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.)

حجم نوترون $V_N = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3} \times 3.14\left(10^{-15}\right)^3 = 4.19 \times 10^{-45} \simeq 10^{-45} m^3$

حجم توپ تنیس $V_B = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3} \times 3.14(3.2 \times 10^{-2})^3 = 1.37 \times 10^{-4} \simeq 10^{-4} m^3$

تعداد نوترون $\mathrm{n} = \frac{V_B}{V_N} = \frac{10^{-4}}{10^{-45}} = 10^{41}$

مرتبه بزرگی جرم $\mathrm{M} = n \times M_n = 10^{41} \times 10^{-37} = 10^{14}\,\mathrm{kg}$

۴. برای $^{208}_{82}Pb$ مطلوب است :

الف) تعداد نوکلئون‌ها ب) تعداد نوترون‌ها

پ) بار الکتریکی خالص هسته

$$\begin{cases} A = Z + N \\ A = 208 \\ Z = 82 \end{cases} \Rightarrow N = 208 - 82 = 126$$ تعداد نوترون

$$q = ze = 82 \times 1.6 \times 10^{-19} = 131.2 \times 10^{-19} C$$

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) $^{۱۹۵}_{۷۸}X$ ب) $^{۳۲}_{۱۶}X$ پ) $^{۶۱}_{۲۹}X$

$$^{195}_{78}X = {}^{195}_{78}Pt \Rightarrow N = A - Z = 195 - 78 = 117$$

$$^{32}_{16}X = {}^{32}_{16}S \Rightarrow N = A - Z = 32 - 16 = 16$$

$$^{61}_{39}X = {}^{61}_{29}S \Rightarrow N = A - Z = 61 - 29 = 32$$

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.

هسته های $^{61}_{25}X$ و $^{59}_{25}X$ ایزوتوپ های یک عنصر شیمیایی هستند زیرا عدد اتمی *(Z)* یکسانی دارند ولی در تعداد نوترون یا عدد جرمی تفاوت دارند از طرفی عناصری که ایزوتوپ هستند خواص شیمیایی یکسانی دارند و به روش شیمیایی قابل تفکیک نیستند و فقط از روش های فیزیکی با توجه به تفاوت جرم می توان این دو ایزوتوپ را از هم جدا کرد.

از طرفی $^{61}_{25}X$ و $^{61}_{26}Y$ عدد اتمی متفاوتی دارند بنابراین خواص شیمیایی متفاوتی دارند پس با روش های شیمیایی قابل تفکیک هستند.

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.

$$^{۲۱۱}_{۸۲}\mathrm{Pb} \longrightarrow {}^{۲۱۱}_{۸۳}\mathrm{Bi} + \ldots$$

$$^{۱۱}_{۶}\mathrm{C} \longrightarrow {}^{۱۱}_{۳}\mathrm{B} + \ldots$$

$$^{۲۳۱}_{۹۰}\mathrm{Th}^{*} \longrightarrow {}^{۲۳۱}_{۹۰}\mathrm{Th} + \ldots$$

$$^{۱۸}_{۹}\mathrm{F} \longrightarrow {}^{۱۸}_{۸}\mathrm{O} + \ldots$$

$$\begin{cases} {}^{311}_{82}Pb \Longrightarrow {}^{311}_{83}Bi + X \\ 311 = 311 + A \Longrightarrow A = 0 \\ 82 = 83 + Z \Longrightarrow Z = -1 \end{cases} \Longrightarrow x = {}^{0}_{-1}B$$

$$\begin{cases} {}^{11}_{6}C \Longrightarrow {}^{11}_{3}B + X \\ 11 = 11 + A \Longrightarrow A = 0 \\ 6 = 3 + Z \Longrightarrow Z = 3 \end{cases} \Longrightarrow x = 3\,{}^{0}_{-1}B$$

$$\begin{cases} {}^{231}_{90}Th \Longrightarrow {}^{231}_{90}Th + X \\ 231 = 231 + A \Longrightarrow A = 0 \\ 90 = 90 + Z \Longrightarrow Z = 0 \end{cases} \Longrightarrow x = {}^{0}_{0}\gamma$$

$$\begin{cases} {}^{18}_{9}F \Longrightarrow {}^{18}_{8}O + X \\ 18 = 18 + A \Longrightarrow A = 0 \\ 9 = 8 + Z \Longrightarrow Z = 1 \end{cases} \Longrightarrow x = {}^{0}_{+1}B$$

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

الف) $^{۲۴۲}_{۹۴}Pu$ واپاشی α انجام دهد.

