فصل چهار: آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ای

فوتون

نور به صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی به نام **فوتون** در نظر گرفته می‌شود.

روابط

- انرژی یک فوتون (فوتون‌ها): $E = hf \ (E = nhf)$
- h: ثابت پلانک: $۶/۶۳\times۱۰^{-۳۴}\ j.S$
- n: تعداد فوتون هم‌بسامد
- توان چند لامپ تک‌فام (تابشگر فوتون‌های هم‌بسامد):

$$P = \frac{E}{t} = \frac{nhf}{t}$$

(P: توان (W)، n: تعداد فوتون، t: زمان تابش (s))

- الکترون‌ولت (eV)

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{|q|} = ۱\ V = \frac{\Delta U}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}} \Rightarrow \Delta U = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ J$$

$$\Rightarrow ۱e.V = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ J$$

ثابت پلانک برحسب الکترون‌ولت در ثانیه:

$$h = ۶/۶۳\times۱۰^{-۳۴}\ J.s \times \frac{۱eV}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ J} \Rightarrow h \simeq ۴/۱۴\times۱۰^{-۱۵}\ eV.s$$

نکته

$$\lambda = \frac{v}{f} \xrightarrow{v=c} \lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow E = \frac{hc}{\lambda} \xrightarrow{hc=۱۲۴۰eV.nm} \frac{۱۲۴۰(eV.nm)}{\lambda(nm)}$$

نکته

روابط نسبتی:

$$\frac{P_۲}{P_۱} = \frac{n_۲}{n_۱} \times \frac{f_۲}{f_۱} \times \frac{t_۱}{t_۲} \quad \text{یا} \quad \frac{P_۲}{P_۱} = \frac{n_۲}{n_۱} \times \frac{\lambda_۱}{\lambda_۲} \times \frac{t_۱}{t_۲}$$

شدت تابشی نور:

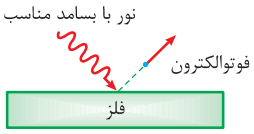
$$I = \frac{E}{At}$$

(I: انرژی فوتون‌های رسیده به سطح (J)، A: مساحت سطح ($m^۲$)، t: زمان اندازه‌گیری (s))

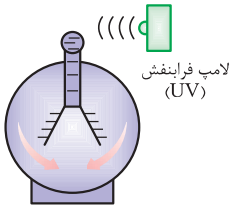
اثر فوتوالکتریک

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

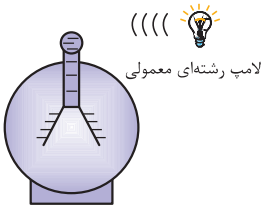
به الکترون‌های گسیل‌شده، فوتوالکترون می‌گویند.



آزمایش اثر فوتوالکتریک در الکتروسکوپ



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



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

@DaneshSad

نکته

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

نکته

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

نکته

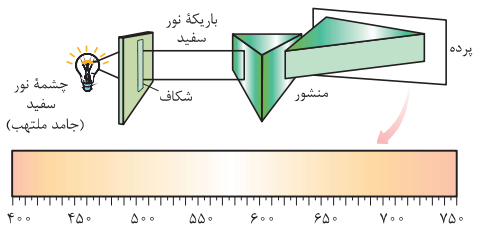
فیزیک کلاسیک	فیزیک جدید (نظریهٔ اینشتین)	نتیجهٔ آزمایش
فوتوالکتریک با هر بسامدی رخ می‌دهد.	فوتوالکتریک در بسامدهای بیشتر از بسامد آستانه یا برابر با آن رخ می‌دهد.	تأیید فیزیک جدید
بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها به شدت نور وابسته است.	بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها مستقل از شدت نور تابشی است.	تأیید فیزیک جدید

نکته

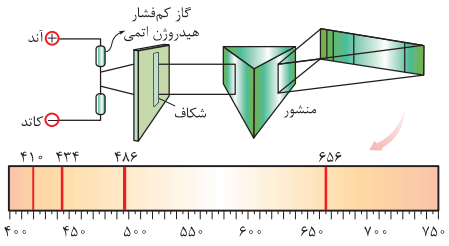
بسامد نور تابشی	طول موج نور تابشی	اثر فوتوالکتریک	افزایش شدت تابش نور
$f > f_0$	$\lambda < \lambda_0$	رخ می‌دهد.	باعث افزایش فوتون‌های تابشی و افزایش فوتوالکترون‌ها می‌شود.
$f = f_0$	$\lambda = \lambda_0$	رخ می‌دهد.	باعث افزایش فوتون‌های تابشی و افزایش فوتوالکترون‌ها می‌شود.
$f < f_0$	$\lambda > \lambda_0$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

