



5265CH13

باب تیرہ مرکزے

(NUCLEI)

13.1 تعارف (INTRODUCTION)

پچھلے باب میں ہم سیکھ چکے ہیں کہ ہر ایٹم میں مثبت چارج اور کمیت بہت زیادہ کثافت کے ساتھ ایٹم کے مرکز پر مرکوز ہوتے ہیں اور اس کا مرکزہ (نیوکلیس Nucleus) تشکیل دیتے ہیں۔ ایک نیوکلیس کے مجموعی البعا ایک ایٹم کے متطابق البعا سے بہت زیادہ خفیف ہوتے ہیں۔ α ذرات کے انتشار پر کیے گئے تجربات نے یہ ظاہر کر دیا کہ ایک نیوکلیس کا نصف قطر ایک ایٹم کے نصف قطر سے 10^4 کے جز ضربی سے کم ہوتا ہے۔ اس کا مطلب ہوا کہ ایک نیوکلیس کا حجم ایک ایٹم کے حجم کا 10^{-12} گنا ہوگا۔ دوسرے لفظوں میں ایک ایٹم تقریباً خالی ہے۔ اگر ایٹم کو کمرہ جماعت جتنا بڑا کر دیا جائے تو نیوکلیس ایک سوئی کی نوک کے سائز کا ہوگا۔ پھر بھی نیوکلیس میں ایٹم کی زیادہ تر کمیت (99.9% سے زیادہ) سمائی ہوتی ہے۔

کیا جس طرح ایٹم کی ساخت ہوتی ہے، نیوکلیس کی بھی ساخت ہوتی ہے؟ اگر ہاں، تو نیوکلیس کے اجزائے ترکیبی کیا ہیں؟ یہ آپس میں ایک ساتھ کیسے رکھے جاتے ہیں؟ اس باب میں ہم ایسے سوالات کے جواب تلاش کریں گے۔ ہم نیوکلیسوں کی مختلف خاصیتوں، جیسے ان کے سائز، کمیتیں، استحکام، سے بحث کریں گے اور ساتھ ہی ان سے جڑے ہوئے نیوکلیائی مظاہر جیسے تابکاری، انشقاق اور گداخت سے بھی بحث کریں گے۔

13.2 ایٹمی کمیتیں اور نیوکلیس کے اجزائے ترکیبی (ATOMIC MASSES AND COMPOSITION OF NUCLEUS)

ایک ایٹم کی کمیت ایک کلوگرام کے مقابلے میں بہت خفیف ہے، مثلاً ایک کاربن ایٹم، ^{12}C ، کی کمیت $1.992647 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ہے۔ اتنی خفیف مقداروں کی پیمائش کے لیے کلوگرام ایک مناسب اکائی نہیں ہے۔ اس لیے ایٹمی کمیتوں کو ظاہر کرنے کے لیے ایک مختلف کمیت اکائی استعمال کی جاتی ہے۔ یہ اکائی ”ایٹمی کمیت اکائی“ [atomic mass unit (u)] ہے، جس کی تعریف اس طرح کی جاتی ہے: یہ کاربن (^{12}C) کی کمیت کی $\frac{1}{12}$ ہے۔

اس تعریف کے مطابق:

$$\begin{aligned} 1u &= \frac{\text{ایک } ^{12}\text{C ایٹم کی کمیت}}{12} \\ &= \frac{1.992647 \times 10^{-26} \text{ kg}}{12} \\ &= 1.660539 \times 10^{-27} \text{ kg} \end{aligned} \quad (13.1)$$

مختلف عناصر کی ایٹمی کمیتیں جب ایٹمی اکائی (u) میں ظاہر کی جاتی ہیں تو وہ ایک ہائیڈروجن ایٹم کی کمیت کے صحیح عددی اضعاف کے نزدیک ہوتی ہیں۔ لیکن اس قاعدے کے کئی واضح استثنیٰ بھی ہیں۔ جیسے کلورین ایٹم کی ایٹمی کمیت 35.46 u ہے۔

ایک کمیتوں کی درست سحت کے ساتھ پیمائش ایک کمیت طیف پیا (mass spectrometer) کے ذریعے کی جاتی ہے۔ ایٹمی کمیتوں کی پیمائش سے یہ واضح ہوتا ہے کہ ایک ہی عنصر کے مختلف قسم کے ایٹموں کا وجود ہے جو یکساں کیمیائی خاصیتیں ظاہر کرتے ہیں لیکن ان کی کمیتیں مختلف ہوتی ہیں۔ ایک ہی عنصر کی ایٹمی انواع (atomic species) جو کمیت کے لحاظ سے مختلف ہیں، ہم جا (isotopes) کہلاتی ہیں۔ [یونانی زبان میں isotope کا مطلب ہے یکساں مقام، یعنی کہ یہ عناصر کے دوری جدول میں یکساں مقام پر ہوتے ہیں]۔ یہ معلوم ہوا کہ عملی شکل میں ہر عنصر ہی کئی ہم جاؤں کے آمیزہ کی شکل میں پایا جاتا ہے۔ مختلف ہم جاؤں کی نسبتی افراط (relative abundance) ایک عنصر سے دوسرے عنصر میں مختلف ہوتی ہے۔ مثلاً کلورین کے دو ہم جا ہیں، جن کی کمیتیں 34.98 u اور 36.98 u ہیں، جو کہ ہائیڈروجن ایٹم کی کمیت کے تقریباً صحیح عددی اضعاف ہیں۔ ان ہم جاؤں کی نسبتی افراط 75.4 اور 24.6 فیصد، بالترتیب ہیں۔ اس لیے ایک کلورین ایٹم کی اوسط کمیت، دونوں ہم جاؤں کی کمیتوں کے وزنیاتی اوسط (weighted average) سے حاصل کی جاتی ہے۔ جو نکالا جاتا ہے:

$$\begin{aligned} &= \frac{75.4 \times 34.98 + 24.6 \times 36.98}{100} \\ &= 35.47 \text{ u} \end{aligned}$$

جو کلورین کی ایٹمی کمیت سے ہم آہنگ ہے۔

سب سے ہلکے عنصر، ہائیڈروجن کے بھی تین ہم جا ہیں، جن کی کمیتیں 1.0078 u ، 2.0141 u اور 3.0160 u ہیں۔ ہائیڈروجن کے سب سے ہلکے ایٹم کے نیوکلیس کو، جس کی نسبتی افراط 99.985% ہے، پروٹان کہتے ہیں۔ ایک پروٹان کی کمیت ہے:

$$m_p = 1.00727 \text{ u} = 1.67262 \times 10^{-27} \text{ kg} \quad (13.2)$$

یہ ایک ہائیڈروجن ایٹم کی کمیت (1.00783 u) = نفی ایک الیکٹران کی کمیت ($m_e = 0.00055 \text{ u}$) کے مساوی ہے۔ ہائیڈروجن کے دیگر دو ہم جا ڈیوٹیریم (deuterium) اور ٹرائی ٹیم (tritium) کہلاتے ہیں۔ ٹرائی ٹیم مرکزے (nuclei)، کیونکہ غیر مستحکم ہوتے ہیں، اس لیے قدرتی طور پر نہیں پائے جاتے اور مصنوعی طریقے سے تجربہ گاہ میں پیدا کیے جاتے ہیں۔

نیوکلیس میں مثبت چارج، پروٹانوں کا چارج ہوتا ہے۔ ایک پروٹان میں ایک اکائی مثبت چارج ہوتا ہے اور یہ مستحکم ہوتا ہے۔ پہلے یہ سمجھا جاتا تھا کہ نیوکلیس میں الیکٹران بھی ہو سکتے ہیں لیکن بعد میں کوانٹم نظریہ کے استدلال کو استعمال کرتے ہوئے اس امکان کو خارج کر دیا گیا۔ ایک ایٹم کے تمام الیکٹران نیوکلیس کے باہر ہوتے ہیں۔ ہم جانتے ہیں کہ نیوکلیس کے باہر پائے جانے والے ان الیکٹرانوں کی تعداد، ایٹمی عدد Z ہے۔ اس لیے ایٹمی الیکٹرانوں کا کل چارج $(-Ze)$ ہے اور کیونکہ ایٹم تعدیلی ہے، نیوکلیس کا چارج $(+Ze)$ ہے۔ اس لیے ایٹم کے نیوکلیس میں پروٹانوں کی تعداد بھی بالکل درست طور پر، Z ہے، یعنی کہ ایٹمی عدد۔

نیوٹران کی دریافت (Discovery of Neutron)

کیونکہ ڈیوٹیریم اور ٹرائی ٹیم کے مرکزے (Nuclei)، ہائیڈروجن کے ہم جا ہیں، ان میں سے ہر ایک میں ایک ہی پروٹان ہونا لازمی ہے۔ لیکن ہائیڈروجن، ڈیوٹیریم اور ٹرائی ٹیم کی کمیتیں، $1:2:3$ کی نسبت میں ہیں۔ اس لیے ڈیوٹیریم اور ٹرائی ٹیم کے نیوکلیسوں میں، پروٹان کے ساتھ ساتھ کچھ تعدیلی مادہ بھی ہونا چاہیے۔ ان ہم جاؤں کے نیوکلیسوں میں پائے جانے والے تعدیلی مادہ کی مقدار کو اگر پروٹان کی کمیت کی اکائیوں میں ظاہر کیا جائے تو وہ تقریبی طور پر، بالترتیب، ایک اور دو ہوگی۔ یہ حقیقت اشارہ کرتی ہے کہ ایٹموں کے نیوکلیسوں میں پروٹانوں کے ساتھ ساتھ ایک بنیادی اکائی کے اضافے میں تعدیلی مادہ بھی ہوتا ہے۔ اس فریضہ (hypothesis) کی تصدیق 1932 میں چاڈوک نے کی جنہوں نے بیریلیم کے نیوکلیسوں پر α - ذرات کی بمباری کر کے (α - ذرات ہیلیم کے مرکزے ہیں، جن سے بعد کے حصے میں بحث کی جائے گی)، تعدیلی اشعاع کا مشاہدہ کیا۔ یہ پایا گیا کہ یہ تعدیلی اشعاع ہلکے نیوکلیسوں، جیسے، ہیلیم، کاربن اور نائٹروجن کے نیوکلیس، میں سے پروٹان باہر نکال سکتے ہیں۔ اس وقت تک صرف ایک ہی تعدیلی اشعاع معلوم تھا جو فوٹان تھے (برق - مقناطیسی اشعاع)۔ توانائی اور معیار حرکت کی بقا کے اصولوں کے اطلاق نے یہ ظاہر کر دیا کہ اگر تعدیلی اشعاع

فوٹانوں پر مشتمل ہوتا تو فوٹانوں کی توانائی اس سے کہیں زیادہ ہوتی جو پیریلیم کے نیوکلیدوں کی α -ذرات سے بمباری کرنے پر دستیاب کی گئی تھی۔ اس معے کا حل یہ تھا جسے چاڈوک نے حاصل کر لیا، کہ یہ فرض کر لیا جائے کہ تعدیلی اشعاع ایک نئے قسم کے تعدیلی ذرات پر مشتمل ہے، جنہیں نیوٹران کہا جاتا ہے۔ توانائی اور معیار حرکت کی بقا سے وہ اس نئے ذرے کی کمیت معلوم کر سکے جو کہ قریب قریب پروٹان کی کمیت کے مساوی تھی۔

اب ایک نیوٹران کی کمیت درستی صحت کی بہت زیادہ ڈگری کے ساتھ معلوم ہے۔ یہ ہے

$$m_n = 1.00866 \text{ u} = 1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg} \quad (13.3)$$

چاڈوک کو نیوٹران دریافت کرنے کے لیے 1935 میں طبیعیات کے نوبل انعام سے نوازا گیا۔

ایک آزاد نیوٹران، ایک آزاد پروٹان کے برخلاف، غیر مستحکم ہے۔ یہ ایک پروٹان، ایک الیکٹران اور ایک اینٹی نیوٹرینو (ایک اور بنیادی ذرہ) میں تنزل پذیر ہوتا ہے اور اس کی اوسط زندگی تقریباً 1000s ہے۔ لیکن یہ نیوکلئیس کے اندر مستحکم ہوتا ہے۔

اب نیوکلئیس کی ترکیب (composition) مندرجہ ذیل اصطلاحات اور علامتیں استعمال کر کے بیان کی جاسکتی ہے۔

$$[13.4(a)] \quad Z - \text{پروٹانوں کی تعداد} = \text{ایٹمی عدد}$$

$$[13.4(b)] \quad N - \text{نیوٹرانوں کی تعداد} = \text{نیوٹران عدد}$$

$$A - \text{کمیت عدد} = Z + N$$

$$[13.4(c)] \quad \text{نیوٹرانوں اور پروٹانوں کی کل تعداد} =$$

ایک پروٹان یا نیوٹران کے لیے اصطلاح نیوکلان بھی استعمال کی جاتی ہے۔ اس لیے ایک ایٹم میں نیوکلانوں کی تعداد اس کا کمیت عدد ہے۔

نیوکلیدی انواع یا نیوکلایڈوں (Nuclides) کو علامت $^A_Z X$ سے ظاہر کیا جاتا ہے، جہاں X نوع کی کمیائی علامت ہے۔ مثلاً سونے کے نیوکلئیس کو $^{197}_{79} \text{Au}$ سے ظاہر کرتے ہیں۔ اس میں 197 نیوکلئون ہیں، جس میں سے 79 پروٹان ہیں اور باقی 118 نیوٹران ہیں۔

اب ایک عنصر کے ہم جاؤں کی ترکیب کی بہ آسانی وضاحت کی جاسکتی ہے۔ ایک دیے ہوئے عنصر کے ہم جاؤں کے نیوکلیدوں میں پروٹانوں کی تعداد یکساں ہوتی ہے، لیکن وہ ایک دوسرے سے نیوٹرانوں کی تعداد کے لحاظ سے مختلف ہوتے ہیں۔ ڈیوٹیریم $^2_1 \text{H}$ میں، جو کہ ہائیڈروجن کا ایک ہم جا ہے، ایک پروٹان اور ایک نیوٹران ہوتا ہے۔ اس کے دوسرے ہم جا ٹرائی ٹیم $^3_1 \text{H}$ میں ایک پروٹان اور دو نیوٹران ہوتے ہیں۔ عنصر سونے کے 32 ہم جا ہیں، جن کی سعت $A=173$ سے $A=204$ تک ہے۔ ہم پہلے ہی بتا چکے ہیں کہ عناصر کی کمیائی خاصیتیں ان کی الیکٹران ساخت (electronic structure) کے تابع ہیں۔ کیونکہ ہم جاؤں کے ایٹموں کی الیکٹران ساخت متماثل ہوتی ہے، اس لیے ان کا کمیائی برتاؤ بھی متماثل ہوتا ہے اور انہیں دوری جدول میں یکساں مقام پر رکھا جاتا ہے۔

وہ تمام نیوکلیائی جن کے کمیت عدد یکساں ہوتے ہیں، ہم بار (isobar) کہلاتے ہیں، مثلاً نیوکلیائی ^3_1H اور $^{197}_{79}\text{Au}$ ، ہم طناب (آئسوٹون isotone) کہلاتے ہیں۔

13.3 نیوکلیس کا سائز (SIZE OF THE NUCLEUS)

جیسا کہ ہم باب 12 میں دیکھ چکے ہیں ردرفورڈ وہ رہنما تھے جنہوں نے ایٹمی نیوکلیس کی موجودگی کا دعویٰ کیا اور اسے ثابت کر دکھایا۔ ردرفورڈ کی تجویز پر لیگ اور مارسڈین نے سونے کی پٹی سے α -ذرات کے انتشار کا اپنا کلاسیکی تجربہ کیا۔ ان کے تجربات نے یہ ظاہر کیا کہ ایک 5.5MeV حرکی توانائی کے α -ذره کا ایک سونے کے نیوکلیس کے قریب ترین آنے کا فاصلہ تقریباً $4.0 \times 10^{-14} \text{ m}$ ہے۔ سونے کی چادر کے ذریعے α -ذرات کے انتشار کی ردرفورڈ نے اس طرح وضاحت کی کہ انہوں نے یہ فرض کیا کہ انتشار کے لیے صرف کولمب دفاعی قوت ہی ذمہ دار ہے۔ کیونکہ مثبت چارج نیوکلیس ہی میں مرکوز ہے، اس لیے نیوکلیس کا حقیقی سائز $4.0 \times 10^{-14} \text{ m}$ سے کم ہونا لازمی ہے۔

اگر ہم 5.5MeV سے زیادہ توانائیوں کے α -ذرات استعمال کریں تو α -ذره کے نیوکلیس سے قریب ترین ہونے کا فاصلہ اور کم ہوگا اور کسی ایک نقطہ پر انتشار، مختصر سعتی نیوکلیائی قوتوں سے متاثر ہونا شروع کر دے گا اور ردرفورڈ کی تحسب سے مختلف ہوگا۔ ردرفورڈ کی تحسب، α -ذرات کے مثبت چارجوں اور سونے کے نیوکلیس کے درمیان خالص کولمب دفاعی پڑتی ہے۔ جس فاصلے سے انحراف پایا جانا شروع ہوتا ہے، اس فاصلے سے نیوکلیئر سائز اخذ کیا جاسکتا ہے۔ ایسے انتشار تجربات کے ذریعے جن میں α -ذرات کی جگہ تیز رفتار الیکٹرانوں کو بہ طور پروجیکٹائل مختلف عناصر سے بنے ہوئے ہدفوں پر بمباری کرنے کے لیے استعمال کیا جاتا ہے، مختلف عناصر کے نیوکلیسوں کے سائزوں کی درستی صحت کے ساتھ پیمائش کی گئی ہے۔

