فصل ۴ دوازدهم: فیزیک اتمی و هسته‌ای

فوتون

نظریه فوتون اینشتین: طبق این نظریه، نور را می توان به شکل رگباری از بسته های انرژی مدل سازی کرد که هر کدام از این بسته ها « فوتون» نام دارد.

انرژی هر فوتون از رابطهٔ زیر به دست می آید:

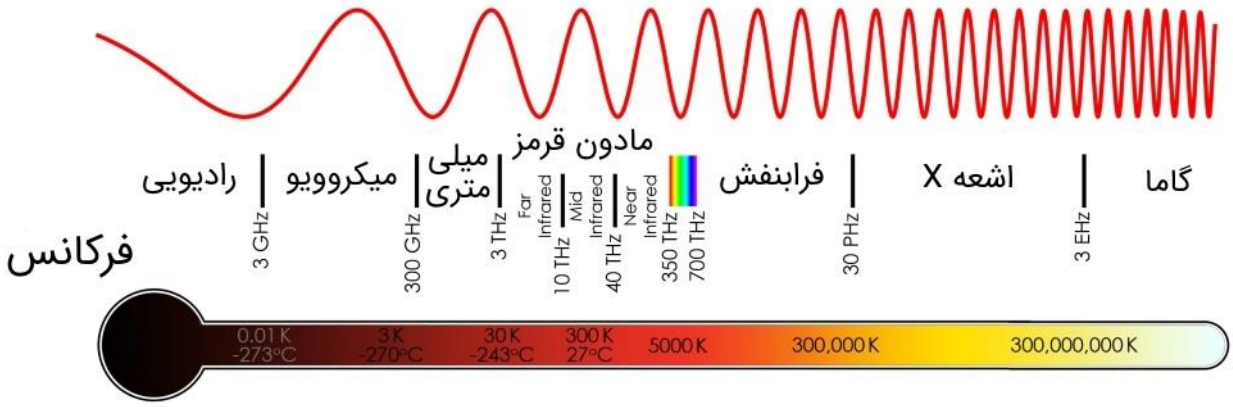
$$E = hf$$

f بسامد نور و h ضریب ثابتی به نام «ثابت پلانک» است که مقدار آن برابر $h = ۶.۶۳ \times ۱۰^{-۳۴}$ است.

با این حساب، اگر یک باریکه نوری شامل n فوتون مشابه باشد، انرژی آن برابر است با :

$$E = nhf$$

نتیجه: طبق رابطهٔ فوق هر چه بسامد یک موج الکترومغناطیسی بیشتر باشد، فوتون های آن، انرژی بیشتری دارند؛ پس در طیف امواج الکترومغناطیسی، پرانرژی‌ترین فوتون‌ها در محدودهٔ پرتوهای گاما و کم‌انرژی‌ترین فوتون‌ها در محدودهٔ امواج رادیویی قرار دارند:



انرژی هر فوتون را برحسب طول موج وابسته به آن فوتون می توان به شکل زیر نوشت:

$$\begin{cases} E = hf \\ \lambda = \frac{v}{f} \end{cases} \Rightarrow E = \frac{hv}{\lambda} \xrightarrow{(\text{خلا در } v=c)} \boxed{E = \frac{hc}{\lambda}}$$

طبق این رابطه، انرژی هر فوتون با طول موج آن در خلأ نسبت عکس دارد.

توان تابشی: مقدار انرژی ای که در واحد زمان تابش می شود «توان تابشی» نام دارد و یکای آن در SI وات (W) است.

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

نکته:

◄ آهنگ شارش فوتون ها (تعداد فوتون ها در واحد زمان) به صورت مقابل محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{nhf}{t} \Rightarrow \frac{n}{t} = \frac{p}{hf}$$

تمرین: توان باریکهٔ نور خروجی یک لیزر گازی ۶۶۳ mW است. اگر طول موج این باریکه ۶۰۰ nm باشد، تعداد فوتون هایی که در هر دقیقه از این لیزر گسیل می‌شود، چقدر است؟ ($h = ۶/۶۳\times۱۰^{-۳۴}\ J.s$ و $c = ۳\times۱۰^{۸}\ \frac{m}{s}$) (کنکور تجربی ۱۴۰۴)

۱) ۲×۱۰^{۲۰}

۲) $۱/۲\times۱۰^{۲۰}$

۳) ۲×۱۰^{۱۸}

۴) $۱/۲\times۱۰^{۱۸}$

توجه: در فیزیک اتمی و فیزیک هسته ای، یکای ژول برای بیان انرژی فوتون‌ها و ذرات، یکای بسیار بزرگی است، به همین دلیل از یکایی به نام الکترون ولت (eV) استفاده می‌کنیم.

برای آشنایی با این یکای غیر SI، فرض کنید الکترونی با بار $q = -e = -۱.۶ \times ۱۰^{-۱۹}c$ ، بین دو نقطه با اختلاف پتانسیل ۱v حرکت کند. در این صورت بنا به رابطهٔ $\Delta U = q\Delta V$ که در فیزیک ۲ با آن آشنا شدید، اندازه تغییر در انرژی پتانسیل الکتریکی الکترون برابر است با:

$$|\Delta U| = |q\Delta V| = |(-۱.۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}C)(۱\,V)| = ۱.۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}J$$

این مقدار انرژی را بنا به تعریف، یک الکترون ولت می‌نامند.

$$۱ev = ۱.۶ \times ۱۰^{-۱۹}j$$

اغلب مضرب‌های دیگری از این یکا به صورت (kev) (کیلو الکترون ولت) و (Mev)(مگا الکترون ولت) به کار می‌روند.

به این ترتیب یکای ثابت پلانک را به جای $(j.s)$ می توان بر حسب یکای $(ev.s)$ نیز بیان کرد:

$$h = (۶.۶۳ \times ۱۰ - ۳۴J.s)\left(\frac{۱eV}{۱.۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}J}\right) = ۴.۱۴ \times ۱۰^{-۱۵}eV.s$$

ابتدا مقدار hc را حساب می‌کنیم :

$$h = (۶/۶۳ \times ۱۰ - ۳۴J.s)\,(۳ \times ۱۰^{۸}) = ۱۹.۹ \times ۱۰^{-۲۶}\,j.m$$

اگر J را بر حسب eV و m را بر حسب nm بنویسیم، خواهیم داشت:

$$hc = (۱۹.۹ \times ۱۰^{-۲۶}J.m)\left(\frac{۱ev}{۱.۶ \times ۱۰^{-۱۹}J}\right)\left(\frac{۱nm}{۱۰^{۹}m}\right) = ۱.۲۴ \times ۱۰^{۳}eV.nm$$

بنابراین در حل مسائل می توانیم مقدار hc را برابر $۱۲۴۰ev.nm$ اختیار کنیم. این مقدار و یکای آن را به خاطر بسپارید:

$$hc = ۱۲۴۰ev.nm$$

تمرین: انرژی فوتونی از نور مرئی $۳/۱ev$ است. این نور چه رنگی است؟ $(hc = ۱۲۴۰ev.nm)$

۱) بنفش

۲) زرد

۳) آبی

۴) قرمز

تمرین: یک لامپ ۲۰۰ وات، نور بنفش با طول موج ۴۰۰ nm گسیل می کند. یک لامپ ۲۰۰ واتی دیگر نور زرد با طول موج ۶۰۰ nm گسیل می کند. تعداد فوتون هایی که در هر ثانیه از لامپ زرد گسیل می شود، چند برابر تعداد فوتون هایی است که در همین مدت از لامپ بنفش گسیل می شود؟

۱) $\frac{۲}{۳}$

۲) ۱

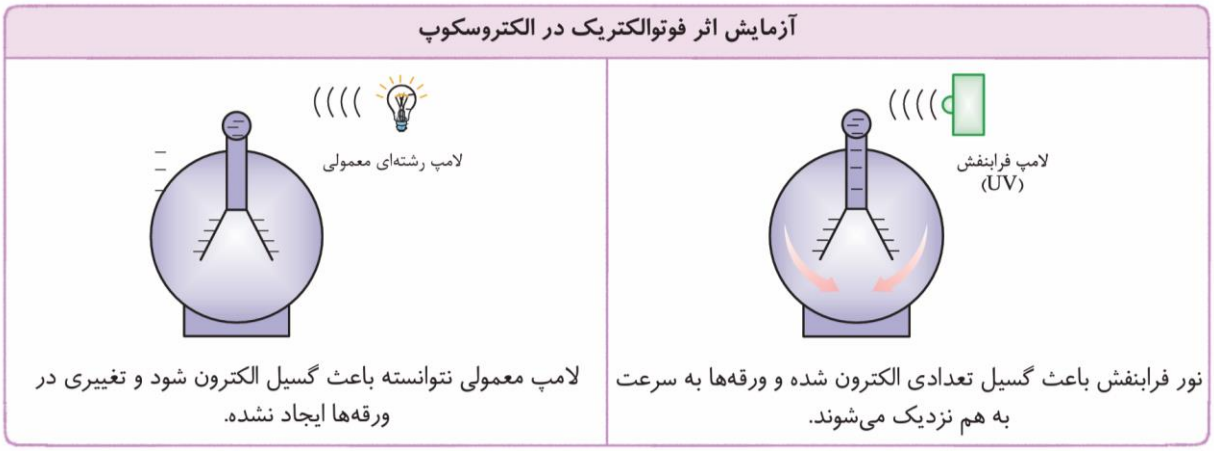
۳) $\frac{۳}{۲}$

۴) ۲

اثر فوتو الکتریک

اگر بر کلاهک الکتروسکوپ(برق نمایی) با بار منفی، نور فرابنفشی تابیده شود، مشاهده می‌شود که انحراف ورقه های آن کاهش می‌یابد (شکل راست) در حالی که با تابش نور مرئی، تغییری در انحراف ورقه های آن رخ نمی‌دهد (شکل چپ). چرا این پدیده اتفاق می افتد؟

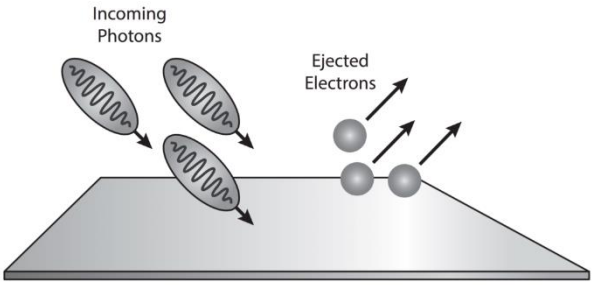
آزمایش اثر فوتوالکتریک در الکتروسکوپ



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

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

آزمایش نشان می دهد وقتی نوری با بسامد مناسب مانند نور فرابنفش به سطح فلزی بتابد الکترون‌هایی از آن گسیل می‌شوند . این پدیدهٔ فیزیکی را، اثر فوتوالکتریک و الکترون‌های جدا شده از سطح فلز را فوتوالکترون می‌نامند.



بنا بر نظر اینشتین، وقتی نوری تکفام بر سطح فلزی می‌تابد، هر فوتون صرفا با یکی از الکترون های فلز برهم کنش می‌کند. اگر فوتون انرژی کافی داشته باشد تا فرایند خارج کردن الکترون از فلز را انجام دهد، الکترون به طور آنی از آن گسیل می شود. در این صورت بخشی از انرژی فوتون صرف جدا کردن الکترون از فلز می شود و مابقی آن به انرژی جنبشی الکترون خارج شده تبدیل می شود.

اگر بسامد نور تابیده شده بر سطح فلز از بسامدی موسوم به بسامد آستانه (که به جنس فلز بستگی دارد) کمتر باشد، فوتون ها، حداقل انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از فلز را ندارند و پدیده فوتوالکتریک رخ نمی دهد. همچنین برای نوری که فوتون های آن دارای حداقل انرژی لازم برای وقوع پدیده فوتوالکتریک هستند، افزایش شدت نور (با ثابت ماندن بسامد) فقط سبب افزایش تعداد فوتون‌ها و در نتیجه افزایش تعداد فوتوالکترون‌ها می شود، در حالی که انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بدون تغییر می ماند.

جدا شدن الکترون از سطح فلز، در هر بسامدی رخ نمی دهد. برای رخ دادن این موضوع، بسامد هر فوتون باید از بسامدی موسوم به بسامد آستانه $(f_.)$ بیشتر باشد (در این حالت فوتون حداقل انرژی لازم برای جدا کردن الکترون را دارد).

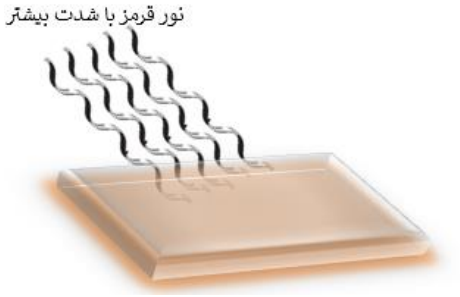
متناظر با بسامد آستانه، می توان پارامتری به نام طول موج آستانه نیز تعریف کرد و داریم:

شرط رخ دادن پدیده ی فوتوالکتریک:

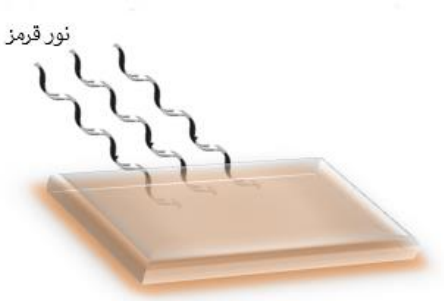
$$f \geq f_.$$

$$\begin{cases} f = \frac{c}{\lambda} \\ f_. = \frac{c}{\lambda_.} \end{cases} \xrightarrow{\text{شرط رخ دادن فوتوالکتریک}} f \geq f_. \Rightarrow \frac{c}{\lambda} \geq \frac{c}{\lambda_.} \Rightarrow \lambda \leq \lambda_.$$

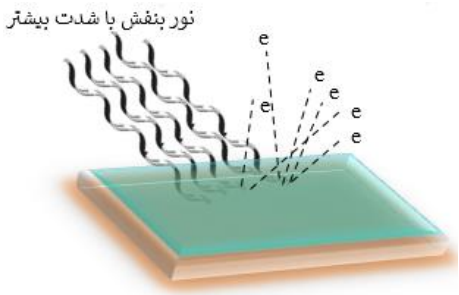
اگر بسامد نور تابشی کمتر از بسامد آستانه باشد، فوتوالکتریک به ازای هیچ شدت نوری رخ نمی دهد.



