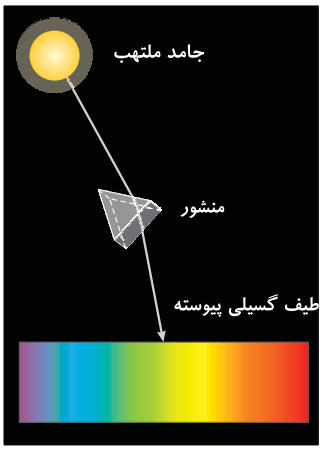
# فصل هفتم: آشنایی با فیزیک اتمی

## بخش سوم: طیف اتمی – ساختار اتم – لیزر

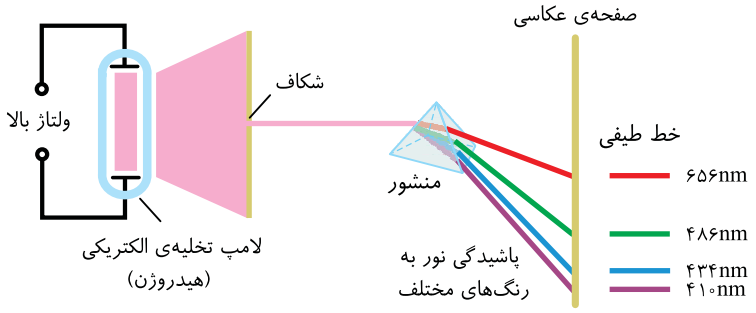
علاوه بر تابش گرمایی و پدیده‌ی فوتوالکتریک، پدیده‌های دیگری مشاهده شد که با فیزیک کلاسیک ناسازگاری داشتند. بررسی طیف اتمی عناصر و همچنین ساختار اتم، دو موضوع بسیار مهم فیزیکی هستند که توسط فیزیک کلاسیک قابل درک نیستند.
در این بخش ابتدا به بررسی طیف اتمی عناصر می‌پردازیم، سپس الگوهای ساختار اتم را که توسط دانشمندان ارائه شده است بیان می‌کنیم و سرانجام نشان خواهیم داد که چگونه بور با استفاده از نبوغ خود توانست با پیوند فرض‌های کوانتومی با الگوی اتمی رادرفورد تحلیل قابل قبولی از ساختار اتم و طیف اتمی را ارائه دهد.

### طیف اتمی




در بخش تابش گرمایی بیان شد که اگر یک جسم جامد مثلاً یک قطعه فلز را گرم کنیم تا از خود نور مرئی گسیل کند، ابتدا قرمز دیده می‌شود و با بالا رفتن دما، نارنجی، سپس زرد و ... سرانجام سفید دیده می‌شود. اگر نور گسیلی از آن‌را به یک منشور بتابانیم و نور پاشیده شده را در طیف‌نما بنگریم، یک **طیف پیوسته‌ی گسیلی** می‌بینیم که تمام طول موج‌ها در آن کنار هم بوده و مرزی بین آن‌ها نیست (شکل روبه‌رو).
حال پرسش این است که اگر طیف گازها و بخارها را تشکیل دهیم چه چیزی دیده می‌شود؟ از مدت‌ها پیش مشخص بود که وقتی گازها یا بخارها به یکی از چند روش زیر برانگیخته شوند نور از آن‌ها گسیل می‌شود:

**۱)** با گرم کردن گاز تا دمای بالا، مثلاً هنگامی که یک ماده‌ی فرّار در شعله قرار می‌گیرد.
**۲)** با برقراری یک جریان الکتریکی پیوسته در یک گاز کم فشار (مثلاً تابلوهای نئون معمولی که در اغلب گل فروشی‌های شهر به‌کار می‌رود.)
**۳)** با تخلیه‌ی الکتریکی در گاز در فضای میان پایانه‌های دو الکترود با ولتاژ بالا (مثلاً کمان الکتریکی).




تخلیه‌ی الکتریکی در یک لوله‌ی محتوی گاز کم‌فشار سبب گسیل نور می‌شود
که پس از شکست در یک منشور ما می‌توانیم طیف گسیلی خطی گاز را ببینیم.

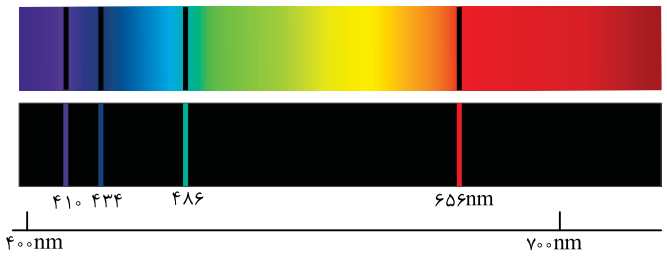
اگر نور حاصل از گازها یا بخار عنصر را توسط منشور تجزیه کنیم و آن‌را در طیف‌نما بنگریم، به جای یک طیف پیوسته، **یک طیف گسیلی خطی (نشری خطی)** خواهیم دید. یعنی روی صفحه‌ی طیف‌نما، خط‌های روشنی می‌بینیم که هر کدام دارای طول موج ویژه‌ای است.
بعضی از گازها طیف نسبتاً ساده‌ای دارند. برای نمونه، برجسته‌ترین قسمت طیف مرئی بخار سدیم یک جفت خط زرد روشن است. به همین سبب است که هرگاه سوپ در حال جوشیدن یا هر مایع دیگری که نمک داشته باشد روی اجاق بریزد، شعله به رنگ زرد در می‌آید. اما بعضی از گازها یا بخارها طیف بسیار پیچیده‌ای دارند. بخار آهن تنها در ناحیه‌ی مرئی ۶۰۰۰ خط روشن دارد.

طیف بخار سدیم

**تعریف** به طیف نور گسیل شده از بخار هر عنصر، طیف اتمی آن عنصر می‌گویند.

## طیف جذبی

اگر نور سفید را به بخار یک عنصر بتابانیم و نور عبوری از بخار را توسط منشور پاشیده کنیم، در طیف‌نما رنگین کمان نور سفید را خواهیم دید که در آن خط‌های تاریکی دیده می‌شود. این خط‌ها طول موج‌هایی از نور سفید هستند که توسط بخار عنصر جذب شده‌اند. در شکل روبه‌رو طیف گسیلی خطی و طیف جذبی خطی گاز هیدروژن نشان داده شده است.




شکل: جذب و گسیل نور توسط اتم‌های هیدروژن

تصویر بالایی: طیف جذبی، خط‌های تاریک در زمینه‌ی روشن معرف طول موج‌های جذب شده هستند.
تصویر پایینی: طیف گسیلی، خط‌های روشن معرف طول موج‌های گسیلی هستند.

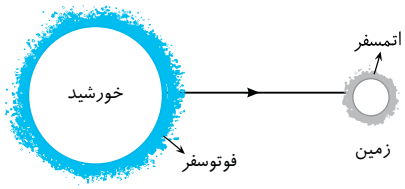
**تعریف** به طیف نور سفیدی که بعضی از خط‌ها یا طول موج‌های آن جذب شده باشد، طیف جذبی گویند.

