



• اثر فوتوالکتریک

– اثر فوتوالکتریک –

نور با بسامد مناسب



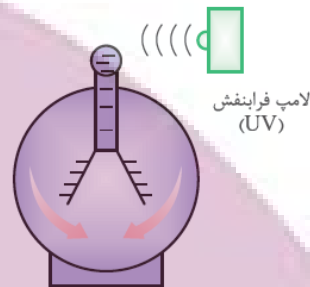
با تابش نوری با بسامد مناسب به سطح فلز، الکترون‌ها از سطح فلز کنده می‌شوند. این پدیده فوتوالکتریک نام دارد.

به الکترون‌های گسیل‌شده، فوتوالکتریک می‌گویند.

آزمایش اثر فوتوالکتریک در الکتروسکوپ



لامپ معمولی نتوانسته باعث گسیل الکترون شود و تغییری در ورقه‌ها ایجاد نشده.



نور فرابنفش باعث گسیل تعدادی الکترون شده و ورقه‌ها به سرعت به هم نزدیک می‌شوند.

نکته

شرط رخ دادن پدیده فوتوالکتریک: (طول موج آستانه) $\lambda \leq \lambda_0$ یا (بسامد آستانه) $f \geq f_0$ یا $hf \geq W_0$

نکته

- هر الکترون برای گسیل شدن تنها با یک فوتون برهم‌کنش می‌کند.
- تابع کار، بسامد آستانه و طول موج آستانه به جنس فلز بستگی دارد.

نکته

نتیجه آزمایش	فیزیک جدید (نظریه اینشتین)	فیزیک کلاسیک
تأیید فیزیک جدید	فوتوالکتریک در بسامدهای بیشتر از بسامد آستانه با آن رخ می‌دهد.	فوتوالکتریک با هر بسامدی رخ می‌دهد.
تأیید فیزیک جدید	بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکتریک‌ها مستقل از شدت نور تابشی است.	بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکتریک‌ها به شدت نور وابسته است.

نکته

بسامد نور تابشی	طول موج نور تابشی	اثر فوتوالکتریک	افزایش شدت تابش نور
$f > f_0$	$\lambda < \lambda_0$	رخ می‌دهد.	باعث افزایش فوتون‌های تابشی و افزایش فوتوالکتریک‌ها می‌شود.
$f = f_0$	$\lambda = \lambda_0$	رخ می‌دهد.	باعث افزایش فوتون‌های تابشی و افزایش فوتوالکتریک‌ها می‌شود.
$f < f_0$	$\lambda > \lambda_0$	رخ نمی‌دهد.	تأثیری ندارد و الکترون جدا نمی‌شود.



نکته

$$\lambda = \frac{v}{f} \xrightarrow{v=c} \lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow E = \frac{hc}{\lambda} \xrightarrow{hc=1240 \text{ eV.nm}} \frac{1240 \text{ (eV.nm)}}{\lambda \text{ (nm)}}$$

نکته

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{n_2}{n_1} \times \frac{f_2}{f_1} \times \frac{t_1}{t_2} \quad \text{یا} \quad \frac{P_2}{P_1} = \frac{n_2}{n_1} \times \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \times \frac{t_1}{t_2}$$

روابط نسبتي:

شدت تابشی نور:

انرژی فوتون‌های
رسیده به سطح (J)

$$I = \frac{E}{At}$$

زمان اندازه‌گیری (s) مساحت سطح
(m²)

ایران توانمند
توشه‌ای برای موفقیت



معادله ریذبرگ -

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n' < n)$$

→ ثابت ریذبرگ: $0.01097 \approx 0.01 \text{ (nm)}^{-1}$

→ $R = \frac{E_R}{hc}$

نکته

الف) اگر $\Delta n = 1 \Rightarrow \lambda = \lambda_{\max} \xrightarrow{E = \frac{hc}{\lambda_{\max}}} E = E_{\min}$

ب) اگر $\Delta n = \infty \Rightarrow \lambda = \lambda_{\min} \xrightarrow{E = \frac{hc}{\lambda_{\min}}} E = E_{\max}$

نکته

تعداد فوتون‌های تابشی در اتم هیدروژن:

خط طیفی n ام

$$N = \frac{n(n-1)}{2}$$

نام‌گذاری رشته‌های طیف خطی هیدروژن:

