

پاسخ مسائل و پرسش‌های فصل ششم: آشنایی با فیزیک هسته‌ای

۱. کافی است حجم یک توب تنیس را به حجم یک نوترون تقسیم کنیم تا تعداد نوترونی که در داخل توب تنیس جای می‌گیرد را به دست آوریم:

$$n = \frac{V_{\text{توب}}}{V_{\text{نوترون}}} = \frac{\frac{4}{3}\pi R_{\text{توب}}^3}{\frac{4}{3}\pi R_{\text{نوترون}}^3} = \left(\frac{R_{\text{توب}}}{R_{\text{نوترون}}}\right)^3 = \left(\frac{3/2 \times 10^{-2}}{10^{-15}}\right)^3 = 3/2768 \times 10^{40} \approx 10^{40}$$

جرم این توب با 10^{40} نوترون برابر است با: $m = nM_{\text{نوترون}} = 10^{40} \times 10^{-27} = 10^{13} \text{ kg}$ یا 10^{10} میلیارد تن

۲. برای عنصر N , Z تعداد نوترون، Z تعداد پروتون و $A = Z + N$ عدد جرمی (تعداد نوکلئون) است. پس برای Pb_N^A داریم:
 (الف) $N = A - Z = 126$ (ب) $A = 208$ (پ) بار خالص برابر $C^{19} = 131/2 \times 10^{-19}$

$$\begin{array}{lll} {}^{72}_{32}X = {}^{72}_{36}Pt & \Rightarrow & N = A - Z = 72 - 36 = 36 \\ & & {}^{195}_{78}X = {}^{195}_{78}Pt & \Rightarrow & N = A - Z = 195 - 78 = 117 \\ & & {}^{61}_{29}X = {}^{61}_{29}Pm & \Rightarrow & N = A - Z = 61 - 29 = 32 \end{array} \quad .\text{الف}) \quad .\text{پ})$$

۳. ایزوتوپ‌های X^{61}_{25} و Y^{59}_{25} دارای خواص شیمیایی یکسانی هستند، زیرا دارای عدد اتمی یکسان و تعداد الکترون‌های مساوی هستند، بنابراین جدا کردن آنها به روش شیمیایی امکان‌پذیر نیست. اما چون عدد جرمی و عدد نوترونی آنها متفاوت است، می‌توان از روش‌های فیزیکی آنها را جدا کرد. اما عنصر X^{61}_{25} را می‌توان به روش‌های شیمیایی از عنصر Z^{61} جدا کرد، زیرا عدد اتمی و تعداد الکترون‌های آنها با هم متفاوت است.

۴. برای پاسخ به این سؤال باید اعداد A و Z در دو طرف معادله پایسته باشد،

$$\begin{aligned} {}^{211}_{82}Pb &\rightarrow {}^{211}_{83}Bi + \dots \\ \begin{cases} 211 = 211 + A \\ 82 = 83 + Z \end{cases} &\Rightarrow {}_A X = {}_Z \beta^- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}^{11}_{6}C &\rightarrow {}^{11}_{3}B + \dots \\ \begin{cases} 11 = 11 + A \\ 6 = 3 + Z \end{cases} &\Rightarrow {}_A X = {}_Z \beta^- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}^{231}_{90}Th^* &\rightarrow {}^{231}_{90}Th + \dots \\ \begin{cases} 231 = 231 + A \\ 90 = 90 + Z \end{cases} &\Rightarrow {}_A X = \gamma \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} {}^{18}_{9}F &\rightarrow {}^{18}_{8}O + \dots \\ \begin{cases} 18 = 18 + A \\ 9 = 8 + Z \end{cases} &\Rightarrow {}_A X = {}_Z \beta^+ \end{aligned}$$

$${}^{24}_{11}Na \rightarrow {}_A \beta + {}_Z X \Rightarrow {}_Z X = {}^{24}_{11}C \quad .\text{ب})$$

$${}^{24}_{94}Pu \rightarrow {}_A \alpha + {}_Z X \Rightarrow {}_Z X = {}^{24}_{93}Au \quad .\text{الف})$$

$${}^{18}_{8}O \rightarrow {}_A \beta + {}_Z X \Rightarrow {}_Z X = {}^{18}_{8}N \quad .\text{ت})$$

$${}^{15}_{7}N \rightarrow {}_A \beta + {}_Z X \Rightarrow {}_Z X = {}^{15}_{7}O \quad .\text{پ})$$

$${}_Z X \rightarrow {}^{207}_{82}Pb + {}_A \alpha \Rightarrow {}_Z X = {}^{207}_{82}Ti \quad .\text{ب})$$

$${}_Z X \rightarrow {}^{228}_{88}Ra + {}_A \alpha \Rightarrow {}_Z X = {}^{211}_{84}Po \quad .\text{الف})$$

۵. اگر فرض کنیم نپتونیم ${}^{237}_{93}Np$ ، واپاشی ${}^3\alpha$ و یک β منفی انجام دهد. در اینصورت:

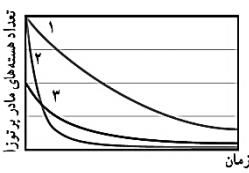
$${}^{237}_{93}Np \rightarrow {}^3({}_A \alpha) + {}_A \beta + {}_Z X \Rightarrow \begin{cases} 237 = 3 \times 4 + 0 + A \\ 93 = 3 \times 2 + -1 + Z \end{cases} \Rightarrow A = 225 \quad \Rightarrow {}_Z X = {}^{225}_{88}Ra$$

اگر ${}^3\alpha$ و یک β مثبت انجام دهد. در اینصورت:

$${}^{237}_{93}Np \rightarrow {}^3({}_A \alpha) + {}_A \beta + {}_Z X \Rightarrow \begin{cases} 237 = 3 \times 4 + 0 + A \\ 93 = 3 \times 2 + 1 + Z \end{cases} \Rightarrow A = 225 \quad \Rightarrow {}_Z X = {}^{225}_{86}Rn$$

۶. با توجه به نمودار واپاشی هسته، مقایسه‌ی نیمه عمرها به صورت زیر است.

$$T_1 > T_2 > T_3$$



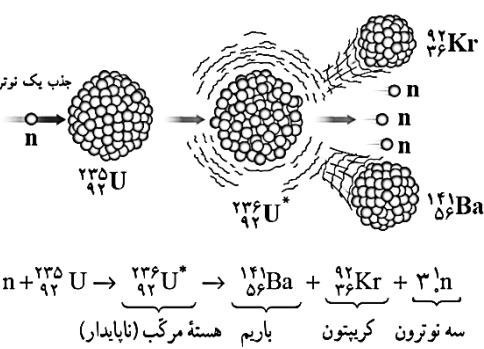
۷. با گذشت هر نیمه عمر نصف ماده رادیو اکتیو تبدیل به عنصر دیگری می‌شود. پس وقتی مقدار کربن ۱۴ به

$$t = \frac{1}{2} \ln 2 \cdot T = 6T = 6 \times 5730 = 34380 \text{ سال}$$

$$N = \frac{N_o}{2^n} \Rightarrow \frac{N_o}{64} = \frac{N_o}{2^n} \Rightarrow 2^n = 64 = 2^6 \Rightarrow n = 6 \Rightarrow t = nT = 6 \times 5730 = 34380 \text{ سال دیگر:}$$

۱۱. نیمه عمر بیسموت ۲۱۲ یک ساعت است. پس با گذشت ۴ ساعت، نیمه عمر گذشته پس:

$$\text{یعنی } \frac{1}{16} \text{ ماده اولیه باقیمانده است.} \quad N = \frac{N_o}{2^n} \Rightarrow N = \frac{N_o}{2^4} = \frac{N_o}{16}$$



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

ب) فرایند شکافت هسته‌ای، در واکنش‌های شکافت هسته‌ای، جرم محصولات شکافت، کمتر از جرم هسته مرکب است. این اختلاف جرم بنا به رابطه $E = mc^2$ ، سبب آزاد شدن انرژی گرمایی زیادی می‌شود. (c) سرعت نور است

پ) در راکتورها معمولاً از آب (H_2O)، آب سنگین (D_2O) و گرافیت (کربن) برای کند سازی نوترون‌های سنگین استفاده می‌شود. نوترون در برخورد با این مواد انرژی ازدست می‌دهد و کند می‌شود.

ت) با وارد کردن میله‌های کنترل، آهنگ واکنش شکافت، یعنی تعداد نوترون‌های موجود برای به وجود آوردن شکافت، تنظیم می‌شود.

ث) واکنش زنجیری: با جذب یک نوترون گند فرایند شکافت آغاز می‌شود. در این فرایند چند نوترون به وجود می‌آید. نوترون‌ها پس از گند شدن، توسط هسته‌های دیگر جذب می‌شوند و باعث شکافت در تعداد بیشتری هسته اورانیم دیگر می‌شوند و واکنش به طور زنجیره‌ای ادامه می‌یابد.

ج) معمولاً شاره‌ای مانند آب تحت فشار را دراثر انرژی آزاد شده در قلب راکتور بدون جوشیدن گرم می‌کنند و انرژی را برای به خارج راکتور انتقال داده با استفاده از آن بخار آب برای چرخاندن توربین بخار ایجاد و الکتریسیته تولید می‌کنند.

چ) پرتوزا: عناصری که با تابش خودبخودی پرتوهایی (alfa(α)، بتا(β) و گاما(γ)) به عنصر دیگری تبدیل می‌شوند. ایزوتوپ: عناصری که عدد اتمی(Z) یکسان ولی عدد جرمی(A) متفاوت دارند ایزوتوپ گویند.

نیمه‌عمر: مدت زمانی که طول می‌کشد تا نیمی از هسته‌ی عناصر رادیواکتیو واپاشی انجام دهد و به هسته عناصر دیگر تبدیل شود.

