به نام خدا

فیزیک دوازدهم

رشته ی علوم تجربی

فیزیک اتمی – فوتوالکتریک

محمد حسین پاک طینت

اسفند ماه ۹۹

فیزیک کلاسیک: مجموعه علم فیزیک تا سال ۱۹۰۰ میلادی

✓ شامل مکانیک نیوتونی، ترمودینامیک، نظریه ی الکترومغناطیس ماکسول و . . .

فیزیک مدرن(جدید): مجموعه قوانینی که بعد از سال ۱۹۰۰ میلادی کشف شدند.

❖ پدیده هایی که با فیزیک کلاسیک قابل توجیه نیستند: ۱ – اثر فوتو الکتریک ۲ – طیف اتمی

نظریه ی نسبیت خاص: مطالعه ی پدیده ها در تندی های بسیار زیاد نزدیک به سرعت نور

نظریه ی نسبیت عام: مطالعه ی هندسه ی فضا – زمان و گرانش

نظریه ی کوانتم: مطالعه ی پدیده ها در مقیاس های بسیار کوچک مانند اتم و ذرات آن

اثر فوتوالکتریک

اثر فوتوالکتریک: جدا کردن الکترون ها از سطح فلز بوسیله ی نور با بسامد مناسب

فوتوالکترون: الکترون های جدا شده از سطح فلز بوسیله ی نور

دیدگاه کلاسیکی اثر فوتو الکتریک

✓ نور، یک موج الکترومغناطیس است پس میدان الکتریکی آن می تواند بر الکترون نیرو وارد کند.($F = Eq$)

✓ پس الکترونها به نوسان واداشته می شوند. اگر دامنه ی نوسان به اندازه کافی بزرگ شد، انرژی جنبشی لازم برای جدا شدن از سطح فلز را می کنند.

بقیه انرژی به جنبشی تبدیل می شود + مقداری صرف جدا شدن الکترون می شود = انرژی نور فرودی

طبق نظریه ماکسول ↓

با مربع دامنه و مربع بسامد متناسب است

نارسایی های دیدگاه کلاسیک در اثر فوتوالکتریک

- ✓ طبق نظریه ی ماکسول، شدت نور با مربع دامنه ی میدان الکتریکی موج متناسب است. پس اگر شدت نور فرودی را افزایش دهیم، الکترون باید با انرژی جنبشی بیشتری از فلز خارج شوند که این با تجربه سازگار نیست. یعنی افزایش شدت نور تأثیری بر انرژی جنبشی فوتوالکترونها ندارد.

- ✓ بنابر دیدگاه کلاسیک، پدیده ی فوتو الکتریک باید درهر بسامدی رخ دهد در حالی که این نتیجه با تجربه سازگار نیست. اگر بسامد نور مناسب نباشد، فوتوالکتریک رخ نمی دهد حتی اگر شدت نور را زیاد کنیم.

توجیه اثر فوتوالکتریک بوسیله ی انیشتین

❖انیشتین نور را بصورت مجموعه ای از بسته های انرژی(فوتون) در نظر گرفت که انرژی آن از رابطه ی زیر بدست می آید:

$E = nhf$ انرژی مجموعه فوتون ها

n: تعداد فوتون ها(عدد کوانتمی)

$E = hf$ انرژی هر فوتون

f: بسامد نور فرودی

h: ثابت پلانک

$h = 6.63 \times 10^{-34}\ J.s$

نظریه ی انیشتین برای اثر فوتو الکتریک

❖ وقتی نور بر سطح فلز می تابد، هر فوتون فقط با یکی از الکترونهای فلز، برهم کنش می کند. اگر فوتون انرژی کافی داشته باشد، الکترون بطور آنی از آن گسیل می شود.

بقیه انرژی به جنبشی تبدیل می شود	+	مقداری صرف جدا شدن الکترون می شود	=	انرژی فوتون

✓ افزایش شدت نور، (با ثابت ماندن بسامد) سبب افزایش تعداد فوتون ها و در نتیجه افزایش تعداد فوتوالکترون ها می شود ولی انرژی جنبشی فوتوالکترونها ثابت می ماند.

بسامد آستانه(f_0) : کمترین بسامدی که نور فرودی می تواند داشته باشد تا اثر فوتو الکتریک رخ دهد.

✓ بسامد آستانه به جنس فلز بستگی دارد.

✓ اگر بسامد نور فرودی کمتر از بسامد آستانه باشد، فوتوالکتریک رخ نمی دهد.

طول موج آستانه $\lambda_0 = \frac{c}{f_0}$

✓ اگر طول موج نور فرودی از طول موج آستانه بیشتر شود، پدیده ی فوتو الکتریک رخ نمی دهد.

یکای جدید برای انرژی

$$\Delta U = q\Delta V$$

- یک ژول، تغییر انرژی یک کولن بار است وقتی بین دو نقطه با اختلاف پتانسیل یک ولت حرکت می کند.

$$1\,J = 1c \times 1v$$

- یک الکترون ولت، تغییر انرژی یک الکترون است وقتی بین دو نقطه با اختلاف پتانسیل یک ولت حرکت می کند.

$$1\,ev = 1e \times 1v$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34}\,J.s = 4.14 \times 10^{-15}\,ev.s$$

$$1\,ev = 1.6 \times 10^{-19}\,J$$

تمرین ۴ــ۱

نوری با طول موج ۲۴۰nm به سطحی از جنس فلز تنگستن می‌تابد و سبب گسیل فوتوالکترون‌ها از آن می‌شود.

الف) بسامد نور فرودی را پیدا کنید.

ب) اگر توان چشمهٔ نور فرودی ۵۰W باشد، در هر دقیقه چه تعداد فوتون از این چشمه گسیل می‌شود؟

پ) اگر توان و در نتیجه شدت چشمهٔ نور فرودی به نصف کاهش پیدا کند، شمار فوتون‌های گسیل شده از چشمه در هر دقیقه چه تغییری می‌کند؟

الف

$$\lambda = 240\,nm \longrightarrow f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^{8}}{240 \times 10^{-9}} = 1.25 \times 10^{15}\,Hz$$

ب

$$E = P.t = 50 \times 60 = 3000\,J \longrightarrow E = nhf \longrightarrow n = \frac{E}{hf}$$

$$n = \frac{3000}{6.63 \times 10^{-34} \times 1.25 \times 10^{15}} \approx 362 \times 10^{19}$$

پ

نصف می شود

مثال(کنکور ۹۶ تجربی):

بسامد یک فرستنده ی رادیویی FM ، ۷۵ مگاهرتز و توان تشعشع آنتن آن 4.8×10^4 وات است. در هر ثانیه چند فوتون از این آنتن گسیل می گردد؟ ($e = 1.6 \times 10^{-19} C \quad , \quad h = 4 \times 10^{-15}\ ev.s$)

۱) 10^{30} ۲) 7.5×10^{20} ۳) 16×10^{20} ۴) 16×10^{10}

$f = 75 \times 10^6\ Hz$

$P = 4.8 \times 10^4 w$

$$E = P.t = 4.8 \times 10^4 \times 1 = 4.8 \times 10^4\ J = \frac{4.8 \times 10^4}{1.6 \times 10^{-19}}$$

$$\longrightarrow \quad E = 3 \times 10^{23}\ ev$$

$$E = nhf \longrightarrow n = \frac{E}{hf} = \frac{3 \times 10^{23}}{4 \times 10^{-15} \times 75 \times 10^6} = 10^{30}$$

مثال(خرداد ۹۸ تجربی):

اگر شدت تابشی متوسط خورشید در سطح زمین به ازای هر مترمربع حدود $330\ \frac{w}{m^2}$ باشد، در هر دقیقه چند فوتون به هر متر مربع از سطح زمین می رسد؟ طول موج متوسط فوتون ها را $570nm$ فرض کنید.

$$I = 330\ \frac{w}{m^2}$$

$$c = 3 \times 10^8\ \frac{m}{s} \quad , \quad h = 6.63 \times 10^{-34}\ J.s$$

$$I = \frac{E}{At} \longrightarrow 330 = \frac{E}{1 \times 60} \longrightarrow E = 19800\ J$$

$$E = nhf = nh\frac{c}{\lambda}$$

$$\longrightarrow \quad 19800 = n \times 6.63 \times 10^{-34}\ \frac{3 \times 10^8}{570 \times 10^{-9}} \quad \longrightarrow \quad n = 5.7 \times 10^{22}$$

به نام خدا

فیزیک دوازدهم

رشته های علوم تجربی – ریاضی فیزیک

فیزیک اتمی – طیف اتمی

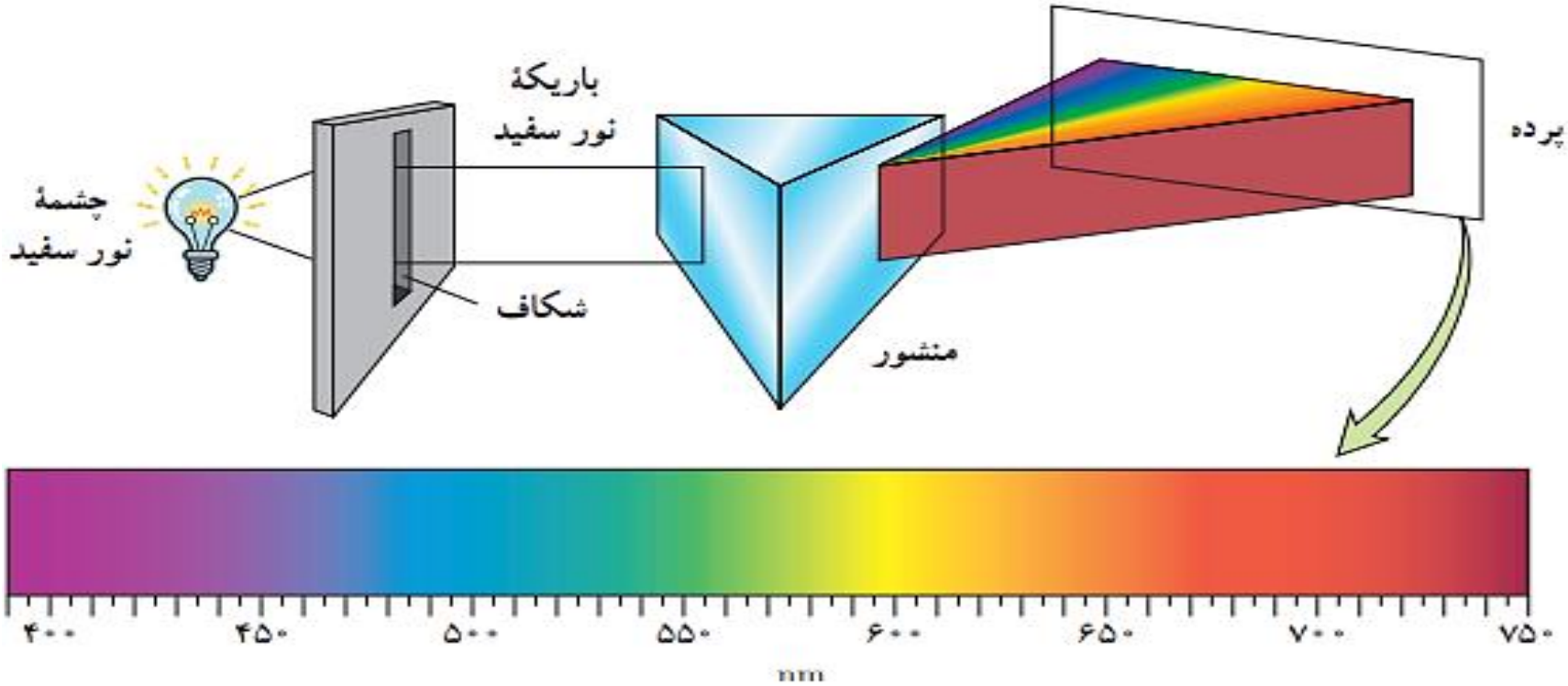
محمد حسین پاک طینت

اسفند ماه ۹۹

طیف اتمی

تابش گرمایی: همه ی اجسام در هر دمایی مقداری از انرژی خود را بصورت امواج الکترومغناطیسی گسیل(منتشر) می کنند که به آن تابش گرمایی گفته می شود.

✓ برای یک جسم جامد، تابش گرمایی گستره ی پیوسته ای از طول موج ها را تشکیل می دهند. مانند رشته ی داغ یک لامپ روشن.



