آشنایی با فیزیک هسته‌ای

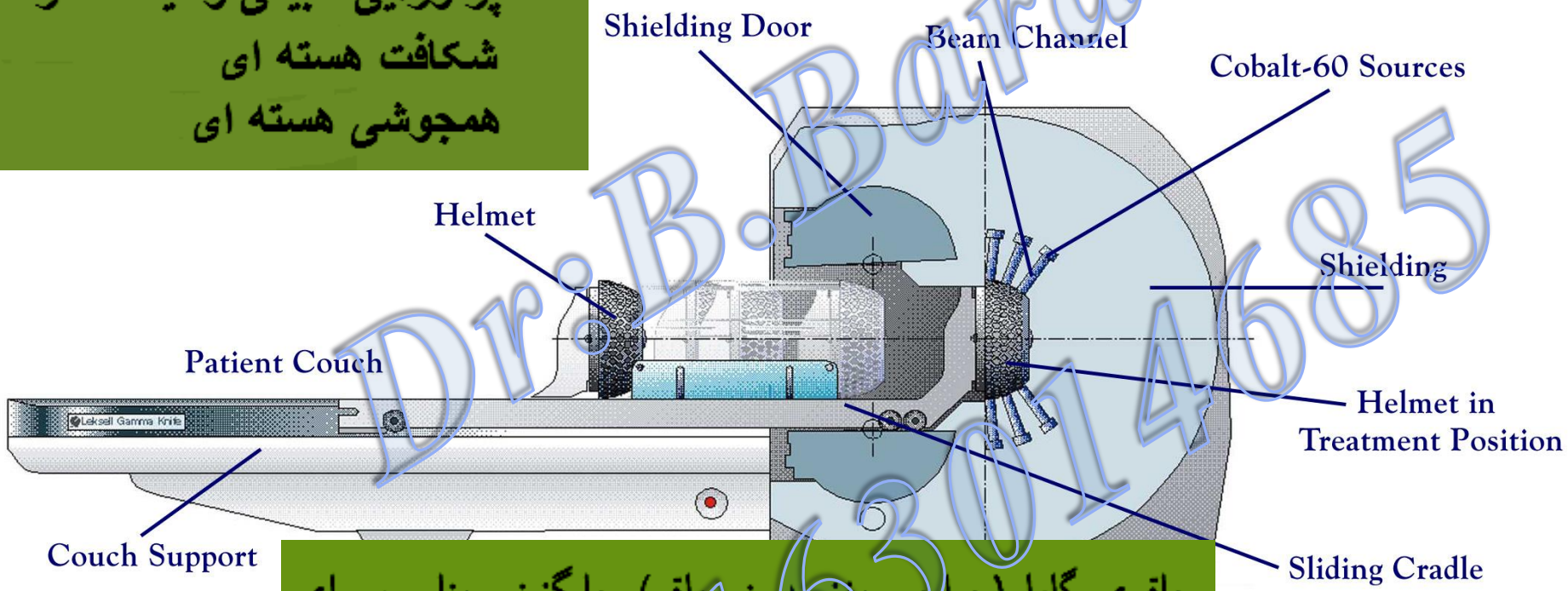
بخش های مورد مطالعه در این فصل

بررسی ساختار هسته

پرتوزایی طبیعی و نیمه عمر

شکافت هسته ای

همجوشی هسته ای



چاقوی گاما (جراحی مغز بدون چاقو) جایگزینی مناسب برای جراحی‌های سنتی و یا روش‌هایی است که در آن کل مغز در معرض تابش قرار می‌گیرد. از این روش در علم روانپزشکی نیز برای درمان وسواس، افسردگی اساسی و اختلالات شدید اضطرابی استفاده می‌شود. این کار چگونه انجام می‌شود؟

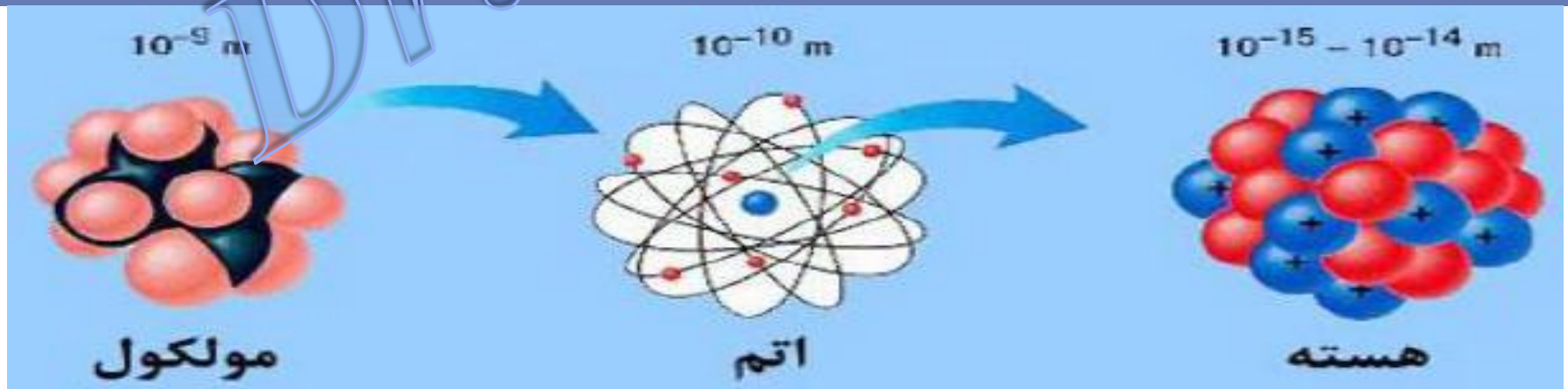
Dr.B.Barati
09163014685

فیزیک هسته‌ای، شاخه‌ای از فیزیک است که در آن با ساختار، برهم‌کنش‌ها و واپاشیِ هسته‌های اتمی سروکار داریم. بخش عمده‌ای از پیشرفت فیزیک هسته‌ای، مدیون تحلیل نتایج آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌هایی است که طی قرن گذشته توسط دانشمندانی از حوزه‌های فیزیک و شیمی انجام شده است.

ساختار هسته:

ابعاد اتم در حدود $10^{-10}\,m$ (آنگستروم A^0) و ابعاد هسته در حدود $10^{-15}\,m$ است.

هسته ی اتم بسیار چگال (در حدود $10^{14}\,\frac{g}{cm^3}$) و از مجموعه نوکلئون ها (پروتون و نوترون) تشکیل شده است.



Dr:B.Barati

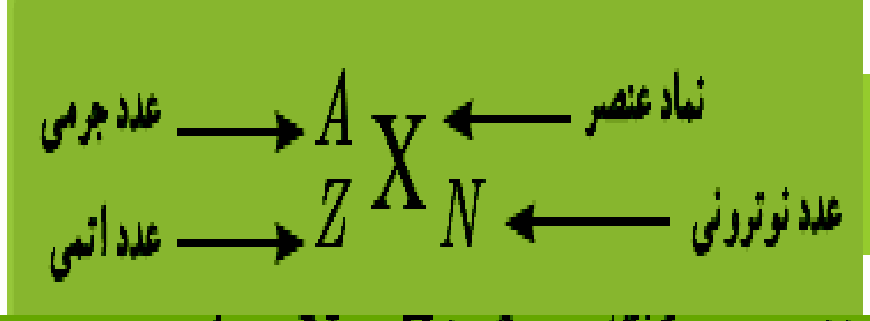
مقایسه ذرات تشکیل دهنده اتم

نوترونها بارالکتریکی ندارد، و جرمش اندکی بیشتر از پروتون است (جدول زیر). جرم اتم‌ها و همچنین اجزای تشکیل‌دهندهٔ اتم، یا الکترون بر یکای کیلوگرم یا یکای جرم اتمی نیز بیان می‌کنند.

ذره	بار الکتریکی (C)	جرم	
		کیلوگرم (kg)	یکای جرم اتمی (u)*
الکترون	$-1/6 \times 10^{-19}$	$9/10938188 \times 10^{-31}$	$5/4858 \times 10^{-4}$
پروتون	$+1/6 \times 10^{-19}$	$1/6726220 \times 10^{-27}$	$1/007276$
نوترون	۰	$1/6749286 \times 10^{-27}$	$1/008664$

Dr.B.Barati

نماد شیمیایی یک عنصر



به مجموع پروتون ها و نوترون ها عدد جرمی گفته می شود $A = N + Z$

بار هر پروتون $+e$ است و بار کل هسته $+ze$ است.

ایزوتوپ: هسته هایی را که دارای عدد اتمی یکسان (تعداد پروتون مساوی) ولی عدد نوترونی و در نتیجه عدد جرمی متفاوت دارند را ایزوتوپ گویند.

نکته ۱: ایزوتوپ ها دارای خواص شیمیایی یکسان و خواص هسته ای کاملاً متفاوت اند.

نکته ۲: ایزوتوپ های مختلف یک هسته را با نام همان هسته مشخص می کنند به جز هیدروژن.

Dr:B.Barati

ایزوتوپ‌های مختلف چند عنصر و درصد فراوانی آنها در طبیعت

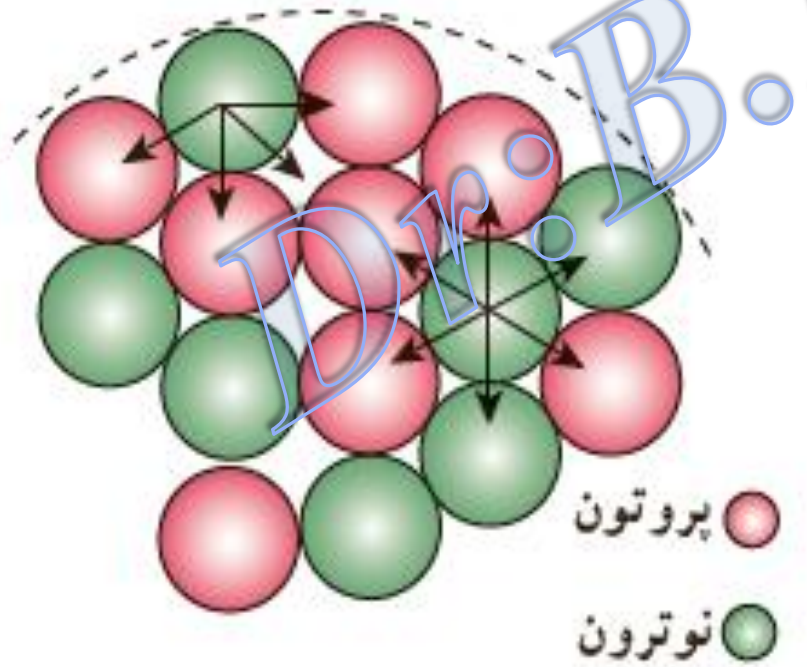
نام عنصر	نماد	Z	N	درصد فراوانی در طبیعت	نام عنصر	نماد	Z	N	درصد فراوانی در طبیعت
هیدروزن ۱	H	۱	۰	۹۹/۹۸۸۵	کربن ۱۳	^{13}C	۶	۷	۱/۰۷
دوتریم (هیدروزن ۲، ^{2}H)	D	۱	۱	۰/۰۱۱۵	کربن ۱۴	^{14}C	۶	۸	یافت نمی‌شود
تریتیم (هیدروزن ۳، ^{3}H)	T	۱	۲	بسیار نادر	اورانیم ۲۳۵	^{235}U	۹۲	۱۴۳	۰/۷۱۶
کربن ۱۲	^{12}C	۶	۶	۹۸/۹۳	اورانیم ۲۳۸	^{238}U	۹۲	۱۴۶	۹۹/۲۸۴

نکته:ایزوتوپ های یک عنصر را نمی توان با روش های شیمیایی از یکدیگر جدا کرد بلکه با روش های فیزیکی (اختلاف جرم) می توان آن ها را از هم تفکیک کرد.

