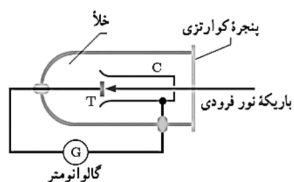


### فصل پنجم: آشنایی با فیزیک اتمی

حوزه‌های فیزیک، از جمله مکانیک نیوتونی، ترمودینامیک و نظریه الکترومغناطیس ماکسول امروزه به نام فیزیک کلاسیک شناخته می‌شود. نسبت خاص (مربوط به مطالعه پدیده‌ها در تندی‌های بسیار زیاد و قابل مقایسه با تندی نور)، نظریه نسبیت عام (مربوط به مطالعه هندسه فضا زمان و گرانش) و نظریه کوانتومی (مربوط به مطالعه پدیده‌ها در مقیاس‌های بسیار کوچک، مانند اتم‌ها و ذره‌های سازنده آنها) سه نظریه فیزیک جدید هستند.



**اثر فوتوالکتریک و فوتون:** وقتی نوری با بسامد مناسب مانند نور فرابنفش به سطحی فلزی بتابد الکترون‌هایی از آن گسیل می‌شوند. این پدیده فیزیکی را، **اثر فوتوالکتریک** و الکترون‌های جدا شده از سطح فلز را **فوتوالکترون** می‌نامند. در اثر فوتوالکتریک الکترون‌ها، انرژی نور فرودی را جذب می‌کنند و از سطح فلز خارج می‌شوند. برای بررسی اثر فوتوالکتریک از دستگاهی مطابق شکل روبرو استفاده می‌شود:



در اثر فوتوالکتریک، نوری تکفام با بسامدی به قدر کافی بالا، الکترون‌ها را از سطح صفحه فلزی T بیرون می‌آورد. این فوتوالکترون‌ها، به طرف جمع کننده C می‌روند و جریانی را در مدار به وجود می‌آورند.

با افزایش شدت این نور، گالوانومتر عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد، حال آنکه آزمایش نشان می‌دهد که اگر بسامد نور فرودی از مقدار معینی کمتر باشد، هر چقدر هم که شدت نور فرودی افزایش یابد این پدیده رخ نمی‌دهد و گالوانومتر عبور جریانی را نشان نمی‌دهد.

**توجیه فیزیک کلاسیک درباره فوتوالکتریک:** هنگام برهم کنش موج الکترومغناطیس (نور فرودی) با سطح فلز، میدان الکتریکی این موج، نیروی  $F = -eE$  به الکترون‌های فلز وارد کند و آنها را به نوسان وادارد. 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.

#### مشکل فیزیک کلاسیک در توجیه اثر فوتوالکتریک:

(۱) بنا به این دیدگاه کلاسیکی، این پدیده باید با هر بسامدی رخ دهد در حالی که این نتیجه با تجربه سازگار نیست.

(۲) یکی دیگر از پیامدهای نظریه الکترومغناطیسی ماکسول این است که شدت نور با مربع دامنه میدان الکتریکی موج الکترومغناطیسی متناسب است ( $I \propto E^2$ ). به این ترتیب انتظار می‌رود به ازای یک بسامد معین، اگر شدت نور فرودی بر سطح فلز را افزایش دهیم باید الکترون‌ها با انرژی جنبشی بیشتری از فلز خارج شوند، نتیجه‌ای که تجربه آن را تأیید نمی‌کند.

اینشتین در نظریه فوتوالکتریک فرض کرد که نور با بسامد  $f$  را می‌توان به صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی در نظر گرفت. هر بسته انرژی، که بعدها **فوتون** نامیده شد، دارای انرژی‌ای است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E = hf \Rightarrow E = \frac{hc}{\lambda}$$

در این رابطه  $h$  ثابت پلانک نامیده می‌شود و به طور تجربی معلوم شده است که مقدار آن  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  است.



در حالت کلی  $E = nhf$  که  $n$  یک عدد صحیح مثبت است و معرف تعداد کوانتوم‌های انرژی ( $hf$ ) می‌باشد و عدد کوانتومی نام دارد.