طیف اتمی

طیف پیوسته: گستره ی پیوسته ای از طول موج ها

- ✓ برهم کنش قوی بین اتم های سازنده ی جامدات باعث می شود طیف پیوسته تشکیل شود.
- ✓ گازهای رقیق و کم فشار، به دلیل اینکه اتم های آنها، منفرد هستند و از برهم کنش قوی آزادند، طیف گسسته را گسیل می کنند.

طیف خطی: طیف گسسته را که شامل طول موج های معینی است، طیف خطی می گویند.

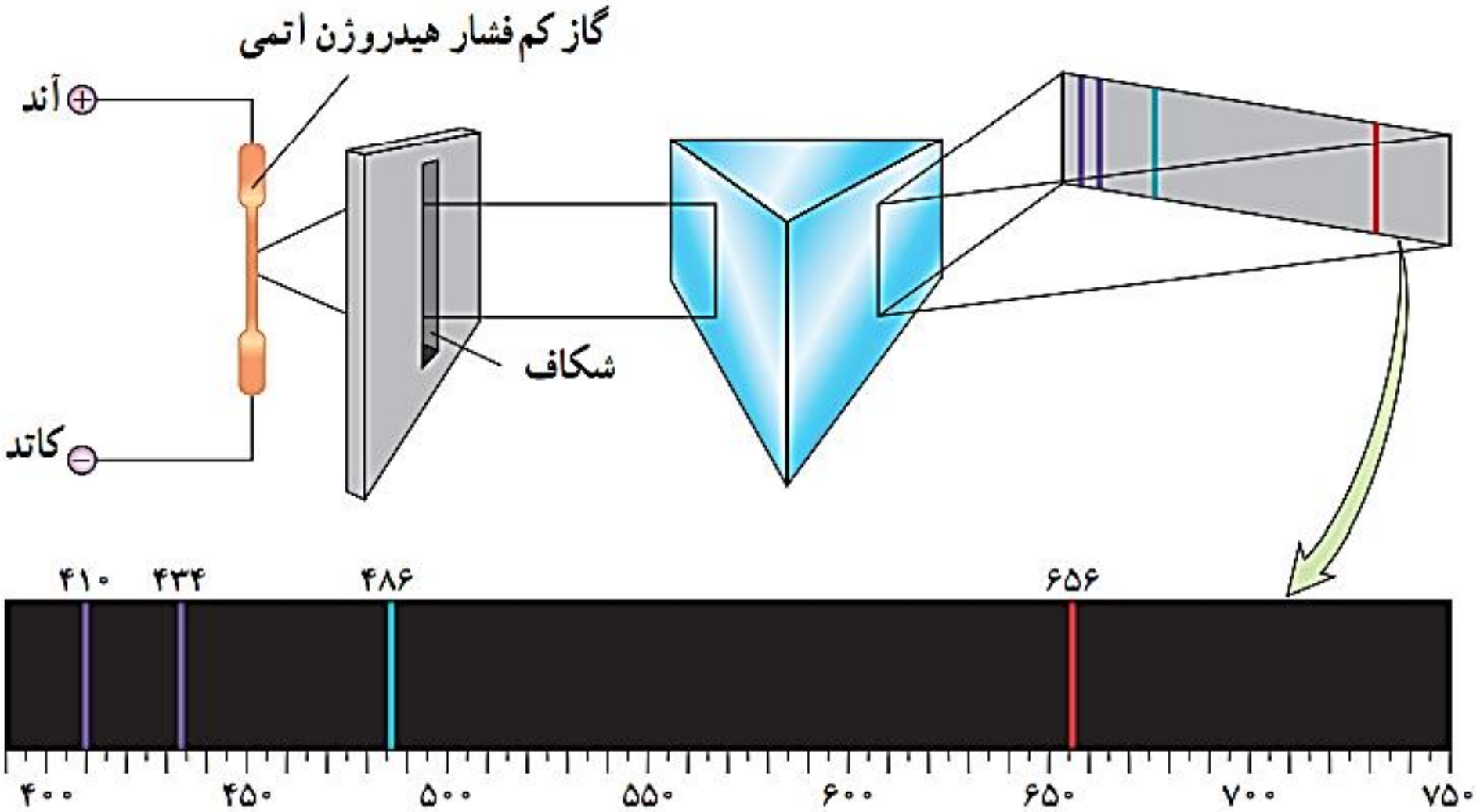
- ✓ طول موج های ایجاد شده در طیف خطی، برای اتم های هر گاز، منحصر به فرد هستند و اطلاعات مهمی را درباره ی نوع و ساختار اتم های آن گاز به دست می دهند.

طیف اتمی

✓ مثالی از گازهای کم فشار و رقیق، گاز موجود در لامپ های نئون و لامپ های جیوه است که طول موج های خاصی را در ناحیه ی مرئی گسیل می کنندکه رنگ های مشخصی دارند.

✓ برای تشکیل طیف گسیلی خطی اتم های هر گاز، از یک لامپ باریک و بلند شیشه ای که حاوی مقداری گاز رقیق و کم فشار است استفاده می شود. دو الکترود آند و کاتد در دو طرف لامپ قرار دارد که به ولتاژ بالا وصل اند. این ولتاژ بالا سبب تخلیه ی الکتریکی در گاز می شود و اتم های گاز درون لامپ شروع به گسیل نور می کنند.

✓ طیف خطی هیدروژن نیز، در ناحیه ی مرئی شامل یک رشته ی منظم از خط ها است که در شکل زیر می بینیم:



طول موج خط های طیف هیدروژن در ناحیه ی مرئی:

$$\lambda_1 = 656\ nm$$

$$\lambda_2 = 486\ nm$$

$$\lambda_3 = 434\ nm$$

$$\lambda_4 = 410\ nm$$

رابطه ی بالمر $\lambda_n = 364.56 \frac{n^2}{n^2 - 2^2}$

$$n = 3, 4, 5, 6$$

معادله ی ریدبرگ $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ $n > n'$

ثابت ریدبرگ $R = 0.0109\ (nm)^{-1}$

جدول ۴ـ۱ رشتهٔ خط‌های طیف گسیلی هیدروژن اتمی

نام طیف	تاریخ کشف	مقدار n'	رابطهٔ ریدبرگ مربوط به رشته	مقدارهای n	ناحیهٔ طیف
لیمان	۱۹۰۶ـ۱۹۱۴	۱	$\frac{۱}{\lambda}=R\left(\frac{۱}{۱^۲}-\frac{۱}{n^۲}\right)$	۲,۳,۴,...	فرابنفش
بالمر	۱۸۸۵	۲	$\frac{۱}{\lambda}=R\left(\frac{۱}{۲^۲}-\frac{۱}{n^۲}\right)$	۳,۴,۵,...	فرابنفش و مرئی
پاشن	۱۹۰۸	۳	$\frac{۱}{\lambda}=R\left(\frac{۱}{۳^۲}-\frac{۱}{n^۲}\right)$	۴,۵,۶,...	فروسرخ
براکت	۱۹۲۲	۴	$\frac{۱}{\lambda}=R\left(\frac{۱}{۴^۲}-\frac{۱}{n^۲}\right)$	۵,۶,۷,...	فروسرخ
پفوند	۱۹۲۴	۵	$\frac{۱}{\lambda}=R\left(\frac{۱}{۵^۲}-\frac{۱}{n^۲}\right)$	۶,۷,۸,...	فروسرخ

مثال(خرداد ۹۸ تجربی):

طول موج سومین خط طیفی اتم هیدروژن در رشته ی بالمر ($n' = 2$) چند نانومتر است؟

$$R_H = 0.01\ nm^{-1}$$

$$n' = 2$$

$$n = 3, 4, \boxed{5}, 6, \ldots$$

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

$$\frac{1}{\lambda} = 0.01\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2}\right) \longrightarrow \frac{1}{\lambda} = 0.01\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{25}\right) \longrightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{100}\left(\frac{21}{100}\right)$$

$$\longrightarrow \quad \lambda = \frac{10000}{21} = 476.2\ nm$$

مثال(کنکور ۹۸ تجربی):

در طیف گسیلی هیدروژن، کوتاه ترین طول موج گسیلی چند نانومتر است و این گسیل مربوط به کدام رشته است؟
$R_H = 0.01\, nm^{-1}$

۱) ۱۰۰ و بالمر　　۲) ۱۰۰ و لیمان　　۳) $\frac{400}{3}$ و بالمر　　۴) $\frac{400}{3}$ و لیمان

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

✓ هرچه مقدار n بیشتر باشد، طول موج تابش شده کمتر می شود.

✓ هرچه مقدار n' بیشتر باشد، طول موج تابش شده بیشتر است.

$$\begin{cases} n' = 1 \longrightarrow \text{رشته لیمان} \\ n = \infty \end{cases}$$

$$\longrightarrow \frac{1}{\lambda} = 0.01\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2}\right) \longrightarrow \frac{1}{\lambda} = 0.01 = \frac{1}{100} \longrightarrow \lambda = 100\, nm$$

مثال(کنکور ۹۹ تجربی):

در اتم هیدروژن، الکترون درمدار n قرار دارد. اگر این الکترون به مدار $n' = 3$ برود، فوتونی به طول موج $1200nm$ گسیل می کند. n کدام است؟ $(R_H = 0.01\ nm^{-1})$

۱) ۴ ۲) ۵ ۳) ۶ ۴) ۷

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}\right) \longrightarrow \frac{1}{1200} = \frac{1}{100}\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \longrightarrow \frac{1}{12} = \frac{1}{9} - \frac{1}{n^2}$$

$$\longrightarrow \frac{1}{12} - \frac{1}{9} = -\frac{1}{n^2} \longrightarrow -\frac{1}{36} = -\frac{1}{n^2} \longrightarrow n^2 = 36 \longrightarrow n = 6$$

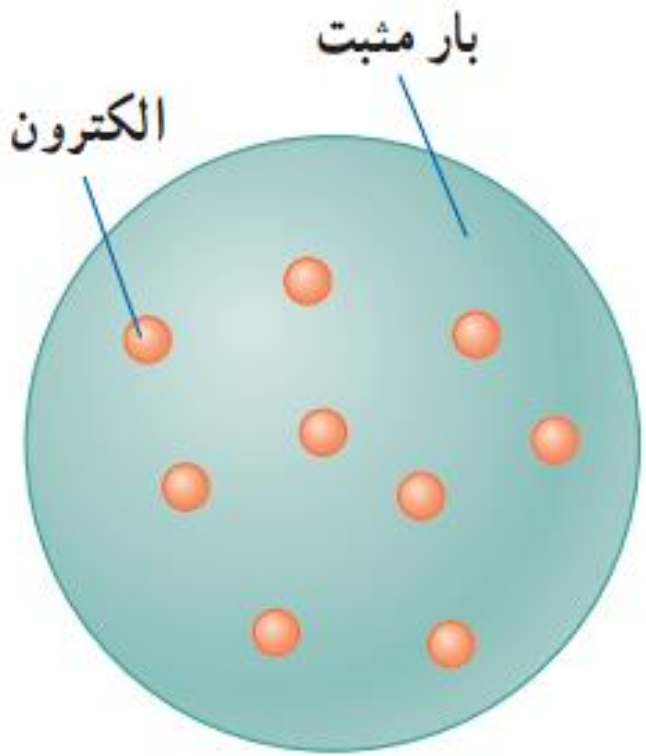
نارسایی فیزیک کلاسیک در توجیه طیف اتمی:

❖ فیزیک کلاسیک پیش بینی می کند که طیف گسیلی از اتم های عناصر باید پیوسته باشد. یعنی هر طول موجی باید تابش شود ولی در عمل مشاهده می کنیم که تنها طول موج های خاصی تابش می شوند.

✓ مدل های اتمی رایج آن زمان، در خصوص اینکه چرا طول موج های معینی تابش می شوند، پاسخی نداشتند.

✓ بور توانست با اصلاح مدل اتمی رادرفورد، توضیح مناسبی برای طول موج های گسسته ی تابش شده توسط گاز هیدروژن اتمی ارائه دهد.

مدل اتمی تامسون(مدل کیک کشمشی)



- ✓ تامسون موفق به کشف الکترون و اندازه گیری نسبت بار به جرم $\frac{e}{m}$ برای آن شد.

