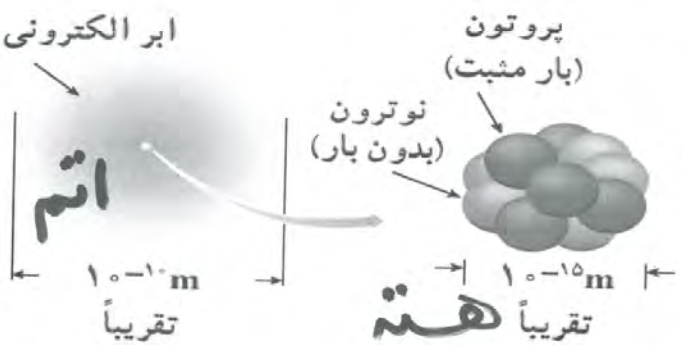
آشنایی با فیزیک هسته‌ای فصل ۶ ریاضی

انتهای فصل ۴ تجربی



① شعاع اتم چند برابر شعاع هسته است؟

② در یک اتم چند هسته جای گیرد؟

ذره	بار الکتریکی (C)	جرم	
		کیلوگرم (kg)	یکای جرم اتمی (u)*
الکترون	$-1/6\times10^{-19}$	$9/1\cdot93839\times10^{-31}$	$5/4858\times10^{-4}$
پروتون	$+1/6\times10^{-19}$	$1/672622\times10^{-27}$	$1/007276$
نوترون	۰	$1/674929\times10^{-27}$	$1/008664$

* در شیمی ۱ دیدید $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن ۱۲ را یکای جرم اتمی (atomic mass unit) می‌نامند و آن را به‌اختصار با amu یا u نشان می‌دهند. بنا به این تعریف، جرم اتم کربن ۱۲، دقیقاً برابر $12/000000$ u است.

۶ـ۱ ساختار هسته

① نوکلئون چیست؟

کشف پرتوزایی طبیعی در سال ۱۸۹۶ میلادی توسط فیزیک‌دان فرانسوی، هانری بکرل، آغازی برای پی بردن به وجود هستهٔ اتم بود. با کاوش درون اتم، هسته را می‌یابیم که شعاع آن تقریباً $\frac{1}{100000}$ شعاع اتم است (شکل ۶ـ۱).

② عدد اتمی کلر ۱۷ و تعداد نوترون آن یک واحد از پروتونش بیشتر است

هستهٔ اتم از نوترون‌ها و پروتون‌ها تشکیل شده است که به‌طور کلی نوکلئون نامیده می‌شوند. نوترون، در سال ۱۹۳۲ میلادی توسط فیزیک‌دان انگلیسی، جیمز چادویک، کشف شد. نوترون بار الکتریکی ندارد، و جرمش اندکی بیشتر از پروتون است (جدول ۶ ـ۱). جرم اتم‌ها و همچنین اجزای تشکیل‌دهندهٔ اتم را، افزون بر یکای کیلوگرم با یکای جرم اتمی نیز بیان می‌کنند.

تعداد پروتون‌های هسته را عدد اتمی (Z) می‌نامند و در عنصرهای مختلف متفاوت است. در یک اتم خنثی، تعداد پروتون‌های هسته با تعداد الکترون‌های دور هسته برابر است. تعداد نوترون‌های هسته، عدد نوترونی (N) نامیده می‌شود. همچنین مجموع تعداد کل پروتون‌ها و نوترون‌ها را عدد جرمی (A) می‌نامند.

$A = Z + N$

تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها (عدد جرمی) = تعداد پروتون‌ها (عدد اتمی) + تعداد نوترون‌ها (عدد نوترونی)

$A=$
$Z=$
$N=$

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

عقیل اسکندری

ص ۲	ف ۶	ک ۱۲

مثال) در $^{5}_{2}He$

جرم اتم $= m_1 + m_2 + m_3$

جرم هسته $= m_1 + m_2$ (جرم نوکلئون‌ها)

m_1 جرم پروتون‌ها $= 2(1/00727\text{u})$

m_2 جرم نوترون‌ها $= 3(1/00866\text{u})$

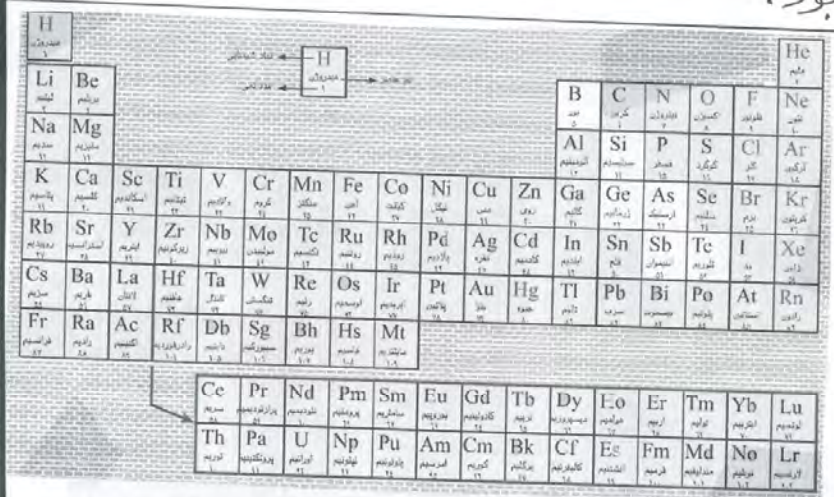
m_3 جرم الکترون‌ها $= 2(5/485 \times 10^{-4}\text{u})$

(برحسب یکای جرم اتمی u)

موضوع فیزیک هسته‌ای چیست؟

فیزیک هسته‌ای، شاخه‌ای از فیزیک است که در آن با ساختار، برهم‌کنش‌ها و واپاشیِ هسته‌های اتمی سروکار داریم. بخش عمده‌ای از پیشرفت فیزیک هسته‌ای، مدیون تحلیل نتایج آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌هایی است که طی قرن گذشته توسط دانشمندانی از حوزه‌های فیزیک و شیمی انجام شده است. آنچه بیش از همه منجر به گسترش فیزیک هسته‌ای شد، به تحولاتی مربوط است که با ساخت شتاب‌دهنده‌های ذرات در سال ۱۹۳۲ میلادی آغاز شد. در این فصل پس از آشنایی مقدماتی با ساختار هسته و پرتوزایی طبیعی، با شکافت و هم‌جوشی هسته‌ای نیز آشنا می‌شوید.

مهمترین عامل گسترش فیزیک هسته‌ای ساخت ..... بود.



تمرین ۶ـ۱

با توجه به آنچه تاکنون دیدید و همچنین با استفاده از جدول تناوبی عناصر، که در پیوست کتاب آمده است، نماد هسته را در هر یک از موارد زیر تعیین کنید.

الف) ایزوتوپ فلوئور (F) با عدد نوترونی ۱۰

ب) ایزوتوپ قلع (Sn) با عدد نوترونی ۶۶

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

$A = 19$ F

$Z = 9$ $10 = N$

$A = 116$ Sn

$Z = 50$ $N = 66$

برای یک عنصر با نماد شیمیایی X، نماد هسته به‌صورت زیر نشان داده می‌شود[۱]:

۱ــ در کتاب‌های تخصصی فیزیک هسته‌ای، این نماد را نماد نوکلوئید (nuclide) می‌نامند.

$$^{A}_{Z}X_{N}$$

(A: عدد جرمی، Z: عدد اتمی، N: عدد نوترونی، X: نماد عنصر)

مشخص کردن N در نمادنویسی بالا ضروری نیست؛ زیرا می توان آن را از رابطهٔ ۶ــ۱ به‌دست آورد. همچنین در بسیاری موارد Z را هم می‌توان ذکر نکرد؛ زیرا نماد شیمیایی عنصر، نشان‌دهندهٔ مقدار Z است.

برای مثال، هستهٔ اتم آلومینیم را به‌جای $^{27}_{13}Al_{14}$ می‌توان به‌صورت ^{27}Al یا Al^{27} نمایش داد.

ایزوتوپ‌ها: ویژگی‌های هسته را تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های آن تعیین می‌کند. خواص شیمیایی هر اتم را تعداد پروتون‌های هسته (عدد اتمی Z) تعیین می‌کند. به همین سبب هسته‌هایی که تعداد پروتون مساوی ولی تعداد نوترون متفاوت دارند خواص شیمیایی یکسانی دارند، در نتیجه این هسته‌ها در جدول تناوبی عناصر هم‌مکان هستند و بنابراین ایزوتوپ (هم‌مکان) نامیده می‌شوند. به طور مثال، کربن به دو صورت پایدار و با درصدهای فراوانی بسیار متفاوتی در طبیعت یافت می‌شود که یکی از ۶ پروتون و ۶ نوترون ($^{12}_{6}C$)، و دیگری از آنها از ۶ پروتون و ۷ نوترون (^{13}C) تشکیل شده است. این دو هسته، ایزوتوپ‌های کربن هستند. جرم‌های اتمی درج شده در جدول تناوبی عناصر، میانگین جرم‌های اتمی ایزوتوپ‌های مختلف هر عنصر است که با توجه به درصد فراوانی آنها حساب شده‌اند. به‌جز هیدروژن، ایزوتوپ‌های مختلف یک هسته را با نام همان هسته مشخص می‌کنند (جدول ۶ ــ۲).

جدول ۶ ــ۲ ایزوتوپ‌های مختلف چند عنصر و درصد فراوانی آنها در طبیعت

نام عنصر	نماد	Z	N	درصد فراوانی در طبیعت	نام عنصر	نماد	Z	N	درصد فراوانی در طبیعت
هیدروژن ۱	H	۱	۰	۹۹/۹۸۸۵	کربن ۱۳	^{13}C	۶	۷	۱/۰۷
دوتریم (هیدروژن ۲، ^{2}H)	D	۱	۱	۰/۰۱۱۵	کربن ۱۴	^{14}C	۶	۸	یافت نمی‌شود
تریتیم (هیدروژن ۳، ^{3}H)	T	۱	۲	بسیار نادر	اورانیم ۲۳۵	^{235}U	۹۲	۱۴۳	۰/۷۱۶
کربن ۱۲	^{12}C	۶	۶	۹۸/۹۳	اورانیم ۲۳۸	^{238}U	۹۲	۱۴۶	۹۹/۲۸۴

عنصری ۳ پروتون و ۴ نوترون دارد نماد نوکلوئید آن را بنویسید.

$A=۷$ $Z=۳$ $N=۴$

منظور از ^{5}He چیست؟

هلیم: طبق جدول

$A=۵$ $Z=۲$ $N=۳$

مشخص کردن ویژگی هسته با تعداد .....

مشخص کردن ویژگی اتم با تعداد .....

ایزوتوپ یا ..... دارای ..... مساوی و ..... نامساوی

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

تعداد (نوترون - پروتون) در ویژگی اتم (شیمیایی) تأثیری ندارد

فراوان‌ترین هسته هیدروژن چند نوکلئون از کمیاب‌ترین هسته هیدروژن کم‌تر دارد؟

فراوان‌ترین اورانیوم طبیعت (۲۳۵ - ۲۳۸) است.

پایداری هسته : همان‌طور که در شکل ۶ـ۱ نشان داده شده است ابعاد هسته در مقایسه با ابعاد اتم بسیار کوچک‌تر است. با وجود این، بیشتر جرم اتم (بیش از ۹۹/۹ درصد آن) در هسته متمرکز شده است. محاسبه نشان می‌دهد مرتبهٔ بزرگی چگالی هسته $10^{17}\ g/cm^3$ است که به صورتی باورنکردنی بزرگ است (برای مقایسه توجه کنید که چگالی آب $1\ g/cm^3$ است). موضوع وقتی شگفت‌انگیزتر می‌شود که به اندازهٔ نیروی الکتروستاتیکی رانشی خیلی قوی بین پروتون‌های درون هسته، که بسیار به یکدیگر نزدیک‌اند، توجه کنیم. در این صورت چه چیزی مانع از هم پاشیدن هسته می‌شود؟ با توجه به پایداری بسیاری از هسته‌هایی که در طبیعت وجود دارند روشن است که نوعی نیروی جاذبه باید اجزای هسته را کنار هم نگه دارد. از طرفی، جاذبهٔ حاصل از نیروی گرانشی بین نوکلئون‌ها، چنان ضعیف است که نمی‌تواند با نیروی الکتروستاتیکی رانشی مقابله کند. این موضوع وجود نیروی جدیدی بین نوکلئون‌ها را مطرح کرد که به آن نیروی هسته‌ای گفته می‌شود.

