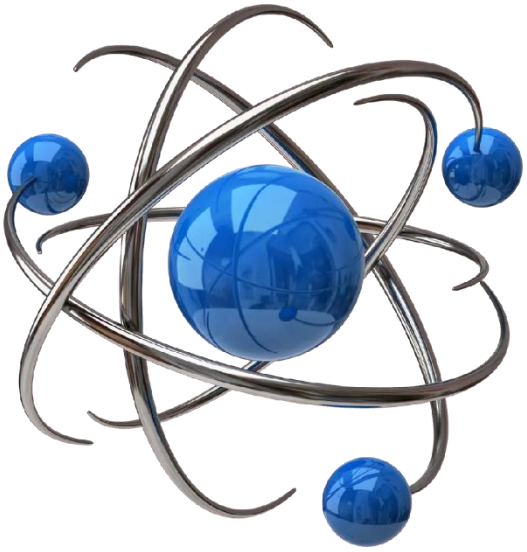


فصل ۴

اتمی و هسته ای

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 رابطه روبه رو به دست می آید.

$$E = hf$$

که f بسامد نور و h ضریب ثابتی به نام «ثابت پلانک» است که مقدار آن برابر $h = 6.63 \times 10^{-34}$ است. با این حساب، اگر یک باریکه نوری شامل n فوتون مشابه باشد، انرژی آن برابر است با :

$$E = nhf$$

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

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

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

توان تابش: 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 می شود:

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

مثال ۱) تعداد فوتون هایی که در یک ثانیه از یک لامپ ۶۰ واتی با نور قرمز گسیل می شود، کدام است؟

$$(h = 6.6 \times 10^{-34}\ j.s\ , c = 3 \times 10^{8}\ \frac{m}{s}\ , \lambda = 6600A°)$$

۱) 2×10^{20} ۲) $\frac{4}{3} \times 10^{20}$ ۳) $\frac{3}{4} \times 10^{20}$ ۴) 3×10^{21}

مثال۲) یک لامپ 200 وات، نور بنفش با طول موج 400 nm گسیل می کند. یک لامپ 200 واتی دیگر نور زرد با طول موج 600 nmگسیل 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؟

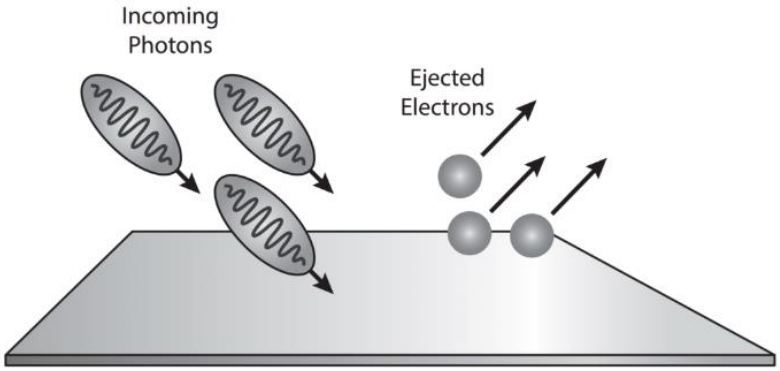
۱) $\frac{2}{3}$ ۲) ۱ ۳) $\frac{3}{2}$ ۴) ۲

مثال ۳) انرژی فوتونی از نور مرئی $3/1ev$ است. این نور چه رنگی است؟ $hc = 1240ev.nm$

۱)بنفش ۲)زرد ۳)آبی ۴)قرمز

اگر بر کلاهک برق نمایی با بار منفی، نور فرابنفشی تابیده شود، مشاهده می شود که انحراف ورقه های آن کاهش می یابد (شکل الف) در حالی که با تابش نور مرئی، تغییری در انحراف ورقه های برق نما رخ نمی دهد (شکل ب). چرا این پدیده اتفاق می افتد؟

آزمایش نشان می دهد وقتی نوری با بسامد مناسب مانند نور فرابنفش به سطح فلزی بتابد الکترون هایی از آن گسیل می شوند . این پدیده فیزیکی را، اثر فوتوالکتریک و الکترون های جدا شده از سطح فلز را فوتوالکترون می نامند.



بنا بر نظر اینشتین، وقتی نوری تکفام بر سطح فلزی می تابد، هر فوتون صرفا با یکی از الکترون های فلز برهم کنش می کند. 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.

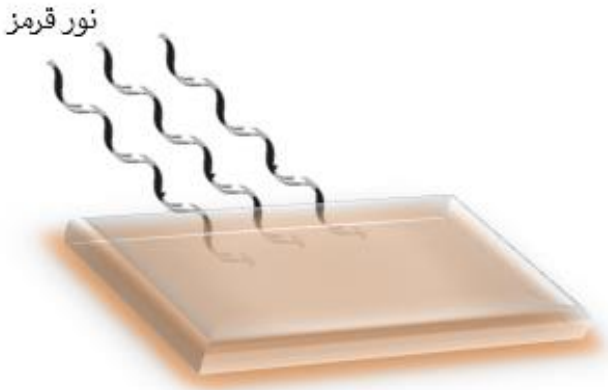
اگر بسامد نور تابیده شده بر سطح فلز از بسامدی موسوم به بسامد آستانه (که به جنس فلز بستگی دارد) کمتر باشد، فوتون ها، حداقل انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از فلز را ندارند و پدیده فوتوالکتریک رخ نمی دهد. همچنین برای نوری که فوتون های آن دارای حداقل انرژی لازم برای وقوع پدیده فوتوالکتریک هستند، افزایش 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 .

