

آشنایی با فیزیک اتمی

Dr: B. Barati

09163014685

عناوین مطالب مورد بررسی در این فصل:

اثر فوتوالکتریک و فوتون

طیف اتمی

مدل اتمی رادرفورد-بور

لیزر

سوال؟

چرا وقتی به الکترودهای دو سر لامپ‌های جاری گاز رقیق و کم فشار عناصری مانند هیدروژن، هلیم، جیوه یا نئون، ولتاژ بالایی را اعمال می‌کنیم شروع به گسیل نور به رنگ‌های مختلف می‌کنند؟

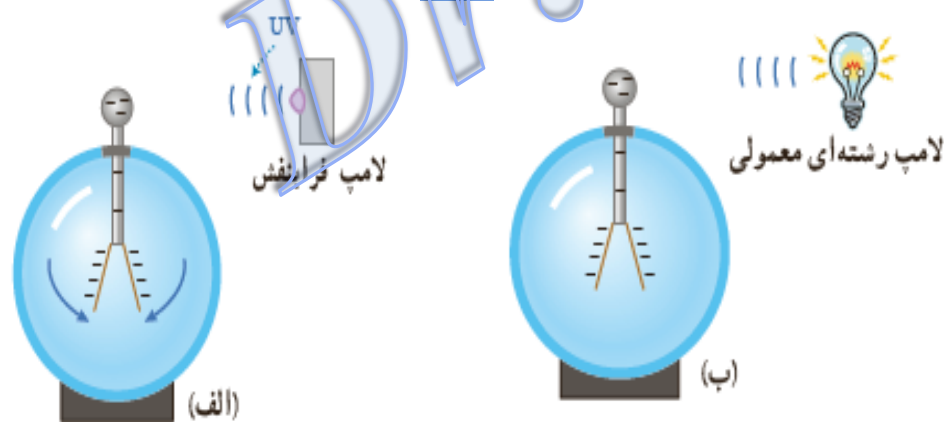
فیزیک مدرن بر چه نظریه هایی استوار است؟ نظریه نسبیت خاص (مربوط به مطالعه پدیده‌ها در تندی‌های بسیار زیاد و قابل

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)

مشابه شد که امروزه به آن فیزیک جدید می‌گویند.

مقدمه: اگر بر کلاهک برق‌نمایی با بار منفی، نور فرابنفش تابیده شود، مشاهده می‌شود که انحراف ورقه‌های آن کاهش می‌یابد (شکل (الف) در حالی که با تابش نور مرئی، تغییری در انحراف ورقه‌های برق‌نما رخ نمی‌دهد شکل (ب) این سوال مطرح می‌شود: چرا این اتفاق می‌افتد؟



شکل‌ها: الف) برهم کنش تور فرودی فرا بنفش

با کلاهک برق‌نما سبب می‌شود تا ورقه‌های آن به سرعت به هم نزدیک شوند. (ب) در حالی که برهم کنش نور مرئی گسیل شده از یک لامپ رشته‌ای تغییری در انحراف ورقه‌های برق‌نما به وجود نمی‌آورد.

انرژی امواج E-M

انیشتمین در نظریه فوتوالکتریک خود، بر اساس کارپلانک، نور با بسامد f را بصورت مجموعه ای از بسته های انرژی به نام فوتون معرفی نمود که انرژی هر بسته برابر با:

$$E = nhf = \frac{nhc}{\lambda}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \text{ سرعت نور}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.S} \text{ ثابت پلانک}$$

مثال: تعداد فوتون هایی را که در یک ثانیه از یک لامپ قرمز ۶۰ واتی آسمیل می شود را محاسبه کنید.

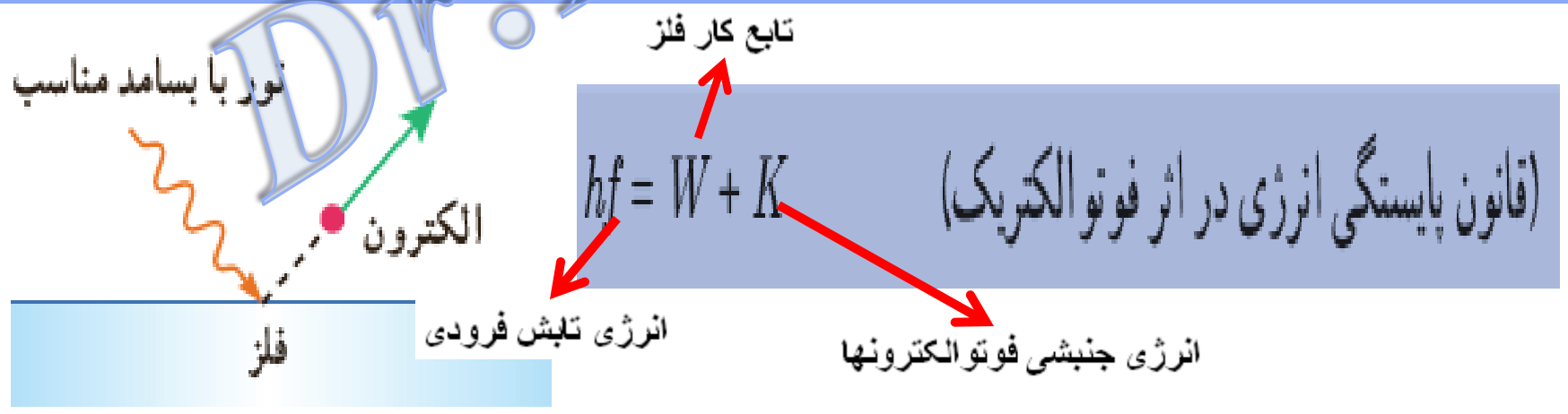
$$E = pt = 60 \times 1 = 60 \text{ J} \quad \lambda = 6600 \text{ \AA}, \quad h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.S}$$

$$E = \frac{nhc}{\lambda} \Rightarrow 60 = \frac{n \times 6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6600 \times 10^{-10}} \Rightarrow n = 2 \times 10^{20} \text{ فوتون}$$

بیان اثر فوتوالکتریک: آزمایش نشان می‌دهد وقتی نوری با بسامد مناسب

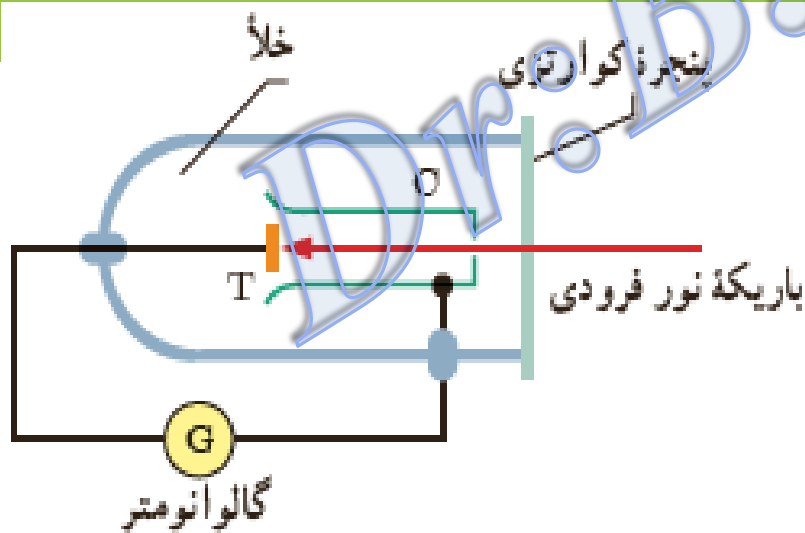
مناسب مانند نور فرابنفش به سطح فلزی بتابد الکترون‌هایی از آن گسیل می‌شوند (شکل زیر). این پدیده فیزیکی را، اثر فوتوالکتریک یا الکترون‌های جدا شده از سطح فلز را فوتوالکتریک می‌نامند.

بنا بر نظر اینشتین، وقتی نوری تکفام بر سطح فلزی می‌تابد، هر فوتون صرفاً با یکی از الکترون‌های فلز برهم‌کنش می‌کند. اگر فوتون انرژی کافی داشته باشد تا فرایند خارج کردن الکترون از فلز را انجام دهد، الکترون به طور آبی از آن گسیل می‌شود. در این صورت بخشی از انرژی فوتون صرف جدا کردن الکترون از فلز می‌شود و مابقی آن به انرژی جنبشی الکترون خارج شده تبدیل می‌شود.



طرح آزمایش ساده ای برای بررسی اثر فوتوالکتریک:

در این دستگاه صفحه فلزی هدف T و جمع کننده فلزی C درون یک محفظه شیشه ای خلأ قرار دارند که از بیرون به یک گالوانومتر (آمپرسنج حساس) متصل شده اند. نور تکفام (تک بسامد) با بسامد به قدر کافی بالا بر صفحه T فرود می آید و فوتوالکترون ها را آزاد می کند. این فوتوالکترون ها به جمع کننده C می رسند و در نتیجه گالوانومتر که در مدار قرار دارد جریانی را آشکار می کند. با افزایش شدت این نور، گالوانومتر عدد بزرگ تری را نشان می دهد. حال آنکه آزمایش نشان می دهد که اگر بسامد نور فرودی از مقدار معینی کمتر باشد، هر چقدر هم که شدت نور فرودی افزایش یابد این پدیده رخ نمی دهد و گالوانومتر عبور جریانی را نشان نمی دهد.



شکل: در اثر فوتوالکتریک، نوری تکفام با بسامدی به قدر کافی بالا، الکترون ها را از سطح صفحه فلزی T بیرون می آورد. این فوتوالکترون ها، به طرف جمع کننده C می روند و جریانی را در مدار به وجود می آورند.

فیزیک کلاسیک در تفسیر نتایج پدیده فوتوالکتریک

۱) انتظار می رفت هنگام برهم کنش نور فرودی با سطح فلز، میدان الکتریکی این موج نیروی $F = -eE$ را به الکترون های فرودی وارد کند و در اثر نوسان، دامنه برخی از الکترونها به قدر کافی بزرگ شود و انرژی لازم برای جدا شدن از سطح فلز را پیدا کنند و بنابر نظریه فیزیک کلاسیک باید پدیده فوتوالکتریک در هر بسامدی رخ دهد در حالی که این نتیجه با تجربه سازگار نیست.

۲) بر اساس نظریه ماکسول، شدت نور فرودی با مربع دامنه میدان الکتریکی موج E متناسب است $(I \propto E^2)$ ، پس انتظار می رود 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، نتیجه ای که تجربه آن را تأیید نمی کند.

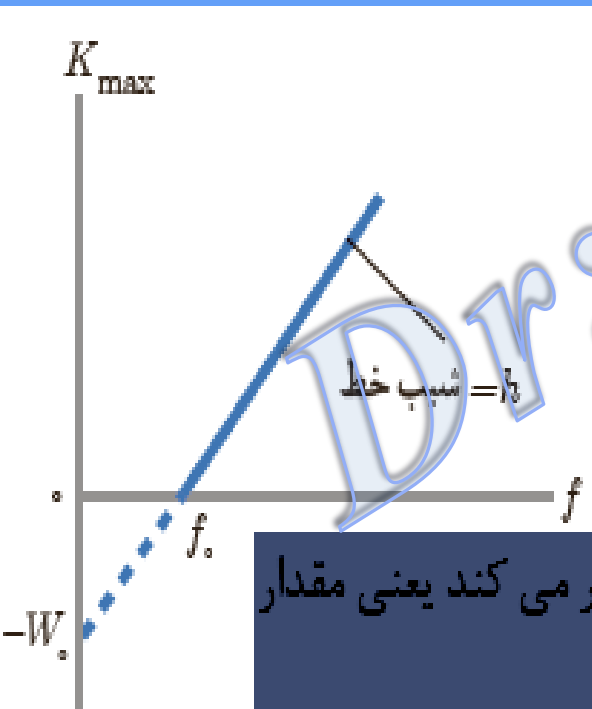
۱) اگر شدت نور فرودی کافی باشد اثر فوتوالکتریک در هر بسامدی باید رخ دهد در حالی که اگر بسامد نور فرودی کمتر از بسامد قطع (f_0) باشد اثر فوتوالکتریک رخ نمی دهد.

۲) بنابر قانون های فیزیک کلاسیک، K_{max} فوتوالکترون باید به شدت نور فرودی (انرژی نور) بستگی داشته باشد در حالی که K_{max} مستقل از شدت نور فرودی است.

بررسی عوامل تأثیرگذار بر انرژی جنبشی فوتوالکترون ها:

الف) بسامد ثابت و افزایش شدت نور: با افزایش توان منبع نور، شدت نور فرودی بر الکتروود A را افزایش می دهیم مقدار K_{\max} تغییر نمی کند بلکه فقط باعث افزایش تعداد فوتوالکترون های گسیلی از الکتروود A خواهد شد که افزایش جریان مدار را در پی دارد.
نتیجه: مقدار K_{\max} به شدت نور فرود بستگی ندارد.

ب) اثر بسامد نور فرودی: هرچه بسامد نور فرودی بر الکتروود A بیش تر باشد مقدار K_{\max} نیز بیش تر خواهد بود. یعنی K_{\max} به بسامد نور فرودی بستگی دارد.



$$K_{\max} = hf - W_0 \quad (\text{معادله فوتوالکتریک})$$

$$K_{\max} = h(f - f_0) = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right)$$

ج) اثر جنس الکتروود فلزی A : با تغییر جنس الکتروود فلزی A ، مقدار K_{\max} تغییر می کند یعنی مقدار

K_{\max} به جنس الکتروود A بستگی دارد.