شعاع اتم تقریباً ..... متر (..... آنگستروم)

شعاع هسته تقریباً ..... متر (..... فمتومتر)

$\frac{\text{حجم اتم}}{\text{حجم هسته}} = \frac{\frac{4}{3}\pi(\quad)^3}{\frac{4}{3}\pi(\quad)^3} =$

چگالی آب = $9/cm^3$

چگالی هسته = $9/cm^3$

عقیل اسکندری

بیش از ..... درصد جرم (اتم - هسته) در (اتم - هسته) است

یادآوری : طبق قانون کولن نیروی الکتریکی = نیروی کولنی = نیروی الکتروستاتیکی بین بارهای همنام ..... و ناهمنام ..... است

09125164028

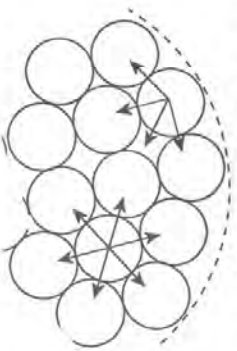
یادآوری : رابطهٔ کولن $F=k\frac{qq'}{r^2}$ یعنی هرقدر بارها نزدیک شوند نیروی کولنی ..... می‌شود. در هسته که بارهای (منفی - مثبت) خیلی خیلی به هم نزدیکند نیروی (رانشی - ربایشی) الکتروستاتیکی خیلی (قوی - ضعیف) است بنابراین انتظار داریم هسته (واپاشیده - متشکل) باشد شاید بگوئیم علت (ناپایداری - پایداری) هسته نیروی گرانشی (یا .....) است خیر این درست نیست زیرا نیروی (دافعه - جاذبه) کولنی در حدود 10^{39} مرتبه از نیروی نیوتونی (گرانشی) (قوی تر - ضعیف تر) است پس علت عدم واپاشی هسته‌ها نیروی گرانشی (هسته - نیست) و نیروی الکتریکی (هسته - نیست)

نیروی تشکیل دهندهٔ هسته گرانش و الکتروستاتیکی نیست بلکه نیروی جدیدی به نام هسته‌ای است

09125164028

نیروی هسته‌ای، کوتاه‌بُرد است و تنها در فاصله‌ای کوچک‌تر از ابعاد هسته اثر می‌کند (شکل ۶ـ۲). افزون بر این، نیروی هسته‌ای مستقل از بار الکتریکی است، یعنی نیروی ربایشی هسته‌ای یکسانی بین دو پروتون، دو نوترون، یا یک پروتون و یک نوترون وجود دارد. به‌همین دلیل از منظر نیروی هسته‌ای، تفاوتی بین پروتون و نوترون وجود ندارد و دلیل نام‌گذاری آنها با نام عام نوکلئون نیز همین است.

برای پایداری هسته، باید نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی بین پروتون‌ها با نیروی جاذبهٔ بین نوکلئون‌ها، که ناشی از نیروی هسته‌ای است، موازنه شده باشد. ولی به دلیل بلندبُرد بودن نیروی الکتروستاتیکی، یک پروتون تمام پروتون‌های دیگر درون هسته را دفع می‌کند، در حالی که یک پروتون یا یک نوترون، فقط نزدیک‌ترین نوکلئون‌های مجاور خود را با نیروی هسته‌ای جذب می‌کند. به همین دلیل وقتی تعداد پروتون‌های درون هسته افزایش یابد، اگر هسته بخواهد پایدار باقی بماند، باید تعداد نوترون‌های درون هسته نیز افزایش یابد.



نیروی هسته‌ای بین نوکلئون‌های مجاور هم از نوع ربایشی خیلی قوی

نیروی هسته‌ای (کوتاه ـ بلند) بُرد است و قدرتی (کم ـ زیاد) در مقایسه با نیروی کولنی (الکتریکی) دارد و از نوع (دافعه ـ جاذبه ـ دافعه یا جاذبه) است. نیروی الکتروستاتیکی بین { (پروتون و پروتون) (پروتون و نوترون) (نوترون و نوترون) }

در هسته یا پروتون داریم یا نوترون اگر نوترون است (در سطح دبیرستان) فقط به ذرات مجاورش چه نوترون باشند چه پروتون نیروی هسته‌ای (ربایش) وارد می‌کند و اگر پروتون است به ذرات مجاورش (چه پروتون و چه نوترون) نیروی هسته‌ای (رانش) و به همهٔ پروتون‌ها (چه مجاور و چه غیرمجاور) نیروی رانشی الکتریکی وارد می‌کند

اثر می‌گذارد و از نوع (دافعه ـ جاذبه) است و بُردش (کوتاه ـ بلند) است پس یک (پروتون ـ نوترون) بر تمام (پروتون ـ نوترون) های هسته نیروی (جاذبه ـ دافعه) الکتریکی (قوی ـ ضعیف) وارد می‌کند زیرا فاصله آنها از

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

خیلی (کم - زیاد) است پس باید نیروی هسته ای از نیروی کولنی (قوی تر - ضعیف تر) باشد تا هسته متلاشی نشود زیرا (بسیاری - اندکی) از هسته های موجود در طبیعت (پایدار - ناپایدارند)

نیروی هسته ای بین { پروتون - پروتون / پروتون - نوترون / نوترون - نوترون / هر سه گزینه بالا } تأثیر می گذارد از این رو به آن نیروش با نام عام (پروتونی - نوترونی - نوکلئونی) گفته می شود. نیروی هسته ای (در سطح دبیرستان) فقط برای ذرات هسته ای (مجاور - دوراز) هم اثر دارد و از نوع (رباییش - رانش) است

09125164028

مثال) ذرات یک هسته را ملاحظه می کنیم

① از A تا J به طور کلی چه نام دارند؟

② اگر C و D نیروی رباییش داشته باشند چند جمله درست

(الزاماً هر دو پروتون) (الزاماً هر دو نوترون) (الزاماً یکی پروتون - یکی نوترون)

(می تواند یکی پروتون - یکی نوترون) (می تواند یکی نوترون - دیگری نوترون)

(می تواند یکی پروتون - دیگری پروتون)

09125164028

③ اگر E پروتون باشد نیروی E و D (چند جمله درست) نش

(الزاماً رباییش) (الزاماً رانش) (می تواند رباییش) (می تواندرا

(الزاماً هم زمان هم رباییش وهم رانش) (می تواند هم زمان هم رباییش هم رانش

④ اگر I پروتون باشد نیروی B و I (در سطح دبیرستان چند جمله درست)

(الزاماً رباییش) (الزاماً رانش) (می تواند رباییش) (می تواند رانش

(الزاماً هم زمان هم رباییش وهم رانش) (می تواند هم زمان هم رباییش هم رانش)

مثال) در هستهٔ مقابل اگر ⑤ نوترون باشد
(در سطح دبیرستان چند جمله درست)
($F_{۳۵}$ الزاماً ربایش) ($F_{۹۵}$ الزاماً رانش)
($F_{۱۰۵}$ قطعاً رانش نیست) ($F_{۷۵}$ قطعاً ربایش نیست)
($F_{۱۵}$ الزاماً رانش نیست) ($F_{۶۵}$ می‌تواند رانش باشد)
($F_{۸۵}$ می‌تواند ربایش باشد) ($F_{۱۵}$ می‌تواند رانش یا ربایش باشد)

مثال) در الگوی هسته‌ای (الف) برای پایدارتر شدن هستهٔ ذرهٔ ⑤ (باید - بهتر است) ذرهٔ (پروتون - نوترون) باشد و اگر بخواهیم یک ذرهٔ دیگر اضافه کنیم و هسته ناپایدارتر شود (باید - بهتر است) یک ذرهٔ (پروتون - نوترون) اضافه شود.

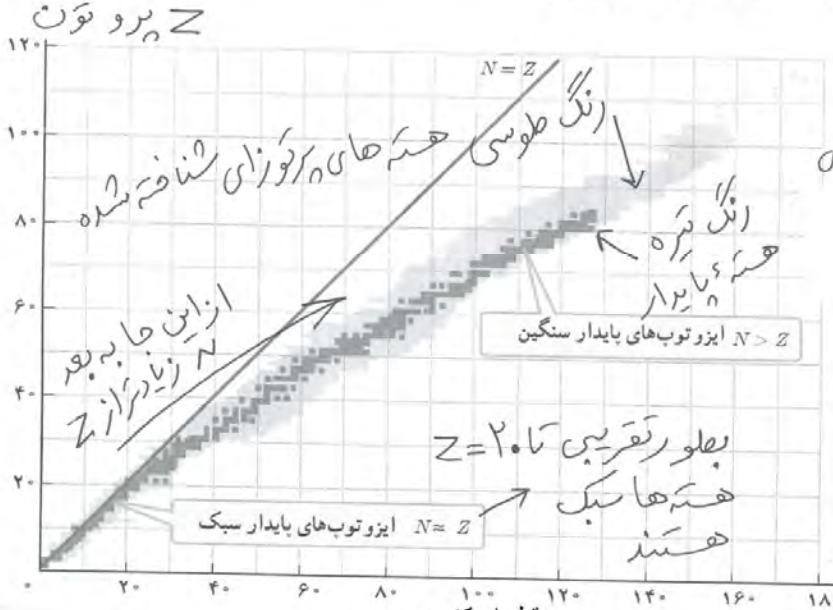
مثال) در هسته نیروی وارد بر نوترون الزاماً (ربایش - رانش) است و نیروی وارد بر پروتون (الزاماً ربایش - الزاماً رانش می‌تواند رانش یا ربایش)

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

مثال) در هستهٔ دوتریوم که به دوترون معروف است ① چند ذره وجود دارد؟ ..... نیروی بین آنها ..... است.
⟵ الگوی هسته

مثال) در $_{۲}^{۲}He$ (درطبیعت وجود ندارد) نیروها را بررسی کنید.

. شکل ۶ـ۳ نموداری از Z برحسب N را برای عنصرهای مختلف نشان می‌دهد. هستهٔ پایدار با بیشترین تعداد پروتون ($Z = ۸۳$)، متعلق به بیسموت ($^{۲۰۹}_{۸۳}Bi$) است. به جز توریم ($Z = ۹۰$) و اورانیوم ($Z = ۹۲$) که در طبیعت یافت می‌شوند سایر هسته‌های سنگین با عدد اتمی بزرگ‌تر از ۸۳ ناپایدارند. این دو عنصر، تنها عنصرهایی‌اند که واپاشی آنها چنان کُند است که از هنگام تشکیل منظومهٔ شمسی در چندین میلیارد سال پیش، فقط مقدار کمی از آنها بر اثر واپاشی، به عنصرهای سبک‌تر تبدیل شده‌اند.



عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

پرسش ۶ـ۱

هر نقطه آبی‌رنگ در نمودار شکل ۶ـ۳ نشان‌دهندهٔ یک هستهٔ پایدار است. با توجه به این نمودار به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

الف) نسبت تعداد نوترون به تعداد پروتون (N/Z) برای هسته‌های پایدار مختلف ثابت است یا متفاوت؟ توضیح دهید.

ب) ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر را چگونه می‌توان با استفاده از این نمودار تشخیص داد؟

① هسته پایدار با بیشترین پروتون متعلق به ..... است.

② به جز ..... و ..... همهٔ هسته‌های سنگین که $Z > ۸۳$ دارند ناپایدارند

رنگ طوسی هسته‌های پروتون‌زای شناخته شده

رنگ پره هسته‌های پایدار

از این جا به بعد N زیادتر از Z

بطور تقریبی تا $Z = ۲۰$ هسته‌ها سبک هستند

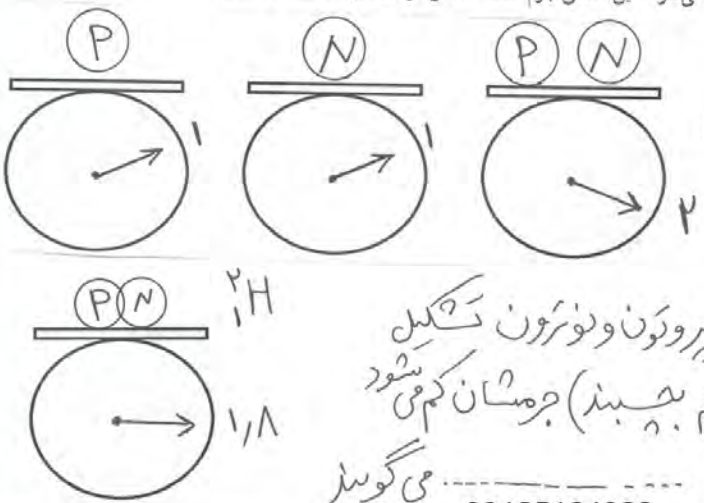
الف) تا حدود $Z = ۲۰$ ($N \approx Z$) برابراست (هسته‌های سبک) و از آن به بعد N بیش از Z می‌شود (هسته‌های سنگین می‌رسیم)

ب) کافی است موازی محور N خطی عمود بر Z رسم کنیم هر تعداد نقطه روی آن خط بود ایزوتوپ آن عنصر است.

انرژی بستگی هسته‌ای و ترازهای انرژی هسته : برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته، انرژی لازم است. انرژی لازم برای این منظور، انرژی بستگی هسته‌ای نامیده می‌شود. شکل ۶ـ۴ این موضوع را به‌طور طرح‌وار نشان می‌دهد.

09125164028

اندازه‌گیری‌های دقیق نشان داده است که جرم هسته از مجموع جرم پروتون‌ها و نوترون‌های تشکیل‌دهنده‌اش اندکی کمتر است. اگر این اختلاف جرم را که به آن کاستی جرم هسته گفته می‌شود، مطابق رابطهٔ معروف اینشتین ($E = mc^2$)، در مربع تندی نور (c^2) ضرب کنیم انرژی بستگی هسته‌ای به‌دست می‌آید[1]. توجه کنید که هرچند اختلاف جرم هسته با مجموع جرم نوکلئون‌های تشکیل‌دهندهٔ آن بسیار ناچیز است، چون در c^2 که عدد بسیار بزرگی است ضرب می‌شود، این کاستی جرم اندک، معادل انرژی قابل ملاحظه‌ای است[2].