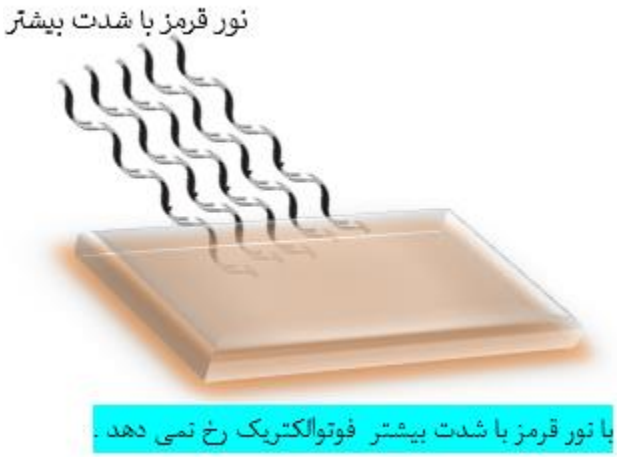
جدا شدن الکترون از سطح فلز، در هر بسامدی رخ نمی دهد. برای رخ دادن این موضوع، بسامد هر فوتون باید از بسامدی موسوم به بسامد آستانه (f_0) بیشتر باشد (در این حالت فوتون حداقل انرژی لازم برای جدا کردن الکترون را دارد). متناظر با بسامد آستانه، می توان پارامتری به نام طول موج آستانه نیز تعریف کرد و داریم

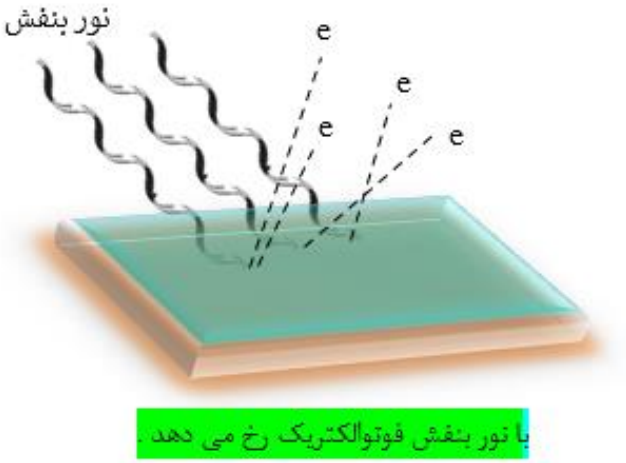
شرط رخ دادن پدیده ی فوتوالکتریک : $f \geq f_0$

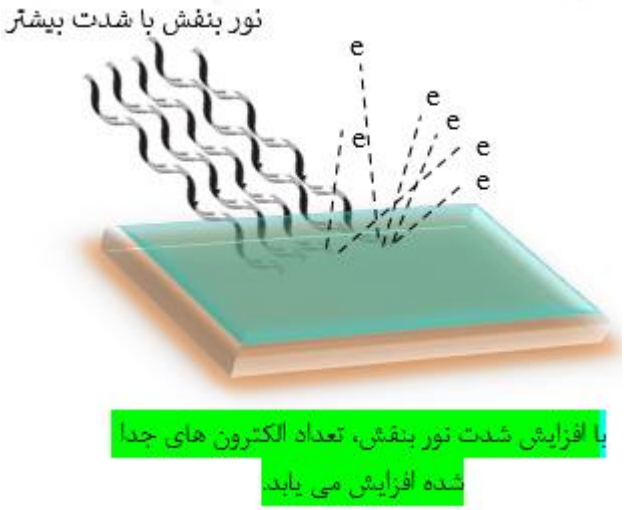
$$\begin{cases} f = \dfrac{c}{\lambda} \\ f_0 = \dfrac{c}{\lambda_0} \end{cases} \xrightarrow{\text{شرط رخ دادن فوتوالکتریک}} f \geq f_0 \Rightarrow \frac{c}{\lambda} \geq \frac{c}{\lambda_0} \Rightarrow \lambda \leq \lambda_0$$

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









همان طور که می دانید 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 الکترون های فلز وارد کند و آنها را به نوسان وا دارد. به این ترتیب، وقتی دامنه نوسان برخی از الکترون ها به قدر کافی بزرگ شود انرژی جنبشی لازم را برای جدا شدن از سطح فلز پیدا می کنند. 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 نمی کند.

☑ 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 ($F = q_0E \Rightarrow F = -eE$) 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 می شود.

☑ آیا از دیدگاه فیزیک کلاسیک هر پرتو نوری می تواند الکترون را از سطح فلز جدا کند یا در این مورد 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 پیش بینی می کند اگر شدت نور کم باشد، با گذشت چند دقیقه الکترون ها انرژی لازم برای جدا شدن را از پرتوها دریافت می کنند و از سطح فلز جدا می شوند.

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

مثال ۴) 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

شدت تابشی :

با استناد به یکی از تمرین های پایان فصل کتاب درسی، شدت تابشی (تایید شده به یک سطح) برابر است با: مقداری انرژی که در در هر ثانیه به سطحی برابر $1m^2$ ، می رسد.

به کمک یکای شدت تابشی یعنی $\left(\frac{w}{m^2}\right)$ به سادگی می توان رابطه ای برای آن به دست آورد:

$$\frac{W}{m^2} = \frac{\frac{J}{s}}{m^2} = \frac{J}{m^2.s} \rightarrow \text{شدت تابش } \ I = \frac{E}{A.t}$$

