

**فیزیک کلاسیک:** تا آخر سده نوزدهم میلادی فیزیکدانان برای بسیاری از پدیده های طبیعی مانند نیروی گرانشی، نیروی الکتریکی و مغناطیسی و اثرات آنها توجیه های قانع کننده ای یافته بودند که، مجموعه قوانین و نظریات مربوط به آنها را فیزیک کلاسیک می نامند.

**فیزیک جدید:** اما در سالهای پایانی سده نوزدهم میلادی دانشمندان پدیده هایی را مشاهده کردند که، با فیزیک کلاسیک قادر به توجیه آنها نبودند، که منجر به پیدایش مجموعه ای از نظریه ها و قوانین برای توجیه این پدیده ها بود که فیزیک جدید (یا نوین) نام گرفت.

**کمیت کوانتومی:** در فیزیک کمیت های گسسته را کمیت کوانتومی می نامند. مانند: سکه های موجود در صندوق - تعداد دانش آموزان در کلاس - تعداد تخم مرغ های موجود در یک بسته - بار الکتریکی یک جسم باردار که مضرب صحیحی از بار یک الکترون است. ( $q = \pm ne$ )

**کوانتوم:** کمترین مقدار یک کمیت کوانتومی را کوانتوم آن کمیت می نامند.

**نظریه پلانک درباره تابش:** مقدار انرژی که یک جسم به صورت امواج الکترومغناطیسی گسیل می کند همواره مضرب درستی از یک مقدار پایه است و این مقدار پایه به بسامد موج الکترومغناطیسی بستگی دارد.

$$E = nhf$$

$$hf = \text{کوانتوم انرژی تابشی}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$f = \text{بسامد تابش}$$

$n =$  عدد صحیحی که عدد کوانتومی نام دارد. تعداد کوانتوم ها را مشخص می کند

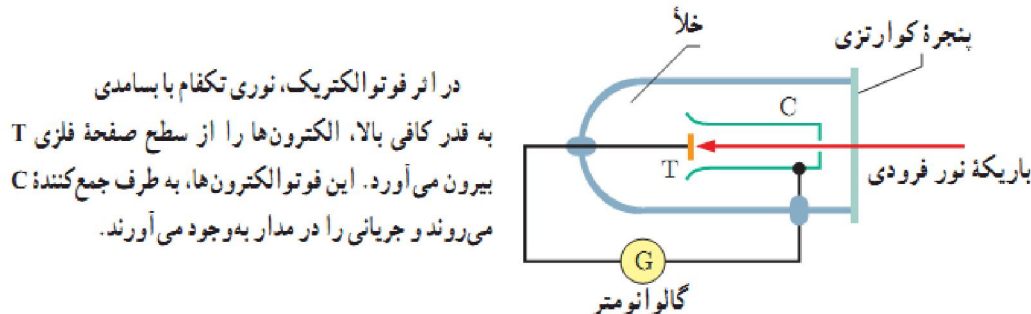
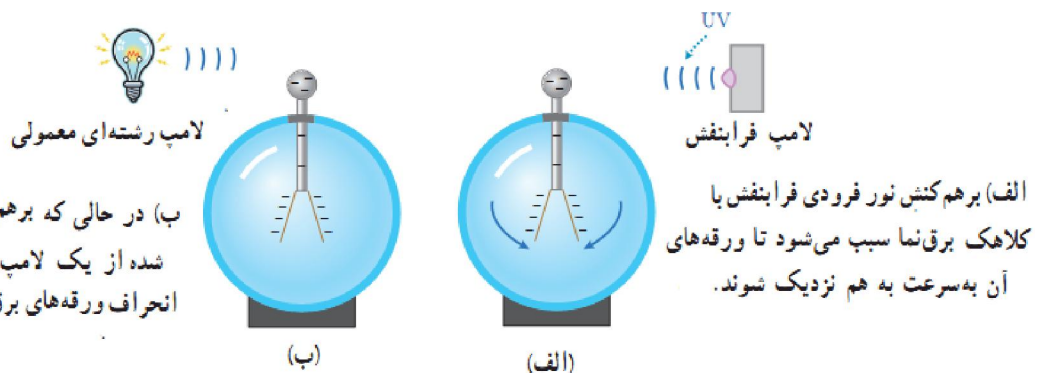
**فوتون:** بنابر نظریه پلانک، هر موج الکترومغناطیسی با بسامد  $f$  از بسته های متمرکز یا کوانتومهای انرژی تشکیل شده است، که آنها را فوتون می نامند. انرژی هر فوتون برابر با  $E = hf$  است.