❖ با مقیاس بزرگ انرژی را با یکای ژول می‌سنجیم. (ژول برابر انرژی بار الکولنی، تحت ولتاژ اولت است  $U = qV$ ). در قلمرو اتمی، ژول یکای بزرگی است و معمولاً از یکای کوچک تری به نام الکترون ولت ( $eV$ ) استفاده می‌کنیم که با عبارت مقدار انرژی یک الکترون تحت ولتاژ اولت، تعریف می‌شود.

$$1eV = 1/6 \times 10^{-19} J$$

❖ ثابت پلانک برحسب  $eV \cdot s$  برابر است با  $h = 4 \times 10^{-15} eV \cdot s$

❖ کمیت  $hc$  در بسیاری از محاسبه‌های این فصل لازم است. با جاگذاری مقادیر آن داریم:

❖ اگر  $h$  را برحسب  $V \cdot s$  و سرعت نور را برحسب  $nm$  برثانیه بنویسیم داریم:  $hc = 1240 eV \cdot nm$  (بهتر است حفظ شود).

**تفسیر کوانتومی پدیده فوتوالکتریک (نظریه ای اینشتین):** هنگامی که نور به سطح فلز می‌تابد، یک فوتون با انرژی  $hf$ ، به طور کامل توسط فقط یک الکترون جذب شده و انرژی خود را به الکترون می‌دهد، بخشی از انرژی صرف کندن الکترون شده ( $W$ ) و باقی مانده صرف انرژی جنبشی فوتوالکتریک گسیل شده از سطح فلز می‌شود. ( $K$ )  
 $hf = W + K$  قانون پایستگی انرژی در اثر فوتو الکتریک

$W$  کار(انرژی) لازم برای خارج کردن الکترون‌ها از سطح یک فلز و  $K$  انرژی جنبشی آنها پس از جدا شدن از سطح آن فلز است. انرژی جنبشی سریع‌ترین فوتوالکتریک‌های گسیل شده از آن برابر خواهد بود با:

$$K_{max} = hf - W_0$$

$W_0$  را تابع کار فلز می‌نامند که به جنس فلز بستگی دارد و کمینه کار لازم برای خارج کردن یک الکترون از یک فلز معین است.

**بسامد قطع  $f_0$  (طول موج قطع  $\lambda_0$ ):** کمترین بسامدی (بلند ترین طول موج) که می تواند اثر فتوالکتریک را ایجاد کند. در این بسامد (طول موج) انرژی فوتون درست به اندازه ای است که بتواند فوتوالکتریک را از جا بکند و اضافه بر این چیزی نمی ماند که به شکل انرژی جنبشی ظاهر شود. اگر  $f$  کم تر از  $f_0$  باشد ( $\lambda$  بزرگ تر از  $\lambda_0$ ) تک فوتون ها، انرژی کافی برای کندن فوتوالکتریک نخواهند داشت و هیچ فرقی هم نمی کند که تعداد آن ها چقدر باشد، یعنی هیچ فرقی نمی کند که تابش نور چقدر شدید باشد.

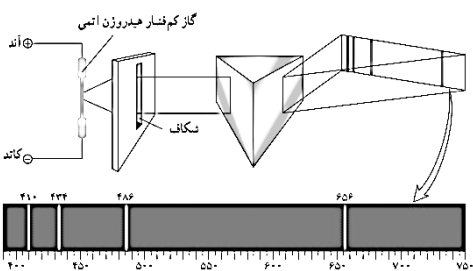
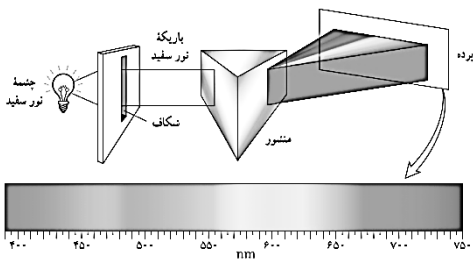
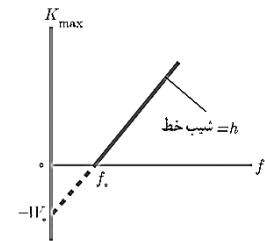
$$K_{max} = 0 \Rightarrow hf_0 = W_0 \Rightarrow f_0 = \frac{W_0}{h} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{hc}{W_0}$$