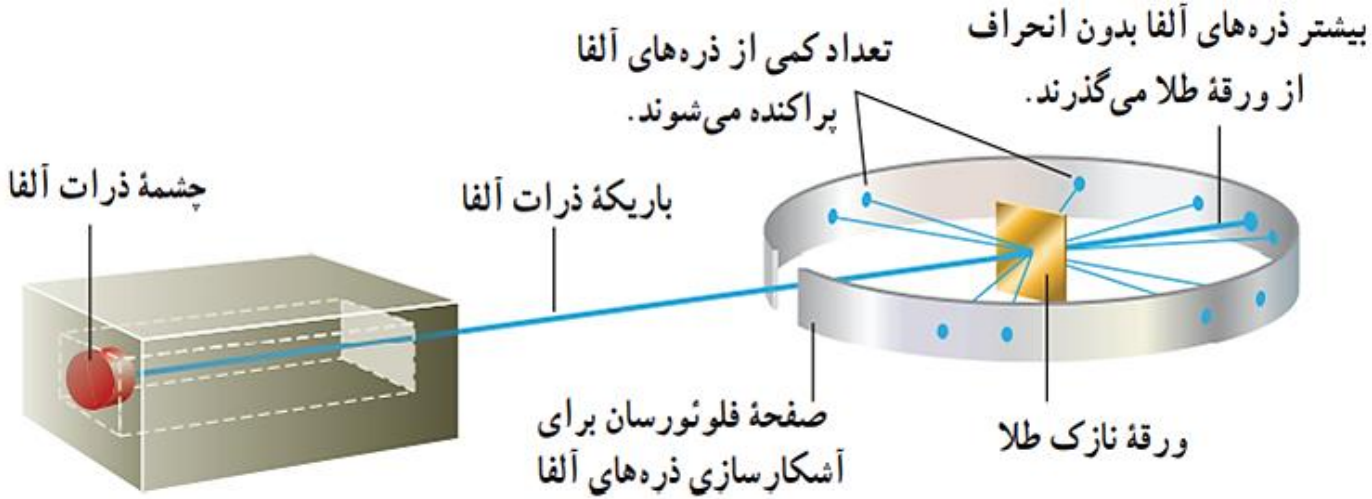
- ✓ بنا بر مدل تامسون، اتم همچون کره ای است که بار مثبت بطور همگن در سرتاسر آن گسترده شده است و الکترون ها که سهم ناچیزی در جرم اتم دارند، در جاهای مختلف آن پراکنده اند.

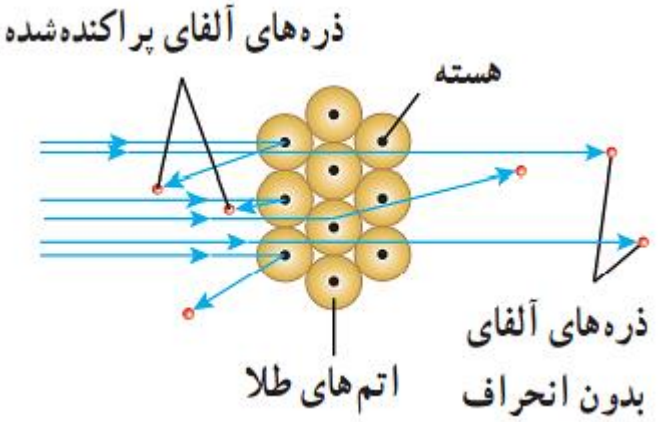
ناسازگاری مدل تامسون با طیف اتمی:

❖ طبق مدل اتمی تامسون(فیزیک کلاسیک)، وقتی الکترون ها با بسامد های معینی حول وضع تعادلشان نوسان می کنند، این نوسان باعث تابش امواج الکترومغناطیسی از اتم می شود. بسامد هایی که مدل تامسون برای تابش گسیل شده پیش بینی می کرد، با تجربه سازگار نبود.

✓ نتایج آزمایش های رادفورد، بوسیله ی مدل تامسون قابل توضیح و توجیه نبودند. پس مدل تامسون کنار گذاشته شد.

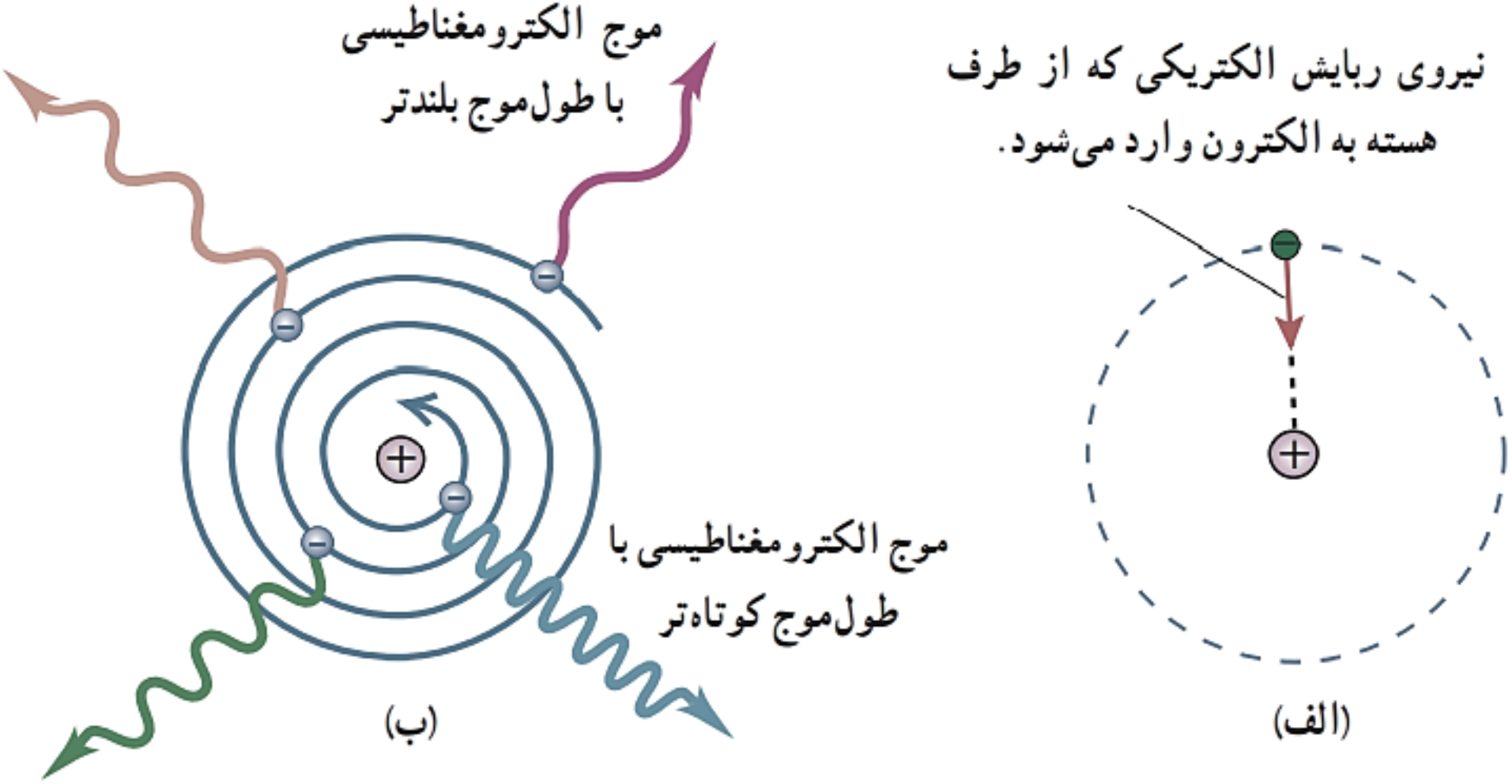
مدل اتمی رادرفورد:





- ✓ رادرفورد، باریکه ای از پرتو آلفا که از جنس هسته ی هلیوم است را بر سطح ورقه ای نازک از جنس طلا تاباند.
- ✓ بیشتر ذره های آلفا بدون انحراف یا با انحراف اندکی از ورقه ی طلا می گذرند. برخی از ذرات آلفا در زاویه های بزرگ منحرف می شوند و حتی تعدادی از آنها نیز به عقب بر می گردند.
- ✓ رادرفورد نتیجه گرفت باید هسته ای چگال و دارای بار مثبت در مرکز هر اتم باشد که با تعدادی الکترون در فاصله هایی به نسبت دور، احاطه شده است.

نا سازگاری مدل اتمی رادفورد با تجربه



مدل اتمی رادفورد با تجربه سازگار نیست چون:

۱ – نمی تواند پایداری اتم را توجیه کند.

۲ – قادر به توجیه طیف گسسته ی اتمی نیست.

- ✓ اگر الکترون نسبت به هسته ساکن فرض شود، در اثر نیروی ربایشی الکتریکی بین هسته و الکترون، روی هسته سقوط می کند و اتم پایدار نمی ماند.
- ✓ اگر الکترون به دور هسته در گردش باشد، حرکت شتابدار است و طبق نظریه ی کلاسیکی تابش می کند. با تابش، انرژی الکترون کاهش می یابد و شعاع حرکت آن کمتر شده و بسامد حرکت بیشتر می شود تا در نهایت روی هسته می افتد.
- ✓ بسامد موج تابش شده با بسامد چرخش برابر است. پس طیف امواج گسیل شده نیز باید پیوسته باشد.

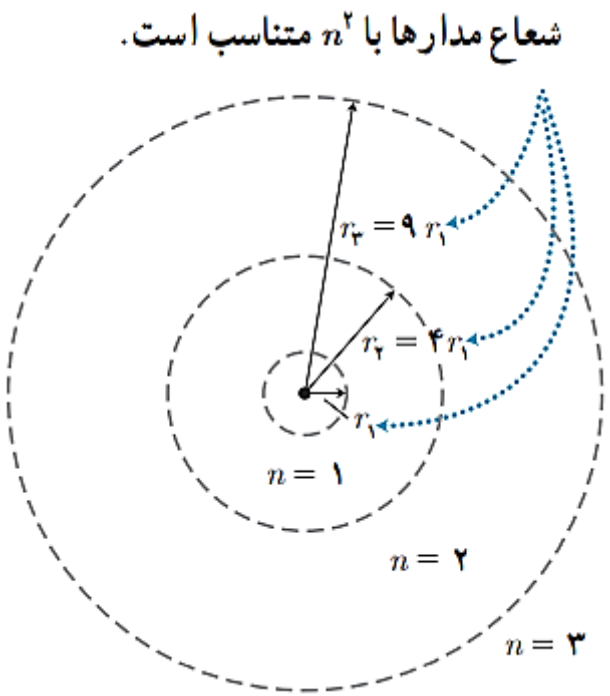
مدل اتمی بور

✓ مدل اتمی بور علاوه بر آنکه مسئله ی ناپایداری اتم را در مدل رادرفورد حل می کرد، معادله ی ریدبرگ برای طیف خطی اتم هیدروژن را نیز نتیجه می داد.

پیشنهاد بور برای رفع مشکل مدل رادرفورد:

❖ در مقیاس اتمی، قوانین مکانیک کلاسیک و الکترومغناطیس باید توسط قوانین دیگری جایگزین یا تکمیل شود.

مدل اتمی بور



اصول و مفروضات مدل بور:

۱ – مدار ها و انرژی الکترون ها در هر اتم کوانتیده هستند.

✓ به عبارت دیگر، الکترون روی مدارهای ثابتی قرار دارد که شعاع و انرژی آن مقادیر گسسته ای هستند.

شعاع مدار های الکترون $r_n = a_0 n^2$

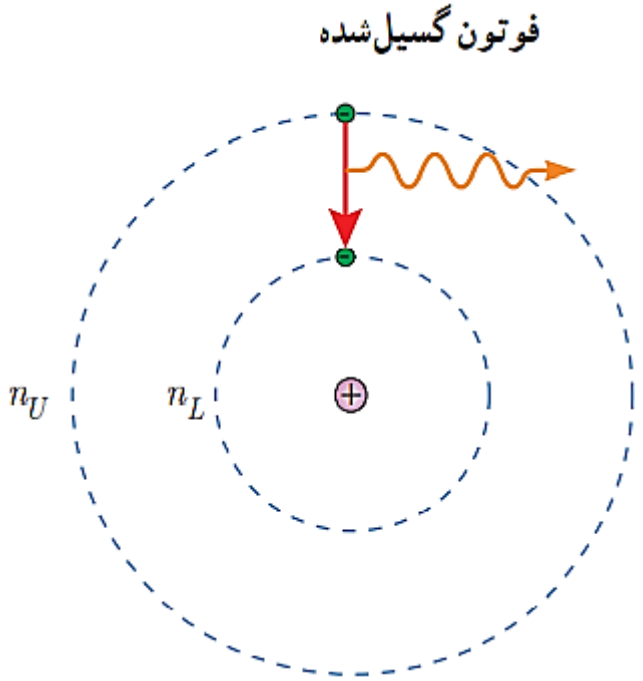
$a_0 = r_1 = 5.29 \times 10^{-11} m$

عدد کوانتمی — کوچکترین شعاع(شعاع بور)

یک ریدبرگ $= E_R = 13.6\ ev$

ترازهای انرژی الکترون $E_n = \dfrac{-E_R}{n^2}\ ev$

مدل اتمی بور



اصول و مفروضات مدل بور:

۲ – وقتی الکترون در مدار مجاز است، تابش نمی کند.