**الکترون ولت:** در فیزیک اتمی ژول واحد بزرگی محسوب می شود بنابر این از واحد کوچکتری به نام الکترون ولت استفاده می شود: «الکترون ولت برابر تغییر مقدار انرژی یک الکترون تحت ولتاژ یک ولت است».

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

**پرسش:** ثابت پلانک بر حسب الکترون ولت ثانیه (eVs) چقدر است؟ **پاسخ:**  $h = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.6 \times 10^{-19}} = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eVs}$

**پدیده فوتو الکتریک:** جدا کردن الکترونها از سطح یک فلز توسط تاباندن نور را پدیده فوتو الکتریک نامیده می شود و الکترونهای گسیل شده از سطح فلز را فوتو الکترون می نامند.



### ناتوانی فیزیک کلاسیک در تفسیر پدیده فوتوالکتریک :

۱ - بنا به دیدگاه کلاسیکی ، این پدیده با افزایش دامنه نوسان الکترونها و در نتیجه آن افزایش انرژی جنبشی الکترونها باید با هر بسامدی رخ دهد . در حالی که با تجربه سازگار نیست . ۲ - بنابر قانونهای فیزیک کلاسیک ، با افزایش شدت نور فرودی می‌توانیم ، فوتوالکترونها را با انرژی جنبشی بیشتری از سطح جدا کنیم ، ولی تجربه آن را تأیید نمی‌کند .

### تفسیر کوانتومی پدیده فوتوالکتریک :

اینشتین فرض کرد در اثر فوتوالکتریک ، یک الکترون تمام انرژی فوتون را جذب می‌کند ، و انرژی جنبشی آن هنگام گسیل از سطح برابر است با :

$$K = hf - W$$

$W$  = برابر با کار انجام شده برای آزاد کردن فوتوالکترون، یعنی غلبه بر نیروهای داخلی، که الکترونها را در قید هسته نگاهداشته است.

$W_0$  = حداقل کار لازم برای خارج کردن یک الکترون از فلز می‌باشد ، که آنرا **تابع کار** فلز می‌نامند .

مشخص است که با کاهش  $W$  ، انرژی جنبشی افزایش می‌یابد .  $K_{\max} = hf - W_0$

☑ اگر  $hf$  کمتر از  $W_0$  باشد ، هیچ الکترونی از فلز آزاد نمی‌شود ،

بنابر این بسامد آستانه از رابطه زیر محاسبه می‌شود .  $f_0 = \frac{W_0}{h}$

### بسی

**امد آستانه ( $f_0$ )** : بسامدی است که اگر بسامد نور تابشی

صفحه فلزی  $T$  ، از آن **کمتر** باشد پدیده فوتوالکتریک اتفاق

نمی‌افتد . ( $f_0 = f_{\min}$ )

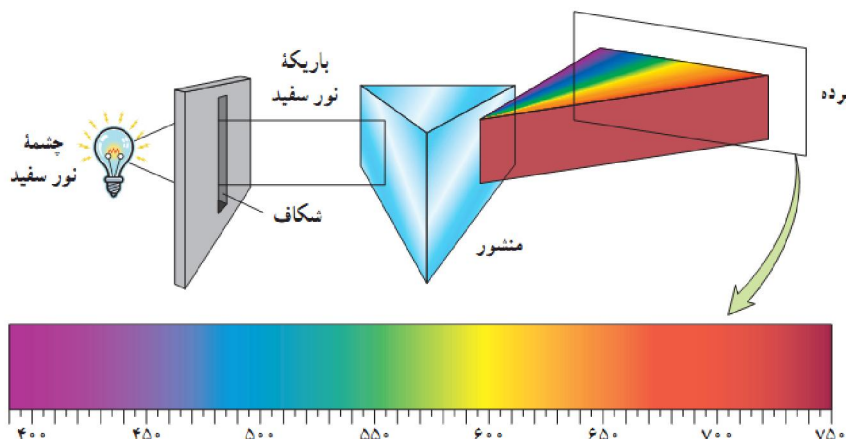
**طول موج آستانه ( $\lambda_0$ )** : طول موجی است که اگر طول موج نور تابشی بر صفحه فلزی  $T$  ، از آن **بیشتر** باشد پدیده فوتو

