فوتون، انرژی فوتون و رابطه‌ی پلانک

در اواخر قرن نوزدهم، پدیده‌هایی مشاهده و آزمایش‌هایی انجام شد که تبیین کامل و دقیق آن‌ها با نظریه‌های فیزیک کلاسیک امکان‌پذیر نبود و سبب تغییرات بنیادی در دیدگاه فیزیکدانان نسبت به توضیح رفتار برخی از پدیده‌های فیزیکی شد؛ به طوری که در دو سه دهه‌ی آغازین قرن بیستم، نتایج این تلاش‌ها به نظریه‌ی نسبیت خاص (مربوط به مطالعه‌ی پدیده‌ها در تندی‌های بسیار زیاد و قابل مقایسه با تندی نور)، نظریه‌ی نسبیت عام (مربوط به مطالعه‌ی هندسه‌ی فضا- زمان و گرانش) و نظریه‌ی کوانتومی (مربوط به مطالعه‌ی پدیده‌ها در مقیاس‌های بسیار کوچک، مانند اتم‌ها و ذره‌های سازنده‌ی اتم‌ها) منجر شد که امروزه به آن فیزیک جدید می‌گویند. در واقع پایه و اساس فیزیک جدید (مدرن) بر مبنای نظریه‌های نسبیت و کوانتومی بنا شده است.

- **نظریه‌ی پلانک:** اینشتین در نظریه‌ی فوتوالکتریک خود، با توجه به کارهای قبلی پلانک در زمینه‌ی تابش گرمایی، فرض کرد که نور با بسامد f را می‌توان مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی در نظر گرفت که هر بسته‌ی انرژی که به آن فوتون گفته می‌شود دارای مقداری انرژی است که به آن «انرژی وابسته به هر فوتون» یا «کوانتوم انرژی» می‌گوییم و به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$E = hf \xrightarrow{f=\frac{c}{\lambda}} E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

در این رابطه h ثابت پلانک، c سرعت نور در خلأ و λ طول موج نور است. مقدار h به طور تجربی معلوم شده است، که مقدار آن $h = ۶/۶۳ \times ۱۰^{-۳۴} J.s$ است.

- **تعداد فوتون‌های گسیلی:** اگر یک چشمه‌ی نور با توان P در مدت t ثانیه انرژی کل الکترومغناطیسی E را در محیط گسیل کند، این انرژی کمیتی کوانتومی است که تعداد «کوانتوم‌های انرژی» یا «فوتون‌های» گسیلی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$E = P.t = nhf = \frac{nhc}{\lambda}$$

که در آن n تعداد فوتون‌های گسیلی که عدد طبیعی است و $n = ۱, ۲, ۳, ...$

تذکر: در فیزیک اتمی، یکای ژول برای بیان انرژی فوتون‌های بسیار بزرگ است، به همین دلیل از یکایی به نام الکترون ولت (eV) استفاده می‌کنیم. می‌توان یکای ثابت پلانک را به جای $J.s$ بر حسب $eV.s$ بیان کرد؛ به گونه‌ای که داریم:

$۱eV \rightleftharpoons ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} J$ $\qquad h = ۴/۱۴ \times ۱۰^{-۱۵} eV.s$

تذکر: انرژی وابسته به هر فوتون با بسامد پرتو رابطه‌ی مستقیم و با طول موج آن نسبت عکس دارد؛ یعنی در مقایسه‌ی انرژی وابسته به دو فوتون متفاوت A و B داریم:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \boxed{\frac{E_A}{E_B} = \frac{f_A}{f_B} = \frac{\lambda_B}{\lambda_A}}$$

تذکر: در عبور یک پرتو از یک محیط به محیط دیگر، بسامد، دوره، رنگ و انرژی وابسته به هر فوتون تغییر نمی‌کنند.

تابش گرمایی

- **تعریف تابش گرمایی:** همه‌ی اجسام در هر دمایی موج های الکترومغناطیسی گسیل می‌کنند. (هنگامی که کف دست خود را خیلی نزدیک به بدن دوستمان قرار می‌دهیم، به راحتی تابش گرمایی گسیلی از سطح بدن وی را حس می‌کنیم.

به طور کلی «گسیل‌های موج‌های الکترومغناطیسی از سطح اجسام را تابش گرمایی می‌نامیم».

آزمایش نشان می‌دهد که تابش گسیل شده از هر جسم به دمای آن و برخی از خصوصیات آن مانند شکل و رنگ جسم بستگی دارد و در آن طول موج‌هایی از امواج فروسرخ، مرئی و فرابنفش دیده می‌شوند.

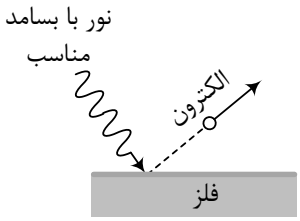
- **شدت تابشی:** مقدار کل انرژی تابش‌های الکترومغناطیسی که در مدت یک ثانیه از واحد سطح (هر متر مربع) هر جسم گسیل می‌شود را «شدت تابشی» می‌نامند که یکان آن در SI به صورت $\frac{W}{m^2}$ است و به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$I = \frac{P}{A} = \frac{E}{A.t}$$

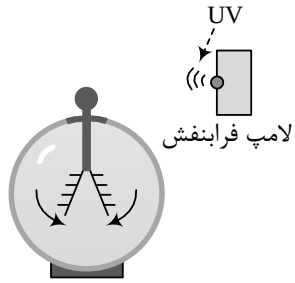
تذکر: اگر بخواهیم با معلوم بودن شدت تابشی، تعداد فوتون‌هایی که از یک سطح معین در فاصله‌ی r از یک چشمه‌ی تولید موج الکترومغناطیسی می‌گذرد را بیابیم، باید در ابتدا با استفاده از رابطه‌ی شدت تابشی، انرژی کلی که به آن سطح می‌رسد را محاسبه کنیم، سپس تعداد فوتون‌های عبوری را بیابیم.

$$I = \frac{E}{A.t} \xrightarrow[A=4\pi r^2]{\text{بعد از محاسبه } E} E = nhf = n\frac{hc}{\lambda}$$

اثر فوتوالکتریک



به طور کلی، اگر نوری با بسامد مناسب مانند نور فرابنفش به سطحی فلزی بتابد، الکترون‌هایی از آن گسیل می‌شوند. این پدیده‌ی فیزیکی را «اثر فوتوالکتریک» و الکترون‌های جدا شده از سطح فلز را «فوتوالکترون» می‌نامند.
به طور مثال اگر بر کلاهک برق‌نمایی با بار منفی، نور فرابنفش تابیده شود، مشاهده می‌شود که انحراف ورقه‌های آن کاهش می‌یابد؛ در حالی که با تابش نور مرئی، تغییری در انحراف ورقه‌های برق‌نما رخ نمی‌دهد.



- **در بررسی اثر فوتوالکتریک نتایج زیر حاصل می‌شود:**

۱) اگر با تاباندن باریکه‌ی نور فرودی با یک بسامد معین، اتفاقی برای ورقه‌های الکتروسکوپ بیفتد، با افزایش شدت این نور، این اتفاق شدیدتر خواهد بود. (با افزایش شدت نور، تعداد فوتوالکترون‌های جدا شده افزایش می‌یابند.)

۲) اگر بسامد نور فرودی از مقدار معینی کمتر باشد، هرچقدر هم که شدت نور فرودی افزایش یابد، این پدیده رخ نمی‌دهد و برای ورقه‌های الکتروسکوپ هیچ اتفاقی رخ نمی‌دهد.

ضعف دیدگاه کلاسیکی در توجیه نتیجه اثر فوتوالکتریک

۱) بر اساس دیدگاه کلاسیکی، هنگام برهم‌کنش موج الکترومغناطیسی فرودی به صفحه‌ی فلزی، میدان الکتریکی این موج، نیروی $\vec{F}=-e\vec{E}$ به الکترون‌های فلز وارد می‌کند و آن‌ها را به نوسان وامی‌دارد و وقتی دامنه‌ی نوسان به قدر کافی بزرگ شود، انرژی جنبشی لازم برای جدا شدن از سطح فلز را پیدا می‌کند، پس باید با هر بسامدی پدیده‌ی فوتوالکتریک رخ دهد که این نتیجه با تجربه سازگار نیست.

۲) شدت نور با مربع دامنه‌ی میدان الکتریکی موج الکترومغناطیسی متناسب است ($I \propto E_{max}^{2}$). به این ترتیب انتظار می‌رود «به ازای یک بسامد معین، اگر شدت نور فرودی بر سطح فلز را افزایش دهیم باید الکترون‌ها با انرژی جنبشی بیشتری از فلز خارج شوند» نتیجه‌ای که تجربه آن را تأیید نمی‌کند.

توضیح قانع‌کننده اینشتین در مورد اثر فوتوالکتریک

اینشتین با توجه به نظریه‌ی پلانک، فرض کرد که نور با بسامد f به صورت مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی یا همان فوتون‌ها باشد که دارای مقدار انرژی $E=hf$ است.
وقتی نوری تکفام بر سطح فلزی می‌تابد، هر فوتون صرفاً با یکی از الکترون‌های فلز برهم‌کنش می‌کند. اگر فوتون انرژی کافی داشته باشد تا فرآیند خارج کردن الکترون از فلز را انجام دهد، الکترون به طور آنی از آن گسیل می‌شود. در این صورت بخشی از انرژی فوتون صرف جدا کردن الکترون از فلز می‌شود (W) و مابقی آن به انرژی جنبشی الکترون خارج شده تبدیل می‌شود.

بسامد و طول موج آستانه

اگر بسامد نور فرودی به سطح فلز، از یک بسامد معین کمتر باشد، اثر فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد. به این حداقل بسامد که به ازای بسامدهای کمتر از آن (با هر شدتی) اثر فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد، بسامد آستانه می‌گوییم.

بدیهی است که طول موج آستانه، بلندترین طول موجی است که به ازای آن اثر فوتوالکتریک رخ می‌دهد و به ازای طول موج‌های بیشتر از آن، پدیده‌ی فوتوالکتریک رخ نخواهد داد.

بدیهی است که اگر بسامد نور تابیده شده بر سطح فلز، کمتر از بسامد آستانه باشد، فوتون‌ها حداقل انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از فلز را ندارند و پدیده‌ی فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد.

تذکر: برای نوری که فوتون‌های آن دارای حداقل انرژی لازم برای وقوع پدیده‌ی فوتوالکتریک هستند، افزایش شدت نور (با ثابت ماندن بسامد) فقط سبب افزایش تعداد فوتون‌ها و در نتیجه افزایش تعداد فوتوالکترون‌ها می‌شود؛ در حالی که انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها بدون تغییر می‌ماند.

تست ۱:

انرژی فوتونی $۲kev$ است. طول موج وابسته به این فوتون چند نانومتر است؟ ($c = ۳\times۱۰^{۸}\ m/s$ و $h = ۴\times۱۰^{-۱۵}eV.s$) *(سراسری خارج ریاضی ۹۵)*

۱) ۵۰ ۲) ۶۰ ۳) ۰/۵ ۴) ۰/۶

تست ۲:

اگر ضریب ثابت پلانک $۶/۶\times۱۰^{-۳۴}$ ژول ثانیه باشد، این ضریب چند الکترون ولت ثانیه است؟ ($e = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C$) *(ریاضی ۹۳)*

۱) $\frac{۳۳}{۸}\times۱۰^{۱۵}$ ۲) $\frac{۸}{۳۳}\times۱۰^{-۱۵}$ ۳) $\frac{۳۳}{۸}\times۱۰^{-۱۵}$ ۴) $\frac{۸}{۳۳}\times۱۰^{۱۵}$

تست ۳:

انرژی هر فوتون نور زرد $2ev$ است. تعداد فوتون‌هایی که در ۱۶ ثانیه از یک لامپ زرد ۱۰۰ واتی گسیل می‌شوند چند عدد است؟ ($e=1/6\times10^{-19}c$) *(خارج تجربی- ۹۲)*

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

تست ۴:

بسامد یک فرستنده‌ی رادیویی F.M، ۷۵ مگاهرتز و توان تشعشع آن $4/8\times10^{4}$ وات است. در هر ثانیه چند فوتون از این آنتن گسیل می‌گردد؟ ($e=1/6\times10^{-19}c$ و $4\times10^{-15}eV.s$) *(خارج تجربی ۹۶)*

۱) 10^{30} ۲) $7/5\times10^{20}$ ۳) 16×10^{20} ۴) 16×10^{10}

تست ۵:

کدام انرژی (برحسب الکترون‌ولت) وابسته به فوتونی در محدودهٔ نور مرئی است؟ ($hc=1240eV.nm$)

(کنکور سراسری ریاضی و فیزیک داخل ۱۴۰۲)

۱) ۱ ۲) ۲/۵ ۳) ۴/۵ ۴) ۱۰

تست ۶:

نظریه ..... مربوط به مطالعه‌ی پدیده‌ها در مقیاس بسیار کوچک مانند اتم‌ها و مولکول‌ها و نظریه‌ی ..... مربوط به مطالعه‌ی پدیده‌ها در سرعت بسیار زیادو نزدیک به سرعت نور است.

۱) نسبیت خاص- کوانتومی ۲) کوانتومی- نسبیت خاص

۳) کوانتومی- کلاسیک ۴) کلاسیک- کوانتومی

تست ۷:

کدام گزینه درست است؟

۱) هنگام مطالعه فقط از چراغ مطالعه بر ما تابش گسیل می‌شود.

۲) بدن ما تابش ندارد.

۳) فقط خورشید و اجسام ملتهب تابش می‌کنند.

۴) جسم‌ها در هر دمایی تابش می‌کنند و هر جسم در معرض تابش جسم‌های دیگر نیز می‌باشد.

تست ۸:

چند مورد از تغییرات زیر، تأثیری در نتیجه‌ی اثر فوتوالکتریک و انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های گسیل شده ندارد؟

الف) افزایش یا کاهش بسامد نور فرودی نسبت به بسامد آستانه

ب) دو برابر کردن شدت نور فرودی در بسامدهای کوچکتر از بسامد آستانه

پ) نصف کردن شدت نور فرودی در بسامدهای بزرگتر از بسامد آستانه

۱) ۲ ۲) ۱ ۳) صفر ۴) ۳

تست ۹:

در آزمایش فوتوالکتریک، وقتی نور تک‌رنگی با طول موج λ بر فلز می‌تابانیم، پدیده‌ی فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد. برای آن که این پدیده رخ دهد، کدام عمل ممکن است مؤثر باشد؟ *(تجربی ۸۹)*

۱) شدت نور را افزایش می‌دهیم.

۲) از فلزی استفاده کنیم که λ کمتر از طول موج آستانه فلز باشد.

۳) زمان تابش نور را افزایش دهیم.

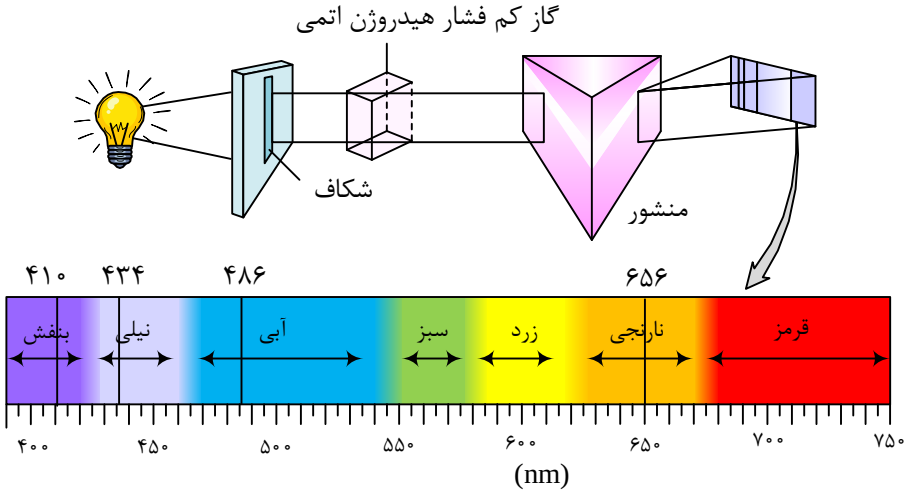
۴) از نور تک رنگی با طول موج بزرگتر از λ استفاده کنیم.