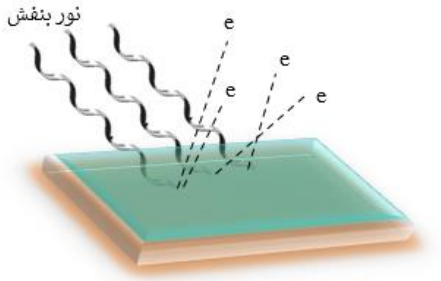
با نور قرمز با شدت بیشتر فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.



با نور قرمز فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.



با افزایش شدت نور بنفش، تعداد الکترون‌های جدا شده، افزایش می‌یابد



با نور بنفش فوتوالکتریک رخ می‌دهد.

مان طور که می‌دانید نور، موجی الکترومغناطیسی است. بنابراین می‌توان انتظار داشت هنگام برهم کنش موج الکترومغناطیسی (نور فرودی) با سطح فلز، میدان الکتریکی این موج، نیروی $\vec{F} = -\vec{E}$ به الکترون‌های فلز وارد کند و آنها را به نوسان وا دارد.

به این ترتیب، وقتی دامنه نوسان برخی از الکترون‌ها به قدر کافی بزرگ شود انرژی جنبشی لازم را برای جدا شدن از سطح فلز پیدا می‌کنند. بنا به این دیدگاه کلاسیکی، این پدیده باید با هر بسامدی رخ دهد در حالی که این نتیجه با تجربه سازگار نیست.

یکی دیگر از پیامدهای نظریه الکترومغناطیسی ماکسول این است که شدت نور با مربع دامنه میدان الکتریکی موج الکترومغناطیسی متناسب است($I = E^2$).

به این ترتیب انتظار می رود به ازای یک بسامد معین، اگر شدت نور فرودی بر سطح فلز را افزایش دهیم باید الکترون ها با انرژی جنبشی بیشتری از فلز خارج شوند، نتیجه ای که تجربه آن را تایید نمی‌کند.

هنگامی که نور بر سطح فلز می تابد، از دیدگاه فیزیک کلاسیک چه عاملی سبب جدا شدن الکترون از سطح فلز می شود؟

همان گونه که بیان گردید پرتوهای الکترومغناطیسی (نور) دارای میدان الکتریکی هستند که بر الکترون، نیرو وارد می کند، $(F = q.E \Rightarrow F = -eE)$ در اثر نیروی وارد بر الکترون، الکترون به نوسان در می آید و اگر دامنه نوسان به قدر کافی بزرگ شود الکترون از سطح فلز جدا می شود. به عبارت بهتر اگر میدان الکتریکی موج قوی باشد الکترون از سطح فلز جدا می‌شود.

آیا از دیدگاه فیزیک کلاسیک هر پرتو نوری می‌تواند الکترون را از سطح فلز جدا کند یا برای بسامد نور محدودیتی وجود دارد؟

از دیدگاه فیزیک کلاسیک برای بسامد نور محدودیتی وجود ندارد و هر نوری با هر بسامدی باید بتواند پدیده فوتوالکتریک را انجام دهد. اگر نوری موفق به انجام این پدیده نشد با افزایش شدت نور، همان گونه که بیان شد میدان الکتریکی آن قوی شده و نور می تواند بر الکترون نیروی بیشتری وارد کند و الکترون را از سطح فلز جدا کند. از طرفی فیزیک کلاسیک پیش‌بینی می‌کند اگر شدت نور کم باشد، با گذشت چند دقیقه الکترون ها انرژی لازم برای جدا شدن را از پرتوها دریافت می‌کنند و از سطح فلز جدا می شوند.

چیزی که فیزیک دان های کلاسیکی فکر می کردند	چیزی که شد
برای هر نوری با هر بسامدی رخ می‌دهد، ولی شاید طول بکشد.	فقط برای نور با بسامدهای بیشتر از یک مقدار خاص به طور آنی رخ می‌دهد و برای نور با بسامدهای کم تر رخ نمی دهد.
افزایش شدت نور باعث افزایش انرژی جنبشی الکترون‌های خارج شده می‌شود.	انرژی جنبشی فوتوالکترون ها برای یک نور با بسامد ثابت هیچ ربطی به شدت نداشت.

تمرین: کدام گزینه نادرست است؟

۱) برای یک فلز معین، کاهش شدت نور فرودی در بسامدهای بزرگتر از بسامد آستانه، در اثر فوتوالکتریک تعداد فوتوالکترون های جدا شده از سطح فلز را کاهش می دهد.

۲) برای یک فلز معین، افزایش شدت نور فرودی در بسامدهای کوچک تر از بسامد آستانه، سبب جدا شدن الکترون ها از سطح فلز نمی شود.

۳) در بسامدهای بیشتر از بسامد آستانه در اثر فوتوالکتریک، افزایش بسامد فوتون های تابشی بر سطح فلز، تأثیری در انرژی جنبشی بیشینه ی فوتوالکترون های جدا شده از سطح فلز ندارد.

۴) از دیدگاه فیزیک کلاسیک، اثر فوتوالکتریک با هر بسامدی می بایستی رخ دهد.

تمرین: چند مورد از عبارات زیر در مورد پدیده فتوالکتریک نادرست هستند .

الف) در صورت وقوع پدیده فتوالکتریک با افزایش شدت نور فرودی، بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون ها افزایش می یابد.

ب) در صورت وقوع پدیده فتوالکتریک با افزایش بسامد نور فرودی، بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون ها افزایش می یابد.

ج) در صورت وقوع پدیده فتوالکتریک با افزایش طول موج نور فرودی، بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون ها افزایش می یابد.

د) در صورت وقوع پدیده فتوالکتریک با افزایش بسامد آستانه فلز مورد آزمایش (تغییر فلز)، بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون ها افزایش می یابد.

۱) ۴مورد ۲) ۳ مورد ۳) ۲ مورد ۴) ۱ مورد

شدت تابشی نور:

شدت تابشی (تابیده شده به یک سطح) برابر است با: مقداری انرژی که در در هر ثانیه به سطحی برابر $۱m^۲$ ، می رسد.

به کمک یکای شدت تابشی یعنی $\left(\frac{w}{m^۲}\right)$ به سادگی می توان رابطه ای برای آن به دست آورد:

$$I\frac{W}{m^۲}=\frac{\frac{J}{s}}{m^۲}=\frac{J}{m^۲.s}\rightarrow$$

(شدت تابشی) $I=\frac{E}{A.t}$

شدت تابشی را با I نمایش داده ایم. در این رابطه، E برحسب ژول (J)، A بر حسب متر مربع ($m^۲$) ، t بر حسب ثانیه (s) و I برحسب $\left(\frac{w}{m^۲}\right)$ وات بر متر مربع است.

تمرین: اگر شدت تابش متوسط خورشید در سطح زمین $۳۰۰\frac{w}{m^۲}$ باشد، در هر ثانیه، چند فوتون به یک سطح مستطیل شکل به ابعاد $۱۰cm\times ۲cm$ که در معرض نور خورشید قرار دارد، می رسد؟

($h=۶.۶\times ۱۰^{-۳۴}\ j.s\ ,c=۳\times ۱۰^{۸}\ \frac{m}{s}$ و طول موج متوسط فوتون ها را ۶۶۰nm فرض نمایید.)

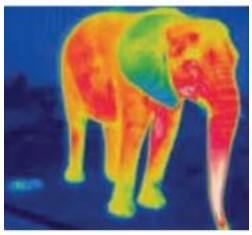
۱) ۲×۱۰^{۲۱}

۲) ۲×۱۰^{۱۸}

۳) ۵×۱۰^{۱۷}

۴) ۵×۱۰^{۲۰}

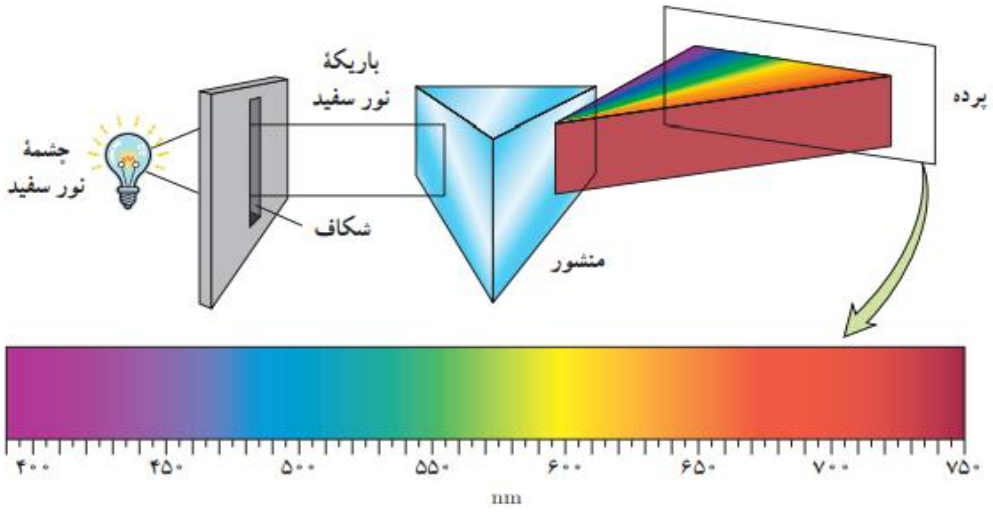
طیف‌های اتمی



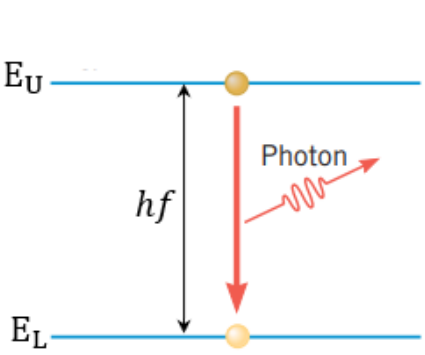
در فیزیک ۱ دیدیم که همهٔ اجسام در هر دمایی که باشند، از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل (نشر) می کنند که به آن تابش گرمایی گفته می شود مانند شکل روبه رو .

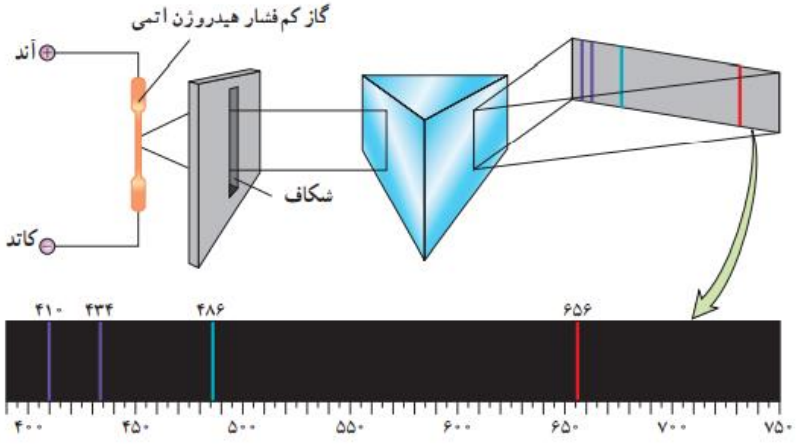
برای یک جسم جامد، نظیر رشته داغ یک لامپ روشن، این امواج شامل گستره پیوسته‌ای از طول موج هاست. به همین دلیل طیف ایجادشده در این شرایط را طیف گسیلی پیوسته یا به اختصار طیف پیوسته می‌نامند. بخشی از این طیف که در گستره مرئی طول موج ها واقع است در زیر نشان داده شده است.

تشکیل طیف پیوسته توسط جسم جامد، ناشی از برهم‌کنش قوی بین اتم‌های سازنده آن است.



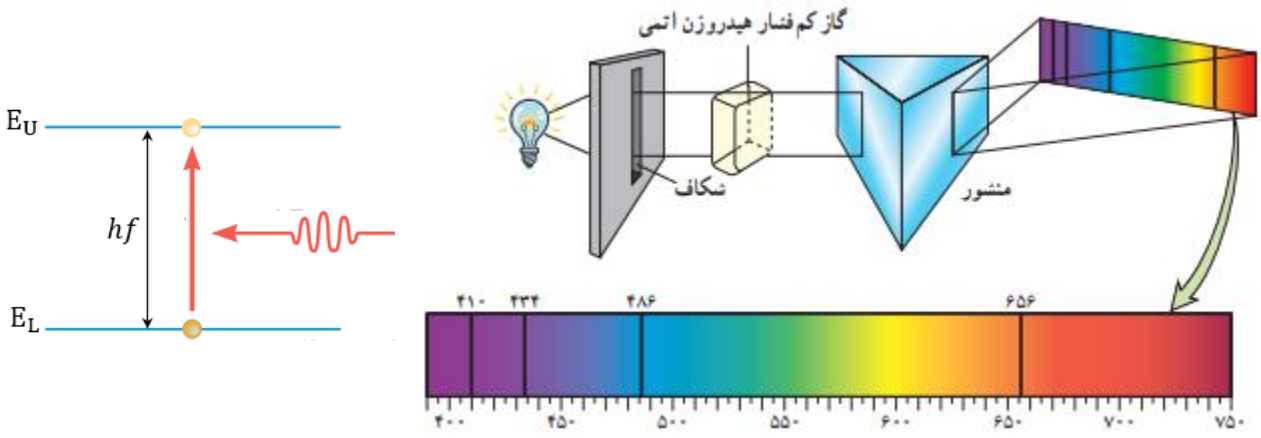
نمونه: نحوه تشکیل طیف گسیلی خطی گاز هیدروژن در شکل زیر نشان داده شده است. درون لامپ مقداری گاز رقیق و کم فشار هیدروژن قرار دارد. اختلاف پتانسیل بالای دو سر لامپ باعث تخلیه الکتریکی در گاز و تابش نور توسط اتم های هیدروژن می شود. این طیف شامل طول موجهای مختلفی است که ۴ تای آنها در ناحیه مرئی قرار دارند.





