

فصل ششم

آشنایی با فیزیک هسته‌ای

۶-۱- ساختار هسته

۶-۲- پرتوزایی طبیعی و نیمه عمر

۶-۳- شکافت هسته‌ای

۶-۴- گداخت (همجوشی) هسته‌ای

پرسش‌ها و تمرین‌های پیشنهادی فصل ۶
راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های
فصل ۶

پیامدها

- دانش‌آموزان با درک مفاهیم مرتبط با فیزیک هسته‌ای، به این شناخت می‌رسند که :
- مبحث فیزیک هسته‌ای کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف زندگی بشر دارد.
- عدم رعایت نکات ایمنی و استانداردهای لازم در حوزه فیزیک هسته‌ای، می‌تواند پیامدهای زیان‌بار و غیرقابل جبرانی داشته باشد.

چه شناختی مطلوب است؟

- هسته اتم از نوترون و پروتون‌ها تشکیل شده است که به‌طور کلی نوکلئون نامیده می‌شوند.
- اتم‌هایی که تعداد پروتون یکسان و تعداد نوترون متفاوت دارند ایزوتوپ نامیده می‌شوند.
- نیروی بین نوکلئون‌های مجاور یکدیگر، نیروی هسته‌ای نامیده می‌شود که بسیار کوتاه‌برد است.
- انرژی لازم برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته، انرژی بستگی هسته‌ای نامیده می‌شود.
- به‌طور کلی جرم هسته از مجموع جرم نوکلئون‌های تشکیل‌دهنده آن اندکی کمتر است. این اختلاف جرم را کاستی جرم می‌نامند.
- در پرتوزایی طبیعی، پرتوهای α ، پرتوهای β و پرتوهای γ ایجاد می‌شود.
- مدت زمانی که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه به نصف برسد، نیمه‌عمر نامیده می‌شود.
- فرایند تقسیم شدن یک هسته سنگین به دو هسته با جرم کمتر، شکافت هسته‌ای نامیده می‌شود.
- فرایند ترکیب شدن دو هسته سبک و تشکیل هسته سنگین‌تر، گداخت یا همجوشی هسته‌ای نامیده می‌شود.

چه پرسش‌هایی اساسی است و باید در نظر گرفته شود؟

- مرتبه بزرگی نسبت ابعاد هسته به ابعاد اتم چقدر است؟
- ایزوتوپ چیست؟
- منشأ و ویژگی‌های فیزیکی نیروی هسته‌ای چیست؟
- منشأ انرژی بستگی چیست؟
- در پرتوزایی طبیعی چه پرتوهایی ایجاد می‌شود و ویژگی‌های هر کدام از این پرتوها چیست؟
- مفهوم نیمه‌عمر چیست؟
- فرایند شکافت و فرایند گداخت هسته‌ای چه ویژگی‌هایی دارند؟
- نقش مواد کندساز در قلب راکتورهای هسته‌ای چیست؟

در پایان این واحد یادگیری دانش آموزان چه دانش و مهارت‌های اساسی را کسب می‌کنند؟

دانش آموزان خواهند دانست که :

- نوکلئون‌ها (شامل پرتون و نوترون) اجزای تشکیل دهنده هسته‌اند.
- هر نوکلئون فقط به نوکلئون مجاورش نیروی هسته‌ای وارد می‌کند.
- انرژی معادل انرژی بستگی هسته‌ای باید تأمین شود تا هسته به نوکلئون‌های تشکیل دهنده آن تقسیم شود.
- در پرتوزایی طبیعی، سه نوع پرتو با ویژگی‌های فیزیکی متفاوت ایجاد می‌شود.
- با گذشت زمان، تعداد هسته‌های مادر پرتوزا در یک نمونه کاهش می‌یابد.
- واکنش شکافت اورانیم ۲۳۵ با جذب یک نوترون کند (کم انرژی) آغاز می‌شود.
- به فرایند افزایش درصد یا غلظت ایزوتوپ ۲۳۵ در یک نمونه، غنی‌سازی اورانیم گفته می‌شود.
- در فرایند گداخت هسته‌ای، دو هسته سبک با یکدیگر ترکیب می‌شوند و هسته سنگین‌تری به وجود آروند.

دانش آموزان قادر خواهند بود :

- به کمک عدد اتمی عناصر، محل و نام آنها را در جدول تناوبی عناصر مشخص کنند.
- نحوه جلودگیری و نفوذ هر کدام از پرتوهای α ، β و γ را به طور عملی پیشنهاد دهند.
- نحوه کار آشکارسازی دود را شرح دهند.

بودجه‌بندی پیشنهادی

- جلسه اول : تصویر شروع فصل + مقدمه‌ای بر بحث فیزیک هسته‌ای + ساختار هسته تا ابتدای پایداری هسته.
- جلسه دوم : از پایداری هسته تا پایان بخش ۶-۱ + بررسی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۶ از شماره ۱ تا ۴.
- جلسه سوم : بخش ۶-۲ تا ابتدای نیمه‌عمر.
- جلسه چهارم : از ابتدای نیمه‌عمر تا پایان بخش ۶-۲ + بررسی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۶ از شماره ۵ تا شماره ۱۱.
- جلسه پنجم : بخش ۶-۳ و ۶-۴.
- جلسه ششم : جمع‌بندی و بررسی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۶ از شماره ۱۲ تا ۱۷.
- جلسه هفتم : آزمون تشریحی فصل ۶.



در این تصویر یکی از کاربردهای فیزیک هسته‌ای در پزشکی نوین و امروزی را نشان می‌دهد که بدون جراحی، قادرند برخی از بیماری‌ها و اختلالات مرتبط با مغز را درمان کنند. دانش‌آموزان در ادامه فصل با جزئیات این روش آشنا می‌شوند.



فصل ۱۰ آشنایی با فیزیک کوانتومی

برای یک عنصر با نماد شیمیایی X ، انداخته صورت زیر نشان داده شود:

Z
عدد اتمی

X
عنصر

N
عدد نوترونی

منشعب کردن N ، درصد ایزوتوپی λ از نوترون نسبت به یون λ از آن را نشان می‌دهد؛ بدست آورد، همچنین در بسیاری موارد λ ، هر می توان کرد زیرا گرد زدن، از نماد شیمیایی عنصر، رابطه مقدار λ است.

برای مثال: $^{235}_{92}\text{U}$ و $^{238}_{92}\text{U}$ به نام صورت ^{235}U و ^{238}U نمایش داده می‌شود. خواص شیمیایی ایزوتوپها، ویژگی‌های اتمی و عدد اتمی و نوترون و پروتون و ایزوتوپها (همانند) همواره، برابر است، هر چقدر که خواص فیزیکی، همان را تعداد نوترون‌های هسته (عدد اتمی Z)، تعیین می‌کند، به همین سبب هسته‌های که تعداد پروتون مساوی ولی تعداد نوترون مختلف دارند، خواص شیمیایی یکسان، در نتیجه این هسته‌ها در جدول عناصر، عناصر همگن هستند و برای این **پروپ (گروه)** نامیده می‌شوند. هر چقدر که پروت، برابر است، هر چقدر که پروت و پادامه را در دسته‌های λ از یونهای پادامه در فیزیک هسته‌ای می‌شود که یکی از λ پروت و λ نوترون (N)، و دیگری از آنها λ و λ پروت (Z) تشکیل شده است. این دو دسته، ایزوتوپها تعیین کین هستند. چهره‌های این طرح شده در جدول تایی عناصر، مابین چهره‌های ایزوتوپها مختلف هر عنصر است که با توجه به درصد ایزوتوپ آنها شده‌اند؛ به جز، هیدروژن، ایزوتوپها مختلف هر عنصر است که با نام همان عنصر مشخص می‌شود (جدول ۳-۱).

جدول ۳-۱ ایزوتوپها مختلف چند عنصر و درصد فراوانی آنها در طبیعت

نام عنصر	Z	N	درصد فراوانی در طبیعت	نام عنصر	شماره N	درصد فراوانی در طبیعت
هیدروژن ۱	۱	۰	۹۹.۹۸۵	کربن ۱۳	۶	۱.۱٪
دوتریم (هیدروژن ۲)	۱	۱	۰.۰۱۵	کربن ۱۴	۸	۰.۰۱۱٪
تریتیوم (هیدروژن ۳)	۱	۲	۰.۰۰۰۰۱	اورانیم ۲۳۵	۱۴۶	۰.۰۰۰۰۷۲
کربن ۱۲	۶	۶	۹۸.۹۲	اورانیم ۲۳۸	۱۴۶	۹۹.۹۸۲

نمودن کربا

با توجه به آنکه ایزوتوپ جدید و همچنین با استفاده از جدول تایی عناصر، که در پوست کتاب آمده است، انداخته در هر یک از موارد زیر تعیین کنید.

الف) ایزوتوپ فلورین (F) با عدد نوترونی ۱۰ با عدد پروتی ۹

۱۳۹

د. کتابهای تخصصی فیزیک هسته‌ای (۱) انداخته در هر یک از موارد زیر تعیین کنید (۱۰۰٪)

تمرین ۶-۱

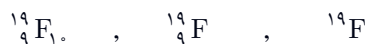
با توجه به جدول تناوبی عناصر که در پیوست کتاب آمده است

الف) عدد اتمی F عبارت است از $Z=9$. به این ترتیب:

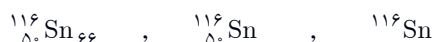
$$A = Z + N = 9 + 10 = 19$$

در نتیجه نماد هسته برای فلور را می توان به یکی از صورت های

زیر نوشت:



ب) عدد اتمی قلع برابر $Z=50$ است. به این ترتیب:



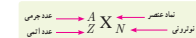
شکل ۶-۱: آشکارساز با فلوریک هیدروژن



عناصر جدول تناوبی (۱۹۱۱-۱۸۶۹)

فرانکلیت، پل از طی دوره
کریستال و کریستالیزه در دستگاه
معمول، عموماً در دو طرف قرار دارد
داده دارد. در سال ۱۹۱۱ برای نخستین
بار، طبق پیوسته و نوعی با را که از
عناصر عناصر بریز شکل می‌دهد کشف
کرد. اما بهترین دستور چگونگی
کشف، فرورد در سال ۱۹۲۲ بود که
مسلط دست‌خطی هنگامی با رابرت
بود. چگونگی جابجایی فریک ۱۹۲۵
مسلطی را به این منظور به‌تفصیل کرد.

برای یک عنصر با نماد شیمیایی X، نماد هسته به صورت زیر نشان داده می‌شود:



مشخص کردن N در نماد شیمیایی X، نماد هسته به صورت زیر نشان داده می‌شود: ۱- بدست آورد.

همچنین در بسیاری موارد Z را هم می‌توان ذکر نکرد؛ زیرا نماد شیمیایی عنصر، نشان‌دهنده مقدار Z است.

برای مثال، هسته اتم آلومینیم را به جای ${}^{27}_{13}\text{Al}$ می‌توان به صورت ${}^{27}\text{Al}$ یا ${}^{27}\text{Al}$ 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 (${}^{12}_6\text{C}$)، و دیگری از آنها از ۶ پروتون و ۷ نوترون (${}^{13}_6\text{C}$) 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 ۶-۲).

جدول ۶-۲: 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	۹۹.۹۸۵	کربن ۱۲	C	۶	۶	۹۸.۹۳
دوتریم (هیدروژن ۲)	D	۱	۱	۰.۰۱۵	کربن ۱۳	C	۶	۷	۱.۰۷
ترسیم (هیدروژن ۳)	T	۱	۲	بسیار نادر	اورانیوم ۲۳۵	U	۹۲	۱۴۳	۰.۰۰۷۲
کربن ۱۴	C	۶	۸	۱.۰۷	اورانیوم ۲۳۸	U	۹۲	۱۴۶	۹۹.۲۸۴

تمرین ۶-۲

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 فلور (F) با عدد نوترونی ۱۰

ب) ایزوتوپ قلع (Sn) با عدد نوترونی ۶۶

۱- در کتاب‌های تخصصی فیزیک هسته‌ای، این نماد را عدد نوکلید (nuclide) می‌نامند.

راهنمای معلم

پایداری هسته

در این قسمت ویژگی‌های نیروی هسته‌ای و اهمیت آن در پایداری هسته با توجه به نیروی دافعه شدید بین پروتون‌های درون هسته بررسی شده است. لازم است توجه کنید که در این کتاب به تقسیم‌بندی نیروی هسته‌ای به دو نیروی هسته‌ای ضعیف و هسته‌ای قوی پرداخته نشده است بلکه صرفاً به مفهوم نیروی هسته‌ای به عنوان نیروی جاذبه که بین نوکلئون‌های مجاور یکدیگر وارد می‌شود اشاره شده است. همان‌طور که در شکل ۶-۲ نیز نشان داده شده است، نیروی هسته‌ای تنها بین نوکلئون‌های مجاور (یا به عبارت دیگر همسایه‌های اول) وارد می‌شود، زیرا نیروی هسته‌ای به شدت کوتاه‌برد است. دلیل نام‌گذاری نوکلئون نیز برای پروتون‌ها و نوترون‌های درون هسته به دلیل ماهیت نیروی هسته‌ای باز می‌گردد. از منظر نیروی هسته‌ای، تمامی ذرات داخل هسته که مجاور یکدیگرند نیروی هسته‌ای جاذبه‌ای به یکدیگر وارد می‌کنند و این نیرو مستقل از بار الکتریکی نوکلئون‌ها است.