طیف خطی و رشته‌های مربوط به طیف اتمی هیدروژن

- **طیف گسیلی پیوسته:** همان طوری که در ابتدای فصل اشاره کردیم، تمام اجسام در هر دمایی که باشند، از خود موج الکترومغناطیسی گسیل (نشر) می‌کنند که به آن «تابش گرمایی» می‌گوییم.

برای یک جسم جامد، مانند رشته‌ی داغ یک لامپ روشن، این امواج شامل گستره‌ی پیوسته از طول موج‌هاست به همین دلیل طیف ایجاد شده در این شرایط را «طیف گسیلی پیوسته» یا به اختصار «طیف پیوسته» می‌نامند.

تذکر: تشکیل طیف پیوسته توسط جسم جامد، ناشی از برهم‌کنش قوی بین اتم‌های سازنده‌ی آن است.



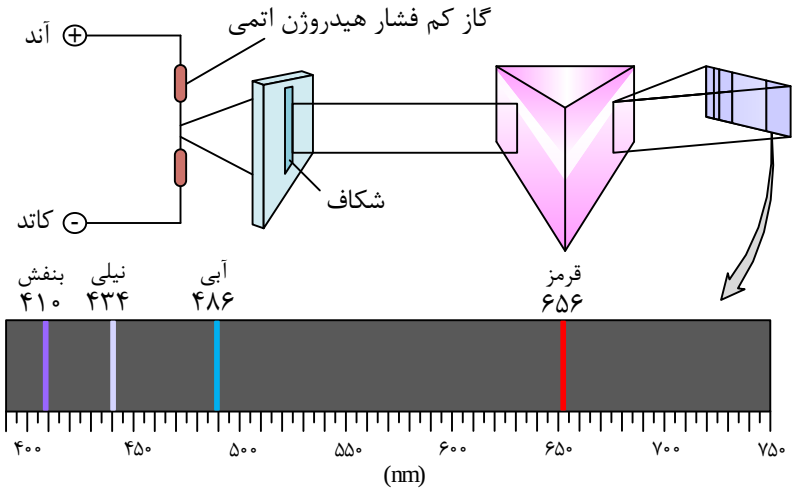
طیف گسیلی پیوسته‌ی نور سفید از رشته‌ی داغ یک لامپ روشن. در این شکل تنها بخش مرئی طیف نشان داده شده است که گستره‌ی طول موج آن از حدود ۴۰۰nm (نور بنفش) تا حدود ۷۵۰nm (نور قرمز) است.

- **طیف گسیلی خطی:** گازهای کم فشار و رقیق که در اتم‌های منفرد آن‌ها از برهم‌کنش‌های قوی موجود بین اتم‌ها خبری نیست، به جای طیف پیوسته، طیفی گسسته شامل طول موج‌های معینی را گسیل می‌کنند. این طیف گسسته را معمولاً «طیف گسیلی خطی» یا به اختصار «طیف خطی» می‌نامند.

تذکر: طول موج‌های ایجاد شده روی طیف خطی، برای اتم‌های هر گاز منحصربه فرد هستند و سرنخ‌های مهمی را درباره‌ی نوع و ساختار اتم‌های آن گاز به دست می‌دهند.

طیف‌های گسیلی خطی برای نئون و جیوه

● **نحوه‌ی تولید طیف گسیلی خطی:** برای تشکیل طیف گسیلی خطی اتم‌های هر گاز نظیر هیدروژن، هلیم، سدیم و ... معمولاً از یک لامپ باریک و بلند شیشه‌ای که حاوی مقداری گاز رقیق و کم فشار است استفاده می‌کنند، دو الکترود به نام‌های آند و کاتد در دو طرف این لامپ قرار دارد که به ترتیب به پایانه‌های مثبت و منفی یک منبع تغذیه با ولتاژ بالا وصل‌اند. این ولتاژ بالا سبب تخلیه‌ی الکتریکی در گاز می‌شود و اتم گاز درون لامپ شروع به گسیل نور می‌کند.



به کمک منشور، طول موج‌های گسیلی از گاز، از یکدیگر جدا و طیف خطی آن تشکیل شده است.

تذکر: طیف گسیلی خطی شامل زمینه‌ای تاریک همراه با چند خط باریک رنگی است که رنگ نور گسیل شده به نوع گاز درون لامپ بستگی دارد و برای هر عنصری منحصر به فرد است.

تست ۱۰:

طیف یک قطعه فلز گداخته که توسط یک طیف‌سنج تشکیل شده است. چگونه طیفی است؟ *(خارج ریاضی ۸۸)*

۱) جذبی خطی ۲) نشری خطی ۳) جذبی پیوسته ۴) نشری پیوسته

تست ۱۱:

طیف گسیلی پیوسته را از چه طریقی می‌توان تولید کرد؟

۱) از تخلیه الکتریکی در گازها ۲) فقط از مایع‌های درجه بالا

۳) فقط از نور جامدهای در حال التهاب ۴) از نور جامدهای در حالت التهاب و مایع‌های آن‌ها

تست۱۲:

در کدام حالت طیف گسیلی ماده به صورت گسسته است؟

۱) جامد ۲) مایع غلیظ ۳) گاز رقیق ۴) هر سه حالت

تست۱۳:

کدام طیف اتمی در شناسایی عناصر از یکدیگر به کار می‌رود؟ *(تجربی ۸۴)*

۱) فقط گسیلی گسسته ۲) فقط گسیلی پیوسته

۳) جذبی پیوسته یا گسیلی پیوسته ۴) جذبی گسسته یا گسیلی گسسته

تست۱۴:

طیف گسیلی خطی دارای زمینه‌ای ..... با چند خط باریک ..... است و توسط ..... تشکیل می‌شود.

۱) تاریک- رنگی- مایعات ۲) تاریک- رنگی- گازها

۲) رنگی- تاریک- مایعات ۴) رنگی- تاریک- گازها

تست۱۵:

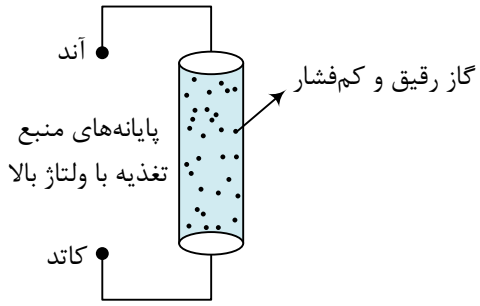
در آزمایش روبه‌رو کدام گزینه صحیح است؟

۱) بعد از عبور نور حاصل از اتم‌های بخار این گاز از منشور، طیف نشری پیوسته تشکیل می‌شود.

۲) طیف حاصل از این آزمایش دارای خطوط تاریک در زمینه‌ای رنگی است.

۳) رنگ خط‌های رنگی ایجاد شده به نوع گاز بستگی دارد.

۴) هر خط رنگی ایجاد شده شامل گستره‌ای از طول موج‌های مرئی است.

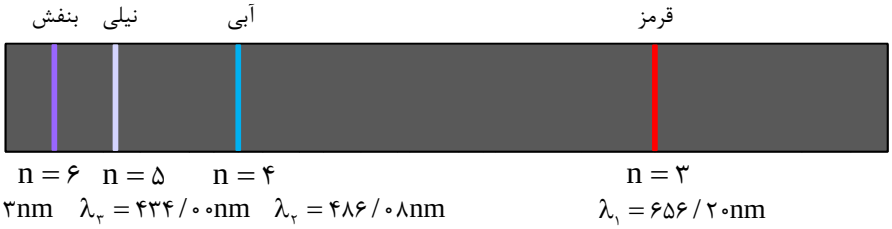


طیف خطی هیدروژن

طیف خطی هیدروژن اتمی، هم از نظر جنبه‌ی تاریخی و هم از جنبه‌ی نظری اهمیت خاصی دارد. طیف خطی این گاز در ناحیه‌ی مرئی، شامل یک رشته‌ی منظم از خط‌هایی است که با یکدیگر تشکیل یک سری عددی ریاضی می‌دهند و برای اولین‌بار ژاکوب بالمر رابطه‌ی ساده‌ای پیشنهاد کرد که با استفاده از آن می‌توانست طول موج‌های گسیلی مرئی طیف هیدروژن را محاسبه کند. این رابطه عبارت است از:

$$\lambda = ۳۶۴/۵۶(nm)\frac{n^۲}{n^۲-۴} \quad , \quad n \geq ۳ \quad \text{(معادله‌ی بالمر)}$$

در این رابطه n یک عدد صحیح و $n \geq ۳$ است که با قرار دادن $n = ۳,۴,۵,۶$ در معادله‌ی بالمر، طول موج‌های خط‌های طیف گسیلی اتم هیدروژن در ناحیه‌ی مرئی به صورت زیر به دست می‌آیند.



تذکر: با قرار دادن مقادیر n در معادله‌ی بالمر، طول موج بر حسب نانومتر به دست می‌آید که با افزایش مقدار n، عدد به دست آمده برای طول موج کمتر می‌شود.

- **معادله‌ی ریدبرگ:** بالمر با تأمل بیشتر روی رابطه‌ی خود، پیشنهاد کرد که ممکن است رشته‌های دیگری از خط‌هایی که تا آن زمان در طیف هیدروژن دیده نشده‌اند وجود داشته باشند. رابرت ریدبرگ با توجه به پیشنهادهای بالمر و استفاده از عکس طول موج، معادله‌ی بالمر را به صورت زیر اصلاح و بازنویسی کرد.

$$\frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{n'^۲} - \frac{۱}{n^۲}) \quad , \quad n > n' \quad \text{(معادله‌ی ریدبرگ)}$$

که در آن R ثابت ریدبرگ و مقدار آن $R \simeq ۰/۰۱۰۹(nm)^{-۱}$ است که معمولاً آن را برای سادگی $R = ۰/۰۱(nm)^{-۱}$ یا $R = ۰/۰۱۱(nm)^{-۱}$ در نظر می‌گیرند.

تذکر: n و n' عددهای صحیح و مثبت هستند.

اگر در معادله‌ی ریدبرگ مقادیر مختلف n' و n را قرار دهیم، گستره‌ی طول موج‌های طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی به دست می‌آید که در جدول زیر آن‌ها را آورده‌ایم.

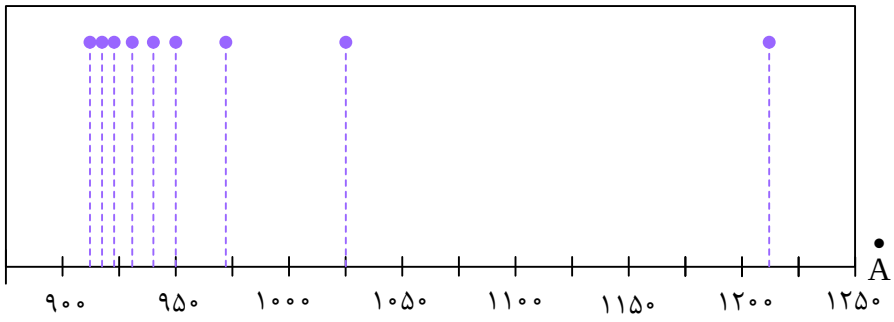
رشته‌ی خط‌های طیف گسیلی هیدروژن اتمی

نام طیف	تاریخ کشف	مقدار n'	رابطه ریدبرگ مربوط به رشته	مقدارهای n	ناحیه‌ی طیف
لیمان	۱۹۰۶-۱۹۱۴	۱	$\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2})$	۲,۳,۴,...	فرابنفش
بالمر	۱۸۸۵	۲	$\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2})$	۳,۴,۵,...	فرابنفش و مرئی
پاشن	۱۹۰۸	۳	$\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2})$	۴,۵,۶,...	فروسرخ
براکت	۱۹۲۲	۴	$\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{n^2})$	۵,۶,۷,...	فروسرخ
پفوند	۱۹۲۴	۵	$\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{n^2})$	۶,۷,۸,...	فروسرخ

بررسی چند نکته در معادله‌ی ریدبرگ:

۱) در طیف نشری خطی اتم هیدروژن، رشته‌ی لیمان در محدوده‌ی فرابنفش ۴ خط اول رشته‌ی بالمر در ناحیه‌ی مرئی و مابقی خط‌های این رشته در محدوده‌ی فرابنفش و مابقی رشته‌ها در ناحیه‌ی فروسرخ هستند.

۲) برای هر رشته‌ی طیفی (n' ثابت و معین)، خطوط طیفی در انرژی‌های بالا یا طول موج‌های کم (n های بیشتر) به همدیگر نزدیک می‌شوند و یا در واقع همگرا می‌شوند (به سمت یک عدد ثابت که ویژه همان حد رشته است و مربوط به انتقال الکترون از $n=\infty$ به تراز مقصد آن رشته است، نزدیک و نزدیک‌تر می‌شوند.) به طور مثال به رشته‌ی زیر که مربوط به رشته‌ی لیمان است توجه کنید.



رشته‌ی لیمان اتم هیدروژن در محدوده فرابنفش قرار دارد.

به ازای $n'=1$ ر رشته‌ی لیمان، با افزایش n مقدار λ کاهش می‌یابد.

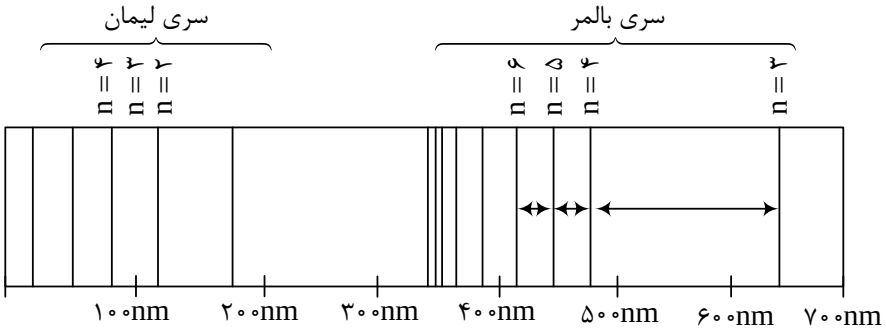
به عبارتی داریم:

$$\begin{cases} n': \text{ثابت} \\ n_{min}=n'+1 \quad , \quad \frac{1}{\lambda_{max}}=R(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{(n'+1)^2}) \\ \lambda_{max} \end{cases}$$

لیمان ($n'=۱$)

n	λ(nm)
۲	۱۲۲
۳	۱۰۳
۴	۹۷/۲
۵	۹۴/۹
۶	۹۳/۷
∞	۹۱/۱

$$\begin{cases} n' : \text{ثابت} \\ n_{max}=\infty \quad , \quad \frac{۱}{\lambda_{min}}=R(\frac{۱}{n'^{۲}}) \\ \lambda_{min} \end{cases}$$



همان‌طوری که در شکل هم به وضوح قابل مشاهده است، خطوط طیفی رشته‌ی لیمان و بالمر با کاهش طول موج به هم نزدیک‌تر می‌شوند و به سمت یک عدد ثابت میل می‌کنند.

به عنوان مثال برای رشته‌ی بالمر، فاصله‌ی خط اول ($\lambda=۶۵۵nm$) با خط دوم ($\lambda=۴۸۶nm$) بیشتر از فاصله‌ی خط دوم ($\lambda=۴۸۶nm$) با خط سوم ($\lambda=۴۳۴nm$) و الی آخر است.