نام طیف	شماره مدار پایین‌تر (n') (مدار مقصد)	رابطه ریذبرگ مربوط به رشته	شماره مدار بالاتر (n)	ناحیه طیف
لیمان	۱	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	۲, ۳, ۴, ...	فرابنفش
بالمر	۲	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	۳, ۴, ۵, ...	فرابنفش و مرئی
پاشن	۳	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	۴, ۵, ۶, ...	فروسرخ
براکت	۴	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	۵, ۶, ۷, ...	فروسرخ
پفوند	۵	$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	۶, ۷, ۸, ...	فروسرخ

نکته

$$n = n' + k \Leftarrow n' \text{ رشته } k$$

نکات مهم بالمر:

با افزایش n طول موج کاهش می‌یابد،

هرچه n بیشتر بشود فاصله بین طول موج‌ها کم‌تر می‌شود.

n از ۶ بیشتر شود طول موج‌های ناحیه فرابنفش بدست می‌آیند.

کوتاه‌ترین طول موج به ازای $n = \infty$ بدست می‌آید.

طول موج را که بدست آوریم طیف رابطه پلانک به انرژی هم می‌توانیم برسیم (مهم)



در همه رشته ها با افزایش مقدار n مقدار طول موج کاهش می یابد

در هر رشته برای بدست آوردن طول موج به جای $n \leftarrow (n = n' + 1)$ قرار می دهیم

در هر رشته برای بدست آوردن کوتاه ترین طول موج به جای $n \leftarrow (n = \infty)$ را قرار می دهیم

بلند ترین طول موج در رشته لیمان ۱۲۲ است و کوتاه ترین آن ۹۲ است و گستره آن ۳۰ است.

بلند ترین طول موج در رشته بالمر ۶۶۰ است و کوتاه ترین آن ۳۶۷ است و گستره آن ۲۹۳ است.

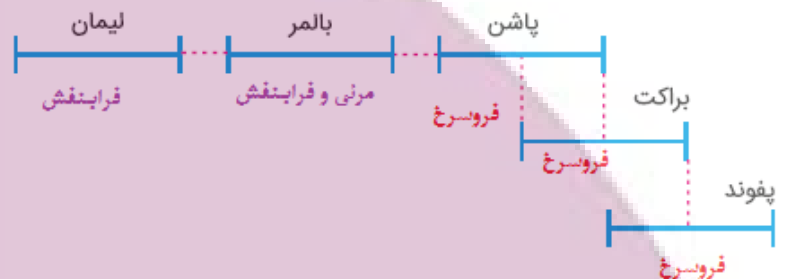
بلند ترین طول موج در رشته پاشن ۱۸۷۲ است و کوتاه ترین آن ۸۲۶ است و گستره آن ۱۰۶۱ است.

بلند ترین طول موج در رشته براکت ۴۰۷۷ است و کوتاه ترین آن ۱۴۶۸ است و گستره آن ۲۶۰۹ است.

بلند ترین طول موج در رشته پفوند ۷۴۳۸ است و کوتاه ترین آن ۲۲۷۳ است و گستره آن ۵۱۶۵ است.

اعداد را حفظ نکنید (حدود را بلد باشید خیلی جلو می افتید)

هر چه n' افزایش یابد گستره طول موج ها زیاد تر می شود و و هم چنین بسامد و انرژی کاهش می یابد



اگر الکترون در اتم هیدروژن در تراز n قرار داشته باشد،

با در نظر گرفتن تمام گذارهای ممکن برای آن، تعداد فوتون‌هایی که با انرژی‌های

مختلف گسیل می‌شود، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$N = \frac{n(n-1)}{2}$$

– مدل‌های اتمی –



● بار مثبت به صورت همگن در اتم پخش است.

● الکترون‌ها در فضای اتم پراکنده هستند.

معروف به کیک کشمش

کاشف الکترون

الف) مدل اتمی تامسون

الکترون‌ها با بسامد معین حول وضع تعادل خود نوسان می‌کنند.

نسبت بار به جرم الکترون را به دست آورد.

۱) نمی‌توانست طیف خطی عناصر را توجیه کند.

۲) بسامد امواج الکترومغناطیسی گسیلی را به درستی پیش‌بینی نکرد.