**تعریف** به تهیه و بررسی طیف‌های گسیلی و جذبی، طیف‌نمایی گویند.

**تذکر:** طیف نشری خطی و طیف جذبی خطی را طیف اتمی گویند.

## طیف خورشید

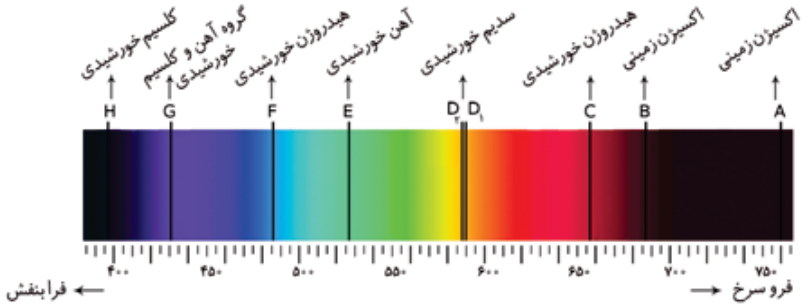
اگر به طیف خورشید که در شکل (ب) نشان داده شده است دقت کنید، خطوط تاریکی در آن مشاهده می‌کنید که توسط فرانهوفر دیده شده است و به نام او نامیده می‌شود. این خطوط معرف گازهای موجود در جو خورشید است، که هنگام عبور نور خورشید توسط گازهای موجود در جو خورشید جذب شده‌اند [شکل (الف)].




(الف) – نور خورشید قبل از رسیدن به چشم ناظر از اتمسفر خورشید و زمین می‌گذرد.

**پرسش:** **نور خورشید از جو زمین می‌گذرد. چرا خطوط تاریک جذبی در طیف خورشید را به جو زمین مرتبط نمی‌دانیم؟**

**پاسخ:** آن‌چه مسلم است برای آن‌که آهن و کلسیم و به‌طور کلی جامدات روی زمین در جو آن موجود باشند، باید دمای زمین بسیار بالا باشد تا آهن و کلسیم به‌صورت گاز در جو زمین وجود داشته باشد. بنابراین خطوط تاریک طیف جذبی نور خورشید متعلق به جو خورشید است، البته به‌جز تعدادی خط که مربوط به جو زمین است.




شکل(ب): طیف جذبی خورشید. البته در طیف جذبی خورشید هزاران خط تاریک دیده می‌شود که بعضی از آن‌ها برای نمونه آورده شده است.

**پرسش:** **آیا با بررسی طیف جذبی خورشیدی می‌توان به وجود عنصرهای تشکیل‌دهنده‌ی خورشید پی برد؟**

**پاسخ:** پاسخ این پرسش مثبت است، زیرا عناصر موجود در جو یک کره، جزء عناصر تشکیل‌دهنده‌ی کره هستند. مثلاً گاز اکسیژن و گاز هیدروژن که در جو سرد زمین وجود دارند، مولکول آب را تشکیل می‌دهند که سطح زمین را پوشانده است. اگر به دمای سطح خورشید که ۶۰۰۰K است دقت شود، می‌توان گفت که مواد موجود در خورشید به حالت گازی شکل در جو خورشید وجود دارند.

**پرسش: چه چیز عجیبی در طیف‌نمایی وجود دارد که آن‌را این چنین مورد توجه دانشمندان قرار داده است؟**

**پاسخ:** از مطالعه‌ی طیف‌های گسیلی و جذبی عنصرهای مختلف، نتایج زیر حاصل می‌شود:

**۱) در طیف گسیلی و نیز در طیف جذبی هر عنصر، تنها طول موج‌های معینی وجود دارد که از ویژگی‌های مشخص‌کننده‌ی آن عنصر است، یعنی طیف‌های گسیلی و جذبی هیچ دو عنصری شبیه به هم نیست[1] و می‌توان به کمک طیف اتمی، نوع عنصر را مشخص کرد.**

**۲) اتـم هـر عنصر دقیقاً همان طول موج‌هایی را از نور سـفید جذب می‌کند که اگر دمای آن بـه اندازه‌ی کافی بالا رود و یا به هر صورت دیگر برانگیخته شود، آن‌ها را گسیل می‌کند.**

**پرسش: آیا فیزیک کلاسیک می‌تواند گسیل تابش و جذب تابش گازها و بخار عنصرها (طیف اتمی) را توجیه کند؟**

**پاسخ:** فیزیک کلاسیک گسیل و جذب طول موج‌ها را توجیه می‌کند، اما منحصربه‌فرد بودن آن‌ها و خطی بودن آن‌ها را نمی‌تواند توجیه کند.

بنا بر تئوری الکترومغناطیس ماکسول، اگر در گاز تخلیه‌ی الکتریکی صورت گیرد، ذرات باردار (الکترون‌های) جسم با گرفتن انرژی، شـروع به ارتعاش کرده و از خود موج الکترومغناطیس گسـیل می‌کنند. چون ذرات باردار، انرژی‌های متفاوتی را دریافت می‌کنند، تابش متفاوتی خواهند داشـت و نباید بین طیف پیوسـته‌ی گسـیلی جامد و طیف گازها تفاوتی باشـد و همان‌طور که به کمک طیف گسـیلی جامد نمی‌توان نوع عنصر را مشـخص کرد، طیف اتمی نباید نوع عنصر را مشخص کند. این پیش‌گویی‌های فیزیک کلاسیک با آن‌چه بیان گردید ناسازگاری آشکاری دارد.

در مورد جذب تابش توسط گازها، دیدگاه فیزیک کلاسیک بیان می‌کند وقتی تابش بر گاز فرود می‌آید الکترون‌ها تحت تأثیر میدان الکتریکی تابش (امواج الکترومغناطیس) به ارتعاش در می‌آیند، یعنی دارای انرژی می‌شـوند و این انرژی را از تابش گرفته‌اند یعنی نور فرودی را جذب می‌کنند. با این دیدگاه هر طول موج باید توسط هر گاز یا بخار عنصری جذب گردد. اما آزمایش نشان می‌دهد این پیش‌گویی دیدگاه کلاسیکی با واقعیت ناسازگار است، زیرا **هر عنصر تنها طول موج‌های ویژه‌ای را که از مشخصه‌های منحصر به فرد آن عنصر است جذب می‌کند.**

**نتیجه** از دیدگاه فیزیک کلاسـیک باید طیف نشـری و طیف جذبی بخار عنصرها پیوسـته و برای تمام عنصرها یکسان باشد. در حالی‌که آزمایش نشان می‌دهد که طیف اتمی عنصرها خطی و برای هر عنصر منحصربه‌فرد است. بنابراین فیزیک کلاسیک در توجیه طیف اتمی عنصرها ناتوان است.

ادامه‌ی بررسی طیف اتمی، بیش‌تر به یک داستان علمی تخیلی شبیه است تا بررسی دقیق علمی، پس داستان را پی می‌گیریم.

## رابطه‌ی بالمر - ریدبرگ برای اتم هیدروژن

بالمر یک معلم ریاضی اهل سـوئیس و عاشـق بازی با اعداد ریاضی بود. او سـعی کرد با آزمون و خطا و بدون ملاحظه‌های فیزیکی، یک رابطه‌ی ریاضی بین چهار طول موج طیف هیدروژن به‌دست آورد. با کوشش او رابطه‌ی زیر برای این طول موج‌ها به‌دست آمد:

$$\lambda = ۳۶۴/۵۶ \frac{n^۲}{n^۲ - ۲^۲}$$ برحسب نانومتر

در این رابطه، $n$ یک عدد طبیعی بزرگ‌تر از ۲ است $(n > ۲)$.

رابطه‌ی بالمر تنها طول موج‌های مرئی طیف هیدروژن را حسـاب می‌کند. ریدبرگ با بررسـی بیش‌تر طیف اتم هیدروژن، رابطه‌ی نهایی روبه‌رو را برای طول موج‌های مختلف اتم هیدروژن به‌دست آورد:[2]

$$\frac{۱}{\lambda} = R_H \left(\frac{۱}{n'^۲} - \frac{۱}{n^۲}\right)$$

$R_H$ یک ثابت فیزیکی برای اتم هیدروژن است که برای تمام سری‌های طیف اتم هیدروژن یکسان و برابر $R_H = ۰/۰۱۰۹ (nm)^{-۱}$ است.

