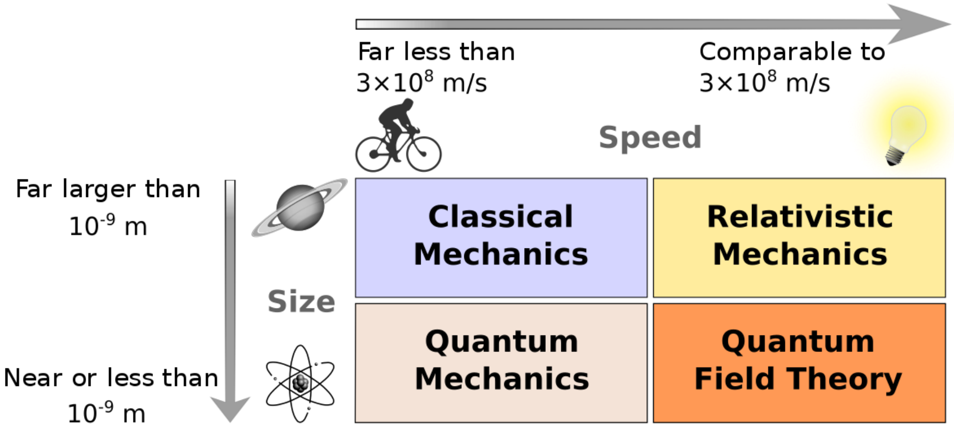
## فصل چهارم تجربی | پنجم ریاضی

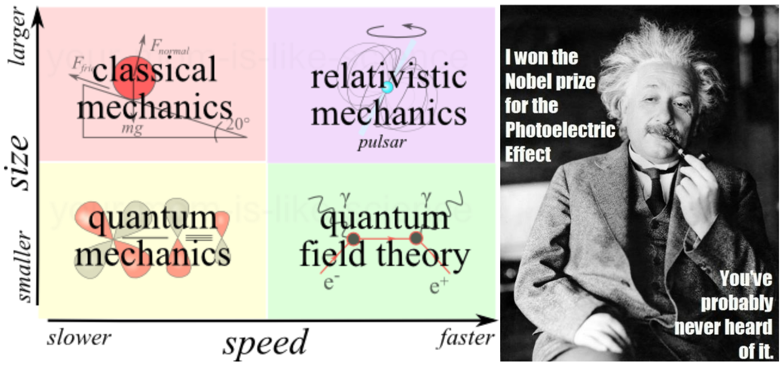
# فیزیک اتمی

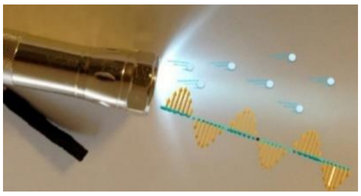
فیزیک

۱) کلاسیک
- مجموعه قوانین و نظریه های فیزیک که تا پایان قرن ۱۹ تدوین شده است.
(مکانیک نیوتنی، ترمودینامیک و نظریه الکترومغناطیس ماکسول)

۲) جدید (مدرن، نوین)
- الف) نسبیت خاص : به مطالعه ی پدیده ها در تندی های بسیار زیاد و قابل مقایسه با سرعت نور می پردازد.
- ب) نسبیت عام : به مطالعه ی هندسه فضا – زمان و گرانش می پردازد.
- ج) کوانتومی: به مطالعه ی پدیده ها در مقیاس بسیار کوچک (در حد ابعاد اتم و ذره های سازنده آن ها) می پردازد.





## ۱-٤ انرژی امواج الکترومغناطیس

طبق نظریهٔ اینشتین، یک موج الکترومغناطیسی با بسامد f را می‌توان به‌صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی درنظر گرفت. به هر یک از این بسته‌ها یک فوتون می‌گویند. بنابراین انرژی یک موج الکترومغناطیس شامل n فوتون به‌صورت زیر بدست می‌آید.

| | | |
|---|---|---|
| انرژی امواج الکترومغناطیس | مقدار انرژی ای که جسم به صورت تابش های الکترومغناطیسی گسیل می کند، همواره مضرب درستی از مقدار یک مقدار پایه است. $$E = nhf = nh\frac{c}{\lambda}$$ این مقدار پایه ( $hf$ ) به بسامد موج الکترومغناطیسی بستگی دارد و به آن فوتون یا کوانتوم انرژی می گویند. | |
| $E = nhf$ | $hf$ : فوتون یا کوانتوم انرژی | $h$ : ثابت پلانک $h = ۶.۶۳ \times ۱۰^{-۳۴} J.s$ |
| فوتون $hf$ | هر موج الکترومغناطیسی از تعدادی بسته ی انرژی (کوانتوم های انرژی) تشکیل شده است. | |
| یکای دیگر انرژی | ژول در مقیاس اتمی واحد بزرگی می باشد، به همین خاطر از واحدی به نام الکترون ولت استفاده می کنند. یک الکترون ولت برابر مقدار انرژی مورد نیاز برای عبور یک الکترون از اختلاف پتانسیل یک ولت است. انرژی یک الکترون در عبور از اختلاف پتانسیل یک ولت $= ۱.۶\times ۱۰^{-۱۹} C \times ۱ V = ۱.۶\times ۱۰^{-۱۹} J = ۱ eV$ <br> $eV \xrightarrow{\times(۱/۶\times ۱۰^{-۱۹})=\times e} J$ 　　 $J \xrightarrow{\div(۱/۶\times ۱۰^{-۱۹})=\div e} eV$ | |
| تبدیل | $۱eV = ۱/۶\times ۱۰^{-۱۹} J$ <br> $h = ۶/۶۳\times ۱۰^{-۳۴} J.s = \frac{۶/۶۳\times ۱۰^{-۳۴}}{۱/۶\times ۱۰^{-۱۹}} eV.s \rightarrow h = ۴/۱۴\times ۱۰^{-۱۵} eV.s$ <br> دقت کنید که در هنگام استفاده از رابطهٔ $E = nhf$ اگر h بر حسب eV.s داده شود و انرژی بر حسب e.V خواسته شود. نیازی به تبدیل واحد نیست. <br> در حل مسائل برای افزایش سرعت در محاسبات می‌توانیم مقدار hc در رابطهٔ $E = n\frac{hc}{\lambda}$ به‌طور تقریبی برابر ۱۲۴۰eV.nm جای‌گذاری کنیم. <br> دقت کنید که در این صورت طول موج باید بر حسب نانومتر جای‌گذاری شود و انرژی موج موردنظر بر حسب الکترون‌ولت به‌دست می‌آید. <br> $h : eV.s \xrightarrow{\times(۱/۶\times ۱۰^{-۱۹})=\times e} J.s$ 　　 $J.s \xrightarrow{\div(۱/۶\times ۱۰^{-۱۹})=\div e} eV.s$ <br> مقدار $hc = ۱۲۴۰\ ev.nm$ حفظ شود. | |
| توان بگن | هر جای فیزیک بحث توان شد یاد ابی یا پتی بیفت! <br> $\left.\begin{matrix} E = Pt \\ E = nhf = nh\frac{c}{\lambda} \end{matrix}\right\} \rightarrow \boxed{Pt = nhf = nh\frac{c}{\lambda}} \rightarrow \boxed{\frac{P_۲ t_۲}{P_۱ t_۱} = \frac{n_۲ f_۲}{n_۱ f_۱} = \frac{n_۲ \lambda_۱}{n_۱ \lambda_۲}}$ | |
| تعداد فوتون بخوان | انرژی هر فوتون رو حساب کن با $E = hf = h\frac{c}{\lambda}$ <br> انرژی کل رو حساب کن با $E_{total} = Pt$ ، انرژی فوتون های خروجی با استفاده از توان خروجی حساب میشه که همون انرژی کل توان های خروجی بهش میگن. <br> تعداد فوتون میشه : $n = \frac{E_{total}}{E}$ | |
| بازده بخوان (حتی لیزر که گفتن ....) | $Ra = \frac{E_{Khoroji}}{E_{voroodi}} \times ۱۰۰ = \frac{P_{Khoroji}}{P_{voroodi}} \times ۱۰۰$ | |

**نکته ۱: انرژی امواج الکترومغناطیسی کمیتی کوانتومی است و هر مقداری نمی‌تواند داشته باشد. به‌عبارت دیگر انرژی امواج الکترومغناطیسی مضرب درستی از یک مقدار پایه است که این مقدار پایه، انرژی یک فوتون $(hf)$ است.**

**نکته۲:در طیف امواج الکترومغناطیسی هرچه از سمت پرتوهای گاما به سمت امواج رادیویی حرکت کنیم. بسامد موج موردنظر کاهش یافته و در نتیجه انرژی فوتون‌های آن‌ها نیز کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر داریم:**

کاهش بسامد، کاهش انرژی فوتون، افزایش طول موج ⟶

پرتوهای گاما — پرتوهای x — فرابنفش — نورمرئی — فروسرخ — میکروموج — امواج رادیویی

**نکته۳: هنگامی که یک موج الکترومغناطیسی از یک محیط وارد محیط دیگر می‌شود، تندی انتشار آن تغییر می‌کند و طبق رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$ با تغییر تندی، طول موج آن نیز تغییر خواهد کرد. اما از آنجایی که بسامد امواج تابع شرایط منبع موج است. با تغییر محیط، بسامد و انرژی فوتون‌ها ثابت مانده و تغییر نمی‌کند.**

**نکته۴: هر وقت محدوده یک موج الکترو رو پرسیدن، طول موج رو به دست بیار . امواج رادیویی طول موجشون در حدود متر و کیلومتر هستش! نور مرئی هم که ۴۰۰ تا ۷۵۰ میگن!**

**چند آیتمی ۱:یک چشمه نور مرئی با توان ۱۰۰ وات ، فوتون هایی با طول موج ۵۵۰ نانومتر گسیل می کند.**

**الف : انرژی هر فوتون بر حسب الکترون ولت :**

$$E = \frac{۱/۲۴\times۱۰^{۳}\,\mathrm{eV.nm}}{۵۵۰\,\mathrm{nm}} = ۲/۲۵\,\mathrm{eV}$$

**ب: چه تعداد فوتون در هر ثانیه از این چشمه نور گسیل می کند؟**

ب) ابتدا انرژی تابش‌شده توسط لامپ را در هر ثانیه به‌دست می‌اوریم :

$$E = pt = (۱۰۰\mathrm{W})(۱\mathrm{s}) = ۱۰۰\mathrm{J} = (۱۰۰\mathrm{J})(\frac{۱\mathrm{eV}}{۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}\mathrm{J}}) = ۶/۲۵\times۱۰^{۲۰}\,\mathrm{eV}$$

نسبت این انرژی به انرژی هر فوتون که در قسمت الف پیدا کردیم، شمار فوتون‌های گسیل‌شده از این چشمه را در هر ثانیه به‌دست می‌دهد. به این ترتیب داریم :

$$n = \frac{۶/۲۵\times۱۰^{۲۰}\,\mathrm{eV}}{۲/۲۵\mathrm{eV}} = ۲/۷۷\times۱۰^{۲۰}$$

**ج: بسامد نور فرودی :**

**د: اگر توان و در نتیجه شدت چشمه نور فرودی به نصف کاهش پیدا کند، شمار فوتون های گسیل شده از چشمه در هر دقیقه چه تغییری می کند؟**

**چند آیتمی۲: توان باریکه نور خروجی یک لیزر گازی هلیم نئون $5mW$ است. اگر توان ورودی این لیزر ۵۰ وات باشد:**

**الف: بازده لیزر ؟**

**ب: اگر طول موج باریکه نور خروجی ۶۳۳ نانومتر باشد، شمار فوتون هایی را پیدا کنید که در هر ثانیه از این لیزر گسیل میشود.**

الف) بازده $R_a = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}} = \frac{5/0 \times 10^{-3}\,W}{50/0\,W} = 10^{-4}$ که برابر ۰/۰۱ درصد است.

ب) ابتدا انرژی هر فوتون خروجی را پیدا می‌کنیم.

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240\,eV.nm}{633\,nm} = 1/96\,eV$$

$$= (1/96\,eV)(\frac{1/6 \times 10^{-19}\,J}{1\,eV}) = 3/13 \times 10^{-19}\,J$$

انرژی کل فوتون‌های خروجی در هر ثانیه برابر است با :

$$E_t = Pt = (5/0 \times 10^{-3}\,\frac{J}{s})(1\,s) = 5 \times 10^{-3}\,J$$

تعداد فوتون‌های خروجی در هر ثانیه برابر است با :

$$n = \frac{E_t}{E} = \frac{5 \times 10^{-3}\,J}{3/13 \times 10^{-19}\,J} = 1/59 \times 10^{16}$$

### تست ۱:

**اختلاف طول موج پرتوهای $A$ و $B$ برابر ۴ نانومتر است. اگر کوانتوم انرژی پرتو $B$، ۳ برابر کوانتوم انرژی پرتو $A$ باشد، طول موج پرتوهای $A$ و $B$ بر حسب نانومتر به ترتیب از راست به چپ کدام‌اند؟**

۱) ۵ و ۱ ۲) ۲ و ۶ ۳) ۱ و ۵ ۴) ۶ و ۲

پاسخ: گزینه ۲ چون کوانتوم انرژی پرتو $B$، سه برابر کوانتوم انرژی پرتو $A$ می‌باشد پس:

$$\left.\begin{matrix}\lambda_A = 3\lambda_B \\ \lambda_A - \lambda_B = 4nm\end{matrix}\right\} \Rightarrow 2\lambda_B = 4 \Rightarrow \lambda_B = 2nm \Rightarrow \lambda_A = 3 \times 2 = 6nm$$

### تست ۲:

**یک لامپ ۲۰۰ وات، نور بنفش با طول موج $400nm$ گسیل می‌کند. یک لامپ ۲۰۰ واتی دیگر نور زرد با طول موج $600nm$ گسیل می‌کند. تعداد فوتون‌هایی که در هر ثانیه از لامپ زرد گسیل می‌شود، چند برابر تعداد فوتون‌هایی است که در همین مدت از لامپ بنفش گسیل می‌شود؟**

۱) $\frac{2}{3}$ ۲) ۱ ۳) $\frac{3}{2}$ ۴) ۲

پاسخ: گزینه ۳

$$\left.\begin{matrix}E = nh\frac{C}{\lambda} \\ E = P \cdot t\end{matrix}\right\} \Rightarrow \begin{matrix}P_Y t_Y = n_Y \frac{hC}{\lambda_Y} \\ P_V t_V = n_V \frac{hC}{\lambda_V}\end{matrix} \xrightarrow{\text{تقسیم دو رابطه}} \frac{200 \times 1}{200 \times 1} = \frac{n_Y}{n_V} \times \frac{\frac{1}{600}}{\frac{1}{400}} \Rightarrow \frac{n_Y}{n_V} = \frac{3}{2}$$

### تست ۳:

**انرژی هر کوانتوم یک موج الکترومغناطیسی $4 \times 10^{-7}eV$ است. این موج در کدام ناحیه از طیف امواج الکترومغناطیسی قرار دارد؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19}C$، $c = 3 \times 10^{8}\frac{m}{s}$ و $h = 6/63 \times 10^{-34}J \cdot s$)**

۱) رادیویی ۲) نور مرئی ۳) فرا بنفش ۴) فرو سرخ

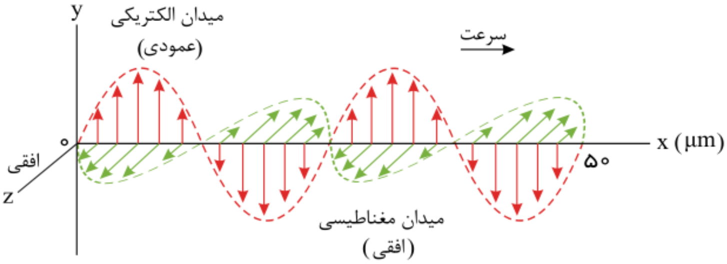
پاسخ: گزینه ۱

انرژی هر کوانتوم $E = hf = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{[6/63 \times 10^{-34}J \cdot s][3 \times 10^{8}\frac{m}{s}]}{(4 \times 10^{-7})(1/6 \times 10^{-19}J)} \Rightarrow \lambda = \frac{19/89}{6/4}\,(\frac{10^{-26}}{10^{-26}}) \cong 3/1m > 700nm$

$\Rightarrow$ مربوط به امواج رادیویی است.

**تست ۴:**

**شکل زیر، تصویری از یک موج الکترومغناطیسی است که در خلأ در حال انتشار است. انرژی هریک از فوتون‌های این موج چند الکترون‌-ولت است؟ ($h = ۴ \times ۱۰^{-۱۵} eV \cdot s$ ,$c = ۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s}$ )**




۱) ۲٫۴

۲) $۲٫۴ \times ۱۰^{-۲}$

۳) ۴٫۸

۴) $۴٫۸ \times ۱۰^{-۲}$

پاسخ: گزینه ۴ هنگام انتشار یک موج الکترومغناطیسی در خلأ، میدان‌های الکتریکی مغناطیسی هم فازند. (در فواصل نسبتاً دور از چشمه). یعنی باهم بیشینه و باهم کمینه مقدار خود را پیدا می‌کنند. ضمن این‌که این دو میدان با یک تندی حرکت می‌کنند و هم بسامد هم هستند. پس طبق رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$، طول موج‌های یکسانی دارند.

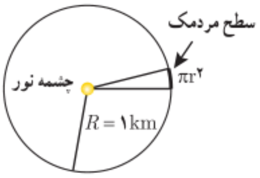
$$۲\lambda = ۵۰\mu m \Rightarrow \lambda = ۲۵\mu m = ۲۵ \times ۱۰^{-۶} m$$

انرژی هر فوتون $E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{۴ \times ۱۰^{-۱۵} eV \cdot s \times ۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s}}{۲۵ \times ۱۰^{-۶} m} = \frac{۱۲}{۲۵} \times ۱۰^{-۱} = ۴٫۸ \times ۱۰^{-۲} eV \Rightarrow E = ۴٫۸ \times ۱۰^{-۲} eV$

**تمرین کتاب:**

**یک لامپ رشته‌ای با توان ۱۰۰ وات از فاصله یک کیلومتری دیده می‌شود.**

**فرض کنید نور لامپ به طور یکنواخت در فضای اطراف آن منتشر می‌شود و بازده لامپ ۵ درصد است (یعنی ۵ وات تابش مرئی گسیل می‌کند) و فقط ۱ درصد این تابش دارای طول موجی در حدود ۵۵۰ نانومتر است. در هر ثانیه چه تعداد فوتون با این طول موج وارد مردمک های چشم ناظری می‌شود که در این فاصله قرار دارد؟ (قطر مردمک ۲ نانومتر در نظر بگیرید)**




چشمهٔ نور را در مرکز کره‌ای به شعاع 1km در نظر می‌گیریم.

ابتدا تعداد فوتون‌هایی را که با طول موج ۵۵۰nm از لامپ در هر ثانیه گسیل می‌شود به‌دست می‌آوریم.

انرژی کل فوتون‌های خروجی با طول موج ۵۵۰nm در هر ثانیه برابر است با: $E_t = \frac{۱}{۱۰۰}(۵/۰ \frac{J}{s})(۱s) = \frac{۵}{۱۰۰} J$

انرژی هر فوتون با طول موج ۵۵۰nm برابر است با: $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{۱۲۴۰ eV.nm}{۵۵۰ nm} = ۲/۲۵ eV$

$$= (۲/۲۵ eV)(\frac{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} J}{۱eV}) = ۳/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹} J$$

تعداد فوتون‌هایی که در هر ثانیه با طول موج ۵۵۰nm از این لامپ گسیل می‌شود برابر است با:

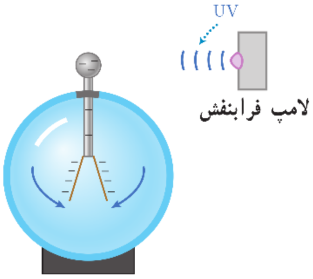
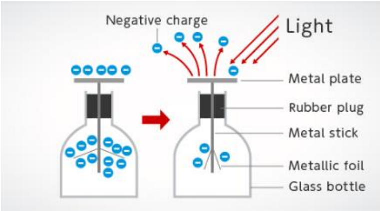
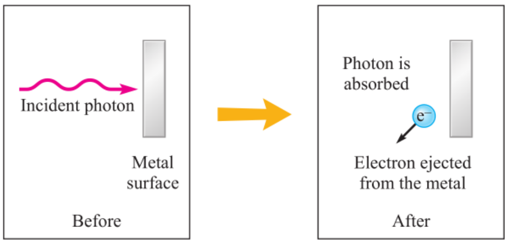
$$n = \frac{E_t}{E} = \frac{۰/۰۵ J}{۳/۶ \times ۱۰^{-۱۹} J} = ۱/۳۸ \times ۱۰^{۱۷}$$

به این ترتیب تعداد فوتون‌هایی که با این طول موج وارد چشم ناظر می‌شوند برابر است با:

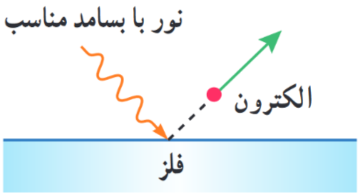
$$n' = \left(\frac{\pi r^۲}{۴\pi R^۲}\right) n = \left(\frac{۱۰^{-۶} m^۲}{۴ \times ۱۰^{۶} m^۲}\right)(۱/۳۸ \times ۱۰^{۱۷}) \Rightarrow n' = (\frac{۱/۳۸}{۴}) \times ۱۰^{۵} = ۳/۴۵ \times ۱۰^{۴}$$

### ۲-۴ فوتوالکتریک از کجا شروع شد؟

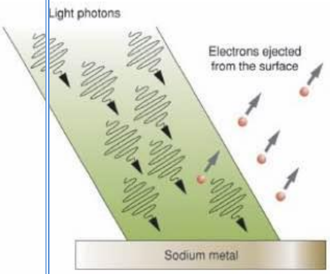
**آزمایش آقای هرتز باعث شد پدیده ای به نام فوتو الکتریک جذاب دوست داشتنی ایجاد بشه!**

| بازی با الکتروسکوپ باردار با بار منفی | | |
|---|---|---|
| آزمایش | نتیجه | تکمیلی |
| تاباندن نور معمولی<br>(نور زرد اتاقت)<br> | هیچ تغییر خاصی رخ نداد | اومد به جای لامپ زرد ۱۰۰ وات ، یک لامپ زرد ۲۰۰ وات گذاشت!<br>یعنی شدت نور رو زیاد کرد، اما بسامد که ثابته . چون همون نور زرد رنگه!<br> <br>اما مشاهده کرد که تغییری ایجاد نشد! (یه فوتون نتونه، ۱۰۰ تا هم نمیتونن) |
| تاباندن نور فرابنفش<br>(تاباندن نور با بسامد بیشتر!)<br> | عه! تیغه ها به هم نزدیک شدن!<br>یعنی الکترون ها کنده شدن!<br>الکترون‌ها، انرژی نور فرودی را جذب می‌کنند و از سطح فلز خارج می‌شوند.<br> | با زیاد شدن شدت نور فرابنفش (زیاد شدن فوتون ها) سرعت بسته شدن تیغه ها بیشتر می شود.<br>این پدیده فیزیکی را، اثر فوتوالکتریک و الکترون‌های جدا شده از سطح فلز را فوتوالکترون می‌نامند.<br> |

**بنابر نظر اینشتین، وقتی نوری تکفام بر سطح فلزی می‌تابد، هر فوتون صرفاً به یکی از الکترون‌های فلز برهم‌کنش می‌کند. اگر فوتون انرژی کافی داشته باشد تا فرایند خارج کردن الکترون از فلز را انجام دهد، الکترون به‌طور آنی از آن گسیل می‌شود. اما اگر فوتون مورد نظر انرژی لازم را نداشته باشد، نمی‌تواند از سطح فلز الکترونی جدا کند.**



