

فصل ششم : آشنایی با فیزیک هسته‌ای

دکتر علیرضا بیات



پویش علمی
ماندگارالبرز



پویش جهاد علمی دبیرستان ماندگارالبرز

فیزیک هسته‌ای	شافه‌ای از علم فیزیک است که در آن با ساختار، برهم‌کنش‌ها و واپاشی هسته‌های اتمی سروکار داریم.
ایزوتوپ	هسته‌هایی که تعداد پروتون مساوی ولی تعداد نوترون متفاوت دارند، خواص شیمیایی یکسانی دارند. در نتیجه این هسته‌ها در جدول تناوبی هم‌مکان هستند و ایزوتوپ نامیده می‌شوند. ایزوتوپ‌های یک عنصر را نمی‌تواند با واکنش‌های شیمیایی جدا نمود و تنها با روش‌های فیزیک مبتنی بر تفاوت جرم قابل جداسازی هستند.
ویژگی‌های نیروی هسته‌ای	نیروی هسته‌ای، کوتاه‌بُرد است و تنها در فاصله‌ای کوچک‌تر از ابعاد هسته اثر می‌کند. افزون بر این، نیروی هسته‌ای مستقل از بار الکتریکی است، یعنی نیروی (ربایشی هسته‌ای یکسانی بین دو پروتون، دو نوترون، یا یک پروتون و یک نوترون وجود دارد. به همین دلیل از منظر نیروی هسته‌ای، تفاوتی بین پروتون و نوترون وجود ندارد و دلیل نام‌گذاری آن‌ها با نام عام نوکلئون نیز همین است.
شرایط لازم برای پایداری هسته	برای پایداری هسته، باید نیروی دافعه الکتروستاتیکی بین پروتون‌ها با نیروی جاذبه بین نوکلئون‌ها، که ناشی از نیروی هسته‌ای است، موازنه شده باشد. ولی به دلیل بلندبُرد بودن نیروی الکتروستاتیکی، یک پروتون تمام پروتون‌های دیگر درون هسته را دفع می‌کند، در حالی‌که یک پروتون یا یک نوترون، فقط نزدیک‌ترین نوکلئون‌های مجاور خود را با نیروی هسته‌ای جذب می‌کند. به همین دلیل وقتی تعداد پروتون‌های درون هسته افزایش یابد، اگر هسته بخواهد پایدار باقی بماند، باید تعداد نوترون‌های درون هسته نیز افزایش یابد. نمود شکل ۶-۳ نموداری از Z بر حسب N را برای عنصرهای مختلف نشان می‌دهد. هسته پایدار با بیش‌ترین تعداد پروتون ($Z = 83$)، متعلق به بیسموت (${}^{209}_{83}\text{Bi}$) است.



<p>انرژی لازم برای جداسازی نوکلئون‌های هسته را گویند، که از فرمول اینشتین قابل محاسبه است.</p> $E = mc^2$	<p>انرژی بستگی هسته</p>
<p>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 رابطه معروف اینشتین ($E = mc^2$)، در مربع تندی نور (c^2) ضرب کنیم، انرژی بستگی هسته‌ای به دست می‌آید. توجه کنید که هر چند اختلاف جرم هسته با مجموع جرم نوکلئون‌های تشکیل‌دهنده آن بسیار ناچیز است، چون در c^2 که عدد بسیار بزرگی است ضرب می‌شود، این کاستی جرم اندک، معادل انرژی قابل ملاحظه‌ای است.</p> <div data-bbox="565 606 1640 813"> </div>	<p>دلیل کاستی جرم هسته</p>
<p>وقتی یک هسته ناپایدار یا پرتوزا به طور طبیعی واپاشی می‌کند، نوع معینی از ذرات یا فوتون‌های پرانرژی آزاد می‌شود. این فرایند واپاشی، پرتوزایی طبیعی نامیده می‌شود.</p>	<p>پرتوزایی طبیعی</p>
<p>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 ورقه نازک سربی با ضخامت ناچیز (0.1 mm) متوقف می‌شوند، در حالی‌که پرتوهای β مسافت خیلی بیش‌تری را (1 mm) در سرب نفوذ می‌کنند. پرتوهای γ بیش‌ترین نفوذ را دارند و می‌توانند از ورقه‌ای سربی به ضخامت قابل ملاحظه‌ای (100 mm) بگذرند. 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.</p>	<p>مقایسه برخی انواع پرتوزایی</p>