Dr.B.Barati

نیروهای هسته ای

در داخل هسته نیروی دافعه کولنی بین پروتون ها و نیروی جاذبه گرانشی بین نوکلئون ها وجود دارد.از آنجایی که نیروی جاذبه گرانشی بسیار ضعیف تر از نیروی دافعه الکتریکی است بنابراین نیروی سومی باید وجود داشته باشد که نوکلئون ها را در کنار یکدیگر نگه دارد. و به آن نیروی هسته ای می گوییم و دارای این ویژگی است:



Dr.B.Barati

الف) از آنجایی که نیروی هسته ای ربایشی بسیار قوی تر از نیروی رانشی الکتریکی و نیروی گرانشی است به آن نیروی قوی می گویند.

ب) بر خلاف نیروی الکتریکی که بلندبرد است (هر پروتون به تمام پروتون های موجود در هسته نیروی رانشی وارد می سازد) نیروی هسته ای کوتاه برد است بطوری که هر نوکلئون فقط به نوکلئون های مجاور خود نیروی هسته ای وارد می کند و اگر این برد از حدی بیشتر شود با سرعت بسیار زیادی به صفر می رسد.

ج:نیروی هسته ای بین دو نوکلئون ازنوع بار مستقل است یعنی بین دو پروتون،دو نوترون و یک پروتون و یک نوترون اندازه ی نیرویکی است.

مقایسه: | نیروی هسته‌ای ← قوی و کوتاه برد
نیروی دافعه الکتریکی ← ضعیف و بلند برد

Dr:B.Barati

عناصر طبیعی،سبک ترین عنصر موجود در طبیعت $\left({}_{1}^{1}H\right)$ و سنگین ترین عنصر موجود در طبیعت اورانیم ۲۳۸ $\left({}_{92}^{238}U\right)$ می باشد پس عدد اتمی عناصر موجود در طبیعت $1 \leq Z \leq 92$ ، عدد نوترونی عناصر موجود در طبیعت $0 \leq N \leq 146$ و عدد جرمی عناصرموجود در طبیعت $1 \leq A \leq 238$ می باشد

پایداری هسته ها:با افزایش عدد اتمی و زیاد شدن تعداد پروتونها،نیروی رانشی کولنی اهمیت بیشتری پیدا کرده و باعث ناپایداری هسته می گردد اگر هسته بخواهد پایدار بماند باید تعداد نوترون های درون هسته افزایش یابد

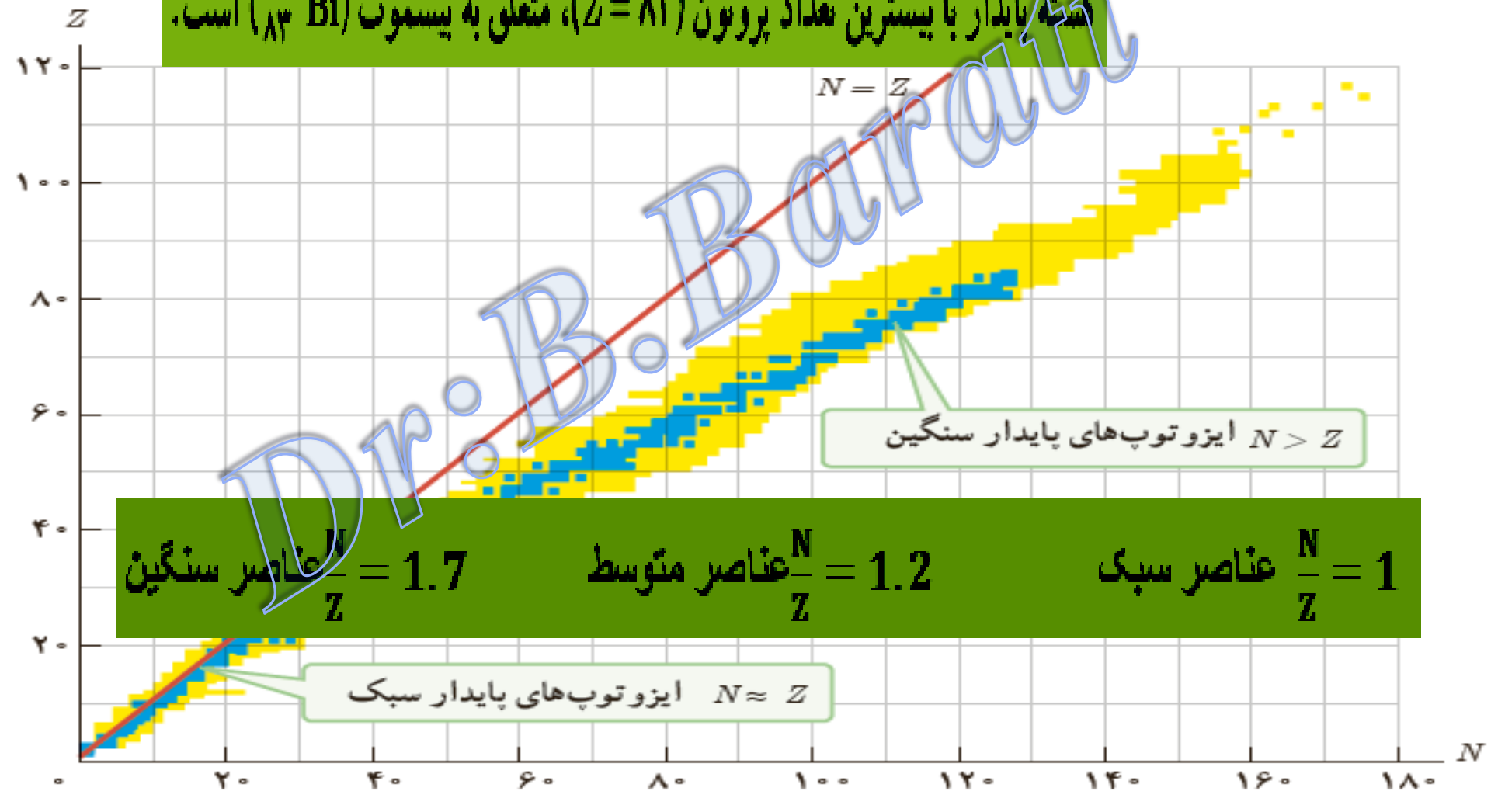
نکته: ایزوتوپ های ناپایدار با گذشت زمان واپاشیده شده و سرانجام به ایزوتوپ های پایدار تبدیل می شوند.

Dr:B.Barati

نسبت $\left(\frac{N}{Z}\right)$ درعناصر مختلف:

در عناصر سبک تعداد پروتون ها و نوترون ها تقریباً برابر است مثلا $^{12}_{6}C$، اما با زیاد شدن عدد اتمی و افزایش تعداد پروتون ها و ناپدار شدن هسته، تعداد نوترون ها نسبت به پروتون ها افزایش می یابد چرا که افزایش نوترون بدون آنکه به نیروی رانشی کولنی اضافه شود نیروی ربایشی هسته ای را اضافه می کند

هسته پایدار با بیشترین تعداد پروتون ($Z=83$)، متعلق به بیسموت ($^{209}_{83}Bi$) است.



عناصر سبک $\frac{N}{Z}=1$ عناصر متوسط $\frac{N}{Z}=1.2$ عناصر سنگین $\frac{N}{Z}=1.7$

Dr.B.Barati

توجه

عناصر با عدد اتمی بزرگتر از Z=83 را ناپایدارمی نامند و به تدریج این عناصر از کره زمین ناپدید می شوند. در بین عناصر با عدد اتمی بالاتر از 83 تنها توریم(Z=90) و اورانیم (Z=92) ، به علت کند بودن پرتوزایی آنها، در طبیعت یافت شده و به عناصر سبک تر تبدیل می شوند.

پرسش: هر نقطه آبی رنگ در نمودار شکل 2.7 نشان دهندهٔ یک هستهٔ پایدار است. با توجه به این نمودار به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

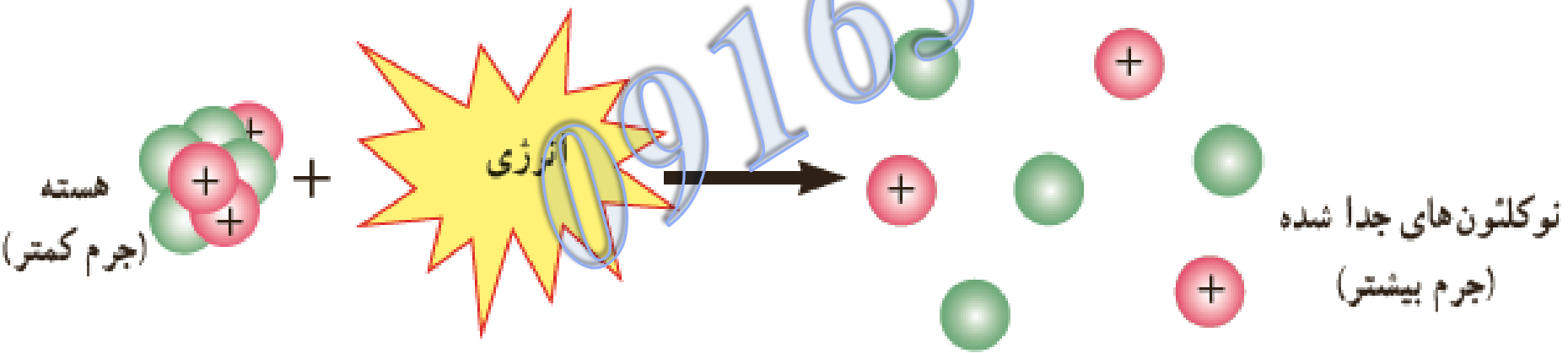
الف) نسبت تعداد نوترون به تعداد پروتون (N/Z) برای هسته‌های پایدار مختلف ثابت است یا متفاوت؟ توضیح دهید.

ب) ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر را چگونه می‌توان با استفاده از این نمودار تشخیص داد؟

Dr.B Borati

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(زیر)

توضیحات بیشتر: 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 کاستی جرم هسته گفته می‌شود، مطابق رابطهٔ معروف اینشتین ($E = mc^2$)، در مربع تندی نور (c^2) ضرب کنیم انرژی بستگی هسته‌ای به‌دست می‌آید . توجه کنید که هرچند اختلاف جرم هسته با مجموع جرم نوکلئون‌های تشکیل‌دهندهٔ آن بسیار ناچیز است، چون در c^2 که عدد بسیار بزرگی است ضرب می‌شود، این کاستی جرم اندک، معادل انرژی قابل ملاحظه‌ای است



Dr:B.Barati
09163014685

مثال: در یک واکنش هسته ای، ۲mgr جرم تبدیل به انرژیِ شده است. انرژی حاصل، معادل با چندکیلووات ساعت است.

$$c = 3 \times 10^{8} \frac{m}{s}$$

الف) $2/5 \times 10^{4}$ ب) $2/5 \times 10^{9}$ ج) 5×10^{4} د) 5×10^{9}

$$E = mc^2 \rightarrow E = 2 \times 10^{-6} (3 \times 10^{8} \times 3 \times 10^{8}) = 18 \times 10^{+10} j$$

$$1kwh = 3.6 \times 10^{6} J \qquad E = 18 \times 10^{10} j \frac{1kwh}{3.6 \times 10^{6} j} = 5 \times 10^{4} kwh$$

Dr.B.Barati

مقایسه انرژی ترازهای هسته ای و ترازهای الکترونی

1) انرژی نوکلئون‌های وابسته به هسته نیز مانند انرژی الکترون‌های وابسته به اتم، کوانتیده‌اند و نوکلئون‌های درون هسته نمی‌توانند هر انرژی دلخواهی را اختیار کنند.