پرسش: تابشی با بسامد معین باعث می‌شود تا فوتوالکتردهایی سطح فلز ۱ را ترک کنند، ولی از سطح فلز ۲ خارج نشوند. انرژی فوتون‌های فرودی را با تابع کار فلزها مقایسه کنید.

Dr. B. Barati

مثال: پدیده‌ی فوتوالکتریک کدام مورد را تایید می‌کند؟

(ب) ماهیت موجی نور

(الف) تداخل موج‌های E-M

(د) ماهیت الکتریکی نور

(ج) ماهیت ذره‌ای

گزینه (ج)

یک چشمه نور مرئی با توان 1.00 W ، فوتون‌هایی با طول موج $\lambda = 550 \text{ nm}$ گسیل می‌کند.

(الف) انرژی هر فوتون را بر حسب الکترون ولت محاسبه کنید.

(ب) چه تعداد فوتون در هر ثانیه از این چشمه نور گسیل می‌شود؟

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

$$hc = (6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})(3.00 \times 10^8 \text{ m/s}) = 1.99 \times 10^{-25} \text{ J}\cdot\text{m}$$

$$hc = (1.99 \times 10^{-25} \text{ J}\cdot\text{m}) \left(\frac{1 \text{ eV}}{1.60 \times 10^{-19} \text{ J}} \right) \left(\frac{1 \text{ nm}}{10^{-9} \text{ m}} \right) = 1.24 \times 10^3 \text{ eV}\cdot\text{nm}$$

$$E = \frac{1.24 \times 10^3 \text{ eV}\cdot\text{nm}}{550 \text{ nm}} = 2.25 \text{ eV}$$

(ب) ابتدا انرژی تابش شده توسط لامپ را در هر ثانیه به دست می‌آوریم:

$$E = pt = (1.00 \text{ W})(1 \text{ s}) = 1.00 \text{ J} = (1.00 \text{ J}) \left(\frac{1 \text{ eV}}{1.60 \times 10^{-19} \text{ J}} \right) = 6.25 \times 10^{17} \text{ eV}$$

$$n = \frac{6.25 \times 10^{17} \text{ eV}}{2.25 \text{ eV}} = 2.77 \times 10^{17}$$

الف) تابع کار طلا برابر $5/20 \text{ eV}$ است. بسامد کمینه نور برای خارج کردن الکترون‌ها از سطح این فلز را پیدا کنید.

ب) طول موج آستانه (طول موج متناظر با بسامد آستانه f_0) را به دست آورید.

پاسخ: الف) بسامد کمینه نور برای خارج کردن الکترون‌ها از سطح طلا برابر بسامد آستانه است. بنابر این خواهیم داشت:

$$f_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{5/20 \text{ eV}}{4/14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}} = 1/26 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

فوتون‌های نوری که بسامد آنها بیشتر از $1/26 \times 10^{15} \text{ Hz}$ است، انرژی کافی برای خارج کردن الکترون‌ها از سطح طلا را دارند.

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3 \times 10^8}{1.26 \times 10^{15}} = 2.38 \times 10^{-7} \text{ m} = 238 \text{ (nm)}$$

در ناحیه فرابنفش قرار دارد

نوری با طول موج 240 nm به سطحی از جنس تنگستن با تابع کار 4.52 eV می‌تابد.

الف) بسامد نور فرودی و بسامد آستانه را برای تنگستن پیدا کنید.

ب) پیشینه تندی فوتوالکترن‌های خارج‌شده از تنگستن را حساب کنید. (جرم الکترون را $9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ بگیرید.)

الف) از رابطه $f = c/\lambda$ ، بسامد متناظر با طول موج نور فرودی را به دست می‌آوریم:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.00 \times 10^8 \text{ m/s}}{240 \times 10^{-9} \text{ m}} = 1.25 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

بسامد آستانه برای سطحی از جنس تنگستن برابر است با:

$$f_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{4.52 \text{ eV}}{4.14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}} = 1.09 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

چون بسامد نور فرودی بیشتر از بسامد آستانه است ($f > f_0$)، برهم کنش فوتون‌های نور فرودی با الکترون‌های سطح تنگستن،

سبب خارج شدن و ترک فوتوالکترن‌هایی از سطح آن می‌شود.

دنباله حل سوال

(ب) ابتدا بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های گسیل شده را بدست می آوریم

$$K_{\max} = hf - W_0 = \frac{hc}{\lambda} - W_0 = \frac{1/24 \times 10^3 \text{ eV} \cdot \text{nm}}{240 \text{ nm}} - 4/52 \text{ eV} = 0/646 \text{ eV}$$

با تبدیل یکای مقدار به دست آمده بر حسب ژول داریم:

$$K_{\max} = (0/646 \text{ eV}) \left(\frac{1/60 \times 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} \right) = 1/03 \times 10^{-19} \text{ J}$$

به این ترتیب از رابطه $K_{\max} = \frac{1}{2} m v_{\max}^2$ ، بیشینه تندی فوتوالکترون‌های خارج شده برابر است با:

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2K_{\max}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1/03 \times 10^{-19} \text{ J}}{9/11 \times 10^{-31} \text{ kg}}} = 2/15 \times 10^5 \text{ m/s}$$

طول موج آستانه برای اثر فوتوالکتریک در یک فلز معین برابر 254nm است.

الف) تابع کار این فلز بر حسب الکترون ولت چقدر است؟

ب) توضیح دهید که آیا اثر فوتوالکتریک به ازای طول موج های کوچک تر، مساوی یا بزرگ تر از 254nm مشاهده خواهد شد.

Dr: B. Barati

در پدیده فوتوالکتریک برای فلز روی،

الف) بلندترین طول موجی را پیدا کنید که سبب گسیل فوتوالکترون‌ها می‌شود.

ب) وقتی نوری با طول موج 220 nm با سطح این فلز برهم‌کنش کند، پیشینه تندی فوتوالکترون‌ها چقدر است؟

Dr: B. Barati

بررسی اثر فرکانس روی انرژی جنبشی فوتوالکترونها

مثال: اگر فرکانس را نصف کنیم K_m چگونه تغییر می کند؟

$$K_{m2} = hf - W_0 = \frac{hf}{2} - W_0 = \left(\frac{hf}{2} - \frac{W_0}{2}\right) - \frac{W_0}{2} \Rightarrow K_{m2} = \frac{K_{m1}}{2} - \frac{W_0}{2} \Rightarrow K_{m2} < \frac{K_{m1}}{2}$$

مثال: اگر فرکانس دو برابر شود K_m چگونه تغییر می کند؟

$$K_{m2} = hf - W_0 = h(2f) - W_0 = (2hf - 2W_0) + W_0 \Rightarrow K_{m2} = 2K_{m1} + W_0 \Rightarrow K_{m2} > 2K_{m1}$$

مثال: در یک آزمایش فوتوالکتریک، تابع کار فلز مورد آزمایش 1.2eV است با استفاده از نور مرئی و انتخاب رنگ مناسب، بیشترین مقدار ممکن انرژی جنبشی هر فوتوالکترون چند الکترون ولت است؟

$$h = 4 \times 10^{-15} \text{eV}\cdot\text{s}$$

$$0.4\mu\text{m} \leq \lambda \leq 0.7\mu\text{m}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$$

د: 0.8

ج: 2.8

ب: 1.8

الف: 3

حل: در محدوده نور مرئی، بیشترین انرژی مربوط به نور بنفش یا طول موج $0.4\mu\text{m}$ است. بنابراین با استفاده از طول موج نور بنفش انرژی حاصل از یک فوتون آن را بصورت زیر حساب می‌کنیم.

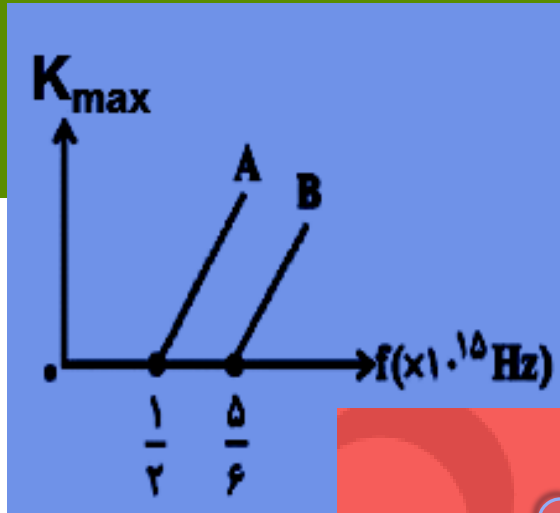
$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{4 \times 10^{-15} \times 3 \times 10^8}{4 \times 10^{-7}} = 3\text{eV}$$

$$K_{\text{max}} = E - W_0 = 3 - 1.2 = 1.8\text{eV}$$

مثال نمودار K_{\max} بر حسب بسامد نور فرودی برای دو فلز مجزای **A** و **B** در آزمایش فوتوالکتریکی مطابق

شکل زیر است اگر نوری با بسامد f به هر دو فلز بتابد K_{\max} فلز **A** سه برابر K_{\max} فلز **B** می شود f بر

حساب HZ کدام است؟



1×10^{15} (د)

1.5×10^{15} (ز)

2×10^{15} (ب)

3×10^{15} (الف)

برای هر دو فلز داریم $K_{\max} = hf - hf_0$

$$\frac{K_{\max A}}{K_{\max B}} = \frac{h(f - f_{0A})}{h(f - f_{0B})} \Rightarrow 3 = \frac{f - \frac{1}{2} \times 10^{15}}{f - \frac{5}{6} \times 10^{15}} \Rightarrow f = 10 \text{ Hz}$$

مثال: در پدیده فوتوالکتریک، تعداد فوتوالکترونهایی که در یک بازه زمانی مشخص، از سطح فلز خارج می شوند با کدام متناسب است؟

الف) شدت نور فرودی ب) بسامد نور فرودی ج) طول موج نور فرودی د) تابع کار فلز

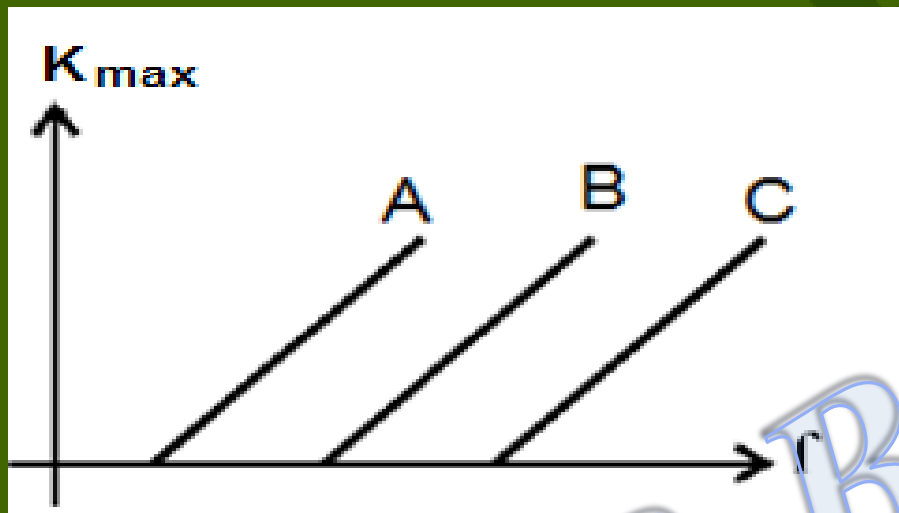
حل: با تغییرات شدت نور، تعداد فوتون های نور تغییر می کرده و باعث تغییر در تعداد فوتوالکترونهای گسیلی خواهد شد زیرا هر الکترون، یک فوتون جذب می کند.

مثال: اگر در پدیده فوتوالکتریک به جای لامپ فرابنفش $20W$ از لامپ فرابنفش $40W$ استفاده می شود کدام یک دو برابر می شود.