نمودار بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکتریک‌ها بر حسب بسامد نور فرودی به صورت شکل روبروست. وقتی بسامد نور فرودی بزرگ تر از  $f_0$  یا مساوی با آن باشد فوتون‌ها می توانند الکترون‌ها را از فلز خارج کنند. در بسامد آستانه الکترون بدون هیچ انرژی جنبشی‌ای در آستانه ترک فلز است.

$$\lambda_0 = \frac{hc}{W_0} \text{ (طول موج قطع)} \quad f_0 = \frac{W_0}{h} \text{ (بسامد آستانه فوتو الکترون ها)}$$

شکست مدل موج الکترومغناطیسی در توضیح برخی پدیده‌ها مانند اثر فوتوالکتریک به این معنی نیست که مدل موجی نور باید کنار گذاشته شود. ولی، باید متوجه باشیم که مدل موجی، تمام ویژگی های نور را دربر ندارد و به همین دلیل قادر نیست توجیه درستی از تمامی پدیده‌های فیزیکی مرتبط با برهم کنش نور با ماده را ارائه کند.

**طیف خطی:** همه اجسام در هر دمایی که باشند، از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل (نشر) می‌کنند که به آن تابش گرمایی گفته می‌شود. اجسام در دماهای بالا از سطح خود نور مرئی گسیل می‌کنند. در دماهای معمولی، بیشتر تابش گسیل شده از سطح اجسام در ناحیه فرورسرخ طیف قرار دارد. برای یک جسم جامد، نظیر رشته داغ یک لامپ روشن، این امواج شامل گستره پیوسته‌ای از طول موج‌هاست که آن را **طیف گسیلی پیوسته** یا به اختصار **طیف پیوسته** می‌نامند. تشکیل طیف پیوسته توسط جسم جامد، ناشی از برهم کنش قوی بین اتم‌های سازنده آن است.



گازهای کم فشار و رقیق، که اتم‌های منفرد آنها از برهم کنش‌های قوی موجود در جسم جامد آزادند به جای طیف پیوسته، طیفی گسسته را گسیل می‌کنند که شامل طول موج‌های معینی است. این طیف گسسته را، معمولاً **طیف گسیلی خطی** یا به اختصار **طیف خطی** می‌نامند و طول موج‌های ایجادشده در آن، برای اتم‌های هر گاز منحصر به فرد هستند و سرنخ‌های مهمی را درباره نوع و ساختار اتم‌های آن گاز به دست می‌دهند.

❖ طیف خطی ایجاد شده و همچنین رنگ نور گسیل شده، به نوع گاز درون لامپ بستگی دارد.

❖ طیف خطی هر عنصر، مانند اثر انگشت انسان‌ها، از ویژگی‌های منحصر به فرد هر اتم است. لذا به کمک طیف‌نمایی میتوان عناصر را از هم تشخیص داد.

❖ طیف گسیلی اجسام جامد ملتهب، پیوسته و مانند هم می‌باشند. لذا به کمک این طیف نمی‌توان عناصر را از یکدیگر تشخیص داد.

❖ این که چرا هر عنصر طول موج‌های خاص خود را تابش می‌کند و این که چرا هر عنصر تنها طول موج‌های خاصی را جذب می‌کند و بقیه‌ی طول موج‌ها را جذب نمی‌کند از دیدگاه فیزیک کلاسیک قابل توجیه نیست.

**رابطه‌ی ریذبرگ:** طول موج تمامی خطوط طیف اتم هیدروژن را با استفاده از رابطه‌ی زیر که به رابطه‌ی ریذبرگ مشهور است، به دست آورد:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad R_H = 0.011(nm)^{-1}, \quad n' < n$$

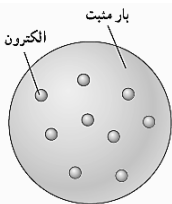
که در آن  $R_H$  ثابت ریذبرگ برای اتم هیدروژن نامیده می‌شود.  $n$  شماره‌ی تراز بالاتر است که الکترون ابتدا روی آن قرار داشته و  $n'$  شماره‌ی تراز پایین‌تر است که الکترون روی آن فرود می‌آید. دقت کنید که طول موج در این رابطه، برحسب نانومتر است.