2) همانطوری که الکترون‌های اتم می‌توانند با جذب انرژی از تراز پایه به تراز برانگیخته بروند، نوکلئون‌ها نیز می‌توانند با جذب انرژی به ترازهای بالاتر بروند و در نتیجه هسته برانگیخته شود. هسته برانگیخته با گسیل فوتون به تراز پایه بر می گردد.

3): نکتهٔ قابل توجه آن است که اختلاف بین ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته از مرتبهٔ keV تا مرتبهٔ MeV است، در حالی که اختلاف بین ترازهای انرژی الکترون‌ها در اتم از مرتبهٔ eV است. از این رو، هسته‌ها در واکنش های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

Dr.B.Barati

پرتوزایی مواد رادیواکتیو:

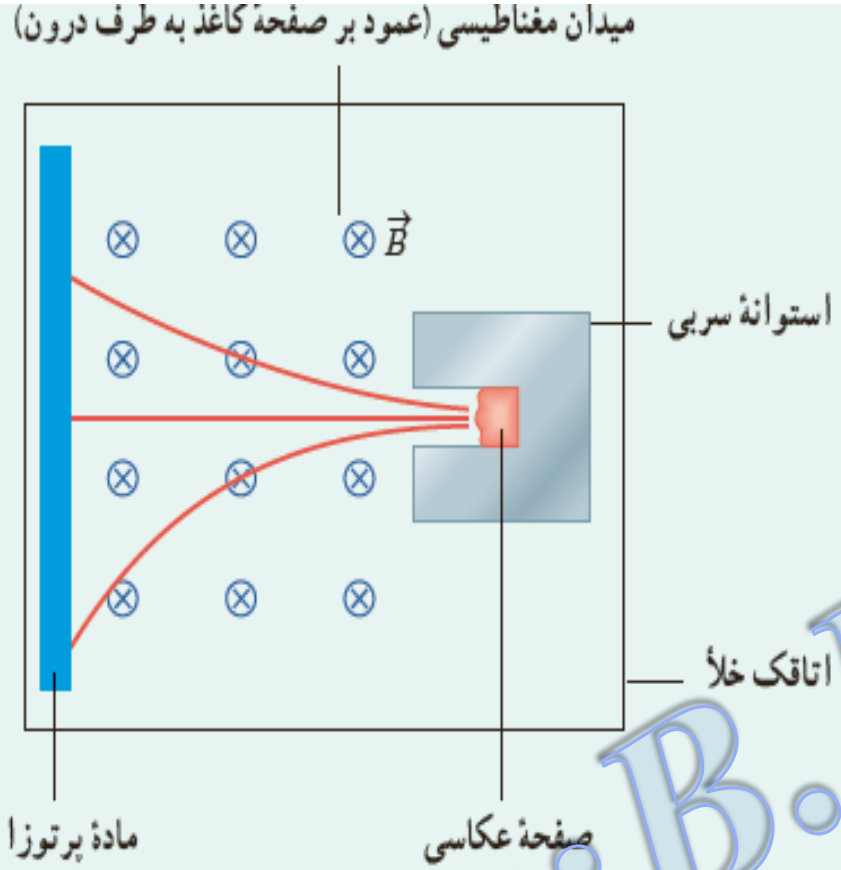
هسته های ناپایدار با گذشت زمان با گسیل پرتوهایی واپاشیده و به هسته های سبک تر تبدیل می شوند این خاصیت هسته ها را پرتوزایی و هسته های ناپایدار و برانگیخته را که توانایی گسیل پرتوها را دارند هسته های پرتوزا گویند.

توجه: در پرتوزایی طبیعی سه نوع پرتو ایجاد می‌شود : پرتوهای آلفا (α)، پرتوهای بتا (β) و پرتوهای گاما (γ). پرتوهای α کمترین نفوذ را دارند و با ورقهٔ نازک سربی با ضخامت ناچیز (≈۰/۰۱mm) متوقف می‌شوند در حالی که پرتوهای β مسافت خیلی بیشتری را (≈۰/۱mm) در سرب نفوذ می‌کنند. پرتوهای γ بیشترین نفوذ را دارند و می‌توانند از ورقه‌ای سربی به ضخامت قابل ملاحظه‌ای (≈۱۰۰mm) بگذرند.

توجه: در تمام فرایندهای واپاشی پرتوزا مشاهده شده است که تعداد نوکلئون‌ها در طی فرایند واپاشی هسته‌ای پایسته است؛ یعنی تعداد نوکلئون‌ها، پیش از فرایند با تعداد نوکلئون‌ها پس از فرایند مساوی است.

Dr.B.Barati

پرسش: شکل روبه‌رو طرح آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد که به کمک آن می‌توان سه نوع پرتوزایی طبیعی را مشاهده کرد و به تفاوت بار و جرم پرتوها از یکدیگر پی برد. قطعه‌ای از مادهٔ پرتوزا را در ته حفرهٔ باریکی در یک استوانهٔ سربی قرار می‌دهند. استوانه را درون اتاقکی می‌گذارند و هوای درون آن را تخلیه می‌کنند. سپس یک صفحهٔ عکاسی مقابل حفره قرار می‌دهند و میدان مغناطیسی یکنواختی درون اتاقک برقرار می‌کنند. خطوط قرمزرنگ، مسیر حرکت پرتوها را نشان می‌دهد. نوع بار پرتوها را با هم مقایسه کنید.



Dr.B.Barati

مراحل پرتوزایی

الف) آلفا زایی $\left(^{4}_{2}\alpha\right)$

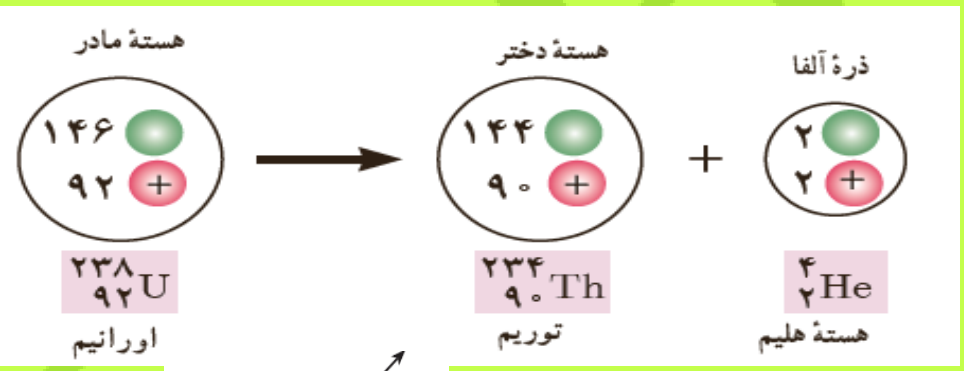
۱ـ از جنس هسته هلیم است $^{4}_{2}\alpha = {}^{4}_{2}He^{++}$

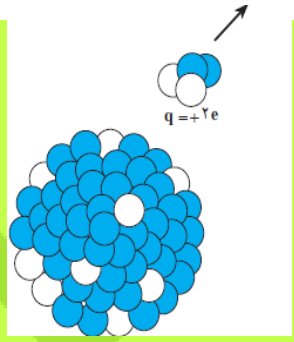
۲ـ $q_\alpha = 2\alpha$

۳ـ در میدان های الکتریکی و مغناطیسی و گرانشی منحرف می شود.

۴ـ معادله واپاشی $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha$

۵ـ با تابش آلفا ۲ واحد از عدد اتمی کم می شود و عنصر دو ستون در جدول تناوبی عقب می رود.





۶ـ ذره‌های آلفا، سنگین‌اند و بار مثبت دارند. بُرد این ذره‌ها کوتاه است. این ذرات پس از طی مسافت کوتاهی در هوا (۱ تا ۲ سانتی‌متر) و یا 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 آلفازا هرگز وارد بدن نشوند.

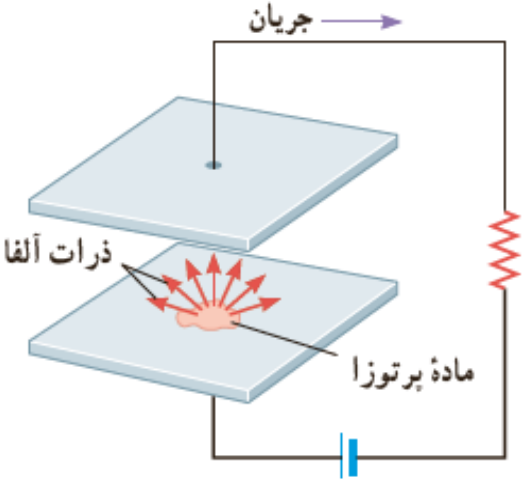
Dr.B.Barati

فنّاوری و کاربرد: واپاشی آلفا و آشکارسازهای دود

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

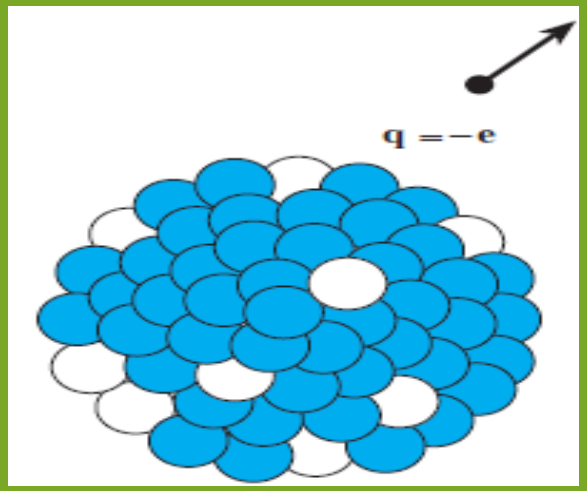
Dr:B.Barati

(الف)



(ب)

ب) واپاشی بتا $\left({}^{0}_{-1}\beta\right)$:



۱- از جنس الکترون

۲- در میدان الکتریکی، مغناطیسی منحرف می شود

۳- $q_\beta = -e$

۴- معادله واپاشی $_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^{0}\beta$

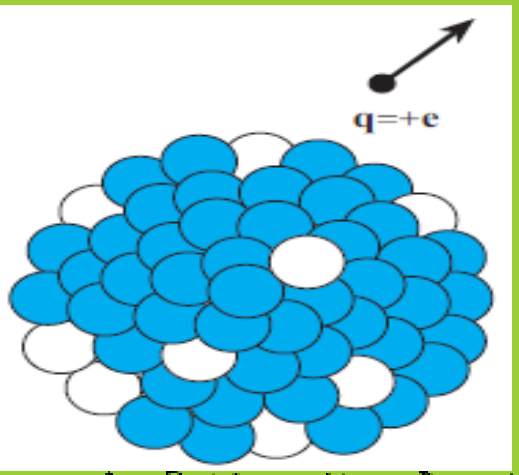
۵- این الکترون وقتی بوجود می اید که: $n \rightarrow {}_{1}^{1}P + {}_{-1}^{0}e$ و e بصورت بتای منفی از هسته گسیل می شود

۶- متداولترین نوع واپاشی است.

