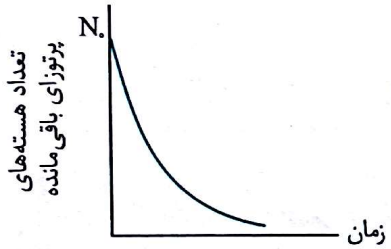
واپاشی پرتوزا و نیمه عمر

محاسبهٔ جرم یا تعداد هسته‌های باقی‌مانده و واپاشیده شده



با گذشت زمان، ایزوتوپ‌های پرتوزا واپاشیده می‌شوند. فرض کنید در لحظهٔ $t = 0$ مقدار هسته‌های مادر پرتوزا برابر N_0 باشد. نمودار تعداد هسته‌های باقی‌مانده بر حسب زمان مطابق شکل است، یعنی با گذشت زمان تعداد هسته‌های مادر پرتوزا به صفر میل می‌کند.

نیمه عمر: مدت زمانی را که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر به نصف برسند، نیمه عمر می‌گویند. نیمه عمر را با نماد $T_{\frac{1}{2}}$ نمایش می‌دهند.

بنابراین اگر تعداد هسته‌های اولیه N_0 باشد، تعداد هسته‌های باقی‌مانده مطابق جدول زیر می‌باشند:

زمان	0	$T_{\frac{1}{2}}$	$2T_{\frac{1}{2}}$	$3T_{\frac{1}{2}}$	...
تعداد هسته‌های باقی‌مانده	N_0	$\frac{N_0}{2}$	$\frac{N_0}{4}$	$\frac{N_0}{8}$	...

رابطهٔ نیمه عمر: طبق توضیحات قبل تعداد هسته‌های باقی‌مانده (N) پس از گذشت تعداد n نیمه عمر به‌صورت زیر قابل محاسبه است:

$$N = N_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

اگر مدت زمان t سپری شده باشد، n از رابطهٔ مقابل به‌دست می‌آید:

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

نکته

به جای N_0 می‌توان جرم اولیه را به‌صورت m_0 و به جای N می‌توان جرم باقی‌مانده را به‌صورت m قرار دهیم:

$$m = m_0\left(\frac{1}{2}\right)^n$$

مثال

نیمه عمر عنصری ۲۰ دقیقه است. پس از گذشت چه مدتی $\frac{1}{16}$ هسته‌ها فعال باقی می‌مانند؟

پاسخ: ابتدا تعداد نیمه عمر سپری‌شده را به‌دست می‌آوریم:

$$N = N_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow \frac{1}{16}N_0 = N_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow \frac{1}{16} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow n = 4$$

حالا رابطهٔ زمان کل را با نیمه عمر می‌نویسیم:

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow 4 = \frac{t}{20} \Rightarrow t = 80\,min$$

مثال

نیمه عمر عنصری ۴ ساعت است. پس از گذشت چند ساعت ۸۷/۵ درصد هسته‌ها واپاشیده می‌شوند؟

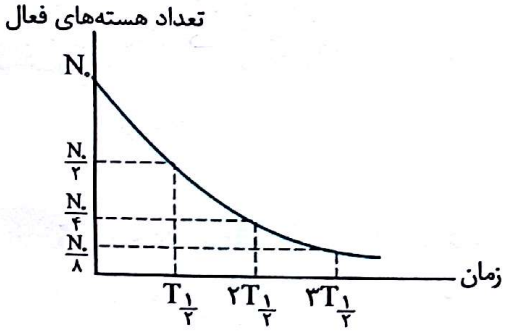
پاسخ: اگر ۸۷/۵ درصد هسته‌ها واپاشیده شوند، ۱۲/۵ درصد هسته‌ها فعال باقی می‌مانند.

$$N = N_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow \frac{12/5}{100}N_0 = N_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow \frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow n = 3$$

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow 3 = \frac{t}{4} \Rightarrow t = 12 \text{ ساعت}$$

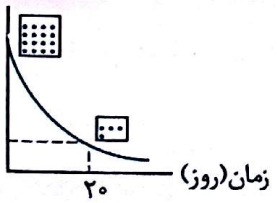
نمودار جرم یا تعداد هسته‌های مادر پرتوزا بر حسب زمان

اگر نمودار تعداد هسته‌های مادر پرتوزا را بر حسب زمان رسم کنیم، مطابق شکل مقابل خواهد شد.



