وزارت آموزش و پرورش
سازمان ملّی پرورش استعدادهای درخشان

به نام خدا

سومین کارسوق فراگیر فناوری هسته ای
سازمان ملی پرورش استعدادهای درخشان
اداره کل آموزش و پرورش استان بوشهر

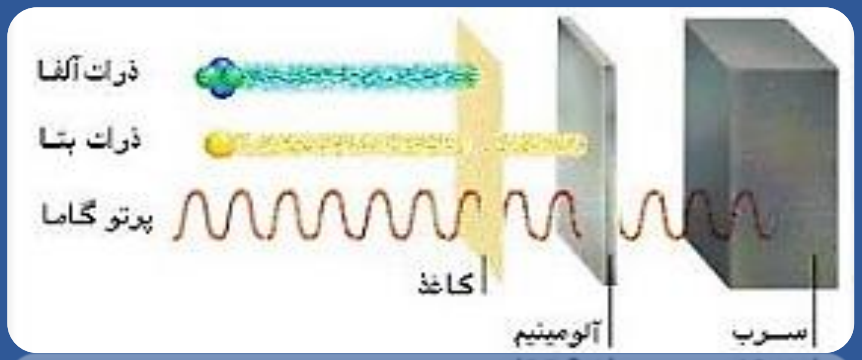
جلسه سوم:

مبانی فیزیک هسته ای ۲

پاییز ۱۴۰۴

پرتوزایی و نیمه عمر

- وقتی یک هسته ناپایدار با پرتوزایی طبیعی واپاشی می‌کند، نوع معینی از ذرات یا فوتون‌های پر انرژی آزاد می‌شوند. این فرآیند واپاشی، پرتوزایی طبیعی نامیده می‌شود.
- در پرتوزایی طبیعی سه نوع پرتو ایجاد می‌شود: پرتو آلفا، پرتو بتا و پرتو گاما
- پرتوهای آلفا کمترین نفوذ را دارند و با ورقه نازک سربی با ضخامت ناچیز ($\approx 0/01\ mm$) متوقف می‌شود،
- پرتوهای بتا مسافت خیلی بیشتری را ($\approx 0/1mm$) در سرب نفوذ می‌کنند.
- پرتوهای گاما بیشترین نفوذ را دارند و می‌توانند از ورقه‌ای سربی به ضخامت قابل ملاحظه‌ای ($\approx 100mm$) بگذرند.

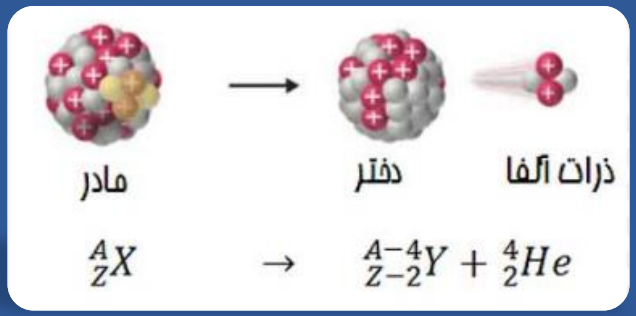


- در تمام فرایندهای واپاشی پرتوزا تعداد نوکلئون‌ها، پیش از فرآیند با تعداد نوکلئون‌ها پس از فرآیند مساوی است.

واپاشی آلفازا

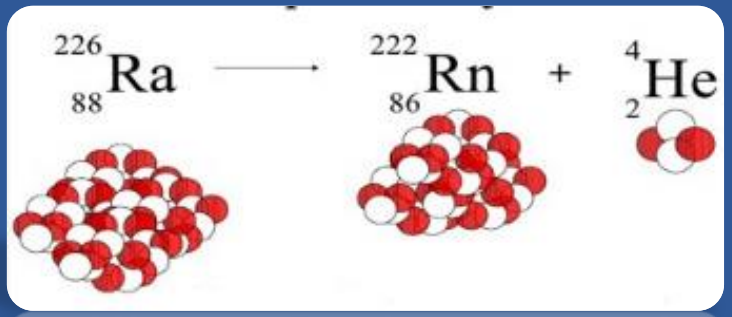
- ✓ این نوع واپاشی در هسته‌های سنگین صورت می‌گیرد.
- ✓ پرتوهای آلفا، ذرات باردار مثبت از جنس هسته اتم هلیم هستند و از دو پروتون و دو نوترون تشکیل شده‌اند.