دو نمونه آشنا از گازهای کم فشار و رقیق، در لامپ های نئون و لامپ های جیوه ای وجود دارد. شکل زیر قسمت های مرئی طیف های خطی این دو گاز را نشان می دهد. طول موج های مرئی خاصی که اتم های این گازها گسیل می کنند به تابلوهای نئونی و لامپ های جیوه ای رنگ های مشخصی می دهند.

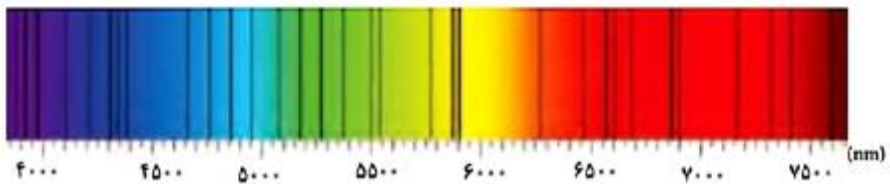
نمونه: باریکه نور سفید یک طیف گسیلی پیوسته است که شامل همه طول موج‌های مرئی می‌شود. اگر مطابق شکل زیر، این باریکه را از گاز رقیق هیدروژن عبور و سپس طیف آن را تشکیل دهیم، تعدادی خط سیاه در زمینه روشن پرده به چشم می خورد که این خطوط بیانگر طول موج های جذب شده توسط بخار هیدروژن‌اند و به «طیف جذبی خطی» معروف‌اند.



در تابشی که از خورشید گسیل می شود و به زمین می رسد بعضی از طول موج ها وجود ندارند.

امروزه می دانیم بسیاری از خط های تاریکی که فرانهوفر در طیف خورشید کشف کرد، ناشی از جذب طول موج های مربوط به این خط ها توسط گازهای جو خورشید است، خط های دیگر به سبب جذب نور در گازهای جو زمین پدید می آیند.

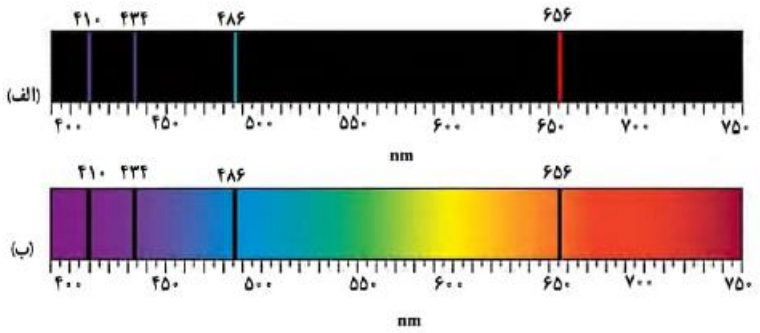
خط های تاریکی که در طیف خورشید دیده می شود. به افتخار کشف کننده آن، خط های فرانهوفر نامیده می شوند. مانند شکل زیر:



در شکل های زیر، طیف گسیلی و جذبی گاز هیدروژن اتمی را مشاهده می‌کنید:

الف) خط های روشن در طیف گسیلی معرف طول موج های گسیل شده هستند.

ب) خط های تاریک در زمینه طیف، معرف طول موج های جذب شده توسط اتم های گاز هستند.



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

تمرین: چند مورد از عبارت های زیر درست است؟

الف) بخارات اتمی یک عنصر هر طول موجی را می تواند جذب کند.

ب) خطوط فرانهوفر شامل طیف گسیلی از اتم های موجود در جو خورشید و زمین است.

پ)طیف گسیلی از جامدات در دمای پایین گسسته است.

ت) نور سفید عبوری از بخار جیوه طیف جذبی خطی تشکیل می دهد.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) صفر

معادلهٔ ریدبرگ

هرگاه الکترون از لایه بالاتر (n) به لایه پایین تر (n') گذار کند فوتون را از خود ساطع خواهد کرد که طول موج این فوتون ساطع شده از طریق رابطه ریدبرگ بدست می آید.

رابطه ریدبرگ:

$$\frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{n'^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}})$$

$n > n'$

$R = ۰.۰۱۰۹nm^{-۱}$

$R \simeq ۰.۰۱nm^{-۱}$

n : شماره مداری که الکترون از آن خارج می شود

n' : شماره مداری که الکترون به آن وارد می شود

محاسبه طول موج های طیف اتمی هیدروژن :

نام رشته	عدد رشته(n')	رابطه ریدبرگ	عدد خط(n)	محدودهٔ طول موجی (nm)	گستره طول موج
لیمان	۱	$\frac{۱}{\lambda} = R_H(\frac{۱}{۱^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}})$	$n = ۲,۳,۴,...$	۹۱ تا ۱۲۱	فرابنبش
بالمر	۲	$\frac{۱}{\lambda} = R_H(\frac{۱}{۲^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}})$	$n = ۳,۴,۵,...$	۳۶۵ تا ۶۵۶	فرابنش و مرئی
پاشن	۳	$\frac{۱}{\lambda} = R_H(\frac{۱}{۳^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}})$	$n = ۴,۵,۶,...$	۸۲۰ تا ۱۸۷۵	فروسرخ
براکت	۴	$\frac{۱}{\lambda} = R_H(\frac{۱}{۴^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}})$	$n = ۵,۶,۷,...$	۱۴۵۹ تا ۴۰۵۱	فروسرخ
پفوند	۵	$\frac{۱}{\lambda} = R_H(\frac{۱}{۵^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}})$	$n = ۶,۷,۸,...$	۲۲۷۹ تا ۷۴۵۸	فروسرخ

تمرین: در رشته ی براکت ، برای اتم هیدروژن در رابطه $\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2})$ به ازای $n = m + 2$ طول موج گسیلی چند میکرومتراست ؟$(R \simeq 0.01nm^{-1})$

۱) ۱/۲۰

۲) ۱/۴۰

۳) ۲/۸۸

۴) ۵/۱۰

برای محاسبه طول موج فوتون ساطع شده با رابطهٔ ریدبرگ:	۱) با توجه به اسم رشته مقدار n' را تعیین می‌کنیم.
	۲) با توجه به اطلاعات مسئله مقدار n را تعیین می‌کنیم.
	۳) با جایگذاری n و n' مقدار λ بر حسب نانومتر بدست می‌آید.

نکته:

◄ هرگاه در مورد شماره خط یک رشته صحبت شد به این گونه عمل خواهیم کرد:

شماره خط $= n' + n$

تمرین: طول موج اولین و دومین خط رشته لیمان به ترتیب از راست به چپ چند نانومتر است ؟$(R \simeq 0.01nm^{-1})$

۱) ۱۱۲/۵-۱۳۳/۳

۲) ۴۸۶-۶۵۲/۲

۳) ۱۵۰-۲۰۰

۴) ۴۰۰-۳۰۰

نکته:

- هرچه فاصلهٔ بین n و n' بیشتر باشد فرکانس فوتون بیشتر خواهد بود و در نتیجه طول موج کمتر خواهد بود.
- هر چه فاصلهٔ بین n و n' کمتر باشد فرکانس فوتون کمتر و طول موج تابش بیشتر خواهد بود.

تمرین: در اتم هیدروژن، بلندترین طول موج سری بالمر چند برابر کوتاه ترین طول موج سری پاشن است؟

۱) ۲

۲) $\frac{۹}{۲۰}$

۳) $\frac{۴}{۹}$

۴) $\frac{۴}{۵}$

تمرین: اگر $\lambda_۱$ بلندترین و $\lambda_۲$ کوتاه‌ترین طول موج در رشتهٔ پفوند ($n' = ۵$) در اتم هیدروژن باشند، نسبت $\frac{\lambda_۱}{\lambda_۲}$ کدام است؟
(کنکور تجربی ۱۴۰۴)

۱) $\frac{۳۶}{۱۱}$

۲) $\frac{۳۶}{۱۳}$

۳) $\frac{۹۰۰}{۱۱۵}$

۴) $\frac{۹۰۰}{۲۱۵}$

نکته:

به اختلاف کوتاه ترین و بلندترین طول موج در هر رشته، گستره ی طول موج های آن رشته می نامند:

$$\text{گستره ی طول موج} = \lambda_{max} - \lambda_{min}$$

نکته:

در رابطه ی ریدبرگ $(n > n')$ و $\frac{۱}{\lambda} = R\left(\frac{۱}{n'^۲} - \frac{۱}{n^۲}\right)$ که در آن:

- R ثابت ریدبرگ و مقدار آن $R = ۰.۰۱۰۹۷۳۷۳۱\ (nm^{-۱}) \cong ۰.۰۱(nm^{-۱})$ است.
- n' عدد صحیح مثبتی است، بلندترین و کوتاه ترین طول موج در یک رشته معین به ازای n' معین:

۱	$n = n' + ۱ \Rightarrow \lambda = \lambda_{max}$	الف	$if: (n' + ۱) \xrightarrow{\text{گذرا به}} n' \rightarrow$ بلندترین طول موج تابشی (گسیلی) (λ_{max})
		ب	$if: n \xrightarrow{\text{گذرا به}} n' + ۱ \rightarrow$ بلندترین طول موج جذبی (λ_{max})
۲	$n = \infty \Rightarrow \lambda = \lambda_{min}$	الف	$if: (n = \infty) \xrightarrow{\text{گذرا به}} n' \rightarrow$ کوتاهترین طول موج تابشی (گسیلی) (λ_{min})
		ب	$if: (n') \xrightarrow{\text{گذرا به}} n' = \infty \rightarrow$ کوتاهترین طول موج جذبی (λ_{min})

تمرین: گستره ی طول موج رشته ی لیمان برابر کدام گزینه است؟ (R ثابت ریدبرگ است.)

۱) $\frac{۴}{۳R}$

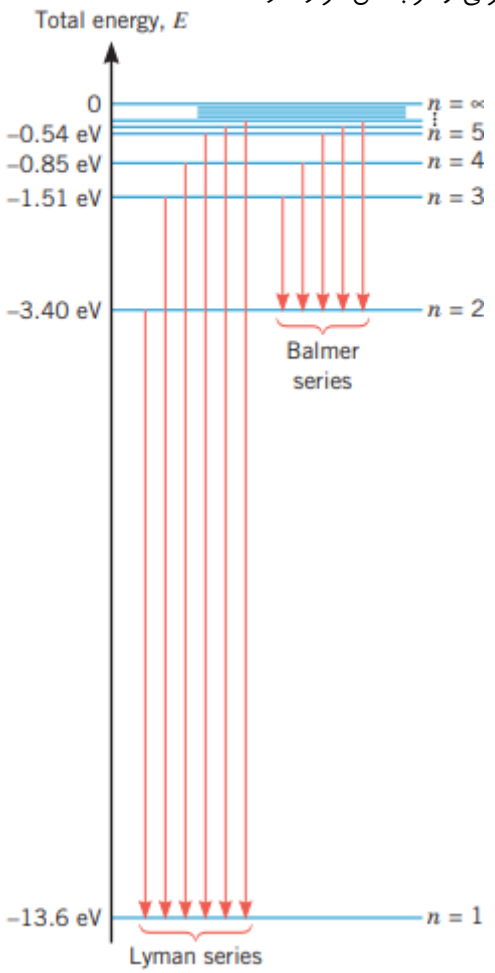
۲) $\frac{۱}{R}$

۳) $\frac{۱}{۳R}$

۴) $\frac{۷}{۳R}$

چند نکته در مورد رشتهٔ بالمر:

◄ می دانیم در رشتهٔ بالمر ناحیهٔ طیف (گسیلی یا جذبی) در محدودهٔ طیف های مرئی و فرابنفش قرار دارد.



◄ در سری بالمر می دانیم که n_L یا $(n' = ۲)$ است. بنابراین

$(n > ۲)$ $n = ۳,۴,۵,۶,۷, \dots, \infty$ می باشد.

۴ عدد اول یعنی $n = ۳,۴,۵,۶$ طول موج های مرئی و $n > ۶$ طول موج‌های

فرابنفش را به ما می‌دهند.

◄ می دانیم هرچه n افزایش یابد (با ثابت بودن n') λ کم می‌شود.