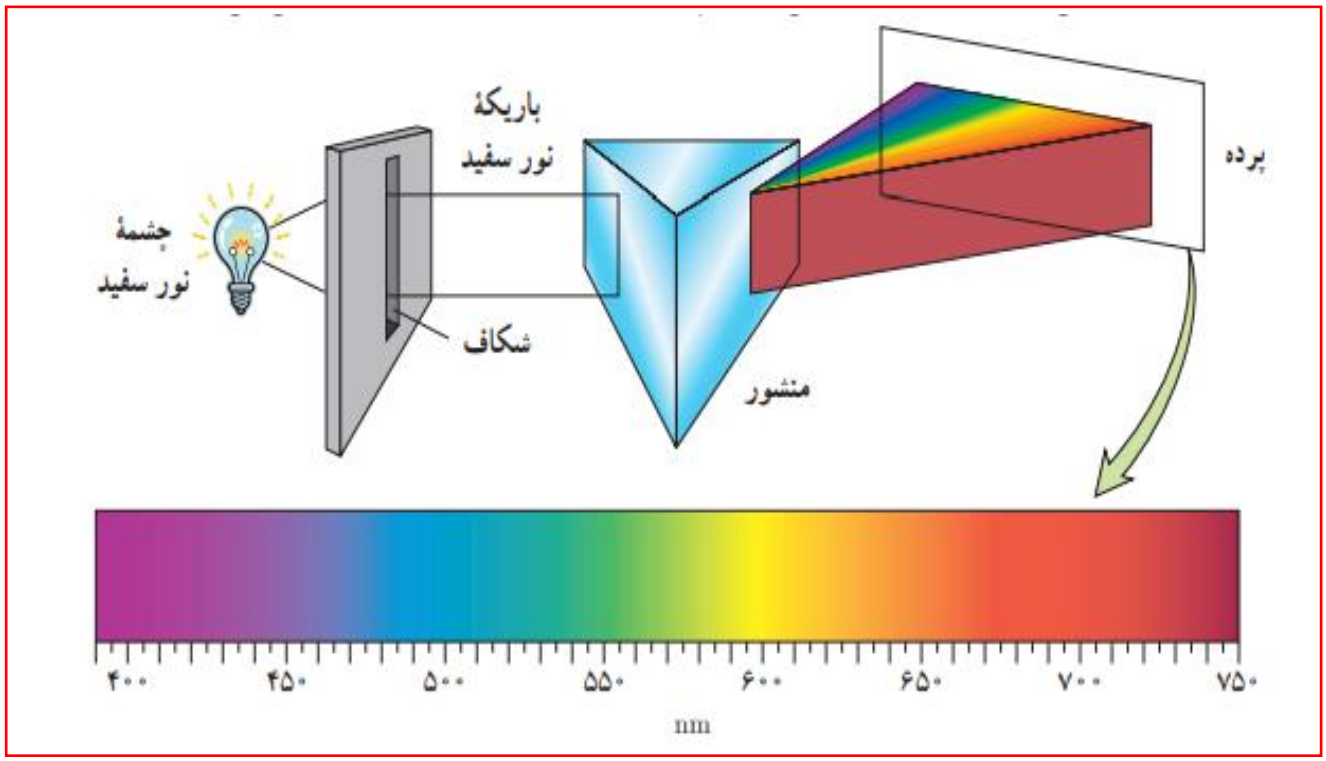
✓ شدت تابشی را با I نمایش داده ایم. در این رابطه، E برحسب ژول (J)، A بر حسب متر مربع (m^2) ، t بر حسب ثانیه (s) و I برحسب $(\frac{w}{m^2})$ وات بر متر مربع است.

مثال ۵) اگر شدت تابش متوسط خورشید در سطح زمین $300\frac{w}{m^2}$ باشد، در هر ثانیه، چند فوتون به یک سطح مستطیل شکل به ابعاد $10cm \times 2cm$ که در معرض نور خورشید قرار دارد، می رسد؟

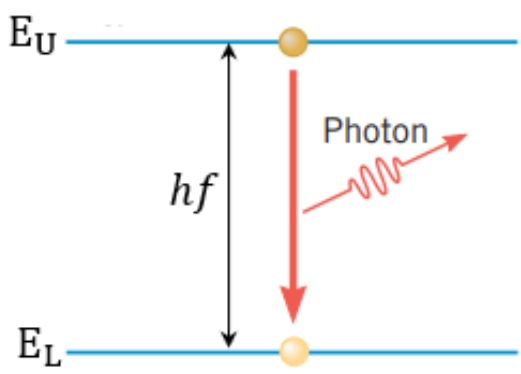
($h = 6.6 \times 10^{-34}\ j.s\ , c = 3 \times 10^8\ \frac{m}{s}$ و طول موج متوسط فوتون ها را 660nm فرض نمایید .)

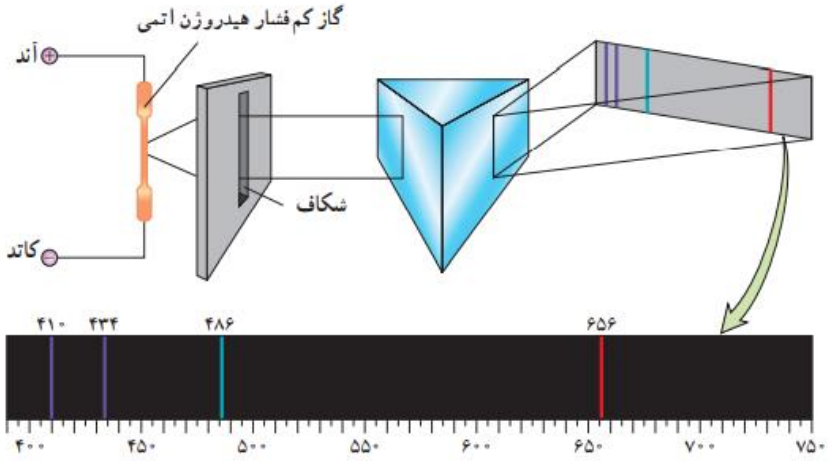
۱) 2×10^{21} ۲) 2×10^{18} ۳) 5×10^{17} ۴) 5×10^{20}

برای یک جسم جامد، نظیر رشته داغ یک لامپ روشن، این امواج شامل گستره پیوسته ای از طول موج هاست. به همین دلیل طیف ایجادشده در این شرایط را طیف گسیلی پیوسته یا به اختصار طیف پیوسته می نامند. 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 اتم های سازنده آن است.



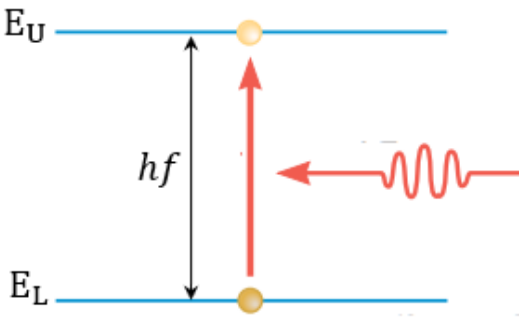
نمونه : نحوه تشکیل طیف گسیلی خطی گاز هیدروژن در بالا نشان داده شده است. درون لامپ مقداری گاز رقیق و کم فشار هیدروژن قرار دارد. اختلاف پتانسیل بالای دو سر لامپ باعث تخلیه الکتریکی در گاز و تابش نور توسط اتم های هیدروژن می شود. این طیف شامل طول موجهای مختلفی است که ۴ تای آنها در ناحیه مرئی قرار دارند.