مثال

نمودار هسته‌های فعال بر حسب زمان برای عنصری به‌صورت طرح‌واره، مطابق شکل مقابل است. نیمه عمر این عنصر چند روز است؟



پاسخ: طبق نمودار پس از گذشت ۲۰ روز، $\frac{1}{4}$ هسته‌های اولیه فعال باقی مانده‌اند.

$$N = N_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow \frac{N_0}{4} = N_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow \frac{1}{4} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \Rightarrow n = 2$$

یعنی ۲۰ روز معادل ۲ نیمه عمر است. بنابراین هر نیمه عمر ۱۰ روز است.

تعریف نیمه عمر $T_{\frac{1}{2}}$ مدت زمانی است که طی آن نیمی از هسته‌های پرتوزا واپاشیده می‌شوند.

نیمه‌عمر هسته‌های پرتوزای مختلف، متفاوت است و به نوع هسته بستگی دارد.

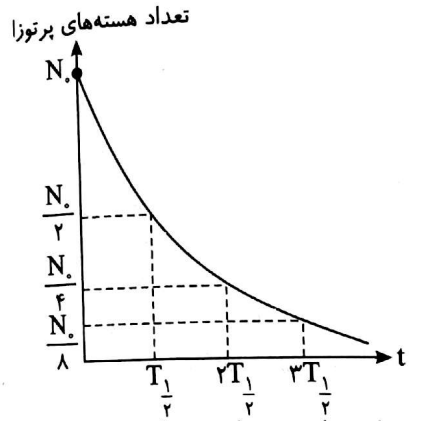
$$N = N_{\circ}\left(\frac{1}{2}\right)^{n \rightarrow}$$

N: تعداد هسته‌های پرتوزای باقیمانده

$N_{\circ}$: تعداد هسته‌های پرتوزای اولیه

$n \rightarrow$: تعداد نیمه عمرها

$$n = \frac{t \rightarrow \text{زمان واپاشی}}{T_{\frac{1}{2}} \rightarrow \text{نیمه عمر}}$$



نمودار تعداد هسته‌های پرتوزا بر حسب زمان

تست ۳ اگر جرم یک عنصر رادیواکتیو پس از ۷۰ روز به $\frac{1}{32}$ جرم اولیه‌اش برسد، نیمه‌عمر آن چند روز است؟ آزاد پزشکی - ۹۰

۱) ۱۴ ۲) ۱۲ ۳) ۱۶ ۴) ۱۰

پاسخ ابتدا تعداد نیمه‌عمرها را به دست می‌آوریم.

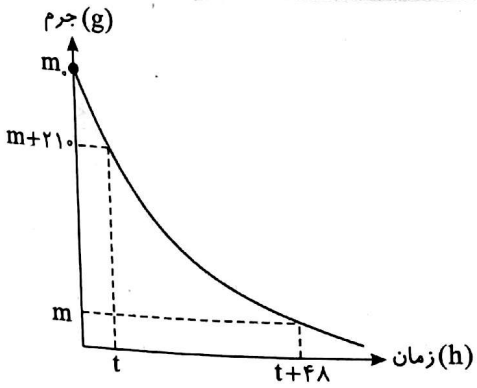
$$m = \frac{m_{\circ}}{2^n} \xrightarrow{m=\frac{1}{32}m_{\circ}} \frac{1}{32}m_{\circ} = \frac{m_{\circ}}{2^n} \Rightarrow 2^n = 32 \Rightarrow n = 5$$

حال نیمه‌عمر را حساب می‌کنیم:

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow T_{\frac{1}{2}} = \frac{70}{5} = 14 \text{ روز}$$

بنابراین گزینهٔ (۱) درست است.