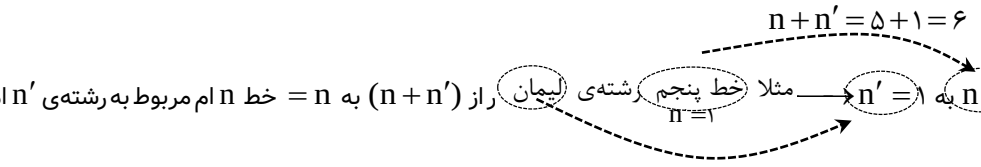
در یک جمع‌بندی باید ذکر کنیم که: ۱) بلندترین طول موج در یک رشته‌ی معین n' به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{n'^{۲}}-\frac{۱}{n^{۲}}) \xrightarrow[n_{min}=n'+۱]{\lambda_{max}} \frac{۱}{\lambda_{max}}=R(\frac{۱}{n'^{۲}}-\frac{۱}{(n'+۱)^{۲}})$$

۲) کوتاه‌ترین طول موج در یک رشته‌ی معین n' به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{n'^{۲}}-\frac{۱}{n^{۲}}) \xrightarrow[n_{max}=\infty]{\lambda_{min}} \frac{۱}{\lambda_{min}}=R(\frac{۱}{n'^{۲}}-\frac{۱}{\infty}) \Rightarrow \lambda_{min}=\frac{n'^{۲}}{R}$$

۳) اولین خط مربوط به هر رشته‌ی معین مربوط به کوتاه‌ترین گذار است. مثلاً خط اول رشته‌ی بالمر ($n'=۲$)، گذار از $n=۳$ به $n'=۲$ است. همچنین دومین خط از $n=۴$ به $n'=۲$ و ... به طور خلاصه شماره‌ی خط مربوط به هر رشته‌ی معین n' به صورت زیر است:



می‌توان با استفاده از معادله‌ی ریدبرگ، به طور تقریبی طول موج‌های طیف هیدروژن اتمی را به صورت زیر محاسبه کرد.

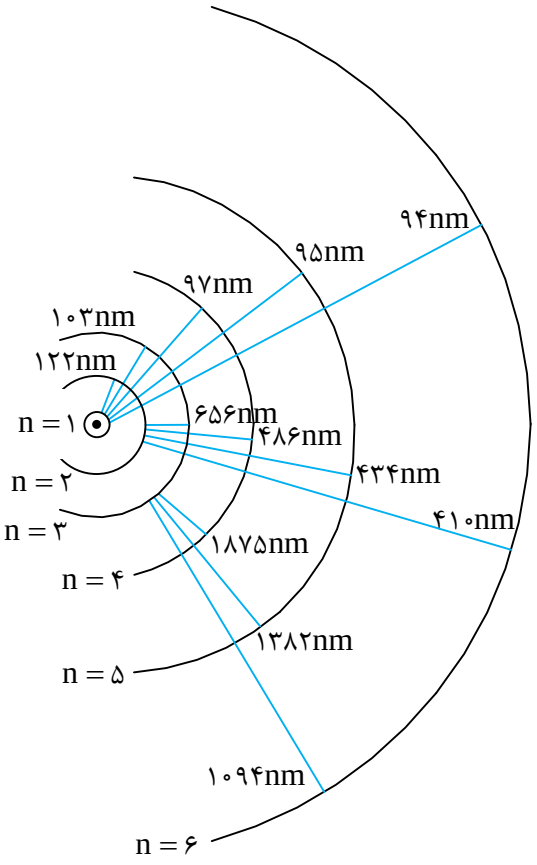
$$\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{n'^{۲}}-\frac{۱}{n^{۲}}) \quad , \quad R=۰/۰۱۰۹(nm)^{-۱}=۱/۰۹\times۱۰^{۷}(m^{-۱})$$

سری بالمر ($n' = ۲$)	
n	λ(nm)
۳	۶۵۶
۴	۴۸۶
۵	۴۳۴
۶	۴۱۰
۷	۳۹۷
∞	۳۶۵

سری پاشن ($n' = ۳$)	
n	λ(nm)
۴	۱۸۷۰
۵	۱۲۸۰
۶	۱۰۹۰
۷	۱۰۰۰
۸	۹۵۴
∞	۸۲۰

سری براکت ($n' = ۴$)	
n	λ(nm)
۵	۴۰۵۰
۶	۲۶۳۰
۷	۲۱۷۰
۸	۱۹۴۰
۹	۱۸۲۰
∞	۱۴۶۰

سری پفوند ($n' = ۵$)	
n	λ(nm)
۶	۷۴۶۰
۷	۴۶۵۰
۸	۳۷۴۰
۹	۳۳۰۰
۱۰	۳۰۴۰۰
∞	۲۲۸۰



تست ۱۶:

در اتم هیدروژن، در کدام یک از رشته‌های زیر فقط پرتوهای فروسرخ تابش می‌شود؟

۱) پاشن- براکت- پفوند
۲) بالمر- پاشن- براکت
۳) لیمان- پاشن- براکت
۴) بالمر- براکت- پفوند

تست ۱۷:

تست ۱۷- بلندترین طول موجی که جذب اتم هیدروژن در حالت پایه می‌شود، چند نانومتر است؟

$(R = ۰/۰۱nm^{-۱})$ (ریاضی ۹۳)

۱) ۲۵ ۲) ۱۰۰ ۳) $\frac{۴۰۰}{۳}$ ۴) $\frac{۱۰۰}{۳}$

تست ۱۸:

در اتم هیدروژن، بلندترین طول موجی که در رشته‌ی لیمان $(n' = ۱)$ گسیل می‌شود، چند نانومتر است؟

$\left[R = ۰/۰۱nm^{-۱}\right]$ (خارج تجربی ۹۳)

۱) ۱۰۰ ۲) ۲۰۰ ۳) $\frac{۴۰۰}{۳}$ ۴) $\frac{۳۰۰}{۴}$

تست ۱۹:

بلندترین طول موج نور مرئی اتم هیدروژن چند نانومتر است؟ (تجربی ۹۲)

۱) ۴۵۰ ۲) ۵۵۰ ۳) ۷۲۰ ۴) ۸۰۰

تست ۲۰:

در اتم هیدروژن، الکترون در گذار از n به n' در ناحیه‌ی نور مرئی فوتونی گسیل می‌کند. n و n' با ترتیب از راست به چپ، کدام می‌تواند باشد؟ (تجربی ۹۱)

۱) ۱, ۲ ۲) ۳, ۴ ۳) ۲, ۵ ۴) ۴, ۵

تست ۲۱:

در رشته‌ی براکت، برای اتم هیدروژن در رابطه‌ی $\frac{۱}{\lambda}=R(\frac{۱}{m^۲}-\frac{۱}{n^۲})$ به ازای $n=m+۲$، طول موج گسیلی چند میکرومتر است؟ *(خارج تجربی ۹۷)*

۱) ۱/۲ ۲) ۱/۴ ۳) ۲/۸۸ ۴) ۵/۱

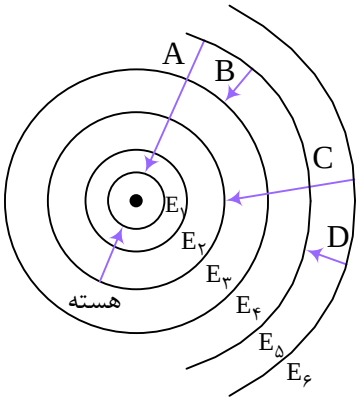
تست ۲۲:

در اتم هیدروژن، کوتاه‌ترین و بلندترین طول موجی که در رشته‌ی پاشن گسیل می‌شوند. به ترتیب تقریباً چند نانومترند و در چه ناحیه‌ای از طیف موج‌های الکترومغناطیسی قرار دارند؟ $(R=۰/۰۱(nm)^{-۱})$ *(خارج تجربی ۹۰)*

۱) ۴۰۰ و ۷۲۰ ، مرئی و فروسرخ
۲) ۹۰۰ و ۲۰۵۷ ، فروسرخ
۳) ۴۰۰۰ و ۷۲۰۰ ، مرئی و فروسرخ
۴) ۹۰۰۰ و ۲۰۵۷۰، فروسرخ

تست ۲۳:

شکل روبه‌رو، مدارهای الکترون برای اتم هیدروژن را نشان می‌دهد. در کدام گسیل، طول موج وابسته به فوتون تابش شده، بلندتر است؟ *(خارج تجربی ۹۴)*



۱) A ۲) B
۳) C ۴) D

تست ۲۴:

تست ۲۴- طول موج دومین خط طیف رشته براکت ($n'=۴$) چند برابر طول موج چهارمین خط طیف رشته بالمر ($n'=۲$) است؟ *(کنکور سراسری علوم تجربی داخل ۱۴۰۱)*

۱) $\frac{۷۲}{۵}$ ۲) ۸ ۳) $\frac{۳۲}{۵}$ ۴) ۴

تست ۲۵:

اختلاف بسامد اولین و دومین خط طیف اتم هیدروژن در یک رشتهٔ معین $\frac{۳۵}{۲۴}\times ۱۰^{۱۴}\,Hz$ است. این رشته کدام است؟ $(c=۳\times ۱۰^{۸}\,\frac{m}{s}, R=\frac{۱}{۱۰۰}(nm)^{-۱})$ *(کنکور سراسری علوم‌تجربی داخل ۱۴۰۲)*

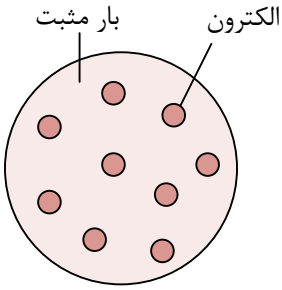
۱) براکت ($n'=۴$) ۲) لیمان ($n'=۱$) ۳) پاشن ($n'=۳$) ۴) بالمر ($n'=۲$)

مدل اتمی تامسون

جوزف تامسون بعد از کشف الکترون و اندازه‌گیری نسبت بار به جرم آن $\frac{e}{m}$، مدلی برای اتم ارائه داد که بنابراین مدل اتمی، اتم کره‌ای است که بار مثبت به طور همگن در سرتاسر آن گسترده شده است و الکترون‌ها که سهم ناچیزی در جرم اتم دارند، در جاهای مختلف آن پراکنده شده‌اند. این مدل را گاهی مدل کیک کشمشی هم می‌گویند.

تذکر: در مدل اتمی تامسون، وقتی الکترون‌ها با بسامدهای معینی حول وضع تعادلشان نوسان می‌کنند، همین نوسان سبب تابش امواج الکترومغناطیسی از اتم می‌شود.

یکی از ناکامی‌های مدل تامسون این بود که بسامدهای تابش گسیل شده از اتم، که این مدل پیش‌بینی می‌کرد، با نتایج تجربی سازگار نبود.
در مدل تامسون، بار الکتریکی مثبت به طور همگن در کره‌ای توزیع شده است و الکترون‌ها مانند کشمش‌های کیک در نقاط مختلف آن قرار دارند.



مدل اتمی رادرفورد

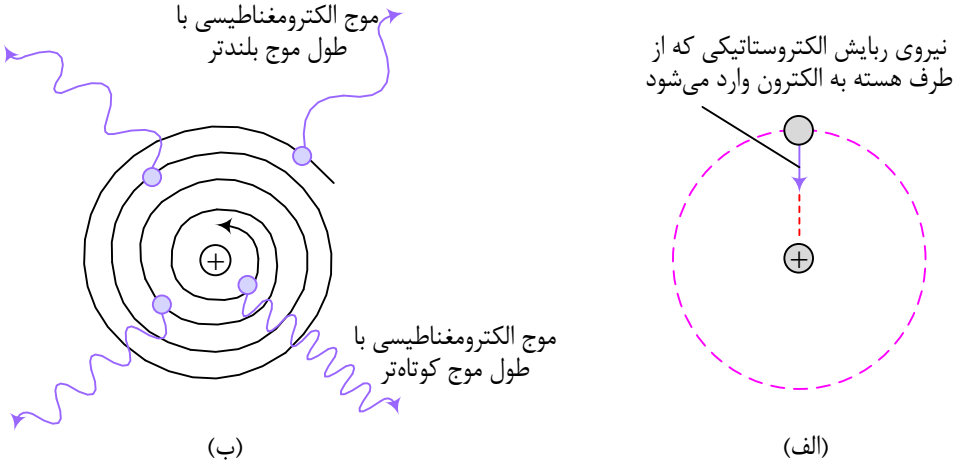
بنابر مدل رادرفورد، اتم دارای یک هسته‌ی بسیار چگال و کوچک و با بار مثبت است. ($\approx ۱۰^{-۱۵}\,m$ شعاع) که با تعدادی الکترون در فاصله‌هایی به نسبت دور احاطه شده است. مدل اتمی رادرفورد را «مدل اتم هسته‌ای» یا «مدل هسته‌ای اتم» می‌نامند.

- **ناکامی مدل اتمی رادرفورد:**

۱) در این مدل اتمی، اگر الکترون‌ها را نسبت به هسته ساکن فرض کنیم، 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. (شکل الف).

۲) همچنین اگر الکترون‌ها، مانند سیاره‌های منظومه‌ی خورشیدی که دور خورشید می‌چرخند، به دور هسته در گردش باشند، باز هم این حرکت پایدار نمی‌ماند؛ زیرا حرکت مداری الکترون به دور هسته، دارای شتابی رو به تمرکز است و بنابر فیزیک کلاسیک، این حرکت شتابدار الکترون سبب تابش امواج الکترومغناطیس 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 بسامدهای موج‌های الکترومغناطیسی گسیل شده نیز به تدریج زیاد شود. به این ترتیب باید طیف موج الکترومغناطیسی گسیل شده از اتم، پیوسته باشد و الکترون پس از گسیل پی در

پی امواج الکترومغناطیسی روی هسته فرو افتد. این نتیجه، افزون بر این که با واقعیت ناسازگار است، با طیف خطی گسیل شده توسط اتم‌ها نیز جور درنمی‌آید. (شکل ب)



ناتوانی مدل اتم هسته‌ای رادرفورد در تبیین پایداری اتم.

(الف) اگر الکترون نسبت به هسته ساکن فرض شود بر اثر نیروی رباییش الکتریکی، روی هسته سقوط می‌کند. (ب) اگر الکترون دور هسته بچرخد، طیفی پیوسته گسیل می‌کند و سرانجام روی هسته فرو می‌افتد.

مدل اتمی بور

ویژگی مدل اتمی بور در این بود که علاوه بر حل کردن مسـأله ناپایداری مدل رادرفورد، معادله‌ی ریدبرگ برای طیف خطی اتم هیدروژن را نیز نتیجه می‌داد.

اصول و مفروضات مدل بور:

۱) مدارها و انرژی الکترون‌ها در هر اتم کوانتیده‌اند؛ یعنی فقط مدارها و انرژی‌های گسسته‌ی معینی مجاز هستند، شعاع این مدارها و انرژی الکترون برای اتم هیدروژن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

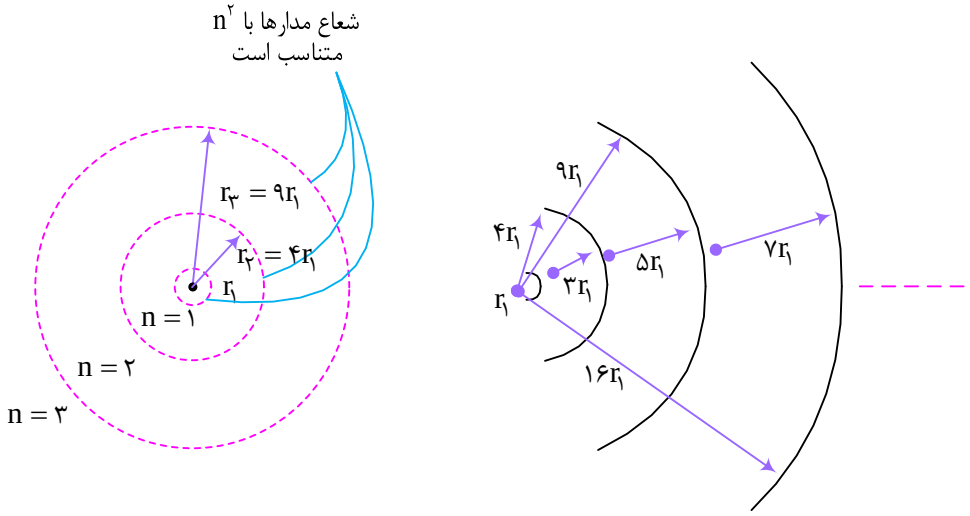
$r_n = a_\circ n^2$	(شعاع مدار الکترون برای اتم هیدروژن بر حسب نانومتر)
$E_n = -\frac{E_R}{n^2}$	(انرژی الکترون در اتم هیدروژن بر حسب الکترون ولت)

در این روابط n عدد کوانتومی است؛ یعنی $n = ۱,۲,۳,...$ است که مدار الکترون را مشخص می‌کند.

