

پاسخ مسائل و پرسش‌های فصل ششم: آشنایی با فیزیک هسته‌ای

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

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

جرم این توپ با  $10^{40}$  نوترون برابر است با:  $m = nM_{\text{نوترون}} = 10^{40} \times 10^{-27} = 10^{13} \text{ kg}$  یا ۱۰ میلیارد تن

۲. برای عنصر  ${}^A_Z X_N$ ، تعداد نوترون،  $Z$  تعداد پروتون و  $A=Z+N$  عدد جرمی (تعداد نوکلئون) است. پس برای  ${}^{208}_{82}Pb_N$  داریم:  
الف)  $A=208$  (ب)  $N=A-Z=126$  (پ) بار خالص برابر  $C = 131/2 \times 10^{-19} = 82 \times 1/6 \times 10^{-19} = q = +Ze$  است.

۳. الف)  ${}^{195}_{78}X = {}^{195}_{78}Pt \Rightarrow N = A - Z = 195 - 78 = 117$  (ب)  ${}^{32}_{16}X = {}^{32}_{16}Pt \Rightarrow N = A - Z = 32 - 16 = 16$   
پ)  ${}^{61}_{29}X = {}^{61}_{29}Pm \Rightarrow N = A - Z = 61 - 29 = 32$

۴. ایزوتوپ‌های  ${}^{25}X$  و  ${}^{25}Y$  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  ${}^{25}X$  را می‌توان به روش‌های شیمیایی از عنصر  ${}^{26}Z$  جدا کرد، زیرا عدد اتمی و تعداد الکترون‌های آنها با هم متفاوت است.  
۵. برای پاسخ به این سؤال باید اعداد  $Z$  و  $A$  در دو طرف معادله پایسته باشد.

Pb

$$\begin{cases} 211 = 211 + A \\ 82 = 82 + Z \end{cases} \Rightarrow {}_{-1}X = {}_{-1}\beta^{-}$$

$$\begin{cases} 11 = 11 + A \\ 6 = 3 + Z \end{cases} \Rightarrow {}_{-3}X = {}_{-3}\beta^{-}$$

$$\begin{cases} 231 = 231 + A \\ 90 = 90 + Z \end{cases} \Rightarrow {}_0X = \gamma$$

$$\begin{cases} 18 = 18 + A \\ 9 = 8 + Z \end{cases} \Rightarrow {}_1X = {}_1\beta^{+}$$

$${}^{24}_{11}Na \rightarrow {}_{-1}\beta + {}_Z^AX \Rightarrow {}_Z^AX = {}^{24}_{12}C \text{ (ب)}$$

$${}^{242}_{94}Pu \rightarrow {}_2\alpha + {}_Z^AX \Rightarrow {}_Z^AX = {}^{238}_{92}Au \text{ (الف)}$$

$${}^{15}_8O \rightarrow {}_1\beta + {}_Z^AX \Rightarrow {}_Z^AX = {}^{15}_7N \text{ (ت)}$$

$${}^{12}_7N \rightarrow {}_{-1}\beta + {}_Z^AX \Rightarrow {}_Z^AX = {}^{12}_8O \text{ (پ)}$$

$${}_Z^AX \rightarrow {}^{207}_{82}Pb + {}_{-1}\alpha \Rightarrow {}_Z^AX = {}^{207}_{81}Ti \text{ (ب)}$$

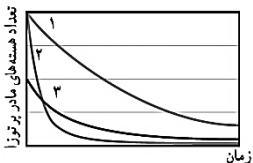
$${}_Z^AX \rightarrow {}^{207}_{82}Pb + {}_2\alpha \Rightarrow {}_Z^AX = {}^{211}_{84}Po \text{ (الف)}$$