فیزیک ۱۳

پایداری هسته: همان‌طور که در شکل ۱-۶ نشان داده شده است ابعاد هسته در مقایسه با ابعاد اتم بسیار کوچکتر است. با وجود این، بیشتر جرم اتم (پیش از ۹۹/۹ درصد آن) در هسته متمرکز شده است. محاسبه نشان می‌دهد مرتبه بزرگی چگالی هسته 10^{14} g/cm^3 است که به صورتی باورنکردنی بزرگ است (ارای مقایسه توجه کنید که چگالی آب 1 g/cm^3 است). موضوع وحشی تنگنا آنگیز می‌شود که در اندازه تئوری الکترواستاتیکی رانش خیلی نوری بین پروتون‌های درون هسته، که بسیار به یکدیگر نزدیک‌اند، توجه کنید. 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، جاذبه حاصل از نیروی گرانشی بین نوکلئون‌ها، چنان ضعیف است که نمی‌تواند با نیروی الکترواستاتیکی رانش مقابله کند. این موضوع وجود نیروی جدیدی بین نوکلئون‌ها را مطرح کرد که به آن **نیروی هسته‌ای** گفته می‌شود.

نیروی هسته‌ای، کوتا‌ب‌برد است و تنها در فاصله‌ای کوچک‌تر از ابعاد هسته اثر می‌کند (شکل ۱-۴). افزون بر این، نیروی هسته‌ای مستقل از بار الکتریکی است، یعنی نیروی رانشی هسته‌ای یکسانی بین دو پروتون، دو نوترون، یا یک پروتون و یک نوترون وجود دارد. به همین دلیل این منظر نیروی هسته‌ای، تقارن بین پروتون و نوترون وجود ندارد و دلیل نام‌گذاری آنها با نام جام نوکلون نیز همین است.

یک پایداری هسته، باید نیروی دافعه الکترواستاتیکی بین پروتون‌ها یا نیروی جاذبه بین نوکلئون‌ها، که ناشی از نیروی هسته‌ای است، موازنه شده باشد. ولی به دلیل بلند‌برد بودن نیروی الکترواستاتیکی، یک پروتون تمام پروتون‌های دیگر درون هسته را دفع می‌کند. در حالی که یک پروتون با یک نوترون، فقط نزدیک‌تری نوکلئون‌های مجاور خود را با نیروی هسته‌ای جذب می‌کند. به همین دلیل وحشی تعداد پروتون‌های درون هسته افزایش یابد، اگر هسته بخواهد پایدار باقی بماند، باید تعداد نوترون‌های درون هسته نیز افزایش یابد. شکل ۱-۶ نموداری از Z بر حسب N را برای هسته‌های مختلف نشان می‌دهد. هسته پایدار با بیشترین تعداد پروتون ($Z=82$)، متعلق به بیسموت (^{209}Bi) است. به جز

شکل ۱-۶ نمودار تعداد پروتون Z بر حسب N برای هسته‌های پایدار و نیمه پایدار. هر نقطه نشان‌دهنده یک هسته پایدار است. نقاط زرد رنگ هسته‌های پرتوزایی هستند. خط قرمز نشان می‌دهد.

فصل ۱۳ : آشنایی با فیزیک هسته‌ای

تورم ($Z=90$) و اورانیوم ($Z=92$) که در طبیعت یافت می‌شوند سایر هسته‌های سنگین با عدد اتمی بزرگ‌تر از ۸۳ ناپایدارند. این دو عنصر، تنها عنصرهایی‌اند که واپس‌آنها چنان کند است که از هنگام تشکیل منظومه شمسی در چندین میلیارد سال پیش، فقط مقدار کمی از آنها بر اثر واپس‌آ، به عنصرهای سبک‌تر تبدیل شده‌اند.

پرسش ۶-۱

هر نقطه آبی رنگ در نمودار شکل ۱-۶ نشان‌دهنده یک هسته 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؟

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 ۱-۴ این موضوع را به‌طور طر‌وار نشان می‌دهد.

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 **کالسی جرم هسته** گفته می‌شود، مطابق رابطه معروف اینشتین ($E=mc^2$)، در مرج تندی تور (c^2) ضرب کنیم **انرژی بستگی هسته‌ای** بدست می‌آید. توجه کنید که هرچند اختلاف جرم هسته از مجموع جرم نوکلئون‌های تشکیل‌دهنده آن بسیار ناچیز است، چون در c^2 که عدد بسیار بزرگی است ضرب می‌شود، این کالسی جرم اندک، معادل انرژی قابل ملاحظه‌ای است^۱.

شکل ۱-۴ انرژی‌های معادل انرژی بستگی (هرم گسی) هسته‌ای پایه‌ای‌ترین سازه هسته به نوکلئون‌های تشکیل‌دهنده آن تقسیم شود.

انرژی نوکلئون‌های وابسته به هسته نیز مانند انرژی الکترون‌های وابسته به اتم، کوتا‌ب‌بده‌اند 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. هسته برانگیخته با گسیل فوتون به تراز پایه برمی‌گردد. انرژی فوتون گسیل‌شده، با اختلاف انرژی بین تراز برانگیخته و تراز پایه برابر است. هسته برانگیخته را با گذشتن ستاره روی نماد X^* به‌صورت $^{A}_{Z}X^*$ مشخص می‌کنند. نکته قابل توجه آن است که اختلاف بین ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته از مرتبه 10^6 eV به مرتبه 10^7 eV است. در حالی که اختلاف بین ترازهای انرژی الکترون‌ها در اتم از مرتبه 10^4 eV است. از این رو، هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

۱-۱ رابطه معروف اینشتین ($E=mc^2$) در سیمی (۱) برآیند شد.
۱-۲ محاسبه انرژی بستگی هسته طر‌ج از برآیند دومی کتاب است و از سیمی از آن باید انجام شود.

پرسش ۱-۶

الف) همان‌طور که در نمودار ۱-۶ دیده می‌شود تا حدود $Z=20$ ، نسبت $\frac{N}{Z}$ برابر یک است ولی به تدریج و با افزایش Z ، تعداد نوترون‌های درون هسته افزایش بیشتری می‌یابد به‌طوری که پس از $Z=50$ به بعد، به ازای افزایش یک پروتون، چندین نوترون به هسته اضافه می‌شود.

ب) به ازای Z معین، با شمارش تعداد دانه‌های آبی رنگ و زرد رنگ در امتداد محور N می‌توان تعداد ایزوتوپ‌های هر عضو را مشخص کرد.

با استفاده از فایل اصلی pdf کتاب درسی و بزرگ کردن نمودار می‌توان تعداد ایزوتوپ‌های هر عنصر را مشخص کرد.

همچنین می‌توان به آدرس زیر مراجعه کرد :

upload.wikipedia.org/wikipedia/commons/8/80/Isotopes_and_half-life.svg

فصل ۱۳ : آشنایی با فیزیک هسته‌ای

تورم ($Z=90$) و اورانیوم ($Z=92$) که در طبیعت یافت می‌شوند سایر هسته‌های سنگین با عدد اتمی بزرگ‌تر از ۸۳ ناپایدارند. این دو عنصر، تنها عنصرهایی‌اند که واپس‌آنها چنان کند است که از هنگام تشکیل منظومه شمسی در چندین میلیارد سال پیش، فقط مقدار کمی از آنها بر اثر واپس‌آ، به عنصرهای سبک‌تر تبدیل شده‌اند.

پرسش ۶-۱

هر نقطه آبی رنگ در نمودار شکل ۱-۶ نشان‌دهنده یک هسته 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؟

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 ۱-۴ این موضوع را به‌طور طر‌وار نشان می‌دهد.

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 **کالسی جرم هسته** گفته می‌شود، مطابق رابطه معروف اینشتین ($E=mc^2$)، در مرج تندی تور (c^2) ضرب کنیم **انرژی بستگی هسته‌ای** بدست می‌آید. توجه کنید که هرچند اختلاف جرم هسته از مجموع جرم نوکلئون‌های تشکیل‌دهنده آن بسیار ناچیز است، چون در c^2 که عدد بسیار بزرگی است ضرب می‌شود، این کالسی جرم اندک، معادل انرژی قابل ملاحظه‌ای است^۱.

شکل ۱-۴ انرژی‌های معادل انرژی بستگی (هرم گسی) هسته‌ای پایه‌ای‌ترین سازه هسته به نوکلئون‌های تشکیل‌دهنده آن تقسیم شود.

انرژی نوکلئون‌های وابسته به هسته نیز مانند انرژی الکترون‌های وابسته به اتم، کوتا‌ب‌بده‌اند 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. هسته برانگیخته با گسیل فوتون به تراز پایه برمی‌گردد. انرژی فوتون گسیل‌شده، با اختلاف انرژی بین تراز برانگیخته و تراز پایه برابر است. هسته برانگیخته را با گذشتن ستاره روی نماد X^* به‌صورت $^{A}_{Z}X^*$ مشخص می‌کنند. نکته قابل توجه آن است که اختلاف بین ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته از مرتبه 10^6 eV به مرتبه 10^7 eV است. در حالی که اختلاف بین ترازهای انرژی الکترون‌ها در اتم از مرتبه 10^4 eV است. از این رو، هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

۱-۱ رابطه معروف اینشتین ($E=mc^2$) در سیمی (۱) برآیند شد.
۱-۲ محاسبه انرژی بستگی هسته طر‌ج از برآیند دومی کتاب است و از سیمی از آن باید انجام شود.

انرژی بستگی هسته‌ای و ترازهای انرژی هسته : ادامه راهنمای معلم را در این قسمت به‌طور کیفی و براساس شکل ۶-۴ به بررسی انرژی بستگی بپردازید. همان‌طور که در زیرنویس کتاب درسی نیز تأکید شده است، هرگونه محاسبه انرژی بستگی هسته خارج از اهداف این کتاب است و در ارزشیابی‌های رسمی نیز مورد توجه نخواهد بود.

راهنمای معلم

۶-۲ پرتوزایی طبیعی و نیمه‌عمر

در این قسمت نگاهی به ویژگی‌های فیزیکی ذرات گسیل شده از هسته شده است که به‌طور طبیعی از هسته‌های ناپایدار خارج می‌شود.

فصل ۴- آشنایی با فیزیک هسته‌ای

در این رابطه X هسته مادر و Y هسته دختر نامیده می‌شود. شکل ۶-۵، مثالی از واپاشی آلفا، برای اورانیوم ۲۳۸ را نشان می‌دهد که به‌طور طبیعی رخ می‌دهد.

هسته مادر ${}_{92}^{238}\text{U}$ → هسته دختر ${}_{90}^{234}\text{Th}$ + ذره آلفا ${}_{2}^{4}\text{He}$

شکل ۶-۵ در واپاشی α یک هسته مادر ناپایدار، ذره α گسیل می‌کند و هسته متغییری (هسته دختر) به‌وجود می‌آید.

ذره‌های آلفا، سنگین‌اند و بار مثبت دارند. ژرد این ذره‌ها کوتاه است. این ذرات پس از طی مسافت کوتاهی در هوا (۲ تا ۱۱ سانتی‌متر) و 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 آلفا هرگز وارد بدن نشوند.

نظری و کاربرد: واپاشی آلفا و آشکارسازهای دود

یکی از کاربردهای گسترده واپاشی α در آشکارسازهای دود است (شکل الف). شکل ب، مدار و بخش اصلی یک آشکارساز دود را نشان می‌دهد. دو صفحه کوچک و موازی فلزی در فاصله محدود یک سانی‌تر از یکدیگر قرار داده می‌شوند. مقدار اندکی ماده 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 باری باعث می‌شود یک صفحه مثبت و صفحه دیگر منفی باشد، به طوری که هر صفحه یون‌های با بار مخالف را جذب می‌کند. در نتیجه در مدار متصل به صفحه‌ها جریان به‌وجود می‌آید. وجود ذرات دود در میان صفحه‌ها جریان را کاهش می‌دهد؛ زیرا یون‌هایی که به ذرات دود برخورد می‌کنند معمولاً خنثی می‌شوند. آفت جریان که ذرات دود باعث آن می‌شود هشدار دهنده‌ای را به کار می‌آورد.

پرسش ۶-۳

شکل رویه‌ی طرح آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد که به کمک آن می‌توان به نوع پرتوزایی طبیعی را مشاهده کرد و به تفاوت بار و جرم پرتوها از یکدیگر پی برد. قطعاتی از ماده پرتوزا را در نه حفره‌ی باریکی در یک استوانه‌ی سربی قرار می‌دهند. استوانه را درون اتاقک‌ی می‌توانند و هوای درون آن را تخلیه می‌کنند. سپس یک صفحه‌ی عکاسی فلزی حفره‌ی قرار می‌دهند و میدان مغناطیسی بگواهی درون اتاقک برقرار می‌کنند. خطوط فرم‌زنگنه، مسیر حرکت پرتوها را نشان می‌دهد. نوع بار پرتوها را با هم مقایسه کنید.