همچنین $a_\circ$ شعاع کوچک‌ترین مدار در اتم هیدروژن $(n=۱)$ و مقدار آن $a_\circ = r_۱ = ۵/۲۹\times۱۰^{-۱۱}m$ است و به آن شعاع بور برای اتم هیدروژن می‌گویند.

علاوه بر این، انرژی الکترون در مدار $n=۱$ برابر $E_۱ = E_R = -۱۳/۶eV$ است که اندازه‌ی آن را معمولاً یک «ریدبرگ» می‌نامند.

یک ریدبرگ $E_R = ۱۳/۶eV$



اولین مدار بور در اتم هیدروژن دارای انرژی E_1 است مدارهای دوم و سوم بور به ترتیب دارای انرژی‌های $E_2 = \frac{E_1}{4}$ و $E_3 = \frac{E_1}{9}$ هستند.

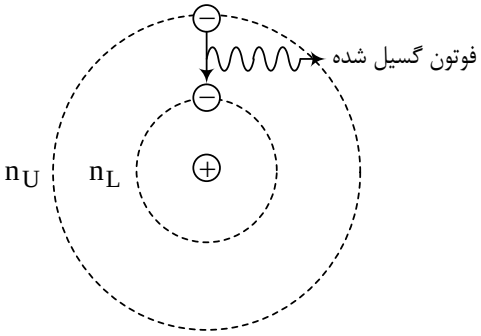
وقتی یک الکترون در یکی از مدارهای مجاز است، هیچ نوع تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی‌کند. از این رو گفته می‌شود الکترون در «مدار مانا یا حالت مانا» قرار دارد.

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. در این صورت انرژی فوتون تابش شده برابر اختلاف انرژی بین دو مدار اولیه و مدار نهایی است؛ یعنی:

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

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

● نمودار ترازهای انرژی الکترون برای اتم هیدروژن: اگر بخواهیم نمودار تراز انرژی برای مدارهای مشخص اتم هیدروژن را نمایش دهیم، نموداری به صورت شکل مقابل خواهیم داشت، در این نمودار که برای اتم هیدروژن رسم شده به نکات زیر توجه کنید:



۱) بالاترین تراز انرژی ($n = \infty$)
مربوط به حالتی است که الکترون کاملاً از هسته خارج شده و در این حالت $E = 0$ است.

۲) پایین‌ترین تراز انرژی، «حالت پایه» نامیده می‌شود تا از «حالت‌های برانگیخته» که مربوط به ترازهای بالاتر است، متمایز شود.

۳) با افزایش n، انرژی الکترون افزایش می‌یابد.

۴) با افزایش n، انرژی‌های حالت‌های برانگیخته به هم نزدیک‌تر و نزدیک‌تر می‌شوند ولی فاصله‌ی دو مدار متوالی بیشتر و بیشتر می‌شود.

۵) در اتم هیدروژن و در دمای اتاق، الکترون بیشتر زمان خود را در حالت پایه است.

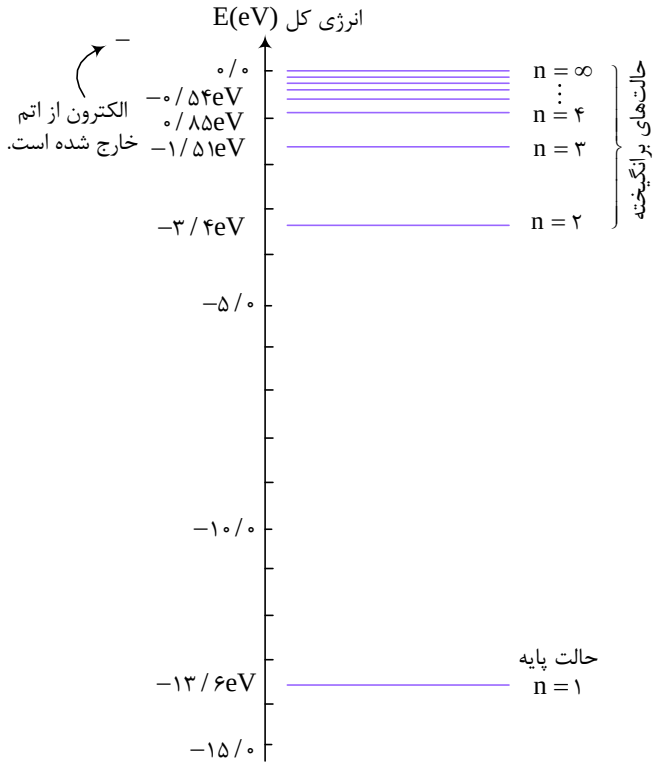
۶) کمترین انرژی لازم برای خارج کردن الکترون از هر حالت را «انرژی یونش» مربوط به آن حالت می‌نامند که انرژی یونش الکترون (E'_n) در هر حالت قرینه انرژی الکترون در آن حالت است. یعنی:

$$E_n = -\frac{E_R}{n^2} \xrightarrow{E'_n = -E_n} \boxed{\text{انرژی یونش } E'_n = \frac{E_R}{n^2}}$$

۷) انرژی یونش برای حالت پایه برابر $E_R = ۱۳/۶eV$ است.

۸) مقدار پیش‌بینی برای انرژی یونش اتم هیدروژن توسط مدل بور، با مقدار تجربی بسیار سازگار است.

۹) انرژی الکترون در حالت برانگیخته n ام به صورت زیر محاسبه می شود.



نمودار ترازهای انرژی برای الکترون اتم هیدروژن

$$\boxed{\text{انرژی الکترون در حالت برانگیخته } n \text{ ام } E = -\frac{E_R}{(n+1)^2}}$$

مثلاً در دومین حالت برانگیخته داریم:

$$E_۳ = -\frac{E_R}{۳^2} = -\frac{E_R}{۹}$$

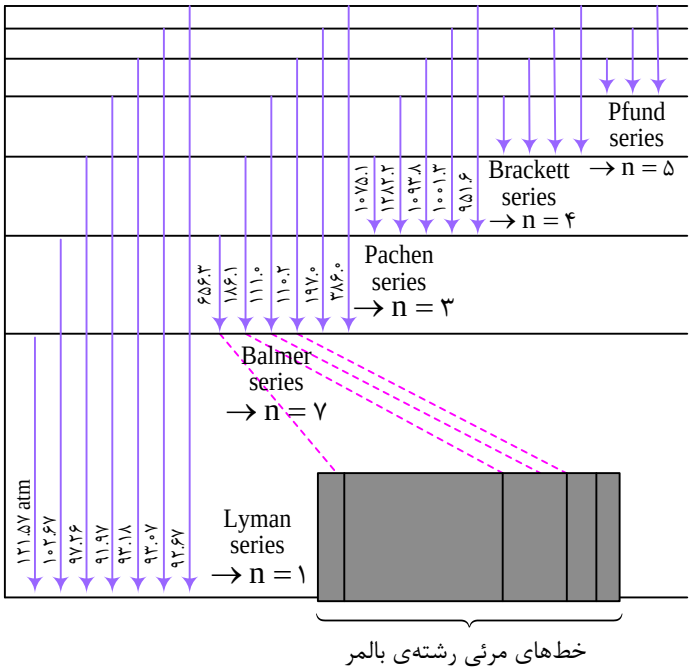
۱۰) می‌توان نمودار تراز انرژی الکترون، هنگامی که از یک حالت به حالت پایین‌تر جهش می‌کند را برای رشته‌های مختلف به صورت زیر نمایش داد.

۱۱) با استفاده از رابطه‌ی بور برای انرژی الکترون می‌توان نشان داد که به طور مثال:

$$\Delta E(۵ \to ۱) = \Delta E(۵ \to ۴) + \Delta E(۴ \to ۳) + \Delta E(۳ \to ۲) + \Delta E(۲ \to ۱)$$

۱۲) در استخراج معادله‌ی ریدبرگ برای اتم هیدروژن از مدل بور به نتیجه‌ی زیر می‌رسیم که:

$$\Delta E = hf = E_U - E_L \xrightarrow[f=\frac{c}{\lambda}]{} \frac{hc}{\lambda} = -E_R\left(\frac{1}{n_U^2} - \frac{1}{n_L^2}\right)$$



$$\Rightarrow \frac{1}{\lambda} = -\frac{E_R}{hc}\left(\frac{1}{n_U^2} - \frac{1}{n_L^2}\right) \Rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{E_R}{hc}\left(\frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2}\right), \frac{E_R}{hc} = R = 0/0109(nm)^{-1} = 1/09\times10^{7}(m)^{-1}$$

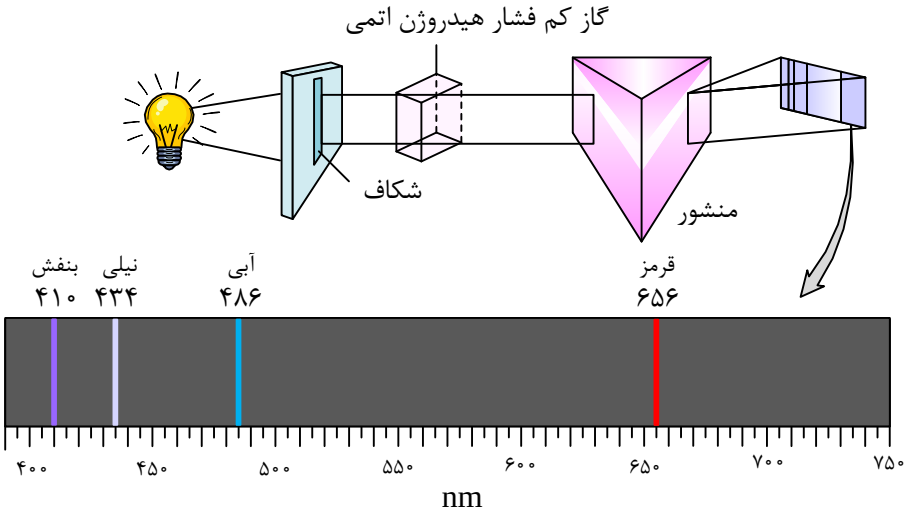
۱۳) با مقایسه‌ی این رابطه با معادله‌ی ریدبرگ هنگامی که الکترون در جهش از مدارهای بالاتر n به مدارهای پایین‌تر n' فوتونی را گسیل می‌کند، به صورت $n_L = n'$ (مقصد) و $n_U = n$ (مبدأ) است.

۱۴) اگر الکترون در تراز n ام اتم هیدروژن قرار داشته باشد و به حالت پایه برود، تعداد فوتون‌های متمایز با انرژی‌های تولیدی متفاوتی که گسیل می‌کند، برابر تعداد حالت‌های انتخاب دو از n است. یعنی:

$$N = \binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2}$$

طیف جذبی گاز هیدروژن اتمی و مدل بور

- **طیف جذبی:** هر گاه نور سفید از بخار یک عنصر و سپس از منشور عبور کند و تجزیه‌ی آن بعد از عبور از منشور نمایان شود، طیفی با زمینه‌ای رنگی به هم پیوسته می‌بینیم که در آن خط‌های تاریکی وجود دارد. به چنین طیفی، طیف جذبی می‌گوییم.



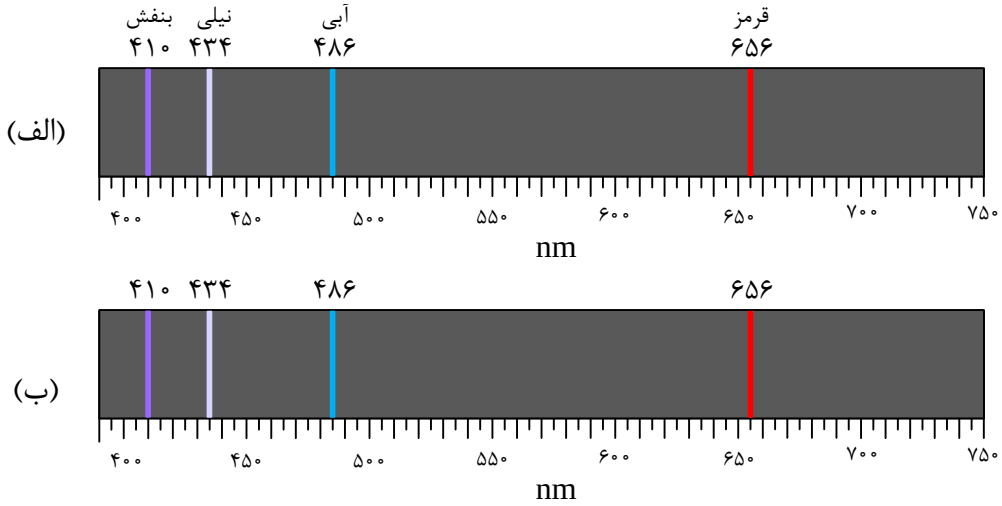
روشی برای مشاهده‌ی طیف‌های جذبی یک چشمه‌ی نور سفید که گستره‌ای پیوسته از طول موج‌ها را تولید می‌کند از ظرفی حاوی گاز کم‌فشار هیدروژن اتمی می‌گذرد و توسط منشور پاشیده می‌شود و طیف آن روی پرده تشکیل می‌شود، خط‌های تاریک روی طیف به طول موج‌هایی از نور سفید مربوط است که توسط اتم‌های گاز جذب شده‌اند.

در طیف جذبی ایجاد شـده، هر خط تاریک، بیانگر طول موج معینی اسـت که بخار عنصـر آن را جذب کرده است.

مطالعه و مقایسه‌ی دو طیف گسیلی و جذبی عنصرهای مختلف نشان می‌دهد که:

(a)- هم در طیف گسـیلی و هم در طیف جذبی اتم‌های گاز هر عنصـر، طول موج های معینی وجود دارد که از مشخصه‌های آن عنصر است؛ یعنی طیف گسیلی و طیف جذبی هیچ دو گازی مثل هم نیست.

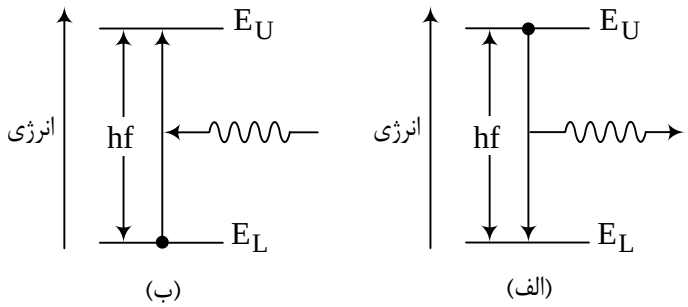
(b)- اتم‌های هر گاز دقیقاً همان طول موج‌هایی را از نور سفید جذب می‌کنند که اگر دمای آن‌ها به اندازه‌ی کافی بالا رود و یا به هر صورت دیگر برانگیخته شوند، آن‌ها را تابش می‌کنند.



طیف گسیلی و جذبی گاز هیدروژن اتمی، (الف) خط‌های روشن در طیف گسیلی معرف طول موج‌های گسیل شده و (ب) خط‌های تاریک در زمینه‌ی طیف، معرف طول موج‌های جذب شده توسط اتم‌های گاز هستند.

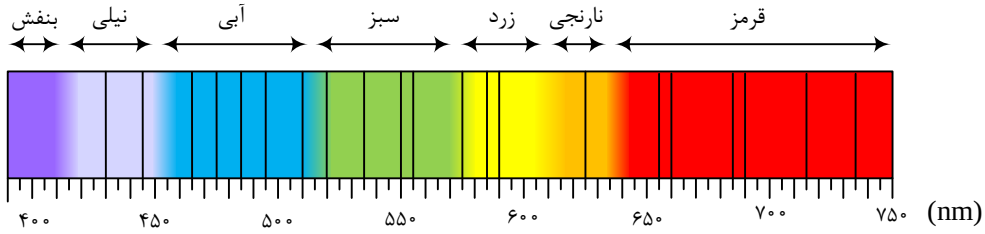
بر اساس مدل بور می‌دانیم که خط‌های گوناگون در طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی وقتی به وجود می‌آیند که الکترون‌های اتم هیدروژن، که به هر دلیلی برانگیخته شده‌اند، از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین‌تر جهش کنند و فوتون‌هایی را گسیل کنند. همچنین الکترون‌ها می‌توانند در جهت عکس گذار کنند؛ یعنی در فرآیندی که «جذب فوتون» خوانده می‌شود، از ترازهای انرژی پایین‌تر به ترازهای انرژی بالاتر برود. در این حالت، اتم فوتونی را که دقیقاً انرژی لازم برای گذار را دارد جذب می‌کند.