ب) سدیم $^{۲۴}_{۱۱}Na$ واپاشی β^- انجام دهد.

پ) نیتروژن $^{۱۳}_{۷}N$ واپاشی β^- انجام دهد.

ت) $^{۱۵}_{۸}O$ واپاشی β^+ انجام دهد.

$$\begin{cases} {}^{342}_{94}\mathbf{Pu} \Longrightarrow {}^{238}_{92}\mathbf{u} + \mathbf{x} \\ \mathbf{342 = 238 + A \Longrightarrow A = 4 \Longrightarrow x = {}^{4}_{2}He} \\ \mathbf{94 = 92 + Z \Longrightarrow Z = 2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} {}^{24}_{11}\mathbf{Na} \Longrightarrow {}^{24}_{12}\mathbf{C} + \mathbf{x} \\ \mathbf{24 = 24 + A \Longrightarrow A = 0 \Longrightarrow x = {}^{0}_{-1}B} \\ \mathbf{11 = 12 + Z \Longrightarrow Z = -1} \end{cases}$$

$$\begin{cases} {}^{13}_{7}\boldsymbol{N} \Longrightarrow {}^{13}_{8}\mathbf{O} + \boldsymbol{x} \\ \mathbf{13 = 13 + A \Longrightarrow A = 0 \Longrightarrow x = {}^{0}_{-1}B} \\ \mathbf{7 = 8 + Z \Longrightarrow Z = -1} \end{cases}$$

$$\begin{cases} {}^{15}_{8}\mathbf{O} \Longrightarrow {}^{15}_{7}\mathbf{N} + \mathbf{x} \\ \mathbf{15 = 15 + A \Longrightarrow A = 0 \Longrightarrow x = {}^{0}_{+1}B} \\ \mathbf{8 = 7 + Z \Longrightarrow Z = 1} \end{cases}$$

۷. سرب $^{۲۰۷}_{۸۲}Pb$ 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.

$$\begin{cases} {}^{A}_{Z}X \Rightarrow {}^{207}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He \\ A = 207 + 4 = 211 \\ Z = 82 + 2 = 84 \end{cases} \Rightarrow {}^{A}_{Z}X = {}^{211}_{84}Po$$

$$\begin{cases} {}^{A}_{Z}X \Rightarrow {}^{207}_{82}Pb + {}^{0}_{-1}B \\ A = 207 + 0 \Rightarrow A = 207 \\ Z = 82 - 1 = 81 \end{cases} \Rightarrow {}^{A}_{Z}X = {}^{207}_{81}Tl$$

۸. نپتونیم $^{۲۳۷}_{۹۳}Np$ 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؟