الف) شدت جریان مدار ب) ولتاژ متوق کننده ج) K_{max} د) ب و ج

$$A_2 = 2A_1 \Rightarrow N_2 = 2N_1 \Rightarrow I_2 = 2I_1 \Rightarrow \text{تعداد فوتون}$$

مثال: در شکل مقابل نمودار K_{max} بر حسب f برای سه فلز مختلف رسم شده است کدام گزینه درست است؟



الف) $W_{0A} > W_{0B} > W_{0C}$
 ب) $W_{0C} > W_{0B} > W_{0A}$
 ج) $W_{0A} = W_{0B} = W_{0C}$
 د: به سطح مقطع فلزها بستگی دارد

حل: طبق رابطه $f_0 = \frac{W_0}{h}$ بسامد قطع برای تابع کار رابطه مستقیم دارد.

$$f_{0C} > f_{0B} > f_{0A} \Rightarrow W_{0C} > W_{0B} > W_{0A}$$

مثال: تابع کار فلز تنگستن $4/5 \text{ eV}$ است اگر یک موج الکترو مغناطیسی که بسامد آن سه برابر بسامد قطع

تنگستن است بر سطح آن بتابد. K_{max} در این آزمایش چند الکترون-ولت است؟

د: صفر

ج: $13/5$

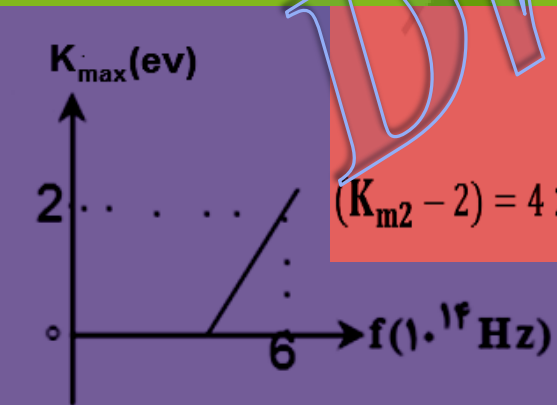
ب: 4

الف: $2/5$

$$K_{\text{max}} = hf - W_0 = h(3f_0) - W_0 = 3W_0 - W_0 = 2W_0$$

$$K_{\text{max}} = 2W_0 = 9(\text{eV})$$

مثال براساس نمودار مقابل، به ازای بسامد $1/1 \times 10^{15} \text{ Hz}$ انرژی جنبشی فوتوالکترون ها چند الکترون-



$$K_{m1} = hf_1 - W_0 \Rightarrow (K_{m2} - K_{m1}) = h(f_2 - f_1) \Rightarrow$$

$$K_{m2} = hf_2 - W_0$$

$$(K_{m2} - 2) = 4 \times 10^{-15} (11 \times 10^{14} - 6 \times 10^{14}) \Rightarrow K_{m2} = 4(\text{eV})$$

ولت است؟ $h = 4 \times 10^{-15} \text{ eV-S}$

د: 6

ج: 4

ب: 6

الف: $1/5$

مثال: انرژی جنبشی سریع ترین الکترون خارج شده از سطح فلزی که به آن نور با بسامد 10^{15}

هرتز می تابد برابر 0.69 eV است بلندترین طول موجی که می تواند باعث گسیل فوتوالکترون ها

از سطح این فلز شود 414 nm است $h = 4.14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$

د: ۲۰۰

ج: ۳۵۰

ب: ۲۰۰

الف: ۳۶۰

$$K_{\max} = h(f - f_0) \Rightarrow 0.69 = 4.14 \times 10^{-15} \times 10^{15} - f_0 \Rightarrow f_0 = \frac{5}{6} \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = 360 \text{ nm}$$

مثال: وقتی به سطح یک فلز موج E-M یا بسامد $2 \times 10^{15} \text{ Hz}$ می تابد و لتاز متوقف کننده فوتوالکترونها $3/28 \text{ V}$ می شود اگر موج E-M با بسامد 10^{15} Hz به فلز بتابد بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترونها ی گسیل شده از آن فلز چند eV می شود.

$$h = 4/14 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$$

ب: $2/42$

الف: $1/64$

د: صفر

ج: $+186$

$$K_{\max} = eV_0 = 3/28 \Rightarrow K_{\max} = hf - W_0 \Rightarrow W_0 = hf - K_{\max}$$

$$W_0 = 4/14 \times 10^{-15} \times 2 \times 10^{15} - 3/28 \Rightarrow W_0 = 5 \text{ eV}$$

$$K'_{\max} = hf' - W_0 = 4/4 \times 10^{-15} \times 10^{15} - 5 = -0.86 \text{ eV}$$

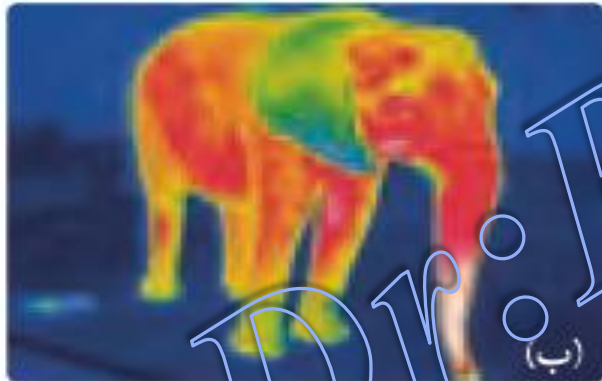
منفی بودن K'_{\max} نشان می دهد که $hf' < W_0$ بوده و انرژی فوتون ها برای جدا کردن الکترون

کافی نیست یعنی $K'_{\max} = 0$

تابش گرمایی: همه‌ی اجسام در هر دمایی از خود امواج E-M تابش می‌کنند که گسیل تابش

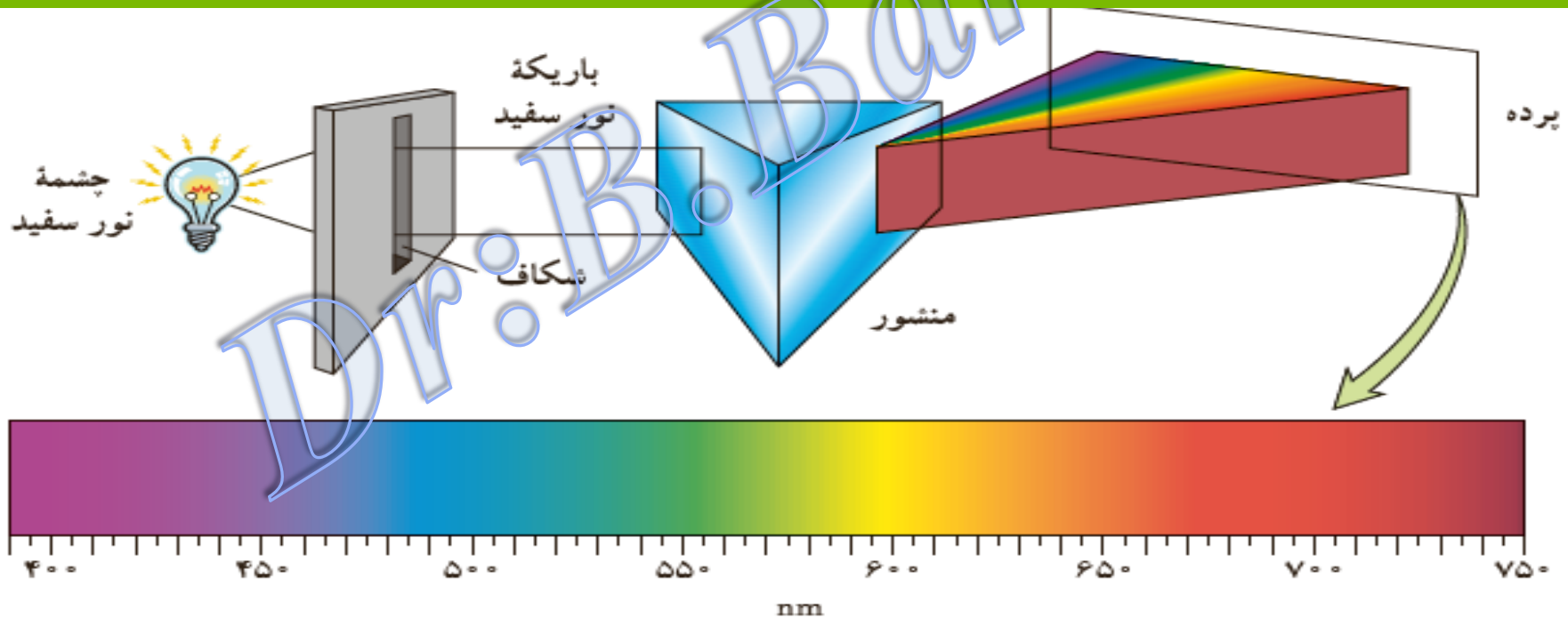
های E-M از سطح اجسام را تابش گرمایی می‌گویند.

نکته: در تابش گسیل شده از سطح اجسام همه‌ی طول موج‌های فروسرخ، مرئی و فرابنفش به صورت یک طیف پیوسته وجود دارد.



شکل‌ها (الف): اجسام در دماهای بالا از سطح خود نور مرئی گسیل می‌کنند. (ب) در دماهای معمولی، بیشتر تابش گسیل‌شده از سطح اجسام در ناحیه فروسرخ طیف قرار دارد.

تعریف طیف تابشی (گسیلی) پیوسته و نحوه تولید آن برای یک جسم جامد، نظیر رشته داغ یک لامپ روشن، این امواج شامل گستره پیوسته‌ای از طول موج‌هاست. به همین دلیل طیف ایجاد شده در این شرایط را طیف گسیلی پیوسته یا به اختصار طیف پیوسته می‌نامند. بخشی از این طیف که در گستره مرئی طول موج‌ها واقع است در شکل زیر نشان داده شده است. تشکیل طیف پیوسته توسط جسم جامد، ناشی از برهم کنش قوی بین اتم‌های سازنده آن است.



شکل نمایشی: طیف گسیلی پیوسته نور سفید از رشته داغ یک لامپ روشن. در این شکل تنها بخش مرئی طیف نشان داده شده است که گستره طول موج آن از حدود 400 nm (نور بنفش) تا حدود 750 nm (نور قرمز) است.

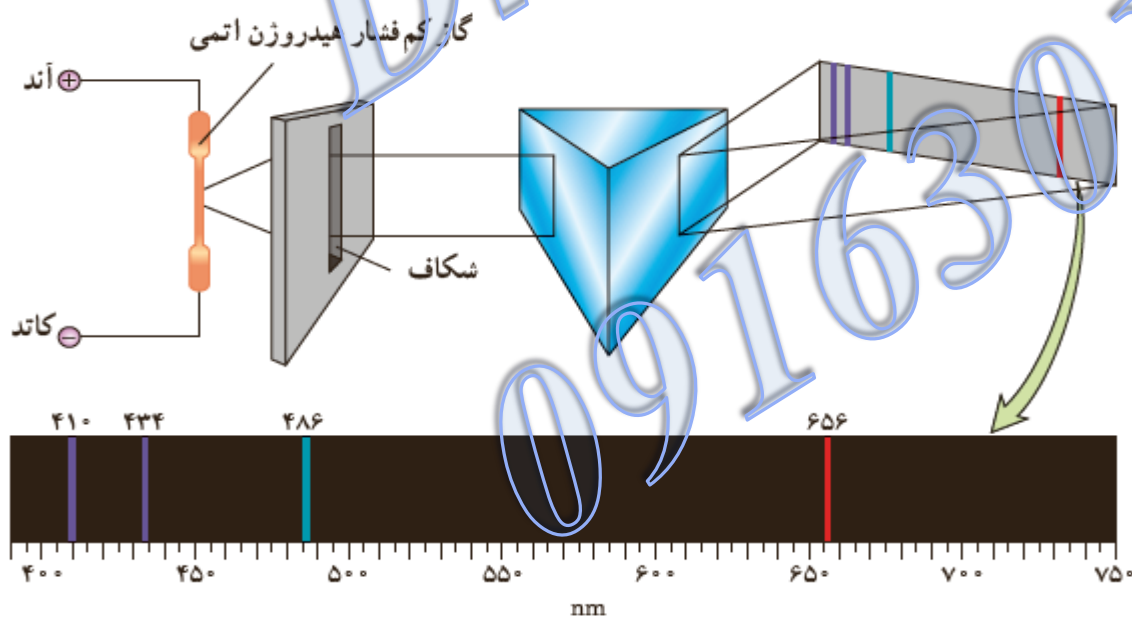
تعریف طیف تابشی (گسیلی) خطی و ویژگی های آن: تشکیل طیف پیوسته توسط جسم جامد، ناشی از برهم کنش قوی بین اتم های سازنده آن است. حال آنکه گازهای کم فشار و رقیق، که اتم های منفرد آنها از برهم کنش های قوی موجود در جسم جامد آزادند به جای طیف پیوسته، طیفی گسسته را گسیل می کنند که شامل طول موج های معینی است. این طیف گسسته را، معمولاً طیف گسیلی خطی یا به اختصار طیف خطی می نامند و طول موج های ایجاد شده در آن، برای اتم های هر گاز منحصر به فرد هستند و سرنخ های مهمی را دربارهٔ نوع و ساختار اتم های آن گاز به دست می دهند. 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 تابلهای نئونی و لامپ های جیوه ای رنگ های مشخصی می دهند.



نمایش طیف های گسیلی خطی برای نئون و جیوه

نحوه تولید طیف تابشی (گسیلی) خطی:

برای تشکیل طیف گسیلی خطی اتم‌های هر گاز نظیر هیدروژن، هلیوم، جیوه، سدیم و نئون معمولاً از یک لامپ باریک و بلند همیشه‌ای که حاوی مقداری گاز رقیق و کم فشار است استفاده می‌شود. دو الکترود به نام‌های کاتد و آنود در دو طرف این لامپ قرار دارد که به ترتیب به پایانه‌های مثبت و منفی یک منبع تغذیه با ولتاژ بالا وصل اند. این ولتاژ بالا، سبب تخلیه الکتریکی در گاز می‌شود و اتم‌های گاز درون لامپ شروع به گسیل نور می‌کنند. آزمایش نشان می‌دهد که طیف خطی ایجاد شده و همچنین رنگ نور گسیل شده، به نوع گاز درون لامپ بستگی دارد. در میان طیف گسیلی گازهای مختلف، طیف خطی هیدروژن اتمی هم از جنبه تاریخی و هم از جنبه نظری اهمیت خاصی دارد. طیف خطی این گاز بر ناحیه مرئی، شامل یک رشته منظم از خط‌هایی است که محل آنها در طیف زیر نشان داده شده است.