واپاشی α : در این نوع واپاشی که در هسته‌های سنگین صورت می‌گیرد، هسته ${}^A_Z X$ با گسیل ذره α (هلیوم-۴) به هسته ${}^{A-4}_{Z-2} Y$ تبدیل می‌شود. شواهد تجربی نشان می‌دهند که پرتوهای α ، ذرات باردار مثبت از جنس هسته اتم هلیوم (${}^4_2\text{He}$) هستند و از دو پروتون و دو نوترون تشکیل شده‌اند. واپاشی α با رابطه زیر بیان می‌شود:

$${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2\text{He}$$

(واپاشی α)

ذره‌های α ، 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 آلفا را هرگز وارد بدن نشوند.

واپاشی β^- : واپاشی بتا، نخستین مورد پرتوزایی بود که در سال‌های پایانی قرن نوزدهم، توسط هانری بکرل مشاهده شد. این واپاشی، متداول‌ترین نوع واپاشی در هسته‌هاست و ذرات گسیل‌شده در این واپاشی را **ذرات بتا** می‌نامند. بررسی‌های بعدی نشان داد که این ذرات الکترون‌اند و به همین دلیل، این واپاشی را **واپاشی β^-** نامیدند. الکترون گسیل‌شده در این واپاشی، در هسته مادر وجود ندارد و همچنین یکی از الکترون‌های مداری اتم نیست؛ این الکترون وقتی به وجود می‌آید که نوترونی درون هسته، به پروتون و الکترون تبدیل شود. فرایند واپاشی β^- را با رابطه زیر بیان می‌کنند:

$${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1}e^-$$

(واپاشی β^-)

در نوعی دیگر از فرایند واپاشی بتا، ذره گسیل‌شده توسط هسته، جرم یکسان با الکترون دارد، ولی به جای بار $-e$ حامل بار $+e$ است. به این الکترون مثبت، **پوزیترون** می‌گویند و با β^+ یا e^+ نمایش داده می‌شود. در واقع آنچه در این واپاشی رخ می‌دهد این است که یکی از پروتون‌های درون هسته به یک نوترون و یک پوزیترون تبدیل می‌شود و سپس این پوزیترون از هسته گسیل می‌شود. فرایند واپاشی β^+ با رابطه زیر بیان می‌شود:

$${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_{+1}e^+$$

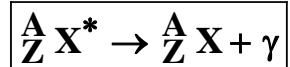
(واپاشی β^+)

واپاشی α
مورد استفاده در
آشکارساز دود

واپاشی β^-
الکترون

واپاشی β^+
پوزیترون

واپاشی γ : اغلب هسته‌ها پس از واپاشی آلفا و بتا، در حالت برانگیخته قرار می‌گیرند و با گسیل فوتون‌های پرانرژی (پرتو گاما) به حالت پایه می‌رسند. در این فرایند، A و Z تغییر نمی‌کنند؛ بلکه هسته برانگیخته که با علامت « $*$ » مشخص شده است، با گسیل پرتو گاما به حالت پایه می‌رسد. واپاشی γ با رابطه زیر بیان می‌شود.



(واپاشی γ)

مدت زمانی است که تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه پرتوزا به نصف مقدار اولیه برسد.

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

(تعداد هسته‌های پرتوزای باقی‌مانده)

که در آن n از رابطه $\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$ به دست می‌آید.

واپاشی γ
مورد استفاده
در جراحی

نیمه عمر

دکتر علیرضا بیات



پویش علمی
ماندگارالبرز



پویش جهاد علمی دبیرستان ماندگارالبرز



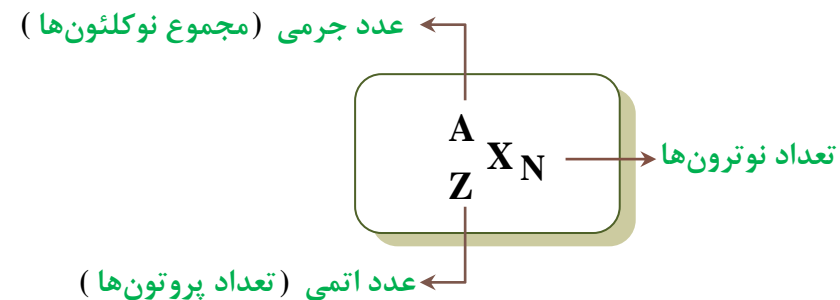
ساختار هسته

● در فیزیک هسته‌ای با ساختار، برهم‌کنش‌ها و واپاشی هسته‌های اتمی سروکار داریم.

