

اهداف آموزشی:

1. پایداری هسته ها
2. انرژی بسته گی هسته
3. سطوح انرژی یا تر از های انرژی هسته
4. رادیواکتیو طبیعی
5. متلاشی شدن همراه با خروج اشعه الف
6. متلاشی شدن همراه با خروج اشعه بیتا
7. متلاشی شدن اشعه گاما

1. پایداری هسته ها

پایداری هسته ها (Stability of Nuclei)

مقدمه:

اتمها از هسته و الکترونها تشکیل شدهاند. در داخل هسته، پروتونها (با بار مثبت) و نیوترونها (بدون بار) وجود دارند. چون پروتونها همگی دارای بار مثبتاند، میان آنها نیروی دافعه قوی الکتریکی وجود دارد. اما با وجود این دافعه، هسته از هم نمی پاشد. پرسش این است که:

چرا بعضی از هستهها پایدار اند و بعضی ناپایدار؟

تعریف پایداری هسته:

پایداری هسته به این معنی است که ذرات تشکیل دهنده هسته (پروتونها و نیوترونها) بدون تجزیه یا تابش، در کنار هم باقی بمانند. اگر هسته در گذر زمان بدون تغییر باقی بماند، آن را هسته پایدار می گویند. اما اگر با گذشت زمان تغییر کند و ذراتی را تابش دهد، آن را هسته ناپایدار (رادیواکتیف) می گویند.

عوامل مؤثر بر پایداری هسته:

1. نسبت نیوترون به پروتون (N/Z)

پایداری هسته بستگی به نسبت تعداد نیوترونها (N) به تعداد پروتونها (Z) دارد.

- برای عناصر سبک، این نسبت تقریباً 1 است.
  - برای عناصر سنگین تر، این نسبت تا حدود 1,5 افزایش می یابد.
- اگر این نسبت خیلی زیاد یا خیلی کم باشد، هسته ناپایدار می شود و تابش می دهد تا به حالت پایدار برسد.

2. نیروی قوی هسته ای

بین پروتونها و نیوترونها در فاصله های بسیار کوچک، نیرویی به نام نیروی قوی هسته ای وجود دارد. این نیرو:

- بسیار قوی تر از نیروی دافعه الکتریکی است،
  - ولی فقط در فاصله های خیلی کوچک (حدود 10-15 تا  $10^{-15}$  متر) عمل می کند.
- این نیرو ذرات هسته را در کنار هم نگه می دارد و باعث پایداری آن می شود.

3. انرژی بستگی (Binding Energy)

برای نگهداری ذرات هسته در کنار هم، مقدار معینی انرژی لازم است که به آن انرژی بستگی گفته می شود.

هرقدر انرژی بستگی زیادتر باشد، هسته پایدارتر است.

انرژی بستگی از تفاوت بین جرم مجموع ذرات و جرم واقعی هسته به دست می آید:

$$E_b = \Delta mc^2$$

که در آن:

- $\Delta m$ : تفاوت جرم (Defect Mass)
- $c$ : سرعت نور در خلأ ( $3 \times 10^8$  m/s)

هسته های ناپایدار:

اگر هسته ای نسبت نادرست N/Z داشته باشد یا انرژی بستگی کمی داشته باشد، ناپایدار می شود و به طور طبیعی تجزیه یا تابش می کند تا به حالت پایدار برسد. این فرایند را رادیواکتیویته (Radioactivity) می گویند.

نمونه ها:

- هسته های پایدار: مثل کربن-12، اکسیجن-16، آهن-56
- هسته های ناپایدار: مثل رادیوم-226، یورانیم-238، کربن-14

نتیجه:

پایداری هسته وابسته به تعادل میان نیروی قوی هسته ای و نیروی دافعه الکتریکی پروتونها است. اگر این تعادل حفظ شود، هسته پایدار می ماند؛ در غیر آن، ناپایدار شده و به صورت طبیعی تجزیه می شود

### ◊ پدیده نقص جرم: (Mass Defect)

اگر مجموع جرم پروتون‌ها و نیوترون‌های آزاد را محاسبه کنیم و با جرم واقعی هسته مقایسه کنیم، می‌بینیم که:

جرم هسته < مجموع جرم نوکلئون‌ها \text{جرم هسته} < \text{مجموع جرم نوکلئون‌ها} \text{جرم هسته} < مجموع جرم نوکلئون‌ها

این اختلاف جرم را **نقص جرم (Mass Defect)** می‌گویند و با نماد  $\Delta m$  نشان می‌دهند.

### ◊ علت نقص جرم:

بخشی از جرم نوکلئون‌ها در هنگام تشکیل هسته به انرژی بستگی تبدیل می‌شود. این انرژی، ذرات هسته را در کنار هم نگه می‌دارد و از جدا شدن آن‌ها جلوگیری می‌کند.