✓ در این حالت گفته می شود الکترون در مدار مانا یا حالت مانا قرار دارد.

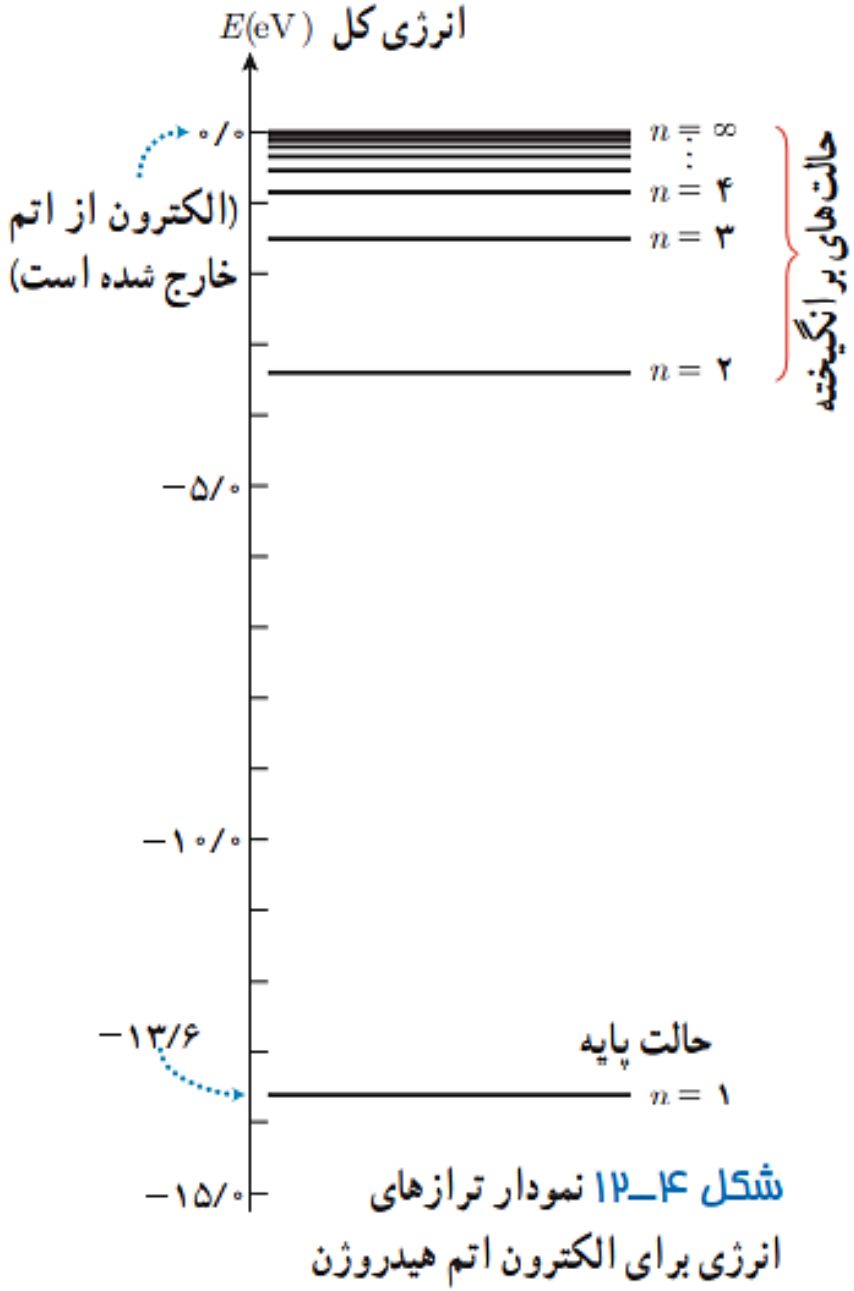
۳ – وقتی الکترون از یک حالت مانا با انرژی بیشتر به یک حالت مانا با انرژی کمتر برود، یک فوتون تابش می شود.

✓ انرژی فوتون تابش شده برابر با اختلاف انرژی بین دو مدار اولیه و نهایی است.

معادله ی گسیل فوتون از اتم $\Delta E = E_U - E_L = hf$

نمودار ترازهای انرژی الکترون برای اتم هیدروژن

- ✓ پایین ترین تراز انرژی، حالت پایه نامیده می شود.
- ✓ تراز های بالاتر از حالت پایه، حالت برانگیخته نامیده می شود.
- ✓ با افزایش n انرژیهای حالت برانگیخته به هم نزدیکتر می شوند.



شکل ۴ـ۱۲ نمودار ترازهای انرژی برای الکترون اتم هیدروژن

انرژی یونش الکترون:

کمترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه

- ✓ در این حالت الکترون از اتم خارج و یون مثبت تولید می شود.

مثال(دیماه ۹۷ تجربی):

الکترونی در اتم هیدروژن از حالت برانگیخته ی $n = 3$ به حالت پایه $n = 1$ جهش می یابد. انرژی فوتون تابش شده چند الکترون ولت است؟ $E_R = 13.6\ ev$

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

$$E_1 = \frac{-13.6}{1^2} = -13.6\ ev$$

$$E_3 = \frac{-13.6}{3^2} = -1.51\ ev$$

انرژی فوتون $\Delta E = hf = -1.51 - (-13.6)$

$$\Delta E = 12.09\ ev$$

مثال(کنکور ۹۷ ریاضی):

یک اتم هیدروژن در حالت پایه قرار دارد. بیشترین طول موج نوری که بتواند این اتم هیدروژن را یونیزه کند، چند نانومتر است؟ ($R_H = 0.01\ nm^{-1}$)

۱) ۶۰۰ ۲) ۵۰۰ ۳) ۲۰۰ ۴) ۱۰۰

حالت پایه $n' = 1$

یونیزه می شود $n = \infty$

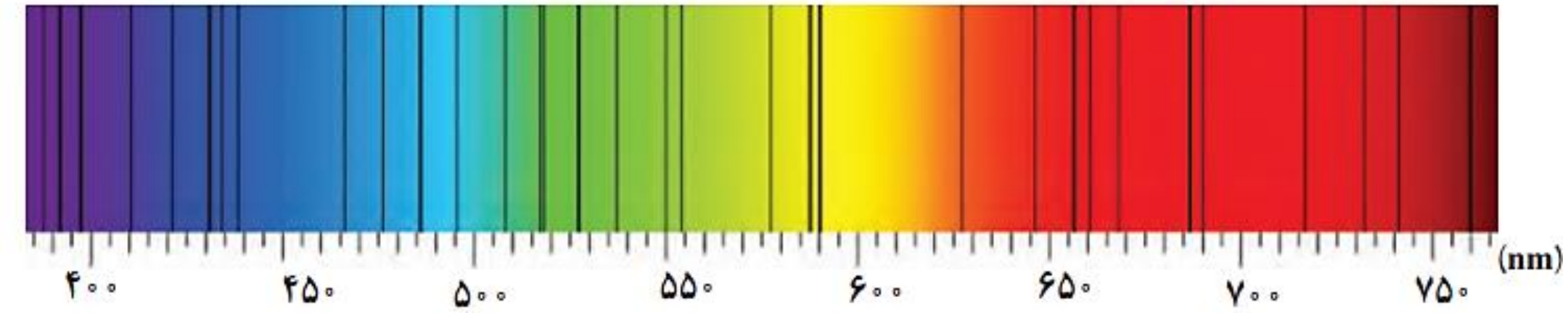
$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 0.01\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty^2}\right)$$

$$\frac{1}{\lambda} = 0.01 \longrightarrow \lambda = 100\ nm$$

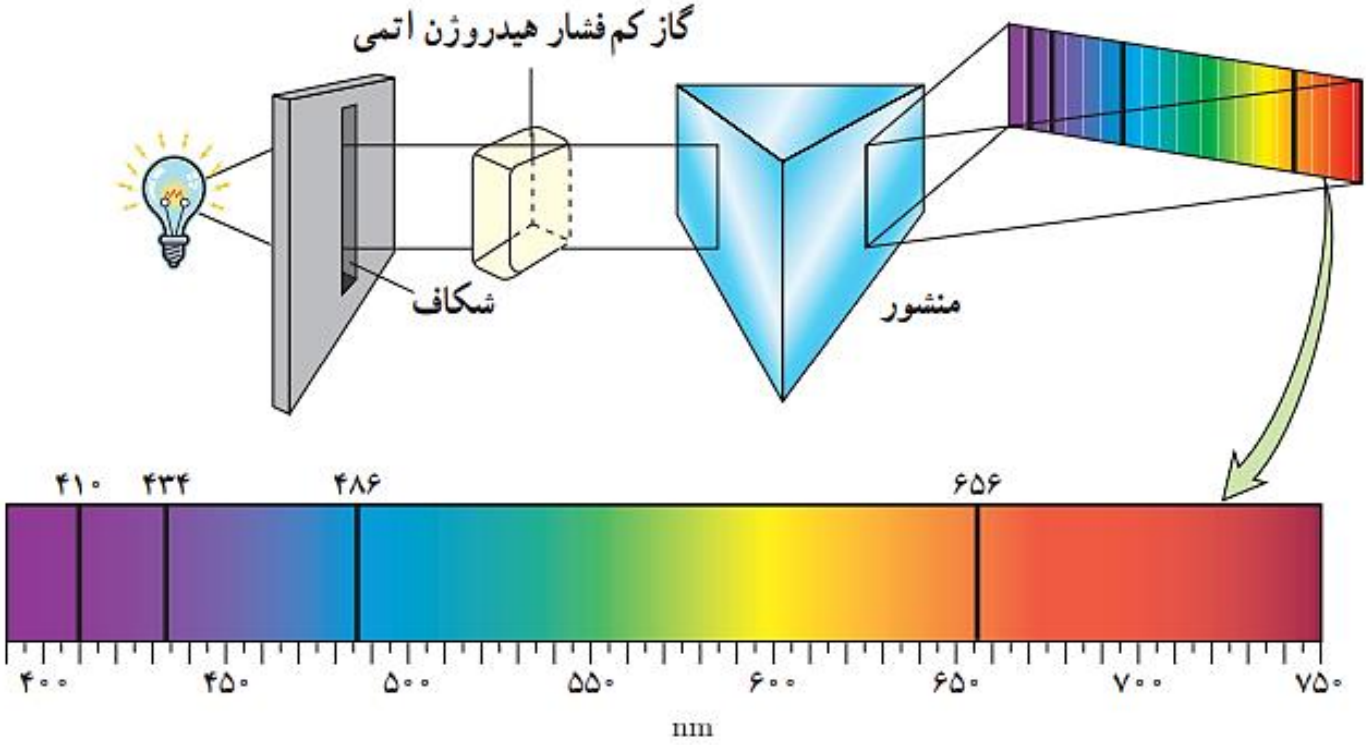
طیف جذبی

✓ تجربه نشان می دهد در تابشی که از خورشید گسیل می شود و به زمین می رسد، بعضی طول موج ها وجود ندارند. (خطوط فرانهوفر)



✓ خطوط تاریک در نور خورشید، ناشی از جذب طول موج های مربوط به این خط ها توسط گازهای جو خورشید و یا گازهای جو زمین است.