نوکلئون :

به نوترون‌ها و پروتون‌های **هسته** می‌گویند.

نماد هسته :



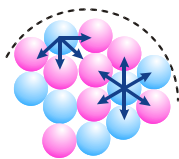
نیروی هسته‌ای :

۱- نیروی جاذبه بین نوکلئون‌های هسته است.

۲- کوتاه‌برد و بسیار قوی است.

۳- فقط بین نزدیک‌ترین نوکلئون‌های مجاور درون هسته اثر می‌کند.

۴- با افزایش نوترون‌ها، نیروی هسته‌ای بین نوکلئون‌ها زیاده‌تر و هسته‌های سنگین‌تر، پایدار می‌شوند.



پروتون
نوترون

قسمتی از هسته و نوکلئون‌های آن که به صورت طرح‌وار نشان داده شده است. هر نوکلئون فقط به نزدیک‌ترین نوکلئون‌های مجاورش نیروی هسته‌ای وارد می‌کند.

انرژی بستگی هسته‌ای و ترازهای انرژی هسته :

انرژی بستگی هسته‌ای :

● انرژی لازم برای جدا کردن نوکلئون‌های هسته است.

کاستی جرم هسته :

جرم هسته از مجموع جرم نوکلئون‌های هسته اندکی کم‌تر است و این اختلاف جرم هسته را کاستی جرم هسته می‌نامند.



ترازهای انرژی هسته :

۱- انرژی نوکلئون‌های هسته کوانتیده است.

۲- اختلاف ترازهای انرژی هسته‌ها از keV تا MeV است.

دکتر علیرضا بیات



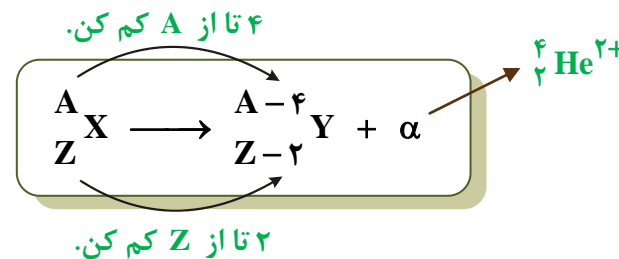
پویش علمی
ماندگارالبرز

پرتوزایی طبیعی :

وقتی یک هسته ناپایدار یا پرتوزا به‌طور طبیعی (خودبه‌خود) واپاشی می‌کند، نوع معینی از ذرات یا فوتون‌های پرانرژی آزاد می‌شوند. این فرایند واپاشی را پرتوزایی طبیعی می‌گویند.



واپاشی α :



● هسته ۲ تا نوترون و ۲ تا پروتون از دست می‌دهد.

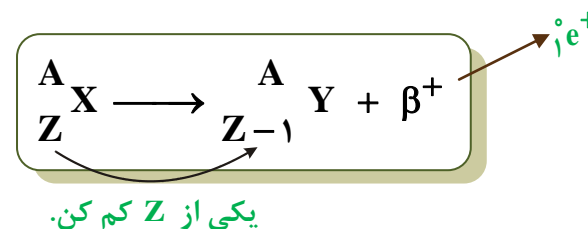
● ذره‌های α سنگین هستند و بار مثبت دارند و برد آن‌ها کوتاه است و قدرت نفوذ حدود 0.01mm در سرب دارند.



واپاشی β :

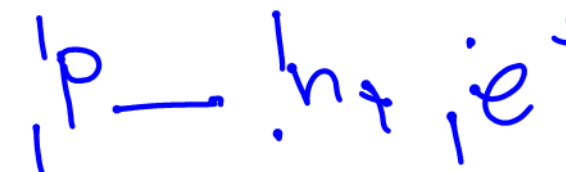
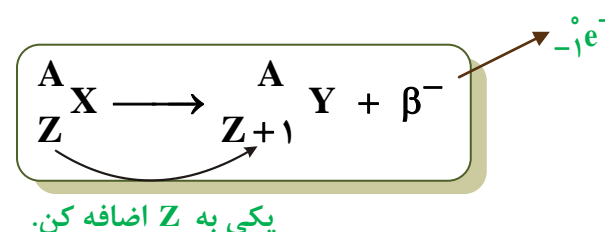
واپاشی $(\beta^+)(e^+)$:

● یک نوترون هسته تبدیل می‌شود به یک پروتون و یک الکترون.