در هر دو حالت گسیل و جذب فوتون داریم:



$$\Delta E = hf = E_U - E_L$$

- **خطوط فرانهوفر:** در تابشی که از نور خورشید گسیل می‌شود و به زمین می‌رسد، بعضی از طول موج‌ها وجود ندارند. خط‌های تاریک نازکی در طیف حاصل از نور خورشید که به زمین می‌رسد، دیده می‌شود که به آن‌ها خطوط فرانهوفر می‌گوییم این خطوط جای خالی طول موج‌هایی می‌باشند که توسط گازهای موجود در جو خورشید و جو زمین جذب شده‌اند.



خط‌های تاریکی که در طیف خورشید دیده می‌شود، به افتخار کشف‌کننده‌ی آن خط‌های فرانهوفر نامیده می‌شوند.

- **موفقیت‌ها و نارسایی‌های مدل بور:**

۱. مدل اتمی بور تصویری از چگونگی حرکت الکترون‌ها به دور هسته ارائه می‌کند.
۲. این مدل در تبیین پایداری اتم موفق بوده.
۳. این مدل در توجیه طیف گسیلی و جذبی گاز هیدروژن اتمی موفق است.
۴. این مدل در محاسبه‌ی انرژی یونش اتم هیدروژن موفق است.
۵. مدل بور را برای اتم‌های هیدروژن‌گونه نیز می‌توان به کار برد.

- **نارسایی‌های مدل بور:**

مدل بور به رغم موفقیت‌هایی که اشاره شد، نارسایی‌ها نیز دارد که دو مورد از آن‌ها به صورت زیر است:

۱. این مدل برای وقتی که بیش از یک الکترون به دور هسته می‌گردد به کار نمی‌رود؛ زیرا در مدل بور، نیروی الکترواستاتیکی که یک الکترون بر الکترون دیگر وارد می‌کند به حساب نیامده است.

۲. این مدل نمی‌تواند متفاوت بودن شدت خط‌های طیف گسیلی را توضیح دهد. به عنوان مثال نمی‌تواند توضیح دهد که چرا شدت خط قرمز با شدت خط آبی در طیف گسیلی گاز هیدروژن اتمی با یکدیگر متفاوت است. (در واقع نمی‌تواند تعداد فوتون‌های گسیلی مربوط به یک بسامد معین را محاسبه کند.)

تست ۲۶:

نارسایی الگوی اتمی رادرفورد چه بود؟

۱) عدم توجیه طیف اتمی گسسته
۲) عدم توجیه پایداری اتم
۳) عدم توجیه بقای بار الکتریکی در اتم
۴) گزینه‌های ۱ و ۲

تست ۲۷:

در اتم هیدروژن، انرژی الکترون در تراز $n=2$ برابر E_2 است و در تراز $n=3$ برابر E_3، در این صورت E_2 و E_3 به ترتیب از راست به چپ هر کدام چند ریدبرگ است؟ *(خارج ریاضی ۹۳)*

۱) $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}$
۲) $\frac{1}{4}, \frac{1}{9}$
۳) $-\frac{1}{2}, -\frac{1}{3}$
۴) $-\frac{1}{4}, -\frac{1}{9}$

تست ۲۸:

در اتم هیدروژن انرژی الکترون در دومین حالت برانگیخته، چند برابر انرژی الکترون در حالت پایه است؟

(کنکور سراسری تجربی داخل ۱۴۰۱)

۱) $\frac{1}{2}$
۲) $\frac{1}{3}$
۳) $\frac{1}{4}$
۴) $\frac{1}{9}$

تست ۲۹:

در اتم هیدروژن، الکترون در تراز $n=1$ قرار دارد و شعاع مدار آن a_0 است. این الکترون با کسب انرژی مناسب به کدام مدار برود تا شعاع مدار ۱۶ برابر شود؟ و اگر از آن مدار، مستقیماً به مدار $n=1$ برگردد، پرتو گسیل شده مربوط به کدام رشته است؟ *(خارج ریاضی ۹۱)*

۱) $n=4$ و لیمان
۲) $n=4$ و بالمر
۳) $n=8$ و لیمان
۴) $n=8$ و بالمر

تست ۳۰:

در اتم هیدروژن، الکترون از تراز $n=1$ به تراز $n=3$ می‌رسد. در این انتقال، شعاع مدار و انرژی الکترون، نسبت به حالت قبل، به ترتیب چند برابر می‌شوند؟ *(ریاضی ۹۳)*

۱) $\frac{1}{3}$, ۳ ۲) $\frac{1}{9}$, ۹ ۳) ۳ , ۳ ۴) ۹ , ۹

تست ۳۱:

در اتم هیدروژن الکترون از مدار n_U به n_L می‌رود و نوری با بسامد ۵۶۲/۵THz تابش می‌کند. n_U و n_L به ترتیب کدام‌اند؟ *(ریاضی ۹۶)* $(R_H = 0/01(nm)^{-1}$ و $c = 3\times10^8 \frac{m}{s})$

۱) ۱ , ۲ ۲) ۱ , ۳ ۳) ۲ , ۴ ۴) ۳ , ۵

تست ۳۲:

الکترونی در سومین حالت برانگیختهٔ اتم هیدروژن قرار دارد. اگر این الکترون به حالت پایه جهش کند، بسامد فوتون گسیلی چند تراهرتز است؟ $(E_R = 13/6eV, h = 4\times10^{-15}eV.s)$

(کنکور سراسری ریاضی و فیزیک خارج از کشور ۱۴۰۱)

۱) ۲۰۲۵ ۲) ۲۱۲۵ ۳) ۳۰۲۲/۲ ۴) ۳۱۸۷/۵

تست ۳۳:

در اتم هیدروژن وقتی الکترون از چهارمین حالت برانگیخته به حالت پایه جهش می‌کند، بسامد فوتون گسیل شده چند هرتز است؟ $(E_R = ۱۳/۶eV, h = ۴\times۱۰^{-۱۵}eV.s)$ *(کنکور سراسری علوم تجربی داخل ۱۴۰۲)*

۱) $۳/۱۸۷۵\times۱۰^{۱۵}$ ۲) $۳/۲۶۴\times۱۰^{۱۵}$ ۳) $۲/۵۵\times۱۰^{۱۵}$ ۴) $۲/۷۲\times۱۰^{۱۵}$

تست ۳۴:

در اتم هیدروژن، الکترون در تراز n قرار دارد و انرژی یونش آن ۰/۸۵ الکترون ولت است. انرژی لازم برای آن که این الکترون را به تراز $n+۱$ ببرد، چند الکترون ولت است؟ $(E_R = ۱۳/۶eV)$ *(ریاضی ۹۴)*

۱) ۱/۱۰۶ ۲) ۰/۵۴۴ ۳) ۰/۴۲۵ ۴) ۰/۳۰۶

تست ۳۵:

انرژی یونش الکترون در اتم هیدروژن در حالت پایه $۲۱/۷۶\times۱۰^{-۱۹}j$ است. اگر الکترون از مدار n_U به n_L برود و انرژی فوتونی گسیلی آن $۱۶/۳۲\times۱۰^{-۱۹}j$ باشد، n_U و n_L کدام است؟ *(خارج تجربی ۹۵)*

۱) ۱ , ۳ ۲) ۳ , ۲ ۳) ۱ , ۲ ۴) ۳ , ۴

تست ۳۶:

در اتم هیدروژن، الکترون از مدار **n** به n' می‌رود و فوتونی با انرژی $۴/۰۸\times۱۰^{-۱۹}J$ تابش می‌کند. شعاع مدار اُم، چند برابر شعاع بور است؟ $(e=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C, E_R=۱۳/۶eV)$

(کنکور سراسری علوم تجربی خارج از کشور ۱۴۰۱)

۱) ۲۵ ۲) ۱۶ ۳) ۹ ۴) ۴

تست ۳۷:

در اتم هیدروژن، کدام گذار منجر به گسیل فوتونی با بسامد $۲/۲۵\times۱۰^{۱۵}Hz$ می‌شود؟ $(e=۳\times۱۰^{۸}\frac{m}{s}, R=\frac{۱}{۱۰۰}(nm)^{-۱})$

(کنکور سراسری علوم تجربی داخل ۱۴۰۱)

۱) $n=۲$ به $n'=۱$ ۲) $n=۳$ به $n'=۱$ ۳) $n=۴$ به $n'=۲$ ۴) $n=۵$ به $n'=۲$

تست ۳۸:

یک اتم هیدروژن، در حالت پایه قرار دارد. بلندترین طول موج نوری که بتواند این اتم هیدروژن یونیده کند، چند نانومتر است؟ $(R=۰/۰۱nm^{-۱})$ (خارج ریاضی ۹۷)

۱) ۶۰۰ ۲) ۵۰۰ ۳) ۲۰۰ ۴) ۱۰۰

تست ۳۹:

در اتم هیدروژن، اگر الکترون از تراز n که انرژی آن $-\frac{۱}{۱۶}E_R$ است، به تراز n' انتقال یابد و فوتونی با طول موج $\frac{۱۶۰۰}{۱۵}$ نانومتر تابش شود n و n' به ترتیب کدام است؟ $(R=۰/۰۱nm^{-۱})$ (خارج ریاضی ۹۱)

۱) ۱, ۳ ۲) ۱, ۴ ۳) ۲, ۴ ۴) ۲, ۵

تست ۴۰:

در اتم هیدروژن، الکترون در تراز $n=۴$ قرار دارد. با در نظرگرفتن تمام گذارهای ممکن، چند نوع فوتون با انرژی‌های متفاوت ممکن است گسیل شود؟ *(ریاضی ۸۶)*

۱) ۳ ۲) ۴ ۳) ۶ ۴) ۸

تست ۴۱:

تست ۴۱- در اتم هیدروژن، اگر الکترون در تراز $n=۵$ قرار داشته باشد، با در نظرگرفتن تمام گذارهای ممکن، تعداد فوتون‌های تابشی با انرژی‌های مختلف در رشته‌ی لیمان چند برابر تعداد فوتون‌های تابشی با انرژی‌های مختلف در رشته‌ی بالمر خواهد بود؟

۱) $\frac{۵}{۴}$ ۲) $\frac{۵}{۳}$ ۳) $\frac{۴}{۳}$ ۴) $\frac{۳}{۲}$

تست ۴۲:

تست ۴۲- در طیف نور خورشید که به کره‌ی زمین می‌رسد، خطوط تاریک دیده می‌شود. این خطوط نشانگر چیست؟ *(خارج تجربی ۸۵)*

۱) عناصر موجود در درون خورشید

۲) عدم وجود بعضی از مواد و عناصر خورشید

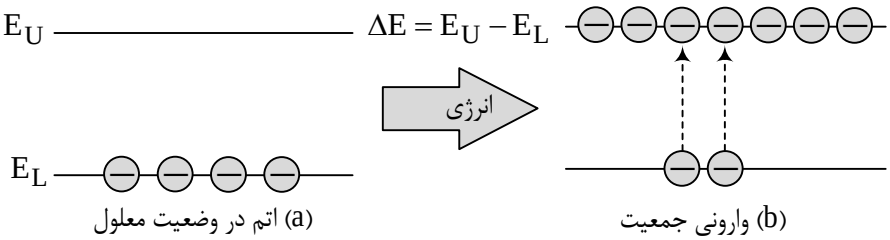
۳) عناصر موجود در اتمسفر زمین و اتمسفر خورشید

۴) جذب قسمتی از نور خورشید توسط دستگاه طیف‌سنج

لیزر

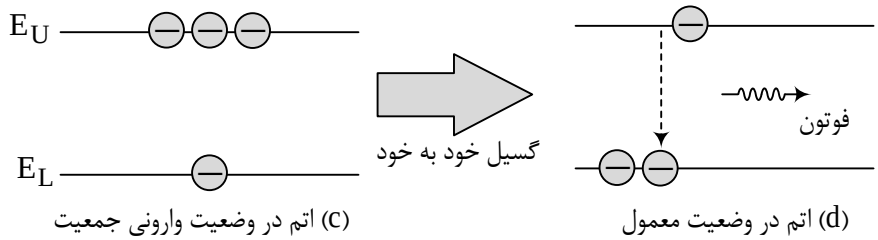
- **لیزر:** قبل از هر چیز باید بگوییم که واژه‌ی لیزر (Laeser) از سـرواژه‌های عبارت « light amplification by the stimulated emission of radiation» به معنای «تقویت نور توسـط گسـیل القایی تابش» اسـت. پس همان‌گونه که می‌دانیم، تولید لیزر بر اساس گسیل القایی بنا شده است.
- **جذب فوتون و وارونی جمعیت:** از قبل می‌دانیم که به طور معمول و در دمای اتاق، بیشـتر الکترون‌ها در تراز انرژی پایین‌تر قرار دارند (شـکل a) و اصـطلاحاً گوییم که در وضـعیت معمول هسـتند، اتم‌ها با گرفتن انرژی‌ای که مقدار آن برابر اختلاف انرژی دو تراز E_L و E_U باشـد، به تراز بالاتر E_U می‌روند (شـکل b) و اصطلاحاً گوییم که در این حالت وارونی جمعیت رخ میدهد.

(به این نوع برهم‌کنش بین اتم و انرژی فوتون، فرآیند جذب نیز می‌گوییم.)

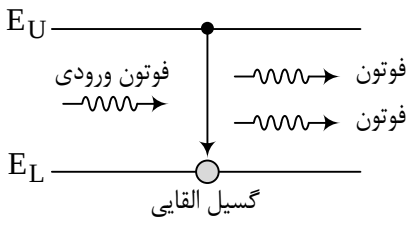


- **گسـیل خود به خود:** مطابق مدل اتمی بور، وقتی یک الکترون از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین‌تر جهش می‌کند، یک فوتون گسـیل می‌شـود. در این حالت الکترون‌ها معمولاً در حالت برانگیخته‌ی E_U در مدت $10^{-8}s$ باقی می‌مانند و سـپس به طور خودبه خود جهشـی به تراز E_L خواهند داشـت و یک فوتون گسیل می‌کنند. (به این نوع برهم‌کنش بین اتم و فوتون، گسیل خود به خود گفته می‌شود.)

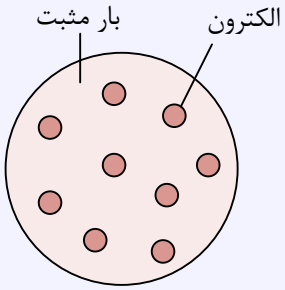
در گسیل خود به خود فوتون در جهت کاتوره‌ای گسیل می‌شود.



- **گسیل القایی:** این نوع گسیل در ابتدا توسط اینشتین چنین مطرح شد که اگر فرض کنیم اتم در وضعیت «وارونی جمعیت» قرار دارد و یک فوتون به اتم بتابانیم، فوتون ورودی، الکترون برانگیخته را تحریک (یا القا) می‌کند تا تراز انرژی خود را تغییر دهد و به تراز پایین‌تر برود. برای گسیل القایی، انرژی فوتون ورودی باید دقیقاً با اختلاف انرژی‌های دو تراز یعنی $\Delta E = E_U - E_L$ یکسان باشد.



تذکر: در گسیل القایی مطالب زیر مورد توجه است.



۱) گسیل القایی دارای سه ویژگی عمده است که عبارتند از:

الف) یک فوتون وارد می‌شود و دو فوتون خارج می‌گردد. به این ترتیب توسط این فرآیند تعداد فوتون‌ها را افزایش می‌دهند و تقویت می‌کنند.

ب) فوتون گسیل شده در همان جهت فوتون ورودی حرکت می‌کند.

پ) فوتون گسیل شده یا فوتون ورودی همگام یا دارای همان فاز است. به این ترتیب فوتون‌هایی که باریکه‌ی لیزری را ایجاد می‌کند «هم‌بسامد، هم‌جهت و هم‌فاز» هستند.