- ❖ به ازای هر مقدار معین  $n'$ ، مجموعه‌ی طول موج‌های به دست آمده از رابطه‌ی ریذبرگ - بالمر را یک رشته می‌نامند.
- ❖ به ازای کوچک‌ترین مقدار ممکن  $n$  (یعنی  $n'+1$ ) در هر رشته، بلندترین طول موج خطوط آن رشته یا حد بالایی رشته به دست می‌آید.
- ❖ هر چه  $n$  بزرگتر باشد، طول موج‌های کوتاه‌تری می‌شوند پس، به ازای  $n \rightarrow \infty$ ، کوتاهترین طول موج خطوط هر رشته یا حد پایینی رشته پیدا می‌شود.

$$n = \infty \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{\min}} = R_H \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{\infty} \right) \Rightarrow \lambda_{\min} = \frac{n'^2}{R_H} \quad n = n'+1 \Rightarrow \frac{1}{\lambda_{\max}} = R_H \left( \frac{1}{n'^2} - \frac{1}{(n'+1)^2} \right)$$

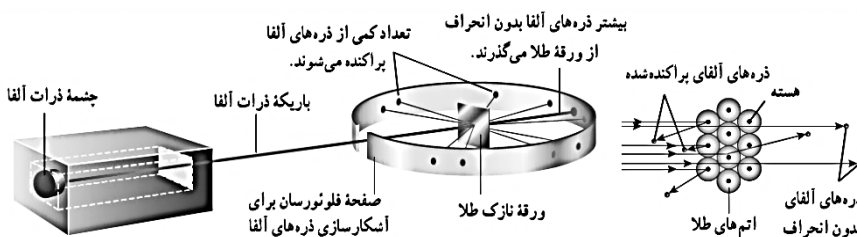
نام رشته	مقدار $n'$	رابطه‌ی ریذبرگ	مقدارهای $n$	گستره‌ی طول موج
لیمان	$n' = 1$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 2, 3, 4 \dots$	فرابنفش
بالمر	$n' = 2$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 3, 4, 5 \dots$	فرابنفش و مرئی
پاشن	$n' = 3$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 4, 5, 6 \dots$	فرو سرخ
براکت	$n' = 4$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 5, 6, 7 \dots$	فرو سرخ
پفوند	$n' = 5$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 6, 7, 8 \dots$	فرو سرخ

به ازای  $n'=2$  رشته بالمر به دست می‌آید که در ناحیه مرئی طیف قرار دارد.



**مدل اتمی تامسون (مدل کیک کشمش‌ی):** جوزف تامسون موفق به کشف الکترون و اندازه‌گیری نسبت بار به جرم ( $e/m$ ) آن شد. در مدل تامسون، اتم همچون کروی است که بار مثبت به طور همگن در سرتاسر آن گسترده شده‌است و الکترون‌ها که سهم ناچیزی در جرم اتم دارند در جاهای مختلف آن پراکنده شده‌اند. این مدل را گاهی مدل کیک کشمش‌ی هم می‌گویند. در مدل اتمی تامسون، وقتی الکترون‌ها با بسامدهای معینی حول وضع تعادلشان نوسان می‌کنند این نوسان سبب تابش امواج الکترومغناطیسی از اتم می‌شود. بسامدهای تابش گسیل شده از اتم، که مدل اتمی تامسون پیش بینی می‌کرد، با نتایج تجربی سازگار نبود.

**نتیجه آزمایش رادرفورد:** ارنست رادرفورد باریکه‌های از ذره‌های دارای بار مثبت (هسته اتم هلیوم یا ذره آلفا) بر سطح ورقه‌های نازک از جنس طلا فرو تاباند و نتیجه گرفت باید هسته‌ای چگال و دارای بار مثبت در مرکز هراتم باشد.