یہ معلوم ہوا ہے کہ کمیت عدد A کے ایک نیوکلیس کا نصف قطر R ہوتا ہے:

$$R = R_0 A^{1/3} \quad (13.5)$$

جہاں $R_0 = 1.2 \times 10^{-15} \text{ m}$ ($= 1.2 \text{ fm}$; $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$)، اس کا مطلب ہوا کہ نیوکلیس کا حجم، جو R^3 کے متناسب ہے، تمام مرکزوں کے لیے A کے متناسب ہے۔ اس لیے نیوکلیس کی کثافت ایک مستقل ہے، A کے غیر تابع ہے۔ مختلف مرکزے، مستقل کثافت کے مانع کے قطروں کی طرح ہیں۔ نیوکلیائی مادے کی کثافت، تقریبی طور پر، $2.3 \times 10^{17} \text{ kg m}^{-3}$ ہے۔ عام مادے کی کثافت کے مقابلے میں یہ کثافت بہت زیادہ ہے۔ یہ قابل فہم ہے، کیونکہ ہم پہلے ہی دیکھ چکے ہیں کہ ایٹم کا بیشتر حصہ خالی ہوتا ہے۔ عام مادہ میں، جو ایٹموں پر مشتمل ہے، خالی فضا کی مقدار بہت زیادہ ہے۔

مثال 13.1 لوہے کے نیوکلیس کی کمیت 55.85 u اور $A=56$ دیے ہوئے ہیں۔ نیوکلیائی کثافت معلوم کیجیے۔

حل

$$m_{\text{Fe}} = 55.85$$

$$u = 9.27 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{کمیت} = \frac{\text{نیوکلیائی کثافت}}{\text{حجم}} = \frac{9.27 \times 10^{-26}}{(4\pi/3)(1.2 \times 10^{-15})^3} \times \frac{1}{56}$$

$$= 2.29 \times 10^{17} \text{ kg m}^{-3}$$

نیوٹران تاروں (فلکیاتی شے) میں مادے کی کثافت اس کثافت کے مقابلے کی ہوتی ہے۔ اس سے ظاہر ہوتا ہے کہ ان اشیاء میں مادہ اتنا دبا ہوا ہے کہ وہ ایک بڑے نیوکلئیس کے مشابہ ہیں۔

13.4.1 کمیت-توانائی (Mass - Energy)

آئن اسٹائن نے اپنے خصوصی اضافیت کے نظریہ سے یہ دکھایا کہ کمیت کو توانائی کی ہی ایک دوسری شکل کے طور پر برتنا ضروری ہے۔ خصوصی اضافیت کے نظریہ کے پیش کیے جانے سے پہلے تک یہ فرض کر لیا جاتا تھا کہ ایک تعامل میں کمیت اور توانائی کی علیحدہ علیحدہ بقا ہوتی ہے۔ لیکن آئن اسٹائن نے دکھایا کہ کمیت بھی توانائی کی ایک دوسری شکل ہے اور کمیت-توانائی کو توانائی کی دوسری شکلوں میں، جیسے حرکی توانائی میں، بدلا جاسکتا ہے اور اس کے برخلاف بھی۔

آئن اسٹائن نے مشہور کمیت-توانائی تواف (mass-energy equivalence) رشتہ دیا:

$$E = mc^2 \quad (13.6)$$

یہاں کمیت m کا توانائی مرادف (energy equivalent) مندرجہ بالا مساوات سے ہم رشتہ ہے اور c روشنی کی خلا میں رفتار ہے جو تقریباً $3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ کے مساوی ہے۔

مثال 13.2 ایک شے کے ایک گرام کے توانائی مرادف کا حساب لگائیے۔

حل

$$E = 10^{-3} \times (3 \times 10^8)^2 \text{ J}$$

$$E = 10^{-3} \times 9 \times 10^{16} = 9 \times 10^{13} \text{ J}$$

اسی لیے اگر ایک گرام کے مادے کو توانائی میں تبدیل کر دیا جائے تو توانائی کی بہت بڑی مقدار نکلے گی۔

آئن اسٹائن کے کمیت-توانائی رشتے کی تجرباتی تصدیق، نیوکلیائیوں، نیوکلیوسوں، الیکٹرانوں اور حال ہی میں دریافت کیے گئے دیگر ذروں کے درمیان ہونے والے نیوکلیائی تعاملات کے مطالعوں کے ذریعے کی جا چکی ہے۔ توانائی کی بقا کے قانون کے بیان ہے کہ ایک تعامل میں آغازی توانائی اور اختتامی توانائی مساوی ہوں گی، بشرطیکہ کمیت سے منسلک توانائی کو بھی شامل کیا جائے۔ یہ تصور نیوکلیائی کمیتوں اور نیوکلیوسوں کے ایک دوسرے کے ساتھ ہونے والے باہم عملوں کو سمجھنے کے لیے بہت اہم ہے۔ اگلے کچھ حصوں میں انہی سے بحث کی گئی ہے۔

13.4.2 نیوکلیائی بندش توانائی (Nuclear binding energy)

حصہ 13.2 میں ہم دیکھ چکے ہیں کہ نیوکلیس نیوٹرانوں اور پروٹانوں پر مشتمل ہوتا ہے۔ اس لیے یہ امید کی جاتی ہے کہ نیوکلیس کی کمیت اس کے پروٹانوں اور نیوٹرانوں کی انفرادی کمیتوں کے حاصل جمع کے مساوی ہوگی۔ لیکن نیوکلیائی کمیت M ہمیشہ اس سے کم معلوم کی گئی ہے۔ مثلاً ہم $^{16}_8\text{O}$ لیتے ہیں، اس نیوکلیس میں 8 نیوٹران اور 8 پروٹان ہیں۔ ہمارے پاس ہے:

$$8 \times 1.00866 \text{ u} = \text{نیوٹرانوں کی کمیت}$$

$$8 \times 1.00727 \text{ u} = \text{پروٹانوں کی کمیت}$$

$$8 \times 0.00055 \text{ u} = \text{الیکٹرانوں کی کمیت}$$

$$\text{اس لیے، } ^{16}_8\text{O کی نیوکلیس کی متوقع کمیت} = 8 \times 2.01593 \text{ u} = 16.12744 \text{ u}$$

کمیت طیف بینی (mass spectroscopy) تجربات کے ذریعہ $^{16}_8\text{O}$ کی معلوم کی گئی کمیت 15.99493 u ہے۔ اس میں سے 8 الیکٹرانوں کی کمیت ($8 \times 0.00055 \text{ u}$) نفی کرنے پر ہمیں $^{16}_8\text{O}$ نیوکلیس کی تجرباتی کمیت 15.99053 u حاصل ہوتی ہے۔

اس طرح ہم پاتے ہیں کہ $^{16}_8\text{O}$ نیوکلیس کی کمیت، اس کے اجزائے ترکیبی کی کل کمیت سے 0.13691 u کم ہے۔ ایک نیوکلیس کی کمیت اور اس کے اجزائے ترکیبی کی کمیت کے مابین فرق ΔM کمیت کمی (mass defect) کہلاتی ہے اور یہ دیا جاتا ہے

$$\Delta M = [Zm_p + (A - Z)m_n] - M \quad (13.7)$$

کمیت کمی کا مطلب کیا ہے؟ یہاں پر آئن اسٹائن کا کمیت اور توانائی کا تبادلی کا ترادف اپنا کردار ادا کرتا ہے۔ کیونکہ آکسیجن نیوکلیس کی کمیت اس کے اجزائے ترکیبی [8 پروٹان اور 8 نیوٹران، غیر مقید حالت (unbound state) میں] کی کمیتوں سے کم ہے، آکسیجن نیوکلیس کی مرادف توانائی اس کے اجزائے ترکیبی کی مرادف توانائیوں کے حاصل جمع سے کم ہے۔ اگر ہم آکسیجن نیوکلیس کو 8 پروٹانوں اور 8 نیوٹرانوں میں توڑنا چاہیں تو یہ زائد توانائی $\Delta M c^2$ مہیا کرنی ہوگی۔ اس درکار توانائی E_b کا کمیت کمی سے رشتہ ہے

$$E_b = \Delta M c^2 \quad (13.8)$$

مثال 13.3 ایک ایٹمی کمیت اکائی کا توانائی مرادف پہلے اور پھر MeV میں معلوم کیجیے۔ اسے استعمال کرتے ہوئے $^{16}_8\text{O}$ کی کمیت کمی کو MeV/c^2 میں ظاہر کیجیے۔

حل

$$1 \text{ u} = 1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

اسے توانائی اکائیوں میں بدلنے کے لیے ہم اسے c^2 سے ضرب کرتے ہیں اور پاتے ہیں:

$$\text{توانائی مترادف} = 1.6605 \times 10^{-27} \times (2.9979 \times 10^8)^2 \text{ kg m}^2/\text{s}^2$$

$$= 1.4924 \times 10^{-10} \text{ J}$$

$$= \frac{1.4924 \times 10^{-10}}{1.602 \times 10^{-19}} \text{ eV}$$

$$= 0.9315 \times 10^9 \text{ eV}$$

$$= 931.5 \text{ MeV}$$

$$1 \text{ u} = 931.5 \text{ MeV}/c^2 \quad \text{یا}$$

$$\Delta M = 0.13691 \text{ u} = 0.13691 \times 931.5 \text{ MeV}/c^2 \quad \text{لے، } {}^{16}_8\text{O کے لیے}$$

$$= 127.5 \text{ MeV}/c^2$$

${}^{16}_8\text{O}$ کو اس کے اجزائے ترکیبی میں توڑنے کے لیے درکار توانائی، ${}^{16}_8\text{O}$ اس لیے، $127.5 \text{ MeV}/c^2$ ہے۔

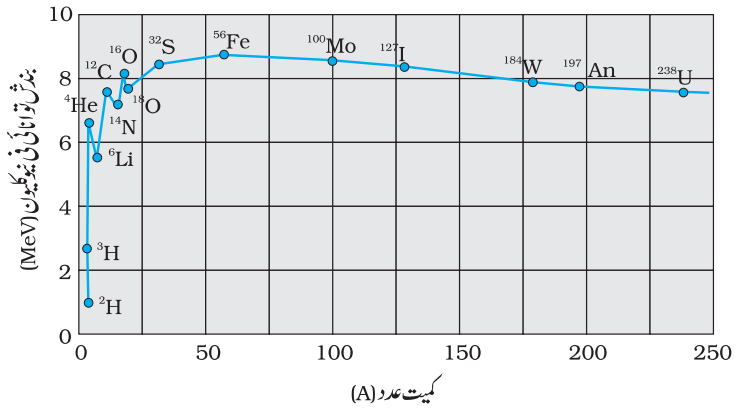
اگر نیوٹرونوں اور پروٹونوں کی ایک مخصوص تعداد کو ایک دوسرے کے ساتھ لاکر ایک مخصوص چارج اور ایک مخصوص کمیت کا ایک نیوکلئس تشکیل دیا جائے تو اس عمل میں توانائی E_b باہر نکلے گی۔ توانائی E_b ، نیوکلئس کی بندش توانائی (binding energy) کہلاتی ہے۔ اگر ہم ایک نیوکلئس کے اجزائے ترکیبی کو علیحدہ علیحدہ کرنا چاہیں تو ہمیں ان ذرات کو E_b کے مساوی کل توانائی مہیا کرنی ہوگی۔ حالانکہ ہم اس طرح سے ایک نیوکلئس کو توڑ نہیں سکتے، پھر بھی بندش توانائی اس بات کا ایک کارآمد ناپ ہے کہ ایک نیوکلئس کتنی اچھی طرح قائم ہے۔ نیوکلئس کے اجزائے ترکیبی کے مابین بندش کا ایک زیادہ کارآمد ناپ بندش توانائی فی نیوکلون، E_{bn} ہے جو کہ ایک نیوکلئس کی بندش توانائی اور اس نیوکلئس میں نیوکلونوں کی تعداد 'A' کی نسبت ہے۔

$$E_{bn} = \frac{E_b}{A} \quad (13.9)$$

ہم بندش توانائی فی نیوکلون کو اس طرح سمجھ سکتے ہیں کہ یہ ایک نیوکلئس کو اس کے انفرادی نیوکلونوں میں علیحدہ کرنے کے لیے درکار، اوسط توانائی فی نیوکلون ہے۔

شکل 13.1، نیوکلئسوں کی ایک بڑی تعداد کے لیے، بندش توانائی فی نیوکلون E_{bn} برخلاف کمیت عدد A کا گراف ہے۔ ہم گراف کی مندرجہ ذیل اہم خاصیتیں نوٹ کر سکتے ہیں:

(i) بندش توانائی فی نیوکلون E_{bn} ، عملی طور پر مستقل ہے،



شکل 13.1: بندش توانائی فی نیوکلون بہ طور تفاعل کمیت عدد

یعنی کہ درمیانی کمیت اعداد ($30 < A < 170$) کے نیوکلئیسوں کے لیے عملی طور پر ان کے ایٹمی عدد کے غیر تابع ہے۔ اس منحنی کی اعظم قدر، تقریباً 8.75 MeV ، $A=56$ کے لیے ہے اور $A=238$ کے لیے اس کی قدر 7.6 MeV ہے۔

(ii) E_{bn} کی قدر ہلکے نیوکلئیسوں ($A < 30$) اور بھاری نیوکلئیسوں ($A > 170$) دونوں کے لیے مقابلاً ادنیٰ ہے۔

ان دونوں مشاہدات سے ہم کچھ نتائج اخذ کر سکتے ہیں:

(i) لگ رہی قوت کششی ہے اور اتنی طاقت ور ہے کہ چند MeV فی نیوکلئون کی بندش توانائی پیدا کر سکنے کے لیے کافی ہو۔

(ii) سعت $30 < A < 170$ میں بندش توانائی کا مستقلہ ہونا اس حقیقت کا نتیجہ ہے کہ نیوکلئی قوت ایک قریب اثر

(short-range) قوت ہے۔ کوئی ایک مخصوص نیوکلئون لیجے جو ایک کافی بڑے نیوکلئیس کے اندر ہے۔ اس کے

اوپر صرف اس کے چند پڑوسی نیوکلئیاں کا ہی اثر پڑے گا جو کہ نیوکلئی قوت کے اس قریب اثر فاصلے کے اندر ہوں

گے۔ اگر کوئی نیوکلئیاں، نیوکلئی قوت کی سعت سے زیادہ فاصلے پر ہے تو وہ ملحوظ نظر نیوکلئیس کی بندش توانائی پر کوئی اثر

نہیں ڈالے گا۔ اگر ایک نیوکلئون کے نیوکلیئر قوت کی سعت کے اندر زیادہ سے زیادہ p پڑوسی نیوکلئیاں ہو سکتے ہوں تو

اس کی بندش توانائی p کے متناسب ہوگی۔ فرض کیجیے کہ نیوکلئیس کی بندش توانائی pk ہے، جہاں k ایک مستقلہ ہے

جس کے ابعاد توانائی کے ابعاد ہیں۔ اگر ہم مزید نیوکلئیاں شامل کر کے A میں اضافہ کریں تو ان سے نیوکلئیس کے

اندر کے ایک نیوکلئیاں کی بندش توانائی تبدیل نہیں ہوگی۔ کیونکہ ایک بڑے نیوکلئیس میں زیادہ تر نیوکلئیاں، نیوکلئیس

کے اندرونی حصے میں ہوتے ہیں، اس کی سطح پر نہیں، بندش توانائی فی نیوکلئون میں تبدیلی، خفیف ہوگی۔ بندش توانائی

فی نیوکلئون ایک مستقلہ ہے اور تقریبی طور پر pk کے مساوی ہے۔ یہ خاصیت کہ ایک دیا ہوا نیوکلئیاں صرف انہیں

نیوکلئیاں کو متاثر کرتا ہے جو اس کے نزدیک ہوتے ہیں، نیوکلئی قوت کی سیرشدگی خاصیت بھی کہلاتی ہے۔

(iii) ایک بہت بھاری نیوکلئیس، جیسے $A=240$ ، کی بندش توانائی فی نیوکلئون، $A=120$ کے نیوکلئیس کی بندش توانائی فی

نیوکلئون کے مقابلے میں کم ہوتی ہے۔ اس لیے اگر $A=240$ کا ایک نیوکلئیس دو $A=120$ کے نیوکلئیسوں میں

ٹوٹ جائے تو نیوکلئیاں کی بندش زیادہ سخت ہو جاتی ہے۔ اس کا مطلب ہوا کہ اس عمل میں توانائی باہر نکلے گی۔ اس

کے انشقاق کے ذریعے توانائی پیدا کرنے میں بہت اہم مضمرات ہیں، جن سے بعد میں حصہ 13.7.1 میں بحث کی

جائے گی۔

(iv) دو بہت ہلکے نیوکلئیسوں ($A \leq 10$) کو لیجیے جو آپس میں مل کر ایک مقابلاً بھاری نیوکلئیس تشکیل دیتے ہیں۔

گداخت شدہ مقابلاً بھاری نیوکلئیس کی بندش توانائی فی نیوکلئون، مقابلاً ہلکے نیوکلئیسوں کی بندش توانائی فی نیوکلئیاں