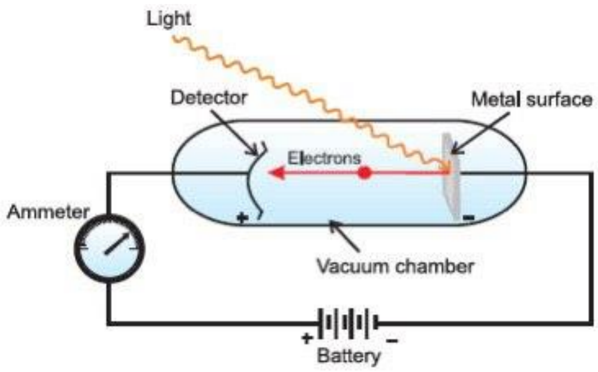

**به‌طور مثال مطابق شکل هنگامی که به کلاهک الکتروسکوپ باردار، پرتوی فرابنفش می‌تابانیم، چون فوتون‌های امواج فرابنفش انرژی زیادی دارند باعث گسیل فوتوالکترون‌ها از کلاهک الکتروسکوپ می‌شوند و بار الکتروسکوپ کاهش یافته و تیغه‌ها به هم نزدیک می‌شوند. اما اگر به همین الکتروسکوپ، نور معمولی بتابد، چون فوتون‌های نور مرئی به اندازهٔ کافی انرژی ندارد، نمی‌توانند باعث کنده شدن الکترون از کلاهک الکتروسکوپ شوند. بنابراین تغییر در بار الکتریکی و فاصلهٔ تیغه‌های الکتروسکوپ ایجاد نمی‌شود.**

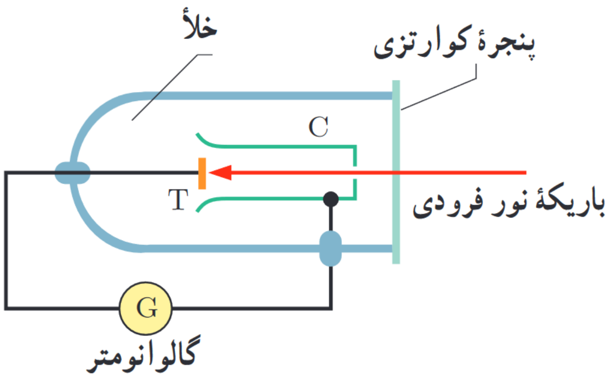



**سوال: اگه شدت نور معمولی زیاد بشه چی؟ باز هم ؟** *اینو بدون که افزایش شدت نور تاثیری در کنده شدن الکترون ها ندارد!*

**سوال : اگر نور بنفش همینطور بتابانیم، چی میشه؟** *دو تیغه به هم نزدیک میشن. بعدش که این تاباندن رو ادامه بدهیم، تیغه ها از هم باز میشن .*

### ۴-۲-۱ سلول فوتوالکتریک



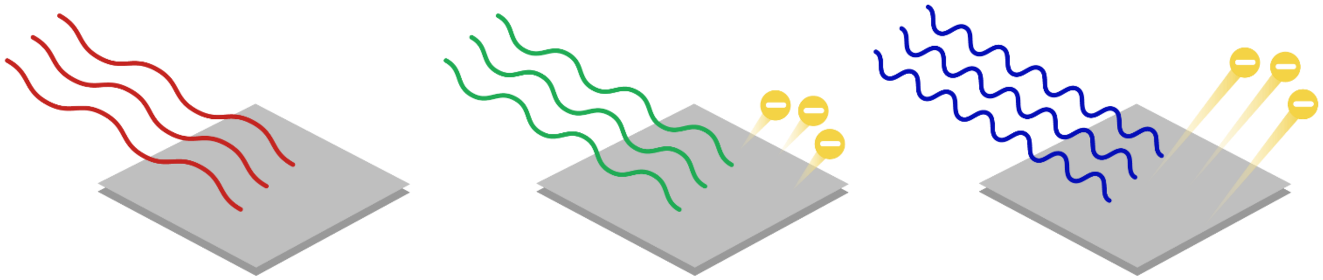

برای بررسی اثر فوتوالکتریک مطابق شکل زیر، از یک وسیلهٔ آزمایشگاهی ساده به نام سلول فوتوالکتریک استفاده می‌کنیم. این دستگاه از یک صفحهٔ فلزی هدف (T) و یک جمع‌کنندهٔ فلزی (C) تشکیل شده است که در محفظهٔ شیشه‌ای خلأ قرار دارند که از بیرون به یک گالوانومتر(آمپرسنج حساس) متصل شده‌اند. هنگامی که نوری با بسامد به قدر کافی زیاد، بر صفحهٔ T فرود می‌آید. فوتوالکترون‌ها را آزاد می‌کند. این فوتوالکترون‌ها به جمع‌کنندهٔ C می‌رسند و در نتیجه گالوانومتر عبور جریان را نشان می‌دهد.

نکته۵: اگر بسامد پرتو فرودی به قدر کافی زیاد باشد، فوتوالکترون‌ها از سطح فلز جدا شده و گالوانومتر عبور جریان را نشان می‌دهد. اگر در این حالت شدت پرتوهای فرودی را افزایش دهیم تعداد فوتون‌ها و در نتیجه تعداد فوتوالکترون‌ها افزایش یافته و در نتیجه گالوانومتر عدد بزرگتری را نشان می‌دهد.

نکته۶: اگر بسامد پرتو فرودی به قدر کافی زیاد نباشد. الکترون‌ها از سطح فلز جدا نمی‌شوند. در این حالت افزایش یا کاهش شدت پرتو فرودی تأثیری در پدیدهٔ فوتوالکتریک ندارد و جریانی از گالوانومتر عبور نمی‌کند و گالوانومتر عدد صفر را نشان می‌دهد.

**طبق نظریه انیشتین هر فوتون صرفاً با یکی از اکترون های فلز بر هم کنش می کند.**

| فوتون تابیده شده به هر فلز | | بسامد |
|---|---|---|
| انرژیش (زورش) زیاده | الکترون به طور آنی از سطح فلز گسیل می شود : یعنی<br>۱) بخشی صرف کندن<br>۲) مابقی به انرژی جنبشی الکترون خارج شده تبدیل می شود. | $f > f_\circ$ |
| انرژیش (زورش) خوبه | الکترون بدون هیچ انرژی جنبشی ای در آستانه جدا شدن قرار می گیرد. | بسامد آستانه یا قطع : $f_\circ$ |
| انرژیش (زورش) کمه | فوتون انرژی لازم را ندارد و الکترون جدا نمی‌شود و فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد. | $f < f_\circ$ |



## چند آیتمی۳:

نوری با بسامد معین روی سطح فلز می تابانیم، پدیده ی فوتو الکتریک رخ نمی دهد. کدام موارد زیر می تواند باعث رخ دادن این پدیده شود ؟

۱) افزایش تعداد فوتون تابشی
۲) افزایش شدت نور تابشی با ثابت ماندن بسامد
۳) افزایش طول موج نور تابشی
۴) افزایش زمان تابش نور
۵) افزایش بسامد نور
۶) کاهش طول موج نور تابشی

### ٤-۲-۲ طول موج آستانه (طول موج قطع):

طول موج متناظر با بسامد آستانه، طول موج آستانه نام دارد و با $\lambda_\circ$ نشان داده می‌شود و داریم: $\lambda_\circ = \frac{c}{f_\circ}$

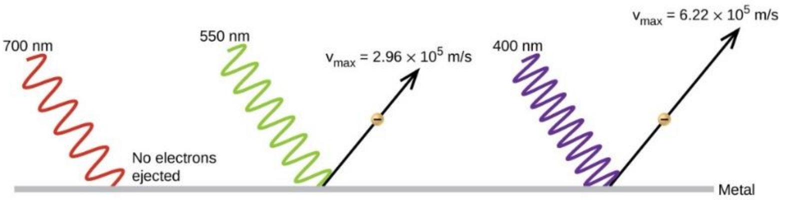
نکته۷: در مقایسهٔ طول موج پرتو فرودی با طول موج آستانه از آنجایی که طبق رابطهٔ $\lambda_\circ = \frac{c}{f_\circ}$ طول موج با بسامد رابطهٔ عکس دارد می‌توانیم به‌صورت زیر عمل کنیم:

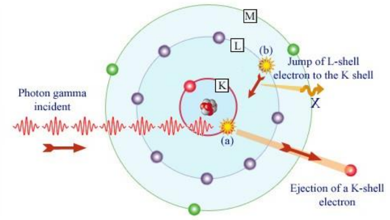
$\lambda > \lambda_\circ \Leftarrow f < f_\circ \Leftarrow$ فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.

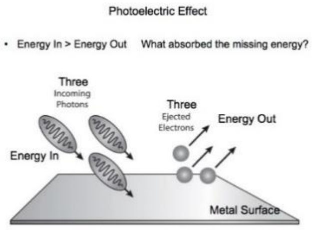
$\lambda = \lambda_\circ \Leftarrow f = f_\circ \Leftarrow$ الکترون در آستانهٔ جدا شدن از فلز قرار می‌گیرد.

$\lambda < \lambda_\circ \Leftarrow f > f_\circ \Leftarrow$ نه تنها الکترون از فلز جدا می‌شود بلکه دارای انرژی جنبشی نیز می‌باشد.

| خلاصه | |
|---|---|
| فوتون | هر موج الکترومغناطیسی از تعدادی بسته ی انرژی (کوانتوم های انرژی) تشکیل شده است. که به این کوانتوم های انرژی فوتون گویند. |
| فوتوالکتریک | جدا شدن الکترون از سطح فلز به دلیل تاباندن نور با بسامد مناسب |
| فوتوالکترون | اکترون های کنده شده (خارج شده) از سطح فلز |
| بسامد مهمه | اثر فوتوالکتریک با هر بسامدی رخ نمی دهد. |
| شدت چی؟ | اگر بسامد کافی نباشد، هرچه قدر شدت را هم زیاد کنیم اثر فوتو الکتریک رخ نمی دهد و جریانی از گالوانومتر عبور نمی‌کند و گالوانومتر عدد صفر را نشان می‌دهد.<br>اگر بسامد کافی باشد، تعداد فوتون‌ها و در نتیجه تعداد فوتوالکترون‌ها افزایش یافته و در نتیجه گالوانومتر عدد بزرگتری را نشان می‌دهد.<br>یعنی افزایش شدت نور : افزایش تعداد فوتون ها : افزایش فوتو الکترون ها در حالیکه انرژی جنبشی فوتو الکترون ها بدون تغییر می ماند. |
| بسامد قطع | به جنس فلز بستگی دارد. |





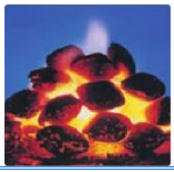




### ۳-۲-۴ تفسیر نتایج تجربی در چارچوب فیزیک کلاسیک

**تفسیر نتایج تجربی در چارچوب فیزیک کلاسیک با دو مشکل عمده روبرو شد:**

| | |
|---|---|
| ۱) مشکل شدت | • مطابق نظریه موجی نور:<br>با افزایش شدت نور (بدون تغییر بسامد آن)، دامنه ی میدان الکتریکی نور افزایش می یابد و طبق رابطه ی $F=Eq$ باید نیروی وارد بر الکترون ها و در نتیجه $K_{\max}$ افزایش یابد.<br>این در حالی است که نمودار نشان می دهد که افزایش شدت نور در ولتاژ متوقف کننده بی تاثیر است. |
| | • مطابق نظریه فیزیک کوانتوم:<br>با افزایش شدت نور، تعداد فوتون ها افزایش می یابد، اما انرژی هر فوتون و در نتیجه $K_{\max}$ تغییری نمی کند. چون انرژی به بسامد نور بستگی دارد و بسامد تغییری نکرده! |
| ۲) مشکل بسامد | مطابق نظریه کلاسیک نور، اگر شدت نور تابشی بر سطح یک فلز به اندازه ی کافی باشد، ریزش الکترون ها از سطح آن، در هر بسامدی اتفاق بیفتد. این در حالی است که اگر بسامد نور فرودی، کوچک تر از بسامد قطع باشد، پدیده فوتو تحت هیچ شرایطی ظاهر نمی شود. |

### ۳-۴ نظریه تابشی اجسام

| | |
|---|---|
| تابش گرمایی جسم | هر جسمی در هر دمایی از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل می کند. این تابش به علت دمای هر جسم می باشد.<br>نکته۸: طیف گسیل شده از جسم در این حالت در محدوده ی گسیل شده، پیوسته است.<br>نکته۹: تابش گرمایی اجسام در دماهای عادی بیشتر در محدوده ی فروسرخ است که برای چشم ما قابل رویت نیست. |
| یک مثال | وقتی یک تکه فلز را گرم می کنیم، ابتدا نارنجی و سپس با گسیل تمام موج های مرئی و بالا بردن دما نهایتاً سفید می شود.<br> |
| علت | زمانیکه دمای جسم را بالا می بریم، طول موج گسیل شده از این اجسام به سمت طول موج های کوتاه تر می رود، در نتیجه این اجسام نور مرئی هم تابش می کنند و برای ما قابل رویت می شود. |
| عوامل موثر بر تابش گرمایی | ۱) دمای جسم<br>۲) بعضی از خصوصیات سطح جسم |
| شدت تابش | مقدار کل انرژی تابش های الکترو مغناطیسی ای (نوری) که در واحد زمان از واحد سطح جسم گسیل می شود<br>$I=\frac{E}{S.t}=\frac{P}{S}=\frac{nhf}{S.t}=\frac{nhc}{\lambda.S.t}\rightarrow I\alpha nf$<br>مثل شدت صوت اما اون انرژی مکانیکی بود و این انرژی الکترو \| واحد ها هم یکسان |

۱-۳-۴ ۳ نکته مهم این قسمت

۱) اگر بسامد ما کمتر از بسامد آستانه باشه (یا طول موج ما بیشتر از طول موج آستانه باشه ) یعنی زورش کم باشه، پدیده فوتو رخ نمیده! حالا تو هی بیا شدت نور رو زیاد کن و این بسامد و طول موج آستانه به جنس فلزت بستگی داره.

۲) افزایش شدت نور (با ثابت ماندن بسامد) فقط سبب افزایش تعداد فوتون ها میشه! اما برای کندن باید زور کافی داشته باشه.

۳) هر فوتون میره سراغ یک الکترون.

**تست۵:**

**در دمای معینی ازجسمی نورهای نارنجی و بنفش با شدت‌های مساوی تابش می‌شود. اگر در مدت معینی $۱/۲ \times ۱۰^{۲۱}$ فوتون نور نارنجی از آن تابش شود، درآن مدت چه تعداد فوتون نوربنفش از آن تابش می‌گردد؟ ($\lambda = ۰/۴\mu m$ بنفش و $\lambda = ۰/۶\mu m$ نارنجی)**

۱) $۱/۲ \times ۱۰^{۲۱}$ ۲) $۶ \times ۱۰^{۲۰}$ ۳) $۴ \times ۱۰^{۲۰}$ ۴) $۸ \times ۱۰^{۲۰}$

پاسخ: گزینه ۴

چون شدت‌های تابشی برای آن دو طول موج و به عبارتی انرژی‌های تابشی در مدت معینی از هر دو برابر است، پس از رابطه‌ی پلانک خواهیم داشت:

$$E = nh\frac{c}{\lambda} \Rightarrow \frac{E_{۲\,\text{بنفش}}}{E_{۱\,\text{نارنجی}}} = \frac{n_۲}{n_۱} \times \frac{\lambda_۱}{\lambda_۲} \Rightarrow ۱ = \frac{n_۲}{n_۱} \times \frac{\lambda_۱}{\lambda_۲} \Rightarrow \frac{n_۲}{n_۱} = \frac{\lambda_۲}{\lambda_۱} \Rightarrow \frac{n_۲}{۱/۲ \times ۱۰^{۲۱}} = \frac{۰/۴}{۰/۶}$$

$$\Rightarrow n_۲ = ۰/۸ \times ۱۰^{۲۱} = ۸ \times ۱۰^{۲۰}$$

**تست۶:**

**از لامپی به شکل کره به شعاع ۵ سانتی‌متر به طور یکنواخت نور نارنجی به طول موج ۰/۶ میکرون در همه‌ی جهت‌ها با شدت $۲ \times ۱۰^{۵}\frac{W}{m^۲}$ تابش می‌گردد. از سطح آن در مدت ۵ ثانیه چه تعداد فوتون تابش می‌گردد؟**

$(c = ۳ \times ۱۰^{۸}\frac{m}{s}$ و $h = ۶ \times ۱۰^{-۳۴}J \cdot s$ و $\pi = ۳)$

۱) $۱۰^{۲۳}$ ۲) $۱۰^{۲۲}$ ۳) $۱۰^{۱۷}$ ۴) $۵ \times ۱۰^{۲۲}$

پاسخ: گزینه ۱

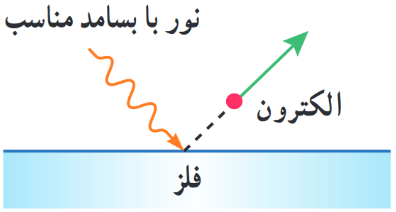
$A = ۴\pi r^۲ = ۴ \times ۳ \times (۵ \times ۱۰^{-۲})^۲ = ۳ \times ۱۰^{-۲}m^۲$ مساحت سطح کره (لامپ)

$$I = \frac{P}{A} = \frac{\frac{E}{t}}{A} = \frac{E}{tA}$$

$$E = IAt = ۲ \times ۱۰^{۵} \times ۳ \times ۱۰^{-۲} \times ۵ = ۳ \times ۱۰^{۴}J$$

$$E = nh\frac{c}{\lambda} \Rightarrow ۳ \times ۱۰^{۴} = n \times ۶ \times ۱۰^{-۳۴} \times \frac{۳ \times ۱۰^{۸}}{۰/۶ \times ۱۰^{-۶}} \Rightarrow n = ۱۰^{۲۳}$$

### ۴-۳-۲ روابط اثر فوتوالکتریک (رشته ریاضی)




فرض کنید مطابق شکل زیر فوتونی با انرژی hf به سطح یک فلز بتابد. همان‌طور که گفتیم اگر انرژی فوتون مورد نظر به اندازهٔ کافی زیاد باشد، می‌تواند باعث گسیل فوتوالکترون‌ها از سطح فلز شود. در این‌صورت بخشی از انرژی فوتون باعث کنده شدن الکترون از فلز می‌شود که آن را با W نشان می‌دهند و مابقی انرژی فوتون به انرژی جنبشی الکترون خارج‌شده تبدیل می‌شود که آن را با K نشان می‌دهند. به‌عبارت دیگر داریم:

| $hf = W + K$ | | |
|---|---|---|
| $hf\leftarrow$ انرژی فوتون | $W\leftarrow$ انرژی مورد نیاز برای کندن الکترون از فلز | $K\leftarrow$ انرژی جنبشی الکترون پس از جدا شدن از فلز |

نکته ۱۰: در رابطه فوق هر سه پارامتر از جنس انرژی هستند و یکای هر سه می‌تواند ژول یا الکترون‌ولت باشد. دقت کنید در حل مسائل هنگام عددگذاری در رابطه یکای هر سه کمیت باید یکسان باشد.

همان‌طور که می‌دانید برای جدا کردن الکترون‌های مختلف از یک اتم، انرژی‌های متفاوتی مورد نیاز است. الکترون‌های لایهٔ ظرفیت که کمتر در قید هسته هستند، با صرف انرژی کمی از هسته جدا می‌شوند، در این‌صورت مقدار کمی از انرژی فوتون برای کندن الکترون صرف می‌شود و انرژی جنبشی باقی‌مانده برای فوتوالکترون‌ها افزایش می‌یابد، کمترین انرژی مورد نیاز برای جدا کردن الکترون از یک فلز معین را با $W_\circ$ نشان می‌دهند و به آن تابع کار فلز می‌گویند و بیشترین انرژی جنبشی باقی‌مانده برای الکترون را با $K_{max}$ نمایش می‌دهند و داریم:

| $hf = W_\circ + K_{max}$ | | |
|---|---|---|
| $hf\leftarrow$ انرژی فوتون | $W_\circ\leftarrow$ کمترین انرژی مورد نیاز برای جدا کردن الکترون (تابع کار فلز) | $K_{max}\leftarrow$ بیشترین انرژی جنبشی باقی‌مانده برای الکترون (انرژی جنبشی سریع‌ترین فوتوالکترون‌های گسیل شده است.) |

نکته ۱۱: تابع کار فلز به جنس فلز بستگی دارد و به ویژگی‌های پرتو فرودی بستگی ندارد.

### ۴-۳-۳  بسامد و طول موج آستانه به صورت کامل

بسامد آستانه (بسامد قطع ): همان‌طور که گفتیم حداقل انرژی مورد نیاز برای جدا کردن یک الکترون از سطح یک فلز برابر $W_\circ$ می‌باشد. اگر انرژی فوتون فرودی دقیقاً برابر $W_\circ$ باشد، الکترون بدون هیچ انرژی جنبشی در آستانهٔ جدا شدن از فلز قرار می‌گیرد. در این حالت $hf = W_\circ$ بوده و $K_{max}$ برابر صفر است. به بسامد فوتون مورد نظر، بسامد آستانه می‌گویند و آن را با $f_\circ$ نمایش می‌دهند. اگر بسامد فوتون از $f_\circ$ کمتر باشد، کلاً الکترون از سطح فلز جدا نمی‌شود و پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد و اگر بسامد فوتون مورد نظر بیشتر از $f_\circ$ باشد، نه تنها الکترون از سطح فلز جدا می‌شود. بلکه دارای انرژی جنبشی نیز می‌باشد.

برای درک بهتر این موضوع به رابطه و جدول زیر دقت کنید:

$$hf_\circ = W_\circ$$

| بسامد فوتون فرودی | مقایسهٔ انرژی فوتون یا تابع کار فلز | وضعیتی که برای الکترون رخ می‌دهد | رابطهٔ فوتوالکتریک |
|---|---|---|---|
| $f < f_\circ$ | $hf < W_\circ$ | فوتون انرژی لازم را ندارد و الکترون جدا نمی‌شود و فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد. | فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد. |
| $f = f_\circ$ | $hf = W_\circ$ | الکترون در آستانه جدا شدن از فلز قرار دارد و $K_{max}$ برابر صفر است. | $hf = W_\circ$ |
| $f > f_\circ$ | $hf > W_\circ$ | نه تنها الکترون از فلز جدا می‌شود بلکه دارای انرژی جنبشی نیز می‌باشد. | $hf = W_\circ + K_{max}$ |

نکته۱۲: به‌طور کلی هرچه الکترون کمتر در قید هسته باشد، (تابع کار فلز کمتر باشد) و انرژی فوتون فرودی بیشتر باشد (بسامد فوتون بیشتر و طول موج آن کمتر باشد.)، احتمال رخ دادن پدیدهٔ فوتوالکتریک بیشتر می‌شود.

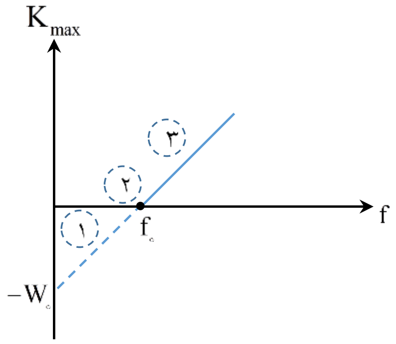
### ۴-۳-۴  فوتو به صورت خلاصه

| | |
|---|---|
| تفسیر کوانتومی پدیده فوتوالکتریک | ۱) ابتدا فرض می کردند که یک فوتون تمام انرژی خود (**hf**) را به یک الکترون می دهد و پس از تسلیم انرژی نابود می شود. یعنی $hf$<br>۲) بخشی از این انرژی ($W$) صرف غلبه بر نیروهای داخلی نگه دارنده ی الکترون می شود. یعنی $hf - W$<br>۳) در نهایت مابقی آن به صورت انرژی جنبشی فوتوالکترون ظاهر می شود. یعنی $\boxed{K = hf - W}$ |
| تابع کار | • کار لازم برای خروج الکترون ها از سطح فلز یکسان نیست.<br>• الکترون هایی می توانند به بیشترین انرژی جنبشی دست یابند که کار لازم برای آزاد سازی آن ها حداقل باشد.<br>$\uparrow K = hf - W \downarrow \longrightarrow W_{Min} = W_o \longrightarrow K_{Max} = \boxed{K_A = hf - W_o}$<br>• $W_o$ تابع کار فلز نام دارد .<br>• $W_o$ یعنی حداقل کار لازم برای خارج کردن یک الکترون از فلز. |
| شرط بروز پدیده فوتو الکتریک | انرژی فوتون ورودی، بزرگ تر یا مساوی تابع کار فلز باشد. $hf \geq W_o$ |

| | |
|---|---|
| بسامد قطع $f_o$:کمترین بسامد<br>طول موج قطع $\lambda_o$ : بیشترین طول موج | کم ترین بسامدی است که انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از سطح فلز را تامین می کند. به طول موج متناظر با آن، طول موج قطع گویند.<br>شرط بروز: $hf \geq W_o \rightarrow f \geq \frac{W_o}{h} \rightarrow f_{min} = \frac{W_o}{h} \rightarrow f_o = \frac{W_o}{h}$<br>طول موج قطع $\lambda = \frac{c}{f} \rightarrow \lambda_o = \frac{hc}{W_o}$ |

### ٤-٣-٥ نمودار Kmax

طبق رابطهٔ $K_{max} = hf - W_o$ نمودار $K_{max}$ بر حسب f خطی با شیب مثبت و عرض از مبدأ منفی می‌باشد. همان‌طور که در نمودار زیر می‌بینید. عرض از مبدأ این نمودار بیانگر تابع کار فلز و شیب این نمودار برابر ثابت پلانک می‌باشد.