واپاشی $(\beta^-)(e^-)$:

● یک پروتون هسته تبدیل به یک نوترون و یک پوزیترون می‌شود.



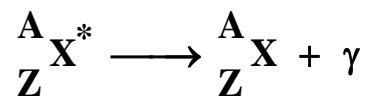
● ذرات β سبک هستند و تا 1mm در سرب نفوذ می‌کنند.

واپاشی γ :

دکتر علیرضا بیات



پویش علمی
ماندگارالبرز



● واپاشی γ وقتی رخ می‌دهد که هسته‌ای برانگیخته شده باشد.

● پرتو γ در میدان مغناطیسی منحرف نمی‌شود.

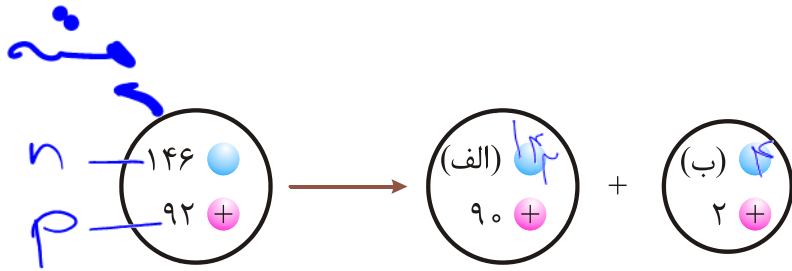
🕌 **تذکر:** ترتیب نفوذپذیری پرتوها در ورقه سربی



$$\gamma > \beta > \alpha$$



۷۹: شکل زیر واپاشی آلفا، برای اورانیوم ۲۳۸ را نشان می‌دهد. در شکل زیر به جای (الف) و (ب) عددی مناسب قرار دهید.



۸۰: هر یک از موارد ستون اول به یک مورد از ستون دوم مرتبط است. آن‌ها را مشخص کنید و در پاسخ‌برگ بنویسید.

ستون اول	ستون دوم
الف) شکستن سنگ‌های کلیه با دستگاه لیتوتریپسی	۱- تداخل
ب) تشکیل نوارهای تاریک و روشن در آزمایشگاه ینگ	۲- افزایش
پ) تغییر بسامد حاصل از ریختن آب در داخل لیوان	۳- بازتاب امواج الکترومغناطیسی
ت) عبور موج از یک شکاف با پهنایی از مرتبه طول موج	۴- کاهش
ث) اختلاف بین ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته اتم از این مرتبه است.	۵- پراش
ج) این پرتو بیش‌ترین نفوذ را دارد و از ورقه‌های سربی به ضخامت تقریباً ۱۰۰mm می‌گذرد.	۶- بازتاب امواج مکانیکی
چ) یکی از کاربردهای گسترده این واپاشی در آشکارسازی دود است.	۷- α
	۸- Mev
	۹- ev
	۱۰- β
	۱۱- γ



۸۱: الف) واکنش هسته‌ای که منشأ تولید انرژی در ستارگان است، چه نام دارد؟

ب) چرا هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند؟

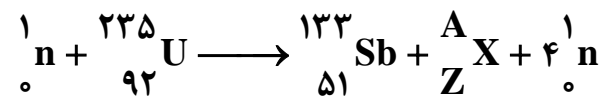
۸۲: به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

الف) از منظر کدام نیرو تفاوتی بین پروتون و نوترون درون یک هسته وجود ندارد؟

ب) اختلاف جرم هسته با مجموع جرم نوکلئون‌های تشکیل‌دهنده آن چه نام دارد؟



۸۳: یکی از واکنش‌های ممکن در شکافت $^{235}_{92}\text{U}$ داده شده است. در این واکنش عدد اتمی Z و عدد جرمی A را تعیین کنید.

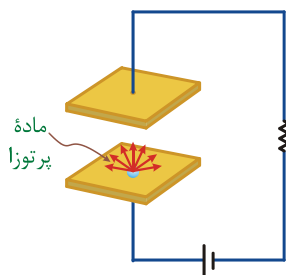


$$235 = 133 + A + 4$$

$$92 = 51 + Z$$

۸۴: بخش اصلی مدار یک آشکارساز دود، مطابق شکل روبه‌رو است.