بنابراین با توجه به این که طول موج فرابنفش از طول موج مرئی کم تر است

خواهیم داشت:

$$\text{بالمر } (n' = ۲) \begin{cases} \text{مرئی} \begin{cases} n = ۳ & \text{بلندترین طول موج مرئی } (n' = ۲ ، n = ۳) \\ n = ۴ \\ n = ۵ \\ n = ۶ & \text{کوتاه ترین طول موج مرئی } (n' = ۲ ، n = ۶) \end{cases} \\ \text{فرابنفش} \begin{cases} n = ۷ & \text{بلندترین طول موج فرابنفش } (n' = ۲ ، n = ۷) \\ n = ۸ \\ \vdots \\ n = \infty & \text{کوتاه ترین طول موج فرابنفش } (n' = ۲ ، n = \infty) \end{cases} \end{cases}$$

تمرین: در اتم هیدروژن الکترون از مدار n به n' می رود و نوری با بسامد $۵۶۲/۵THz$ تابش می کند. n و n' به ترتیب کدام اند؟ $\left(R \cong ۰.۰۱(nm^{-۱}) \text{ و } c = ۳ \times ۱۰^{۸} \frac{m}{s}\right)$

۱) ۲ و ۱

۲) ۳ و ۱

۳) ۴ و ۲

۴) ۵ و ۳

تمرین: در اتم هیدروژن، در گذار الکترون از مدار «چهارم به اول»، «پنجم به دوم» و «ششم به سوم» طول موج های گسیل شده به ترتیب از راست به چپ) برابر $\lambda_۱$ ، $\lambda_۲$ و $\lambda_۳$ است، کدام گزینه در مورد مقایسه ی $\lambda_۱$ ، $\lambda_۲$ و $\lambda_۳$ درست است؟

۱) $\lambda_۱ < \lambda_۲ < \lambda_۳$

۲) $\lambda_۱$ و $\lambda_۲$ قابل مقایسه نبوده ولی $\lambda_۲$ و $\lambda_۱ < \lambda_۳$

۳) $\lambda_۲ < \lambda_۳ < \lambda_۱$

۴) $\lambda_۳ < \lambda_۲ < \lambda_۱$

تمرین: بلند ترین طول موج نور مرئی اتم هیدروژن چند نانومتر است؟ $(R \cong ۰.۰۱(nm^{-۱}))$

۱) ۴۵۰

۲) ۵۵۰

۳) ۷۲۰

۴) ۸۰۰

تمرین: بلندترین طول موج رشته بالمر در ناحیه ..... و کوتاهترین طول موج این رشته در ناحیه ..... و گستره طول موجی آن ..... نانومتر است و ($R \cong ۰.۰۱(nm^{-۱})$)

۱) مرئی –فرابنفش – ۲۳۰

۲) فرابنش – مرئی -۲۳۰

۳) مرئی – فرابنفش – ۳۲۰

۴) فرابنفش – مرئی – ۳۲۰

تمرین: یک اتم هیدروژن در حالت $n = ۵$ قرار دارد. با در نظر گرفتن تمام گذارهای ممکن، اگر این اتم به حالت پایه برود، چند نوع فوتون با انرژی های مختلف گسیل می شود؟

۱) ۴

۲) ۵

۳) ۱۰

۴) ۲۰

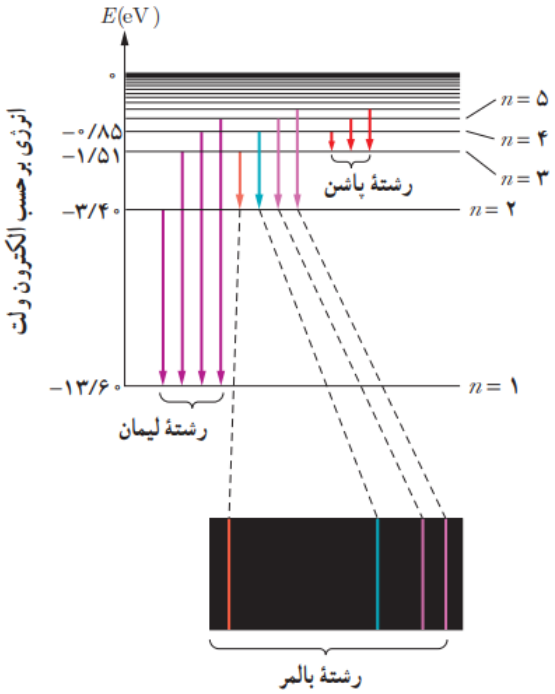
تمرین: الکترون اتم هیدروژنی در تراز $n = ۵$ قرار دارد. با در نظر گرفتن تمام گذارهای ممکن، تعداد فوتون های مرئی گسیلی چند برابر تعداد فوتون های گسیلی در ناحیه فروسرخ توسط این الکترون است؟

۱) $\frac{۳}{۷}$

۲) $\frac{۳}{۴}$

۳) $\frac{۴}{۳}$

۴) ۱



تمرین: شکل زیر مربوط به طیف گسیلی اتم هیدروژن است. طول موج های $۶۵۶/۲nm$ و $۴۳۴nm$ مربوط به گذار الکترون از کدام تراز به کدام تراز است؟

۱) $\begin{matrix}۲ \to ۱ \\ ۳ \to ۲\end{matrix}$

۲) $\begin{cases}\infty \to ۲ \\ ۳ \to ۲\end{cases}$

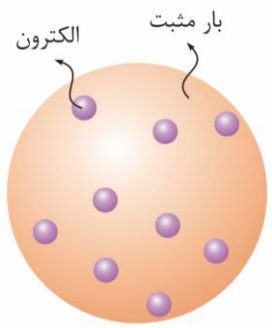
۳) $\begin{cases}۳ \to ۲ \\ ۵ \to ۲\end{cases}$

۴) $\begin{cases}\infty \to ۲ \\ \infty \to ۴\end{cases}$

مدل‌های اتمی

مدل اتمی تامسون

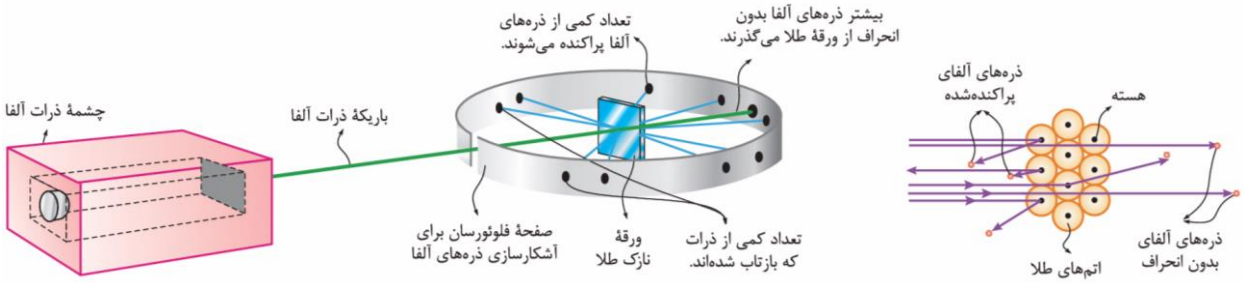
جوزف تامسون فیزیکدان انگلیسی، در سال ۱۸۹۶ میلادی موفق به کشف الکترون و اندازه گیری نسبت بار به جرم e/m آن شد. کشف الکترون، تامسون را ترغیب کرد تا مدلی برای اتم ارائه دهد. این مدل سرانجام در سال ۱۹۰۴ میلادی ارائه شد. بنا بر مدل تامسون، اتم همچون کره‌ای است که بار مثبت به طور همگن در سرتاسر آن گسترده شده است و الکترون‌ها که سهم ناچیزی در جرم اتم دارند در جاهای مختلف آن پراکنده شده اند. این مدل را گاهی مدل کیک کشمشی هم می گویند، زیرا الکترون‌ها مانند دانه‌های کشمش در آن پخش شده‌اند:



در مدل اتمی تامسون، وقتی الکترون‌ها با بسامدهای معینی حول وضع تعادلشان نوسان می‌کنند این نوسان سبب تابش امواج الکترومغناطیسی از اتم می‌شود. یکی از ناکامی‌های مدل تامسون این بود که بسامدهای تابش گسیل شده از اتم، که این مدل پیش بینی می‌کرد، با نتایج تجربی سازگار نبود.

مدل اتمی رادرفورد

وقتی ارنست رادرفورد در سال ۱۹۱۱ میلادی نتایج آزمایش‌هایی را انتشار داد که مدل تامسون نمی‌توانست آنها را توضیح دهد، این مدل کنار گذاشته شد. رادرفورد و همکارانش باریکه ای از ذره‌های دارای بار مثبت (از جنس هستهٔ اتم هلیم که به آن ذره آلفا گفته می شود) را بر سطح ورقه ای نازک از جنس طلا فرو تاباندند . مانند شکل زیر:



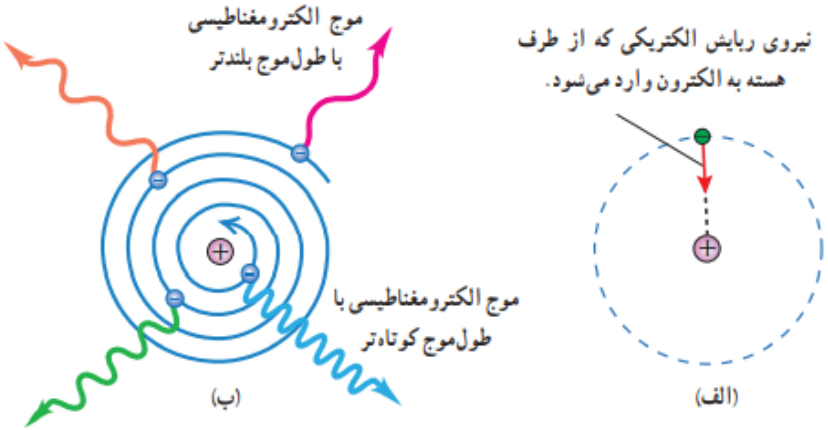
رادرفورد بنابر مدل تامسون انتظار داشت که تمامی ذره های آلفا، با انحراف بسیار اندکی از ورقه طلا بگذرند. در عمل نیز بیشتر این ذره ها بدون انحراف یا با انحراف اندکی از ورقه طلا می گذشتند و در برخورد با صفحه فلوئورسان، در پشت آن، جرقه های نورانی تولید می‌کردند. با وجود این، برخی از ذره‌های آلفا در هنگام خروج از ورقه نازک طلا، در زاویه‌های بزرگ منحرف و پراکنده می‌شدند و حتی تعدادی از آنها نیز به عقب بر می‌گشتند! رادرفورد پس از انجام این آزمایش و بر اساس مدل تامسون و شناختی که از باریکه ذرات آلفا داشت، گفت:

«مثل آن بود که گلوله توپی را به ورقه نازکی از کاغذ شلیک کنید و با شگفتی مشاهده کنید که پس از برخورد گلوله توپ با سطح کاغذ، گلوله باز گردد.» این ذره ها باید با چیز پر جرمی برخورد کرده باشد؛ اما با چه چیزی؟ رادرفورد استدلال کرد که ذره های بدون انحراف باید از قسمت هایی از ورقه گذشته باشند که تهی بوده باشد، در حالی که ذره های با انحراف شدید از مرکزهایی بسیار چگال و دارای بار مثبت منحرف شده‌اند. وی سرانجام نتیجه گرفت باید هسته‌ای چگال و دارای بار مثبت در مرکز هر اتم باشد که با مدل اتمی تامسون به طور آشکار مغایرت داشت.

بنا بر مدل را در فورد، اتم دارای یک هسته بسیار چگال و کوچک $\left(\text{شعاع} \cong ۱۰^{-۱۵}\right)$ و با بار مثبت است که با تعدادی الکترون در فاصله‌هایی به نسبت دور احاطه شده است. در حالت طبیعی، اتم از نظر الکتریکی خنثی است؛ زیرا بار مثبت هسته، درست مساوی مجموع بار منفی الکترون‌هایی است که هسته را در بر گرفته‌اند. مدل اتمی رادرفورد که آن را «مدل اتم هسته ای» یا «مدل هسته ای اتم» می‌نامند، در مواردی با موفقیت همراه بود، ولی با چالش‌های تازه‌ای نیز مواجه شد. این چالش ها برای خود را در فورد نیز مطرح شده بود، ولی به طور صریح می گفت که : « نباید از مدلی که بر اساس بعضی نتایج تجربی ساخته شده است انتظار داشته باشیم که به تمامی چالش‌ها پاسخ دهد.»

اگر الکترون‌ها را نسبت به هسته ساکن فرض کنیم، مطابق شکل الف، باید تحت تأثیر نیروی ربایشی الکتریکی بین هسته و الکترون، روی هسته سقوط کنند و در نتیجه اتم باید ناپایدار باشد؛ چیزی که با واقعیت جور در نمی‌آید. همچنین اگر الکترون‌ها، مانند سیاره‌های منظومه خورشیدی که دور خورشید می‌چرخند، به دور هسته در گردش باشند، باز هم این حرکت پایدار نمی‌ماند. زیرا حرکت مداری الکترون به دور هسته، شتابدار است.

بنا بر فیزیک کلاسیک، این حرکت شتابدار الکترون سبب تابش امواج الکترومغناطیسی می شود که بسامد آن، با بسامد حرکت مداری الکترون برابر است. با تابش موج الکترومغناطیسی توسط الکترون، از انرژی آن کاسته می شود. این کاهش انرژی باعث می شود که شعاع مدار الکترون به دور هسته به تدریج کوچکتر و بسامد حرکت آن به تدریج بیشتر شود. این افزایش تدریجی بسامد حرکت مداری الکترون ها، سبب می شود تا بسامد موج الکترومغناطیسی گسیل شده نیز به تدریج زیاد شود. به این ترتیب باید طیف امواج الکترومغناطیسی گسیل شده از اتم، پیوسته باشد و الکترون پس از گسیل پی در پی امواج الکترومغناطیسی روی هسته فرو افتد (شکل ب). این نتیجه افزون بر اینکه با واقعیت ناسازگار است با طیف خطی گسیل شده توسط اتم ها نیز جور در نمی آید.



تمرین: چند مورد از موارد زیر در مورد آزمایش پراکندگی رادرفورد نادرست است؟

الف) در این آزمایش هسته های هلیم به یک ورقه نازک طلا تابانده می شد.
ب) یکی از نتایج این آزمایش کنار گذاشته شدن مدل اتمی تامسون بود.
ج) در این آزمایش ذرات آلفا غالبا در زاویه های بزرگی منحرف و پراکنده می شدند.
د) وسایل این آزمایش در اتاقی پر از گاز هلیم قرار داده می شد.
ه) یکی از نتیجه های این آزمایش ابداع مدل اتم هسته ای بود.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

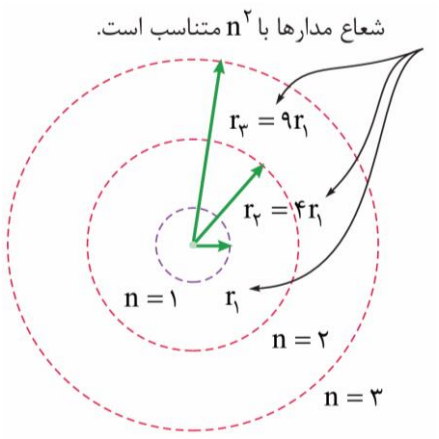
مدل اتمی بور

بور ادعا کرد تمام قوانین مکانیک کلاسیک در مورد اتم ها برقرار نیست. مدل اتمی بور برای اتم هیدروژن چند اصل عمده دارد:

◄ اصل کوانتیدگی شعاع و انرژی: شعاع مدارها و انرژی های الکترون در یک اتم کوانتیده اند، یعنی فقط می‌توانند مقادیر مشخصی را داشته باشند. شعاع مدارهای الکترون از رابطهٔ زیر به دست می آید.