۲) در گسیل القایی انرژی که توسط چشمه‌ی خارجی مناسب تأمین می‌شود تا الکترون‌ها را به ترازهای انرژی بالاتر برانگیخته کند، می‌تواند توسط درخشش شدید نور معمولی و یا تخلیه‌های ولتاژ بالا و ... فراهم شود.

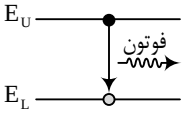
۳) وارونی جمعیت در یک محیط لیزری، مربوط به وضعیتی است که تعداد الکترون‌ها در ترازهایی موسوم به «ترازهای شبه پایدار» (metastable) نسبت به تراز پایین‌تر بسیار بیشتر باشند. در این ترازها، الکترون‌ها مدت زمان بسیار طولانی‌تری (10^{-3} s) نسبت به حالت برانگیخته معمولی (10^{-8} s) باقی می‌مانند. این زمان طولانی فرصت بیشتری برای افزایش وارونی جمعیت و در نتیجه تقویت نور لیزر فراهم می‌کند.

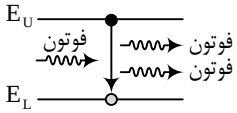
۴) لیزر دارای کاربردهای فراوانی از جمله در برشکاری، جوشکاری، آزمایش‌های فیزیک و پژوهش‌های علمی، چشم‌پزشکی، نجوم، دندانپزشکی و ... است.

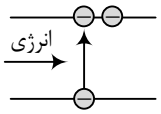
۵) به دلیل انرژی فوق‌العاده زیاد و متمرکز پرتوهای لیزری، توصیه‌ی جدی می‌شود که هیچ‌گاه به طور مستقیم به نور ایجاد شده توسط لیزر نگاه نکنیم، چون باعث آسیب چشم می‌شود.

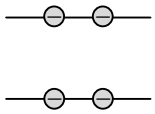
تست ۴۳:

کدام یک از طرح‌واره‌های زیر مربوط به گسیل القایی است؟

۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

تست ۴۴:

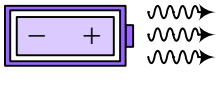
در کدام یک از وسایل زیر نور گسیلی دارای انرژی متمرکز بیشتری از بقیه است؟

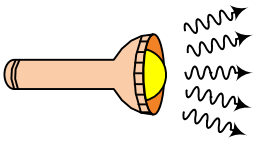
۱) لیزر

۲) چراغ قوه

۳) لامپ رشته‌ای

۴) هر سه


لیزر


چراغ‌قوه

لامپ رشته‌ای

تست۴۵:

کدام یک از موارد زیر از کاربردهای لیزر است؟ *(تجربی ۹۶)*

۱) عکاسی در مه
۲) استفاده در اجاق‌های مایکروویو
۳) برش فلزات
۴) ضدعفونی کردن تجهیزات پزشکی

تست۴۶:

کدام یک از موارد زیر از کاربردهای لیزر است؟ *(ریاضی ۸۸)*

۱) فوتون + اتم $\Rightarrow$ فوتون + اتم
۲) فوتون + اتم $\Rightarrow$ فوتون *اتم
۳) اتم $\Rightarrow$ فوتون + اتم
۴) ۲ فوتون + اتم $\Rightarrow$ فوتون + *اتم

تست۴۷:

تست ۴۶- اگر توان یک باریکه‌ی لیزری $۶/۶\times۱۰^{-۴}$ وات و طول موج آن ۰/۶ میکرون باشد، در هر ثانیه چند فوتون از این لیزر گسیل می‌شود؟ ($c=۳\times۱۰^{۸}\ m/s$ و $h=۶/۶\times۱۰^{-۳۴}\ j.s$ ثابت پلانک فرض شود)

۱) ۲×۱۰^{۱۷}
۲) ۲×۱۰^{۱۶}
۳) ۲×۱۰^{۱۵}
۴) ۲×۱۰^{۱۴}

ساختار هسته

آشنایی با ساختار هسته و مفاهیم اولیه

- **فیزیک هسته‌ای:** شاخه‌ای از فیزیک است که در آن با ساختار، برهم‌کنش‌ها و واپاشی هسته‌های اتمی سروکار داریم. بخش عمده‌ای از پیشرفت فیزیک هسته‌ای، مدیون تحلیل نتایج آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌هایی است که طی قرن گذشته توسط دانشمندانی از حوزه‌های فیزیک و شیمی انجام شده است. آنچه بیش از همه منجر به گسترش فیزیک هسته‌ای شد، به تحولاتی مربوط است که با ساخت شتاب‌دهنده‌های ذرات در سال ۱۹۳۲ میلادی آغاز شد.
- کشف پرتوزایی طبیعی در اواخر قرن نوزدهم میلادی توسط «هانری بکرل» (فیزیک‌دان فرانسوی) آغازی برای پی بردن به وجود هسته‌ی اتم بود.
- ابعاد اتم در حدود 10^{-10} متر (یک آنگستروم) است. با کاوش درون اتم، در مرکز آن، هسته یافت می‌شود که شعاع آن تقریباً $\frac{1}{100000}$ شعاع اتم یعنی 10^{-15} متر (یک فمتومتر) می‌باشد.
- هسته‌ی اتم از نوترون‌ها و پروتون‌ها تشکیل شده که به طور کلی نوکلئون نامیده می‌شود.
- نوترون که در سال ۱۹۳۲ میلادی و توسط جیمز چادویک (فیزیک‌دان انگلیسی) کشف شده، بار الکتریکی ندارد و جرمش اندکی بیشتر از پروتون است.
- بار الکتریکی پروتون $+e$ و بار الکتریکی الکترون $-e$ است. در ضمن جرم الکترون بسیار کمتر از پروتون و نوترون (حدود $\frac{1}{2000}$ آن‌ها) است.

یکای جرم اتمی (amu یا U): $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن ۱۲

- تعداد پروتون‌های هسته را عدد اتمی (Z)، تعداد نوترون‌های هسته را عدد نوترونی (N) و مجموع تعداد کل پروتون‌ها و نوترون‌ها (نوکلئون‌ها) را عدد جرمی (A) می‌نامند و داریم: $A = Z + N$
- در یک اتم خنثی، تعداد پروتون‌های هسته با تعداد الکترون‌های دور آن برابر است.
- بار الکتریکی کل هسته $+Ze$ می‌باشد و مرتبه‌ی بزرگی چگالی‌اش $10^{14}\,g/cm^3$ است که به صورتی باورنکردنی بزرگ می‌باشد.
- برای عنصری با نماد شیمیایی X، نماد هسته به صورت ${}^{A}_{Z}X_{N}$ نشان داده می‌شود. در این نمادنویسی مشخص کردن N ضروری نیست؛ زیرا با در دست داشتن A و Z قابل محاسبه است. در بسیاری از موارد Z را هم می‌توان ذکر نکرد؛ زیرا نماد شیمیایی عنصر، نشان‌دهنده‌ی مقدار Z است.

ایزوتوپ‌ها

- ویژگی‌های هسته را تعداد نوکلئون‌های آن و خواص شیمیایی هر اتم را تعداد پروتون‌های هسته (عدد اتمی یا همان Z) تعیین می‌کند.
- هسته‌هایی که تعداد پروتون مساوی ولی تعداد نوترون متفاوت دارند، در جدول تناوبی عناصر هم‌مکان بوده و ایزوتوپ (هم‌مکان) نامیده می‌شوند. ایزوتوپ‌ها خواص شیمیایی یکسان و خواص هسته‌ای کاملاً متفاوتی دارند و به همین دلیل نمی‌توان آن‌ها را به روش شیمیایی از هم جدا کرد.
- جرم‌های اتمی درج شده در جدول تناوبی عناصر، میانگین جرم‌های اتمی ایزوتوپ‌های مختلف هر عنصر است که به جز هیدروژن، ایزوتوپ‌های مختلف یک هسته را با نام همان هسته مشخص می‌کنند. ایزوتوپ‌های هیدروژن عبارتند از: هیدروژن ۱، هیدروژن ۲ (دوتریم) و هیدروژن ۳ (تریتیم).

فراوان‌ترین ایزوتوپ سه عنصر هیدروژن، کربن و اورانیم در طبیعت عبارتند از: هیدروژن ۱ (^{1}H)، کربن ۱۲ (^{12}C) و اورانیم (^{238}U).

پایداری هسته

- **نیروی هسته‌ای:** نیروی جاذبه‌ای که نوکلئون‌ها را در هسته، کنار هم نگه می‌دارد، نیروی هسته‌ای نام دارد. از آن جایی که بین پروتون‌ها، نیروی رانشی الکترواستاتیکی بسیار قوی و بین همه‌ی نوکلئون‌ها نیروی ربایشی گرانشی وجود دارد و این نیروی جاذبه‌ی گرانشی بسیار ضعیف‌تر از نیروی دافعه‌ی الکترواستاتیکی است، می‌توان برای نیروی هسته‌ای ویژگی‌های زیر را بیان کرد:

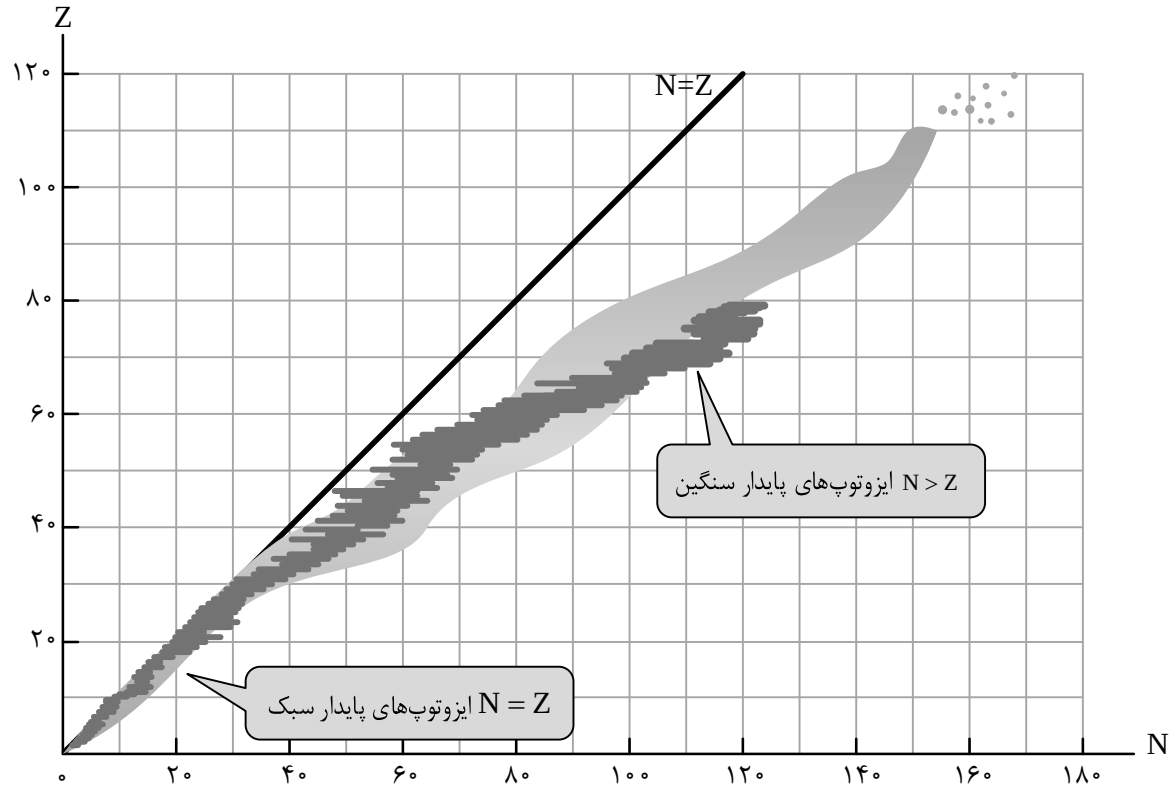
۱. بسیار قوی‌تر از نیروهای رانشی الکترواستاتیکی بین پروتون‌ها است.
۲. نیروی هسته‌ای کوتاه‌برد است؛ یعنی هر نوکلئون فقط به نزدیک‌ترین نوکلئون مجاور خود نیروی هسته‌ای وارد می‌کند، در واقع در ابعاد اتمی اثری از آن مشاهده نمی‌شود.
۳. نیروی هسته‌ای مستقل از بار الکتریکی است و از دیدگاه آن، تفاوتی بین پروتون و نوترون وجود ندارد که دلیل نام‌گذاری آن‌ها با نام عام نوکلئون نیز همین است.

نکته:

باید بدانیم که نیروهای الکترواستاتیکی و گرانشی، بلندبُرد هستند و یک پروتون به تمام پروتون‌های موجود در هسته، نیروی رانشی الکترواستاتیکی وارد می‌سازد.

- برای پایداری هسته، باید نیروهای دافعه‌ی الکترواستاتیکی بین پروتون‌ها با نیروی جاذبه‌ی هسته‌ای بین نوکلئون‌ها موازنه شود. با توجه به بلندبرد بودن نیروی الکترواستاتیکی و کوتاه‌برد بودن نیروی هسته‌ای، در صورت افزایش پروتون‌های درون هسته، باید تعداد نوترون‌های درون هسته نیز افزایش پیدا کند تا هسته پایدار باقی بماند.

در ایزوتوپ‌های پایدار سبک $\frac{N}{Z} \simeq ۱$ و در ایزوتوپ‌های پایدار سنگین $\frac{N}{Z} \simeq ۱/۵$ است. یعنی در ایزوتوپ‌های پایدار سنگین تعداد نوترون از پروتون بیشتر است؛ زیرا نوترون به هسته ربایش هسته‌ای اضافه می‌کند، بدون آنکه رانش کولنی داشته باشد. (اصطلاحاً نوترون‌ها همانند چسب هستند.)



- هسته‌ی پایدار با بیشترین تعداد پروتون ($Z=۸۳$)، متعلق به بیسموت ($^{۲۰۹}_{۸۳}Bi$) است که نسبت $\frac{N}{Z}$ آن تقریباً برابر با ۱/۵ است.
- به جز توریم ($Z=۹۰$) و اورانیم ($Z=۹۲$) که در طبیعت یافت می‌شوند، سایر هسته‌های سنگین با عدد اتمی بزرگ‌تر از ۸۳ ناپایدارند. این دو عنصر ، تنها عنصرهایی‌اند که واپاشی آن‌ها چنان کند است که از هنگام تشکیل منظومه‌ی شمسی در چندین میلیارد سال پیش، فقط مقدار کمی از آن‌ها بر اثر واپاشی، به عنصرهای سبک تبدیل شده‌اند.

انرژی بستگی هسته‌ای و ترازهای انرژی هسته

- به انرژی لازم برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته، انرژی بستگی هسته‌ای گفته می‌شود. اگر طبق رابطه‌ی اینشتین ($E=mc^۲$)، کاستی جرم هسته (مجموع جرم پروتون‌ها و نوترون‌ها منهای جرم هسته) را در مربع تندی نور ضرب کنیم، انرژی بستگی هسته‌ای به دست می‌آید. این کاستی جرم اندک، معادل انرژی قابل ملاحظه‌ای است.
- در رابطه‌ی اینشتین ($E=mc^۲$)، اگر جرم را بر حسب کیلوگرم (kg) و c را بر حسب متر بر ثانیه (m/s) جای‌گذاری نماییم، انرژی بر حسب ژول (J) به دست خواهد آمد.
- انرژی نوکلئون‌های وابسته به هسته همانند انرژی الکترون‌های وابسته به اتم، کوانتیده است. در واقع نوکلئون‌های درون هسته نمی‌توانند هر انرژی دلخواهی را اختیار نمایند.

- نوکلئون‌ها ($^{A}_{Z}X$) می‌توانند با جذب انرژی از تراز پایه به ترازهای انرژی بالاتر بروند و برانگیخته ($^{A}_{Z}X^{*}$) شوند. هسته‌ی برانگیخته با گسیل فوتون مجدداً می‌تواند به تراز پایه بازگردد که در این حالت، انرژی فوتون گسیل شده برابر است با اختلاف انرژی بین ترازهای پایه و برانگیخته.
- اختلاف بین ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته از مرتبه‌ی keV (برای هسته‌های ناپایدار سنگین) تا مرتبه‌ی MeV (برای هسته‌های پایدار سبک) است، در حالی که اختلاف بین ترازهای انرژی الکترون‌ها در اتم از مرتبه‌ی eV است. از این رو، هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

تست ۴۸:

چه مقدار از عبارت‌های زیر که درباره‌ی پژوهش‌های حوزه‌ی فیزیک هسته‌ای هستند، نادرست است؟

الف) تحولات آغاز شده با کشف پرتوزایی طبیعی در اواخر قرن نوزدهم میلادی، بیش از همه منجر به گسترش فیزیک هسته‌ای شده است.