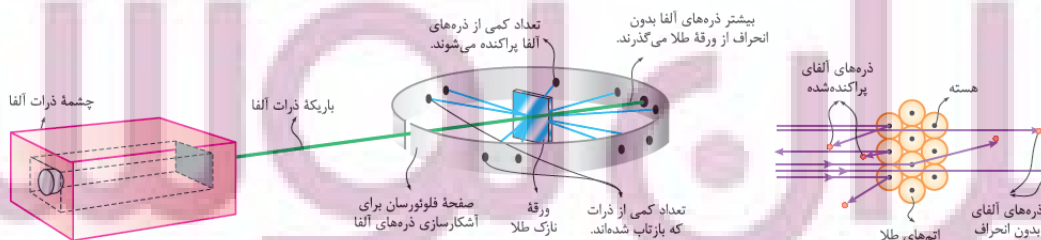
معروف به مدل اتم هسته‌ای

اتم، هسته‌ای با چگالی بالا دارد و بار هسته مثبت است.

بیشتر جرم اتم در هسته است.

بیشتر فضای اتم خالی است.

ب) مدل اتمی رادرفورد



۱) به چگونگی قرار گرفتن الکترون در اتم و هم چنین ساکن یا متحرک بودن آن‌ها اشاره‌ای نکرد.

۲) قادر به توجیه کردن طیف گسسته اتمی نیست.

علت ناکامی



نکته

انرژی الکترون	شعاع مدار الکترون	بسامد حرکت الکترون	بسامد موج الکترومغناطیسی گسیلی	طول موج موج الکترومغناطیسی گسیلی	نیروی الکتریکی وارد بر الکترون
کاهش	کاهش	افزایش	افزایش	کاهش	افزایش

(پ) مدل اتمی بور ← ناپایداری اتم در مدل رادرفورد را حل کرد.

← معادلهٔ ریذبرگ برای طیف خطی اتم هیدروژن نتیجه داد.

(۱) مدارها و انرژی‌های الکترون در هر اتم کوانتیده است.

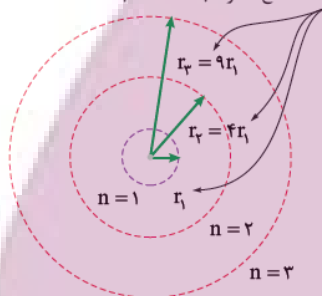
← شعاع مدارهای الکترون برای اتم هیدروژن:

شمارهٔ مدار
↑
 $r_n = a_0 \cdot n^2$
↓

$a_0 = r_1 = 5/29 \times 10^{-11} \text{ m}$: کوچک‌ترین شعاع مدار ($n=1$)

(شعاع بور)

شعاع مدارها با n^2 متناسب است.



← انرژی الکترون در اتم هیدروژن:

$$E_n = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2} = -\frac{E_R}{n^2}$$

$$E_1 = -13.6 \text{ eV} \Rightarrow (E_R) \text{ یک ریذبرگ}$$

$$\frac{E_{n'}}{E_n} = \frac{r_n}{r_{n'}} = \left(\frac{n}{n'}\right)^2$$

فرضیه‌های مدل اتمی بور

(۲) وقتی الکترون در یکی از مدارهای مجاز است، هیچ‌گونه تابش الکترومغناطیسی ندارد، در این حالت

می‌گوییم الکترون در مدار مانا یا حالت مانا قرار دارد.

(۳) الکترون می‌تواند از یک حالت مانا به حالت مانای دیگر برود.

فوتون گسیل شده

ایران توانسته
توشه‌ای برای موفقیت



انرژی فوتون تابش شده

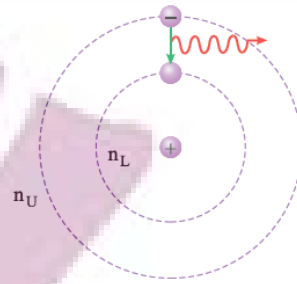
$$E_U - E_L = hf$$

↑
انرژی فوتون تابش شده

↓
حالت مانا
با انرژی کمتر

↓
حالت مانا
با انرژی بیشتر

(معادله گسیل فوتون از اتم) $hf = E_R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$



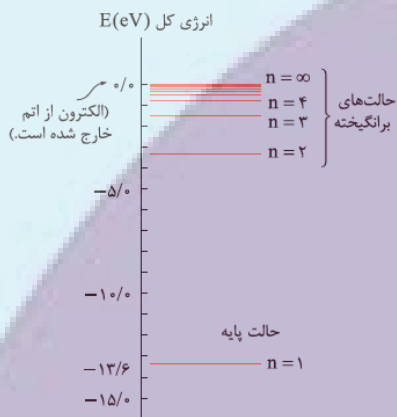
نارسایی‌های مدل اتمی بور

(۱) برای اتم‌هایی با بیشتر از یک الکترون کارایی ندارد.