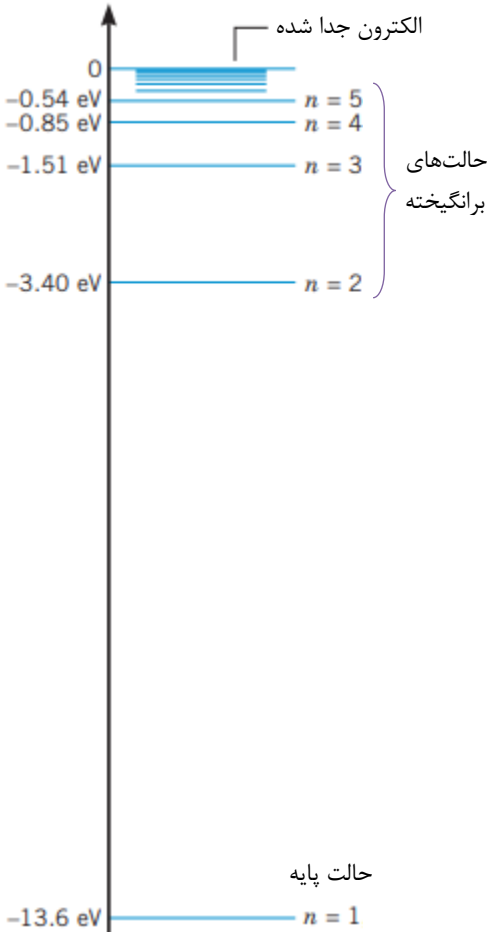
$$r_n = n^2 a_0 , (n = 1,2,3,\dots)$$

a_0: شعاع کوچک ترین مدار اتم هیدروژن (شعاع مدار اول) و مقدار آن $(r_1 = a_0 = 0.529 A^\circ)$ است و n عدد کوانتومی نام دارد.



◄ انرژی الکترون در مدار n ام از رابطه زیر به دست می آید:

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



◄ E_R برابر $13.6ev$ است که آن را «یک ریدبرگ» می نامند.

$$E_R = 13/6eV = 1 \text{ ریدبرگ}$$

◄ هر چه الکترون به مدار بالاتری می رود، نیروی کمتری از طرف هسته به آن وارد شده و انرژی آن افزایش می یابد.

◄ انرژی یونش : حداقل انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه را «انرژی یونش» می نامند. انرژی یونش اتم هیدروژن ۱۳/۶ eV است:

$$\text{انرژی یونش} = |E_1| = 13/6eV$$

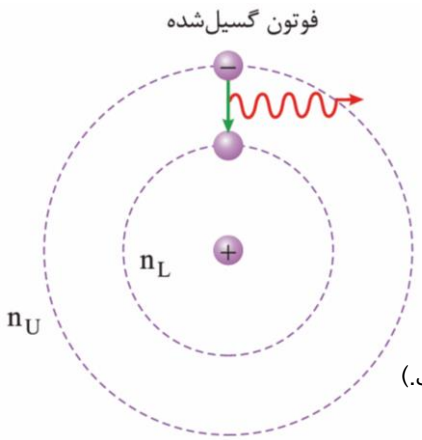
چند نکته در مورد اتم هیدروژن:

- هنگامی که الکترون در پایین ترین تراز انرژی قرار دارد، می گویند الکترون در حالت پایه» قرار دارد.
- ترازهای بالاتر از n $(n > ۱)$ اصطلاحاً حالت های برانگیخته نامیده می شوند.
- با افزایش n ترازهای انرژی حالت های برانگیخته به هم نزدیک و نزدیک تر می شوند.
- در اتم هیدروژن و در دمای اتاق، الکترون اغلب در حالت پایه قرار دارد.
- انرژی یونش الکترون به کمترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه، انرژی یونش الکترون گویند. به عبارت دیگر برای بالا بردن الکترون از حالت پایه $(n = ۱)$ به بالاترین حالت برانگیختهٔ ممکن $(n = \infty)$ مقدار ۱۳/۶eV (که به آن معمولاً یک ریدبرگ گویند) انرژی باید صرف شود.

$E_R = ۱۳/۶eV$ ۱ ریدبرگ

- در اتم هیدروژن، در اولین حالت برانگیخته، الکترون در $n = ۲$ قرار دارد. در دومین حالت برانگیخته در $n = ۳$ قرار داشته و ....

فرایند تابش فوتون: الکترون زمانی تابش می کند که از حالت مانای بالاتر به حالت مانای پایین تر برود. در این صورت اختلاف انرژی بین دو حالت را به صورت یک فوتون تابش می کند. بنابراین، اگر الکترون از تراز n_U به تراز n_L سقوط کند، انرژی فوتون آزادشده برابر است با:



$$E_U - E_L = hf$$

(U از UP به معنی بالا و L از LOW به معنی پایین گرفته شده است.)

تمرین: طبق مدل اتمی بور، در اتم هیدروژن الکترونی از مدار $n = ۲$ (با تراز انرژی E) به مدار $n = ۳$ (با تراز انرژی E') و سپس از مدار $n = ۳$ به مدار $n = ۴$ (با تراز انرژی E'') گذارهایی انجام می دهد. کدام گزینه درست است؟

۱) $E'' > E' > E$ و $(E'' - E') > (E' - E)$

۲) $E'' > E' > E$ و $(E'' - E') < (E' - E)$

۳) $E'' < E' < E$ و $|E'' - E'| > |E' - E|$

۴) $E'' < E' < E$ و $|E'' - E'| < |E' - E|$

تمرین: انرژی لازم برای این که الکترونی از سومین حالت برانگیخته اتم هیدروژن به چهارمین حالت برانگیخته ی اتم هیدروژن، جهش کند، چند ریدبرگ است؟

۱) $\frac{۷}{۱۴۴}$

۲) $\frac{۹}{۴۰۰}$

۳) $\frac{۱}{۱۲}$

۴) $\frac{۲}{۲۰}$

فرض کنید الکترونی در اتم هیدروژن از تراز انرژی n اُم به تراز انرژی n' جهش (گذار) نماید. چگونه می توان انرژی و طول موج فوتون گسیل شده توسط اتم هیدروژن را محاسبه نمود:

روش ۱

در این روش ابتدا طول موج فوتون گسیلی را به کمک معادله ی ریدبرگ یافته و سپس به کمک رابطهٔ بور انرژی فوتون گسیل شده را می‌یابیم.

(سپس انرژی فوتون محاسبه گردد (بور) ⟹ ابتدا طول موج محاسبه شود (ریدبرگ))

$$\frac{۱}{\lambda} = R\left(\frac{۱}{n'^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}}\right) \Rightarrow E = hf = hc\left(\frac{۱}{\lambda}\right) = hc\left(R\left(\frac{۱}{n'^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}}\right)\right)$$

انرژی فوتون⇒ $\boxed{E = hcR\frac{۱}{n'^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}}}$

روش ۲

در این روش ابتدا انرژی الکترون در ترازهای n و n' را به کمک رابطه ی بور محاسبه کرده و با یافتن اختلاف این دو انرژی، انرژی فوتون گسیل شده را می‌یابیم

در پایان به کمک رابطهٔ $E = \frac{hc}{\lambda}$ طول موج فوتون گسیلی را می‌یابیم.

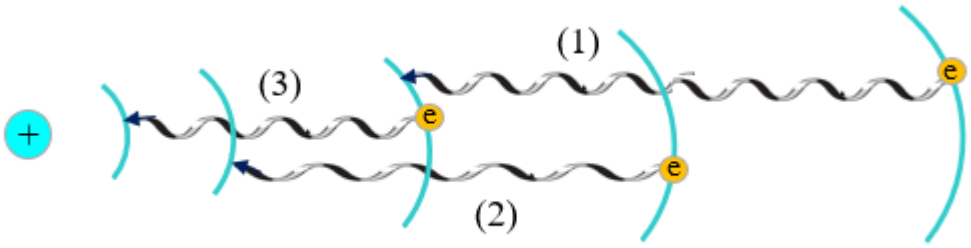
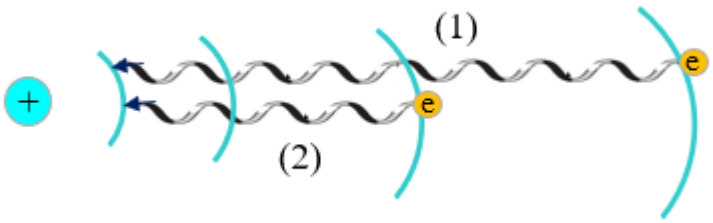
طول موج فوتون گسیل شده ⟵ سپس با محاسبه اختلافشان انرژی فوتون گسیل شده محاسبه گردد ⟵ سپس انرژی الکترون در هر یک از دو تراز محاسبه می شود

$$\begin{cases} \text{انرژی الکترون در تراز } n \text{ ام} \Rightarrow E_n = -\frac{E_R}{n^{۲}} \\ \text{انرژی الکترون در تراز } n' \text{ ام} \Rightarrow E_{n'} = -\frac{E_R}{n'^{۲}} \\ E = E_n - E_{n'} = \left(-\frac{E_R}{n^{۲}}\right) - \left(-\frac{E_R}{n'^{۲}}\right) = E_R\left(\frac{۱}{n'^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}}\right) \\ E = \frac{hc}{\lambda} = E_R\left(\frac{۱}{n'^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}}\right) \\ \frac{۱}{\lambda} = \frac{E_R}{hc}\left(\frac{۱}{n'^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}}\right) \Rightarrow \lambda \text{ محاسبه می شود} \end{cases}$$

یک نتیجه مهم:

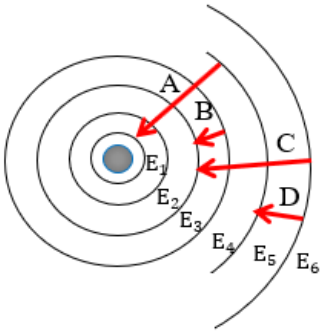
$$\begin{cases} \frac{۱}{\lambda} = R\left(\frac{۱}{n'^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}}\right) \\ \frac{۱}{\lambda} = \frac{E_R}{hc}\left(\frac{۱}{n'^{۲}} - \frac{۱}{n^{۲}}\right) \end{cases} \Rightarrow \boxed{E = \frac{E_R}{hc}}$$

برای مقایسهٔ انرژی ۲ حالت داریم:

۱	هر چه گذار مورد نظر به هسته نزدیک تر باشد انرژی بیشتری آزاد خواهد شد.  $E_3 > E_2 > E_1$
۲	اگر مقصد الکترون ها یکی باشد هر چه فاصله بین مدارها بیشتر باشد انرژی بیشتری آزاد خواهد شد.  $E_1 > E_2$

در مقایسهٔ انرژی، باید ۲ مورد فوق را به ترتیب مقایسه کنیم، یعنی اول نزدیکی به هسته و سپس فاصلهٔ بین مدارها را مقایسه کنیم.

تمرین: شکل روبه رو، مدارهای الکترون در الگوی بور برای اتم هیدروژن را نشان می دهد. در کدام گسیل، طول موج وابسته به فوتون تابش شده، بلندتر است؟



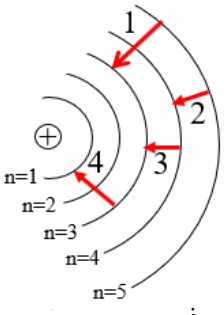
۱) A

۲) B

۳) C

۴) D

تمرین: در شکل زیر چهار گذار در اتم هیدروژن نشان داده شده است. چه تعداد از جمله های زیر در مورد این شکل درست است؟



الف) گذارهای (۱)، (۲) و (۳) در ناحیه فروسرخ قرار دارند.

ب) گذار (۴) در ناحیه فرابنفش قرار دارد.

پ) کم ترین بسامد مربوط به گذار (۲) است.

ت) طول موج گذار (۱) بلندتر از طول موج گذار (۳) است.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) صفر

تمرین: کدام گزینه معادل یک ریدبرگ است؟ (R ثابت ریدبرگ برای اتم هیدروژن ، h ثابت پلانک ، c سرعت امواج الکترومغناطیسی در خلا می باشد.)

۱) $\frac{R}{hc}$

۲) $\frac{hc}{R}$

۳) hcr

۴) $\frac{hR}{C}$

موفقیت ها و نارسایی های مدل بور :

موفقیت‌ها	مدل بور تصویری از چگونگی حرکت الکترون ها به دور هسته ارائه می کند. این مدل در تبیین پایداری اتم، طیف گسیلی و جذبی گاز هیدروژن اتمی و محاسبه انرژی یونش اتم هیدروژن با موفقیت همراه است. افزون بر این، مدل بور را برای اتم های هیدروژن گونه نیز می توان به کار برد. اتم هیدروژن گونه به اتم هایی گفته می شود که تنها یک الکترون دارند. برای مثال، اتم لیتیم که در حالت خنثی سه الکترون دارد اگر دو الکترون خود را از دست داده باشد، یک اتم هیدروژن گونه است. مدل بور می تواند انرژی یونش و همچنین طول موج های طیف خطی اتم های هیدروژن گونه مانند لیتیم دو بار یونیده (Li^{2+}) را پیش بینی کند که با تجربه سازگاری خوبی دارد. ۱. ارائه تصویر قابل قبولی از نحوه حرکت الکترون ها به دور هسته ۲. توجیه پایداری اتم ۳. توجیه طیف گسیلی و جذبی خطی اتم ۴. ارائه فرمولی برای محاسبه انرژی یونش و تایید ریاضی رابطه ریدبرگ ۵. این مدل برای اتم های هیدروژن گونه (اتم های یونیدهٔ تک الکترونی) هم کاربرد دارد.
نارسایی‌ها	این مدل برای وقتی که بیش از یک الکترون به دور هسته می گردد به کار نمی رود، زیرا در مدل بور، نیروی الکتریکی که یک الکترون بر الکترون دیگر وارد می کند به حساب نیامده است . همچنین این مدل نمی تواند متفاوت بودن شدت خط های طیف گسیلی را توضیح دهد. برای مثال مدل بور نمی تواند توضیح دهد که چرا شدت خط قرمز با شدت خط آبی در طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی با یکدیگر متفاوت است. آبی شدید تر است چون f بیشتری دارد . ۱. برای اتم هایی که بیشتر از یک الکترون دارند، کاربرد ندارد. ۲. دلیل تفاوت شدت خطوط طیف گسیلی را توضیح نمی دهد.