فرض کنید یک پروتون جرمش $\frac{1}{1}$ است و یک نوترون هم جرمش $\frac{1}{1}$ است اگر روی ترازو یک پروتون و یک نوترون را جدا جدا قرار دهیم جرم کل $\frac{2}{2}$ می‌شود ولی اینشتین ثابت کرد که اگر پروتون و نوترون تشکیل هسته بدهند (به هم بچسبند) جرمشان کم می‌شود این کاهش جرم را ..... می‌گویند

09125164028

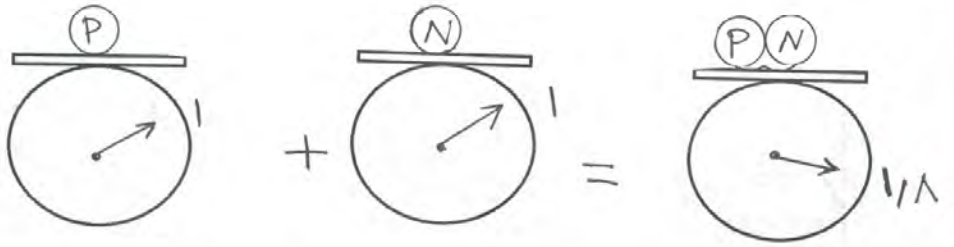
علت این کاهش جرم ، تأمین انرژی برای ایجاد نیروی هسته‌ای است . درغیر اینصورت پروتون و پروتون در اثر نیروی دافعه الکتریکی واپاشیده می‌شدند و پروتون و نوترون و یا نوترون و نوترون اصلاً کنار هم گرد نمی آمدند (نوترون بی بار است)

در مثال فرض بالا جرم کاهش یافته هسته ۰٫۲ واحد است که می‌توان مقدار انرژی تولید شده برای تشکیل آن هسته را حساب کرد

$E = m c^2$

انرژی بستگی هسته — کاستی جرم هسته — $(\text{سرعت نور})^2$

حالا فرض کنیم همان هسته ای که شامل (P)(N) بود را می خواهیم به حالت اول خلقتش برگردانیم یعنی (N) و (P)



اجزاء هسته بطور جداگانه

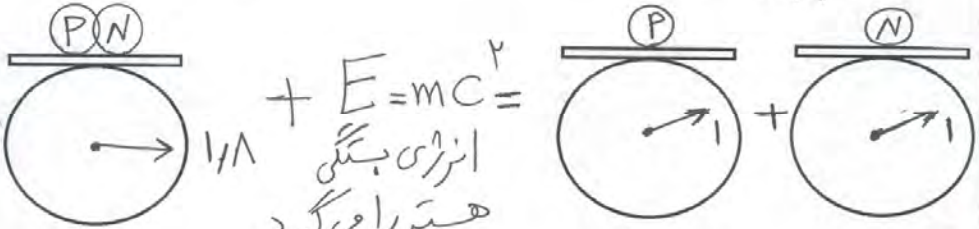
هسته خلق شده و $E=mc^2$ که تولید شده در هسته صرف بستگی ذرات شد

تولید هسته کامل از اجزاء هسته

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

هسته کامل است

اجزاء هسته



جداسازی اجزاء هسته از هسته کامل

09125164028

هستهٔ کامل

اجزاء هسته

نوکلئون‌ها
(جرم بیشتر)

09125164028

شکل ۶ـ۴ انرژی‌ای معادل انرژی بستگی هسته‌ای باید تأمین شود تا هسته به نوکلئون‌های تشکیل‌دهندهٔ آن تقسیم شود. $E=mc^2$

انرژی لازم برای جدا کردن نوکلئون های یک هسته را انرژی ..... می نامیم . جرم هسته از مجموع جرم پروتون ها و نوترون های آن اندکی ---- است به اختلاف جرم هسته و جرم نوکلئون ها ..... جرم هسته می گویند . این اختلاف جرم فوق العاده ناچیز است ولی در فرمول $E=mc^2$ مقدار انرژی قابل ملاحظه است زیرا $c=3\times10^8\ m/s$ می باشد .

مثال) در یک واکنش هسته‌ای $0/2\ g$ ماده به انرژی تبدیل می شود (تقریباً باجرم یک نوک مداد اند نازک نویس برابر است) انرژی آزاد شده چند TJ (تراژول) است؟

$$E=mc^2=(0/2)(10^{-3})(3\times10^8)^2=18\times10^{12}\ J$$

(kg) m/s

$$E=18\ TJ$$

هر لیتر گازوئیل ۳۵ MJ انرژی حرارتی دارد چند لیتر لازم است تا $18\ TJ$ انرژی تولید شود ؟

09125164028

(یا نصد هزار لیتر) $0/5\times10^6$ ≈ $\frac{18\times10^{12}}{35\times10^6}$ = مقدار لیتر

انرژی نوکلئون‌های وابسته به هسته نیز مانند انرژی الکترون‌های وابسته به اتم، کوانتیده‌اند و نوکلئون‌های درون هسته نمی‌توانند هر انرژی دلخواهی را اختیار کنند. همچنین، همان‌طور که الکترون‌های اتم می‌توانند با جذب انرژی از تراز پایه به تراز برانگیخته بروند، نوکلئون‌ها نیز می‌توانند با جذب انرژی به ترازهای انرژی بالاتر بروند و در نتیجه هسته برانگیخته شود. هستهٔ برانگیخته با گسیل فوتون به تراز پایه برمی‌گردد. انرژی فوتون گسیل‌شده، با اختلاف انرژی بین تراز برانگیخته و تراز پایه برابر است. هستهٔ برانگیخته را با گذاشتن ستاره روی نماد ${}^{A}_{Z}X$ به‌صورت ${}^{A}_{Z}X^{*}$ مشخص می‌کنند. نکتهٔ قابل توجه آن است که اختلاف بین ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته از مرتبهٔ keV تا مرتبهٔ MeV است، در حالی که اختلاف بین ترازهای انرژی الکترون‌ها در اتم از مرتبهٔ eV است. از این رو، هسته‌ها در واکنش های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

همانطور که الکترون در اتم دارای تراز انرژی بود و هنگامی که می‌خواست به ترازهای بالاتر بود انرژی دریافت می‌کرد (مثلاً فوتون می‌گرفت) و برانگیخته می‌شد، پروتون‌ها و نوترون‌ها هم در هسته ترازانرژی دارند و برای برانگیختگی باید به آنها انرژی داد

برانگیختگی الکترون

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

. اگر الکترون به حالت پایه خود برگردد اتم انرژی آزاد می‌کند (تولید فوتون)

09125164028

توجه: انرژی نقل و انتقال الکترون کوانتیده بود $E=-\frac{E_R}{n^2}$ یعنی هرمقدار دلخواهی نبود و عددآن ازمرتبهٔ eV بود مثلاً در H در بیشترین حالت ۱۳/۶eV بود

درهسته دقیقاً همین مراحل قابل بازسازی است یعنی پروتون ونوترون هم ترازانرژی کوانتیده دارند. اگرانرژی بگیرند برانگیخته می‌شوند واگرانرژی بدهند به حالت پایه بازمی‌گردند ولی انرژی آنها بین keV تا MeV است پس هسته در واکنش شیمیائی وارد نمی‌شود

۶ـ۲ پرتوزایی طبیعی و نیمه‌عمر

09125164028

همان‌طور که در مقدمهٔ فصل نیز اشاره کردیم کشف پرتوزایی طبیعی توسط هانری بکرل، آغازی برای پی بردن به وجود هستهٔ اتم بود. وقتی یک هستهٔ ناپایدار یا پرتوزا به‌طور طبیعی (یا اصطلاحاً خودبه‌خود) واپاشی می‌کند، نوع معینی از ذرات یا فوتون‌های پر انرژی آزاد می‌شوند. این فرایند واپاشی، پرتوزایی طبیعی نامیده می‌شود.

در پرتوزایی طبیعی سه نوع پرتو ایجاد می‌شود: پرتوهای آلفا (α)، پرتوهای بتا (β) و پرتوهای گاما (γ). پرتوهای α کمترین نفوذ را دارند و با ورقهٔ نازک سربی با ضخامت ناچیز ($\approx 0/01mm$) متوقف می‌شوند، در حالی که پرتوهای β مسافت خیلی بیشتری را ($\approx 0/1mm$) در سرب نفوذ می‌کنند. پرتوهای γ بیشترین نفوذ را دارند و می‌توانند از ورقه‌ای سربی به ضخامت قابل ملاحظه‌ای ($\approx 100mm$) بگذرند. در تمام فرایندهای واپاشی پرتوزا مشاهده شده است که تعداد نوکلئون‌ها در طی فرایند واپاشی هسته‌ای پایسته است؛ یعنی تعداد نوکلئون‌ها، پیش از فرایند با تعداد نوکلئون‌ها پس از فرایند مساوی است.

① کشف ..... آغازی برای شناخت هسته

② هسته ناپایدار یا پرتوزا یا رادیواکتیو یکی است

③ واپاشی یعنی یک هسته با تابش انرژی و یا گسیل ذرات انرژی هسته خود را کاهش دهد و یا به هسته‌ای پایدار تبدیل شود

④ واپاشی طبیعی = واپاشی خودبه‌خود

⑤ پرتوزائی = واپاشی

⑥ هرگاه هسته‌ای ناپایدار خود به خود واپاشی کند پرتوزائی ..... است

⑦ در واپاشی طبیعی نوع معینی فوتون و ذرات معین تولید می‌شود

⑧ گرچه در کتاب از پرتو آلفا و پرتو بتا نام برده ولی آلفا و بتا ذراتی هستند که از هسته خارج می‌شوند و اصطلاح پرتو معمولاً به نور اطلاق می‌شود

پرتوزائی طبیعی:
- α آلفا $0/01mm$
- β بتا $0/1mm$
- γ گاما $100mm$

نفوذ در ورقه سربی

$d_{\alpha} = 1000\, d_{\beta} = 1000\, d_{\gamma}$

آلفا بتا گاما

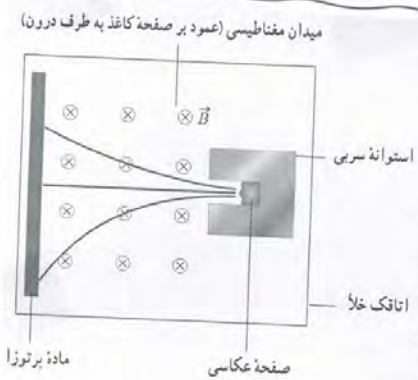
09125164028

در تمام فرآیندهای واپاشی تعداد نوکلئون ها ثابت است

تعداد پروتون و نوترون پیش از فرآیند = تعداد پروتون و نوترون پس از فرآیند

پرسش ۶ـ۲

شکل روبه‌رو طرح آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد که به کمک آن می‌توان سه نوع پرتوزایی طبیعی را مشاهده کرد و به تفاوت بار و جرم پرتوها از یکدیگر پی برد. قطعه‌ای از مادهٔ پرتوزا را در ته حفرهٔ باریکی در یک استوانهٔ سربی قرار می‌دهند. استوانه را درون اتاقکی می‌گذارند و هوای درون آن را تخلیه می‌کنند. سپس یک صفحهٔ عکاسی مقابل حفره قرار می‌دهند و میدان مغناطیسی یکنواختی درون اتاقک برقرار می‌کنند. خطوط قرمزرنگ، مسیر حرکت پرتوها را نشان می‌دهد. نوع بار پرتوها را با هم مقایسه کنید.



آزمایشی که دو هدف دارد { مشاهده سه پرتوزائی طبیعی / مقایسه $\left(\frac{\text{بار}}{\text{جرم}}\right)$ پرتوها در پرتوزائی

(کل آزمایش در اتاقک خلأ)

09125164028

به محل استوانهٔ سربی و فیلم عکاسی دقت کنید تا مشخص شود جهت حرکت پرتوها چگونه است در ضمن

$^{4}_{2}\alpha^{++}$ ⊗B انحراف کم

ضمن: ⊗B بدون انحراف

انحراف شدید ⊗B

$^{0}_{-1}\beta^{-}$

چون F به طرف مرکز انحراف (آلفا)

چون بی انحراف حرکت کرده (گاما)

چون F خارج از مرکز انحراف (بتا)

09125164028

F انگشت شست // V چهار انگشت // B خم شدن انگشتان

واپاشی α : در این نوع واپاشی که در هسته‌های سنگین صورت می‌گیرد، هستهٔ ${}^{A}_{Z}X$ با گسیل ذرهٔ آلفا وامی‌پاشد. شواهد تجربی نشان می‌دهند که پرتوهای α، ذرات باردار مثبت از جنس هستهٔ اتم هلیم (${}^{4}_{2}He$) هستند و از دو پروتون و دو نوترون تشکیل شده‌اند. واپاشی α با رابطهٔ زیر بیان می‌شود :

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He \qquad (۲_۶)$$

معادلهٔ (واپاشی α)

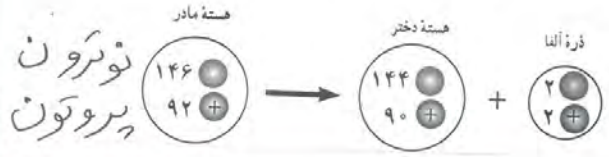
ذره‌های آلفا، سنگین‌اند و بار مثبت دارند. بُرد این ذره‌ها کوتاه است. این ذرات پس از طی مسافت کوتاهی در هوا (۱ تا ۲ سانتی‌متر) و یا با عبور از لایه‌ای نازک از مواد جذب می‌شوند. اگر این ذره‌ها از راه تنفس یا دستگاه گوارش وارد بدن شوند، باعث آسیب شدید به بافت‌های بدن می‌شوند. بنابراین، باید مراقب بود که مواد آلفازا هرگز وارد بدن نشوند.

واپاشی آلفا
① ${}^{4}_{2}\alpha$ و ${}^{4}_{2}He$
یعنی از ۲ پروتون و ۲ نوترون درست شده‌اند (هستهٔ هلیم)
بار آنها ++ و جرم بسیار سنگین ولی بُرد کوتاه
در هوا ← ۱ تا ۲ cm
در شُرب ← ۰/۰۱ mm
در سایر مواد هم خیلی کم (بین این مقادیر)
خطر { از راه تنفس ← ورود به بدن ← آسیب شدید
از راه گوارش

مثال) اورانیوم ${}^{238}_{92}U$ در یک واپاشی به توریم ${}^{234}_{90}Th$ تبدیل می‌شود معادلهٔ واپاشی را بنویسید.

