بخش ۱ سال دوم

ساختار اتم

خط ویژه *سلام. به کتاب خط ویژه شیمی خوش اومدین. مطابق معمول کتاب رو با بخش ۱ سال دوم شروع می‌کنیم. سهم این بخش توی کنکورهای سراسری سال‌های اخیر ۲ الی ۳ تست بوده. این بخش با تاریخچه دانشمندان و چیزهایی که کشف یا اختراع کردن، شروع می‌شه. بهتون توصیه می‌کنیم که تاریخچه دانشمندان رو مثل تاریخ ادبیات به دقت حفظ کنین، چون که تا امروز همیشه یه تست ازشون اومده و فکر می‌کنم از این به بعد هم بیاد.*

تالس: **آب** را عنصر اصلی سازنده جهان هستی می‌دانست.

ارسطو: سه عنصر **هوا**، **خاک** و **آتش** را به عنصر پیشنهادی تالس یعنی آب افزود و این **چهار عنصر** را عنصرهای سازنده کاینات اعلام کرد. *(تجربی داخل ۹۰)*

رابرت بویل: با انتشار کتابی با عنوان شیمی‌دان شکاک، مفهوم تازه‌ای از **عنصر** (اتم) را معرفی کرد. وی در این کتاب ضمن معرفی **عنصر** به‌عنوان ماده‌ای که **نمی‌توان** (می‌توان) آن را به مواد ساده‌تری تبدیل کرد، شیمی را **علم 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** (علمی) نیز اقدام کنند. *(تجربی داخل ۹۰)*

جان دالتون: با استفاده از واژه یونانی **اتم** (عنصر) که به معنای **تجزیه‌ناپذیر** است، ذره‌های سازنده عنصرها را توضیح داد.

دموکریت: این دیدگاه که همه مواد از ذره‌های **کوچک** و **تجزیه‌ناپذیری** به نام **اتم** ساخته شده‌اند، نخستین بار ۲۵۰۰ سال پیش توسط دموکریت، مطرح شده بود. اما دالتون با انجام آزمایش‌های بسیار، از نو به آن دست یافت. در واقع بعد از دموکریت، دالتون اولین کسی بود که وجود اتم را پیش‌بینی کرد.

نظریه اتمی دالتون: در ۷ بند و به شرح زیر بیان گردید: *(ریاضی داخل ۹۰ ـ تجربی خارج ۹۰)*

۱ ماده از ذره‌های تجزیه‌ناپذیری به نام اتم ساخته شده است.

۲ همه اتم‌های یک عنصر (ماده) مشابه یک‌دیگرند.

۳ اتم‌ها نه به‌وجود می‌آیند و نه از بین می‌روند.

۴ اتم عنصرهای مختلف جرم و خواص شیمیایی متفاوتی دارند.

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

۶ اتم‌های عنصرهای مختلف به هم متصل می‌شوند و مولکول‌ها را به‌وجود می‌آورند.

۷ در هر مولکول از یک ترکیب معین، همواره نوع و تعداد نسبی اتم‌های سازنده آن یکسان است.

نارسایی‌های نظریه اتمی دالتون: تقسیم اتم به ذره‌های زیراتمی و به‌طور کلی تمام مفاهیمی که مربوط به انتقال **الکترون** و ذره‌های **زیراتمی** باشند، با بند (۱) نظریه اتمی دالتون سازگاری ندارند. **وجود ایزوتوپ‌ها** با بند (۲) نظریه اتمی دالتون و **پدیده پرتوزایی** با بند (۳) این نظریه منافات دارد. *(تجربی خارج ۹۲)*

کارایی‌های نظریه اتمی دالتون: بند ۵ نظریه اتمی دالتون، تأییدکننده **قانون پایستگی جرم** است. (اتم‌ها در واکنش‌های شیمیایی، نه تولید می‌شوند و نه از بین می‌روند.) بندهای ۶ و ۷ این نظریه نیز تأییدکننده **قانون نسبت‌های معین** در یک ترکیب هستند. (یک ترکیب شیمیایی از به هم پیوستن اتم‌های مختلف با کوچک‌ترین نسبت صحیح اعداد، تشکیل می‌شود.) هم‌چنین به کمک نظریه اتمی دالتون می‌توان پدیده تغییر فیزیکی مواد (مثل میعان) را توجیه کرد.