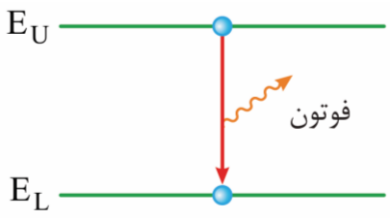
تمرین: چه تعداد از جملات زیر درست است؟

- طیف خطی هیدروژن اتمی رقیق و کم فشار، در ناحیه ی مرئی، دارای ۴ خط است.
- جوزف تامسون فیزیکدان انگلیسی، موفق به کشف الکترون و اندازه گیری نسبت بار به جرم $\left(\frac{e}{m}\right)$ ان شد.
- به کمترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه، انرژی یونش الکترون گویند. (در اتم هیدروژن)
- تمام خطوط تاریکی که فرانهوفر در طیف خورشید کشف کرد، ناشی از جذب طول موج های مربوط به این خطها فقط توسط گازهای جو خورشید است.
- مدل اتمی بور، در تبیین پایداری اتم، طیف گسیلی و جذبی گاز هیدروژن اتمی و محاسبه ی انرژی یونش اتم هیدروژن با موفقیت همراه است.
- اتم لیتیم دوبار یونیده (Li^{2+}) یک اتم هیدروژن گونه است.

۱) ۶ ۲) ۵ ۳) ۴ ۴) ۳

لیزر

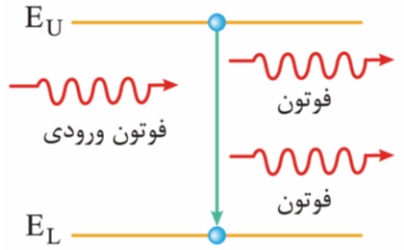
گسیل خود به خودی:



هر اتمی که در حالت برانگیخته باشد، تحت شرایط عادی و به طور خودبه خود ظرف مدت کوتاهی (حدود $10^{-8}s$) به تراز پایین تر می رود و فوتونی در جهت پیش بینی نشده یا کاتوره ای گسیل می‌کند. این فرایند را «گسیل خود به خود می‌گویند.

گسیل القایی:

در گسیل القایی که برای نخستین بار در سال ۱۹۱۷ میلادی توسط انیشتن مطرح شد، یک فوتون ورودی، الکترون برانگیخته را تحریک یا القا می کند تا تراز انرژی خود را تغییر دهد و به تراز پایین تر برود. برای گسیل القایی، انرژی فوتون ورودی باید دقیقاً با اختلاف انرژی های دو تراز یعنی $E_U - E_L$ یکسان باشد.

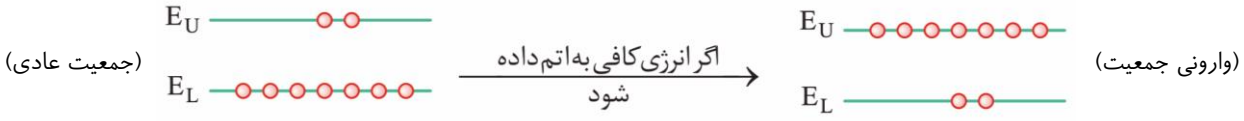


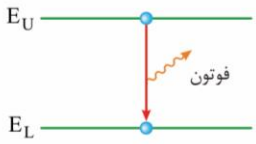
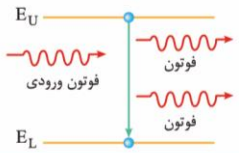
ویژگی های گسیل القایی:

- یک فوتون به اتم وارد و دو فوتون از آن خارج می‌شوند.
- فوتون القایی هم جهت با فوتون ورودی حرکت می‌کند.
- فوتون‌های ورودی و القایی هم بسامد، هم جهت و هم فازند.

در گسیل القایی یک چشمه انرژی خارجی مناسب باید وجود داشته باشد تا الکترون ها را به ترازهای انرژی بالاتر برانگیخته کند. این انرژی می‌تواند به روش‌های متعددی از جمله درخشش‌های شدید نور معمولی و یا تخلیه‌های ولتاژ بالا فراهم شود. اگر انرژی کافی به اتم‌ها داده شود، الکترون‌های بیشتری به تراز انرژی بالاتر برانگیخته خواهند شد، شرطی که به وارونی جمعیت معروف است.

وارونی جمعیت الکترون‌ها در یک محیط لیزری، مربوط به وضعیتی است که تعداد الکترون‌ها در ترازهایی موسوم به ترازهای شبه پایدار نسبت به تراز پایین‌تر بسیار بیشتر باشند. در این ترازها، الکترون‌ها زمان بسیار طولانی‌تری ($10^{-3}s$) نسبت به حالت برانگیخته معمولی ($10^{-8}s$) باقی می‌مانند. زمان طولانی‌تر، فرصت بیشتری برای افزایش وارونی جمعیت و در نتیجه تقویت نور لیزر فراهم می‌کند.



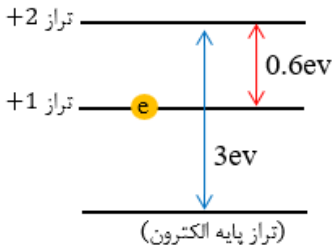
الکترون از تراز انرژی بالا به تراز انرژی پایین گذر کند، یک فوتون گسیل می‌شود.	
گسیل خودبه‌خودی	گسیل القایی
فوتون در جهت کاتوره‌ای گسیل می‌شود. $E_U - E_L = hf$ (انرژی فوتون تابش‌شده) 	با فوتون ورودی، الکترون برانگیخته تحریک می‌شود تا به تراز انرژی پایین‌تر برود. $E_U - E_L =$ انرژی فوتون ورودی 

تمرین: چند مورد از عبارت های زیر درست است؟

- در گسیل خود به خود در فرایند گسیل فوتون، در مدل اتمی بور، فوتون در جهتی کاتوره ای گسیل می شود.
- در گسیل القایی، یک فوتون ورودی، الکترون برانگیخته را تحریک (یا القا) می کند تا تراز انرژی خود را تغییر داده به تراز پایین تر برود. انرژی فوتون ورودی باید برابر یا بیشتر از اختلاف انرژی‌های دو تراز باشد.
- در یک محیط لیزری، در وضعیت وارونی جمعیت، الکترون ها در ترازهای شبه پایدار مدت زمان بسیار کمتری را نسبت به حالت برانگیخته ی معمولی باقی می مانند.
- در مدل اتمی تامسون، وقتی الکترون ها با بسامدهای معینی حول وضع تعادلشان نوسان می‌کنند این نوسان سبب تابش امواج الکترومغناطیسی می‌شود.

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) ۳ ۴) ۴

تمرین: در شکل روبرو الکترون در حالت برانگیخته قرار دارد. اگر فوتونی با انرژی ..... بر این اتم فرو بیاید ، در اثر گسیل القایی دو فوتون ..... تابشی می شود.



۱) ۰/۶ev - هر یک با انرژی ۰/۶ev

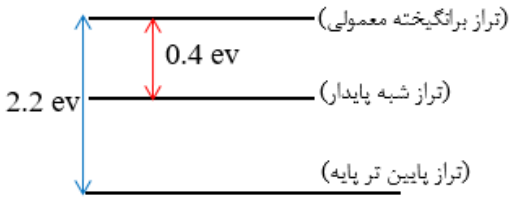
۲) ۰/۶ ev – یکی با انرژی ۰/۶ev و دیگری با انرژی ۲/۴ev

۳) ۲/۴ ev- هر یک با انرژی ۲/۴ev

۴) ۲/۴ ev – یکی با انرژی ۰/۶ev و دیگر با انرژی ۲/۴ev

تمرین: شکل رو به رو، سه تراز انرژی شرکت کننده در تولید لیزر درون اتم کروم را نشان می دهد که به صورت ناخالصی در یاقوت (محیط لیزری جامد) وجود دارند. طول موج لیزر خروجی از دستگاه با محیط لیزری یاقوت، چند نانومتر است؟

$(hc = ۱۲۴۲\ ev.nm)$



۱) ۵۶۵

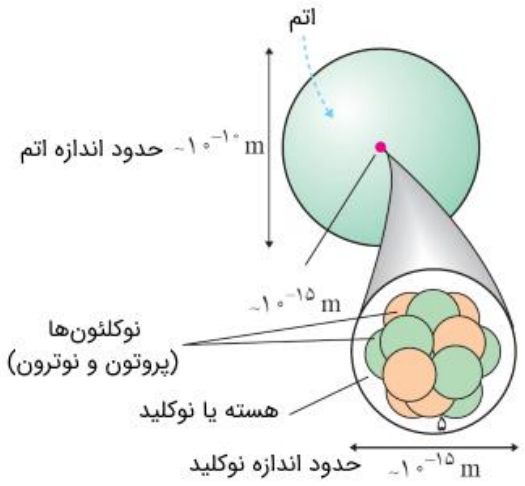
۲) ۶۵۶

۳) ۶۹۰

۴) ۷۲۰

ساختار هسته

قطر اتم $۱۰^{۵}$ برابر قطر هسته آن است و حجم اتم به حجم هسته $۱۰^{۱۵}$ برابر است.



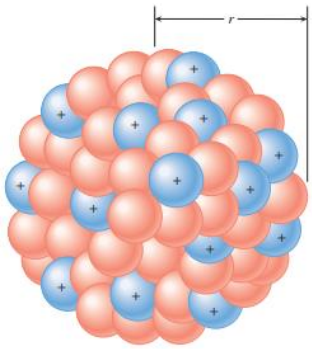
هسته اتم از نوترون ها و پروتون ها تشکیل شده است که به طور کلی نوکلئون نامیده می‌شوند.

$$\begin{cases} q_n = ۰ \\ q_p = +e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C \end{cases}$$

یکای جرم اتمی (amu) : $\frac{۱}{۱۲}$ جرم اتم کربن ۱۲ را «یکای جرم اتمی» می نامند و آن را با amu یا u نشان می دهند و مقدار آن بر حسب کیلوگرم به صورت زیر است.

$$\begin{cases} \text{(جرم ۱ مول کربن)}\ M = ۱۲gr = ۱۲ \times ۱۰^{-۳} \\ \text{(عدد آووگادرو)}\ N_A = ۶.۰۲۲ \times ۱۰^{۲۳} \\ \text{(جرم هر اتم } {}^{۱۲}C\text{)}\ m = \frac{M}{N_A} = \frac{۱۲ \times ۱۰^{-۳}}{۶.۰۲۲ \times ۱۰^{۲۳}} \cong ۱.۹۹ \times ۱۰^{-۲۶} kg \\ ۱u = \frac{۱}{۱۲} m \cong \frac{۱}{۱۲} \times (۱.۹۹ \times ۱۰^{-۲۶}) \Rightarrow ۱u \cong ۱.۶۶ \times ۱۰^{-۲۷} \end{cases}$$

ذره	بار الکتریکی (c)	جرم (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



تعداد پروتون های هسته را عدد اتمی (Z) می‌نامند و در عنصرهای مختلف متفاوت است.

در یک اتم خنثی، تعداد پروتون های هسته با تعداد الکترون های دور هسته برابر است.

تعداد نوترون‌های هسته، عدد نوترونی (N) نامیده می‌شود.

مجموع تعداد کل پروتون‌ها و نوترون‌ها را عدد جرمی (A) می نامند.

$$\underbrace{A}_{\substack{\text{Number of protons}\\ \text{and neutrons}\\ \text{(atomic mass number}\\ \text{or nucleon number)}}} = \underbrace{Z}_{\substack{\text{Number of}\\ \text{protons}\\ \text{(atomic number)}}} + \underbrace{N}_{\substack{\text{Number of}\\ \text{neutrons}}}$$

نماد عنصر X

$A \rightarrow$ عدد جرمی

$Z \rightarrow$ عدد اتمی

$N \rightarrow$ عدد نوترونی

ایزوتوپ ها: ویژگی های هسته را تعداد پروتون ها و نوترون های آن تعیین می کند. خواص شیمیایی هر اتم را تعداد پروتون های هسته (عدد اتمی Z) تعیین می کند. به همین سبب هسته هایی که تعداد پروتون مساوی ولی تعداد نوترون متفاوت دارند خواص شیمیایی یکسانی دارند، در نتیجه این هسته ها در جدول تناوبی عناصر هم مکان هستند و بنابراین ایزوتوپ (هم مکان) نامیده می شوند. به طور مثال، کربن به دو صورت پایدار و با درصدهای فراوانی بسیار متفاوتی در طبیعت یافت می شود که یکی از ۶ پروتون و ۶ نوترون ($_{6}^{12}C$) ، و دیگری از آنها از ۶ پروتون و ۷ نوترون ($_{6}^{13}C$) تشکیل شده است.

نام عنصر	نماد	Z	N	درصد فراوانی در طبیعیت	نام عنصر	نماد	Z	N	درصد فراوانی در طبیعیت
هیدورژن۱	H	۱	۰	۹۹.۹۸۸۵	کربن۱۳	^{13}C	۶	۷	۱.۰۷
دوتریم(هیدروژن ۲ ، ^{2}H)	D	۱	۱	۰.۰۱۱۵	کربن ۱۴	^{14}C	۶	۸	یافت نمی شود
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

تمرین: کدام گزینه در مورد ^{235}U ، ^{238}U درست نیست ؟

۱) تعداد نوترون ^{238}U بیشتر است.