تست ۴ نیمه عمر یک عنصر پرتوزا ۱۲ ساعت است و نمودار $W-t$ برای آن مطابق شکل می‌باشد. m چند گرم است؟



۱) ۱۴
۲) ۲۸
۳) ۵۵
۴) ۷

پاسخ در بازه t تا $t+48$ یعنی در مدت $48h$ که معادل $\frac{48}{12} = 4$ نیمه‌عمر است، جرم ماده پرتوزا از مقدار $m+210$ به m رسیده است از این‌رو:

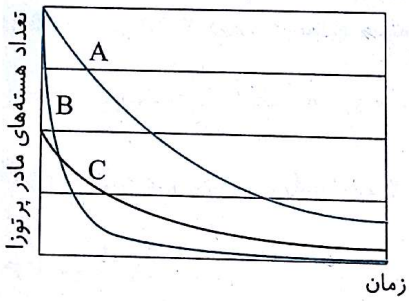
$$m+210 \xrightarrow{12h} \frac{m+210}{2} \xrightarrow{12h} \frac{m+210}{4} \xrightarrow{12h} \frac{m+210}{8} \xrightarrow{12h} \frac{m+210}{16}$$

که مقدار آخری برابر m است.

$$\frac{m+210}{16} = m \Rightarrow 16m = m+210 \Rightarrow 15m = 210 \Rightarrow m = 14g$$

بنابراین گزینهٔ (۱) درست است.

تست ۵ **شـکل مقابل نمودار تغییرات تعداد هسته‌های مادر پرتوزای سـه نمونه را برحسب زمان نشان می‌دهد. ترتیب نیمه‌عمر این سه نمونه کدام گزینه زیر است؟ (T نیمه‌عمر است.)**



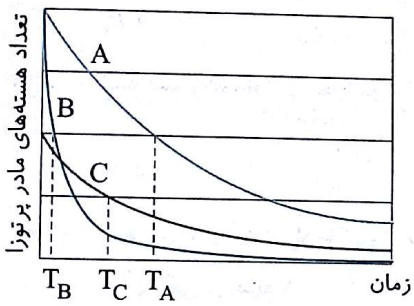
۱) $T_A < T_B < T_C$

۲) $T_B < T_C < T_A$

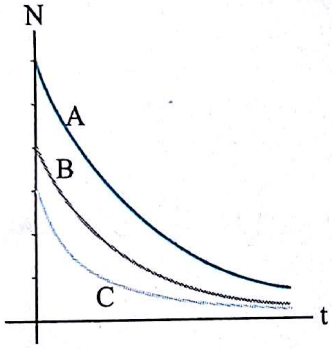
۳) $T_B < T_A < T_C$

۴) $T_C < T_B < T_A$

پاسخ در نیمه‌عمر، تعداد هسته‌های مادر پرتوزای عنصر نصف می‌شود که با توجه به خط‌های نمودار، نیمه‌عمر سه هسته به‌صورت شکل روبه‌رو می‌باشد. بنابراین $T_B < T_C < T_A$ است.



بنابراین گزینهٔ (۲) درست است.

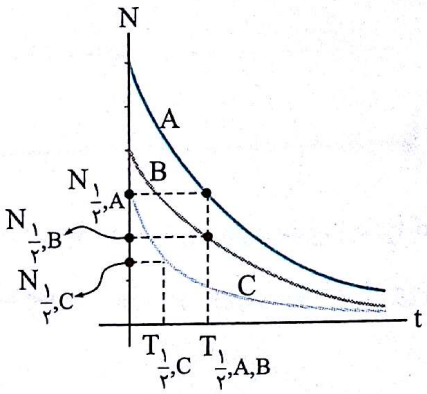


مثال **نمودار تعداد هسته‌های فعال برحسب زمان برای سه هستهٔ پرتوزا مطابق شکل است. نیمه‌عمر این سه ماده را با هم مقایسه کنید.**

پاسخ باید بررسی کنیم که تعداد هسته‌های هرکدام از این سه ماده در چه مدت به نصف مقدار اولیه رسیده است. برای این کار از نصف تعداد هسته‌های اولیه هر کدام خطی موازی محور زمان رسم می‌کنیم تا نمودار را در یک نقطه قطع کند. زمان متناظر با هر کدام از این نقاط، نیمه‌عمر آن ماده را نشان می‌دهد.