الکتریک اتفاق نمی‌افتد .  $\lambda_0 = \frac{c}{f_0}$  ( $\lambda_0 = \lambda_{\max}$ )

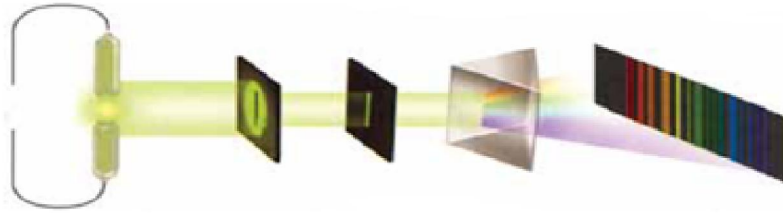
**پرسش** : ثابت پلانک بر حسب الکترون ولت ثانیه (eVs) چقدر است ؟ **پاسخ** :  $h = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.6 \times 10^{-19}} = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eVs}$

☑ از سطح همه اجسام در هر دمایی امواج الکترومغناطیسی گسیل می‌شود . گسیل موج های الکترومغناطیسی از سطح اجسام را **تابش گرمایی** نیز می‌نامند .

**طیف گسیلی پیوسته** : یک جسم جامد ، مانند رشته داغ لامپ ، طیف گسترده‌ای از امواج الکترومغناطیسی شامل طول موجهای مرئی را تابش می‌کند که به آن طیف گسیلی پیوسته یا به اختصار طیف پیوسته می‌گویند .



**طیف گسیلی خطی:** «طیف اتمی حاصل از نور گسیل شده، از بخار عناصر را طیف گسیلی یا نشری آن اتم می‌نامند». این تابش توسط لامپ‌های حاوی بخار بسیار رقیق عنصرها گسیل می‌شود. با اعمال ولتاژ بالا بین دو الکترود، اتمهای گاز شروع به تابش می‌کنند. با عبور تابش گسیل شده از منشور، طیف گسسته‌ای تشکیل می‌شود. طیف نور گسیل شده از بخار هر عنصر را طیف اتمی آن عنصر می‌نامند که برای هر عنصر منحصر بفرد است.



**طیف جذبی:** طیف پیوسته نور سفید است، که خطوط تاریکی در آن مشاهده می‌شود، که مربوط به طول موجهایی است که در عبور از عناصر گازی جذب شده است. یعنی اگر نور سفید را از بخار عنصری عبور دهیم طیف جذبی آن عنصر را بدست می‌آوریم. مانند طیف نور خورشید که به زمین می‌رسد و خطوط تاریک آن نشان‌دهنده عناصر گازی موجود در جو خورشید است.

**نتایج مطالعه طیف‌های جذبی و گسیلی عناصر مختلف:**

- ۱ - در طیف‌های گسیلی و جذبی هر عنصر طول موجهای معینی وجود دارد، که از ویژگیهای مشخصه آن عنصر است. یعنی طیف‌های گسیلی و جذبی هیچ دو عنصری یکسان نیست.
  - ۲ - اتم هر عنصر از نور سفید همان طول موجهایی را جذب می‌کند، که اگر دمای آن به اندازه کافی بالا رود، ویا به هر صورت دیگری برانگیخته شود، آنها را تابش می‌کند.
- طیف اتمی مانند اثر انگشت افراد می‌تواند برای شناسایی اتمها از یکدیگر به کار می‌رود.