**پرسش: چه رابطه‌ای بین $n$ و $n'$ وجود دارد؟**

**پاسخ:** $n$ و $n'$ اعداد صحیح هستند و هنگامی‌که $n' < n$ است، طول موج مثبت به‌دست می‌آید.

$$n' < n \Rightarrow \frac{۱}{n'} > \frac{۱}{n} \Rightarrow \frac{۱}{n'^۲} - \frac{۱}{n^۲} > ۰ \Rightarrow \lambda > ۰$$

---

۱- جالب است بدانید پس از بررسی طیف جذبی خورشید، مشخص گردید که خط‌های تاریکی در طیف وجود دارند که با طیف جذبی هیچ عنصری در زمین مطابقت ندارند. دانشـمندان نتیجه گرفتند که در خورشـید عنصری وجود دارد که در زمین نیست و آن‌را عنصر خورشیدی (هلیم) نامیدند. در واقع ابتدا هلیم در طیف خورشید و سپس روی زمین کشف شده است. این مطلب، منحصر به فرد بودن طیف بخار عنصرها را به خوبی نشان می‌دهد.

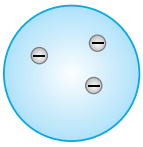
۲- رابطه‌ی ریدبرگ که در آن از عکس طول موج استفاده شده است، دقت بیش‌تری از رابطه‌های پیشنهادی بالمر دارد و برای طول موج‌های گسیلی هیدروژن از آن استفاده می‌شود. در حل مسایل از رابطه‌ی ریدبرگ استفاده می‌کنیم و رابطه‌ی بالمر کاربردی ندارد.

در جدول زیر سری‌های مربوط به طول موج‌های اتم هیدروژن نوشته شده است، هر سری به نام یک دانشمند نام‌گذاری شده است.

| نام رشته | مقدار $n'$ | رابطه‌ی ریدبرگ مربوط | مقدارهای $n$ | گستره‌ی طول موج |
|---|---|---|---|---|
| لیمان | $n'=1$ | $\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2})$ | $n=2,3,4\ldots$ | فرابنفش |
| بالمر | $n'=2$ | $\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2})$ | $n=3,4,5\ldots$ | فرابنفش و مرئی |
| پاشن | $n'=3$ | $\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2})$ | $n=4,5,6\ldots$ | فروسرخ |
| براکت | $n'=4$ | $\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{n^2})$ | $n=5,6,7\ldots$ | فروسرخ |
| پفوند | $n'=5$ | $\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{n^2})$ | $n=6,7,8\ldots$ | فروسرخ |

## الگوهای اتمی (ساختار اتم)

### الگوی اتمی تامسون (الگوی کیک کشمشی)



مدل تامسون برای اتم لیتیم با سه الکترون

پس از این‌که تامسون کشف کرد که ذراتی به نام الکترون با بار منفی در مواد وجود دارند و نسبت بار الکتریکی به جرم الکترون را به‌دست آورد، به این نتیجه رسید که اتم کوچک‌ترین جزء ماده نیست و ماده از ذرات بنیادی‌تری تشکیل شده است که یکی از آن‌ها، الکترون است. به همین علت به دنبال ساختار اتم بود. او فرض کرد که اتم به‌صورت یک کیک کشمشی است که بار مثبت آن در یک فضای کروی به‌طور یکنواخت (شبیه خمیر کیک) پخش شده است و الکترون‌ها به‌صورت ذراتی در این فضا قرار دارند.

در این الگو، الکترون‌ها ساکن هستند و تنها هنگام دریافت انرژی، مرتعش می‌شوند و از خود تابش گسیل می‌کنند. در این‌صورت این الگو نیز پیش‌بینی می‌کرد که تابش عنصرها باید پیوسته باشد و تمام عنصرها باید تابش شبیه به هم داشته باشند، زیرا از دیدگاه این الگو ساختار اتم‌های مختلف یکسان بوده و با هم تفاوت نداشتند.

**نتیجه** نارسایی‌های الگوی اتمی تامسون:

**۱)** خطی بودن طیف اتمی عنصرها را توجیه نمی‌کرد.

**۲)** تفسیری از منحصر به فرد بودن طیف اتمی عنصرها ارائه نمی‌داد.

### الگوی اتمی رادرفورد

رادرفورد با تابانیدن ذرات سنگین و سریع آلفا (هسته‌ی هلیم $_2^4He^{++}$) به یک ورقه‌ی نازک طلا، متوجه انحراف غیرعادی آن‌ها شد.[1] او برای توجیه این پدیده، فرض وجود هسته را ارائه داد. همچنین بیان کرد که باید تمام جرم و بار اتم در ناحیه‌ی کوچکی از اتم متمرکز باشد که آن را هسته‌ی اتم نامید.

**پرسش: اگر الکترون در اتم رادرفورد ساکن باشد، چه اتفاقی باید رخ دهد؟**

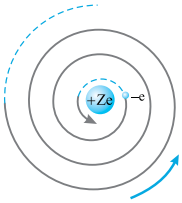
**پاسخ:** قطعاً باید جذب هسته شود.

**پرسش: اگر الکترون جذب هسته شود، پس چگونه در آزمایش‌های تامسون به‌صورت یک ذره‌ی مستقل در مواد قابل تشخیص است؟**

**پاسخ:** تنها راه برای آن‌که الکترون در اتم، جذب هسته نشود، این است که مانند سیاره‌ی زمین که به گرد خورشید می‌گردد، الکترون‌ها به دور هسته بچرخند و نیروی الکتریکی بین هسته و الکترون نیروی مرکزگرا باشد. این باعث می‌شود الکترون بر مسیر دایره‌ای به گرد هسته بماند و جذب نشود. (مانند یک گلوله که به یک نخ متصل است و شما آن را می‌چرخانید، در این حالت کشش نخ وارد بر گلوله، گلوله را بر مسیر دایره‌ای به دور دست شما نگه می‌دارد و با آن‌که نیروی کشش بر گلوله رو به مرکز دایره عمل می‌کند، باعث حرکت آن به سوی مرکز نمی‌شود.)

۱- برای مطالعه‌ی بیش‌تر در مورد آزمایش رادرفورد، به کتاب‌های شیمی رجوع کنید.

**پرسش:** **سیاره‌ها وقتی به گرد خورشید می‌گردند، انرژی گسیل نمی‌کنند. اما الکترون، ذره‌ی باردار است و بنا بر نظریه‌ی کلاسیکی ماکسول، اگر ذره‌ی باردار دارای حرکت شتابدار (دایره‌ای) باشد، از خود تابش (موج الکترومغناطیسی) گسیل می‌کند. نتیجه‌ی تابش الکترون در اتم را بررسی کنید.**




**پاسخ:** وقتی الکترون به گرد هسته می‌چرخد، مانند ذره‌ی بارداری است که از خود، تابش (موج الکترومغناطیسی) گسیل می‌کند و بسامد تابش گسیل‌شده با بسامد چرخش الکترون شتابدار برابر است (اصولاً بسامد موج منتشر شده در محیط با بسامد چشمه‌ی موج برابر است.) با گسیل تابش، الکترون رفته رفته انرژی خود را از دست می‌دهد و مانند ماهواره‌ای که در اثر اصطکاک با هوا انرژی خود را از دست می‌دهد و بر زمین سقوط می‌کند، الکترون نیز بر هسته سقوط می‌کند و اتم پایدار نخواهد بود.

از طرفی با کم شدن شعاع چرخش الکترون، نیروی الکتریکی بین بار مثبت هسته و الکترون افزایش می‌یابد که سبب افزایش بسامد چرخش الکترون به گرد هسته و افزایش بسامد تابش گسیلی می‌شود. بنابراین اتم باید دائماً تابش گسیل کند و بسامد تابش افزایش یابد.