معادله واپاشی الفازا به صورت زیر است:



- ✓ در واپاشی آلفازا چهار واحد از عدد جرمی (A) و دو واحد از عدد اتمی (Z) کم می‌شود.

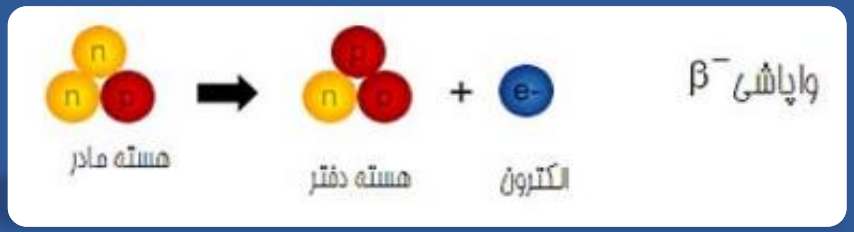
مثال:



- ✓ ذره‌های آلفا سنگین‌اند و بار مثبت دارند. برد این ذره‌ها کوتاه است.
- ✓ این ذرات پس از طی مسافت کوتاهی در هوا 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.

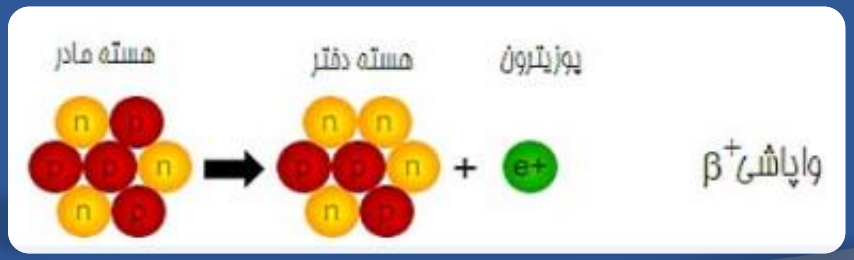
واپاشی بتازا

- این واپاشی متداولترین نوع واپاشی در هسته‌هاست. ذرات گسیل شده در این واپاشی را ذرات بتا (β) می‌نامند.
  - واپاشی β به دو نوع تقسیم می‌شود: β^- و β^+
  - β^- همان الکترون است و β^+ ذره‌ای به نام پوزیترون(الکترون مثبت) است که تمام ویژگی‌های الکترون را دارد اما بار آن مثبت است.
  - در واپاشی بتازای منفی یکی از نوترون‌ها به پروتون و الکترون تبدیل می‌شود.



واپاشی β^- $\quad {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e^{-}$

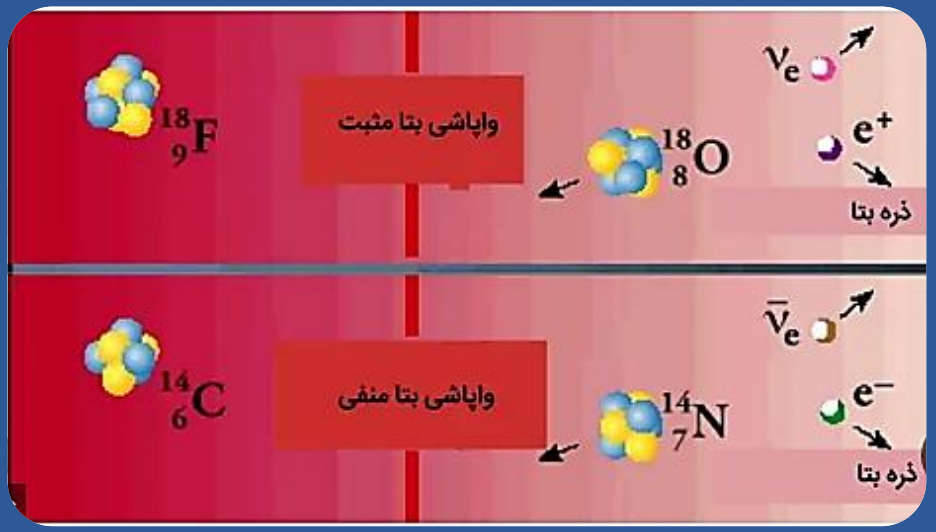
- **الکترون گسیل شده در این واپاشی، در هسته مادر وجود ندارد و همچنین از الکترون‌های مداری اتم نیست.**
  - در واپاشی بتازای مثبت یکی از پروتون‌ها به نوترون و پوزیترون تبدیل می‌شود.