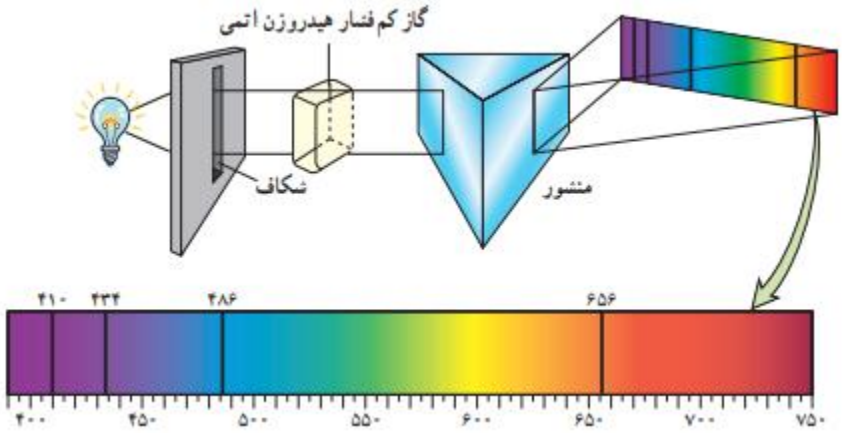




✓ **دو نمونه آشنا از گازهای کم فشار و رقیق، در لامپ های نئون و لامپ های جیوه ای وجود دارد. شکل زیر قسمت های مرئی طیف های خطی این دو گاز را نشان می دهد. طول موج های مرئی خاصی که اتم های این گازها گسیل می کنند به تابلوهای نئونی و لامپ های جیوه ای رنگ های مشخصی می دهند.**

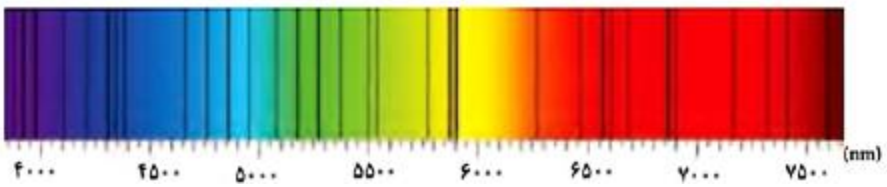
نمونه: باریکه نور سفید یک طیف گسیلی پیوسته است که شامل همه طول موج های مرئی می شود. اگر مطابق شکل ۷، این باریکه را از گاز رقیق هیدروژن عبور و سپس طیف آن را تشکیل دهیم، تعدادی خط سیاه در زمینه روشن پرده به چشم می خورد که این خطوط بیانگر طول موج های جلب شده توسط بخار هیدروژن اند و به «طیف جذبی خطی» معروف اند.



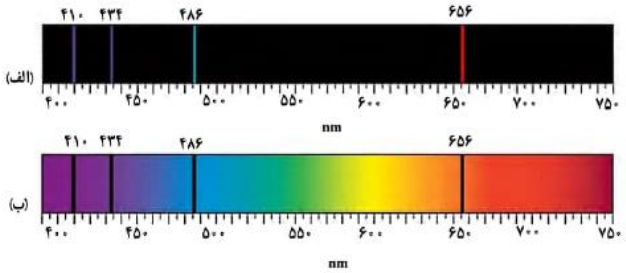


در تابشی که از خورشید گسیل می شود و به زمین می رسد بعضی از طول موج ها وجود ندارند . امروزه می دانیم بسیاری از خط های تاریکی که فرانهوفر در طیف خورشید کشف کرد، ناشی از جذب طول موج های مربوط به این خط ها توسط گازهای جو خورشید است، خط های دیگر به سبب جذب نور در گازهای جو زمین پدید می آیند.

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. الف) خط های روشن در طیف گسیلی معرف طول موج های گسیل شده و ب) خط های تاریک در زمینه طیف، معرف طول موج های جذب شده توسط اتم های گاز هستند.



مثال ۶)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

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.محاسبه طول موج های طیف اتمی هیدروژن :

✓ رابطه ریدبرگ :

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

n : شماره مداری که الکترون از آن خارج می شود

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

$n > n'$

$R = 0.0109 nm^{-1}$

$R \simeq 0.01 nm^{-1}$

نام رشته	عدد رشته(n')	رابطه ریدبرگ	عدد خط(n)	محدودهٔ طول موجی(nm)	گستره طول موج
لیمان	۱	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2})$	$n = 2,3,4,\ldots$	۹۱ تا ۱۲۱	فرابنبش
بالمر	۲	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2})$	$n = 3,4,5,\ldots$	۳۶۵ تا ۶۵۶	فرابنش و مرئی
پاشن	۳	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2})$	$n = 4,5,6,\ldots$	۸۲۰ تا ۱۸۷۵	فروسرخ
براکت	۴	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2})$	$n = 5,6,7,\ldots$	۱۴۵۹ تا ۴۰۵۱	فروسرخ
پفوند	۵	$\frac{1}{\lambda} = R_H(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2})$	$n = 6,7,8,\ldots$	۲۲۷۹ تا ۷۴۵۸	فروسرخ

مثال ۷)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 ؟$(R \simeq 0.01 nm^{-1})$

۱) ۱/۲۰ ۲) ۱/۴۰ ۳) ۲/۸۸ ۴) ۵/۱۰

مثال ۸)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 فاصله بین n و n' بیشتر باشد فرکانس فوتون تابش توسط الکترون بیشتر خواهد بود و در نتیجه طول موج کمتر هر چه فاصله یبین n و n' کمتر باشد فرکانس فوتون کمتر و طول موج تابش بیشتر خواهد بود.

