3.016049 - 2\,(2.014102)$

$= -0.00433$ u

समी में Q-मान

$$Q = \Delta m \times 931 = -0.00433 \times 931 = -4.031 \text{ MeV}$$

चूँकि ऊर्जा ऋणात्मक है अत: समीकरण ऊष्माशोषी है।

(b) दी गयी समीकरण

$${}_6^{12}C + {}_6^{12}C \longrightarrow {}_{10}^{20}Ne + {}_2^4He$$

$\Delta m = 2m({}_6^{12}C) - m({}_{10}^{20}Ne) - m({}_2^4He)$

$= 2 \times 12 - 19.992439 - 4.002603$

$= 0.00495$ u

$Q = \Delta m \times 931 = 0.00495 \times 931 = 4.62$ MeV

चूँकि ऊर्जा धनात्मक है अत: समीकरण ऊष्माक्षेपी है।

Ques 6

.माना कि हम ${}_{26}^{56}Fe$ नाभिक के दो समान अवयवों, ${}_{13}^{28}Al$ में विखंडन पर विचार करें। क्या ऊर्जा की दृष्टि से यह विखंडन सम्भव है? इस प्रक्रम का Q-मान ज्ञात करके अपना तर्क प्रस्तुत करें। दिया है, $m({}_{26}^{56}Fe) = 55.93494$ u और $m({}_{13}^{28}Al) = 27.98191$ u

हल क्षय हेतु दी गयी समीकरण

$${}_{26}^{56}Fe \longrightarrow 2\,{}_{13}^{28}Al$$

https://www.evidyarthi.in/

द्रव्यमान क्षति $\Delta m = m(^{56}_{26}\text{Fe}) - 2m(^{28}_{13}\text{Al})$

$= 55.93494 - 2(27.98191)$

$= -0.02888$ u

$Q = \Delta m \times 931 = -26.88728$ MeV

चूँकि ऊर्जा ऋणात्मक है अत: विखण्डन प्रभावशाली रूप से नहीं होगा।

Ques 7 **$^{239}_{94}\text{Pu}$ के विखण्डन गुण बहुत कुछ $^{235}_{92}\text{U}$ से मिलते-जुलते हैं। प्रति विखण्डन विमुक्त औसत ऊर्जा 180 MeV है। यदि 1 kg शुद्ध $^{239}_{94}\text{Pu}$ के सभी परमाणु विखण्डित हों तो कितनी MeV ऊर्जा विमुक्त होगी?**

हल आवोगाद्रो संख्या की अभिधारणा के अनुसार

239 g $^{239}_{94}\text{Pu}$ में परमाणुओं की संख्या $= 6.023 \times 10^{23}$

1 kg $_{94}\text{Pu}^{239}$ में परमाणुओं की संख्या $= \dfrac{6.023 \times 10^{23} \times 1000}{239}$

$= 2.52 \times 10^{24}$

एक विखण्डन में औसत मुक्त ऊर्जा 180 MeV है।

अत: कुल मुक्त ऊर्जा [1 kg में $_{94}\text{Pu}^{239}$ का विखण्डन] $= 180 \times 2.52 \times 10^{24}$

$= 4.53 \times 10^{26}$ MW

https://www.evidyarthi.in/

Ques 8 .2.0 kg ड्यूटीरियम के संलयन से एक 100 वाट का विद्युत लैंप कितनी देर प्रकाशित रखा जा सकता है? संलयन अभिक्रिया निम्नवत ली जा सकती है

$${}_1^2H + {}_1^2H \longrightarrow {}_2^3He + n + 3.27\ MeV$$

हल माना t समय है।

आवोगाद्रो अभिधारणा के अनुसार

2 g ड्युट्रॉन में परमाणुओं की संख्या = 6.023×10^{23}

2 kg ड्युट्रॉन में परमाणुओं की संख्या = $\frac{6.023 \times 10^{23} \times 2 \times 10^3}{2}$