Dr.B.Barati

example

واپاشی پوزیترون زا ($_{+1}^{0}B$):



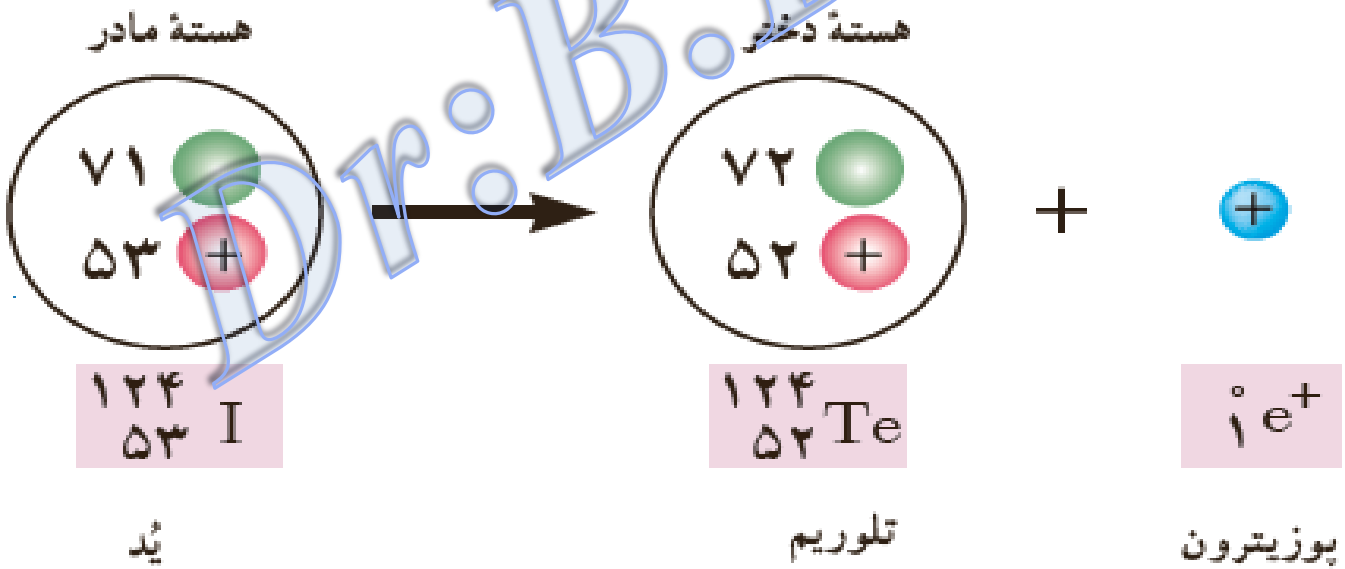
۱ـ پوزیترون ذره ای هم مرتبه با جرم الکترون ولی بار آن مثبت است.

۲ـ $q_{B^+} = +e$

۳ـ در میدان های E و B منحرف می شود.

۴ـ معادله واپاشی $_{+1}^{0}B$: $_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + {}_{+1}^{0}B$

۵ـ این ذره وقتی بوجود می آید که: $_{1}^{1}P \rightarrow {}_{0}^{1}n + {}_{+1}^{0}e$ و e بصورت بتای مثبت از هسته گسیل می شود.



Dr.B.Barati

تمرین: لوتتیم ($^{176}_{71}Lu$) عنصر پرتوزایی است که با گسیل بتای منفی، واپاشی می کند. معادلهٔ این واکنش را بنویسید و با استفاده از جدول تناوبی عنصرها که در پیوست آمده است، عنصر جدیدی را که تولید می‌شود تعیین کنید.

Dr.B.Barati

تمرین: ایزوتوپ ($^{15}_{8}O$) با گسیل پوزیترون، واپاشی می کند. معادلهٔ این واکنش را بنویسید و با استفاده از جدول تناوبی عنصرها که در پیوست آمده است، عنصر جدیدی را که تولید می‌شود تعیین کنید.

ج) واپاشی گامازایی $\left({}^{0}_{0}\gamma\right)$:

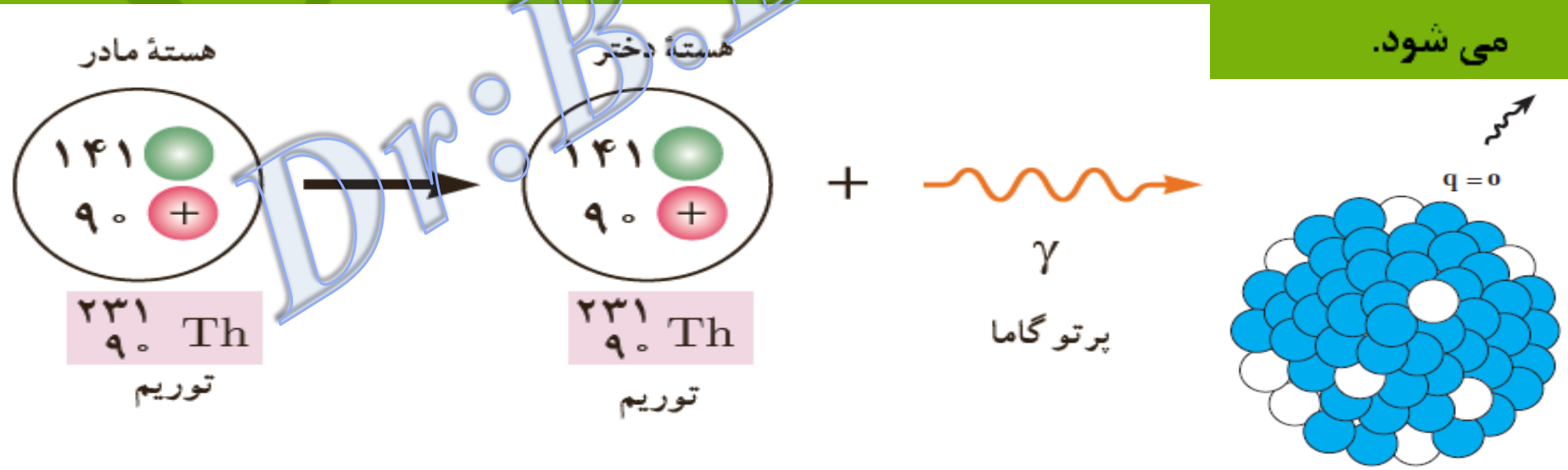
۱- از جنس امواج $E - M$ هستند.

۲- نه جرم دارد و نه بار الکتریکی ، پس در میدان های الکتریکی و مغناطیسی منحرف نمی شود.

۳- معمولاً بعد از واپاشی های آلفا و بتا رخ می دهد.

۴- معادله واپاشی ${}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{0}\gamma \rightarrow {}^{A}_{Z}X^{*}$

۵- با واپاشی گامازا هسته از حالت برانگیخته به حالت پایدار می رسد سطح انرژی هسته کمتر می شود.



Dr:B.Barati

نکات:

واکنش های هسته ای از دو قاعده زیر پیروی می کنند.

الف) مجموع عددهای اتمی (z) در دو طرف واکنش یکسان است.

ب) مجموع عددهای جرمی (A) در دو طرف واکنش یکسان است.

نکته: تعداد ذرات α و β گسیل شده در یک واکنش هسته ای با رابطه های زیر تعیین می شوند.

$$\begin{matrix}A_1\\z_1\end{matrix}X \rightarrow \begin{matrix}A_2\\z_2\end{matrix}Y + m\left(\begin{matrix}4\\2\end{matrix}\alpha\right) + n\left(\begin{matrix}0\\-1\end{matrix}\beta\right) \rightarrow \begin{cases} m = \dfrac{A_1 - A_2}{4} \\ n = \dfrac{A_1 - A_2}{2} + (z_2 - z_1) \end{cases}$$

m تعداد ذرات آلفا و n تعداد ذرات بتا

Dr.B.Barati

مثال: هسته $^{238}_{92}U$ با گسیل ، چهار ذره ی α و دو ذره ی $^{0}_{-1}\beta$ به هسته $^{A}_{Z}X$ تبدیل می شود معادله واکنش را بنویسید A و Z را به دست آورید.

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{A}_{Z}X + 4\left({}^{4}_{2}\alpha\right) + 2\left({}^{0}_{-1}\beta\right)$$

$$238 = A + 4 \times 4 + 2(0) \Rightarrow A = 222$$

$$92 = Z + 4 \times 2 - 2 \Rightarrow Z = 86$$

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$$

گزینه سه

- در واپاشی هسته‌های ناپایدار، کدام مورد درست است؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19}\ C$)

۱) هنگام گسیل پوزیترون بار هسته به اندازه $1/6 \times 10^{-19}\ C$ افزایش می‌یابد.

۲) هنگام گسیل الکترون بار هسته به اندازه $1/6 \times 10^{-19}\ C$ کاهش می‌یابد.

۳) هنگام گسیل α بار هسته به اندازه $3/2 \times 10^{-19}\ C$ کاهش می‌یابد.

۴) هنگام گسیل گاما، پوزیترون و الکترون، بار هسته ثابت می‌ماند.

Dr:B.Barati
09163014685

خوب است بدانید: جراحی با پرتوهای گاما

برای درمان مشکلات خاصی در مغز از جمله تخریب غده‌های خوش‌خیم و سرطانی و نیز رفع نقص‌ها در رگ‌های خونی استفاده می‌شود.

در این روش از چاقویی استفاده نمی‌شود، از باریکه‌های بسیار متمرکز و توانمندی از پرتوهای گاما که متوجه غده و نقص در رگ‌ها می‌شود بهره می‌گیرند. پرتوهای γ توسط چشمهٔ کبالت ۶۰ تولید می‌شوند. همان‌طور که شکل الف نشان می‌دهد، بیمار یک کلاه ایمنی فلزی بر سر می‌گذارد که سوراخ‌های بسیار کوچکی روی آن ایجاد شده است. پرتوهای عبوری از این سوراخ ها، روی هدف مورد نظر درون مغز متمرکز می‌شوند. از این‌رو بافت هدف، مقدار بسیار زیادی تابش را دریافت می‌کند و تخریب می‌شود، در حالی که بافت سالم مجاور آسیبی نمی‌بیند. جراحی با پرتوهای گاما، روشی بدون درد و خونریزی است که اغلب 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.

Dr.B.Barati

خوب است بدانیم: جراحی با پرتوهای گاما

(الف)

Dr:B.Barati

نیمه عمر ماده پرتوزا:

ثابت واپاشی (λ):احتمال واپاشی یک هسته پرتوزا در یک ثانیه را ثابت واپاشی (λ) می گویند و یکای آن S^{-1} است.