${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{A}_{Z}X$
مادر — دختر — آلفا

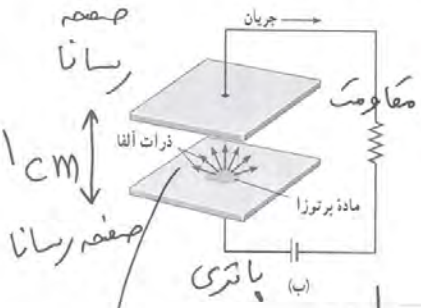
$238 = 234 + A \rightarrow A = 4$
$92 = 90 + Z \rightarrow Z = 2$
$\rightarrow X = {}^{4}_{2}He$



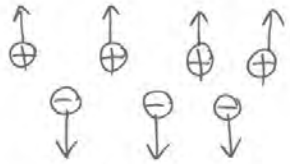
عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

هشداردهنده آتش — فناوری و کاربرد: واپاشی آلفا و آشکارسازهای دود

یکی از کاربردهای گستردهٔ واپاشی α در آشکارسازهای دود است (شکل الف). شکل ب، مدار و بخش اصلی یک آشکارساز دود را نشان می‌دهد. دو صفحهٔ کوچک و موازی فلزی در فاصلهٔ حدود یک سانتی‌متر از یکدیگر قرار داده می‌شوند. مقدار اندکی مادهٔ پرتوزا را که ذرات α گسیل می‌کند در وسط یکی از صفحه‌ها می‌گذارند. ذرات α با مولکول‌های هوای بین دو صفحه برخورد می‌کنند، مولکول‌های هوا یونیده می‌شوند و یون‌های مثبت و منفی به‌وجود می‌آیند. ولتاژ باتری باعث می‌شود یک صفحه مثبت و صفحهٔ دیگر منفی باشد، به طوری که هر صفحه یون‌های با بار مخالف را جذب می‌کند. در نتیجه در مدار متصل به صفحه‌ها جریانی به‌وجود می‌آید. وجود ذرات دود میان صفحه‌ها جریان را کاهش می‌دهد؛ زیرا یون‌هایی که به ذرات دود برخورد می‌کنند معمولاً خنثی می‌شوند. اُفت جریان که ذرات دود باعث آن می‌شود هشداردهنده‌ای را به‌کار می‌اندازد.



باتری −



مولکول‌های هوا با برخورد با ذرات واپاشی یونیده می‌شوند

حرکت مولکول‌های هوای یونیده شده جریان الکتریکی تولید می‌کند وقتی دود در محیط وجود داشته باشد چون ذرات آن بی‌بارند باعث کند شدن جریان می‌شوند و هشداردهنده فعال می‌گردد

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

باتری +

توجه: با آنکه α دارای بار مثبت است ولی در برخورد به هوا آنها به یون‌های + و − تبدیل می‌شوند

مثال) رادیم $^{226}_{88}Ra$ در شرایط خاص به رادون $^{222}_{86}Rn$ تبدیل می‌شود معادله واپاشی را بنویسید

$$^{226}_{88}Ra \longrightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{222}_{86}Rn$$

واپاشی بتا :

① متداول‌ترین نوع واپاشی است

② ماهیت بتا الکترون منفی است

③ بتا که الکترون منفی است ، الکترونی نیست که قبلاً در مدارهای اتمی باشد و هسته هم الکترون ندارد

④ الکترون + پروتون ← نوترون
منفی

$${}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}p^{+} + {}^{0}_{-1}\beta^{-}$$
خنثی

⑤ بتا ${}^{0}_{-1}e$
بتا ${}^{0}_{-1}\beta$

واپاشی β : واپاشی بتا، نخستین مورد پرتوزایی بود که در سال‌های پایانی قرن نوزدهم، توسط هانری بکرل مشاهده شد. این واپاشی، متداول‌ترین نوع واپاشی در هسته‌هاست و ذرات گسیل‌شده در این واپاشی را ذرات بتا می‌نامند. بررسی‌های بعدی نشان داد که این ذرات الکترون‌اند و به همین دلیل، این واپاشی را واپاشی β^- نامیدند. الکترون گسیل‌شده در این واپاشی، در هستهٔ مادر وجود ندارد و همچنین یکی از الکترون های مداری اتم نیست؛ این الکترون وقتی به‌وجود می‌آید که نوترونی درون هسته، به پروتون و الکترون تبدیل شود. فرایند واپاشی β^- را با رابطهٔ زیر بیان می‌کنند :

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e^{-} \quad (۶-۳)$$ ← معادلهٔ (واپاشی β^-)

09125164028

تمرین ۶-۲

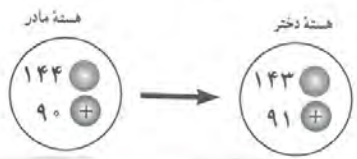
لوتتیم (${}^{176}_{71}Lu$) عنصر پرتوزایی است که با گسیل بتای منفی، واپاشی می‌کند. معادلهٔ این واکنش را بنویسید و با استفاده از جدول تناوبی عنصرها که در پیوست آمده است، عنصر جدیدی را که تولید می‌شود تعیین کنید.

${}^{176}_{71}Lu \longrightarrow {}^{0}_{-1}\beta + {}^{176}_{72}Hf$

لوتتیم ۱۰۵ — هافنیم ۱۰۴

مثال) توریم ${}^{234}_{90}Th$ به ${}^{234}_{91}Pa$ (پروتکتینیم) تبدیل شده است.

معادلهٔ واپاشی را بنویسید.



${}^{234}_{90}Th_{144} \longrightarrow {}^{234}_{91}Pa_{143} + {}^{0}_{-1}\beta_{1}$

09125164028

در نوعی دیگر از فرایند واپاشی بتا، ذرهٔ گسیل‌شده توسط هسته، جرم یکسان با الکترون دارد، ولی به جای بار $e-$ حامل بار $e+$ است. به این الکترون مثبت، پوزیترون می‌گویند و با β^+ یا e^+ نمایش داده می‌شود. در واقع آنچه در این واپاشی رخ می‌دهد این است که یکی از پروتون‌های درون هسته به یک نوترون و یک پوزیترون تبدیل می‌شود و سپس این پوزیترون از هسته گسیل می‌شود. فرایند واپاشی β^+ با رابطهٔ زیر بیان می‌شود[1].

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e^{+} \qquad \text{معادلهٔ واپاشی } (\beta^+) \qquad (۶-۴)$$

① پوزیترون
$^{0}_{+1}\beta^{+}$ $^{0}_{+1}e^{+}$
الکترون مثبت
(پوزیترون)

○ تمرین ۶ـ۳

ایزوتوپ $(^{15}_{8}O)$ با گسیل پوزیترون، واپاشی می‌کند. معادلهٔ این واکنش را بنویسید و با استفاده از جدول تناوبی عنصرها که در پیوست آمده است، عنصر جدیدی را که تولید می‌شود تعیین کنید.

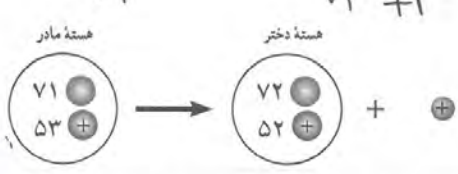
$^{15}_{8}O \rightarrow {}^{0}_{+1}\beta + {}^{15}_{7}N$
اکسیژن — پوزیترون — نیتروژن

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

مثال) در $^{124}_{53}I$ به تلوریم $^{124}_{52}Te$ تبدیل شده است معادلهٔ آن را بنویسید.

$^{124}_{53}I_{71} \rightarrow {}^{124}_{52}Te_{72} + {}^{0}_{+1}\beta$

در تمام این مثال‌ها تعداد ذرات در دو طرف فرآیندها برابر است



واپاشی β^+ وقتی رخ می‌دهد که پروتونی در یک هستهٔ مادر ناپایدار، به نوترون و پوزیترون تبدیل شود. پوزیترون به‌صورت ذرهٔ β^+ گسیل می‌شود.

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

۱ـ در واپاشی β^+، ذره‌ای دیگر به نام نوترینو را نیز باید در نظر بگیریم $(^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e^{+} + {}^{0}_{0}\upsilon)$. همچنین در واپاشی β^-، ذره‌ای دیگر به نام پادنوترینو را نیز باید در نظر بگیریم $(^{A}_{Z}X = {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e^{-} + {}^{0}_{0}\bar{\upsilon})$. در این کتاب برای سادگی از آنها صرف نظر کرده‌ایم.

واپاشی γ : اغلب هسته‌ها پس از واپاشی آلفا یا بتا، در حالت برانگیخته قرار می‌گیرند و با گسیل فوتون‌های پر انرژی (پرتو گاما) به حالت پایه می‌رسند. در این فرایند، A و Z تغییر نمی‌کنند؛ بلکه هستهٔ برانگیخته که با علامت * مشخص شده است، با گسیل پرتو گاما به حالت پایه می‌رسد. واپاشی γ با رابطهٔ زیر بیان می‌شود.

$$_{Z}^{A}X^{*} \rightarrow {}_{Z}^{A}X + \gamma \qquad (۶-۵)$$

معادله (واپاشی γ) گاما

① γ:
نه الکترون
نه پروتون
نه نوترون
فقط یک فوتون
پرانرژی.

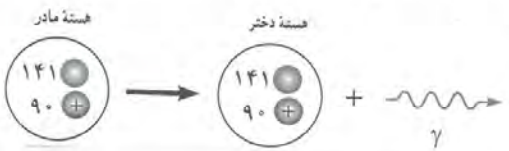
② در اغلب واکنش های آلفا زا و بتا زا هسته برانگیخته می شود X^*

③ گسیل γ باعث خروج از برانگیختگی هسته و رسیدن به حالت پایه می شود.

09125164028

مثال) توریم $_{90}^{231}Th$ در حالت برانگیختگی قرار گرفته و با تابش فوتون گاما به حالت پایه باز می گردد. معادله آن را بیان کنید

$$_{90}^{231}Th^{*}_{141} \rightarrow {}_{90}^{231}Th_{141} + {}_{0}^{0}\gamma$$ فوتون γ



ماهیت عنصر حفظ می شود

جمع بندی

$_{2}^{4}\alpha$ آلفا	$_{0}^{1}n$	نوترون
$_{-1}^{0}\beta$ بتا	$_{1}^{1}P$	پروتون
γ: گاما	$_{+1}^{0}\beta$	پوزیترون

قسمتی از جدول تناوبی

A	B	C	D	E

$C \rightarrow {}_{2}^{4}\alpha + A$ دو خانه عقب

$C \rightarrow {}_{-1}^{0}\beta + D$ یک خانه جلو

$C^{*} \rightarrow \gamma + C$ در خانه خود

$C \rightarrow {}_{+1}^{0}\beta + B$ یک خانه عقب

09125164028

نیمه‌عمر : مدت زمانی است که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه نصف شود

نیمه‌عمر : ایزوتوپ‌های پرتوزا با گذشت زمان واپاشیده می‌شوند. برای یک نمونه از یک مادهٔ پرتوزا، بر اساس داده‌های تجربی می‌توان بیان کرد که در پایان زمانِ معیّنی، چه کسری از مادهٔ پرتوزا وامی‌پاشد. برای مثال در مورد هسته‌های توریم ۹۰ پس از زمان معیّنی می‌توان گفت که چه کسری از آنها به رادیم ۸۸ تبدیل شده است.

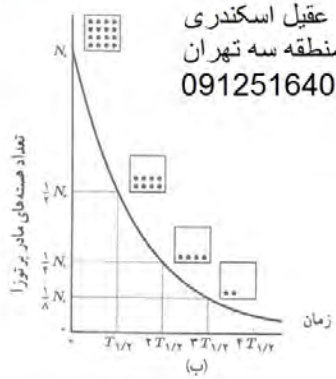
برای بررسی بیشتر این موضوع، یک نمونهٔ پرتوزا را در نظر بگیرید. فرض کنید در لحظهٔ $t=0$ تعداد هسته‌های مادر پرتوزای موجود در این نمونه، برابر N_0 باشد. اگر نمودار تغییرات تعداد هسته‌های مادر موجود در نمونه را برحسب زمان رسم کنیم نمودار شکل ۶ـ۹ الف به‌دست می‌آید. همان‌طور که روی نمودار نیز دیده می‌شود، پس از گذشت زمان کافی، تعداد هسته‌های مادر موجود در نمونه، به صفر میل می‌کند. برای درک بهتر این نمودار، کمیتی به نام نیمه‌عمر را معرفی می‌کنیم و آن را با نماد $T_{\frac{1}{2}}$ نشان می‌دهیم. بنا به تعریف، نیمه‌عمر، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه، به نصف برسند (شکل ۶ـ۹ ب). برخی از ایزوتوپ‌ها مانند اورانیم ۲۳۸، دارای نیمه‌عمری در حدود سنّ زمین (۴/۵ میلیارد سال) هستند. این عناصر منشأ پرتوزایی طبیعی در محیط پیرامون ما هستند.

نیمه عمر $^{238}_{92}U$ برابر است با عمر زمین ۴/۵ میلیارد سال (منشأ پرتوزائی طبیعی)

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

روشن نمودار

09125164028



شکل ۶ـ۹ الف) با گذشت زمان، تعداد هسته‌های مادر پرتوزا در یک نمونه کاهش می‌یابد. ب) با گذشت هر نیمه‌عمر، نیمی از هسته‌های مادر پرتوزای باقی‌مانده، واپاشی می‌کنند.