(۲) نمی‌تواند شدت نور خط‌های طیف گسیلی را توجیه کند.

نکته

نمودار ترازهای انرژی الکترون برای اتم هیدروژن:



توجه در دمای اتاق، الکترون بیشترین زمان را در حالت پایه دارد.

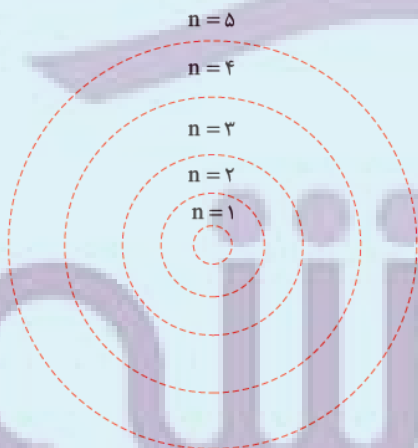
نکته

طیف خطی هیدروژن شامل ۴ خط در گستره نور مرئی است.

● **انرژی یونش:** کم‌ترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه و بردن آن به بالاترین حالت برانگیخته

نکته

با افزایش n در اتم هیدروژن، اختلاف فاصله در مدارهای کنار هم بیشتر می‌شود.



$$r_n = n^2 a_0$$

$$\left. \begin{array}{l} r_1 = a_0 \\ r_2 = 4a_0 \end{array} \right\} \Rightarrow r_2 - r_1 = 3a_0$$

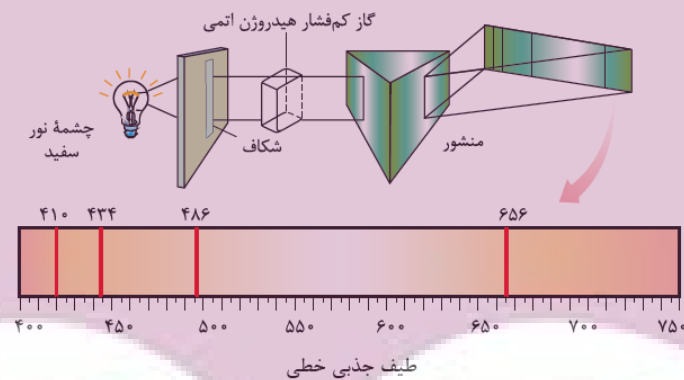
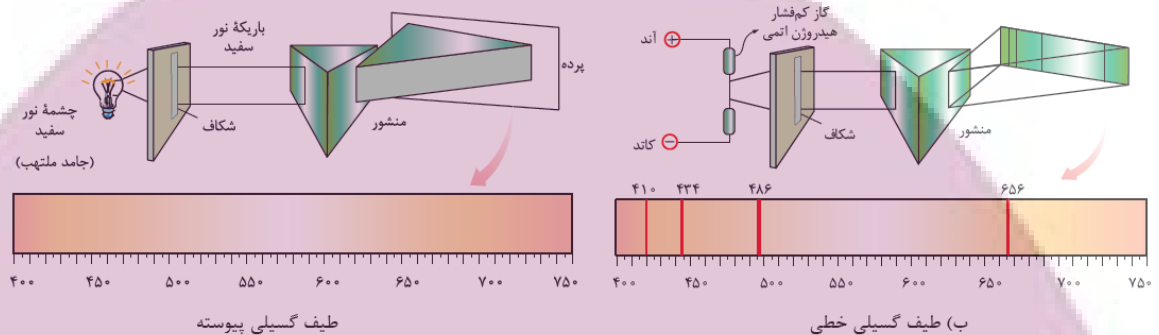
$$\left. \begin{array}{l} r_3 = 9a_0 \\ r_4 = 16a_0 \end{array} \right\} \Rightarrow r_4 - r_3 = 7a_0$$