تست: **کدام بخش از نظریه اتمی دالتون با دانش امروزی، مطابقت کامل ندارد؟** *(تجربی داخل ۸۶)*

۱) در واکنش‌های شیمیایی اتم‌ها به وجود نمی‌آیند و از بین نمی‌روند.

۲) اتم عنصرهای مختلف به هم متصل می‌شوند و مولکول‌ها را به‌وجود می‌آورند.

۳) همه اتم‌های یک عنصر، جرم یکسان و خواص شیمیایی مشابه دارند.

۴) در هر مولکول از یک ترکیب معین، همواره نوع و شمار نسبی اتم‌های سازنده آن یکسان است.

پاسخ: اتم‌های یک عنصر (ایزوتوپ‌های یک عنصر) می‌توانند جرم‌های متفاوتی داشته باشند.

گزینه ۳

اتم: کوچک‌ترین ذره یک عنصر است که **خواص شیمیایی و فیزیکی** عنصر یادشده به ویژگی‌های آن بستگی دارد.

خط ویژه *خیلی از بچه‌ها فارادی رو با رادرفورد اشتباه می‌گیرن. مواظب باش تشابه اسمی این دو نفر گمراهت نکنه!*

مایکل فارادی: مشاهده کرد که به هنگام عبور جریان برق از میان محلول یک ترکیب شیمیایی فلزدار (روشی که به آن **برقکافت** می‌گویند) یک واکنش شیمیایی در آن به وقوع می‌پیوندد. فیزیک‌دان‌ها برای توجیه این مشاهده‌ها برای الکتریسیته، ذره‌ای بنیادی پیشنهاد کردند و آن را **الکترون** نامیدند. *(تجربی داخل ۹۱)* به این ترتیب، **نخستین ذره زیراتمی** یعنی الکترون شناخته شد.

برقکافت یا الکترولیز: یک واکنش **شیمیایی** است که با عبور جریان برق از درون یک محلول به وقوع می‌پیوندد. اجرای چنین آزمایش‌هایی توسط فارادی (رادرفورد) به کشف الکترون منجر شد. توجه داشته باشید که الکترون مستقیماً توسط فارادی کشف نشد (کشف شد)، بلکه آزمایش‌های او، بعدها منجر به کشف الکترون گردید.

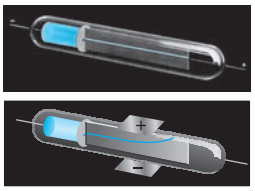
جورج استونی: در سال ۱۸۹۱، ذره‌های حمل‌کننده جریان برق را الکترون نامید. *(تجربی خارج ۹۳)*

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.

جوزف تامسون: پس از اجرای آزمایش‌های بسیار روی **لوله پرتوی کاتدی**، سرانجام موفق شد، **نسبت بار به جرم الکترون** $\left(\frac{e^-}{m}\right)$ را اندازه‌گیری کند.

لوله پرتو کاتدی (CRT) : لوله‌ای **شیشه‌ای** است که بیش‌تر (تمام) هوای درون آن به کمک پمپ خلأ خارج شده است. در **دو انتهای** این لوله، یک قطعه **فلز** نصب شده است که به آن **الکترود** می‌گویند. هنگامی‌که یک **ولتاژ بسیار قوی** بین این دو الکترود اعمال شود، داخل لوله پرتوهایی از جنس الکترون، از **الکترود منفی (کاتد)** به سمت **الکترود مثبت (آند)** جریان می‌یابد. از این‌رو به آن‌ها پرتوهای کاتدی می‌گویند. پرتوهای کاتدی بر اثر برخورد با یک ماده فلوئورسنت، **نور سبزرنگی** ایجاد می‌کنند.

آزمایش‌های لوله پرتوی کاتدی: عبارتند از:



(میدان الکتریکی برقرار شده است)

۱ اگر لوله پرتوی کاتدی دارای اندکی گاز هیدروژن یا هوا یا ... باشد، پرتوهای کاتدی ضمن حرکت به **خط راست**، گاز رقیق درون لوله را **ملتهب** می‌سازند. توجه داشته باشید که **تغییر گاز درون لوله**، ممکن است، منجر به **تغییر رنگ پرتوهای کاتدی** شود.