با این توضیح و با توجه به نمودار داریم:

$$T_{\frac{1}{2},c} < T_{\frac{1}{2},A} = T_{\frac{1}{2},B}$$



مثال و پاسخ

مثال **نیمه‌عمر یک عنصر پرتوزا ۵ روز است. در مدت ۲۰ روز چه کسری از هسته‌های اولیهٔ آن باقی می‌ماند؟**

پاسخ **روش اول** می‌دانیم ۲۰ روز برابر با ۴ نیمه‌عمر (۴ تا ۵ روز) این مادهٔ پرتوزا است؛ بنابراین:

تعداد نیمه‌عمر	۱	۲	۳	۴
هستهٔ باقی‌مانده	$\frac{۱}{۲}N_۰$	$\frac{۱}{۲}\times\frac{۱}{۲}N_۰=\frac{۱}{۴}N_۰$	$\frac{۱}{۲}\times\frac{۱}{۴}N_۰=\frac{۱}{۸}N_۰$	$\frac{۱}{۲}\times\frac{۱}{۸}N_۰=\frac{۱}{۱۶}N_۰$

یعنی پس از ۴ نیمه‌عمر یا ۲۰ روز، $\frac{۱}{۱۶}$ هسته‌های اولیه هم‌چنان فعال و پرتوزا باقی می‌مانند.

روش دوم استفاده از رابطهٔ $N=\frac{N_۰}{۲^n}$ است. ابتدا تعداد نیمه‌عمرهای گذشته را حساب می‌کنیم:

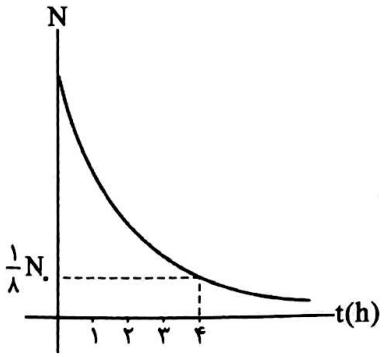
$$n=\frac{t}{T_{\frac{۱}{۲}}}=\frac{۲۰}{۵}=۴$$

حالا می‌توانیم مقدار هسته‌های باقی‌مانده را حساب کنیم:

$$N=\frac{N_۰}{۲^۴}=\frac{N_۰}{۱۶}=\frac{۱}{۱۶}N_۰ \Rightarrow N=\frac{۱}{۱۶}N_۰$$

مثال و پاسخ

مثال **نمودار روبه‌رو تعداد هسته‌های فعال باقی‌مانده برحسب زمان را برای بیسموت ۲۱۲ ($Bi^{۲۱۲}$) نشان می‌دهد. نیمه‌عمر بیسموت چند ساعت است؟** *(نهایی ریاضی ـ خرداد ۹۲)*



پاسخ با توجه به نمودار، پس از ۴ ساعت، یک‌هشتم هسته‌های اولیه هنوز فعال هستند؛ یعنی در $t=۴\,h$، $N=\frac{۱}{۸}N_۰$ است:

$$N=\frac{N_۰}{۲^n} \Rightarrow \frac{۱}{۸}N_۰=\frac{N_۰}{۲^n} \Rightarrow ۲^n=۸ \Rightarrow n=۳$$

می‌دانیم $n=\frac{t}{T_{\frac{۱}{۲}}}$ است؛ پس:

$$n=\frac{t}{T_{\frac{۱}{۲}}} \Rightarrow ۳=\frac{۴}{T_{\frac{۱}{۲}}} \Rightarrow T_{\frac{۱}{۲}}=\frac{۴}{۳}\,h$$

همان‌طور که در خلاصه نکات قبل مشاهده کردید، برخی از مواد رادیواکتیو پرتوزایی کرده و با گذشت زمان جرمشان کاهش می‌یابد. در فیزیک مدت زمانی که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه، به نصف برسد را **نیمه‌عمر** گویند و آن را با $T_{\frac{1}{2}}$ نمایش می‌دهند.