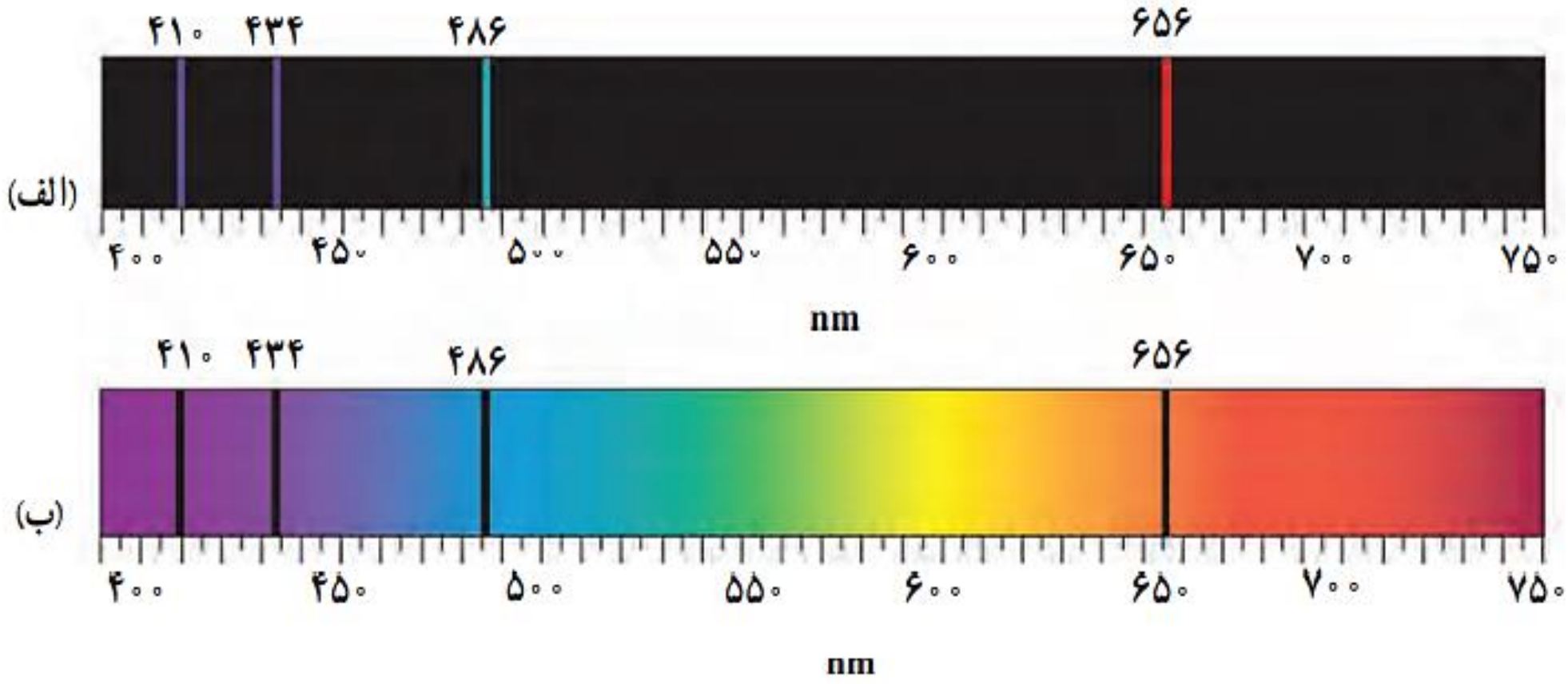
طیف جذبی هیدروژن اتمی



✓ باریکه ی نور سفید قبل از عبور از منشور از گاز کم فشار هیدروژن می گذرد.طیف این نور،پیوسته با خط هایی تاریک درون آن مشاهده می شود که نشان دهنده ی جذب بعضی از طول موج های نور سفید است.

✓ این آزمایش را برای هر عنصر دیگری نیز می توان انجام داد.

طیف گسیلی و طیف جذبی هیدروژن اتمی در کنار هم



مطالعه و مقایسه ی طیف های گسیلی و جذبی عنصرهای مختلف نشان می دهد که :

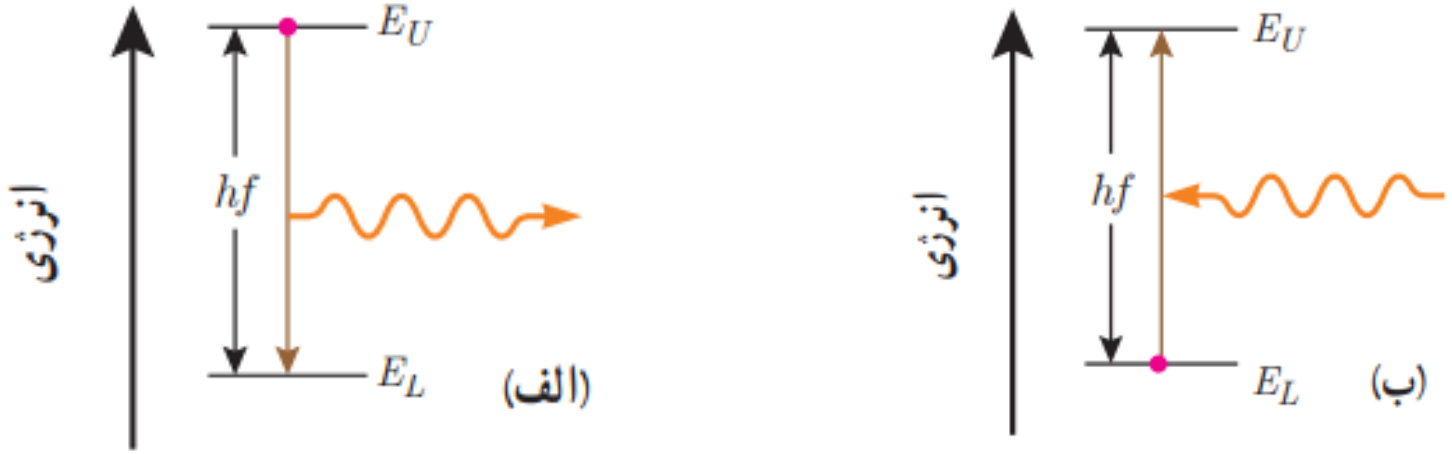
۱ – طیف گسیلی و طیف جذبی هیچ دو عنصری مانند هم نیست.

(بعبارت دیگر این طیف ها از مشخصه های منحصر به فرد آن عنصر هستند)

۲ – اتم ها دقیقا همان طول موج هایی را از نور سفید جذب می کنند که آنها را پس از برانگیخته شدن، تابش می کنند.

✓ بر اساس مدل بور، اگر الکترون های برانگیخته شده از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین تر جهش کنند، فوتون هایی را گسیل می کنند.

✓ الکترون ها می توانند از ترازهای پایین تر به تراز های انرژی بالاتر بروند. برای این کار، فوتونی را که دقیقا انرژی لازم برای گذار را دارد، جذب می کنند.



✓ خط های تاریک در طیف جذبی، طول موجهایی را مشخص می کنند که با فرایند جذب فوتون، برداشته شده اند.

موفقیت های مدل بور:

- ✓ در توضیح پایداری اتم ، طیف گسیلی و جذبی گاز هیدروژن اتمی و محاسبه ی انرژی یونش اتم هیدروژن موفق بوده است. علاوه بر اینکه مدل بور را برای اتم های هیدروژن گونه که تنها یک الکترون دارند نیز می توان به کار برد.

نارسایی های مدل بور:

۱ – این مدل برای وقتی که بیش از یک الکترون به دور هسته می گردد به کار نمی رود.

۲ – این مدل نمی تواند متفاوت بودن شدت خط های طیف گسیلی را توضیح دهد.

(مثلا اینکه چرا شدت خط قرمز و شدت خط آبی مثل هم نیستند؟)

به نام خدا

فیزیک دوازدهم

رشته های علوم تجربی – ریاضی فیزیک

فیزیک اتمی – لیزر

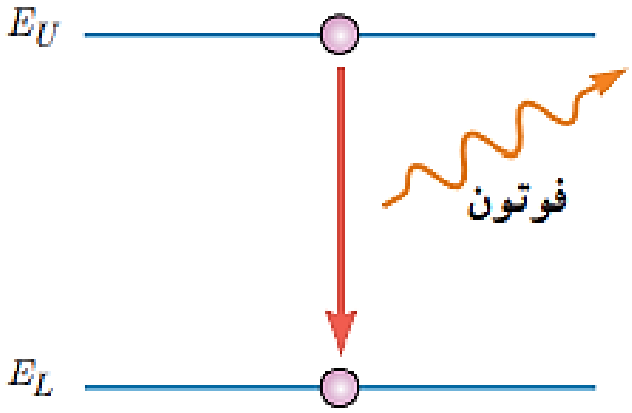
محمد حسین پاک طینت

اسفند ماه ۹۹

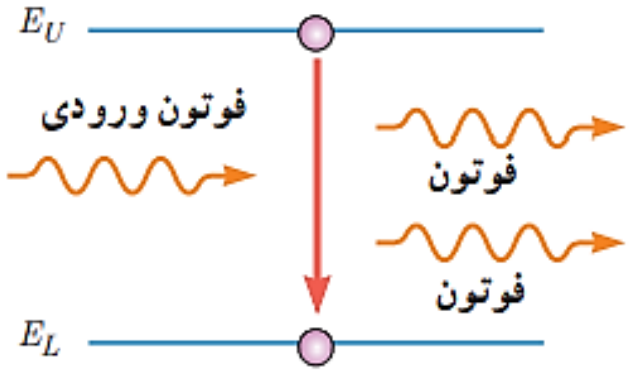
لیزر

✓ طبق مدل اتمی بور، اگر الکترون از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین تر جهش کند، یک فوتون گسیل می کند.

✓ فرایند گسیل فوتون می تواند خودبه خود یا القایی باشد.



✓ در گسیل خود به خود، فوتون در جهت کاتوره ای گسیل می شود.



✓ در گسیل القایی، یک فوتون ورودی، الکترون برانگیخته را تحریک (القا) می کند تا به تراز پایین تر برود. برای گسیل القایی، انرژی فوتون ورودی دقیقا با اختلاف انرژی های دو تراز (ΔE)برابر است.

ویژگی های گسیل القایی

یک فوتون وارد و دو فوتون خارج می شود.

✓ به این ترتیب تعداد فوتون ها افزایش می یابد.

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

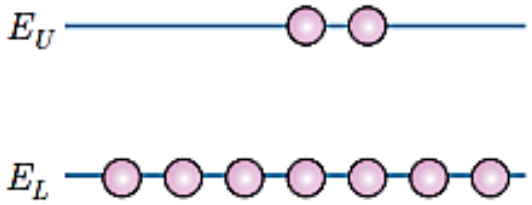
فوتون گسیل شده با فوتون ورودی همگام یا هم فاز است.

باریکه ی لیزر: فوتون هایی هم بسامد، هم جهت و هم فاز هستند.

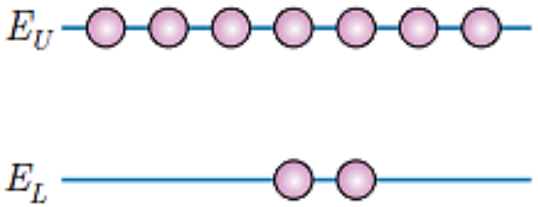
❖ در گسیل القایی یک چشمه ی انرژی خارجی مناسب وجود دارد که الکترون ها را به ترازهای انرژی بالاتر برانگیخته می کند.

✓ این چشمه ی انرژی می تواند درخشش شدید نور یا تخلیه ی ولتاژ بالا باشد.

❖ به طور معمول(در دمای معمولی) بیشتر الکترون ها در تراز انرژی پایین تر قرار دارند که تراز پایدار نامیده می شود.



❖ اگر انرژی کافی به اتم داده شود، الکترون ها برانگیخته می شوند و بیشتر الکترون ها در تراز انرژی بالاتر قرار می گیرند که به آن وارونی جمعیت می گویند.



تراز شبه پایدار: تراز هایی که تعداد الکترون ها در آن ها نسبت به تراز پایین تر(تراز پایدار) بیشتر باشد.

- ✓ ماندگاری الکترون در حالت برانگیخته ی معمولی در تراز بالاتر، حدود $10^{-8}\ s$ است.
- ✓ در حالت وارونی جمعیت، ماندگاری الکترون در تراز شبه پایدار، حدود $10^{-3}s$ است.

❖ طولانی تر ماندن الکترون در ترازهای شبه پایدار، نسبت به حالت برانگیخته ی معمولی، فرصت بیشتری برای افزایش وارونی جمعیت و در نتیجه تقویت نور لیزر فراهم می کند.

مثال(کنکور ۸۸ ریاضی):

کدام یک از موارد زیر، گسیل القایی را نشان می‌دهد؟ (* نشانه‌ی اتم برانگیخته است.)