بنا بر مدل رادرفورد (مدل هسته‌ای اتم)، اتم دارای یک هسته بسیار چگال و کوچک ( $10^{-15}$  شعاع هسته) و با بار مثبت است که با تعدادی الکترون در فاصله‌هایی به نسبت دور احاطه شده است.

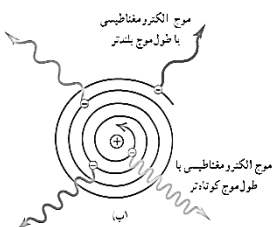
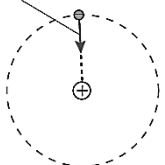
**مدل اتمی رادرفورد:** در این مدل، همه‌ی بار مثبت اتم، در یک ناحیه مرکزی با حجم بسیار کوچکی به نام هسته، متمرکز شده و اطراف آن را الکترون‌ها با بار منفی در فاصله‌ی زیاد احاطه کرده‌اند، به گونه‌ای که می‌توان گفت: فضای بین الکترون‌ها خال می‌باشد.

### اشکالات مدل اتمی رادرفورد:

(۱) اگر الکترون‌ها در اطراف هسته، ساکن باشند، نیروی جاذبه‌ی الکتریکی بین هسته و الکترون‌ها، باعث می‌شود الکترون روی هسته سقوط کند. یعنی ساختار داخلی اتم، فرو می‌ریزد، در صورتی که اتم پایدار است.

(۲) اگر الکترون‌ها، مانند سیاره‌های منظومه خورشیدی، که به دور خورشید در حرکتند، به دور هسته در گردش باشند، طبق نظریه‌ی فیزیک کلاسیک که هر ذره‌ی باردار شتاب دار، نور گسیل می‌کند، چون الکترون به طور پیوسته شتاب دارد و طبق مبانی کلاسیکی، بسامد موج گسیل شده با بسامد دوران الکترون برابر است، لذا بایستی به طور پیوسته نور گسیل کند و چون انرژی از دست می‌دهد، شعاع مداری آن به طور پیوسته کاهش یافته و در نتیجه بسامد آن به طور پیوسته زیاد شده و در نهایت، مارپیچ وار به داخل هسته سقوط می‌کند، یعنی طیف اتمی بایستی پیوسته بوده و اتم پایدار نباشد، در صورتی که طیف اتمی، گسسته است و اتم پایدار می‌باشد.

نیروی رپایش الکتریکی که از طرف هسته به الکترون وارد می‌شود.



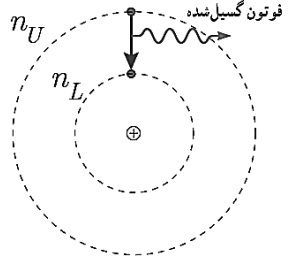
نتیجه: الگوی اتمی رادرفورد از دو ایراد عمده رنج می‌برد:

- (۱) نمی‌تواند پایداری حرکت الکترون‌ها در مدارهای اتمی و در نتیجه پایداری اتم‌ها را توضیح دهد.
- (۲) قادر به توجیه طیف گسسته‌ی اتمی نیست.

موفقیت‌های مدل اتمی بور چیست؟ (۱) بور مدلی را برای اتم هیدروژن ارائه کرد که مسئله ناپایداری اتم را در مدل رادرفورد حل می‌کرد. (۲) معادله ریذبرگ برای طیف خطی اتم هیدروژن را به دست می‌آورد.

اصول مدل اتمی بور به صورت زیر است:

- ۱- مدارها و انرژی‌های الکترون‌ها در هر اتم کوانتیده‌اند؛ یعنی فقط مدارها و انرژی‌های گسسته معینی مجاز هستند.
- ۲- وقتی یک الکترون در یکی از مدارهای مجاز است، هیچ نوع تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی‌شود. از این رو گفته می‌شود الکترون در مدار مانا یا حالت مانا قرار دارد.
- ۳- الکترون می‌تواند از یک حالت مانا به حالت مانای دیگر برود. هنگام گذار الکترون از یک حالت مانا با انرژی بیشتر  $E_U$  به یک حالت مانا با انرژی کمتر  $E_L$  ک فوتون تابش می‌شود.