**ناتوانی فیزیک کلاسیک در تفسیر طیف‌های جذبی و گسیلی:**

- ۱ - فیزیک کلاسیک هیچ توجیه قانع کننده‌ای برای که: «چرا هر عنصر، تنها طول موجهای خاصی را که، مشخصه‌ی آن عنصر است جذب می‌کند، و بقیه طول موجها را جذب نمی‌کند؟» ندارد.
- ۲ - چرا اتمهای همه عناصر امواج الکترومغناطیسی با طول موجهای یکسان گسیل نمی‌کنند؟

**رابطه بالمر - ریذبرگ:** ریذبرگ با مطالعه رابطه بالمر، در مورد طیف اتم هیدروژن به این نتیجه رسید که، رابطه زیر برای

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

تشخیص طول موجها مناسب تر است:  $R_H$  را ثابت ریذبرگ می‌نامند که برابر با مقدار ثابت  $R_H = 0.0109 \text{ (nm)}^{-1}$

**رابطه ریذبرگ:** طول موج تمامی خطوط طیف هیدروژن را می‌توان از رابطه زیر که به رابطه ریذبرگ معروف است، به دست آورد. با قرار دادن مقادیر صحیح مختلف برای  $n'$  می‌توان رشته‌های مختلف دانشمندان دیگر را نیز محاسبه کرد.

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

نام رشته	مقدار $n'$	معادله ریذبرگ مربوط	مقدارهای $n$	گستره طول موج
لیمان	۱	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$	$n = 2, 3, 4, \dots$	فرابنفش
بالمر	۲	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$	$n = 3, 4, 5, \dots$	فرابنفش و مرئی
پاشن	۳	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$	$n = 4, 5, 6, \dots$	فروسرخ
براکت	۴	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$	$n = 5, 6, 7, \dots$	فروسرخ
پفوند	۵	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$	$n = 6, 7, 8, \dots$	فروسرخ

### الگوهای اتمی

**الگوی اتمی تامسون:** تامسون که موفق به کشف الکترون شده بود، نخستین الگوی اتمی را بدین صورت ارائه داد که: «اتم به صورت توزیع کروی یکنواختی از جرم و بار مثبت در نظر گرفته می‌شود، که الکترونها (بار منفی) مانند کشمش های درون یک کیک کشمش درون آن قرار دارند».

رادرفورد با رد این نظریه نشان داد که بار مثبت اتم در بخش کوچکی در مرکز آن متمرکز است.

**الگوی اتمی رادرفورد:** در این الگو بار مثبت در ناحیه مرکزی، با حجم کوچکی به نام هسته متمرکز شده‌اند و بارهای منفی اطراف آنرا احاطه کرده‌اند، و می‌توان گفت فضای بین هسته و الکترونها خالی است.

### اشکالات نظریه رادرفورد:

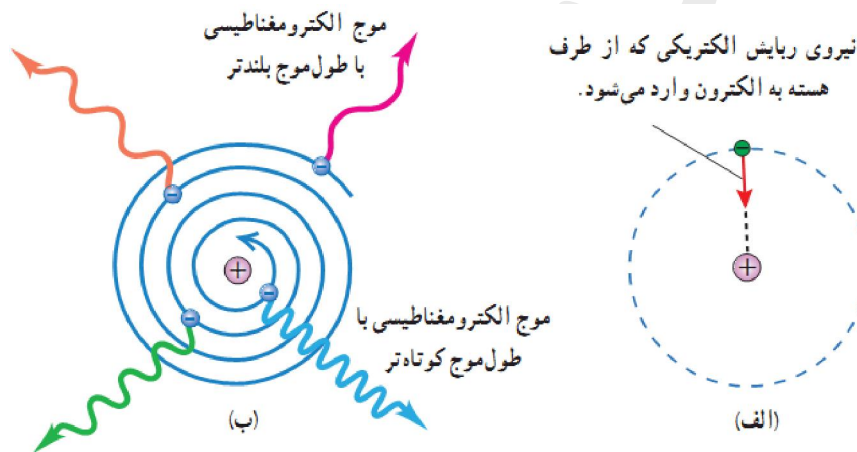
۱- الکترونها که بدور هسته می‌چرخند، چون ذره باردار هستند و حرکت شتابدار دارند، بنابر نظریه کلاسیکی الکترومغناطیسی بایستی مانند آنتن شروع به گسیل امواج الکترومغناطیسی کنند و با تابش امواج انرژی خود را از دست دهند و در نهایت در هسته فرود آیند.