ب) طراحی و اجرای آزمایشات بررسی خاصیت فسفرسانس توسط ارنست رادرفورد، آغازی برای پر بردن به وجود هسته‌ی اتم بوده است.

پ) نوترون در قرن بیستم میلادی توسط فیزیک‌دان انگلیسی، جیمز چادویک کشف شده است.

۱) صفر ۲) ۱ ۳) ۲ ۴) ۳

تست ۴۹:

ابعاد اتم و هسته‌ی اتم به ترتیب از راست به چپ بر حسب آنگستروم کدام است؟

۱) 10^{-10} , 10^{-15} ۲) 10^{-10} , 10^{-15} ۳) 10^{-15} , ۱ ۴) ۱ , 10^{-5}

تست ۵۰:

کدام ویژگی در خصوص ایزوتوپ‌های یک عنصر درست نیست؟ *(خارج ریاضی ۸۹)*

۱) خواص شیمیایی یکسان دارند. ۲) انرژی بستگی هسته‌شان یکسان است.

۳) بار هسته‌ی آن‌ها یکسان است. ۴) تعداد نوکلئون‌هایشان نابرابر است.

تست ۵۱:

در هسته‌ی اتم، نیروی هسته‌ای: *(خارج تجربی ۸۹)*

۱) نیروی جاذبه‌ای است که هر پروتون به تمام پروتون‌ها وارد می‌کند.

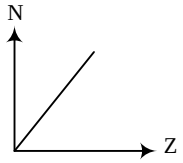
۲) نیروی دافعه‌ای است که هر پروتون به تمام پروتون‌ها وارد می‌کند.

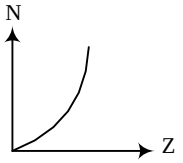
۳) نیروی دافعه‌ای است که هر نوکلئون فقط به نوکلئون‌های مجاور خود وارد می‌کند.

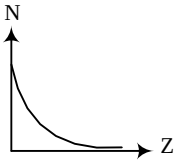
۴) نیروی جاذبه‌ای است که هر نوکلئون فقط به نوکلئون‌های مجاور خود وارد می‌کند.

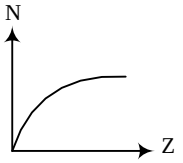
تست ۵۲:

کدام یک از گزینه‌های زیر نمودار تقریبی تعداد نوترون‌ها را بر حسب پروتون‌ها در هسته‌های سنگین‌تر درست نشان می‌دهد؟

۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

تست ۵۳:

اگر N تعداد نوترون‌ها و Z تعداد پروتون‌های هستهٔ یک اتم باشد، کدام مورد صحیح است؟

(کنکور سراسری ریاضی و فیزیک خارج از کشور ۱۴۰۱)

۱) در تمام هسته‌های پایدار $N = Z$ است.

۲) نسبت $\frac{N}{Z}$ برای تمام عناصر یکسان است.

۳) هسته‌ای ناپایدار است که در آن $Z > N$ باشد.

۴) در هسته‌های پایدار سنگین‌تر، نسبت $\frac{N}{Z}$ بزرگ‌تر است.

تست ۵۴:

همه‌ی هسته‌های سنگین با عدد اتمی بزرگتر از ۸۳ ناپایدارند، به جز ..... و ..... که در طبیعت یافت می‌شوند.

۱) توریم- اورانیوم ۲) رادیوم- اورانیوم ۳) باریم- رادیم ۴) توریم- باریم

تست ۵۵:

در یک هسته‌ی پایدار، جرم نوکلئون‌های تشکیل‌دهنده‌ی هسته: *(خارج تجربی ۹۱)*

۱) مساوی جرم هسته است.
۲) مساوی جرم تبدیل شده به انرژی بستگی هسته است.
۳) بزرگتر از جرم هسته است.
۴) کوچکتر از جرم تبدیل شده به انرژی بستگی هسته است.

تست ۵۶:

اگر در یک واکنش هسته‌ای یک گرم جرم تبدیل به انرژی شود. انرژی حاصل چه جرمی از یک ماده را می‌تواند یک صد متر از سطح زمین بالا ببرد؟ *(خارج ریاضی ۸۸)*

۱) ۹۰ میلیون تن ۲) ۹۰ تن ۳) ۴۵۰ میلیون کیلوگرم ۴) ۴۵۰ کیلوگرم

تست ۵۵:

منشأ انرژی بستگی هسته کدام است؟

۱) نیروی الکتریکی بین ذرات هسته ۲) تبدیل جرم به انرژی

۳) نیروی گرانش بین ذرات هسته ۴) نیروی ربایش بین نوترون‌ها و پروتون‌ها

پرتوزایی طبیعی

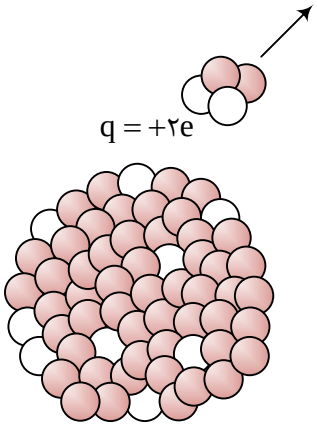
به واپاشی طبیعی (یا اصطلاحاً خود به خود) هسته های ناپایدار یا پرتوزا که منجر به آزاد شدن نوع معینی از ذرات یا فوتون‌های پر انرژی می‌شود، پرتوزایی طبیعی گفته می‌شود. کشف پرتوزایی طبیعی توسط «هانری بکرل»، آغازی برای پی بردن به وجود هسته‌ی اتم بوده است.

سه نوع پرتوی ایجاد شده در فرآیند پرتوزایی طبیعی عبارتند از پرتوهای آلفا (α)، پرتوهای بتا (β) و پرتوهای گاما (γ) که پرتوهای α کمترین و پرتوهای γ بیشترین قدرت نفوذ را دارند. حداقل ضخامت ورق سربی مورد نیاز برای متوقف کردن پرتوهای α، β و γ به ترتیب برابر با ۰/۰۱، ۰/۱ و ۱۰۰ میلی‌متر است.

توجه ۱: آزمایش‌ها نشان می‌دهند که بار الکتریکی پرتو α، مثبت، بار الکتریکی پرتو β، مثبت یا منفی و پرتو γ فاقد بار الکتریکی است. لذا در حضور میدان‌های الکتریکی یا مغناطیسی، پرتوهای α و β تغییر جهت می‌دهند که برای مشخص کردن جهت انحراف این پرتوها از قواعد حاکم بر این میدان‌ها (نیروی وارد بر ذره‌ی باردار در میدان الکتریکی و قاعده‌ی دست راست در میدان مغناطیسی) استفاده می‌شود. دقت کنید که به دلیل بیشتر بودن نسبت جرم به بار الکتریکی پرتو α نسبت به پرتو β، در میدان مشابه، پرتو α انحراف کمتری نسبت به پرتو β خواهد داشت.

توجه ۲: مشاهدات نشان داده‌اند که در تمامی فرآیندهای واپاشی پرتوزا، تعداد نوکلئون‌ها در طی فرآیند واپاشی هسته‌ای پایسته است؛ یعنی تعداد نوکلئون‌های پیش از فرآیند با تعداد نوکلئون‌های پس از فرآیند مساوی است.

هسته‌های پرتوزا با گسیل یکی از پرتوهای زیر واپاشیده می‌شوند:



۱. واپاشی آلفا: در این نوع واپاشی که در هسته‌های سنگین صورت می‌گیرد، یک هسته با گسیل ذره‌ی α (از جنس هسته‌ی اتم هلیم $^{4}_{2}He$ که از ۲ پروتون و ۲ نوترون تشکیل شده) که به هسته‌ای سبک‌تر که عدد اتمی آن «۲ واحد» و عدد جرمی آن «۴ واحد» کمتر از هسته‌ی اولیه است، تبدیل می‌شود:

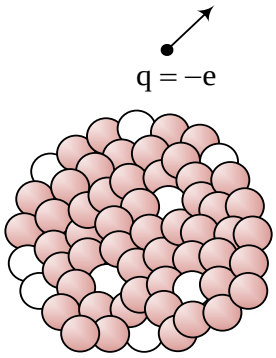
$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha \quad \text{یا} \quad {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$$

بار الکتریکی ذره‌ی α، مثبت و برابر با $(q = +2e)$ بوده و در میدان الکتریکی در جهت میدان، منحرف می‌شود. این ذرات سنگین بوده و بُرد آن‌ها کوتاه است؛ یعنی پس از طی مسافت کوتاهی در هوا (۱ تا ۲ سانتی‌متر) و یا با عبور از لایه‌ای نازک از مواد، جذب می‌شوند.

توجه ۱: مراقبت در برابر ورود مواد آلفازا به بدن بسیار ضروری است؛ زیرا ورود این ذره‌ها از راه تنفس یا دستگاه گوارش به بدن، باعث آسیب شدید به بافت‌های بدن می‌گردد.

توجه ۲: یکی از کاربردهای گسترده‌ی واپاشی α در آشکارسازهای دود است. در مدار این آشکارسازها، مقدار اندکی ماده‌ی پرتوزای گسیل‌کننده‌ی ذرات α تعبیه می‌شود. ذرات α گسیل شده، وظیفه‌ی یونیده کردن مولکول‌های هوا و برقراری جریان در مدار را بر عهده دارند، در هنگام بروز آتش‌سوزی و انتشار دود در محیط، وجود ذرات دود، باعث خنثی شدن مولکول‌های یونیده و کاهش جریان مدار می‌شود که این افت جریان، هشداردهنده را فعال می‌نماید.

۲. واپاشی بتا: متداول‌ترین نوع واپاشی در هسته‌هاست که در آن هسته‌ی ناپایدار با گسیل الکترون یا پوزیترون به هسته‌ی جدید تبدیل می‌شود. این واپاشی، نخستین مورد پرتوزایی بود که در سال‌های پایانی قرن نوزدهم، توسط «هانری بکرل» مشاهده شد.

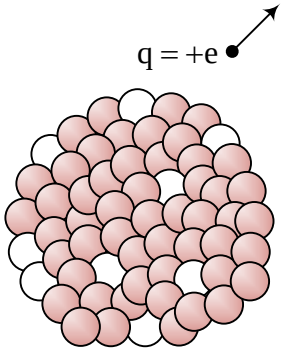


- **واپاشی بتا همراه با گسیل الکترون (β^-):** در این واپاشی، یک نوترون درون هسته تبدیل به یک پروتون و یک الکترون شده و برای حفظ پایستگی بار، الکترون گسیل می‌شود. در این واپاشی عدد اتمی هسته‌ی جدید یک واحد افزایش یافته ولی عدد جرمی هسته تغییر نمی‌کند.

بار الکتریکی ذره‌ی گسیل شده، منفی و برابر با $(q=-e)$ بوده و در میدان الکتریکی در خلاف جهت میدان، منحرف می‌گردد.

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e^{-}$$

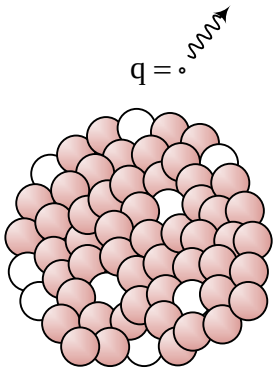
- **واپاشی بتا همراه با گسیل پوزیترون (β^+):** در این واپاشی، یک پروتون درون هسته تبدیل به یک نوترون و یک پوزیترون (ذره‌ای هم جرم با الکترون و با بار الکتریکی $+e$) شده و برای حفظ پایستگی بار، پوزیترون گسیل می‌شود. در این واپاشی عدد اتمی هسته‌ی جدید یک واحد کاهش یافته، ولی عدد جرمی هسته تغییری نمی‌کند.



$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e^{+}$$

بار الکتریکی ذره‌ی گسیل شده، مثبت و برابر با $(q=+e)$ بوده و در میدان الکتریکی در جهت میدان، منحرف می‌گردد.

۳. واپاشی گاما: در این نوع واپاشی، هسته‌ای که به دلیل واپاشی آلفا یا بتا در حالت برانگیخته است، با گسیل پرتوی گاما (فوتون‌های پر انرژی) به حالت پایه می‌رسد، بدون آن که عدد اتمی و عدد جرمی آن تغییر کند. پرتوهای گاما از نوع موج‌های الکترومغناطیسی‌اند که بسیار پر انرژی بوده و قابلیت نفوذ بسیار زیاد دارند.



$$^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{0}\gamma$$

در تمام واپاشی‌های فوق، به هسته‌ی اولیه که واپاشیده می‌شود، «هسته‌ی مادر» و به هسته‌ی ایجاد شده در اثر واپاشی، «هسته‌ی دختر» گفته می‌شود.

اصول پایستگی در فرآیندهای واپاشی: دو اصل زیر در تمام فرآیندهای واپاشی برقرار است:

۱. مجموع عددهای اتمی در دو طرف واکنش با هم برابرند.

۲. مجموع عددهای جرمی در دو طرف واکنش با هم برابرند.

- **واپاشی همراه با گسیل چند ذره:** اغلب هسته‌های ناپایدار با گسیل چند ذره به حالت پایه می‌رسند، در این حالت ابتدا معادله‌ی واکنش را نوشته، سپس با مساوی قرار دادن مجموع عددهای جرمی و عددهای اتمی دو طرف واکنش، مجهول‌های واکنش را تعیین می‌نماییم.

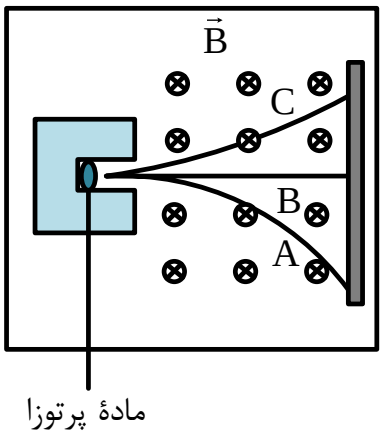
تست ۵۸:

در مسیر پرتوهای حاصل از واپاشی طبیعی یک ماده‌ی پرتوزا، ورقه‌ای سربی به ضخامت $1mm$ قرار می‌دهیم. کدام یک از پرتوهای زیر از ورقه‌ی مذکور نمی‌تواند عبور کند؟

۱) فقط α ۲) β, α ۳) γ, β ۴) γ, β, α

تست ۵۹:

شکل زیر، مسیر پرتوهای گسیل شده از یک ماده پرتوزای طبیعی را نشان می‌دهد که از یک میدان مغناطیسی عبور می‌کنند. نوع آنها در مسیرهای از A تا C به‌ترتیب کدام است؟ *(کنکور سراسری ریاضی و فیزیک داخل ۱۴۰۲)*



۱) الکترون، گاما و آلفا

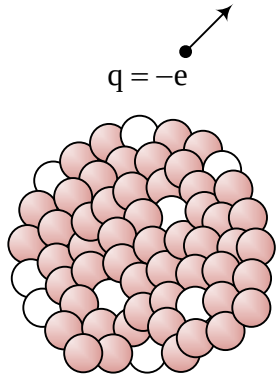
۲) آلفا، گاما و الکترون

۳) الکترون، پوزیترون و آلفا

۴) آلفا، پوزیترون و الکترون

تست ۶۰:

در واپاشی مطابق شکل زیر، تعداد پرتوهای هسته ..... و تعداد نوترون‌های آن ..... *(سراسری تجربی- ۹۲)*



۱) یک واحد افزایش می‌یابد- یک واحد کاهش می‌یابد.

۲) یک واحد کاهش می‌یابد- یک واحد افزایش می‌یابد.

۳) یک واحد افزایش می‌یابد- ثابت می‌ماند.

۴) یک واحد کاهش می‌یابد- ثابت می‌ماند.