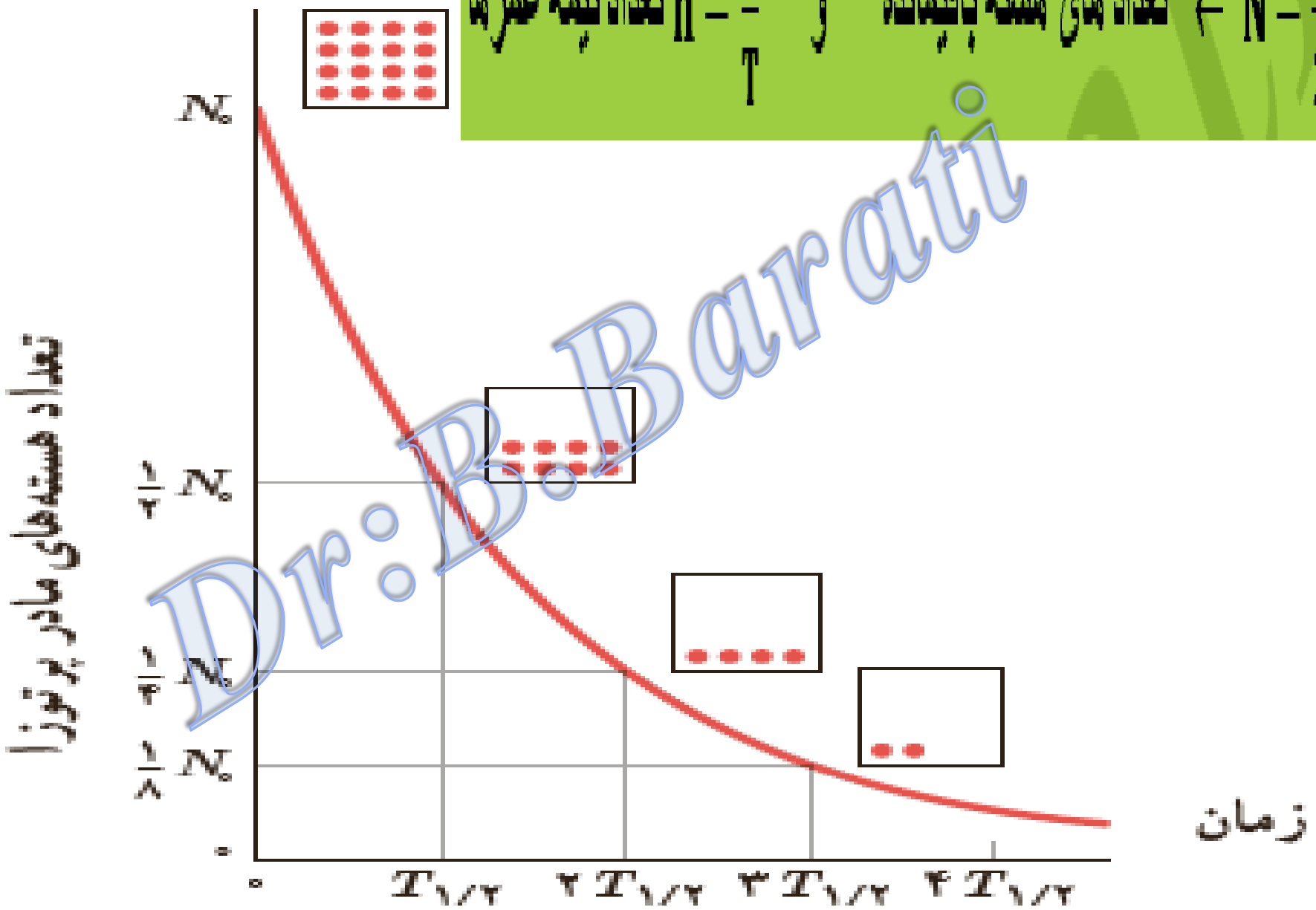
نکته: ثابت واپاشی (λ) فقط تابع نوع هسته ای است که واپاشیده می شود و به عوامل خارجی مانند دما، فشار، میدان های الکتریکی و مغناطیسی بستگی ندارد.

نیمه عمر (T): مدت زمانی است که طی آن نیمی از هسته های پرتوزای موجود در آن ماده پرتوزا د واپاشیده می شود.

$N = \frac{N_0}{2^n}$ ← تعداد های هسته باقیمانده و $n = \frac{t}{T}$ تعداد نیمه عمرها

Dr.B.Barati

$N = \frac{N_0}{2^n}$ ← تعداد های هسته باقیمانده و $n = \frac{t}{T}$ تعداد نیمه عمرها



Dr:B.Barati

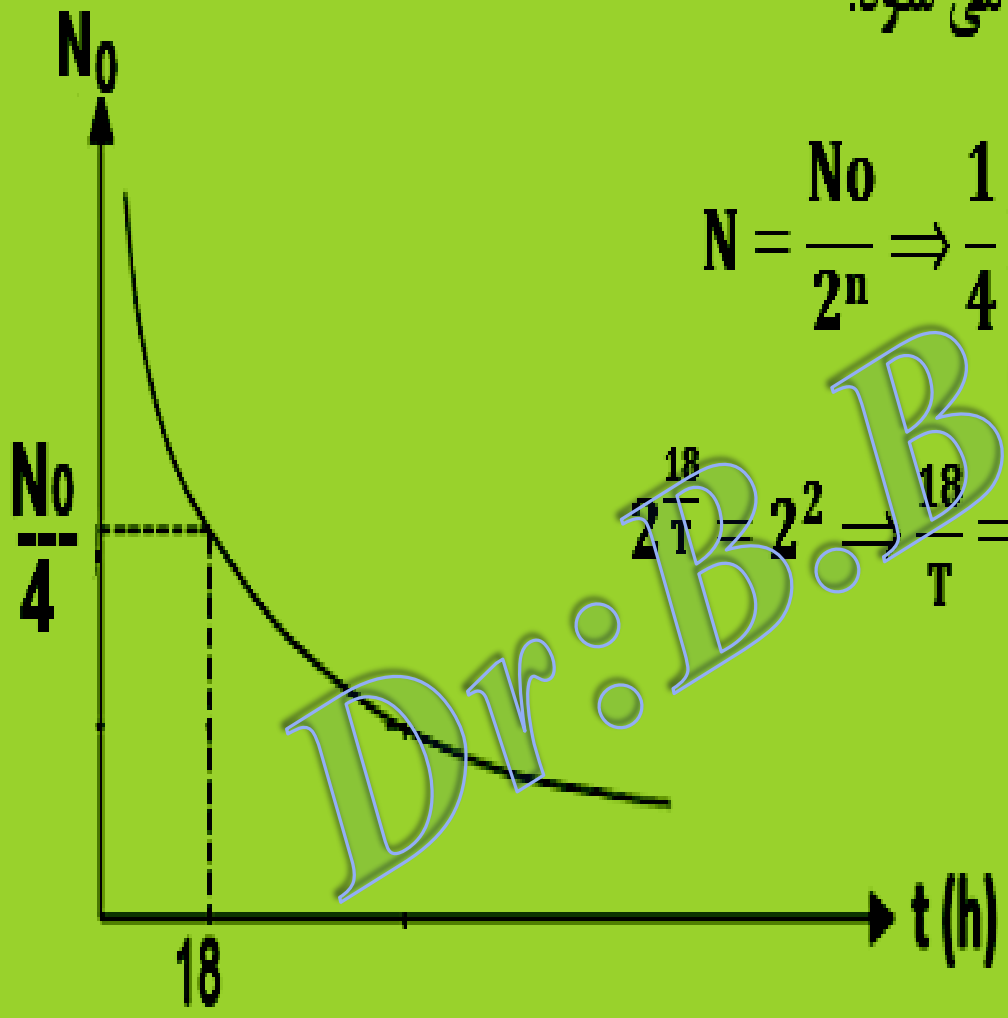
جداول کلیدی برای حل این مسائل

تعداد نیمه عمر	۱	۲	۳	۴	۵	۶
تعداد هسته های باقیمانده	%۵۰	%۲۵	%۱۲/۵	%۶/۲۵	%۳۳	%۱/۵
تعداد هسته های متلاشی شده	%۵۰	%۷۵	%۸۷/۵	%۹۳/۷۵	%۹/۷	%۹۸/۵

تعداد نیمه عمر	۱	۲	۳	۴	۵	۶
تعداد هسته های باقیمانده	$\frac{1}{2}No$	$\frac{1}{4}No$	$\frac{1}{8}No$	$\frac{1}{16}No$	$\frac{1}{32}No$	$\frac{1}{64}No$
تعداد هسته های متلاشی شده	$\frac{1}{2}No$	$\frac{3}{4}No$	$\frac{7}{8}No$	$\frac{15}{16}No$	$\frac{31}{32}No$	$\frac{63}{64}No$

Dr.B.Barati

مثال: در شکل مقابل: نمودارذرات ماده ی پرتوزا بر حسب زمان نشان داده شده است پس از گذشت چند روز ۹۳/۷۵ درصد ماده واپاشیده می شود.



$$N = \frac{No}{2^n} \Rightarrow \frac{1}{4}No = \frac{No}{2^{\frac{18}{T}}}$$

$$2^{\frac{18}{T}} = 2^2 \Rightarrow \frac{18}{T} = 2 \Rightarrow T = 9 \text{ روز}$$

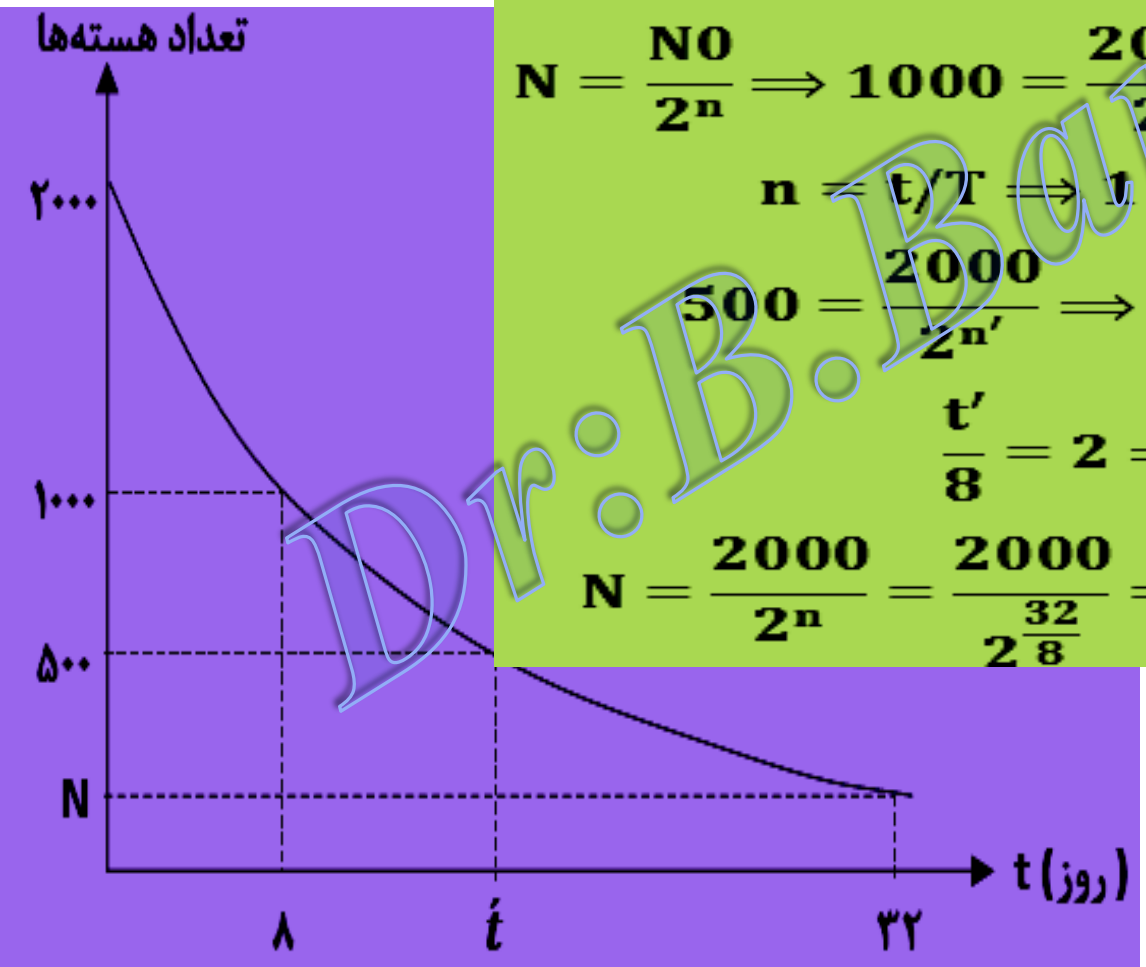
$$\frac{m}{mo} = \frac{1}{2^{\frac{t}{T}}} \Rightarrow \frac{\frac{6}{25}}{100} = \frac{1}{2^{\frac{t}{9}}} \Rightarrow 16 = 2^{\frac{t}{9}}$$

$$2^4 = 2^{\frac{t}{9}} \Rightarrow \frac{t}{9} = 4 \Rightarrow t = 36 \text{ روز}$$