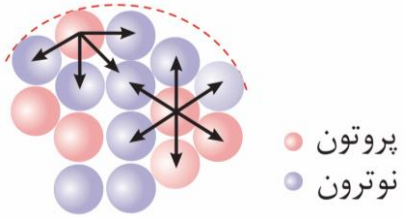
۲) هر دو تعداد پروتون یکسانی دارند

۳) هر دو خواص شیمیایی یکسانی دارند.

۴) ^{238}U ، ۰/۷۲ درصد اورانیم طبیعی را تشکیل می دهد.

پایداری هسته

نیرویی که نوکلئون ها را کنار هم نگه می دارد از نوع الکتریکی نمی تواند باشد زیرا نوترون ها فاقد بارند و از نوع گرانش هم نمی توانند باشند . زیرا نیروی گرانش بین آنها بسیار کوچک است ، پس باید نیرویی دیگری وجود داشته باشد که اولاً از نوع جاذبه باشد و ثانیاً بر نیروی رانش الکتریکی بین پروتون ها غلبه کند ، این نیرو هسته ای قوی دارد . نیروهای هسته ای قوی بسیار کوتاه برد می باشند ، یعنی حدوداً این نیرو بردش $۲fm$ می باشد و اگر فاصله نوکلئون ها از $۲fm$ بیشتر شود ، نیروی هسته ای به شدت کاهش می یابد ، نیروی هسته ای به بار نوکلئون بستگی ندارد یعنی نیروی هسته ای بین پروتون و پروتون با نیروی هسته ای بین پروتون و نوترون ، نوترون و نوترون برابر است.



تمرین: در هسته اتم یک عنصر، اگر نیروی ربایشی هسته ای بین دو پروتون مجاور F و بین دو نوترون مجاور برابر F' و بین یک پروتون و یک نوترون مجاور برابر F'' باشد، کدام یک از موارد زیر درست است؟

۱) $F = F' = F''$

۲) $F'' = F' = F$

۳) $F' > F'' > F$

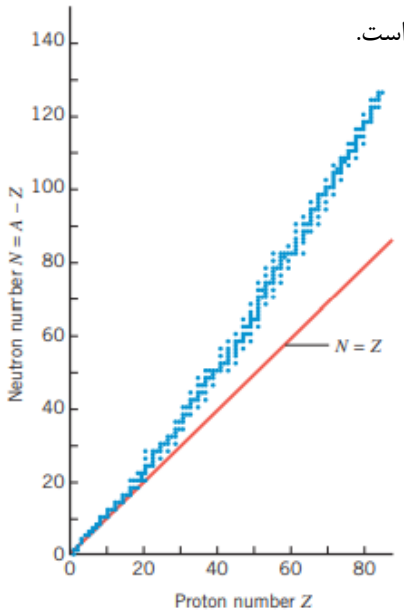
۴) $F > F' > F''$

ناپایداری هسته‌های سنگین

مرتبه بزرگی چگالی هسته $۱۰^{۱۴}\ \frac{gr}{cm^۳}$ است که به صورتی باورنکردنی بزرگ است! (*برای مقایسه توجه کنید که چگالی آب* $۱\ \frac{gr}{cm^۳}$)

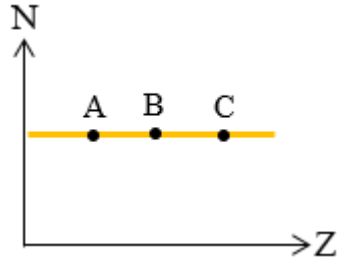
کوتاه برد بودن نیروی هسته ای سبب می گردد که هر چه عدد اتمی عنصر بیشتر شود و هسته بزرگتر گردد، برای پایداری هسته پیدا و موازنه شدن نیروی دافعه الکتروستاتیکی پروتون ها، با نیروی ربایش هسته ای بر تعداد نوترون ها افزوده شود

در شکل زیر، نمودار تعداد پروتون ها برحسب تعداد نوترونها $Z = A - N$ نشان داده شده است.

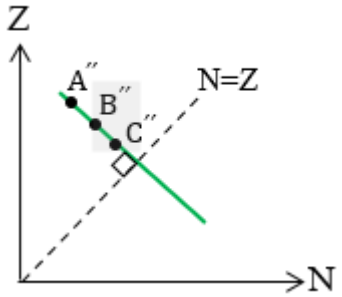


ایزوتوپ های مختلف یک عنصر را چگونه می توان با استفاده از این نمودار تشخیص داد؟

عناصری که تعداد پروتون (Z) یکسان و تعداد نوترون (N) متفاوت داشته باشد نشان دهنده ایزوتوپ هستند.

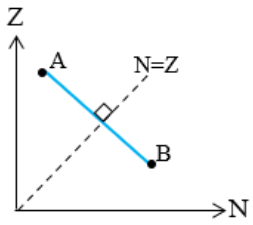


اگر خطی عمود بر محور Z رسم کنیم ممکن است این خط چند نقطه مانند A ، B و C را قطع کند، این نقاط هسته‌هایی با عدد اتمی یکسان و عدد نوترونی متفاوت است ، یعنی هسته های A و B و C ایزوتوپ یکدیگرند.



اگر خطی عمود بر خط $Z = N$ رسم کنیم، ممکن است این خط از چند نقطه "A ، "B ، "C بگذرد. این نقطه ها نشان دهنده هسته‌هایی با عدد جرمی برابر می‌باشند. زیرا شیب خطی که بر خط $Z = N$ عمود است ، ۱− است و معادله آن به شکل زیر است (ثابت $= K$)

تمرین: در نمودار روبه رو اگر عدد اتمی A را با Z_A و عدد نوترونی را با N_A نشان می دهیم. عدد جرمی اتم B برابر کدام گزینه است؟



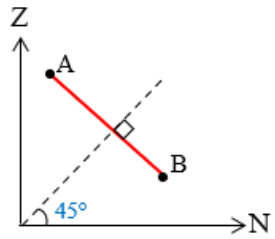
۱) $N_A + Z_A$

۲) $\frac{N_A+Z_A}{۲}$

۳) $۲(N_A + Z_A)$

۴) $N_A - Z_A$

تمرین: در نمودار زیر، عدد اتمی A ، ۱۸ و جرم اتمی اتم B ، ۴۰ است ، عدد نوترونی اتم A کدام است ؟



۱) ۵۸

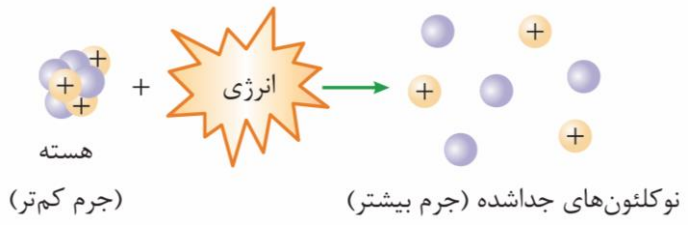
۲) ۴۰

۳) ۲۲

۴) داده‌های تست کافی نیست.

انرژی بستگی هسته‌ای

اندازه گیری های دقیق نشان داده است که جرم هسته از مجموع جرم پروتون ها و نوترون های تشکیل دهنده اش اندکی کمتر است. اگر این اختلاف جرم را که به آن کاستی جرم هسته گفته می شود، مطابق رابطه معروف اینشتین $(E = mc^2)$ ، در مربع تندی نور (c^2) ضرب کنیم انرژی بستگی هسته ای به دست می آید. توجه کنید که هرچند اختلاف جرم هسته با مجموع جرم نوکلئون های تشکیل دهنده آن بسیار ناچیز است، چون در ، (c^2)که عدد بسیار بزرگی است ضرب می شود، این کاستی جرم اندک، معادل انرژی قابل ملاحظه ای است.



انرژی نوکلئون های وابسته به هسته نیز مانند انرژی الکترون های وابسته به اتم، کوانتیده اند و نوکلئون های درون هسته نمی توانند هر انرژی دلخواهی را اختیار کنند. همچنین، همان طور که الکترون های اتم می توانند با جذب انرژی از تراز پایه به تراز برانگیخته بروند، نوکلئون ها نیز می توانند با جذب انرژی به ترازهای انرژی بالاتر بروند و در نتیجه هسته برانگیخته شود. هسته برانگیخته با گسیل فوتون به تراز پایه بر می گردد. انرژی فوتون گسیل شده، با اختلاف انرژی بین تراز برانگیخته و تراز پایه برابر است. هسته برانگیخته را با گذاشتن ستاره روی نماد ${}^{A}_{Z}X$ به صورت ${}^{A}_{Z}X^{*}$ مشخص می کنند. نکته قابل توجه آن است که اختلاف بین ترازهای انرژی نوکلئون ها در هسته از مرتبه Kev تا مرتبه Mev است، در حالی که اختلاف بین ترازهای انرژی الکترون ها در اتم از مرتبه evاست. از این رو، هسته ها در واکنش های شیمیایی برانگیخته نمی شوند.

هم ارزی جرم – انرژی:

برای اولین بار، اینشتین تبادل‌پذیری جرم و انرژی را مطرح کرد. طبق این نظریه اگر جرم m از بین برود، انرژی E تولید می‌شود:

$$E = mc^2$$

تمرین: در یک واکنش هسته ای، ۲ میلی گرم جرم تبدیل به انرژی شده است. انرژی حاصل معادل با چند کیلووات ساعت است؟

$\left(c = ۳ \times ۱۰^۸ \frac{m}{s}\right)$

۱) $۲/۵ \times ۱۰^۹$

۲) $۲/۵ \times ۱۰^۴$

۳) ۵×۱۰^۹

۴) ۵×۱۰^۴

انرژی بستگی هسته ای:

جرم یک هسته، از مجموع جرم نوکلئون های تشکیل دهنده آن کمتر است. شکل زیر به صورت نمادین همین موضوع را نشان می‌دهد.

به این اختلاف جرم، «کاستی جرم هسته» می گویند.

هسته ٔ هلیوم

دو نوترون و دو پروتون

$$\Delta m \text{ (کاستی جرم هسته)} = \underbrace{ZM_P + NM_N}_{\text{مجموع جرم نوکلئون ها}} - M_{\text{هسته}}$$

این اختلاف جرم نشان می دهد وقتی نوکلئون ها گرد هم می آیند تا هسته را بسازند، مقداری از جرم آنها کاسته و به انرژی تبدیل می شود. این انرژی را «انرژی بستگی هسته ای» می گویند.

$$E = (\Delta m)C^2 \text{ (انرژی بستگی هسته‌ای)}$$

پرتوزایی

هستهٔ بعضی از اتم ها برای آن که به وضع پایدارتری برسند خود به خود ذره ها یا پرتوهایی را تابش می‌کنند. به این ویژگی پرتوزایی و به این هسته ، هسته پرتوزا می‌گویند. در واکنش‌های واپاشی ، یک هسته تغییر می‌کند و یک هسته جدید متولد می‌شود ، به هسته پرتوزای اولیه ، هستهٔ مادر و به هستهٔ جدید هستهٔ دختر می‌گویند.

در پرتوزایی طبیعی سه نوع پرتو ایجاد می‌شود:

- پرتوهای آلفا (α)
- پرتوهای بتا (β)
- پرتوهای گاما (γ)

پرتوهای α کمترین نفوذ را دارند و با ورقه نازک سربی با ضخامت ناچیز ($\cong ۰.۰۱mm$) متوقف می‌شوند.

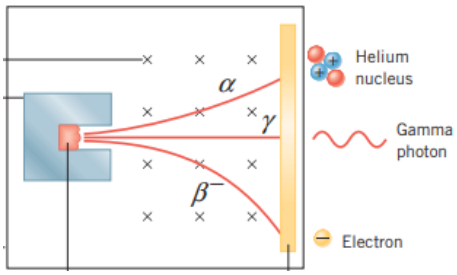
پرتوهای β مسافت خیلی بیشتری را ($\cong ۰.۱mm$) در سرب نفوذ می‌کنند.

پرتوهای ۷ بیشترین نفوذ را دارند و می توانند از ورقه ای سربی به ضخامت قابل ملاحظه ای ($\cong ۱۰۰mm$) بگذرند.

در تمام فرایندهای واپاشی پرتوزا مشاهده شده است که تعداد نوکلئون‌ها در طی فرایند واپاشی هسته‌ای پایسته است؛ یعنی:

> تعداد نوکلئون ها، پیش از فرایند با تعداد نوکلئون ها پس از فرایند مساوی است.

تمرین: در شکل روبه رو یک ماده پرتوزا که به طور طبیعی سه پرتوی ، α و β و γ را از خود گسیل می کند، درون میدان مغناطیسی یکنواختی قرار می گیرد کدام گزینه نوع پرتوهای (۱)، (۲) و (۳) به ترتیب از راست به چپ و جهت میدان مغناطیسی یکنواخت درون اتاقک را درست بیان می کند؟ (سرعت پرتوهای α و β را یکسان در نظر بگیرید.)



۱) α و γ و $-\beta$ درونسو

۲) γ و α و $-\beta$ برونسو

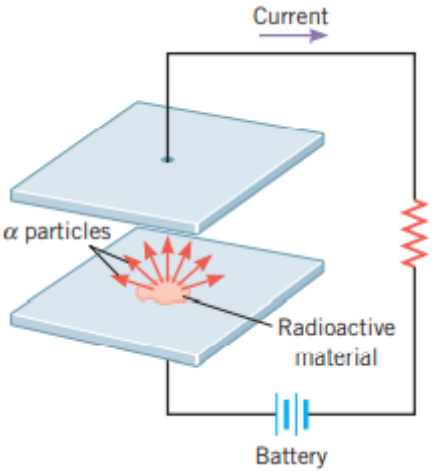
۳) β و α و γ - برونسو

۴) α و β و $-\gamma$ درونسو

آشکارساز دود دستگاهی است که وجود دود در هوا را تشخیص و هشدار می‌دهد.(شکل مقابل)

یکی از کاربردهای گسترده واپاشی α در آشکارسازهای دود است.