### ◊ رابطه میان انرژی بستگی و نقص جرم:

طبق معادله مشهور آینشتاین:

$$E = \Delta mc^2$$

انرژی بستگی به ازای هر نوکلئون:

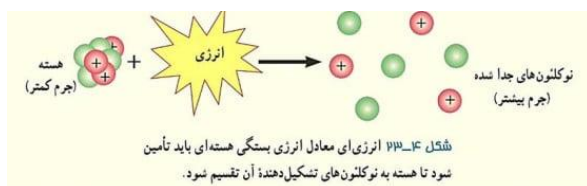
که در آن:

- $E$ : انرژی بستگی (ژول یا MeV)
- $\Delta m$ : نقص جرم (کیلوگرم یا amu)
- $c$ : سرعت نور در خلا ( $3 \times 10^8$  m/s)

برای مقایسه پایداری هسته‌ها، معمولاً انرژی بستگی هر نوکلئون محاسبه می‌شود:

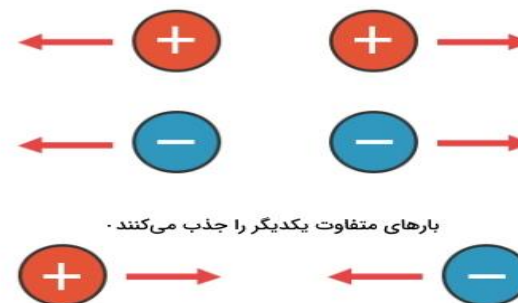
$$\frac{E}{A} = E_{b/n}$$

که در آن  $A$  تعداد کل نوکلئون‌ها (عدد جرمی) است. هر قدر  $E_{b/n}$  زیادتر باشد، هسته پایدارتر است.



برهمکنش بین ذره‌های باردار

بارهای مشابه یکدیگر را دفع می‌کنند.



### ● 2- انرژی بستگی هسته

### ✳️ انرژی بستگی هسته (Binding Energy of the Nucleus)

#### ◊ مقدمه:

هسته اتم از پروتون‌ها و نیوترون‌ها تشکیل شده است که به آن‌ها **نوکلئون‌ها (Nucleons)** گفته می‌شود. پروتون‌ها دارای بار مثبت‌اند و میان آن‌ها نیروی دافعه الکتریکی وجود دارد، ولی با وجود این، هسته از هم نمی‌پاشد. سؤال این است که چه نیروی سبب می‌شود ذرات در کنار هم باقی بمانند؟ پاسخ این است که میان نوکلئون‌ها **نیروی قوی هسته‌ای** وجود دارد که آن‌ها را به هم پیوند می‌دهد. برای نگهداری این ذرات، انرژی خاصی لازم است که آن را **انرژی بستگی هسته** می‌نامند.

#### ◊ تعریف انرژی بستگی هسته:

انرژی بستگی هسته عبارت است از مقدار انرژی‌ای که باید به هسته داده شود تا تمام پروتون‌ها و نیوترون‌های آن از هم جدا شوند.

یا به عبارت دیگر:

انرژی بستگی همان انرژی است که هنگام تشکیل هسته از به هم پیوستن نوکلئون‌ها آزاد می‌شود.

### 3: - سطوح انرژی یا ترازهای انرژی هسته

#### • سطوح انرژی یا ترازهای انرژی هسته

##### ◊ مقدمه:

همان گونه که در اتمها الکترونها در ترازهای انرژی معین قرار دارند، در داخل هسته اتم نیز نوکلئونها (پروتونها و نیوترونها) در ترازهای معین انرژی جای می گیرند. این ترازها نشان دهنده میزان انرژی ذرات در داخل هسته می باشند و به آنها سطوح انرژی هسته گفته می شود.

##### ◊ تعریف:

سطوح انرژی هسته عبارت از مقادیر معینی از انرژی اند که نوکلئونها (پروتونها و نیوترونها) می توانند در داخل هسته داشته باشند. نوکلئونها فقط در این سطوح مشخص قرار می گیرند و نه در بین آنها.

##### ◊ ویژگی های سطوح انرژی:

1. سطوح انرژی هسته گسسته (Discrete) هستند، یعنی فقط مقادیر معین انرژی مجاز است.
2. پایین ترین سطح انرژی، سطح پایه (Ground State) نام دارد.
3. سطوح بالاتر از آن را حالت های برانگیخته (Excited States) می گویند.
4. اگر هسته در حالت برانگیخته قرار گیرد، پس از مدتی با تابش انرژی (معمولاً به صورت اشعه گاما  $\gamma$ ) به حالت پایدار بازمی گردد.

##### ◊ توضیح فیزیکی:

نوکلئونها در هسته مانند الکترونها در اتم، نمی توانند هر مقدار انرژی را داشته باشند. آنها فقط می توانند در سطوحی جای گیرند که انرژی آنها با ساختار هسته سازگار باشد. وقتی هسته انرژی جذب کند (مثلاً از برخورد ذره ای دیگر)، یکی از نوکلئونها به سطح انرژی بالاتر منتقل می شود. اما این حالت ناپایدار است و نوکلئون دوباره به سطح پایین تر باز می گردد و فوتون گاما آزاد می کند.

##### ◊ مثال:

در هسته نیتروجن-14 ( $N^{14}$ )، نوکلئونها در چند تراز انرژی قرار دارند. اگر یکی از نوکلئونها به تراز بالاتر برود، هسته در حالت برانگیخته قرار می گیرد. وقتی دوباره به حالت عادی (پایه) بازگردد، تابش گاما تولید می شود.