واپاشی β^+ $\quad {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{1}e^{+}$

- در واپاشی بتازا عدد جرمی هسته مادر و دختر تغییر نمی‌کند اما عدد اتمی هسته دختر یک واحد کم یا زیاد می‌شود.

- **مثال‌هایی از واپاشی بتا منفی و بتا مثبت**

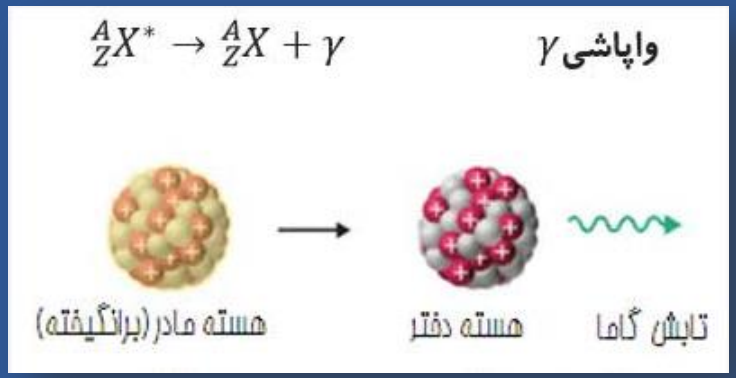


- همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود در واپاشی (β^+) ذره‌ای دیگر به‌نام نوترینو (υ) و همچنین در واپاشی (β^-) ذره‌ای دیگر به‌نام پادنوترینو($\bar{\upsilon}$) به وجود می آید.

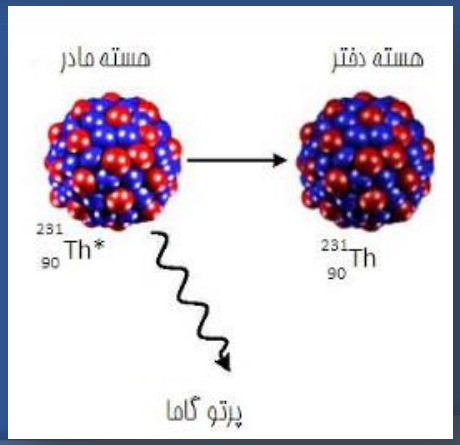
- برای سادگی در معادلات از نوترینو و پاد نوترینو صرف نظر می کنیم.

واپاشی گامازا

- ✓ اغلب هسته‌ها پس از واپاشی آلفا یا بتا، در حالت برانگیخته قرار می‌گیرند و با گسیل فوتون‌های پر انرژی به حالت پایه می‌رسند.
- ✓ **در واپاشی گامازا عدد جرمی (A) و عدد اتمی(Z)تغییر نمی‌کنند فقط هسته برانگیخته با گسیل پرتو گاما به حالت پایه می‌رسد. معادله واپاشی گامازا به صورت زیر است:**