Dr:B.Barati

مثال: نمودار روبرو مربوط به یدپرتوزا است N و t′ به ترتیب کدام است؟

الف) ۱۲۵ و ۱۶ ب) ۲۵۰ و ۱۶ ج) ۱۷۵ و ۲۴ د) ۲۰۰ و ۲۴



$$N = \frac{N0}{2^n} \Rightarrow 1000 = \frac{2000}{2^n} \Rightarrow 2^n = 2^1 \Rightarrow n = 1$$

$$n = t/T \Rightarrow 1 = 8/T \Rightarrow T = 8$$

$$500 = \frac{2000}{2^{n'}} \Rightarrow 2^{n'} = 2^2 \Rightarrow n' = 2$$

$$\frac{t'}{8} = 2 \Rightarrow t' = 16$$

$$N = \frac{2000}{2^n} = \frac{2000}{2^{\frac{32}{8}}} = \frac{2000}{2^4} = \frac{2000}{16} = 125$$

Dr:B.Barati

مثال: نیمه عمر یک ماده پرتوزا ۸ روز است پس از ۳۲ روز ، چند درصد از هسته های آن ماده دچار واپاشی می شوند؟

الف) 64 ب) 75 ج) 82.25 د) 93.75

تعداد نیمه عمر	۱	۲	۳	۴
تعداد هسته های باقیمانده	%۵۰	%۲۵	%۱۲/۵	%۶/۲۵
تعداد هسته های متلاشی شده	%۵۰	%۷۵	%۸۷/۵	%۹۳/۷۵

Dr.B.Barati

مثال: اگر نیم عمر یک ماده ی رادیواکتیو برابر ۱۴ روز باشد بعد از چند روز تعداد ذرات فعال آن $\frac{1}{8}$ تعداد اولیه می شود؟

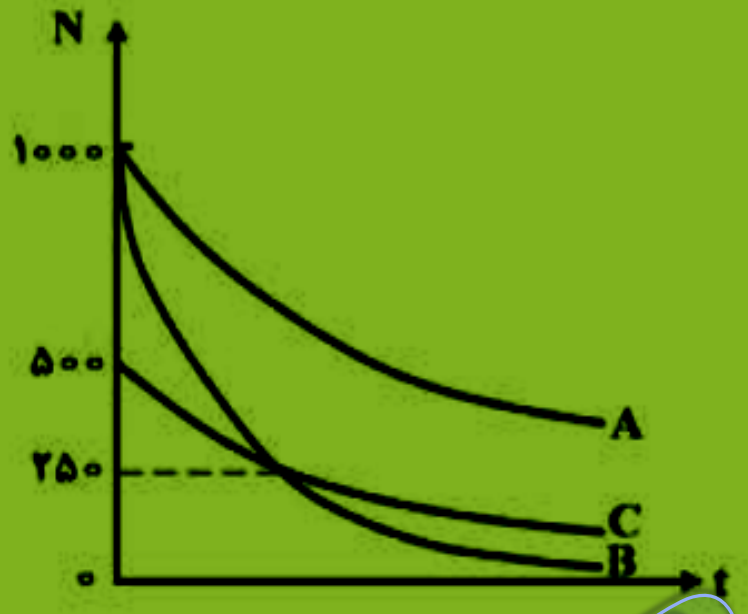
الف) ۲۱ ب) ۴۲ ج) ۶۳ د) ۸۴

تعداد نیمه عمر	۱	۲	۳
تعداد هسته های باقیمانده	$\frac{1}{2}No$	$\frac{1}{4}No$	$\frac{1}{8}No$
تعداد هسته های متلاشی شده	$\frac{1}{2}No$	$\frac{3}{4}No$	$\frac{7}{8}No$

$$N_{\text{فعال}} = \frac{1}{8}No \quad \Rightarrow n = 3 \rightarrow t = nT = 3 \times 14 = 42 \text{ روز}$$

Dr.B.Barati

نمودار تعداد هسته‌های سه عنصر پرتوزا برحسب زمان، مطابق شکل زیر است. اگر نیمه عمر این سه عنصر T_A، T_B و T_C باشد، کدام مورد درست است؟



۱) $T_A = T_C > T_B$

۲) $T_A > T_B = T_C$

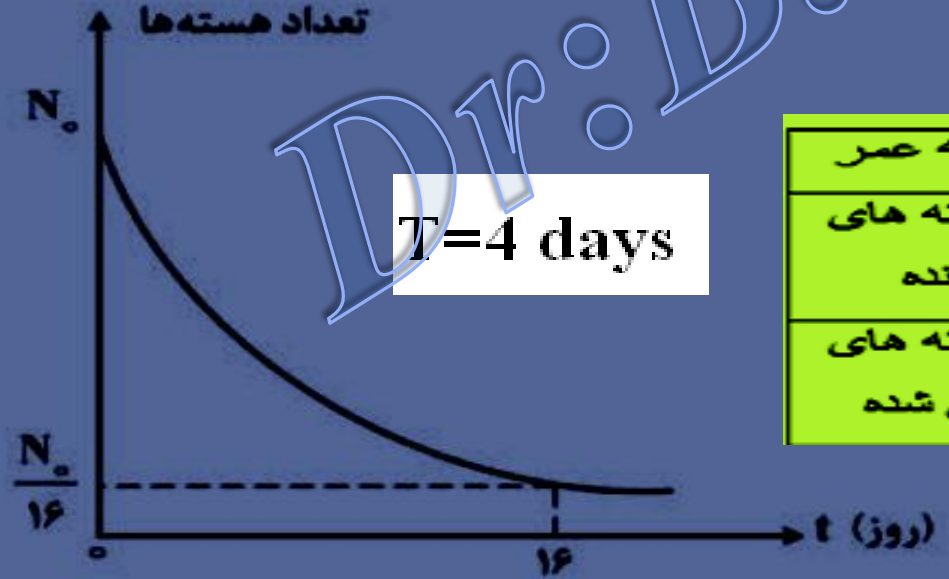
۳) $T_A > T_B > T_C$

۴) $T_A > T_C > T_B$

گزینه چهار

Dr:B.Barati

نمودار تغییرات تعداد هسته‌های یک مادهٔ پرتوزا برحسب زمان، مطابق شکل زیر است. پس از گذشت هشت روز چند درصد از هسته‌های آن فعال باقی می‌ماند؟



T=4 days

تعداد نیمه عمر	۱	۲
تعداد هسته های باقیمانده	%۵۰	%۲۵
تعداد هسته های متلاشی شده	%۵۰	%۷۵

۱) ۸۷/۵

۲) ۵۰

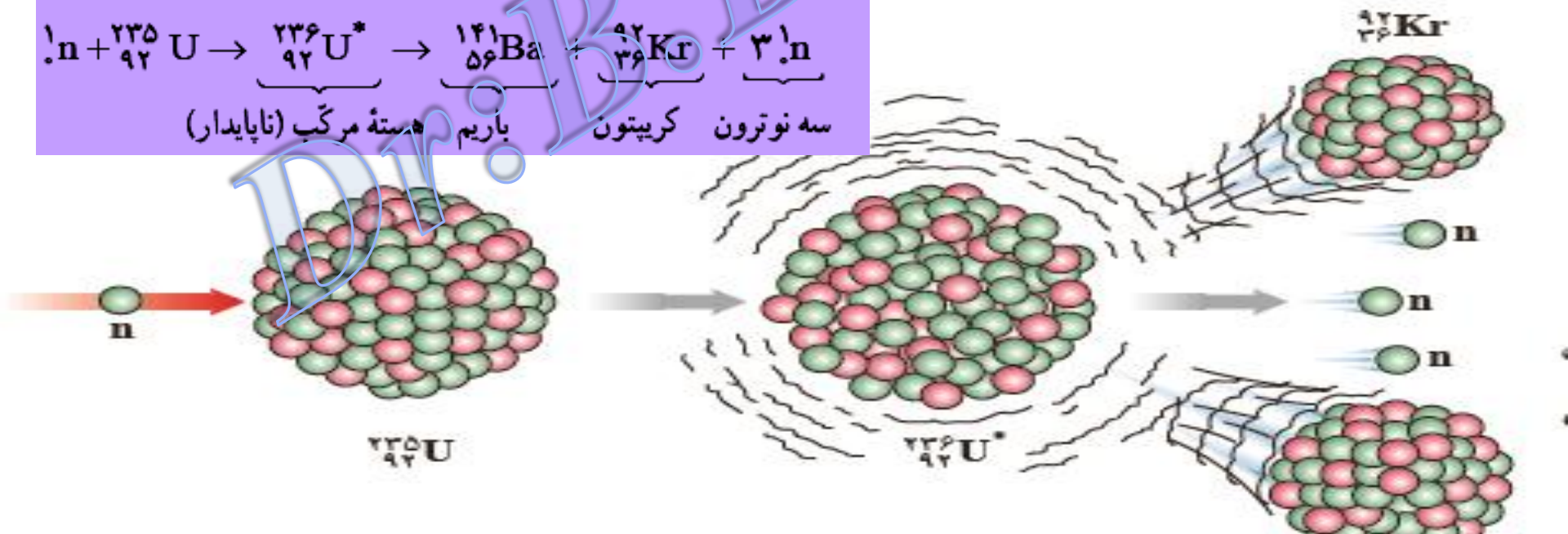
۳) ۲۵

۴) ۱۲/۵

شکافت هسته ای: هسته سنگین به دو هسته سبک تر شکافته می شود همراه با آزاد شدن انرژی

در شکافت هسته ای $^{235}_{92}U$ پس از جذب نوترون و تبدیل به ایزوتوپ ناپایدار $^{236}_{92}U^*$ ، به هسته‌های باریم $^{141}_{56}Ba$ و کریپتون $^{92}_{36}Kr$ تقسیم شده است. واکنش وقتی شروع می‌شود که نوترونی کُند (با انرژی جنبشی در حدود ۰/۰۴eV) توسط هستهٔ $^{238}_{92}U$ جذب و هستهٔ مرکّب $^{236}_{92}U^*$ ایجاد شود. این هستهٔ مرکّب در کمتر از $10^{-12}s$ و مطابق واکنش زیر واپاشیده می‌شود:

$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow \underbrace{^{236}_{92}U^*}_{\text{هستهٔ مرکّب (ناپایدار)}} \rightarrow \underbrace{^{141}_{56}Ba}_{\text{باریم}} + \underbrace{^{92}_{36}Kr}_{\text{کریپتون}} + \underbrace{3\,^{1}_{0}n}_{\text{سه نوترون}}$$



