कक्षा 12 | भौतिक विज्ञान (Physics)

अध्याय 13: नाभिक (Nuclei)

1. संक्षिप्त परिचय (Introduction)

परमाणु का समस्त धनावेश तथा लगभग संपूर्ण द्रव्यमान उसके केंद्र में एक अत्यंत सूक्ष्म स्थान में संचित रहता है जिसे **नाभिक (Nucleus)** कहते हैं। रदरफोर्ड के अल्फा कण प्रकीर्णन प्रयोग द्वारा नाभिक की खोज हुई। इस अध्याय में हम नाभिकीय आकार, द्रव्यमान क्षति, बंधन ऊर्जा, नाभिकीय बल, तथा नाभिकीय विखंडन व संलयन जैसी महत्वपूर्ण ऊर्जा उत्पादक प्रक्रियाओं का विस्तृत बोर्ड परीक्षा विशेष अध्ययन करेंगे।

2. महत्वपूर्ण परिभाषाएँ (Important Definitions)

1. **समस्थानिक (Isotopes):** एक ही तत्व के वे परमाणु जिनके परमाणु क्रमांक (Z) समान परंतु द्रव्यमान संख्या (A) भिन्न होती है। उदा: $_1H^1$, $_1H^2$, $_1H^3$
2. **समभारिक (Isobars):** विभिन्न तत्वों के वे परमाणु जिनकी द्रव्यमान संख्या (A) समान परंतु परमाणु क्रमांक (Z) भिन्न होते हैं। उदा: $_{18}Ar^{40}$ तथा $_{20}Ca^{40}$
3. **समन्यूट्रॉनिक (Isotones):** वे नाभिक जिनमें न्यूट्रॉनों की संख्या (A - Z) समान होती है। उदा: $_1H^3$ तथा $_2He^4$
4. **द्रव्यमान क्षति (Mass Defect - Δm):** किसी नाभिक का वास्तविक द्रव्यमान, उसके घटक न्यूक्लियानों (प्रोटॉनों और न्यूट्रॉनों) के द्रव्यमानों के योग से हमेशा कुछ कम होता है। इस अंतर को द्रव्यमान क्षति कहते हैं।
5. **नाभिकीय बंधन ऊर्जा (Binding Energy):** नाभिक के न्यूक्लियानों को अनंत दूरी तक अलग करने के लिए आवश्यक न्यूनतम ऊर्जा को बंधन ऊर्जा कहते हैं। यह द्रव्यमान क्षति के कारण उत्पन्न होती है।
6. **क्रातिक द्रव्यमान (Critical Mass):** नाभिकीय श्रृंखला अभिक्रिया को निरंतर बनाए रखने के लिए विखंडनीय पदार्थ का वह न्यूनतम आवश्यक द्रव्यमान जिससे कम होने पर न्यूट्रॉन बाहर निकल जाते हैं और अभिक्रिया रुक जाती है।

3. मुख्य सूत्र (Formula Box)

1. नाभिकीय त्रिज्या (Nuclear Radius)

$$R = R_0 \cdot A^{1/3}$$

जहाँ $R_0 \approx 1.2 \times 10^{-15}$ m (1.2 fm), A = द्रव्यमान संख्या

2. नाभिकीय घनत्व (Nuclear Density)

$$\rho = m_n / ((4/3)\pi R_0^3) \approx 2.3 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

नोट: नाभिकीय घनत्व द्रव्यमान संख्या (A) पर निर्भर नहीं करता, यह सभी नाभिकों के लिए नियत रहता है।