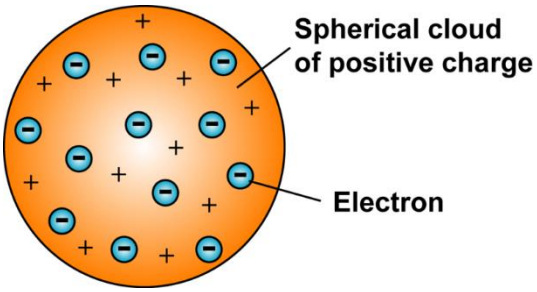
مثال ۹)در اتم هیدروژن، بلندترین طول موج سری بالمر چند برابر کوتاه ترین طول موج سری پاشن است؟

۱) ۲ ۲) $\frac{9}{20}$ ۳) $\frac{4}{9}$ ۴) $\frac{4}{5}$

مثال ۱۰) بلند ترین طول موج نور مرئی اتم هیدروژن چند نانومتر است؟ (($R \cong 0.01(nm^{-1})$)

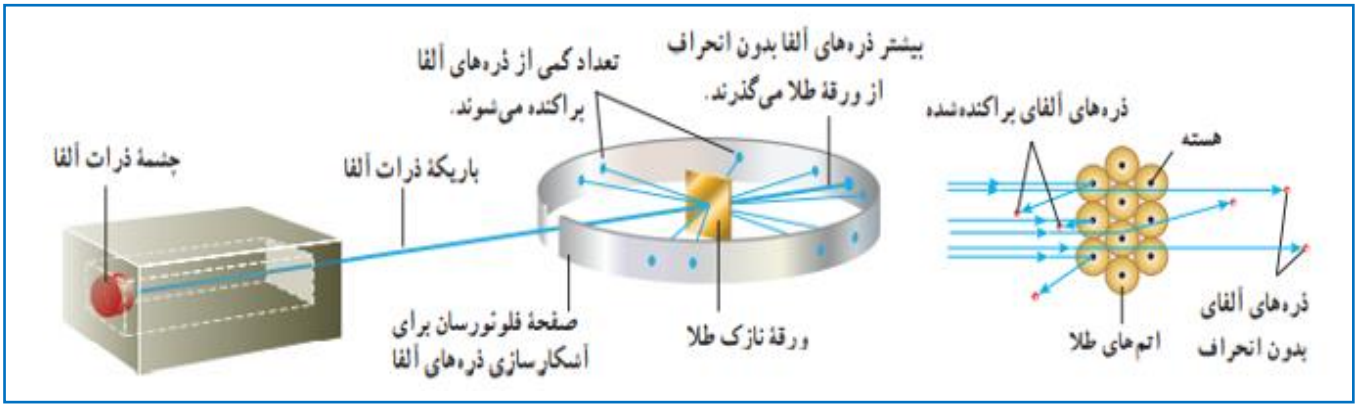
۱) ۴۵۰ ۲) ۵۵۰ ۳) ۷۲۰ ۴) ۸۰۰

جوزف تامسون فیزیکدان انگلیسی، در سال 1896 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 1904 میلادی ارائه شد. بنا بر مدل تامسون، اتم همچون کره ای است که بار مثبت به طور همگن در سرتاسر آن گسترده شده است و الکترون ها 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 الکترون ها مانند دانه های کشمش در آن پخش شده اند



در مدل اتمی تامسون، وقتی الکترون ها با بسامدهای معینی حول وضع تعادلشان نوسان می کنند این نوسان سبب تابش امواج الکترومغناطیسی از اتم می شود. یکی از ناکامی های مدل تامسون این بود که بسامدهای تابش گسیل شده از اتم، که این مدل پیش بینی می کرد، با نتایج تجربی سازگار نبود.

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

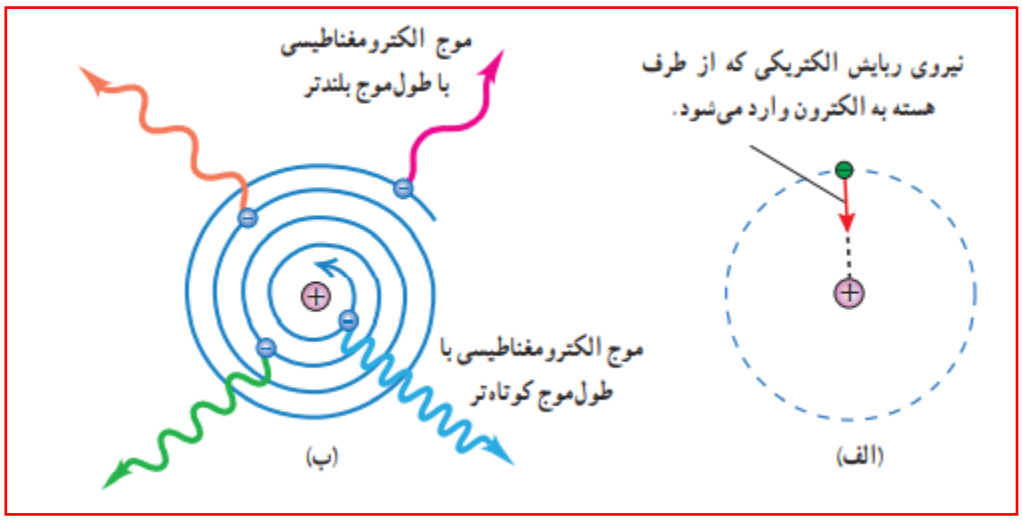


رادرفورد بنابر مدل تامسون انتظار داشت که تمامی ذره های آلفا، با انحراف بسیار اندکی از ورقه طلا بگذرند. در عمل نیز بیشتر این ذره ها بدون انحراف یا با انحراف اندکی از ورقه طلا می گذشتند و در برخورد با صفحه فلوئورسان، در پشت آن، جرقه های نورانی تولید می کردند. با وجود این، برخی از ذره های آلفا در هنگام خروج از ورقه نازک طلا، در زاویه های بزرگ منحرف و پراکنده می شدند و حتی تعدادی از آنها نیز به عقب بر می گشتند! 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 شده اند. وی سرانجام نتیجه گرفت باید هسته ای 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 $\left(\text{شعاع} \cong 10^{-15}\right)$ و با بار مثبت است که با تعدادی الکترون در فاصله هایی به نسبت دور احاطه شده است. در حالت طبیعی، اتم از نظر الکتریکی خنثاست؛ زیرا بار مثبت هسته، درست مساوی مجموع بار منفی الکترون هایی است که هسته را در بر گرفته اند. مدل اتمی رادرفورد که آن را مدل اتم هسته ای یا مدل هسته ای اتم می نامند، در مواردی با موفقیت همراه بود، ولی با چالش های تازه ای 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 چالش ها پاسخ دهد.»