۱) فوتون + اتم → فوتون **2** + اتم*

۲) فوتون + اتم → اتم*

۳) اتم* → فوتون + اتم

۴) **2** فوتون + اتم → فوتون + اتم*

مثال(کنکور ۹۶ تجربی):

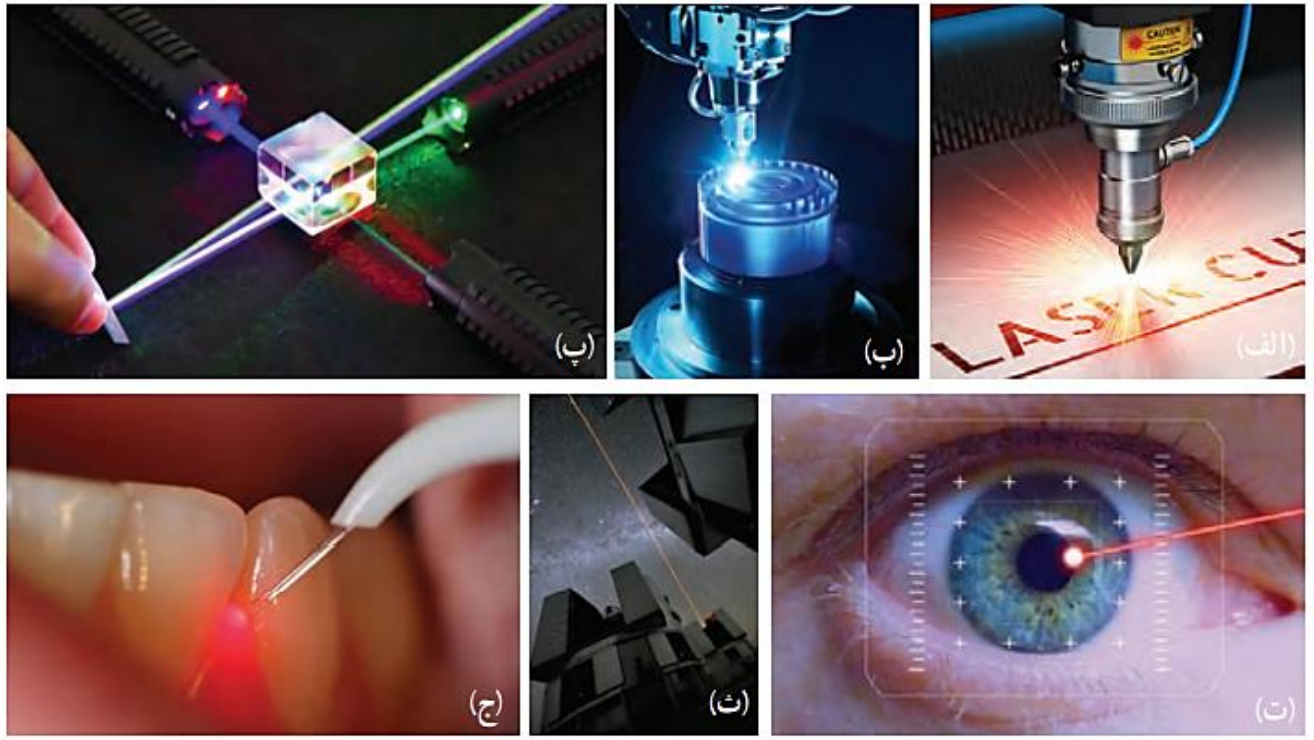
کدام یک از موارد زیر، از کاربردهای لیزر است؟

۱) عکاسی در مه و تاریکی

۲) استفاده در اجاق های مایکروویو

۳) برش فلزات

۴) ضدعفونی کردن تجهیزات پزشکی

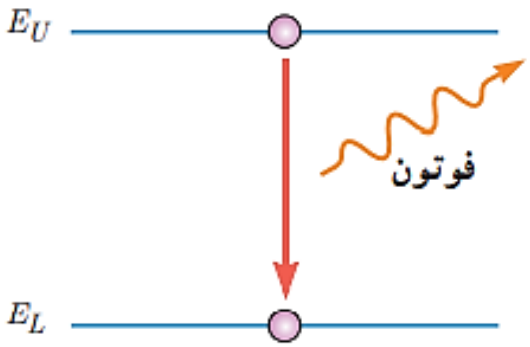


شکل ۴ــ۱۷ برخی از کاربردهای لیزر : الف) در برشکاری، ب) در جوشکاری، پ) در آزمایش‌های فیزیک و پژوهش‌های علمی، ت) در چشم پزشکی، ث) در نجوم، ج) در دندانپزشکی

مثال(دیماه ۹۸ تجربی):

الف – نام هر یک از فرایند های a و b را بنویسید.

ب – کدام یک از این فرایند ها برای ایجاد باریکه ی لیزری بکار می رود؟

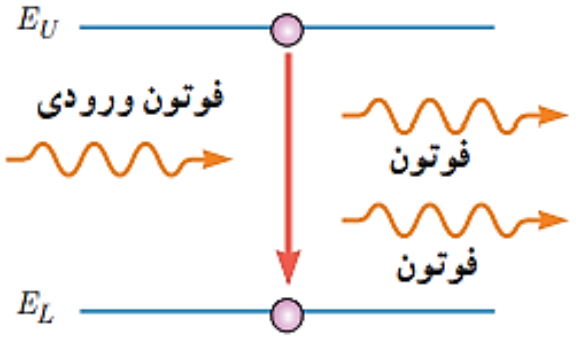


(a)

الف:

(a) ⟵ گسیل خود به خود

(b) ⟵ گسیل القایی



(b)

ب: گسیل القایی

به نام خدا

فیزیک دوازدهم

رشته های علوم تجربی – ریاضی فیزیک

فیزیک هسته ای

محمد حسین پاک طینت

اسفند ماه ۹۹

ساختار هسته

- شعاع هسته تقریبا $\frac{1}{100000}$ شعاع اتم است.
- هسته از نوترون و پروتون تشکیل شده است که بطور کلی نوکلئون نامیده می شوند.
- نوترون بار الکتریکی ندارد و جرمش اندکی از جرم پروتون بیشتر است.
- تعداد پروتون ها را با Z نشان می دهیم که در عنصرهای مختلف، متفاوت است.
- تعداد نوترون ها (عدد نوترونی) را با N نمایش می دهیم.

نمایش عنصر X $\quad {}^{A}_{Z}X_{N}$

عدد جرمی $\quad A = Z + N$

❖ ویژگی های هسته به تعداد نوکلئون های آن بستگی دارد.

✓ خواص شیمیایی هر اتم به تعداد پروتون های هسته(Z) بستگی دارد.

ایزوتوپ(هم مکان): هسته هایی که دارای تعداد پروتون یکسان ولی تعداد نوترون متفاوت هستند.

پایداری هسته

✓ ابعاد هسته در مقایسه با ابعاد اتم بسیار کوچک است. چگالی هسته حدود $10^{14}\ \frac{g}{cm^3}$ است.

✓ نیروی دافعه ی خیلی قوی بین پروتون های درون هسته وجود دارد چرا که خیلی به هم نزدیک هستند.

$$F = K\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

✓ با توجه به اینکه بسیاری از هسته هایی که در طبیعت وجود دارند، پایدار هستند، نوعی نیروی جاذبه باید اجزای هسته را کنار هم نگه دارد.

✓ نیروی گرانشی بین نوکلئون ها بسیار ضعیف است و نمی تواند با دافعه ی الکتریکی مقابله کند

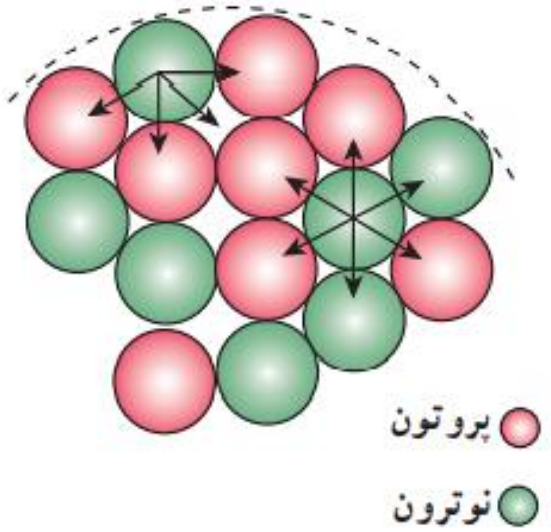
نیروی هسته ای: نیروی جاذبه ی بین نوکلئون ها که آن ها را کنار هم نگه می دارد و با نیروی دافعه ی الکتریکی پروتون ها مقابله می کند.

✓ نیروی هسته ای کوتاه برد است و در فاصله ای کوچکتر از ابعاد هسته اثر می کند.

✓ نیروی هسته ای مستقل از بار الکتریکی است. یعنی نیروی ربایشی هسته ای یکسانی بین دو پروتون، دو نوترون یا یک پروتون و یک نوترون وجود دارد.

✓ از نظر فیزیک هسته ای تفاوتی بین پروتون و نوترون وجود ندارد و به همین دلیل هردو آنها را با نام نوکلئون می شناسیم.

✓ به دلیل بلند برد بودن نیروی الکترواستاتیکی، یک پروتون تمام پروتونهای دیگر را دفع می کند در حالی که یک نوکلئون، فقط نزدیک ترین نوکلئون مجاور خود را با نیروی هسته ای جذب می کند.

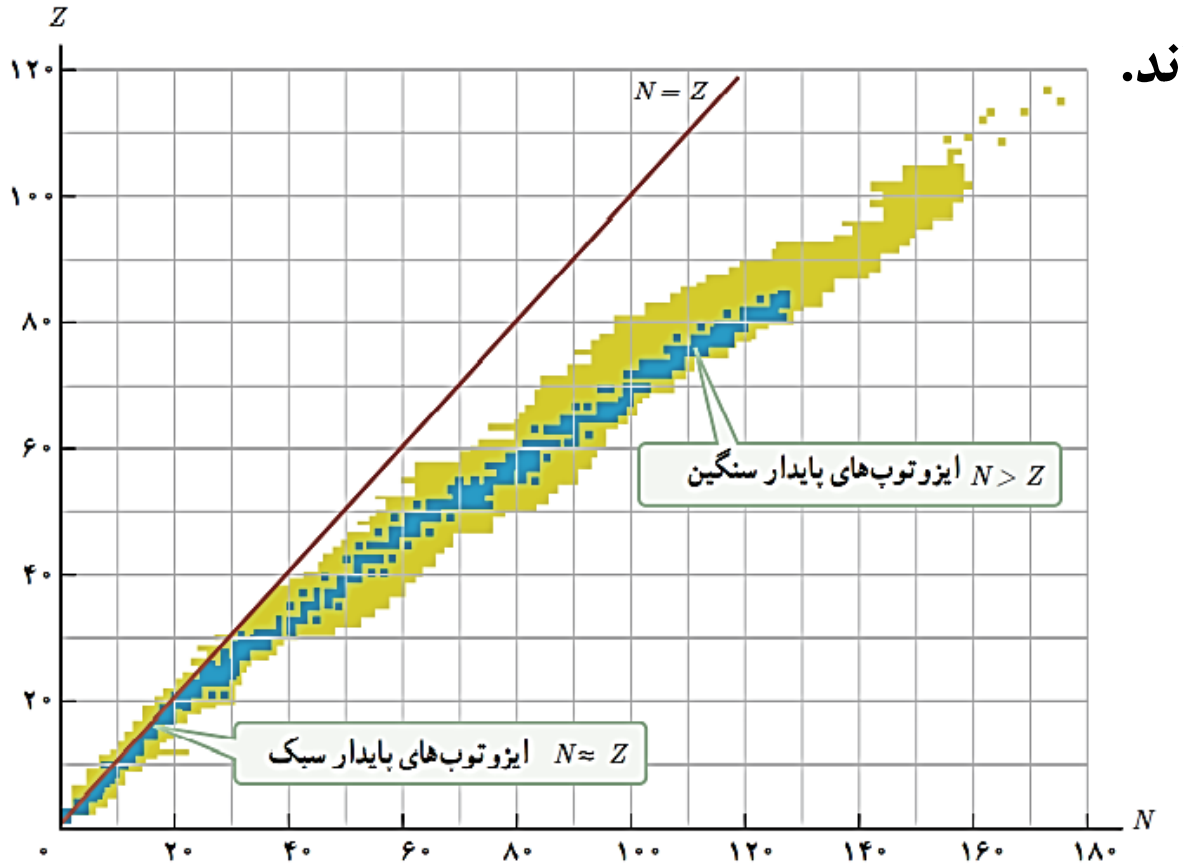


✓ وقتی تعداد پروتون های هسته افزایش می یابد، برای اینکه هسته پایدار بماند، باید تعداد نوترون های درون هسته نیز افزایش یابد. چون نوترون جاذبه را افزایش می دهد و دافعه ی الکتریکی هم ندارد.

✓ هسته هایی که تعداد پروتون آنها کمتر یا برابر ۸۳ است($Z \leq 83$) پایدار هستند.