۲- با تابش امواج الکترومغناطیسی شعاع نوسان الکترونها بایستی کاهش یافته و بسامد حرکت آنها بیشتر شود. در نتیجه بسامد امواج الکترومغناطیسی تابشی بایستی بتدریج زیاد شود.

☑ **بدین ترتیب الگوی اتمی رادرفورد برای اتم، با تجربه سازگار نیست.**

اولاً: نمی‌تواند پایداری حرکت الکترونها را در مدارهای اتمی توضیح دهد.

ثانیاً: نمی‌تواند طیف گسسته اتمی را توجیه کند.



ناتوانی مدل اتم هسته‌ای رادرفورد در تبیین پایداری اتم.

الف) اگر الکترون نسبت به هسته ساکن فرض شود بر اثر نیروی ریاض الکتریکی، روی هسته سقوط می‌کند.

ب) اگر الکترون دور هسته بچرخد، طیفی پیوسته گسیل می‌کند و سرانجام روی هسته فرو می‌افتد.

**الگوی اتمی بور:** نیلس بور با توجه به طیف گسسته تابش شده، و رابطه تجربی ریدبرگ - بالمر و با الهام از نظریات پلانک و اینشتین الگویی برای اتم هیدروژن پیشنهاد کرد، و قوانین مکانیک و الکترومغناطیسی را با فرضیه‌هایی همراه کرد، که این فرضیه‌ها را در چهار اصل بیان کرد:

۱- الکترون، تنها روی مدارهای دایره‌ای با شعاعهای معینی حرکت می‌کند، این مدارها را مدارهای مانا می‌نامند.

۲- الکترون در حین حرکت روی یک مدار مانا، برخلاف نظریه الکترومغناطیسی کلاسیک، تابشی را گسیل نمی‌کند. در این حالت می‌گوییم الکترون در یک حالت مانا است.

۳ - شعاع مدارهای مانا مقدارهای مشخص گسسته ای می‌توانند داشته باشند. اگر شعاع اولین مدار را برابر  $a_0$  بگیریم، شعاعهای مجاز از رابطه روبرو محاسبه می‌شوند:

$$r_n = a_0 n^2 \quad n = 2, 3, \dots$$

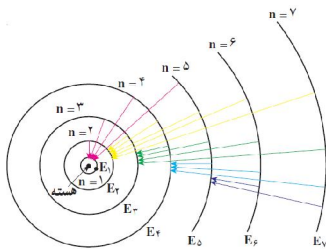
✓ در این روابط  $n$  را عدد کوانتومی می‌نامند.

✓  $a_0$  شعاع کوچکترین مدار در اتم هیدروژن است که به آن شعاع بور می‌گویند.

۴ - الکترون تنها هنگامی می‌تواند تابش الکترومغناطیسی گسیل کند که از یک حالت مانا  $E_U$  به حالت مانای دیگری با انرژی کمتر  $E_L$ ،  $(n_L < n_U)$ ، برود. یا به عبارت دیگر از یک تراز انرژی بالاتر به یک تراز انرژی پایین‌تر برود. در این صورت انرژی فوتون موج الکترومغناطیسی گسیل شده، برابر اختلاف انرژی بین دو تراز است، یعنی:

$$hf = E_U - E_L$$

الکترون مجاز است، انرژی برابر با یکی از مقادیر  $n = 2, 3, \dots$  را داشته باشد.

$$E_n = -\frac{E_R}{n^2} \quad n = 2, 3, \dots$$


به هر یک از مقادیر مجاز یک تراز انرژی می‌گویند.

✓  $E_R =$  این مقدار انرژی را یک ریذبرگ می‌نامند، که برابر  $13/6 \text{ eV}$  یا  $2/17 \times 10^{-18} \text{ J}$

است. مدار اول  $n=1$  را حالت پایه و مدارهای با انرژی بالاتر را حالت‌های برانگیخته می‌نامند.