$K_{max} = hf - W_o$

سه قسمت این نمودار را می‌توان به‌صورت زیر تحلیل کرد:

قسمت ۱:

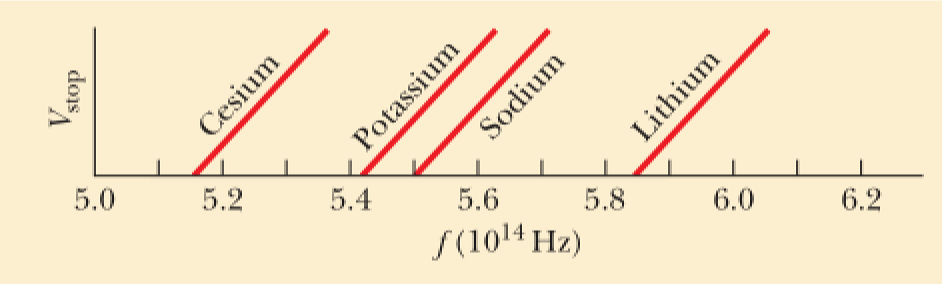
در این بازه $f < f_o$ است و انرژی فوتون کمتر از تابع کار فلز می‌باشد و پدیدهٔ فوتوالکتریک روی نمی‌دهد. به همین علت یا این قسمت نمودار رسم نمی‌شود و یا به‌صورت خطچین رسم می‌شود.

قسمت ۲:

در این نقطه $f = f_o$ می‌باشد و انرژی فوتون فرودی دقیقاً برابر تابع کار فلز است و الکترون‌ها در آستانهٔ جدا شدن از فلز قرار می‌گیرند و در این حالت فوتوالکتریک روی می‌دهد، اما انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها صفر است.

قسمت ۳:

در این بازه $f > f_o$ می‌باشد و انرژی فوتون فرودی بیشتر از تابع کار فلز است و نه تنها الکترون از فلز جدا می‌شود بلکه با انرژی جنبشی $K_{max}$ پرتاب خواهد شد.



### ۶-۳-۴ تابع کار ، بسامد ( سوالات رشته ریاضی )

**تست۷:**

در پدیده‌ی فوتوالکتریک اگر بسامد قطع $Hz$ $۱٫۲ \times ۱۰^{۱۵}$ باشد، تابع کار فلز چند الکترون ولت است؟ خارج از کشور- ۱۳۹۱

$(h = ۴ \times ۱۰^{-۱۵} eV \cdot s)$

۱) ۲٫۴ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴٫۸

### ۷-۳-۴ تابع کار ، طول موج

**تست۸:**

تابع کار فلزی $۴eV$ است. بلندترین طول موجی که سبب گسیل فوتوالکترون از این فلز می شود چند میکرون است؟

$(h = ۴ \times ۱۰^{-۱۵} eVs \,,\, c = ۳ \times ۱۰^{۸} m/s)$

۱) ۰٫۳ ۲) ۳ ۳) ۰٫۶ ۴) ۶

-سراسری-۱۳۸۶

**تست۹:**

تابع کار سه فلز $A, B$ و $C$ به ترتیب ۲٫۲۶، ۴٫۲۴ و ۴٫۳۷ الکترون ولت است. کدام یک از این فلزها وقتی با نوری به طول موج $\lambda = ۶۰۰nm$ روشن شود فوتوالکترون گسیل خواهدکرد؟ ( $h = ۴٫۱۴ \times ۱۰^{-۱۵} eV \cdot s \,,\, c = ۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s}$ ) سراسری- ۱۳۸۷

۱) $A$ ۲) $B$ ۳) هر سه فلز ۴) هیچ یک از سه فلز

### ۸-۳-۴ بیشینه انرژی

**تست ۱۰:**

دریک آزمایش فوتوالکتریک، بسامد نوری که بر الکترود فلزی می‌تابد، ۴ برابر بسامد قطع است. اگر تابع کار این فلز $۲eV$ باشد، بیشینه‌ی انرژی جنبشی فوتوالکترون خارج شده از فلز چند ژول است؟ $(e = ۱٫۶ \times ۱۰^{-۱۹} C)$

۱) ۶ ۲) ۸ ۳) $۱٫۲۸ \times ۱۰^{-۱۸}$ ۴) $۹٫۶ \times ۱۰^{-۱۹}$

-سراسری-۱۳۹۲

**تست ۱۱:**

در یک آزمایش فوتوالکتریک، تابع کار فلز $۳eV$ است. اگر نوری با طول موج $۲۰۰nm$ بر سطح فلز بتابد، بیشینهٔ سرعت فوتوالکترون‌ها برابر $v$ است و اگر نوری با طول موج $۳۰۰nm$ بر فلز بتابد، بیشینهٔ سرعت فوتوالکترون‌ها برابر $v'$ است. $\frac{v'}{v}$ کدام است؟

$(hc = ۱۲۰۰ eV \cdot nm)$ خارج از کشور- ۱۳۹۸

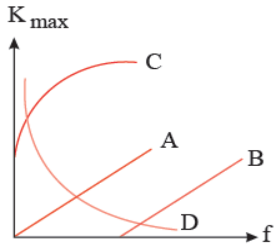
۱) $\frac{\sqrt{۳}}{۳}$ ۲) $\sqrt{۳}$ ۳) $\frac{۱}{۳}$ ۴) ۳

## ۹-۳-۴ نمودار

**تست۱۲:**

**کدام‌یک از منحنی‌های شکل مقابل، نشان‌دهنده‌ی بیشینه‌ی انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها نسبت به بسامد نور فرودی در یک آزمایش فوتوالکتریک است؟**

خارج از کشور- ۱۳۸۵




۱) A

۲) B

۳) C

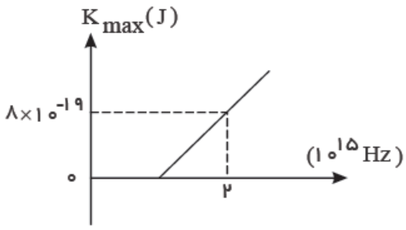
۴) D

**تست۱۳:**

**در آزمایش فوتوالکتریک، نمودار بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها برحسب بسامد پرتو فرودی به فلز، مطابق شکل زیر است. اگر نوری با طول موج $۳۰۰nm$ به فلز بتابد، بیشینهٔ انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های گسیل‌شده چند ژول است؟**

سراسری- ۱۳۹۷

$$(e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C \ , \ c = ۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s} \ , \ h = ۴ \times ۱۰^{-۱۵} eV \cdot s)$$




۱) $۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$

۲) $۲/۴ \times ۱۰^{-۱۹}$

۳) $۴ \times ۱۰^{-۱۹}$

۴) $۵ \times ۱۰^{-۱۹}$

## ٤-٤ طیف اتمی (غیر قابل تفسیر از طریق فیزیک کلاسیک)

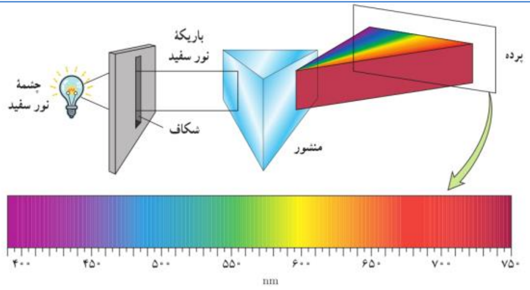
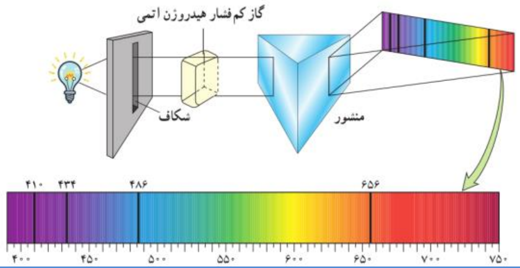
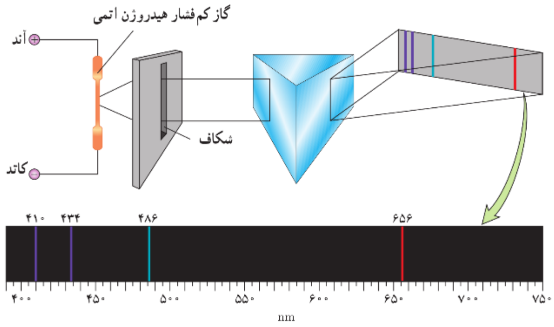
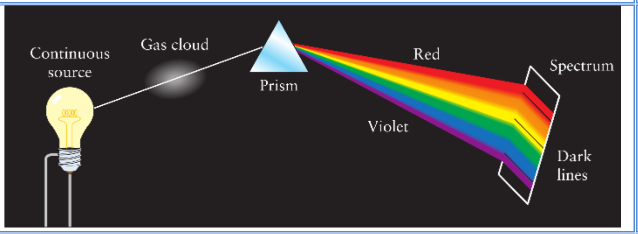
اگر بخار یک عنصر را تحت یک ولتاژ قوی قرار دهیم، خواهیم دید که شروع به تابش می کند.

حال اگر نور حاصل از این گاز را از یک منشور عبور دهیم و آن را روی صفحه ی طیف نما تشکیل دهیم، یک سری خطوط مجزا روی صفحه تشکیل می شود که توسط آن می توانیم آن گاز را شناسایی کنیم. به این کار طیف نمایی گویند.

بنابراین طیف نور گسیل شده از بخار هر عنصر را طیف اتمی گویند و طیف اتمی عنصرهای مختلف، متفاوت می باشد.

چرا هر عنصر طیف مخصوص به خود را دارد؟ سوالی که با فیزیک کلاسیک برای آن پاسخی پیدا نشد.

از دیدگاه دیگر می‌توان طیف‌ها را به دو دستهٔ پیوسته و خطی تقسیم‌بندی کرد. در طیف‌های پیوسته‌ای از طول موج‌ها را شاهد هستیم، اما در طیف‌های گسسته فقط طول موج‌های معینی وجود دارند.

| انواع طیف | نوع ایجاد طیف | شکل طیف حاصل | مثال | شکل |
|---|---|---|---|---|
| پیوسته | گسیلی (نشری) | گستره‌ای پیوسته از طول موج‌های مختلف | طیف حاصل از جامدات یا مایعات ملتهب مثل : رشته داغ یک لامپ روشن |  <br>تشکیل طیف پیوسته توسط جسم جامد، ناشی از برهم کنش قوی بین اتم های سازنده آن است. |
| | جذبی | گستره‌ای پیوسته از طول موج‌های مختلف | نور سفید از شیشهٔ رنگی |   |
| خطی(گسسته) | گسیلی (نشری) | صفحه‌ای تاریک با خط‌های رنگی (طول موج‌های نشرشده) | طیف حاصل از بخار یک عنصر (مثل جیوه و نئون) |  <br>گازهای کم فشار و رقیق که اتم های منفرد آن ها از برهم کنش های قوی موجود در جسم جامد آزادند به جای طیف پیوسته، طیفی گسسته را گسیل می کنند که شامل طول موج های معینی است.<br>این طول موج ها برای اتم های هر گاز منحصر به فرد هستند و اطلاعاتی در مورد نوع و ساختار اتم های آن گاز به دست می دهند. |
| | جذبی | صفحه‌ای رنگی با خط‌های تاریک (طول موج‌های جذب‌شده) | عبور نور سفید از بخار یک عنصر |   |

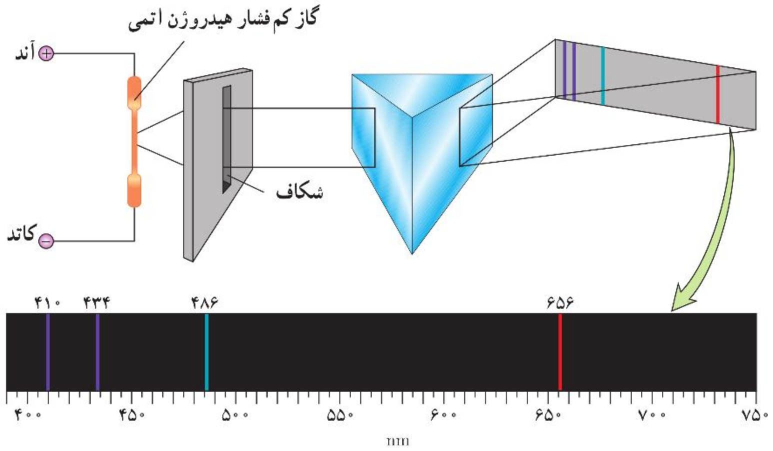
ادامه جدول گسیلی خطی : برای تشکیل طیف گسیلی خطی اتم‌های هر گاز نظیر هیدروژن، هلیم، جیوه، سدیم و نئون معمولاً از یک لامپ باریک و بلند شیشه‌ای که حاوی مقداری گاز رقیق و کم فشار است استفاده می‌شود.

دو الکترود به نام‌های آند و کاتد در دو طرف این لامپ قرار دارد که به ترتیب به پایانه‌های مثبت و منفی یک منبع تغذیه با ولتاژ بالا وصل‌اند. این ولتاژ بالا، سبب تخلیه الکتریکی در گاز می‌شود و اتم‌های گاز درون لامپ شروع به گسیل نور می‌کنند.

آزمایش نشان می‌دهد که طیف خطی ایجاد شده و همچنین رنگ نور گسیل شده، به نوع گاز درون لامپ بستگی دارد.

در میان طیف گسیلی گازهای مختلف، طیف خطی هیدروژن اتمی هم از جنبه تاریخی و هم از جنبه نظری اهمیت خاصی دارد.

طیف خطی این گاز در ناحیه مرئی، شامل یک رشته منظم از خط‌هایی است که محل آنها در شکل زیر نشان داده شده است.

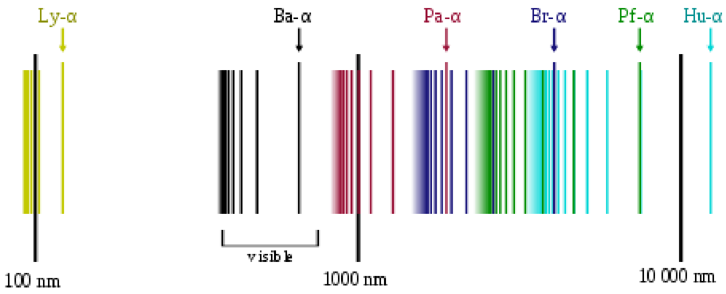


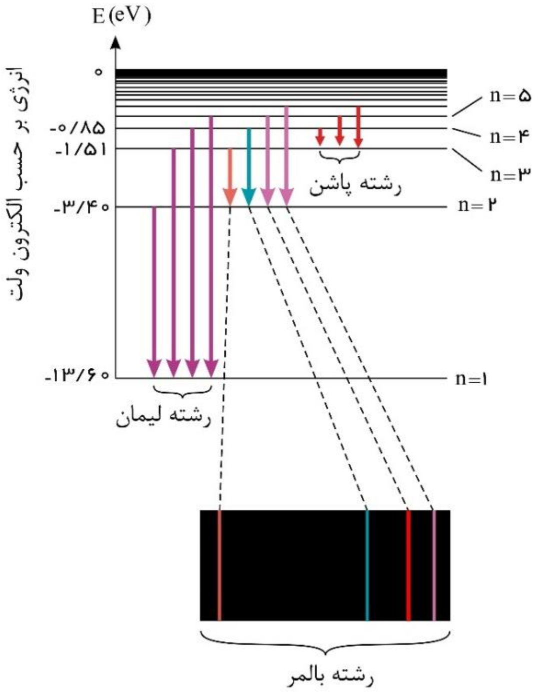

در سال ۱۸۸۵ میلادی، بالمر، ریاضی دان سوئیسی، رابطه‌ای ساده پیشنهاد کرد که طول موج هر یک از خط‌های شناخته شده مربوط به طیف گسیلی خطی هیدروژن اتمی را به دست می‌داد. این رابطه عبارت است از :

$$\lambda = ۳۶۴/۵۶\frac{n^۲}{n^۲-۴} \quad , \quad n = ۳,۴,۵,۶$$

| ناحیهٔ فوتون گسیل‌شده در رشتهٔ بالمر | شماره خط | شمارهٔ n |
|---|---|---|
| مرئی (قرمز) $\lambda = ۶۵۶nm$ | خط اول | n= ۳ |
| مرئی (آبی) $\lambda = ۴۸۶nm$ | خط دوم | n = ۴ |
| مرئی (نیلی) $\lambda = ۴۳۴nm$ | خط سوم | n = ۵ |
| مرئی (بنفش) $\lambda = ۴۱۰nm$ | خط چهارم | n = ۶ |
| فرابنفش | مابقی خطوط | n = ۷ ,۸ ,... |

**۱-۴-۴ بررسی طول موج های طیف اتمی هیدروژن**



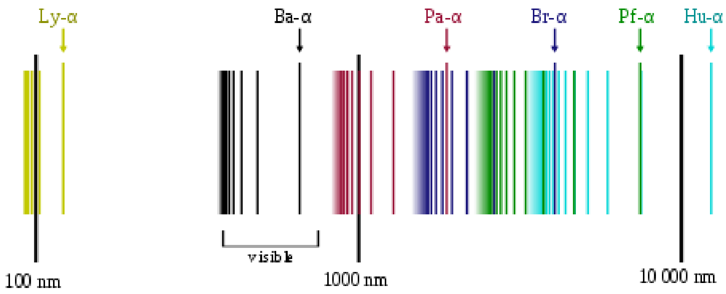

**بالمر با تأمل بیشتر روی رابطه خود پیشنهاد کرد که ممکن است رشته‌های دیگری از خط‌هایی که تا آن زمان در طیف هیدروژن دیده نشده‌اند وجود داشته باشند.**

**ریدبرگ، فیزیک‌دان سوئدی، در راستای همین موضوع تلاش فراوانی برای کامل‌تر کردن طیف گسیلی خطی هیدروژن انجام داد و در سال ۱۸۸۸ میلادی معادله بالمر را به صورت زیر اصلاح و بازنویسی کرد:سپس ریدبرگ رابطه را به شکل روبرو اصلاح کرد:**

$$\frac{۱}{\lambda}=R_H\left(\frac{۱}{n'^{۲}}-\frac{۱}{n^{۲}}\right) \quad n>n'$$

$$\text{ثابت ریدبرگ} : R_H = ۰/۰۱۰۹\ (\text{nm})^{-۱}$$

**که با قرار دادن $n'=۲$ در رابطه ریدبرگ، رابطه بالمر به دست می آید.**

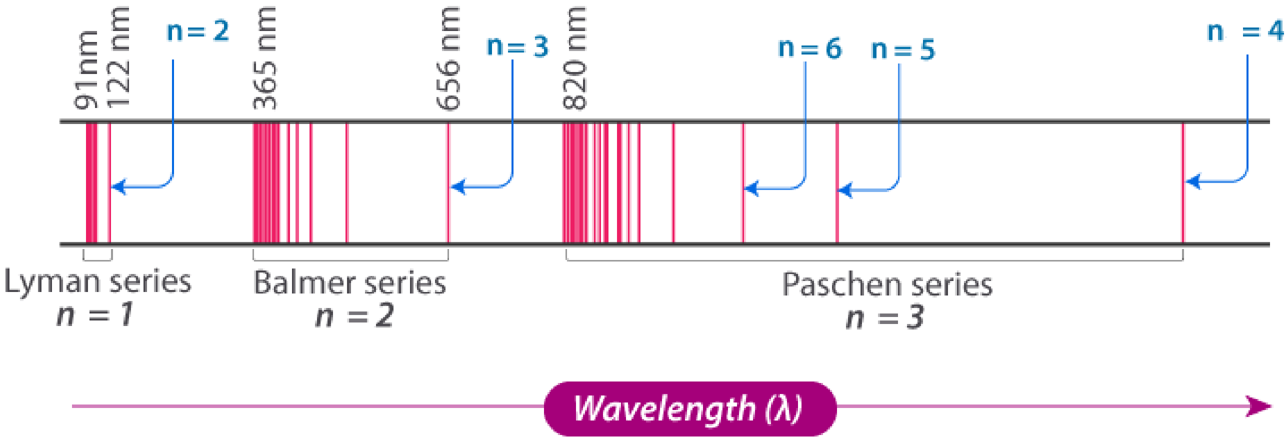


برای دیگر رشته ها داریم:

$$\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2}\right) \quad \text{یا} \quad \frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{n_L^2}-\frac{1}{n_U^2}\right)$$

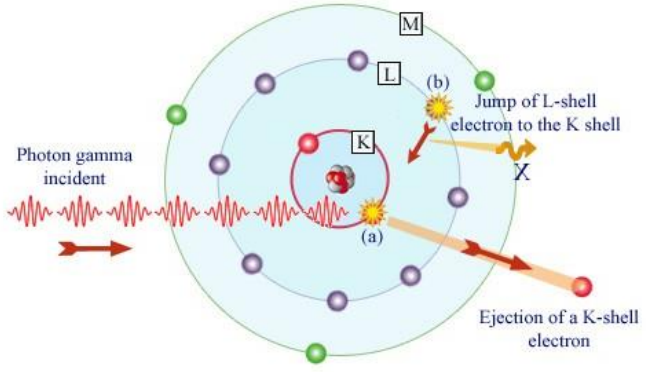
| نام رشته | $n_L$ یا $n'$ ← شمارهٔ لایهٔ مقصد (لایه پایین‌تر) | $n_U$ یا $n$ ← شمارهٔ لایهٔ مبدأ (لایه بالاتر) | محدوده ی طول موج خطوط |
|---|---|---|---|
| لیمان | ۱ | ۲و۳و۴.... | فرابنفش \| ۹۰-۱۲۰ |
| بالمر | ۲ | ۳و۴و۵.... | فرابنفش(۷ به بعد) و مرئی( ۶ , ۵ , ۴ , ۳ )\| ۳۶۵-۶۵۶ (۴۱۰ ۴۳۴ ۴۸۶ ۶۵۶) |
| پاشن | ۳ | ۴و۵و۶.... | فروسرخ \| ۸۲۰-۱۸۷۵ |
| براکت | ۴ | ۵و۶و۷.... | فروسرخ \| ۱۴۵۸-۴۰۵۱ |
| پفوند | ۵ | ۶و۷و۸.... | فروسرخ \| ۲۲۷۹-۷۴۶۰ |

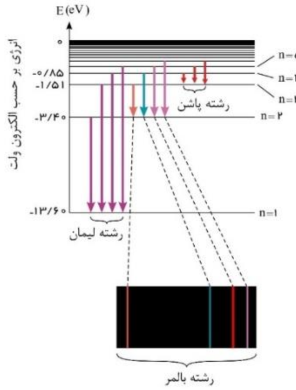
ل ب پایینیه براکت پف کرده!　　　　لیلا بابا پاشو برو پفک بخر!



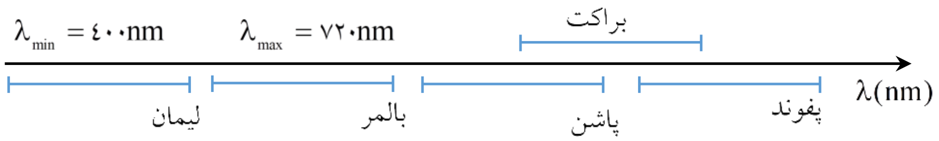

در رابطهٔ ریدبرگ اگر R بر حسب $(nm)^{-1}$ جای‌گذاری شود، $\lambda$ بر حسب (nm) به‌دست می‌آید که معمولاً در سؤالات کنکور طول موج بر حسب نانومتر خواسته می‌شود و نیازی به تبدیل واحد نیست.