تست ۶۱:

در واپاشی گامازا: *(خارج تجربی ۹۴)*

۱) تعداد نوکلئون‌ها ثابت می‌ماند.
۲) عدد اتمی یک واحد کاهش می‌یابد.
۳) عدد جرمی یک واحد کاهش می‌یابد.
۴) هسته از حالت پایه به حالت برانگیخته می‌رود.

تست ۶۲:

در واپاشی هسته‌های ناپایدار، کدام مورد درست است؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} c$) *(تجربی ۹۴)*

۱) هنگام گسیل پوزیترون، بار هسته به اندازه‌ی $1/6 \times 10^{-19} c$ افزایش می‌یابد.
۲) هنگام گسیل الکترون، بار هسته به اندازه‌ی $1/6 \times 10^{-19} c$ کاهش می‌یابد.
۳) هنگام گسیل α، بار هسته به اندازه‌ی $3/2 \times 10^{-19} c$ کاهش می‌یابد.
۴) هنگام گسیل گاما، پوزیترون و الکترون، بار هسته ثابت می‌ماند.

تست ۶۳:

اورانیوم $^{238}_{92}U$ با تابش یک پرتو آلفا به کدام یک از عناصر زیر تبدیل می‌شود؟ *(خارج ریاضی ۹۲)*

۱) $^{234}_{91}Pa$
۲) $^{238}_{90}Th$
۳) $^{234}_{90}Th$
۴) $^{234}_{92}U$

تست ۶۴:

عنصر $^{11}_{6}C$ با گسیل یک پوزیترون به کدام تبدیل می‌شود؟ *(ریاضی ۹۲)*

۱) $^{11}_{5}B$
۲) $^{10}_{5}B$
۳) $^{12}_{6}C$
۴) $^{11}_{7}N$

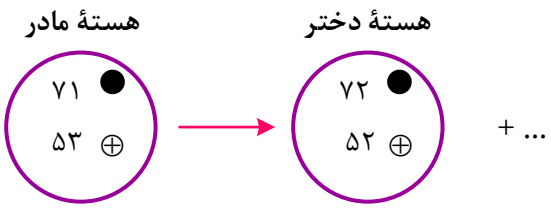
تست ۶۵:

سرب $^{207}_{82}Pb$ هستهٔ دختر پایداری است که می‌تواند از واپاشی α حاصل شود. عدد جرمی هستهٔ مادر، کدام است؟ *(کنکور سراسری علوم تجربی خارج از کشور۱۴۰۱)*

۱) ۲۰۳ ۲) ۲۰۵ ۳) ۲۰۹ ۴) ۲۱۱

تست ۶۶:

شکل زیر، واپاشی یُد ۱۲۴ را نشان می‌دهد. نام ذرهٔ گسیل شده، کدام است؟ *(کنکور سراسری ریاضی و فیزیک داخل ۱۴۰۱)*



۱) پوزیترون ۲) الکترون
۳) آلفا ۴) گاما

تست ۶۷:

در کدام مورد، فرایند واپاشی درست است؟ *(کنکور سراسری علوم تجربی داخل ۱۴۰۲)*

الف: $^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y_{N+1} + e^{-}$

ب: $^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y_{N+1} + e^{+}$

پ: $^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y_{N} + e^{-}$

ت: $^{A}_{Z}X_{N} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y_{N} + e^{+}$

۱) "الف" ۲) "ب" ۳) "پ" ۴) "ت"

تست ۶۸:

در مدار الکتریکی به کار رفته در آشکارسازهای دود، از کدام یک از واپاشی‌های زیر برای فعال کردن هشداردهنده استفاده می‌شود؟

۱) آلفازا ۲) بتازای منفی ۳) بتازای مثبت ۴) گامازا

تست ۶۹:

حاصل واپاشی عنصر مادر $^{A}_{Z}X$، عنصر دختر $^{۲۰۸}_{۸۱}Tl$ به اضافه‌ی یک ذره‌ی پوزیترون و یک ذره‌ی آلفا است. A و Z به ترتیب کدام‌اند؟ *(تجربی ۹۵)*

۱) ۲۱۲ , ۸۲ ۲) ۲۱۱ , ۸۲ ۳) ۲۱۲ , ۸۴ ۴) ۲۱۱ , ۸۴

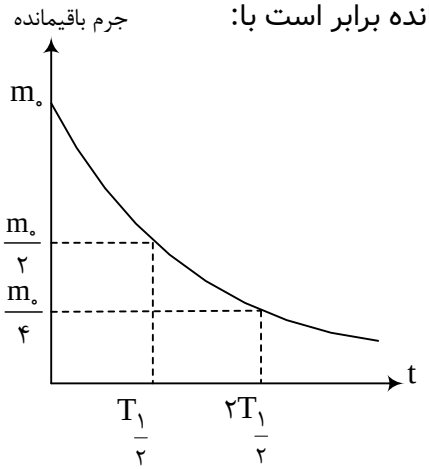
تست ۷۰:

در یک واکنش هسته‌ای از عدد جرمی ۸ واحد کاسته شده، اما عدد اتمی ثابت مانده است. در این حالت این ماده ..... ذره‌ی آلفا و ..... ذره‌ی بتای ..... تابش کرده است.

۱) چهار، دو، مثبت ۲) دو، چهار، منفی ۳) چهار، دو، منفی ۴) دو، چهار، مثبت

نیمه عمر

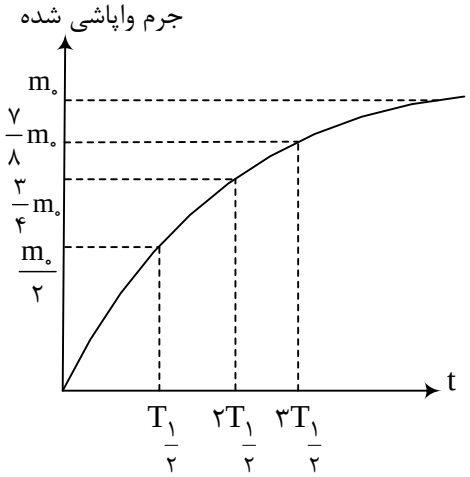
- **نیمه عمر:** مدت زمانی است که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه، به نصف برسند که آن را با $T_{\frac{1}{2}}$ مشخص می‌کنند. در حقیقت نیمه عمر، سرعت واپاشی یک ایزوتوپ را مشخص می‌کند؛ به طوری که ایزوتوپ‌های با نیمه عمر کم، دارای سرعت واپاشی بیشتری هستند. بنابراین عناصری که در اطراف ما وجود دارند و زمینه‌ی پرتوزایی طبیعی را ایجاد می‌کنند (مانند اورانیم ۲۳۸)، دارای نیمه عمر زیاد (در حدود سن زمین یعنی ۴/۵ میلیارد سال) هستند.
- **محاسبه‌ی جرم فعال (باقی‌مانده) یک عنصر پرتوزا (m):** اگر m_0 جرم اولیه‌ی ماده‌ی پرتوزا، $(t = nT_{\frac{1}{2}})$ مدت زمان واپاشی و n تعداد زمان‌های نیمه عمر باشد، جرم باقی‌مانده برابر است با:



$$m_0 \xrightarrow{T_{\frac{1}{2}}} \frac{m_0}{2} \xrightarrow{T_{\frac{1}{2}}} \frac{m_0}{4} \cdots\cdots \xrightarrow{T_{\frac{1}{2}}} m$$

$$m = \frac{m_0}{2^n} \quad \text{و} \quad n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$$

- **محاسبه‌ی جرم واپاشیده (m'):** از تفاضل جرم باقی‌مانده از جرم اولیه به دست می‌آید.



$$m' = m_0 - m \quad \text{و} \quad m = \frac{m_0}{2^n}$$

$$m' = m_0\left(1 - \frac{1}{2^n}\right)$$

که در این روابط m، جرم باقی‌مانده و m' جرم هسته‌های واپاشی شده است.

یادآوری: دقت کنید اگر در مسائل، تعداد هسته‌ها مطرح باشد، می‌توان به جای m_0، m و m' در رابطه‌های بالا از N_0، N و N' که به ترتیب تعداد هسته‌های اولیه، باقیمانده و واپاشیده شده است، استفاده کرد.

تست U1:

اگر ۸۷/۵ درصد از تعداد هسته‌های یک ماده‌ی رادیواکتیو در مدت ۲۴ ساعت واپاشیده شود، نیمه عمر آن چند ساعت است؟ *(ریاضی خارج ۹۶)*

۱) ۳ ۲) ۴ ۳) ۶ ۴) ۸

تست U2:

نیمه عمر یک ماده‌ی رادیواکتیو ۲ ساعت است. پس از چند ساعت، $\frac{۱}{۱۲۸}$ هسته‌های اولیه، فعال باقی می‌ماند؟ *(خارج تجربی ۹۳)*

۱) ۳۶ ۲) ۲۸ ۳) ۱۴ ۴) ۱۲

تست U3:

تست ۷۲- نیمه عمر یک مادهٔ پرتوزا ۴۵ دقیقه است. پس از گذشت ۳ ساعت، چه کسری از ماده اولیه باقی می‌ماند؟ *(کنکور سراسری ریاضی و فیزیک خارج از کشور ۱۴۰۱)*

۱) $\frac{۱}{۴}$ ۲) $\frac{۱}{۸}$ ۳) $\frac{۱}{۱۶}$ ۴) $\frac{۱}{۳۲}$

تست U4:

تست ۷۳- تعداد هسته‌های اولیه‌ی یک ماده‌ی رادیواکتیو $N_۰ = ۱۶۰۰$ است. اگر نیمه عمر این ماده ۶ ساعت باشد، بعد از چند ساعت ۲۰۰ هسته‌ی آن فعال باقی می‌ماند؟ *(تجربی ۹۳)*

۱) ۱۲ ۲) ۱۸ ۳) ۳۶ ۴) ۴۸

تست ۷۵:

نیمه عمر یک ماده پرتوزا ۸ روز است. پس از ۳۲ روز، چند درصد از هسته‌های آن ماده دچار واپاشی می‌شوند؟ *(ریاضی ۹۵)*

۱) ۶۴ ۲) ۷۵ ۳) ۸۲/۲۵ ۴) ۹۳/۷۵

تست ۷۶:

چهار سال طول می‌کشد تا ۷۵ درصد تعداد هسته‌های یک مادهٔ پرتوزا به هسته‌های دیگر تبدیل شود. چند سال دیگر بگذرد تا تعداد هسته‌های باقیمانده ۱۲/۵ درصد تعداد هسته‌های اولیه باشد؟

(کنکور سراسری ریاضی و فیزیک داخل ۱۴۰۲)

۱) ۲۴ ۲) ۸ ۳) ۶ ۴) ۲

تست ۷۷:

از تعداد هسته‌های اولیه‌ی مساوی دو عنصر رادیواکتیو A و B بعد از گذشت زمان Δt، تعداد هسته‌های باقی‌مانده عنصر A، چهار برابر تعداد هسته‌های باقی‌مانده عنصر B است. اگر تعداد نیمه عمرهای عنصر A و B در مدت زمان Δt به ترتیب n_A و n_B باشد، کدام یک از موارد زیر درست است؟ *(ریاضی ۹۶)*

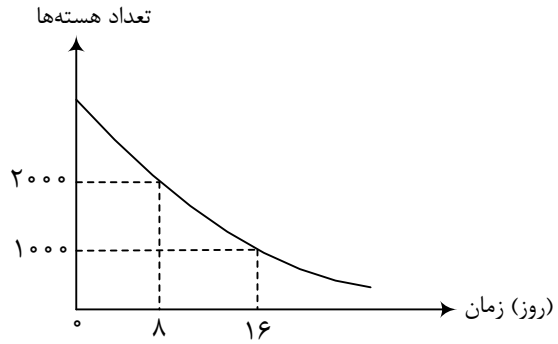
۱) $n_A - n_B = ۴$ ۲) $n_B - n_A = ۴$ ۳) $n_A - n_B = ۲$ ۴) $n_B - n_A = ۲$

تست ۸۸:

در شکل زیر، نمودار تغییرات تعداد هسته‌های موجود در یک نمونه‌ی هسته‌ای پرتوزا بر حسب زمان نشان داده شد است. بعد از چند روز از شروع واپاشی، تعداد ۲۵۰ هسته از این نمونه فعال باقی می‌ماند؟

۱) ۲۴ ۲) ۳۲

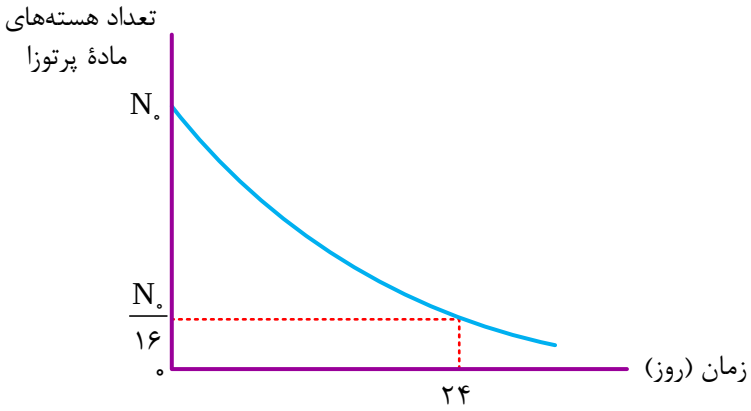
۳) ۴۰ ۴) ۴۸



تست ۸۹:

نمودار واپاشی یک مادهٔ پرتوزا به شکل زیر است. نیمه‌عمر این ماده، چند روز است؟

(کنکور سراسری ریاضی و فیزیک داخل ۱۴۰۱)



۱) ۱۲

۲) ۸

۳) ۶

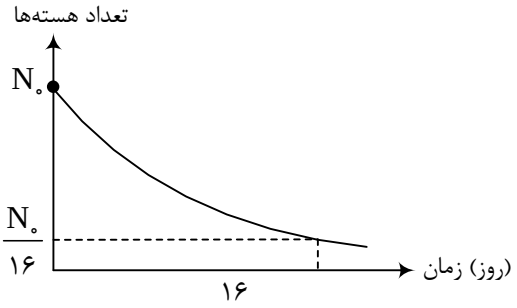
۴) ۴

تست ۹۰:

نمودار تغییرات تعداد هسته‌های یک ماده‌ی پرتوزا بر حسب زمان مطابق شکل زیر است. پس از گذشت هشت روز چند درصد از هسته‌های آن فعال باقی می‌ماند؟ *(سراسری خارجی از کشور تجربی- ۹۷)*

۱) ۸۷/۵ ۲) ۵۰

۳) ۲۵ ۴) ۱۲/۵

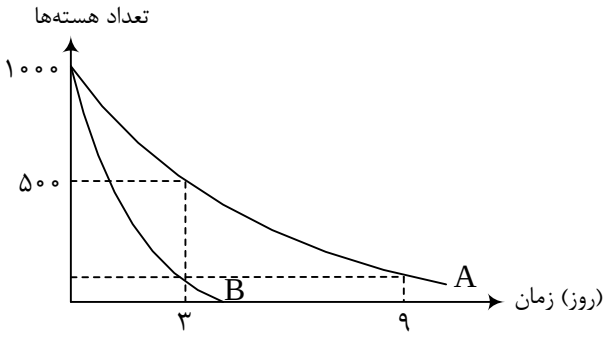


تست ۸۱:

نمودار تعداد هسته‌های دو ماده‌ی پرتوزای A و B بر حسب زمان مطابق شکل زیر است. پس از چند روز $\frac{۱}{۳۲}$ هسته‌های B فعال باقی می‌ماند؟ *(سراسری خارجی از کشور ریاضی- ۹۵)*

۱) ۳ ۲) ۴

۳) ۵ ۴) ۶



تست ۸۲:

نمودار تعداد هسته‌های سه عنصر پرتوزا بر حسب زمان مطابق شکل زیر است. اگر نیمه عمر این سه عنصر T_A و T_B و T_C باشد، کدام مورد درست است؟ *(سراسری خارجی از کشور ریاضی- ۹۷)*

۱) $T_A = T_C > T_B$ ۲) $T_A > T_B = T_C$

۳) $T_A > T_B > T_C$ ۴) $T_A > T_C > T_B$