شکل زیر مدار و بخش اصلی یک آشکارساز دود را نشان می دهد.

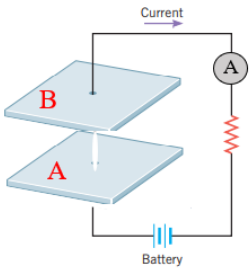


دو صفحه کوچک و موازی فلزی در فاصله حدود یک سانتی‌متر از یکدیگر قرار داده می‌شوند. مقدار اندکی ماده پرتوزا را که ذرات α گسیل می‌کند در وسط یکی از صفحه‌ها می‌گذارند. ذرات α با مولکول‌های هوای بین دو صفحه برخورد می‌کنند، مولکول‌های هوا یونیده می‌شوند و یون‌های مثبت و منفی به وجود می‌آیند.

ولتاژ باتری باعث می‌شود یک صفحه مثبت و صفحهٔ دیگر منفی باشد، به طوری که هر صفحه یون‌های با بار مخالف را جذب می‌کند. در نتیجه در مدار متصل به صفحه‌ها جریانی به وجود می‌آید. وجود ذرات دود میان صفحه ها جریان را کاهش می‌دهد؛ زیرا یون‌هایی که به ذرات دود برخورد می‌کنند معمولاً خنثی می‌شوند.

اُفت جریان که ذرات دود باعث آن می شود هشدار دهنده‌ای را به کار می اندازد.

تمرین: شکل زیر یک مدار که بخش اصلی یک آشکارساز دود است را نشان می دهد. در این مدار مقدار اندکی ماده پرتوزا که ذرات ..... گسیل می کند را در صفحه ..... قرار می دهیم و دود باعث می شود، عددی که آمپر سنج نشان می دهد ..... .



۱) β - B - کاهش یابد.

۲) β - B - کاهش یابد.

۳) α - A - کاهش یابد.

۴) α - A - افزایش یابد.

نوع واپاشی	توضیح	معادله واپاشی	تغییر مکان در جدول تناوبی عنصرها
آلفا	ذرهٔ α همان هستهٔ اتم هلیم است : $\alpha = {}^{4}_{2}He^{2+}$ با تابش α ، ۲ واحد از عدد اتمی و ۴ واحد از عدد جرمی کم می‌شود. این ذرات پس ازطی مسافت ۱ تا۲ سانتی متر در هوا جذب می‌شوند و در صورت ورود به بدن، باعث تخریب بافت ها می‌شوند.	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha$ ${}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{236}_{90}Th + {}^{4}_{2}\alpha$	دو خانه به عقب
بتای منفی	ذرهٔ بتای منفی (β^-) همان الکترون است: $\beta^- = {}^{0}_{-1}e^{-}$ با تابش ذره β^- ، عدد جرمی تغییر نمی‌کند ، ولی عدد اتمی یک واحد افزایش می یابد.	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}\beta^{-}$ ${}^{238}_{92}Th \rightarrow {}^{234}_{91}Pa + {}^{0}_{-1}\beta^{-}$	یک خانه به جلو
بتای مثبت	ذرهٔ بتای مثبت (β^+) را پوزیترون می‌گویند. پوزیترون جرم الکترون و بار پروتون را دارد: $\beta^+ = {}^{0}_{+1}e^{+}$ با تابش β^+ ، عدد جرمی تغییر نمی‌کند ، ولی عدد اتمی یک واحد کاهش می‌یابد.	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}\beta^{+}$ ${}^{22}_{11}Na \rightarrow {}^{23}_{10}Na + {}^{0}_{+1}\beta^{+}$	یک خانه به عقب
گاما	هسته‌های برانگیخته با گسیل فوتون گاما ، به حالت پایه بر می‌گردند. با تابش گاما، عدد جرمی و عدد اتمی تغییر نمی‌کنند.	${}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{0}\gamma$ ${}^{99}_{43}T^{*} \rightarrow {}^{99}_{43}T + {}^{0}_{0}\gamma$	بدون تغییر
نوترون زا	عدد جرمی یک واحد کاهش و عدد اتمی تغییری نمی‌کند پس خاصیت شیمیایی تغییر نخواهد کرد	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-1}_{Z}X + {}^{1}_{0}n$	بدون تغییر

نمادهای مقابل را به خاطر بسپارید : ${}^{4}_{2}\alpha$ ، ${}^{0}_{-1}\beta$ ، ${}^{0}_{+1}\beta$ ، ${}^{0}_{0}\gamma$ ، ${}^{1}_{0}n$

تمرین: در واکنش هسته ای $\cdots + \cdots + {}^{A-8}_{Z}Y \rightarrow {}^{A}_{Z}X$ به جای نقطه چین ها چند آلفا و چند بتای منفی باید قرار داد؟

۱) یک آلفا و ۳ بتا

۲) ۲ آلفا و ۴ بتا

۳) ۲ آلفا و ۲ بتا

۴) ۲ آلفا و ۳ بتا

تمرین: در واکنش $^{237}_{92}X \rightarrow Y + 3\alpha + \beta^-$ تعداد نوکلئون های Y چقدر است؟

۱) ۲۲۴

۲) ۲۲۵

۳) ۲۲۶

۴) ۲۲۸

تمرین: در واکنش هسته ای «تعدادی نوترون + $^{101}_{42}Mo$ + $^{133}_{50}Sn$ → $^{235}_{92}U$ + $^{1}_{0}n$»، چند نوترون آزاد می‌شود و اگر مجموع جرم ذرات اولیه و مجموع جرم ذرات ثانویه واکنش را به ترتیب M_1 و M_2 بنامیم، کدام رابطه درست است؟ (کنکور ریاضی ۱۴۰۴)

۱) ۳ و $M_1 > M_2$

۲) ۲ و $M_1 > M_2$

۳) ۳ و $M_2 > M_1$

۴) ۲ و $M_2 > M_1$

تمرین: در هر کدام از موارد زیر بار عنصر مورد نظر چگونه تغییر می کند؟

	: تابش α		: تابش β منفی
	: تابش α و β		: تابش β مثبت

تمرین: در واپاشی هسته های ناپایدار، کدام مورد درست است؟ $(e = ۱.۶ \times ۱۰^{-۱۹} c)$

۱) هنگام گسیل پوزیترون بار هسته به اندازه $۱.۶ \times ۱۰^{-۱۹} c$ افزایش می یابد.

۲) هنگام گسیل الکترون بار هسته به اندازه $۱.۶ \times ۱۰^{-۱۹} c$ کاهش می یابد.

۳) هنگام گسیل α بار هسته به اندازه $۲۳.۲ \times ۱۰^{-۱۹} C$ کاهش می یابد.

۴) هنگام گسیل گاما، پوزیترون و الکترون، بار هسته ثابت می ماند.

تمرین: در یک واکنش پرتوزایی هسته ی $_{۹۴}Pu$ با گسیل دو ذره ی α و n ذره ی β^- به ایزوتوپ خود تبدیل می شود . n چند است؟

۱) ۲

۲) ۴

۳) ۶

۴) ۸

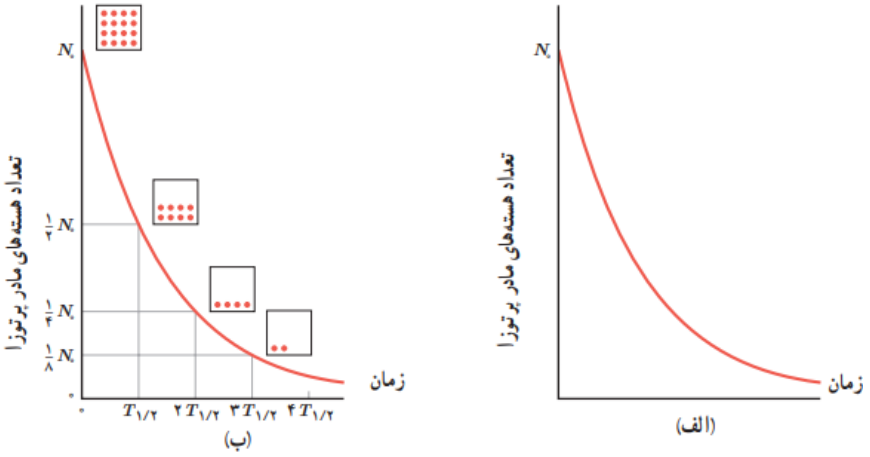
نیمه عمر

تعریف نیمه عمر (T) : مدت زمانی است که نیمی از هسته عادلی فعال یک ماده پرتوزا ، غیر فعال شود یا به عبارت دیگر تعداد هسته های فعال یک ماده پرتوزا ، نصف شود . نیمه عمر یک ماده رادیواکتیو به نوع هسته ی پرتوزا بستگی دارد.

اگر m_0 و N_0 ، جرم و تعداد هسته های پرتوزای اولیه و m و N ، جرم و تعداد هسته های پرتوزای باقی مانده پس از گذشت زمان T باشند و n تعداد نیمه عمرهای سپری شده باشد داریم:

$$\frac{N_0}{N} = \frac{m_0}{m} = 2^n \qquad n = \frac{t}{T}$$

زمان	۰	$T_{1/2}$	$2T_{1/2}$	$3T_{1/2}$	...
تعداد هسته‌های باقی‌مانده	N_0	$\frac{N_0}{2}$	$\frac{N_0}{4}$	$\frac{N_0}{8}$	...



تمرین: نیمه عمر یک ایزوتوپ پرتوزا ۸ روزاست، پس ازگذشت ۱۶ روز چند درصد از هسته‌های مادر اولیه درمحیط زیست باقی می‌ماند؟ (کنکور تجربی ۱۴۰۴)

۱) ۷۵

۲) ۵۰

۳) ۲۵

۴) ۱۲/۵

تمرین: نیمه عمر بیسموت ۲۱۲ در حدود ۶۰ دقیقه است . پس از گذشت چهار ساعت ، چه کسری از ماده اولیه واپاشیده می شود؟

۱) $\frac{۱}{۱۶}$

۲) $\frac{۱}{۸}$

۳) $\frac{۷}{۸}$

۴) $\frac{۱۵}{۱۶}$

تمرین: اگر ۸۷/۵ درصد از تعداد هسته های یک ماده رادیواکتیو در مدت ۲۴ ساعت واپاشیده شود ، نیمه عمر آن چند ساعت است؟

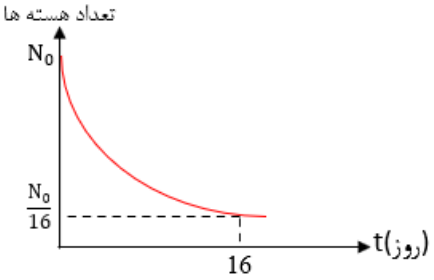
۱) ۳

۲) ۴

۳) ۶

۴) ۸

تمرین: نمودار تغییرات هسته های یک ماده پرتوزا برحسب زمان، مطابق شکل مقابل است. پس از گذشت هشت روز چند درصد از هسته های آن فعال باقی می ماند؟



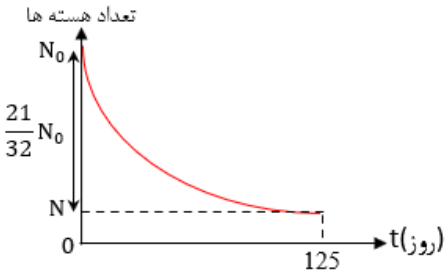
۱) ۸۷/۶

۲) ۵۰

۳) ۲۵

۴) ۱۲/۵

تمرین: نمودار واپاشی هسته های یک ماده پرتوزا برحسب زمان به صورت شکل روبه رو است. نیمه عمر این ماده چند روز است؟



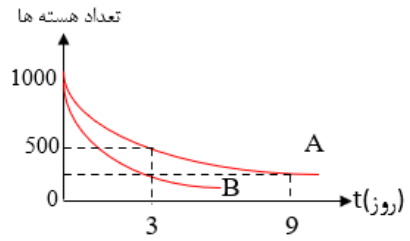
۱) ۵

۲) ۲۵

۳) ۵۰

۴) ۶۲/۵

تمرین: نمودار تعداد هسته های دو ماده پرتوزای A و B بر حسب زمان مطابق شکل مقابل است، پس از چند روز، $\frac{۱}{۳۲}$ هسته های B فعال باقی می ماند؟



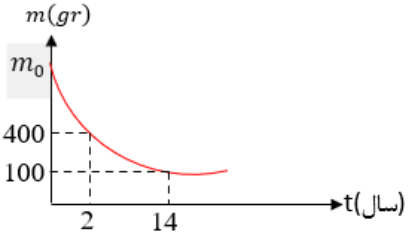
۱) ۳

۲) ۴

۳) ۵

۴) ۶

تمرین: نمودار جرم فعال باقی مانده برحسب زمان برای یک ماده پرتوزا مطابق شکل است. نیمه عمر (برحسب سال) و جرم اولیه (برحسب گرم) برای این ماده به ترتیب از راست به چپ کدام است؟



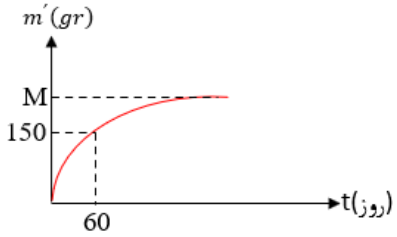
۱) ۶ ، ۱۲۰۰

۲) ۶ ، $400\sqrt[3]{2}$

۳) ۱۲ ، ۱۲۰۰

۴) ۱۲ ، $400\sqrt[3]{2}$

تمرین: در شکل مقابل، نمودار جرم واپاشیده یک ماده رادیواکتیو برحسب زمان برای یک ماده با نیمه عمر ۳۰ روز نشان داده شده است. M چند گرم بوده است؟



۱) ۳۰۰

۲) ۴۵۰

۳) ۶۰۰

۴) ۲۰۰