

## ساختار اتم



آیا تا به حال شب هنگام و در سکوت تفکر برانگیز آن به آسمان، ماه و ستارگان چشم دوخته‌اید؟ شاید با این نگاه، این پرسش‌ها که «جهان چگونه به وجود آمده است؟»، «ما در کجای این جهان بی انتها قرار داریم؟» و «آیا جای دیگری در این گیتی هست که مانند زمین، زندگی در آن میسر باشد؟» به ذهن شما راه یابد و یافتن پاسخ آنها دغدغه وجودتان شود. دغدغه‌ای که هزاران سال انسان متفکر را به خود مشغول کرده است. دغدغه‌ای که کلید کشف اسرار آفرینش است و انسان را ناخودآگاه به درنگ و تأمل در آن وادار می‌کند. شاید یکی از راه‌های یافتن پاسخی قانع‌کننده برای همه این پرسش‌ها، مطالعه و بررسی عنصرهای سازنده جهان باشد. مطالعاتی که دانش شیمی نقش بسیار مهمی در آن دارد.



اکسیژن، سیلیسیم، آلومینیم، آهن، کلسیم، سدیم، پتاسیم و منیزیم به ترتیب هشت عنصر فراوان در پوسته زمین هستند. نهمین عنصر فراوان که کمتر از یک درصد از عنصرهای سازنده پوسته زمین را تشکیل می‌دهد، هیدروژن است. این درحالی است که در کل هستی ۹۲ درصد از اتم‌های موجود را اتم‌های هیدروژن تشکیل می‌دهند. از هشت درصد باقیمانده هفت درصد به اتم‌های هلیوم و تنها یک درصد به اتم دیگر عنصرها تعلق می‌گیرد. از این داده‌ها می‌توان چنین نتیجه گرفت که زمین از عنصرهایی غنی شده است که در ساختار جهان هستی سهم بسیار اندکی دارند. اکنون این پرسش به ذهن می‌آید که «چرا و چگونه این عنصرها در گیتی تا این اندازه ناهمگون توزیع شده‌اند؟»

دلیل این توزیع ناهمگون را باید در هنگام تولد جهان و پس از آن، پیدایش زمین جست و جو کرد. دانشمندان بر این باورند که جهان حدود ۱۵ میلیارد سال پیش بر اثر یک انفجار بزرگ به وجود آمده است. یعنی هنگامی که یک توده بسیار متراکم و به شدت داغ ساخته شده از ذره‌های بنیادی بر اثر یک نیروی غیرقابل تصور، از هم پاشیده است. در این انفجار بزرگ اتم‌های هیدروژن، نخستین اتم‌هایی بوده‌اند که به هستی پاناده‌اند. هزاران میلیون سال بعد، آن‌هم در برخی نقاط کیهان، از گردهمایی و فشرده‌شدن تدریجی اتم‌های هیدروژن ستاره‌ها متولد شدند. ستارگانی که هر روز گرم‌تر می‌شدند و در دمای بسیار بالای آنها، ابتدا شرایط برای تشکیل اتم‌های هلیوم و سپس برای تولید عنصرهای سبک بعدی مهیا می‌شد. در این مسیر، گاه ستاره‌ای بسیار چگال‌تر و بسیار گرم‌تر می‌شد و مکانی برای تشکیل عنصرهای سنگین فراهم می‌آورد. این ستارگان جرمی بسیار بیشتر از خورشید داشتند و پس از چند میلیون سال نورافشانی و گرماپاشی، پایداری خود را از دست داده با انفجاری مهیب متلاشی می‌شدند. به این ترتیب اتم‌های سنگین تولید شده بر اثر این انفجار در سرتاسر گیتی پراکنده شدند. این عنصرهای سنگین ماده اولیه مورد نیاز برای تولد دومین نسل از ستارگانی را فراهم آوردند که تصور می‌شود سامانه خورشیدی حدود ۴/۵ میلیارد سال پیش از ستاره‌ای متعلق به همین نسل به وجود آمده باشد. ستاره غول‌آسایی که پس از فروپاشی، عمده ویژگی‌های خود را در ستاره کوچک و جوانی چون خورشید به امانت گذاشت و زمین که قطعه بسیار کوچکی از آن بود، تنها حدود ۹۰ عنصر سبک و سنگین ساخته شده در آن ستاره را به ارث برد. ضمن آن‌که در هسته به شدت داغ خود نیز اندکی از گرمای آن ستاره مادر را به یادگار نگاه داشته است.

## مطالعه ساختار ماده، تلاشی به قدمت تاریخ

مطالعه روی عنصرها به حدود ۲۵۰۰ سال پیش برمی‌گردد. زمانی که تالس فیلسوف یونانی آب را عنصر اصلی سازنده جهان هستی می‌دانست. دویست سال پس از او ارسطو سه عنصر هوا، خاک و آتش را به عنصر پیشنهادی تالس افزود و این چهار عنصر را عنصرهای سازنده کاینات اعلام کرد. این دیدگاه تا دو هزار سال بعد نیز مورد پذیرش بود تا این که در سال ۱۶۶۱ میلادی رابرت بویل دانشمند انگلیسی با انتشار کتابی با عنوان شیمی‌دان شکاک مفهوم تازه‌ای از عنصر را معرفی کرد. وی در این کتاب ضمن معرفی

عنصر به عنوان ماده‌ای که نمی‌توان آن را به مواد ساده‌تری تبدیل کرد، شیمی را علمی تجربی نامید و از دانشمندان خواست که افزون بر مشاهده کردن، اندیشیدن و نتیجه‌گیری کردن که هر سه ابزار یونانیان در مطالعه طبیعت بود، به پژوهش‌های عملی نیز اقدام کنند. توصیه او مورد توجه قرار گرفت و در سال ۱۸۰۳ جان دالتون شیمی‌دان انگلیسی با نظریه اتمی خود گام مهمی برای مطالعه ماده و ساختار آن برداشت.

دالتون با استفاده از واژه یونانی اتم که به معنای تجزیه ناپذیر است، ذره‌های سازنده عناصر را توضیح داد. این دیدگاه که همه مواد از ذره‌های کوچک و تجزیه ناپذیری به نام اتم ساخته شده‌اند، نخستین بار ۲۵۰۰ سال پیش توسط دموکریت فیلسوف یونانی مطرح شده بود، اما دالتون با اجرای آزمایش‌های بسیار از نو به آن دست یافت. وی نظریه اتمی خود را در هفت بند و به شرح زیر بیان کرد:



جان دالتون  
(۱۷۶۶-۱۸۴۴)

- ۱- ماده از ذره‌های تجزیه‌ناپذیری به نام اتم ساخته شده است.
- ۲- همه اتم‌های یک عنصر مشابه یکدیگرند.
- ۳- اتم‌ها نه به وجود می‌آیند و نه از بین می‌روند.
- ۴- اتم عناصر مختلف جرم و خواص شیمیایی متفاوتی دارند.
- ۵- اتم عناصر مختلف به هم متصل می‌شوند و مولکول‌ها را به وجود می‌آورند.
- ۶- در هر مولکول از یک ترکیب معین، همواره نوع و تعداد نسبی اتم‌های سازنده آن یکسان است.

۷- واکنش‌های شیمیایی شامل جابه‌جایی اتم‌ها یا تغییر در شیوه اتصال آنها در مولکول‌هاست. در این واکنش‌ها اتم‌ها خود تغییری نمی‌کنند.

اگر چه امروز می‌دانیم که اتم‌ها خود از ذره‌های کوچک‌تری (ذره‌های زیر اتمی) ساخته شده‌اند و همه آن ویژگی‌هایی را ندارند که دالتون برای آنها برشمرده بود ولی هنوز هم باور داریم که اتم کوچک‌ترین ذره یک عنصر است که خواص شیمیایی و فیزیکی عنصر یادشده به ویژگی‌های آن بستگی دارد. به هر حال نظریه اتمی دالتون علی‌رغم نارسایی‌ها و ایرادهایی که داشت به نقطه آغازی برای مطالعه دقیق‌تر و عمیق‌تر ساختار و رفتار (خواص) ماده تبدیل شد.