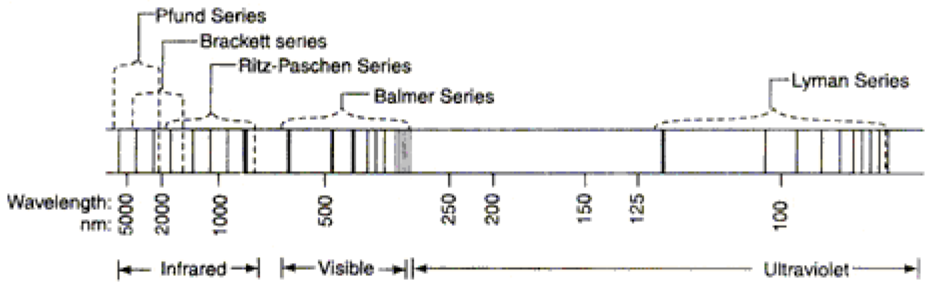
بر مبنای لایهٔ مقصد فوتون‌های گسیلی از اتم هیدروژن گروه‌بندی می‌شوند، به هر گروه در اصطلاح یک رشتهٔ اتمی گفته می‌شود و هر رشته را با نام یک دانشمند نام‌گذاری می‌کنند. به‌طور مثال اگر الکترون‌ها از لایهٔ بالاتر به لایهٔ شمارهٔ (۱) منتقل شوند، رشتهٔ مورد نظر را رشتهٔ لیمان می‌نامند و به الکترون‌ها و فوتون‌های مورد نظر الکترون لیمان یا فوتون لیمان می‌گویند.




نکته۱۳: همان‌طور که در مثال‌های بالا مشاهده کردید، کمترین و بیشترین طول موج بالمر به‌ترتیب برابر ۴۰۰nm و ۷۲۰nm است و طول موج بقیه فوتون‌های گسیلی در رشتهٔ بالمر بین این دو مقدار است. در نمودار زیر کمترین و بیشترین طول موج رشته‌های مختلف با یک‌دیگر مقایسه شده‌اند.



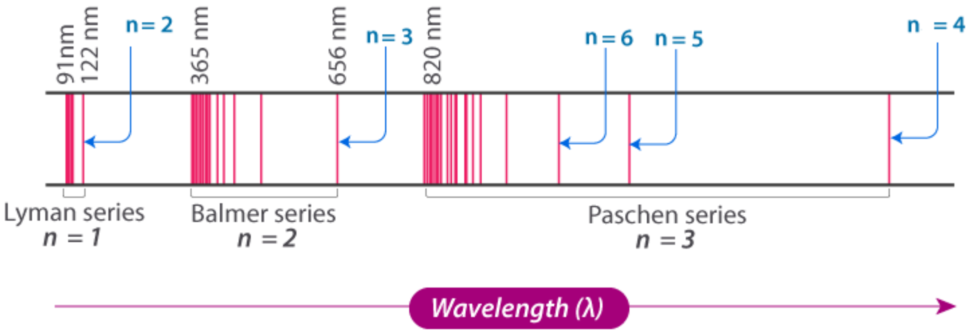

با توجه به این نمودار می‌توانیم کمترین و بیشترین طول موج رشته‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه کنیم. به‌طور مثال می‌توانیم بگوییم $\lambda_{min}$ بالمر از $\lambda_{max}$ پاشن کمتر است. دقت کنید که طول موج‌های گسیلی در رشتهٔ براکت با طول موج‌های گسیلی در دو رشتهٔ پاشن و پفوند هم‌پوشانی دارد.

<table>
<tr><td colspan="2">• هرچه مقدار $n'$ بیشتر باشد، طول موج بیشتر می شود. (استثنا دارد و فقط تا $n' = ۳$ درست است)<br>بعضی از طول موج های براکت از پاشن کوتاه تره / بعضی از طول موج های پفوند از براکت کوتاه تره</td></tr>
<tr><td colspan="2">در یک رشته ( $n'$ ثابت) هرچقدر که مقدار n بیشتر شود، طول موج کوتاهتر می شود.</td></tr>
<tr><td>بلندترین طول موج یک رشته :<br>کمترین مقدار برای n یا رابطه $(n = n' + ۱)$</td><td>کوتاهترین طول موج یک رشته :<br>$n = \infty$</td></tr>
</table>

نکته۱۴: همان‌طور که در جدول رشته‌های اتمی مشاهده کردید در رشتهٔ بالمر، فوتون‌های گسیل‌شده می‌توانند در ناحیهٔ مرئی یا فرابنفش باشند. به‌طور کلی چهار خط اول طیف بالمر که حاصل انتقال الکترون از لایه‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ به لایهٔ ۲ است مربوط به طیف مرئی بوده و بقیه فوتون‌های گسیل‌شده مربوط به ناحیهٔ فرابنفش هستند. به عبارت دیگر داریم:

| شمارهٔ لایهٔ مبدأ | ناحیهٔ فوتون گسیل‌شده در رشتهٔ بالمر |
|---|---|
| n= ۳ | مرئی (قرمز) $\lambda = ۶۵۶nm$ |
| n = ۴ | مرئی (آبی) $\lambda = ۴۸۶nm$ |
| n = ۵ | مرئی (نیلی) $\lambda = ۴۳۴nm$ |
| n = ۶ | مرئی (بنفش) $\lambda = ۴۱۰nm$ |
| n = ۷ ,۸ ,... | فرابنفش |

نکته۱۵: همان‌طور که گفتیم اگر در اتم هیدروژن الکترون از لایه‌های ...، ۴، ۳، ۲ به لایهٔ شمارهٔ (۱) بیاید به تمام فوتون‌های گسیل‌شده سری لیمان می‌گویند. حال اگر الکترون از یک لایه بالاتر از لایهٔ $n_L$ به‌طور مثال از لایهٔ (۲) به لایهٔ (۱) بیاید، فوتو گسیل‌شده دارای کمترین انرژی، کمترین بسامد و بیشترین طول موج است و اگر از لایهٔ $n_U = \infty$ به لایهٔ $n_L$ بیاید، فوتون مورد نظر دارای بیشترین انرژی، بیشترین بسامد و کمترین طول موج است.




### ۲-۴-۴ لپ کلام این قسمت

| | |
|---|---|
| در هر رشته | به ازای کوچک ترین مقدار n در هر رشته ($n_{min}=n'+1$)، بلندترین طول موج آن رشته \| کمترین بسامد و کم انرژی ترین فوتون آن رشته به دست می آید. |
| | به ازای $n=\infty$ ، کوتاه ترین طول موج \| بیشترین بسامد و بیشترین انرژی فوتون آن رشته به دست می آید. |
| | محدوده طول موج ها در هر رشته با قراردادن مقادیر $\begin{cases} n' \\ n=n'+1 \end{cases}$ و $\begin{cases} n' \\ n=\infty \end{cases}$ به دست می آید. |
| نکته | به طور کلی هر چقدر اختلاف n و $n'$ بیشتر شود (پرش بزرگ) ، طول موج کمتر، بسامد بیش تر و انرژی فوتون گسیل شده بیشتر. |
| مقایسه چند رشته با هم | هرچه مقدار $n'$ بیشتر باشد، طول موج بیشتر می شود. (استثنا دارد و فقط تا $n'=۳$ درست است)<br>بعضی از طول موج های براکت از پاشن کوتاه تره / بعضی از طول موج های پفوند از براکت کوتاه تره |

**چند آیتمی ۴:**

الف: اختلاف طول موج های اولین و دومین خط های طیف اتمی هیدروژن در رشته براکت ($n'=۴$) را به دست آورید.

$$\frac{۱}{\lambda}=R\left(\frac{۱}{۴^۲}-\frac{۱}{۵^۲}\right)=R(۲/۲۵\times۱۰^{-۲})\Rightarrow\lambda=۴۰۷۷nm$$

$$\frac{۱}{\lambda}=R\left(\frac{۱}{۴^۲}-\frac{۱}{۶^۲}\right)=R(۳/۴۷۲\times۱۰^{-۲})\Rightarrow\lambda=۲۶۴۲nm$$

ب: نسبت کوتاه ترین و بلندترین در رشته پفوند ($n'=۵$) هیدروژن اتمی را به دست آورید.

$$\frac{۱}{\lambda}=R\left(\frac{۱}{۵^۲}-\frac{۱}{\infty}\right)=\frac{R}{۲۵}\Rightarrow\lambda=۲۲۷۳nm$$

همچنین بلندترین طول‌موج این رشته، متناظر با $n=۶$ است. در این صورت داریم :

$$\frac{۱}{\lambda}=R\left(\frac{۱}{۵^۲}-\frac{۱}{۶^۲}\right)=\frac{۱۱R}{۹۰۰}\Rightarrow\lambda=۷۴۳۸nm$$

ج: اولین خط مربوط به رشته پفوند : همان بلندترین می باشد.

**تست ۱۴:**

در طیف گسیلی هیدروژن، کوتاه‌ترین طول موج گسیلی چند نانومتر است و این گسیل مربوط به کدام رشته است؟

$R=۰/۰۱(nm)^{-۱}$

(۱) ۱۰۰ و بالمر (۲) ۱۰۰ و لیمان (۳) $\frac{۴۰۰}{۳}$ و بالمر (۴) $\frac{۴۰۰}{۳}$ و لیمان

پاسخ: گزینه ۲ کوتاه‌ترین طول موج زمانی اتفاق می‌افتد که ($n=۱$) رشتهٔ لیمان و ($n'=\infty$) باشد:

$$\frac{۱}{\lambda}=R_H\left(\frac{۱}{n^۲}-\frac{۱}{n'^۲}\right)=\frac{۱}{۱۰۰}\left(\frac{۱}{۱}-۰\right)\Rightarrow\lambda=۱۰۰nm$$

### تست ۱۵:

در اتم هیدروژن، محدودهٔ تقریبی طول موج‌های رشتهٔ پاشن ($n' = ۳$) برحسب میکرومتر کدام است؟

$(R = ۰/۰۱ nm^{-1})$

۱) ۰٫۹ تا ۲ — ۲) ۰٫۹ تا ۴٫۴ — ۳) ۱٫۶ تا ۲ — ۴) ۱٫۶ تا ۴٫۴

پاسخ: گزینه ۱ کافی است گسترهٔ طول موج‌های سری پاشن را بیابیم:

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

$$n' = ۳ \Rightarrow \begin{cases} n = n' + 1 \to \begin{cases} n = ۴ \\ n' = ۳ \end{cases} \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{max}} = \frac{1}{۱۰۰nm}(\frac{1}{۳^2} - \frac{1}{۴^2}) = \frac{۷}{۱۴۴۰۰} \to \lambda_{max} \cong ۲۰۵۷nm \simeq ۲\mu m \\ n = \infty \to \begin{cases} n = \infty \\ n' = ۳ \end{cases} \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{min}} = \frac{1}{۱۰۰nm}(\frac{1}{۳^2} - \frac{1}{\infty}) \Rightarrow \lambda_{min} \cong ۹۰۰nm = ۰/۹\mu m \end{cases} \Rightarrow \lambda_{min} \le \lambda \le \lambda_{max}$$

$$\Rightarrow ۰/۹\mu m \le \lambda \le ۲\mu m$$

### تست ۱۶:

طول موج پنجمین خط طیف اتم هیدروژن در رشتهٔ بالمر ($n' = ۲$) تقریباً چند نانومتر است و این خط در کدام گسترهٔ طیف موج‌های الکترومغناطیسی قرار دارد؟ ($R = ۰/۰۱۱ (nm)^{-1}$)

۱) ۴۳۳، مرئی — ۲) ۴۳۳، فرابنفش — ۳) ۳۹۶، فروسرخ — ۴) ۳۹۶، فرابنفش

پاسخ: گزینه ۴

$n' = ۲$ ↗ خط اول $n = ۳$ ؛ ↘ خط پنجم $n \Rightarrow \frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2})$

$$\underbrace{(n' = ۲ \text{ و } n = ۳ \text{ و } ۴ \text{ و } ۵ \text{ و } ۶)}_{\text{سری بالمر - مرئی}} \text{ و } \underbrace{(n = ۷ \text{ و } ۸ \text{ و } \cdots)}_{\text{فرابنفش}} \Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{۱۱}{۱۰۰۰nm}(\frac{1}{۴} - \frac{1}{۴۹}) = \frac{۴۵ \times ۱۱}{۱۹۶۰۰۰} \Rightarrow \lambda = \frac{۱۹۶۰۰۰}{۴۹۵} \approx ۳۹۶nm \text{ فرابنفش}$$

### تست ۱۷:

در تابش اتم هیدروژن، پرتوهای وابسته به رشته‌ی پفوند، در چه محدوده‌ای از طیف موج‌های الکترومغناطیسی است؟ خارج از کشور- ۱۳۹۲

۱) فروسرخ — ۲) فرابنفش — ۳) فروسرخ و مرئی — ۴) فرابنفش و مرئی

### تست ۱۸:

در اتم هیدروژن، الکترون در گذار از $n$ به $n'$، فوتونی در ناحیه‌ی نور مرئی گسیل می‌کند. $n$ و $n'$ به ترتیب از راست به چپ ، کدام می توانند باشند؟ سراسری- ۱۳۹۱

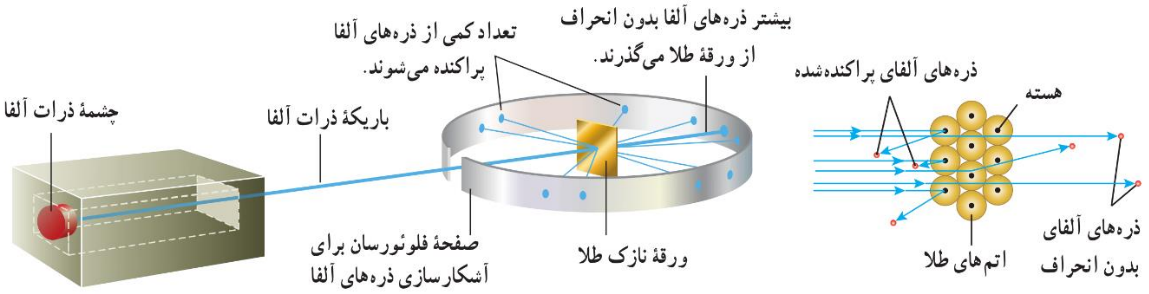
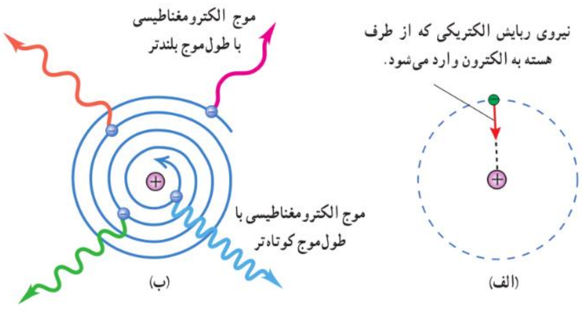
۱) ۱ و ۲ — ۲) ۳ و ۴ — ۳) ۲ و ۵ — ۴) ۴ و ۵

### تست ۱۹:

در اتم هیدروژن الکترون در تراز $n$ قرار دارد. این الکترون با یک گذار، پرتویی در رشته‌ی بالمر گسیل داشته است. اگر طول موج این پرتو ۴۵۰ نانومتر باشد، $n$ کدام است؟ $[R = ۰/۰۱ (nm)^{-1}]$ سراسری- ۱۳۹۱

۱) ۳ — ۲) ۴ — ۳) ۵ — ۴) ۶

## ۴-۵ مدل های اتمی

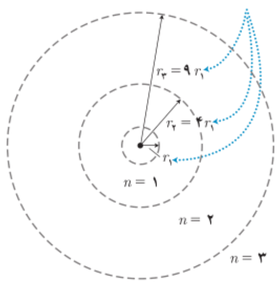
| | |
|---|---|
| **مدل اتمی تامسون:**<br>تامسون اولین شخصی بود که موفق به کشف الکترون و اندازه‌گیری نسبت بار به جرم الکترون شد. طبق مدل اتمی تامسون، اتم همچون کره‌ای است که بار مثبت به‌طور همگی در سرتاسر آن گسترده شده است و الکترون‌ها که سهم ناچیزی در جرم اتم دارند در جاهای مختلف آن پراکنده شده‌اند. این مدل را گاهی کیک کشمشی هم می‌گویند. | تامسون |
| **نارسایی مدل تامسون:**<br>در مدل تامسون، الکترون‌ها با بسامدهای معینی حول وضع تعادلشان نوسان می‌کنند و این نوسان سبب تابش امواج الکترومغناطیسی از اتم می‌شود، یکی از ناکامی‌های مدل تامسون این بود که بسامدهای تابش‌شده از اتم، که این مدل پیش‌بینی می‌کرد با نتایج تجربی سازگار نبود.<br>نارسایی دیگر مدل تامسون این بود که نمی‌توانست نتایج حاصل از آزمایش ورقهٔ طلای رادرفورد را توجیه کند. | |
| **مدل اتمی رادرفورد:**<br>رادرفورد برای بررسی مدل اتمی تامسون آزمایشی را مطابق شکل زیر انجام داد. در این آزمایش باریکه‌ای از ذرات آلفا (هستهٔ اتم هلیوم) به سطح ورقهٔ بسیار نازکی از طلا تابانده می‌شود. همان‌طور که در شکل زیر می‌بینید تعداد زیادی از ذره‌ها بدون انحراف و یا با انحراف کم از ورقهٔ طلا عبور می‌کنند و در برخورد با صفحهٔ فلورسان، در پشت ورقه جرقه‌های نورانی تولید می‌کنند. اما برخی از ذره‌های آلفا در هنگام خروج از ورقهٔ طلا در زاویه‌های بزرگ منحرف و پراکنده می‌شوند و حتی تعدادی از آن‌ها به عقب برمی‌گردند. رادرفورد از این آزمایش نتیجه گرفت که اتم دارای یک هستهٔ بسیار چگال و کوچک ($10^{-15}m$ = شعاع) با بار مثبت است که با تعدادی الکترون در فاصله‌هایی به نسبت دور احاطه شده است. مدل اتمی رادرفورد را مدل اتم هسته‌ای یا مدل هسته‌ای اتم می‌نامند.<br><br> | رادرفورد |
| **نارسایی مدل رادرفورد:**<br>۱- عدم توجیه پایداری حرکت الکترون: اگر الکترون نسبت به هسته ساکن باشد، باید تحت اثر نیروی ربایشی الکتریکی بین هسته و الکترون، روی هسته سقوط کند، که با واقعیت مطابقت ندارد و اگر مانند سیاره‌های منظومه خورشیدی که به دور خورشید می‌چرخند الکترون به دور هسته بچرخد باز هم حرکت الکترون ناپایدار خواهد بود. زیرا در این حالت حرکت الکترون شتاب‌دار است و همان‌طور که می‌دانید حرکت شتاب‌دار ذرات باردار باعث گسیل امواج الکترومغناطیسی می‌شود و با گسیل امواج الکترومغناطیس انرژی الکترون به‌تدریج کاهش یافته و شعاع چرخش آن نیز به تدریج کم شده و باز هم الکترون بر روی هسته سقوط می‌کند.<br><br><br>ناتوانی مدل اتم هسته‌ای رادرفورد در تبیین پایداری اتم. الف) اگر الکترون نسبت به هسته ساکن فرض شود بر اثر نیروی ربایش الکتریکی، روی هسته سقوط می‌کند. ب) اگر الکترون دور هسته بچرخد، طیفی پیوسته گسیل می‌کند و سرانجام روی هسته فرو می‌افتد.<br>۲- عدم توجیه طیفه گسستهٔ اتم: همان‌طور که گفتیم طبق مدل رادرفورد اگر الکترون به‌صورت شتاب‌دار به دور هسته بچرخد امواج الکترومغناطیسی گسیل می‌کند، با کاهش انرژی الکترون شعاع چرخش آن به تدریج کمتر شده و بسامد امواج الکترومغناطیسی گسیل‌شده به تدریج افزایش می‌یابد و به این ترتیب باید طیف امواج الکترومغناطیسی گسیل‌شده، پیوسته باشد که با واقعیت ناسازگار است. | |

## ۴-۵-۱ مدل بور

بور مدل اتمی خود را بر مبنای سه اصل زیر مطرح کرد:

۱) مدارها و انرژی های الکترون ها در هر اتم کوانتیده اند. یعنی فقط مدارها و انرژی های گسسته ی معینی مجاز هستند.

شعاع مدارها با $n^2$ متناسب است.




اولین مدار بور در اتم هیدروژن دارای انرژی $E_1$ است. مدارهای دوم و سوم بور به‌ترتیب دارای انرژی‌های $E_2 = E_1/4$ و $E_3 = E_1/9$ هستند.

$$r_n = a_o n^2 \ , \ a_o = r_1 = 5/29 \times 10^{-11} m$$

| | |
|---|---|
| $r_n$: شعاع مدارهای الکترون برای اتم هیدروژن | $a_o$: شعاع کوچکترین مدار در اتم هیدروژن (شعاع بور برای اتم هیدروژن) |

نکته۱۶: با توجه به مدل بور شعاع لایه‌های مختلف اتم هیدروژن به‌صورت شکل زیر است. همان‌طور که می‌بینید با افزایش **n** فاصلهٔ شعاع لایه‌ها افزایش می‌یابد.

نکته۱۷: طبق مدل بور انرژی الکترون در مدارهای اتم هیدروژن به کمک رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

ترازهای انرژی الکترون در اتم هیدروژن:

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

$E_n \leftarrow$ انرژی الکترون در هر لایه از اتم هیدروژن بر حسب ژول یا الکترون‌ولت

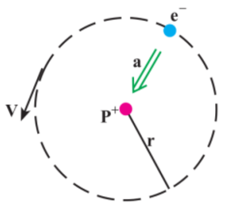
$E_R \leftarrow$ انرژی الکترون در اولین مدار اتم هیدروژن ($E_R = 13/6\ eV$)

**n** $\leftarrow$ شمارهٔ مداری که الکترون روی آن قرار دارد.

بدین ترتیب الکترون تنها مجاز است انرژی ای برابر با یکی از مقادیر رابطه بالا را داشته باشد. به این مقدار های مجاز، ترازهای انرژی گویند.

$E_R$ را <u>یک ریدبرگ</u> می نامند. یک ریدبرگ برابر ۱۳/۶ الکترون ولت یا $2/17 \times 10^{-18} J$ است.

بور




۲) وقتی یک الکترون در یکی از مدارهای مجاز است، هیچ نوع تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی شود. از این رو گفته می شود الکترون در مدار مانا یا حالت مانا قرار دارد.

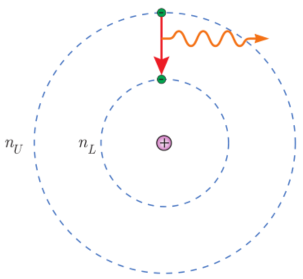
۳) الکترون می تواند از یک حالت مانا به حالت مانای دیگر برود. هنگام گذار الکترون از یک حالت مانا با انرژی بیشتر $E_U$ به یک حالت با انرژی کمتر $E_L$، یک فوتون تابش می کند. در این‌صورت انرژی فوتون تابش‌شده برابر اختلاف انرژی بین دو مدار اولیه و مدار نهایی است و داریم:

$$E_U - E_L = hf \quad \text{(معادلهٔ گسیل فوتون از اتم)}$$

$E_U \leftarrow$ انرژی الکترون در لایهٔ بالاتر

$E_L \leftarrow$ انرژی الکترون در لایهٔ پایین‌تر

$hf \leftarrow$ انرژی فوتون گسیل‌شده




بنا به مدل بور، وقتی الکترونی از مداری با انرژی بیشتر به مداری با انرژی کمتر جهش می‌کند یک فوتون گسیل می‌شود.