روش فرمول

اگر تعداد هسته‌های مادر اولیه در یک نمونهٔ پرتوزا N_0 باشد، پس از گذشت زمان t، تعداد هسته‌های پرتوزای باقی مانده از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$N = N_0(\tfrac{1}{2})^n \qquad \text{(تعداد هسته‌های پرتوزای باقی‌مانده)} \qquad (۶ـ۶)$$

که در آن n از رابطهٔ $\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$ به‌دست می‌آید[۱].

$2^n = \frac{N_0}{N}$ و $n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$

با گذشت هر نیمه‌عمر ، تعداد هسته‌های سالم نصف می‌شود

روش سوم جدولی

زمان	۰T	۱T	۲T	۳T
تعداد سالم	$\frac{N_0}{1}$	$\frac{N_0}{2}$	$\frac{N_0}{4}$	$\frac{N_0}{8}$
تعداد واپاشیده	۰	$\frac{N_0}{2}$	$\frac{3}{4}N_0$	$\frac{7}{8}N_0$

تمرین ۶ـ۴

پس از گذشت ۹ روز، تعداد هسته‌های پرتوزای یک نمونه، به $\frac{1}{8}$ تعداد موجود در آغاز کاهش یافته است. نیمه‌عمر (برحسب روز) ماده چقدر است؟

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

$$2^n = \frac{N_0}{N}$$

$$N = \frac{1}{8}N_0 \longrightarrow 2^n = \frac{N_0}{\frac{1}{8}N_0} = 8 = 2^3 \longrightarrow n = 3$$

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \longrightarrow T_{\frac{1}{2}} = \frac{9}{3} = 3 \text{ روز}$$

مثال ۶ـ۱

در حادثهٔ انفجار نیروگاه هسته‌ای چرنوبیل، یُد ۱۳۱ ($^{131}_{53}I$)، یکی از ایزوتوپ‌هایی بود که وارد محیط‌زیست شد. این ایزوتوپ، فرّار است و همراه با جریان‌های جوّی، تا کشورهای دوردست از محل نیروگاه حرکت کرد و با نشستن روی برگ گیاهان، سبب آلودگی گوشت و شیر دام‌هایی شد که این گیاهان را می‌خوردند. نیمه‌عمر این ایزوتوپ پرتوزا تقریباً ۸ روز است. پس از گذشت ۴۰ روز از حادثهٔ چرنوبیل، چه کسری از هسته‌های مادر اولیه در محیط‌زیست باقی‌مانده بود؟

پاسخ: نیمه‌عمر ایزوتوپ یُد۱۳۱ برابر ۸ روز است و ۴۰ روز را معادل ۵ نیمه‌عمر $^{131}_{53}I$ در نظر می‌گیریم. اگر N_0 تعداد هسته‌های مادر اولیه باشد، پس از گذشت ۴۰ روز جدول زیر را می‌توان تنظیم کرد.

تعداد نیمه‌عمرهای سپری‌شده	۰	۱	۲	۳	۴	۵
هسته‌های مادر باقی‌مانده	N_0	$\frac{1}{2}\times N_0 = \frac{N_0}{2}$	$\frac{1}{2}\times\frac{N_0}{2} = \frac{N_0}{4}$	$\frac{1}{2}\times\frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{8}$	$\frac{1}{2}\times\frac{N_0}{8} = \frac{N_0}{16}$	$\frac{1}{2}\times\frac{N_0}{16} = \frac{N_0}{32}$

بنابراین، پس از گذشت ۴۰ روز از حادثهٔ چرنوبیل، تنها $\frac{1}{32}$ از هسته‌های مادر اولیه در محیط‌زیست باقی ماندند.

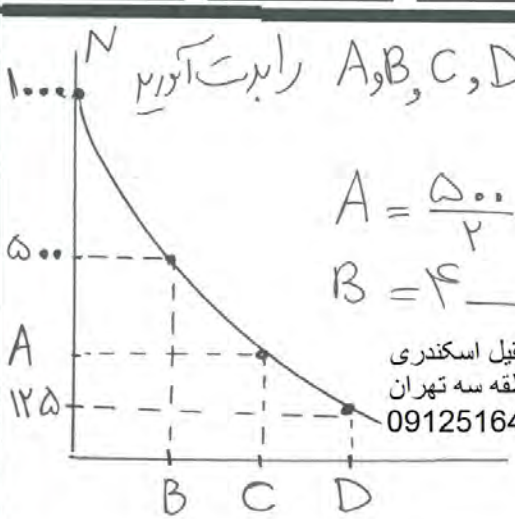
روش دوم

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \longrightarrow n = \frac{40}{8} = 5 \qquad 2^n = \frac{N_0}{N} = 32 \longrightarrow N = \frac{N_0}{32}$$

در نمودار پرتوزائی مقابل A و B و C و D رابطه آنرا (نیمه عمر ۴ روز است)

$A = \frac{۵۰۰}{۲} = ۲۵۰$ (هسته)

$B = ۴ \rightarrow C = ۸ \rightarrow D = ۱۲$



عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

در این کتاب n حتماً عدد طبیعی است

۶ـ۳ شکافت هسته‌ای

در سال ۱۹۳۹ میلادی گروهی از دانشمندان آلمانی، کشف کردند که هستهٔ اورانیم ۲۳۵ ($^{۲۳۵}_{۹۲}U$) پس از جذب نوترون، به دو تکه تقسیم می‌شود و هر تکه، جرم کمتری از هستهٔ اولیه دارد. فرایند تقسیم شدن یک هستهٔ سنگین به دو هسته با جرم کمتر، شکافت هسته‌ای نامیده می‌شود. در فرایند شکافت اورانیم، ترکیب‌های متفاوتی از هسته‌های کوچک‌تر همراه با تعدادی نوترون (بین ۲ تا ۵) به‌وجود می‌آید[۱]. شکل ۶ـ۱۰، یکی از این واکنش‌های ممکن شکافت را نشان می‌دهد که در آن هستهٔ اورانیم $^{۲۳۵}_{۹۲}U$ پس از جذب نوترون و تبدیل به ایزوتوپ ناپایدار $^{*۲۳۶}_{۹۲}U$، به هسته‌های باریم $^{۱۴۱}_{۵۶}Ba$ و کریپتون $^{۹۲}_{۳۶}Kr$ تقسیم شده است. واکنش وقتی شروع می‌شود که نوترونی کُند (با انرژی جنبشی در حدود ۰/۰۴eV) توسط هستهٔ $^{۲۳۵}_{۹۲}U$ جذب و هستهٔ مرکّب $^{*۲۳۶}_{۹۲}U$ ایجاد شود. این هستهٔ مرکّب در کمتر از $۱۰^{-۱۲}s$ و مطابق واکنش زیر واپاشیده می‌شود:

(۱) هسته اورانیوم (۲۳۵ ـ ۲۳۸) با جذب (نوترون ـ فوتون) به (دو ـ سه) تکه که جرم هر تکه از اورانیوم مادر (کمتر ـ بیشتر) است تبدیل می‌شود

(۲) تقسیم شدن یک هسته سنگین به دو هسته سبک ..... نام دارد

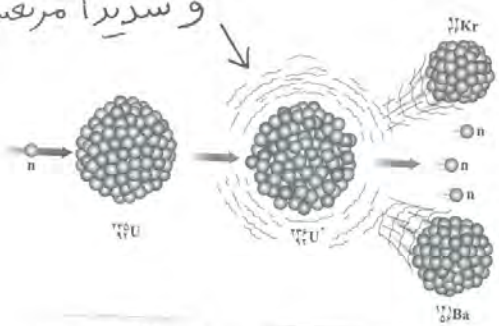
(۳) در شکافت $^{۲۳۵}_{۹۲}U$ (فقط به دو هسته ..... و ..... ـ ترکیب های متفاوتی از هسته های .....) می رسیم

(۴) در شکافت $^{۲۳۵}_{۹۲}U$ همراه با دختران تعدادی (پروتون ـ نوترون) نیز تولید می‌شود که تعداد آنها (فقط ۳ ـ عددی بین ۲ تا ۵) است

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow \underbrace{{}^{236}_{92}U^{*}}_{\text{هستهٔ مرکّب (ناپایدار)}} \rightarrow \underbrace{{}^{141}_{56}Ba}_{\text{باریم}} + \underbrace{{}^{92}_{36}Kr}_{\text{کریپتون}} + \underbrace{3\,{}^{1}_{0}n}_{\text{سه نوترون}}$$

واکنش شکافت $^{235}_{92}U$ زمانی شروع می‌شود که یک نوترون (کند - پرانرژی) با انرژی جنبش ($0.04\ eV$ - $400\ eV$) توسط $^{235}_{92}U$ جذب شود و هستهٔ مرکّب ( ) تولید شود و درمدتی نزدیک به ($10^{-12}\ s$ - $12\ s$) این هسته واپاشیده و شکافته شود و به هسته‌های ( ) و ( ) و ..... نوترون تبدیل گردد

به شدت ناپایدار است و شدیداً مرتعش می‌باشد



عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

شکل ۶ـ۱۰ واکنش شکافت $^{235}_{92}U$ با جذب یک نوترون کُند شروع می‌شود.

به‌طور میانگین ۲/۷ نوترون در هر واکنش شکافت آزاد می‌شود.

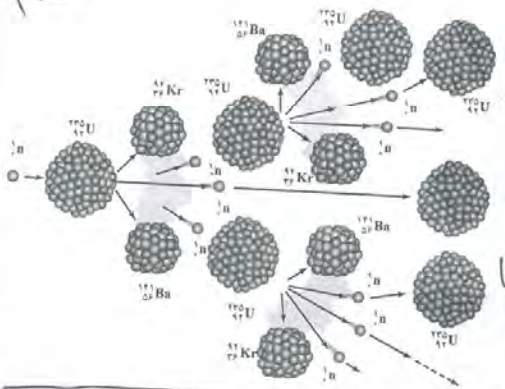
چرا وقتی $^{235}_{92}U$ یک نوترون دریافت می‌کند واپاشیده می‌شود؟

وقتی نوترونی با هستهٔ اورانیم ۲۳۵ برخورد کند و جذب شود، هستهٔ اورانیم شروع به ارتعاش می‌کند و تغییر شکل می‌دهد. ارتعاش تا وقتی ادامه می‌یابد که تغییر شکل چنان جدی شود که نیروی جاذبهٔ هسته‌ای دیگر نتواند با نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی بین پروتون‌های هسته متوازن شود. در این هنگام، هسته به پاره‌هایی وامی‌پاشد که حامل انرژی (به‌طور عمده انرژی جنبشی) هستند.

پاره‌های شکافت اورانیوم معمولاً چه نوع انرژی ای دارند؟

واکنش زنجیری: همان‌طور که دیدیم فرایند شکافت $^{235}_{92}U$ با جذب یک نوترون کُند آغاز می‌شود. اگر محصولات شکافت، باریم $^{141}_{56}Ba$ و کریپتون $^{92}_{36}Kr$ باشند، در این فرایند ۳ نوترون به‌وجود می‌آید، چون نوترون‌ها بار الکتریکی ندارند، هسته‌های دیگر آنها را دفع نمی‌کنند. نوترون‌ها پس از کُند شدن، توسط هسته‌های دیگر جذب می‌شوند و باعث شکافت در ۳ هستهٔ اورانیم دیگر می‌شوند و ۹ نوترون آزاد می‌کنند. اگر هر یک از این نوترون‌ها نیز موفق به شکافت یک هستهٔ اورانیم شود، ۲۷ نوترون آزاد می‌شود و به همین ترتیب تا آخر. این رشته واکنش را، واکنش زنجیری می‌نامند (شکل ۶ ـ ۱۱).

آیا در شکافت $^{235}_{92}U$ الزاماً باریم و کریپتون تولید می‌شود؟ خیر ـ می‌توانند دختران دیگری هم داشته باشد ولی اگر باریم و کریپتون تولید شوند ۳ نوترون هم تولید می‌شود و در موارد دیگر تعداد نوترون بین ۲ تا ۵ نوترون است. (در شکل زیر نشان داده شده)



تولید نوترون → ۱ → ۳ → ۹ → ۲۷ زنجیره‌ای

در واکنش زنجیره‌ای علت اینکه نوترون‌ها توسط سایر هسته‌ها دفع نمی‌شوند خنثی بودن نوترون‌ها می‌باشد

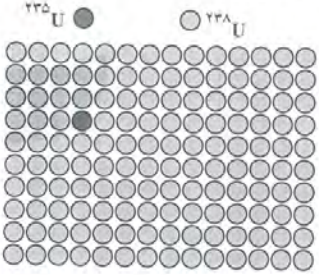
در واکنش‌های شکافت هسته‌ای، جرم محصولات شکافت، کمتر از جرم هستهٔ مرکب است. این اختلاف جرم بنا به رابطهٔ $E = mc^2$، سبب آزاد شدن انرژی گرمایی زیادی می‌شود.

انرژی‌ای که توسط محصولات شکافت حمل می‌شود عمدتاً به شکل انرژی جنبشی است. در هر واکنش شکافت حدود ۲۰۰MeV انرژی آزاد می‌شود. این انرژی، 10^8 برابر انرژی آزادشده به‌ازای هر مولکول در یک واکنش شیمیایی معمولی، نظیر سوختن بنزین یا زغال سنگ است. حتی در انفجار تری نیتروتولوئن (TNT)، انرژی آزادشده به ازای هر مولکول، در حدود ۳۰eV است.

جرم هستهٔ مرکب ..... از جرم همهٔ محصولات شکافت ..... است و طبق رابطه ..... انرژی فوق العاده ای آزاد می‌شود و این انرژی سبب آزاد شدن انرژی ..... می‌شود.