۲ اگر کاتد از آهن به مس (یا هر فلز دیگری) تغییر یابد، خواص پرتوهای کاتدی تغییری نمی‌کند. این واقعیت نشان می‌دهد که **تمامی مواد** دارای **الکترون** هستند.

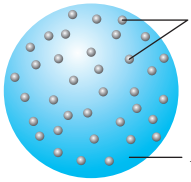
۳ اگر میدان الکتریکی در بیرون از لوله برقرار شود، پرتوی کاتدی از مسیر خود منحرف می‌شود. مسیر انحراف پرتو نشان می‌دهد که پرتوهای کاتدی دارای بار الکتریکی **منفی** (مثبت) هستند. (**پرتوها به سمت قطب مثبت منحرف می‌شوند.**) *(تجربی داخل ۹۱)*

فلوئورسنت: به ماده‌ای با خاصیت فلوئورسانس گفته می‌شود. فلوئورسانس از جمله خواص **فیزیکی** (شیمیایی) برخی مواد شیمیایی است. مواد دارای این خاصیت، نور با طول موج معینی را جذب می‌کنند و به‌جای آن نور با **طول موج بلندتری** را منتشر می‌سازند. *(تجربی داخل ۹۱)* تابش این نور با **قطع شدن منبع نور قطع** می‌شود. (مدتی ادامه می‌یابد.)

روی سولفید (ZnS) : از جمله مهم‌ترین مواد فلوئورسنت است که در تولید لامپ تلویزیون و نمایشگرها کاربرد دارد. *(تجربی داخل ۹۰)*

رابرت میلیکان: پس از موفقیت تامسون در اندازه‌گیری نسبت بار به جرم الکترون $\left(\frac{e^-}{m}\right)$ در آزمایش پرتوی کاتدی، رابرت میلیکان موفق شد، **مقدار بار الکتریکی** الکترون (e^-) را اندازه‌گیری کند. به این ترتیب جرم الکترون نیز با کمک نسبت به‌دست آمده توسط تامسون، محاسبه شد. *(ریاضی خارج ۹۰- ریاضی داخل ۹۱ - تجربی خارج ۹۳)*

مدل اتمی تامسون: تامسون به کمک آزمایش‌های خود ضمن اثبات وجود ذره‌ای به نام الکترون در اتم و معرفی آن به‌عنوان یک ذره زیراتمی، موفق شد ساختاری برای اتم پیشنهاد کند. وی ویژگی‌های اتم خود را این‌چنین برشمرد: *(تجربی خارج ۹۰)*



۱ الکترون‌ها که ذره‌هایی با **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 ابر کروی مثبت (پروتون‌ها)، 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.

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

تست: کدام مطلب نادرست است؟ *(تجربی داخل ۹۱)*

۱) پرتوی کاتدی در میدان الکتریکی به سمت قطب مثبت منحرف می‌شود.

۲) مایکل فارادی برای توجیه عبور جریان برق از محلول ترکیب‌های فلزدار، ذره بنیادی به نام الکترون را پیشنهاد کرد.

۳) هنگام برقکافت محلول قلع(II) کلرید غلیظ در آب، پیرامون یکی از قطب‌ها گاز زردرنگ جمع می‌شود.

۴) مواد دارای خاصیت فلوئورسانس طول موج معینی از نور را جذب کرده و به جای آن تابشی با طول موج بلندتری را منتشر می‌کنند.

پاسخ: مایکل فارادی مشاهده کرد که به هنگام عبور جریان برق از درون محلول یک ترکیب شیمیایی فلزدار (برقکافت)، یک واکنش شیمیایی در آن به وقوع می‌پیوندد. **فیزیک‌دان‌ها** برای توجیه این مشاهده‌ها برای الکتریسیته ذره‌ای پیشنهاد کردند و آن را الکترون نامیدند.

گزینه ۲

پرتوزایی: هانری بکرل هنگام انجام آزمایش‌هایش روی فسفرسانس طبیعی ترکیب‌های اورانیم‌دار، به‌طور تصادفی به خاصیت مهمی پی برد که ماری کوری (هانری بکرل) آن را پرتوزایی و مواد دارای این خاصیت را پرتوزا نامید. ارنست رادرفورد (ماری کوری) پس از سال‌ها تلاش فهمید، تابشی که بکرل نخستین بار به‌وجود آن پی برده بود، خود ترکیبی از سه نوع تابش مختلف پرتوهای آلفا (α)، بتا (β) و گاما (γ) است.