۱۳. الف) در هر کیلوگرم اورانیوم طبیعی $\frac{1}{7}$ درصد اورانیوم شکافت‌پذیر ۲۳۵ است، یعنی در هر 1000 g اورانیوم طبیعی 140 g اورانیوم ۲۳۵ هست. در 235 g تعداد یک مول اتم اورانیوم هست، پس در 7 g اورانیوم طبیعی با یک تناسب به دست آورده و در 200 MeV ضرب می‌کنیم. انرژی هسته‌ای در یک کیلو گرم اورانیوم:

$$E = \frac{1/7}{100} \times 1000 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{235 \text{ g}} \times \frac{6/0.2 \times 10^{-23}}{1 \text{ mol}} \times 200 \text{ MeV} = 35/86 \times 10^{-23} \text{ MeV}$$

$$E = 35/86 \times 10^{-23} \text{ MeV} \times \frac{10^9}{1 \text{ M}} \times \frac{1/6 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 5/7376 \times 10^{-14} \text{ J}$$

$$E = 5/7376 \times 10^{-14} \text{ J} = 5/7376 \times 10^{-5} \text{ MJ} \times \frac{1 \text{ kg}}{3 \cdot 10^6 \text{ MJ}} = 1/91 \times 10^{-4} \text{ kg} \approx 2 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

بنابراین هر کیلوگرم اورانیوم خالص (بدون غنی‌سازی) می‌تواند معادل ۲۰ تن ذغال سنگ انرژی تولید کند.

$$^{1n} + ^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{133}_{51}\text{Sb} + ^A_Z\text{X} + 4^1n \Rightarrow \begin{cases} 1 + 235 = 133 + A + 4 \times 1 \\ 0 + 92 = 51 + Z + 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A = 99 \\ Z = 41 \end{cases} \Rightarrow ^A_Z\text{X} = ^{99}_{41}\text{Nb}$$

۱۴. تعداد نوترون را X می‌گیریم، پس:

$$^{1n} + ^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{133}_{51}\text{Sb} + ^{101}_{41}\text{Mo} + x^1n \Rightarrow 1 + 235 = 133 + 101 + x \times 1 \Rightarrow x = 2$$

۱۶. هر سال ۳۶۵ روز و هر روز ۲۴ ساعت و هر ساعت ۳۶۰ ثانیه است، پس مقدار انرژی تولیدی نیروگاه بوشهر برابر است با:

$$E_{\text{میله}} = pt = 100 \cdot (MW) \times (365 \times 24 \times 3600 S) = 3 / 1536 \times 10^{19} J$$

این ۳۵ درصد انرژی کل است. انرژی کل را حساب کرده به MeV تبدیل می‌کنیم پس:

$$E_{\text{کل}} = 3 / 1536 \times 10^{19} J \frac{100}{35} = 9 / 0 \times 10^{19} J \frac{1eV}{1 / 6 \times 10^{-19} J} \times \frac{1M}{10^9} = 5 / 625 \times 10^{29} MeV$$

هر مول اورانیوم ۲۳۵ گرم است و 6.02×10^{23} اتم که هر کدام ۲۰۰ MeV انرژی آزاد می‌کند. پس انرژی یک گرم اورانیوم برابر است با:

$$E_{\text{یک گرم}} = \frac{1}{235} \times 6.02 \times 10^{23} \times 200 MeV = 5 / 1234 \times 10^{23} MeV$$

پس جرم مصرفی اورانیوم در یک سال برابر است با:

$$m = \frac{E_{\text{کل}}}{E_{\text{یک گرم}}} = \frac{5 / 625 \times 10^{29} MeV}{5 / 1234 \times 10^{23} MeV} = 1 / 0.98 \times 10^6 g = 1.098 kg$$

۱۷. الف) در شکافت هسته‌ای یک نوترون (n) با اورانیوم ($^{235}_{92}U$) واکنش هسته‌ای شکافت انجام می‌دهد، پس انرژی آزاد شده به ازای هر

$$E_{\text{شکافت}} = \frac{202 / 5 MeV}{236} = 0.858 MeV$$

نوکلئون برابر است با:

$$E_{\text{گداخت}} = \frac{17 / 6 MeV}{5} = 3.52 MeV$$

است با:

ب) در گداخت یک دوتریم (D) با یک تریتیم (D_3) واکنش هسته‌ای گداخت انجام میدهد، پس پس انرژی آزاد شده به ازای هر نوکلئون برابر

ب) با مقایسه قسمتهای الف و ب می‌توان نتیجه گرفت که انرژی آزاد شده به ازای هر نوکلئون در واکنش گداخت از شکافت بیشتر است. بنابراین با توجه به فراوانی دوتریم (D) و تریتیم (D_3) نسبت به اورانیوم و رادیواکتیو نبودن نتیجه واکنش تولید انرژی از روش گداخت مزیت بیشتری به نسبت شکافت هسته‌ای دارد.