### الکترون نخستین ذره زیر اتمی شناخته شده

شاید بتوان گفت که اجرای آزمایش‌های بسیاری با الکتریسیته، مقدمه‌ای برای شناخت ساختار درونی اتم بوده است. در آغاز قرن نوزدهم میلادی، پس از کشف الکتریسیته ساکن یا مالشی، به این نکته پی برده شد که بارهای الکتریکی مثبت یا منفی ایجاد شده به هنگام مالیدن یک جسم روی جسم دیگر، از جایی نمی‌آیند و پیدایش آنها به خود ماده و شاید به اتم‌های سازنده آن مربوط می‌شود.



مایکل فارادی دانشمند معروف انگلیسی مشاهده کرد که به هنگام عبور جریان برق از درون محلول یک ترکیب شیمیایی فلزدار - روشی که به آن برقکافت می‌گویند - یک واکنش شیمیایی در آن به‌وقوع می‌پیوندد. فیزیک‌دان‌ها برای توجیه این مشاهده‌ها برای الکتریسته ذره‌ای بنیادی پیشنهاد کردند و آن را **الکترون** نامیدند. اما، در آن زمان به وجود رابطه‌ای میان اتم و الکترون پی برده نشد.



مایکل فارادی  
(۱۸۶۷-۱۷۹۱)

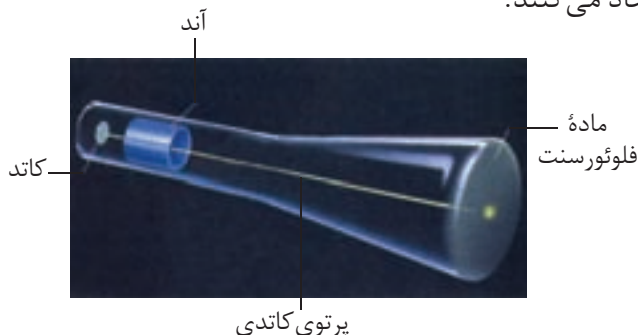


برقکافت، یک واکنش شیمیایی است که با عبور جریان برق از درون یک محلول به‌وقوع می‌پیوندد. اجرای چنین آزمایش‌هایی توسط فارادی در قرن ۱۹ به کشف الکترون منجر شد. این تصویر، برقکافت محلول قلع (II) کلرید در آب را نشان می‌دهد.

جورج استونی فیزیک‌دان ایرلندی در سال ۱۸۹۱ ذره‌های حمل‌کنندهٔ جریان برق را **الکترون** نامید.

### همچون دانشمندان

لولهٔ پرتوی کاتدی لوله‌ای شیشه‌ای است که تقریباً همهٔ هوای درون آن به‌کمک پمپ خلأ خارج شده است. در دو انتهای این لوله یک قطعه فلز نصب شده است که به آن **الکتروود** می‌گویند. هنگامی که یک ولتاژ بسیار قوی بین این دو الکتروود اعمال شود، پرتوهایی از الکتروود منفی (کاتد) به سمت الکتروود مثبت (آند) جریان می‌یابد. بنابراین به آنها **پرتوهای کاتدی** می‌گویند. این پرتوها بر اثر برخورد با یک مادهٔ فلوئورسنت، نور سبزرنگی ایجاد می‌کنند.



فلوئورسنت به ماده‌ای با خاصیت فلوئورسانس گفته می‌شود. فلوئورسانس از جمله خواص فیزیکی برخی مواد شیمیایی است. مواد دارای این خاصیت نور با طول موج (رنگ) اگر طول موج در ناحیهٔ مرئی باشد) معینی را جذب می‌کنند و به‌جای آن نور با طول موج بلندتری را منتشر می‌سازند. تابش این نور با قطع شدن منبع نور قطع می‌شود.

روی سولفید (ZnS) از جمله مهم‌ترین مواد فلوئورسنت است که در تولید لامپ تلویزیون و نمایشگرها کاربرد دارد.

تخلیه الکتریکی هنگامی رخ می‌دهد که بدون اتصال مستقیم بین دو جسم، الکترون‌ها از یکی به دیگری منتقل شود. شرط این جابه‌جایی اختلاف پتانسیل بالا است.

با دقت به شکل‌های صفحهٔ بعد نگاه کنید. هر شکل یکی از آزمایش‌های جوزف تامسون فیزیک‌دان انگلیسی روی لولهٔ پرتوی کاتدی را نشان می‌دهد. او که یکی از پیشگامان مطالعهٔ ساختار اتم بوده است، پس از اجرای آزمایش‌های بسیاری سرانجام موفق شد نسبت بار به جرم الکترون را اندازه‌گیری کند. در زیر این شکل‌ها سه نتیجه‌گیری مهم تامسون



جوزف تامسون  
(۱۸۵۶-۱۹۴۰)



(آ) لوله دارای اندکی هوا است.



(ب) لوله دارای اندکی گاز هیدروژن است.



(پ) کاتد از آهن به مس تغییر یافته است.



(ت) میدان الکتریکی در بیرون از لوله برقرار شده است.

تامسون نسبت بار به  
جرم ( $e/m$ ) الکترون را  
 $1.76 \times 10^{-8} \text{ C/g}$  محاسبه  
کرد.

C نمادی برای نمایش  
کولن، یکای SI برای بار  
الکتریکی است.

آورده شده است. به نظر شما تامسون از چه مشاهدیهایی به هر یک از این نتیجه‌گیری‌ها دست یافته است؟ پاسخ خود را شرح دهید.

- ۱- پرتوهای کاتدی به خط راست حرکت می‌کنند.
- ۲- پرتوهای کاتدی دارای بار الکتریکی منفی هستند.
- ۳- همهٔ مواد دارای الکترون هستند.

## جست‌وجو کنید

در یک فعالیت گروهی تحقیق کنید که پرتوی کاتدی چه کاربردهایی دارد. گزارش این فعالیت را به صورت یک روزنامهٔ دیواری به کلاس ارائه دهید.

پس از موفقیت تامسون در اندازه‌گیری نسبت بار به جرم الکترون، در سال ۱۹۰۹ رابرت میلیکان فیزیک‌دان آمریکایی موفق شد مقدار بار الکتریکی الکترون را اندازه بگیرد. به این ترتیب جرم الکترون نیز با کمک نسبت به دست آمده توسط تامسون محاسبه شد. مقدار پذیرفته شده برای بار و جرم الکترون به ترتیب  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  و  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  است.

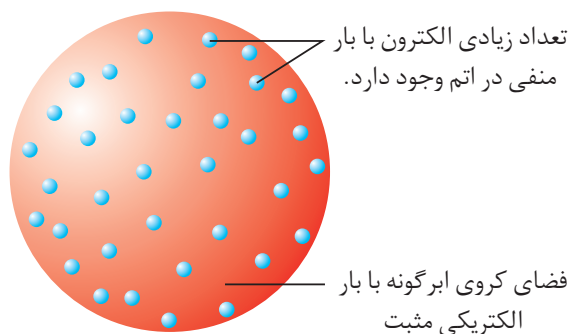
جوزف تامسون به کمک آزمایش‌های خود ضمن اثبات وجود الکترون در اتم و معرفی الکترون به عنوان یک ذرهٔ زیر اتمی، موفق شد ساختاری برای اتم پیشنهاد کند، شکل ۱.

وی ویژگی‌های اتم خود را این چنین برشمرد.

- ۱- الکترون‌ها که ذره‌هایی به بار منفی هستند درون فضای کروی ابرگونه‌ای با بار الکتریکی مثبت، پراکنده شده‌اند.
- ۲- اتم در مجموع خنثی است، بنابراین مقدار بار مثبت فضای کروی ابرگونه با مجموع بار منفی الکترون‌ها برابر است.

۳- این ابرکروی مثبت، جرمی ندارد و جرم اتم به تعداد الکترون‌های آن بستگی دارد.