(شعاع مدارهای الکترون برای اتم هیدروژن)  $(r_n = a_0 n^2 \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad a_0 = 0.529 \text{ \AA})$  (ترازهای انرژی الکترون در اتم هیدروژن)

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} = -\frac{E_R}{n^2} \quad E_R = 2/17 \times 10^{-18} \text{ J} = 13.6 \text{ eV}$$

در این روابط n عدد کوانتومی نامیده می‌شود.  $a_0$  شعاع کوچک ترین مدار در اتم هیدروژن که شعاع بور برای اتم هیدروژن نامیده می‌شود.

انرژی الکترون در n=1 برابر  $E_1 = -13.6 \text{ eV}$  است که اندازه آن را معمولاً یک ریذبرگ می‌نامند و با نماد  $E_R$  نشان می‌دهند. در این صورت انرژی فوتون تابش شده برابر اختلاف انرژی بین دو مدار اولیه و مدار نهایی است، یعنی:

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

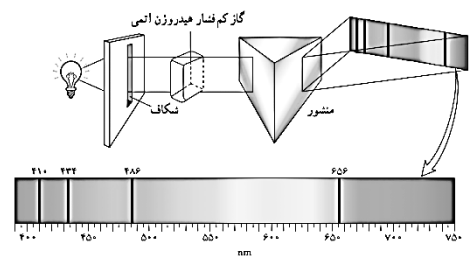
$$E_U - E_L = \frac{hc}{\lambda}$$

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

پایین‌ترین تراز انرژی، حالت پایه نامیده می‌شود تا از ترازهای بالاتر که حالت‌های برانگیخته نامیده می‌شوند متمایز باشد. در اتم

نمودار ترازهای انرژی برای الکترون اتم هیدروژن

هیدروژن و در دمای اتاق، الکترون اغلب در حالت پایه قرار دارد. کمترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه، انرژی یونش الکترون نامیده می‌شود. انرژی یونش اتم هیدروژن  $13.6 \text{ eV}$  است.



فرانهوفر، با مشاهده دقیق طیف خورشید، خط‌های تاریک نازکی را در آن کشف کرد. خط‌های تاریکی که فرانهوفر در طیف خورشید کشف کرد، ناشی از جذب طول موج‌های مربوط به این خط‌ها توسط گازهای جو خورشید و جو زمین پدید می‌آیند.

طیف جذبی خطی: برای مشاهده طیف‌های جذبی، نور یک چشمه نور سفید را از ظرفی حاوی گاز کم فشار هیدروژن اتمی (یا گاز عنصر دیگری) عبور داده و توسط منشور پاشیده می‌شود و طیف آن روی پرده تشکیل می‌شود. خط‌های تاریک روی طیف، به طول موج‌هایی از نور سفید مربوط است که توسط اتم‌های گاز جذب شده‌اند.

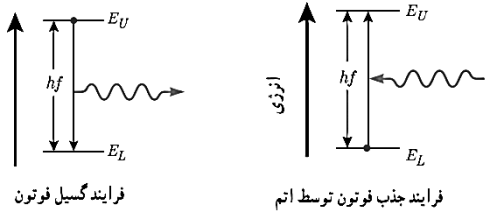
مطالعه و مقایسه همچنین طیف‌های گسیلی و جذبی عنصرهای مختلف نشان می‌دهد که:

(۱) در طیف گسیلی و در طیف جذبی اتم‌های گاز هر عنصر، طول موج‌های معینی وجود دارد که از مشخصه‌های آن عنصر است. یعنی طیف گسیلی و طیف جذبی هیچ دو گازی همانند یکدیگر نیست.

(۲) اتم‌های هر گاز دقیقاً همان طول موج‌هایی را از نور سفید جذب می‌کنند که اگر دمای آنها به اندازه کافی بالا رود و یا به هر صورت دیگر برانگیخته شوند، آنها را تابش می‌کنند.

بر اساس مدل بور می‌دانیم که خط‌های گوناگون در طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی وقتی به وجود می‌آیند که الکترون‌های اتم‌های هیدروژن، که به هر دلیل برانگیخته شده‌اند، از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین‌تر جهش کنند و فوتون‌هایی را گسیل کنند.