##### ◊ نمودار سطوح انرژی:

در کتاب معمولاً این سطوح به صورت خطوط افقی رسم می شوند:

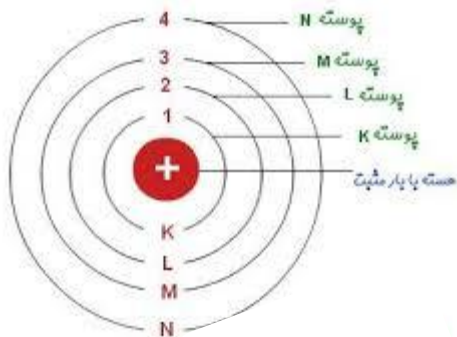
- خط پایین: حالت پایه (پایدارترین حالت)
- خطوط بالاتر: حالت های برانگیخته با انرژی های بیشتر
- فلش پایین: تابش گاما هنگام بازگشت به سطح پایین تر

##### ◊ اهمیت سطوح انرژی هسته:

1. توضیح پدیده تابش گاما
2. درک بهتر از ساختار هسته و پایداری آن
3. کاربرد در فیزیک هسته ای، رادیواکتیویته، و انرژی هسته ای

##### ◊ نتیجه:

نوکلئونها در هسته مانند الکترونها در اتم در سطوح انرژی معین قرار دارند. تغییر جایگاه آنها میان این سطوح باعث جذب یا گسیل انرژی می شود که در بیشتر موارد به صورت اشعه گاما ظاهر می گردد. بنابراین، سطوح انرژی هسته اساس فهم بسیاری از پدیده های هسته ای است



### 4: - رادیواکتیویته طبیعی

#### رادیواکتیوی طبیعی

##### تعریف:

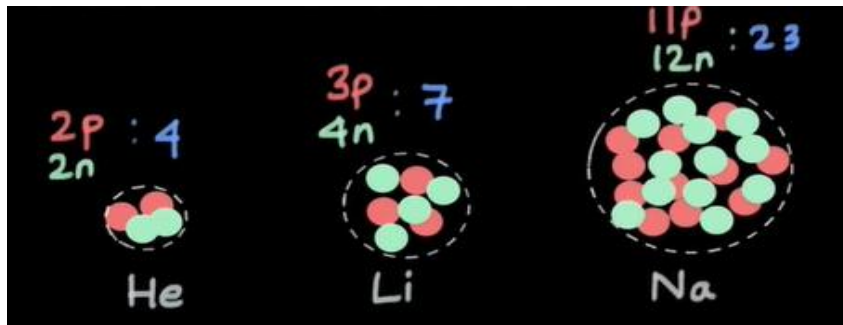
- اورانیم ۲۳۸ → طی چند مرحله → رادیوم → در نهایت به سرب پایدار (Pb-206) تبدیل می‌شود و در این مسیر  $\alpha$  و  $\beta$  و  $\gamma$  منتشر می‌شود.

### کاربردهای رادیواکتیوی طبیعی:

1. تعیین سن زمین و سنگ‌ها (با اورانیم و کربن-14)
2. تحقیقات علمی و پزشکی
3. تولید انرژی در نیروگاه‌های هسته‌ای (استفاده از عناصر رادیواکتیوی طبیعی در سوخت)

### نکات مهم:

- رادیواکتیوی طبیعی همیشه در محیط وجود دارد ولی مقدار آن معمولاً کم و غیر خطرناک است.
- مهم است که با منابع رادیواکتیوی با دقت برخورد شود تا از آسیب‌های احتمالی جلوگیری شود



### 5- متلاشی شدن همراه با خروج اشعه الفا

متلاشی شدن هسته همراه با خروج اشعه  $\alpha$

### تعریف:

متلاشی شدن هسته همراه با خروج اشعه آلفا ( $\alpha$ )، فرایندی است که در آن هسته ناپایدار یک عنصر رادیواکتیوی برای رسیدن به پایداری، یک ذره آلفا ( $\alpha$ ) که شامل ۲ پروتون و ۲ نوترون است) منتشر می‌کند.

این ذره باعث کاهش عدد اتمی و عدد جرمی هسته می‌شود و اتم جدیدی تشکیل می‌گردد.

ویژگی‌های متلاشی شدن آلفا:

1. هسته اصلی عدد اتمی اش ۲ واحد کاهش می‌یابد.
2. عدد جرمی هسته ۴ واحد کاهش می‌یابد.

رادیواکتیوی طبیعی، فرایندی است که در آن هسته بعضی از اتم‌ها به صورت طبیعی و بدون دخالت انسان ناپایدار شده و اشعه انرژی‌دار ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) منتشر می‌کنند. این اشعه‌ها باعث تغییر در هسته اتم می‌شوند و اتم ناپایدار به اتم پایدار تبدیل می‌گردد.

### منابع رادیواکتیوی طبیعی:

رادیواکتیوی طبیعی عمدتاً در عناصر زیر مشاهده می‌شود:

1. اورانیم (U-238)
2. توریم (Th-232)
3. رادیوم (Ra-226)
4. کربن-14 (C-14)

این عناصر به طور طبیعی در زمین، سنگ‌ها، خاک و حتی در موجودات زنده یافت می‌شوند.

### انواع پرتوهای رادیواکتیوی:

#### 1. پرتوی $\alpha$ (آلفا)

- شامل ۲ پروتون و ۲ نوترون است.
- دارای بار مثبت و جرم زیاد.
- نفوذ کمی دارد (مثلاً توسط یک کاغذ متوقف می‌شود)

#### 2. پرتوی $\beta$ (بتا)

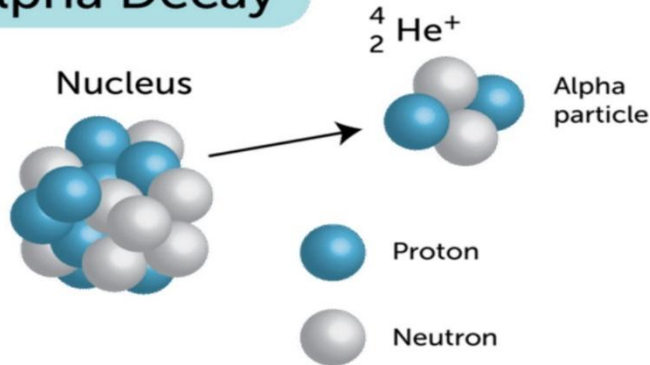
- شامل الکترون یا پوزیترون است.
- نفوذ متوسط دارد (مثلاً توسط یک لایه فلز نازک متوقف می‌شود)

#### 3. پرتوی $\gamma$ (گاما)

- اشعه الکترومغناطیسی با انرژی زیاد است.
- بدون جرم و بار است.
- نفوذ زیادی دارد و برای توقف آن به لایه‌های ضخیم سرب یا بتن نیاز است.