نکات مهم و کاربردی

۱) جرم باقی‌مانده از مادهٔ پرتوزا پس از n نیمه‌عمر برابر است با:

$$m = \frac{m_0}{2^n} \quad \text{یا} \quad m = m_0\left(\frac{1}{2}\right)^n$$

m: جرم باقی‌مانده، m_0: جرم اولیه، n: تعداد نیمه‌عمر

در رابطهٔ فوق برای محاسبهٔ n داریم:

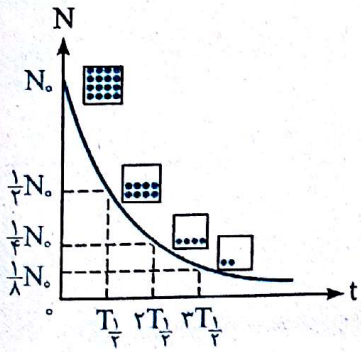
$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \Leftarrow \begin{cases} t: \text{مدت زمان پرتوزایی} \\ T_{\frac{1}{2}}: \text{نیمه‌عمر} \end{cases}$$

۲ هر چه نیمه‌عمر یک مادهٔ پرتوزا کم‌تر باشد، میزان تشعشع آن بیشتر است. به بیان دیگر، مادهٔ با نیمه‌عمر کم‌تر در مدت زمان کم‌تری نصف می‌شود، زیرا بیشتر تشعشع می‌کند.

۳ اگر تعداد اولیهٔ هسته‌های مادهٔ پرتوزا N_0 باشد، پس از گذشت زمان t، تعداد هسته‌های باقی‌مانده برابر است با:

$$N=\frac{N_0}{2^n}\ ,\ n=\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}:\text{تعداد نیمه عمر}$$

۴ مطابق نمودار زیر، با گذشت هر نیمه‌عمر، نیمی از هسته‌های مادهٔ پرتوزای اولیه واپاشی می‌کنند.



حالا بریم با حل چندتا تمرین، روی بحث یه نگاه عمقی‌تر داشته باشیم ...

تمرین۱ **پس از گذشت سه نیمه‌عمر، از یک مادهٔ پرتوزا با جرم m_0، چه جرمی از این مادهٔ پرتوزا واپاشیده می‌شود؟**

پاسخ برای پاسخ به این تمرین از دو روش زیر استفاده می‌کنیم:

۱ روش فرمول:

$$\text{جرم باقی‌مانده}: m=\frac{m_0}{2^n}\xrightarrow[n=3]{\text{گذشت سه نیمه‌عمر}} m=\frac{m_0}{2^3}=\frac{m_0}{8}$$

$\frac{1}{8}m_0$ از مادهٔ اولیه باقی مانده و $\frac{7}{8}m_0$ از آن واپاشی شده است.

۲ روش مفهومی: با توجه به این‌که بعد از گذشت هر نیمه‌عمر جرم مادهٔ باقی‌مانده نصف می‌شود، بعد از گذشت سه نیمه‌عمر می‌توان نوشت:

$$m_0\xrightarrow{\text{نیمه‌عمر اول}}\frac{m_0}{2}\xrightarrow{\text{نیمه‌عمر دوم}}\frac{m_0}{4}\xrightarrow{\text{نیمه‌عمر سوم}}\frac{m_0}{8}$$

$$\text{جرم باقی‌مانده}=\frac{1}{8}m_0\ \text{و جرم واپاشی شده}=m_0-\frac{1}{8}m_0=\frac{7}{8}m_0$$