میدان مغناطیسی عمود بر صفحه‌ی کاذب به طرف درون استوانه‌ی سربی

اتاقک خلا

ماده پرتوزا

صفحه عکاسی

واپاشی α: در این نوع واپاشی که در هسته‌های سنگین صورت می‌گیرد، هسته ${}_{2}^{4}\text{He}$ با گسیل ذره آلفا می‌پاشد. شواهد تجربی نشان می‌دهد که پرتوهای α، ذرات باردار مثبت از جنس هسته آتم هلیوم (${}_{2}^{4}\text{He}$) هستند و از دو پروتون و دو نوترون تشکیل شده‌اند. واپاشی α با رابطه زیر بیان می‌شود:

$${}_{Z}^{A}\text{X} \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}\text{Y} + {}_{2}^{4}\text{He} \quad (\text{واپاشی } \alpha)$$

۱۲۲

فصل ۴- آشنایی با فیزیک هسته‌ای

در این رابطه X هسته مادر و Y هسته دختر نامیده می‌شود. شکل ۶-۵، مثالی از واپاشی آلفا، برای اورانیوم ۲۳۸ را نشان می‌دهد که به‌طور طبیعی رخ می‌دهد.

هسته مادر ${}_{92}^{238}\text{U}$ → هسته دختر ${}_{90}^{234}\text{Th}$ + ذره آلفا ${}_{2}^{4}\text{He}$

شکل ۶-۵ در واپاشی α یک هسته مادر ناپایدار، ذره α گسیل می‌کند و هسته متغییری (هسته دختر) به‌وجود می‌آید.

ذره‌های آلفا، سنگین‌اند و بار مثبت دارند. ژرد این ذره‌ها کوتاه است. این ذرات پس از طی مسافت کوتاهی در هوا (۲ تا ۱۱ سانتی‌متر) و 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 آلفا هرگز وارد بدن نشوند.

نظری و کاربرد: واپاشی آلفا و آشکارسازهای دود

یکی از کاربردهای گسترده واپاشی α در آشکارسازهای دود است (شکل الف). شکل ب، مدار و بخش اصلی یک آشکارساز دود را نشان می‌دهد. دو صفحه کوچک و موازی فلزی در فاصله محدود یک سانی‌تر از یکدیگر قرار داده می‌شوند. مقدار اندکی ماده 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 باری باعث می‌شود یک صفحه مثبت و صفحه دیگر منفی باشد، به طوری که هر صفحه یون‌های با بار مخالف را جذب می‌کند. در نتیجه در مدار متصل به صفحه‌ها جریان به‌وجود می‌آید. وجود ذرات دود در میان صفحه‌ها جریان را کاهش می‌دهد؛ زیرا یون‌هایی که به ذرات دود برخورد می‌کنند معمولاً خنثی می‌شوند. آفت جریان که ذرات دود باعث آن می‌شود هشدار دهنده‌ای را به کار می‌آورد.

پرسش ۶-۳

شکل رویه‌ی طرح آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد که به کمک آن می‌توان به نوع پرتوزایی طبیعی را مشاهده کرد و به تفاوت بار و جرم پرتوها از یکدیگر پی برد. قطعاتی از ماده پرتوزا را در نه حفره‌ی باریکی در یک استوانه‌ی سربی قرار می‌دهند. استوانه را درون اتاقک‌ی می‌توانند و هوای درون آن را تخلیه می‌کنند. سپس یک صفحه‌ی عکاسی فلزی حفره‌ی قرار می‌دهند و میدان مغناطیسی بگواهی درون اتاقک برقرار می‌کنند. خطوط فرم‌زنگنه، مسیر حرکت پرتوها را نشان می‌دهد. نوع بار پرتوها را با هم مقایسه کنید.

میدان مغناطیسی عمود بر صفحه‌ی کاذب به طرف درون استوانه‌ی سربی

اتاقک خلا

ماده پرتوزا

صفحه عکاسی

واپاشی α: در این نوع واپاشی که در هسته‌های سنگین صورت می‌گیرد، هسته ${}_{2}^{4}\text{He}$ با گسیل ذره آلفا می‌پاشد. شواهد تجربی نشان می‌دهد که پرتوهای α، ذرات باردار مثبت از جنس هسته آتم هلیوم (${}_{2}^{4}\text{He}$) هستند و از دو پروتون و دو نوترون تشکیل شده‌اند. واپاشی α با رابطه زیر بیان می‌شود:

$${}_{Z}^{A}\text{X} \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}\text{Y} + {}_{2}^{4}\text{He} \quad (\text{واپاشی } \alpha)$$

۱۲۳

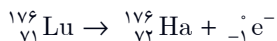
یرسش ۶-۲

در تصویر داده شده مربوط به این پرسش در کتاب رشته ریاضی (چاپ ۱۳۹۷) لازم است میزان \bar{B} به صورت برونسو در نظر گرفته شود. این تصویر کتاب رشته تجربی درست است.

با توجه به حضور میزان \bar{B} مسیر بدون انحراف از جنس تابش گاما است و مسیر با انحراف کمتر مربوط به ذرات آلفا و مسیر با انحراف بیشتر مربوط به ذرات بتا منفی است.

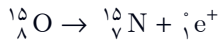
[illegible][illegible]

تمرین ۶-۲



لوتسیم ${}_{71}\text{Lu}$ دارای یک ایزوتوپ پایدار ${}^{175}_{71}\text{Lu}$ با درصد فراوانی $97/41$ درصد است. همچنین دارای سه ایزوتوپ ناپایدار که در این میان ${}^{176}_{71}\text{Lu}$ ، با درصد فراوانی $2/599$ درصد، دارای نیمه عمر $10^{10} \times 3/78$ سال است.


تمرین ۳-۶



اکسیژن دارای سه ایزوتوپ پایدار ^{16}O ، ^{17}O و ^{18}O است که ^{16}O با $99/76\%$ درصد بیشترین فراوانی را دارد.

فیزیک ۱۳۴

خونریزی است که اغلبی با بی‌حسی موضعی صورت می‌گیرد. مدت زمان بستری شدن در بیمارستان، خیلی کوتاه‌تر از جراحی به روش معمول است و بیمار پس از چند روز، به روال زندگی عادی خود باز می‌گردد.



الف) بیمار جراحی با لیزر گندک کلاسیک برای کوریجی کونیک داروری سرپست قرار داده می‌شود. ابتدا پروتوی گندک پس از عبور از این جراح ۵۰ درجی هدف تعیین شده در مغز، متحرک می‌شود.

ب) بیمار جراحی با لیزر گندک کلاسیک برای کوریجی کونیک داروری سرپست قرار داده می‌شود. ابتدا پروتوی گندک پس از عبور از این جراح ۵۰ درجی هدف تعیین شده در مغز، متحرک می‌شود.

نیمه‌عمر: ایزوتوپ‌های پروتوزا با گذشت زمان واپسینده می‌شوند. وای یک نمونه از یک ماده پروتوزا بر اساس داده‌های تجربی می‌توان بیان کرد که در پایان زمان معینی، چه کسری از ماده پروتوزا وای باشد. برای مثال در مورد هسته‌های توریم ^{232}Th پس از زمان معینی می‌توان گفت که چه کسری از آنها به رادیم ^{228}Ra تبدیل شده است.

برای بررسی بیشتر این موضوع، یک نمونه پروتوزا را در نظر بگیرید. فرض کنید در لحظه $t=0$ تعداد مادر موجود در نمونه را برحسب زمان رسم کنیم نمودار شکل ۳-۶ الف به دست 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 یا معرفی کنیم و آن را با نماد $T_{1/2}$ نشان می‌دهیم. بنا به تعریف، نیمه‌عمر، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه به نصف رسد (شکل ۳-۶ ب). برخی از ایزوتوپ‌ها مانند اورانیوم ^{238}U ، دارای نیمه‌عمری در حدود سن زمین (۴٫۵ میلیارد سال) هستند. این عناصر منشأ پروتوی طبیعی در محیط پیرامون ما هستند.

شکل ۳-۶ الف: گذشت زمان، تعداد هسته‌های مادر پروتوزا در یک نمونه کاهش می‌یابد. با گذشت به نیمه‌عمر، نیمی از هسته‌های مادر پروتوزا باقی‌مانده باقی‌مانده می‌کند.

شکل ۳-۶ ب: گذشت زمان، تعداد هسته‌های مادر پروتوزا در یک نمونه کاهش می‌یابد. با گذشت به نیمه‌عمر، نیمی از هسته‌های مادر پروتوزا باقی‌مانده باقی‌مانده می‌کند.

۱۴۶

فصل ۴: آشنایی با فیزیک هسته‌ای

مثال ۳-۶

در حادثه انفجار نیروگاه هسته‌ای چرنوبیل، بد ۱۳۶ (۱۳۶T) یکی از ایزوتوپ‌هایی بود که وارد محیط‌زیست شد. این ایزوتوپ، فراوان است و همراه با جریان‌های جوی، با کشورهای دور دست از محل نروگاه حرکت کرد و با نشست روی برگ گیاهان، سیب‌الودگی گوشت و شیر دام‌هایی شد که این گیاهان را می‌خوردند. نیمه‌عمر این ایزوتوپ پروتوزا تقریباً ۸ روز است. پس از گذشت ۴۰ روز از حادثه چرنوبیل، چه کسری از هسته‌های مادر اولیه در محیط‌زیست باقی‌مانده بود؟

پاسخ: نیمه‌عمر ایزوتوپ بد ۱۳۶ برای ۸ روز است و ۴۰ روز را معادل ۵ نیمه‌عمر $5T_{1/2}$ در نظر می‌گیریم. اگر N_0 تعداد هسته‌های مادر باقی‌مانده، پس از گذشت ۴۰ روز جدول زیر را می‌توان تنظیم کرد.

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

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

اگر تعداد هسته‌های مادر اولیه در یک نمونه پروتوزا N_0 باشد، پس از گذشت زمان t ، تعداد هسته‌های پروتوزا باقی‌مانده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T_{1/2}}$$

که در آن t از رابطه $\frac{t}{T_{1/2}}$ به دست می‌آید.

تمرین ۳-۶

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

گاز رادون پروتوزا در خانه‌ها

رادون (^{222}Rn)، گازی پروتوزاست که به‌طور طبیعی به‌وجود می‌آید و محصول واپسی رادیم (^{226}Ra) است. رادون درون خاک به شکل گاز است و می‌تواند از محل‌هایی مانند شکاف‌های روی دیوارها و کتب ساختمان، حفره‌های دور لوله‌ها، منبع آب یا لوله‌های آب وارد خانه‌ها شود (قطع سیز رنگ روی شکل). اینکه میزان جمع شدن رادون درون خانه بتواند به‌طور چشمگیری بالا رود، به نوع ابعاد ساختمان و غلظت رادون در خاک اطراف ساختمان بستگی دارد. گاز رادون با نیمه‌عمر ۳٫۸۲ روز، به هسته‌های دیگری که آنها نیز پروتوزا هستند واپسی می‌کند. این هسته‌های پروتوزا، می‌توانند به ذرات غبار و دود بچسبند و با تنفس وارد ریه‌ها شوند و پس از واپسی، به بافت‌های بدن آسیب بزنند. اگر تشخیص برای مدت طولانی در معرض گاز رادون باشد، ممکن است به سرطان ریه مبتلا شود. از آنجا که میزان تجمع گاز رادون را می‌توان با دستگاه‌های اندازه‌گیری کرد توصیه می‌شود که خانه‌ها برای سنجش رادون مورد آزمایش قرار گیرند.

۱- در این کتاب صرفاً با مسئله‌های مورد نظر است که در آنها n عددی صحیح باشد و سایر حالت‌های دیگر باید مورد ارزیابی قرار گیرد.

۱۴۷

فیزیک ۱۳۴

۳-۶ شکافت هسته‌ای

در سال ۱۹۳۹ میلادی گروهی از دانشمندان آلمانی، کشف کردند که هسته اورانیوم ^{235}U پس از جذب نوترون، به دو تکه تقسیم می‌شود و هر تکه، جرم کمتری از هسته اولیه دارد. فرایند تقسیم شدن یک هسته سنگین به دو هسته با جرم کمتر، شکافت هسته‌ای نامیده می‌شود. در فرایند شکافت اورانیوم، ترکیب‌های متفاوتی از هسته‌های کوچک‌تر همراه با تعدادی نوترون (بین ۲ تا ۳) به‌وجود می‌آید. شکل ۳-۶ الف، یکی از این واکنش‌های ممکن شکافت اورانیوم را نشان می‌دهد که در آن هسته اورانیوم ^{235}U پس از جذب نوترون و تبدیل به ایزوتوپ تاباندار ^{236}U ، به هسته‌های باریم ^{141}Ba و کربتون ^{92}Kr تقسیم شده است. واکنش وقتی شروع می‌شود که نوترونی گند (با انرژی جنبشی در حدود 10^{-6}eV) توسط هسته ^{235}U جذب و هسته مرکب ^{236}U ایجاد شود. این هسته مرکب در کمتر از 10^{-16} و مطابق واکنش زیر واپسینده می‌شود:

$$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{141}_{54}\text{Ba} + ^{92}_{36}\text{Kr} + 3^1_0\text{n}$$

سه نوترون کربتون باریم هسته مرکب تاباندار

شکل ۳-۶ الف: جذب یک نوترون گند توسط هسته اورانیوم ^{235}U و تبدیل به ایزوتوپ تاباندار ^{236}U و شکافت به دو هسته کوچک‌تر و سه نوترون.