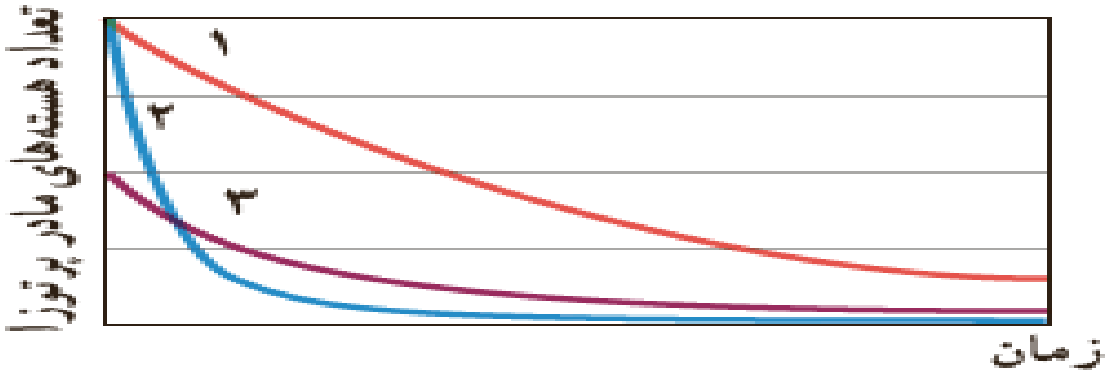
مرحله اول: تابش آلفا و بتای منفی

$$\begin{cases} {}^{237}_{93}NP \Rightarrow {}^{A}_{Z}X + 3\left({}^{4}_{2}He\right) + {}^{0}_{-1}B \\ 237 = A + 3\times 4 + 0 \Rightarrow A = 225 \\ 93 = Z + 3\times 2 - 1 \Rightarrow z = 88 \end{cases} \Rightarrow {}^{A}_{Z}x = {}^{225}_{88}X$$

مرحله دوم: تابش آلفا و بتای مثبت

$$\begin{cases} {}^{237}_{93}NP \Rightarrow {}^{A}_{Z}X + 3\left({}^{4}_{2}He\right) + {}^{0}_{+1}B \\ 237 = A + 3\times 4 + 0 \Rightarrow A = 225 \\ 93 = Z + 3\times 2 + 1 \Rightarrow z = 86 \end{cases} \Rightarrow {}^{A}_{Z}x = {}^{225}_{86}X$$

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.



با توجه به تعریف نیمه عمر و نمودارهای مقابل می توان نتیجه گرفت که:

$$T_2 < T_3 < T_1$$

10) 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؟

$$N = \frac{N_0}{2^n} \Rightarrow \frac{1}{64}N_0 = \frac{N_0}{2^n} \Rightarrow 2^n = 64 = 2^6 \Rightarrow n = 6$$ تعداد نیمه عمرها

$$t = nT \Rightarrow t = 6 \times 5730 = 34380\ years$$

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؟

روش اول
$$\begin{cases} T = 60\,\text{min} \\ t = 4h = 240min \Rightarrow t = nT \Rightarrow 240 = n \times 60 \Rightarrow n = 4 \\ N = ? \end{cases}$$

$$N = \frac{N_0}{2^n} = \frac{N_0}{2^4} = \frac{1}{16}N_0$$

روش دوم
$$N_0 \xrightarrow{1T} \frac{N_0}{2} \xrightarrow{2T} \frac{N_0}{4} \xrightarrow{3T} \frac{N_0}{8} \xrightarrow{4T} \frac{N_0}{16}$$

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

$$^{۲۳۵}_{۹۲}U + ^{۱}_{۰}n \longrightarrow ^{۲۳۶}_{۹۲}U$$

الف) اهمیت عددهای ۲۳۵ و ۹۲ را توضیح دهید.

الف) نیمه عمر اورانیوم طولانی می باشد و پرتوزایی آن به کندی رخ می دهد وقتی نوترون کند به $^{235}_{92}U$ برخورد می کند جذب هسته آن می شود افزایش انرژی باعث حرکت نوسانی هسته (کشیدگی) می گردد هنگام انبساط نیروی دافعه الکتریکی (بین ۹۲ پروتون) برنیروی هسته ای قوی (بین ۲۳۵ نوکلئون) غلبه می کند و شکنندگی توازن نیروها را نشان می دهد.