پرتوزایی
- هانری بکرل: نخستین بار خاصیت پرتوزایی را کشف کرد. *(ریاضی داخل ۹۱)*
- ماری کوری: خاصیتی را که بکرل به آن پی برده بود، پرتوزایی و مواد دارای این خاصیت را پرتوزا نامید. *(ریاضی داخل ۹۱)*
- رادرفورد: ثابت کرد تابش مواد پرتوزا خود ترکیبی از سه نوع پرتوی α، β و γ است. *(ریاضی خارج ۹۰)*

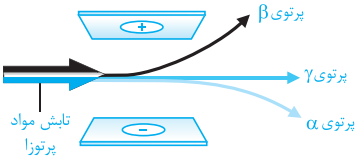
پدیده پرتوزایی با **کاهش جرم** ماده پرتوزا همراه است.

خط ویژه *قسمت زیر، هم توی شیمی کاربرد داره و هم توی فیزیک سال چهارم.*

پرتوی آلفا (α): ذره‌هایی با **بار مثبت** هستند و در میدان الکتریکی به‌سوی **قطب منفی** (مثبت) منحرف می‌شوند و بر اثر متلاشی شدن هسته اتم‌های پرتوزا به‌وجود می‌آیند. هر ذره آلفا از **دو پروتون** و **دو نوترون** تشکیل شده است. ذره‌های آلفا همان **هسته اتم هلیم** (هسته $^{4}_{2}He$) یا **یون هلیم دو بار مثبت** ($^{4}_{2}He^{2+}$) می‌باشند و جرمی چهار برابر جرم اتم هیدروژن دارند. در واقع ذره‌های آلفا، ذره‌هایی **سنگین** محسوب می‌شوند. اگر اتم عنصری یک ذره آلفا تابش کند، عدد اتمی آن ۲ واحد و عدد جرمی آن ۴ واحد کاهش می‌یابد. *(تجربی داخل ۹۰)*

پرتوی بتا (β): همانند **پرتوهای کاتدی** (پرتوهای X) جریانی از الکترون‌های **پرانرژی** هستند و در میدان الکتریکی به سمت **قطب مثبت** منحرف می‌شوند و پرانرژی‌تر از ذره‌های آلفا هستند. اگر عنصری تابش β نشر کند، با توجه به ناچیز بودن جرم الکترون، این تابش، تغییر محسوسی در جرم اتمی میانگین عنصر ندارد.

پرتوی گاما (γ): از **جنس نور** می‌باشد، بار الکتریکی ندارد و **خنثی** است و به‌همین دلیل در میدان الکتریکی منحرف **نمی‌شود**. در واقع پرتوی گاما از سری امواج الکترومغناطیس با **طول موج بسیار کوتاه** است و تابش آن توسط عنصر پرتوزا، تأثیری در جرم آن عنصر ندارد.

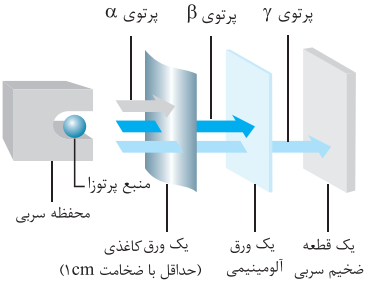


شکل روبه‌رو مربوط به تابش مواد پرتوزا در یک میدان الکتریکی است. همان‌طور که در شکل می‌بینید، انحراف پرتوی β بیش‌تر از انحراف پرتوی α است و پرتوی γ نیز بدون انحراف از میدان الکتریکی عبور می‌کند.

میزان انحراف در میدان الکتریکی : $\beta > \alpha > \gamma$

با توجه به میزان انحراف بیش‌تر پرتوی β نسبت به پرتوی α می‌توان گرفت که پرتوی α بسیار **سنگین‌تر** از پرتوی β است.