وقتی نوترونی به هسته اورانیوم ^{235}U برخورد کند و جذب شود، هسته اورانیوم شروع به ارتعاش می‌کند و تغییر شکل می‌دهد. ارتعاش را وقتی ادامه می‌یابد که تغییر شکل چنان جدی شود که نیروی جاذبه هسته‌ای دیگر توانا به نیروی دافعه الکتروستاتیکی بین پروتون‌های هسته متوازن شود. در این هنگام، هسته به پارامی‌دایمی تبدیل می‌شود که حامل انرژی (به‌طور عمده انرژی جنبشی) هستند. واکنش زنجیری: همان‌طور که دیدیم فرایند شکافت ^{235}U با جذب یک نوترون گند آغاز می‌شود. اگر محصولات شکافت، باریم ^{141}Ba و کربتون ^{92}Kr باشند، در این فرایند ۳ نوترون به‌وجود می‌آید. چون نوترون‌ها بار الکتریکی ندارند، هسته‌های دیگر آنها را دفع نمی‌کنند. نوترون‌ها پس از گند شدن، توسط هسته‌های دیگر جذب می‌شوند و باعث شکافت در ۲ هسته اورانیوم دیگر می‌شوند و ۹ نوترون آزاد می‌کند. اگر هر یک از این نوترون‌ها نیز موفق به شکافت یک هسته اورانیوم شود، ۲۷ نوترون آزاد می‌شود و به همین ترتیب تا آخر. این رشته واکنش را واکنش زنجیری می‌نامند (شکل ۳-۶ ب).

۱- جعفر ماکلف ۹۷ نوترون در واکنش شکافت آزاد می‌شود.

۱۴۸

تمرین ۴-۶

با استفاده از رابطه ۴-۶ داریم:

$$n = \frac{1}{\lambda} \quad \text{و} \quad t = 9 \text{ روز} \quad \text{و} \quad T_{1/2} = \frac{t}{n} = \frac{9}{72} = \frac{1}{8}$$

نورمان پستام (۱۹۱۸-۲۰۰۹) و فریمنکسن

آلمانی به خاطر تلاش‌های در زمینه شکافت هسته‌ای، جایزه نوبل فیزیکی را در سال ۱۹۴۲ دریافت کرد. وی پس از جنگ جهانی دوم تا سال ۱۹۴۰ ریاست مؤسسه کارناتسکی دانش بانک را به عهده داشت که یکی از محروم‌ترین مراکز پژوهشی در زمینه علوم هسته‌ای بود.

۱۴۹

۱۴ و ۱۵ نشان می‌دهند. میون‌ها ذراتی بنیادی و دارای طول‌عمری از مرتبه میکروثانیه هستند.^{۱۵}

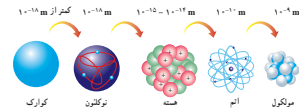
طبقه‌بندی ذرات؛ تمامی ذرات زیر اتمی را در سه خانواده **جامل‌های نیرو**، **لیتون‌ها** و **جادرون‌ها** می‌توان طبقه‌بندی کرد.

■ خانواده **جامل‌های نیرو** از ذراتی تشکیل شده‌اند که قشطن اساسی در پرم‌کنش‌ها بازی می‌کنند. برای مثال، فوتون که یکی از ذرات عضو این خانواده است عامل پرم‌کنش‌های الکترومغناطیسی است.

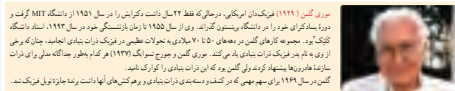
■ خانواده **لیتون‌ها** شامل ذراتی هستند که تمامی آنها بنیادی‌اند. الکترون، پوزیترون، نوترینوها و میون‌ها از جمله ذرات عضو خانواده لیتون‌ها هستند.

■ خانواده **جادرون‌ها**، شامل ذراتی غیر بنیادی هستند که از ذرات ریزتری به نام **کوارک‌ها** ساخته شده‌اند. پروتون، نوترون و میون‌ها^{۱۶} از جمله ذرات خانواده جادرون‌ها به‌شمار می‌روند.

کوارک‌ها؛ همان‌طور که اشاره کردیم ذرات خانواده جادرون‌ها، مانند پروتون و نوترون بنیادی نیستند. برای توضیح این موضوع، در سال ۱۹۶۴ دو فیزیکدان آمریکایی به نام‌های موری گلمن و جورج سولایگ به‌طور مستقل، مدلی را پیشنهاد کردند که مطابق آن، جادرون‌ها از ترکیب ذرات بنیادی به نام کوارک‌ها تشکیل شده‌اند. در این مدل، سه نوع کوارک و سه باکوارک متناظر با آنها پیشنهاد شده است. به این ترتیب، می‌توان گفت ذرات بنیادی یا همان بلی سازه‌های ماده، کوارک‌ها و لیتون‌ها هستند و همه عالم از آنها ساخته شده است. شکل زیر طرحی ساده از چگونگی تشکیل ماده از واحدهای اصلی را نشان می‌دهد.



کوارک‌ها، نوترون‌ها را می‌سازد. نوترون‌ها (که عضو خانواده جادرون‌ها هستند) هسته را می‌سازند. اتم‌ها از هسته و الکترون (عضو خانواده لیتون‌ها) ساخته می‌شوند. اتم‌ها، مولکول‌ها را می‌سازند و عالم ماده از آنها ساخته می‌شود.



۱- در یک روش برای تولد میون، پرتوهای پرتوهای انرژی بالا (مثلاً ۱۵-۱۰ MeV) به هدفی از جنس کربن برخورد می‌کنند و یک نوترون و یک π^+ تولید می‌شود. پس از π^+ به π^0 تبدیل می‌شود.
۲- میون‌ها در سال ۱۹۳۷ کشف شدند و به سه صورت مثبت، منفی و خنثی وجود دارند که به ترتیب با π^+ ، π^0 و π^- نشان داده می‌شوند. جرم هر سه میون با یکدیگر برابر است.
میون‌های π^+ و π^- با ذراتی با یکدیگر و دارای طول‌عمری از مرتبه 10^{-8} ثانیه هستند.

۳- California Institute of Technology



فصل ۳۲-۱ طرحی از راکتور آزمایشی گرما هسته‌ای بین‌المللی (ITER). ساخت این راکتور با مشارکت چندین کشور جهان، از سال ۲۰۰۷ تا فراترانه شروع شده است و پیش‌بینی می‌شود برای آن در سال ۲۰۲۵ تا ۲۰۴۰ توان خروجی ۵۰۰ مگاوات شروع به کار کند.

از آنجا که در واکنش‌های گداخت، مقدار بسیار زیادی انرژی آزاد می‌شود، ساخت راکتورهای گداخت مورد توجه زیادی است (شکل ۳۲-۴). اگرچه تاکنون نوع تجاری آن ساخته نشده است. مشکلات در ساخت راکتور گداخت به این علت پیش می‌آید که دو هسته کرم‌جرم به هم نزدیک شوند تا نیروی کربانه‌ای هسته‌ای بتواند آنها را کنار هم بکشد و در واکنش گداخت انجام شود. ولی، هر هسته، بار مثبت دارد و هسته دیگر را دفع می‌کند، برای آنکه هسته‌ها با وجود این نیروی رانشی بسیار قوی، بتوانند به هم گداخت 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-تريتم به دمای حدود ده‌ها میلیون درجه سلسیوس نیاز است. دمای از این مرتبه در ستارگان و خورشید وجود دارد. مثلاً خورشید، که در آن از گداخت هسته‌های هیدروژن انرژی آزاد می‌شود، دمای درونی آن فراز از ۲۰ میلیون درجه سلسیوس برآورد شده است. در نتیجه واکنش گداخت هسته‌ای، در مرکز خورشید و ستارگان که دما و فشار بسیار بالاست صورت می‌گیرد.

آشنایی مختصر با ذرات بنیادی

تا سال ۱۹۳۲ سه ذره سازه‌ای اتم‌ها شامل الکترون، پروتون، و نوترون کشف شده بودند و به‌عنوان سه ذره بنیادی تصور می‌شدند ولی سواد تجربی بدست آمده پس از آن، نشان داد که به تنها و نوترون ذرات بنیادی نیستند؛ بلکه صدها ذره زیر اتمی دیگر نیز وجود دارد. به‌طور کلی ذرات زیر اتمی شناخته‌شده در عالم، یا مانند الکترون، پوزیترون، نوترینوها و میون‌ها بنیادی‌اند، یا مانند پروتون، نوترون و میون‌ها ذرات غیر بنیادی‌اند و از ذرات بنیادی‌ای به نام کوارک‌ها ساخته شده‌اند.

در نشان‌دهنده‌ها بیشتر ذرات زیر اتمی را با برخورد پروتون‌ها یا نوترون‌های پر انرژی با یک هسته هدف موجود می‌آورند. در ادامه به معرفی چند ذره بنیادی پرداخته و به طبقه‌بندی ذرات زیر اتمی نیز اشاره می‌شود.

پوزیترون؛ در سال ۱۹۳۲ درای با همان جرم الکترون ولی با بار مخالف ($+$) توسط کارل اندرسون، فیزیک‌دان آمریکایی، کشف شد و جایزه نوبل فیزیک ۱۹۳۶ را برای وی به همراه داشت. این الکترون مثبت، پوزیترون نامیده شد که

یادآور الکترون است! پوزیترون پادمار است و خودبه‌خود و پاینده نمی‌شود.

نوترینوها؛ در وایانی ۱۵ با این ذره آشنا شدیم که در سال ۱۹۳۰ میلادی توسط ولنگانگ پاولی معرفی شد و به‌طور تجربی در سال ۱۹۵۶ مورد تأیید قرار گرفت. نوترینوها (شامل سه ذره و سه پادذره) ذراتی بنیادی، بدون بار و دارای جرم بسیار اندکی هستند. همین‌طور آشکارسازی آنها بسیار دشوار است. زیرا با ماده پرم‌کنش بسیار ضعیفی دارند. برای مثال، در هر ثانیه از مرتبه هزار میلیارد نوترینو از بدن ما می‌گذرد و اثر شناخته‌شده‌ای بر ما ندارد!

میون‌ها؛ در سال ۱۹۳۷ دو فیزیک‌دان آمریکایی، ذرات باردار جدیدی را کشف کردند که جرم آنها کمی بیش از ۲۰۰ برابر جرم الکترون و اندازه بار آنها برابر بار الکترون بود. این دو ذره را که جرمی یکسان، ولی بار مخالف دارند میون می‌نامند و با نمادهای

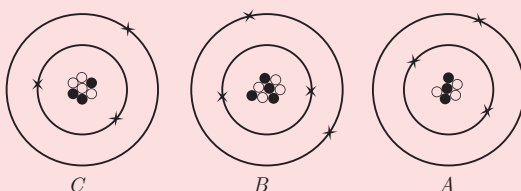
۱- International Thermoelectric Experimental Reactor

۲- پوزیترون (positive electron)، صورت گرفته‌ای الکترون مثبت (positive electron) است.

پرسش‌ها و تمرین‌های پیشنهادی فصل ۶

۱ فراوان‌ترین ایزوتوپ اورانیوم $^{238}_{92}\text{U}$ است. عددهای ۲۳۸ و ۹۲ نشان‌دهنده چه چیزهایی هستند؟ در هر اتم این ایزوتوپ، چند پروتون و چند نوترون و چند الکترون وجود دارد؟

۲ عدد اتمی نقره ۴۷ و عدد نوکلئونی آن ۱۰۷ و اتم خنثی است.
 الف) اتم نقره دارای چند پروتون و نوترون است؟ پروتون‌ها و نوترون‌ها در کجا قرار دارند؟
 ب) آیا در اتم ذره دیگری وجود دارد؟ تعداد این ذره‌ها چقدر است؟
 پ) چرا اتم خنثی است؟
 ت) نقره ۱۰۸، ایزوتوپ دیگری از نقره است. به‌طور کامل توضیح دهید واژه ایزوتوپ به چه معنایی است.



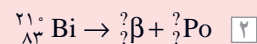
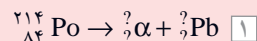
۳ در شکل رو به رو سه اتم دیده می‌شود.
 الف) دو تا از این اتم‌ها از یک عنصرند، کدام یک با دو تای دیگر متفاوت است؟
 ۱
 ۲ دلیلی برای پاسخ خود بیاورید.
 ب) دو تا از این اتم‌ها ایزوتوپ‌های یک عنصرند، این دو کدام‌اند؟
 ۱
 ۲ پاسخ خود را توضیح دهید.
 پ) کدام یک از ذره‌هایی که با \bullet ، \circ و \times نشان داده شده‌اند بار مثبت دارند؟
 ۱
 ۲ بار ندارند؟
 ۳ جرمشان از همه کمتر است؟
 ت) با همین نمادها نمودار ذره α را رسم کنید.

۴ کدام تابش از ماده پرتوزا
 الف) بار مثبت دارد؟
 ب) بیشترین قدرت نفوذ را دارد؟
 پ) در میدان مغناطیسی به راحتی منحرف می‌شود؟
 ت) از موج الکترومغناطیسی تشکیل شده است؟
 ث) باعث شدیدترین یونش می‌شود؟
 ج) در هوا کوچک‌ترین برد را دارد؟
 چ) بار منفی دارد؟
 ح) در میدان الکتریکی منحرف نمی‌شود؟

۵ جدول زیر را کامل کنید.