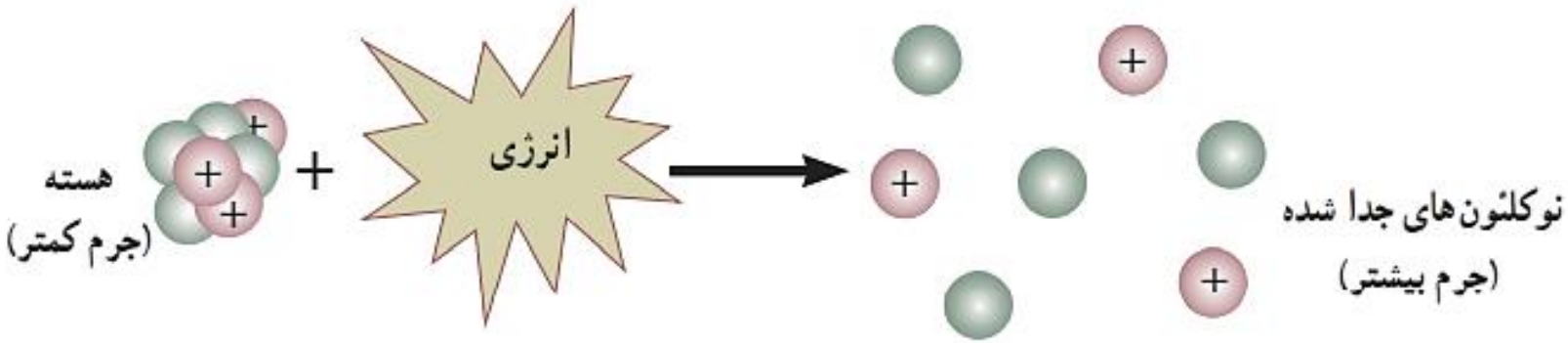
آخرین عنصر پایدار، بیسموت است.

✓ توریم و اورانیم تنها عنصر هایی هستند که واپاشی آنها بسیار کند است و تا کنون مقدار کمی از آنها بر اثر واپاشی به عنصرهای سبک تر تبدیل شده اند.



شکل ۴ـ۲۲ نمودار تغییرات Z برحسب N برای هسته‌های پایدار و پرتوزا. هر نقطهٔ آبی رنگ نشان‌دهندهٔ یک هستهٔ پایدار است. نقاط زردرنگ هسته‌های پرتوزای شناخته شده را نشان می‌دهند.

انرژی بستگی هسته ای: انرژی لازم برای جدا کردن نوکلئون های یک هسته



کاستی جرم هسته: اختلاف جرم بین جرم هسته و جرم نوکلئونهای تشکیل دهنده ی آن

✓ اندازه گیری های دقیق نشان می دهد که جرم هسته، ازمجموع جرم پروتون ها و نوترون های تشکیل دهنده ی آن کمتر است.

✓ اگر کاستی جرم را در رابطه ی انیشتین $E = mc^2$ قرار دهیم، انرژی بستگی هسته ای بدست می آید.

- انرژی نوکلئونهای هسته، مانند انرژی الکترون های اتم، کوانتیده هستند. یعنی نمی توانند هر انرژی دلخواهی داشته باشند.(به عبارت دیگر، درون هسته نیز ترازهای انرژی وجود دارد)

- نوکلئونها می توانند با جذب انرژی از تراز پایه به تراز برانگیخته بروند و در نتیجه هسته برانگیخته شود.

- هسته ی برانگیخته با گسیل فوتون به تراز پایه برمی گردد. انرژی فوتون گسیل شده، برابر با اختلاف انرژی بین دو تراز خواهد بود.

- اختلاف بین ترازهای انرژی نوکلئونها در هسته از مرتبه ی kev تا مرتبه ی Mev است. در حالی که اختلاف بین ترازهای انرژی الکترون ها در اتم از مرتبه ی ev است.

- هسته ها در واکنش های شیمیایی برانگیخته نمی شوند.

پرتوزایی طبیعی

❖ وقتی یک هسته ی ناپایدار (پرتوزا) به طور طبیعی(خودبه خود) واپاشی می کند، نوع معینی از ذرات یا فوتون های پرانرزی آزاد می شوند که پرتوزایی طبیعی نامیده می شود.

✓ در پرتوزایی طبیعی، سه نوع پرتو ایجاد می شود: پرتو آلفا، پرتو بتا و پرتو گاما

✓ پرتوهای آلفا(α) کمترین نفوذ را دارند و با ورقه ی نازک سربی (ضخامت ۰۱/ میلیمتر) متوقف می شوند.

✓ پرتوهای بتا (β) مسافت بیشتری را در سرب نفوذ می کنند(حدود ۱/ میلی متر)

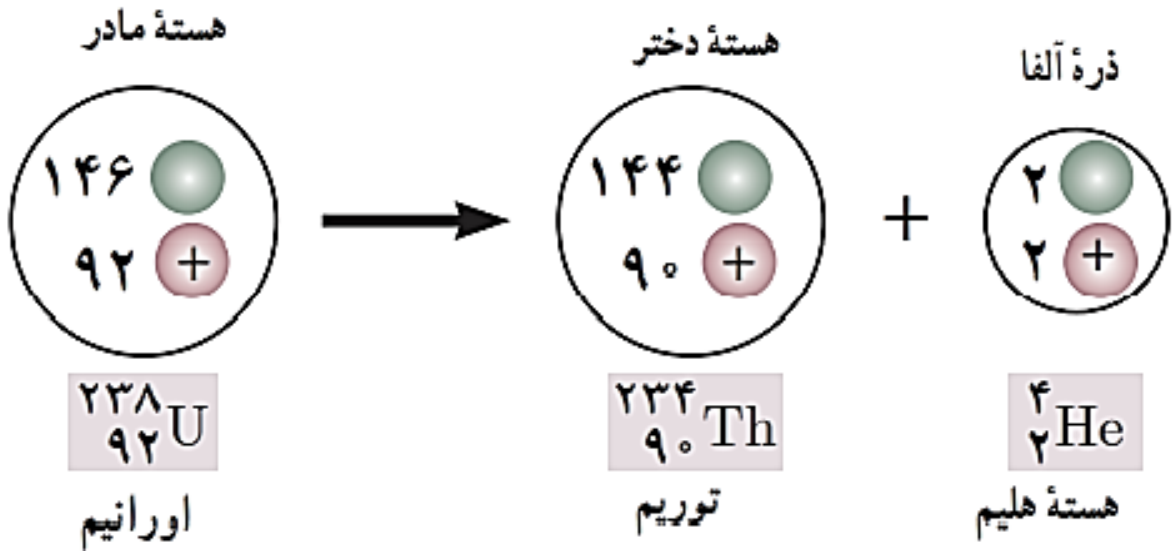
✓ پرتوهای گاما(γ) بیشترین نفوذ را دارند و می توانند از ورقه ای سربی با ضخامت حدود ۱۰۰ میلیمتر نیز بگذرند.

✓ تعداد نوکلئونها در طی فرایند واپاشی هسته ای پایسته است. یعنی تعداد نوکلئونها پیش از فرایند و تعداد آنها پس از فرایند مساوی است.

واپاشی α

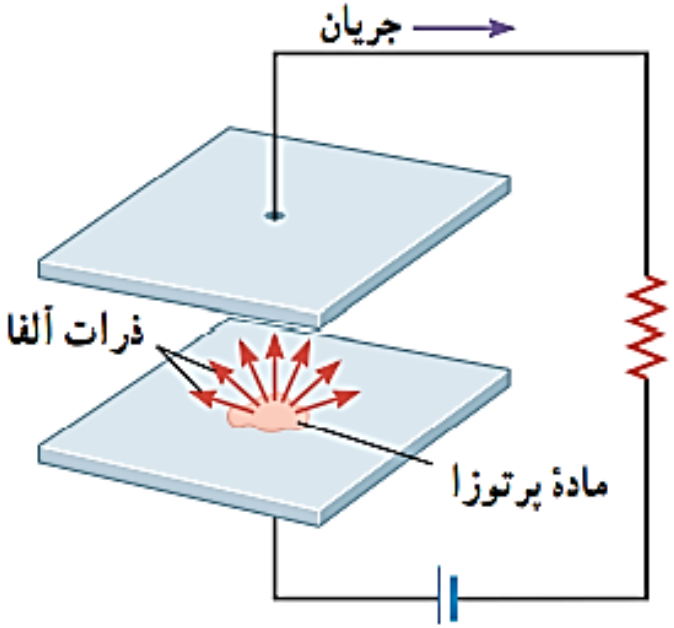
✓ پرتوهای α ، ذرات باردار مثبت از جنس هسته ی هلیم (${}^{4}_{2}He$) هستند. واپاشی آلفا با رابطه ی زیر بیان می شود:

$$ {}^{A}_{z}X \longrightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{A-4}_{z-2}Y $$



واپاشی α

- ذره های آلفا، سنگین هستند و بار مثبت دارند.
- ذرات آلفا، کوتاه برد هستند و پس از طی مسافتی کوتاهی در هوا (چند سانتیمتر) و یا عبور از لایه ای نازک از مواد جذب می شوند.
- اگر این ذرات از راه تنفس یا دستگاه گوارش وارد بدن شوند، باعث آسیب شدید به بافت های بدن می شوند.
- یکی از کاربرد های گسترده ی واپاشی آلفا، در آشکارسازهای دود است.

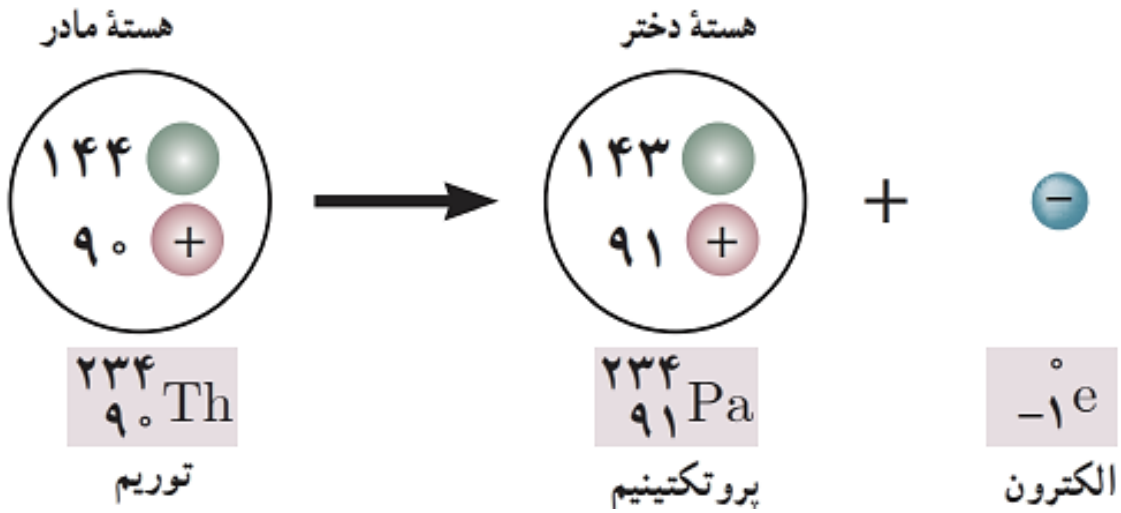


واپاشی بتا (β)

✓ این واپاشی متداول ترین نوع واپاشی در هسته ها است.

✓ این ذرات الکترون هستند و با β^- نشان می دهیم.

✓ در هسته ی مادر، الکترون وجود ندارد. این الکترون وقتی به وجود می آید که یک نوترون در هسته، به پروتون و الکترون تبدیل می شود.



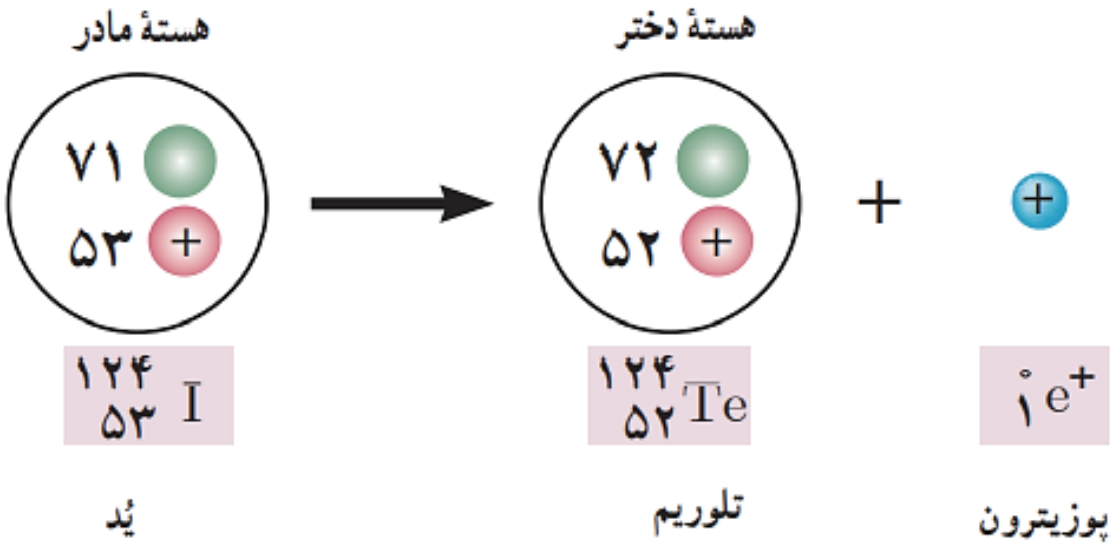
$$ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{0}_{-1}\beta^{-} + {}^{A}_{z+1}Y $$

واپاشی بتا (β)

✓ در نوعی دیگر از واپاشی بتا، ذره ی گسیل شده توسط هسته، جرمی اندازه ی الکترون دارد ولی بار آن $+e$ است. به این الکترون مثبت پوزیترون (β^+ یا e^+) می گویند.