مثال:

## Alpha Decay



6: - متلاشی شدن همراه با خروج اشعه بیتا

متلاشی شدن هسته همراه با خروج اشعه  $\beta$

تعریف:

متلاشی شدن هسته همراه با خروج اشعه بتا ( $\beta$ ) ، فرایندی است که در آن یک هسته ناپایدار رادیواکتیوی برای رسیدن به پایداری، یک ذره بتا (الکترون یا پوزیترون) منتشر می کند. این ذره باعث تغییر در عدد اتمی هسته می شود، اما عدد جرمی هسته تغییر نمی کند.

ویژگی های متلاشی شدن بتا:

1. عدد اتمی هسته ۱ واحد تغییر می کند:

- اگر یک نوترون به پروتون تبدیل شود → عدد اتمی +1
- اگر یک پروتون به نوترون تبدیل شود → عدد اتمی -1

2. عدد جرمی هسته تغییر نمی کند.

3. ذره  $\beta$  دارای جرم بسیار کم و بار منفی ( $\beta^-$ ) یا مثبت ( $\beta^+$ ) است.

4. نفوذ پرتو بتا متوسط است و با یک لایه فلز نازک (مثل آلومینیوم) متوقف می شود.

فرمول کلی:

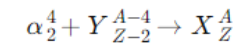
اگر هسته ای با نماد  $X \frac{A}{Z}$  متلاشی شود و اشعه  $\beta$  منتشر کند، تبدیل می شود به:

3. اشعه آلفا دارای بار مثبت و جرم زیاد است.

4. نفوذ آن کم است و با یک کاغذ یا چند سانتی متر هوا متوقف می شود.

فرمول کلی:

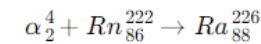
اگر هسته ای با نماد  $X \frac{A}{Z}$  متلاشی شود و اشعه  $\alpha$  منتشر کند، تبدیل می شود به:



- $X$  : هسته اولیه
- $Y$  : هسته جدید (پایدارتر)
- $\alpha$  : ذره آلفا

مثال:

- رادیوم (Ra-226) متلاشی می شود و رادون (Rn-222) تولید می کند:



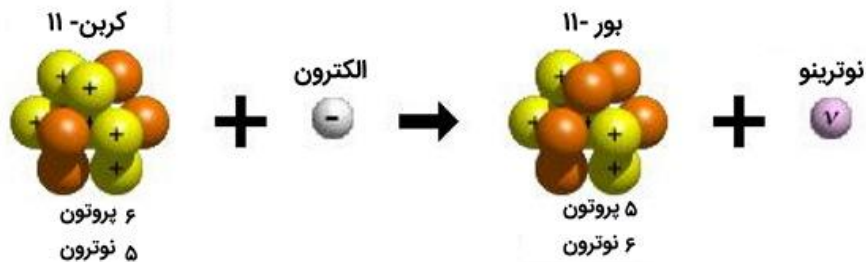
در این مثال:

- عدد اتمی: ۸۸ → ۸۶ (کاهش ۲ واحد)
- عدد جرمی: ۲۲۶ → ۲۲۲ (کاهش ۴ واحد)



نکات مهم:

- متلاشی شدن  $\alpha$  یکی از رایج ترین روش های رادیواکتیوی طبیعی است.
- پرتو آلفا برای انسان خارج از بدن خطرناک نیست اما اگر بلعیده یا استنشاق شود، ممکن است آسیب جدی بر سلول ها وارد کند.
- این فرایند باعث ایجاد هسته ای پایدارتر و کاهش ناپایداری هسته می شود



### 7: - متلاشی شدن اشعه گاما

متلاشی شدن هسته همراه با خروج اشعه  $\gamma$

تعریف:

متلاشی شدن هسته همراه با خروج اشعه گاما ( $\gamma$ )، فرایندی است که در آن هسته ناپایدار یک عنصر رادیواکتیوی پس از متلاشی شدن با انتشار اشعه  $\alpha$  یا  $\beta$ ، انرژی اضافی خود را به صورت پرتو الکترومغناطیسی گاما آزاد می‌کند.

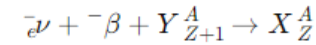
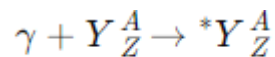
نکته: برخلاف اشعه  $\alpha$  و  $\beta$ ، اشعه  $\gamma$  فقط انرژی است و ذره ندارد، بنابراین عدد اتمی و عدد جرمی هسته تغییر نمی‌کند.

ویژگی‌های اشعه  $\gamma$ :

1. بدون جرم و بدون بار است.
2. نفوذ بسیار زیاد دارد و برای توقف آن به لایه‌های ضخیم سرب یا بتن نیاز است.
3. معمولاً پس از متلاشی شدن هسته با انتشار  $\alpha$  یا  $\beta$  تولید می‌شود تا هسته به حالت پایدار برسد.
4. انرژی بسیار بالایی دارد و می‌تواند از بافت‌ها و مواد ضخیم عبور کند.