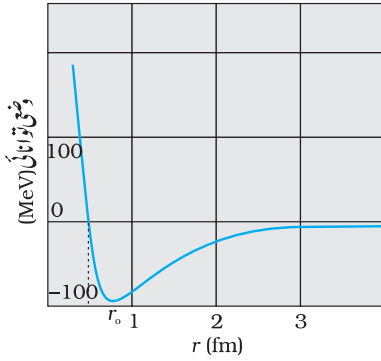
سے زیادہ ہے۔ اس کا مطلب ہوا کہ اختتامی نظام میں آغازی نظام کے مقابلے میں بندش زیادہ سخت ہے۔ اب پھر

اس گداخت (Fusion) کے عمل میں توانائی باہر نکلے گی۔ سورج کی توانائی کا یہی وسیلہ ہے، جس سے بعد میں حصہ

13.7.3 میں بحث کی جائے گی۔

13.5 نیوکلیائی قوت (NUCLEAR FORCE)

وہ قوت جو ایٹمی الیکٹرانوں کی حرکت متعین کرتی ہے، جانی پہچانی کولمب قوت ہے۔ حصہ 13.4 میں ہم دیکھ چکے ہیں کہ اوسط کمیت کے نیوکلیسوں کے لیے، بندش توانائی فی نیوکلیون تقریباً 8 MeV ہوتی ہے، جو کہ ایٹموں میں بندش توانائی سے کہیں زیادہ ہے۔ اس لیے ایک نیوکلیس میں نیوکلیانوں کو ایک ساتھ بندھا رکھنے کے لیے بالکل مختلف قسم کی ایک طاقت درکشی قوت کا ہونا ضروری ہے۔ اسے تناطقت ور ہونا چاہیے کہ پروٹانوں (مثبت چارج شدہ) کے درمیان دفع پر قابو پاسکے اور پروٹانوں اور نیوٹرانوں دونوں کو ایک مختصر نیوکلائی حجم میں بندھا رکھ سکے۔ ہم پہلے ہی دیکھ چکے ہیں کہ بندش توانائی فی نیوکلیون کی مستقلیت کو اس قوت کے قریب اثر ہونے کی شکل میں سمجھا جاسکتا ہے۔ نیوکلیائی بندش قوت کی کئی خاصیتوں کا خلاصہ ذیل میں پیش کیا جا رہا ہے۔ یہ خاصیتیں ان مختلف النوع تجربات کے نتائج سے حاصل ہوئی ہیں جو 1930 سے 1950 تک کیے گئے۔



شکل 13.2: دو نیوکلیانوں کے جوڑے کی وضع توانائی بہ طور ان کے درمیانی فاصلے کے تفاعل - r_0 سے زیادہ درمیانی فاصلوں کے لیے قوت کششی ہے اور r_0 سے کم درمیانی فاصلوں کے لیے بہت زیادہ دفاعی ہے۔

(i) نیوکلیائی قوت، چارجوں کے درمیان کام کر رہی کولمب یا کمیتوں کے درمیان کام کر رہی مادی کشش قوتوں کے مقابلے میں بہت زیادہ طاقت ور ہوتی ہے۔ نیوکلیس کے اندر، نیوکلیائی بندش قوت کو پروٹانوں کے درمیان کولمب دفع پر حاوی آنا ضروری ہے۔ ایسا صرف اس لیے ہوتا ہے کیونکہ نیوکلیائی قوت، کولمب قوت کے مقابلے میں کہیں زیادہ طاقت ور ہے۔ مادی کشش قوت، کولمب قوت سے بھی بہت کمزور ہے۔

(ii) دو نیوکلیانوں کے درمیان نیوکلیائی قوت، ان کے درمیان چند فیمٹومیٹر سے زیادہ فاصلے ہونے پر تیزی سے صفر ہو جاتی ہے۔ اس کی وجہ سے ایک اوسط یا بڑے سائز کے نیوکلیسوں میں قوتوں کی سیرشدگی عمل میں آتی ہے، جو کہ بندش توانائی فی نیوکلیون کی مستقلیت کی وجہ ہے۔

دو نیوکلیسوں کے درمیان وضع توانائی بہ طور ان کے درمیانی فاصلے کے تفاعل کا ایک گراف شکل 13.2 میں دکھایا گیا ہے۔ وضع توانائی کی اقل ترین قدر تقریباً 0.8 fm فاصلے پر حاصل ہوتی ہے۔ اس کا مطلب ہے کہ قوت 0.8 fm سے زیادہ کے فاصلوں کے لیے کششی ہے اور اگر نیوکلیانوں کے درمیان فاصلہ 0.8 fm سے کم ہو تو یہ دفاعی ہے۔

(iii) نیوٹران-نیوٹران، نیوٹران-پروٹان اور پروٹان-پروٹان کے درمیان نیوکلائی قوت تقریباً یکساں ہے۔ نیوکلیائی

قوت برقی چارج کے تابع نہیں ہے۔

کولمب کے قانون اور مادی کشش کے نیوٹن کے قانون کے برخلاف، نیوکلیائی قوت کی کوئی سادہ ریاضیاتی شکل نہیں ہے۔

13.6 تابکاری (RADIOACTIVITY)

اے۔ ایچ۔ بیکویریل (A. H. Becquerel) نے 1896 میں بالکل اتفاقی طور پر تابکاری کو دریافت کیا۔ مرکبات کو بصری روشنی سے اشعاع شدہ کرنے پر ثانوی درخشانی (fluorescence) اور خود درخشانی (phosphorescence) کا مطالعہ کرتے ہوئے بیکویریل نے ایک دلچسپ مظہر کا مشاہدہ کیا۔ یورانیئم۔ پوٹاشیم سلفیٹ کے کچھ ٹکڑوں پر بصری روشنی سے اشعاع کرنے کے بعد انھوں نے ان ٹکڑوں کو کالے کاغذ میں پلیٹ دیا اور درمیان میں ایک چاندی کا ٹکڑا رکھ کر ایک فوٹو گرافک پلیٹ رکھ دی۔ کئی گھنٹے کی اثر آشکاری (exposure) کے بعد جب فوٹو گرافک پلیٹ کو ڈیولپ (Develope) کیا گیا تو اس میں کچھ سیاہ رنگت دکھائی دی، جس کی وجہ کوئی ایسی شے ہی ہو سکتی تھی جو اس مرکب سے خارج ہوئی ہو اور چاندی اور کالے کاغذ دونوں میں سے گذر سکنے کے قابل ہو۔

اس کے بعد کیے گئے تجربات سے یہ معلوم ہوا کہ تابکاری ایک نیوکلیائی مظہر ہے، جس میں ایک غیر مستحکم نیوکلیس تنزل پذیر ہوتا ہے۔ اسے تابکار تنزل (radioactive decay) کہتے ہیں۔ قدرت میں تین قسم کے تابکار تنزل ہوتے ہیں:

- (i) α - تنزل، جس میں ایک ہیلیم نیوکلیس ${}^4_2\text{He}$ خارج ہوتا ہے۔
- (ii) β - تنزل، جس میں الیکٹران یا پوزیٹران (وہ ذرات جن کی کمیت الیکٹرانوں کی کمیت کے یکساں ہوتی ہے لیکن چارج، الیکٹران کے چارج کے بالکل مخالف ہوتا ہے) خارج ہوتے ہیں۔
- (iii) γ - تنزل، جس میں اعلیٰ توانائی (سینکڑوں keV یا اس سے زیادہ) کے فوٹون خارج ہوتے ہیں۔

13.6.1 تابکار تنزل کا قانون (Law of radioactive decay)

کسی بھی تابکار نمونے میں، جو α ، β یا γ تنزل سے گزرتا ہے، یہ پایا گیا ہے کہ اکائی وقت میں تنزل پذیر ہونے والے نیوکلیسوں کی تعداد نمونے میں نیوکلیسوں کی کل تعداد کے متناسب ہوتی ہے۔ اگر نمونے میں نیوکلیسوں کی تعداد N ہے اور

ΔN ، وقت Δt میں تنزل پذیر ہوتے ہیں تو

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} \propto N$$

یا

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda N$$

(13.10)

جہاں λ تابکار تنزل مستقلہ (Radioactive decay constant) یا تفسیر مستقلہ (Disintegration constant)

نمونے* میں نیوکلیسوں کی تعداد میں، وقت Δt میں تبدیلی ہے: $dN = -\lambda N$ ، اس لیے N کی تبدیلی کی شرح

* ΔN نیوکلیانوں کی وہ تعداد ہے جو تنزل پذیر ہوتی ہے اور اس لیے ہمیشہ مثبت ہوگی۔ N ، dN میں تبدیلی ہے، جس کی کوئی بھی علامت

ہو سکتی ہے۔ یہاں منفی ہے، کیونکہ شروعات میں جو نیوکلیان تھے، ان میں سے ΔN کا تنزل ہو گیا اور $(N - \Delta N)$ باقی بچے۔

ہے (0 → Δt حد میں):

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

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \quad \text{یا}$$

اب مندرجہ بالا مساوات کی دونوں اطراف کا تکملہ کرنے پر ہمیں حاصل ہوتا ہے

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t_0}^t dt \quad (13.11)$$

یا

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda (t - t_0) \quad (13.12)$$

یہاں N_0 ، دیے ہوئے نمونے میں، کسی اختیاری وقت t_0 پر تابکار نیوکلیسوں کی تعداد ہے اور N ، اس کے بعد کے کسی وقت t پر تابکار نیوکلیسوں کی تعداد ہے۔ $t_0 = 0$ رکھنے پر اور دوبارہ ترتیب دینے پر ہمیشہ مساوات (13.13) حاصل ہوتی ہے۔

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad (13.13)$$

جس سے حاصل ہوتا ہے:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (13.14)$$

نوٹ کریں، کہ مثال کے طور پر روشنی کے بلب کسی ایسے قوت نمائی قانون کی پابندی نہیں کرتے۔ اگر ہم 1000 بلبوں کی مدت زندگی (عرصہ وقت جس میں وہ خراب یا فیوز ہو جائیں گے) کی جانچ کریں تو ہم توقع کرتے ہیں کہ ان میں سے ہر ایک تقریباً یکساں وقت میں ہی تنزل پذیر ہوگا (یعنی کہ بیکار ہو جائے گا)۔ لیکن تابکار نیوکلیڈوں کا تنزل ایک بڑی حد تک مختلف قانون کی پابندی کرتا ہے۔ تابکار تنزل کا قانون مساوات (13.14) سے ظاہر کیا جاتا ہے۔

ہمیں اکثر خود N سے زیادہ تنزل شرح $R (= \frac{-dN}{dt})$ میں دلچسپی ہوتی ہے۔ یہ ایک اکائی وقت میں تنزل پذیر ہونے والے نیوکلیسوں کی تعداد بتاتا ہے۔ مثلاً، فرض کیجیے ہمارے پاس ایک تابکار شے کی کچھ مقدار ہے۔ ہمیں اس میں موجود نیوکلیسوں کی تعداد جاننے کی ضرورت نہیں ہے۔ لیکن ہم ایک دیے گئے وقفہ وقت، جیسے 10 سیکنڈ یا 20 سیکنڈ میں α ، β یا γ ذرات کے اخراج کی تعداد ناپ سکتے ہیں۔ فرض کیجیے ہم وقفہ وقت dt کے لیے یہ پیمائش کرتے ہیں اور اپنے آلے سے تنزل کا شمار ΔN ($-dN$) حاصل کرتے ہیں، تب تنزل شرح R کی تعریف اس طرح کی جاتی ہے:

$$R = -\frac{dN}{dt}$$

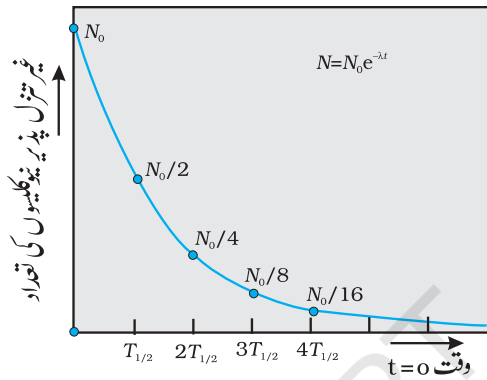
مساوات (13.14) کا تفرق کرنے پر ہمیں حاصل ہوتا ہے:

$$R = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

یا

$$R = R_0 e^{-\lambda t} \quad (13.15)$$

جو تابکار تنزل کے قانون [مساوات 13.14] کی ایک متبادل شکل ہے۔ یہاں R_0 ، وقت $t = 0$ پر تابکار تنزل



کی شرح ہے اور R بعد کے کسی بھی وقت t پر یہ شرح ہے۔ اب ہم مساوات (13.10) کو نمونے کی تنزل شرح R کی شکل میں ایسے لکھ سکتے ہیں:

$$R = \lambda N \quad (13.16)$$

جہاں R کی قدر اور تاب کار نیوکلیوں کی وہ تعداد جو ابھی تک تنزل پذیر نہیں ہوئی ہے، ان کی قدر یکساں لمحہ وقت پر معلوم کی جانی چاہیے۔

شکل 13.3: ایک تابکار نوع کا قوت نما تنزل۔ $T_{1/2}$ وقت گزرنے کے بعد، دی ہوئی نوع کی آبادی، جزئی 2 سے کم ہو جاتی ہے۔

ایک یا ایک سے زیادہ تاب کار نیوکلیڈوں کے نمونے کی کل تنزل شرح اس نمونے کی فعالیت (activity) کہلاتی ہے۔ فعالیت کی SI اکائی، بیکوریل

ہے جو تاب کاری دریافت کرنے والے سائنس دان ہنری بیکوریل کے نام پر رکھی گئی ہے۔ اس کی تعریف اس طرح کی جاتی ہے:

$$1 \text{ تنزل فی سیکنڈ} = 1 \text{ Bq} = 1 \text{ بیکوریل (Bacquerel)}$$

ایک پرانی اکائی کیوری (Curie) ابھی بھی عام طور سے استعمال ہوتی ہے:

$$1 \text{ curie} = 1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq (تنزل فی سیکنڈ)}$$

اس پیمائش کے کہ ایک دی ہوئی قسم کا ریڈیو نیوکلیڈ کتنے عرصے تک باقی رہے گا، دو عام وقت ناپنے کے پیمانے ہیں۔ ایک ناپ ہے ایک ریڈیو نیوکلیڈ کی نصف زندگی ($T_{1/2}$ (half life) جو وہ عرصہ وقت ہے جس میں N اور R دونوں کی قدریں اپنی آغازی قدروں کا نصف ہو جاتی ہیں۔ دوسرا ناپ ہے اوسط زندگی (mean life) τ ، جو وہ عرصہ وقت ہے جس میں N اور R دونوں کی قدریں اپنی آغازی قدروں کا e^{-1} ہو جاتی ہیں۔

اور تفسیر مستقلہ (Disintegration constant) λ میں رشتہ معلوم کرنے کے لیے، ہم

$$\text{اور } t = T_{1/2} \text{ مساوات (13.15) میں رکھ کر } T_{1/2} \text{ کے لیے حل کرتے ہیں:}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$= \frac{0.693}{\lambda} \quad (13.17)$$

اوسط زندگی یا درمیانہ زندگی t بھی مساوات (13.14) سے حاصل کی جاسکتی ہے۔ نیوکلیوں کی وہ تعداد جو t سے $t + \Delta t$ کے وقفہ وقت میں تنزل پذیر ہوتی ہے: $R(t)\Delta t = (\lambda N_0 e^{-\lambda t} \Delta t)$ ان میں سے ہر ایک نیوکلیس وقت t تک زندہ رہا ہے۔ اس لیے ان تمام نیوکلیوں کی کل زندگی $\lambda N_0 e^{-\lambda t} \Delta t$ ہے۔ یہ واضح ہے کہ ان میں سے کچھ مرکزے کچھ کم وقت کے لیے زندہ رہے ہوں گے اور کچھ اس سے زیادہ۔ اس لیے اوسط زندگی معلوم کرنے کے لیے ہمیں اس عبارت کو 0 سے ∞ تک جمع کرنا (یا مکملہ کرنا) ہوگا اور $t=0$ پر نیوکلیوں کی کل تعداد N_0 سے تقسیم کرنا ہوگا۔ اس لیے

$$\tau = \frac{\lambda N_0 \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt}{N_0} = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt$$

اس مکملہ کو حل کر کے ہم دکھا سکتے ہیں کہ

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

ہم ان نتائج کا خلاصہ مندرجہ ذیل شکل میں لکھ سکتے ہیں:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2 \quad (13.18)$$

یہ تابکار عناصر جن کی نصف زندگی، کائنات کی زندگی (کروڑ سال 13.7) کے مقابلے میں کم ہے آج قدرت میں قابل مشاہدہ شکل نہیں میں پائے جاتے۔ لیکن پھر بھی انہیں تجربہ گاہ میں نیوکلیائی تعاملات میں دیکھا گیا ہے۔ ٹرائی ٹیم اور پلوٹونیم اس قسم سے تعلق رکھتے ہیں۔



میری سکلوڈوسکا کیوری

(1867-1934)، پولینڈ میں پیدا ہوئیں۔ آپ طبیعیات داں اور کیمیادان دونوں کے بطور معروف ہیں۔ 1896 میں ہنری بیکوریل کے ذریعے کی گئی تابکاری کی دریافت نے میری اور ان کے شوہر کیوری دونوں کو ان تحقیقات اور تجربات کی تحریک بخشی، جن سے ریڈیم اور پولونیم عناصر علاحدہ کرنے کی راہیں ہموار ہوئیں۔ وہ پہلی شخصیت تھیں جنہیں دو نوبل انعام دیے گئے۔ 1903 میں طبیعیات کے لیے اور 1911 میں کیمیا کے لیے۔