معادله واپاشی ذره گسیل‌شده توسط ماده پرتوزا را بنویسید.



نیمه عمر:

دکتر علیرضا بیات



پویش علمی
ماندگارالبرز

مدت زمانی است که تعداد هسته‌های مادر در یک نمونه پرتوزا نصف شود.

روابط نیمه عمر:

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

تعداد هسته‌های اولیه

تعداد هسته‌های باقی‌مانده

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

تعداد نیمه عمرها

زمان سپری شده

زمان نیمه عمر

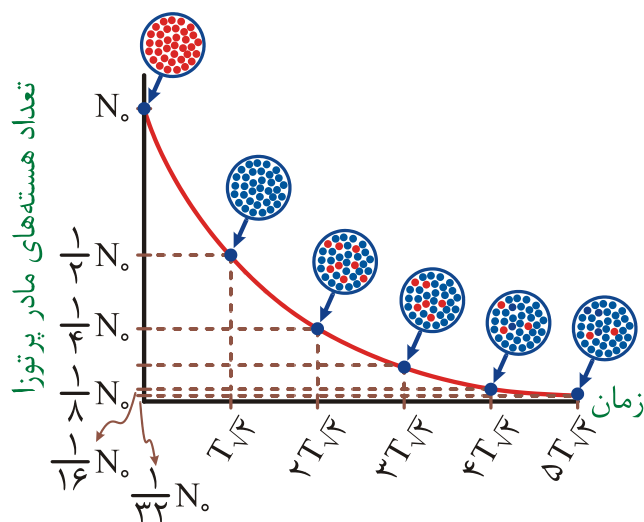


♦ تعداد هسته‌های باقی‌مانده

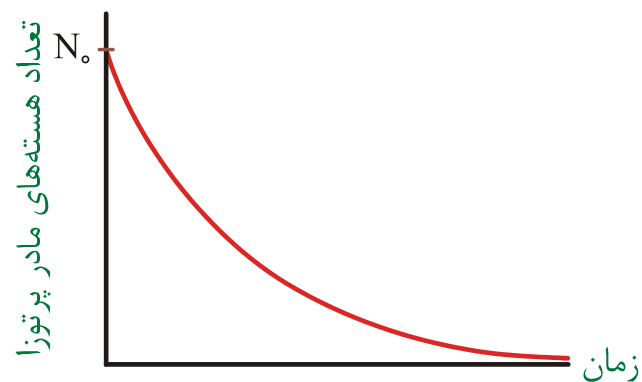
$$N = N_0 \xrightarrow{\text{یک نیمه عمر}} N = \frac{N_0}{2} \xrightarrow{\text{یک نیمه عمر}} N = \frac{N_0}{4} \xrightarrow{\text{یک نیمه عمر}} N = \frac{N_0}{8} \xrightarrow{\text{یک نیمه عمر}} \dots$$



$$N' = N_0 - N$$



(ب)



(الف)

با گذشت هر نیمه‌عمر، نیمی از هسته‌های مادر پرتوزای باقی‌مانده دایره‌های قرمز واپاشی می‌کنند.



۸۵: در نمونه‌ای از عنصر بیسموت (^{212}Bi) پس از گذشت ۵ ساعت، $\frac{1}{32}$ از ماده اولیه باقی می‌ماند. نیمه عمر این نمونه از عنصر بیسموت چند ساعت است؟

$$N = \frac{N_0}{2^n} \rightarrow \frac{1}{32} N_0 = \frac{N_0}{2^n} \quad n = 5 = \frac{t}{T}$$

$$T = 1\text{h}$$

۸۶: نیمه عمر یک ماده پرتوزا برابر با ۱۰ روز است. پس از گذشت چند روز $\frac{63}{64}$ از این ماده متلاشی می‌شود؟

۸۷: شکل روبه‌رو نمودار تغییرات تعداد هسته‌های مادر پرتوزای یک نمونه را بر حسب زمان نشان می‌دهد. نیمه عمر این نمونه چند روز است؟





۸۸: پس از گذشت ۲۰ روز، تعداد هسته‌های پرتوزای یک نمونه، به $\frac{1}{32}$ تعداد موجود در آغاز کاهش یافته است. نیمه‌عمر ماده چند روز است؟