✓ آنچه در این واپاشی رخ می دهد این است که یکی از پروتون ها ی هسته به یک نوترون و یک پوزیترون تبدیل می شود و پوزیترون از هسته خارج می شود.

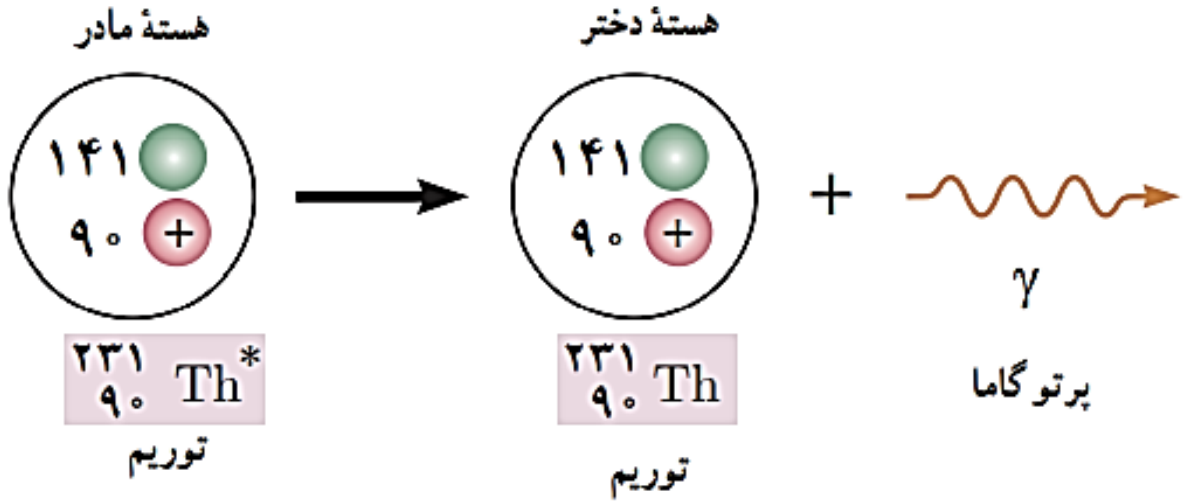
$$ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{0}_{1}\beta^{+} + {}^{A}_{Z-1}Y $$



واپاشی گاما (γ)

- ✓ پرتوهای گاما، فوتون های پر انرژی هستند.
- ✓ اغلب هسته ها پس از واپاشی آلفا یا بتا، در حالت برانگیخته قرار می گیرند و با گسیل پرتو گاما به حالت پایه می رسند.
- ✓ در واپاشی گاما، A و Z تغییر نمی کنند و هسته ی برانگیخته با گسیل پرتو گاما به حالت پایه می رسد.

$$ {}^{A}_{Z}X^{*} \longrightarrow \gamma + {}^{A}_{Z}X $$



مثال(کنکور ۹۸ ریاضی):

در واکنش $^{237}_{92}X \rightarrow Y + 3\alpha + \beta^-$ ، تعداد نوکلئون‌های Y چقدر است؟

۱) ۲۲۴ ۲) ۲۲۵ ۳) ۲۲۶ ۴) ۲۲۸

$$^{237}_{92}X \rightarrow {}^{A}_{z}Y + 3\,{}^{4}_{2}\alpha + {}^{0}_{-1}\beta^-$$

$$237 = A + 3 \times 4 + 0 \longrightarrow A = 225$$

$$92 = z + 6 - 1 \longrightarrow z = 87$$

مثال(کنکور ۹۸ تجربی):

در واکنش هسته ای ..... + ... + $_{Z}^{A}X \rightarrow {}^{A-8}_{Z}Y$ ، به‌جای نقطه‌چین‌ها چند آلفا و چند بتای منفی باید قرار داد؟

۱) یک آلفا و ۳ بتا

۲) ۲الفا و ۴ بتا

۳) ۲ آلفا و ۴ بتا

۴) ۲ آلفا و ۳ بتا

$$_{Z}^{A}X \rightarrow {}^{A-8}_{Z}Y + m\,{}^{4}_{2}\alpha + n\,{}^{0}_{-1}\beta^{-}$$

$$A = A - 8 + m \times 4 + 0 \longrightarrow m = 2$$

$$z = z + 2 \times 2 - n \longrightarrow n = 4$$

نیمه عمر($T_{\frac{1}{2}}$): مدت زمانی است که طول می کشد تا تعداد هسته های مادر موجود در یک نمونه به نصف برسند.

مثال ۴ـ۵

در حادثهٔ انفجار نیروگاه هسته‌ای چرنوبیل، یُد ۱۳۱ ($^{131}_{53}I$)، یکی از ایزوتوپ‌هایی بود که وارد محیط‌زیست شد. این ایزوتوپ، فرّار است و همراه با جریان‌های جوّی، تا کشورهای دوردست از محل نیروگاه حرکت کرد و با نشستن روی برگ گیاهان، سبب آلودگی گوشت و شیر دام‌هایی شد که این گیاهان را می‌خوردند. نیمه‌عمر این ایزوتوپ پرتوزا تقریباً ۸ روز است. پس از گذشت ۴۰ روز از حادثهٔ چرنوبیل، چه کسری از هسته‌های مادر اولیه در محیط‌زیست باقی‌مانده بود؟

پاسخ : نیمه‌عمر ایزوتوپ یُد۱۳۱ برابر ۸ روز است و ۴۰ روز را معادل ۵ نیمه‌عمر $^{131}_{53}I$ در نظر می‌گیریم. اگر N_0 تعداد هسته‌های مادر اولیه باشد، پس از گذشت ۴۰ روز جدول زیر را می‌توان تنظیم کرد.

تعداد نیمه‌عمرهای سپری‌شده	۰	۱	۲	۳	۴	۵
هسته‌های مادر باقی‌مانده	N_0	$\frac{1}{2}\times N_0=\frac{N_0}{2}$	$\frac{1}{2}\times\frac{N_0}{2}=\frac{N_0}{4}$	$\frac{1}{2}\times\frac{N_0}{4}=\frac{N_0}{8}$	$\frac{1}{2}\times\frac{N_0}{8}=\frac{N_0}{16}$	$\frac{1}{2}\times\frac{N_0}{16}=\frac{N_0}{32}$

بنابراین، پس از گذشت ۴۰ روز از حادثهٔ چرنوبیل، تنها $\frac{1}{32}$ از هسته‌های مادر اولیه در محیط‌زیست باقی ماندند.

نیمه عمر

زمان کل

تعداد نیمه عمر $n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$

کسر باقیمانده $= \frac{1}{2^n}$

تعداد ذرات اولیه

تعداد ذرات باقیمانده $N = \frac{N_0}{2^n}$

جرم اولیه

جرم باقیمانده $m = \frac{m_0}{2^n}$

مثال(کنکور ۹۸ ریاضی خارج از کشور):

از یک ماده‌ی رادیواکتیو که نیمه عمر آن ۸ روز است، پس از گذشت چند روز، ۷۵ درصد هسته‌های این ماده واپاشیده می‌شود؟

۱) ۸ ۲) ۱۶ ۳) ۲۴ ۴) ۳۲

$T_{\frac{1}{2}} = 8$ روز

$t = ?$

کسر باقیمانده $= \frac{1}{2^n} = \frac{25}{100} = \frac{1}{4}$

$\longrightarrow n = 2$

کسر واپاشیده شده $= \frac{75}{100}$

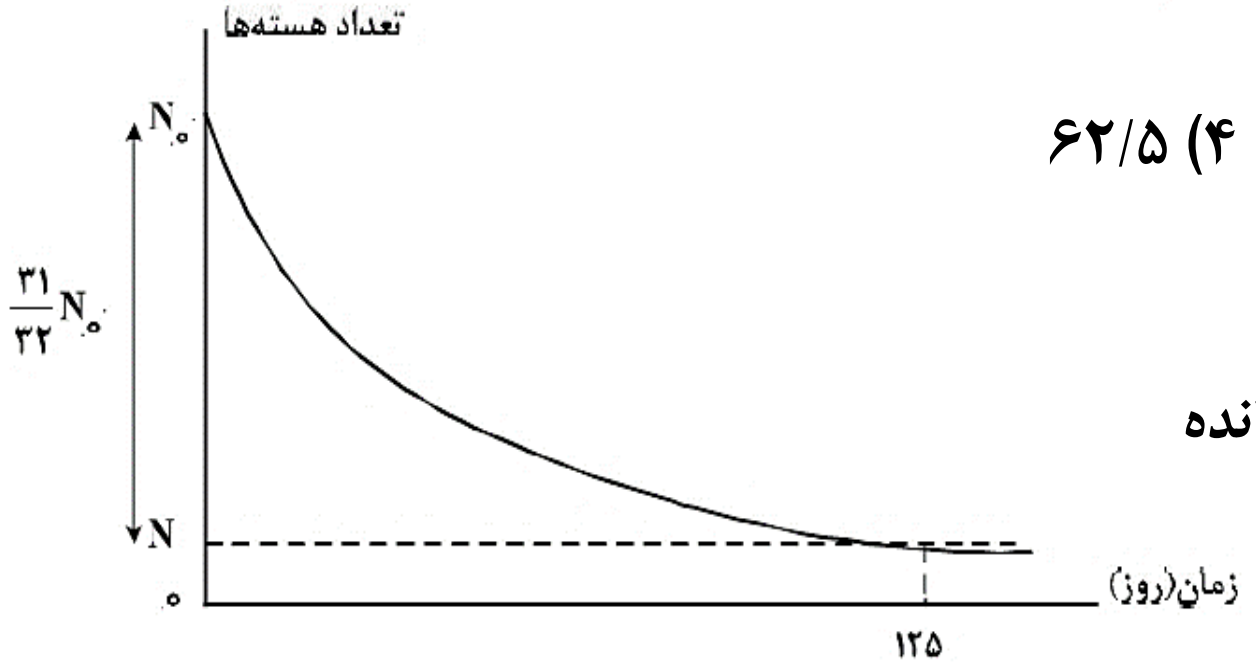
کسر باقیمانده $= \frac{25}{100}$

$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \longrightarrow t = 2 \times 8 = 16$

مثال(کنکور ۹۸ ریاضی):

نمودار واپاشی هسته‌های یک ماده‌ی پرتوزا برحسب زمان به صورت شکل زیر است. نیمه عمر این ماده چند روز است؟

۱) ۵ ۲) ۲۵ ۳) ۵۰ ۴) ۶۲/۵



$$\text{کسر باقیمانده} = \frac{1}{2^n} = \frac{1}{32} = \frac{1}{2^5}$$

$$\longrightarrow n = 5$$

$$\text{کسر واپاشیده شده} = \frac{31}{32}$$

$$\text{کسر باقیمانده} = \frac{1}{32}$$

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \longrightarrow T_{\frac{1}{2}} = \frac{125}{5} = 25$$

مثال(کنکور ۹۳ تجربی):

تعداد هسته‌های اولیه‌ی یک ماده‌ی رادیواکتیو $N_o = 1600$ است. اگر نیمه عمر این ماده ۶ ساعت باشد، بعد از چند ساعت ۲۰۰ هسته‌ی آن فعال باقی می‌ماند؟

۱) ۱۲ ۲) ۱۸ ۳) ۳۶ ۴) ۴۸

$N = 200$ $\qquad N = \frac{N_0}{2^n} \longrightarrow 2^n = \frac{1600}{200} = 8$

$T_{\frac{1}{2}} = 6$ ساعت $\longrightarrow n = 3$

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \longrightarrow t = 3 \times 6 = 18$$

موفقیت شما آرزوی ماست

محمد حسین پاک طینت
دبیر فیزیک ناحیه ۳ شیراز