میری سکلوڈوسکا کیوری (1867-1934)

مثال 13.4

α۔ تنزل سے گذرتے ہوئے $^{238}_{92}\text{U}$ کی نصف زندگی 4.5×10^9 برس ہے۔ $^{238}_{92}\text{U}$ کے ایک گرام

نمونے کی فعالیت کیا ہے؟

حل

$$\begin{aligned} T_{1/2} &= 4.5 \times 10^9 \text{ y} \\ &= 4.5 \times 10^9 \text{ y} \times 3.16 \times 10^7 \text{ s/y} \\ &= 1.42 \times 10^{17} \text{ s} \end{aligned}$$

کسی بھی ہم جا کے ایک mol k میں ایووگیڈرو عدد کے مساوی ایٹموں کی تعداد ہوتی ہے۔ اس لیے

$^{238}_{92}\text{U}$ میں ایٹموں کی تعداد ہوگی:

مثال 13.4

مثال 13.4

$$\frac{1}{238 \times 10^3} \text{ kmol} \times 6.025 \times 10^{26} \text{ atoms/kmol} \\ = 25.3 \times 10^{20} \text{ atoms}$$

تنزل کی شرح R ہے:

$$R = \lambda N \\ = \frac{0.693}{T_{1/2}} N = \frac{0.693 \times 25.3 \times 10^{20}}{1.42 \times 10^{17}} \text{ s}^{-1} \\ = 1.23 \times 10^4 \text{ s}^{-1} \\ = 1.23 \times 10^4 \text{ Bq}$$

مثال 13.5

مثال 13.5

β -تنزل سے گزرتے ہوئے ٹرائی ٹیم کی نصف زندگی 12.5y ہے۔ 25y سال بعد خالص ٹرائی ٹیم کی کتنی کسر بغیر تنزل ہوئے باقی بچے گی؟

حل

نصف زندگی کی تعریف کے مطابق آغازی نمونے کا نصف 12.5y سال بعد بغیر تنزل پذیر ہوئے باقی بچے گا۔ اگلے 12.5y برسوں میں ان میں سے نصف مرکزے تنزل پذیر ہوں گے۔ اس لیے آغازی خالص ٹرائی ٹیم کے نمونے کا ایک چوتھائی 25 سال بعد بغیر تنزل پذیر ہوئے باقی بچے گا۔

13.6.2 الفا تنزل (Alpha decay)

جب ایک نیوکلئس الفا تنزل سے گزرتا ہے تو وہ ایک الفا ذرہ (ایک ہیلیم نیوکلئس، ${}^4_2\text{He}$) خارج کر کے ایک مختلف نیوکلئس میں تبدیل ہو جاتا ہے۔ مثلاً جب ${}^{238}_{92}\text{U}$ الفا-تنزل سے گزرتا ہے تو وہ ${}^{234}_{90}\text{Th}$ میں تبدیل ہو جاتا ہے:



اس عمل میں، یہ مشاہدہ کیا گیا ہے کہ کیونکہ ${}^4_2\text{He}$ میں دو پروٹان اور دو نیوٹران ہوتے ہیں، اس لیے دختر نیوکلئس (daughter nucleus) کے کمیت عدد اور ایٹمی عدد میں، بالترتیب، 4 اور 2 کی کمی واقع ہوتی ہے۔ اس لیے ایک ${}_Z^AX$ نیوکلئس کی ${}_{Z-2}^{A-4}Y$ نیوکلئس میں تبدیلی کو ظاہر کیا جاسکتا ہے:



جہاں ${}_Z^AX$ مورث نیوکلئس (Parent nucleus) اور ${}_{Z-2}^{A-4}Y$ دختر نیوکلئس ہے۔

${}^{238}_{92}\text{U}$ کا الفا-تنزل از خود (spontaneous) (بغیر کسی خارجی توانائی وسیلے کے) ہو سکتا ہے، کیونکہ تنزل

ماہلات $^{234}_{90}\text{Th}$ اور ^4_2He کی کل کمیت آغازی $^{238}_{92}\text{U}$ کی کمیت سے کم ہے۔ اس لیے تنزل ماہلات (decay products) کی کل کمیت توانائی، آغازی نیوکلیائیڈ کی کمیت توانائی سے کم ہے۔ آغازی کمیت توانائی اور تنزل ماہلات کی اختتامی کمیت توانائی کے درمیان فرق کو عمل (process) کی Q ۔ قدر یا تکیہ توانائی (disintegration energy) کہتے ہیں۔ اس لیے ایک الفا تنزل کی Q ۔ قدر کو ظاہر کیا جاسکتا ہے:

$$Q = (m_x - m_y - m_{\text{He}}) c^2 \quad (13.21)$$

یہ توانائی دختر نیوکلیس $^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$ اور الفا ذرہ ^4_2He کے درمیان حرکی توانائی کی شکل میں تقسیم ہوتی ہے۔ الفا۔ تنزل، مساوات (13.14) اور مساوات (13.15) سے دیے جانے والے تاب کاری قانون کی پابندی کرتا ہے۔

مثال: 13.6

ہمیں مندرجہ ذیل ایٹمی کمیتیں دی ہوئی ہیں:

$$^{238}_{92}\text{U} = 238.05079 \text{ u} \quad ^4_2\text{He} = 4.00260 \text{ u}$$

$$^{234}_{90}\text{Th} = 234.04363 \text{ u} \quad ^1_1\text{H} = 1.00783 \text{ u}$$

$$^{237}_{91}\text{Pa} = 237.05121 \text{ u}$$

یہاں علامت Pa، عنصر پروٹاکٹینیئم (Protactinium) ($Z=91$) کے لیے ہے:

$$(a) \quad ^{238}_{92}\text{U} \text{ کے الفا تنزل کے دوران باہر نکلنے والی توانائی کا حساب لگائیے۔}$$

$$(b) \quad \text{دکھائیے کہ } ^{238}_{92}\text{U} \text{ ایک پروٹان از خود نہیں خارج کر سکتا۔}$$

حل

$$(a) \quad ^{238}_{92}\text{U} \text{ کا الفا۔ تنزل مساوات (13.20) سے دیا جاتا ہے۔ اس عمل میں باہر نکلنے والی توانائی ہوگی:}$$

$$Q = (M_{\text{U}} - M_{\text{Th}} - M_{\text{He}}) c^2$$

دیے ہوئے آنکڑوں کے مطابق ایٹمی کمیتیں رکھنے پر، ہمیں حاصل ہوتا ہے:

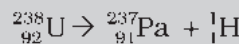
$$Q = (238.05079 - 234.04363 - 4.00260) \text{ u} \times c^2$$

$$= (0.00456 \text{ u}) c^2$$

$$= (0.00456 \text{ u}) (931.5 \text{ MeV/u})$$

$$= 4.25 \text{ MeV}$$

$$(b) \quad \text{اگر } ^{238}_{92}\text{U} \text{ ایک پروٹان کو از خود خارج کرتا ہے، تو تنزل۔ عمل ہوگا:}$$



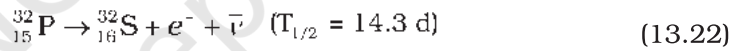
اس عمل کے ہونے کے لیے Q قدر ہوگی:

$$\begin{aligned} &= (M_{\text{L}} - M_{\text{He}} - M_{\text{H}}) c^2 \\ &= (238.05079 - 237.05121 - 1.00783) \text{ u} \times c^2 \\ &= (-0.00825 \text{ u}) c^2 \\ &= - (0.00825 \text{ u})(931.5 \text{ MeV/u}) \\ &= -7.68 \text{ MeV} \end{aligned}$$

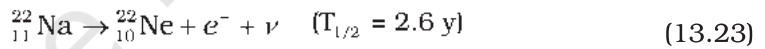
اس طرح اس عمل کی Q قدر منفی ہے، اس لیے یہ از خود نہیں ہو سکتا۔ $^{238}_{92}\text{U}$ کے ایک نیوکلیس سے ایک پروٹان خارج کرانے کے لیے ہمیں 7.68 MeV توانائی مہیا کرانی پڑے گی۔

13.6.3 بیٹا تنزل (Beta decay):

ایک نیوکلیس جو از خود طور پر ایک الیکٹران یا ایک پوزیٹران خارج کر کے تنزل پذیر ہوتا ہے، اسے بیٹا تنزل کے عمل سے گذرنے والا کہا جاتا ہے۔ الفا-تنزل کی طرح، یہ بھی ایک از خود عمل ہے۔ الفا-تنزل کے طرح ہی، بیٹا تنزل بھی ایک شماریاتی عمل (statistical process) ہے، جو مساوات (13.14) اور مساوات (13.15) کے تحت انجام پاتا ہے۔ بیٹا منفی (β^-) تنزل میں، نیوکلیس سے ایک الیکٹران خارج ہوتا ہے۔ جیسے $^{32}_{15}\text{P}$ کے تنزل میں:



بیٹا مثبت (β^+) تنزل میں، نیوکلیس سے ایک پوزیٹران خارج ہوتا ہے، جیسے $^{22}_{11}\text{Na}$ کے تنزل میں:



علامتیں $\bar{\nu}$ اور ν ، بالترتیب، اینٹی نیوٹرینو (anti neutrino) اور نیوٹرینو (neutrino) کو ظاہر کرتی ہیں۔ دونوں تعدیلی ذرات ہیں، جن کی کمیت بہت ہی خفیف یا نہیں کے مساوی ہوتی ہے۔ تنزل کے عمل کے دوران یہ ذرات نیوکلیس سے الیکٹران یا پوزیٹران کے ہمراہ خارج ہوتے ہیں۔ نیوٹرینو مادہ کے ساتھ صرف بہت کمزور پر ہی باہم عمل کرتے ہیں۔ وہ زمین سے بھی بغیر جذب ہوئے گذر سکتے ہیں۔ یہی وجہ ہے کہ انھیں شناخت کرنا بے حد مشکل ہے اور بہت عرصے تک ان کی موجودگی کا پتہ نہیں چل سکا۔

بیٹا-منفی تنزل میں، ایک، نیوٹران، پروٹان میں تبدیل ہوتا ہے (نیوکلیس کے اندر)، اس طور پر۔



جب کہ بیٹا-مثبت تنزل میں، ایک پروٹان، نیوٹران میں تبدیل ہوتا ہے (نیوکلیس کے اندر)، اس طور پر۔

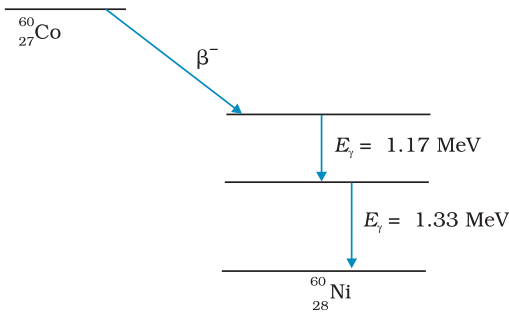


ان عملوں سے یہ ظاہر ہو جاتا ہے کہ ایک بیٹا-تنزل سے گذرنے والے نیوکلیڈ کا کمیت عدد کیوں نہیں تبدیل

ہوتا، اس کا ایک اجزائے ترکیبی نیوکلیونوں میں سے ایک صرف اپنی فطرت، مساوات (13.24) یا مساوات (13.25) کے مطابق، بدلتا ہے۔

13.6.4 گاما تنزل: (Gamma decay)

جس طرح ایٹم میں توانائی منازل ہوتی ہیں، بالکل اسی طرح نیوکلیس میں بھی توانائی منازل ہوتی ہیں۔ جب ایک



شکل 13.4: توانائی-منزل ڈائیگرام، جس میں نیوکلیس کے ذریعے مینا تنزل کے بعد ہونے والا γ کرنوں کا اخراج دکھایا گیا ہے۔

نیوکلیس ایک مشتعل حالت میں ہوتا ہے تو وہ برق-مقناطیسی اشعاع کا اخراج کر کے مقابلتاً کم توانائی حالت میں عبور کر سکتا ہے۔ کیونکہ ایک نیوکلیس کی توانائی منازل میں توانائی کے فرق MeV کے درجہ کے ہوتے ہیں، نیوکلیسوں سے خارج ہوئے فوٹانوں کی توانائی MeV توانائیاں ہوتی ہیں اور انھیں شعاعیں کہتے ہیں۔

زیادہ تر تاب کار نیوکلیائیڈ الفا تنزل یا مینا تنزل کے بعد دختر نیوکلیس کو ایک مشتعل حالت میں چھوڑتے ہیں۔ دختر نیوکلیس، حتیٰ حالت میں پہنچنے کے لیے کبھی ایک عبور اور کبھی لگاتار عبور کرتا ہے جس میں وہ ایک کرن یا کئی خارج کرتا ہے۔ اس طرح کے عمل کی ایک معروف مثال $^{60}_{27}\text{Co}$ کی ہے۔ مینا-اخراج کے ذریعے $^{60}_{27}\text{Co}$ نیوکلیس $^{60}_{28}\text{Ni}$ نیوکلیس میں تبدیل ہوتا ہے جو مشتعل حالت میں ہوتا ہے۔ اس طرح تشکیل ہوا مشتعل $^{60}_{28}\text{Ni}$ نیوکلیس پھر 1.17 MeV اور 1.33 MeV کی γ -کرنوں کے ترتیب وار اخراج کے ذریعے اپنی حتیٰ حالت میں غیر مشتعل ہوتا ہے۔ یہ عمل شکل 13.4 میں ایک توانائی منزل ڈائیگرام کے ذریعے دکھایا گیا ہے۔

13.7 نیوکلیائی توانائی (NUCLEAR ENERGY)

شکل 13.1 میں دیے ہوئے بندش توانائی فی نیوکلیون E_{bind} منحنی میں ایک لمبا ہموار درمیانی علاقہ $A = 30$ اور $A = 170$ کے درمیان پایا جاتا ہے۔ اس علاقے میں بندش توانائی فی نیوکلیون قریب قریب مستقل ہے، (8.0 MeV)۔ مقابلتاً ہلکے نیوکلیائی علاقے $A < 30$ کے لیے اور مقابلتاً بھاری نیوکلیائی علاقے $A > 170$ کے لیے بندش توانائی فی نیوکلیون 8.0 MeV سے کم ہے، جیسا کہ ہم پہلے بھی نوٹ کر چکے ہیں۔ بندش توانائی منحنی کی اس خاصیت کا مطلب ہے کہ درمیانی علاقے $30 \leq A \leq 170$ میں مرکزے $A < 30$ اور $A > 170$ والے مرکزوں کے مقابلے میں زیادہ سختی سے بندھے ہوتے ہیں۔ اس لیے اگر مقابلتاً کم مضبوطی سے بندھے ہوئے نیوکلیون کا مقابلتاً زیادہ مضبوطی سے بندھے ہوئے نیوکلیون میں تحول (Transmutation) کیا جاسکے تو توانائی باہر نکلے گی۔ ایسے دو عمل، جن کا ذکر ہم پہلے ہی کر چکے ہیں، انشقاق اور گداخت ہیں۔

توانائی کے عام ماخذوں جیسے کونسلہ یا پٹرولیم، میں توانائی کیمیائی تعامل کے ذریعے خارج ہوتی ہے۔ اس لیے شمول توانائیاں الیکٹران وولٹ فی ایٹم کے درجے کی ہوتی ہیں۔ جیسا کہ ہم دیکھ چکے ہیں کہ نیوکلیائی عملوں میں شامل توانائیاں اس سے دس لاکھ گنا (MeV فی نیوکلیون کی) زیادہ ہوتی ہیں۔ اس کا مطلب ہوا کہ مادہ کی یکساں مقدار کے ساتھ، نیوکلیائی ماخذ، عام ماخذوں کے مقابلے میں دس لاکھ گنا زیادہ توانائی فراہم کریں گے۔ کونسلے کے ایک گرام کو جلانے پر توانائی حاصل ہوتی ہے، جبکہ یورینیم کے ایک کلوگرام سے، جو انشقاق (Fission) کے عمل سے گذرتا ہے، اس کے انشقاق کے ذریعے توانائی کے 10^{11} J پیدا ہوں گے۔

13.7.1 انشقاق (Fission)

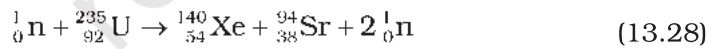
چڈوک کے ذریعے نیوٹران دریافت کیے جانے کے بعد جلد ہی ایزکوفرمی (Enrico Fermi) نے یہ معلوم کیا کہ جب مختلف عناصر پر نیوٹرانوں کی بمباری کی جاتی ہے تو نئے تابکار عناصر پیدا ہوتے ہیں۔ لیکن جب ایک یورینیم ہدف پر ایک نیوٹران سے بمباری کی گئی تو یورینیم نیوکلیس دو تقریباً مساوی جڑوں میں ٹوٹ گیا اور ساتھ ہی توانائی کی بڑی مقدار رہا ہوئی۔ ایسے تعامل کی ایک مثال ہے۔



انشقاق میں ہمیشہ بیریم اور کرپٹون ہی نہیں بنتے ہیں۔ ایک مختلف جوڑا بھی پیدا ہو سکتا ہے، مثلاً



ایک اور مثال ہے۔



انشقاق میں پیدا ہوئے اجزا مرکزے بہت نیوٹران۔ افزودہ (Neutron rich) ہوتے ہیں اور بہت زیادہ مستحکم ہوتے ہیں۔ یہ تابکار ہوتے ہیں اور لگاتار بیٹا ذرات خارج کرتے ہیں، یہاں تک کہ ہر ایک جز ایک مستحکم اختتامی حاصل (end product) تک پہنچ جاتا ہے۔