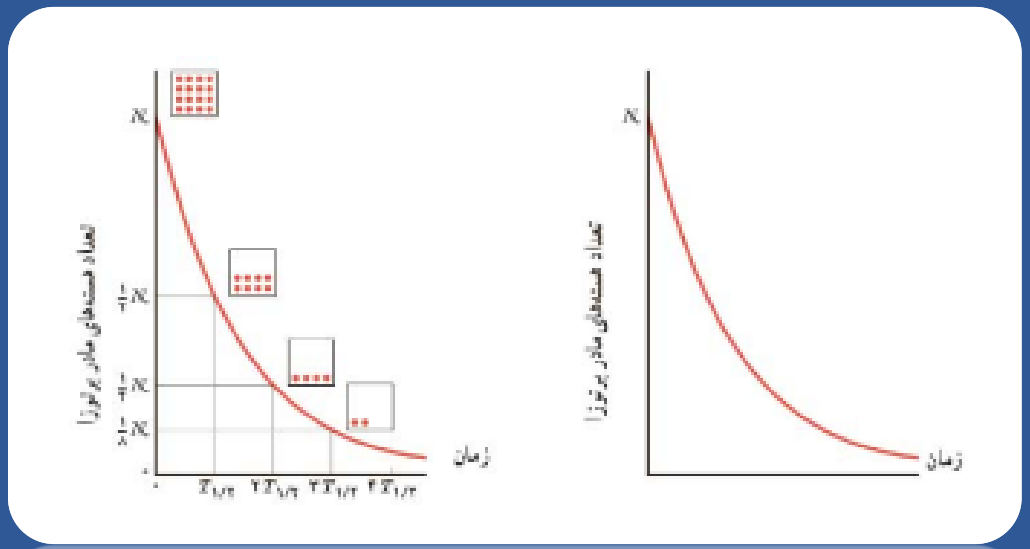


- ✓ **مثالی از واپاشی گامازا:**



نیمه عمر

- ایزوتوپ‌های پرتوزا با گذشت زمان واپاشیده می‌شوند. برای یک نمونه از یک ماده پرتوزا، بر اساس داده‌های تجربی می‌توان بیان کرد که در پایان زمان معینی، چه کسری از ماده پرتوزا وامی‌پاشد.
- نمودار تغییرات تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه پرتوزا بر حسب زمان به‌صورت زیر است همانطور که در شکل دیده می‌شود، پس از گذشت زمان کافی، تعداد هسته‌های مادر موجود در نمونه، به صفر میل می‌کند.



$N(t)$ = مقدار ماده بعد از گذشت زمان t

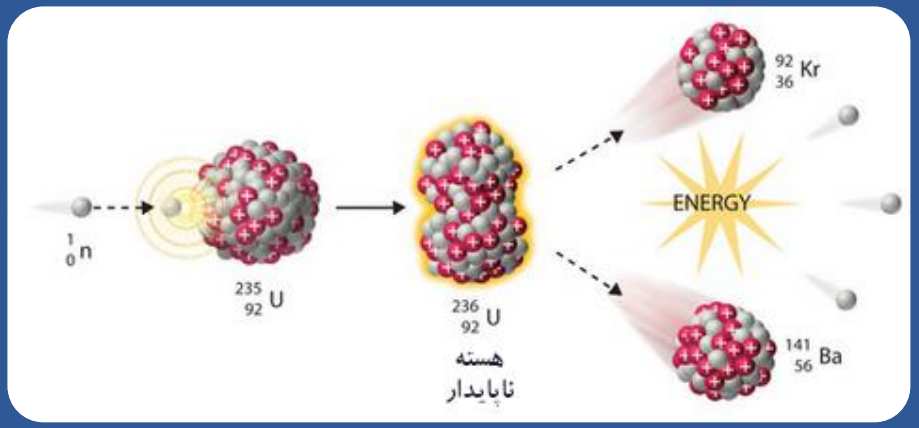
N_0 = مقدار اولیه ماده

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

- نیمه عمر مدت زمانی است که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه به نصف برسد.
- برخی ایزوتوپ‌ها مانند اورانیوم ۲۳۸، دارای نیمه عمری در حدود سن زمین (۴/۵ میلیارد سال) هستند.

شکافت هسته ای

- فرایند تقسیم شدن یک هسته سنگین به دو هسته با جرم کمتر شکافت هسته‌ای نامیده می‌شود.
- شکل زیر یکی از واکنش‌های شکافت است که در آن هسته اورانیم $^{235}_{92}U$ پس از جذب نوترون و تبدیل به ایزوتوپ ناپایدار $^{236}_{92}U$، به هسته‌های باریم و کریپتون تقسیم شده است.