**پرسش:** **چگونه می‌توان افزایش بسامد چرخش الکترون با کاهش شعاع چرخش را تفسیر کرد؟**

**پاسخ:** نیروی الکتریکی بین هسته و الکترون، نیروی مرکزگرا است. (بار هسته‌ی هیدروژن و بار الکترون برابر $e$ است.)

$$\begin{cases} F = k\dfrac{q_1 q_2}{r^2} \\ F = m_e r\omega^2 \end{cases} \Rightarrow k\frac{e.e}{r^2} = m_e r\omega^2 \Rightarrow k\frac{e^2}{r^2} = m_e r\times(2\pi f)^2 \Rightarrow f^2 = \frac{ke^2}{4\pi^2 m_e r^3}$$

بنا بر رابطه‌ی به‌دست آمده با کاهش شعاع $r$، بسامد چرخش الکترون $f$ افزایش می‌یابد.

**نتیجه**

نارسایی‌های الگوی اتمی رادرفورد:

**۱)** پایداری اتم را توجیه نمی‌کند.

**۲)** در مورد طیف اتمی، این الگو پیش‌بینی می‌کند الکترون تابش‌هایی را گسیل می‌کند که بسامدهای آن‌ها در حال افزایش است و این بسامدها پیوسته هستند، در حالی‌که طیف اتمی عنصر، خطی و منحصربه‌فرد است، بنابراین این الگو خطی و منحصربه‌فرد بودن طیف اتمی را توجیه نمی‌کند.

**۳)** ساختار هسته‌ی اتم در این الگو مشخص نیست. در فیزیک کلاسیک بارهای هم‌نام یک‌دیگر را می‌رانند، در حالی‌که در الگوی رادرفورد، بارهای مثبت در هسته در کنار هم قرار دارند، بنابراین این الگو در مورد ساختار هسته حرفی برای گفتن ندارد.

## الگوی اتمی بور برای اتم هیدروژن

هرگاه بخواهیم ساختار اتم و طیف اتمی را توسط مکانیک نیوتونی و تئوری الکترومغناطیس ماکسول بررسی کنیم، به ناسازگاری‌های آشکاری بین این نظریه‌ها و آزمایش‌های انجام شده بر می‌خوریم. بور برای رهایی از این بن بست، تنها راه نجات را در ارائه‌ی نظرات غیر کلاسیکی جستجو کرد.

او با ارائه‌ی چهار اصل موضوع، توانست ساختار مناسبی را برای اتم پیشنهاد کند.

**۱) الکترون، تنها روی مدارهای دایره‌ای با شعاع‌های معینی حرکت می‌کند، این مدارها «مدارهای مانا» نامیده می‌شوند.**

این قسمت از الگوی بور را **قسمت کلاسیکی** گویند، زیرا در آن از مکانیک نیوتونی استفاده می‌شود. نیروی الکتریکی بین هسته و الکترون، نیروی مرکزگرا است.

$$\begin{cases} F = k\dfrac{q_1 q_2}{r^2} \\ F = m\dfrac{v^2}{r} \end{cases} \Rightarrow k\frac{e^2}{r^2} = m\frac{v^2}{r} \Rightarrow mv^2 = k\frac{e^2}{r} \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 = k\frac{e^2}{2r} \Rightarrow K = k\frac{e^2}{2r} \quad \text{(الف)}$$

انرژی کل الکترون مجموع انرژی جنبشی $\left(K = k\frac{e^2}{2r}\right)$ و انرژی پتانسیل $\left(U = -k\frac{e^2}{r}\right)$ است.[1]

$$E = U + K \Rightarrow E = -\frac{ke^2}{r} + \frac{ke^2}{2r} \Rightarrow \boxed{E = -\frac{ke^2}{2r}} \quad \text{(ب)}$$

از رابطه‌ی (ب)، انرژی کل الکترون روی مدار مانا با شعاع $r$ به‌دست می‌آید.

۱- چگونگی به‌دست آوردن انرژی پتانسیل الکترون به دلیل ریاضیات پیچیده از بحث ما خارج است.

**نتیجه** با توجه به رابطه‌های $E=-\frac{ke^2}{2r}$، $K=\frac{ke^2}{2r}$ و $U=-\frac{ke^2}{r}$ در الگوی اتمی بور، برای اتم هیدروژن نتیجه می‌شود که:

$$E_e=-K=\frac{1}{2}U$$

سه اصل بعدی الگوی بور کاملاً غیر کلاسیکی است.

**۲) شعاع مدارهای مانا مقدارهای مشخص گسسته‌ای هستند**[1]، یعنی الکترون در هر مداری با هر شعاع دلخواهی نمی‌تواند به گرد هسته بچرخد. اگر شعاع مدار اول را $r_1$ بگیریم، شعاع‌های مجاز دیگری که الکترون می‌تواند بر آن‌ها بچرخد از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$r_n=n^2r_1 \quad , \quad n=2,3,\dots \qquad (پ)$$

در این رابطه، $n$ یک عدد صحیح است و اولین شعاع هیدروژن برابر است با:

$$a_0=r_1=\frac{h^2}{4\pi^2m_ke^2}=0/529A^\circ \qquad (ت)$$

$a_0$ را **شعاع اتم بور** می‌گویند.

در رابطه‌ی (ت) $h$ ثابت پلانک، $m_e$ جرم الکترون، $k$ ثابت کولن و $e$ بار الکترون است.

**۳) الکترون در مدارهای مانا تابش گسیل نمی‌کند**، این اصل کاملاً بر خلاف نظریه‌ی کلاسیک ماکسول در مورد تابش ذره‌ی باردار شتابدار است. در این وضعیت، الکترون در یک «حالت مانا» قرار دارد و انرژی الکترون در این حالت با ترکیب رابطه‌ی (ب) و (پ) به‌دست می‌آید.

$$\begin{cases} E=-k\frac{e^2}{2r} \\ r_n=n^2a_0 \end{cases} \Rightarrow E=-\frac{ke^2}{2n^2a_0}$$

در این رابطه مقدار $\frac{ke^2}{2a_0}=\frac{2\pi^2m_ek^2e^2}{h^2}$ را با $E_R$ نمایش می‌دهند که برابر $2/17\times10^{-18}J$ یا $13/6eV$ است و آن را **یک ریدبرگ** گویند.

پس الکترون در هر مداری دارای انرژی است که از رابطه‌ی $E_n=\frac{-E_R}{n^2}$ به‌دست می‌آید. هر یک از این مقدارهای مجاز را یک تراز انرژی می‌نامند. اگر $n=1$ باشد و الکترون اتم هیدروژن در مدار اول باشد، می‌گوییم در **حالت پایه** قرار دارد. مدارهای با انرژی بالاتر از $E_1$ را **حالت‌های برانگیخته** گویند.

**۴) الکترون تنها هنگامی تابش الکترومغناطیسی گسیل می‌کند** که از یک حالت مانا با انرژی $E_n$ به حالت مانای دیگری با انرژی کم‌تر $(n'<n)\,E_{n'}$ برود. در این صورت اختلاف انرژی دو تراز را به‌صورت یک فوتون موج الکترومغناطیسی گسیل می‌کند.

$$hf=E_n-E_{n'}$$

اکنون دقت کنید:

$$hf=E_n-E_{n'} \Rightarrow h\frac{c}{\lambda}=-\frac{E_R}{n^2}-(-\frac{E_R}{n'^2})\Rightarrow \frac{1}{\lambda}=\frac{E_R}{hc}(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2})$$

رابطه‌ی به‌دست آمده را با رابطه‌ی ریدبرگ $\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{n'^2}-\frac{1}{n^2})$ مقایسه کنید، دقیقاً یکسان هستند. ثابت ریدبرگ که از رابطه‌ی بالا به‌دست می‌آید با $R_H$ با تقریب خوبی برابر است. (اگر می‌خواهید این امر را بررسی کنید به تبدیل یکاها دقت کنید.)