یورینیم جیسے نیوکلیسوں کے انشقاق تعامل میں رہا ہونے والی توانائی (Q قدر)، 200 MeV فی انشقاق پذیر نیو کلیس کے درجے کی ہوتی ہے۔ اس کا تخمینہ مندرجہ ذیل طریقے سے لگایا جاتا ہے۔

ہم ایک نیوکلیس لیتے ہیں جس کا کمیت عدد $A = 240$ ہے جو دو اجزاء میں ٹوٹتا ہے، ہر جز کا کمیت عدد $A = 120$ ہے۔

تب

$$A = 240 \text{ نیوکلیس کے لیے } E_{\text{nu}} \text{ تقریباً } 7.6 \text{ MeV ہے۔}$$

$$A = 120 \text{ کے دو نیوکلیسوں کے لیے } E_{\text{nu}} \text{ تقریباً } 8.5 \text{ MeV ہے۔}$$

$$\text{نیوکلیون کے لیے بندش توانائی کا حصول تقریباً } 0.9 \text{ MeV ہے۔}$$

$$\text{اس لیے بندش توانائی کا کل حصول } 240 \times 0.9 \text{ یا } 216 \text{ MeV ہے۔}$$

13.7.2 نیوکلیائی ری ایکٹر (Nuclear reactor)

ہندوستان کا ایٹمی توانائی پروگرام

556

اینڈھن استعمال کیا جاتا ہے۔ جیسا کہ نام سے ظاہر ہے، ایک ریسرچ ری ایکٹر کا بنیادی مقصد پاور پیدا کرنا نہیں ہے بلکہ نیوکلیائی سائنس اور ٹکنولوجی کے مختلف پہلوؤں پر ریسرچ کی سہولیات فراہم کرنا ہے۔ ریسرچ ری ایکٹر، مختلف قسم کے تابکار ہم جاتیار کرنے کے بھی بہترین وسیلے ہیں جن کا استعمال مختلف النوع میدانوں: صنعت، ادویات، ذراعت، میں کیا جاتا ہے۔

ہندوستانی ایٹمی توانائی پروگرام کے خاص مقاصد ہیں: ملک کی سماجی اور معاشی ترقی کے لیے محفوظ اور قابل بھروسہ برقی پاور مہیا کرنا اور نیوکلیائی ٹکنولوجی کے تمام پہلوؤں میں خود کفیل ہو سکرنا۔ ہندوستان میں ایٹمی معدنیات کی تلاش کاری کے کام نے، جس کا آغاز بیسویں صدی کی پانچویں دہائی کے شروعاتی برسوں میں ہو گیا تھا، یہ نشاندہی کر دی ہے کہ ہندوستان میں یورینیم کے محدود ذخیرے ہیں۔ لیکن تھوریم کے ذخیرے اچھے خاصے ہیں۔ اس کے مطابق ہمارے ملک میں نیوکلیائی پاور پیدا کرنے کی تین مرحلوں پر مبنی حکمت عملی اختیار کی گئی ہے۔ پہلے مرحلے میں یورینیم کو بہ طور اینڈھن اور اس کے ساتھ بھاری پانی کو بہ طور اعتدال کار استعمال کرنا شامل ہے۔ پھر ری ایکٹروں کے خارج شدہ اینڈھن کی باز عمل کاری سے حاصل ہوا پلوٹونیم-239 پھر دوسرے مرحلے میں تیز رفتار تخیلی ری ایکٹر (Breeder reactor) کے لیے بہ طور اینڈھن استعمال کیا جاتا ہے۔ ان کا یہ نام اس لیے ہے کہ کیونکہ ان میں زنجیر عمل کو قائم رکھنے کے لیے تیز رفتار نیوٹران استعمال کیے جاتے ہیں (اور اس لیے کسی اعتدال کار کی ضرورت نہیں پیش آتی) اور پاور پیدا کرنے کے علاوہ یہ اس سے زیادہ قابل انشفاق انواع (پلوٹونیم) پیدا کرتے ہیں جتنی وہ استعمال کرتے ہیں۔ تیسرے مرحلے میں جو وسیع مدت کے لیے سب سے زیادہ اہم ہے تیز رفتار تخیلی ری ایکٹروں کو استعمال کر کے تھوریم-232 سے قابل انشفاق یورینیم-223 پیدا کرنا اور اس پر مبنی پاور ری ایکٹر تیار کرنا شامل ہیں۔

ہندوستان اس وقت پروگرام کے دوسرے مرحلے میں کافی حد تک داخل ہو چکا ہے اور تیسرے مرحلے کے لیے بھی قابل لحاظ کام کیا جا چکا ہے۔ یعنی کہ تھوریم کے استعمال کرنے کے مرحلے کے لیے ملک نے معدنیات کی تلاش کاری اور کان کنی (Mining) اینڈھن سازی (Fuel Fabrication) بھاری پانی پیدا کرنا، ری ایکٹر ڈیزائن، اس کی تعمیر اور اسے استعمال کرنے، اینڈھن کی باز عمل کاری وغیرہ کی پیچیدہ ٹکنولوجی پر عبور حاصل کر لیا ہے۔ داب شدہ بھاری پانی ری ایکٹر [Pressurised Heavy Water Reactors (PHWRs)] ملک کے مختلف مقامات پر تعمیر کے جا چکے ہیں جو پہلے مرحلے کے بخوبی مکمل ہونے کی نشاندہی کرتے ہیں۔ اب ہندوستان بھاری پانی میں پیدا کرنے میں نہ صرف خود کفیل ہے بلکہ اس سے بھی آگے بڑھ چکا ہے۔ ری ایکٹروں کے ڈیزائن اور ان کی عمل کاری کے لیے کیے گئے بہترین حفاظتی انتظامات اور شعاعیاتی تحفظ کے سخت معیاروں کی پابندی ہندوستانی ایٹمی توانائی پروگرام کے امتیاز ہیں۔

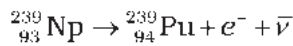
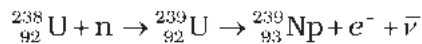
لیکن جلد ہی یہ دریافت ہو گیا کہ ایک یورینیم نیوکلیس کے انشفاق میں آزاد ہوئے نیوٹران اتنے توانا (energetic) ہوتے ہیں کہ وہ دوسرے انشفاق تعامل کو شروع کرنے کے بجائے باہر نکل جاتے ہیں۔ یہ بھی معلوم ہوا کہ آہستہ (کم رفتار) نیوٹرانوں میں تیز رفتار نیوٹرانوں کے مقابلے میں $^{235}_{92}\text{U}$ میں انشفاق پیدا کرنے کا داخلی امکان کہیں زیادہ ہوتا ہے۔ $^{235}_{92}\text{U}$ کے انشفاق میں پیدا ہوئے ایک نیوٹران کی اوسط توانائی 2MeV ہے۔ ان نیوٹرانوں کو جب تک آہستہ رو

نہ کیا جائے یہ یورینیم کے نیوکلیسوں سے باہمی عمل کرنے کے بجائے ری ایکٹر سے باہر نکل جاتے ہیں یا پھر زنجیر عمل کو برقرار رکھنے کے لیے قابل اشتقاق مادے کے بہت زیادہ مقدار استعمال کرنی پڑتی ہے۔ ہمیں یہ کرنا ہوگا کہ ہلکے نیوکلیسوں سے چک دار تصادم کرا کے ان تیز رفتار نیوٹرانوں کو آہستہ رو بنائیں۔ دراصل چاڈوک کے تجربات سے یہ ظاہر ہو گیا تھا کہ ہائیڈروجن سے چک دار تصادم کرنے کے بعد نیوٹران تقریباً حالت سکون میں آ جاتا ہے اور پروٹان کو ساری توانائی مل جاتی ہے۔ یہ وہی صورت حال ہے جو ایک ماربل کے دوسرے متماثل ماربل سے، جو حالت سکون میں ہو، براہ راست (Head-on) ٹکرائے میں ہوتی ہے۔ اس لیے ری ایکٹروں میں قابل اشتقاق نیوکلیسوں کے ساتھ ساتھ ہلکے نیوکلیس بھی، جو اعتدال کار کہلاتے ہیں، تیز رفتار نیوٹرانوں کی رفتار کم کرنے کے لیے مہیا کیے جاتے ہیں۔ عام طور سے استعمال ہونے والے اعتدال کار پانی، بھاری پانی (D₂O) اور گریفائٹ ہیں۔ بھائیٹامک ریسرچ سینٹر (BARC) ممبئی کے ایسری ایکٹر میں پانی بہ طور اعتدال کار استعمال ہوتا ہے۔ دوسرے ہندوستانی ری ایکٹروں میں جو پاور پیدا کرنے کے لیے استعمال کیے جاتے ہیں اعتدال کار کے بہ طور بھاری پانی استعمال کیا جاتا ہے۔

اعتدال کار کے استعمال کرنے سے یہ ممکن ہو جاتا ہے کہ نیوٹران کی دی ہوئی نسل کے ذریعے پیدا ہوئے اشتقاق کی تعداد کی نیوٹرانوں کی اس سے پچھلی نسل کے ذریعے پیدا ہوئے اشتقاق کی تعداد سے نسبت 1، K سے زیادہ ہو جائے۔ یہ نسبت ضرب جز ضربیہ (Multiplication factor) کہلاتا ہے۔ یہ ری ایکٹر میں نیوٹرانوں کی شرح نمود کی پیمائش ہے۔ K = 1 کے لیے ری ایکٹر کی عمل کاری (Operation) فاصل (Critical) کہلاتی ہے۔ اور ہم قایم پاور عمل کاری کے لیے یہی چاہتے ہیں۔ اگر K ایک سے زیادہ ہو جائے تو تعامل کی شرح اور ری ایکٹر پاور میں قوت نمائی طور پر اضافہ ہوتا ہے۔ جب تک کہ جز ضربیہ K کو 1 کے بے حد نزدیک نہ لایا جائے، ری ایکٹر اعلیٰ فاضل (Supercritical) ہو جائے گا اور وہ پھٹ بھی سکتا ہے۔ 1986 میں اریکین (UKrain) میں چرنوبائل (Chernobyl) ری ایکٹر کا دھماکہ اسی صدمے کی یاد دلاتا ہے کہ ایک نیوکلیائی ری ایکٹر بلائے ناگہانی بھی ہو سکتا ہے۔

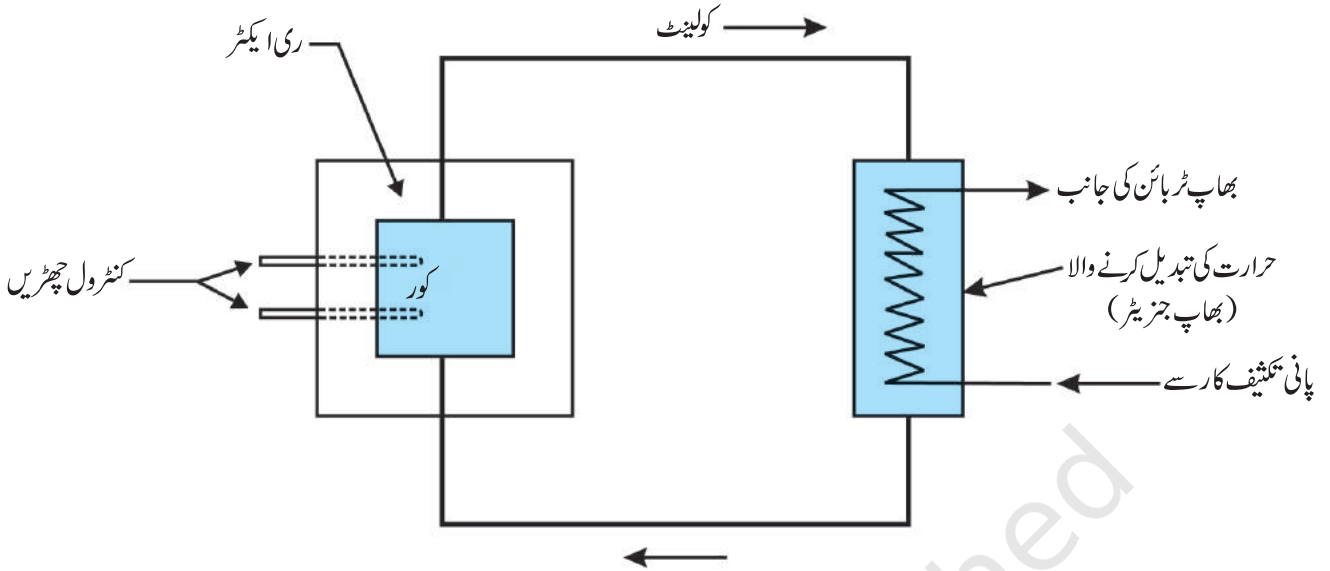
تعال کی شرح کو کنٹرول چھڑوں کے ذریعے کنٹرول کیا جاتا ہے جو نیوٹران جاذب مادے، جیسے کیڈمیم، کی بنی ہوتی ہیں۔ کنٹرول چھڑوں کے علاوہ ری ایکٹروں میں حفاظتی چھڑیں بھی مہیا کی جاتی ہیں جو ضرورت پڑنے پر ری ایکٹر میں داخل کی جاسکتی ہیں اور K کو تیزی سے ایک سے کم کیا جاسکتا ہے۔

بہ کثر پایا جانے والا $^{238}_{92}\text{U}$ ہم جاس کا اشتقاق نہیں ہوتا، ایک نیوٹران مقید کر کے پلوٹونیم بناتا ہے۔ اس میں شامل تعاملات کا سلسلہ ہے۔



(13.29)

پلوٹونیم بہت زیادہ تابکار ہے اور آہستہ رو نیوٹرانوں کی بمباری کے ذریعے اس کا اشتقاق کرایا جاسکتا ہے۔



شکل 13.5: تھرمل نیوٹران انشتقاق پڑنی نیوکلیائی ری ایکٹر کے باہری خطوط

دب شدہ۔ پانی ری ایکٹر پڑنی ایک مخصوص نیوکلیائی پاور پلانٹ کے موٹے موٹے بیرونی خطوط شکل 13.5 میں دکھائے گئے ہیں۔ اس قسم کے ری ایکٹر میں پانی کو اعتدال کار اور حرارت منقلی واسطے، دونوں کے بہ طور، استعمال کیا جاتا ہے۔ ابتدائی حلقے میں پانی کوری ایکٹر برتن میں گھمایا جاتا ہے اور یہ اعلیٰ درجہ حرارت اور دباؤ پر بھاپ جنریٹر کو توانائی منتقل کرتا ہے۔ (تقریباً 600k اور 150 atm پر) جو کہ ثانوی حلقے کا حصہ ہے۔ بھاپ جنریٹر میں تبخیر (evaporation) کے ذریعے برقی جنریٹر کو چلانے والی ٹربائن کی عمل کاری کے لیے اعلیٰ داب بھاپ مہیا کی جاتی ہے۔ ٹربائن سے نکلنے والی کم داب والی بھاپ کو ٹھنڈا کر کے اس کی پانی میں تکثیف (Condensed) کر لی جاتی ہے اور اسے بھاپ جنریٹر میں واپس بھیج دیا جاتا ہے۔

نیوکلیائی تعاملات میں رہا ہونے والی توانائی، کیمیائی تعاملات میں رہا ہونے والی توانائی سے دس لاکھ گنا زیادہ ہوتی ہے۔ اس لیے نیوکلیائی ری ایکٹروں کو درکار ایندھن کی مقدار، اسی پاور گنجائش کے کیمیائی ری ایکٹروں کو درکار ایندھن کی مقدار کے مقابلے میں دس لاکھ گنا کم ہوتی ہے۔ $^{235}_{92}\text{U}$ کا ایک کلوگرام مکمل انشتقاق کے ذریعے تقریباً $3 \times 10^4 \text{ MW}$ پیدا کرتا ہے۔ لیکن نیوکلیائی تعاملات میں بہت زیادہ تاب کار عناصر لگا تار پیدا ہوتے رہتے ہیں۔ اس لیے ری ایکٹروں کی عمل کاری کی ایک ایسی خاصیت، جس سے بچنا ممکن نہیں ہے، تاب کار فضلے کا اکٹھا ہونا ہے، جس میں انشتقاق حاصل اور ورائے یورینیم، عناصر جیسے پلوٹونیم اور ایرمیکیم، دونوں شامل ہیں۔

تاریخی اعتبار سے توانائی کیمیائی تعاملات استعمال کر کے پیدا کی جاتی رہی ہے جیسے کوئلے، لکڑی، گیس اور پٹرولیم محصولات کو جلا کر۔ ان سے پیدا ہونے والی ماحولیاتی آلودگی سنجیدہ مسائل پیدا کر رہی ہے۔ جیسے سبز گھراثر جو عالمی گرمی

(Global warming) کی جانب لے جا رہا ہے۔ نیوکلیائی پاور اسٹیشن میں درپیش مسئلہ یہ ہے کہ استعمال شدہ ایندھن بہت زیادہ تابکار ہوتا ہے اور کرہ ارض پر پائے جانے والے تمام جانداروں کے لیے نہایت خطرناک ہے۔ اس لیے ری ایکٹر کی عمل کاری اور استعمال شدہ ایندھن کو برتنے اور باز عمل کاری دونوں کے لیے تفصیلی حفاظتی انتظامات درکار ہیں۔ یہ حفاظتی انتظامات ہندوستانی ایٹمی توانائی پروگرام کی امتیازی خاصیتیں ہیں۔ تابکار فضلے (radioactive waste) کو مقابلہ تاکم تابکار اور کم مدت تک باقی رہنے والے مادے میں تبدیل کرنے کے امکانات کا مطالعہ کرنے کے لیے ایک مناسب منصوبہ تیار کیا جا رہا ہے۔