طیف‌های اتمی

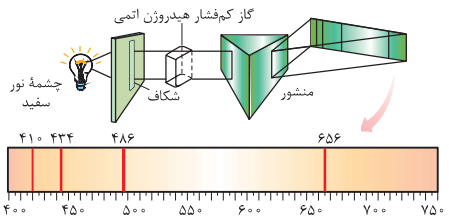
نوع طیف	عامل تولید	علت تشکیل	ویژگی‌های طیف
گسیلی پیوسته	جامدهای ملتهب	برهم‌کنش قوی بین اتم‌ها	به دما بستگی دارد اما به جنس جامد بستگی ندارد. گسسته‌اند (تعداد محدود طول موج) شدت نور خط‌ها یکسان نیست.
گسیلی خطی	گازهای رقیق و کم‌فشار برانگیخته	جهش الکترون‌ها از ترازهای بالا به پایین	برای هر گاز منحصربه‌فرد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



طیف گسیلی پیوسته



طیف گسیلی خطی

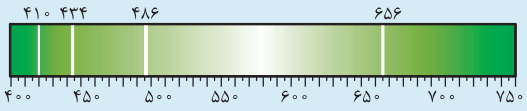


طیف جذبی خطی

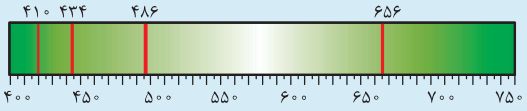
@DaneshSad

نکته

مقایسهٔ طیف گسیلی خطی و طیف جذبی خطی



الف) طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی



ب) طیف جذبی گاز هیدروژن اتمی

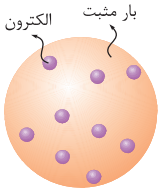
طول موج‌های گسیل‌شده و جذب‌شده کاملاً بر هم منطبق هستند.

– مدل‌های اتمی –

الف) مدل اتمی تامسون

- معروف به کیک کشمشی
- کاشف الکترون
- الکترون‌ها با بسامد معین حول وضع تعادل خود نوسان می‌کنند.
- نسبت بار به جرم الکترون را به دست آورد.

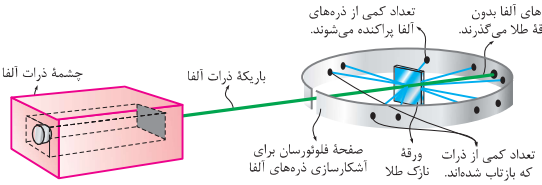
علت ناکامی:
- ۱) نمی‌توانست طیف خطی عناصر را توجیه کند.
- ۲) بسامد امواج الکترومغناطیسی گسیلی را به درستی پیش‌بینی نکرد.

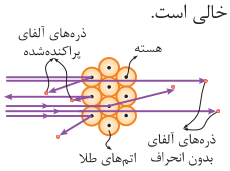


- بار مثبت به صورت همگن در اتم پخش است.
- الکترون‌ها در فضای اتم پراکنده هستند.

ب) مدل اتمی رادرفورد

- 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.





علت ناکامی:
- ۱) به چگونگی قرارگرفتن الکترون در اتم و هم‌چنین ساکن یا متحرک‌بودن آن‌ها اشاره‌ای نکرد.
- ۲) قادر به توجیه‌کردن طیف گسستهٔ اتمی نیست.

نکته

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

@DaneshSad

پ) مدل اتمی بور

- ناپایداری اتم در مدل رادرفورد را حل کرد.
- معادلهٔ ریدبرگ برای طیف خطی اتم هیدروژن نتیجه داد.

فرضیه‌های مدل اتمی بور

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

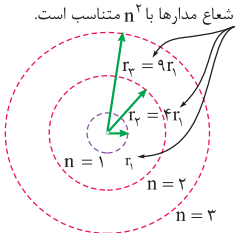
شعاع مدارهای الکترون برای اتم هیدروژن:

شمارهٔ مدار

$$r_n = a_\circ . n^2$$

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

شعاع مدارها با n^2 متناسب است.