$$\Rightarrow r_4 - r_3 > r_2 - r_1$$



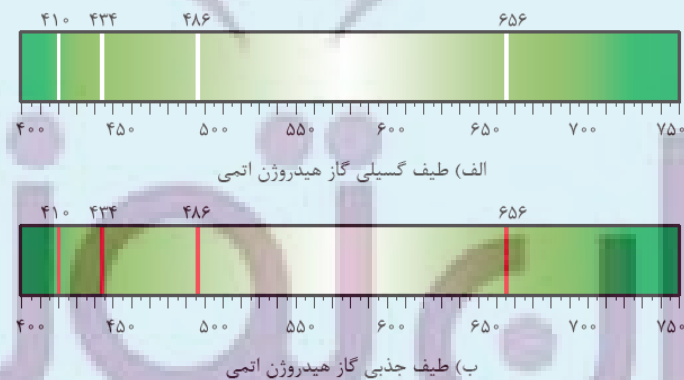
– طیف‌های اتمی –

نوع طیف	عامل تولید	علت تشکیل	ویژگی‌های طیف
گسیلی پیوسته	جامدهای ملتهب	برهم کنش قوی بین اتم‌ها	- به دما بستگی دارد اما به جنس جامد بستگی ندارد. - گسسته‌اند (تعداد محدود طول موج) - شدت نور خط‌ها یکسان نیست.
گسیلی خطی	گازهای رقیق و کم فشار برانگیخته	جهش الکترون‌ها از ترازهای بالا به پایین	برای هر گاز منحصر به فرد است.
جذبی خطی	عبور نور سفید از یک گاز رقیق و کم فشار	جهش الکترون‌ها از ترازهای پایین به بالا	- برای هر گاز منحصر به فرد است. - گسسته‌اند (تعداد محدود طول موج)



نکته

مقایسه طیف گسیلی خطی و طیف جذبی خطی



طول موج‌های گسیل شده و جذب شده کاملاً بر هم منطبق هستند.

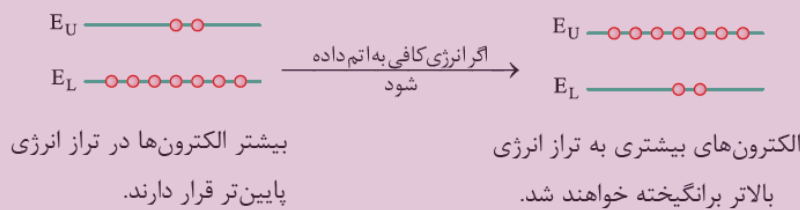


– لیزر –

الکترون از تراز انرژی بالا به تراز انرژی پایین گذر کند، یک فوتون گسیل می‌شود.

گسیل القایی	گسیل خودبه‌خودی
با فوتون ورودی، الکترون برانگیخته تحریک می‌شود تا به تراز انرژی پایین‌تر برود. انرژی فوتون ورودی $E_U - E_L$	فوتون در جهت کاتوره‌ای گسیل می‌شود. (انرژی فوتون تابش شده) $E_U - E_L = hf$

- نکات گسیل القایی
 - هر فوتون ورودی می‌تواند دو فوتون خارج کند.
 - فوتون ورودی و فوتون گسیل شده هم‌بسامد، هم‌جهت و هم‌فاز هستند.
- لیزر: چشمه نوری که تمامی پرتوهای خروجی از آن با تقریب خوبی با هم موازی هستند.
- اساس کار لیزر، گسیل القایی است.



● وارونی جمعیت:

زمان حدودی الکترون‌ها در حالت برانگیخته به کمک شبه‌ترازها $10^{-3} s$ استفاده از ترازهای شبه پایدار در لیزرها $10^{-8} s$ زمان حدودی الکترون‌ها در حالت برانگیخته