اگر الکترون ها 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 نمی آید. همچنین اگر الکترون ها، مانند سیاره های منظومه خورشیدی که دور خورشید می چرخند، به دور هسته در گردش باشند، باز هم این حرکت پایدار نمی ماند. 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.



مثال ۱۱) 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) یک مورد ۲) دو مورد ۳) سه مورد ۴) چهار مورد

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 می توانند مقادیر مشخصی را داشته باشند. شعاع مدارهای الکترون از

رابطه زیر به دست می آید. $r_n = n^2 a_0, (n = 1,2,3,\dots)$

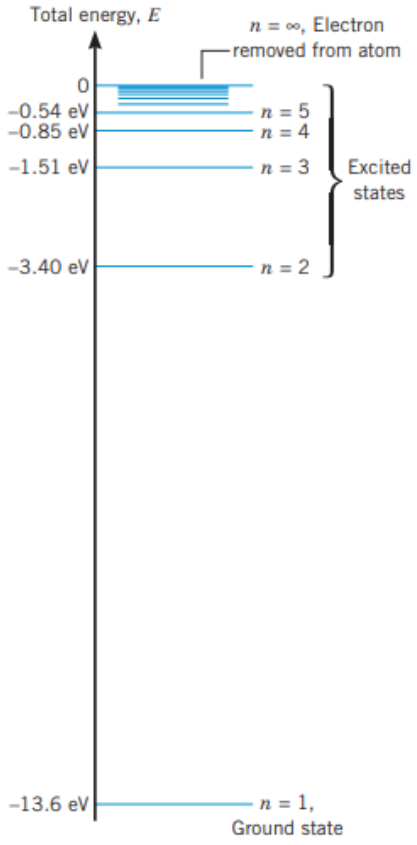
a_0 شعاع شعاع کوچک ترین مدار اتم هیدروژن (شعاع مدار اول) و مقدار آن

$(a_0 = 0.529A°)$ است و n عدد کوانتومی نام دارد. (شکل الف)

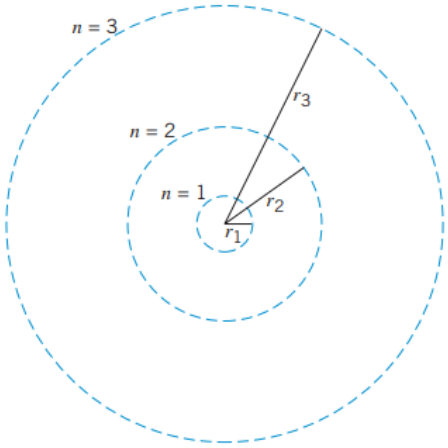
انرژی الکترون در مدار n ام از رابطه زیر به دست می آید:

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

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



$E_R = 13/6eV = 1$ ریدبرگ



نکته : 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:

انرژی یونش $= |E_1| = 13/6eV$

چند نکته در اتم هیدروژن:	
۱	هنگامی که الکترون در پایین ترین تراز انرژی قرار دارد، می گویند الکترون در حالت پایه» قرار دارد.
۲	ترازهای بالاتر از n $(n > 1)$ اصطلاحاً حالت های برانگیخته نامیده می شود
۳	با افزایش n ترازهای انرژی حالت های برانگیخته به هم نزدیک و نزدیک تر می شوند.
۴	در اتم هیدروژن و در دمای اتاق، الکترون اغلب در حالت پایه قرار دارد.
۵	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 $(n = 1)$ به بالاترین حالت برانگیخته ی ممکن $(n = \infty)$ مقدار ۱۳/۶eV (که به آن معمولاً یک ریدبرگ گویند) انرژی باید صرف شود. ریدبرگ $1\ E_R = 13/6eV$
۶	در اتم هیدروژن، در اولین حالت برانگیخته، الکترون در $n = 2$ قرار دارد. در دومین حالت برانگیخته در $n = 3$ 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.)

مثال ۱۲) طبق مدل اتمی بور، در اتم هیدروژن الکترونی از مدار $n=2$ (با تراز انرژی E) به مدار $n=3$ (با تراز انرژی E') و سپس از مدار $n=3$ به مدار $n=4$ (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 $(E''-E')<(E'-E)$

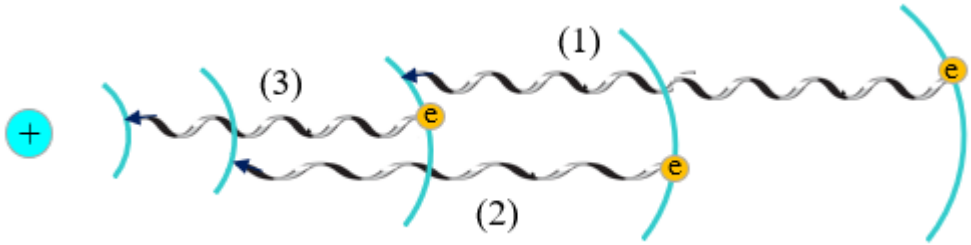
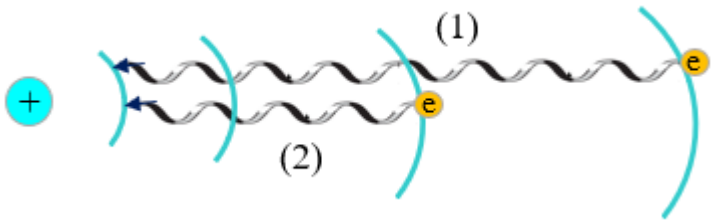
۳) $E''<E'<E$ و $|E''-E'|>|E'-E|$