انرژی الکترون در اتم هیدروژن:

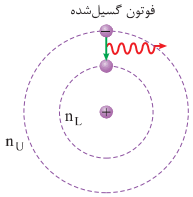
$$E_n = -\frac{13/6\,eV}{n^2} = -\frac{E_R}{n^2}$$

$$E_1 = -13/6\,eV \Rightarrow (E_R)\ \text{یک ریدبرگ}$$

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

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.



انرژی فوتون تابش‌شده

$$E_U - E_L = hf$$

E_U: حالت مانا با انرژی بیشتر — E_L: حالت مانا با انرژی کمتر

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

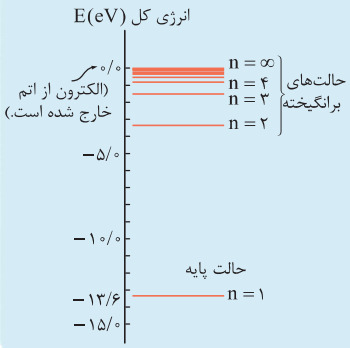
نارسایی‌های مدل اتمی بور

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 گسترهٔ نور مرئی است.

@DaneshSad

معادلهٔ ریدبرگ

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

ثابت ریدبرگ: $R = 0/01097 \simeq 0/01\ (nm)^{-1}$

$R = \frac{E_R}{hc}$

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:

$$N = \frac{n(n-1)}{2}$$ ← خط طیفی nام

نام‌گذاری رشته‌های طیف خطی هیدروژن:

نام طیف	شمارهٔ مدار پایین‌تر (n') (مدار مقصد)	رابطهٔ ریدبرگ مربوط به رشته	شمارهٔ مدار بالاتر (n)	ناحیهٔ 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

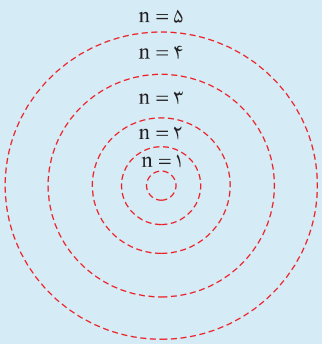
نکته

خط kاُم رشتهٔ n' ⇐ $n = n' + k$

انرژی یونش: کم‌ترین انرژی لازم برای خارج‌کردن 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.



$r_n = n^2 a_0$

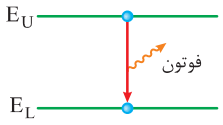
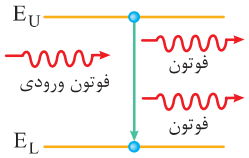
$$\left.\begin{array}{l} r_1 = a_0 \\ r_2 = 4a_0 \end{array}\right\} \Rightarrow r_2 - r_1 = 3a_0$$

$$\left.\begin{array}{l} r_2 = 4a_0 \\ r_3 = 9a_0 \end{array}\right\} \Rightarrow r_3 - r_2 = 5a_0$$

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

@DaneshSad

لیزر

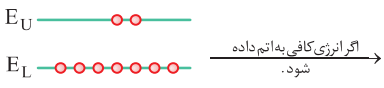
الکترون از تراز انرژی بالا به تراز انرژی پایین گذر کند، یک فوتون گسیل می‌شود.	
گسیل خودبه‌خودی	گسیل القایی
فوتون در جهت کاتوره‌ای گسیل می‌شود. $E_U - E_L = hf$ (انرژی فوتون تابش‌شده) 	با فوتون ورودی، الکترون برانگیخته تحریک می‌شود تا به تراز انرژی پایین‌تر برود. $E_U - E_L =$ انرژی فوتون ورودی 

نکات گسیل القایی
- هر فوتون ورودی می‌تواند دو فوتون خارج کند.
- فوتون ورودی و فوتون گسیل‌شده هم‌بسامد، هم‌جهت و هم‌فاز هستند.

لیزر: چشمهٔ نوری که تمامی پرتوهای خروجی از آن با تقریب خوبی با هم موازی هستند.

اساس کار لیزر، گسیل القایی است.