حال می‌توانیم $n$ و $n'$ را در رابطه‌ی ریدبرگ توضیح دهیم. $n$ و $n'$ ترازهای انرژی هستند و $n$ باید از $n'$ بزرگ‌تر باشد، زیرا الکترون هنگامی تابش گسیل می‌کند که از تراز بالاتر به تراز پایین‌تر پرش کند. $n$ و $n'$ اعداد صحیح هستند، زیرا شماره‌ی مدار (تراز) می‌باشند.

---

۱- بیان دقیق بور این است که الکترون تنها در مدارهایی می‌تواند به گرد هسته بچرخد که تکانه‌ی زاویه‌ای الکترون در آن مدار مضرب درستی از $\frac{h}{2\pi}$ باشد $(mvr=n\frac{h}{2\pi})$ که این مطالب، خارج از سطح کتاب درسی است.

**نتیجه**

**۱)** با مقایسه‌ی رابطه‌ی بور و رابطه‌ی ریدبرگ برای طول موج‌های گسیلی اتم هیدروژن، مشخص می‌شود که $R_H=\frac{E_R}{hc}$ است.

**۲)** $n$ و $n'$ شماره‌ی ترازهای انرژی هستند، بنابراین عدد طبیعی هستند.

**۳)** $n$ باید بزرگ‌تر از $n'$ باشد، زیرا الکترون هنگامی تابش گسیل می‌کند که از تراز انرژی بالاتر به تراز انرژی پایین‌تر پرش کند.

**۴)** با توجه به الگوی اتمی بور، ترازهای انرژی، گسسته و دارای انرژی مشخص هستند. به همین علت طیف اتمی عنصرها، گسسته (خطی) و دارای طول موج مشخص $(\Delta E=\frac{hc}{\lambda})$ هستند. (توجیه الگوی بور برای خطی بودن طیف اتمی)

**۵)** با توجه به الگوی اتمی بور وقتی الکترون با دریافت تابشی با طول موج $\lambda$ از تراز $n'$ به تراز $n$ می‌رود، در بازگشت از تراز $n$ به $n'$ همان فوتون را با همان طول موج گسیل می‌کند. در این‌صورت یک عنصر همان طول موج‌هایی را جذب می‌کند که اگر به اندازه‌ی کافی گرم شود آن‌ها را گسیل می‌کند. (توجیه الگوی بور برای یکسان بودن طول موج‌های گسیلی و جذبی)

**۶)** طیف اتمی با الگوی اتمی بور قابل توجیه است.

تذکر مهم: نتیجه‌های بیان شده در این فصل در حل تست‌های کنکور کاربرد اساسی دارد و باید به خاطر سپرده شود.

**مسأله ۸** **هرگاه الکترون در اتم هیدروژن از حالت پایه به تراز $n=2$ برود:**

**الف) انرژی الکترون چند برابر می‌شود؟ انرژی الکترون افزایش یافته یا کاهش می‌یابد؟**

**ب) شعاع مدار چرخش الکترون چند برابر می‌شود؟**

**پ) سرعت چرخش الکترون چند برابر می‌شود؟**

**ت) انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل الکترون چند برابر می‌شود؟**

راه‌حل: ابتدا یادآوری می‌شود که هر بخش این مسأله تشریحی بارها به صورت تست در کنکور مورد استفاده قرار گرفته است بنابراین یادگیری این مسأله‌ی ساده مهم است.

**الف)** با توجه به الگوی اتمی بور برای انرژی ترازها داریم: $E_n=\frac{-E_R}{n^2}\Rightarrow E_1=-E_R\ ,\ E_2=-\frac{E_R}{4}\Rightarrow\frac{E_2}{E_1}=\frac{1}{4}$

اما برای این‌که الکترون به تراز بالاتر برود انرژی دریافت می‌کند بنابراین انرژی الکترون افزایش یافته است و از مقدار $-13/6eV$ به مقدار $-\frac{13/6}{4}=-3/4eV$ رسیده است.

**ب)** در الگوی اتمی بور برای اتم هیدروژن داریم $r_n=n^2a_0$، در این صورت: $r_1=a_0\ ,\ r_2=4a_0\Rightarrow\frac{r_2}{r_1}=4$

**پ)** با توجه به نتیجه‌ی اصل اول بور خواهیم داشت: $E_n=-K\Rightarrow-\frac{E_R}{n^2}=-\frac{1}{2}mv^2\Rightarrow v=\frac{1}{n}\sqrt{\frac{2E_R}{m}}\Rightarrow\frac{v_2}{v_1}=\frac{1}{2}$

**نتیجه: در الگوی اتمی بور برای اتم هیدروژن، سرعت الکترون با شماره‌ی تراز نسبت وارون دارد.**

**ت)** در الگوی اتمی بور رابطه‌ی $E=-K=\frac{1}{2}U$ بین انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل الکترون با انرژی الکترون برقرار است، از این رو خواهیم داشت: $E_2=\frac{1}{4}E_1\Rightarrow U_2=\frac{1}{4}U_1\quad,\quad K_2=\frac{1}{4}K_1$

**مسأله ۹** **در اتم هیدروژن با افزایش شماره‌ی تراز $(n)$، اختلاف انرژی دو تراز مجاور و اختلاف شعاع مدار الکترون چگونه تغییر می‌کند؟**

راه‌حل: ابتدا به بررسی اختلاف ترازهای انرژی می‌پردازیم: $E_n=-\frac{E_R}{n^2}\Rightarrow E_1=\frac{-E_R}{1}\ ,\ E_2=\frac{-E_R}{2^2}\ ,\ E_3=\frac{-E_R}{3^2}$

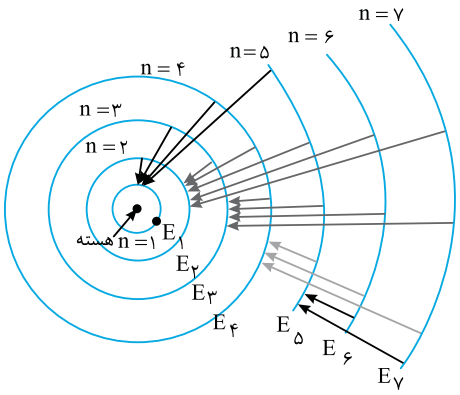
$$\begin{cases}E_2-E_1=\frac{-E_R}{4}-(-E_R)=\frac{3}{4}E_R\\E_3-E_2=-\frac{E_R}{9}-(-\frac{E_R}{4})=\frac{5}{36}E_R\end{cases}\Rightarrow E_3-E_2<E_2-E_1$$

**نتیجه** هر چه $n$ افزایش یابد، اختلاف ترازهای انرژی کاهش می‌یابد. (شکل الف)

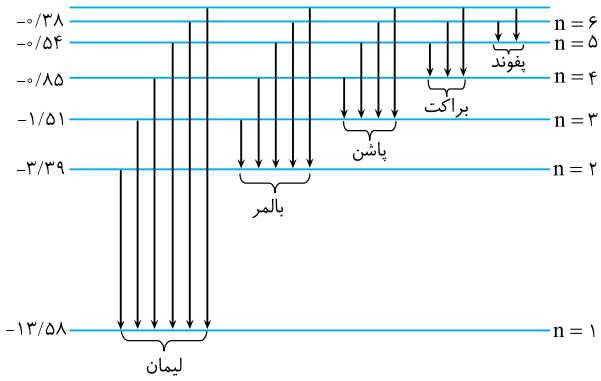
اکنون اختلاف شعاع مدارهای الکترون را در اتم هیدروژن بررسی می‌کنیم:

$$r_n=n^2a_0\Rightarrow(r_1=a_0\ ,\ r_2=4a_0\ ,\ r_3=9a_0\ ,\cdots)\Rightarrow\begin{cases}r_2-r_1=3a_0\\r_3-r_2=5a_0\end{cases}\Rightarrow r_3-r_2>r_2-r_1$$

**نتیجه** هر چه $n$ افزایش یابد، اختلاف فاصله‌ی مدارهای مجاور در اتم هیدروژن بیش‌تر می‌شود. شکل (ب)




شکل ب: مدارهای چرخشی الکترون در اتم هیدروژن




شکل الف: ترازهای انرژی الکترون در اتم هیدروژن

**تذکر:** دقت کنید که در الگوی اتمی بور، مدار، مکانی برای چرخش الکترون به گرد هسته است، در حالی‌که در الگوی اوربیتالی که در شیمی خوانده‌اید، نمی‌توان مکان دقیق الکترون را مشخص کرد و تنها احتمال حضور الکترون قابل بررسی است و چیزی به عنوان مدار در الگوی اوربیتالی وجود ندارد.