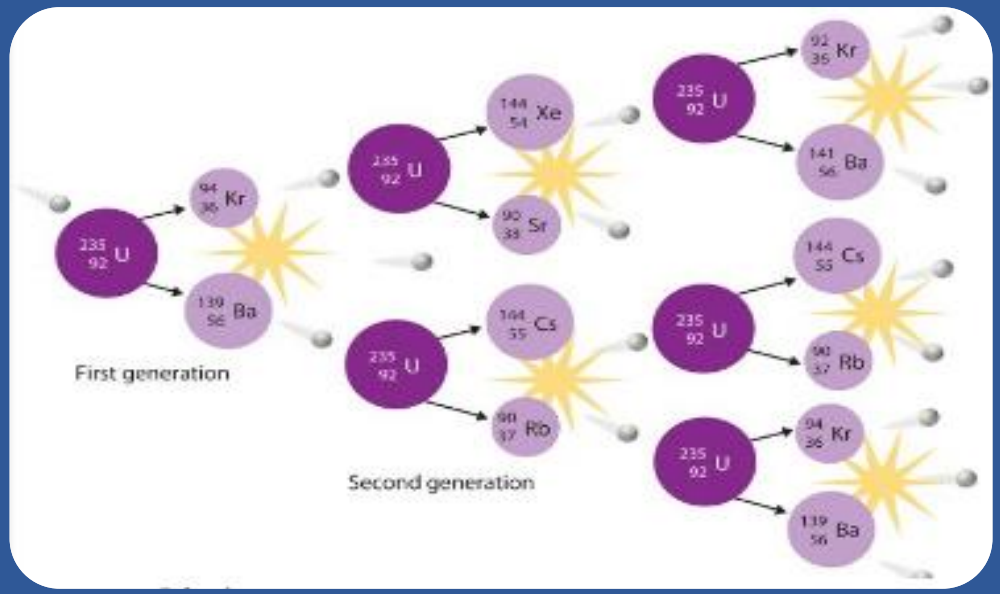


$$^{1}_{0}n + ^{235}_{92}U \rightarrow \underbrace{^{236}_{92}U^{*}}_{\text{هستهٔ مرکّب (ناپایدار)}} \rightarrow \underbrace{^{141}_{56}Ba}_{\text{باریم}} + \underbrace{^{92}_{36}Kr}_{\text{کریپتون}} + \underbrace{3\,^{1}_{0}n}_{\text{سه نوترون}}$$

- 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 دافعه الکتروستاتیکی بین پروتون‌های هسته متوازن شود. در این هنگام، هسته به پاره‌هایی وامی‌پاشد که حامل انرژی (به طور عمده انرژی جنبشی) هستند.

شکافت هسته ای

- ✓ فرایند شکافت با جذب یک نوترون کند آغاز می‌شود. چون نوترون‌ها بار الکتریکی ندارند، هسته‌های دیگر آنها را دفع نمی‌کنند. نوترون‌ها پس از کند شدن، توسط هسته‌های دیگر جذب می‌شوند و باعث شکافت در هسته‌های اورانیوم دیگر می‌شوند و نوترون‌ها را آزاد می‌کنند و به همین ترتیب تا آخر.



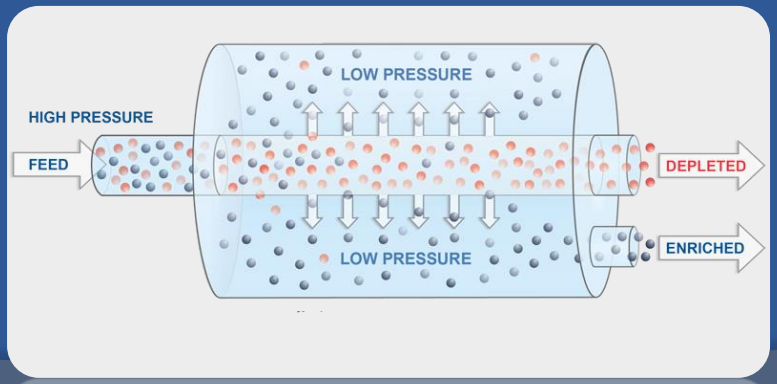
- ✓ در واکنش‌های شکافت هسته‌ایی انرژی گرمایی زیادی آزاد می‌شود. در هر واکنش شکافت حدود ۲۰۰ MeV انرزی آزاد می‌شود حال آن‌که در انفجار (TNT) انرژی آزاد شده به ازای هر مولکول در حدود ۳۰ eV است.