فرمول کلی:

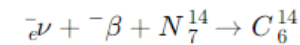
اگر هسته‌ای پس از متلاشی شدن  $\alpha$  یا  $\beta$  هنوز انرژی اضافی داشته باشد، آن را به صورت  $\gamma$  آزاد می‌کند



- $X$ : هسته اولیه
- $Y$ : هسته جدید (پایدارتر)
- $\beta^-$ : ذره بتا (الکترون)
- $\bar{\nu}$ : نوترینوی الکترونی که انرژی اضافی را حمل می‌کند
- اگر  $\beta^+$  (پوزیترون) منتشر شود، عدد اتمی ۱ واحد کاهش می‌یابد.

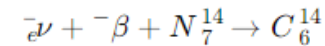
مثال:

- کربن-۱۴ متلاشی می‌شود و نیتروژن-۱۴ تولید می‌کند:



مثال:

- کربن-۱۴ متلاشی می‌شود و نیتروژن-۱۴ تولید می‌کند:



در این مثال:

- عدد اتمی:  $6 \rightarrow 7$  (افزایش ۱ واحد)
- عدد جرمی:  $14 \rightarrow 14$  (تغییر نکرد)

نکات مهم:

- پرتو بتا می‌تواند به سلول‌ها و بافت‌های زنده نفوذ کند و در صورت تماس مستقیم خطرناک باشد.
- این فرایند باعث می‌شود که هسته‌های ناپایدار به هسته‌های پایدارتر تبدیل شوند.
- اشعه بتا در رادیوکاربون سنجی و پزشکی هسته‌ای کاربرد دارد.

## 1. نیم عمر ماده را دیواکتیو

### نیمه عمر رادیواکتیو (Half-life)

نیمه عمر رادیواکتیو به مدت زمانی گفته می‌شود که در آن نصف مقدار اولیه یک ماده رادیواکتیو متلاشی (دیکای) می‌شود. یعنی اگر در آغاز مقدار معینی از هسته‌های ناپایدار داشته باشیم، پس از یک نیمه عمر ۵۰٪ آن باقی مانده و ۵۰٪ دیگر به هسته‌های پایدارتر تبدیل می‌شود.

نیمه عمر یک مقدار ثابت است و به شرایط محیطی مانند دما، فشار و حالت فیزیکی ماده وابسته نیست؛ بلکه فقط به ساختار هسته بستگی دارد.

### فرمول ریاضی نیمه عمر

برای محاسبه مقدار باقی مانده ماده رادیواکتیو از فرمول استفاده می‌شود:

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

$T_{1/2}$  = نیمه عمر

$t$  = زمان سپری شده

### اهمیت نیمه عمر در زندگی و علوم

نیمه عمر در بخش‌های مختلف علوم اهمیت دارد، از جمله:

#### ۱. طب (پزشکی هسته‌ای)

از مواد رادیواکتیو با نیمه عمر مناسب برای تشخیص بیماری‌ها و درمان سرطان استفاده می‌شود.

#### ۲. باستان‌شناسی

نیمه عمر کربن-۱۴ برای تعیین سن آثار باستانی به کار می‌رود (روش کربن سنجی).

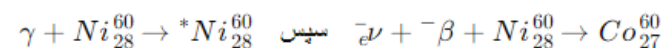
•  $Y^*$ : هسته تحریک شده (با انرژی اضافی)

•  $Y$ : هسته پایدار

•  $\gamma$ : اشعه گاما

مثال:

• کوبیوم-۶۰ (Co-60) پس از انتشار  $\beta$  به نیکل-۶۰ (Ni-60) تبدیل می‌شود و اشعه  $\gamma$  منتشر می‌کند:



در این مثال:

• عدد اتمی و عدد جرمی هسته پس از انتشار  $\gamma$  تغییر نمی‌کند.

• فقط انرژی اضافی هسته آزاد می‌شود.

### کاربردهای اشعه $\gamma$ :

1. در پزشکی: برای درمان سرطان و تصویربرداری پزشکی.
2. در صنعت: برای کنترل کیفیت و بررسی ساختار مواد.
3. در تحقیقات علمی: برای مطالعه هسته‌ها و واکنش‌های هسته‌ای.

### نکات مهم:

- اشعه  $\gamma$  بسیار پرنرژی و نفوذپذیر است، بنابراین تماس مستقیم با آن خطرناک است و نیاز به حفاظ‌های ضخیم دارد.
- این اشعه به تنهایی هسته را تغییر نمی‌دهد، بلکه تنها انرژی اضافی هسته را آزاد می‌کند.

### اهداف آموزشی:

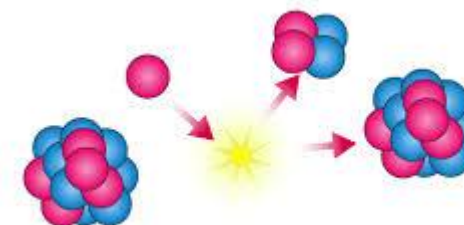
1. نیم عمر ماده را دیواکتیو
2. حفاظت در برابر اشعه
3. رادیوکتور مصنوعی
4. انشقاق هسته بی
5. غنی سازی یورانیوم
6. تعامل زنجیری

### ۳. انرژی هسته‌ای

دانستن نیمه‌عمر برای مدیریت سوخت هسته‌ای و زباله‌های رادیواکتیو ضروری است.