رابطه‌ی بالمر: برای اولین بار طیف اتمی هیدروژن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت بالمر نشان

داد که می توان طول موج چهار خط از طیف مریی اتم هیدروژن را با دقت بسیار زیادی از رابطه

$$\lambda_{nm} = 364.5 \frac{n^2}{n^2 - 4}$$

مقابل بدست آورد.

که در آن $n \geq 3$ و همواره عددی صحیح است. با قرار دادن $n = 3, 4, 5, 6$ در معادله بالمر، طول موج خط‌های طیف گسیلی اتم هیدروژن در ناحیه مرئی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$n = 3 \rightarrow \lambda_1 = 656/20 \text{ nm} \quad (\text{خط قرمز})$$

$$n = 4 \rightarrow \lambda_2 = 486/08 \text{ nm} \quad (\text{خط آبی})$$

$$n = 5 \rightarrow \lambda_3 = 434/00 \text{ nm} \quad (\text{خط نیلی})$$

$$n = 6 \rightarrow \lambda_4 = 410/13 \text{ nm} \quad (\text{خط بنفش})$$

رابطه ریذبرگ:

ریذبرگ برای یافتن خطوط بیشتر و کامل تر کردن طیف گسیلی خطی هیدروژن رابطه زیر را پیشنهاد داد

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

$$n' < n \quad n' = 1 \quad n = 2, 3, 4, \dots$$

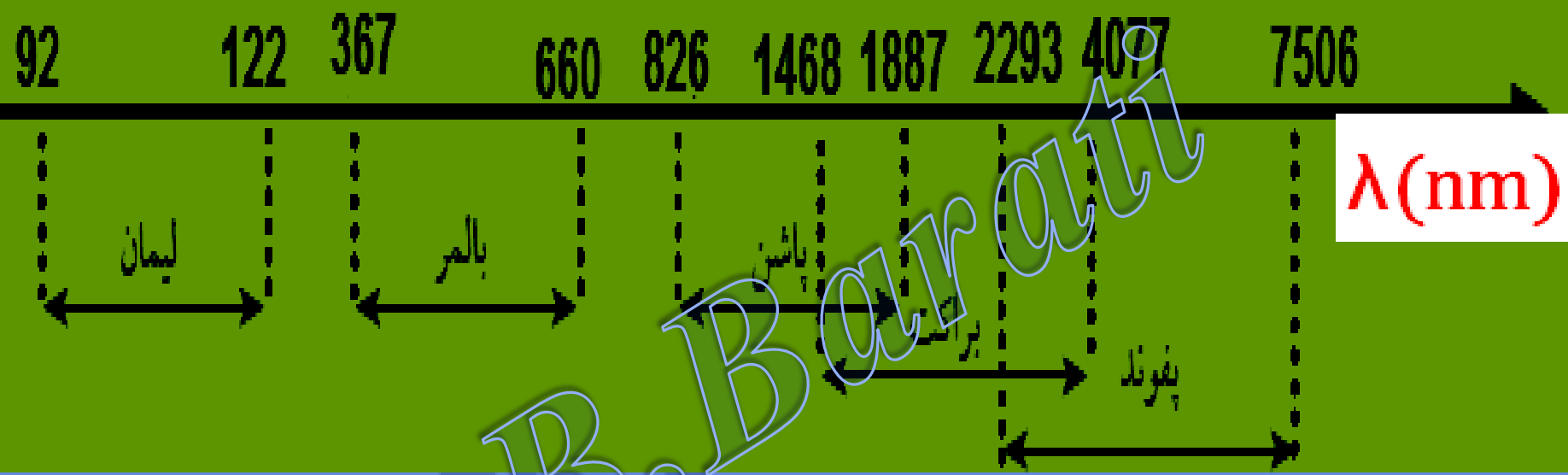
$n' = 1 \rightarrow$ لیمان ، $n' = 2 \rightarrow$ بالمر ، $n' = 3 \rightarrow$ پاشن

$n' = 4 \rightarrow$ پراکت $n' = 5 \rightarrow$ پفوند

نکته مهم: رشته های تشکیل دهنده طیف اتمی

نام رشته	مقدار n'	رابطه ریبریگ	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	$n' = 3$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 4, 5, 6, \dots$	فروسرخ
براکت	$n' = 4$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 5, 6, 7, \dots$	فروسرخ
پفوند	$n' = 5$	$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right)$	$n = 6, 7, 8, \dots$	فروسرخ

محدوده طول موج های رشته خط های طیف کسبلی هیدروژن اتمی



مثال: در اتم هیدروژن کوتاه ترین طول موج مربوط به رشته ای از بلندترین طول موج مربوط به رشته ای بزرگتر است؟

(ب) بالمر - پاشن

(الف) پاشن - براکت

(د) بالمر - لیمان

(ج) لیمان - براکت

حل: گزینه ۴: رشته ای لیمان، در پایین طیف هیدروژن است یعنی λ_{min} (بالمر) $<$ λ_{max} (لیمان)

مثال: با گرم کردن تدریجی گاز هیدروژن از دماهای پایین تا دماهای بالا، ابتدا خط های رشته ی و در نهایت خط های رشته ی ظاهر می شود.

(ب) پفوند لیمان

(الف) پفوند بالمر

(د) بالمر - پفوند

(ج) لیمان - پفوند

گزینه ب: با گرم شدن گاز، نور حاصل شده از طول موج های بلندتر (پفوند) به طرف طول موج های کوتاه تر (لیمان) می رود.

مثال: در اتم هیدروژن در کدام یک از رشته های زیر فقط پرتوهای فرو سرخ تابش می شود.

(ب) بالمر - پاشن - براکت

(الف) پاشن - براکت - پفوند

(د) بالمر - براکت - پفوند

(ج) لیمان - پاشن - براکت

فرا بنفش → لیمان
فرا بنفش و مرئی → بالمر

پاشن
فقط فرو سرخ ⇒
براکت
پفوند

طول موج‌های اولین و دومین خط‌های طیفی اتم هیدروژن در رشتهٔ بَرَاکْت ($n' = 4$) را به دست آورید و تعیین کنید که این خط‌ها

در کدام گسترهٔ طول موج‌های الکترومغناطیسی واقع اند.

پاسخ: در رشتهٔ بَرَاکْت ($n' = 4$) و برای اولین و دومین خط طیفی به ترتیب $n = 5$ و $n = 6$ است. در این صورت با استفاده

از رابطهٔ ریذبرگ داریم:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{5^2} \right) = R (2/25 \times 10^{-2}) \Rightarrow \lambda = 4077 \text{ nm}$$

پس اساس طیف امواج E-M در ناحیه فرورسرخ قرار دارند.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{6^2} \right) = R (3/472 \times 10^{-2}) \Rightarrow \lambda = 2642 \text{ nm}$$

کوتاه‌ترین و بلندترین طول موج در رشته پفوند ($n' = 0$) هیدروژن اتمی را به دست آورید.

پاسخ: کوتاه‌ترین طول موج، با $n = \infty$ متناظر است. در این صورت با استفاده از رابطه ریذبرگ خواهیم داشت.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{\infty} \right) = \frac{R}{25} \Rightarrow \lambda = 2273 \text{ nm}$$

همچنین بلندترین طول موج این رشته، متناظر با $n = 6$ است. در این صورت داریم:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{6^2} \right) = \frac{11R}{900} \Rightarrow \lambda = 7431 \text{ nm}$$

مثال: اختلاف بسامد دومین و سومین خط رشته ی بالمر چند هرتز است؟ $C\left(\frac{m}{s}\right) = 3 \times 10^8$

$$R_H = 0.01(1/\text{nm})$$

$$6.7 \times 10^{13} \text{ (د)}$$

$$6.3 \times 10^{14} \text{ (ج)}$$

$$5 \times 10^{14} \text{ (ب)}$$

$$3.8 \times 10^{14} \text{ (الف)}$$

$$\Delta f = CR_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

بالمر $n' = 2$

$n_1 = 4$ دومین خط
 $n_2 = 5$ سومین خط

$$\Delta f = 3 \times 10^8 \times 10^{-2} \times 10^9 \left(\frac{1}{16} - \frac{1}{25} \right) \Rightarrow \Delta f = 6.75 \times 10^{13} \text{ Hz}$$

مثال: در طیف اتم هیدروژن، اختلاف کوتاهترین طول موج دو رشته متوالی الف (n') و ب ($n'+1$) تقریباً برابر 500nm است الف و ب به ترتیب کدام هستند؟

الف) لیمن - بالمر

ب) بالمر - پاشن

ج) پاشن - براکت

د) براکت - پفوند

$$\lambda_{\min} = \frac{n^2}{R_H} = 100n^2 \quad \Rightarrow \quad \lambda_{\min} - \lambda_{\min} = 100(n_2^2 - n_1^2) \Rightarrow$$

$$500\text{nm} = 100\text{nm}((n'+1)^2 - n'^2) \Rightarrow 5 = 1 + 2n' \Rightarrow n' = 2 \quad \text{بالمر}$$

$$2+1=3 \quad \text{پاشن}$$

با استفاده از محور طول موج اسلاید های قبل ، قابل حدس می باشد

مثال: اختلاف بیشترین بسامد رشته لیمان با بسامد چندمین خط این رشته در طیف

هیدروژن برابر $1.2 \times 10^{14} \text{ Hz}$ است؟ $C \left(\frac{m}{s} \right) = 3 \times 10^8$ ، $R_H = 0.01 (1/nm)$

(د) ششمین

(ج) پنجمین

(ب) چهارمین

(الف) دومین

$$\Delta f = CR_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \Rightarrow n_1^2 = \frac{CR_H}{\Delta f}$$

$n_2 =$ بینهایت

$$= \frac{3 \times 10^8 \times 10^{-2} \times 10^9}{1.2 \times 10^{13}} = 25$$
$$\Rightarrow n_1 = 5$$

$n' = 1$ لیمان \Rightarrow

$n=2$

3

4

5

خط اول

خط دوم

خط سوم

خط چهارم

طول موج‌های اولین و دومین خط‌های طیفی اتم هیدروژن در رشته پاشن ($n' = 3$) را به دست آورید و تعیین کنید که این خط‌ها در کدام گستره طول موج‌های الکترومغناطیسی واقع‌اند.

مثال: در یک اتم هیدروژن برانگیخته، الکترون در تراز $n=5$ قرار دارد. چند طول موج توسط این اتم می‌تواند تابش شود؟

$$5 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$$

$$4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$$

$$3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$$

$$2 \rightarrow 1$$

۱۰ تا طول موج تابش می‌کند

مثال: کدام جسم در دمای بالا طیف پیوسته دارد؟

الف) جامد ب) مایع ج) گاز بسیار متراکم د) هر سه

حل: گزینه ۴: طیف حاصل از جامد و مایع ملتهب و هم چنین گاز داغ و متراکم پیوسته است.

مثال: فوتون مربوط به کدام رشته، پراثری کم است؟

الف) بَرَاکِت ب) بِالْمَر ج) پَاشَن د) پَفُونَد

حل: طول موج های مربوط به رشته بالمر کوتاه تر و در نتیجه بسامان ها بیشتر است و بنا به

رابطه ی $E = hf$ فوتون های آن انرژی بیش تری دارند.

ایراد وارد بر معادله ریذبرگ

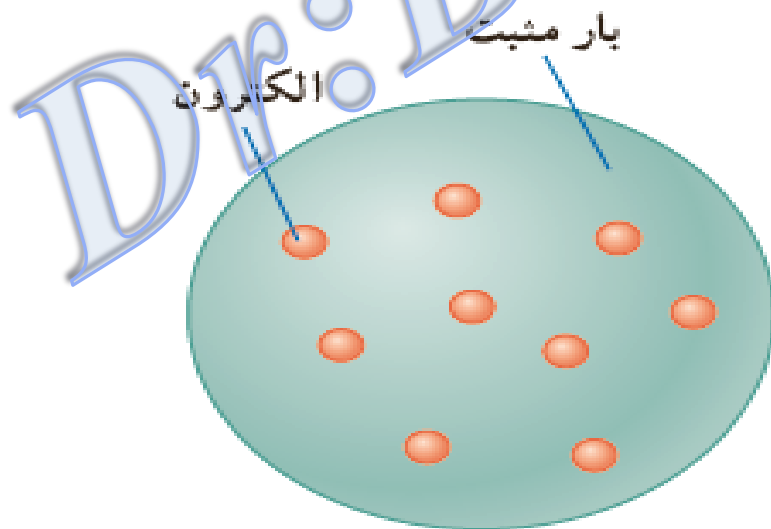
معادله ریذبرگ که برگرفته از داده‌های تجربی است، طول موج‌هایی را به دست می‌دهد که هیدروژن اتمی در طیف الکترومغناطیسی گسیل می‌کند. ولی مدل‌های اتمی رایج آن زمان در خصوص اینکه چرا تنها طول موج‌های معینی توسط هیدروژن اتمی تابش می‌شود، پاسخی نداشتند.