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

$$^{۲۳۵}_{۹۲}\mathrm{U} + ^{۱}_{۰}\mathrm{n} \longrightarrow ^{۲۳۶}_{۹۲}\mathrm{U}$$

ب) اتم‌های $^{۲۳۶}_{۹۲}\mathrm{U}$ ناپایدارند و خود به‌خود 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؟

ب) طبق واکنش مقابل: $^{235}_{92}\mathrm{U} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \Rightarrow ^{236}_{92}\mathrm{U} \Rightarrow ^{141}_{56}\mathrm{Ba} + ^{92}_{36}\mathrm{Kr} + 3(^{1}_{0}\mathrm{n}) + 200\mathrm{Mev}$

ملاحظه می شود که $^{236}_{92}U$ ناپایدار است و به عناصر کوچکتر تبدیل می شود این فرآیند شکافت هسته ای نام دارد و انرژی آزاد شده بر اساس رابطه $E = \Delta mc^2$ بدست می آید (Δm اختلاف جرم هسته اولیه و جرم نوکلئونهای تولید شده)

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

$$^{۲۳۵}_{۹۲}U + ^{۱}_{۰}n \longrightarrow ^{۲۳۶}_{۹۲}U$$

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.

پ) در قلب راکتورها از مواد کندساز نوترونی مانندآب معمولی (H_2O)، آب سنگین (D_2O) و یا گرافیت (اتم های کربن) استفاده می شود. هسته موادی مانند کربن سبک هستند اگر یک نوترون به آنها برخورد کند انرژی جنبشی قابل ملاحظه ای را به آنها انتقال می دهند و با سرعت و انرژی کمتری باز می گردند.

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

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

ت) چگونه تولید انرژی را در قلب راکتور کنترل می کنند؟

ت) در قلب راکتور برای کنترل انرژی تولید شده ازمیله های کنترل مانند کادمیم یا بور استفاده می شود و این مواد می توانند سرعت فرایند شکافت راکنترل کنند. این مواد با کنترل تعداد نوترون های آزاد شده آهنگ انجام فرایند را کاهش میدهند تا از انفجار یا ذوب شدن راکتور بر اثر آزادشده انرژی جلوگیری کنند.

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

$$^{۲۳۵}_{۹۲}U + ^{۱}_{۰}n \longrightarrow ^{۲۳۶}_{۹۲}U$$

ث) واکنش زنجیری را توضیح دهید.

ث) وقتی یک نوترون کند به $^{235}_{92}U$ برخورد می کند تبدیل به $^{236}_{92}U$ می گردد و از آنجایی که $^{236}_{92}U$ ناپایدار است شکافت می شود و تعدادی نوترون همراه محصولات ایجاد می شود و نوترونهای تولید شده بار الکتریکی ندارند جذب هسته های دیگر می شوند و شکافت های دیگری را بوجود می آورند و این روند را واکنش زنجیره ای گویند.

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

$$^{۲۳۵}_{۹۲}U + ^{۱}_{۰}n \longrightarrow ^{۲۳۶}_{۹۲}U$$

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

ج) از طریق آب با فشار زیاد گرمای تولید شده جذب می شود و آب بدون جوشیدن به دمای بالاتر می رسد و این جریان آب را از راکتور خارج و به سامانه دیگری انتقال می دهند و سپس آنرا گرم می کنند تا بخار تولید شود و این بخار توربین را بکار می اندازد و سبب کار افتادن مولد الکتریسیته می شود.

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

$$^{۲۳۵}_{۹۲}\mathrm{U} + ^{۱}_{۰}\mathrm{n} \longrightarrow ^{۲۳۶}_{۹۲}\mathrm{U}$$

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.

چ) پرتوزای: عناصری که با تابش خودبخودی پرتو از هسته خود، به عناصر دیگری تبدیل شوند پرتوزا گویند.

ایزوتوپ: هسته عناصری که عدد اتمی یکسان ولی عدد جرمی متفاوتی دارند ایزوتوپ گویند.

نیمه عمر: مدت زمانی که طول می کشد تا نیمی از هسته عناصر رادیواکتیو متلاشی شود را نیمه عمر گویند.