#### ویژگی‌های مهم نیمه‌عمر

- مقدار ثابت برای هر ایزوتوپ
- مستقل از شرایط بیرونی
- نرخ دیکای نمایی دارد
- مواد با نیمه‌عمر کوتاه → سریع‌تر متلاشی می‌شوند
- مواد با نیمه‌عمر بلند → مدت طولانی فعال باقی می‌مانند



2- حفاظت در برابر اشعه  
3- رادیوکتور مصنوعی

#### رادیواکتیویته مصنوعی (Artificial Radioactivity)

رادیواکتیویته مصنوعی به حالتی گفته می‌شود که در آن انسان به‌طور عمدی یک هسته پایدار را با بمباران ذرات، به هسته ناپایدار و رادیواکتیو تبدیل می‌کند. این پدیده نخستین بار توسط ایرن و فریدریک ژولیو-کوری در سال ۱۹۳۴ کشف شد.

در رادیواکتیویته طبیعی، هسته‌ها خودبه‌خود تجزیه می‌شوند، اما در رادیواکتیویته مصنوعی، هسته‌ها با دخالت انسان به هسته رادیواکتیو تبدیل می‌گردند.

#### چگونگی ایجاد رادیواکتیویته مصنوعی

برای تولید یک هسته رادیواکتیو مصنوعی، هسته پایدار را با ذرات پرنرژی مانند:

• نوترون

• پروتون

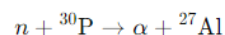
• ذرات آلفا ( $\alpha$ )

• ذرات دوتریم

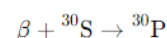
بمباران می‌کنند. در نتیجه هسته جدیدی تولید می‌شود که معمولاً ناپایدار بوده و مانند مواد رادیواکتیوی طبیعی، تابش آلفا، بتا یا گاما از خود نشر

#### نمونه واکنش رادیواکتیویته مصنوعی

وقتی آلومینیوم با ذره آلفا برخورد کند:



هسته فسفورس-۳۰ تولیدشده ناپایدار است و با نشر بتا تجزیه می‌شود:



#### ویژگی‌های رادیواکتیویته مصنوعی

- با دخالت انسان ایجاد می‌شود
- هسته تولیدشده معمولاً ناپایدار است
- دیکای آن مانند رادیواکتیوی طبیعی به صورت نشر آلفا، بتا یا گاما انجام می‌شود
- میزان و نوع تشعشع قابل کنترل‌تر است
- در صنعت، طب و تحقیق نقش مهم دارد

#### کاربردهای رادیواکتیویته مصنوعی

##### ۱. طب (پزشکی هسته‌ای)

- تولید رادیوایزوتوپ‌ها برای تشخیص بیماری‌ها
- مثال: تکنیشیم-۹۹ برای تصویربرداری قلب و استخوان
- درمان سرطان با ید-۱۳۱ و کوبالت-۶۰

## ۲. صنعت

- تست ضخامت، سنجش تراکم، و بررسی کیفیت مواد
- ردیابی نشتی در لوله‌ها با رادیوایزوتوپ‌ها

## ۳. تحقیقات علمی

- استفاده در فیزیک هسته‌ای و تحقیقات ساختار ماده
- تولید ایزوتوپ‌های جدید در لابراتوارها

## ۴. زراعت

- بهبود کیفیت تخم‌ها
- ایجاد جهش‌های کنترل‌شده برای تولید نباتات مقاوم

## اهمیت رادیواکتیویته مصنوعی

- انسان می‌تواند رادیوایزوتوپ‌های مورد نیاز را هر زمان تولید کند
- کنترل مقدار، نیمه‌عمر و نوع تشعشع ممکن است
- کمک بزرگی در پزشکی، صنعت، کشاورزی و پژوهش دارد
- نسبت به منابع طبیعی، ایمن‌تر و قابل مدیریت‌تر است



## 4- انشقاق هسته بی

### انشقاق هسته‌ای (Nuclear Fission)

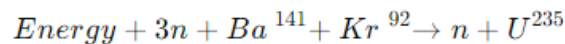
انشقاق هسته‌ای فرایندی است که در آن هسته یک اتم سنگین مانند اورانیوم-۲۳۵ یا پلوتونیوم-۲۳۹، پس از جذب یک نوترون، به دو هسته کوچکتر شکسته می‌شود. این شکستن همراه با آزاد شدن انرژی زیاد و چند نوترون جدید است. انشقاق هسته‌ای یکی از مهم‌ترین پدیده‌های فیزیک هسته‌ای و اساس تولید انرژی در بسیاری از نیروگاه‌های هسته‌ای جهان است.

### چگونگی وقوع انشقاق هسته‌ای

۱. یک نوترون کند به هسته سنگین برخورد می‌کند.
۲. هسته نوترون را جذب کرده و ناپایدار می‌شود.
۳. هسته ناپایدار به دو هسته کوچکتر تجزیه می‌شود.
۴. سه یا دو نوترون جدید آزاد می‌شوند.
۵. مقدار زیادی انرژی (حدود 200 MeV آزاد می‌شود).



مثال واکنش انشقاق اورانیوم-۲۳۵:



### واکنش زنجیره‌ای

نوترون‌های آزادشده از انشقاق، می‌توانند با هسته‌های دیگر برخورد کرده و آن‌ها را نیز بشکنند. اگر این فرایند در هر ثانیه چندین بار تکرار شود، واکنش زنجیره‌ای شکل می‌گیرد.