تمرین۲ **نیمه‌عمر یک مادهٔ پرتوزا ۶۰۰۰ سال است. تقریباً چند درصد از یک نمونهٔ این ماده پس از ۵ نیمه‌عمر واپاشیده می‌شود؟**

۱) ۳ ۲) ۶ ۳) ۹۴ ۴) ۹۷ (تجربی داخل ۹۱)

پاسخ مقدار مادهٔ باقی‌مانده از یک مادهٔ پرتوزا پس از n نیمه‌عمر، از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\text{مقدار مادهٔ باقی‌مانده}: m=\frac{m_0}{2^n}\xrightarrow{n=5} m=\frac{1}{2^5}m_0=\frac{1}{32}m_0$$

$$\text{روش دیگر}: m_0\xrightarrow{1}\frac{1}{2}m_0\xrightarrow{2}\frac{1}{4}m_0\xrightarrow{3}\frac{1}{8}m_0\xrightarrow{4}\frac{1}{16}m_0\xrightarrow{5}\frac{1}{32}m_0$$

در این صورت درصد جرم مادهٔ واپاشیده شده برابر است با:

$$\text{جرم واپاشیده شده}=\text{جرم اولیه}-\text{جرم باقی‌مانده}=m_0-\frac{1}{32}m_0=\frac{31}{32}m_0\simeq 0/97m_0\Rightarrow$$

تقریباً ٪۹۷ مادهٔ اولیه واپاشیده شده است.

بنابراین گزینهٔ (۴) صحیح است.

نکتهٔ مهم: جدول زیر را نگاه کنید و سعی کنید روند آن را به خاطر بسپارید. با تسلط بر این جدول، درصد بالایی از سؤالاتی که در کنکور می‌آید به سرعت قابل پاسخ دادن می‌باشد.

تعداد نیمه‌عمر	۰	$t_1=1T$	$t_2=2T$	$t_3=3T$	$t_4=4T$	$t_5=5T$
جرم باقی‌مانده	m_0	$\frac{1}{2}m_0$	$\frac{1}{4}m_0$	$\frac{1}{8}m_0$	$\frac{1}{16}m_0$	$\frac{1}{32}m_0$
درصد جرم باقی‌مانده	٪۱۰۰	٪۵۰	٪۲۵	٪۱۲/۵	٪۶/۲۵	$\simeq$ ٪۳
جرم واپاشی‌شده	۰	$\frac{1}{2}m_0$	$\frac{3}{4}m_0$	$\frac{7}{8}m_0$	$\frac{15}{16}m_0$	$\frac{31}{32}m_0$
درصد جرم واپاشی‌شده	۰	٪۵۰	٪۷۵	٪۸۷/۵	٪۹۳/۷۵	$\simeq$ ٪۹۷

به‌طور مثال اگر از شما بپرسند که چه مدت زمانی طول می‌کشد تا ۷۵ درصد از جرم مادهٔ اولیه متلاشی شود، این گونه پاسخ می‌دهید:

۷۵ درصد متلاشی شده $\Leftarrow$ ۲۵درصد (= ۷۵ − ۱۰۰) از ماده باقی مانده $\Leftarrow$ ۲۵درصد یعنی $\frac{۱}{۴}$ برابر $\Leftarrow$ یعنی اول $\frac{۱}{۲}$ برابر شده و سپس $\frac{۱}{۴}$ برابر $\Leftarrow$ ۲ نیمه‌عمر را طی کرده‌ایم.