= 6.023×10^{26} नाभिक

दी गयी समीकरण से दो ड्युट्रॉन के संलयन में मुक्त ऊर्जा

= 3.27 MeV

$\therefore$ 1 ड्युटीरियम की मुक्त ऊर्जा = $\frac{3.27}{2}$ = 1.635 MeV

6.023×10^{26} ड्ंयुटीरियम परमाणुओं की मुक्त ऊर्जा

= $1.635 \times 6.023 \times 10^{26} = 9.848 \times 10^{26}$ MeV

= $9.848 \times 10^{26} \times 1.6 \times 10^{-13} = 15.75 \times 10^{13}$ J

1 बल्ब द्वारा 1 s में प्रयुक्त ऊर्जा = 100 J

100 J ऊर्जा खपत 1 s में होती है

15.75×10^{13} J ऊर्जा खपत में लगा समय = $\frac{1 \times 15.75 \times 10^{13}}{100} = 15.75 \times 10^{11}$ s

($\because$ हम जानते हैं कि 1 yr = 60 × 24 × 60 × 365 s)

$$= \frac{15.75 \times 10^{11}}{60 \times 24 \times 60 \times 365} \text{ yr} = 4.99 \times 10^4 \text{ yr}$$

अतः बल्ब 4.99×10^4 yr तक चमकेगा।

https://www.evidyarthi.in/

Ques 9

.दो ड्यूट्रॉनों के आमने-सामने की टक्कर के लिए कूलॉम अवरोध की ऊँचाई ज्ञात कीजिए। (संकेत-कूलॉम अवरोध की ऊँचाई का मान इन ड्यूट्रॉन के बीच लगने वाले उस कूलॉम प्रतिकर्षण बल के बराबर होता है जो एक-दूसरे को सम्पर्क में रखे जाने पर उनके बीच आरोपित होता है। यह मान सकते हैं कि ड्यूट्रॉन 2.0 fm प्रभावी त्रिज्या वाले दृढ़ गोले हैं।)

हल त्रिज्या, $r = 2 \text{ fm} = 2 \times 10^{-15} \text{ m}$

दो ड्यूट्रानों के केन्द्रों के बीच की दूरी $d = r$

$$d = 2 \times 10^{-15} \text{ m}$$

प्रति ड्युट्रॉन आवेश, $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

$$\text{स्थितिज ऊर्जा} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{d} = \frac{9 \times 10^9 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 1.6 \times 10^{-19}}{2 \times 10^{-15}}$$

$$\left(\because \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9 \right)$$

$$= \frac{5.76 \times 10^{-14}}{1.6 \times 10^{-19}} = 720000 \text{ eV}$$

[ऊर्जा संरक्षण के नियम से दोनों ड्युट्रॉनों की कुल गतिज ऊर्जा कुल स्थितिज ऊर्जा के बराबर होगी]

$\therefore$ स्थितिज ऊर्जा = 2 × प्रति ड्युट्रॉन की गतिज ऊर्जा

प्रत्येक ड्युट्रॉन की गतिज ऊर्जा $= \frac{720000}{2} = 360000 \text{ eV} = 360 \text{ keV}$

अत: विभव प्राचीर 360 keV है।

Ques 10

समीकरण $R = R_0 A^{1/3}$ के आधार पर, दर्शाइए कि नाभिकीय द्रव्य का घनत्व लगभग अचर है (अर्थात् A पर निर्भर नहीं करता है)। यहाँ, R_0 एक नियतांक है एवं A नाभिक की द्रव्यमान संख्या है।

हल नाभिक की त्रिज्या हेतु सम्बन्ध $R = R_0 A^{1/3}$ जहाँ, R_0 नियतांक तथा A नाभिक की द्रव्यमान संख्या है।

$$\text{नाभिक का घनत्व} = \frac{\text{द्रव्यमान}}{\text{आयतन}}$$

$$\rho = \frac{\text{प्रत्येक न्यूक्लियान का द्रव्यमान} \times \text{न्यूक्लियानों की संख्या}}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

$$= \frac{m \times A \times 3}{4\pi R^3}$$

$$= \frac{Am\,3}{4\pi R_0^3 A} = \frac{3m}{4\pi R_0^3} = \frac{3 \times 1.66 \times 10^{-27}}{4 \times 3.14 \times (1.1 \times 10^{-15})^3}$$

$$= 2.97 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

चूँकि, R_0 नियतांक है अत: घनत्व A पर निर्भर नहीं है।

https://www.evidyarthi.in/