۴- جرم زیاد اتم از وجود تعداد بسیار زیادی الکترون در آن ناشی می‌شود.



شکل ۱ مدل اتمی تامسون

از مدل اتمی تامسون با نام‌هایی چون مدل کیک کشمش‌ی یا مدل هندوانه‌ای نیز یاد می‌شود.

## پرتوزایی

در حالی که تامسون در آزمایشگاه خود در شهر کمبریج انگلستان روی پرتوهای کاتدی مطالعه می‌کرد، هم‌زمان کشف بسیار مهمی در فرانسه به‌وقوع پیوست. در سال ۱۸۹۶ هانری بکرل فیزیک‌دانی که روی خاصیت فسفرسانس مواد شیمیایی کار می‌کرد به‌طور تصادفی با پدیده‌ی جالبی روبه‌رو شد.

## فکر کنید

متن زیر چگونگی کشف بزرگ هانری بکرل را در قالب داستانی کوتاه بیان می‌کند. بادقت آن را بخوانید و سپس به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.

هانری سومین نسل از یک خانواده‌ی دانشمند پرور فرانسوی بود. او که افزون بر عشق به کسب دانش، سنگ‌های معدنی و ترکیب‌های شیمیایی آزمایشگاه پدرش ادموند را نیز به‌ارث برده بود، با علاقه‌مندی کار پدرش روی پدیده‌ی فلوتورسانس و فسفرسانس را ادامه داد. در آن زمان هانری با خواندن مقاله‌ای در مورد شیوه‌ی تولید پرتوهای X که به‌تازگی توسط رونتگن کشف شده بود، در این اندیشه فرو رفت که شاید مواد دارای خاصیت فلوتورسانس یا فسفرسانس نیز در هنگام نورافشانی چنین پرتوی مرموزی را تابش می‌کنند. از این رو بر آن شد که ترکیب‌هایی برگزیند و در این باره به تحقیق بپردازد. او برای این کار بلورهای ماده‌ای را برای مدتی در برابر نور خورشید قرار می‌داد و بی‌درنگ در محیطی تاریک روی یک فیلم خام عکاسی می‌گذاشت که درون یک پاکت کاغذی تیره بود. پس از چند دقیقه فیلم را برداشته، ظاهر می‌کرد و از روی میزان وضوح تصویر، شدت تابش آن ماده را اندازه می‌گرفت.

روز چهارشنبه ۲۶ فوریه سال ۱۸۹۶ هانری در ادامه‌ی آزمایش‌هایش روی فسفرسانس طبیعی



هانری بکرل  
(۱۸۵۲-۱۹۰۸)



ترکیب‌های اورانیم دار پدرش، دو قطعه از بلورهای یکی از این ترکیب‌ها را برداشت و همهٔ وسایل کار خود را آماده کرد. اما، از آنجا که هوای شهر پاریس کاملاً آبری بود، از انجام آزمایش چشم‌پوشی کرد و دو قطعه بلور را همراه با فیلم خام عکاسی در کشوی میز خود گذاشت و چند ساعتی به مطالعه پرداخت. عصر نیز زودتر از همیشه آزمایشگاه را به قصد خانه ترک کرد. وضعیت هوا چند روزی به همین منوال بود و تعطیلات آخر هفته نیز کار را بیشتر به تعویق انداخت.

بامداد روز دوشنبه اول مارس هنگامی که هانری به آزمایشگاه خود پا نهاد، یک باره به یاد بلورهای درون کشوی میز خود افتاد. با عجله سراغ آنها رفت و تصمیم گرفت فیلم درون کشور را ظاهر کند. او با کنجکاو فیلم را به تاریک‌خانه برد و آن را در محلول ظهور عکس قرار داد. پس از چند دقیقه هیجان‌زده از تاریک‌خانه بیرون آمد، پشت میز کار خود نشست و عبارت‌های زیر را یادداشت کرد:

«دوشنبه اول مارس ساعت ۹/۴؛ نتیجهٔ آزمایش روی نمونهٔ شمارهٔ سیزده: با این که آزمایش‌هایم روی مواد فسفرسانس نشان داده بود که همواره وضوح تصویر پس از چند ثانیه به شدت کاهش می‌یابد، اما در این آزمایش برخلاف انتظارم پس از این مدت حضور در تاریکی ایجاد تصویری با این وضوح شگفت‌انگیز به نظر می‌رسد. نمی‌دانم چرا؟ اما فکر می‌کنم که پدیدهٔ تازه‌ای را کشف کرده‌ام.»



فیلم عکاسی بکرل پس از ظهور، دو قطعه بلور آفتاب ندیدهٔ بکرل به وضوح دیده می‌شوند.

- ۱- هانری مشاهدهٔ یاد شده را چگونه تفسیر کرد که آن را کشف پدیده‌ای تازه نام نهاد؟
- ۲- آیا مشاهدهٔ یاد شده برای این نتیجه‌گیری کافی به نظر می‌رسد؟ چرا؟
- ۳- برای افزایش اطمینان به این نتیجه‌گیری چه پیشنهادی به هانری دارید؟

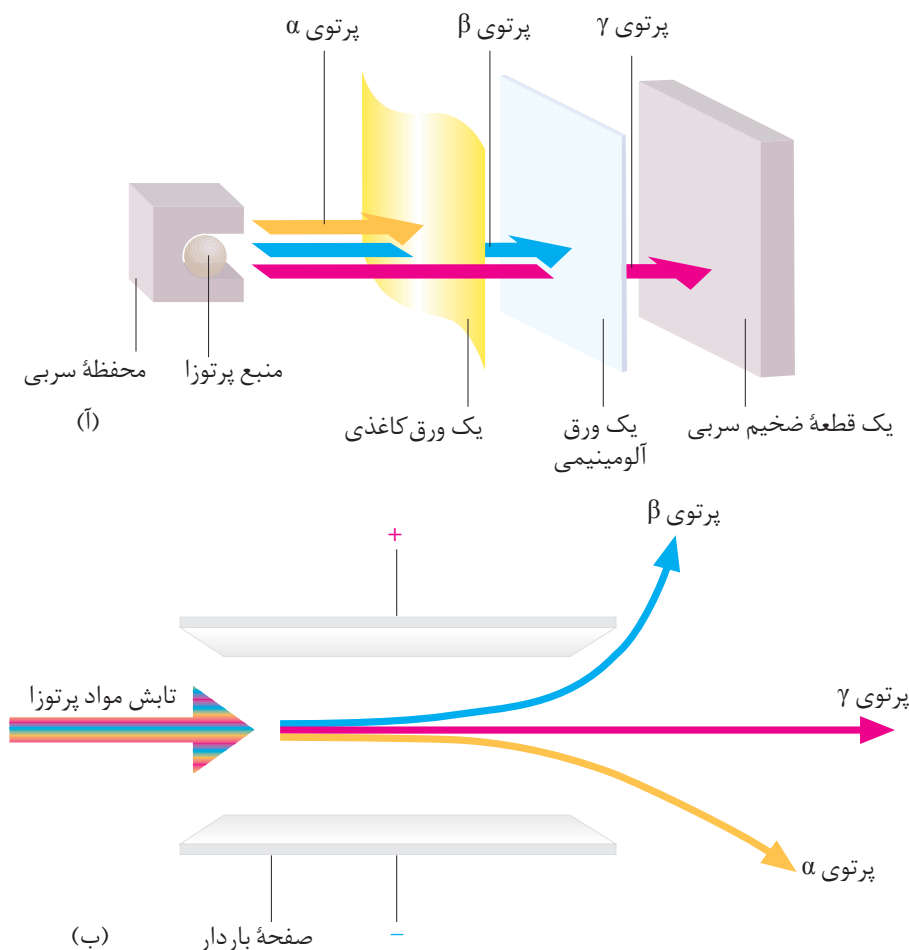


ارنست رادرفورد  
(۱۸۷۱-۱۹۳۷)

بکرل به‌طور تصادفی به خاصیت مهمی پی برده بود که ماری کوری دانشمند معروف لهستانی آن را پرتوزایی و مواد دارای این خاصیت را **پرتوزا** نام نهاده است. ارنست رادرفورد همکار نیوزلندی جوزف تامسون نیز به این موضوع علاقه‌مند شد و پس از سال‌ها تلاش فهمید، تابشی که بکرل نخستین بار به‌وجود آن پی برده بود، خود ترکیبی از سه نوع تابش مختلف است.