**مسأله ۱۰** **در اتم هیدروژن در سری بالمر، کوتاه‌ترین و بلندترین طول موج گسیلی چند نانومتر است؟** $(R_H \simeq ۰/۰۱ nm^{-1})$

**راه‌حل:** وقتی بیان می‌شود سری بالمر یعنی $n' = ۲$ و الکترون از ترازهای بالاتر به تراز شماره‌ی ۲ می‌رود.

بلندترین طول موج زمانی گسیل می‌شود که الکترون از تراز $n = ۳$ به تراز $n' = ۲$ برود.

$$\frac{۱}{\lambda} = R_H\left(\frac{۱}{n'^۲} - \frac{۱}{n^۲}\right) \Rightarrow \frac{۱}{\lambda} = \frac{۱}{۱۰۰}\left(\frac{۱}{۴} - \frac{۱}{۹}\right) \Rightarrow \lambda_{max} = ۷۲۰ nm$$

کوتاه‌ترین طول موج زمانی گسیل می‌شود که الکترون از دورترین تراز به تراز $n' = ۲$ برود.

$$n = \infty \rightarrow n' = ۲ \Rightarrow \frac{۱}{\lambda} = \frac{۱}{۱۰۰}\left(\frac{۱}{۴} - \frac{۱}{\infty}\right) \Rightarrow \lambda_{min} = ۴۰۰ nm$$

**مسأله ۱۱** **در اتم هیدروژن، کوتاه‌ترین طول موج سری بالمر و بلندترین طول موج سری لیمان را با هم مقایسه کنید.**

**راه‌حل:**

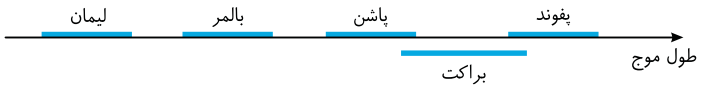
کوتاه‌ترین طول موج سری بالمر $n = \infty \rightarrow n' = ۲$ ؛ $\frac{۱}{\lambda} = R_H\left(\frac{۱}{۲^۲} - \frac{۱}{\infty}\right) \Rightarrow \lambda_{min} = \frac{۴}{R_H}$

بلندترین طول موج سری لیمان $n = ۲ \rightarrow n' = ۱$ ؛ $\frac{۱}{\lambda} = R_H\left(\frac{۱}{۱} - \frac{۱}{۲^۲}\right) \Rightarrow \lambda_{max} = \frac{۴}{۳R_H}$

**نتیجه** بلندترین طول موج سری لیمان از کوتاه‌ترین طول موج سری بالمر، کوتاه‌تر است و کم انرژی‌ترین فوتون گسیلی سری لیمان از پر انرژی‌ترین فوتون گسیلی سری بالمر، پر انرژی‌تر است.

**پرسش:** **آیا می‌توان نتیجه‌ی قبل را به تمام سری‌های متوالی اتم هیدروژن نسبت داد؟**

**پاسخ:** خیر، رفتار طول موج‌های گسیلی از طرح روبه‌رو پیروی می‌کند:




**تست ۱۰: یک اتم هیدروژن در حالت $n = ۵$ قرار دارد. با در نظر گرفتن تمام گذارهای ممکن، اگر این اتم به حالت پایه برود، چند نوع فوتون با انرژی مختلف گسیل می‌شود؟**

۱) ۵ ۲) ۴ ۳) ۱۰ ۴) ۶

**پاسخ: راه‌حل اول:** ابتدا گذارهای $\Delta n = ۱$، $\Delta n = ۲$، $\Delta n = ۳$ و $\Delta n = ۴$ را بررسی می‌کنیم:

در مجموع ۱۰ فوتون ⇒

| | |
|---|---|
| ۴ نوع فوتون | $۵ \rightarrow ۴ \rightarrow ۳ \rightarrow ۲ \rightarrow ۱$ |
| ۳ نوع فوتون | $۴ \rightarrow ۳ \rightarrow ۲ \rightarrow ۱$ |
| ۲ نوع فوتون | $۳ \rightarrow ۲ \rightarrow ۱$ |
| ۱ نوع فوتون | $۲ \rightarrow ۱$ |

**راه‌حل دوم:** می‌توانید ترکیب ۲ از ۵ را به‌دست آوریم:

$$\binom{۵}{۲}=\frac{۵!}{۲!(۵-۲)!}=\frac{۵\times۴}{۲\times۱}=۱۰$$

**راه‌حل سوم:** کافی است اعداد طبیعی کوچک‌تر از n داده شده را با هم جمع کنیم:

$$۴+۳+۲+۱=۱۰$$

بنابراین گزینه‌ی (۳) درست است.

**نتیجه**

نارسایی‌های الگوی اتمی بور:

**۱)** الگوی اتمی بور، تنها برای اتم‌های تک الکترونی کاربرد دارد.

**۲)** الگوی اتمی بور، آرایش الکترونی اتم‌های با تعداد الکترون‌های بیش‌تر را معلوم نمی‌کند.

**۳)** در الگوی اتمی بور نمی‌توان تعداد الکترون‌ها را در یک لایه‌ی انرژی مشخص کرد. برای مثال این الگو نمی‌تواند هم انرژی بودن دو الکترون در تراز ۲s یا ۶ الکترون در تراز ۲p را مشخص کند، به همین علت هیچ اطلاعی درباره‌ی تعداد فوتون‌هایی که با یک بسامد معین گسیل می‌شوند به ما نمی‌دهد.

## انرژی بستگی الکترون

**تعریف** **انرژی بستگی الکترون یعنی مقدار انرژی که باید به الکترون بدهیم تا از قید هسته رها شود که آن را انرژی یونش نیز می‌گویند و برابر با مقدار انرژی الکترون در تراز مورد نظر است.**

**تست ۱۱: انرژی بستگی الکترون در اتم هیدروژن در تراز $n=۲$ چند الکترون - ولت است؟**

**۱)** ۱۳/۶ **۲)** ۳/۴ **۳)** ۲۷/۲ **۴)** ۶/۶

**پاسخ:** کافی است انرژی الکترون را در تراز $n=۲$ به‌دست آوریم:

$$E_n=-\frac{E_R}{n^۲}=-\frac{۱۳/۶}{۴}=-۳/۴\ eV$$

در این صورت انرژی بستگی الکترون، $۳/۴\ eV$ است.

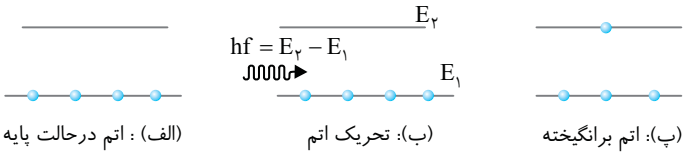
بنابراین گزینه‌ی (۲) درست است.