غنی سازی اورانیوم

- به فرآیند افزایش غلظت ایزوتوپ ۲۳۵ اورانیوم در یک نمونه، غنی سازی گفته می شود.
- دو ایزوتوپ $^{235}_{92}U$ و $^{238}_{92}U$ را نمی توان از طریق واکنش های شیمیایی جداسازی کرد.

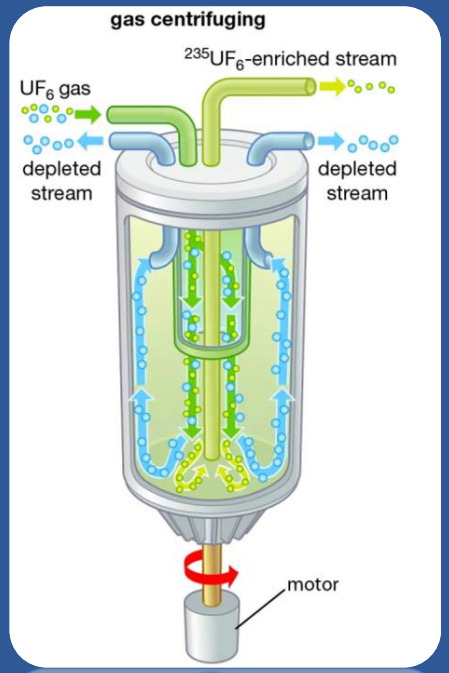
روش های غنی سازی
- فرآیند پخش
- سانتریفیوژ گازی
- جداسازی لیزری

فرآیند پخش



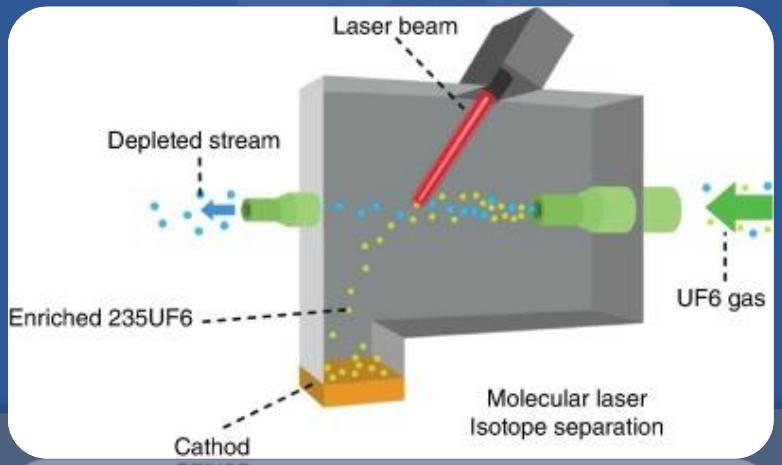
- ✓ این روش در دهه ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ میلادی توسعه یافت و در آن هگزافلوراید اورانیوم به صورت گاز از یک غشای نازکی عبور داده می‌شود.
- ✓ مولکول‌های سبک‌تر اورانیوم-۲۳۵ راحت‌تر از این غشا عبور می‌کنند و بدین ترتیب جداسازی صورت می‌گیرد.

سانتریفیوژ گازی



- در این فرآیند، اورانیوم به صورت گاز هگزافلوراید اورانیوم تبدیل می‌شود و در یک سانتریفیوژ بسیار سریع چرخان قرار می‌گیرد. نیروی گریز از مرکز مولکول‌های سنگین‌تر اورانیوم-۲۳۸ را به سمت دیواره‌های سانتریفیوژ می‌فرستد و مولکول‌های سبک‌تر اورانیوم۲۳۵ به مرکز نزدیک‌تر می‌شوند.

جداسازی لیزری



- لیزرها اتم‌های اورانیوم-۲۳۵ را به صورت انتخابی تحریک می‌کنند و باعث می‌شوند این اتم‌ها از اورانیوم-۲۳۸ جدا شوند.