### دو نوع واکنش زنجیره‌ای:

- قابل کنترل → در راکتورهای هسته‌ای
- غیرقابل کنترل → در بمب‌های اتمی

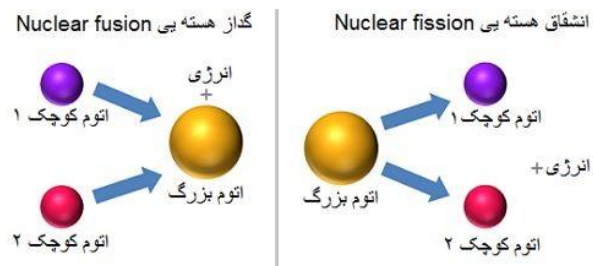
در راکتورها، برای کنترل سرعت واکنش از میله‌های کنترل‌کننده ساخته‌شده از مواد جذب‌کننده نوترون (مانند بور یا کادمیوم) استفاده می‌شود.

## معایب

- تولید زیاده‌های رادیواکتیو با نیمه‌عمرهای طولانی
- نیاز به تجهیزات ایمنی بسیار دقیق
- خطر وقوع حادثه در نیروگاه‌ها
- امکان استفاده نظامی

## خلاصه بسیار کوتاه (برای حفظ کرد)

- انشقاق: شکستن هسته سنگین → تولید دو هسته کوچک + نوترون‌های جدید + انرژی زیاد
- اساس تولید انرژی در نیروگاه‌های هسته‌ای
- اگر کنترل شود → راکتور
- اگر کنترل نشود → بمب اتمی



## 5 - غنی‌سازی یورانیوم

### غنی‌سازی یورانیوم

یورانیوم یک عنصر رادیواکتیو است که در طبیعت بیشتر به شکل ایزوتوپ U-238 یافت می‌شود، در حالی که مقدار بسیار کمی از آن U-235 است. برای این‌که یورانیوم در رآکتورهای هسته‌ای یا در بعضی بخش‌های علمی استفاده شود، باید مقدار U-235 در آن افزایش یابد. به این روند غنی‌سازی یورانیوم گفته می‌شود.

## انرژی آزاد شده در انشقاق

بیشتر انرژی آزاد شده به صورت:

- انرژی جنبشی قطعات شکسته شده
- حرارت
- مقدار کمی اشعه گاما

آزاد می‌شود.

همین حرارت در نیروگاه‌های هسته‌ای برای تولید بخار و چرخاندن توربین‌ها استفاده می‌شود.

## کاربردهای انشقاق هسته‌ای

### ۱. تولید برق در نیروگاه‌های هسته‌ای

مهم‌ترین استفاده عملی انشقاق است.

حرارت ایجاد شده، آب را به بخار تبدیل کرده و توربین‌ها را می‌چرخاند.

### ۲. تولید رادیوایزوتوپ

نوترون‌های آزاد برای ساخت ایزوتوپ‌های مفید در پزشکی و صنعت به کار می‌روند.

### ۳. سلاح‌های هسته‌ای

در این حالت واکنش زنجیره‌ای بدون کنترل رخ می‌دهد و انرژی بسیار زیاد در مدت کوتاه آزاد می‌شود.

## مزایا و معایب انشقاق هسته‌ای

### مزایا

- تولید انرژی بسیار زیاد نسبت به سوخت‌های فسیلی
- آلودگی کم‌تر نسبت به نفت و گاز
- کاربردهای گسترده در پزشکی و صنعت

### اهمیت غنی‌سازی یورانیوم

- تولید انرژی پاک در نیروگاه‌های هسته‌ای.
- استفاده در تحقیقات علمی و طبی (تولید رادیوایزوتوپ‌ها)
- مدیریت دقیق این پروسه برای امنیت جهانی مهم است



### 6- تعامل زنجیری

#### تعامل زنجیری

تعامل زنجیری به سلسله‌ای از واکنش‌های هسته‌ای گفته می‌شود که در آن وقتی یک هسته شکافته می‌شود، چند نوترون آزاد می‌کند و این نوترون‌ها سبب شکافت هسته‌های دیگر می‌شوند. در نتیجه، واکنش به شکل پیوسته ادامه پیدا کرده و انرژی بسیار زیاد آزاد می‌شود.

#### چگونه تعامل زنجیری آغاز می‌شود؟

زمانی که یک نوترون آهسته به هسته‌ی یک ماده قابل شکافت مانند  $^{235}\text{U}$  یا  $^{239}\text{Pu}$  برخورد می‌کند، هسته شکسته می‌شود و:

- دو هسته کوچکتر (محصولات شکافت)
- چند نوترون تازه
- مقدار زیاد انرژی آزاد می‌گردد.

### چرا غنی‌سازی لازم است؟

- ایزوتوپ  $^{235}\text{U}$  قابل شکافت هسته‌ای است، یعنی وقتی نوترون را جذب می‌کند، هسته آن شکافته شده و انرژی زیاد آزاد می‌شود.
- اما در یورانیوم طبیعی، مقدار  $^{235}\text{U}$  بسیار کم (حدود 0.7٪) است.
- برای استفاده در رآکتورهای برق، مقدار آن باید به حدود ۳ تا ۵ درصد برسد.
- برای مصارف تحقیقاتی، مقدار آن بیشتر نیز می‌تواند باشد

### چگونه یورانیوم غنی می‌شود؟

چون  $^{235}\text{U}$  و  $^{238}\text{U}$  از نظر شیمیایی یکسان هستند، نمی‌توان آن‌ها را با روش‌های عادی جدا کرد. تنها فرق آن‌ها جرم شان است. به همین دلیل روش‌های زیر استفاده می‌شود:

#### ۱. روش سانتریفیوژ گازی

- رایج‌ترین و پیشرفته‌ترین روش است.
- یورانیوم را به گاز ( $\text{UF}_6$ ) تبدیل می‌کنند.
- این گاز در سانتریفیوژ با سرعت بسیار زیاد می‌چرخد.
- ایزوتوپ سبک‌تر ( $^{235}\text{U}$ ) بیشتر در مرکز جمع می‌شود و به تدریج غنی می‌گردد.