ایران توانسته
توشه‌ای برای موفقیت



ایران توانمند

توشه‌ای برای موفقیت

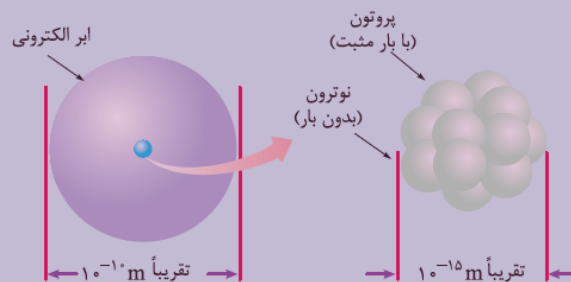


– ساختار هسته –

ذره	بار الکتریکی (C)	جرم	یکای جرم اتمی (u)
پروتون	$+1/6 \times 10^{-19}$	$1/672622 \times 10^{-27}$ (kg)	۱/۰۰۷۲۷۶
نوترون	۰	$1/674929 \times 10^{-27}$ (kg)	۱/۰۰۸۶۶۴
الکترون	$-1/6 \times 10^{-19}$	$9/109389 \times 10^{-31}$ (kg)	$5/4858 \times 10^{-4}$

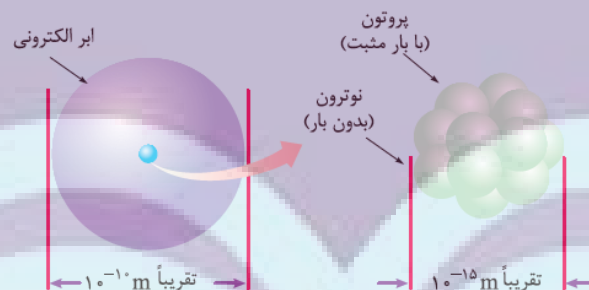
نکته

شعاع هسته $\frac{1}{10^5}$ برابر شعاع اتم و $\frac{1}{10^{15}}$ از کل حجم اتم را هسته اشغال کرده است.



نکته

شعاع هسته $\frac{1}{10^5}$ برابر شعاع اتم و $\frac{1}{10^{15}}$ از کل حجم اتم را هسته اشغال کرده است.



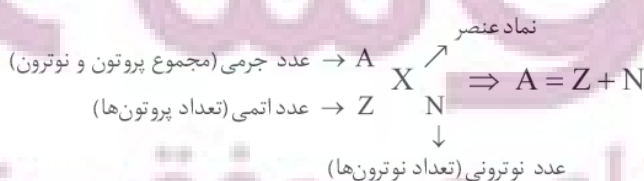
نکته

چگالی هسته بسیار زیاد و از مرتبه 10^{14} g/cm^3 است.

نکته

به پروتون یا نوترون، نوکلئون می‌گویند.

نمایش اتم





هسته‌هایی که عدد اتمی یکسان اما عدد جرمی متفاوتی دارند. (تعداد پروتون‌ها $\neq$ تعداد نوترون‌ها)

ایزوتوپ

- خواص شیمیایی یکسان $\xleftarrow{\text{علت}}$ عدد اتمی یکسان
- ویژگی‌ها $\xleftarrow{\text{علت}}$ جایگاه برابری در جدول تناوبی دارند.
- خواص شیمیایی یکسان اما خواص فیزیکی متفاوتی دارند.

نکته

جرم اتمی هر عنصر، میانگین جرم‌های اتمی ایزوتوپ‌های آن است.

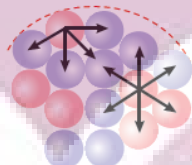
نکته

ایزوتوپ‌های هیدروژن و کربن

نام عنصر	نماد	Z	N	درصد فراوانی در طبیعت	نام عنصر	نماد	Z	N	درصد فراوانی در طبیعت
هیدروژن-۱	H	۱	۰	۹۹/۹۸۸۵	کربن-۱۲	^{12}C	۶	۶	۹۸/۹۳
دوتریم (هیدروژن-۲، ^2H)	D	۱	۱	۰/۰۱۱۵	کربن-۱۳	^{13}C	۶	۷	۱/۰۷
تریتیم (هیدروژن-۳، ^3H)	T	۱	۲	بسیار نادر	کربن-۱۴	^{14}C	۶	۸	یافت نمی‌شود.

پایداری هسته

- نیروی گرانشی: نیرویی ناچیز به دلیل جرم کم نوکلئون‌ها
- نیروی دافعه الکتروستاتیکی: نیروی دافعه بین پروتون‌های هسته (عامل ناپایداری)
- نیروی دافعه قوی: نیرویی که باعث پایداری هسته شده است.
- نیروی هسته‌ای: نیرویی که باعث پایداری هسته شده است.
- بین دو پروتون، دو نوترون و یک پروتون و نوترون وجود دارند.
- اندازه نیروی بین نوکلئون‌ها با هم برابر است.
- نیروی کوتاه‌برد است. دو نوکلئون غیرمجاور عملاً نیروی هسته‌ای ندارند.
- نیروی ربایشی است.
- از دو نیروی دیگه قوی‌تر است.