Dr.B.Barati

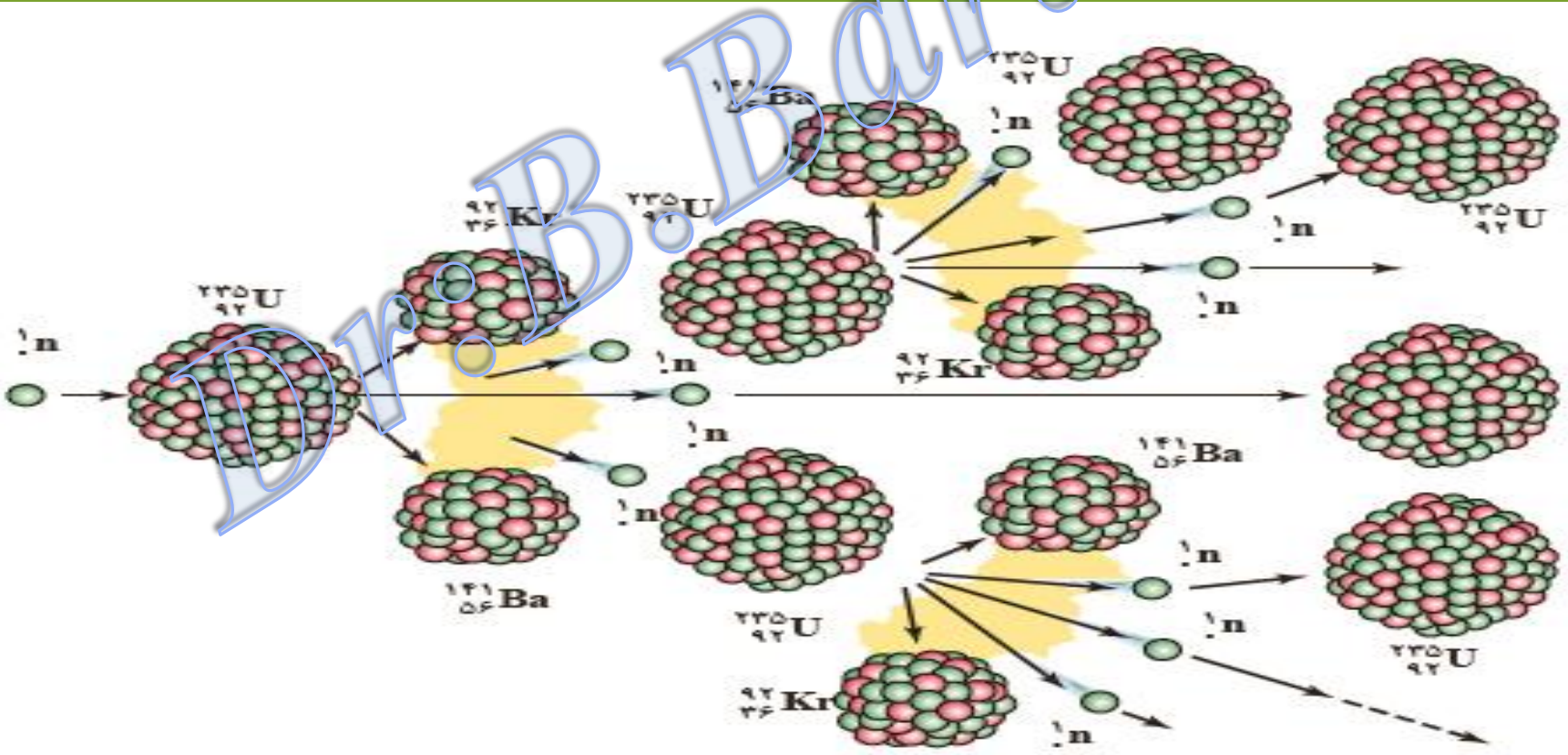
توجه: وقتی نوترونی با هستهٔ اورانیم ۲۳۵ برخورد کند و جذب شود، هستهٔ اورانیم شروع به ارتعاش می‌کند و تغییر شکل می‌دهد. ارتعاش تا وقتی ادامه می‌یابد که تغییر شکل چنان جدی شود که نیروی جاذبهٔ هسته‌ای دیگر نتواند با نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی بین پروتون‌های هسته متوازن شود. در این هنگام، هسته به پاره‌هایی (اتم‌هایی) که حامل انرژی (به‌طور عمده انرژی جنبشی) هستند.

نکته مهم: در واکنش‌های شکافت هسته‌ای، جرم محصولات شکافت، کمتر از جرم هستهٔ مرکّب است. این اختلاف جرم بنا به رابطهٔ $E = mc^2$، سبب آزاد شدن انرژی گرمایی زیادی می‌شود.

انرژی‌ای که توسط محصولات شکافت حمل می‌شود عمدتاً به شکل انرژی جنبشی است. در هر واکنش شکافت حدود ۲۰۰MeV انرژی آزاد می‌شود. این انرژی، 10^8 برابر انرژی آزادشده به‌ازای هر مولکول در یک واکنش شیمیایی معمولی، نظیر سوختن بنزین یا زغال سنگ است. حتی در انفجار تری نیتروتولوئن (TNT)، انرژی آزادشده به ازای هر مولکول، در حدود ۳۰eV است.

Dr.B.Barati

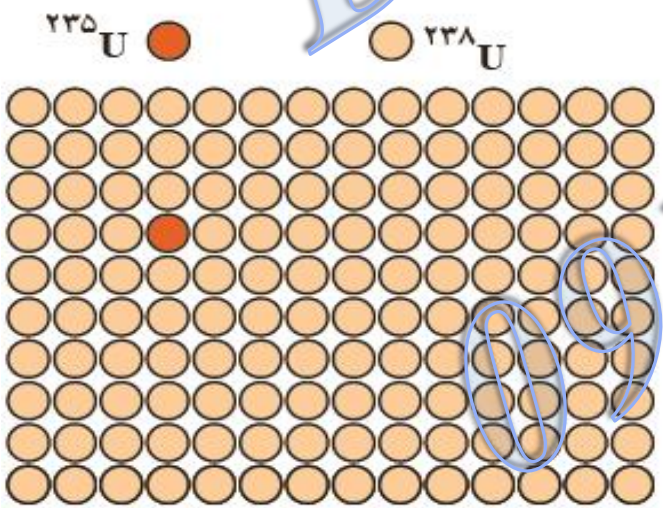
واکنش زنجیری: با توجه به مطالب قبل، فرایند شکافت $^{235}_{92}U$ با جذب یک نوترون کُند آغاز می‌شود. اگر محصولات شکافت، باریم $^{141}_{56}Ba$ و کریپتون $^{92}_{36}Kr$ باشند، در این فرایند ۳ نوترون به‌وجود می‌آید. چون نوترون‌ها بار الکتریکی ندارند، هسته‌های دیگر آنها را دفع نمی‌کنند. نوترون‌ها پس از کُند شدن، توسط هسته‌های دیگر جذب می‌شوند و باعث شکافت در ۳ هستهٔ اورانیم دیگر می‌شوند و ۹ نوترون آزاد می‌کنند. اگر هر یک از این نوترون‌ها نیز موفق به شکافت یک هستهٔ اورانیم شود، ۲۷ نوترون آزاد می‌شود و به همین ترتیب تا آخر. این رشته واکنش را، واکنش زنجیری می‌نامند (شکل زیر).



Dr.B.Barati

شکل الف ، تصویری از ورودی مجتمع معدنی اورانیم ساغند (واقع در حوالی شهر اردکان یزد) را نشان می‌دهد. ممکن است این پرسش مطرح شود که چرا واکنش زنجیری به طور طبیعی در این معدن و دیگر معدن‌های اورانیم رخ نمی‌دهد؟

پاسخ این است که در سنگ معدن اورانیم، دو ایزوتوپ ۲۳۵ و ۲۳۸ وجود دارد، به‌طوری که فراوانی ایزوتوپ ۲۳۵ حدود ۰/۷۲ درصد است. به عبارت دیگر از هر ۱۴۰ اتم اورانیم موجود در سنگ معدن اورانیم، تنها یکی از آن‌ها ایزوتوپ ۲۳۵ و مابقی ایزوتوپ ۲۳۸ است (شکل ب) . اگرچه $^{238}_{92}U$ فراوان‌ترین ایزوتوپ اورانیم است، احتمال اینکه نوترونی را گیر بیندازد و شکافته شود، بسیار کم است، و در نتیجه واکنش زنجیری را ناممکن می‌سازد.



(ب)

(الف)

Dr:B.Barati
09163014685

کدام گزینه در مورد ^{235}U و ^{238}U درست نیست؟

۱) تعداد نوترون ^{238}U بیشتر است.

۲) هر دو تعداد پروتون یکسانی دارند.

۳) هر دو خواص شیمیایی یکسانی دارند.

۴) ^{238}U، ۷۲/۵ درصد اورانیم طبیعی را تشکیل می‌دهد.

در فعل و انفعال هسته‌ای $^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{A}_{Z}X + 3({}^{1}_{0}n)$، برای عنصر X، تعداد نوترون‌ها و پروتون‌ها کدام است؟

۱) ۵۸ و ۳۶

۲) ۵۶ و ۳۶

۳) ۹۴ و ۵۴

۴) ۹۲ و ۵۴

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow \underbrace{{}^{236}_{92}U^{*}}_{\text{هستهٔ مرکّب (ناپایدار)}} \rightarrow \underbrace{{}^{141}_{56}Ba}_{\text{باریم}} + \underbrace{{}^{92}_{36}Kr}_{\text{کریپتون}} + \underbrace{3\,{}^{1}_{0}n}_{\text{سه نوترون}}$$

Dr.B.Barati

غنی سازی اورانیم:بالا بردن درجه خلوص $^{235}_{92}U$ در مخلوطی از ایزوتوپ های اروانیم را گویند.

نکته قابل توجه در باره غنی سازی اورانیم: بیشتر راکتورهای تجاری تولید برق، مانند راکتور نیروگاه هسته‌ای بوشهر، از اورانیمی استفاده می‌کنند که در آنها ایزوتوپ $^{۲۳۵}_{۹۲}U$ تا ۳درصد غنی‌سازی شده است. همچنین در بیشتر راکتورهای پژوهشی، مانند راکتور پژوهشی دانشگاه تهران، از سوختی استفاده می‌شود که ایزوتوپ $^{۲۳۵}_{۹۲}U$ تا ۲۰درصد غنی‌سازی شده است.

توجه : نوترون‌های آزادشده در فرایند شکافت ایزوتوپ $^{۲۳۵}_{۹۲}U$ ، انرژی جنبشی زیادی دارند (به‌طور متوسط حدود 2MeV) و به نوترون‌های تُند معروف‌اند. این نوترون‌ها، با احتمال بسیار بیشتری جذب ایزوتوپ $^{۲۳۸}_{۹۲}U$ می‌شوند. تجربه نشان می‌دهد اگر بتوان نوترون‌های تند را به نحوی کُند ساخت که انرژی جنبشی آنها به حدود ۰/۰۴eV یا کمتر از آن برسد، احتمال جذب آنها توسط ایزوتوپ‌های $^{۲۳۵}_{۹۲}U$ افزایش می‌یابد. این افزایش احتمال می‌تواند برای ایجاد واکنش زنجیری شکافت، کافی باشد.

Dr.B.Barati

نکته:در راکتورهای هسته ای از گرافیت، آب معمولی و آب سنگین به عنوان کند کننده نوترون استفاده می شود

نکته:در راکتورهای هسته ای برای کنترل و مهار انرژی هسته ای آزاد شده از میله های کنترل که از جنس بور، کادمیم هستند استفاده می کنیم.

نکته: در راکتور هسته ای از دو منبع آب بصورت جداگانه استفاده می شود تا مواد پرتوزاد وارد توربین نشوند.

Dr:B.Barati

راکتور هسته ای :دستگاهی است که در آن واکنش هسته ای صورت می گیرد و انرژی آزاد شده در فرآیند شکافت بصورت های دیگر انرژی تبدیل می شود.