3. द्रव्यमान क्षति (Mass Defect - Δm)

$$\Delta m = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n] - M$$

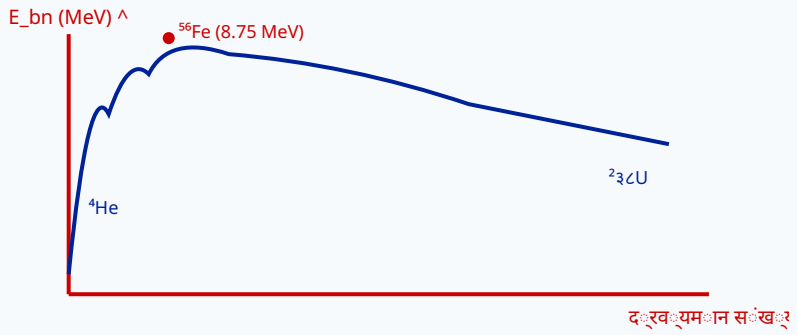
जहाँ M = नाभिक का वास्तविक द्रव्यमान, m_p = प्रोटॉन द्रव्यमान, m_n = न्यूट्रॉन द्रव्यमान

4. बंधन ऊर्जा (Binding Energy - E_b)

$$E_b = \Delta m \cdot c^2 = \Delta m \text{ (in amu)} \times 931.5 \text{ MeV}$$

याद रखने योग्य ट्रिक: बोर्ड परीक्षा में यदि द्रव्यमान ए.एम.यू. *(amu)* में दिया गया हो, तो सीधे ***931.5*** से गुणा करके ऊर्जा *MeV* में प्राप्त करें। गुणा-भाग का समय बचेगा!

4. हस्तलिखित रेखाचित्र (Handwritten Diagrams)



चित्र 1: प्रति न्यूक्लिऑन बंधन ऊर्जा वक्र (Binding Energy Curve)

5. महत्वपूर्ण बोर्ड परीक्षा प्रश्न एवं उत्तर (1 से 30)

[अति लघु उत्तरीय प्रश्न - 2 अंक]

प्रश्न 1: नाभिकीय बल किसे कहते हैं? इसके दो मुख्य गुण लिखिए। MP 2022, 24

उत्तर: नाभिक के भीतर न्यूक्लियानों (प्रोटॉनों तथा न्यूट्रॉनों) को एक साथ बांधकर रखने वाले तीव्र आकर्षण बल को नाभिकीय बल कहते हैं।

गुण: 1. यह प्रकृति का सबसे प्रबलतम आकर्षण बल है।

2. यह बल आवेश पर निर्भर नहीं करता (प्रोटॉन-प्रोटॉन व न्यूट्रॉन-न्यूट्रॉन के बीच समान होता है)।

प्रश्न 2: सिद्ध कीजिए कि नाभिकीय घनत्व द्रव्यमान संख्या A पर निर्भर नहीं करता। MP 2023, 25

उत्तर: नाभिक का द्रव्यमान $M = A \cdot m$ (जहाँ m एक न्यूक्लिऑन का औसत द्रव्यमान है)।

नाभिक का आयतन $V = (4/3)\pi R^3 = (4/3)\pi(R_0 A^{1/3})^3 = (4/3)\pi R_0^3 A$.

घनत्व $\rho = M / V = (A \cdot m) / ((4/3)\pi R_0^3 A) = m / ((4/3)\pi R_0^3)$.

समीकरण में A कट जाता है, अतः नाभिकीय घनत्व द्रव्यमान संख्या A से स्वतंत्र होता है।

प्रश्न 3: 1 ए.एम.यू. (amu) द्रव्यमान से उत्पन्न ऊर्जा का मान MeV में कितना होता है? MP 2020

उत्तर: 1 ए.एम.यू. (amu) द्रव्यमान के तुल्य ऊर्जा का मान **931.5 MeV** होता है ($E = \Delta m \times 931.5\ MeV$)।

प्रश्न 4: नाभिकीय विखंडन और नाभिकीय संलयन में मुख्य अंतर क्या है? NCERT

उत्तर: नाभिकीय विखंडन में एक भारी नाभिक दो हल्के नाभिकों में टूटता है (जैसे यूरेनियम का टूटना), जबकि नाभिकीय संलयन में दो या दो से अधिक हल्के नाभिक मिलकर एक भारी नाभिक का निर्माण करते हैं (जैसे सूर्य में हाइड्रोजन का हीलियम में बदलना)।