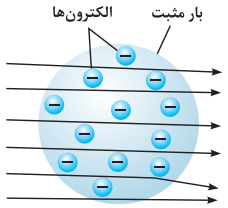
جرم پرتوها : $\alpha > \beta > \gamma$



شکل روبه‌رو *(تجربی خارج ۹۱)* مربوط به آزمایش تعیین قدرت نفوذ و انرژی پرتوهای منتشرشده از مواد پرتوزا است. همان‌طور که در شکل می‌بینید، **پرتوی آلفا (α)** به‌دلیل انرژی کم (زیاد) به آسانی توسط یک ورق کاغذ جذب می‌شود و از آن عبور نمی‌کند. **پرتوی بتا (β)** توسط یک ورق آلومینیومی و **پرتوی گاما (γ)** توسط یک قطعه ضخیم (نازک) سربی جذب می‌شوند.

قدرت نفوذ و انرژی : $\gamma > \beta > \alpha$

مدل اتم هسته‌دار: رادرفورد نتوانست (توانست) تشکیل تابش‌های حاصل از مواد پرتوزا را به کمک مدل اتمی تامسون توجیه کند. *(تجربی خارج ۹۲)* زیرا مدل اتمی تامسون، مدلی بسیار پایدار بود و دلیلی وجود نداشت تا بتوان جدا شدن قطعاتی از اتم به‌صورت تابش مواد پرتوزا را توجیه کرد. **رادرفورد** برای شناسایی دقیق‌تر ساختار اتم، ورقه نازکی از طلا را با ذره‌های آلفا بمباران کرد. او با فرض درست بودن مدل اتمی تامسون، انتظار داشت که مطابق شکل روبه‌رو همه ذره‌های پرانرژی و سنگین آلفا ($^{4}_{2}He^{2+}$) که دارای بار مثبت هستند، با کم‌ترین میزان انحراف از این ورقه طلا عبور کنند. اما آزمایش نتایج دیگری داشت. در واقع رادرفورد با کمک نتایج آزمایش ورقه طلا، مدل دیگری برای اتم پیشنهاد داد که به مدل اتم هسته‌دار معروف شد.



«تصور ذهنی رادرفورد قبل از انجام آزمایش»

مشاهده	نتیجه‌گیری
بیش‌تر ذره‌های آلفا بدون انحراف و در مسیری مستقیم از ورقه نازک طلا عبور کردند.	بیش‌تر حجم اتم را فضای خالی تشکیل می‌دهد. *(تجربی خارج ۹۰)*
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 با زاویه‌ای بیش از $90^{\circ}C$ از مسیر اولیه منحرف شدند.	اتم طلا هسته‌ای بسیار کوچک با جرم بسیار زیاد دارد.

رادرفورد به کمک مشاهده‌های خود توانست قطر اتم طلا را $10^{-8}cm$ ($10^{-8}m$) و قطر هسته آن را $10^{-13}cm$ ($10^{-13}m$) محاسبه کند. بنابراین قطر اتم طلا، حدود 10^{5} برابر قطر هسته آن است.

پروتون: آزمایش رادرفورد و همکارانش از دیگر اسرار اتم پرده برداشت و **دومین ذره سازنده اتم** نیز شناسایی شد. این ذره توسط دانشمندان **پروتون** نام گرفت. پروتون ذره‌ای با بار الکتریکی **مثبت** است. بزرگی بار پروتون با بار الکترون برابر است و جرمی ۱۸۳۷ برابر سنگین‌تر از جرم الکترون دارد.

هنری موزلی: مطالعه گسترده او روی پرتوهای X تولیدشده از عنصرهای مختلف، زمینه‌ساز کشف پروتون به‌عنوان دومین ذره زیراتمی شد. امروز از او به‌عنوان کشف‌کننده پروتون یاد می‌شود، اگرچه استاد او رادرفورد با تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی موزلی به‌وجود پروتون پی برد.

عدد اتمی (Z) : رادرفورد با استفاده از نتایج به‌دست آمده توسط موزلی، توانست مقدار **بار مثبت هسته** برخی از اتم‌ها را تعیین کند. وی مقادیر بار اندازه‌گیری‌شده را بر مقدار بار الکتریکی پروتون تقسیم کرد. در نتیجه عددهای **صحیحی** به‌دست آمد که وی آن را **عدد اتمی** نامید. *(ریاضی داخل ۹۲)* به‌عبارت دیگر **تعداد پروتون‌ها** در هسته اتم یک عنصر را عدد اتمی آن عنصر می‌نامند. در یک اتم **خنثی**، تعداد پروتون‌ها با تعداد الکترون‌ها برابر است. از این‌رو، عدد اتمی تعداد الکترون‌های آن اتم را نیز مشخص می‌کند.

جیمز چادویک: وجود ذره‌ای **خنثی** (بدون بار) را در اتم به اثبات رساند. **نوترون** نامی بود که بر این ذره تازه کشف‌شده نهاده شد. البته رادرفورد، ۱۲ سال قبل از کشف نوترون، وجود آن را در اتم پیش‌گویی کرده بود.

تست: کدام مطلب درست است؟ *(ریاضی خارج ۸۶ - تجربی داخل ۸۸)*

۱) قطر اتم طلا، حدود 10^{5} برابر قطر هسته آن است.

۲) پرتوهای گاما، جریانی از الکترون‌های پرانرژی با قدرت نفوذ بسیار زیادند.

۳) مقایسه قدرت نفوذ سه جزء تشکیل‌دهنده تابش‌های پرتوزا، به‌صورت $\beta > \alpha > \gamma$ است.

۴) ذره‌های آلفا و بتا، در میدان الکتریکی در دو جهت اما با زوایای برابر، منحرف می‌شوند.

پاسخ: بررسی چهار گزینه:

۱) قطر اتم طلا به‌طور تقریبی برابر 10^{-8} cm و قطر هسته آن تقریباً برابر 10^{-13} cm است. بنابراین قطر اتم طلا، حدود 10^{5} برابر قطر هسته آن است.

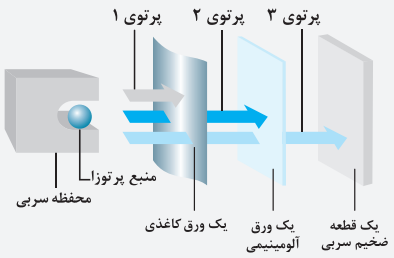
۲) پرتوهای گاما از جنس نور هستند و قدرت نفوذ بسیار زیادی دارند.

۳) قدرت نفوذ $\gamma > \beta > \alpha$ است.

۴) ذره‌های آلفا دارای بار الکتریکی مثبت هستند و در میدان الکتریکی به سمت قطب منفی منحرف می‌شوند، ولی ذره‌های بتا دارای بار الکتریکی منفی هستند و در میدان الکتریکی به سمت قطب مثبت می‌روند. در ضمن ذره‌های α به دلیل جرم بیشتر نسبت به ذره‌های β، انحراف کم‌تری دارند.

گزینه ۱

تست: با توجه به شکل روبه‌رو، از پرتوی ..... در تعیین قطر هسته اتم استفاده شد، پرتوی ..... هم‌جنس پرتوی کاتدی است و پرتوی ..... در میدان الکتریکی به سمت قطب مثبت منحرف می‌شود. *(تجربی خارج ۹۱)*



۱) ۱، ۲ و ۳

۲) ۱، ۲ و ۲

۳) ۲، ۳ و ۲

۴) ۲، ۱ و ۳

پاسخ: در شکل ارائه‌شده، پرتوهای ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب پرتوهای آلفا، بتا و گاما را نشان می‌دهند.

- رادرفورد پس از بمباران ورقه نازک طلا با پرتوهای آلفا (پرتوی ۱) توانست قطر اتم طلا و قطر هسته آن را به‌طور تقریبی تعیین کند.
- پرتوی بتا و پرتوی کاتدی هر دو از جنس الکترون هستند.
- پرتوی بتا (پرتوی ۲) از جنس الکترون با بار منفی است و در یک میدان الکتریکی به‌سمت قطب مثبت منحرف می‌شود.

گزینه ۲

ذره‌های زیراتمی: به ذره‌های سازنده اتم، ذره‌های زیراتمی گویند. الکترون، پروتون و نوترون از ذره‌های زیراتمی هستند. برای نمایش ذره‌های زیراتمی، جرم نسبی ذره را در گوشه سمت چپ و بالا و بار نسبی ذره را در گوشه سمت چپ و پایین نماد ذره زیراتمی قرار می‌دهند.