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

شکل ۶ـ۱۲ الف، تصویری از ورودی مجتمع معدنی اورانیم ساغند (واقع در حوالی شهر اردکان یزد) را نشان می‌دهد. ممکن است این پرسش مطرح شود که چرا واکنش زنجیری به طور طبیعی در این معدن و دیگر معدن‌های اورانیم رخ نمی‌دهد؟ پاسخ این است که در سنگ معدن اورانیم، دو ایزوتوپ ۲۳۵ و ۲۳۸ وجود دارد، به‌طوری که فراوانی ایزوتوپ ۲۳۵ حدود ۰/۷۲٪ درصد است. به عبارت دیگر از هر ۱۴۰ اتم اورانیم موجود در سنگ معدن اورانیم، تنها یکی از آنها ایزوتوپ ۲۳۵ و مابقی ایزوتوپ ۲۳۸ است (شکل ۶ـ۱۲ ب). اگرچه $^{238}_{92}U$ فراوان‌ترین ایزوتوپ اورانیم است، احتمال اینکه نوترونی را گیر بیندازد و شکافته شود، بسیار کم است و در نتیجه واکنش زنجیری را ناممکن می‌سازد.



(ب)

(الف)

شکل ۶ـ۱۲ الف) معدن اورانیم ساغند با بیشترین ظرفیت تولید در ایران در حوالی شهر اردکان یزد واقع است. ب) در سنگ معدن اورانیم از هر ۱۴۰ اتم اورانیوم، تنها یکی ایزوتوپ ۲۳۵ است.

① انرژی که توسط محصولات شکافت حمل می‌شود عمدتاً به شکل انرژی ..... است.

② هر واکنش شکافت ..... MeV انرژی دارد

③ انرژی هر واکنش شکافت ----- برابر واکنش شیمیائی معمول است

④ انرژی تری نیترو تولوئن ( ) در هر مولکول ..... eV

⑤ در معادن اورانیوم دو نوع ایزوتوپ وجود دارد ..... و .....

⑥ ایزوتوپ ($^{235}_{92}U$ - $^{238}_{92}U$) به عنوان سوخت هسته ای

⑦ فراوانی اورانیوم در طبیعت از هر ۱۴۰ هسته اورانیوم

..... هسته $^{235}_{92}U$ و ..... هسته $^{238}_{92}U$

۰/۷۲٪ ۹۹/۲٪

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

⑧ علت اینکه در معادن اورانیوم واکنش زنجیره ای رخ نمی دهد این است که اولاً $^{235}_{92}U$ که به راحتی می تواند نوترون را جذب کند خیلی نادر است و ثانیاً $^{238}_{92}U$ که فراوان است احتمال گیر انداختن نوترونش بسیار کم است

غنی‌سازی اورانیم : همان‌طور که اشاره کردیم، واکنش زنجیری در سنگ معدن اورانیم رخ نمی‌دهد. برای استفاده از اورانیم به‌عنوان سوخت در نیروگاه‌های هسته‌ای یا استفاده در انفجارهای هسته‌ای، باید فراوانی ایزوتوپ ۲۳۵ را در یک نمونهٔ اورانیم، افزایش دهیم. به فرایند افزایش درصد یا غلظت ایزوتوپ ۲۳۵ در یک نمونه، غنی‌سازی گفته می‌شود. بیشتر راکتورهای تجاری تولید برق، مانند راکتور نیروگاه هسته‌ای بوشهر، از اورانیمی استفاده می‌کنند که در آنها ایزوتوپ $^{235}_{92}U$ تا ۳ درصد غنی‌سازی شده است. همچنین در بیشتر راکتورهای پژوهشی، مانند راکتور پژوهشی دانشگاه تهران، از سوختی استفاده می‌شود که ایزوتوپ $^{235}_{92}U$ تا ۲۰ درصد غنی‌سازی شده است.

در یک معدن اورانیوم واکنش زنجیری رخ (می دهد-نمی دهد) زیرا فراوانی یا غلظت ^{235}U در آنها (زیاد-کم) است.

به فرایند بالا بردن درصد یا غلظت ^{235}U در یک نمونه ..... می گویند. در نیروگاه های تجاری و راکتورهای برق درصد ^{235}U تا ..... درصد می رسد و در راکتورهای پژوهشی درصد خلوص تا ..... درصد می رسد.

09125164028

راکتورهای شکافت هسته‌ای : نوترون‌های آزادشده در فرایند شکافت ایزوتوپ $^{235}_{92}U$، انرژی جنبشی زیادی دارند (به‌طور متوسط حدود 2MeV) و به نوترون‌های تُند معروف‌اند. این نوترون‌ها، با احتمال بسیار بیشتری جذب ایزوتوپ $^{238}_{92}U$ می‌شوند. تجربه نشان می‌دهد اگر بتوان نوترون‌های تند را به نحوی کُند ساخت که انرژی جنبشی آنها به حدود 0/04eV یا کمتر از آن برسد، احتمال جذب آنها توسط ایزوتوپ‌های $^{235}_{92}U$ افزایش می‌یابد. این افزایش احتمال می‌تواند برای ایجاد واکنش زنجیری شکافت، کافی باشد. آب معمولی (H_2O)، آب سنگین (D_2O) و گرافیت (اتم‌های کربن) از جمله موادی هستند که به‌عنوان کُندساز[1] نوترون‌ها در واکنش‌های شکافت هسته‌ای استفاده می‌شوند.

راکتور هسته‌ای، جایی است که در آن واکنش زنجیری شکافت به‌شکل کنترل شده رخ می‌دهد. اولین راکتور هسته‌ای به‌منظور شکافت $^{235}_{92}U$، در سال ۱۹۴۲ میلادی توسط انریکو فرمی و همکارانش در دانشگاه شیکاگو ساخته شد. امروزه راکتورهایی با انواع و اندازه‌های مختلف ساخته شده‌اند که بیشتر به منظور تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه‌های هسته‌ای به‌کار می‌روند (شکل ۶ـ۱۳ الف).

(۱) در هر اتم واکنش شکافت ۲۰۰ انرژی MeV آزاد می شود

(۲) هر نوترون حاصل از واکنش شکافت 2MeV انرژی جنبشی دارد (به طور متوسط)

(۳) اگر نوترون‌ها با انرژی زیاد باشند (2MeV) جذب (^{238}U ـ ^{235}U) می شوند ولی اگر کُند شوند (در حدود انرژی 0/04eV یا کمتر) احتمالا جذب (^{238}U ـ ^{235}U) می شوند.

09125164028

با (افزایش - کاهش) انرژی نوترون های شکافت احتمال جذب آنها توسط U (۲۳۵ - ۲۳۸) بالا می رود و در نتیجه احتمال واکنش زنجیری زیاد می شود.

09125164028

آب معمولی (H_2O) و آب سنگین (D_2O) و گرافیت به عنوان ..... نوترون ها کاربرد دارند.

راکتور هسته ای جائی است که واکنش ..... شکافت به شکل (انفجاری - کنترل شده) رخ می دهد

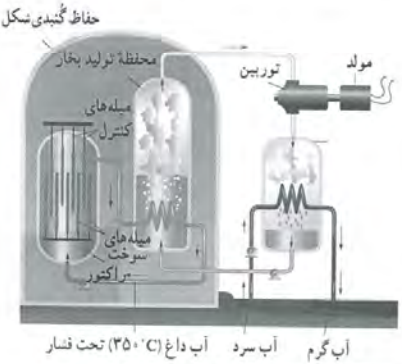
09125164028

بیشتر راکتورهای هسته ای به منظور (نظامی - تولید برق) ساخته شده اند.

راکتور ۱۰۰۰ مگاواتی شکافت هسته ای بوشهر از نوع PWR (آب تحت فشار) است با حفاظ گنبدی شکل

مهمترین قسمت های راکتور هسته ای

① سوخت هسته ای
② مادهٔ کُند ساز
③ میله‌های کنترل
④ شاره ای برای انتقال گرما به خارج (معمولاً آب)



راکتور PWR (آب تحت فشار)

09125164028

(معمولاً ۲ـ۳٪)
سوخت هسته‌ای
ایزوتوپ U
(۲۳۸ – ۲۳۵)

سوخت هسته‌ای (معمولاً با حدود ۳درصد ایزوتوپ $^{235}_{92}U$) به‌صورت میله‌هایی با قطر حدود ۱cm است و هزاران عدد از این میله‌ها در قلب راکتور قرار دارد.

09125164028

با وارد کردن میله‌های کنترل به داخل راکتور، آهنگ واکنش شکافت، یعنی تعداد نوترون‌های موجود برای به‌وجود آوردن شکافت، تنظیم می‌شود. میله‌های کنترل معمولاً از مواد جذب‌کنندهٔ نوترون، مانند کادمیم یا بور، ساخته می‌شوند. در نوعی از راکتورها، که به راکتورهای آب تحت فشار (PWR)[1] معروف‌اند، آبی که سوخت هسته‌ای را احاطه کرده است، تحت فشار زیاد (حدود ۱۵۰ اتمسفر) قرار دارد تا بدون آنکه بجوشد به دماهای بالا برسد. این آب داغ، به سامانهٔ بستهٔ دیگری که محتوی آب با فشار کمتر است، پمپ می‌شود تا این آب را گرم کند. گرمای انتقال‌یافته به سامانهٔ دوم، سبب تولید بخار می‌شود که توربین و مولد الکتریسیته را به‌کار می‌اندازد.

با حدود .....درصد
خلوص به صورت (میله هائی - مکعب هائی) به طول حدود
(۱cm – ۱m) و به تعداد (کمتر از صد – هزاران)
عدد در (محفظه تولید بخار - قلب راکتور) قرار می‌گیرند.

آهنگ واکنش شکافت یعنی (سرعت - تعداد)(نوترون - پروتون)
موجود برای به وجود آوردن شکافت

وظیفه (میله - مکعب)های کنترل ، کنترل ..... واکنش
شکافت است . این مواد (جذب - دفع) کنندهٔ خوب
(نوترون - پروتون) هستند مانند (کادمیم - H_2O - D_2O)
(گرافیت - بور - باریم)

09125164028

در راکتور آب تحت فشار (PWR) فشار آب به .....
اتمسفر می‌رسد و (بدون - درجین) جوش آمدن به دماهای
نزدیک (صد درجه - ۳۵۰ درجه) می‌رسد

09125164028

09125164028

۶ـ۴ گداخت (همجوشی) هسته‌ای

یک نوع دیگر واکنش هسته‌ای که منشأ تولید انرژی در ستارگان و از جمله خورشید است، گداخت یا همجوشی هسته‌ای نام دارد. در فرایند گداخت هسته‌ای، دو هستهٔ سبک با یکدیگر ترکیب می‌شوند و هستهٔ سنگین‌تری به‌وجود می‌آورند. برای مثال، واکنش گداخت زیر را در نظر بگیرید :

$$D + T \rightarrow {}^{4}He + {}^{1}n$$

در این واکنش با همجوشی هسته‌های دو ایزوتوپ هیدروژن یعنی دوتریم و تریتیم، هستهٔ هلیم و یک نوترون پرانرژی تولید می‌شود (شکل ۶ـ ۱۴). در واکنش گداخت، مجموع جرم محصولات فرایند، کمتر از مجموع جرم هسته‌های اولیه است. در اینجا نیز این اختلاف جرم با توجه به رابطهٔ $E=mc^2$، سبب آزاد شدن مقدار زیادی انرژی می‌شود.

09125164028

منشأ انرژی ستارگان و خورشید هسته‌ای و از نوع (شکافت - هم‌جوشی) است که به نام (گداخت - انجماد) معروف است.

در فرآیند (شکافت - گداخت) یک هستهٔ سنگین به دو هستهٔ سبک تبدیل می‌شود و در هر واکنش ($200_{Mev} - 2_{Mev}$) انرژی آزاد می‌شود ولی در واکنش (شکافت - گداخت) دو هستهٔ سبک با یکدیگر ترکیب می‌شوند و هستهٔ جدیدی ایجاد می‌کنند این هستهٔ جدید (از تک‌تک - از کل) هسته‌های اولیه سنگین‌تر (و از تک‌تک - از کل) هسته‌های اولیه سبک‌تر است یعنی مقداری جرم (کاسته - افزوده) شده و انرژی معادل با آن از رابطه ( ) بدست می‌آید که برای هر واکنش ($17_{5Mev} - 17_{5Mev}$) است.

$$_{1}^{2}D + {}_{1}^{3}T \rightarrow {}_{2}^{4}He + {}_{0}^{1}n$$

09125164028

نوترون پرانرژی + هلیم ⟵ تریتیم + دوتریوم

همجوشی یا گداخت

شکل ۶ـ۱۴ دوتریم و تریتیم در هم گداخته می‌شوند تا هستهٔ هلیم تشکیل شود. در این واکنش، مقدار زیادی انرژی (حدود ۱۷/۶MeV) آزاد می‌شود که بخش عمده‌ای از آن به‌صورت انرژی جنبشی نوترون است.