13.7.3 نیوکلیائی گداخت - تاروں میں توانائی کا پیدا ہونا

(Nuclear fusion – energy generation in stars)

شکل 13.1 میں دکھائے گئے بندش توانائی منحنی سے یہ ظاہر ہوتا ہے کہ اگر دو ہلکے نیوکلیوں کے اجتماع کے ذریعے ایک واحد مقابلہ بڑا نیوکلیس تشکیل کیا جائے تو توانائی رہا ہو سکتی ہے، ایک عمل جو نیوکلیائی گداخت (Nuclear Fusion) کہلاتا ہے۔ ایسے توانائی آزاد کرنے والے تعاملات کی کچھ مثالیں ہیں۔

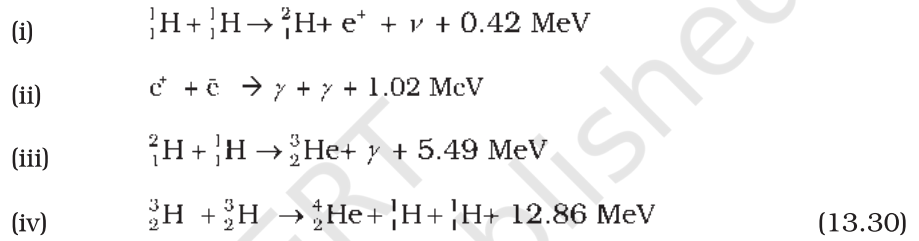


تعال [13.29(a)] میں دو پروٹان مل کر ایک ڈیوٹران اور ایک پوزیٹرون تشکیل دیتے ہیں اور ساتھ ہی 0.42 MeV توانائی رہا ہوتی ہے۔ تعال [13.29(b)] میں دو ڈیوٹرانوں کے اتحاد کے ذریعے ہیلیم کا ہلکا ہم جات تشکیل پاتا ہے۔ تعال [13.29(c)] میں دو ڈیوٹران متحد ہو کر ایک ٹرائی ٹان اور ایک پروٹان تشکیل پاتے ہیں۔ ان تمام تعاملات میں ہم پاتے ہیں کہ دو مثبت چارج شدہ ذرات متحد ہو کر ایک مقابلہ بڑا نیوکلیس تشکیل دیتے ہیں۔ یہ ضرور دھیان رکھنا چاہیے کہ اس طرح کے عمل میں کولمب دفاع ضرور کاوٹ پیدا کرے گا۔ کیونکہ کولمب دفاع دو مثبت چارج شدہ ذرات کو ایک دوسرے کے اتنے نزدیک آنے سے روکنے کی کوشش کرتا ہے کہ وہ کششی نیوکلیائی قوتوں کی سعت کے اندر آجائیں اور ان کا گداخت ہو سکے۔ اس کولمب بیریر (کولمب روک Coulomb barrier) کی اونچائی باہم عمل کرنے والے دونوں نیوکلیوں کے چارج اور ان کے نصف قطر کے تابع ہے۔ یہ بہ آسانی دکھایا جاسکتا ہے کہ دو پروٹانوں کے لیے روک اونچائی ہے: 400 keV ~ زیادہ چارج شدہ نیوکلیوں کے لیے روک اونچائی اور زیادہ ہوگی۔ وہ درجہ حرارت جس پر ایک پروٹان گیس کے پروٹانوں میں اتنی توانائی ہوگی جو کولمب کی روک کو عبور کرنے کے لیے کافی ہو، دیا جاتا ہے۔

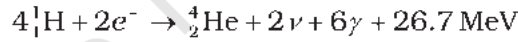
اور یہ تقریباً $3 \times 10^9 \text{ K}$ ہے۔

توانائی کی کارآمد مقدار پیدا کرنے کیلئے، نیوکلیائی گداخت لازمی طور پر جی مادے میں ہونا چاہیے۔ ضرورت اس بات کی ہے کہ مادہ کا درجہ حرارت اس حد تک بڑھایا جائے کہ ذرات میں اتنی توانائی ہو۔ صرف اپنی حرارتی حرکت کی وجہ سے ہی۔ کہ وہ کولمب روک کے اندر داخل ہو سکیں۔ یہ عمل حرارتی نیوکلیائی گداخت کہلاتا ہے۔

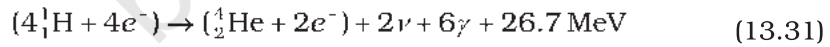
سورج کے قالب کا درجہ حرارت بھی تقریباً 1.5×10^7 K ہے۔ اس لیے سورج میں بھی گداخت کا عمل ہونے کے لیے ضروری ہے کہ اس میں وہ پروٹان شامل ہوں جن کی توانائی اوسط توانائی سے کہیں زیادہ ہو۔ اس لیے حرارتی نیوکلیائی گداخت کے ہو سکنے کے لیے درجہ حرارت اور دباؤ کی سخت شرائط کو پورا کیا جانا ضروری ہے، جو درجہ حرارت اور دباؤ کی قدریں ستاروں (جس میں سورج بھی شامل ہے) کے اندرونی حصوں میں ہی دستیاب ہیں۔ ستاروں میں توانائی حرارتی نیوکلیائی گداخت کے ذریعے ہی پیدا ہوتی ہے۔ سورج میں ہونے والا گداخت تعامل ایک کثیر۔ قدم عمل ہے، جس میں ہائیڈروجن کے احتراق کے ذریعے ہیلیم بنتا ہے، ہائیڈروجن ایندھن ہوتا ہے اور ہیلیم 'راکھ' (ashes)۔ پروٹان۔ پروٹان (P,P) دور جس کے ذریعے یہ عمل ہوتا ہے، مندرجہ ذیل مساواتوں کے سیٹ سے ظاہر کیا جاتا ہے:



چوتھے تعامل کے ہو سکنے کے لیے، پہلے تینوں تعاملات کا دو دو مرتبہ ہونا ضروری ہے، اس صورت میں دو ہلکے ہیلیم مرکزے متحد ہو کر عام ہیلیم یا ہیلیم نیوکلیس تشکیل دیتے ہیں۔ اگر ہم اجتماع: (iv) + 2(iii) + 2(ii) + 2(i) لیں، تو مجموعی اثر ہے:



یا



اس طرح، چارج ہائیڈروجن ایٹم متحد ہو کر ایک ${}^4_2\text{He}$ ایٹم تشکیل دیتے ہیں اور 26.7 MeV کی توانائی رہا ہوتی ہے۔ سورج کے قالب میں ہائیڈروجن کا احتراق ایک بڑے پیمانے پر اس لحاظ سے کیمیا (alchemy) ہے کہ ایک عنصر دوسرے عنصر میں تبدیل ہو جاتا ہے۔ یہ عمل تقریباً 5×10^9 سے جاری ہے اور تحسیبات سے یہ ظاہر ہوتا ہے کہ سورج میں اب بھی اتنی ہائیڈروجن باقی ہے جو اس عمل کو تقریباً اتنی ہی مدت تک مستقبل میں جاری رکھنے کے لیے کافی ہوگی۔ لیکن تقریباً 50 کھرب (5 billion) برسوں میں سورج کا قالب، جو اس وقت تک زیادہ تر ہیلیم ہوگا، ٹھنڈا ہونا شروع کر دے گا اور سورج اپنی ہی مادی کشش کے زیر اثر ڈھیر ہو جائے گا۔ اس سے قالب کے درجہ حرارت میں اضافہ ہوگا اور اس کی وجہ سے باہری لفافہ پھیلنا شروع کر دے گا، اور آخر کار سورج ایک 'سرخ دیو' (red giant) کہی جانے والی شکل میں تبدیل ہو جائے گا۔

اگر قالب کا درجہ حرارت بڑھ کر دوبارہ 10^8 K تک پہنچ جاتا ہے تو ایک بار پھر گداخت کے ذریعے توانائی پیدا کی جاسکتی ہے۔ اب ہیلیم کا کاربن میں احتراق کر کے۔ جیسے جیسے ایک ستارہ کا مزید ارتقا ہوتا ہے اور وہ مزید گرم ہوتا جاتا ہے، دیگر گداخت تعاملوں کے ذریعے دوسرے عناصر تشکیل پاسکتے ہیں۔ لیکن شکل 13.1 میں دکھائے گئے بندش توانائی کے فراز کے نزدیک والے عناصر کی کمیت سے زیادہ کمیت والے عناصر مزید گداخت کے ذریعے نہیں پیدا کیے جاسکتے۔ ستاروں میں توانائی، حرارتی۔ نیوکلیائی گداخت کے ذریعے پیدا ہوتی ہے۔

نیوکلیائی غارت گری (NUCLEAR HOLOCAUST)

ایک واحد یورینیم انشقاق میں تقریباً $0.9 \times 235 \text{ MeV}$ ($\approx 200 \text{ MeV}$) آزاد ہوتی ہے۔ اگر تقریباً 50 U^{235} کے ہر نیوکلیس کا انشقاق ہو تو اس عمل میں تقریباً $4 \times 10^{15} \text{ J}$ توانائی کی مقدار شامل ہوگی۔ یہ توانائی TNT کے تقریباً 20,000 ٹن کے معادل ہے، جو کہ ایک اعلا دھماکے (super explosion) کے لیے کافی ہے۔ نیوکلیائی توانائی کی بڑی مقدار کے بے قابو طور پر رہا ہونے کو ایک ایٹمی دھماکہ کہتے ہیں۔ 6 اگست 1945 کو پہلی بار جنگ میں ایٹمی آلہ استعمال کیا گیا۔ امریکا نے ہروشیما، جاپان پر ایک ایٹم بم گرایا۔ یہ دھماکہ TNT کے 20,000 ٹن کے معادل تھا۔ اس کے گرتے ہی تاب کار ماحصلات نے شہر کے 10 Sq. Km. کو تباہ کر دیا، جس میں 3,43,000 افراد کی آبادی تھی۔ اس میں 66,000 افراد مارے گئے اور 69,000 زخمی ہوئے، شہر کی تعمیرات میں سے 67% سے زیادہ تباہ ہو گئیں۔

گداخت تعاملات کے لیے اعلیٰ درجہ حرارت کی صورتیں ایک انشقاق بم کے دھماکے کے ذریعے پیدا کی جاسکتی ہیں۔ اعلیٰ دھماکوں کی جانچ جو TNT کے 10 میگا ٹنوں کی دھماکہ خیز پاور کے معادل تھے، 1954 میں کی گئی۔ ایسے بم جن میں ہائیڈروجن، ڈیوٹیریم اور ٹرائٹیئم کا گداخت شامل ہوتا ہے، ہائیڈروجن بم کہلاتے ہیں۔ یہ تخمینہ لگایا گیا ہے کہ اس وقت اتنا نیوکلیائی اسلحہ موجود ہے جو اس سیارے پر پائی جانے والی زندگی کی ہر قسم کو ختم کرنے کے لیے درکار اسلحہ سے کئی گنا زیادہ ہے اور جسے ایک بٹن کو دبا کر استعمال کیا جاسکتا ہے۔ اس طرح کی نیوکلیائی غارت گری نہ صرف یہ کہ اس زندگی کو ختم کر دے گی جو اس وقت موجود ہے بلکہ ہمیشہ کے لیے اس زمین کو اس قابل نہیں رہنے دے گی کہ اس پر کسی قسم کی زندگی پنپ سکے۔ نظری تحسیبات پر مبنی منظر نامے ایک طویل نیوکلیائی سرما (Long Nuclear winter) کی پیشن گوئی کرتے ہیں، جب تاب کار فضلہ زمین کے کرہ باد میں بادل کی طرح چھا جائے گا اور سورج کی شعاعوں کو جذب کر لے گا۔

13.7.4 کنٹرول حرارتی۔ نیوکلیائی گداخت (Controlled thermonuclear fusion)

زمین پر پہلا حرارتی نیوکلیائی تعامل اپنی ویٹوٹول (Eniwetok Atoll) میں 1 نومبر 1952 میں ہوا جب امریکہ نے ایک گداخت آلے کا دھماکہ کیا، جس سے TNT کے 10 ملین ٹن کے معادل توانائی پیدا ہوئی (TNT کے ایک ٹن کے پھٹنے سے $2.6 \times 10^{22} \text{ MeV}$ کی توانائی رہا ہوتی ہے)۔

گداخت پاور حاصل کرنے کے ایک برقرار رکھا جاسکے والا اور قابل کنٹرول وسیلے کا حصول کافی مشکل ہے۔ دنیا بھر میں کئی ممالک میں (جن میں ہندوستان بھی شامل ہے) اس کی کوششیں ہو رہی ہیں کیونکہ گداخت ری ایکٹر کو مستقبل کا پاور وسیلہ سمجھا جاتا ہے۔

مثال 13.7: مندرجہ ذیل سوالات کے جواب دیجیے:

- (a) کیا نیوکلیائی تعاملات کی مساواتیں (جیسے حصہ 13.7 میں دی گئی مساواتیں) اسی طور پر متوازن ہیں جس طور پر ایک کیمیائی مسات (مثلاً $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$) متوازن ہوتی ہے؟ اگر نہیں تو وہ دونوں جانب کسی طور پر متوازن ہیں؟
- (b) اگر ہر نیوکلیائی تعامل میں پروٹانوں کی تعداد اور نیوٹرانوں کی تعداد، دونوں کی بقا ہو تو ایک نیوکلیائی تعامل میں کمیت توانائی میں (اور اس کے برعکس بھی) کیسے تبدیل ہوگی؟
- (c) ایک عام خیال یہ پایا جاتا ہے کہ کمیت توانائی کی باہمی منتقلی صرف نیوکلیائی تعامل میں ہوتی ہے اور کیمیائی تعامل میں کبھی نہیں ہوتی۔ بالکل درست طور پر کہیں تو یہ درست نہیں ہے۔ وضاحت کیجیے۔

حل

- (a) ایک کیمیائی تعامل اس لحاظ سے متوازن ہوتا ہے کہ مساوات کی دونوں جانب ہر عنصر کے ایٹموں کی تعداد یکساں ہوتی ہے۔ ایک کیمیائی تعامل صرف ایٹموں کے آغازی اتحاد کو تبدیل کرتا ہے۔ ایک نیوکلیائی تعامل میں عناصر کا تحول (Transmutation) بھی ہو سکتا ہے۔ اس لیے ایک نیوکلیائی تعامل میں ضروری نہیں ہے کہ ہر عنصر کے ایٹموں کی تعداد کی بقا ہو۔ لیکن ایک نیوکلیائی تعامل میں پروٹانوں کی تعداد اور نیوٹرانوں کی تعداد دونوں کی الگ الگ تعداد کی بقا ہوتی ہے۔ [در اصل یہ بھی بالکل درست طور پر بہت اعلیٰ توانائیوں کے لیے صادق نہیں آتا جس کی بالکل درست طور پر بقا ہوتی ہے وہ ہے کل چارج اور کل بیریان عدد (Baryon Number)۔ یہاں ہم اس معاملے سے مزید بحث نہیں کریں گے] نیوکلیائی تعاملات میں (مثلاً مساوات 13.26) مساوات کے دونوں جانب پروٹانوں کی تعداد اور نیوٹرانوں کی تعداد یکساں ہے۔

- (b) ہم جانتے ہیں کہ ایک نیوکلیس کی بندش توانائی نیوکلیس کی کمیت میں ایک منفی حصہ لیتی ہے۔ (کمیت کمی) اب کیونکہ ایک نیوکلیائی تعامل میں پروٹان عدد اور نیوٹران عدد کی بقا ہوتی ہے، نیوٹرانوں اور پروٹانوں کی کل سکونی کمیت ایک تعامل کی دونوں جانب یکساں ہوتی ہے۔ لیکن یہ ضروری نہیں ہے کہ بائیں جانب کے نیوکلیسوں کی کل بندش توانائی دائیں جانب کے نیوکلیسوں کی بندش توانائی کے مساوی ہو۔ ان بندش توانائیوں کے درمیان فرق ایک نیوکلیائی تعامل میں رہا ہوئی یا جذب ہوئی توانائی کی شکل میں ظاہر ہوتا ہے۔ کیونکہ بندش توانائی کمیت میں حصہ لیتی ہے ہم کہتے ہیں کہ دونوں طرف نیوکلیسوں کی کل کمیت کا فرق توانائی میں تبدیل ہوتا ہے، یا اس کے برخلاف بھی۔ ان معنوں میں ایک نیوکلیائی تعامل کمیت۔ توانائی باہمی تبدیلی کی مثال ہے۔

(c) کمیت۔ توانائی باہمی تبدیلی کے نظریہ سے ایک کیمیائی تعامل اصولی طور پر اور ایک نیوکلیائی تعامل یکساں ہیں۔ ایک کیمیائی تعامل میں رہائی یا جذب ہوئی توانائی تعامل کے دونوں جانب ایٹموں اور مالیکیولوں کی کیمیائی (نیو کلیائی ہیں) بندش توانائیوں کے فرق سے جوڑی جاسکتی ہے۔ کیونکہ اگر بالکل درست طور پر کہا جائے تو کیمیائی بندش توانائی کا بھی ایک ایٹم یا ایک مالیکیول کی کمیت میں منفی حصہ ہوتا ہے۔ ہم مساوی طور پر یہ بھی کہہ سکتے ہیں کہ ایک کیمیائی تعامل کے دونوں جانب ایٹموں یا مالیکیولوں کی کل کمیت کا فرق توانائی میں تبدیل ہوتا ہے یا اس کے برخلاف بھی۔ لیکن ایک کیمیائی تعامل میں شامل کمیت کی ایک نیوکلیائی تعامل میں شامل کمیت کی سے تقریباً دس لاکھ گنا کم ہوتی ہے۔ یہی اس عام خیال کی وجہ ہے (جو درست نہیں ہے) کہ کمیت۔ توانائی باہمی تبدیلی ایک کیمیائی تعامل میں نہیں ہوتی۔