پرسش



۸۹: پس از گذشت ۸ ساعت تعداد هسته‌های پرتوزای یک نمونه به $\frac{1}{16}$ تعداد موجود در آغاز کاهش یافته است. نیمه‌عمر ماده (بر حسب ساعت) چقدر است؟



پرسش

۹۰: پس از گذشت ۲۴ روز، تعداد هسته‌های پرتوزای یک ماده به $\frac{1}{64}$ تعداد موجود در آغاز کاهش یافته است. نیمه‌عمر این ماده چند روز است؟

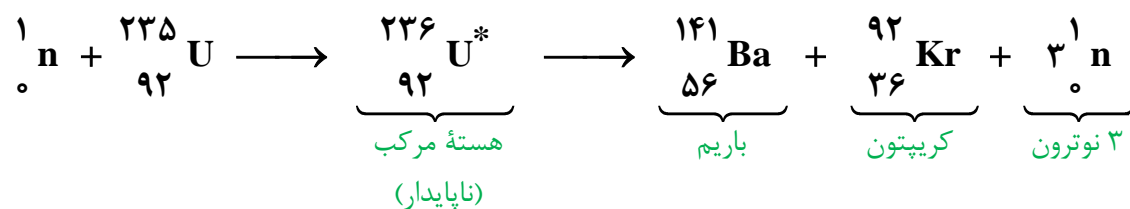


پرسش

شکافت هسته‌ای:

فرایند تقسیم شدن یک هسته سنگین به دو هسته با جرم کم‌تر، **شکافت هسته‌ای** نامیده می‌شود.

فرایند شکافت $^{235}_{92}\text{U}$:



غنی‌سازی اورانیوم:

به فرایند افزایش درصد یا غلظت ایزوتوپ ^{235}U ، در یک نمونه، غنی‌سازی گفته می‌شود.

دکتر علیرضا بیات



پویش علمی
ماندگارالبرز



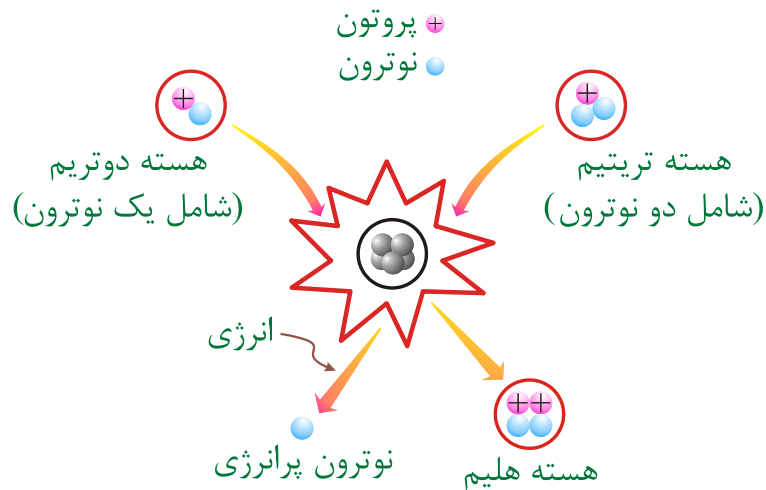
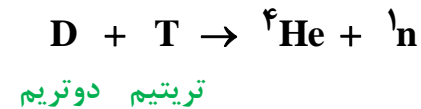


راکتورهای شکافت هسته‌ای :

- ۱- از راکتورها در امور تحقیقاتی و تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه‌های هسته‌ای استفاده می‌شود.
- ۲- برای کُند کردن نوترون‌های سریع و ایجاد واکنش شکافت، از مواد کُندساز مانند آب معمولی (H_2O)، آب سنگین (D_2O) و گرافیت (اتم‌های کربن) استفاده می‌شود.
- ۳- برای کنترل آهنگ واکنش شکافت از میله‌های کنترل که جذب‌کننده نوترون هستند، مانند کادمیوم و بور استفاده می‌شود.

گداخت (همجوشی) هسته‌ای :

- ۱- در گداخت، دو هسته سبک با یکدیگر ترکیب می‌شوند و هسته سنگین‌تری به‌وجود می‌آورند.



- ۲- در گداخت هسته‌ای انرژی بسیار زیادی آزاد می‌شود.

- ۳- در مرکز خورشید و ستارگان، گداخت هسته‌ای انجام می‌شود.