نکته۱۸: در اتم هیدروژن انرژی مورد نیاز برای انتقال الکترون از حالت پایه (n=۱) به بالاترین حالت برانگیخته ($n=\infty$) برابر ۱۳/۶eV است. صرف این مقدار انرژی باعث جدا شدن الکترون از اتم می‌شود. به این انرژی در اصطلاح انرژی یونش می‌گویند. برای به‌دست آوردن انرژی یونش الکترون‌هایی که در لایه‌های مختلف اتم هیدروژن قرار می‌گیرند می‌توانیم به صورت زیر عمل کنیم:

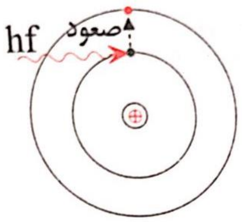
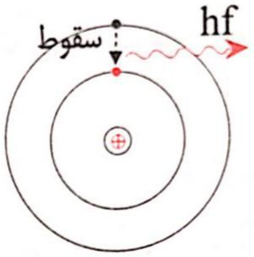
$$\left.\begin{array}{l} E_n = \dfrac{-E_R}{n^2} \\ E_\infty = 0 \end{array}\right\} \Delta E = E_\infty - E_n = \dfrac{E_R}{n^2}$$

الکترون تنها زمانی می تواند تابش الکترومغناطیسی گسیل کند، که از یک حالت مانا با انرژی $E_n$ به حالت مانای دیگری با انرژی کمتر $E_m$ $(n>m)$ برود، یا به عبارت دیگر از یک تراز انرژی بالاتر به یک تراز انرژی پایین تر برود. در این صورت، انرژی فوتون موج الکترومغناطیسی گسیل شده برابر اختلاف انرژی بین دو تراز است.

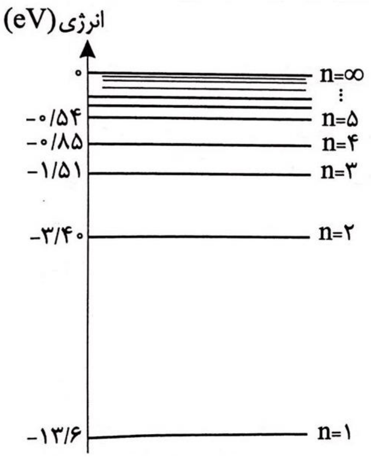
$$hf = E_U - E_L$$

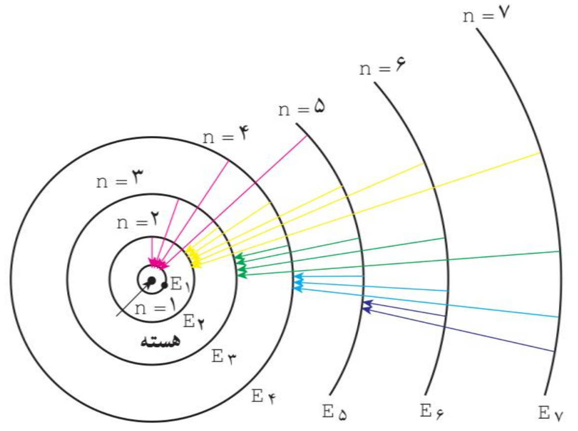
نکته۱۹: هنگامی‌که الکترون در پایین‌تری تراز انرژی (n=۱) قرار گرفته است. در اصطلاح می‌گویند الکترون در حالت پایه قرار دارد و هنگامی‌که الکترون در ترازهای انرژی بالاتر (n=۲ ,۳ ,...) قرار می‌گیرد، در اصطلاح می‌گویند الکترون برانگیخته شده است.

نکته۲۰: هنگامی که الکترون از یک لایه با انرژی بیشتر ($E_U$) به لایه‌ای با انرژی کمتر ($E_L$) منتقل می‌شود. فوتون گسیل می‌کند و برای این‌که الکترون از لایه‌ای با انرژی کمتر ($E_L$) به لایه‌ای با انرژی بیشتر ($E_U$) منتقل شود باید فوتون جذب کند.

| | |
|---|---|
| <br><br>انتقال الکترون از یک تراز به تراز بالاتر، مستلزم جذب فوتونی است که انرژی آن برابر اختلاف انرژی ترازهای اولیه و ثانویه ی الکترون باشد.<br>$E_L + hf = E_U$ | <br><br>اگر الکترون به مدار اولیه برگردد، انرژی جذب شده را با گسیل فوتونی با همان مقدار انرژی آزاد می کند.<br>$hf = E_U - E_L$ |

**نکته ۲۱:** مدارهای با انرژی بالاتر از $E_1$ را حالات برانگیخته می نامند. انرژی این حالات از رابطه $E_n = -\frac{E_R}{n^2}$ به دست می آید.




در تراز اول: $E_1 = \frac{-E_R}{1^2} = -13/6eV$

در تراز دوم: $E_2 = \frac{-E_R}{2^2} = -\frac{13/6}{4} = -3/4eV$

در تراز سوم: $E_3 = \frac{-E_R}{3^2} = -\frac{13/6}{9} = -1/5eV$

در تراز چهارم: $E_4 = \frac{-E_R}{4^2} = -\frac{13/6}{16} = -0/85eV$

در حالتی که $n = \infty$ : $E_\infty = \frac{-E_R}{\infty} = 0$

در این حالت الکترون به طور کامل از قید هسته خارج می شود و هیچ بر هم کنشی بین آن ها صورت نمی گیرد.

انرژی الکترون منفی است و هرچه الکترون به هسته نزدیک تر باشد، انرژی آن کم تر (منفی تر) است.

(مثال ....)

**نکته ۲۲:** با افزایش n، اختلاف انرژی بین ترازهای انرژی مجاور کاهش می یابد. (شکل راست صفحه قبل)

**نکته ۲۳:** با افزایش n، فاصله ی بین مدار ها افزایش می یابد. (شکل چپ صفحه قبل)

$1\&2 \to r_2 - r_1 = 4r_1 - r_1 = 3r_1 \quad 2\&3 \to r_3 - r_2 = 9r_1 - 4r_1 = 5r_1$

**اصل ۳** طیف نشری گسسته ی اتم ها را توجیه میکند و همچنین فرمول تجربی ریدبرگ را اثبات می کند:

$$hf = E_n - E_m \to \frac{hc}{\lambda} = \frac{-E_R}{n^2} + \frac{E_R}{m^2} \to \boxed{\frac{1}{\lambda} = \frac{E_R}{hc}\left(\frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2}\right)}$$

$$\frac{E_R}{hc} = \frac{13/6eV}{4/14\times10^{-15}(eV.s)\times3\times10^{17}(nm/s)} = 0/0109(nm)^{-1} = R_H$$

$$\boxed{\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2}\right)}$$

### ٤-٥-٢ موفقیت‌های مدل بور

۱- توضیح چگونگی حرکت الکترون‌ها در اتم

۲- توضیح پایداری اتم و توضیح چگونگی ایجاد طیف‌های گسیلی و جذبی گاز هیدروژن

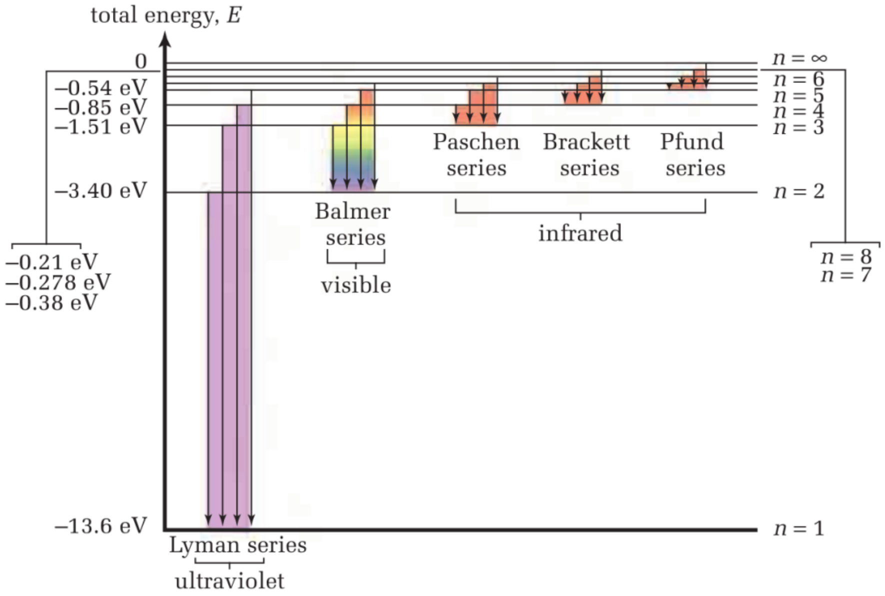
۳- محاسبهٔ انرژی یونش اتم هیدروژن که توافق بسیار خوبی با مقدار تجربی دارد.

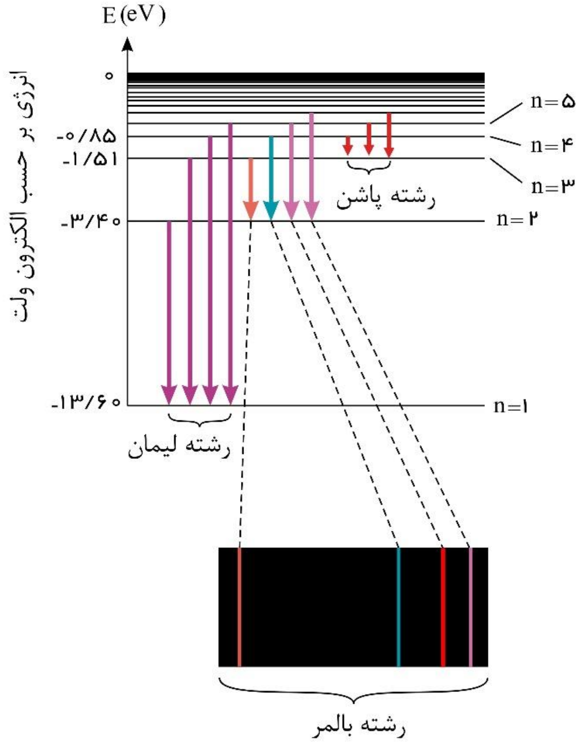
۴- مدل اتمی بور علاوه بر هیدرژن برای اتم‌هایی که تنها یک الکترون دارند نیز صادق است، مانند $Li^{2+}$. به این اتم‌ها در اصطلاح اتم‌های هیدروژن‌گونه می‌گویند.

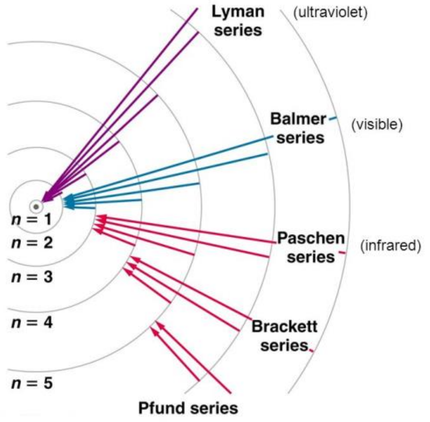
### ٤-٥-٣ نارسایی‌های مدل بور

۱- مدل بور برای اتم‌هایی با بیش از یک الکترون کاربرد ندارد.

۲- مدل بور نمی‌تواند متفاوت بودن شدت خط‌های طیف گسیلی را توضیح دهد.



| | |
|---|---|
| |  |
| پرش | پرش بزرگ = انرژی زیاد، بسامد زیاد، طول موج کم، دوره تناوب کم<br>پرش کوتاه = انرژی کم ، بسامد کم ، طول موج بلند ، دوره تناوب بلند |

| اسامی رشته های گسیلی (سقوط) | | | |
|---|---|---|---|
| $\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{n_L^2}-\frac{1}{n_U^2})$ | | | |
| نام رشته | مقدار $n_L$ | مقادیر $n_U$ | محدوده ی طول موج خطوط |
| لیمان | ۱ | ۲و۳و۴.... | فرابنفش \| ۹۰-۱۲۰ |
| بالمر | ۲ | ۳و۴و۵.... | فرابنفش(۷ به بعد) و مرئی( ۶ , ۵ , ۴ , ۳ )\| ۳۶۵-۶۵۶<br>۶۵۶ ۴۸۶ ۴۳۴ ۴۱۰ |
| پاشن | ۳ | ۴و۵و۶.... | فروسرخ \| ۸۲۰-۱۸۷۵ |
| براکت | ۴ | ۵و۶و۷.... | فروسرخ \| ۱۴۵۸-۴۰۵۱ |
| پفوند | ۵ | ۶و۷و۸.... | فروسرخ \| ۲۲۷۹-۷۴۶۰ |

بالمر داستان داره :

| | | |
|---|---|---|
| مرئی | ۳ به ۲ | قرمز : ۶۵۶ |
| | ۴ به ۲ | آبی : ۴۸۶ |
| | ۵ به ۲ | نیلی : ۴۳۴ |
| | ۶ به ۲ | بنفش : ۴۱۰ |
| فرابنفش | ۷، ۸ و .... به ۲ | فرابنفش همه . کمتر از ۴۱۰ ها |

**۴-۵-۴ از تراز n به تراز پایه**

**حالت های ممکن: مثلا از ۵ به ۱**

**چند تا $\Delta n = ۱$ داریم ؟**

**یا از رابطه $\frac{n(n-۱)}{۲} = \binom{n}{۲}$ تعداد فوتون را می توان به دست آورد.**

**۴-۵-۵ انرژی بستگی الکترون**

**قبل تر گفتیم که اگر انرژی الکترون را در حالتی که کاملاً از قید هسته رها شده است برابر صفر بگیریم، انرژی آن روی مدارها که مقدار کمتری دارد باید منفی باشد، علامت منفی در فرمول $E_n = -\frac{ke^۲}{۲r}$ به همین معناست.**

**انرژی الکترون در مدار اول بور برابر $E_۱ = \frac{-E_R}{۱^۲} = -۱۳/۶eV$ است. یعنی برای آنکه الکترونی را که در حالت پایه اتم هیدروژن است کاملاً از قید هسته رها کنیم، باید به آن مقدار $۱۳/۶eV$ انرژی بدهیم. این مقدار انرژی را انرژی بستگی الکترون در تراز اول اتم هیدروژن می نامیم.**

**۴-۵-۶ خلاصه روابط بور بجز انرژی**

| | |
|---|---|
| شعاع مدارهای الکترونی و شعاع اتم بور | $r_n = a_o n^۲$ |
| $E_R$ یا یک ریدبرگ | یک ریدبرگ برابر ۱۳/۶ الکترون ولت یا $۲/۱۷\times۱۰^{-۱۸} J$ |
| وقتی $E_R$ را داریم | $\frac{۱}{\lambda} = \frac{E_R}{hc}(\frac{۱}{n_L^۲} - \frac{۱}{n_U^۲})$ |
| وقتی $R$ را داریم | $\frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{n_L^۲} - \frac{۱}{n_U^۲})$ |
| رابطه ی $R$ و $E_R$ | $R = \frac{E_R}{hc}$ |
| ارتباط بین سرعت و شماره مدار (یاد................) | $K \alpha \frac{۱}{n^۲} \alpha V^۲ \rightarrow V \alpha \frac{۱}{n}$ |
| با افزایش n | اختلاف انرژی بین ترازهای انرژی مجاور کاهش می یابد. |
| با افزایش n | فاصله ی بین مدار ها افزایش می یابد. |
| انرژی فوتون | $hf = \frac{hc}{\lambda}$ |
| یادت باشه که | انرژی کم تر، یعنی بسامد کمتر، یعنی طول موج بیشتر |
| پرش | پرش بزرگ = انرژی زیاد، بسامد زیاد، طول موج کم، دوره تناوب کم<br>پرش کوتاه = انرژی کم ، بسامد کم ، طول موج بلند ، دوره تناوب بلند |
| الکترون از تراز n به تراز پایه | $\frac{n(n-۱)}{۲} = \binom{n}{۲}$ فوتون تابش می کند. |

## تست ۲۰:

در اتم هیدروژن الکترون از مدار $n_U$ به $n_L$ می‌رود و نوری با بسامد $562/5\ THz$ تابش می‌کند. $n_U$ و $n_L$ به‌ترتیب کدام‌اند؟ ($c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}, R = 0/01 nm^{-1}$)

سراسری- ۱۳۹۶

۱) ۱ و ۲ ‏ ۲) ۱ و ۳ ‏ ۳) ۲ و ۴ ‏ ۴) ۳ و ۵

گزینه ۳ ابتدا با استفاده از رابطه‌ی $\lambda = \frac{C}{f}$ طول موج تابیده شده را محاسبه می‌کنیم.

$$\lambda = \frac{C}{f} \Rightarrow \lambda = \frac{3 \times 10^8}{562/5 \times 10^{12}} = \frac{16}{3} \times 10^{-7} m \xrightarrow{\times 10^9} \lambda = \frac{16}{3} \times 10^2 = 533 nm$$

چون طول موج به‌دست آمده بین $400 nm$ تا $700 nm$ است در محدوده‌ی مرئی قرار دارد. می‌دانیم تنها چهار خط اول رشته بالمر در ناحیه مرئی هستند، بنابراین عدد رشته برابر $n_L = 2$ است.

سپس با استفاده از رابطه‌ی ریدبرگ $\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{{n_L}^2} - \frac{1}{n_U^2})$ شماره‌ی $n_U$ را به‌دست می‌آوریم.

$$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{{n_L}^2} - \frac{1}{n_U^2}) \Rightarrow \frac{1}{\frac{16}{3} \times 10^2} = \frac{1}{100}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_U^2})$$

$$\Rightarrow \frac{3}{16} \times 10^{-2} = \frac{1}{100}(\frac{1}{4} - \frac{1}{n_U^2}) \Rightarrow \frac{3}{16} = \frac{1}{4} - \frac{1}{n_U^2} \Rightarrow \frac{1}{n_U^2} = \frac{1}{16} \Rightarrow n = 4$$

## چند آیتمی ۵:

در اتم هیدروژن الکترون در تراز n=٤ در حال حرکت است: به موارد الف تا د پاسخ دهید.

الف: کوتاه ترین طول موجی که این الکترون می تواند گسیل کند ؟ گسیل : سقوط | کوتاهترین : پرش بزرگ : نهایتا به ۱

ب: کوتاه ترین طول موجی که این الکترون می تواند جذب کند؟ جذب : صعود | کوتاهترین : پرش بزرگ : نهایتا به ∞

ج: بیشترین طول موجی که می تواند گسیل کند؟ گسیل : سقوط | بیشترین : پرش کوچک : نهایتا به ۳

د: بیشترین طول موجی که می تواند جذب کند؟ جذب : صعود | بیشترین: پرش کوچک: نهایتا به ۵

هـ : برای رشته براکت بلندترین طول موج : اسم رشته گفته : یعنی سقوط : پس مقصد ۴ عه : کوتاهترین پرش : از ۵ به ۴ .

## تست ۲۱:

در اتم هیدروژن، الکترون در مدار $n$ قرار دارد. اگر این الکترون به مدار $n' = 3$ برود، فوتونی به طول موج $1200 nm$ گسیل می‌کند. $n$ کدام است؟ ($R = 0/01 (nm)^{-1}$)

۱) ۴ ‏ ۲) ۵ ‏ ۳) ۶ ‏ ۴) ۷

پاسخ: گزینه ۳

$$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}) = \frac{1}{100 nm}(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}) = \frac{1}{1200 nm} \Rightarrow \frac{1}{9} - \frac{1}{n^2} = \frac{1}{12} \Rightarrow \frac{1}{n^2} = \frac{1}{9} - \frac{1}{12} = \frac{4-3}{36} = \frac{1}{36} \Rightarrow n = 6$$

## تست ۲۲:

الکترون اتم هیدروژنی که در تراز $n = 6$ قرار دارد، با گسیل یک خط طیفی مرئی، به تراز پایین‌تر باز می‌گردد. بسامد فوتون گسیل شده تقریباً چند هرتز است؟ ($R = 0/01\ (nm)^{-1}$ , $c = 3 \times 10^8 m/s$)

۱) $15 \times 10^{14}$ ‏ ۲) $7 \times 10^{14}$ ‏ ۳) $3/5 \times 10^{14}$ ‏ ۴) $1/5 \times 10^{14}$

پاسخ: گزینه ۲ نکته: دانش آموزان گرامی توجه فرمایید؛ طبق متن کتاب درسی، به‌جای $n$ می‌توانیم از $n_U$ و بالعکس و به جای $n'$ می‌توانیم از $n_L$ استفاده نماییم و بالعکس.

می‌دانیم خط طیفی مرئی مربوط به سری بالمر است بنابراین این الکترون به $n_L = 2$ (رشتهٔ بالمر) رفته است.

$$\frac{1}{\lambda} = R(\frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2}) = \frac{1}{100\ nm}(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{6^2}) = \frac{32}{14400\ nm}$$

$$\rightarrow \lambda = \frac{14400\ nm}{32} = 450\ nm \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} \rightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 m/s}{450 \times 10^{-9} m} \rightarrow f \simeq 7 \times 10^{-14} Hz$$

### ۴-۵-۷ انرژی

| | |
|---|---|
| انرژی مکانیکی الکترون در مدار n ام | $E_n=-\frac{E_R}{n^2}$ |
| انرژی فوتون مثبت یا منفی | فوتون گسیل شده : سقوط : انرژی این فوتون منفی |
| | فوتون جذب شده : صعود : انرژی این فوتون مثبت |
| مقایسه انرژی و طول موج | مقصد یکسان: هرچی پرش بیشتر ، انرژی بیشتر ، طول موج کمتر |
| | مقصد متفاوت: اونی که به مقصد نزدیک تره، انرژیش بیشتره و طول موجش کمتر |
| وقتی ترازهای انرژی رو میدن | $E_{1\to 4}\to E=E_{end}-E_{start}=E_4-E_1$ |
| وقتی $E_R$ را میدن یا بر حسب ریدبرگ بخواد | $E=\frac{-E_R}{n'^2}-\frac{-E_R}{n^2}$ |
| وقتی $R$ را میدن | $E=\frac{hc}{\lambda}$ و سپس $\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{n_L^2}-\frac{1}{n_U^2})$ |
| ارتباط بین انرژی ها و شماره مدار | $E\alpha\frac{1}{n^2}$ |
| یونیزه | یعنی برو بی نهایت: $\Delta E=E_\infty-E_n=\frac{E_R}{n^2}$ ؛ $E_n=\frac{-E_R}{n^2}$ ، $E_\infty=0$ |

چند آیتمی۶: بیشترین بسامد رشته لیمان ؟

الف : داده سوال ثابت R هستش ($R=0/01nm^{-1}$)

ب: داده سوال عدد ریدبرگ هستش ($E_R=13/6ev, h=4/14\times10^{-15}ev.s$)

لیمان که میگه، یعنی مقصد اول : بیشترین بسامد یعنی بیشترین پرش ، یعنی از بی نهایت به ۱

$$a)\frac{1}{\lambda}=\frac{1}{100}(1-0)\to\lambda=100nm\to f=\frac{c}{\lambda}=\frac{3\times10^8}{100\times10^{-9}}=3\times10^{15}$$

$$b)E=-E_R(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2})=-E_R=-13/6ev$$

$$E=hf=13/6ev\to 4/14\times10^{-15}f=13/6\to f=\frac{13/6}{4/14\times10^{-15}}=3/28\times10^{15}$$

چند آیتمی۷:

الکترونی از ترازی با انرژی بستگی $-\frac{E_R}{9}$ به ترازی با انرژی بستگی $-3/4$ الکترون ولت می رود . کدام ایتم درست است؟

الف: فوتون گسیل شده مربوط به ناحیه مرئی است

ب: فوتون گسیل شده مربوط به خط اول رشته بالمر است .

ج: شعاع حرکت $\frac{4}{9}$ برابر شده است.

د: تندی حرکتش $\frac{4}{9}$ برابر شده است.

چند آیتمی۸: مقصد یکسان : $E_R = ۱۳/۶ ev$

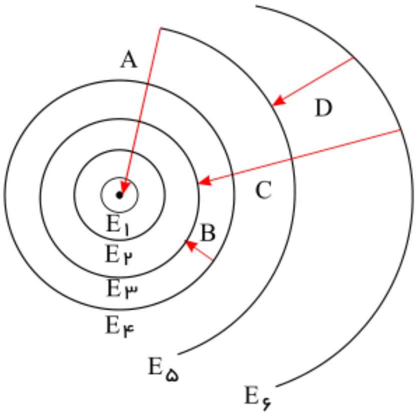
الف: برای رشته براکت پر انرژی ترین فوتون : اسم رشته گفته : یعنی سقوط : پس مقصد ۴ عه : بیشترین پرش : از ∞ به ۴

$$E = \frac{-E_R}{n'^2} - \frac{-E_R}{n^2} = \frac{-E_R}{۴^2} - \frac{-E_R}{\infty^2} = \frac{-E_R}{۴^2} = \frac{-۱۳/۶}{۴^2} = \frac{-۱۳/۶}{۱۶} = -۰/۸۵$$

ب: برای رشته براکت کم انرژی ترین فوتون : اسم رشته گفته : یعنی سقوط : پس مقصد ۴ عه : کوتاهترین پرش : از ۵ به ۴

$$E = \frac{-E_R}{n'^2} - \frac{-E_R}{n^2} = \frac{-E_R}{۴^2} - \frac{-E_R}{۵^2} = ...$$

چند آیتمی۹: مقصد متفاوت




شکل روبرو مدارهای اتم هیدروژن را در الگوی اتمی بور برای اتم هیدروژن را نشان می دهد.