الکترون‌ها می‌توانند در جهت عکس گذار کنند، یعنی در فرایندی که جذب فوتون خوانده می‌شود از ترازهای انرژی پایین‌تر به ترازهای انرژی بالاتر بروند در این حالت، اتم، فوتونی را که دقیقاً انرژی لازم برای گذار را دارد جذب می‌کند.



فرایند گسیل فوتون

فرایند جذب فوتون توسط اتم

موفقیت‌های مدل بور: مدل بور تصویری از چگونگی حرکت الکترون‌ها به دور هسته ارائه می‌کند. این مدل در تبیین پایداری اتم، طیف گسیلی و جذبی گاز هیدروژن اتمی و محاسبه انرژی یونش اتم هیدروژن با موفقیت همراه است.

نارسایی‌های مدل بور:

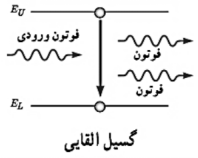
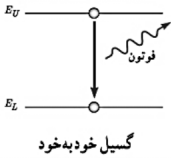
۱) این مدل برای وقتی که بیش از یک الکترون به دور هسته می‌گردد به کار نمی‌رود، زیرا درمدل بور، نیروی الکتریکی که یک الکترون بر الکترون دیگر وارد می‌کند به حساب نیامده‌است.

۲) این مدل نمی‌تواند متفاوت بودن شدت خط‌های طیف گسیلی را توضیح دهد. برای مثال مدل بور نمی‌تواند توضیح دهد که چرا شدت خط قرمز با شدت خط آبی در طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی با یکدیگر متفاوت است.

اتم هیدروژن گونه به اتم‌هایی گفته می‌شود که تنها یک الکترون دارند.

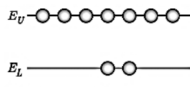
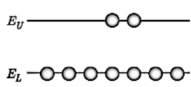
لیزر

وقتی یک الکترون از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین‌تر جهش می‌کند یک فوتون گسیل می‌شود. فرایند گسیل می‌تواند به صورت گسیل خود به خود یا گسیل القایی باشد.



در گسیل خود به خود فوتون در جهتی کاتوره‌ای گسیل می‌شود. درحالی که در گسیل القایی یک فوتون ورودی، الکترون برانگیخته را تحریک (یا القا) می‌کند تا تراز انرژی خود را تغییر دهد و به تراز پایین‌تر برود. برای گسیل القایی، انرژی فوتون ورودی باید دقیقاً با اختلاف انرژی‌های دو تراز یعنی  $E_U - E_L$  یکسان باشد.

**گسیل القایی سه ویژگی عمده دارد:** ۱) یک فوتون وارد و دو فوتون خارج می‌شود. به این ترتیب این فرایند تعداد فوتون‌ها را افزایش می‌دهد و نور را تقویت می‌کند. ۲) فوتون گسیل شده، در همان جهت فوتون ورودی حرکت می‌کند. ۳) اینکه فوتون گسیل شده با فوتون ورودی همگام یا دارای همان فاز است. به این ترتیب فوتون‌هایی که باریکه لیزری را ایجاد می‌کنند هم بسامد، هم جهت و هم فاز هستند.



به طور معمول در دمای اتاق، بیشتر الکترون‌ها در تراز انرژی پایین‌تر قرار دارند

در وضعیتی که وارونی جمعیت به وجود آید بیشتر الکترون‌ها در تراز بالاتری قرار دارند.

در گسیل القایی یک چشمه انرژی خارجی مناسب باید وجود داشته باشد تا الکترون‌ها را به ترازهای انرژی

بالاتر برانگیخته کند. این انرژی می‌تواند به روش‌های متعددی از جمله درخش‌های شدید نور معمولی و 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 مدت زمان بسیار طولانی‌تری ( $10^{-3}$  s) نسبت به حالت برانگیخته معمولی ( $10^{-8}$  s) باقی می‌مانند. این زمان طولانی‌تر، فرصت بیشتری برای افزایش وارونی جمعیت و در نتیجه تقویت نور لیزر فراهم می‌کند.