وارونی جمعیت:



الکترون‌های بیشتری به تراز انرژی بالاتر برانگیخته خواهند شد.

بیشتر الکترون‌ها در تراز انرژی پایین‌تر قرار دارند.

$10^{-8}\,s \xrightarrow[\text{پایدار در لیزرها}]{\text{استفاده از ترازهای شبه}} 10^{-3}\,s$

زمان حدودی الکترون‌ها در حالت برانگیخته به کمک شبه‌ترازها

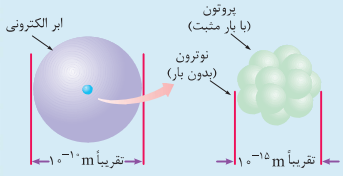
زمان حدودی الکترون‌ها در حالت برانگیخته

ساختار هسته

ذره	بار الکتریکی (C)	جرم	
		کیلوگرم (kg)	یکای جرم اتمی (u)
پروتون	$+1/6\times10^{-19}$	$1/672622\times10^{-27}$	$1/007276$
نوترون	۰	$1/674929\times10^{-27}$	$1/008664$
الکترون	$-1/6\times10^{-19}$	$9/109389\times10^{-31}$	$5/4858\times10^{-4}$

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

چگالی هسته بسیار زیاد و از مرتبهٔ $10^{14}\,g/cm^3$ است.

نکته

به پروتون یا نوترون، نوکلئون می‌گویند.

@DaneshSad

نمایش اتم

$$\text{عدد جرمی (مجموع پروتون و نوترون)} \rightarrow A \quad X \quad \text{نماد عنصر} \qquad \Rightarrow A = Z + N$$
$$\text{عدد اتمی (تعداد پروتون‌ها)} \rightarrow Z \quad N \rightarrow \text{عدد نوترونی (تعداد نوترون‌ها)}$$

ایزوتوپ

- هسته‌هایی که عدد اتمی یکسان اما عدد جرمی متفاوتی دارند. (تعداد پروتون‌ها ≠ تعداد نوترون‌ها)
- ویژگی‌ها:
  - خواص شیمیایی یکسان ← (علت) ← عدد اتمی یکسان
  - 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

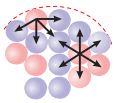
ایزوتوپ‌های هیدروژن و کربن

نام عنصر	نماد	Z	N	درصد فراوانی در طبیعت	نام عنصر	نماد	Z	N	درصد فراوانی در طبیعت
هیدروژن ـ۱	H	۱	۰	۹۹/۹۸۸۵	کربن ـ۱۲	^{12}C	۶	۶	۹۸/۹۳
دوتریم (هیدروژن ـ۲، ^{2}H)	D	۱	۱	۰/۰۱۱۵	کربن ـ۱۳	^{13}C	۶	۷	۱/۰۷
تریتیم (هیدروژن ـ۳، ^{3}H)	T	۱	۲	بسیار نادر	کربن ـ۱۴	^{14}C	۶	۸	یافت نمی‌شود.

پایداری هسته

نیروهای بین نوکلئون‌ها

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



توجه نیروی الکتروستاتیکی برخلاف نیروی هسته‌ای نیرویی بلندبرد است.

ناپایداری هسته‌های سنگین

هسته به حالت ناپایدار درمی‌آید ← افزایش نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی بیشتر از افزایش نیروی هسته‌ای می‌شود ← افزایش تعداد پروتون‌های هسته

نکات مهم

۱) هسته‌هایی با عدد اتمی بالاتر از ۸۳ ناپایدارند.

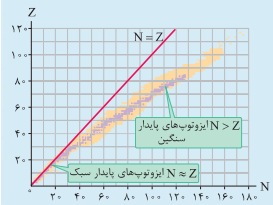
۲) $^{209}_{83}Bi$ (بیسموت)، هستهٔ پایدار با بیشترین عدد اتمی

۳) توریم ($Z = ۹۰$) و اورانیوم ($Z = ۹۲$) تنها هسته‌های ناپایدار موجود در طبیعت هستند ← (علت) ← واپاشی بسیار کند.

نکته

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

۲) ایزوتوپ‌ها روی یک خط افقی قرار دارند.