## مشاهده کنید

با دقت به شکل‌های زیر نگاه کنید و سپس به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.



۱- کدام تابش قدرت کمتری برای نفوذ در اجسام دارد؟ چه مشاهد‌های شما را به

این نتیجه‌گیری رسانده است؟

۲- رادرفورد نشان داد که یکی از تابش‌ها، جریانی از ذره‌های بارداری است که جرم آنها چهار برابر جرم اتم هیدروژن است. در ضمن، تابش دیگر همانند پرتوهای کاتدی جریانی از الکترون‌های پرانرژی است. این دو تابش را روی هر دو شکل مشخص کنید.

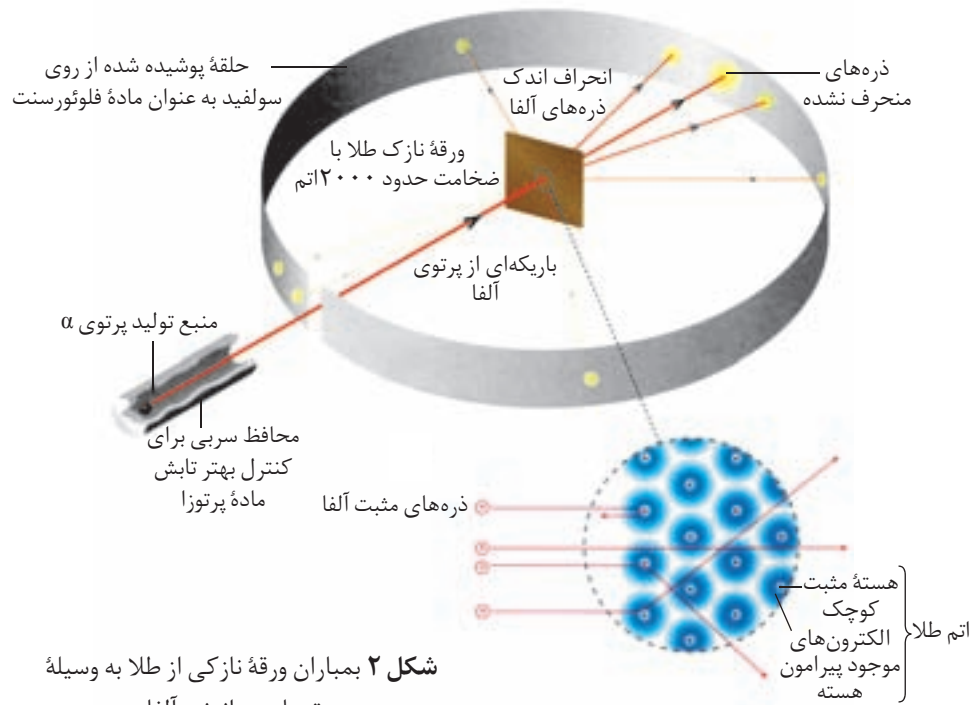
۳- کدام تابش نشان داده شده، بار الکتریکی ندارد و خنثی است؟

۴- تجربه نشان می‌دهد که پدیده پرتوزایی با کاهش جرم ماده پرتوزا همراه است. آیا این مشاهده با دیدگاه دالتون درباره اتم همخوانی دارد؟ شرح دهید.

رادرفورد نتوانست تشکیل تابش‌های حاصل از مواد پرتوزا را به کمک مدل اتمی تامسون توجیه کند. از این رو در درستی این مدل تردید کرد. وی در سال ۱۹۱۰ برای



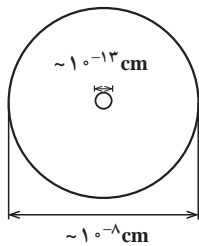
شناسایی دقیق‌تر ساختار اتم آزمایش جالبی را طراحی و اجرا کرد. او در این آزمایش، شکل ۲، ورقه نازکی از طلا را با ذره‌های آلفا بمباران کرد، به امید آن که همه ذره‌های پراثری و سنگین آلفا که دارای بار مثبت نیز هستند با کمترین میزان انحراف از این ورقه نازک عبور کنند. (چرا؟) اما آزمایش نتایج دیگری داشت.



شکل ۲ بمباران ورقه نازکی از طلا به وسیله پرتوهای پراثری آلفا

رادرفورد از نتایج این آزمایش شگف زده شد و گفت: «بازگشت ذره‌های آلفا با زاویه‌ای نزدیک به  $180^\circ$  واقعاً باور نکردنی است. مانند این است که شما یک گلوله توپ را به سمت یک دستمال کاغذی پرتاب کنید و آن گلوله به عقب برگردد و با شما برخورد کند!»

رادرفورد به کمک مشاهده‌های خود توانست قطر اتم طلا و قطر هسته آن را به طور تقریبی محاسبه کند.



ابعاد تقریبی یک اتم طلا و هسته آن

## فکر کنید

رادرفورد با استفاده از نتایج آزمایش خود، شکل ۲، مدل دیگری برای اتم پیشنهاد کرد که مدل اتم هسته‌دار نامیده شد. مشاهده‌ها و نتیجه‌گیری‌های رادرفورد که به ارایه این مدل انجامید در زیر آمده است. او از کدام مشاهده کدام نتیجه‌گیری را کرده است؟ شرح دهید.

مشاهده	نتیجه‌گیری
* بیشتر ذره‌های آلفا بدون انحراف و در مسیری مستقیم از ورقه نازک طلا عبور کردند.	* اتم طلا هسته‌ای بسیار کوچک با جرم بسیار زیاد دارد.
* تعداد زیادی از ذره‌های آلفا با زاویه اندکی از مسیر اولیه منحرف شدند.	* یک میدان الکتریکی قوی در اتم وجود دارد.
* تعداد بسیار اندکی از ذره‌های آلفا (حدود یک از بیست هزار) با زاویه‌ای بیش از $90^\circ$ از مسیر اولیه منحرف شدند.	* بیشتر حجم اتم را فضای خالی تشکیل می‌دهد.

ماری کوری شیمی‌دان مشهور لهستانی در سال ۱۸۶۷ در ورشو زاده شد. پدرش معلم فیزیک بود. ماری به دلیل شرایط نامساعد مالی خانواده‌اش به دشواری دوران تحصیل ابتدایی را پشت‌سر گذاشت و سپس به‌ناچار در روستایی به‌عنوان معلم مشغول به کار شد. پس از آن در رشته‌های فیزیک و ریاضی به ادامه تحصیل پرداخت. در سال ۱۸۹۱ برای تحصیل در دانشگاه سوربون، به پاریس رفت و در آن‌جا با پی‌یرکوری، فیزیک‌دان فرانسوی آشنا شد و با وی ازدواج کرد.

ماری و پی‌یر، همراه با هانری بکرل روی نمک‌های اورانیم کار می‌کردند. آنها در خلال سال‌های ۱۸۹۲ و ۱۸۹۴ در انبار متروکی که توسط رییس دانشکده پزشکی سوربون برای زندگی به آنها داده شده بود، با وسایل و امکانات اندک بررسی‌های خود را روی نوعی از سنگ‌های معدنی به نام پیچبلاند ادامه دادند و سرانجام در سال ۱۸۹۸ توانستند دو عنصر پرتوزا را از این سنگ‌ها به‌دست آورند، عنصرهایی که رادیم و پولونیم نامیده شدند. اگرچه برای به‌دست آوردن چند میلی‌گرم از این عناصر، به چندین تن سنگ معدن پیچبلاند نیاز بود، اما در سال ۱۹۰۲، ماری و پی‌یر با همکاری بکرل توانستند از یک دسی‌گرم رادیم کلرید، رادیم خالص را به‌دست آورند. مادام کوری و همسرش پی‌یرکوری نشان دادند که واکنش‌های شیمیایی توانایی مواد پرتوزا را به نشر پرتوهای پرانرژی تغییر نمی‌دهد. حتی گرم کردن آنها در یک قوس الکتریکی یا سرد کردن آنها در هوای مایع نیز بر این خاصیت بی‌اثر است. یک‌سال بعد، آنها به خاطر کشف عنصر رادیم و خاصیت پرتوزایی آن، جایزه نوبل در فیزیک را دریافت کردند.