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

$${}^{237}_{93}Np \rightarrow 3({}_2\alpha) + {}_{-1}\beta + {}_Z^AX \Rightarrow \begin{cases} 237 = 3 \times 4 + 0 + A \Rightarrow A = 225 \\ 93 = 3 \times 2 + -1 + Z \Rightarrow Z = 88 \end{cases} \Rightarrow {}_Z^AX = {}^{225}_{88}Ra$$

اگر  $3\alpha$  و یک  $\beta$  مثبت انجام دهد. در اینصورت:

$${}^{237}_{93}Np \rightarrow 3({}_2\alpha) + {}_1\beta + {}_Z^AX \Rightarrow \begin{cases} 237 = 3 \times 4 + 0 + A \Rightarrow A = 225 \\ 93 = 3 \times 2 + 1 + Z \Rightarrow Z = 86 \end{cases} \Rightarrow {}_Z^AX = {}^{225}_{86}Rn$$



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

$$T_1 > T_2 > T_3$$

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

$$t = 6T = 6 \times 5730 = 34380 \text{ سال} \text{ پس سن تقریبی ذغال برابر است با: } \frac{1}{64} = \frac{1}{2^6}$$

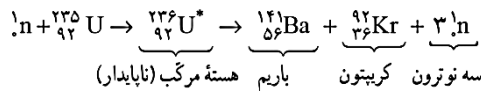
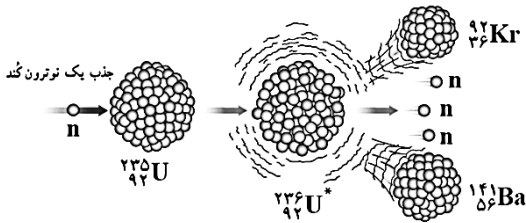
$$N = \frac{N_0}{2^n} \Rightarrow \frac{N_0}{64} = \frac{N_0}{2^n} \Rightarrow 2^n = 64 = 2^6 \Rightarrow n = 6 \Rightarrow t = nT = 6 \times 5730 = 34380 \text{ سال}$$

روش دیگر:

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

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

یعنی  $\frac{1}{16}$  ماده‌ی اولیه باقی مانده است.



۱۲. الف) وقتی نوترونی با هسته اورانیوم ۲۳۵ برخورد کند و جذب شود، هسته اورانیوم 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 وامی‌باشد که حامل انرژی (به طور عمده 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 ( $\text{H}_2\text{O}$ )، آب سنگین ( $\text{D}_2\text{O}$ ) و گرافیت (کربن) برای کند سازی نوترون‌های سنگین استفاده می‌شود. نوترون در برخورد با این مواد انرژی از دست 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 کند فرایند شکافت آغاز می‌شود. در این فرایند چند نوترون به وجود می‌آید. نوترون‌ها پس از کند شدن، توسط هسته‌های دیگر جذب می‌شوند و باعث شکافت در تعداد بیشتری هسته اورانیوم دیگر می‌شوند و واکنش به طور زنجیره‌ای ادامه می‌یابد.

ج) معمولاً شاره‌ای مانند آب تحت فشار را در اثر 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 پرتوهای (آلفا  $(\alpha)$ ، بتا  $(\beta)$  و گاما  $(\gamma)$ ) به عناصر دیگری تبدیل می‌شوند.

ایزوتوپ: عناصری که عدد اتمی (Z) یکسان ولی عدد جرمی (A) متفاوت دارند ایزوتوپ گویند.

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

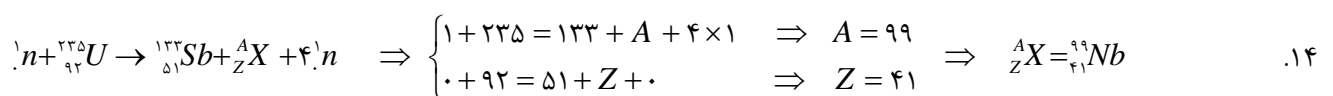
۱۳. الف) در هر کیلوگرم اورانیوم طبیعی ۰/۷ درصد اورانیوم شکافت پذیر ۲۳۵ است، یعنی در هر ۱۰۰۰ گرم اورانیوم طبیعی ۷ گرم ایزوتوپ اورانیوم ۲۳۵ هست. در ۲۳۵ گرم تعداد یک مول اتم اورانیوم هست، پس در ۷ گرم اورانیوم طبیعی با یک تناسب به دست آورده و در  $200 \text{ MeV}$  ضرب می‌کنیم. انرژی هسته‌ای در یک کیلوگرم اورانیوم:

$$E = \frac{0.7}{100} \times 1000 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{235 \text{ g}} \times \frac{6.02 \times 10^{23}}{1 \text{ mol}} \times 200 \text{ MeV} = 35/86 \times 10^{23} \text{ MeV}$$

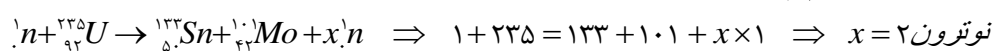
$$E = 35/86 \times 10^{23} \text{ MeV} \times \frac{1.6}{1 \text{ M}} \times \frac{1/6 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 5/7376 \times 10^{14} \text{ J}$$

$$E = 5/7376 \times 10^{14} \text{ J} = 5/7376 \times 10^5 \text{ MJ} \times \frac{1 \text{ kg}}{30 \text{ MJ}} = 1/91 \times 10^4 \text{ kg} \approx 2 \times 10^4 \text{ kg}$$

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



۱۵. تعداد نوترون را X میگیریم، پس:



۱۶. هر سال ۳۶۵ روز و هر روز ۲۴ ساعت و هر ساعت ۳۶۰۰ ثانیه است، پس مقدار انرژی تولیدی نیروگاه بوشهر برابر است با:

$$E_{\text{مفید}} = pt = 1000(MW) \times (365 \times 24 \times 3600 S) = 3/1536 \times 10^{11} MJ = 3/1536 \times 10^{19} J$$

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

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

هر مول اورانیوم ۲۳۵، ۲۳۵ گرم است و  $6/02 \times 10^{23}$  اتم که هر کدام ۲۰۰ MeV انرژی آزاد می‌کند. پس انرژی یک گرم اورانیوم برابر است با:

$$E_{\text{یکگرم}} = \frac{1}{235} \times 6/02 \times 10^{23} \times 200 MeV = 5/1234 \times 10^{23} MeV$$

پس جرم مصرفی اورانیوم در یک سال برابر است با:

$$m = \frac{E_{\text{کل}}}{E_{\text{یکگرم}}} = \frac{5/625 \times 10^{29} MeV}{5/1234 \times 10^{23} MeV} = 1/098 \times 10^6 g = 1098 kg$$

۱۷. الف) در شکافت هسته‌ای یک نوترون ( ${}^1_0n$ ) با اورانیوم ۲۳۵ ( ${}^{235}_{92}U$ ) واکنش هسته‌ای شکافت انجام می‌دهد، پس انرژی آزاد شده به ازای هر

$$E_{\text{شکافت}} = \frac{202/5 MeV}{236} = 0/858 MeV \quad \text{نوکلئون برابر است با:}$$

ب) در گداخت یک دوتریم ( ${}^2_1D$ ) با یک تریتم ( ${}^3_1D$ ) واکنش هسته‌ای گداخت انجام می‌دهد، پس پس انرژی آزاد شده به ازای هر نوکلئون برابر

$$E_{\text{گداخت}} = \frac{17/6 MeV}{5} = 3/52 MeV \quad \text{است با:}$$

پ) با مقایسه‌ی 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 ( ${}^2_1D$ ) و تریتم ( ${}^3_1D$ ) نسبت به اورانیوم و رادیواکتیو نبودن نتیجه‌ی واکنش تولید انرژی از روش گداخت مزیت بیشتری به نسبت شکافت هسته‌ای دارد.