۴) $E''<E'<E$ و $|E''-E'|<|E'-E|$

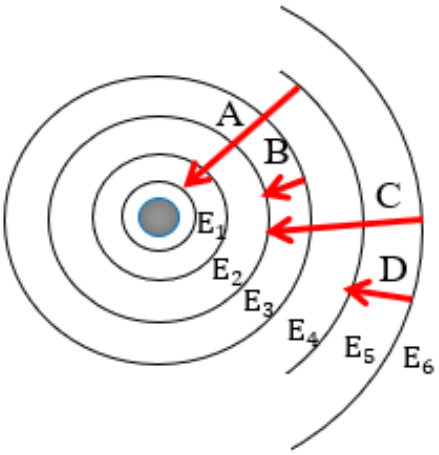
مثال ۱۳) انرژی لازم برای این که الکترونی از سومین حالت برانگیخته اتم هیدروژن به چهارمین حالت برانگیخته ی اتم هیدروژن، جهش کند، چند ریدبرگ است؟

۱) $\frac{7}{144}$ ۲) $\frac{9}{400}$ ۳) $\frac{1}{12}$ ۴) $\frac{2}{20}$

✓ برای مقایسه 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.  $E_1 > E_2$
نکته : ترتیب مقایسه انرژی نزدیکی به هسته و بعد از آن فاصله بین مدارها است	

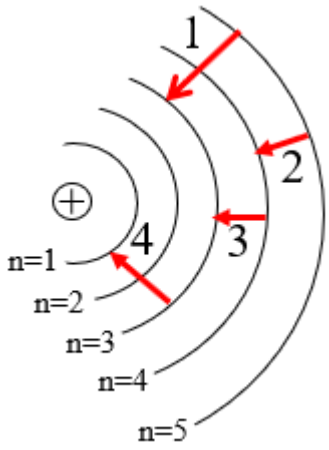
مثال ۱۴) شـــکل روبه رو، مدارهای الکترون در الگوی بور برای اتم هیدروژن را نشـــان می دهد. در کدام گســـیل، طول موج وابسته به فوتون تابش شده، بلندتر است؟



۱) A ۲) B

۳) C ۴) D

مثال ۱۵)در شکل روبه رو 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.

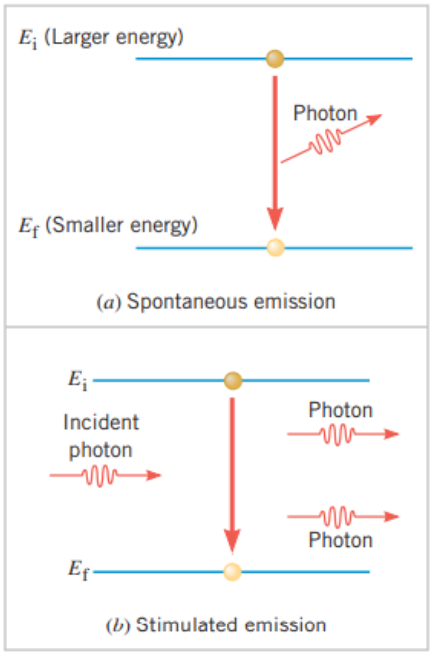
پ) کم ترین بسامد مربوط به گذار (۲) است.

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

۱) صفر ۲) ۱ ۳) ۲ ۴) ۳

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 (کاتوره ای گسیل می کند (شکل مقابل). این فرایند را «گسیل خود به خود می گویند.

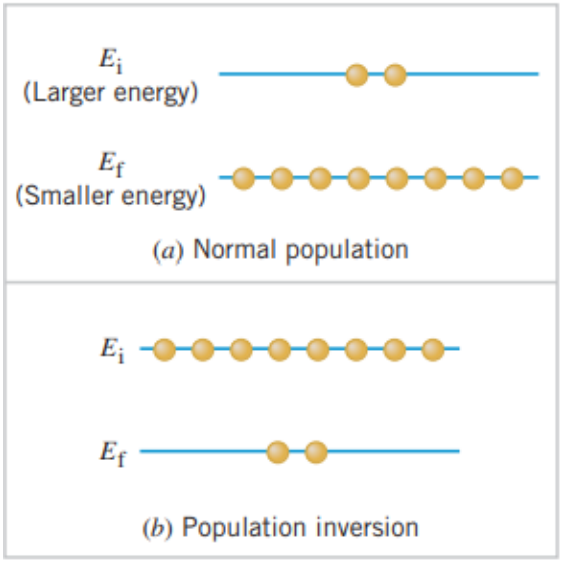
گسیل القایی که برای نخستین بار در سال 1917 میلادی توسط انیشتن مطرح شد، یک فوتون ورودی، الکترون برانگیخته را تحریک (یا القا می کند تا تراز انرژی خود را تغییر دهد و به تراز پایین تر برود. برای گسیل القایی، انرژی فوتون ورودی باید دقیقاً با اختلاف انرژی های دو تراز یعنی $E_U - E_L$ یکسان باشد.



ویژگی های گسیل القایی:

۱	یک فوتون به اتم وارد و دو فوتون از آن خارج می شوند.
۲	فوتون القایی هم جهت با فوتون فرودی حرکت می کند.

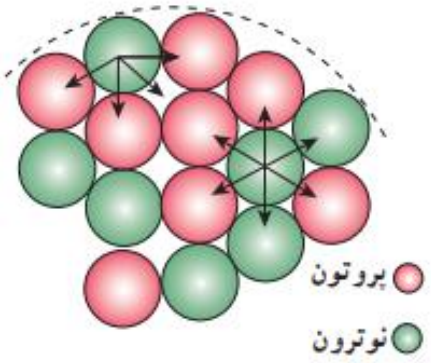
۳	فوتون های فرودی و القایی هم بسامد، هم جهت و هم فازند



در گسیل القایی یک چشمه انرژی خارجی مناسب باید وجود داشته باشد تا الکترون ها را به ترازهای انرژی بالاتر برانگیخته کند. این انرژی می تواند به روش های متعددی از جمله درخش های شدید نور معمولی و یا تخلیه های ولتاژ بالا فراهم شود. اگر انرژی کافی به اتم ها داده شود، الکترون های بیشتری به تراز انرژی بالاتر برانگیخته خواهند شد، شرطی که به وارونی جمعیت معروف است

وارونی جمعیت الکترون ها در یک محیط لیزری، مربوط به وضعیتی است که تعداد الکترون ها در ترازهایی موسوم به ترازهای شبه پایدار نسبت به تراز پایین تر بسیار بیشتر باشند. در این ترازها، الکترون ها مدت زمان بسیار طولانی تری $(10^{-3}s)$نسبت به حالت برانگیخته معمولی $(10^{-8}s)$ باقی می مانند. این زمان طولانی تر، فرصت بیشتری برای افزایش وارونی جمعیت و در نتیجه تقویت نور لیزر فراهم می کند .