ذره یا پرتو	جرم	بار
پروتون	یک واحد	+ یک واحد
نوترون
الکترون
ذره آلفا
ذره بتا
پرتو گاما

الف) واکنش‌های زیر را که نشان‌دهنده واپاشی پرتوزا هستند کامل کنید.



ب) با توجه به دو واکنش بالا توضیح دهید در واپاشی‌های

۱ آلفازا

۲ بتازا

چه تغییری در هسته رخ می‌دهد؟

۶ گسیل پرتوی گاما چه اثری بر هسته می‌گذارد؟

۷ به دقت توضیح دهید چگونه چشمه پرتوزایی که تنها ذره آلفا گسیل می‌کند می‌تواند بار منفی الکتروسکوپ را تخلیه کند.

۸ در رآکتوری یک قطعه مس ${}_{29}^{63}\text{Cu}$ با نوترون بمباران می‌شود و با جذب نوترون به یک ایزوتوپ پرتوزا تبدیل می‌شود.

الف) رابطه‌ای برای نشان دادن جذب نوترون به وسیله هسته مس بنویسید.

ب) هسته حاصل ناپایدار است. انتظار دارید در این هسته چه نوع واپاشی صورت بگیرد؟ با رابطه نشان دهید.



۹ در نمودار روبه‌رو شمار نوترون‌ها و پروتون‌های هسته داده شده است. اتم

فسفر ۳۲ دارای ۱۷ نوترون است:

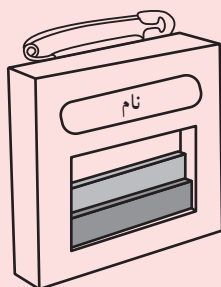
الف) شمار پروتون‌های هسته آن چند است؟

ب) روی نمودار با علامت x جای فسفر ۳۲ را مشخص کنید.

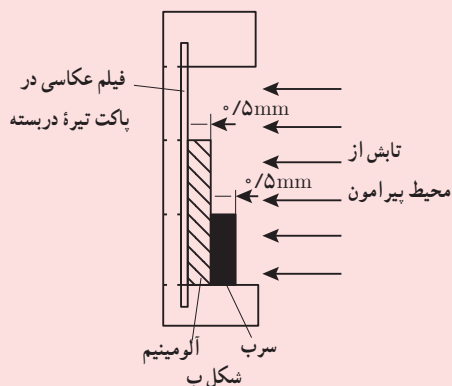
پ) از روی نمودار چگونه تشخیص می‌دهید که فسفر ۳۲ پرتوزا است؟

ت) با محاسبه نسبت $\frac{N}{Z}$ نشان دهید که فسفر ۳۲ با واپاشی β^- به یک ایزوتوپ

پایدار تبدیل می‌شود.



شکل الف



۱۰ کارکنان ایستگاه‌های تولید انرژی هسته‌ای دزسنج مخصوصی به سینه می‌زنند که نشان می‌دهد آیا مقدار تابش هسته‌ای که به بدن آنها رسیده در حد خطرناک است یا نه (شکل الف). در این دزسنج یک قطعه فیلم عکاسی در یک پاکت که نور به آن وارد نمی‌شود وجود دارد. هر چند هفته یک بار این فیلم را از پاکت بیرون می‌آورند و ظاهر می‌کنند. بخش‌هایی از فیلم که تابش به آنها رسیده است تیره رنگ می‌شود. شکل ب ساختار این دزسنج را نشان می‌دهد:

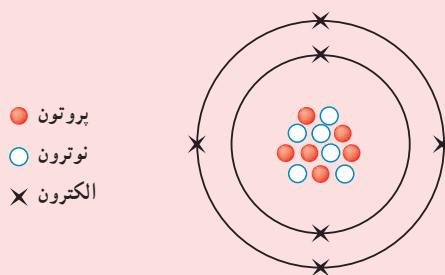
الف) چرا نباید دزسنج را در جیب گذاشت؟

ب) اگر مقدار زیادی پرتو α به دزسنج برسد، فیلم آن چه تغییری می‌کند؟

پ) از روی فیلم چگونه می‌فهمیم که شخص پرتو α دریافت نکرده است؟

ت) چرا فیلم را در پاکتی می‌گذارند که نور به آن وارد نمی‌شود؟

۱۱ الف) شکل زیر اتم کربن $^{12}_6\text{C}$ را نشان می‌دهد. جدول زیر را کامل کنید.



شکل ۴-۱۲

ذره	تعداد آن در اتم
پروتون
نوترون
الکترون

ب) کربن $^{14}_6\text{C}$ پرتوزاست. چه تفاوتی میان کربن $^{12}_6\text{C}$ و کربن $^{14}_6\text{C}$ وجود دارد؟

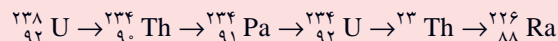
پ) کربن $^{14}_6\text{C}$ با گسیل ذره بتا واپاشی می‌کند.

۱- بتا از کدام بخش اتم گسیل می‌شود؟

۲- کدام گزینه دربارهٔ ذرهٔ بتا درست است؟

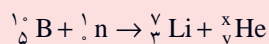
الف) پروتون سریع ب) نوترون سریع پ) الکترون سریع

۱۲) بخش نخست از زنجیرهٔ واپاشی ایزوتوپ $^{238}_{92}\text{U}$ به صورت زیر است :



در این پنج مرحله چه ذره‌هایی گسیل می‌شوند؟

۱۳) مغز انسان می‌تواند دچار یک نوع تومور مغزی به نام گلیوبلاستوم شود. این نوع تومور در مغز پخش می‌شود و نمی‌توان آن را با جراحی درمان کرد. به جای آن جراحان مغز و اعصاب به بیمار محلولی تزریق می‌کنند که حاوی عنصر بور است. گلیوبلاستوم بور را جذب می‌کند. سپس مغز بیمار را با ذره‌های نوترون بمباران می‌کنند. واکنش زیر انجام می‌شود :



الف) در واکنش بالا x و y را مشخص کنید.

ب) هسته بور به لیتیم و هلیوم تجزیه می‌شود. این فرایند چه نام دارد؟ توضیح دهید چرا هسته‌های هلیوم و لیتیم به سرعت از هم دور می‌شوند.

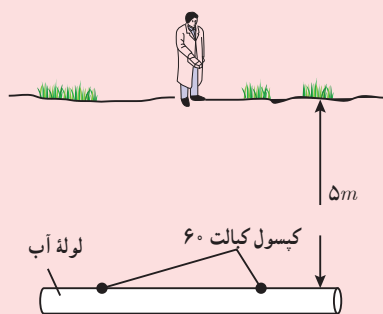
پ) توضیح دهید چگونه این فرایند موجب نابودی گلیوبلاستوم می‌شود.

ت) چرا این فرایند برای افراد سالم خطرناک است؟

۱۴) نیمه‌عمر سیزیم $^{137}_{55}\text{Cs}$ در محیطی که تابش زمینه آن بالاست اندازه‌گیری می‌شود. نتایج در جدول زیر نشان داده شده است.

با رسم نمودار مناسب نیمه‌عمر سیزیم را حساب کنید.

زمان (s)	آهنگ شمارش (زمان / واپاشی)
۰	۶۸
۳۰	۵۲
۶۰	۴۰
۹۰	۳۲
۱۲۰	۲۴
۱۵۰	۲۰
۱۸۰	۱۶
۲۴۰	۱۲
۲۷۰	۸
۳۰۰	۱۰



۱۵ در شهری لوله‌های آب در اعماق زمین قرار دارند. شرکت آب چشمه‌های پرتوایی را در مسیر لوله‌ها قرار داده است تا در هنگام شکسته شدن لوله‌ها در آینده بتواند زمین را حفر و آنها را تعمیر کند (شکل روبه رو). کپسول کبالت ^{60}Co چشمه‌هایی پرتوزا هستند که به لوله‌ها جعبانیده شده‌اند و پرتوهای گاما گسیل می‌کنند. لوله‌های در عمق ۵ متری قرار دارند. الف) توضیح دهید چرا چشمه‌های گسیل‌کننده پرتوهای آلفا و بتا برای ردیابی این نوع لوله‌کشی‌ها مناسب نیستند.

ب) پرتوهای گاما بخشی از طیف الکترومغناطیسی هستند.

۱ دو بخش از طیف الکترومغناطیسی را که می‌توانند برای درمان بیماری سرطان به کار روند نام ببرید.

۲ دو بخش از طیف الکترومغناطیسی را که می‌توانند در ارتباطات به کار روند نام ببرید.

۳ دو بخش از طیف الکترومغناطیسی را که می‌توانند برای تولید گرما به کار روند نام ببرید.

پ) مراقبت‌های لازمی را که هنگام کار گذاشتن لوله‌ها باید کارگران رعایت کنند نام ببرید.

۱۶ در نیروگاه‌های هسته‌ای از شکافت هسته برای تولید برق استفاده می‌شود،

الف) منظور از شکاف هسته‌ای چیست؟

ب) در شکاف هسته‌ای چه نوع انرژی‌ای آزاد می‌شود؟

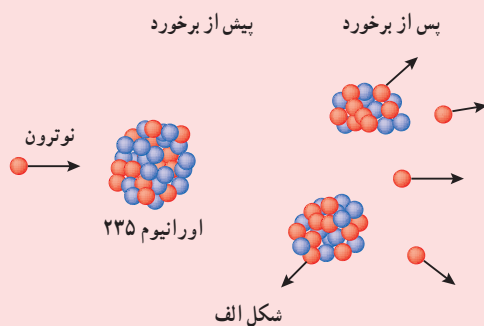
پ) دو مزیت و دو اشکال استفاده از نیروگاه هسته‌ای را بنویسید.

ت) واژه‌های ژنراتور، مبدل گرمایی، رآکتور و بخار را در جای درست خود در چند جمله زیر به کار ببرید:

در نیروگاه هسته‌ای، شکافت هسته‌ای در صورت می‌گیرد. انرژی به وسیله خنک‌کننده از سوخت هسته‌ای گرفته می‌شود و به منتقل می‌شود که در آنجا برای تولید به کار می‌رود و توربین‌ها را به کار می‌اندازد. توربین‌ها را می‌چرخانند و برق تولید می‌کنند.

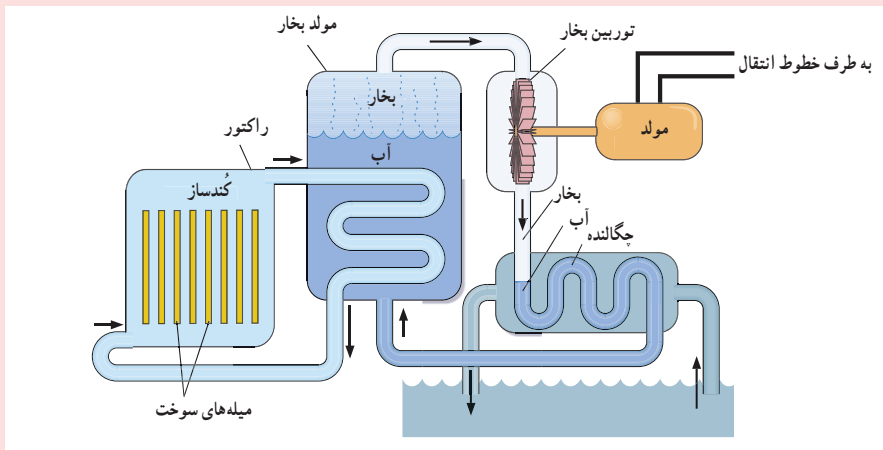
۱۷ در یک ایستگاه تولید برق هسته‌ای، از انرژی آزاد شده در فرایند شکافت هسته برای تولید برق استفاده می‌شود.

الف) شکافت اورانیوم ^{235}U در شکل الف نشان داده شده است.



۱ فرایندی را که در این نمودار نشان داده شده است شرح دهید.

۲) در شکافت اورانیوم ^{235}U انرژی از هسته آزاد می شود. این انرژی کجا می رود؟
 ب) در شکل ب اجزای اصلی ایستگاه برق هسته ای دیده می شود. توضیح دهید چگونه سوخت آن برای تولید انرژی به کار می رود.

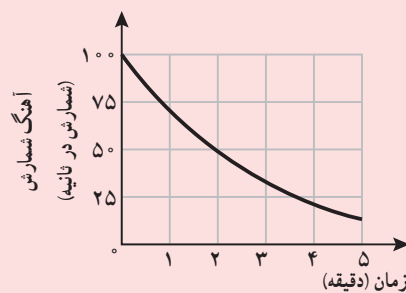


شکل ب

۱۸) الف) حدود نیروی رانش میان دو پروتون را که در فاصله 10^{-14} متری یکدیگر واقع اند برآورد کنید. ($\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$)
 ب) با توجه به نتیجه بخش الف، کار نیروی هسته ای را در جدا کردن دو ذره هسته ای تخمین بزنید.