[लघु उत्तरीय प्रश्न - 3 अंक]

प्रश्न 5: प्रति न्यूक्लिऑन बंधन ऊर्जा वक्र के दो मुख्य निष्कर्ष या विशेषताएँ लिखिए। MP 2024

उत्तर: 1. मध्यवर्ती नाभिकों (जैसे $A = 30$ से $A = 170$) के लिए प्रति न्यूक्लिऑन बंधन ऊर्जा लगभग नियत और उच्च (लगभग 8.5 MeV) होती है, जिससे ये नाभिक अत्यधिक स्थाई होते हैं। सबसे अधिक स्थायित्व आयरन (^{56}Fe) का होता है (8.75 MeV)।

2. बहुत भारी नाभिकों ($A > 170$) के लिए प्रति न्यूक्लिऑन बंधन ऊर्जा का मान कम होने लगता है, जिसके कारण ये नाभिक अपेक्षाकृत कम स्थाई होते हैं और भारी नाभिक स्थायित्व प्राप्त करने के लिए विखंडित होने की प्रवृत्ति रखते हैं।

प्रश्न 6 (Numerical): यदि दो नाभिकों की द्रव्यमान संख्याओं का अनुपात 1:8 है, तो उनकी नाभिकीय त्रिज्याओं का अनुपात क्या होगा? **MP 2019**

उत्तर: हम जानते हैं कि नाभिकीय त्रिज्या का सूत्र: $R = R_0 \cdot A^{1/3}$ होता है।

अतः, $R_1 / R_2 = (A_1 / A_2)^{1/3}$

दिया है: $A_1 / A_2 = 1 / 8$

मान रखने पर: $R_1 / R_2 = (1 / 8)^{1/3} = 1 / 2$.

अतः उनकी त्रिज्याओं का अनुपात **1:2** होगा।

[दीर्घ उत्तरीय प्रश्न - 4 व 5 अंक]

प्रश्न 7: नाभिकीय रिएक्टर (Nuclear Reactor) का रेखाचित्र बनाइए तथा इसके मुख्य भागों (मंदक, नियंत्रक छड़ें, शीतलक) के कार्य लिखिए। **MP 2023, 2025**

उत्तर: नाभिकीय रिएक्टर एक ऐसी युक्ति है जिसमें नियंत्रित विखंडन द्वारा ऊर्जा प्राप्त की जाती है।

1. मंदक (Moderator): यह तीव्रगामी न्यूट्रॉनों की गति को धीमा करता है ताकि वे विखंडन के लिए उपयुक्त हो सकें।

उदाहरण: भारी जल (D_2O), ग्रेफाइट।

2. नियंत्रक छड़ें (Control Rods): ये अतिरिक्त न्यूट्रॉनों का अवशोषण करके श्रृंखला अभिक्रिया को नियंत्रित रखती हैं।

उदाहरण: कैडमियम (Cd) या बोरॉन (B) की छड़ें।

3. शीतलक (Coolant): यह रिएक्टर के कोर में उत्पन्न अत्यधिक ऊष्मा को बाहर निकालकर पानी को भाप में बदलता है।

उदाहरण: जल, द्रवित सोडियम।

6. क्विक रिवीजन नोट्स (Quick Revision Notes)

1. $R = R_0 A^{1/3}$ से स्पष्ट है कि भारी नाभिक बड़े होते हैं परंतु उनका घनत्व समान रहता है।
2. द्रव्यमान और ऊर्जा एक दूसरे के तुल्य हैं: $E = mc^2$.
3. तारों और सूर्य में ऊर्जा का स्रोत नाभिकीय संलयन (Hydrogen cycle) है।
4. परमाणु बम नाभिकीय विखंडन की अनियंत्रित श्रृंखला अभिक्रिया पर आधारित है, जबकि हाइड्रोजन बम नाभिकीय संलयन पर आधारित है।