۱۳۰. 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؟

الف) $^{235}_{92}U$ مقدار $^{238}_{92}U$ موجود در یک کیلوگرم $m = \%0.7 \times 1 = \frac{7}{1000} kg = 7gr$

$^{235}_{92}U$ تعداد مولهای $n = \frac{M}{M} = \frac{7}{235}$

$^{235}_{92}U$ تعداد اتم های $N = nN_a = \frac{7}{235} \times 6.02 \times 10^{23} \simeq 1.79 \times 10^{22}$

$E = 1.79 \times 10^{22} \times 200 = 358 \times 10^{22} MeV$

$E = 358 \times 10^{22} \times 1.6 \times 10^{-19} = 572.8 \times 10^{3} Mj$

ب) زغال سنگ $m = \frac{573 \times 10^{3}}{30} = 19 \times 10^{3} kg$

۱۴. یکی از واکنش‌های ممکن در شکافت $^{۲۳۵}_{۹۲}U$، داده شده است. در این واکنش عدد اتمی Z، عدد جرمی A و عنصر X را در $^{A}_{Z}X$ تعیین کنید.

$$^{۱}_{۰}n + {}^{۲۳۵}_{۹۲}U \rightarrow {}^{۱۳۳}_{۵۱}Sb + {}^{A}_{Z}X + ۴\,{}^{۱}_{۰}n$$

در صورت لزوم از جدول تناوبی کمک بگیرید.

$$\begin{cases} 1+235 = 132 + A + (4 \times 1) \Rightarrow A = 99 \\ 0+92 = 51 + Z + 4 \times 0 \Rightarrow Z = 41 \end{cases} \Rightarrow {}^{99}_{41}X = {}^{99}_{41}Nb$$

۱۵. در واکنش زیر چه تعداد نوترون تولید می‌شود؟

$$^{۱}_{۰}n + {}^{۲۳۵}_{۹۲}U \rightarrow {}^{۱۳۳}_{۵۰}Sn + {}^{۱۰۱}_{۴۲}Mo + \text{نوترون‌ها}$$

$$\begin{cases} {}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \Longrightarrow {}^{132}_{50}Sn + {}^{101}_{42}MO + x\left({}^{1}_{0}n\right) \\ 1 + 235 = 123 + 101 + x \Longrightarrow x = 2 \end{cases}$$

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.)

$$P_{out} = 1000MW = 10^9 W$$

انرژی آزاد شده در هر واکنش $E_0 = 200MeV = 2 \times 10^8 \times 1.6 \times 10^{-19} j = 3.2 \times 10^{-11} j$

$$Ra = \frac{E_{out}}{E_{in}} \Longrightarrow 0.35 = \frac{P_{out} \times t}{N \times E_0} \Longrightarrow 0.35 = \frac{10^9 \times 1}{N \times 3.2 \times 10^{-11}}$$

$$\Longrightarrow N = 8.92 \times 10^{19}$$

$$n = \frac{N}{Na} = \frac{8.92 \times 10^{19}}{6.02 \times 10^{23}} \simeq 1.48 \times 10^4 mol$$

جرم اورانیوم مصرف شده در یک ثانیه $m = n \times M_u = 1.48 \times 10^{-4} \times 235$

$$= 3.48 \times 10^{-2} gr$$

در یک سال $M_t = m \times t = 3.48 \times 10^{-2} \times (365 \times 24 \times 3600)$

$$= 1.09 \times 10^6 gr \cong 1090kg$$

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}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.

(الف) ${}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \Rightarrow {}_{92}^{236}U$ ، تعداد نوکلئون = ۲۳۶

$E = \frac{202.5MeV}{236} = 0.86MeV$ انرژی آزاد شده

(ب) دوتریم + تریتیم $\Rightarrow$ یک نوترون ، یک پروتون + دو نوترون ، یک پروتون $\Rightarrow$ تعداد نوکلئول = ۵

$E = \frac{17.6MeV}{5} = 3.52MeV$ انرژی آزاد شده

پ) مقایسه انرژی های قسمت الف و ب نشان می دهد که انرژی آزاد شده به ازای هر نوکلئون در واکنش گداخت خیلی بیشتر از واکنش شکافت است با توجه به انرژی آزاد شده در واکنش گداخت و فراوان بودن منابع در این واکنش، سرمایه گذاری برای تولید انرژی از طریق راکتورهای گداخت در دستور کارخیلی از کشورهای پیشرفته قرار گرفته است.