پروتون
نوترون

توجه: نیروی الکتروستاتیکی برخلاف نیروی هسته‌ای نیرویی بلندبرد است.

یاداری هسته

- نیروهای بین نوکلئون ها

نیروی گرانشی: نیرویی ناچیز به دلیل جرم کم نوکلئون‌ها

نیروی دافعه الکتروستاتیکی: نیروی دافعه بین پروتون‌های هسته (عامل ناپایداری)

بین دو پروتون، دو نوترون و یک پروتون و

نوترون وجود دارند.

نیروی هسته‌ای: نیرویی که باعث پایداری هسته شده است.

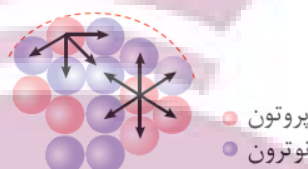
اندازه نیروی بین نوکلئون‌ها با هم برابر است.

نیروی کوتاه‌برد است. دو نوکلئون غیرمجاور

عملاً نیروی هسته‌ای ندارند.

نبروی، ریاضی، است.

از دو نیروی دیگره قوی تر است.



توجه نیروی الکتروستاتیکی برخلاف نیروی هسته‌ای نیروی بلندبرد است.

نایاداری هسته‌های سنگین

هسته به حالت ناپایدار در می آید → افزایش نیروی دافعه الکتروستاتیکی، بیشتر از افزایش نیروی هسته ای می شود → افزایش تعداد پروتون های هسته

نکات مهم

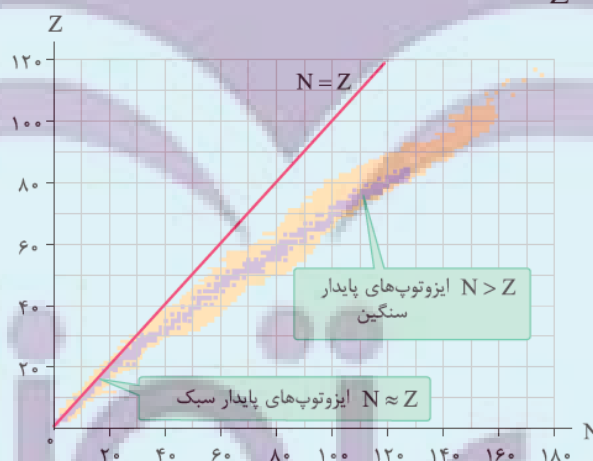
(۱) هسته‌هایی با عدد اتمی بالاتر از ۸۳ ناپایدارند.

(۲) ${}_{83}^{209}\text{Bi}$ (بیسموت)، هسته پایدار با بیشترین عدد اتمی

(۳) توریم ($Z=90$) و اورانیوم ($Z=92$) تنها هسته‌های ناپایدار موجود در طبیعت هستند ← علت وایشی بسیار کند.

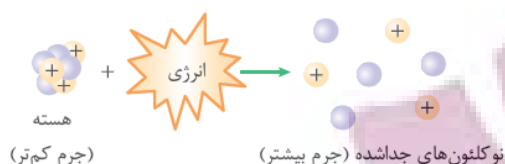
نکته

(۱) هر چه هسته سنگین تر شود، نسبت $\frac{N}{Z}$ افزایش می‌یابد.



نمودار تغییرات Z بر حسب N برای هسته‌های یابدار و یرتوزا

(۲) اینزوتوب‌ها روی یک خط افقی قرار دارند.



انرژی لازم برای جدا کردن نوکلئون‌های هسته

کاستی جرم هسته: جرم هسته از مجموع جرم نوکلئون‌های تشکیل‌دهنده آن کمتر است؛ به این اختلاف کاستی جرم هسته می‌گویند.

انرژی بستگی هسته‌ای

انرژی بستگی هسته (J)

$$E = mc^2 \rightarrow (3 \times 10^8 \text{ m/s})$$

تندی نور در خلأ

کاستی جرم هسته (kg)

محاسبه انرژی بستگی هسته‌ای:

تراز انرژی: انرژی الکترون‌ها و نوکلئون‌ها کوانتیده است. (هر مقدار دلخواهی نمی‌توانند داشته باشند).