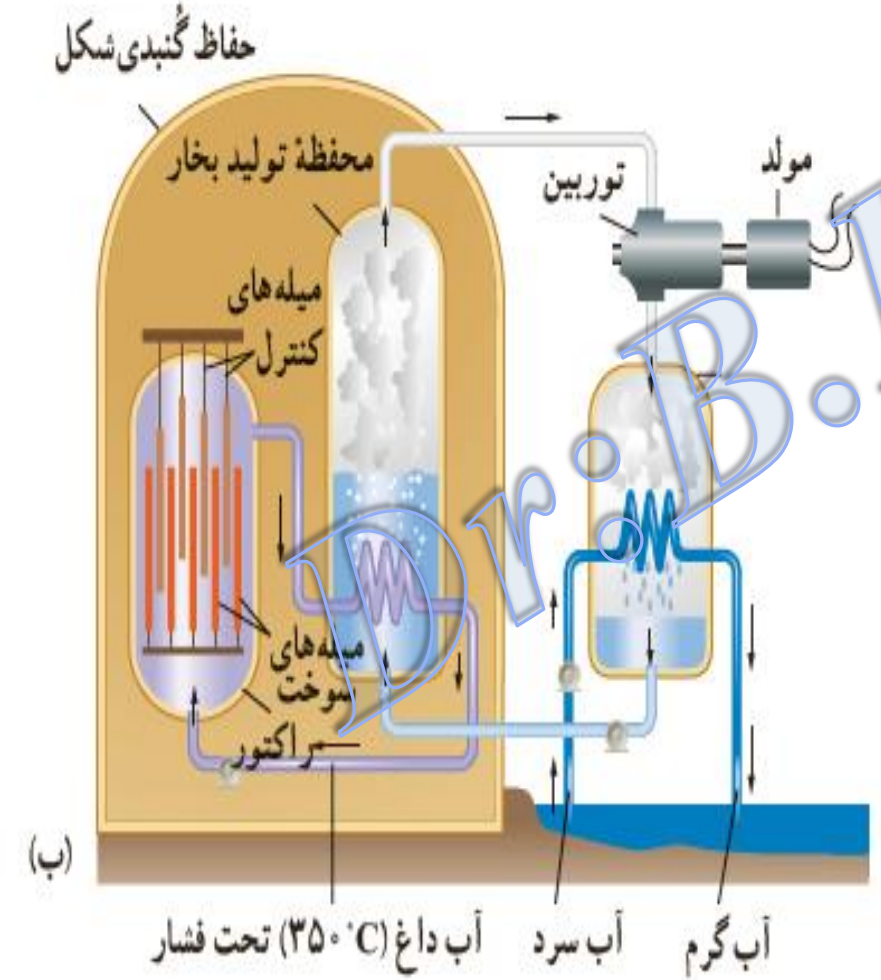
قسمت های تشکیل دهنده راکتور عبارت از:

۱ ـ سوخت هسته ای ← ۳ درصد $^{235}_{92}U$ و بقیه $^{238}_{92}U$

۲ ـ کند کننده ی نوترون ← اغلب از گرافیت و آب سنگین و معمولی

۳ ـ میله های کنترل ← مواد جذب کننده نوترون مانند کادمیم یا بور

۴ ـ آب



(الف)

Dr.B.Barati

مثال: در راکتورهای هسته ای، برای کنترل سرعت واکنش، یعنی کنترل تعداد نوترون های موجود برای بوجود آوردن شکافت، از کدام یک زا مواد زیر استفاده می کنند.

الف)بور-گرافیت ب)کادمیم-بور ج)گرافیت-کادمیم د)آب سنگین-گرافیت

گزینه د

مثال:درداخل راکتور، با استفاده از کند کننده ای مانندگرافیت، سرعت نوترون ها را کاهش می دهند تا:

الف)احتمال جذب آنها توسط $^{238}_{92}U$ بیشتر شود.

ب)احتمال جذب آنها توسط $^{235}_{92}U$ بیشتر شود.

ج)سرعت واکنش هسته ای کاهش یافته و کنترل شود.

د)درصد بیشتری از انرژی هسته ای آزاد شده به کنترل در آید و استفاده شود. گزینه ب

مثال:در واکنش شکافت $^{235}_{92}U$ از نوترون کند استفاده می شود زیرا"

الف) جرم آن کم تر است ب) انرژی آن کم تر است

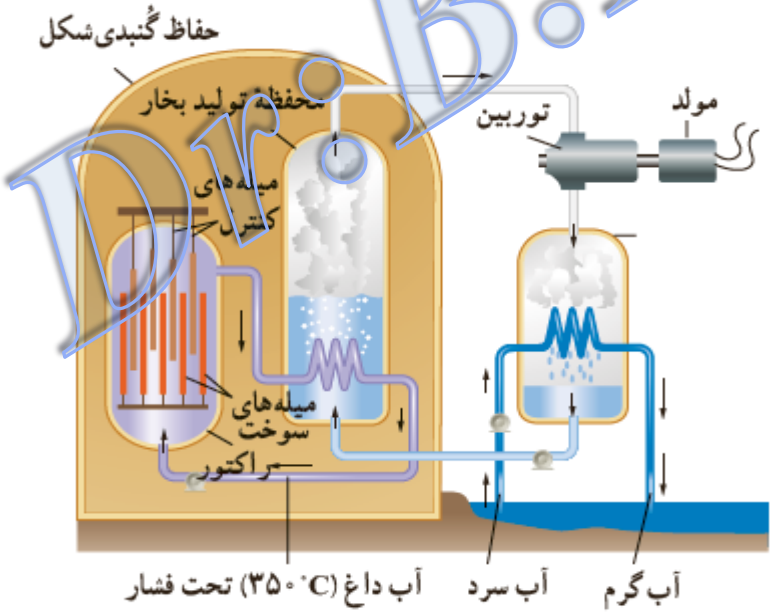
ج) کنترل آن ساده است د) گزینه ب و ج

پاسخ: گزینه ی۴ نوترون کند به دلیل انرژی کم تر، فرصت بیش تر برای جذب به هسته ی اورانیم دارد و قابل کنترل است.

Dr:B.Barati

توضیحات لازم: سوخت هسته‌ای (معمولاً با حدود ۳درصد ایزوتوپ $^{235}_{92}U$) به‌صورت میله‌هایی با قطر حدود ۱cm است و هزاران عدد از این میله‌ها در قلب راکتور قرار دارد.

با وارد کردن میله‌های کنترل به داخل راکتور، آهنگ واکنش شکافت، یعنی تعداد نوترون‌های موجود برای به‌وجود آوردن شکافت، تنظیم می‌شود. میله‌های کنترل معمولاً از مواد جذب‌کنندهٔ نوترون، مانند کادمیم یا بور، ساخته می‌شوند. در نوعی از راکتورها، که به راکتورهای آب تحت فشار (PWR)[1] معروف‌اند، آبی که سوخت هسته‌ای را احاطه کرده است، تحت فشار زیاد (حدود ۱۵۰ اتمسفر) قرار دارد تا بدون آنکه بجوشد به دماهای بالا برسد. این آب داغ، به سامانهٔ بستهٔ دیگری که محتوی آب با فشار کمتر است، پمپ می‌شود تا این آب را گرم کند. گرمای انتقال‌یافته به سامانهٔ دوم، سبب تولید بخار می‌شود که توربین و مولد الکتریسیته را به‌کار می‌اندازد.



Dr.B.Barati

پرسش: مزیت های انرژی هسته ای چیست؟

۱- توانایی تولید فراوان انرژی الکتریکی (برق)

۲- حفظ سوخت های فسیلی مانند نفت، زغال سنگ و گاز طبیعی که از آن ها برای تولید مولکول های آلی استفاده می شود

۳- حذف تولید دی اکسید گوگرد و سایر مواد سمی و گاز گل خانه ای دی اکسید کربن

پرسش:ضعف اساسی انرژی هسته ای با استفاده از واکنش شکافت چیست؟

پاسخ: ۱) تولید پسماندهای پرتوزا ، ۲) هزینه ی بسیار بالای استفاده از این انرژی

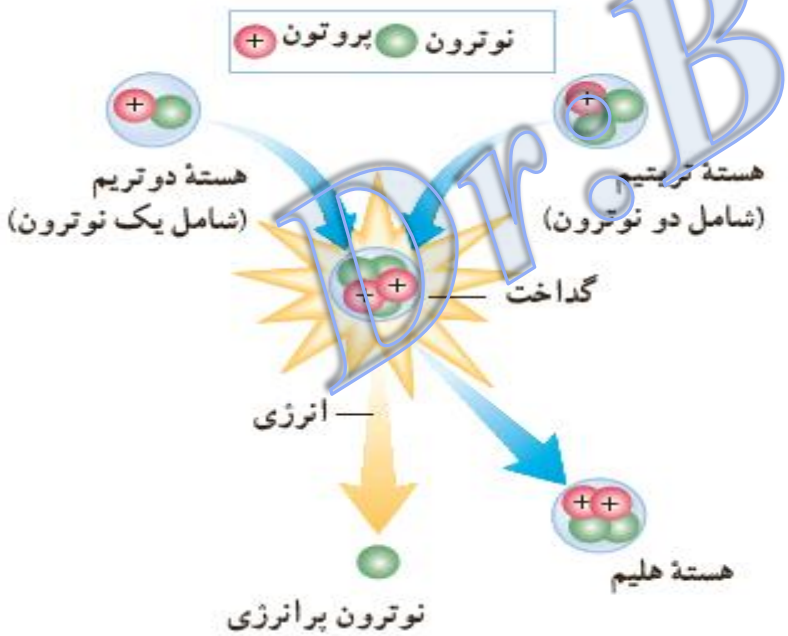
Dr.B.Barati

گداخت (همجوشی) هسته‌ای

یک نوع دیگر واکنش هسته‌ای که منشأ تولید انرژی در ستارگان و از جمله خورشید است، گداخت یا همجوشی هسته‌ای نام دارد. در فرایند گداخت هسته‌ای، دو هستهٔ سبک با یکدیگر ترکیب می‌شوند و هستهٔ سنگین‌تری به‌وجود می‌آورند. برای مثال، واکنش گداخت زیر را در نظر بگیرید:

$$D + T \rightarrow {}^{4}He + {}^{1}n$$

1) در این واکنش با همجوشی هسته‌های دو ایزوتوپ هیدروژن یعنی دوتریم و تریتیم، هستهٔ هلیم و یک نوترون پرانرژی تولید می‌شود.



Dr.B.Barati

2) در فرایند جوش مجموع جرم محصولات فرایند، کمتر از مجموع جرم هسته‌های اولیه است.

3) دراینجا نیز این اختلاف جرم با توجه به رابطهٔ $E=mc^2$، سبب آزاد شدن مقدار زیادی انرژی می‌شود.

4) از آنجا که در واکنش‌های گداخت، مقدار بسیار زیادی انرژی آزاد می‌شود، ساخت راکتورهای گداخت مورد توجه زیادی است (شکل زیر)

شکل: طرحی از راکتور آزمایشی گرما هسته‌ای بین‌المللی (ITER)[1]. ساخت این راکتور با مشارکت چندین کشور جهان، از سال ۲۰۰۷ در فرانسه شروع شده است و پیش‌بینی می‌شود بنای آن در سال ۲۰۲۱ به اتمام برسد. قرار است این راکتور از سال ۲۰۳۵ با توان خروجی ۵۰۰ مگاوات شروع به کار کند.

Dr:B.Barati

مشکلات ساخت راکتور جوش هسته ای: مشکلات در ساخت راکتور گداخت به این علت پیش می‌آید که تا هسته کم‌جرم باید به‌قدرکافی به‌هم نزدیک شوند تا نیروی کوتاه‌بُرد هسته‌ای بتواند آنها را کنار هم نگه دارد و واکنش گداخت انجام شود. ولی، هر هسته، بار مثبت دارد و هستهٔ دیگر را دفع می کند. برای آنکه هسته‌ها با وجود این نیروی رانشی بسیار قوی، بتوانند به هم گداخته 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 ـ تریتیم، به دمایی حدود ده‌ها میلیون درجهٔ سلسیوس نیاز است. دمایی از این مرتبه در ستارگان و خورشید وجود دارد. مثلاً خورشید، که در آن از گداخت هسته‌های هیدروژن انرژی آزاد می شود، دمای درونی آن فراتر از ۲۰ میلیون درجهٔ سلسیوس برآورد شده است. در نتیجه واکنش گداخت هسته‌ای، در مرکز خورشید و ستارگان که دما و فشار بسیار بالاست صورت می‌گیرد.

Dr:B:Barati
09163014685