سه سال پس از دریافت این جایزه، پی‌یر در سن ۴۶ سالگی در یک تصادف جان خود را از دست داد. با این حال ماری از تلاش دست برنداشت و در خلال سال‌های ۱۹۰۳ تا ۱۹۱۲، ۲۹ ایزوتوپ پرتوزایی دیگر را کشف کرد. در سال ۱۹۰۷، ماری موفق به اندازه‌گیری جرم اتمی رادیم شد و به‌خاطر این کار برای بار دوم جایزه نوبل سال ۱۹۱۱ را در شیمی، از آن خود ساخت.

با آغاز جنگ جهانی اول، ماری و دخترش ایرن که تنها ۱۷ سال داشت، بسیاری از مراکز درمانی فرانسه را به دستگاه‌های پرتوی X مجهز کردند. به کمک این دستگاه موقعیت گلوله‌ها در بدن سربازان زخمی، تعیین می‌شد و به این ترتیب، خارج کردن گلوله‌ها با عمل جراحی به‌راحتی انجام می‌گرفت.

در سال ۱۹۱۸، ماری و ایرن به ترتیب به عنوان رییس و معاون انجمن رادیم، که به تازگی تأسیس شده بود، برگزیده شدند و سال‌ها در این مقام باقی ماندند. ایرن نیز که با یک فیزیک‌دان انگلیسی به نام فردریک جولین ازدواج کرده بود، به همراه همسرش دست به بررسی‌هایی در زمینه شیمی هسته‌ای زد که به کشف یک ذره بنیادی تازه به نام پوزیترون انجامید. اما پیش از آن‌که ماری شاهد دریافت جایزه نوبل فیزیک توسط دخترش باشد، در سال ۱۹۳۴، به علت ابتلا به سرطان خون، درگذشت. سال بعد، ایرن جایزه نوبل فیزیک را دریافت کرد. در همین سال نیز، سیبورگ با استفاده از روش بمباران پلوتونیم ۲۳۹ با پرتوی آلفا، عنصری را به‌دست آورد که به افتخار ماری و پی‌یرکوری، و به پاس خدمات آنها به دانش بشری، کوریم (با عدد اتمی ۹۶) نام گرفت.

از گفته‌های ماری کوری است که :

«جهان امروز، از نداشتن دارویی به نام پرهیز و اخلاق رنج می‌برد.»



ماری کوری  
(۱۸۶۷-۱۹۳۴)  
و همسرش پی‌یرکوری  
(۱۸۵۹-۱۹۰۶)

## دیگر ذره‌های سازندهٔ اتم

آزمایش بعدی رادرفورد و همکارانش از دیگر اسرار اتم پرده برداشت و در سال ۱۹۱۹ دومین ذرهٔ سازندهٔ اتم نیز شناسایی شد. این ذره **پروتون** نام گرفت. پروتون ذره‌ای با بار الکتریکی مثبت است. بزرگی بار الکتریکی پروتون با بار الکترون برابر است و جرمی ۱۸۳۷ بار سنگین‌تر از جرم الکترون دارد. یک سال بعد، رادرفورد از وجود ذرهٔ دیگری در اتم سخن به میان آورد. وی گفت: «پروتون‌ها تنها ذرهٔ سازندهٔ هسته نیستند بلکه آزمایش‌های من نشان می‌دهد که در هستهٔ اتم باید ذرهٔ دیگری وجود داشته باشد که بار الکتریکی ندارد، اما جرم آن با جرم پروتون برابر است.» رادرفورد دوازده سال بر این نکته تأکید کرد، اما در جامعهٔ علمی آن روز کسی گفتهٔ او را بدون ارایهٔ شواهد آزمایشگاهی پذیرا نبود. سرانجام در سال ۱۹۳۲ یکی از دانشجویان پرتلاش و با ذکاوت او که جیمز چادویک نام داشت با طراحی آزمایشی هوشمندانه وجود این ذرهٔ خنثی را در اتم به اثبات رسانید. **نوترون** نامی بود که بر این ذرهٔ تازه کشف شده نهاده شد.



هنری موزلی  
(۱۸۸۷-۱۹۱۵)

پنج سال پیش از آن که رادرفورد از پروتون سخنی به میان آورد، هنری موزلی یکی از دانشجویان وی که روی تولید پرتوهای X مطالعه می‌کرد، به نتایج جالبی دست یافته بود. داده‌هایی که تفسیر آنها به کشف پروتون انجامید. رادرفورد با استفاده از این نتایج توانست مقدار بار مثبت هستهٔ برخی از اتم‌ها را تعیین کند.

وی مقادیر بار اندازه‌گیری شده را بر مقدار بار الکتریکی پروتون ( $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ ) تقسیم کرد. در نتیجه عددهای صحیحی به دست آمد که وی آن را **عدد اتمی** نامید. درواقع این عدد تعداد پروتون‌ها در اتم را مشخص می‌کند. عدد اتمی را با حرف Z نشان می‌دهند. از آن‌جا که اتم ذره‌ای خنثی است، بنابراین تعداد پروتون‌ها باید با تعداد الکترون‌ها برابر باشد. پس عدد اتمی تعداد الکترون‌ها در یک اتم را نیز مشخص می‌کند. رادرفورد بر این باور بود که عدد اتمی همهٔ اتم‌های یک عنصر، یکسان است. بنابراین می‌توان به کمک عدد اتمی نوع عنصر را معین کرد.

## عدد جرمی و ایزوتوپ‌ها

جرم اتم به تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های درون هستهٔ آن بستگی دارد و جرم الکترون‌ها حتی اگر اتم بیش از  $10^4$  الکترون هم داشته باشد، بر جرم اتم تأثیر چشم‌گیری نخواهد داشت. از این رو به مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های یک اتم **عدد جرمی** می‌گویند. A نمادی برای نمایش عدد جرمی است.

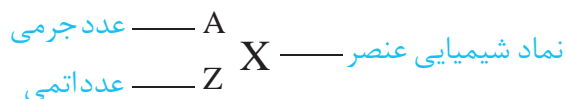
مطالعهٔ گستردهٔ او روی پرتوهای X تولید شده از عنصرهای مختلف زمینه‌ساز کشف پروتون به عنوان دومین ذرهٔ زیر اتمی شد. امروز از او به عنوان کشف‌کنندهٔ پروتون یاد می‌شود اگرچه استاد او رادرفورد با تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی موزلی به وجود پروتون پی برد.

به پروتون یا نوترون، نوکلئون (nucleon) یا ذرهٔ سازندهٔ هسته نیز می‌گویند.