خلاصہ

- 1- ایک ایٹم میں ایک نیوکلیس ہوتا ہے۔ نیوکلیس مثبت چارج شدہ ہوتا ہے۔ نیوکلیس کا نصف قطر، ایٹم کے نصف قطر سے 10^4 کے جزء ضربی سے کم ہوتا ہے۔ ایٹم کی تقریباً 99.9% کمیت نیوکلیس میں مرکوز ہوتی ہے۔
- 2- ایٹمی پیمانے پر کمیت کی پیمائش ایٹمی کمیت اکائیوں (u) میں کی جاتی ہے۔ تعریف کے مطابق 1 ایٹمی کمیت اکائی ^{12}C کے ایک ایٹم کی کمیت کا $1/12$ ہوتی ہے $1\text{u} = 1.660563 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- 3- ایک نیوکلیس میں ایک تعدیلی ذرہ ہوتا ہے جو نیوٹران کہلاتا ہے۔ اس کی کمیت پروٹان کی کمیت کے تقریباً مساوی ہوتی ہے۔
- 4- ایٹمی عدد Z ایک عنصر کے ایٹمی نیوکلیس میں پروٹانوں کی تعداد ہے۔ کمیت عدد A ایک ایٹمی نیوکلیس میں پروٹانوں اور نیوٹرانوں کی کل تعداد ہے: $A = Z + N$ ، یہاں N نیوکلیس میں نیوٹرانوں کی تعداد ظاہر کرتا ہے۔ ایک نیوکلیائی نوع یا نیوکلیڈ کو ^A_ZX سے ظاہر کیا جاتا ہے۔ جہاں X نوع کی کیمیائی علامت ہے۔ وہ نیوکلیڈ جن کے ایٹمی عدد Z یکساں ہوتے ہیں لیکن نیوٹران عدد N مختلف ہوتے ہیں ہم جا کہلاتے ہیں۔ وہ نیوکلیڈ جن کے A یکساں ہوتے ہیں ہم بار ہیں اور وہ جن کے N یکساں ہیں ہم صوت ہیں۔ زیادہ تر عناصر دو یا دو سے زیادہ ہم جاؤں کے آمیزے ہوتے ہیں۔ ایک عنصر کی ایٹمی کمیت اس کے ہم جاؤں کی کمیتوں کا وزنی اوسط ہوتی ہے۔ کمیتیں ہم جاؤں کی نسبتی کثرت ہیں۔
- 5- ایک نیوکلیس کو کرومی مانا جاسکتا ہے اور اسے ایک نصف قطر دیا جاسکتا ہے۔ الیکٹران انتشار تجربات کے ذریعے یہ نصف قطر معلوم کیا جاسکتا ہے۔ یہ معلوم ہے کہ نیوکلیسوں کے نصف قطر مندرجہ ذیل فارمولے کو مطمئن کرتے ہیں $R = R_0 A^{1/3}$ جہاں $R_0 = 1.2 \text{ fm}$ ایک مستقلہ، اس کا مطلب ہے کہ نیوکلیائی کثافت A کے غیر تابع ہے۔ نیوکلیائی کثافت 10^{17} kg / m^3 کے درجے کی ہے۔

6- نیوٹران اور پروٹان ایک نیوکلئیس میں مختصر سعت طاقت ور نیوکلئائی قوت کے ذریعے بندھے ہوتے ہیں۔ نیوکلئائی قوت ایک نیوٹران اور ایک پروٹان کے مابین فرق نہیں کرتی۔

7- نیوکلئائی کمیت M اس کے اجزائے ترکیبی کی کل کمیت $\sum m$ ، سے ہمیشہ کم ہوتی ہے۔ ایک نیوکلئیس کی کمیت اور اس کے اجزائے ترکیبی کی کل کمیت میں فرق کمیت کی کہلاتی ہے۔

$$\Delta M = (Z m_p + (A - Z)m_n) - M$$

آئن اسٹائن کا کمیت توانائی رشتہ استعمال کرتے ہوئے ہم اس کمیت فرق کو توانائی کی شکل میں ظاہر کرتے ہیں

$$\Delta E_b = \Delta M c^2$$

توانائی ΔE_b نیوکلئیس کی بندش توانائی کو ظاہر کرتی ہے۔ کمیت عدد سعت $A = 30 - 170$ میں بندش توانائی فی نیوکلئون تقریباً مستقل ہے۔ تقریباً 8 MeV فی نیوکلئون

8- نیوکلئائی عملوں سے منسلک توانائی کیمیائی عملوں سے منسلک توانائی سے تقریباً 10^6 لاکھ گنا زیادہ ہوتی ہے۔

9- ایک نیوکلئائی عمل کی Q قدر ہے:

$$Q = (\text{ابتدائی حرکی توانائی} - \text{اختتامی حرکی توانائی})$$

کمیت۔ توانائی کی بقا کی وجہ سے

$$Q = c^2 (\text{اختتامی کمیتوں کا حاصل جمع} - \text{ابتدائی کمیتوں کا حاصل جمع})$$

10- تاب کاری وہ مظہر ہے جس میں ایک دی ہوئی نوع کے مرکزے α یا β یا γ کرنیں خارج کر کے دوسری نوع کے مرکزوں میں تبدیل ہوتے ہیں۔ α ۔ کرنیں ہیلیم کے مرکزے ہیں۔ β ۔ کرنیں الیکٹران ہیں۔ γ ۔ کرنیں ایسی برقی مقناطیس شعاعیں ہیں جن کا طول لہر x کرنوں کے طول لہر سے کم ہوتا ہے۔

$$11- \text{تاب کارتنزل کا قانون: } N(t) = N(0) e^{-\lambda t}$$

جہاں λ تنزل مستقل یا تکسیر مستقل ہے۔

ایک ریڈیو نیوکلئائی کی نصف زندگی $T_{1/2}$ وہ مدت ہے جس میں N اپنی آغازی قدر کا نصف ہو جاتا ہے۔ اوسط زندگی τ وہ مدت ہے جس میں N اپنی آغازی قدر کا e^{-1} ہو جاتا ہے۔

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

12- جب مقابلاً کم مضبوطی سے بندھے ہوئے نیوکلئیسوں کی مقابلاً زیادہ مضبوطی سے بندھے ہوئے نیوکلئیسوں میں

تحويل ہوتی ہے تو توانائی رہا ہوتی ہے۔ انشقاق میں ${}_{92}^{235}\text{U}$ جیسا ایک بھاری نیوکلئس دو مقابلتا چھوٹے



13۔ یہ حقیقت کہ ایک انشقاق میں اس سے زیادہ نیوٹران پیدا ہوتے ہیں جتنے استعمال ہوتے ہیں زنجیر۔ تعامل کا امکان پیدا کرتی ہے، جس میں ہر پیدا ہونے والا نیوٹران دوسرا انشقاق کر سکتا ہے۔ زنجیر تعامل ایک نیوکلائی بم دھماکے میں غیر قابو شدہ اور بہت تیزی سے ہوتا ہے۔ ایک ری ایکٹر میں نیوٹران ضرب جز ضربی K کی قدر 1 پر برقرار رکھی جاتی ہے۔

14۔ گداخت میں مقابلتاً ہلکے مرکزے متحد ہو کر ایک مقابلتاً بڑا نیوکلیس تشکیل دیتے ہیں۔ ہائیڈروجن نیوکلیڈوں کا ہیلیم نیوکلیڈوں میں گداخت، تمام ستاروں کا بہ شمول سورج، توانائی کا وسیلہ ہے۔

طبعی مقدار	علامت	البعاد	اکائیاں	ریمرکس
ایٹمی کمیت اکائی		[M]	u	ایٹمی یا نیوکلیائی کمیتوں کو ظاہر کرنے کے لیے کمیت کی اکائی۔ ایک ایٹمی کمیت اکائی ^{12}C کی کمیت کے $1/12$ کے مساوی ہے۔
تکسیر یا تنزل مستقلہ	λ	$[\text{T}^{-1}]$	s^{-1}	
نصف زندگی	$T_{1/2}$	[T]	S	ایک تاب کار نمونے میں پائے جانے والے نیوکلیسوں کی آغازی تعداد کی نصف تعداد کے تنزل میں لگنے والا وقت
اوسط زندگی	τ	[T]	s	مدت جس میں نیوکلیسوں کی تعداد ان کی آغازی تعداد کا e^{-1} ہو جاتی ہے۔
ایک تابکار نمونے کی فعالیت	R	$[\text{T}^{-1}]$	Bq	ایک تابکار وسیلے کی فعالیت کا ناپ

قابل غور نکات

- 1- نیوکلیائی مادے کی کثافت نیوکلیس کے سائز کے غیر تابع ہے۔ ایٹم کی کمیت کثافت اس قاعدے کی پابندی نہیں کرتی۔
- 2- الیکٹران انتشار کے ذریعے نیوکلیس کے نصف قطر کی معلوم کی گئی قدر، α - ذرہ انتشار کے ذریعے معلوم کی گئی قدر سے مختلف ہوتی ہے۔ اس کی وجہ یہ ہے کہ الیکٹران انتشار، نیوکلیس کی چارج تقسیم کو محسوس کرتا ہے۔ جبکہ الفا اور اس جیسے دوسرے ذرات نیوکلیائی مادے کو محسوس کرتے ہیں۔
- 3- جب آئن اسٹائن نے کمیت- توانائی کی معادلت $E = mc^2$ ثابت کر دی تو ہم کمیت کی بقا اور توانائی کی بقا کے علیحدہ علیحدہ قوانین کی بات اب نہیں کر سکتے بلکہ اب ہمیں متحدہ قانون، کمیت اور توانائی کی بقا، کی بات کرنا ہوگی۔

اس بات کا سب سے زیادہ قابل قبول ثبوت کہ یہ اصول قدرت میں لاگو ہوتا ہے، نیوکلئیائی طبیعیات میں ملتا ہے۔ یہ نیوکلئیائی توانائی کی تفہیم اور پاور کے وسیلے کے طور پر نیوکلئیائی توانائی کو قابل استعمال بنانے میں مرکزی کردار ادا کرتا ہے۔ اس اصول کو استعمال کرتے ہوئے ایک نیوکلئیائی عمل (تنزل یا تعامل) کی بھی آغازی اور اختتامی کمیتوں کی شکل میں ظاہر کی جاسکتی ہے۔

4- بندش توانائی فی نیوکلیوں منحنی کی طبع ظاہر کرتی ہے کہ حرارت زا (exothermic) نیوکلئیائی تعاملات اس صورت میں ممکن ہیں جب دو ہلکے مرکز سے گداخت کرتے ہیں یا جب ایک بھاری نیوکلئیس کا درمیان کمیتوں کے نیوکلئیسوں میں انشقاق ہوتا ہے۔

5- گداخت کے لیے ہلکے مرکوزوں میں کولمب مضمروک کو عبور کرنے کے لیے درکار توانائی ہونا لازمی ہے۔ اسی لیے گداخت کے لیے بہت اعلیٰ درجات حرارت چاہیے ہوتے ہیں۔

6- حالانکہ بندش توانائی (فی نیوکلئیس) خنہمو اور ہوتا ہے اور آہستگی سے تبدیل ہوتا ہے، یہ ${}^4\text{He}$ ، ${}^{16}\text{O}$ وغیرہ جیسے نیوکلئیاؤں کے لیے فراز ظاہر کرتا ہے۔ اسے نیوکلئیسوں میں ایٹم جیسی شیل ساخت کا ثبوت مانا جاتا ہے۔

7- الیکٹران اور پوزیٹران، ذرہ۔ ضد ذرہ جوڑا ہے۔ یہ کمیت کے لحاظ سے متماثل ہیں، ان کے چارج کی عددی قدریں مساوی ہیں لیکن نوع مخالف ہے۔ (یہ دیکھا گیا ہے کہ جب ایک الیکٹران اور ایک پوزیٹران ایک دوسرے کے قریب آتے ہیں تو وہ ایک دوسرے کو فنا کر دیتے ہیں اور γ -کرن فوٹانوں کی شکل میں توانائی مہیا کرتے ہیں)۔

8- ایک تنزل میں (الیکٹران اخراج) الیکٹران کے ساتھ خارج ہونے والا ذرہ اینٹی نیوٹرینو ($\bar{\nu}$) ہے دوسری طرف β^+ تنزل میں (پوزیٹران اخراج) خارج ہونے والا ذرہ نیوٹرینو (ν) ہے۔ نیوٹرینو اینٹی پروٹان کیا ہوگا جو پروٹان کا ضد ذرہ ہے۔ اور اینٹی نیوٹرینو بھی ذرہ۔ ضد ذرہ جوڑا ہیں۔ ہر ذرہ سے منسلک ضد ذرات ہوتے ہیں۔

9- ایک آزاد نیوٹران غیر مستحکم ہے ($n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$)۔ لیکن یکساں آزاد پروٹان تنزل ممکن نہیں ہے، کیونکہ ایک پروٹان ایک نیوٹران سے (ذرا سا) ہلکا ہوتا ہے۔

10- گاما اخراج عام طور سے الفا یا بیٹا اخراج کے بعد ہوتا ہے۔ ایک نیوکلئیس ایک مشتعل حالت (اعلیٰ حالت) سے مقابلتہً پگھلی حالت میں ایک گاما فوٹان خارج کر کے پہنچتا ہے۔ ایک الفا یا بیٹا اخراج کے بعد ایک نیوکلئیس مشتعل حالت میں ہو سکتا ہے۔ اسی نیوکلئیس سے اس کے بعد ایک ایک کر کے ہونے والے گاما کرنوں کے اخراج (جیسے ${}^{60}\text{Ni}$ میں، شکل 13.4) اس بات کا واضح ثبوت ہے کہ نیوکلئیسوں میں بھی ایٹموں کی طرح مجرد توانائی منازل ہوتی ہیں۔

11- تاب کاری نیوکلئیسوں کے غیر استحکام کی علامت ہے۔ استحکام کے لیے نیوٹران۔ پروٹان نسبت 1 کے قریب ہونا چاہیے۔ بھاری نیوکلئیسوں کے لیے یہ نسبت بڑھ کر 3:2 ہو جاتی ہے۔ (پروٹانوں کے درمیان دفع کے اثر پر قابو پانے کے لیے زیادہ نیوٹران درکار ہوتے ہیں)۔ وہ مرکزے جو استحکام نسبت سے دور ہیں، یعنی کہ جن

میں نیوٹرانوں یا پروٹرانوں کی زیادتی پائی جاتی ہے، غیر مستحکم ہوتے ہیں۔ دراصل معلوم ہم جاؤں میں سے (تمام عناصر کے) صرف تقریباً 10% ہی مستحکم ہیں۔ دیگر یا تو تجربہ گاہ میں n, d, p, α یا دوسرے ذرات کی مستحکم نیوکلیائی انواع کے ہدف پر بمباری کر کے مصنوعی طور پر پیدا کیے گئے ہیں یا کائنات میں مادے کے فلکیاتیمشاہدے میں ان کی شناخت کی گئی ہے۔

مشق

آپ مندرجہ ذیل آنکڑوں کو مشقی سوالات حل کرنے میں کارآمد پائیں گے۔

$$\begin{aligned} e &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} & N &= 6.023 \times 10^{23} \text{ per mole} \\ 1/(4\pi\epsilon_0) &= 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2 & k &= 1.381 \times 10^{-23} \text{ J } ^\circ\text{K}^{-1} \\ 1 \text{ MeV} &= 1.6 \times 10^{-13} \text{ J} & 1 \text{ u} &= 931.5 \text{ MeV}/c^2 \\ 1 \text{ year} &= 3.154 \times 10^7 \text{ s} \\ m_H &= 1.007825 \text{ u} & m_n &= 1.008665 \text{ u} \\ m(^4_2\text{He}) &= 4.002603 \text{ u} & m_e &= 0.00548 \text{ u} \end{aligned}$$

13.1 (a) لیٹھیم کے دو مستحکم ہم جاؤں ^6_3Li اور ^7_3Li کے پائے جانے کی کثرتیں، بالترتیب 7.5% اور 92.5% ہیں۔ ان ہم جاؤں کی کمیتیں، بالترتیب 6.01512u اور 7.01600u ہیں۔ لیٹھیم کی ایٹمی کمیت معلوم کیجیے۔

(b) بورون کے دو مستحکم ہم جاؤں $^{10}_5\text{B}$ اور $^{11}_5\text{B}$ ہیں۔ ان کی بالترتیب کمیتیں 10.01294u اور 11.00931u ہیں، اور بورون کی ایٹمی کمیت 10.811 u ہے۔ $^{10}_5\text{B}$ اور $^{11}_5\text{B}$ کی کثرتیں معلوم کیجیے۔