۱۹) ایزوتوپ پرتوزای ^{232}Th در چهار واپاشی بی دربی دو ذره آلفا و دو ذره بتا گسیل می کند. اگر هسته دختر به صورت ^A_ZX باشد، اندازه های A و Z را مشخص کنید. آیا ^{232}Th و ^A_ZX ایزوتوپ اند؟ چرا؟

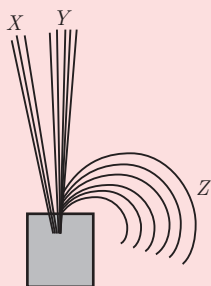
۲۰) نمودار واپاشی یک اتم به صورت شکل زیر است. نیمه عمر آن چقدر است؟



شکل ۴-۲۰

۲۱) واپاشی پرتوزای ایزوتوپ کوتاه عمر توریم با رابطه $^{225}\text{Th} \rightarrow ^A_Z\text{Ra} + \alpha$ مشخص می شود. نیمه عمر آن 8.0 دقیقه است.
 الف) A و Z چه کمیتی را نشان می دهند؟
 ب) مقدار آنها چقدر است؟

۲۲) الف) تفاوت بار، جرم و سرعت پرتوهای آلفا، بتا و گاما را بنویسید.



ب) در نخستین سال‌های سده بیستم مادام کوری نموداری مانند شکل روبه‌رو کشید و مسیر حرکت سه پرتو را در هوا در میدان مغناطیسی یکنواخت نشان داد. اندازه‌ها در این شکل مطابق مقیاس نیستند.

۱ جنس پرتوهای X ، Y و Z را مشخص کنید.

۲ جهت میدان مغناطیسی را تعیین کنید.

۲۳ خورشید با آهنگ $4 \times 10^{26} \text{ W}$ انرژی تولید می‌کند.

الف) با استفاده از رابطه $E=mc^2$ تعیین کنید خورشید در هر ثانیه چقدر از جرم خود را از دست می‌دهد.

ب) اگر خورشید با همین آهنگ تولید انرژی مدت 10^{10} سال دوام بیاورد، چقدر جرم از دست می‌دهد؟

پ) این مقدار جرم چند درصد جرم کنونی خورشید است؟

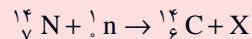
۲۴ توان تولیدی متوسط یک نیروگاه برق هسته‌ای در شبکه سراسری 150 MW است. اگر در این نیروگاه در هر ساعت 0.3

کیلوگرم سوخت اورانیوم ^{235}U مصرف شود:

الف) نیروگاه در هر ساعت چند ژول انرژی دریافت می‌کند؟

ب) اگر از هر کیلوگرم سوخت اورانیوم ^{235}U $5 \times 10^7 \text{ J}$ به دست آید، بازده نیروگاه چند درصد است؟

۲۵ در لایه‌های بالایی جو زمین بر اثر برخورد نوترون با نیتروژن $^{14}_7\text{N}$ ، کربن پرتوزا به وجود می‌آید و داریم



الف) ۱ در واکنش بالا عددهای اتمی و جرمی X را تعیین کنید.

۲ X را شناسایی کنید.

ب) جرم کربن $^{14}_6\text{C}$ تولید شده در مدت یک سال بر اثر این واکنش $7/5$ کیلوگرم است. نشان دهید که شمار اتم‌های کربن $^{14}_6\text{C}$

تولید شده در هر سال تقریباً 3×10^{26} است.

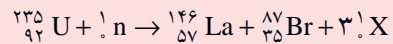
نیمه‌عمر کربن $^{14}_6\text{C}$ را 5730 سال و عدد آووگادرو را 6×10^{23} بگیرد.

۲۶ منظور از «نیمه‌عمر یک ماده پرتوزا ۲ دقیقه است» چیست؟ پس از ۸ دقیقه چه مقدار ماده برجای می‌ماند؟

۲۷ با توجه به جدول، نمودار آهنگ شمارش بر حسب زمان را رسم کنید و به کمک آن نیمه‌عمر ماده را به دست آورید.

زمان (دقیقه)	شمارش در ثانیه
۰	۱۰۰
۱	۵۹
۲	۳۴
۳	۲۰
۴	۱۲
۵	۷

۲۷) معادله زیر واکنش هسته‌ای برخورد یک نوترون کُند با هسته $^{235}_{92}\text{U}$ را نشان می‌دهد.



الف) ۱) این فرایند چه نام دارد؟

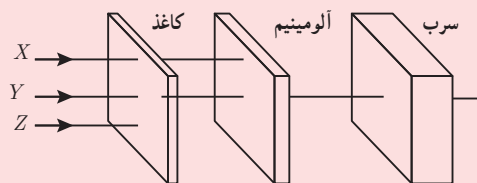
۲) X نمایش چه چیزی است؟

۳) تفاوت این واکنش هسته‌ای را با واکنشی که در خورشید روی می‌دهد بنویسید.

ب) معمولاً واکنش بالا برای تولید انرژی الکتریکی به روش هسته‌ای انجام می‌شود. نام یک مشکل زیست محیطی را که همراه با این نوع تولید الکتریسیته به وجود می‌آید بنویسید.

پ) کاهش جرم در یک واکنش هسته‌ای از نوع بالا $3/4 \times 10^{-28} \text{ kg}$ و تندی نور $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ است. مقدار انرژی این واکنش را حساب کنید.

۲۹) در شکل زیر جنس پرتوهای X، Y و Z را مشخص کنید.

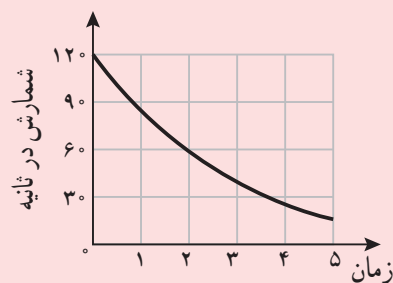


شکل ۴-۲۴

E	D	C	B	A	
بنا	گاما	گاما	بنا	آلفا	X
گاما	بنا	آلفا	آلفا	بنا	Y
آلفا	آلفا	بنا	گاما	گاما	Z

الف) A ب) B پ) C ت) D ث) E

۳۰) نیمه عمر ماده پرتوزایی که نمودار واپاشی آن مطابق شکل زیر است. چقدر است؟



الف) ۱ دقیقه ب) ۲ دقیقه پ) ۳ دقیقه ت) ۴ دقیقه ث) ۵ دقیقه

۳۱ کدام گزینه نادرست است؟

- (الف) اتم از یک هسته کوچک درست شده است که الکترون‌ها پیرامون آن را فرا گرفته‌اند.
 (ب) هسته از تعداد یکسانی از پروتون و نوترون درست شده است که نوکلئون نامیده می‌شوند.
 (پ) پروتون دارای بار مثبت و نوترون خنثی و جرم آنها تقریباً برابر است.
 (ت) بار الکترون منفی است ولی از لحاظ مقدار با بار پروتون برابر است ولی جرم آن بسیار کمتر است.
 (ث) در اتم معمولی شمار پروتون‌ها و الکترون‌ها برابر است.
- ۳۲ عدد جرمی لیتیم ۷ و عدد اتمی آن ۳ است.

۱ نماد آن ${}^6_3\text{Li}$ است.

۲ ۳ پروتون، ۴ نوترون و سه الکترون دارد.

۳ یکی از ایزوتوپ‌های آن ۳ پروتون، ۳ نوترون و ۳ الکترون دارد.

(الف) ۱ و ۲ و ۳ (ب) ۱ و ۲ (پ) ۲ و ۳ (ت) ۱ (ث) ۳

۳۳ رادون ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ با گسیل ذره α به کدام یک از عنصرهای زیر تبدیل می‌شود؟

(الف) ${}^{216}_{85}\text{At}$ (ب) ${}^{216}_{86}\text{Rn}$ (پ) ${}^{218}_{84}\text{Po}$ (ت) ${}^{216}_{84}\text{Po}$ (ث) ${}^{217}_{85}\text{At}$

۳۴ توریم ${}^{232}_{90}\text{Th}$ با گسیل ذره β^- به کدام یک از عنصرهای زیر تبدیل می‌شود؟

(الف) ${}^{230}_{90}\text{Th}$ (ب) ${}^{230}_{89}\text{Ac}$ (پ) ${}^{234}_{89}\text{Ac}$ (ت) ${}^{232}_{88}\text{Ra}$ (ث) ${}^{234}_{91}\text{Pa}$

۳۵ یک ایزوتوپ پرتوزا یک ذره آلفا و دو ذره β^- گسیل می‌کند، هسته‌ای که برجا می‌ماند نسبت به حالت پیشین،

(الف) تعداد ذره‌های هسته‌ای بیشتری دارد. (ب) همان تعداد ذره‌های هسته‌ای را دارد.

(پ) تعداد پروتون‌های بیشتری دارد. (ت) تعداد پروتون کمتری دارد.

(ث) همان تعداد پروتون دارد.

۳۶ یک زنجیره واپاشی با ${}^{232}_{90}\text{Th}$ آغاز می‌شود و به ترتیب واپاشی آلفا، بتا، بتا، گاما و آلفا می‌یابد. محصول پایانی

کدام است؟

(الف) ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ (ب) ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ (پ) ${}^{208}_{86}\text{Rn}$ (ت) ${}^{212}_{85}\text{At}$ (ث) ${}^{225}_{87}\text{Fr}$

۳۷ اگر نیمه‌عمر یک ایزوتوپ پرتوزا ۱۶۰۰ سال باشد، چند سال طول می‌کشد تا $\frac{1}{8}$ آن واپاشی کند؟

(الف) ۲۰۰ (ب) ۱۴۰۰ (پ) ۴۸۰۰ (ت) ۱۲۸۰۰

۳۸ در فرایند هم‌جوشی دو هسته ${}^2_1\text{H}$ و ${}^3_1\text{H}$ در یک رآکتور، یک نوترون به بیرون پرتاب می‌شود، هسته به‌دست آمده (Y)

کدام است؟

(الف) ${}^4_2\text{He}$ (ب) ${}^4_2\text{He}$ (پ) ${}^4_2\text{He}$ (ت) ${}^4_2\text{He}$ (ث) ${}^4_2\text{He}$

۳۹ دو عنصر پرتوزای X و Y به ترتیب نیمه عمرهای 5° و 10° دقیقه دارند. شمار اتم‌های A و B با یکدیگر مساوی‌اند. بعد از 20° دقیقه نسبت زیر برابر با کدام یک از عددهاست؟

$$\frac{\text{شمار اتم‌های تغییر نکرده X}}{\text{شمار اتم‌های تغییر نکرده Y}}$$

- الف) ۴ ب) ۲ پ) ۱ ت) $\frac{1}{2}$ ث) $\frac{1}{4}$

۴۰ هنگامی که هسته اتم ${}^6_3\text{Li}$ با ذره‌های خاصی بمباران می‌شود، تنها دو ذره آلفا به دست می‌آید. کدام یک از ذره‌های زیر در بمباران شرکت داشته‌اند؟

- الف) الکترون‌ها ب) پروتون‌ها پ) دوترون‌ها ت) نوترون‌ها ث) فوتون‌ها

۴۱ در یک رآکتور شکافت گرمایی، به کار بردن میله‌های تنظیم‌کننده اثری

- الف) در تندی نوترون‌های تولید شده در شکافت ندارند.
 ب) در آهنگ نوترون‌های تولید شده در شکافت ندارند.
 پ) در انرژی تولید شده در رآکتورهای هسته‌ای ندارند.
 ت) در مقدار تابش‌های تولید شده در رآکتور هسته‌ای ندارند.
 ث) در آهنگ تجزیه هسته ${}^{235}\text{U}$ ندارند.

راهنمای پاسخ‌یابی به پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۶

۱-۶ ساختار هسته

۱ اگر هنگام قرار گرفتن نوترون‌ها درون توپ تنیس، فضاهای خالی را نادیده بگیریم و ضریب پراش‌دهی را یک در نظر بگیریم، در این صورت داریم:

$$\approx \frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{(3/2 \times 10^{-2} \text{ m})^3}{(10^{-15} \text{ m})^3} \approx 10^4$$

در توپ تنیس جای می‌گیرند

$$10^{13} \text{ kg} = 10^{27} \times 10^4 \approx \text{مرتبه بزرگی جرم توپ تنیس در این شرایط}$$

برای مقایسه خوب است بدانید مرتبه بزرگی جرم تمامی ساکنین روی کره زمین حدود 10^{12} kg است!

۲ الف

$$A = 208 \text{ تعداد نوکلئون‌ها (عدد جرمی)}$$

ب

$$N = A - Z = 208 - 82 = 126$$

پ

$$q = +Ze = +82e$$

۳ الف

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۶

۱-۶ ساختار هسته

۱. مرتبه بزرگی تعداد نوترون‌هایی را که می‌توان تک هم در یک توپ تنیس به شعاع ۳.۷۵ cm جای داد، تخمین زنید. در این صورت مرتبه بزرگی جرم این توپ چقدر است؟ (مرتبه بزرگی شعاع و جرم نوترون را به ترتیب 10^{-15} m و $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ در نظر بگیرید.)

۲. برای ^{208}Pb مطلوب است:

الف) تعداد نوکلئون‌ها

ب) تعداد نوترون‌ها

ج) بار الکتریکی خالص هسته

د) در هر یک از موارد زیر نشان دهید که چه عنصری را نشان می‌دهد و در هسته هر یک چند نوترون وجود دارد: در صورت لزوم از جدول تناوبی استفاده کنید.