#### ۲. روش انتشار گازی

(قدیمی بوده و امروزه کم استفاده می‌شود)  
گاز یورانیوم را از میان فیلترهای بسیار باریک عبور می‌دهند؛ مولکول‌های سبک‌تر سریع‌تر عبور می‌کنند.

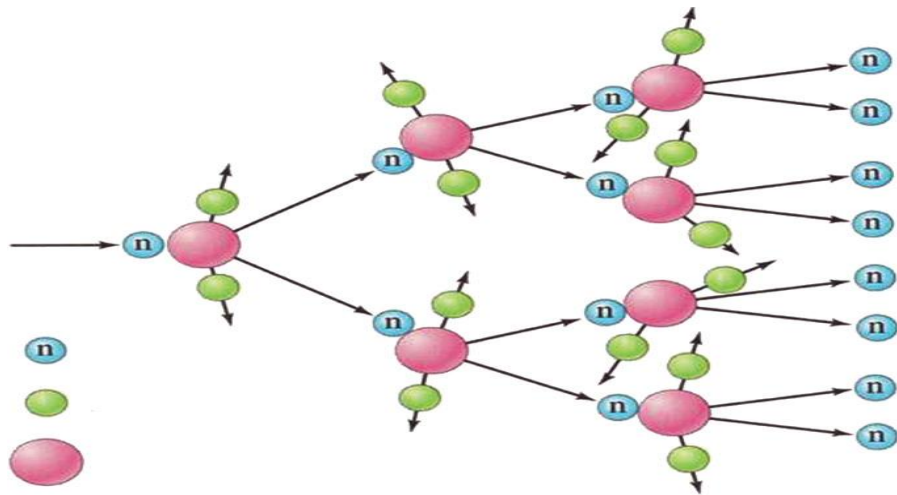
### سطوح غنی‌سازی

- کم‌غنی‌شده  $\rightarrow$  (LEU) مقدار  $^{235}\text{U}$  بین ۳ تا ۵٪، برای تولید برق در رآکتورها.
- میان‌غنی‌شده  $\rightarrow$  مقدار  $^{235}\text{U}$  بین ۲۰٪.
- بسیار غنی‌شده  $\rightarrow$  (HEU) مقدار  $^{235}\text{U}$  تا ۹۰٪، که در فیزیک صنف دوازدهم تنها به عنوان مفهوم علمی ذکر می‌شود.

- درک بهتر فیزیک هسته‌ای و روش‌های تولید انرژی.
- آگاهی از کنترل دقیق برای جلوگیری از خطرات.

### خلاصه موضوع

تعامل زنجیری یک روند پیوسته شکافت هسته‌ای است که در آن نوترون‌های آزاد شده سبب شکافت بیشتر می‌شوند. این تعامل می‌تواند قابل کنترل (در نیروگاه‌ها) یا غیرقابل کنترل (در انفجارها) باشد و برای ادامه یافتن آن، ماده قابل شکافت باید به جرم بحرانی برسد.



نوترون‌های آزاد شده دوباره به هسته‌های دیگر برخورد می‌کنند و همین روند تکرار می‌شود. این تکرار مداوم، همان تعامل زنجیری است.

### شرایط لازم برای تعامل زنجیری

برای این که تعامل زنجیری به صورت پیوسته ادامه پیدا کند، سه شرط مهم لازم است:

#### ۱. وجود ماده قابل شکافت به اندازه کافی

ماده باید دارای مقدار کافی  $^{235}\text{U}$  یا  $^{239}\text{Pu}$  باشد.

#### ۲. رسیدن ماده به «جرم بحرانی»

جرم بحرانی کم‌ترین مقدار ماده قابل شکافت است که تعامل زنجیری را پایدار نگه می‌دارد. اگر جرم کمتر از مقدار لازم باشد، نوترون‌ها از ماده خارج شده و تعامل دوام نمی‌کند.

#### ۳. سرعت مناسب نوترون‌ها

نوترون‌های آهسته (حرارتی) بیشتر احتمال شکافت ایجاد می‌کنند.

در رآکتورها از کندکننده‌ها مانند آب، گرافیت یا آب سنگین استفاده می‌شود تا سرعت نوترون‌ها کاهش یابد.

### انواع تعامل زنجیری

#### ۱. تعامل زنجیری قابل کنترل

در رآکتورهای هسته‌ای استفاده می‌شود.

با استفاده از میله‌های کنترل (از جنس کادمیم یا بور) تعداد نوترون‌ها تنظیم می‌شود تا واکنش آرام و ثابت بماند.

نتیجه: تولید انرژی برقی به شکل پایدار و امن.

#### ۲. تعامل زنجیری غیرقابل کنترل

در وسایل انفجاری هسته‌ای رخ می‌دهد.

در این حالت، هیچ کنترلی بر نوترون‌ها وجود ندارد و واکنش بسیار سریع انجام می‌شود.

نتیجه: آزاد شدن انرژی در زمانی بسیار کوتاه.

### اهمیت تعامل زنجیری

- ایجاد انرژی در رآکتورهای برقی.
- استفاده در تحقیقات علمی و طبی.