13.2 نیون کے تین مستحکم ہم جاؤں: $^{20}_{10}\text{Ne}$ ، $^{21}_{10}\text{Ne}$ اور $^{22}_{10}\text{Ne}$ کی بالترتیب کثرتیں 90.51%، 0.27% اور 9.22% ہیں۔ تینوں ہم جاؤں کی ایٹمی کمیتیں، بالترتیب 19.99u، 20.99u اور 21.99u ہیں۔ نیون کی اوسط ایٹمی کمیت حاصل کیجیے۔

13.3 ایک نائٹروجن نیوکلیس ($^{14}_7\text{N}$) کی بندش توانائی (MeV میں) حاصل کیجیے۔ دیا ہے:

$$m(^{14}_7\text{N}) = 14.00307 \text{ u}$$

13.4 مندرجہ ذیل آنکڑوں کی مدد سے نیوکلیسوں $^{56}_{26}\text{Fe}$ اور $^{209}_{83}\text{Bi}$ کی MeV اکائیوں میں، بندش توانائی حاصل کیجیے۔

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

13.5 ایک دیے ہوئے سکے کی کمیت 3.0 g ہے۔ اس نیوکلیائی توانائی کا حساب لگائیے جو تمام نیوٹرانوں اور پروٹانوں کو ایک دوسرے سے علیحدہ کرنے کے لیے درکار ہوگی۔ آسانی کے لیے مان لیجیے کہ پورا اسکے صرف $^{63}_{29}\text{Cu}$ ایٹموں کا بنا ہوا ہے۔ ($^{63}_{29}\text{Cu}$ کی کمیت 62.92960 u ہے)۔

13.6 مندرجہ ذیل کے لیے نیوکلیائی تعامل لکھیے۔

- (i) $^{226}_{88}\text{Ra}$ کا α -تنزل
(ii) $^{242}_{94}\text{Pu}$ کا α -تنزل
(iii) $^{32}_{15}\text{P}$ کا β -تنزل
(iv) $^{210}_{83}\text{Bi}$ کا β -تنزل
(v) $^{11}_6\text{C}$ کا β^+ -تنزل
(vi) $^{97}_{43}\text{Tc}$ کا β^+ -تنزل
(vii) $^{120}_{54}\text{Xe}$ کی الیکٹران گرفت

13.7 ایک تابکار ہم جاکے نصف زندگی T برس ہے، کتنا عرصہ لگے گا۔ اس کی فعالیت کو ہونے میں:

(a) اس کی شروعاتی قدر کا 3.125% (b) اس کی شروعاتی قدر کا 1%

13.8 ایسے جاندار مادے جن میں کاربن شامل ہوتا ہے، ان کی عام فعالیت تقریباً 15 تنزل فی منٹ، کاربن کے ہر گرام کے لیے معلوم کی گئی ہے۔ یہ فعالیت مستحکم کاربن ہم $^{12}_6\text{C}$ کے ساتھ تابکار $^{14}_6\text{C}$ کی خفیف نسبت کی موجودگی کی وجہ سے ہوتی ہے۔ جب وہ جاندار زندہ نہیں رہتا تو فضا سے اس کا باہم عمل رک جاتا ہے (جو مندرجہ بالا توازن سرگرمی برقرار رکھتا ہے) اور اس کی فعالیت کم ہونا شروع ہو جاتی ہے۔ $^{14}_6\text{C}$ کی معلوم نصف زندگی (5730 برس) اور ناپی گئی فعالیت سے نمونے کی عمر کا تقریبی تخمینہ لگایا جاسکتا ہے۔ یہ (Dating) کا اصول ہے جو علم آثار قدیمہ (Archaeology) میں استعمال ہوتا ہے۔ فرض کیجیے مینجودڑ سے حاصل کیے گئے ایک نمونے کی فعالیت 9 تنزل فی منٹ فی گرام کاربن ہے۔ اندس گھاٹی تہذیب کی تقریبی عمر کا تخمینہ لگائیے۔

13.9 8.0 mCi طاقت کا ایک تابکار وسیلہ مہیا کرنے کے لیے درکار $^{60}_{27}\text{Co}$ کی مقدار معلوم کیجیے۔ $^{60}_{27}\text{Co}$ کی نصف زندگی 5.3 برس ہے۔

13.10 $^{90}_{38}\text{Sr}$ کی نصف زندگی 28 برس ہے۔ اس ہم جاکے 15 mg کی تفسیر شرح کیا ہے۔

13.11 سونے کے ہم جاکے $^{197}_{79}\text{Au}$ کے نیوکلیائی نصف قطر کی نسبت، چاندی کے ہم جاکے $^{107}_{47}\text{Ag}$ کے نیوکلیائی نصف قطر سے معلوم کیجیے۔

13.12 مندرجہ ذیل کے α -تنزل میں خارج ہوئے α -ذرہ کی Q-قدر اور حرکی توانائی معلوم کیجیے۔ (a) $^{226}_{88}\text{Ra}$ اور (b) $^{220}_{86}\text{Rn}$

$$m(^{222}_{86}\text{Rn}) = 222.01750 \text{ u} \quad m(^{226}_{88}\text{Ra}) = 226.02540 \text{ u} \quad \text{دیا ہے:}$$

$$m(^{216}_{84}\text{Po}) = 216.00189 \text{ u} \quad m(^{222}_{86}\text{Rn}) = 220.01137 \text{ u}$$

13.13 ریڈیو نیوکلیائیڈ ^{11}C تنزل کرتا ہے: $^{11}_6\text{C} \rightarrow ^{11}_5\text{B} + e^+ + \nu$ ، $T_{1/2} = 20.3 \text{ min}$

خارج ہوئے پوزیٹران کی اعظم توانائی 0.960 MeV ہے۔ مندرجہ ذیل کمیتیں دی ہوئی ہیں:

اور $m({}^{11}_6\text{B}) = 11.009305 \text{ u}$ اور $m({}^{11}_6\text{C}) = 11.011434 \text{ u}$ کا حساب لگائیے اور

خارج ہوئے پوزیٹران کی اعظم توانائی سے اس کا مقابلہ کیجیے۔

13.14 نیوکلیس ${}^{23}_{10}\text{Ne}$ کا تنزل β اخراج کے ذریعے ہوتا ہے۔ β تنزل مساوات لکھیے اور خارج ہوئے الیکٹران

کی اعظم توانائی معلوم کیجیے۔ دیا ہوا ہے:

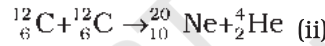
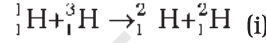
$$m({}^{23}_{10}\text{Ne}) = 22.994466 \text{ u}$$

$$m({}^{23}_{11}\text{Na}) = 22.089770 \text{ u}$$

13.15 ایک نیوکلیائی تعامل: $A + b \rightarrow C + d$ کی Q قدر کی تعریف کی جاتی ہے: $Q = [m_A + m_b - m_C - m_d]c^2$

جہاں کمیتیں حسب ترتیب نیوکلیسوں کی ہیں۔ دیے ہوئے آنکڑوں سے مندرجہ ذیل تعاملات کی

Q قدر معلوم کیجیے اور بتائیے کہ تعامل حرارت زاہے یا حرارت خور۔



ایٹمی کمیتیں دی ہوئی ہیں:

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

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

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

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

13.16 فرض کیجیے کہ ہم ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ نیوکلیس کے دو مساوی جڑوں ${}^{28}_{13}\text{Al}$ میں انشقاق کے بارے میں سوچتے ہیں۔

انشقاق توانائی کے لحاظ سے ممکن ہے؟ عمل کی Q معلوم کر کے دلیل پیش کیجیے۔ دیا ہے:

$$m({}_{13}^{28}\text{Al}) = 27.98191 \text{ u} \text{ اور } m({}_{26}^{56}\text{Fe}) = 55.93494 \text{ u}$$

13.17 ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ کی انشقاق خاصیتیں، ${}^{235}_{92}\text{U}$ کی انشقاق خاصیتوں سے بہت ملتی جلتی ہیں۔ فی انشقاق رہا ہونے

والی اوسط توانائی 180 MeV ہے۔ اگر خالص ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ کے 1 کلوگرام کے تمام ایٹموں کا انشقاق ہوتا ہے تو

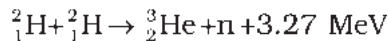
MeV میں کتنی توانائی رہا ہوگی؟

13.18 ایک 1000MW انشقاق ری ایکٹر اپنے ایندھن کا نصف 5.00 y میں استعمال کرتا ہے۔ تو آغاز میں اس

میں کتنا ${}^{235}_{92}\text{U}$ تھا؟ فرض کیجیے کہ ری ایکٹر 80% وقت چلتا رہتا ہے اور پیدا ہوئی ساری توانائی ${}^{235}_{92}\text{U}$ کے

انشقاق سے حاصل ہوتی ہے اور اس نیوکلیائیڈ کا استعمال صرف انشقاق میں ہوتا ہے۔

13.19 2.0 kg ڈیوٹیریم کے گداخت کے ذریعے 100W کے لمپ کو کتنی دیر روشن رکھا جاسکتا ہے؟ گداخت تعامل ہے:



13.20 دو ڈیوٹرانوں کی آمنے سامنے کی سیدھی ٹکڑ (Head on Collision) کے لیے مضمروک کی اونچائی معلوم

کیجیے۔ اشارہ: مضمروک کی اونچائی، دو ڈیوٹرانوں کے درمیان کولمب دفاع سے دی جاتی ہے، جب وہ ایک دوسرے سے بس تماس میں ہوں۔ مان لیجیے کہ انھیں 2.0 fm نصف قطر کے سخت کرے سمجھا جاسکتا ہے)

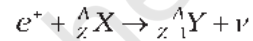
13.21 رشتے $R = R_0 A^{1/3}$ سے، جس میں R_0 ایک مستقلہ ہے اور A ایک نیوکلیس کا کیت عدد ہے، دکھائیے کہ

نیوکلیائی مادے کی کثافت تقریباً مستقلہ ہے (یعنی کہ A کے غیر تابع ہے)

13.22 ایک نیوکلیس سے β^+ (پوزیٹران) اخراج کے مقابلے کا ایک دوسرا عمل بھی ہے جو الیکٹران گرفت

(electron capture) کہلاتا ہے۔ [ایک اندرونی مدار، جیسے k -شیل، سے نیوکلیس ایک الیکٹران کی

گرفت کر لیتا ہے۔ اور ایک نیوٹرینو خارج ہوتا ہے۔]



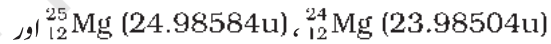
دکھائیے کہ اگر β^{++} اخراج توانائی کے لحاظ سے ہونا ممکن ہے تو الیکٹران گرفت بھی یقینی طور پر ممکن ہے۔ لیکن

اس کے برخلاف نہیں۔

مزید مشق

13.23 ایک دوری جدول میں میکینشیم کی اوسط ایٹمی کیت 24.312u دی ہوئی ہے۔ اوسط قدر اس کے ہم جاؤں کی

زمین پر قدرتی طور پر پائے جانے والے نسبتی کثرت پر مبنی ہے۔ میکینشیم کے تین ہم جا اور ان کی کمیتیں ہیں:



کی قدرتی کثرت، کیت کے لحاظ سے 78.99% ہے۔ باقی دونوں ہم جاؤں کی کثرت معلوم کیجیے۔

13.24 نیوٹران علیحدگی توانائی کی تعریف اس طرح کی جاتی ہے کہ یہ نیوکلیس میں ایک نیوٹران باہر نکالنے کے لیے

درکار توانائی ہے۔ مندرجہ ذیل آئسٹروپ کی مدد سے نیوکلیوس ${}^{41}_{20}\text{Ca}$ اور ${}^{27}_{13}\text{Al}$ کی نیوٹران علیحدگی توانائی

معلوم کیجیے:

$$m({}^{40}_{20}\text{Ca}) = 39.962591 \text{ u}$$

$$m({}^{41}_{20}\text{Ca}) = 40.962278 \text{ u}$$

$$m({}^{26}_{13}\text{Al}) = 25.986895 \text{ u}$$

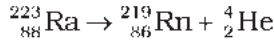
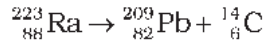
$$m({}^{27}_{13}\text{Al}) = 26.981541 \text{ u}$$

13.25 ایک ویلے میں دو فاسفورس ریڈیو نیوکلیائیڈ ہیں: ${}^{32}_{15}\text{P}$ ($T_{1/2} = 14.3\text{d}$) اور ${}^{33}_{15}\text{P}$ ($T_{1/2} = 25.3\text{d}$)

آغاز میں 10% تنزل ${}^{33}_{15}\text{P}$ سے ہوتے ہیں۔ کتنی دیر بعد ایسا ہوگا کہ 90% تنزل ہونے لگیں؟

13.26 کچھ خاص حالات میں ایک نیوکلئس α -ذره سے زیادہ کمیت کا ذره خارج کر کے تنزل پذیر ہو سکتا ہے۔

مندرجہ ذیل تنزل عملوں کو دیکھیے۔



ان تنزلوں کے لیے Q قدر تحسب کیجیے اور معلوم کیجیے کہ دونوں توانائی کے لحاظ سے ممکن ہیں۔

13.27 $^{238}_{92}\text{U}$ کا تیز رفتار نیوٹرانوں کے ذریعے انشقاق لیجیے۔ ایک انشقاق وقوعہ میں کوئی نیوٹران نہیں خارج ہوا اور

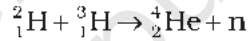
اختتامی آخری ماحصل ابتدائی اجزاء کے β تنزل کے بعد $^{140}_{58}\text{Ce}$ اور $^{99}_{44}\text{Ru}$ ہیں۔ اس انشقاق عمل کے لیے Q تحسب کیجیے۔ متعلق ایٹمی اور ذراتی کمیتیں ہیں۔

$$m(^{238}_{92}\text{U}) = 238.05079 \text{ u}$$

$$m(^{140}_{58}\text{Ce}) = 139.90543 \text{ u}$$

$$m(^{99}_{44}\text{Ru}) = 98.90594 \text{ u}$$

13.28 D-T تعامل (ڈیوٹیریم-ٹرائیٹیم گداخت) لیجیے۔



(a) مندرجہ ذیل آئکٹروں کی مدد سے اس تعامل میں رہا ہوئی توانائی، MeV میں معلوم کیجیے۔

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

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

(b) ڈیوٹیریم اور ٹرائیٹیم دونوں کا نصف قطر تقریباً 2.0 fm لیجیے۔ دونوں نیوکلئوس کے درمیان کولمب دفع

پر قابو پانے کے لیے کتنی حرکی توانائی درکار ہوگی؟ تعامل شروع کرنے کے لیے گیس کو کس درجہ حرارت

تک گرم کرنا ضروری ہے [اشارہ: ایک گداخت وقوعہ کے لیے درکار حرکی توانائی = باہمی عمل کرتے

ہوئے ذرات کو دستیاب اوسط حرارتی حرکی توانائی $= 2(3kT/2)$ ، جہاں k ، بولٹز مین کا مستقلہ ہے اور

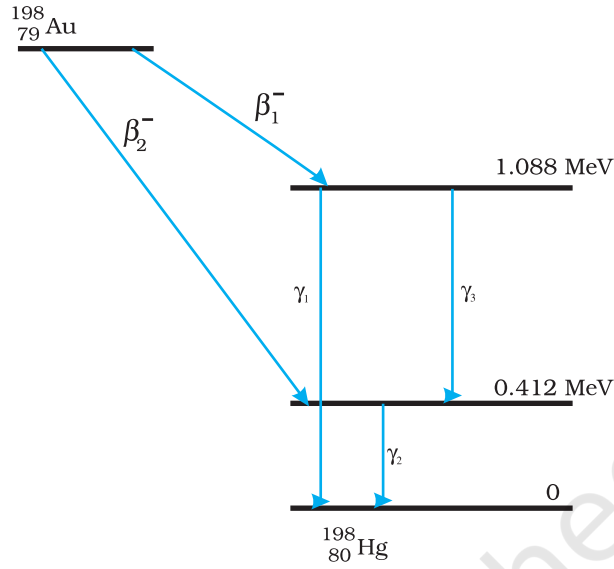
T مطلق درجہ حرارت ہے۔]

13.29 شکل 13.6 میں دکھائے گئے تنزل خاکے میں β ذرات کی اعظم حرکی توانائی اور γ تنزلوں کے اشعاع تعدد

معلوم کیجیے۔ دیا ہوا ہے:

$$m(^{198}\text{Au}) = 197.968233 \text{ u}$$

$$m(^{198}\text{Hg}) = 197.966760 \text{ u}$$



شکل 13.6

13.30 مندرجہ کے ذریعے رہا ہوئی توانائی کا حساب لگائیے اور مقابلہ کیجیے: (a) سورج کے بہت اندرونی حصے میں

ہائیڈروجن کے 1.0 kg کا گداخت (b) ایک گداخت ری ایکٹر میں ^{235}U کے 1.0 kg کا گداخت

13.31 فرض کیجیے کہ ہندوستان کا نشانہ ہے کہ وہ 2020 عیسوی تک 200,000 MW برقی پاور پیدا کر سکے، جس

میں سے 10% نیوکلیمائی پاور پلانٹوں سے حاصل کی جاسکے۔ فرض کیجیے ہمیں دیا ہوا ہے کہ ایک ری ایکٹر میں

پیدا ہوئی حرارتی توانائی کے استعمال کی استعداد (برقی توانائی میں تبدیلی) 25% ہے۔ 2020 تک

ہمارے ملک کو قابل اشتقاق یورینیم کی کتنی مقدار فی برس درکار ہوگی؟ ^{235}U کی حرارتی توانائی فی اشتقاق تقریباً

200 MeV لیجیے۔