الف) ^{208}X ب) ^{82}X ج) ^{126}X

۳. آیا می‌توان ایزوتوپ ^{82}X را با روش شیمیایی از ایزوتوپ ^{208}X جدا کرد؟ از ایزوتوپ ^{208}X چگونه باید جداسازی خود را توضیح دهید.

۴-۶ پرتوهای طبیعی و نیمه‌عمر

۱. جاهای خالی در فرایندهای واپاشی زیر نشان‌دهنده یک یا چند ذره α یا β^- است. در هر واکنش، جای خالی را کامل کنید.

الف) $^{210}\text{Po} \rightarrow ^{206}\text{Bi} + \dots$

ب) $^{13}\text{C} \rightarrow ^{13}\text{B} + \dots$

ج) $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + \dots$

۲. هسته دختر بدست‌آمده از هر یک از واپاشی‌های زیر را به صورت ^A_ZX مشخص کنید.

الف) ^{210}Po واپاشی α انجام دهد.

ب) سدیم ^{24}Na واپاشی β^- انجام دهد.

ج) نیتروژن ^{14}N واپاشی β^- انجام دهد.

د) ^{23}O واپاشی β^- انجام دهد.

۳. هنگامی که نیترون جز زمین توسط پرتوهای کیهانی (که معمولاً از جنس پروتون، ذره‌های α و الکترون هستند) پیلان می‌شود، ایزوتوپ پروتوزی کربن ^{14}C با آنگ تابش در لامپ‌های فوایدی جو تولید می‌شود. این کربن پروتوزی، با کربن ^{12}C که به‌طور طبیعی در جو وجود دارد در هم آمیخته می‌شود. فرض کنید که در یک نمونه از پروتوزی کربن ^{14}C ۱۰۰۰۰ میلیارد اتم پیلان کربن ^{14}C تقریباً یک اتم پروتوزی کربن ^{14}C از این طریق وارد جو می‌شود. اتم‌های کربن جز از طریق حالت‌های متوازن خود را عوض می‌کنند و فوسفر و فسفر، به‌طور کاتوره‌ای مکان خود را عوض می‌کنند و به این جاداران منتقل می‌شوند. به‌طوری که اتم‌های کربن هر موجود زنده شامل کسر کوچک و ثابتی از ایزوتوپ پروتوزی کربن ^{14}C است.

۴. فرض کنید موجود زنده‌ای می‌میرد، مقدار کربن پروتوزی به تله افتاده در موجود غیرزنده، با نیمه‌عمر ۵۷۳۰ سال رو به کاهش می‌گذارد. کربن ^{14}C موجود در یک نمونه زغال فسیل، ۱/۵۶ درصد (معادل $\frac{1}{1.56}$) مقدار عادی کربن ^{14}C موجود در زغال است که تازه تولید شده است.

$$^{195}_{78}\text{X} = ^{195}_{78}\text{Pt}$$

$$N = A - Z = 195 - 78 = 117$$

$$^{23}_{16}\text{X} = ^{23}_{16}\text{S}$$

$$N = A - Z = 23 - 16 = 7$$

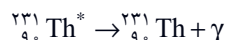
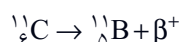
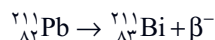
$$^{61}_{29}\text{X} = ^{61}_{29}\text{Pm}$$

$$N = A - Z = 61 - 29 = 32$$

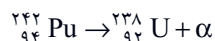
۴ $^{59}_{25}\text{X}$ و $^{61}_{25}\text{X}$ از ایزوتوپ‌های منگنز هستند که به طریق شیمیایی قابل جداسازی نیستند. در حالی که $^{61}_{25}\text{X}$ یکی از ایزوتوپ‌های آهن است و به سادگی می‌توان به روش شیمیایی آن را از ایزوتوپ منگنز جدا نمود.

۲-۶ پرتوهای طبیعی و نیمه‌عمر

۵



۶



الف



ب

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۶

۱. مباحث هسته

۱. مرتبه‌ی بزرگی تعداد نوترون‌هایی را که می‌توان تک هم در یک توپ تنیس به شعاع 3.7cm جای داد، تخمین بزنید. در این صورت مرتبه‌ی بزرگی جرم این توپ چقدر است؟

(مرتبه‌ی بزرگی شعاع و جرم نوترون را به ترتیب 10^{-14}m و 10^{-27}kg در نظر بگیرید.)

۲. برای ^{210}Po معکوس است:

الف) تعداد نوکلئون‌ها ب) تعداد نوترون‌ها

۳. بار الکتریکی خالص هسته

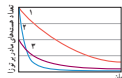
۴. در هر یک از موارد زیر تعداد X چه شعری را نشان می‌دهد

و در هسته هر یک چند نوترون وجود دارد؟ در صورت لزوم از جدول تناوبی استفاده کنید.

الف) ^{238}X ب) ^{238}X ج) ^{238}X

۵. آیا می‌توان از نوترون ^{238}X را با روش تئیسایی از نوترون ^{238}X جدا کرد؟ از نوترون ^{238}X بطور واضح یا به روش خود را توضیح دهید.

۶. نیتروژن ^{14}N ایزوتوپ است که در راکتورهای هسته‌ای تولید می‌شود. این ایزوتوپ پایدار است و واپاشی آن از طریق گسیل ذرات α ، β ، γ ، δ ، ϵ ، ζ ، η صورت می‌گیرد. پس از وقوع تمام این واپاشی‌ها، عدد اتمی و عدد جرمی هسته‌های چقدر است؟ شکل زیر نمودار تغییرات تعداد هسته‌های مادر پرتوزای سه نمونه را بر حسب زمان نشان می‌دهد. نیمه‌عمر این سه نمونه را با هم مقایسه کنید.



۷. هنگامی که نیترون جزو زمین توسط پرتوهای کیهانی (که معمولاً از جنس پروتون، ذره‌های α و الکترون هستند) پیلران می‌شود، ایزوتوپ پرتوزای کربن ^{14}C با آنگ تابش در لایه‌های فوایدی که تولید می‌شود. این کربن پرتوزا، با کربن ^{12}C که بطور طبیعی در جو وجود دارد درهم می‌آمیزد. ورسه‌ها نشان داده است که به ازای هر 10000 میلیارد اتم پایدار کربن ^{12}C ، تقریباً یک اتم پرتوزای کربن ^{14}C از این طریق وارد جو می‌شود. اتمهای کربن جزوی از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی از قبیل فوسفر و تنفس، به‌جای کاتورهای مکان خود را عوض می‌کنند و به بین جاداران منتقل می‌شوند. بطوری که اتمهای کربن هر موجود زنده شامل کسر کوچک و ثابتی از ایزوتوپ پرتوزای کربن ^{14}C است.

وقتی موجود زنده‌ای می‌میرد، مقدار کربن پرتوزای به تله افتاده در موجود غیرزنده، یا نیمه‌عمر 5730 سال رو به کاهش می‌گذارد. کربن ^{14}C موجود در یک نمونه زغال قدیمی 15% درصد (معمولاً $\frac{1}{6}$) مقدار عادی کربن ^{14}C موجود در زغال است که تازه تولید

۲. پرتوایی طبیعی و نیمه‌عمر

۸. جاهای خالی در فرآیندهای واپاشی زیر نشان‌دهنده یک یا چند ذره α ، β یا γ است. در هر واکنش، جای خالی را کامل کنید.

$^{238}\text{Pu} \rightarrow ^{234}\text{Bi} + \dots$

$^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{B} + \dots$

$^{232}\text{Th} \rightarrow ^{228}\text{Th} + \dots$

$^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th} + \dots$

$^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th} + \dots$

۹. هسته دختر بدست‌آمده از هر یک از واپاشی‌های زیر را به‌صورت مشخص کنید.

الف) ^{210}Po واپاشی α انجام دهد.

ب) ^{210}Po واپاشی β انجام دهد.

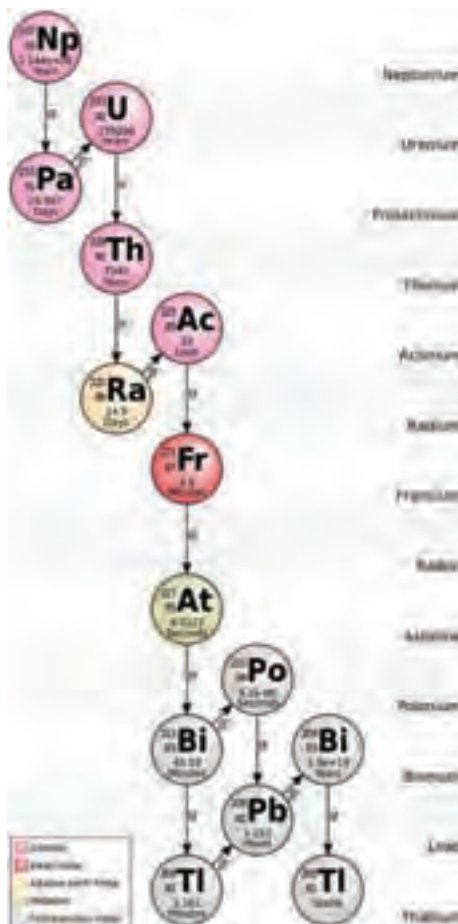
ج) ^{210}Po واپاشی γ انجام دهد.

د) ^{210}Po واپاشی β انجام دهد.



۷. یک راه برای دیدن سری‌های واپاشی پرتوزا، مراجعه به کتاب‌های مرجع هسته‌ای است ولی با مراجعه به اینترنت و با استفاده از کلیه واژه‌های (radioactive decay series) یا (decay chain) است. مراجعه به سایت زیر نیز برخی از سری‌های واپاشی پرتوزا را ارائه می‌دهد. حفظ کردن این سری و ارزشیابی از آن، جزو اهداف این فصل نیست.

www.en.wikipedia.org/wiki/decay-chain



برش‌ها و سته‌های فصل ۶

۱-۳-۱ ساختار هسته

۱. مرتبه‌ی بزرگی تعداد نوترون‌هایی را که می‌توان تک هم در یک توب تیس به شعاع 3.7 cm جای داد، تخمین بزنید. در این صورت مرتبه‌ی بزرگی جرم این توب چقدر است؟ (مرتبه‌ی بزرگی شعاع و جرم نوترون را به ترتیب 10^{-14} m و 10^{-27} kg در نظر بگیرید.)

۲. برای $^{238}_{92}\text{Pu}$ معکوس است:

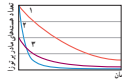
الف) تعداد نوترون‌ها (ب) تعداد پروتون‌ها

۳. برای $^{238}_{92}\text{Pu}$ معکوس است:

الف) تعداد نوترون‌ها (ب) تعداد پروتون‌ها

۴. در هر یک از موارد زیر تعداد X چه شعری را نشان می‌دهد و در هسته هر یک چند نوترون وجود دارد؟ در صورت لزوم از جدول تناوبی استفاده کنید.

۵. آیا می‌توان ایزوتوپ $^{238}_{92}\text{Pu}$ را با روش تئیسایی از ایزوتوپ $^{238}_{92}\text{Pu}$ جدا کرد؟ از ایزوتوپ $^{238}_{92}\text{Pu}$ چگونه باید استخراج خود را توضیح دهد.

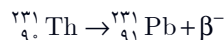
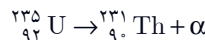


۶. هنگامی که نوترون جز زمین توسط پرتوهای کیهانی (که معمولاً از جنس پروتون، ذره‌های α و الکترون هستند) پدیدار می‌شود، ایزوتوپ پرتوزای کربن $^{14}_6\text{C}$ با آنگ تابش در لامپ‌های فوایدی جو تولید می‌شود. این کربن پرتوزا، با کربن $^{12}_6\text{C}$ که به‌طور طبیعی در جو وجود دارد درهم می‌آمزد. بررسی‌ها نشان داده است که به ازای هر 10000 میلیارد اتم پایدار کربن $^{12}_6\text{C}$ ، تقریباً یک اتم پرتوزای کربن $^{14}_6\text{C}$ از این طریق وارد جو می‌شود. اتمهای کربن جزوی از طریق فعالیت‌های بیولوژیکی از قبیل فوسفر و تنفس، به‌طور کاتوره‌ای مکان خود را عوض می‌کنند و به بدن جانداران منتقل می‌شوند. به‌طوری که اتمهای کربن موجود زنده شامل کسر کوچک و ثابتی از ایزوتوپ پرتوزای کربن $^{14}_6\text{C}$ است.

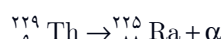
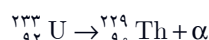
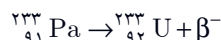
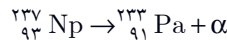
وقتی موجود زنده‌ای می‌میرد، مقدار کربن پرتوزای به تله افتاده در موجود غیرزنده، یا نیمه‌عمر 5730 سال رو به کاهش می‌گذارد. کربن $^{14}_6\text{C}$ موجود در یک نمونه زغال قدیمی 15% درصد (معمولاً $\frac{1}{6}$) مقدار عادی کربن $^{14}_6\text{C}$ موجود در زغال است که تازه تولید شده است.