توجه: نیلز بور فیزیکدان دانمارکی با اصلاح مدل اتمی رادرفورد، برای نخستین بار توانست توضیح مناسبی برای طول موج‌های گسسته تابش شده توسط گاز هیدروژن اتمی ارائه دهد. در واقع مدل بور، آغاز راهی برای درک این موضوع بود که چگونه ساختار اتم، طول موج‌های تابش شده را به مقدارهای معینی محدود می‌کند.

مدل تامسون: در این مدل اتم بصورت کره ای فرض شد که بار مثبت بطور همگن در سرتاسر

آن گسترده شده است و الکترون ها که سهم ناچیزی در جرم اتمی دارند در جاهای مختلف آن پراکنده شده اند و به آن مدل کیک کشمش می گویند.

ایراد وارد بر مدل تامسون رذتی 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 مثل پیش بینی می کرد، با نتایج تجربی سازگار نبود.

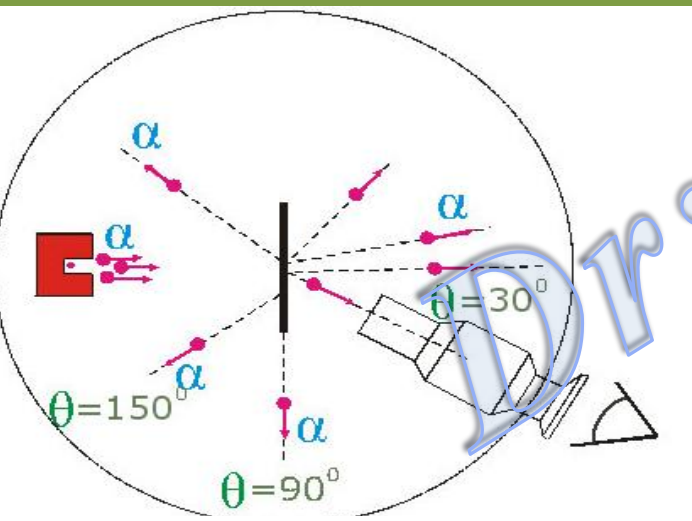


آزمایش رادرفورد برای اندازه‌گیری انحراف ذره‌های آلفا بر اثر برخورد با ورقه طلا، بیشتر ذره‌های آلفا بدون انحراف عبور می‌کنند و تعداد کمی با زاویه زیاد منحرف می‌شوند و برخی ذره‌ها به سمت عقب پرتاب می‌گردند.

همکاران رادرفورد نتایج آزمایشهای خود را بدین شرح منشر کردند:

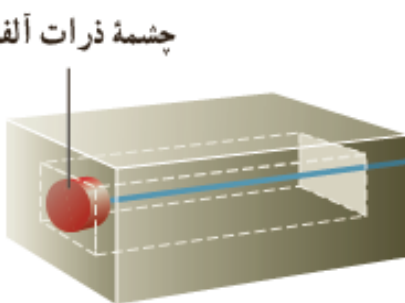
(1) بیشتر ذرات آلفا بدون انحراف قابل ملاحظه‌ای از برگ فلزی عبور می‌کنند.

(2) عده کمی از ذرات آلفا انحرافهای زیادی در حدود 30° تا 90° درجه نشان می‌دهند و عده بسیار کمی تقریباً متعکس می‌شوند و با زاویه‌هایی در حدود 150° درجه یا بیشتر بازگشت می‌یابند. که دلیل این امر، ساختار غیر یکنواخت اتم را مشخص می‌نماید.

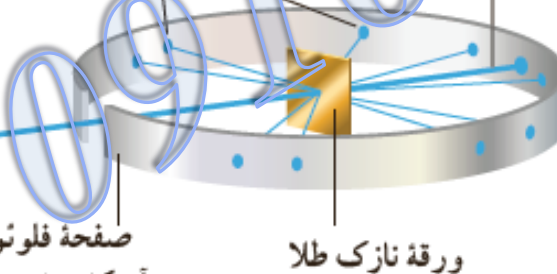


تعداد کمی از ذره‌های آلفا برانگنده می‌شوند.
بیشتر ذره‌های آلفا بدون انحراف از ورقه طلا می‌گذرند.

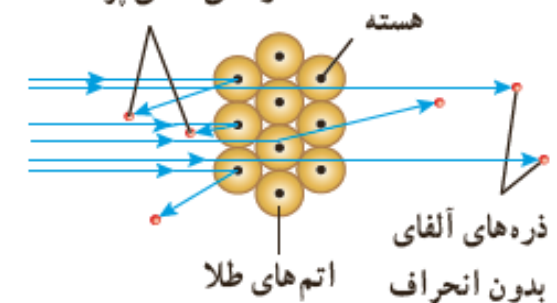
ذره‌های آلفای پراکنده شده



چشمه ذرات آلفا
باریکه ذرات آلفا
صفحه فلونورسان برای آشکارسازی ذره‌های آلفا



ورقه نازک طلا

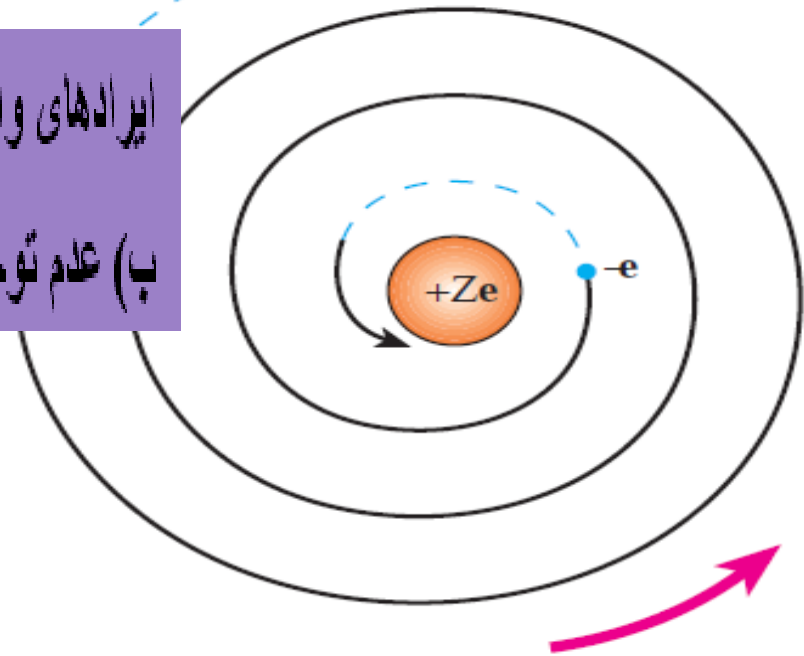


ذره‌های آلفای بدون انحراف
اتم‌های طلا

مدل رادرفورد

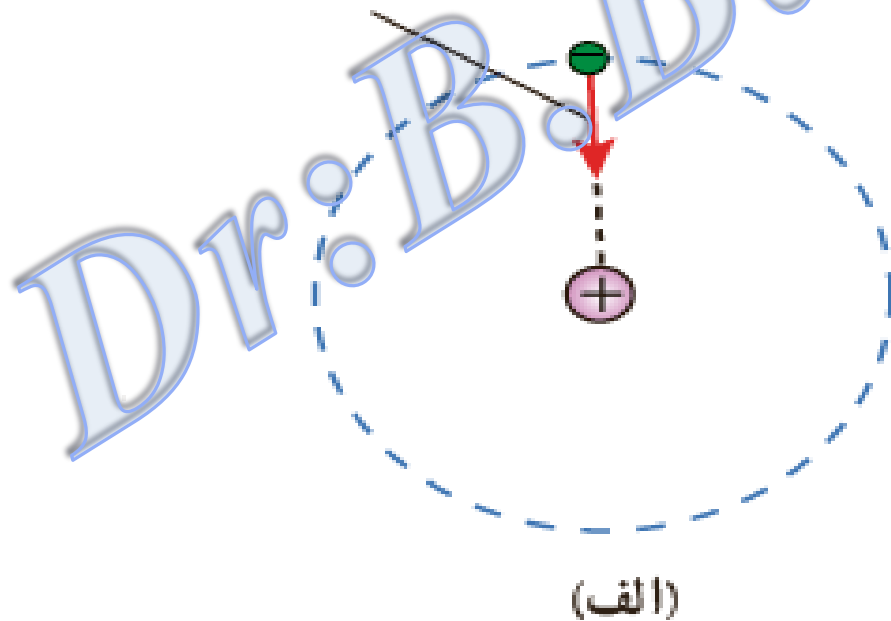
بنا بر مدل رادرفورد، اتم دارای یک هسته بسیار چگال و کوچک (10^{-15}m شعاع) و با بار مثبت است که با تعدادی الکترون در فاصله‌هایی به نسبت دور احاطه شده است. در حالت طبیعی، اتم از نظر الکتریکی خنثاست؛ زیرا بار مثبت هسته، درست مساوی مجموع بار منفی الکترون‌هایی است که هسته را دربر گرفته‌اند. مدل اتمی رادرفورد که آن را مدل اتم هسته‌ای یا مدل هسته‌ای اتم می‌نامند، در تیزاردی با موفقیت همراه بود، ولی با چالش‌های تازه‌ای نیز مواجه شد.

ایزادهای وارد بر مدل رادرفورد عبارتند از: (الف) عدم توجیه پایداری الکترون در اطراف آن. (ب) عدم توجیه طیف اتمی عناصر

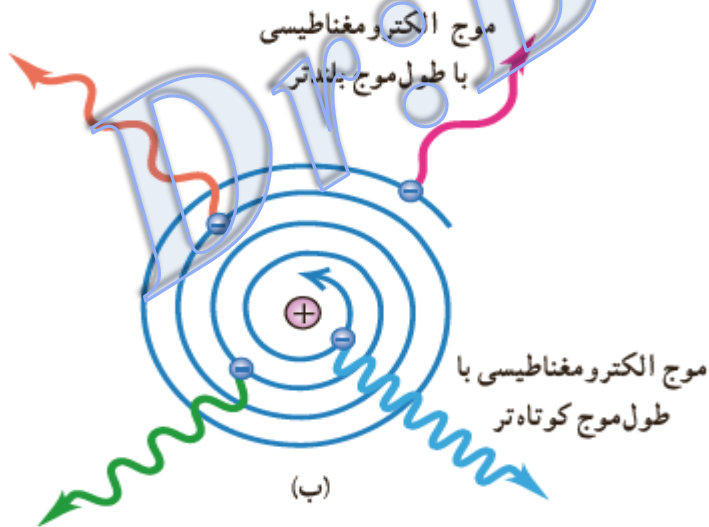


1) اگر الکترون‌ها را نسبت به هسته ساکن فرض کنیم، مطابق شکل الف، باید تحت تأثیر نیروی ربایشی الکتریکی بین هسته و الکترون، روی هسته سقوط کنند و در نتیجه اتم باید ناپایدار باشد؛ چیزی که با واقعیت جور در نمی‌آید.

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



بررسی ایراد دوم وارد بر مدل اتمی رادرفورد: 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 می‌شود که بسامد آن، با بسامد حرکت مداری الکترون برابر است. با تابش موج الکترومغناطیسی توسط الکترون، از انرژی آن کاسته می‌شود. این کاهش انرژی باعث می‌شود که شعاع مدار الکترون به دور هسته به تدریج کوچک‌تر و بسامد حرکت آن به تدریج بیشتر شود. این افزایش تدریجی بسامد حرکت مداری الکترون‌ها، سبب می‌شود 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 بی‌درپی امواج الکترومغناطیسی روی هسته فرو افتد (شکل ب). این نتیجه افزون بر اینکه با واقعیت ناسازگار است با طیف خطی گسیل شده توسط اتم‌ها نیز جور در نمی‌آید.

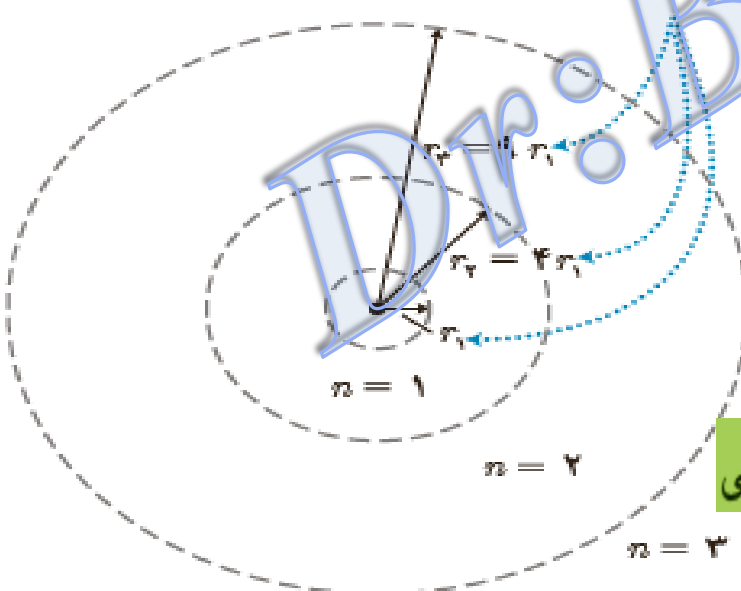


مدل بور:

این مدل علاوه بر آنکه مسئله ناپایداری (مدل رادرفورد) را حل کرد معادله ریذبرگ برای طیف خطی اتم هیدروژن را نیز نتیجه داد و دارای اصول زیر می باشد.