نکته

(۱) اختلاف انرژی ترازهای نوکلئون‌ها از مرتبه 10^6 eV است.

(۲) اختلاف انرژی ترازهای الکترون‌ها از مرتبه 1 eV است.

(۳) هسته برانگیخته به حالت پایه برود $\leftarrow$ گسیل فوتون با انرژی بسیار بالا
الکترون از تراز بالا به تراز پایین برود $\leftarrow$ گسیل فوتون با انرژی بسیار کمتر از هسته

توجه نماد هسته برانگیخته ${}^A_Z X^*$

نکته

هسته‌ها با واکنش شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

• پرتوزایی

پرتوزایی -

آزادسازی فوتون‌های پرانرژی یا ذراتی معین توسط هسته‌های ناپایدار

نام واپاشی	ذره یا پرتوی تابش شده	هسته مادر	هسته دختر	تغییر مکان در جدول تناوبی عنصرها	معادله واکنش
α	${}^4_2\text{He}$	${}^A_Z X$	${}^{A-4}_{Z-2} Y$	دو خانه به عقب	${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + \alpha$
β^-	${}^0_{-1}e^-$	${}^A_Z X$	${}^A_{Z+1} Y$	یک خانه به جلو	${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + \beta^-$
β^+	${}^0_{+1}e^+$	${}^A_Z X$	${}^A_{Z-1} Y$	یک خانه به عقب	${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + \beta^+$
γ	${}^0_0\gamma$	${}^A_Z X$	${}^A_Z X$	بدون تغییر	${}^A_Z X \rightarrow {}^A_Z X + \gamma$



ذره گاما (γ)	ذرات β^+ و β^-	ذره آلفا (α)
(۱) حاصل تغییر تراز انرژی نوکلئون‌های هسته (۲) نفوذپذیری بالا (۳) از نظر باردار بودن، خنثی هستند.	(۱) واپاشی β^+ پوزیترون نام دارد. (۲) تبدیل نوترون به پروتون و الکترون: β^- ${}_1^1\text{N} \rightarrow {}_1^1\text{P} + {}_{-1}^0\text{e}$ (۳) تبدیل پروتون به نوترون و الکترون: β^+ ${}_1^1\text{P} \rightarrow {}_1^1\text{N} + {}_{+1}^0\text{e}$ (۴) جرم کمی دارند.	(۱) ذره‌ای سنگین با جرمی ۴ برابر پروتون (۲) بار این ذره برابر ۲ پروتون است. (۳) برد کوتاه پس از گسیل (۴) نفوذپذیری کم (۵) در آشکارسازهای دود کاربرد دارد.

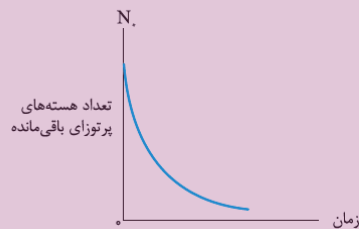
(ب) در تمام واپاشی‌ها، مجموع عدد جرمی و مجموع عدد اتمی در دو طرف واکنش برابر است.

(پ) نفوذپذیری $\alpha >$ نفوذپذیری $\beta >$ نفوذپذیری γ

• نیمه عمر

– نیمه‌عمر –

مدت زمانی که طول می‌کشد تعداد هسته‌های یک ایزوتوپ ناپایدار نصف شود.



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

روابط نیمه‌عمر

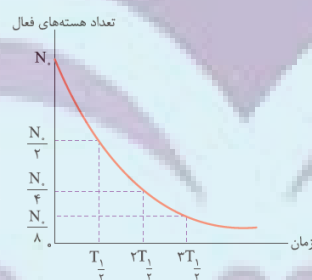
مدت زمان سپری‌شده $\uparrow$ $n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$ تعداد نیمه‌عمر

الف) $N = N_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^n$ $\uparrow$ تعداد هسته‌های اولیه $\downarrow$ تعداد هسته‌های باقی‌مانده

ب) $m = m_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n$ $\uparrow$ جرم اولیه $\downarrow$ جرم باقی‌مانده

نکته

نمودار هسته باقی‌مانده بر حسب زمان:



نکته

نمودار تعداد هسته واپاشی‌شده بر حسب زمان:

