

## واحد یادگیری ۴

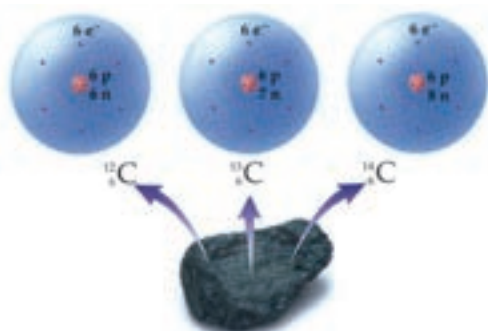
### روش تدریس پیشنهادی: پرسش و پاسخ

توصیه می شود به دانش آموزان فرصت کافی بدهید تا صفحه یازده کتاب را در گروه روخوانی کنند. از گروه ها بخواهید خلاصه ای از مطالب خوانده شده را به کلاس ارائه دهند. در صورت نیاز، بحث را کامل کنید. سپس از آنها بخواهید جدول زیر را کامل کنند.

نماد	عدد اتمی	عدد جرمی	تعداد		
			p	n	e
$\cdot\cdot\cdot\text{O}$			۸	۸	
${}^{24}_{12}\text{Mg}^{2+}$				۱۲	۱۰
$\cdot\cdot\cdot\text{Cu}$	۲۹	۶۳			
$\cdot\cdot\cdot\text{F}^{-}$	۹			۱۰	۱۰

به دانش آموزان فرصت کافی بدهید و بر کار آنها نظارت کنید. در پایان از یکی از گروه ها بخواهید تا پاسخ های صحیح را روی تابلو بنویسد. ضمن بررسی پاسخ ها موارد درست را تأیید و موارد نادرست را اصلاح نمایید. در ادامه جمله زیر را روی تابلو بنویسید.

این جمله که: «دالتون معتقد بود: جرم و خواص اتم های یک عنصر باهم برابر است». درست است یا نادرست؟



اکنون معلم به دانش آموزان گزارش می دهد که تصویر مقابل، یافته های تجربی را در مورد یک نمونه زغال سنگ نشان می دهد.

حال از آنها بخواهید آنچه را از تصویر متوجه می شوند روی برگه بنویسند.

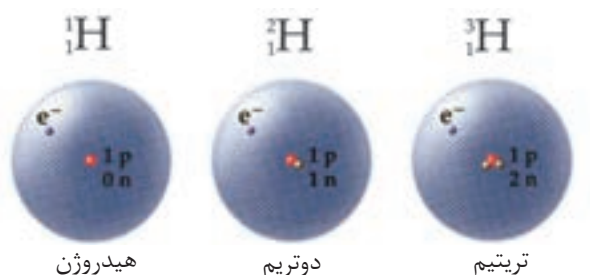
پس از شنیدن نظرات دانش آموزان مفهوم ایزوتوپ را توضیح دهید. سپس نمودار دایره ای صفحه ۱۲ کتاب درسی را به دانش آموزان نشان دهید و از یکی از گروه ها بخواهید درباره نمودار توضیح دهند. سپس مفهوم درصد فراوانی را توضیح دهید. اکنون جدول صفحه بعد را روی تابلو رسم کنید و به دانش آموزان فرصت کافی بدهید تا درباره اطلاعات موجود در این جدول بحث و گفت و گو کنند و به پرسش های مطرح شده پاسخ دهند.

### هدف های آموزشی

- ۱- انتظار می رود دانش آموز در پایان این واحد یادگیری:
  - ۱- با ذره های سازنده اتم آشنا شود.
  - ۲- عدد اتمی و عدد جرمی را بشناسد.
  - ۳- توانایی استدلال و نتیجه گیری را در خود تقویت کند.
  - ۴- مفهوم جرم اتمی میانگین را درک کند.
  - ۵- مهارت تعیین تعداد p، e و n ها را از روی عدد اتمی و جرمی در خود تقویت کند.
  - ۶- مهارت محاسبه جرم اتمی میانگین اتم ها را در خود تقویت کند.
  - ۷- با مفهوم ایزوتوپ آشنا شود.
  - ۸- تفاوت و تشابه ایزوتوپ های یک عنصر را بشناسد.

### ارزشیابی تشخیصی

- ۱- چرا جرم اتمی عنصرها در جدول اعشاری است؟
- ۲- برای اتم  ${}^{27}_{13}\text{Al}$ ، عدد جرمی و عدد اتمی چند است؟



نماد	${}^1_1\text{H}$	${}^2_1\text{H} = {}^2_1\text{D}$	${}^3_1\text{H} = {}^3_1\text{T}$
نام	هیدروژن	دوتریم	تریتیم
درصد فراوانی	۹۹/۹۸٪	۰/۰۵٪	ناچیز

شکل ۱۶

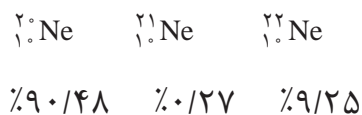
۱- تعداد ذره‌های زیراتمی را در هر ذره مشخص کنید.

۲- کدام یک جرم بیشتری دارد؟

۳- تفاوت این ذره‌ها را بیان کنید.

در ادامه به دانش‌آموزان توضیح دهید که نئون دارای سه ایزوتوپ با اعداد اتمی و

جرمی زیر است:



شکل ۱۷

حال از دانش‌آموزان بخواهید تا از روی جدول تناوبی جرم اتمی Ne را گزارش دهند.

اکنون روی تابلو این پرسش را بنویسید: «چرا جرم اتمی نئون در جدول تناوبی

اعشاری است و عدد صحیح نیست؟»

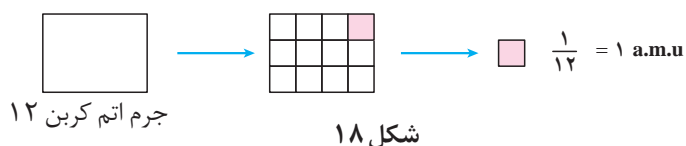
**راهنمایی:** «اگر در ظرفی ۱۰ عدد سیب ۴۲۵ گرمی، ۶ عدد سیب ۳۵۰ گرمی و ۴ عدد سیب ۲۱۰ گرمی داشته باشیم جرم میانگین یک سیب چقدر است؟»

نظرات دانش آموزان را بشنوید و درباره آنها قضاوت نکنید. حال راهنمایی زیر را ارائه دهید و از دانش آموزان بخواهید نظرات خود را بررسی کنند و برای پرسش مطرح شده پاسخ مناسبی بیابند. سپس موارد لازم را اصلاح کنید و در پایان نحوه محاسبه جرم اتمی میانگین را برای دانش آموزان توضیح دهید.

اکنون شما همکار گرامی با بیان جملات زیر مبحث واحد جرم اتمی را یادآوری کنید: برای اندازه گیری وزن کامیون به وسیله باسکول از واحد تن و برای اندازه گیری وزن میوه با ترازو از واحد کیلوگرم و برای اندازه گیری وزن طلا از ترازوی دقیق تر با واحدهای کوچک تر مانند مثقال و گرم استفاده می شود.

برای اندازه گیری جرم اتم نمی توان از این واحدها و ابزار استفاده کرد. در این موارد بهتر است یکای کوچک تر و مناسب تری به کاربرد؛ یکایی که در اندازه های اتمی است. به عبارت دیگر سنگ وزنه ترازوی ما در مقیاس اتمی از اتم های یک عنصر انتخاب می شود. از بین اتم عنصرهای مختلف، اتم کربن  $^{12}\text{C}$  را به عنوان مبنا انتخاب کرده اند.

\* وزن با جرم تفاوت دارد، در این جا واژه وزن به جای جرم به کار رفته است.



a.m.u واحد اندازه گیری جرم اتم است که جرم سایر اتم ها نسبت به آن سنجیده می شود؛ وقتی گفته می شود، جرم اکسیژن ۱۶ amu است، یعنی چه؟ چند مثال دیگر نیز بیاورید تا مفهوم a.m.u و نسبی بودن آن برای دانش آموزان کامل شود. در پایان از دانش آموزان بخواهید تا سؤال ۱ صفحه ۱۴ کتاب درسی را پاسخ دهند.

## بر دانش خود بیفزایید

### جرم اتمی

برای همه ایزوتوپ ها به استثنای  $^{12}\text{C}$  (به دلیل توافق جهانی بین تمام شیمی دان ها) جرم اتمی با عدد جرمی برابر نیست. با توجه به تعریف واحد جرم اتمی، جرم های اتمی را جرم های اتمی نسبی می نامند. در واقع، جرم های اتمی به ما می گویند که یک اتم در مقایسه با اتم کربن - ۱۲ چقدر سنگین تر است. به عنوان نمونه، اتم  $^1\text{H}$  دارای جرم اتمی ۱/۰۰۷۸۳ amu است. این عدد نشان می دهد که یک اتم  $^1\text{H}$  به اندازه  $\frac{۱/۰۰۷۸۳}{۱۲}$  یا تقریباً سنگین تر از یک دوازدهم یک اتم کربن - ۱۲ است. به عبارت دیگر، جرم یک اتم  $^{12}\text{C}$ ،

تقریباً ۱۲ برابر جرم یک اتم  $^1\text{H}$  است. یک اتم  $^{24}\text{Mg}$  دارای جرم اتمی  $23/98504 \text{ amu}$  است پس جرم یک اتم  $^{24}\text{Mg}$  تقریباً دو برابر یک اتم کربن - ۱۲ است و از آن جا که  $1 \text{ amu} = 1/66054 \times 10^{-24} \text{ g}$  است، بنابراین می توان جرم یک اتم را برحسب گرم محاسبه کرد. به عنوان نمونه، جرم یک اتم کربن - ۱۲ (تنها اتمی که عدد جرمی و جرم اتمی آن باهم برابر است) برحسب گرم به صورت زیر محاسبه می شود:

$$12 \text{ amu} \times \frac{1/66054 \times 10^{-24} \text{ g}}{\text{amu}} = 1/99265 \times 10^{-23} \text{ g}$$

با این که نام واحد جرم اتمی به دالتون (Da) تغییر کرده است، در ادامه از همان عبارت واحد جرم اتمی استفاده می کنیم. یک اتم  $^{12}\text{C}$ ، جرم ۱۲ دالتون (۱۲ Da) یا ۱۲ amu دارد.

جدول ۲. ویژگی های ذره های زیراتمی

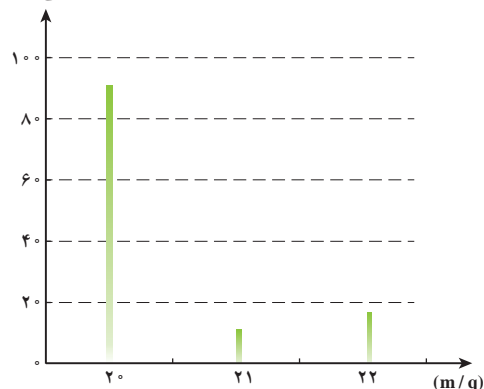
ذره	گرم (g)	یکای جرم اتمی (amu)	بار الکتریکی نسبی	نماد
الکترون	$9/109383 \times 10^{-28}$	$0/005485799$	-۱	$e^-$ یا ${}_{-1}^0e$
پروتون	$1/672622 \times 10^{-24}$	$1/007276$	+۱	$p^+$ یا ${}_{+1}^1p$
نوترون	$1/674927 \times 10^{-24}$	$1/008665$	۰	$n^0$ یا ${}^1_0n$

با استفاده از جرم پروتون، نوترون و الکترون (جدول ۲) جرم دقیق یک اتم را نمی توان محاسبه کرد. به جز  $^1\text{H}$  (که هسته آن شامل یک پروتون است)، مجموع جرم ذره های تشکیل دهنده یک هسته، همیشه بزرگ تر از جرم واقعی آن هسته است. این تفاوت جرم برحسب انرژی، بیان کننده چیزی است که انرژی بستگی<sup>۱</sup> هسته نامیده می شود. این مقدار انرژی را می توان از رابطه اینشتین که هم ارزی ماده و انرژی را نشان می دهد، به دست آورد. اگر امکان گسستن هسته وجود داشت، انرژی بستگی همان انرژی لازم برای انجام این کار بود. فرایند معکوس، یعنی متراکم کردن نوکلئون ها در هسته، باعث آزاد شدن انرژی بستگی و یا کاهش جرم خواهد شد.

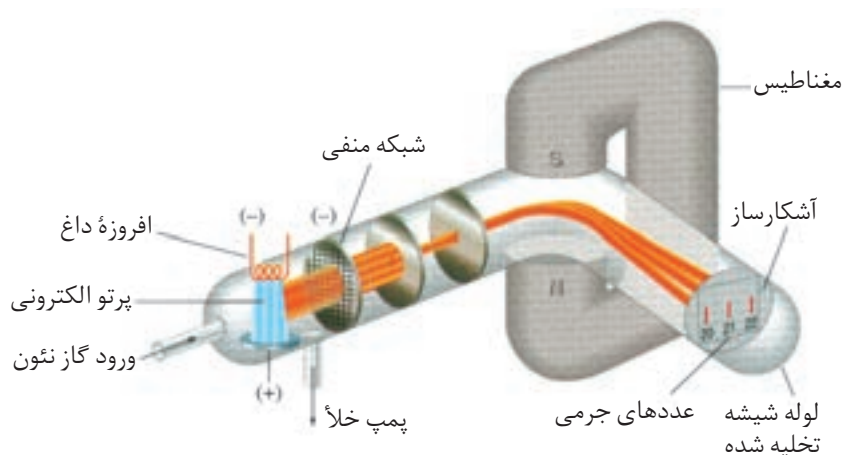
خواص شیمیایی یک عنصر با پروتون ها و الکترون های موجود در اتم های آن تعیین می شود و در شرایط عادی نوترون ها در تغییرهای شیمیایی نقشی ندارند. بنابراین، خواص شیمیایی و واکنش پذیری ایزوتوپ های یک عنصر یکسان است. برای تعیین نوع ایزوتوپ های یک عنصر، جرم دقیق ایزوتوپ ها و مقدار نسبی هر ایزوتوپ، از طیف سنج جرمی استفاده می کنند (شکل ۱۹-آ).

<sup>۱</sup> - binding energy

فراوانی نسبی



(ب)



(آ)

شکل ۱۹. آ) یک طیف سنج جرمی ساده که جداسازی ایزوتوپها را نشان می دهد. ب) طیف حاصل از دستگاه

در این دستگاه، با بمباران بخار اتمهای ماده به وسیله الکترون، یونهای مثبت تشکیل می شوند. این یونها به سمت یک شکاف دارای بار منفی جذب می شوند. این ذره ها در اثر نیروی جاذبه شتاب می گیرند و با سرعت زیاد از شکاف می گذرند. سپس، پرتو یونهای تشکیل شده، از یک میدان مغناطیسی عبور می کند. ذره های باردار هنگام گذشتن از میدان مغناطیسی، از مسیر مستقیم خود منحرف شده و مسیری دایره ای را طی می کنند. میزان انحراف هر ذره به نسبت جرم به بار ( $m/q$ ) آن بستگی دارد. تمام یونهایی که از آخرین شکاف می گذرند، مقدار  $m/q$  یکسان دارند. یونهایی که  $m/q$  متفاوت دارند، با تنظیم میدان مغناطیسی یا ولتاژ اعمال شده برای شتاب دادن، وادار به عبور از این شکاف می شوند. بنابراین، تمام یونهای تشکیل شده را می توان به صورت مستقل از شکاف عبور داد. آشکارساز طیف سنج جرمی، شدت هر کدام از پرتوهای یونی را که به مقدار نسبی هریک از ایزوتوپهای موجود بستگی دارد، اندازه گیری می کند.

به عنوان مثال، با استفاده از یک طیف سنج جرمی، نسبت جرمی  $^{28}\text{Si}$  به  $^{12}\text{C}$  به صورت زیر اندازه گیری می شود:

$$\frac{\text{جرم اتم } ^{28}\text{Si}}{\text{جرم استاندارد } ^{12}\text{C}} = 2/331411$$

از این نسبت جرمی، جرم ایزوتوپ  $^{28}\text{Si}$  را به دست می آوریم:

$$\begin{aligned} \text{جرم } ^{12}\text{C} \times \text{نسبت جرمی اندازه گیری شده} &= \text{جرم ایزوتوپی } ^{28}\text{Si} \\ &= 2/331411 \times 12 \text{ amu} = 27/97693 \text{ amu} \end{aligned}$$

افزون بر جرم ایزوتوپها، از طیف سنج جرمی، فراوانی نسبی هر ایزوتوپ در نمونه ای

عدد جرمی، یک عدد صحیح است که مجموع شمار پروتون‌ها و نوترون‌ها را نشان می‌دهد. این عدد در سمت چپ و بالای نماد شیمیایی عنصر نوشته می‌شود. در حالی که جرم اتمی، جرم یک اتم را بر حسب amu نشان می‌دهد، به همین دلیل اغلب عدد صحیحی نیست. با توجه به نزدیکی عدد جرمی و جرم اتمی، نباید آنها را اشتباه به کار برد. در هفت کمیت اصلی (طول، جرم، زمان، مقدار ماده، شدت جریان الکتریکی، دما و شدت روشنایی)، شش کمیت (به جز جرم) در مقایسه با یک مرجع اندازه‌گیری می‌شوند، یعنی:

$$\Delta t = t - t_{\text{مرجع}}$$

$$\Delta T = T - T_{\text{مرجع}}$$

$t$ ، زمان و  $T$ ، دما را نشان می‌دهد.

جرم کمیتی تعریف نشده است (در فیزیک همه تعاریف‌ها به صورت یک کمیت متناسب با جرم آمده است) و به صورت نسبی اندازه‌گیری می‌شود (جرم جسم تقسیم بر  $1 \text{ kg}$ ). به همین دلیل حاصل، عددی بدون یکاست. اینک می‌توان چنین نوشت:

$$\frac{\text{جرم جسم}}{1 \text{ kg}} = x \rightarrow$$

$$1 \text{ kg} \times x = x \text{ kg} = \text{جرم جسم}$$

$$\frac{1 \text{ atom C}}{1 \text{ amu}} = 12 \rightarrow$$

$$1 \text{ atom C} = 12 \text{ amu}$$

بر این پایه:

$$\frac{1 \text{ atom Fe}}{1 \text{ amu}} = 55.847 \rightarrow$$

$$1 \text{ atom Fe} = 55.847 \text{ amu}$$

از یک عنصر نیز به دست می‌آید (شکل ۱۹-ب). به عنوان مثال، درصد فراوانی  $^{28}\text{Si}$  برابر  $92/23\%$  است. چنین اندازه‌گیری‌هایی، داده‌های مورد نیاز برای به دست آوردن جرم اتمی یک عنصر را در اختیار قرار می‌دهد. جرم اتمی میانگین، جرم ایزوتوپ‌های طبیعی بر مبنای فراوانی آنها است.

هر ایزوتوپ طبیعی یک عنصر، بخش معینی از جرم اتمی آن را تشکیل می‌دهد. دیدید که  $92/23\%$  از اتم‌های  $\text{Si}$  را  $^{28}\text{Si}$  تشکیل می‌دهد. با استفاده از این درصد فراوانی به صورت یک کسر و ضرب کردن آن در جرم ایزوتوپی  $^{28}\text{Si}$ ، بخشی از جرم اتمی  $\text{Si}$  به دست می‌آید که مربوط به  $^{28}\text{Si}$  است:

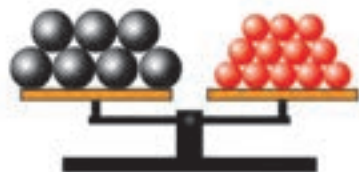
$$\text{Si} \text{ به جرم اتمی } ^{28}\text{Si} \text{ مربوط} = 27.97693 \text{ amu} \times 0.9223 = 25.8031 \text{ amu}$$

با محاسباتی مشابه، بخش مربوط به  $^{29}\text{Si}$  ( $28.976495 \text{ amu} \times 0.0467 = 1.3532 \text{ amu}$ ) و مربوط به  $^{30}\text{Si}$  ( $29.97377 \text{ amu} \times 0.031 = 0.9292 \text{ amu}$ ) به دست می‌آید. با جمع این سه بخش (و گرد کردن نتیجه تا دو رقم اعشار)، جرم اتمی سیلیسیم به دست می‌آید:

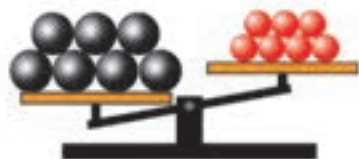
$$\text{Si جرم اتمی} = 25.8031 \text{ amu} + 1.3532 \text{ amu} + 0.9292 \text{ amu}$$

$$= 28.0855 \text{ amu} = 28.09 \text{ amu}$$

توجه کنید جرم اتمی، مقداری میانگین است و میانگین‌ها را باید با احتیاط تفسیر کرد. برای مثال اگر در جامعه‌ای میانگین تعداد کودکان در هر خانواده  $2/4$  نفر باشد، مسلماً هیچ خانواده‌ای  $2/4$  کودک نخواهد داشت. بر این پایه هیچ اتمی از سیلیسیم، جرمی برابر با  $28.09 \text{ amu}$  ندارد. با این حال در بیشتر کاربردهای آزمایشگاهی، یک نمونه سیلیسیم را متشکل از اتم‌هایی با این جرم اتمی میانگین در نظر می‌گیریم. در شکل ۲۰، جرم اتمی به صورت نسبی نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۲۰. نسبت جرم اتم‌های گوناگون در یک ترازو

برای درک بهتر، یک مسئله ساده طرح می‌شود. نقره ( ${}^{107}\text{Ag}$ ) دارای ۴۶ ایزوتوپ شناخته شده است، اما فقط دو ایزوتوپ  ${}^{107}\text{Ag}$  و  ${}^{109}\text{Ag}$  در طبیعت موجود است. با استفاده از داده‌های طیف‌سنجی جرمی که در جدول زیر آمده، جرم اتمی  $\text{Ag}$  را محاسبه کنید.

ایزوتوپ	جرم (amu)	فراوانی (%)
${}^{107}\text{Ag}$	۱۰۶/۹۰۵۰۹	۵۱/۸۴
${}^{109}\text{Ag}$	۱۰۸/۹۰۴۷۶	۴۸/۱۶

از جرم و فراوانی دو ایزوتوپ  $\text{Ag}$ ، باید جرم اتمی  $\text{Ag}$  (میانگین جرم‌های ایزوتوپی) را بیابیم. هر جرم ایزوتوپی را در کسر فراوانی آن ضرب می‌کنیم تا بخش مربوط به هر ایزوتوپ در جرم اتمی به دست آید. مجموع این بخش‌های ایزوتوپی با جرم اتمی میانگین برابر است.

یافتن بخش مربوط به هر ایزوتوپ در جرم اتمی:

$$\text{فراوانی کسری} \times \text{جرم ایزوتوپی} = \text{بخش مربوط به } {}^{107}\text{Ag} \text{ در جرم اتمی}$$

$$= ۱۰۶/۹۰۵۰۹ \text{ amu} \times ۰/۵۱۸۴ = ۵۵/۴۲ \text{ amu}$$

$$۱۰۸/۹۰۴۷۶ \text{ amu} \times ۰/۴۸۱۶ = ۵۲/۴۵ \text{ amu}$$

$$\text{میانگین جرم اتمی نقره} = ۵۲/۴۵ + ۵۵/۴۲ = ۱۰۷/۸۷ \text{ amu}$$

هر بخش را تا چهار رقم بامعنی گرد کرده‌ایم؛ زیرا تعداد ارقام بامعنی در مقادیر فراوانی برابر ۴ است. با مراجعه به جدول تناوبی مشخص می‌شود که این جرم اتمی (تا دو رقم بعد از اعشار) درست است.

## واحد یادگیری ۵

### هدف‌های آموزشی

- انتظار می‌رود دانش‌آموز در پایان این واحد یادگیری:
- ۱- با مفهوم رنگ و ارتباط آن با نور آشنا شود.
  - ۲- طیف نشری پیوسته را از طیف خطی تشخیص دهد.
  - ۳- چگونگی تولید طیف نشری خطی را درک کند.
  - ۴- با رنگ شعله عناصر آشنا شود.
  - ۵- با مدل بور آشنا شود.
  - ۶- مهارت مدل‌سازی را در خود تقویت کند.
  - ۷- توانایی مدل بور در توجیه طیف نشری H را درک کند.

### روش تدریس پیشنهادی: پرسش و پاسخ

توصیه می‌شود ابتدا دو پرسش زیر را روی تابلو بنویسید:

۱- رنگ چیست؟

۲- ارتباط رنگ با نور و انرژی چیست؟

نظر دانش‌آموزان را بشنوید و درباره درستی یا نادرستی آن قضاوتی نکنید. حال

شکل ۲۱ را به دانش‌آموزان نشان دهید.



شکل ۲۱. عبور نور از منشور و ایجاد طیف پیوسته مرئی توسط نیوتن

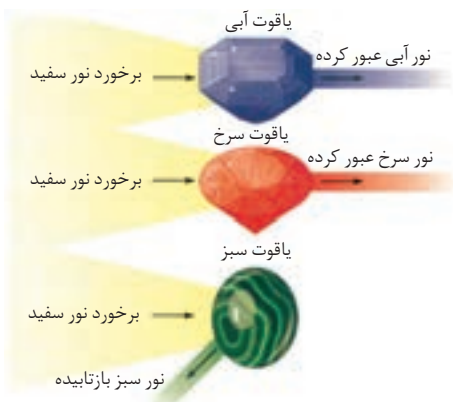
### ارزشیابی تشخیصی

- ۱- چرا جسم قرمز به رنگ قرمز دیده می‌شود؟
- ۲- رنگین کمان دارای چند طول موج رنگی است؟
- ۳- انرژی موج با طول آن، چه رابطه‌ای دارد؟
- ۴- رنگ لامپ سدیم چگونه است؟

دوباره با بررسی این شکل پاسخ پرسش‌های بالا را از دانش‌آموزان بخواهید. سپس موضوع را به روش سخنرانی جمع‌بندی کنید و این سؤال را مطرح کنید که چرا یک جسم زرد به رنگ زرد دیده می‌شود؟ پاسخ دانش‌آموزان را بشنوید و پاسخ درست را تأیید کنید. در ادامه توضیح دهید که هر نور رنگی، دارای یک طول موج معین است و به رنگ مشخصی دیده می‌شود.

اکنون بسته مداد رنگی ۴۸ تایی را که از قبل تهیه کرده و به کلاس آورده‌اید باز کنید و مدادهای مربوط به یک طیف رنگی را به هر گروه بدهید و از آنها بخواهید با استفاده از این مدادها یک نوار رنگی از پرننگ به کم‌رنگ رسم کنند. به دانش‌آموزان فرصت کافی دهید سپس برگه‌ها را جمع‌آوری کنید و روی تابلوی کلاس بچسبانید

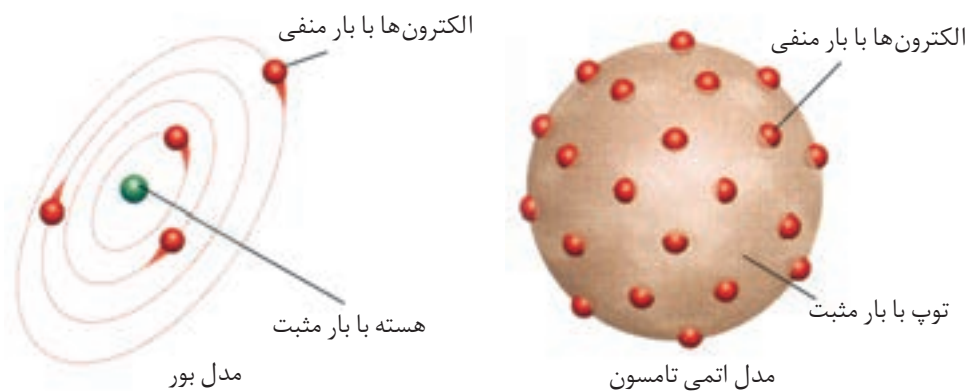
شکل ۲۲



و درباره طیف پیوسته توضیح دهید. در ادامه به کمک مدارنگی‌ها طیف هیدروژن را به دانش‌آموزان نشان دهید (مطابق شکل صفحه ۲۰) از دانش‌آموزان بخواهید برای این طیف نامی انتخاب کنند و به این پرسش‌ها پاسخ دهند که: «در این طیف چند طول موج مشاهده می‌شود؟ آیا تعداد خطوط مشاهده شده در طیف هیدروژن محدود است یا نامحدود؟» به دانش‌آموزان فرصت کافی بدهید سپس پاسخ‌ها را بشنوید و در صورت نیاز آنها را اصلاح و طیف نشری خطی را معرفی کنید.

حال از دانش‌آموزان بپرسید با کدام یک از دو مدل زیر می‌توان تولید طیف نشری خطی را توجیه کرد؟

پاسخ‌ها را بشنوید و از یکی از دانش‌آموزان بخواهید تا مطالب صفحه‌های ۱۹ و ۲۰ کتاب درسی را روخوانی کند. شما نیز هر جا که لازم می‌دانید، درباره مطالب توضیح دهید.



شکل ۲۳

## بر دانش خود بیفزایید

### طیف‌های اتمی و نظریه اتمی بور<sup>۱</sup>

با استفاده از نظریه اینشتین یکی دیگر از مسائل فیزیک و پیچیده قرن نوزدهم یعنی طیف‌های نشری اتم‌ها نیز حل شد.

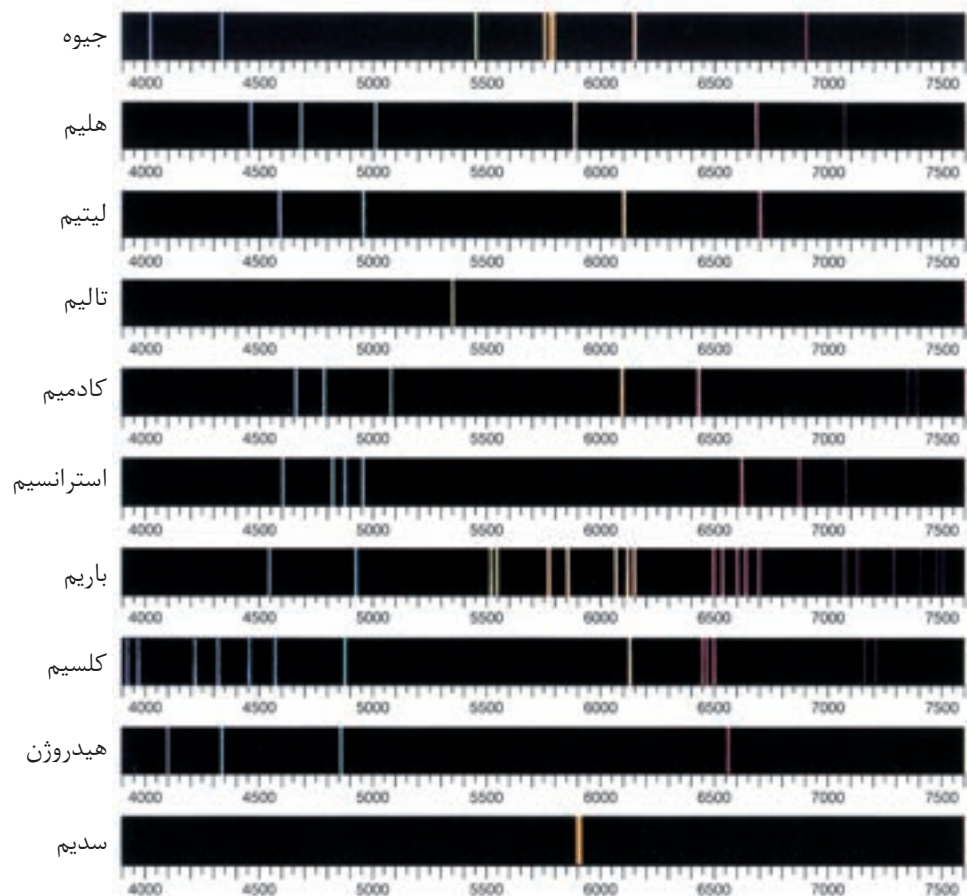
**طیف‌های نشری:** از قرن هفدهم که نیوتن نشان داد نور خورشید از اجزایی با رنگ‌های مختلف تشکیل شده و از ترکیب آنها، نور سفید (بخشی از طیف الکترومغناطیس) ایجاد می‌شود، شیمی‌دانان و فیزیک‌دانان به بررسی طیف‌های نشری (طیف‌های پیوسته یا خطی مربوط به تابش نشر شده از مواد) پرداختند. طیف نشری یک ماده را می‌توان با دادن انرژی گرمایی یا نوع دیگری از انرژی (مانند تخلیه الکتریکی با ولتاژ بالا برای مواد

<sup>۱</sup> - N. Bohr

گازی شکل) به ماده مشاهده کرد. برای نمونه یک قطعه آهن که در کوره از شدت گرما قرمز یا سفید شده است، نوری ساطع می کند که بخش مرئی طیف نشری آن را تشکیل می دهد. یک ویژگی مشترک بین طیف های نشری خورشید و یک ملتهب گرم شده، آن است که هر دو پیوسته اند. طیف نشری یک جامد داغ و ملتهب، به دما وابسته است.

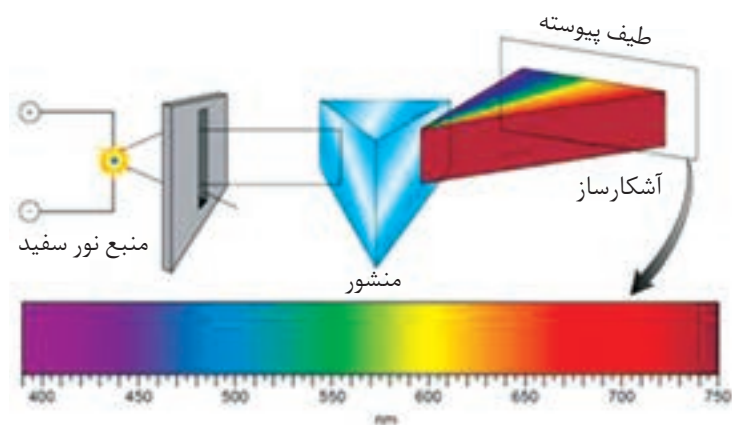
اما طیف های نشری اتم های گازی شکل، گستره پیوسته ای از طول موج های قرمز تا بنفش نیست. اتم ها خطوط روشنی را در نواحی مختلفی از طیف مرئی تولید می کنند. این طیف های خطی در واقع مربوط به نشرهایی با طول موج های خاص اند (شکل ۲۴-آ).

\* همان گونه که طیف نشری سدیم نشان می دهد، رنگ زرد شعله نمک های آن، تأییدی بر شاخص ترین خط موجود در طیف آن است.  
\* رنگ زرد لامپ های سدیم در مه شکن را می توان دلیلی بر بالا بودن ضریب شکست نور زرد دانست.

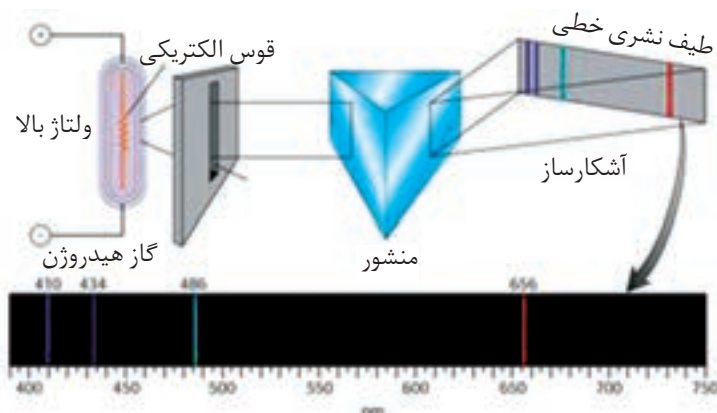


شکل ۲۴. آ) طیف نشری برخی عناصرها

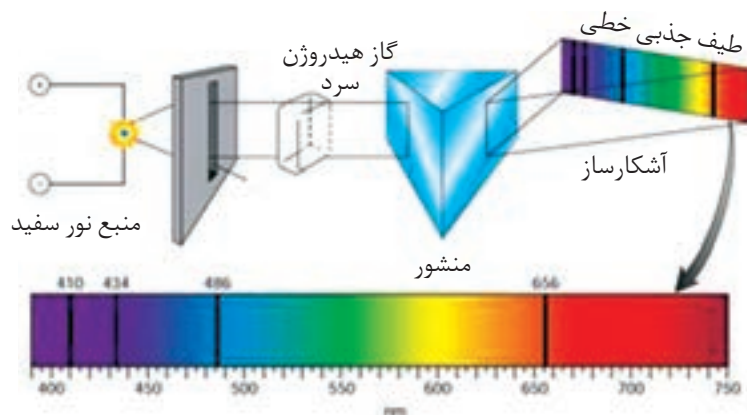
اساس طیف نشری و طیف جذبی اتم های گازی هر عنصر همانند شکل ۲۴-ب، پ و ت است.



شکل ۲۴. ب) چگونگی ایجاد طیف پیوسته



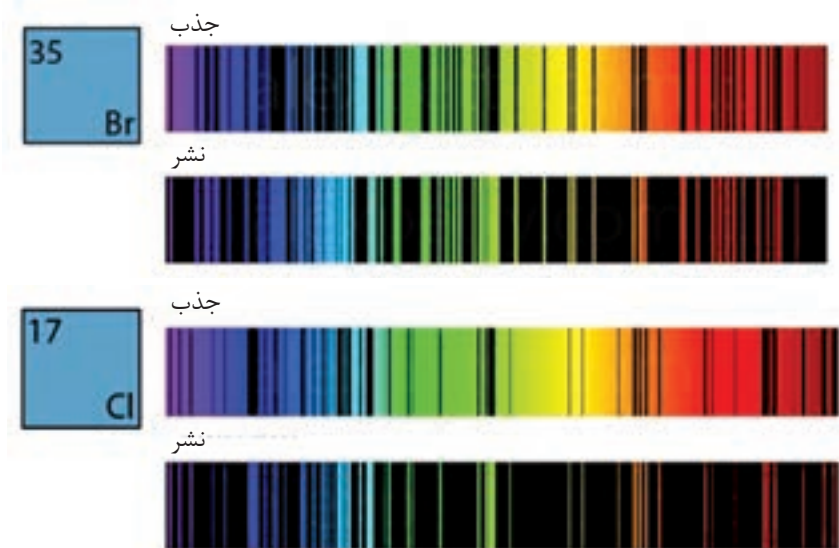
شکل ۲۴. پ) چگونگی ایجاد طیف نشری خطی هیدروژن



شکل ۲۴. ت) چگونگی ایجاد طیف جذبی خطی هیدروژن

- اگر اتم‌های گازی یک عنصر در هر دو نوع طیف‌سنجی به کار روند، طیف نشری خطی با طیف جذبی خطی همخوانی دارد به گونه‌ای که:
- ۱- از روی هم گذاشتن آنها طیف پیوسته‌ای همانند آنچه که هنگام عبور نور سفید از منشور رخ می‌دهد (رنجین کمان) پدید می‌آید.
  - ۲- اتم‌های گازی هر عنصر، همان طول موج‌هایی را که در حالت برانگیخته نشر می‌کنند تا به حالت پایه برگردند همان طول موج را در حالت پایه جذب می‌کنند، تا برانگیخته شوند.

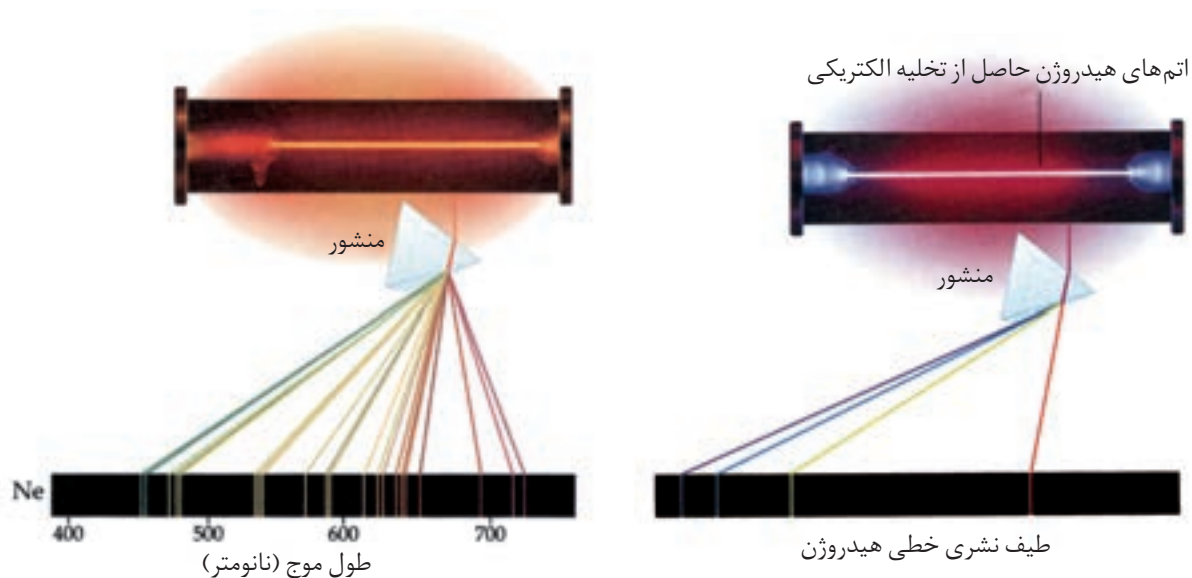
هر عنصر طیف نشری منحصر به فردی دارد. از خطوط مشخصه در طیف‌های اتمی می‌توان برای شناسایی اتم‌ها استفاده کرد، درست مانند اثر انگشت که برای شناسایی انسان‌ها به کار می‌رود. استفاده از خطوط نشری برای شناسایی اتم‌ها از مدت‌ها قبل در شیمی متداول بود، اما منشأ این خطوط بعدها و در اوایل قرن بیستم شناسایی شد (شکل ۲۵).



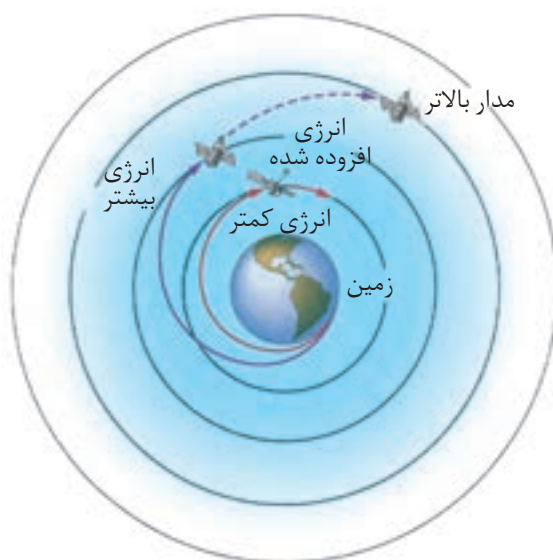
شکل ۲۵. طیف نشری و جذبی عنصرهای برم و کلر

### طیف نشری اتم هیدروژن و مدل اتمی بور

در سال ۱۹۱۳، به فاصله کمی پس از کشف پلانک و اینشتین، نیلزبور (۱۸۸۵-۱۹۶۲)، فیزیک‌دان دانمارکی، توصیفی نظری از طیف نشری اتم هیدروژن (شکل ۲۶) ارائه داد. این توصیف با این که از جنبه‌هایی نادرست است، اما در توجیه طیف‌های اتمی هیدروژن بسیار موفق بود و گام تاریخی مهمی در مسیر پیشرفت نظریه کوانتومی اتم به شمار می‌رود. پیش از بور فیزیک‌دانان اتم را متشکل از یک هسته و الکترونی که به دور آن می‌چرخد، می‌دانستند. در این مدل سیاره‌ای (شبیه حرکت یک ماهواره به دور زمین، شکل ۲۷)، فرض می‌شد که نیروی الکترواستاتیکی جاذبه، بین الکترون و هسته دقیقاً با نیروی جانب به مرکز مربوط به چرخش الکترون موازنه می‌شود. مشکلی که در مورد مدل رادرفورد وجود دارد، آن است که، براساس مدل کلاسیکی، الکترونی که به دور هسته می‌چرخد، یک شتاب جانب به مرکز به دست می‌آورد. از طرف دیگر، هنگامی که یک ذره باردار شتاب‌دار می‌شود، از طریق نشر تابش الکترومغناطیس مقداری انرژی از دست می‌دهد و در نتیجه در مدار کوچک‌تری حرکت می‌کند. بنابراین، با پذیرفتن چنین مدلی، الکترون در زمانی برابر با  $10^{-9}$  s روی هسته سقوط می‌کند و هیچ اتمی پایدار نمی‌ماند.



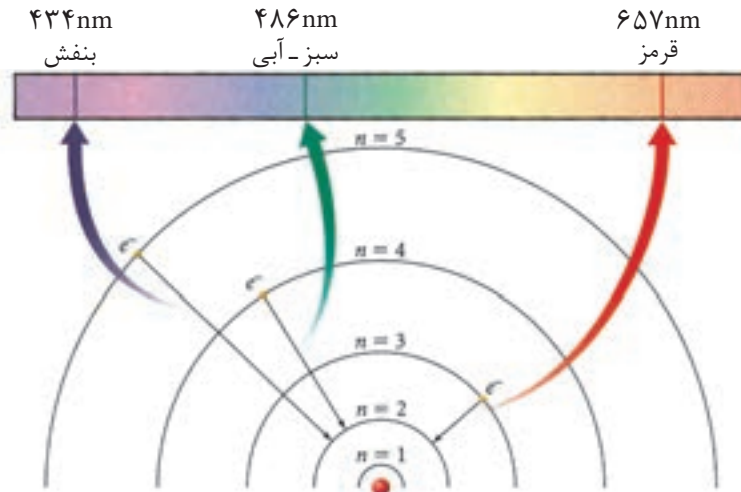
شکل ۲۶. طیف نشری اتم هیدروژن



شکل ۲۷. حرکت یک ماهواره حول زمین

بور برای پاسخ دادن به این ابهام، محدودیتی را برای حرکت چرخشی الکترون به دور هسته در نظر گرفت. در اتم هیدروژن الکترون تک، فقط مجاز است در مدارهای معینی (که او آنها را حالت‌های ایستا نامید) حرکت کند. از آن جا که هر مدار به انرژی معینی وابسته است، انرژی‌های مربوط به حرکت الکترون در این مدارهای مجاز نیز باید دارای مقادیری معین بوده و یا کوانتیده باشد. بور فرض کرد که یک الکترون تا زمانی که در یک مدار معین قرار دارد، انرژی از دست نمی‌دهد. همچنین خطوط طیف نشری مربوط به انتقال الکترون از یک مدار مجاز به مدار مجاز دیگری با انرژی پایین‌تر است که

سبب آزاد شدن یک کوانتوم انرژی (یک فوتون) به شکل نور می شود (شکل ۲۸). انرژی این فوتون ( $h\nu$ ) برابر با اختلاف انرژی دو مدار است.



شکل ۲۸. فرایند نشر در یک اتم برانگیخته براساس نظریه بور

بور عبارتهایی برای شعاع و انرژی مدارهای معین اتم هیدروژن به دست آورد. به این منظور، او از این فرض استفاده کرد که اندازه حرکت زاویه ای الکترونی که به دور هسته می چرخد، کوانتیده است. در حالت ایستای  $n$  ام ( $n$  یک عدد صحیح مثبت است)، اندازه حرکت زاویه ای الکترون برابر با  $n\hbar$  است ( $\hbar = h/2\pi$ ).

$$l = mvr \quad (۱۴)$$

در این رابطه  $m$ ، نشان دهنده جرم،  $v$  نشان دهنده سرعت و  $r$  شعاع دوران است. با فرض برابری نیروی جاذبه هسته - الکترون و نیروی جانب به مرکز حرکت چرخشی الکترون، می توان عبارتی برای سرعت الکترون به دست آورد:

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (۱۵)$$

با محاسبه سرعت الکترون از رابطه (۱۵) و قرار دادن در معادله (۱۴) خواهیم

داشت:

$$n\hbar = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 v} \quad (۱۶)$$

$$v_n = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 n\hbar} \quad (۱۷)$$

برای شعاع مدار  $n$  ام داریم:

$$r_n = n^2 a_0 \quad (18)$$

$$a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{me^2} \quad (19) \quad \text{که در آن:}$$

کمیت  $a_0$ ، شعاع بور نام دارد. با استفاده از مقادیر ثابت پلانک، بار و جرم الکترون،

شعاع بور به دست می آید:

$$a_0 = 5/292 \times 10^{-11} \text{ m} = 0.5292 \text{ \AA} \quad (20) \quad (24)$$

اگر انرژی پتانسیل الکترون در اتم هیدروژن ( $Z = 1$ ) بر پایه قانون کولن برابر با

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad \text{باشد، در مورد انرژی کل یک الکترون می توان نوشت:}$$

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (21)$$

با استفاده از معادله (۱۵) داریم:

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} = mv^2 \quad (22)$$

$$E_n = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 a_0 n^2} \quad (23) \quad \text{بنابراین:}$$

$$E_n = -R_H \left( \frac{1}{n^2} \right) \quad (24) \quad \text{یا}$$

$R_H$  که ثابت ریدبرگ نام دارد، برابر با  $2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$  است. عدد  $n$ ، عدد کوانتومی

اصلی نام دارد و دارای مقادیر  $\infty$  و  $7, 6, 5, 4, 3, 2, 1$  است.

علامت منفی در معادله (۲۴) قراردادی و اختیاری بوده و نشان می دهد انرژی یک

الکترون در یک اتم، پایین تر از انرژی یک الکترون آزاد (الکترونی در فاصله بی نهایت از

هسته اتم) است. براساس این قرارداد، به انرژی الکترون آزاد نیز مقدار صفر اختصاص

داده می شود که از نظر ریاضی معادل با قرار دادن بی نهایت به جای  $n$  در معادله (۲۴)

است؛ به طوری که  $E_\infty = 0$ . با نزدیک تر شدن الکترون به هسته (افزایش  $n$ )،  $E_n$  منفی تر

و قدر مطلق آن بزرگ تر می شود. منفی ترین مقدار، مربوط به  $n = 1$  بوده که با پایدارترین

حالت انرژی همخوانی دارد. این حالت، حالت پایه یا تراز پایه نامیده می شود. با افزایش

$n$ ، پایداری الکترون کاهش می یابد. هریک از ترازهای مربوط به  $n = 1, 2, 3, \dots$  یک حالت (یا

تراز) برانگیخته نام دارد که انرژی آن از حالت پایه بیشتر است. گفته می شود اتم هیدروژنی

که الکترون آن دارای  $n$  بزرگ تر از ۱ باشد، برانگیخته شده است. شعاع هر یک از مدارهای

در رابطه (۲۴) با بزرگ شدن

$$\frac{1}{n^2}, \quad n \text{ کوچک شده، درحالی که}$$

$$-\frac{1}{n^2} \text{ بزرگ تر می شود:}$$

$$-\frac{1}{1} < -\frac{1}{4} < -\frac{1}{9} < \dots < \left(0 = \frac{1}{\infty}\right) \quad \text{یونش}$$

هنگامی که الکترون در

دورترین فاصله نسبت به هسته قرار

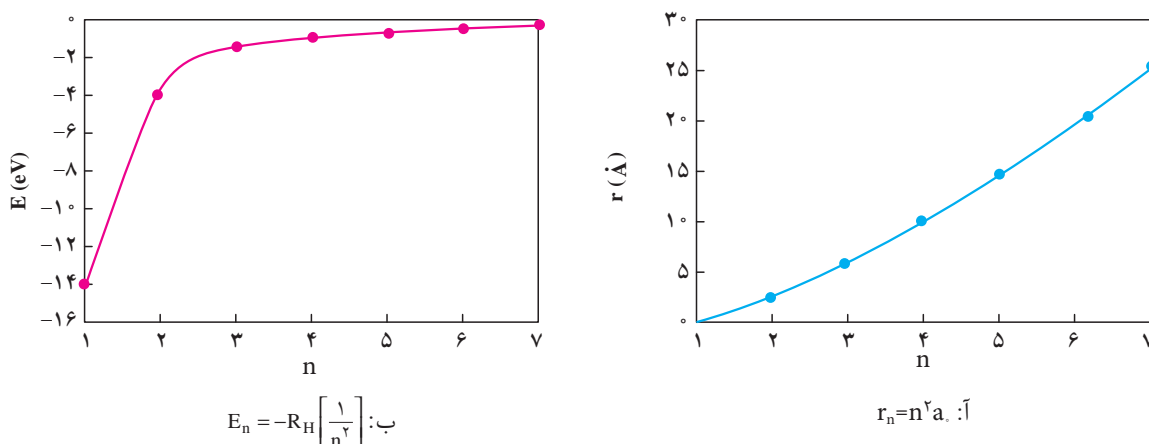
می گیرد و از میدان جاذبه هسته

خارج می شود، برهم کنشی با آن

ندارد و انرژی پتانسیل برابر با صفر

خواهد شد.

بور به  $n^2$  بستگی دارد. بنابراین، با افزایش  $n$ ، شعاع بور به سرعت افزایش می‌یابد. شکل ۲۹ نمودارهای شعاع و انرژی الکترون در اتم هیدروژن را برحسب  $n$  نشان می‌دهد.



شکل ۲۹. نمودار تغییرات (آ) شعاع تراز ب) انرژی الکترون اتم هیدروژن در نظریه بور

با استفاده از نظریه بور می‌توان طیف خطی اتم هیدروژن را تفسیر کرد. انرژی تابشی جذب شده به وسیله اتم سبب می‌شود که الکترون از حالتی با انرژی کمتر ( $n$  کوچک‌تر) به حالتی با انرژی بیشتر ( $n$  بزرگ‌تر) منتقل شود. برعکس، هنگامی که الکترون از یک حالت پرانرژی‌تر به یک حالت کم‌انرژی‌تر می‌رود، انرژی تابشی (به شکل فوتون) نشر می‌شود.

حرکت کوانتیده الکترون از یک حالت انرژی به حالت دیگر، مشابه حرکت یک توپ تنیس به سمت بالا یا پایین در یک پلکان است. توپ می‌تواند روی هر یک از پله‌ها باشد، اما هرگز بین پله‌ها قرار نمی‌گیرد. حرکت از پله پایین‌تر به پله بالاتر نیازمند صرف انرژی است، اما حرکت در جهت عکس، انرژی آزاد می‌کند. مقدار انرژی مبادله شده در یک حرکت به فاصله بین پله‌های مبدأ و مقصد بستگی دارد. به طور مشابه، در مدل اتمی بور نیز مقدار انرژی لازم برای جابه‌جایی الکترون به اختلاف انرژی بین حالت‌های اولیه و نهایی بستگی دارد.

برای اعمال معادله (۲۴) به فرایند نشر در اتم هیدروژن، فرض می‌کنیم که الکترون در ابتدا در یک حالت برانگیخته با عدد کوانتومی اصلی  $n_i$  است. در فرایند نشر، الکترون به یک حالت کم‌انرژی‌تر با عدد کوانتومی اصلی  $n_f$  سقوط می‌کند. این حالت کم‌انرژی‌تر، ممکن است یک حالت برانگیخته دیگر یا حالت پایه باشد. اختلاف انرژی بین حالت‌های نهایی و اولیه عبارت است از:

$$\Delta E = E_f - E_i \quad (25)$$

با استفاده از معادله (۲۴) داریم:

$$E_i = -R_H \left( \frac{1}{n_i^2} \right) \quad \text{و} \quad E_f = -R_H \left( \frac{1}{n_f^2} \right)$$

بنابراین:

$$= R_H \left( \frac{1}{n_i^2} \right) - \left( \frac{1}{n_f^2} \right) \quad (۲۶)$$

از آن جا که این انتقال به نشر یک فوتون با فرکانس  $\nu$  یا انرژی  $h\nu$  منجر می شود

(شکل ۲۶)، می توان نوشت:

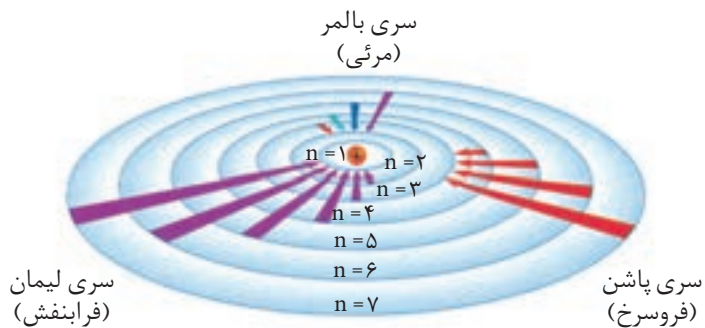
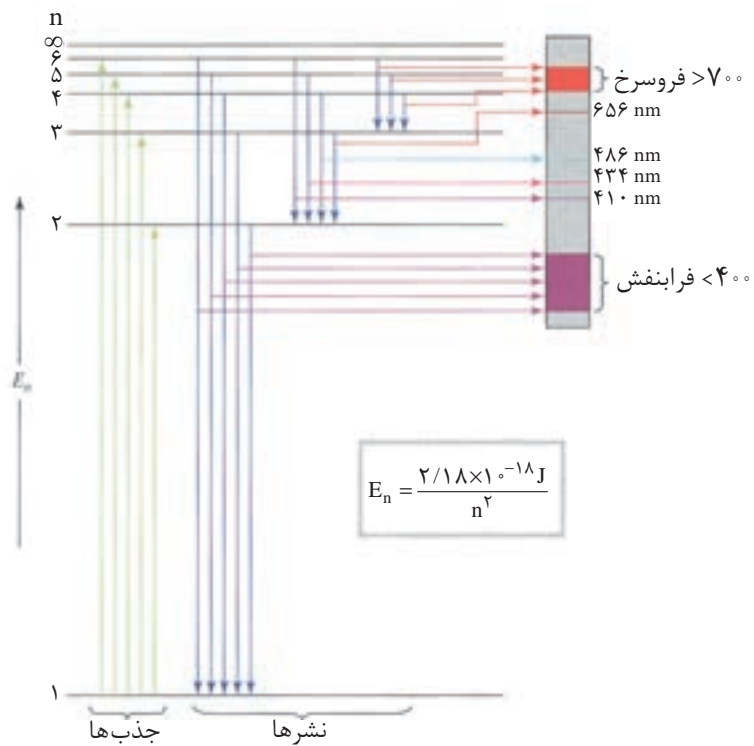
$$\Delta E = h\nu = R_H \left( \frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right) \quad (۲۷)$$

هنگامی یک فوتون نشر می شود که  $n_i > n_f$  باشد. بنابراین، جمله درون پرانتز منفی و  $\Delta E$  نیز منفی است (انرژی در محیط آزاد می شود). هنگامی انرژی جذب می شود که  $n_i < n_f$  باشد. در این صورت  $\Delta E$  مثبت است. هر خط طیفی در طیف نشری با یک انتقال خاص در اتم هیدروژن متناظر است. هنگام مطالعه تعداد زیادی از اتم های هیدروژن همه انتقال های ممکن، مشاهده شده و بنابراین همه خطوط طیفی نیز ظاهر می شوند. شدت روشنی خطوط طیفی به تعداد الکترون های نشر شده با طول موج معین بستگی دارد.

طیف نشری هیدروژن دارای محدوده وسیعی از طول موج ها از فروسرخ تا فرابنفش است (جدول ۳). هر مجموعه براساس کاشف آن نام گذاری شده است. مطالعه سری بالمر ساده تر است؛ زیرا تعدادی از خطوط طیفی آن در محدوده مرئی قرار دارد (شکل ۳۰).

جدول ۳. سری های مختلف در طیف نشری اتم هیدروژن

سری	$n_f$	$n_i$	ناحیه طیفی
لیمان	۱	۲، ۳، ۴، ...	فرابنفش
بالمر	۲	۳، ۴، ۵، ...	مرئی و فرابنفش
پاشن	۳	۴، ۵، ۶، ...	فروسرخ
براکت	۴	۵، ۶، ۷، ...	فروسرخ

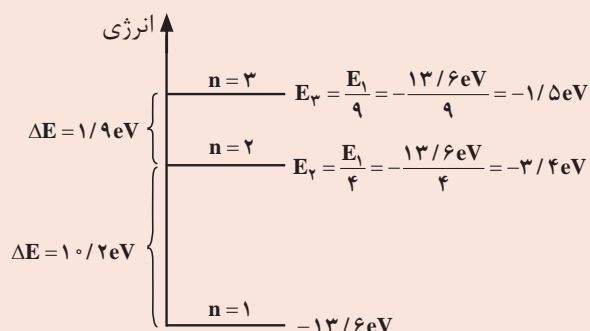


شکل ۳۰. طیف نشری هیدروژن براساس مدل بور

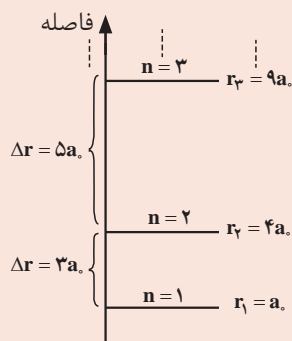
مدل بور با وجود موفقیت در توجیه خطوط طیفی اتم هیدروژن، محدودیت‌هایی نیز دارد. این مدل اساساً مدلی تک‌الکترونی است و فقط برای اتم هیدروژن و دیگر گونه‌های هیدروژن - مانند ( $\text{He}^+$ ,  $\text{Li}^{2+}$ ,  $\text{Be}^{3+}$ ,  $\text{B}^{4+}$ ,  $\text{C}^{5+}$ ,  $\text{N}^{6+}$  و  $\text{O}^{7+}$  ...) که یک الکترون دارند، رضایت‌بخش است. برای گونه‌هایی که بیش از یک الکترون دارند، افزون بر جاذبه‌های هسته - الکترون، دافعه‌های الکترون - الکترون اضافی نیز وجود دارد که استفاده از مدل بور را ناممکن می‌کنند. افزون بر آن، مدل اتمی بور قادر به توجیه شدت خطوط طیفی و ظهور خطوط طیفی اضافی در حضور میدان‌های مغناطیسی همچنین چگونگی تشکیل مولکول‌ها از اتم‌ها نیست. با این که نظریه بور به عنوان یک توصیف دقیق و علمی از اتم،

نادرست است اما هنوز هم از عباراتی نظیر حالت پایه و حالت برانگیخته استفاده می‌شود و ایده اصلی مدل بور یعنی کوانتیده بودن انرژی یک اتم، همچنان معتبر است.

انرژی هر تراز با تفاوت انرژی میان ترازها، همچنین فاصله هر تراز تا هسته با فاصله میان ترازها، متفاوت است. این ویژگی‌ها در نمودارهای زیر آمده است.



\* با افزایش  $n$ ، به تدریج  $E_n$  بزرگتر و  $\Delta E$  برای دو تراز متوالی کوچکتر می‌شود.



\* با افزایش  $n$ ، به تدریج  $r_n$  بزرگتر و  $\Delta r$  نیز بزرگتر می‌شود.