الف: در کدام گسیل طول موج وابسته به فوتون گسیل شده ، بلند تر است ؟ نام آن رشته چیست؟

بیشترین طول موج، یعنی کمترین پرش : بین B و D . D ، چون مقصدش ۵ عه و یعنی رشته پفوند که طول موجش نسبت به پاشن بیشتره.

ب: در کدام گسیل طول موج وابسته به فوتون گسیل شده ، کوتاه تر است ؟ نام آن رشته چیست؟

کوتاهترین طول موج، یعنی بیشترین پرش، بین A و C . A ، چون مقصدش ۱ عه و یعنی لیمان که طول موجش نسبت به پاشن کمتره.

ج: کدام فوتون در محدوده مرئی ؟ نداریم

د: مقایسه انرژی و طول موج در B و C ؟

مقصد یکسانه، پرش بیشتر یعنی طول موج کمتر و انرژی بیشتر

ه: مقایسه انرژی و طول موج در D و C ؟

مقصد یکسان نیست، هرچی مقصد به سمت هسته نزدیک تر باشه ، انرژیش بیشتره و طول موجش کمتر.

تست۲۳:

در اتم هیدروژن اگر اختلاف انرژی الکترون بین ترازهای ۱ و ۳ برابر $\Delta E$ و بین ترازهای ۴ و ۶ برابر $\Delta E'$ باشد، نسبت $\frac{\Delta E}{\Delta E'}$ کدام است؟

(۱) ۳۵٫۸ (۲) ۲۵٫۶ (۳) ۳٫۹۸ (۴) ۱

پاسخ: گزینه ۲

$$E_n = -\frac{E_R}{n^2} \rightarrow \Delta E = -E_R\left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right)$$

$$\frac{\Delta E_{۳\to۱}}{\Delta E_{۶\to۴}} = \frac{\frac{۱}{۱^2} - \frac{۱}{۳^2}}{\frac{۱}{۴^2} - \frac{۱}{۶^2}} = \frac{\frac{۸}{۹}}{\frac{۴٫۵ - ۲}{۷۲}} = \frac{۸ \times ۷۲}{۹ \times ۲٫۵} = \frac{۶۴}{۲٫۵} = ۲۵٫۶$$

### تست ۲۴:

پرانرژی‌ترین فوتون رشتهٔ پاشن اتم هیدروژن چند ریدبرگ است؟

(۱) $\frac{۸}{۹}$　(۲) $\frac{۳}{۴}$　(۳) $\frac{۱}{۹}$　(۴) $\frac{۱}{۳}$

پاسخ: گزینه ۳ نکته: دانش آموزان گرامی توجه فرمایید؛ طبق متن کتاب درسی، به‌جای $n$ می‌توانیم از $n_U$ و بالعکس و به جای $n'$ می‌توانیم از $n_U$ استفاده نماییم و بالعکس.

پرانرژی‌ترین فوتون رشتهٔ پاشن $(n' = ۳)$ مربوط به کوتاه‌ترین طول موج آن است که با انتقال الکترون از $n = \infty$ به $n' = ۳$ حاصل می‌شود.

$$\begin{cases} E_{(n=\infty)} = ۰ \\ E_۳ = -\frac{E_R}{۳^۲} \end{cases} \Rightarrow E_{\text{فوتون}} = E_\infty - E = ۰ - (-\frac{۱}{۹}E_R) = \frac{۱}{۹}E_R$$

### تست ۲۵:

در گسیل‌های مربوط به اتم هیدروژن، بلندترین طول موج مربوط رشتهٔ بالمر، تقریباً چند نانومتر است؟

$(hc = ۱۲۴۰eV \cdot nm, E_R = ۱۳/۶eV)$

(۱) ۴۵۴　(۲) ۴۶۰　(۳) ۶۵۶　(۴) ۷۶۰

پاسخ: گزینه ۳ در رشتهٔ بالمر هم طول موج‌هایی از مرئی و هم طول موج‌های فرا بنفش موجود است. طول موج‌های مرئی بلندتر از طول موج‌های فرا بنفش هستند و در طول موج‌های مرئی هر چه الکترون‌ها از لایهٔ کوچکتری به لایهٔ ۲ $h =$ سقوط کنند طول موج‌های تابشی بیشتر است.

$$(hc = ۱۲۴۰eV \cdot nm, E_R = ۱۳/۶eV)$$

$$n = ۳ \to n' = ۲ \Rightarrow_{\text{فوتون تابشی}} E = hf = h\frac{c}{\lambda} \to E_۳ - E_۲ = \frac{hc}{\lambda_{max}}$$

$$\to (-\frac{E_R}{۳^۲}) - (-\frac{E_R}{۲^۲}) = \frac{hc}{\lambda_{max}} \to E_R(\frac{۱}{۴} - \frac{۱}{۹}) = \frac{hc}{\lambda_{max}}$$

$$\to ۱۳/۶eV(\frac{۵}{۳۶}) = \frac{۱۲۴۰eV.nm}{\lambda_{max}} \to \lambda_{max} = \frac{۱۲۴۰}{\frac{۶۸}{۳۶}} \simeq ۶۵۶nm$$

### تست ۲۶:

دراتم هیدروژن چندریدبرگ انرژی لازم است، تا الکترون از تراز $n = ۱$ به تراز $n = ۵$ انتقال یابد؟

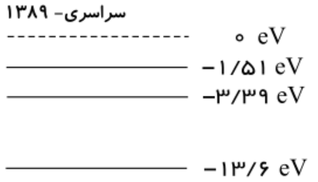
(۱) ۰/۶　(۲) ۰/۹۶　(۳) ۱/۳۱　(۴) ۱/۷۷۵

گزینه ۲ برای انتقال الکترون از مدارمانای $n_۱$ به یک مدار بالاتر $n_۲$ باید به اندازه‌ی اختلاف انرژی الکترون در دو مدار به الکترون انرژی داده شود. مقدارانرژی الکترون در مدارمانای شماره $n$ از رابطه‌ی $E_n = -\frac{E_R}{n^۲}$ به دست می‌آید. پس برای محاسبه‌ی مقدار انرژی لازم برای انتقال الکترون از مدار مانای $n = ۱$ به $n = ۵$ خواهیم داشت:

$$\Delta E = (\frac{۱}{n'^۲} - \frac{۱}{n^۲})E_R \Rightarrow \Delta E = (\frac{۱}{۱^۲} - \frac{۱}{۵^۲})E_R \Rightarrow \Delta E = \frac{۲۴}{۲۵}E_R \Rightarrow \Delta E = ۰/۹۶E_R$$

### تست ۲۷:

شکل روبه رو، تعدادی از ترازهای انرژی اتم هیدروژن را نشان می دهد. کدام گذار می تواند به گسیل فوتونی با طول موج $۶۶۰nm$ منجر شود؟ $(h = ۴/۱۳۶ \times ۱۰^{-۱۵}eVs, c = ۳ \times ۱۰^۸\frac{m}{s})$




(۱) $n = ۴$ به $n = ۱$　(۲) $n = ۳$ به $n = ۲$
(۳) $n = ۳$ به $n = ۱$　(۴) $n = ۴$ به $n = ۲$

گزینه ۲

$$\Delta E = hf = h\frac{c}{\lambda} = ۴/۱۳۶ \times ۱۰^{-۱۵} \times \frac{۳ \times ۱۰^۸}{۶۶۰ \times ۱۰^{-۹}} = ۱/۸۸J$$

اگر از تراز ۳ به تراز ۲ برود اختلاف انرژی برابر است با:

$$\Delta E = E_۳ - E_۲ = -۱/۵۱ - (-۳/۳۹) = ۱/۸۸$$

تست ۲۸:

در اتم هیدروژن، هنگام گذار الکترون از مدار $n_۲$ به $n_۱$، فوتونی با انرژی ۱۲/۷۵ الکترون ولت تابش می‌شود. $n_۲$ و $n_۱$ به ترتیب کدام‌اند؟ $(E_R = ۱۳/۶eV)$

خارج از کشور- ۱۳۹۰

۱) ۱ و ۳ ۲) ۲ و ۳ ۳) ۱ و ۴ ۴) ۲ و ۴

گزینه ۳ انرژی فوتون تابشی، برابر اختلاف انرژی مدارهای $n_۲$ و $n_۱$ است و داریم:

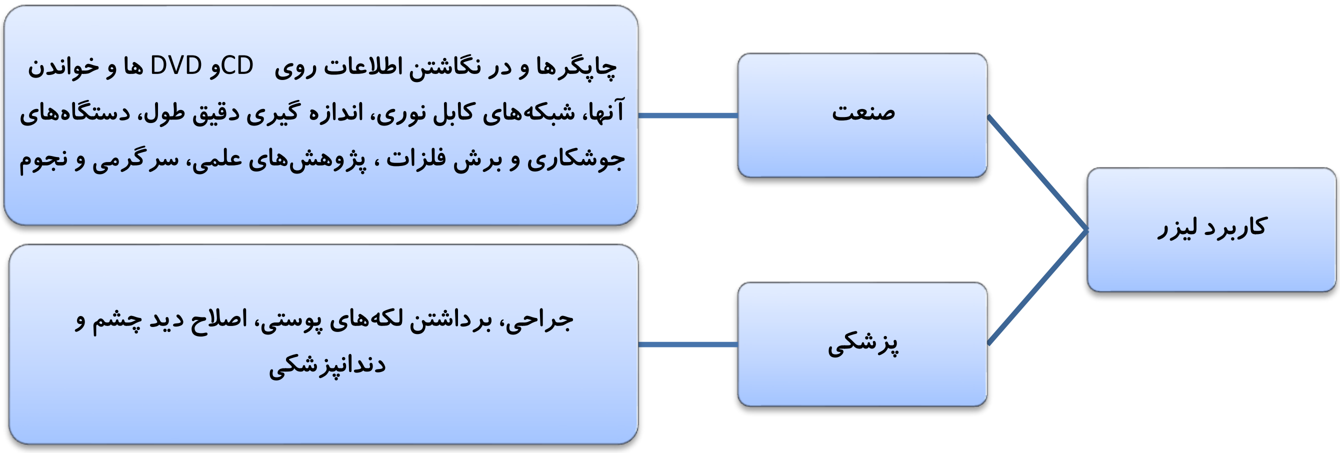
$$\Delta E = E_R(\frac{۱}{n_۱^۲} - \frac{۱}{n_۲^۲}) \Rightarrow ۱۲/۷۵ = E_R(\frac{۱}{n_۱^۲} - \frac{۱}{n_۲^۲}) \Rightarrow ۱۲/۷۵ = ۱۳/۶(\frac{۱}{n_۱^۲} - \frac{۱}{n_۲^۲})$$

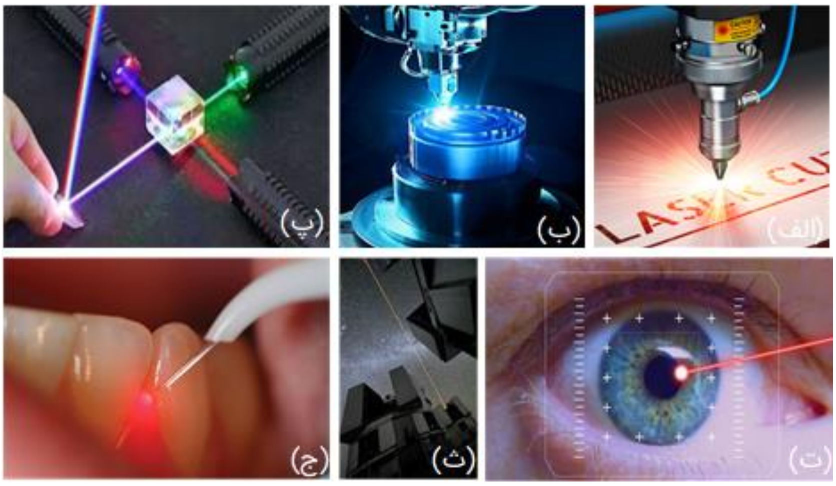
با قراردادن گزینه‌ها، $n_۱ = ۱$ و $n_۲ = ۴$ به‌دست می‌آید.

## ۱-٤ لیزر[1]

لیزر واژه اختصار یافته به معنی تقویت نور توسط گسیل القایی تابش است.

لیزر یکی از مفیدترین اختراع‌های قرن بیستم است که کاربرد زیادی در زندگی، فنّاوری و صنعت دارد.




[1] Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)

### ۴-۱-۱ چگونگی ایجاد لیزر

درون لیزر تعداد زیادی اتم برانگیخته وجود دارد. در این حالت اگر یک فوتون مناسب به یکی از اتم ها بدهیم، طبق خاصیت گسیل القایی در یک واکنش زنجیره ای تعداد زیادی فوتون های هم جهت، هم بسامد، هم فاز و هم انرژی گسیل می شود که به آن باریکه ی لیزر گوییم.

لیزر یکی از مهم‌ترین اختراعات قرن بیستم است، که کاربردهای زیادی در صنعت و پزشکی دارد. از جمله مهم‌ترین این کاربردها عبارتند از:

۱- استفاده در چاپگرها (پرینتر لیزری) در کپی اطلاعات روی CD و DVD و خواندن اطلاعات

۲- شبکه‌های کابل نوری

۳- اندازه‌گیری دقیق طول

۴- در جوشکاری و برش‌کاری فلزات

۵- در پزشکی برای جراحی، برداشتن لکه‌های پوستی، اصلاح دید چشم و دندانپزشکی

### ۴-۱-۲ چگونگی ایجاد لیزر

همان‌طور که می‌دانید هنگام‌که الکترون از تراز انرژی بالاتر ($E_U$) به تراز انرژی پایین‌تر می‌آید، فوتون گسیل می‌کند. به‌طور کلی انتقال الکترون به دو صورت می‌تواند باعث گسیل فوتون شود:

الف) گسیل خودبه‌خودی: هنگامی که الکترون به‌صورت خودبه‌خودی از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین‌تر می‌آید. گسیل خودبه‌خودی صورت می‌گیرد. در گسیل خودبه‌خودی فوتون در جهتی کاتوره‌ای گسیل می‌شود.

ب) گسیل القایی: اگر به الکترونی که در حالت برانگیخته قرار دارد فوتونی با انرژی مناسب بتابد، الکترون تحریک شده و به مدار انرژی پایین‌تر می‌رود و فوتونی گسیل می‌کند که به آن گسیل القایی می‌گویند. برای روی دادن گسیل القایی باید انرژی فوتون ورودی دقیقاً برابر اختلاف انرژی دو تراز باشد.

در گسیل القایی سه ویژگی اصلی وجود دارد:

۱- یک فوتون جذب و دو فوتون خارج می‌شود. به این ترتیب تعداد فوتون‌ها افزایش یافته و نور تقویت می‌شود.

نکته: در گسیل القایی یک چشمهٔ انرژی خارجی مناسب باید وجود داشته باشد تا الکترون‌ها را به ترازهای انرژی بالاتر برانگیخته کند. این انرژی می‌تواند به روش‌های متعددی از جمله درخش‌های شدید نور معمولی و با تخلیه‌های ولتاژ بالا فراهم شود. اگر انرژی کافی به اتم‌ها داده شود الکترون‌های بیشتری به تراز انرژی بالاتر برانگیخته خواهند شد که به آن وارونی جمعیت گفته می‌شود. وارونی جمعیت الکترون‌ها در یک محیط لیزری مربوط به وضعیتی است که تعداد الکترون‌ها در ترازهایی موسوم به ترازهای شبه‌پایدار نسبت به تراز پایین‌تر بسیار بیشتر باشند. در این ترازها الکترون‌ها مدت زمان بسیار طولانی‌تری نسبت به حالت برانگیختهٔ معمولی باقی می‌مانند. این زمان طولانی‌تر، فرصت بیشتری برای افزایش وارونی جمعیت و در نتیجه تقویت نور لیزر فراهم می‌کند. به شکل‌های زیر دقت کنید.

۲- فوتون گسیل‌شده در همان جهت فوتون ورودی حرکت می‌کند.

۳- فوتون گسیل‌شده با فوتون ورودی همگام یا هم‌فاز است.

اساس کار لیزرها گسیل القایی است. فرض کنید مطابق شکل زیر، به یک اتم برانگیخته فوتونی با انرژی مناسب بتابانیم. همان‌طور که گفتیم در این فرایند دو فوتون مشابه به‌وجود می‌آید. حال اگر هر یک ازاین فوتون‌ها به دو اتم برانگیختهٔ دیگر بتابند، ۴ فوتون مشابه ایجاد می‌شود و اگر این فرایند ادامه پیدا کند، مجموعه‌ای از فوتون‌هایی هم‌بسامد، هم‌بسامد، هم‌فاز و هم‌جهت به‌وجود می‌آیند که باریکهٔ لیزر را تشکیل می‌دهند.

بازدهٔ لیزر: بازدهٔ لیزر را می‌توان به کمک رابطهٔ مقابل محاسبه کرد.

$$\text{بازده لیزر} = \frac{P_{\text{خروجی}}}{P_{\text{ورودی}}} \times ۱۰۰$$

### ۴-۱-۳ تعداد فوتون‌های گسیل‌شده از لیزر

اگر توان خروجی یک لیزر برابر P باشد، برای به‌دست آوردن تعداد فوتون‌هایی که در مدت t ثانیه از این لیزر گسیل می‌شوند، می‌توان از رابطهٔ زیر استفاده کرد:

$$\left.\begin{array}{l} E = P.t \\ E = nhf \end{array}\right\} \Rightarrow Pt = nhf \Rightarrow n = \frac{Pt}{hf}$$

P ← توان خروجی لیزر بر حسب وات (W)

h← ثابت پلانک بر حسب ژول ثانیه (J.s)

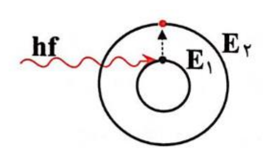
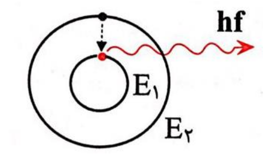
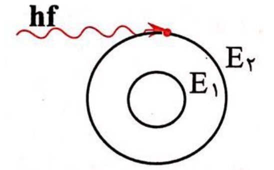
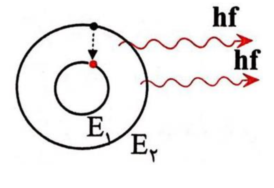
n← تعداد فوتون‌های گسیل‌شده از لیزر در مدت t ثانیه

t← زمان بر حسب ثانیه(s)

تست ۲۹:

کدام یک از موارد زیر از کاربردهای لیزر است؟ سراسری- ۱۳۹۶

۱) عکاسی در مه و تاریکی
۲) استفاده در اجاق‌های مایکروویو
۳) برش فلزات
۴) ضدعفونی کردن تجهیزات پزشکی

| نوع تابش | توضیح | برهم کنش اتم و فوتون | نحوه ی تغییر انرژی الکترون | شکل |
|---|---|---|---|---|
| خودبه خودی | الکترون با جذب یک فوتون، برانگیخته می شود و به تراز انرژی بالاتری می رود. | فوتون + اتم → اتم* <br> * حالت برانگیخته | $E_1 + hf = E_2$ |   |
| | الکترون به تراز پایه بر میگردد و انرژی کاهش یافته اش به شکل یک فوتون تابش می شود. | اتم* → فوتون + اتم | $E_2 = E_1 + hf$ |   |
| القایی | فوتونی با انرژی معادل اختلاف ترازهای انرژی $E_1$ و $E_2$ به الکترون برانگیخته می خورد. | هنوز اتفاقی نیفتاده! | فعلاً خبری نیست. |   |
| | الکترون سریع تر به تراز پایه بر می گردد. فوتون گسیل شده با فوتون ورودی هم جهت، هم فاز و هم انرژی است. | فوتون + اتم* → ۲ فوتون + اتم | $E_2 + hf = E_1 + 2hf$ |   |

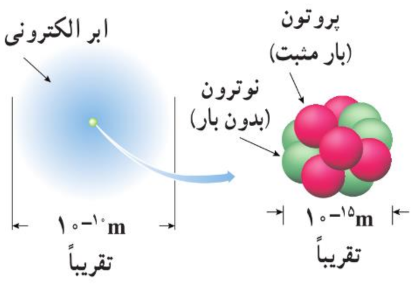
**ادامه فصل چهارم تجربی | ششم ریاضی**

## فیزیک هسته ای

### ۴-۲ ساختار هسته

در مرکز اتم قسمتی کوچک و بسیار چگال به نام هستهٔ اتم وجود دارد. در مورد هسته ۴ نکته رو یادتون باشه:

۱) ابعاد اتم در حدود $۱۰^{-۱۰}\text{m}$ و ابعاد هستهٔ اتم در حدود $۱۰^{-۱۵}\text{m}$ است. بنابراین می‌توانیم بگوییم، شعاع هسته $\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰}$ شعاع اتم است.




۲) هستهٔ اتم از نوترون‌ها و پروتون‌ها تشکیل شده است که به‌طور کلی نوکلئون نامیده می‌شوند.

۳) بار الکتریکی پروتون مثبت بوده و اندازهٔ آن برابر بار الکتریکی الکترون است. اما جرم پروتون تقریباً ۱۸۳۷ برابر جرم الکترون می‌باشد.

۴) نوترون بار الکتریکی ندارد و جرمش اندکی بیشتر از جرم پروتون است. نوترون توسط چادویک کشف شد.

| ذره | بار الکتریکی (C) | جرم | |
|---|---|---|---|
| | | کیلوگرم (kg) | یکای جرم اتمی (u)* |
| الکترون | $-۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$ | $۹/۱۰۹۳۸۹ \times ۱۰^{-۳۱}$ | $۵/۴۸۵۸ \times ۱۰^{-۴}$ |
| پروتون | $+۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$ | $۱/۶۷۲۶۲۲ \times ۱۰^{-۲۷}$ | ۱/۰۰۷۲۷۶ |
| نوترون | ۰ | $۱/۶۷۴۹۲۹ \times ۱۰^{-۲۷}$ | ۱/۰۰۸۶۶۴ |

### ۴-۲-۱ شیوهٔ نمایش هستهٔ اتم

برای یک عنصر با نماد شیمیایی X، نماد هسته به‌صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$A = Z + N$$

- A: تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها (عدد جرمی)
- Z: تعداد پروتون‌ها (عدد اتمی)
- N: تعداد نوترون‌ها (عدد نوترونی)

$${}^{A}_{Z}X_{N}$$

- A: عدد جرمی
- Z: عدد اتمی
- X: نماد عنصر
- N: عدد نوترونی

A ← عدد جرمی (مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها)

Z ← عدد اتمی (تعداد پروتون‌ها)

N ← عدد نوترونی (تعداد نوترون‌ها)

نکته۲۴: مشخص کردن N در نمادنویسی بالا ضروری نیست. زیرا می‌توان به کمک معادلهٔ بالا و A و Z، N را به‌دست آورد.

نکته۲۵: در محاسبات جرم در ابعاد اتم از یکای جرم اتمی u استفاده می‌کنیم که $\frac{۱}{۱۲}$ جرم اتم کربن ۱۲ است.

### ۴-۲-۲ ایزوتوپ‌ها

به گونه‌های مختلفی از یک اتم که دارای عدد اتمی یکسان و عدد جرمی متفاوت هستند، ایزوتوپ (هم مکان) می‌گویند.

به‌طور مثال کربن دو ایزوتوپ ( $^{12}_{6}C$ ) و ( $^{13}_{6}C$ ) دارد.

نکته۲۶: خواص شیمیایی هر اتم به عدد اتمی آن بستگی دارد. بنابراین ایزوتوپ‌های یک عنصر خواص شیمیایی یکسانی دارند، امّا خواص فیزیکی آن‌ها متفاوت است.