**انرژی یونش الکترون:** مقدار انرژی که باید به یک الکترون بدهیم، تا کاملاً از قید هسته خلاص شود. این انرژی برای الکترون اتم هیدروژن در حالت پایه برابر  $E_1 = -13/6 \text{ eV}$  یعنی انرژی تراز اول است.

**استخراج معادله ریذبرگ برای اتم هیدروژن از مدل بور:**

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

$$hf = (E_U - E_L)$$

$$f = \frac{1}{h}(E_U - E_L) = \frac{E_R}{h} \left( \frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right)$$

$$\frac{c}{\lambda} = \frac{E_R}{h} \left( \frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right) \Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{E_R}{hc} \left( \frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right)$$

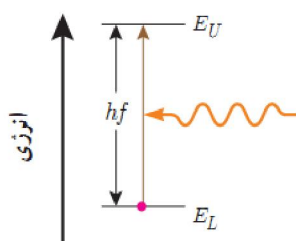
این مقدار، با تقریب بسیار خوبی همان ثابت ریذبرگ  $R$  است که پیش از این با آن آشنا شدیم.

$$\frac{E_R}{hc} = \frac{13/6 \text{ eV}}{1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}} = 0.00009 \text{ (nm)}^{-1}$$

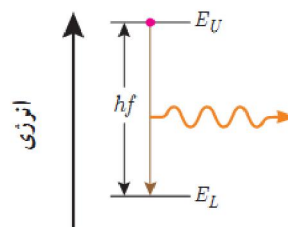
$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right)$$

**جذب فوتون:** اتم فوتونی را که انرژی آن دقیقاً برابر اختلاف دو تراز انرژی است را جذب می‌کند و الکترون به حالت برانگیخته می‌رود.

**گسیل فوتون:** اگر الکترونها برانگیخته از یک تراز انرژی به تراز انرژی کمتر جهش کنند فوتونهایی گسیل می‌کنند انرژی فوتون برابر با اختلاف دو تراز انرژی است.



(ب) فرایند جذب فوتون توسط اتم



(الف) فرایند گسیل فوتون

**موفقیت‌ها و نارسایی‌های مدل بور :**

✓ موفقیت‌ها : ۱ - تبیین پایداری اتم

۳ - محاسبه انرژی یونش اتم هیدروژن

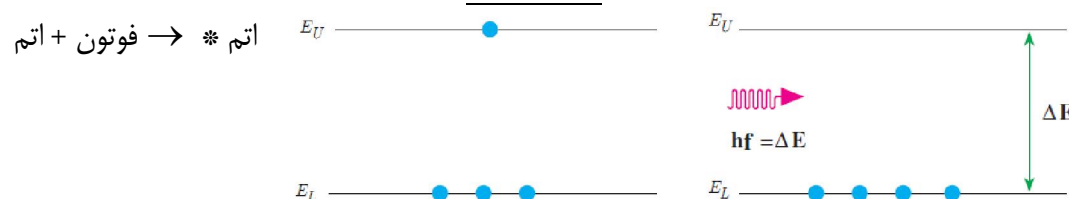
✓ نارسایی‌ها : ۱ - برای وقتی که بیش از یک الکترون به دور هسته می‌گردد بکار نمی‌رود .

۲ - متفاوت بودن شدت خط‌های طیف گسیلی را توضیح نمی‌دهد ( شدت خط قرمز با شدت آبی در طیف گسیلی هیدروژن متفاوت است ) .

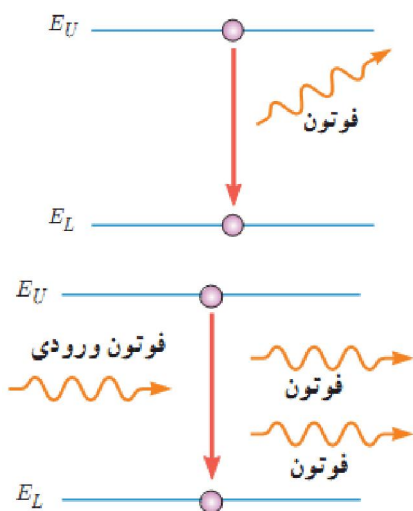
**Light Amplification by Stimulated Emission fo Radiation**

**لیزر** (تقویت نور به روش گسیل القایی تابش)

در قسمت قبل متوجه شدیم برای انتقال یک الکترون از تراز انرژی پایین به ترازهای بالاتر ، بایستی فوتونی را جذب کند که انرژی آن برابر با اختلاف تراز انرژی باشد . در چنین حالت اتم را اتم برانگیخته می‌نامند و با ستاره‌ای در کنار اتم نشان داده می‌شود .