تعداد نوترون‌ها + تعداد پروتون‌ها (عدد اتمی) = عدد جرمی

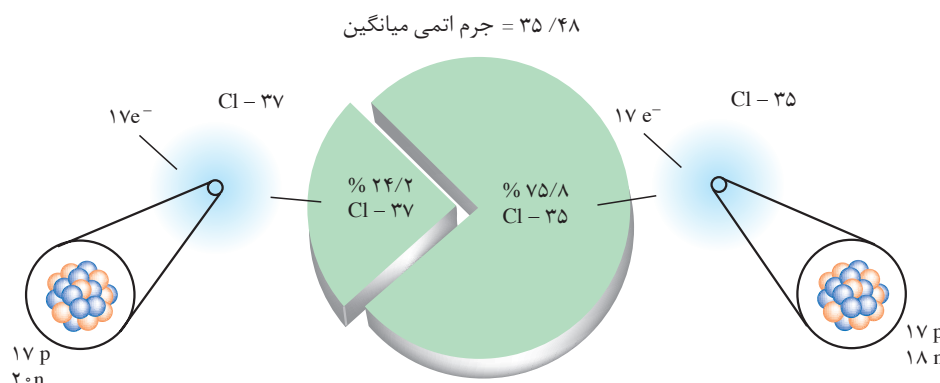
$$A = Z + N$$

شیمی‌دان‌ها برای هر اتم این اطلاعات را به طور خلاصه به صورت زیر می‌نویسند:



دانشمندان به کمک دستگاهی به نام طیف‌سنج جرمی جرم اتم‌ها را با دقت بسیار زیادی اندازه‌گیری می‌کنند. این اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که همه اتم‌های یک عنصر جرم یکسانی ندارند. از آن‌جا که عدد اتمی و درواقع تعداد پروتون‌ها در همه اتم‌های یک عنصر یکسان است، پس تفاوت جرم باید به تعداد نوترون‌های موجود در هسته اتم مربوط باشد. این مطالعات به معرفی مفهوم **ایزوتوپ** انجامید. در واقع، ایزوتوپ‌ها اتم‌های یک عنصر هستند که عدد اتمی یکسان و عدد جرمی متفاوت دارند. برای مثال آزمایش روی نمونه‌های طبیعی از گاز کلر وجود دو ایزوتوپ کلر -۳۵ ( $^{35}_{17}\text{Cl}$ ) و کلر -۳۷ ( $^{37}_{17}\text{Cl}$ ) را به اثبات رسانده است، شکل ۳.

غده تیروئید در جلوی گردن قرار دارد و هورمون‌های تیروئیدی ( $T_3$  و  $T_4$ ) را ترشح می‌کند. این غده برای ساختن این هورمون‌ها مقدار زیادی از ید موجود در مواد غذایی را در خود جمع می‌کند. از این‌رو رادیوایزوتوپ ید -۱۳۱ برای تشخیص بیماری‌های غده تیروئید به کار می‌رود.



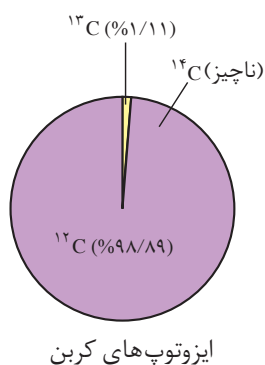
شکل ۳ ایزوتوپ‌های کلر

اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که فراوانی ایزوتوپ‌ها در طبیعت یکسان نیست. برخی فراوان‌تر و برخی کم‌یاب‌ترند. برای مثال از هر چهار اتم کلر موجود در طبیعت سه اتم  $^{35}_{17}\text{Cl}$  و یک اتم  $^{37}_{17}\text{Cl}$  است. به عبارت دیگر ۷۵/۸ درصد از اتم‌های کلر  $^{35}_{17}\text{Cl}$  و ۲۴/۲ درصد آنها را  $^{37}_{17}\text{Cl}$  تشکیل می‌دهد.

استفاده از نمک یددار در رژیم غذایی برای سالم ماندن غده تیروئید ضروری است.

## جرم یک اتم

شیمی‌دان‌ها در سده‌های ۱۸ و ۱۹ میلادی موفق شدند که به روش تجربی جرم اتم‌های بسیاری از عنصرهای شناخته شده تا آن زمان را به طور نسبی اندازه‌گیری کنند.



چنین آزمایش‌هایی نشان داد که برای مثال جرم یک اتم اکسیژن  $1/33$  برابر جرم یک اتم کربن و جرم یک اتم کلسیم  $2/5$  برابر جرم یک اتم اکسیژن است. استفاده از این نسبت‌ها در محاسبه‌های آزمایشگاهی کاری بس دشوار بود. از این رو، شیمی‌دان‌ها ناگزیر شدند جرم خاصی را به یک عنصر معین نسبت دهند و سپس به کمک نسبت‌های اندازه‌گیری شده، جرم عنصرهای دیگر را محاسبه کنند. سرانجام فراوان‌ترین ایزوتوپ کربن یعنی کربن  $^{12}\text{C}$  برای این منظور انتخاب شد. این اتم کربن در هسته خود ۶ پروتون و ۶ نوترون دارد. دانشمندان جرم این اتم را دقیقاً برابر  $12/000$  در نظر گرفتند. با این حساب اتم اکسیژن که جرمی معادل  $1/33$  برابر جرم اتم کربن دارد، در این مقیاس جرمی برابر  $16/000$  خواهد داشت. جرم اتم عنصرهای دیگر نیز به همین شیوه اندازه‌گیری شد. شیمی‌دان‌ها برای جرم یک اتم یا **جرم اتمی**،  $\text{amu}$  را که کوتاه شده عبارت atomic mass unit به معنای واحد جرم اتمی است، به عنوان یکای جرم اتمی معرفی کردند. یک  $\text{amu}$  برابر یک دوازدهم  $(\frac{1}{12})$  جرم اتم کربن  $^{12}\text{C}$  است. بنابراین در این مقیاس جرم اتم کربن  $^{12}\text{C}$  برابر  $12/000 \text{ amu}$  و جرم اتم اکسیژن  $16/000 \text{ amu}$  خواهد بود.

در این مقیاس جرم پروتون و نوترون تقریباً  $1 \text{ amu}$  است. در حالی که جرم الکترون تقریباً یک دویزدوم  $(\frac{1}{2})$  این مقدار است. در جدول ویژگی‌های این ذره‌های زیراتمی را مشاهده می‌کنید.

جدول ۱ برخی ویژگی‌های ذره‌های زیراتمی

نام ذره	نماد*	بار الکتریکی نسبی	جرم	
			g	amu
الکترون	${}_{-1}^0\text{e}$	-۱	$9/109 \times 10^{-28}$	$0/0005$
پروتون	${}_{+1}^1\text{p}$	+۱	$1/673 \times 10^{-24}$	$1/0073$
نوترون	${}_{0}^1\text{n}$	۰	$1/675 \times 10^{-24}$	$1/0087$

\* در این نماد عددهای سمت چپ از بالا به پایین به ترتیب جرم نسبی و بار نسبی ذره را مشخص می‌کنند.

تاکنون بیش از  $2300$  ایزوتوپ مختلف (طبیعی و ساختگی) شناخته شده است. در این میان فقط ۲۷۹ ایزوتوپ پایدار وجود دارد. برخی عنصرها مانند فلور، فسفر و آلومینیم تنها یک ایزوتوپ پایدار دارند. در حالی که برخی از دویاتعداد بیشتری ایزوتوپ پایدار برخوردارند. برای نمونه قلع ده ایزوتوپ پایدار دارد.

همواره مقدار بار الکتریکی ذره‌های سازنده اتم را نسبت به مقدار بار الکتریکی الکترون می‌سنجند. در این مقیاس نسبی، بار الکترون  $-1$  - در نظر گرفته می‌شود.

از آن جا که جرم پروتون‌ها و نوترون‌ها با هم برابر و حدوداً برابر با  $1 \text{ amu}$  است، می‌توان از روی عدد جرمی یک اتم، جرم آن را تخمین زد. برای مثال جرم یکی از ایزوتوپ‌های لیتیم که ۳ پروتون و ۴ نوترون دارد ( ${}^7_3\text{Li}$ ) برابر  $7 \text{ amu}$  است.

با توجه به وجود ایزوتوپ‌ها و تفاوت در فراوانی آنها، برای گزارش جرم نمونه‌های طبیعی از اتم عنصرهای مختلف **جرم اتمی میانگین** به کار می‌رود.

۱- باتوجه به شکل زیر راهی برای محاسبه جرم اتمی میانگین بور پیشنهاد کنید.



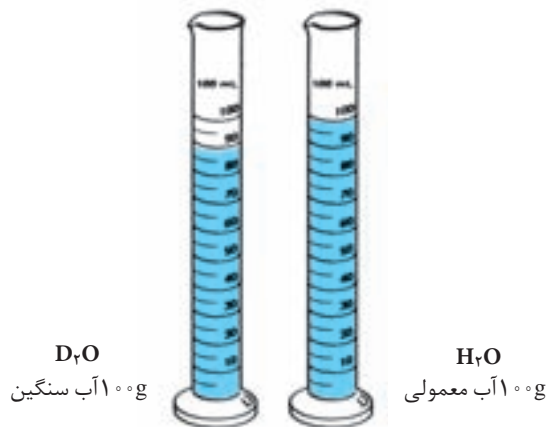
نمایش بخشی از یک نمونه طبیعی عنصر بور

۲- اکسیژن سه ایزوتوپ ( $^{16}\text{O}$ ،  $^{17}\text{O}$ ،  $^{18}\text{O}$ ) و هیدروژن نیز سه ایزوتوپ ( $^1\text{H}$ ،  $^2\text{D}$ ،  $^3\text{T}$ ) دارد. با توجه به تعداد ایزوتوپ‌های این دو عنصر، در یک نمونه طبیعی آب که مولکول‌های آن از اتصال ایزوتوپ‌های مختلف اکسیژن و هیدروژن تشکیل شده است، چند نوع مولکول آب می‌توان یافت؟ جرم هر یک از این مولکول‌ها را حساب کنید.

۳- تجربه نشان می‌دهد که ایزوتوپ‌ها خواص شیمیایی یکسانی دارند ولی برخی خواص فیزیکی وابسته به جرم آنها با هم تفاوت می‌کند. این تفاوت در ترکیب‌های شیمیایی دارای آنها نیز مشاهده می‌شود. با دقت به شکل زیر نگاه کنید.

(آ) از این مشاهده چه نتیجه‌ای می‌گیرد؟

(ب) به نظر شما اگر یک قطعه یخ  $\text{D}_2\text{O}$  را در آب معمولی ( $\text{H}_2\text{O}$ ) بیندازیم، روی آب شناور می‌ماند یا در آب فرو می‌رود؟ شما چه پیش‌بینی می‌کنید؟ چرا؟



سه ایزوتوپ هیدروژن نام‌هایی جداگانه دارند: پروتیم، دوتریم (هیدروژن سنگین) و تریتیم (هیدروژن پرتوزا). این سه ایزوتوپ را به ترتیب با نمادهای  $^1\text{H}$ ،  $^2\text{D}$  و  $^3\text{T}$  نمایش می‌دهند.

پایداری ایزوتوپ‌ها به تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های درون هسته بستگی دارد. برای نمونه همه هسته‌هایی که ۸۴ یا بیش از این تعداد، پروتون دارند، ناپایدار هستند. اما بر طبق یک قاعده کلی اگر برای هسته‌ای نسبت تعداد نوترون‌ها به پروتون‌ها  $1/5$  یا بیش از این باشد، هسته یادشده ناپایدار خواهد بود. این گونه هسته‌های ناپایدار بر اثر واکنش‌های تلاشی هسته‌ای به هسته‌های پایدار تبدیل می‌شود.

## اطلاعات جمع‌آوری کنید

جرم اتم‌ها را به وسیله دستگاهی به نام طیف سنج جرمی اندازه‌گیری می‌کنند. در یک فعالیت گروهی درباره چگونگی کار این دستگاه تحقیق کنید و گزارش خود را در قالب مقاله‌ای به کلاس ارائه دهید.



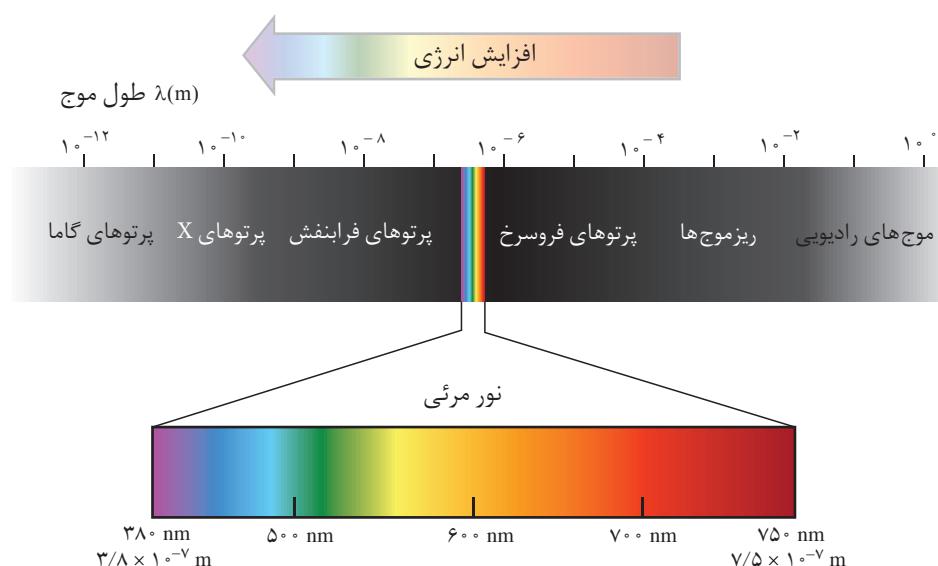
## آتش‌بازی و کشف ساختار اتم

در سال ۱۶۶۶ نیوتون اعلام کرد که نور به هنگام عبور از یک منشور شکافته می‌شود و طیفی پیوسته از رنگ‌هایی شبیه رنگین کمان به وجود می‌آورد. این طیف همه طول موج‌های نور مرئی را نشان می‌دهد.



مراسم آتش‌بازی یک تفریح شیمیایی است!

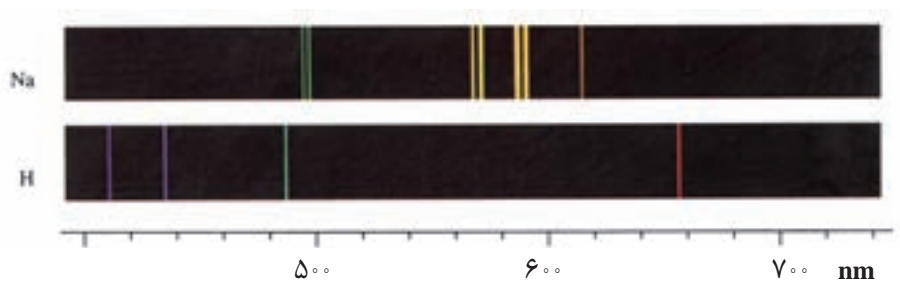
استفاده از مخلوط مواد شیمیایی برای تولید مواد منفجره، هنری باستانی است. چینی‌ها از جمله نخستین مردمانی بوده‌اند که بیش از هزار سال پیش باروت سیاه (مخلوطی از پتاسیم نیترات، گرد زغال و گوگرد) را تهیه کرده، در موارد صلح‌جویانه به مصرف می‌رسانده‌اند. آتش‌بازی و ایجاد صداها و بلند در جشن‌ها از جمله محبوب‌ترین موارد استفاده از باروت سیاه بوده و هست. پیش از سده نوزدهم کشف شد که با افزودن براده‌های آهن به باروت سیاه می‌توان جرقه‌های آتش به رنگ نارنجی تولید کرد. اما، با پیشرفت شگرف دانش شیمی در سده نوزدهم مواد تازه‌ای به آتش‌بازی‌ها راه یافتند. نمک‌های مس، استرانسیم و باریم رنگ‌هایی زیبا و گرد منیزیم و آلومینیم نور سفید خیره‌کننده‌ای به جرقه‌های آتش می‌بخشیدند. اما، این پرسش که این رنگ‌ها چگونه به وجود می‌آیند همواره بی‌پاسخ ماند.