نکته۲۷: جرم‌های اتمی درج‌شده در جدول تناوبی عناصر، میانگین جرم‌های اتمی ایزوتوپ‌های مختلف هر عنصر است که با توجه به درصد فراوانی آن‌ها حساب شده‌اند.

نکته۲۸: در بین تمام عناصر فقط ایزوتوپ‌های هیدروژن دارای نمادها و اسامی اختصاصی هستند. هیدروژن معمولی( $^{1}_{1}H$ )، دوتریم ( $^{2}_{1}H$ یا D) و تریتیم ( $^{3}_{1}H$ یا T).

نکته۲۹: اورانیوم دارای دو ایزوتوپ $^{235}U$ (با درصد فراوانی ۰/۷ درصد) و $^{238}U$ (با درصد فراوانی ۹۹/۳ درصد) می‌باشد

| 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 ۱۳ | $^{13}C$ | ۶ | ۷ | ۱/۰۷ |
| دوتریم (هیدروژن ۲، $^{2}H$) | D | ۱ | ۱ | ۰/۰۱۱۵ | کربن ۱۴ | $^{14}C$ | ۶ | ۸ | یافت نمی‌شود |
| تریتیم (هیدروژن ۳، $^{3}H$) | T | ۱ | ۲ | بسیار نادر | اورانیم ۲۳۵ | $^{235}U$ | ۹۲ | ۱۴۳ | ۰/۷۱۶ |
| کربن ۱۲ | $^{12}C$ | ۶ | ۶ | ۹۸/۹۳ | اورانیم ۲۳۸ | $^{238}U$ | ۹۲ | ۱۴۶ | ۹۹/۲۸۴ |

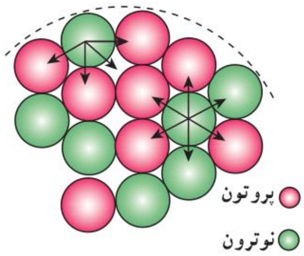
### ۴-۲-۳ پایداری هسته

به‌طور کلی داخل هسته سه نیروی گرانشی، الکتروستاتیکی و هسته‌ای وجود دارد.

۱) نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی رانشی خیلی قوی بین پروتون‌ها ایجاد می‌شود.

نکته ۳۰: نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی بلندبرد است. به همین دلیل یک پروتون تمام پروتون‌های دیگر درون هسته را دفع می‌کند.

۲) نیروی جاذبهٔ گرانشی بین پروتون‌ها و نوترون‌ها (به‌طور کلی بین نوکلئون‌ها) برقرار می‌شود . برای پایداری هسته، باید نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی بین پروتون‌ها با نیروی جاذبهٔ بین نوکلئون‌ها که ناشی از نیروی هسته‌ای است، موازنه شده باشد. از طرفی نیروی جاذبهٔ گرانشی بسیار ناچیز است و قدرت مقابله با نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی را ندارد. (پس نیروی سومی وجود دارد.)



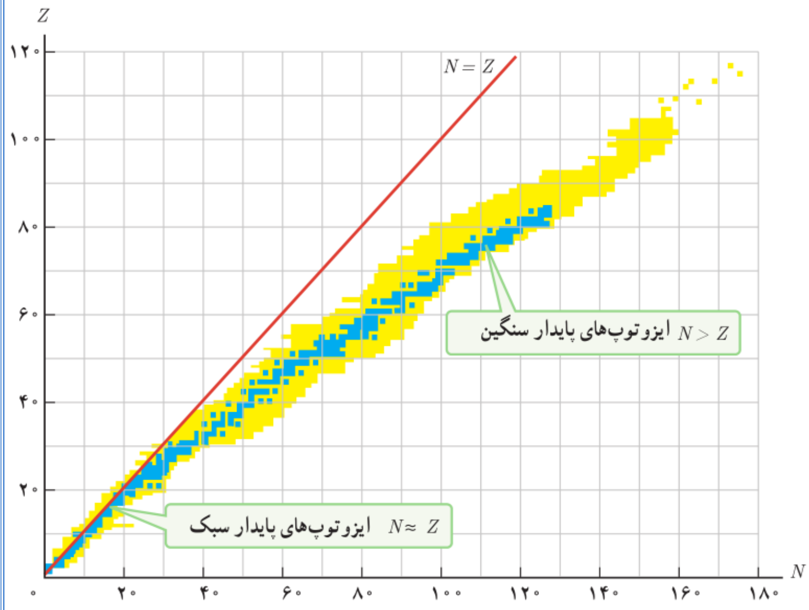

۳) نیروی جاذبهٔ هسته‌ای نیز مانند نیروی گرانشی بین پروتون‌ها ونوترون‌ها ایجاد می‌شود که بسیار قوی است.

نکته ۳۱: نیروی هسته‌ای، کوتاه‌برد است و تنها در فاصله‌ای کوچک‌تر از ابعاد هسته اثر می‌کند.

همان‌طور که در شکل مقابل می‌بینید هر نوکلئون فقط به نوکلئون مجاور خود نیروی هسته‌ای وارد

می‌کند. دقت کنید که نیروی هسته‌ای مستقل از بار الکتریکی است، یعنی نیروی ربایشی هسته‌ای یکسانی بین دو پروتون، دو نوترون و یک پروتون و یک نوترون وجود دارد.

نکته۳۲: هنگامی‌که تعداد پروتون‌های داخل هسته افزایش می‌یابد، تمام پروتون‌های هسته به یکدیگر نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی وارد می‌کنند امّا فقط نوکلئون‌های مجاور به یکدیگر نیروی جاذبهٔ هسته‌ای وارد خواهند کرد و افزایش نیروی دافعه بیشتر از افزایش نیروی جاذبه می‌شود. حال اگر هسته بخواهد پایدار باقی بماند، باید تعداد نوترون‌های درون هسته نیز افزایش یابد. در شکل مقابل نمودار عدد اتمی بر حسب عدد نوترونی برای عنصرهای مختلف نشان داده شده است.




در این شکل نقاط آبی متعلق به هسته‌های پایدار و نقاط زرد متعلق به هسته‌های پرتوزا هستند.

نکته۳۳: در این شکل هسته پایدار با بیشترین تعداد پروتون (عدد اتمی ۸۳) متعلق به بیسموت ( $^{۲۰۹}_{۸۳}\mathrm{Bi}$ ) است.

نکته۳۴: هسته‌هایی که عدد اتمی آن‌ها بیشتر از ۸۳ است، ناپایدار هستند و معمولاً در طبیعت یافت نمی‌شوند. از بین این هسته‌ها فقط توریم $(Z = ۹۰)$ و اورانیوم $(Z = ۹۲)$ در طبیعت یافت می‌شوند. این دو عنصر، تنها عنصرهایی هستند که واپاشی آن‌ها چنان کند است که از هنگام تشکیل منظومهٔ شمسی تاکنون مقدار کمی از آن‌ها دچار واپاشی شده است.

مثال ۱: هر نقطه آبی رنگ در نمودار شکل بالا نشان دهنده یک هسته پایدار است. با توجه به این نمودار به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

الف) نسبت تعداد نوترون به تعداد پروتون $(N/Z)$ برای هسته‌های پایدار مختلف ثابت است یا متفاوت؟ توضیح دهید.

متفاوت است. با افزایش عدد اتمی، هسته‌های پایدار از خط $N=Z$ فاصله می‌گیرند و به طرف پایین خط پراکنده می‌شوند. یعنی تعداد نوترون‌های آنها، نسبت به پروتون‌های آنها زیاد می‌شود.

ب) ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر را چگونه می‌توان با استفاده از این نمودار تشخیص داد؟

برای تشخیص ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر با عدد اتمی $Z$، کافی است از عدد اتمی مورد نظر بر روی محور $Z$ها، خطی به موازات محور $Z$ ها رسم کنیم. عناصری که روی این خط قرار می‌گیرند، ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر هستند.

### ۴-۲-۴ رابطهٔ اینشتین

رابطهٔ اینشتین یکی از معروف‌ترین روابط فیزیک است. طبق این رابطه جرم می‌توان تبدیل به انرژی شود.

| | | |
|---|---|---|
| $E = mc^2$ | | |
| E ← انرژی تولیدشده بر حسب ژول(J) | m ← جرمی که تبدیل به انرژی شده است بر حسب کیلوگرم (kg) | c ← تندی نور ( $c = 3\times10^8 \frac{m}{s}$ ) |

نکته۳۵: در برخی از سؤالات انرژی تولیدشده بر حسب الکترون-ولت (ev) و یا کیلووات ساعت (kWh) خواسته می‌شود.

برای تبدیل یکای ژول به یکاهای دیگر به‌صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$J \xrightarrow{\div(1/6\times10^{-19})} e.v$$

$$J \xrightarrow{\div(36\times10^{5})} kWh$$

تست ۳۰:

اگردریک واکنش هسته‌ای یک گرم جرم تبدیل به انرژی شود، انرژی حاصل چه جرمی از ماده را می‌تواند یک صد متر از سطح زمین بالا ببرد؟ $\left(c = 3\times10^8 \frac{m}{s} \ ,\ g = 10 \frac{m}{s^2}\right)$

۱) ۹۰ میلیون تُن ۲) ۹۰ تُن ۳) ۴۵۰ میلیون کیلوگرم ۴) ۴۵۰ کیلوگرم

پاسخ: گزینه ۱ برای به دست آوردن انرژی حاصل از تبدیل یک گرم جرم به انرژی، داریم:

$$E = mc^2 = 1\times10^{-3}\times(3\times10^8)^2 = 9\times10^{13} J$$

با این انرژی می‌خواهیم جرم $m'$ را تا ارتفاع $100m$ از سطح زمین جابجا کنیم. انرژی لازم برای انجام این کار، صرف افزایش انرژی پتانسیل گرانشی جسم با جرم $m'$ می‌شود:

$$U = m'gh \Rightarrow 9\times10^{13} = m'\times10\times100 \Rightarrow m' = 9\times10^{10} kg = 9\times10^7 ton$$

هرهزارکیلوگرم برابر $1ton$ می‌باشد، بنابراین $m'$ برابر $9\times10^7$ تن یا به عبارت دیگر ۹۰ میلیون تن است.

تست ۳۱:

در یک واکنش هسته‌ای، ۲ میلی‌گرم جرم تبدیل به انرژی شده است، انرژی حاصل معادل با چند کیلووات ساعت است؟ $(c = 3\times10^8 \frac{m}{s})$

۱) $2/5\times10^4$ ۲) $2/5\times10^9$ ۳) $5\times10^4$ ۴) $5\times10^9$

پاسخ: گزینه ۳

ابتدا انرژی حاصل از تبدیل جرم به انرژی را به کمک رابطه‌ی انیشتین حساب می کنیم: (این عدد بر حسب ژول است).

$$E = mc^2 \Rightarrow E = 2\times10^{-6}\times(3\times10^8)^2 = 18\times10^{10} J$$

تذکر: برای تبدیل ژول به کیلو وات ساعت، باید عدد را به $36\times10^5$ تقسیم کنیم.

$$E = \frac{18\times10^{10}}{36\times10^5} = 5\times10^4 kWh$$

تست ۳۲:

اگر در واکنش هسته ای، ۴ گرم جرم به انرژی تبدیل شود، انرژی حاصل، معادل با انرژی مصرف شده در چند لامپ ۱۰۰ واتی است که به مدت ۲۰ ساعت روشن باشند؟

۱) ۵هزار ۲) ۵۰هزار ۳) ۵میلیون ۴) ۵۰میلیون

پاسخ: گزینه ۴

انرژی تولید شده از تبدیل جرم به انرژی :

$$E = mc^2 = \frac{4}{1000}(3\times10^8)^2 = \frac{4}{1000}\times9\times10^{16} = 36\times10^{13} J$$

انرژی مصرفی هر لامپ ۱۰۰ واتی که ۲۰ ساعت روشن باشد:

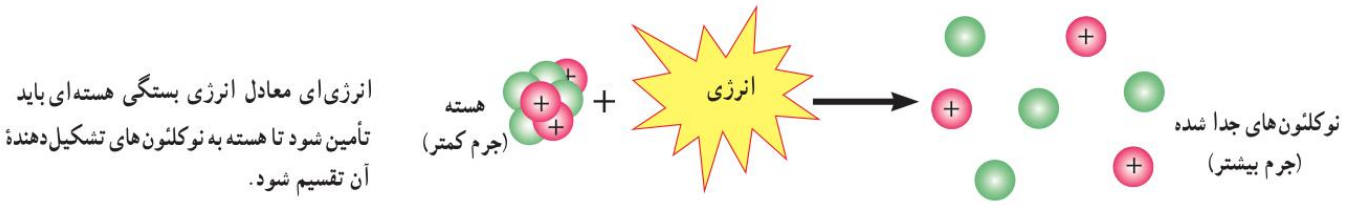
$$E = Pt = 100\times20\times3600 = 72\times10^5 J$$

$$\text{تعداد لامپ} = \frac{36\times10^{13}}{72\times10^5} = \frac{1}{2}\times10^8 = 5\times10^7 = 50,000,000$$

### ٤-٢-٥ انرژی بستگی هسته

انرژی لازم برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته، انرژی بستگی هسته نامیده می‌شود.

همان‌طور که می‌دانید یک هسته از مجموعه‌ای از پروتون‌ها و نوترون‌ها تشکیل شده است، بنابراین انتظار داریم جرم هسته برابر مجموع جرم پروتون‌ها و نوترون‌های تشکیل‌دهندهٔ آن باشد. در صورتی‌که اندازه‌گیری‌های دقیق نشان می‌دهند که جرم هسته اندکی کمتر از جرم پروتون‌ها و نوترون‌های تشکیل‌دهندهٔ هسته می‌باشد که به این اختلاف جرم در اصطلاح کاستی جرم هسته می‌گویند. طبق رابطهٔ اینشتین این کاستی جرم تبدیل به انرژی شده است که به آن انرژی بستگی هسته می‌گویند.




### ٤-٢-٦ ترازهای انرژی هسته

در مقایسهٔ انرژی الکترون‌ها در اتم و انرژی نوکلئون‌ها در هسته می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) انرژی نوکلئون‌های هسته مانند انرژی الکترون‌های اتم، کوانتیده است و هر مقداری را نمی‌تواند داشته باشد.

۲) همان‌طور که الکترون‌ها با جذب انرژی از تراز پایه به تراز برانگیخته می‌روند، نوکلئون‌ها نیز می‌توانند با جذب انرژی به تراز بالاتر بروند.

۳) همان‌طور که الکترون برانگیخته می‌تواند با گسیل فوتون به حالت پایه بازگردد، نوکلئون‌های برانگیخته نیز با گسیل فوتون به تراز پایه باز می‌گردند.

۴) بزرگ‌ترین تفاوت ترازهای انرژی داخل هسته و ترازهای انرژی اتم اختلاف انرژی آن‌ها است. اختلاف بین ترازهای انرژی نوکلئون‌ها درهسته از مرتبهٔ keV تا MeV است، در حالی‌که اختلاف بین ترازهای انرژی الکترون‌ها در اتم از مرتبهٔ eV است. برای همین هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی که انرژی کمی دارند برانگیخته نمی‌شوند.

### ٤-٣ پرتوزایی

کشف پرتوزایی طبیعی توسط هانری بکرل، آغازی برای پی بردن به وجود هسته اتم بود.

همان‌طور که مشاهده کردید عناصری که عدد اتمی آن‌ها بزرگ‌تر از ۸۳ است، ناپایدار هستند و به‌طور طبیعی (خود به‌خودی) واپاشیده می‌شوند و نوع معینی از ذرات با فوتون‌های پرانرژی آزاد می‌کنند. به این فرایند واپاشی، پرتوزایی طبیعی می‌گویند.

**نکته۳۶:** در تمام فرایندهای واپاشی پرتوزا، تعداد نوکلئون‌ها در طی فرایند واپاشی هسته‌ای پایسته می‌ماند. یعنی تعداد نوکلئون‌ها، پیش از فرایند با تعداد نوکلئون‌ها پس از فرایند مساوی است.

در پرتوزایی طبیعی سه نوع پرتو ایجاد می‌شود. در ادامه با انواع پرتوهایی که هنگام واپاشی گسیل می‌شوند، آشنا می‌شوید.

### ٤-٣-١ واپاشی $\alpha$

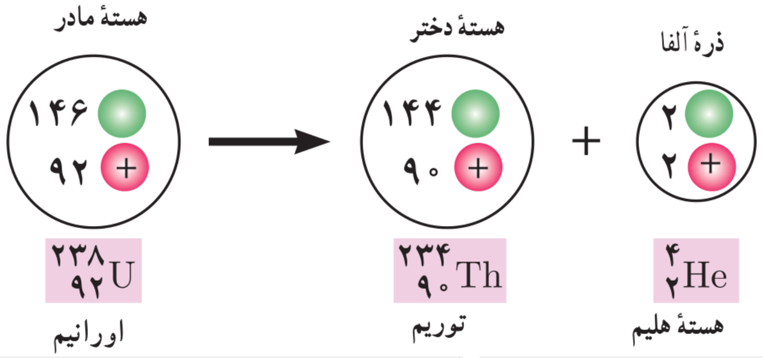
۱) این واپاشی در هسته‌های سنگین رو می‌دهد.

۲) پرتوهای $\alpha$ ذرات باردار مثبت از جنس هستهٔ اتم هلیم ($_{2}^{4}He$) هستند و از دو پروتون و دو نوترون تشکیل شده‌اند.

۳) برد پرتوهای $\alpha$ کوتاه است. این ذرات پس از طی مسافتی کوتاه در حدود ۱cm تا ۲cm در هوا یا هنگام عبور از لایه‌ای نازک از مواد جذب می‌شوند. پرتوهای $\alpha$ کمترین نفوذ را دارند و با ورقهٔ نازک سربی با ضخامت ناچیز (۰/۱mm) متوقف می‌شوند.

۴) اگر ذره‌های $\alpha$ از راه تنفس یا دستگاه گوارش وارد بدن شوند، باعث آسیب‌های شدید به بدن خواهند شد. به معادلهٔ این واپاشی و مثالی که مطرح شده است توجه کنید:

(واپاشی α) $\,^{A}_{Z}X \rightarrow \,^{A-4}_{Z-2}Y + \,^{4}_{2}He$




در واپاشی α یک هسته مادر ناپایدار، ذره αگسیل می‌کند و هسته متفاوتی (هسته دختر) به وجود می‌آید.

### ۴-۳-۲ واپاشی $\beta^-$

۱) این واپاشی، متداول‌ترین نوع واپاشی در هسته‌ها است.

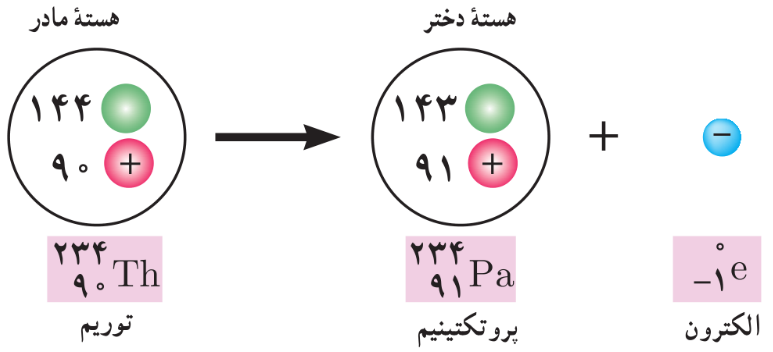
۲) پرتوهای $\beta^-$ در واقع همان الکترون‌ها هستند.

۳) پرتوهای $\beta^-$ مسافت خیلی بیشتری را نسبت به پرتوهای α در سرب نفوذ می‌کنند. تقریباً پرتوهای $\beta^-$ می‌توانند مسافتی در حدود (۰/۱mm) در سرب نفوذ کنند.

۴) الکترون گسیل‌شده در این واپاشی یکی از الکترون‌های مداری اتم نیست؛ این الکترون وقتی به‌وجود می‌آید که نوترونی درون هسته، به پروتون و الکترون تبدیل شود.

به معادلهٔ این واپاشی و مثالی که مطرح شده توجه کنید:

(واپاشی $\beta^-$) $\,^{A}_{Z}X \rightarrow \,^{A}_{Z+1}Y + \,^{0}_{-1}e^-$




واپاشی $\beta^-$ وقتی رخ می‌دهد که نوترونی در یک هستهٔ مادر ناپایدار به پروتون و الکترون تبدیل شود. الکترون به صورت ذرهٔ $\beta^-$ گسیل می‌شود.

### ۴-۳-۳ واپاشی $\beta^+$

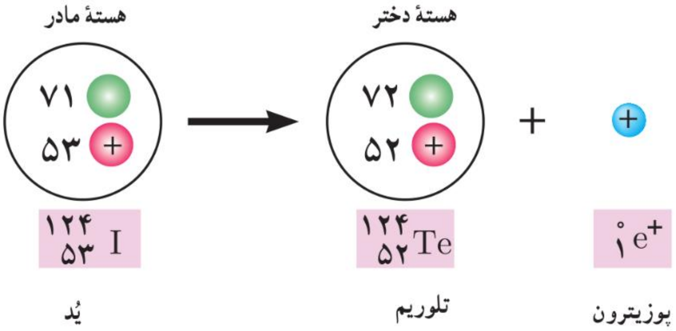
۱) در این واپاشی ذرهٔ گسیل‌شده توسط هسته، جرم یکسانی با الکترون دارد ولی به جای بار e- دارای بار الکتریکی e+ است. به این الکترون مثبت، پوزیترون می‌گویند و با نماد $\beta^+$ یا $e^+$ نمایش داده می‌شود.

۲) مسافتی که پرتوهای $\beta^+$ در سرب نفوذ می‌کنند مانند $\beta^-$ در حدود (۰/۱mm) است.

۲) هنگام واپاشی $\beta^+$ یکی از پروتون‌های درون هسته به یک نوترون و یک پوزیترون تبدیل می‌شود.

به معادلهٔ این واپاشی و مثالی که مطرح شده است توجه کنید.

(واپاشی $\beta^+$) $\,^{A}_{Z}X \rightarrow \,^{A}_{Z-1}Y + \,^{0}_{1}e^+$




واپاشی $\beta^+$ وقتی رخ می‌دهد که پروتونی در یک هستهٔ مادر ناپایدار، به نوترون و پوزیترون تبدیل شود. پوزیترون به صورت ذرهٔ $\beta^+$ گسیل می‌شود.

### ۴-۳-۴ واپاشی γ

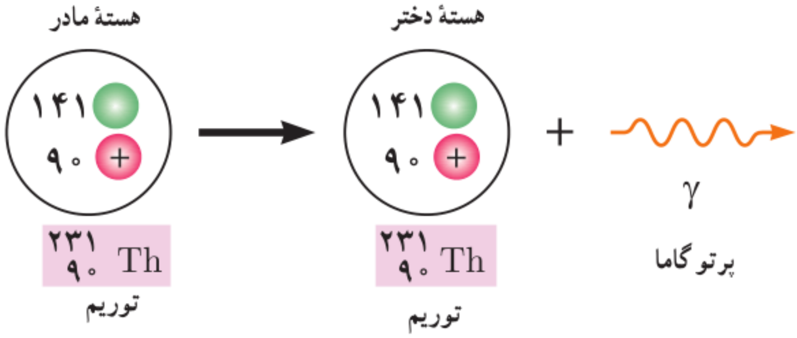
۱) اغلب هسته‌ها پس از واپاشی آلفا یا بتا، در حالت برانگیخته قرار می‌گیرند و با گسیل پرتوی گاما به حالت پایه می‌رسند.

۲) پرتوهای گاما از جنس امواج الکترومغناطیسی هستند و دارای بار الکتریکی وجرم نمی‌باشند و از فوتون‌های پرانرژی تشکیل شده‌اند.

۳) پرتوهای گاما بیشترین نفوذ را دارند و می‌توانند از ورقهٔ سربی به ضخامت ($۱۰۰mm$) عبور کنند.

به معادلهٔ این واپاشی و مثالی که مطرح شده است، توجه کنید.

(واپاشی γ) $\quad ^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}Y + \gamma$




واپاشی γ وقتی رخ می‌دهد که هسته‌ای برانگیخته شده باشد.