حوادث هسته ای

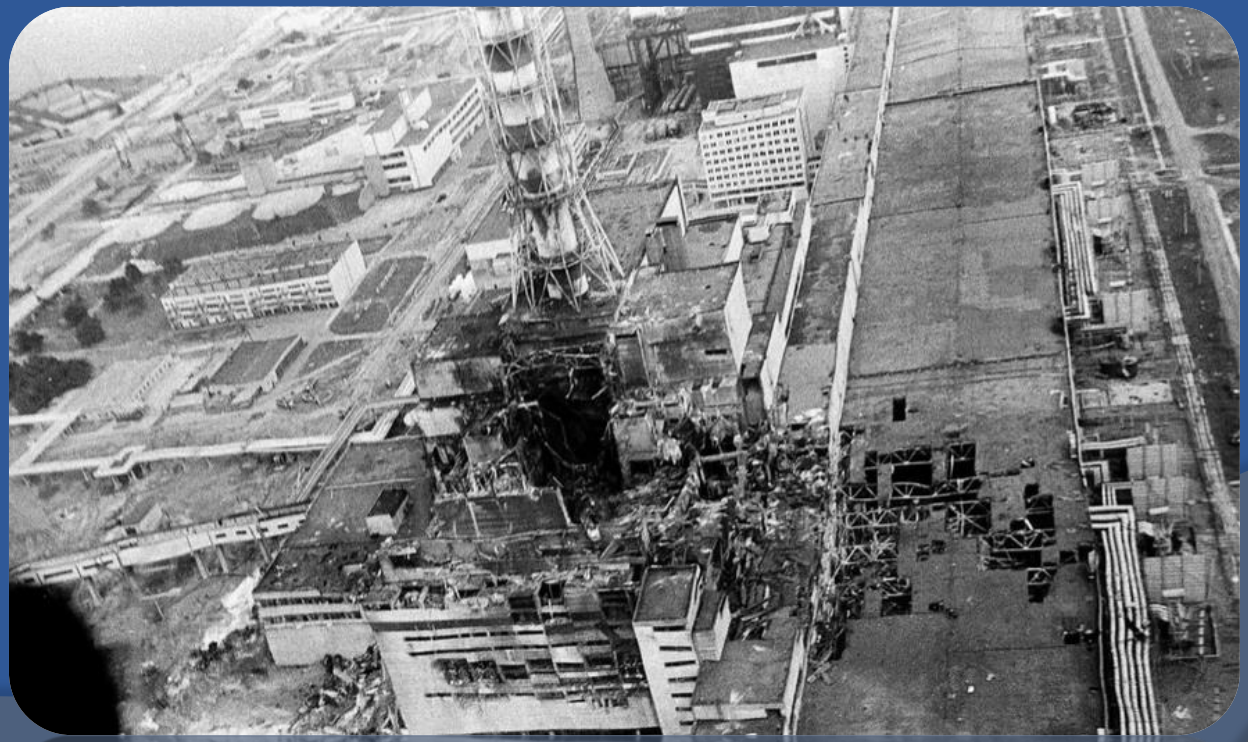
تری مایل آیلند(۱۹۷۹)

- **علت : شکستگی دو شیر آب تامین کننده خنک کننده رآکتور**
  - از کار افتادن خنک کننده های هسته رآکتور منجر به افزایش دما و نهایتا انفجار شیمیایی هیدروژن داخل در رآکتور نیروگاه شد.
  - به دنبال این حادثه ۵۵ درصد میله های سوختی ذوب شد اما مواد ذوب شده نتوانستند به مخزن فولادی رآکتور نفوذ کنند

حوادث هسته ای

فاجعه چرنوبیل(۱۹۸۶)

- **علت : تست سیستم خنک کننده اضطراری رآکتور شماره ۴ موجب ایجاد واکنش های کنترل نشده و نهایت انفجار راکتور شد.**
  - **سیستم‌های ایمنی خودکار، پیش از آزمایش غیرفعال شده بودند.**
  - تعداد جان باختگان این فاجعه نزدیک ۱۲۵۰۰۰ نفر برآورد شده است