**گسیل خود به خود :** هرگاه اتم در حالت برانگیخته باشد با گسیل یک فوتون به حالت پایین تر می‌رود . این برهم کنش را گسیل خود به خود می‌گویند .



**گسیل القایی (تحریک شده) :** گسیل القایی اساس کار لیزر است ، که

نوع دیگری از برهم کنش فوتون با اتم است . در این برهم کنش

ابتدا اتم برانگیخته است و تابش یک فوتون ، با انرژی اختلاف

دو تراز انرژی ، اتم را وادار می‌کند که با گسیل یک فوتون دیگر به حالت پایه برگردد

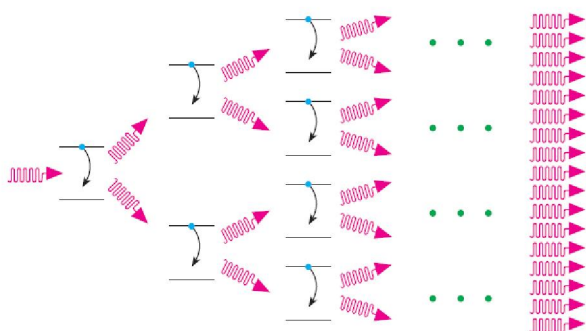
✓ **گسیل القایی سه ویژگی عمده دارد :**

۱ - فرایند تعداد فوتونها را افزایش می‌دهد و نور را تقویت می‌کند .

۲ - فوتون گسیل شده در همان جهت فوتون ورودی حرکت می‌کند .

۳ - فوتون گسیل شده با فوتون ورودی همگام یا دارای همان فاز است .

**خلاصه :** در این تابش فوتون ورودی ، فرایند گسیل خود به خود را سریع تر می‌کند و هم چنین ، فوتون گسیل شده با فوتون فرودی هم جهت ، همفاز و هم انرژی است .



**باریکه لیزری :** اگر مجموعه‌ای از اتمهای برانگیخته یکسان

داشته باشیم ، فوتونی با انرژی مناسب می‌تواند عامل اولیه

گسیل القایی فوتونهای زیادی باشد ، که با دو برابر شدن

متوالی فوتونهای القایی ، باریکه شدیدی از فوتونهای هم

جهت ، همفاز و هم انرژی بوجود می‌آید ، که این باریکه

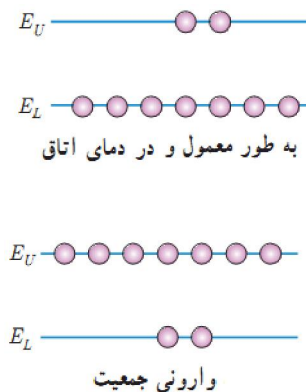
را باریکه لیزری می‌نامند .

**روش‌های برانگیخته کردن الکترونها برای گسیل القایی:**

۱ - استفاده از درخش‌های شدید نور معمولی      ۲ - تخلیه‌های ولتاژ بالا

**وارونی جمعیت:** به طور معمول و در دمای اتاق، بیشتر الکترونها در تراز انرژی پایین قرار دارند، به وضعیتی که بیشتر الکترونها در تراز بالاتری در مقایسه با ترازهای پایین قرار دارند وارونی جمعیت می‌گویند.

**ترازهای شبه پایدار:** این ترازها در وارونی جمعیت تعداد الکترون بیشتری در خود جای میدهند که الکترونها مدت زمان بیشتری ( $10^{-3}S$ ) نسبت به حالت برانگیخته ( $10^{-8}S$ ) در آنها باقی می‌مانند که تقویت نور لیزر را فراهم می‌کنند.



فاز