در شکل‌های بالا، سری‌های واپاشی پرتوزای $^{237}_{93}\text{Np}$ به $^{208}_{81}\text{Ti}$ که هسته دختر پایدار است و همچنین $^{235}_{92}\text{U}$ به هسته دختر پایدار $^{207}_{82}\text{Pb}$ نشان داده شده است.

برای مثال در ادامه تعدادی از فرایندهای مربوط به واپاشی α یا β^- اورانیم $^{235}_{92}\text{U}$ (به هسته دختر پایدار سرب $^{207}_{82}\text{Pb}$) آمده است.

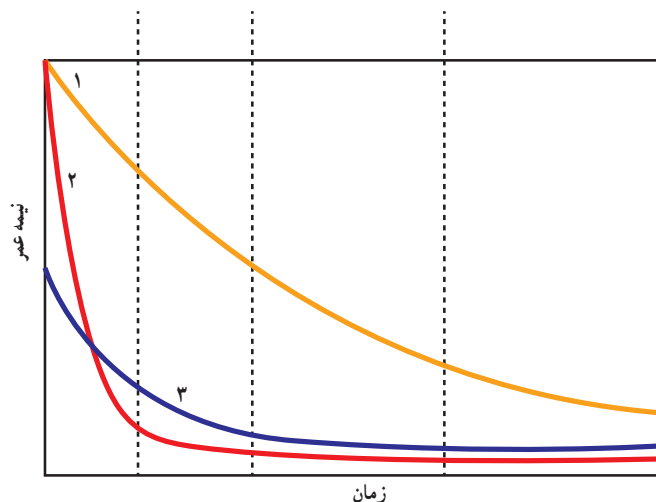


همان‌طور که در تصویر مربوط پاسخ تمرین ۷ دیده می‌شود سری واپاشی پرتوزای نپتونیم $^{237}_{93}\text{Np}$ آمده است.



همان‌طور که دیده می‌شود $^{237}_{93}\text{Np}$ پس از واپاشی‌های α ، β^- ، α به هسته دختر رادیوم $^{225}_{88}\text{Ra}$ تبدیل می‌شود که هنوز پرتوزا است و پس از واپاشی‌های دیگر به هسته دختر پایدار تالیم $^{205}_{81}\text{Tl}$ تبدیل می‌شود.

با توجه به گام‌های زمانی نشان داده شده روی نمودار شکل زیر، مشخص است که نمونه ۱، دارای بیشترین نیمه عمر و نمونه ۲، دارای کمترین نیمه عمر است.



۳۲۹

گرما می‌شود. سن تقریبی این زغال دیمی جعفر است؟
 II نیمه عمر بیست و یک سال دارد. پس از گذشت
 چهار ساعت، چه کسری از ماده اولیه، در نمونه‌ای از این
 بیسوت، باقی می‌ماند؟
 است. در این واکنش عدد اتمی، عدد جرمی، و عنصر X را
 در واکنش تعیین کنید.

۳-۲ شکافت هسته‌ای
 در صورت لزوم از جدول تناوبی کمک بگیرید.

۳-۳ شکافت هسته‌ای
 در واکنش زیر چه تعداد نوترون تولید می‌شود؟

۳-۴ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۵ شکافت هسته‌ای
 با 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.)

۳-۶ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۷ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۸ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۹ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۱۰ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۱۱ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۱۲ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۱۳ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۱۴ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۱۵ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۱۶ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۱۷ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۱۸ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۱۹ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۲۰ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۲۱ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۲۲ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۲۳ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۲۴ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۲۵ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۲۶ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۲۷ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۲۸ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۲۹ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۳۰ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۳۱ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۳۲ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۳۳ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۳۴ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۳۵ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۳۶ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۳۷ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۳۸ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۳۹ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۴۰ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۴۱ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۴۲ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۴۳ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۴۴ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۴۵ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۴۶ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۴۷ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۴۸ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۴۹ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۵۰ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۵۱ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۵۲ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۵۳ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۵۴ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۵۵ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۵۶ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۵۷ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۵۸ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۵۹ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۶۰ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۶۱ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۶۲ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۶۳ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۶۴ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۶۵ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۶۶ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۶۷ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۶۸ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۶۹ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۷۰ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۷۱ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۷۲ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۷۳ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

۳-۷۴ شکافت هسته‌ای
 نوترون‌ها + $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

شدن انرژی گرمایی زیادی عمدتاً به صورت انرژی جنبشی پاره‌های شکافت می‌شود.

پ) آب معمولی (H_2O)، آب سنگین (D_2O) و گرافیت (اتم‌های کربن) از جمله موادی هستند که سبب کاهش انرژی جنبشی نوترون‌ها در واکنش‌های شکافت هسته‌ای می‌شوند و اصطلاحاً نوترون‌های کند به نوترون‌های تند تبدیل می‌شوند.

ت) با وارد کردن میله‌های کنترل به داخل قلب راکتور، آهنگ واکنش‌های شکافت و در نتیجه تعداد نوترون‌های ایجاد شده از این واکنش‌ها را کنترل می‌کنند. میله‌های کنترل معمولاً از جنس کادمیم یا بور (Boron) هستند که مواد مناسبی برای جذب نوترون به حساب می‌آیند.

ث) واکنش زنجیری در راکتورهای شکافت، با جذب نوترون‌های کند توسط هسته‌های اورانیم ۲۳۵ شروع می‌شود. در این فرایند با ایجاد هسته اورانیم ۲۳۶، که به شدت ناپایدار است، پس از 10^{-12} ثانیه به دو پاره شکافت و تعدادی نوترون سریع به وجود می‌آید. پس از کند شدن نوترون سریع و جذب آنها توسط هسته‌های دیگر اورانیم ۲۳۵، این فرایند به طور زنجیری و در کسر کوچکی از زمان، ادامه پیدا می‌کند.

ج) گرمای حاصل از فرایند شکافت، توسط شاره‌ای که معمولاً آب است گرفته می‌شود و به خارج از راکتور انتقال داده می‌شود. جزئیات بیشتر در شکل ۶-۱۳ ب کتاب درسی نشان داده شده است.

چ) پرتوزا: یعنی هسته‌هایی که با گسیل ذرات α ، β یا γ ، واپاشیده می‌شوند.

ایزوتوپ: مجموعه‌ای از هسته‌های یک اتم که Z یکسان و تعداد نوترون متفاوت دارند.

نیمه عمر: مدت زمانی که طول می‌کشد تا نیمی از هسته‌های یک نمونه پرتوزا، واپاشی کنند.

الف) ابتدا جرم یک مول سنگ معدن طبیعی اورانیم را به دست می‌آوریم.

$$M(\text{U}) = \frac{1}{100} (\%7 \times 235 + \%99 \times 238) \approx 238 \text{ kg/mol}$$

به این ترتیب تعداد اتم‌های ۱ kg سنگ معدن طبیعی اورانیم برابر است با

$$N = \left(\frac{1 \text{ kg}}{238 \text{ kg/mol}} \right) \times 6.022 \times 10^{23} = 2.53 \times 10^{24}$$

تعداد اتم‌های اورانیم ۲۳۵ در ۱ mg، سنگ معدن طبیعی برابر است با

$$n = \frac{V}{V_0} \times 2.53 \times 10^{24} = 1.77 \times 10^{22}$$

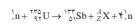
اگر تمامی این اتم‌های اورانیم ۲۳۵ بر اثر فرایند شکافت انرژی خود را آزاد کنند، انرژی آزاد شده برابر است با

$$E = 1.77 \times 10^{22} \times 200 \text{ MeV} = 3.54 \times 10^{24} \text{ MeV}$$

$$= (3.54 \times 10^{24} \text{ eV}) \left(\frac{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} \right) = 5.66 \times 10^{11} \text{ J}$$

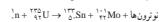
۳۳۱

گرمای آزاد می‌شود. چند کیلوگرم زغال سنگ باید بسوزد تا معادل انرژی به دست آمده در فست‌آلف، انرژی تولید شود؟
۱۶. یکی از واکنش‌های ممکن در شکافت ^{235}U ، داده شده است. در این واکنش عدد اتمی Z ، عدد جرمی A ، عنصر X را در A_ZX تعیین کنید.



در صورت لزوم از جدول تناوبی کمک بگیرید.

۱۷. در واکنش زیر چه تعداد نوترون تولید می‌شود؟



۱۸. بازده نیروگاه هسته‌ای پونسر حدود ۳۵ درصد است. یعنی ۳۵ درصد انرژی حاصل از شکافت ایزوتوپ اورانیوم ^{235}U به صورت گرما تلف و حدود ۳۵ درصد آن به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. با توجه به اینکه در هر شکافت حدود 2.0×10^8 MeV انرژی آزاد می‌شود، چند کیلوگرم اورانیوم ^{235}U در سال شکافت پیدا می‌کند؟ (فرض کنید نیروگاه در طول سال با توان پایدار ۱۰۰۰ مگاوات کار می‌کند.)

۴-۶ شکافت هسته‌ای

۱۹. انرژی آزاد شده در هر واکنش شکافت اورانیوم ^{235}U با یک نوترون کُند حدود 2.0×10^8 MeV و در هر واکنش گداخت دوتریم با ترتیب حدود 3.5×10^8 MeV است.

۲۰. الف) تعداد نوکلئون‌های شرکت‌کننده در هر واکنش شکافت چقدر است؟ انرژی آزاد شده به ازای 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.

۲۱. نتیجه‌های فست (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}U به مقدار بسیار کمی در طبیعت وجود دارد ولی دوتریم به طور 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.

شده است. سن تقریبی این زغال قدیمی چقدر است؟
۲۲. نیمه‌عمر بیسپت ^{212}Po حدود ۴۰ دقیقه است. پس از گذشت چهار ساعت، چه کسری از ماده اولیه، در نمونه‌ای از این بیسپت، باقی می‌ماند؟

۴-۳ شکافت هسته‌ای

۲۳. معادله زیر بخشی از واکنش را نشان می‌دهد که در یک راکتور هسته‌ای روی می‌دهد.



الف) اهمیت عدد‌های ۲۳۵ و ۹۲ را توضیح دهید.

ب) اتم‌های $^{140}_{54}\text{Xe}$ پایدارند و خود به خود به قطعه‌های کوچک‌تر همراه با تعدادی نوترون سریع (بین ۲ تا ۵ عدد) و مقدار زیادی انرژی واپسینده می‌شود. این فرایند چه نام دارد و انرژی آزاد شده در این فرایند چگونه تعیین می‌شود؟

ب) اورانیوم ^{235}U عمدتاً نوترون‌های با انرژی کم را جذب می‌کند تا نوترون‌های سریع را. توضیح دهید چگونه نوترون‌ها را در قلب راکتور گرم می‌کنند.

تا چگونه تولید انرژی را در قلب راکتور کنترل می‌کنند؟

تا واکنش زنجیری را توضیح دهید.

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

د) هنگامی که میله‌های سوخت از مرکز راکتور بیرون کشیده می‌شوند، آنها «پروتوب‌های» یا «پنجه‌عمر» طولانی هستند. واکنش‌های داخل گویه را توضیح دهید.

۲۴. الف) حدود ۷۰ درصد اورانیوم موجود در سنگ معدن طبیعی اورانیوم از ایزوتوپ ^{238}U تشکیل شده است. در هر واکنش شکافت حدود 2.0×10^8 MeV انرژی آزاد می‌شود. فرض کنید تمامی ایزوتوپ ^{238}U موجود در یک کیلوگرم از این اورانیوم بتواند بر اثر شکافت، انرژی خود را آزاد کند. مقدار این انرژی بر حسب مگاالکترون ولت (MeV) و ژول (J) چقدر است؟

ب) با سوختن هر کیلوگرم زغال سنگ، حدود 3.0×10^7 MeV انرژی آزاد می‌شود. سن تقریبی این زغال قدیمی چقدر است؟
۲۵. نیمه‌عمر بیسپت ^{212}Po حدود ۴۰ دقیقه است. پس از گذشت چهار ساعت، چه کسری از ماده اولیه، در نمونه‌ای از این بیسپت، باقی می‌ماند؟

۱۷ الف) فرایند شکافت، با جذب یک نوترون کُند توسط هسته اورانیوم ^{235}U آغاز می‌شود. بنابراین تعداد نوکلئون‌هایی که در این فرایند مشارکت دارند برابر ۲۳۶ عدد است. به این ترتیب انرژی آزاد شده در فرایند شکافت به ازای هر نوکلئون برابر است با

$$E = \frac{2.0 \times 10^8 \text{ MeV}}{236} \approx 8.5 \times 10^7 \text{ MeV}$$

ب) واکنش گداخت یا در هم گداخته شدن دوتریم (شامل ۲ نوکلئون) و ترتیب (شامل ۳ نوکلئون) آغاز می‌شود. به این ترتیب در هر واکنش گداخت ۵ نوکلئون مشارکت دارند. انرژی آزاد شده در فرایند گداخت به ازای هر نوکلئون برابر است با

$$E = \frac{3.5 \times 10^8 \text{ MeV}}{5} = 7.0 \times 10^7 \text{ MeV}$$

پ) همان‌طور که نتایج قسمت‌های الف و ب نشان می‌دهد انرژی آزاد شده به ازای هر نوکلئون در فرایند گداخت، بیش از ۴ برابر انرژی آزاد شده به ازای هر نوکلئون در فرایند شکافت است. این موضوع و فراوانی دوتریم در آب اقیانوس‌ها و دریاها، نشان‌دهنده اهمیت سرمایه‌گذاری روی راکتورهای گداخت است.