۱- مدارها و انرژی های الکترون ها در اتم کوانتیده اند؛ یعنی فقط مدارها و انرژی های گسسته معینی مجاز هستند.

شعاع مدارها با n^2 متناسب است.



$$r_n = a_0 n^2$$

(شعاع مدارهای الکترون برای اتم هیدروژن)

$$E_n = \frac{-13.6 \text{ eV}}{n^2}$$

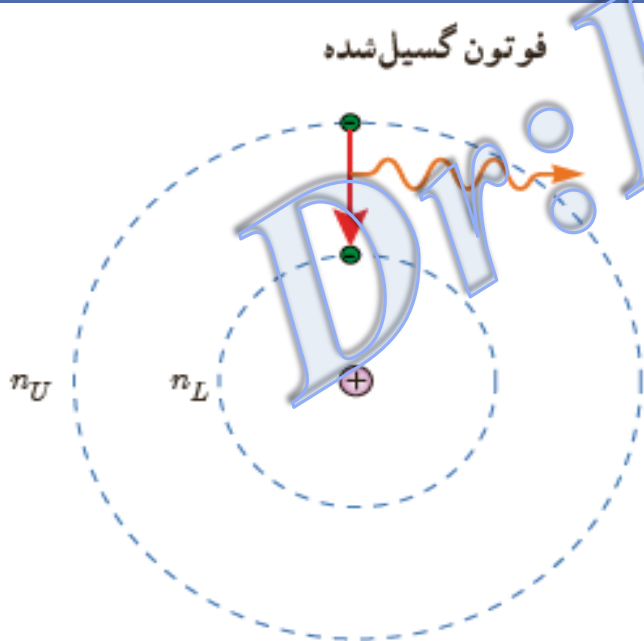
(انرژی های انرژی الکترون در اتم هیدروژن)

عدد کوانتومی $n = 1, 2, 3, \dots$

$$E_R = 13.6 \text{ eV} \text{ انرژی ریذبرگ}$$

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.

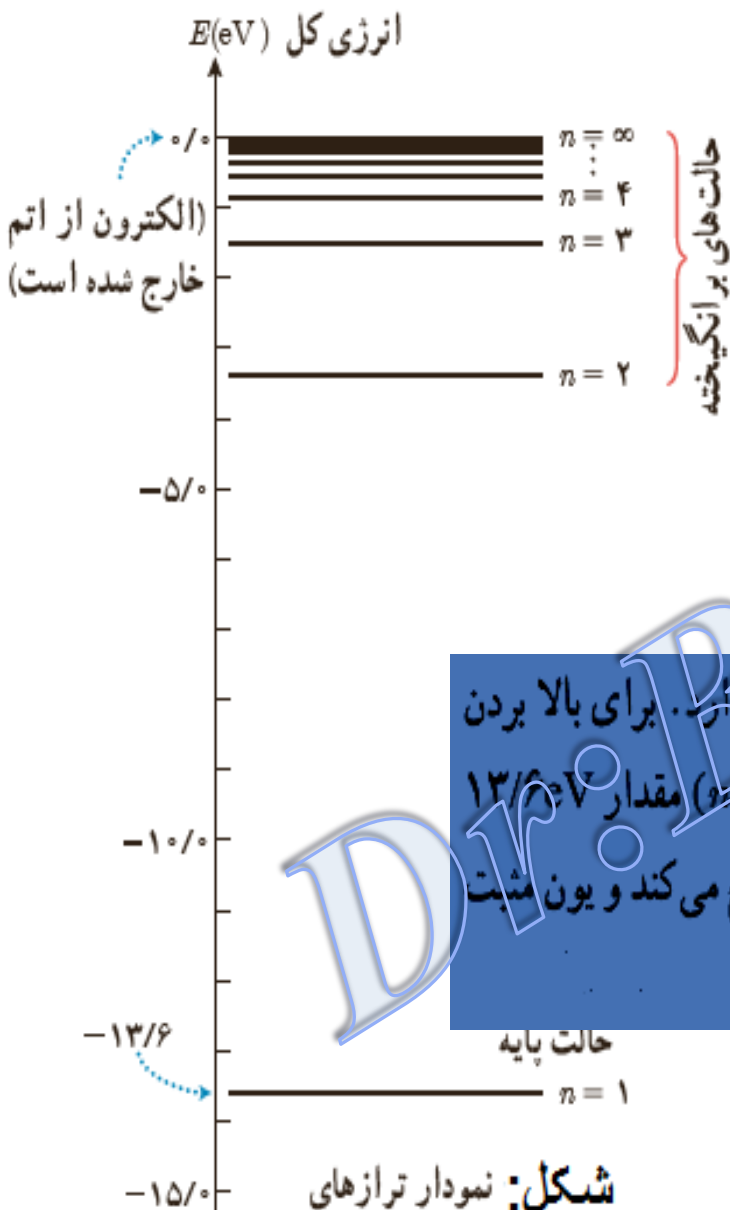
۳- الکترون می‌تواند از یک حالت مانا به حالت مانای دیگر برود. هنگام گذار الکترون از یک حالت مانا با انرژی بیشتر E_U به یک حالت مانا با انرژی کمتر E_L ، یک فوتون تابش می‌شود (شکل زیر). در این صورت انرژی فوتون تابش شده برابر اختلاف انرژی بین دو مدار اولیه و مدار نهایی است.



$$E_U - E_L = hf$$

(معادله گسیل فوتون از اتم)

نمودار ترازهای انرژی الکترون برای اتم هیدروژن:



شکل: نمودار ترازهای انرژی برای الکترون اتم هیدروژن

مشخصه اول: در این نمودار، که برای اتم هیدروژن رسم شده است بالاترین تراز انرژی به $n = \infty$ در $E = -13.6 \text{ eV}$ دارای انرژی 0 eV است. برعکس، پایین ترین تراز انرژی مربوط به $n = 1$ است و دارای مقدار -13.6 eV است. پایین ترین تراز انرژی، حالت پایه نامیده می شود. با افزایش n بالاتر که حالت های برانگیخته نامیده می شوند متمایز باشد. توجه کنید که با افزایش n چگونی انرژی های حالت های برانگیخته به هم نزدیک و نزدیک تر می شوند.

مشخصه دوم: در اتم هیدروژن و در دمای اتاق، الکترون اغلب در حالت پایه قرار دارد. برای بالا بردن الکترون از حالت پایه ($n = 1$) به بالاترین حالت برانگیخته ممکن ($n = \infty$) مقدار 13.6 eV انرژی باید صرف شود. صرف این مقدار انرژی، الکترون را از اتم خارج می کند و یون مثبت هیدروژن H^+ ایجاد می شود.

انرژی یونش الکترون: کمترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه، $n=1$ را انرژی یونش الکترون می گویند و برابر $+13.6\text{eV}$ است.

الکترونی در دومین حالت برانگیخته اتم هیدروژن قرار دارد. الف) انرژی الکترون را در این حالت پیدا کنید. ب) وقتی الکترون از این حالت برانگیخته به حالت پایه جهش می کند نمودار تراز انرژی آن را رسم کنید. پ) طول موج فوتون گسیل شده را حساب کنید.

الف) در دومین حالت برانگیخته، عدد کوانتومی $n=2$ است. و خواهیم داشت

$$E_2 = \frac{-13.6\text{eV}}{2^2} = -3.4\text{eV}$$



ب) شکل مقابل نمودار ترازهای انرژی را برای الکترون اتم هیدروژن نشان می دهد که با گسیل فوتون، از دومین حالت برانگیخته به حالت پایه جهش کرده است.

پ) انرژی الکترون در حالت پایه $E_1 = -13.6\text{eV}$ است. به این ترتیب انرژی فوتون گسیل شده برابر $E_2 - E_1$ است.

$$E_2 - E_1 = hf = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1} = \frac{1240\text{eV}\cdot\text{nm}}{-3.4\text{eV} - (-13.6\text{eV})} = 656\text{nm}$$

شکل مقابل تعدادی از ترازهای انرژی اتم هیدروژن را نشان می دهد.

الف) کمترین طول موج فوتونی را پیدا کنید که با گذار بین این ترازها به دست می آید.

ب) اگر الکترون از تراز انرژی $-1/51\text{eV}$ به تراز پایه جهش کند طول موج فوتون گسیلی را پیدا کنید.

پ) کدام گذار بین دو تراز می تواند به گسیل فوتونی با طول موج 660nm منجر شود؟ توجه کنید

که این طول موج ها در گستره مرئی است.

Dr: B. Bahrati

0eV

$-1/51\text{eV}$

$-3/40\text{eV}$

$-13/6\text{eV}$

استخراج معادله ریذبرگ برای اتم هیدروژن از مدل بور:

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

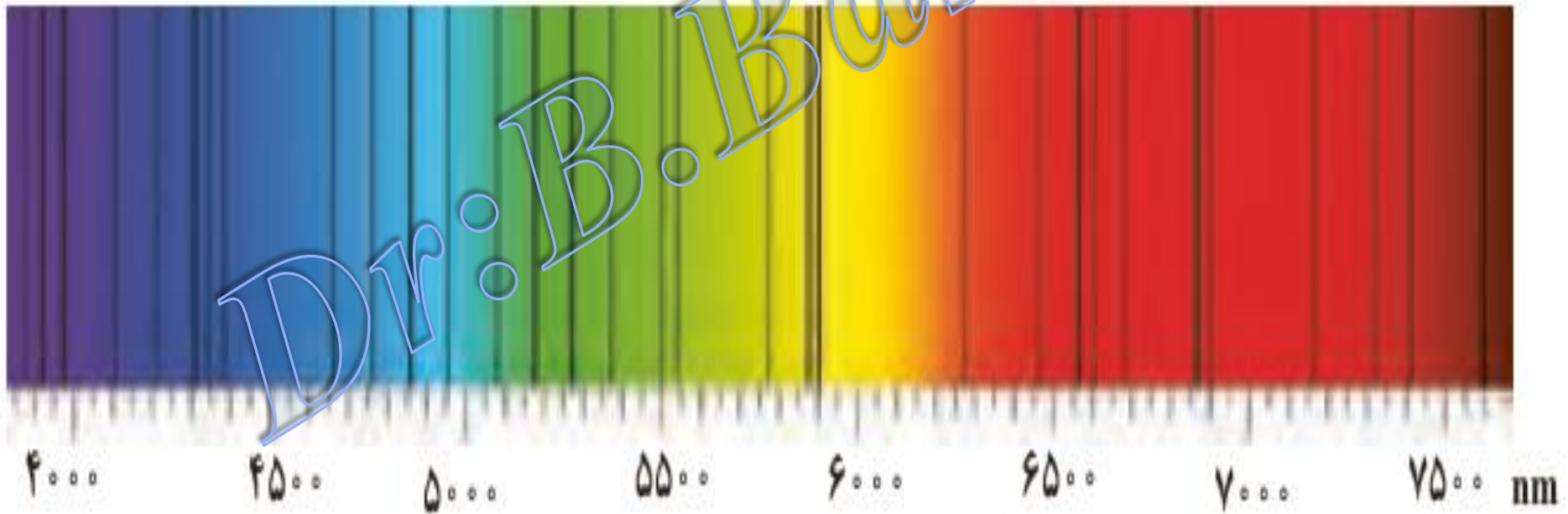
$$\frac{c}{\lambda} = \frac{E_R}{h} \left(\frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right) \Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{E_R}{hc} \left(\frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right)$$

$$\frac{E_R}{hc} = \frac{13.6 \text{ eV}}{1240 \text{ eV nm}} = 0.0109 \text{ (nm)}^{-1}$$