تمرین ۳ از ۱۲گرم از یک نوع مادهٔ رادیواکتیو، پس از ۱۸ روز، ۱/۵ گرم مادهٔ تجزیه نشده باقی مانده است. نیمه‌عمر این ماده چند روز است؟

۱) ۹ ۲) ۶ ۳) ۴ ۴) ۳ (ریاضی داخل ۸۱)

پاسخ **روش فرمول:**

$T = ?$: نیمه‌عمر $\Rightarrow$ $t = ۱۸$ روز ، $m = ۱/۵gr$: جرم باقی‌مانده ، $m_۰ = ۱۲gr$: جرم اولیه

نیمه‌عمر این ماده برابر است با:

$$\text{جرم باقی‌مانده}: m = \frac{m_۰}{۲^{(\frac{t}{T})}} \Rightarrow ۱/۵ = \frac{۱۲}{۲^{(\frac{۱۸}{T})}} \Rightarrow ۲^{(\frac{۱۸}{T})} = \frac{۱۲}{۱/۵} = ۸ = ۲^۳ \Rightarrow \frac{۱۸}{T} = ۳ \Rightarrow \text{نیمه‌عمر}: T = ۶ \text{ روز}$$

روش مفهومی: باتوجه به این‌که با گذشت هر نیمه‌عمر مقدار مادهٔ باقی‌مانده نصف می‌شود، داریم:

$$۱۲gr \xrightarrow{T} ۶gr \xrightarrow{T} ۳gr \xrightarrow{T} ۱/۵gr$$

بنابراین برای تبدیل $۱۲gr$ به $۱/۵gr$ باید سه نیمه‌عمر سپری شود، پس می‌توان نوشت:

$۳T = ۱۸$ روز $\Rightarrow$ نیمه‌عمر : $T = ۶$ روز

بنابراین گزینهٔ (۲) صحیح است.

چندنکته اول نکته‌های زیر را بخوانید:

۱ گفتیم یک مادهٔ پرتوزا بدون دخالت عوامل خارجی و به طور خودبه‌خودی دچار تغییر می‌شود. به زبانی دیگر میزان پرتوزایی یک مادهٔ پرتوزا به شرایط محیطی وابسته نیست. یعنی عامل‌هایی مثل تغییر در میدان‌های الکتریکی یا مغناطیسی، تغییر دما و تغییر فشار و ... اثری بر میزان پرتوزایی ندارند.

۲ میزان پرتوزایی یک مادهٔ پرتوزا فقط به دو عامل مهم زیر وابسته است:

الف) تعداد هسته‌های فعال موجود (N)

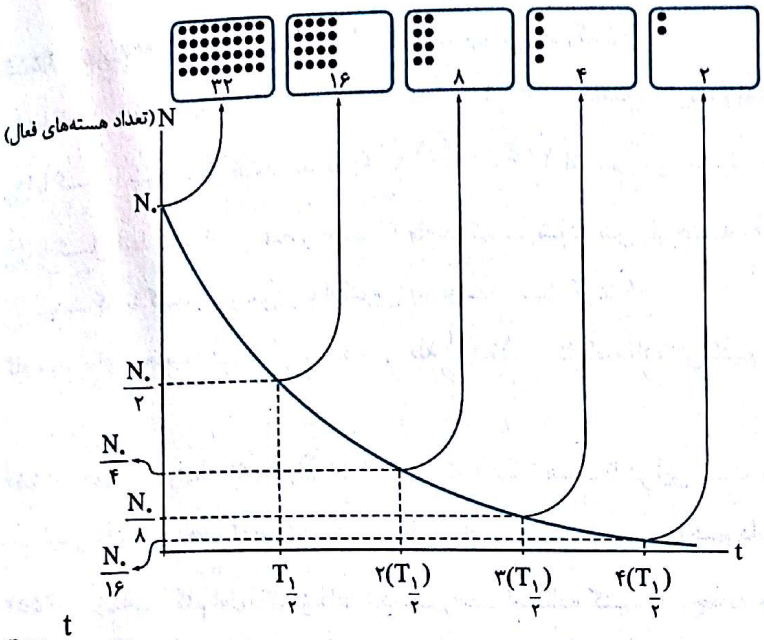
ب) نوع و ساختمان هستهٔ پرتوزا

۳ با توجه به نکته‌های بالا می‌توانیم بگوییم که در بازهٔ زمانی معین، درصد مشخصی از یک مادهٔ پرتوزای خاص (مستقل از این‌که در چه شرایط محیطی قرار دارد) واپاشیده می‌شود.