حوادث هسته ای

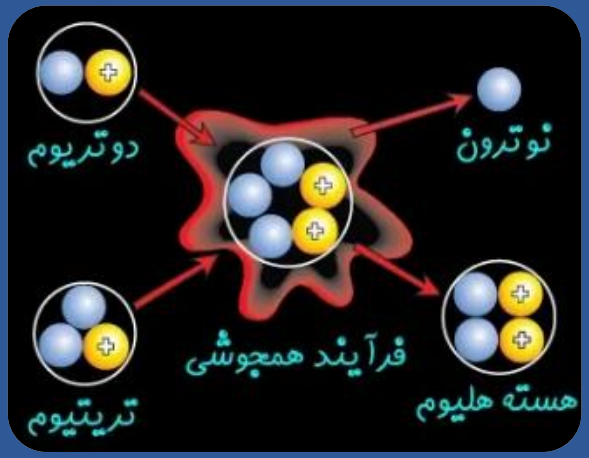
فوکوشیما(۲۰۱۱)

- **علت : وقوع زلزله و سونامی و غرق شدن محوطه نیروگاه در آب**
  - در رآکتورهای ۱ و ۲ و ۳ سوخت هسته‌ای ذوب شده و روکش فلزی بالای ساختمان رآکتورهای ۱ و ۳ و ۴ در اثر انفجار هیدروژن از بین رفت.
  - افزایش بسیار زیاد دمای میله های سوخت رآکتور شماره ۴

گداخت هسته ای

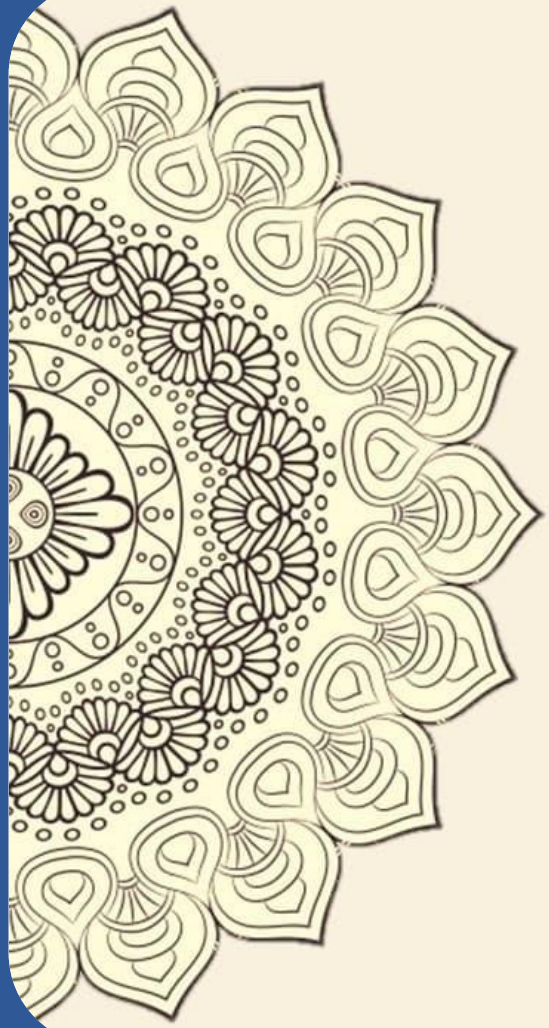
- یک نوع دیگر واکنش هسته‌ای که منشا تولید انرژی در ستارگان و از جمله خورشید است.
- در فرایند گداخت هسته‌ای، دو هسته سبک با یکدیگر ترکیب می‌شوند و هسته سنگین‌تری به‌وجود می‌آورند.
- **مثالی از یک واکنش گداخت:**

در این واکنش با همجوشی هسته‌ای دوتریم و تریتیم، هسته هلیم و یک نوترون پرانرژی تولید می‌شود.



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

- در واکنش‌های گداخت، مقدار بسیار زیادی انرژی آزاد می‌شود بنابراین ساخت راکتورهای گداخت مورد توجه زیادی است.



با تشکر از توجه شما