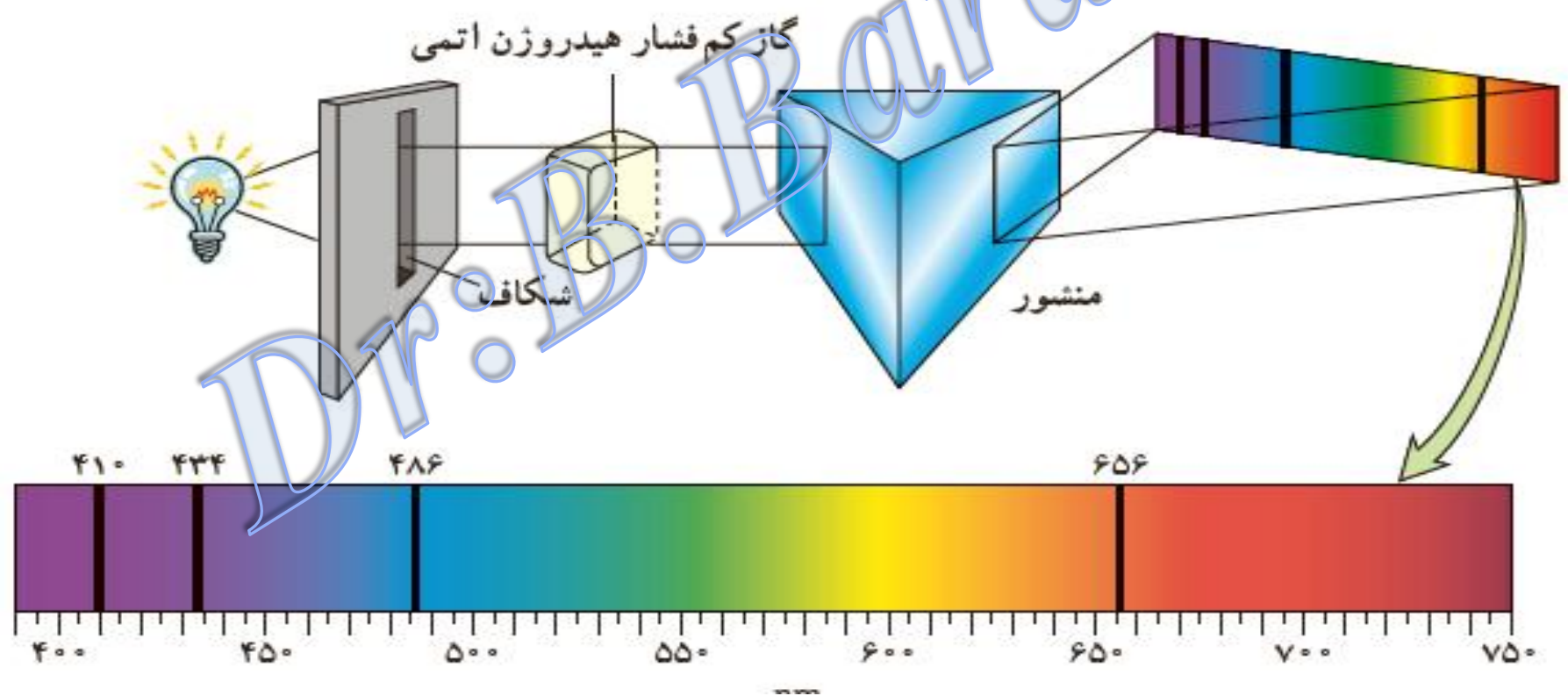
$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2} \right)$$

طیف نور خورشید:

هرگاه نور خورشید از جو خورشید عبور کند وجود عناصری در جو خورشید باعث جذب بعضی طول موج ها می شود و هم چنین بعضی از طول موج های آن در گازهای جو زمین جذب می شوند و به جای آنها خطوط تاریکی به نام خطوط فرانیهوفر دیده می شوند



روشنی برای نمایش طیف جذبی خطی: یک چشمه نور سفید که گستره‌ای پیوسته از طول موج‌ها را تولید می‌کند، از ظرفی حاوی گاز کم فشار هیدروژن اتمی می‌گذرد 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.



نکته ۱: طیف جذبی نور هنگامی تشکیل می شود که نور سفید از بخار یک عنصر عبور کرده و برخی از طول موج های آن توسط بخار عنصر جذب می شود. اما طیف گسیلی با گرم کردن جسم یا تحریک اتم ها توسط یک میدان $B \perp E$ تولید می شود.

طیف پیوسته: طیفی که در آن تمام طول موج ها وجود داشته باشد.

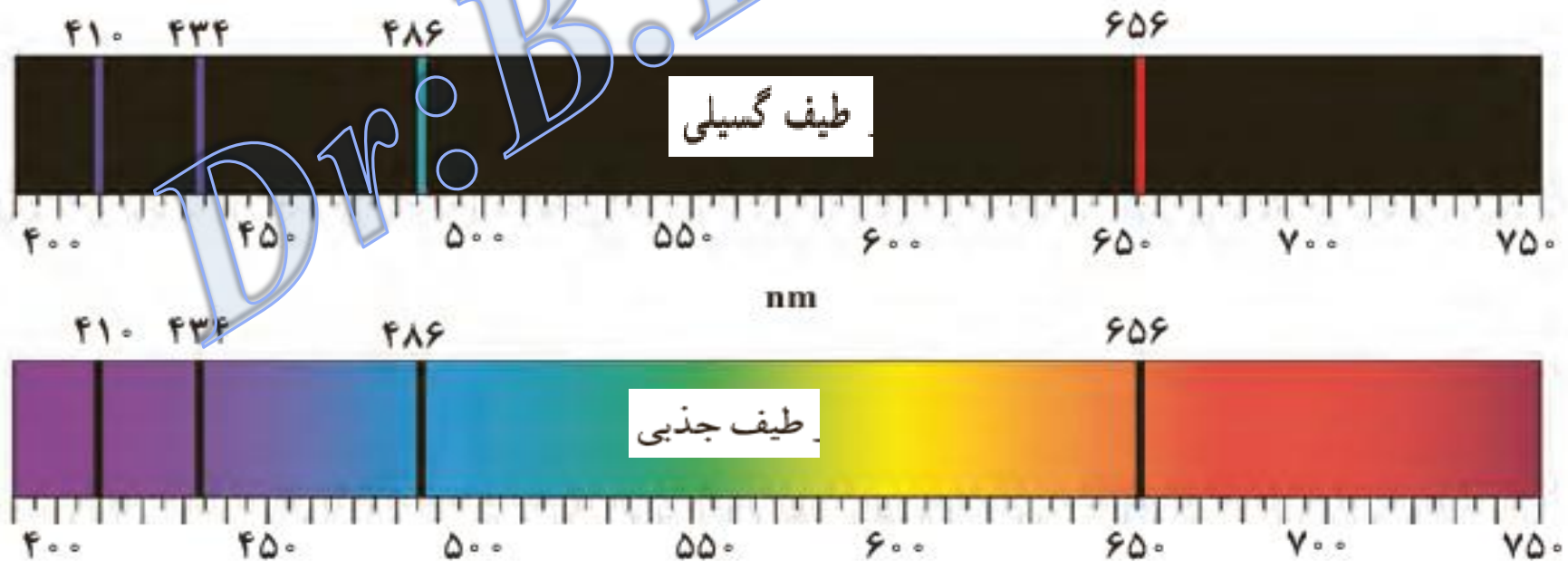
طیف گسسته: طیف نوری است که بعضی از طول موج های آن حذف شده باشند.

نکته ۲: طیف نور گسیل شده از جسم های جامد و مایع طیف پیوسته و طیف بخار عناصر طیفی گسسته است.

نکته ۳: طیف گسیلی بخار عنصر ها به صورت چند خط رنگی در یک زمینه سیاه بوده، اما طیف جذبی عناصر به صورت چند خط سیاه در یک زمینه رنگی مشاهده می شود.

مطالعه طیف های تابشی و جذبی عناصر چه واقعیت هایی را نشان می دهند

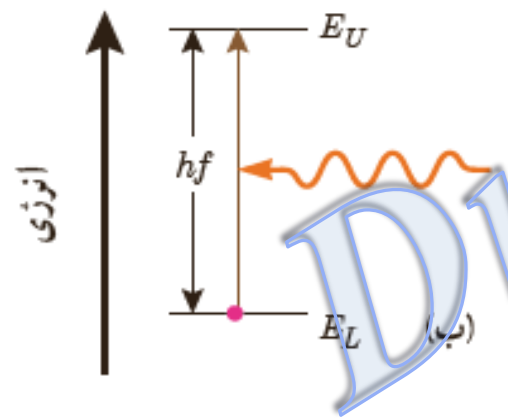
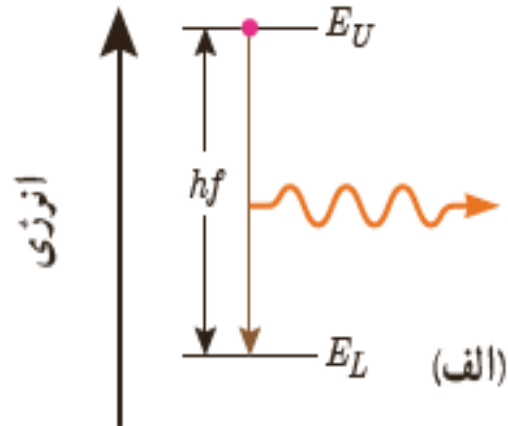
- هم در طیف گسیلی و هم در طیف جذبی اتم های گاز هر عنصر، طول موج های معینی وجود دارد که از مشخصه های آن عنصر است. یعنی طیف گسیلی و طیف جذبی هیچ دو گازی همانند یکدیگر نیست.
- اتم های هر گاز دقیقاً همان طول موج هایی را از نور سفید جذب می کنند که اگر دمای آنها به اندازه کافی بالا رود و یا به هر صورت دیگر برانگیخته شوند، آنها را تابش می کنند.



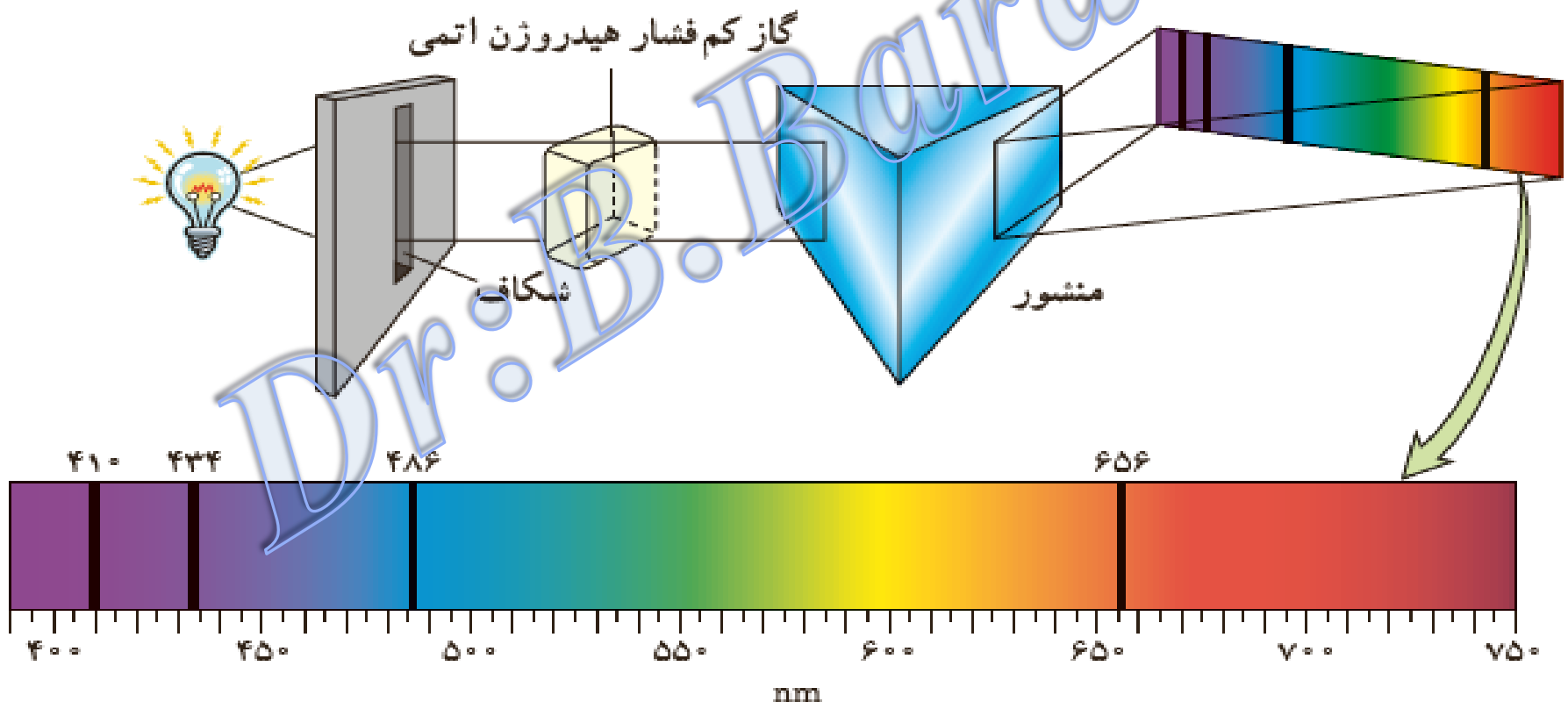
گسیل و جذب فوتون بر اساس مدل اتمی بور

۱) خط‌های گوناگون در طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی وقتی به وجود می‌آیند که الکترون‌های اتم‌ها هیدروژن، که به هر دلیلی برانگیخته شده‌اند از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین‌تر جهش کنند فوتون‌هایی را گسیل کنند (شکل الف)

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



نتیجه گیری: به این ترتیب اگر فوتون‌هایی با گستره پیوسته‌ای از طول موج‌ها مطابق آزمایش شکل زیر از گاز بگذرند و سپس طیف آنها تشکیل شود، یک دسته خط‌های جذبی تاریک در طیف پیوسته مشاهده خواهند شد. خط‌های تاریک، طول موج‌هایی را مشخص می‌کنند که با فرایند جذب فوتون برداشته شده‌اند.



موفقیت های مدل اتمی بور: : 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.

دو مورد از نارسایی های مدل اتمی بور

مورد اول: 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.

مورد دوم: 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.