09125164028

از آنجا که در واکنش‌های گداخت، مقدار بسیار زیادی انرژی آزاد می‌شود، ساخت راکتورهای گداخت مورد توجه زیادی است (شکل ۶ـ۱۵)؛ اگرچه تاکنون نوع تجاری آن ساخته نشده است. مشکلات در ساخت راکتور گداخت به این علت پیش می‌آید که دو هستهٔ کم‌جرم باید به‌قدرکافی به‌هم نزدیک شوند تا نیروی کوتاه‌بُرد هسته‌ای بتواند آنها را کنار هم نگه دارد و واکنش گداخت انجام شود. ولی، هر هسته، بار مثبت دارد و هستهٔ دیگر را دفع می‌کند، برای آنکه هسته‌ها با وجود این نیروی رانشی بسیار قوی، بتوانند به هم گداخته شوند، باید دما بسیار بالا باشد تا هسته‌ها با انرژی جنبشی زیادی به یکدیگر برخورد کنند. به همین دلیل، برای انجام این واکنش باید مقدار زیادی انرژی صرف کرد. به‌طور مثال، برای شروع واکنش دوتریم ـ تریتیم، به دمایی حدود ده‌ها میلیون درجهٔ سلسیوس نیاز است. دمایی از این مرتبه در ستارگان و خورشید وجود دارد. مثلاً خورشید، که در آن از گداخت هسته‌های هیدروژن انرژی آزاد می شود، دمای درونی آن فراتر از ۲۰ میلیون درجهٔ سلسیوس برآورد شده است. در نتیجه واکنش گداخت هسته‌ای، در مرکز خورشید و ستارگان که دما و فشار بسیار بالاست صورت می‌گیرد.

09125164028

شکل ۶ـ۱۵ طرحی از راکتور آزمایشی گرما هسته‌ای بین‌المللی (ITER)[1]. ساخت این راکتور با مشارکت چندین کشور جهان، از سال ۲۰۰۷ در فرانسه شروع شده است و پیش‌بینی می‌شود بنای آن در سال ۲۰۲۱ به اتمام برسد. قرار است این راکتور از سال ۲۰۳۵ با توان خروجی ۵۰۰ مگاوات شروع به کار کند.

09125164028

انرژی حاصل از گداخت (بالا - پائین) است و ساختن راکتور آن کار (ساده - سخت) می باشد بطوریکه تاکنون نوع تجاری آن (چندین بار ساخته شده - ساخته نشده است) مشکل این است که در گداخت باید دو هسته (به - از) هم خیلی (نزدیک - دور) شوند و چون هسته ها بار (مثبت - منفی) دارند و نیروی (قوی - ضعیف) الکتریکی به وجود می آید برای غلبه بر این نیروی الکتریکی باید دمائی (کم - ده ها میلیونی) ایجاد کرد مانند دمای (ستارگان - سیارگان) خورشید با دمای ۲۰ میلیونی و فشار زیاد

عقیل اسکندری

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۶

۱. مرتبهٔ بزرگی تعداد نوترون‌هایی را که می‌توان تنگ هم در یک توپ تنیس به شعاع ۳/۲cm جای داد، تخمین بزنید. در این صورت مرتبهٔ بزرگی جرم این توپ چقدر است؟
(مرتبهٔ بزرگی شعاع و جرم نوترون را به‌ترتیب 10^{-15}m و 10^{-27}kg در نظر بگیرید.)

$V_{کره} = \frac{4}{3}\pi r^3$

$\frac{V_{توپ\ تنیس}}{V_{نوترون}} = \left(\frac{3/2\times10^{-2}}{10^{-15}}\right)^3$

تعداد نوترون‌هایی که می‌توانند در یک توپ جای گیرند $\sim 10^{39}$

جرم توپ پر از نوترون $= 10^{39}\times10^{-27} = 10^{12}$ kg

۲. برای $^{208}_{82}Pb$ مطلوب است:
الف) تعداد نوکلئون‌ها ب) تعداد نوترون‌ها
پ) بار الکتریکی خالص هسته

$^{208}_{82}Pb$ (هستهٔ سرب) — 126

الف) ۲۰۸ ب) ۱۲۶ پ) $q = ne$

$q = 82\times1/6\times10^{-19} = 1/312\times10^{-17}$ C

۳. در هر یک از موارد زیر نماد X چه عنصری را نشان می‌دهد و در هستهٔ هر یک چند نوترون وجود دارد؟ در صورت لزوم از جدول تناوبی استفاده کنید.
الف) $^{195}_{78}X$ ب) $^{32}_{16}X$ پ) $^{61}_{29}X$

عنصر Z پروتون	N نوترون	A جرمی
پلاتین Pt ۷۸	۱۱۷	۱۹۵
گوگرد S ۱۶	۱۶	۳۲
مس Cu ۲۹	۳۲	۶۱

۴. آیا می‌توان ایزوتوپ $^{61}_{25}X$ را با روش شیمیایی از ایزوتوپ $^{59}_{25}X$ جدا کرد؟ از ایزوتوپ $^{61}_{26}Y$ چطور؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

قسمتی از جدول تناوبی

$^{61}_{25}X$ و $^{59}_{25}X$ ایزوتوپ و هم‌مکان	$^{61}_{26}X$

منگنز Mn آهن Fe

روش شیمیایی فقط در عنصر متفاوت (Z نامساوی) را جدا می‌کند زیرا ایزوتوپ‌ها از نظر شیمیایی هم رفتار می‌کنند

جداسازی: $^{61}_{25}X$ و $^{59}_{25}X$ فیزیکی؛ $^{61}_{26}X$ از بقیه شیمیایی

09125164028 09125164028 09125164028

۵. جاهای خالی در فرایندهای واپاشی زیر نشان‌دهندهٔ یک یا چند ذرهٔ α ، β^+ یا β^- است. در هر واکنش، جای خالی را کامل کنید.

09125164028

$^{211}_{82}Pb \rightarrow {}^{211}_{83}Bi + {}^{0}_{-1}\beta^-$ بتا

$^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + {}^{0}_{+1}\beta^+$ پوزیترون

در جدول ۵ → در کتاب ۳

$^{231}Th^* \rightarrow {}^{231}_{90}Th + {}^{0}_{0}\gamma$ گاما

09125164028

$^{18}_{9}F \rightarrow {}^{18}_{8}O + {}^{0}_{+1}\beta^+$ پوزیترون

۶. هستهٔ دختر به‌دست‌آمده از هر یک از واپاشی‌های زیر را به‌صورت $^{A}_{Z}X$ مشخص کنید.

الف) $^{242}_{94}Pu$ واپاشی α انجام دهد.

ب) سدیم $^{24}_{11}Na$ واپاشی β^- انجام دهد.

پ) نیتروژن $^{13}_{7}N$ واپاشی β^- انجام دهد.

ت) $^{15}_{8}O$ واپاشی β^+ انجام دهد.

$^{242}_{94}Pu \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{238}_{92}U$

$^{24}_{11}Na \rightarrow {}^{0}_{-1}\beta^- + {}^{24}_{12}Mg$

09125164028

$^{13}_{7}N \rightarrow {}^{0}_{-1}\beta^- + {}^{13}_{6}O$

$^{15}_{8}O \rightarrow {}^{0}_{+1}\beta^+ + {}^{15}_{7}N$

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

۷. سرب $^{207}_{82}Pb$ هستهٔ دختر پایداری است که می‌تواند از واپاشی α یا واپاشی β^- حاصل شود. فرایندهای مربوط به هر یک از این واپاشی‌ها را بنویسید. در هر مورد هستهٔ مادر را به‌صورت $^{A}_{Z}X$ مشخص کنید.

واپاشی آلفا برای تولید سرب

$$^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{207}_{82}Pb + {}^{4}_{2}\alpha$$

$A = 211$, $Z = 84$ → $^{211}_{84}Po$ (پولونیم)

واپاشی بتا

$$^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{207}_{82}Pb + {}^{0}_{-1}\beta^-$$

$A = 207$, $Z = 81$ → $^{207}_{81}Tl$ (تالیم)

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

۸. نپتونیم $^{237}_{93}Np$ ایزوتوپی است که در راکتورهای هسته‌ای تولید می‌شود. این ایزوتوپ ناپایدار است و واپاشی آن از طریق گسیل ذرات α، β، α و α صورت می‌گیرد. پس از وقوع تمام این واپاشی‌ها، عدد اتمی و عدد جرمی هستهٔ نهایی چقدر است؟

$$^{237}_{93}Np \longrightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{A}_{Z}X$$

$^{233}_{91}Pa$ پروتاکتینیم

$$^{233}_{91}Pa \longrightarrow {}^{0}_{-1}\beta^- + {}^{A}_{Z}X$$

$^{233}_{92}U$ اورانیوم

$$^{233}_{92}U \longrightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{A}_{Z}X$$

$^{229}_{90}Th$ توریم

$$^{239}_{90}Th \longrightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{A}_{Z}X$$

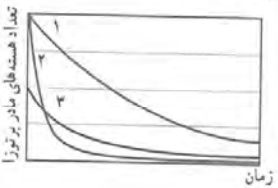
$^{235}_{88}Ra$ رادیم

09125164028

عقیل اسکندری

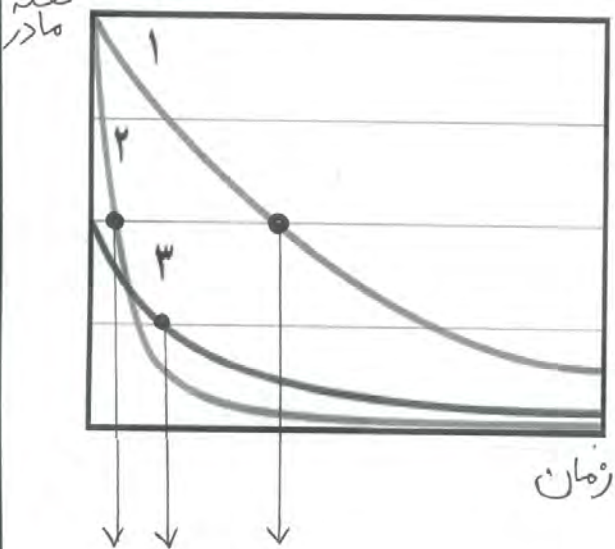
ص ۳۴ | ف ۶ | ک ۱۲

۹. شکل زیر نمودار تغییرات تعداد هسته‌های مادر پرتوزای سه نمونه را برحسب زمان نشان می‌دهد. نیمه‌عمر این سه نمونه را با هم مقایسه کنید.



هرهسته‌ای که با گذشت زمان کمتری تعداد هسته‌های آن نصف گردد نیمه عمرش کوتاه‌تر

09125164028



توجه داریم که خود مسأله با خطوط افقی تعداد هسته‌ها چندمرتبه تقسیم کرده است

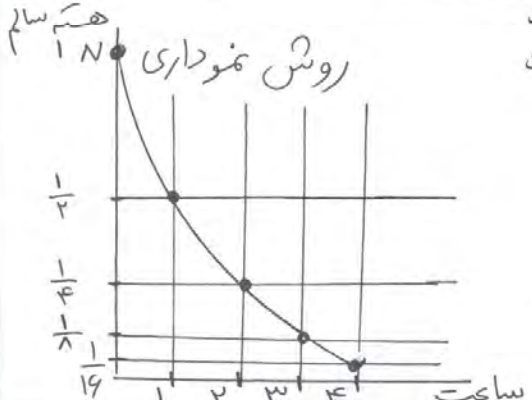
(سئوال ۱۰ صفحه بعد)

عقیل اسکندری
منطقه سه تهران
09125164028

۱۱. نیمه‌عمر بیسموت ۲۱۲ حدود ۶۰ دقیقه است. پس از گذشت چهار ساعت، چه کسری از مادهٔ اولیه، در نمونه‌ای از این بیسموت، باقی می‌ماند؟

09125164028

روش نموداری



$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{۴}{۱} = ۴$$

$$۲^n = \frac{N_0}{N} \rightarrow \frac{N_0}{N} = ۱۶$$

$N = \frac{1}{16} N_0$ سالم می‌ماند

$N' = \frac{15}{16} N_0$ واپاشی می‌کند

۱. هنگامی‌که نیتروژن جوّ زمین توسط پرتوهای کیهانی (که معمولاً از جنس پروتون، ذره‌های α و الکترون هستند) بمباران می‌شود، ایزوتوپ پرتوزای کربن ۱۴ با آهنگ ثابتی در لایه‌های فوقانی جو تولید می‌شود. این کربن پرتوزا، با کربن ۱۲ که به‌طور طبیعی در جو وجود دارد درهم می‌آمیزد. بررسی‌ها نشان داده است که به‌ازای هر ۱۰۰۰۰ میلیارد اتم پایدار کربن ۱۲، تقریباً یک اتم پرتوزای کربن ۱۴ از این طریق وارد جوّ می‌شود.

اتم‌های کربن جوّی از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی از قبیل فتوسنتز و تنفس، به‌نحو کاتوره‌ای مکان خود را عوض می‌کنند و به بدن جانداران منتقل می‌شوند. به‌طوری‌که اتم‌های کربن هر موجود زنده شامل کسر کوچک و ثابتی از ایزوتوپ پرتوزای کربن ۱۴ است.

وقتی موجود زنده‌ای می‌میرد، مقدار کربن پرتوزای به تله افتاده در موجود غیرزنده، با نیمه‌عمر ۵۷۳۰ سال رو به کاهش می‌گذارد. کربن ۱۴ موجود در یک نمونهٔ زغال قدیمی، ۱/۵۶ درصد (معادل $\frac{1}{64}$) مقدار عادی کربن ۱۴ موجود در زغالی است که تازه تولید شده است. سن تقریبی این زغال قدیمی چقدر است؟

09125164028

(۹) با محاسبه مقدار ^{14}C در یک جسد می‌توان قدمت آن جسد را معین کرد.

09125164028

پاسخ مسئله:

$$2^n = \frac{N_0}{N} = \frac{N_0}{\frac{1}{64}N_0} = 64 = 2^6 \qquad n = 6$$

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \rightarrow t = 6 \times 5730 \qquad t = 34380 \text{ سال}$$

09125164028

(۱) جنس پرتوهای کیهانی پروتون و آلفا و الکترون

(۲) ^{14}C پایدار نیست و پرتوزا است.