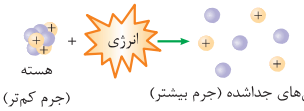


نمودار تغییرات Z برحسب N برای هسته‌های پایدار و پرتوزا

@DaneshSad

انرژی بستگی هسته‌ای

- انرژی لازم برای جداکردن نوکلئون‌های هسته



- کاستی جرم هسته: جرم هسته از مجموع جرم نوکلئون‌های تشکیل‌دهندهٔ آن کم‌تر است؛ به این اختلاف کاستی جرم هسته می‌گویند.
- محاسبه انرژی بستگی هسته‌ای:

$$E = m c^2$$

(E: انرژی بستگی هسته (J)، m: کاستی جرم هسته (kg)، c: تندی نور در خلأ $(3\times10^8\ m/s)$)

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

نکته

۱) اختلاف انرژی ترازهای نوکلئون‌ها از مرتبهٔ $10^6\ eV$ است.

۲) اختلاف انرژی ترازهای الکترون‌ها از مرتبهٔ $1\ eV$ است.

۳)
- هستهٔ برانگیخته به حالت پایه برود ← گسیل فوتون با انرژی بسیار بالا
- الکترون از تراز بالا به تراز پایین برود ← گسیل فوتون با انرژی بسیار کم‌تر از هسته

توجه نماد هستهٔ برانگیخته $^{A}_{Z}X^{*}$

نکته

هسته‌ها با واکنش شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

پرتوزایی

آزادسازی فوتون‌های پرانرژی یا ذراتی معین توسط هسته‌های ناپایدار

نام واپاشی	ذره یا پرتوی تابش‌شده	هستهٔ مادر	هستهٔ دختر	تغییر مکان در جدول تناوبی عنصرها	معادلهٔ واکنش
α	$^{4}_{2}He$	$^{A}_{Z}X$	$^{A-4}_{Z-2}Y$	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	$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$

نکات تکمیلی

الف)

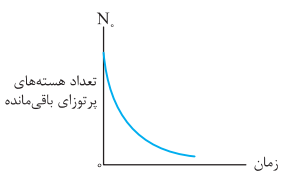
ذرهٔ آلفا (α)	ذرات β^+ و β^-	ذرهٔ گاما (γ)
۱) ذره‌ای سنگین با جرمی ۴ برابر پروتون ۲) بار این ذره برابر ۲ پروتون است. ۳) برد کوتاه پس از گسیل ۴) نفوذپذیری کم ۵) در آشکارسازهای دود کاربرد دارد.	۱) واپاشی β^+ پوزیترون نام دارد. ۲) تبدیل نوترون به پروتون و الکترون: β^- $^{1}_{0}N \rightarrow {}^{1}_{1}P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

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

پ) نفوذپذیری α < نفوذپذیری β < نفوذپذیری γ

نیمه‌عمر

مدت‌زمانی که طول می‌کشد تعداد هسته‌های یک ایزوتوپ ناپایدار نصف شود.



@DaneshSad

زمان	۰	$T_{\frac{1}{2}}$	$۲T_{\frac{1}{2}}$	$۳T_{\frac{1}{2}}$	...
تعداد هسته‌های باقی‌مانده	$N_۰$	$\frac{N_۰}{۲}$	$\frac{N_۰}{۴}$	$\frac{N_۰}{۸}$	...

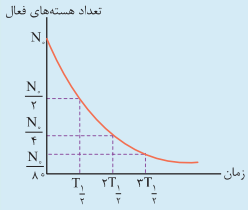
روابط نیمه‌عمر:

(الف) $N = N_۰ \times (\frac{۱}{۲})^n$ (N: تعداد هسته‌های باقی‌مانده، $N_۰$: تعداد هسته‌های اولیه، $n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$: تعداد نیمه‌عمر، t: مدت زمان سپری‌شده)

(ب) $m = m_۰ (\frac{۱}{۲})^n$ (m: جرم باقی‌مانده، $m_۰$: جرم اولیه)

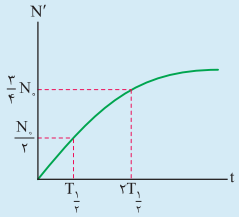
نکته

نمودار هستهٔ باقی‌مانده برحسب زمان:



نکته

نمودار تعداد هستهٔ واپاشی‌شده برحسب زمان:



@DaneshSad