کاربرد لیزر

لیزر یکی از مفیدترین اختراعات های قرن بیستم است که کاربرد زیادی در زندگی، فناوری و صنعت دارد. لیزر امروزه در چاپگرها، در نگاشتن اطلاعات روی CD و DVDها و خواندن آنها، شبکه های کابل نوری، اندازه گیری دقیق طول، دستگاه های جوشکاری و برش فلزات، پژوهش های علمی، سرگرمی و ... به کار می رود. همچنین در حرفه پزشکی برای جراحی، برداشتن لکه های پوستی، اصلاح دید چشم و دندانپزشکی و... از لیزر استفاده می شود



آزمایش های فیزیک و پژوهش های علمی



در جوشکاری



در برشکاری



در دندانپزشکی



تجویم

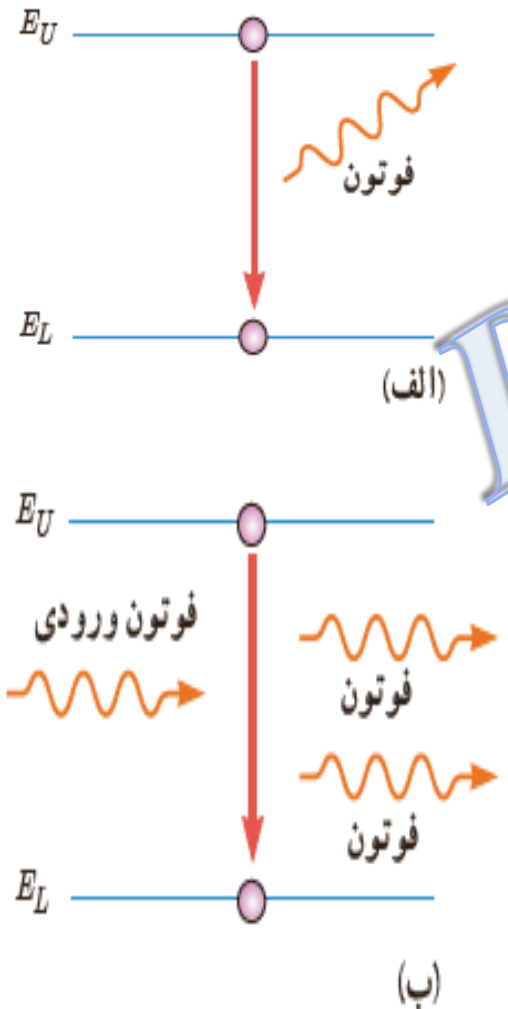


چشم پزشکی

مراحل تولید نور لیزری

مطابق مدل اتمی بور وقتی یک الکترون از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین تر جهش می کند یک فوتون گسیل می شود. فرایند گسیل می تواند به صورت گسیل خودبخودی یا گسیل القایی باشد

در گسیل خودبخودی (مطابق شکل الف) فوتون در جهشی کاتوره ای گسیل می شود



گسیل القایی (مطابق شکل ب): یک فوتون ورودی الکترون را اغیخته یا تحریک 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

(ب)

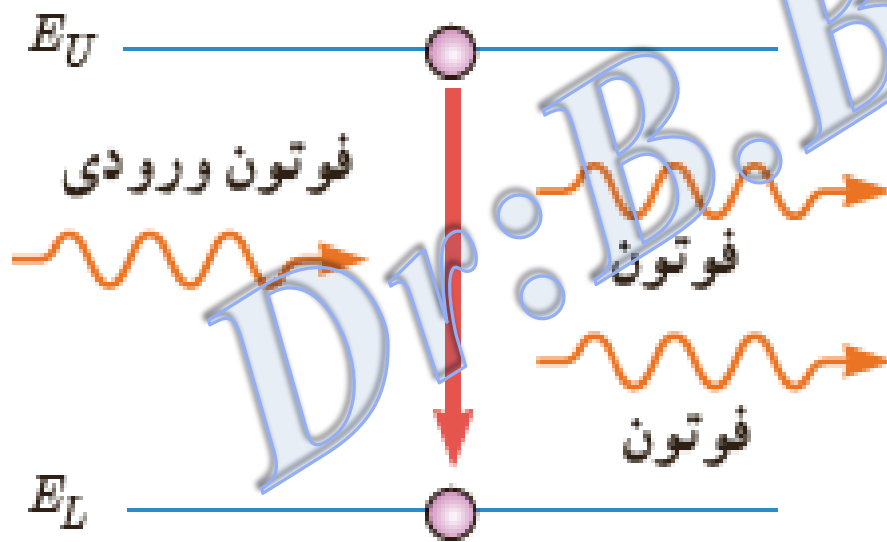
ویژگی های گسیل القایی در تولید لیزر: اول اینکه یک فوتون وارد و دو فوتون خارج می شود (مطابق

شکل زیر). به این ترتیب این فرایند تعداد فوتون ها را افزایش می دهد و نور را تقویت می کند. دوم

اینکه فوتون گسیل شده، در همان جهت فوتون ورودی حرکت می کند. سوم اینکه فوتون گسیل شده

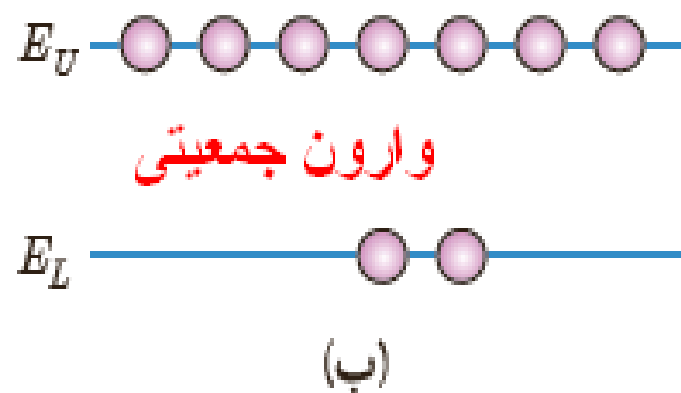
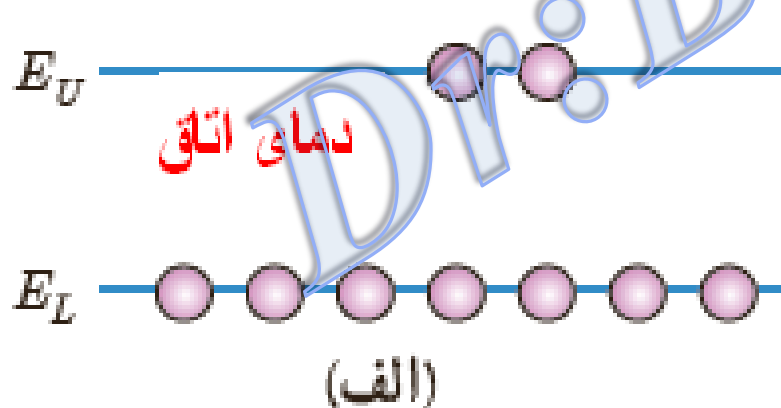
با فوتون ورودی همگام یا دارای همان فاز است. به این ترتیب فوتون هایی که باریکه لیزری را ایجاد

می کنند هم بسامد، هم جهت و هم فاز هستند.

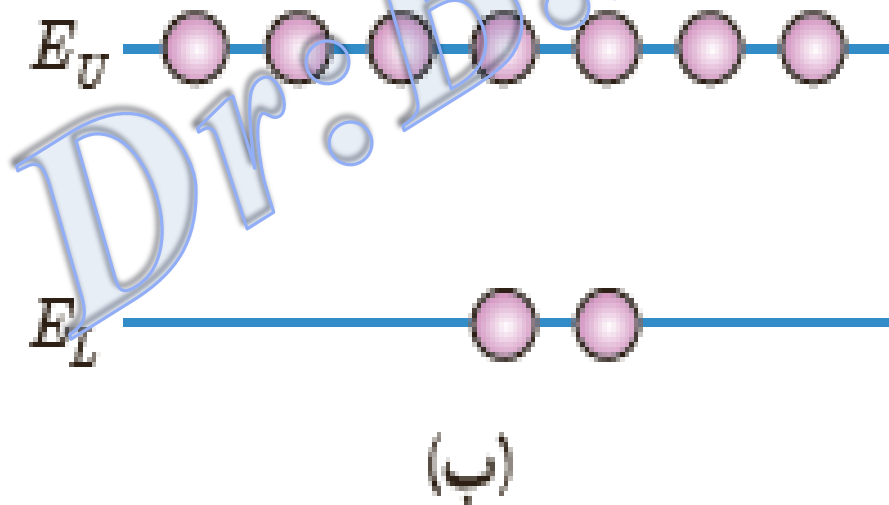


شرایط لازم برای ایجاد وارون جمعیتی جهت تقویت نور لیزر

در گسیل القایی یک چشمة انرژی خارجی مناسب باید وجود داشته باشد تا الکترون‌ها را به ترازهای انرژی بالاتر برانگیزد. این انرژی می‌تواند به روش‌های متعددی از جمله درخش‌های شدید نور معمولی و یا تابش‌های راتاز بالا فراهم شود. اگر انرژی کافی به اتم‌ها داده شود، الکترون‌های بیشتری به تراز انرژی بالاتر برانگیزده خواهند شد، شرطی که به وارونی جمعیت معروف است (مطابق شکل)

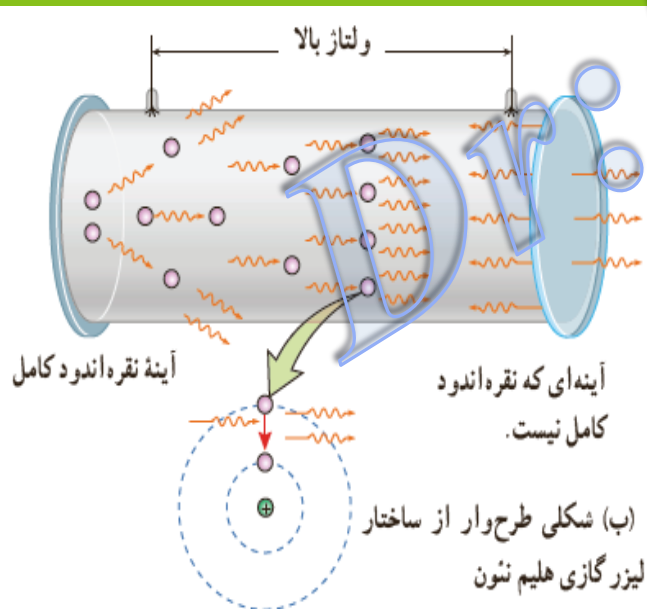


وارونی جمعیت الکترون‌ها در یک محیط لیزری، مربوط به وضعیتی است که تعداد الکترون‌ها در ترازهایی موسوم به ترازهای شبه پایدار نسبت به تراز پایین‌تر بسیار بیشتر باشند. در این ترازها، الکترون‌ها مدت زمان بسیار طولانی‌تری (10^{-2} s) نسبت به حالت برانگیخته معمولی (10^{-8} s) باقی می‌مانند. این زمان طولانی‌تر باعث بیشتری برای افزایش وارونی جمعیت و در نتیجه تقویت نور لیزر فراهم می‌کند.



لیزر گازی هلیم نئون (He - Ne)

گاز کم فشاری شامل ۱۵٪ هلیم و ۸۵٪ نئون درون لوله شیشه‌ای قرار دارد. برای ایجاد وارونی جمعیت، از تخلیه الکتریکی با ولتاژ بالا درون مخلوط گازی استفاده می‌شود. وقتی یک اتم با گسیل خودبه‌خود، فوتونی موازی با محور لوله گسیل کند، فرایند ایجاد باریکه لیزر شروع می‌شود. این فوتون با گسیل القایی باعث می‌شود تا اتم دیگری دو فوتون موازی با محور لوله گسیل کند. این دو فوتون با گسیل القایی، چهار فوتون ایجاد می‌کنند. از چهار فوتون، هشت فوتون حاصل می‌شود و به همین ترتیب نوعی پهن شدن فوتونی به وجود می‌آید. برای اینکه فوتون‌های بیشتر و بیشتری با گسیل القایی به وجود آیند دو انتهای لوله آینه‌هایی قرار می‌دهند تا فوتون‌ها در داخل مخلوطی از گازهای هلیم و نئون به جلو و عقب بازتاب دهند. از آنجا که یکی از آینه‌ها بازتاب‌دهنده کامل نیست، بخش از فوتون‌ها از لوله خارج می‌شوند و باریکه لیزر را تشکیل می‌دهند. بازده لیزرهای هلیم نئون بسیار کم و در حدود ۰/۰۱ تا ۰/۱ درصد است، ولی به دلیل کیفیت خوب باریکه لیزر ایجادشده، کاربرد زیادی در صنعت و فعالیت‌های علمی و آزمایشگاهی دارند.



(الف) تصویری از لیزر گازی هلیم نئون

مثال: بازده یک لیزر برابر 2% و توان ورودی آن 150 W است اگر طول موج باریکه لیزری

663 nm باشد در هر ثانیه چند فوتون از لیزر گسیل می شود؟ $h = 6.63 \times 10^{-34}$

الف) 10^{14} ب) 10^{17} ج) 10^{19} د) 10^{26}

$$Ra = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \Rightarrow \frac{2}{10000} = \frac{P_{out}}{150} \Rightarrow P_{out} = 0.03\text{ (w)}$$

$$E = Pt_{out} \Rightarrow nh \frac{c}{\lambda} = Pt \Rightarrow n = \frac{P_{out} t \lambda}{hc}$$

$$n = \frac{0.03 \times 1 \times 663 \times 10^{-9}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8} \Rightarrow n = 10^{17}$$