(۳) روش تولید ^{14}C در جو بمباران نیتروژن توسط ذرات کیهانی است.

(۴) تولید ^{14}C در جو با آهنگ ثابتی رخ می‌دهد.

(۵) در جو $\frac{^{14}C \rightarrow 1}{^{12}C \rightarrow 10^{13}}$ فراوانی کربن

(۶) اتم‌های کربن از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی به طور کاتوره‌ای در بدن موجودات زنده مختلف جابه‌جا می‌شوند

(۷) هر موجود زنده مقدار کوچک و ثابت از ^{14}C دارد

(۸) هنگام مرگ هر موجود زنده ^{14}C به تله می‌افتد و با نیمه‌عمر ۵۷۳۰ کاهش می‌یابد.

۱۲. معادلهٔ زیر بخشی از واکنشی را نشان می‌دهد که در یک راکتور هسته‌ای روی می‌دهد.

$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{236}_{92}U$$

09125164028

الف) اهمیت عددهای ۲۳۵ و ۹۲ را توضیح دهید.

ب) اتم‌های $^{236}_{92}U$ ناپایدارند و خودبه‌خود به قطعه‌هایی کوچک‌تر همراه با تعدادی نوترون سریع (بین ۲ تا ۵ عدد) و مقدار زیادی انرژی واپاشیده می‌شود. این فرایند چه نام دارد و انرژی آزاد شده در این فرایند چگونه تعیین می‌شود؟

پ) اورانیم ۲۳۵ عمدتاً نوترون‌های با تندی کم را جذب می‌کند تا نوترون‌های سریع را. توضیح دهید چگونه تندی نوترون‌ها را در قلب راکتور کم می‌کنند.

ت) چگونه تولید انرژی را در قلب راکتور کنترل می‌کنند؟

ث) واکنش زنجیری را توضیح دهید.

ج) انرژی به‌صورت گرما در قلب راکتور تولید می‌شود. چگونه گرما از قلب راکتور گرفته و به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود؟

چ) هنگامی‌که میله‌های سوخت از مرکز راکتور بیرون کشیده می‌شوند، آنها «پرتوزا» و «ایزوتوپ»هایی با «نیمه‌عمر» طولانی هستند. واژه‌های داخل گیومه را توضیح دهید.

الف) $^{235}_{92}U$ ۱۴۳

۹۲ عدد اتمی اورانیم است یعنی سنگین‌ترین هستهٔ طبیعی زمین

۲۳۵ تعداد نوکلئون‌های اورانیمی است که می‌تواند با جذب نوترون کُند به عنوان سوخت هسته‌ای شکافت مورد استفاده واقع شود.

09125164028

ب) هر فرایند شکافت هسته‌ای نام دارد و اگر نوترون‌های تولید شده بتوانند شکافت‌های بعدی را تولید کنند به کل فرایندها فرایند زنجیری شکافت می‌گویند

مقدار این انرژی از رابطهٔ

$$E = m c^2$$

که m از تفاوت جرم $^{236}_{92}U^*$ با جرم کلیه محصولات شکافت بدست می‌آید.

پ) از مواد کُندساز مانند آب معمولی H_2O آب سنگین D_2O گرافیت (اتم‌های کربن) استفاده می‌کنند

ت) از موادی مانند کادمیم و بور که جاذب نوترون هستند آهنگ واکنش یعنی تعداد نوترون‌های شرکت‌کننده را کنترل می‌کنند.

09125164028

ت) هرگاه نوترون های تولید شده در واکنش شکافت به $^{235}_{92}U$ بعدی جذب شوند و باعث شکافت های بعدی گردند و واکنش ادامه یابد می گویند زنجیری تشکیل شده است.

09125164028

ج) دو مرحله وجود دارد ابتدا شارهٔ خنک کننده که معمولاً آب است و در اطراف قلب راکتور وجود دارد این گرما را می گیرد و در فشار زیاد تا دمای ۳۵۰ درجه هم به جوش نمی آید در مرحلهٔ دوم این آب داغ و پرفشار به سامانهٔ دیگری که محتوی آب کم فشار تر است منتقل و بخار می گردد و آن را گرم می کند و آب تبخیر می شود و توربین را می گرداند و برق تولید می گردد

09125164028

۱ج) عنصر پرتوزا ناپایدار است و خود به خود با گسیل پرتوهای α و β و γ می خواهد به حالت پایه برسد

۲ج) هرگاه دو عنصر عددا تمی برابر داشته باشند ولی با تعداد نوترون غیر مساوی می گویند ایزوتوپ یا هم مکان هستند. ایزوتوپ ها رفتار شیمیائی یکسان دارند و در یک خانه جدول تناوبی هستند

۳ج) نیمه عمر زمانی است که نیمی از هسته های سالم یک عنصر پرتوزا واپاشی می کند.

09125164028

۱۱۱. الف) حدود ۰/۷ درصد اورانیوم موجود در سنگ معدن طبیعی اورانیم از ایزوتوپ ۲۳۵ تشکیل شده است. در هر واکنش شکافت حدود ۲۰۰MeV انرژی آزاد می‌شود. فرض کنید تمامی ایزوتوپ ۲۳۵ موجود در یک کیلوگرم از این اورانیم بتواند بر اثر شکافت، انرژی خود را آزاد کند. مقدار این انرژی برحسب مگاالکترون ولت (MeV) و ژول (J) چقدر است؟

ب) با سوختن هر کیلوگرم زغال سنگ، حدود ۳۰MJ انرژی گرمایی آزاد می‌شود. چند کیلوگرم زغال سنگ باید بسوزد تا معادل انرژی به دست آمده در قسمت الف، انرژی تولید شود؟

09125164028

جرم اتمی اورانیوم ۲۳۸ g/mol

$$\frac{۲۳۸\ g}{۱۰۰۰\ g} = \frac{۶/۰۲\times۱۰^{۲۳}}{N}$$ اتم

$$N = \frac{۶/۰۲\times۱۰^{۲۶}}{۲۳۸}$$ اتم

از این تعداد ۰/۷ درصد آن ۲۳۵ است.

$$\frac{۱۰۰}{\frac{۶/۰۲\times۱۰^{۲۶}}{۲۳۸}} = \frac{۰/۷}{\frac{N}{۲۳۵}} \rightarrow N = \frac{۰/۷\times۶/۰۲}{۲۳۸}\times۱۰^{۲۴}$$ اتم

$N \approx ۱۰^{۲۲}$

در هر شکافت ۲۰۰ Mev انرژی تولید می‌شود.

$E_{کل} = ۲۰۰\times۱۰^{۲۲} = ۲\times۱۰^{۲۴}\ MeV = ۲\times۱۰^{۳۰}\ eV$

$E_{کل} = ۲\times۱۰^{۳۰}\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹} = ۳/۲\times۱۰^{+۱۱}\ J$

$E_{کل} = ۳/۲\times۱۰^{۵}\ MJ$

ب) زغال سنگ

$$\frac{۳۰\ MJ}{۳/۲\times۱۰^{۵}} = \frac{۱\ kg}{m}$$

$m \approx ۱۰^{۴}\ kg = ۱۰$ تن زغال سنگ

۱۴. یکی از واکنش‌های ممکن در شکافت $^{235}_{92}U$، داده شده است. در این واکنش عدد اتمی Z، عدد جرمی A و عنصر X را در $^{A}_{Z}X$ تعیین کنید.

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{133}_{51}Sb + ^{A}_{Z}X + 4\,^{1}_{0}n$$

در صورت لزوم از جدول تناوبی کمک بگیرید.

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \longrightarrow ^{133}_{51}Sb + ^{A}_{Z}X + 4\,^{1}_{0}n$$

آنتیموان

$$235 + 1 = 133 + A + 4 \longrightarrow A = 99$$

$$92 = 51 + Z + 0 \longrightarrow Z = 41$$

نیوبیم Nb

۱۵. در واکنش زیر چه تعداد نوترون تولید می‌شود؟

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{133}_{50}Sn + ^{101}_{42}Mo + N(^{1}_{0}n \text{ نوترون})$$

$$1 + 235 = 133 + 101 + N \longrightarrow N = 2$$

$$0 + 92 = 50 + 42 + 0$$

09125164028

جمعیت ایران را ۸۰ میلیون نفر و هر ۴ نفر را یک خانواده فرض کنید. اگر قرار باشد ۱kwh انرژی مصرفی هر خانواده شامل لامپ‌ها و وسایل ارتباطی درروز از انرژی هسته‌ای تأمین شود مقدار ماده‌ای که در یک ماه باید به انرژی تبدیل گردد چند گرم است؟

$$\text{تعداد خانواده} = \frac{80 \times 10^{6}}{4} = 20 \times 10^{6}$$

$$E = (20 \times 10^{6})(1\,kwh) = 20 \times 10^{6} \times 1000 \times 3600\,J$$ انرژی روز

$$E = 72 \times 10^{12}\,J$$

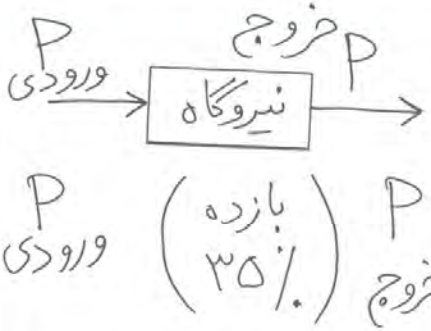
09125164028

$$E = mc^{2} \longrightarrow m = \frac{72 \times 10^{12}}{9 \times 10^{16}} = 8 \times 10^{-4}\,kg = 0.8\,g$$ (روزانه)

$$E = 30 \times 0.8 = 24\,g$$ یک ماه

۱۷. بازده نیروگاه هسته‌ای بوشهر حدود ۳۵درصد است. یعنی ۶۵درصد انرژی حاصل از شکافت ایزوتوپ اورانیم ۲۳۵، به‌صورت گرما تلف و حدود ۳۵درصد آن، به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. با توجه به اینکه در هر شکافت حدود ۲۰۰MeV انرژی آزاد می‌شود، چند کیلوگرم اورانیم ۲۳۵ در سال شکافت پیدا می‌کند؟ (فرض کنید نیروگاه در طول سال با توان پایدار ۱۰۰۰ مگاوات کار می‌کند.)

09125164028



$$\frac{Ra}{100}=\frac{P_{\text{خروج}}}{P_{\text{ورودی}}} \longrightarrow \frac{35}{100}=\frac{1000\times10^{6}}{P_{\text{ورودی}}}$$

$$P_{\text{ورودی}}=3\times10^{9}\ J \longrightarrow P=\frac{E}{t}$$

09125164028

$$E=(3\times10^{9})(1)=3\times10^{9}\ J \quad (\text{ورودی ثانیه})$$

انرژی هر شکافت

$$E=200\ MeV$$

$$E=200\times10^{6}\times1/6\times10^{-19}$$

$$E=32\times10^{-13}\ J$$

شکافت

$$\frac{1}{N}=\frac{32\times10^{-13}}{3\times10^{9}}$$

$$N=\frac{3\times10^{9}}{32\times10^{-13}}=10^{23}$$ تقریبی

فراوانی ^{235}U ۰/۷ درصد است

$$\frac{100}{N'}=\frac{0/7}{10^{23}} \longrightarrow N'\approx10^{24}$$ ^{235}U

$$\frac{238\ g}{m}=\frac{6/02\times10^{23}}{10^{24}}\ \text{اتم} \longrightarrow m=\frac{2380}{6/02}=395$$ گرم

۶ـ۴ گداخت هسته‌ای

۱۷. انرژی آزادشده در هر واکنش شکافت اورانیم ۲۳۵ با یک نوترون کُند حدود ۲۰۲/۵ MeV و در هر واکنش گداختِ دوتریم با تریتیم حدود ۱۷/۶ MeV است.

الف) تعداد نوکلئون‌های شرکت‌کننده در هر واکنش شکافت چقدر است؟ انرژی آزادشده به‌ازای هر نوکلئون را حساب کنید.

ب) تعداد نوکلئون‌های شرکت‌کننده در هر واکنش گداخت چقدر است؟ انرژی آزاد شده به ازای هر نوکلئون را حساب کنید.

پ) نتیجه‌های قسمت (الف) و (ب) را با یکدیگر مقایسه کنید. با توجه به نیاز روزافزون بشر به انرژی، و با توجه به اینکه مواد قابل شکافت مانند $^{235}_{92}U$ به مقدار بسیار کمی در طبیعت وجود دارد ولی دوتریم به‌طور فراوان در آب اقیانوس‌ها و دریاها موجود است و جدا کردن آن از هیدروژن معمولی آسان و کم‌هزینه است، اهمیت این مقایسه را توضیح دهید.

در شکافت ۲۳۶ ذره دخالت می‌کنند:

$\frac{۲۰۲/۵}{۲۳۶} = ۰/۸۵$ MeV

در گداخت ۵ ذره دخالت می‌کنند:

$\frac{۱۷/۶}{۵} = ۳/۵۲$ MeV

09125164028

شکافت

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \longrightarrow Kr + Ba + 3n + ۲۰۲/۵\ MeV$$

گداخت

$$^{2}_{1}D + ^{3}_{1}T \longrightarrow He + n$$

پ) متوجه می‌شویم هر ذره در گداخت $\frac{۳/۵۲}{۰/۸۵} = ۴/۱۴$ برابر هر ذره در شکافت انرژی تولید می‌کند و چون مقدار $^{235}_{92}U$ کمیاب و عنی سازی آن بسیار سخت است چنانچه بتوان واکنش گداخت را بطور تجاری انجام داد یکی از بزرگترین جهش‌های انسان در تولید انرژی رخ داده است

09125164028