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 $2fm$می باشد و اگر فاصله نوکلئون ها از $2fm$ 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.



مثال ۱۶) 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) $F > F' > F''$

نوع واپاشای	توضیح	معادله واپاشی	تغییر مکان در جدول تناوبی عنصرها
آلفا	*ذره α همان هسته ی اتم هلیم است : $\alpha = {}_2^4He^{2+}$ *تابش عدد α باعث می شود ۲ واحد از عدد اتمی و ۴ واحد از عدد جرمی کم شود. این ذرات پس ازطی مسافت ۱ تا۲ سانتی متر در هوا جذب می شوند و در صورت ورود به بدن ، باعث تخریب بافت ها می شوند.	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4\alpha$ ${}_{92}^{238}U \rightarrow {}_{90}^{236}Th + {}_2^4\alpha$	دو خانه به عقب
بتای منفی	ذره ی بتای منی (β^-) همان الکترون است: $\beta^- = {}_{-1}^0e^-$ با تابش ذره β^- ، عدد جرمی تغییر نمی کند ، ولی عدد اتمی یک واحد افزایش می یابد .	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^0\beta^-$ ${}_{92}^{238}Th \rightarrow {}_{91}^{234}Pa + {}_{-1}^0\beta^-$	یک خانه به جلو
بتای مثبت	ذره ی بتای مثبت (β^+) را پوزیترون می گویند . پوزیترون جرم الکترون و بار پروتون را دارد $\beta^+ = {}_{+1}^0e^+$ با تابش β^+ ، عدد جرمی تغییر نمی کند ، ولی عدد اتمی یک واحد کاهش می یابد.	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + {}_{+1}^0\beta^+$ ${}_{11}^{22}Na \rightarrow {}_{10}^{23}Na + {}_{+1}^0\beta^+$	یک خانه به عقب
گاما	هسته های برانگیخته با گسل فوتون گاما ، به حالت پایه بر می گردند. در این روش ، عدد جرمی و عدد اتمی تغییر نمی کنند.	${}_Z^AX^* \rightarrow {}_Z^AX + {}_0^0\gamma$ ${}_{43}^{99}T^* \rightarrow {}_{43}^{99}T + {}_0^0\gamma$	بدون تغییر
نوترون زا	عدد جرمی یک واحد تابش و عدد اتمی تغییری نمی کند پس خاصیت شیمیای تغییر نخواهد کرد	${}_Z^AX \rightarrow {}_Z^{A-1}X + {}_0^1n$	بدون تغییر

نمادهای زیر را به خاطر بسپارید :

$$_{2}^{4}\alpha \ ، \ _{-1}^{0}\beta \ ، \ _{+1}^{0}\beta \ ، \ _{0}^{0}\gamma \ ، \ _{0}^{1}n$$

مثال ۱۷) در واکنش هسته ای $\cdots + \cdots + {}_{Z}^{A-8}Y \rightarrow {}_{Z}^{A}X$ 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

مثال ۱۸) در واکنش $_{92}^{237}X \rightarrow Y + 3\alpha + \beta^{-}$ تعداد نوکلئون های Y چقدر است؟

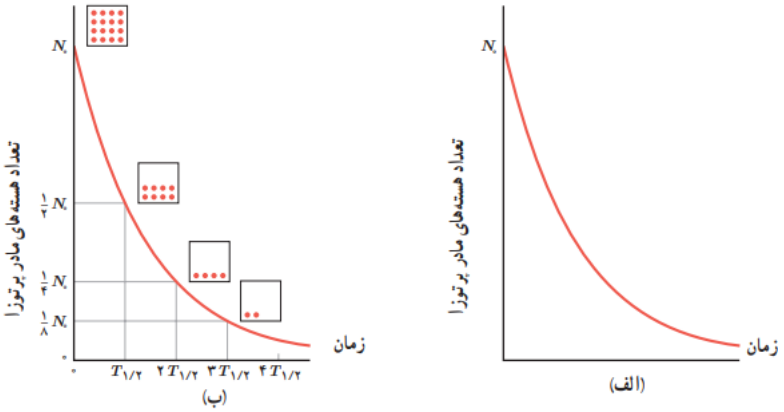
۱) ۲۲۴ ۲) ۲۲۵ ۳) ۲۲۶ ۴) ۲۲۸

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.

نکته: 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 :

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



مثال ۱۹) تعداد هسته های اولیهٔ یک ماده رادیو اکتیو $N_0 = 1600$ است . اگر نیمه عمر این ماده ۶ ساعت باشد ، بعد از چند ساعت ، ۲۰۰ هستهٔ آن فعال باقی می ماند ؟

۱) ۱۲ ۲) ۱۸ ۳) ۳۶ ۴) ۴۸

مثال ۲۰) نیمه عمر بیسموت ۲۱۲ در حدود ۶۰ دقیقه است . پس از گذشت چهار ساعت ، چه کسری از ماده اولیه واپاشیده می شود ؟

۱) $\frac{1}{16}$ ۲) $\frac{1}{8}$ ۳) $\frac{7}{8}$ ۴) $\frac{15}{16}$

مثال ۲۱) نیمه عمر ایزوتوپی از بیسموت ۱ ساعت است . شکل رو به رو نمودار تعداد هسته های مادر پرتوزای این ایزوتوپ را بر حسب زمان نشان می دهد . T1 چند ساعت است ؟ (تجربی دی ۱۴۰۲)