### ۴-۳-۵ جمع بندی واپاشی ها

| | |
|---|---|
| واپاشی α | $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-۴}_{Z-۲}Y + {}^{۴}_{۲}He$ |
| واپاشی $\beta^-$ | $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+۱}Y + {}^{۰}_{-۱}e^{-}$ |
| واپاشی $\beta^+$ | $^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-۱}Y + {}^{۰}_{۱}e^{+}$ |
| واپاشی γ | $^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}Y + \gamma$ |

| نام | آلفا \| هلیم | بتازای منفی | بتازای مثبت | گاما | نوترون |
|---|---|---|---|---|---|
| نماد | $({}^{۴}_{۲}He) \mid ({}^{۴}_{۲}\alpha)$ | ${}^{۰}_{-۱}e^{-}, {}^{۰}_{-۱}\beta^{-}$ | ${}^{۰}_{۱}e^{+}, {}^{۰}_{+۱}\beta^{+}$ | ${}^{۰}_{۰}\gamma$ | ${}^{+۱}_{۰}N$ |
| بار | $q=+۲e$ | $q=-e$ | $q=+e$ | $q=۰$ | $q=۰$ |
| قدرت نفوذ و برد | کمترین نفوذ<br>کوتاه برد | نفوذ بیشتر<br>برد متوسط | - | بیشترین نفوذ<br>بلند برد | - |

### تست۳۳:

هسته‌ی $^{۲۳۱}_{۹۱}Pa$ ، با گسیل ذره‌ی آلفا وا می‌پاشد. هسته‌ی حاصل چند پروتون و چند نوترون دارد؟

۱) $۲۲۷ - ۹۲$ ۲) $۲۲۷ - ۸۹$ ۳) $۱۳۸ - ۹۲$ ۴) $۱۳۸ - ۸۹$

پاسخ: گزینه ۴

$$^{۲۳۱}_{۹۱}Pa \rightarrow ^{A}_{Z}X + ^{۴}_{۲}\alpha \Rightarrow \begin{cases} ۲۳۱ = A + ۴ \\ ۹۱ = Z + ۲ \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A = ۲۲۷ \\ Z = ۸۹ : \text{تعداد پروتون} \end{cases}$$

تعداد نوترون : $A = N + Z \Rightarrow ۲۲۷ = ۸۹ + N \Rightarrow N = ۱۳۸$

### تست۳۴:

$^{۸}_{۳}\mathrm{Li}$ یکی از ایزوتوپ‌های رادیواکتیو لیتیم است. این ایزوتوپ پس از تابش یک ذره آلفا و یک الکترون به کدام عنصر تبدیل می‌شود؟

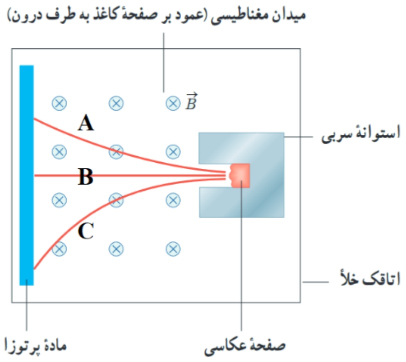
۱) $^{۷}_{۳}\mathrm{Li}$ ۲) $^{۸}_{۴}Be$ ۳) $^{۶}_{۳}\mathrm{Li}$ ۴) $^{۴}_{۲}He$

پاسخ: گزینه ۴

اگر $^{۴}_{۲}\alpha$ و $^{\circ}_{-۱}e$ را از $^{۸}_{۳}\mathrm{Li}$ کم کنیم به $^{۴}_{۲}He$ می‌رسیم.

$$^{۸}_{۳}\mathrm{Li} \rightarrow ^{۴}_{۲}\alpha + ^{\circ}_{-۱}e + x \Rightarrow x = ^{۴}_{۲}He$$

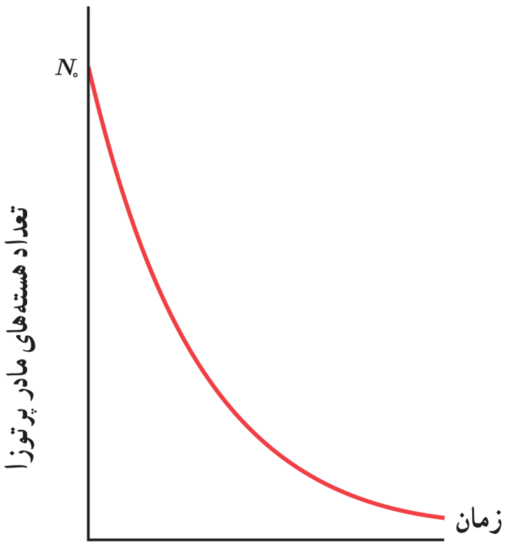
**مثال: شکل روبه رو طرح آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد که به کمک آن می‌توان سه نوع پرتوزایی طبیعی را مشاهده کرد. نوع بار پرتوها را با هم مقایسه کنید.**

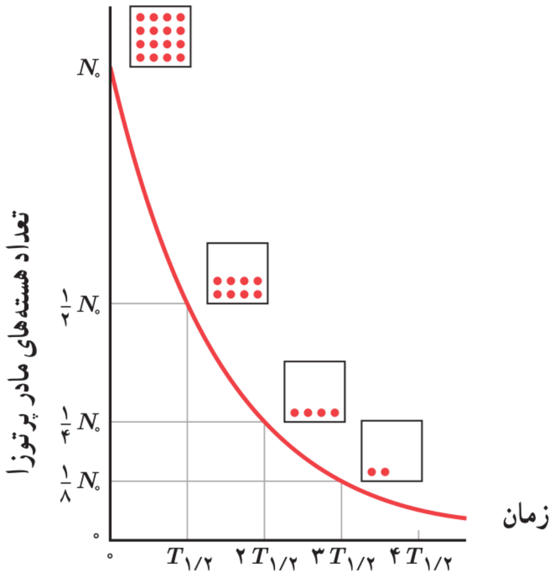


### ٤-٤ نیمه‌عمر

همان‌طور که گفتیم هسته‌های ناپایدار با گذشت زمان دچار واپاشی می‌شوند و به ذرات، انرژی و هسته‌های سبک‌تر تبدیل می‌شوند، به مدت زمانی که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه، به نصف برسند نیمه‌عمر می‌گویند و آن را با $T_{\frac{1}{2}}$ نشان می‌دهند.

فرض کنید تعداد هسته‌هایمادر موجود در یک مادهٔ پرتوزا برابر $N_0$ باشد، همان‌طور که در نمودارهای زیر می‌بینید، با گذشت زمان، این هسته‌ها دچار واپاشی شده و کاهش می‌یابند، همان‌طور که در نمودار سمت چپ می‌بینید با گذشت هر نیمه‌عمر تعداد هسته‌های باقی‌مانده نصف می‌شود.




برای به‌دست آوردن تعداد هسته‌های باقی‌مانده در یک واپاشی می‌توان از رابطهٔ ۳ استفاده کرد:

| | | |
|---|---|---|
| رابطه ۱: $n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$ | رابطه ۲: $m = \frac{m_0}{2^n}$ | رابطه ۳: $N = \frac{N_0}{2^n}$ |
| $N \leftarrow$ تعداد هسته‌های باقی‌مانده | $N_0 \leftarrow$ تعداد هسته‌های اولیه | $m \leftarrow$ جرم فعال |
| $m_0 \leftarrow$ جرم اولیه | $n \leftarrow$ تعداد نیمه‌عمرهای سپری‌شده | $t \leftarrow$ کل زمان واپاشی |
| $T_{\frac{1}{2}} \leftarrow$ زمان نیمه‌عمر | | |

نکته۳۷: در روابط بالا یکای t و $T_{\frac{1}{2}}$ می‌تواند، ثانیه، دقیقه، ساعت، روز، ماه و یا سال باشد، فقط کافی است یکای این دو کمیت یکسان جایگذاری شود.

## ۴-۴-۱ رابطه ۳ و ۱ نیمه عمر

### تست ۳۵:

تعداد هسته‌های اولیه‌ی یک ماده‌ی رادیواکتیو $N_\circ = ۱۶۰۰$ است. اگر نیمه عمر این ماده ۶ ساعت باشد، بعد از چند ساعت ۲۰۰ هسته‌ی آن فعال باقی می‌ماند؟

۱) ۱۲ ۲) ۱۸ ۳) ۳۶ ۴) ۴۸

پاسخ: گزینه ۲

$N_\circ = ۱۶۰۰ \to ۸۰۰ \to ۴۰۰ \to ۲۰۰$

$N = \frac{t}{T} \Rightarrow ۳ = \frac{t}{۶} \Rightarrow t = ۱۸h$

### تست ۳۶:

نیمه‌ی عمر ماده ی رادیواکتیوی، ۵ روز است. بعدازچند روز تعدادهسته‌های واپاشیده شده، $\frac{۷}{۸}$ تعداد هسته‌های اولیه خواهد شد؟

۱) ۸ ۲) ۱۰ ۳) ۱۵ ۴) $\frac{۵}{۳}$

پاسخ: گزینه ۳

$N_\circ \xrightarrow[T]{(۱)} \frac{N_\circ}{۲} \xrightarrow[T]{(۲)} \frac{N_\circ}{۴} \xrightarrow[T]{(۳)} \frac{N_\circ}{۸}$ تعداد هسته‌ی باقی‌مانده

$\frac{۷N_\circ}{۸}$ تعداد هسته‌های واپاشیده شده

$n = \frac{t}{T} \Rightarrow ۳ = \frac{t}{۵} \Rightarrow t = ۱۵$ روز

### تست ۳۷:

از تعداد هسته‌های اولیه‌ی مساوی دو عنصر رادیواکتیو $A$ و $B$ بعد از گذشت زمان $\Delta t$، تعداد هسته‌های باقی‌مانده‌ی عنصر $A$ چهار برابر تعداد هسته‌های باقی‌مانده‌ی عنصر $B$ است. اگر تعداد نیمه‌عمرهای عنصر $A$ و $B$ در مدت زمان $\Delta t$ به ترتیب $n_A$ و $n_B$ باشد، کدام‌یک از موارد زیر درست است؟

۱) $n_A - n_B = ۴$ ۲) $n_B - n_A = ۴$ ۳) $n_A - n_B = ۲$ ۴) $n_B - n_A = ۲$

پاسخ: گزینه ۴

$N_A = ۴N_B \Rightarrow \frac{N_\circ}{۲^{n_A}} = ۴\frac{N_\circ}{۲^{n_B}} \Rightarrow ۲^{n_A} = ۲^{-۲} \times ۲^{n_B} \Rightarrow ۲^{n_A} = ۲^{(n_B - ۲)}$

$\Rightarrow n_A = n_B - ۲ \Rightarrow n_B - n_A = ۲$

## ۴-۴-۲ رابطه ۲ و ۱ نیمه عمر

### تست ۳۸:

از ۱۲ گرم یک ماده رادیواکتیو پس از ۱۸ روز، ۱٫۵ گرم تجزیه نشده باقیمانده است. نیمه‌عمر این ماده چند روز است؟

۱) ۹ ۲) ۶ ۳) ۴ ۴) ۳

پاسخ: گزینه ۲

$m = \frac{m_\circ}{۲^n} \Rightarrow ۱٫۵ = \frac{۱۲}{۲^n} \Rightarrow ۲^n = ۸ \Rightarrow ۲^n = ۲^۳ \Rightarrow n = ۳ \quad , \quad n = \frac{t}{T} \Rightarrow ۳ = \frac{۱۸}{T} \Rightarrow T = ۶$ روز

### تست ۳۹:

نیمه‌عمر یک ماده رادیواکتیو ۲ ساعت است. پس از چند ساعت، $\frac{۱}{۱۲۸}$ هسته‌های اولیه، فعال باقی می‌ماند؟

۱) ۳۶ ۲) ۲۸ ۳) ۱۴ ۴) ۱۲

پاسخ: گزینه ۳ باتوجه به رابطه‌ی $m=\frac{m_0}{2^n}$ برای تعداد هسته های باقیمانده، داریم:

$$m=\frac{m_0}{2^n}\Rightarrow \frac{1}{128}m_0=\frac{m_0}{2^n}\Rightarrow 128=2^n\Rightarrow 2^7=2^n\Rightarrow n=7\ ,\ \ n=\frac{t}{T}\Rightarrow 7=\frac{t}{2}\Rightarrow t=14 \text{ ساعت}$$

### تست ۴۰:

نیمه‌عمر یک ماده‌ی رادیواکتیو ۱۰ ساعت است. هرگاه پس از ۴۰ ساعت ۱۵ گرم از این ماده واپاشیده شود، جرم اولیه‌ی آن چند گرم است؟

۱) ۱۶ ۲) ۲۰ ۳) ۳۲ ۴) ۴۰

پاسخ: گزینه ۱

$$n=\frac{t}{T}=\frac{40}{10}=4\ ,\ \ m=\frac{m_0}{2^n}\to m=\frac{m_0}{2^4}=\frac{m_0}{16}$$

$$\text{جرم واپاشیده شده } m'=m_0-m=15\Rightarrow m_0-\frac{m_0}{16}=15\Rightarrow m_0=16g$$

### تست ۴۱:

نیمه‌ی‌عمر $^{90}Sr$ برابر ۲۸ سال است. چند سال طول می‌کشد تا ۲ میلی گرم از این عنصر به ۱۲۵ میکروگرم کاهش یابد؟

۱) ۷ ۲) ۸۴ ۳) ۱۱۲ ۴) ۱۴۰

پاسخ: گزینه ۳

$$m=\frac{m_0}{2^n}\Rightarrow 125\times10^{-6}=\frac{2\times10^{-3}}{2^n}\Rightarrow 2^n=\frac{2\times10^{-3}}{125\times10^{-6}}=16\Rightarrow n=4$$

$$n=\frac{t}{T}\Rightarrow 4=\frac{t}{T}\Rightarrow 4=\frac{t}{28}\Rightarrow t=112 \text{ سال}$$

### تست ۴۲:

نیمه‌عمر یک ماده‌ی رادیواکتیو ۵ شبانه روز است. اگر پس از ۲۰ شبانه روز مقدار ۷۵گرم آن متلاشی شود، پس از چند شبانه روز تنها ۲/۵ گرم از آن باقی می‌ماند؟

۱) ۱۵ ۲) ۲۰ ۳) ۲۵ ۴) ۳۰

پاسخ: گزینه ۳

با توجه به قسمت اول سوال می توان جرم اولیه ماده را بدست آورد.

$$n=\frac{t}{T}=\frac{20}{5}=4$$

$$m=\frac{m_0}{2^n}\Rightarrow m=\frac{m_0}{2^4}=\frac{m}{16}$$

$$\text{جرم متلاشی شده : } m'=m_0-m=75\Rightarrow m_0-\frac{m_0}{16}=75\Rightarrow\frac{15m_0}{16}=75\Rightarrow m_0=80g \text{ جرم کل}$$

اکنون می توان زمان سپری شده تا باقی ماندن ۲/۵ گرم را محاسبه کرد:

$$m=\frac{m}{2^n}\Rightarrow 2/5=\frac{80}{2^n}\Rightarrow 2^n=32\Rightarrow n=5$$

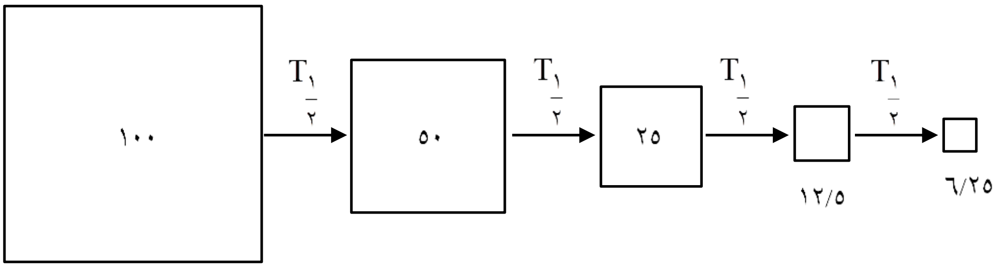
$$n=\frac{t}{T}\Rightarrow 5=\frac{t}{5}\Rightarrow t=25 \text{ روز}$$

**نکته۳۸: در تعداد زیادی از سؤالات کنکور درصد مادهٔ باقی‌مانده و یا درصد مادهٔ متلاشی‌شده خواسته می‌شود.**

**برای پاسخ‌گویی سریع‌تر به این سؤالات می‌توان از روش زیر استفاده کرد.**

**فرض کنید مقدار مادهٔ اولیه برابر ۱۰۰٪ باشد، با گذشت یک نیمه‌عمر ۵۰ درصد آن متلاشی شده و ۵۰درصد آن باقی می‌ماند.**

**در ادامه با گذشت یک نیمه‌عمر دیگر، ۲۵ درصد ماده باقی مانده و در نتیجه مقدار واپاشیده‌شده به ۷۵ درصد می‌رسد و به همین ترتیب داریم:**




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| مادهٔ باقی‌مانده | ۱۰۰ درصد | ۵۰ | ۲۵ | ۱۲/۵ | ۶/۲۵ |
| ماده واپاشیده‌شده | صفر درصد | ۵۰ | ۷۵ | ۸۷/۵ | ۹۳/۷۵ |

## ۳-۴-۴ درصد نیمه عمر

**تست۴۳:**

**نیمه‌ی‌عمر یک ماده‌ی رادیواکتیو ۶۰۰۰ سال است. تقریباً چند درصد از یک نمونه‌ی این ماده پس از ۵ نیمه‌عمر واپاشیده می‌شود؟**

۱) ۳ ۲) ۶ ۳) ۹۴ « » ۴) ۹۷

پاسخ: گزینه ۴ مقدار ماده‌ی باقی‌مانده از یک ماده‌ی پرتوزا پس از $n$ نیمه‌عمر، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$m = \frac{m_0}{2^n} \xrightarrow{n=5} m = \frac{1}{2^5}m_0 = \frac{1}{32}m_0$$ : مقدار ماده‌ی باقی‌مانده

دراین صورت درصد جرم ماده ی واپاشیده شده برابر است با:

$$m' = m - \frac{1}{32}m_0 = \frac{31}{32}m_0 = 0{,}97m_0 \Longrightarrow$$ : جرم واپاشیده شده — تقریباً ۹۷٪ ماده‌ی اولیه واپاشیده شده است.

**تست۴۴:**

**اگر ۸۷٫۵ درصد از تعداد هسته‌های یک ماده‌ی رادیواکتیو در مدت ۲۴ ساعت واپاشیده شود، نیمه‌عمر آن چند ساعت است؟**

۱) ۳ ۲) ۴ ۳) ۶ ۴) ۸

پاسخ: گزینه ۴ وقتی ۸۷٫۵ درصد از تعداد هسته‌های یک ماده رادیواکتیو واپاشیده شده یعنی ۱۲٫۵٪ باقی‌مانده است. ۳ نیمه عمر سپری شده‌است.

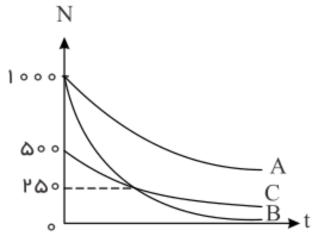
هسته‌های باقی‌مانده $100\% \xrightarrow{T} 50\% \xrightarrow{T} 25\% \xrightarrow{T} 12{,}5\%$

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow 3 = \frac{24}{T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow T_{\frac{1}{2}} = 8h$$

## ۴-۴-۴ نمودار

### تست ۴۵:

نمودار تعداد هسته‌های سه عنصر پرتوزا بر حسب زمان، مطابق شکل زیر است. اگر نیمه عمر این سه عنصر $T_A, T_B$ و $T_C$ باشد، کدام مورد درست است؟




۱) $T_A = T_C > T_B$

۲) $T_A > T_B = T_C$

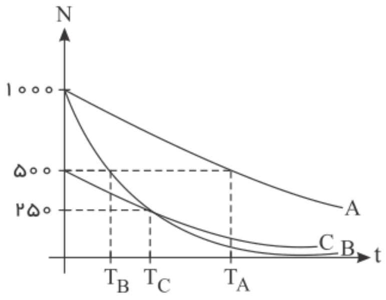
۳) $T_A > T_B > T_C$

۴) $T_A > T_C > T_B$

پاسخ: گزینه ۴

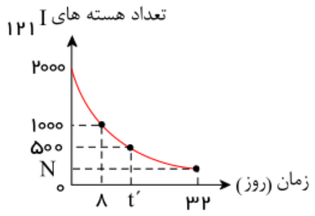
با توجه به نمودار مربوط به $A$ در $t$ بزرگتری با خط $N = ۵۰۰$ برخورد کرده و با توجه به همین مسئله داریم:

$T_A > T_C > T_B$




### تست ۴۶:

نمودار روبه رو مربوط به ید پرتوزا است. $N, t'$ به ترتیب کدامند؟




۱) ۱۷۵ و ۲۴

۲) ۲۵۰ و ۱۶

۳) ۱۲۵ و ۱۶

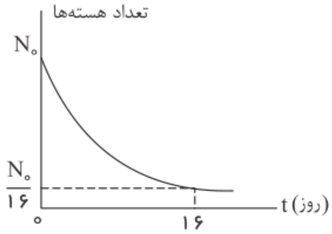
۴) ۲۰۰ و ۲۴

پاسخ: گزینه ۳ تعداد هسته‌ها در نمودار از ۲۰۰۰ به ۱۰۰۰ رسیده است. بنابراین زمان نیمه‌عمر برابر ۸ روز است.

وقتی تعداد هسته‌ها از ۱۰۰۰ به ۵۰۰ رسیده بنابراین یک نیمه‌عمر دیگر طی نموده در نتیجه : روز $t' = ۸ \times ۲ = ۱۶$

## تست ۴۷:

**نمودار تغییرات تعداد هسته‌های یک مادهٔ پرتوزا بر حسب زمان، مطابق شکل زیر است. پس از گذشت هشت روز چند درصد از هسته های آن فعال باقی می‌ماند؟**




۱) ۸۷٫۵
۲) ۵۰
۳) ۲۵
۴) ۱۲٫۵

پاسخ: گزینه ۳

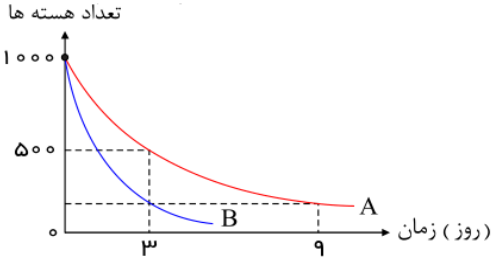
با توجه به نمودار: $N_\circ \xrightarrow{(1)} \frac{N_\circ}{2} \xrightarrow{(2)} \frac{N_\circ}{4} \xrightarrow{(3)} \frac{N_\circ}{8} \xrightarrow{(4)} \frac{N_\circ}{16}$ (۱۶ روز)

$n = \frac{t}{T} \Rightarrow 4 = \frac{16}{T} \Rightarrow T = 4$ روز

$N_\circ \xrightarrow{\text{۴ روز}} \frac{N_\circ}{2} \xrightarrow{\text{۴ روز}} \frac{N_\circ}{4}$ ‏۲۵٪ باقی مانده است.

## تست ۴۸:

**نمودار تعداد هسته‌های دو مادهٔ پرتوزای $A$ و $B$ برحسب زمان مطابق شکل زیر است. پس از چند روز $\frac{1}{32}$ هسته‌های $B$ فعال باقی می‌ماند؟**




۱) ۳
۲) ۴
۳) ۵
۴) ۶

پاسخ: گزینه ۳ باتوجه به نمودار مربوط به مادهٔ پرتوزای $A$ مشخص می‌شود که نیمه‌عمر مادهٔ $A$ برابر ۳ روز است.

$$N = \frac{N_\circ}{2^{\frac{t}{T_A}}} \Rightarrow N = \frac{1000}{2^{\frac{9}{3}}} \Rightarrow N = \frac{1000}{8} = 125$$

مادهٔ پرتوزای $B$ در مدت سه روز به اندازهٔ ۱۲۵ هسته بدون واپاشی خواهد داشت.

$$125 = \frac{1000}{2^{\frac{3}{T_B}}} \Rightarrow T_B = 1 \text{ روز} \Rightarrow \frac{1}{32} = \frac{1}{2^5} = \frac{1}{2^{\frac{t}{T_B}}} \Rightarrow 5 = \frac{t}{T_B} = \frac{t}{1} \Rightarrow t = 5 \text{ روز}$$