## آشنایی با لیزر

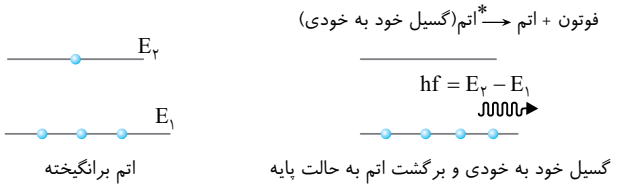
در الگوی اتمی بور، الکترون‌های اتم، تنها می‌توانند در مدارهای کوانتیده‌ی معینی حرکت کنند و دارای انرژی گسسته‌ی مشخصی هستند. تا زمانی که الکترون در این مدارها حضور دارد، تابش گسیل نمی‌کند. هرگاه اتم تحریک شود الکترون با دریافت انرژی به تراز انرژی بالاتر می‌رود، اما الکترون تمایل دارد به حالت پایه (مینیمم انرژی) بازگردد و انرژی دریافتی را به‌صورت فوتون نور گسیل می‌کند.

برای نمونه در یک لامپ مهتابی محتوی گاز جیوه، جریان الکتریکی سبب می‌گردد که الکترون‌ها به ترازهای بالاتر بروند و در بازگشت، از خود نور گسیل کنند. در شکل‌های زیر برای سادگی، برانگیختگی اتم با یک فوتون نشان داده شده است.

(علامت * نشان‌دهنده‌ی برانگیخته بودن اتم است.) اتم * = فوتون + اتم




اکنون، الکترون‌هایی که در ترازهای بالاتر قرار دارند می‌توانند با گسیل یک فوتون که انرژی آن برابر اختلاف انرژی دو تراز است به حالت پایه برگردند. این عمل را **گسیل خودبه‌خودی** گویند (شکل زیر).

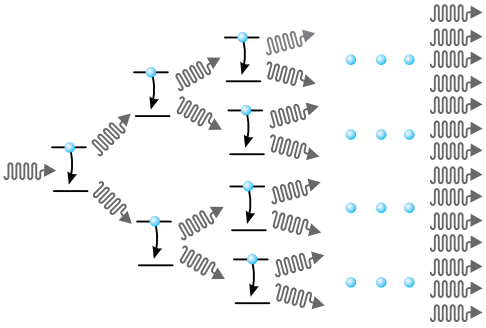


اما در یک لامپ مهتابی، تعداد زیادی الکترون به ترازهای مختلف انرژی می‌روند و در بازگشت، فوتون‌هایی با انرژی‌های مختلف و در راستاهای متفاوت گسیل می‌شوند. این امر سبب می‌گردد که انرژی تابش مهتابی در محیط پراکنده باشد. اگر بتوان روشی را به‌کار برد که الکترون‌ها هم‌زمان و یا با اختلاف زمانی حدود چند دوره‌ی نوسان از تراز مشخصی به تراز پایه بجهند، نور گسیل‌شده از آن‌ها متمرکز و هم‌جهت بوده و شدت بسیار بالایی خواهد داشت. برای آن‌که الکترون از تراز بالاتر به تراز پایین‌تر بجهد، می‌توان از گسیل القایی استفاده کرد. در گسیل القایی، ابتدا اتم در حالت برانگیخته است. یک فوتون با انرژی $E'-E=hf$ که برابر اختلاف انرژی دو تراز اتم است، الکترون را وامی‌دارد که از تراز بالاتر به تراز پایین‌تر بجهد و یک فوتون همانند فوتون اول با همان بسامد گسیل کند (شکل زیر).

(ب): گسیل القایی که در آن دو فوتون هم‌جهت، هم‌فاز، هم‌بسامد و هم‌انرژی ایجاد شده است.

(الف): اتم در حال برانگیخته که با یک فوتون بر هم‌کنش دارد.

در لیزر با روش خاصی ابتدا الکترون‌ها را به تراز ویژه‌ای می‌برند و قبل از آن‌که الکترون‌ها با گسیل خودبه‌خودی به تراز پایه بازگردند، فوتون‌هایی با انرژی مناسب به مجموعه‌ی این اتم‌های برانگیخته تابیده می‌شود. اگر یک فوتون با یک اتم بر هم کنش کند، دو فوتون هم‌فاز، هم‌جهت و هم انرژی تولید می‌شود، سپس این دو فوتون باعث گسیل القایی دو اتم دیگر شده و چهار فوتون ایجاد می‌شود، در نهایت تعداد زیادی فوتون **هم‌جهت، هم‌فاز و هم انرژی ایجاد می‌شود که باریکه‌ای از نور با شدت بالا ایجاد می‌کند، این باریکه را باریکه‌ی لیزر گویند** (شکل روبه‌رو).



عمل لیزر کردن

**مسأله (۱۲) توان باریکه‌ی نور خروجی از یک لیزر گازی هلیم - نئون برابر ۵۰۰ میکرو وات است. اگر توان ورودی این لیزر ۲۵W باشد:** $(c=3\times10^{8}\ \frac{m}{s}\ ,\ h=6/6\times10^{-34}\ J.s)$

**الف) بازده این لیزر چند درصد است؟**

**ب) اگر طول موج باریکه‌ی نور خروجی ۶۶۰nm باشد، در هر ثانیه چند فوتون از این لیزر گسیل می‌شود؟**

راه‌حل:

**الف)**

$$\text{بازده}=\frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}}\times100\Rightarrow Ra=\frac{5\times10^{-4}}{25}\times100=2\times10^{-3}\%$$

**ب)**

$$\begin{cases}E=n\dfrac{hc}{\lambda}\Rightarrow Pt=n\dfrac{hc}{\lambda}\\ E=P.t\end{cases}\Rightarrow 5\times10^{-4}=n\times\frac{6/6\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{6/6\times10^{-7}}\Rightarrow n=\frac{5}{3}\times10^{15}\ \text{فوتون}$$

## پرسش‌های چهارگزینه‌ای بخش سوم

### طیف اتمی – ساختار اتم

**۲۴۲۸-طیف لامپ نئون روشن چگونه طیفی است؟**

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

**۲۴۲۹-نور گسیل شده از یک قطعه تنگستن گداخته را از گاز نئون می‌گذرانیم. طیف حاصل از آن در طیف‌نما چگونه طیفی است؟**

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

**۲۴۳۰-طیف خورشید که در طیف‌نما مشاهده می‌شود، چگونه طیفی است؟**

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

**۲۴۳۱-طیف اتمی عنصرها .....**

۱) پیوسته است و برای هر عنصر، منحصر به فرد است.
۲) گسسته است و برای عنصرهای مختلف یکسان است.
۳) گسسته است و برای هر عنصر، منحصر به فرد است.
۴) در حالت گازی و در حالت جامد گداخته، منحصر به فرد است.

**۲۴۳۲-کدام طیف اتمی در شناسایی عناصر از یک‌دیگر به کار می‌رود؟**

۱) فقط گسیلی خطی
۲) فقط گسیلی پیوسته
۳) جذبی پیوسته یا گسیلی پیوسته
۴) جذبی خطی یا گسیلی خطی

**۲۴۳۳-در طیف نور خورشید که به کره‌ی زمین می‌رسد، خطوط تاریک دیده می‌شود. این خطوط نشانگر چیست؟** (سراسری خارج از کشور تجربی - ۸۵)

۱) عناصر موجود در درون خورشید
۲) عدم وجود بعضی از مواد و عناصر در خورشید
۳) عناصر موجود در اتمسفر زمین و اتمسفر خورشید
۴) جذب قسمتی از نور خورشید توسط دستگاه طیف‌سنج

**۲۴۳۴-طیف اتمی عنصرها را توسط کدام الگوی اتمی می‌توان توجیه کرد؟**

۱) الگوی اتمی تامسون ۲) الگوی اتمی رادرفورد ۳) الگوی اتمی بور ۴) هر سه مورد

**۲۴۳۵-کدام پدیده‌ی زیر به کمک مبانی فیزیک کلاسیک قابل توجیه نیست؟**

۱) جدا شدن الکترون از سطح فلز در اثر تابش فرودی بر فلز
۲) گسیل تابشی از سطح اجسام گداخته
۳) منحصربه فرد بودن طیف اتمی عنصرها
۴) جذب تابش فرودی بر سطح جسم توسط جسم

**۲۴۳۶-آزمایش رادرفورد کدام مطلب زیر را نشان داد؟**

۱) فاصله‌ی زیاد بین الکترون‌ها و هسته‌ی اتم
۲) وجود بارهای مثبت و منفی در اتم
۳) وجود نیروی ربایش و رانش الکتریکی
۴) موج الکترومغناطیسی بودن نور

**۲۴۳۷-طبق الگوی اتمی رادرفورد، کدام گزینه درست است؟**

۱) اتم پایدار است.
۲) طیف تابشی اتم گسسته است.
۳) الکترون در مدار مشخصی به گرد هسته گردش می‌کند.
۴) الکترون به تدریج انرژی خود را از دست می‌دهد.