ما از این ویژگی استفاده می‌کنیم و یک کمیت به نام نیمه‌عمر می‌سازیم:

تعریف نیمه‌عمر: «**نیمه‌عمر مدت زمانی است که نیمی از هسته‌های مادر در یک مادهٔ پرتوزا، به دختر تبدیل شوند** یا به زبانی دیگر **نیمه‌عمر مدت زمانی است که تعداد هسته‌های مادر یک مادهٔ پرتوزا نصف شود.**»

نیمه‌عمر $^{212}_{84}Po$، $0/30\ \mu s$ و $^{209}_{84}Po$، ۱۰۲ سال و نیمه‌عمر $^{128}_{52}Te$ حدود 8×10^{24} سال است. در شکل روبه‌رو نمودار تعداد هستهٔ فعال (N) یک مادهٔ پرتوزا را برحسب زمان مشاهده می‌کنید. این نمودار نشان می‌دهد که در هر بازهٔ زمانی یک نیمه‌عمر (هر $T_{\frac{1}{2}}$) نیمی از هسته‌های مادهٔ پرتوزا فعال باقی می‌مانند و نیمی دیگر واپاشیده می‌شوند.



اگر اندکی دقت کرده باشید، حتماً متوجه شده‌اید که در این‌جا با یک تصاعد هندسی با قدرنسبت $\frac{1}{2}$ روبه‌رو هستیم. بنابراین اگر m_0 و N_0 به ترتیب جرم و تعداد هسته‌های پرتوزای نخستین و m و N به ترتیب جرم و تعداد هسته‌های پرتوزای باقی‌مانده پس از گذشت زمان t باشند، داریم:

$$\frac{N_0}{N}=\frac{m_0}{m}=2^n$$

در این رابطه n برابر تعداد نیمه‌عمرهای سپری‌شده است:

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

تست در فاجعهٔ دردناک چرنوبیل، یکی از ایزوتوپ‌هایی که در محیط‌زیست پراکنده شده، ^{131}I بود. نیمه‌عمر این ایزوتوپ ۸ روز است. پس از گذشت ۳۲ روز از حادثه چند درصد از هسته‌های ^{131}I فعال باقی مانده بود؟ *(برگرفته از کتاب درسی)*

۱) ۷۵ ۲) ۶/۲۵ ۳) ۲۵ ۴) ۹۳/۷۵

پاسخ گزینهٔ ۲ طراح نسبت $\frac{N}{N_0}$ را خواسته است، پس داریم:

$$\frac{N_0}{N}=2^n=2^{\frac{32}{8}}\Rightarrow\frac{N}{N_0}=\frac{1}{16}\Rightarrow \text{درصد هسته‌های فعال باقی‌مانده}=\%6/25$$

تست در جریان یک حفاری باستان‌شناسی، یک اجاق پخت و پز کشف شد. اگر کربن ۱۴ موجود در زغال، $\frac{1}{64}$ مقدار عادی کربن ۱۴ باشد، سن تقریبی اجاق چند سال است؟ (نیمه‌عمر کربن ۱۴، ۵۷۳۰ سال است.)

۱) ۱۷۰۰۰ ۲) ۳۴۰۰۰ ۳) ۶۸۰۰۰ ۴) ۸۰۰۰

پاسخ گزینهٔ ۲ طراح نسبت $\frac{N}{N_0}$ را داده است و t را می‌خواهد:

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

$$n=\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}\Rightarrow 6=\frac{t}{5730}\Rightarrow t=34380\ \text{سال}\Rightarrow t\simeq 34000\ \text{سال}$$

علی خان محمدی

دبیر و مدرس فیزیک

تقویتی ـ کنکور

خصوصی ـ نیمه خصوصی

قبولی تضمینی امتحان نهایی

۰۹۱۲۷۴۲۱۱۲۷