شکل ۴ طیف الکترومغناطیسی

رابرت بونزن شیمی‌دان معروف آلمانی که چراغ بونزن از نوآوری‌های به یادماندنی اوست، موفق شد دستگاهی طراحی کند که سهم بسیاری در پیشرفت علم شیمی داشت. این دستگاه **طیف‌بین** نامیده شد. هنگامی که بونزن مقداری از یک ترکیب مس‌دار مانند کات کبود را در شعله مشعل این دستگاه قرار داد، مشاهده کرد که رنگ آبی شعله به سبزی می‌گراید. همان رنگی که افزودن ترکیب‌های مس به جرقه‌های آتش در هنگام آتش‌بازی می‌داد. با عبور این نور سبزرنگ از منشوری که در دستگاه تعبیه شده بود، الگویی به مانند تصاویر نشان داده شده در شکل ۵ به دست آمد. بونزن این الگو را **طیف نشری خطی** نامید. (چرا؟) وی که از این مشاهده شگفت‌زده شده بود، آزمایش را با چند ترکیب فلزدار دیگر

تکرار کرد و در هر مورد طیف‌های نشری خطی متفاوتی به دست آورد.



شکل ۵ طیف نشری خطی عنصرهای سدیم و هیدروژن

بررسی بیشتر وی و همکارانش ثابت کرد که هر فلز طیف نشری خطی خاص خود را داراست و مانند اثر انگشت می‌توان از این طیف برای شناسایی فلز مورد نظر بهره گرفت. هم‌چون هیدروژن نافلزهای دیگر نیز طیف نشری خطی ویژه خود را دارند اما این موضوع در این درس مطرح نشده است.

کاربرد طیف‌های نشری خطی از برخی جنبه‌ها مانند کاربرد خط نماد (barcode) روی جعبه یا بسته مواد غذایی یا بسیاری از کالاهایی است که در بازار به فروش می‌رسند. هر نوع کالایی خط نماد خاص خود را دارد و با خواندن خط نماد به کمک دستگاه لیزری ویژه‌ای که به رایانه متصل است، نوع و قیمت کالا به سرعت روی صفحه نمایشگر ظاهر می‌شود.



خط نماد

## آزمایش کنید

### آزمون شعله

هدف از این آزمایش یافتن رنگی است که محلول چند ترکیب شیمیایی فلزدار به شعله چراغ بونزن می‌دهند. در گام بعدی با استفاده از نتایج این آزمایش نوع فلز موجود در یک نمونه مجهول را از روی رنگی تعیین می‌کنید که محلول آن به شعله می‌دهد.

**وسایل مورد نیاز:** چراغ بونزن، گیره بوته، شیشه ساعت، شش بشر ۵۰ mL، چند

گلوله پنبه‌ای

**مواد مورد نیاز:** چند ترکیب فلزدار (نمک) مانند سدیم کلرید، پتاسیم یدید و...

### روش کار

- ۱- چراغ بونزن را روشن کرده، شعله آن را تنظیم کنید.
- ۲- شیشه ساعت را با آب و صابون به طور کامل بشویید و با پارچه تمیزی خشک کنید. سپس پنبه را روی شیشه ساعت قرار دهید. سپس دو سر گیره بوته را با کاغذ سمباده پاک کنید و پس از شست و شو با آب در شعله قرار دهید تا کاملاً خشک شود. این کار را پس از هر بار آزمایش تکرار کنید.
- ۳- مقداری از نمکی که در اختیار دارید در یک بشر ۵۰ mL بریزید و در مقدار کمی آب حل کنید. سعی کنید در هر بار مقدار نمک و آب یکسانی به کار ببرید.
- ۴- یک گلوله پنبه‌ای را به کمک گیره بوته بردارید و پس از آغشته کردن به مقدار کمی از محلول درون بشر، روی شعله چراغ بگیرید. تغییر رنگ مشاهده شده را یادداشت کنید. پس از آزمایش مقداری آب روی گلوله پنبه و دو سر گیره بریزید و سپس گلوله پنبه را در سطل زباله بیندازید.

۵ - جدولی مانند جدول زیر بکشید و مشاهده‌های خود، به‌ویژه تغییر رنگ‌ها را در آن یادداشت کنید.

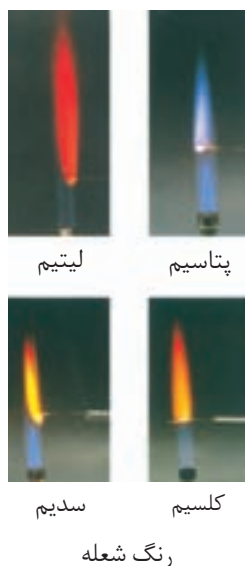
شماره آزمایش	نام نمک	رنگ مشاهده شده
۱	نمونه مجهول	
۲		
۳		
۴		

### توجه

ا) برای اطمینان از نتیجه می‌توانید هریک از این آزمایش‌ها را دو یا سه بار تکرار کنید.  
ب) نمونه مجهول توسط مربی آزمایشگاه و از میان نمک‌هایی انتخاب می‌شود که پیش از این مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

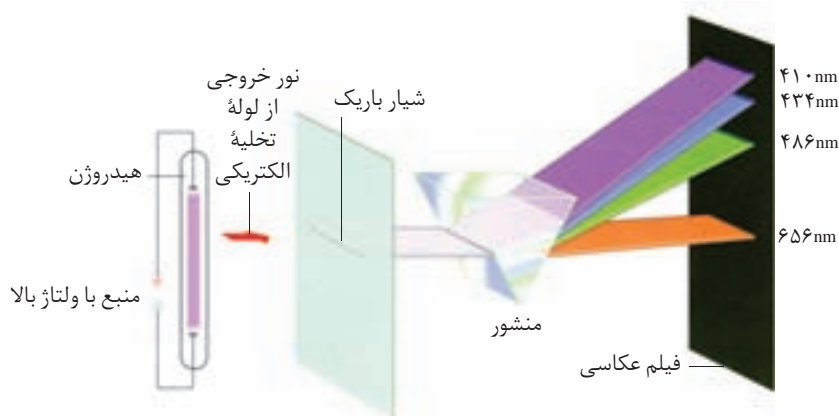
پ) اگر یک افشانه دستی در اختیار داشته باشید می‌توانید محلول این نمک‌ها را در اتانول تهیه کرده با افشاندن آن در شعله تغییر رنگ‌ها را به صورت دیدنی‌تری مشاهده کنید. از آن جا که اتانول آتش گیر است، پیشنهاد می‌شود که این آزمایش را مربی آزمایشگاه در زیر هواکش و در پایان آزمایش‌های بالا برای دانش آموزان انجام دهد.  
⚠ رعایت نکات ایمنی در حین اجرای این آزمایش‌ها الزامی است.

در آزمون شعله، اگر نمک به کار برده شده خلوص بالایی نداشته باشد، رنگ شعله همانند آنچه انتظار می‌رود، نخواهد بود.



## طیف نشری خطی هیدروژن

هنگامی که بر یک لوله تخلیه الکتریکی دارای گاز هیدروژن با فشار کم، ولتاژ بالایی اعمال شود، بر اثر تخلیه الکتریکی، گاز درون لوله با رنگ صورتی روشن به التهاب درمی‌آید. با عبور دادن نور حاصل، از یک منشور طیف نشری خطی هیدروژن به دست می‌آید، شکل ۶. تلاش برای توجیه علت ایجاد و جایگاه ثابت خط‌های موجود در این طیف، زمینه‌ساز پیشرفت شگرفی در شیمی و فیزیک شد.



شکل ۶ طیف نشری خطی حاصل از اتم‌های برانگیخته هیدروژن

انرژی زیاد ایجاد شده به هنگام تخلیه الکتریکی، مولکول‌های دو اتمی هیدروژن ( $H_2$ ) را به اتم‌های هیدروژن جدا از هم می‌شکند. این اتم‌ها در مقایسه با مولکول‌های هیدروژن انرژی جنبشی بیشتری دارند.