**۲۴۳۸-در الگوی اتمی بور در اتم هیدروژن با افزایش شماره‌ی مدار، فاصله‌ی مدارهای چرخش الکترون از یک‌دیگر چه تغییری می‌کند؟**

۱) کاهش می‌یابد. ۲) افزایش می‌یابد. ۳) ثابت می‌ماند. ۴) قابل اظهارنظر قطعی نیست.

**۲۴۳۹-الگوی بور برای اتم هیدروژن، یک الگوی ..... است.**

۱) کاملاً کوانتومی ۲) کاملاً کلاسیکی ۳) کلاسیکی و کوانتومی ۴) نسبیتی

**۲۴۴۰-در الگوی اتمی بور برای اتم هیدروژن، با افزایش شماره‌ی تراز انرژی $(n)$، اختلاف انرژی ترازها چه تغییری می‌کند؟**

۱) کاهش می‌یابد. ۲) افزایش می‌یابد. ۳) ثابت می‌ماند. ۴) قابل اظهار نظر قطعی نیست.

**۲۴۴۱-بنا بر مدل اتمی بور برای اتم هیدروژن اگر الکترون از مدار $n=۲$ به مدار $n=۳$ برود، نیروی جاذبه‌ی الکتریکی هسته بر آن چند برابر می‌شود؟**

۱) $\frac{۴}{۹}$ ۲) $\frac{۹}{۴}$ ۳) $\frac{۸۱}{۱۶}$ ۴) $\frac{۱۶}{۸۱}$

**۲۴۴۲-کدام عبارت نارسایی الگوی اتمی بور است؟**

۱) الگوی اتمی بور پایداری اتم را توجیه نمی‌کند.
۲) الگوی اتمی بور خطی بودن طیف اتمی را توجیه نمی‌کند.
۳) الگوی اتمی بور برای اتم‌های با تعداد الکترون‌های بیش‌تر توجیهی ندارد.
۴) الگوی اتمی بور، نمی‌تواند توجیه کند که چرا هر عنصر در حالت گازی همان طول موج‌هایی را جذب می‌کند که می‌تواند در صورت تحریک شدن آن‌ها گسیل کند.

**۲۴۴۳-اگر در اتم هیدروژن الکترون از حالت $n=۲$ به $n=۴$ برود، سرعتش چند برابر می‌شود؟** (سراسری ریاضی - ۹۴)

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

**۲۴۴۴-هرگاه در اتم هیدروژن، الکترون، گذاری از حالت $n=۲$ به $n=۱$ انجام دهد، انرژی جنبشی آن چند برابر می‌شود؟**

(سراسری خارج از کشور ریاضی -۹۴)

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

**۲۴۴۵-** در اتم هیدروژن بنا بر الگوی اتمی بور، اگر الکترون در تراز $n=3$ باشد، انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل آن برحسب $E_R$ به‌ترتیب از راست به چپ کدام است؟

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

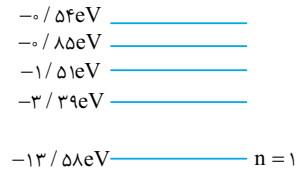
**۲۴۴۶-** در الگوی اتمی بور، هرگاه الکترون از تراز پایه به مداری برود که شعاع گردش الکترون به دور هسته ۴ برابر شود، انرژی آن چند برابر می‌شود؟

۱) $\frac{1}{4}$ ۲) $\frac{1}{2}$ ۳) $\frac{1}{3}$ ۴) $\frac{1}{6}$

**۲۴۴۷-** در الگوی اتمی بور در اتم هیدروژن، هرگاه شعاع مدار الکترون افزایش یابد، انرژی پتانسیل الکترون ..... و انرژی جنبشی آن ..... می‌یابد.

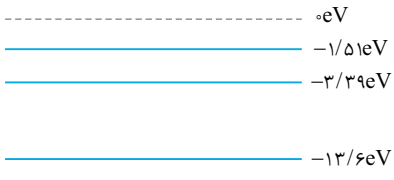
۱) کاهش - کاهش ۲) کاهش - افزایش ۳) افزایش - افزایش ۴) افزایش - کاهش

**۲۴۴۸-** تعدادی از ترازهای اتم هیدروژن در شکل زیر نشان داده شده است. الکترون اتم هیدروژن در ترازی قرار دارد که انرژی بستگی آن $0/85\ eV$ است. با در نظر گرفتن تمام گذارهای ممکن برای رفتن به تراز پایه، این الکترون چند نوع فوتون می‌تواند گسیل کند؟




۱) ۴ ۲) ۵ ۳) ۶ ۴) ۳

**۲۴۴۹-** شکل زیر، تعدادی از ترازهای انرژی اتم هیدروژن را نشان می‌دهد. کدام گذار می‌تواند به گسیل فوتونی با طول موج ۶۶۰nm منجر شود؟ $(h=4/136\times10^{-15}\ eV.s\ ,\ c=3\times10^{8}\ \frac{m}{s})$ (سراسری تجربی - ۸۹)




۱) $n=3$ به $n=1$
۲) $n=3$ به $n=2$
۳) $n=4$ به $n=1$
۴) $n=4$ به $n=2$

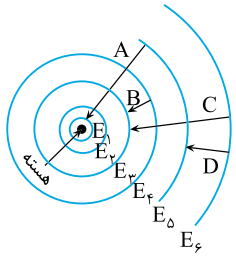
**۲۴۵۰-** شکل زیر مربوط به طیف گسیلی مرئی اتم هیدروژن است. طول موج ۶۵۶/۲nm مربوط به گذار الکترون از کدام تراز به کدام تراز است؟

۱) ۵ به ۱ ۲) ۳ به ۲
۳) ۵ به ۲ ۴) ۳ به ۱

**۲۴۵۱-** در اتم هیدروژن، الکترون در تراز n قرار دارد و انرژی بستگی آن ۰/۸۵۰ الکترون - ولت است. انرژی لازم برای آن که این الکترون را به تراز $n+1$ ببرد، چند الکترون - ولت است؟ $(E_R=13/6\ eV)$ (سراسری تجربی - ۹۴)

۱) ۱/۱۰۶ ۲) ۰/۵۴۴ ۳) ۰/۴۲۵ ۴) ۰/۳۰۶

**۲۴۵۲-** شکل زیر، مدارهای الکترون در الگوی بور برای اتم هیدروژن را نشان می‌دهد. در کدام گسیل، طول موج وابسته به فوتون تابش شده، بلندتر است؟ (سراسری خارج از کشور تجربی - ۹۴)




۱) A ۲) B ۳) C ۴) D

**۲۴۵۳-** انرژی کم‌انرژی‌ترین فوتون سری بالمر چند برابر انرژی پرانرژی‌ترین فوتون سری براکت است؟

۱) $\frac{9}{100}$ ۲) $\frac{100}{9}$ ۳) $\frac{9}{20}$ ۴) $\frac{20}{9}$