$^{\text{جرم نسبی}}_{\text{بار نسبی}}X \xrightarrow{\text{مثال}} {}^{0}_{-1}e$

- در جدول زیر، برخی ویژگی‌های ذره‌های زیراتمی و نحوه نمایش آن‌ها نشان داده شده است. *(ریاضی داخل ۹۱)* همان‌طور که می‌بینید، جرم پروتون و نوترون بسیار بیشتر از جرم الکترون می‌باشد و جرم نوترون اندکی از جرم پروتون، بیشتر است. *(ریاضی خارج ۹۰)*

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

عدد جرمی (A) : جرم اتم به تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های درون هسته آن بستگی دارد و جرم الکترون‌ها، حتی اگر اتم بیش از ۱۰۰ الکترون داشته باشد، بر جرم اتم تأثیر چشم‌گیری ندارد. مجموع تعداد نوترون‌ها و پروتون‌های موجود در هسته اتم یک عنصر را عدد جرمی آن عنصر می‌نامند.

عدد جرمی = تعداد پروتون‌ها + تعداد نوترون‌ها

$$A = Z + N$$

برای نمایش عدد اتمی و عدد جرمی، معمولاً عدد اتمی را در گوشه سمت چپ و پایین و عدد جرمی را در گوشه سمت چپ و بالای نماد شیمیایی عنصر قرار می‌دهند.

$$^{A}_{Z}X \xrightarrow{\text{مثال}} {}^{۶۵}_{۳۰}Zn \begin{cases} Z = ۳۰ \\ e^- = ۳۰ \\ N = ۶۵ - ۳۰ = ۳۵ \end{cases}$$

نوکلئون: به **پروتون یا نوترون**، نوکلئون یا ذره سازنده هسته نیز می‌گویند. بنابراین می‌توان گفت عدد جرمی (A)، تعداد نوکلئون‌های اتم یک عنصر را نشان می‌دهد.

تست: کدام مطلب نادرست است؟ *(ریاضی خارج ۹۰)*

۱) بار الکترون توسط میلیکان اندازه‌گیری شد.
۲) جرم نوترون اندکی از جرم پروتون، بیشتر است.
۳) در اتم $^{۵۶}_{۲۶}Fe$ شمار نوترون‌ها و پروتون‌ها برابر است.
۴) وجود سه جزء متمایز در تابش مواد پرتوزا، توسط رادرفورد کشف شد.

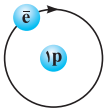
پاسخ: در اتم $^{۵۶}_{۲۶}Fe$ تعداد پروتون‌ها برابر ۲۶ ولی تعداد نوترون‌ها برابر ۳۰ است. گزینه ۳

ایزوتوپ: دانشمندان به کمک دستگاهی به‌نام **طیف‌سنج جرمی** (طیف‌بین) **جرم اتم‌ها** را با دقت بسیار زیاد اندازه‌گیری می‌کنند. این اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که همه اتم‌های یک عنصر جرم یکسانی ندارند (دارند). از آن‌جا که عدد اتمی و در واقع تعداد پروتون‌ها در همه اتم‌های یک عنصر یکسان است، پس تفاوت جرم باید به تعداد نوترون‌های موجود در هسته اتم مربوط باشد. بنابراین ایزوتوپ‌ها، اتم‌های یک عنصر هستند که **عدد اتمی یکسان** (تعداد برابری الکترون و پروتون) اما عدد جرمی (تعداد نوترون) متفاوت دارند. ایزوتوپ‌ها دارای **خواص شیمیایی یکسان** هستند اما در برخی **خواص فیزیکی** وابسته به **جرم**، مانند چگالی، متفاوت هستند.

مثال: از هیدروژن ۳ ایزوتوپ شناخته شده است. این ایزوتوپ‌ها، **پروتیم** یا هیدروژن معمولی، **دوتریم** یا هیدروژن سنگین و **تریتیم** یا هیدروژن پرتوزا نام دارند.

پروتیم یا هیدروژن معمولی: تنها اتم پایداری است که در هسته آن تعداد پروتون از نوترون بیش‌تر است. در واقع هیدروژن تنها اتمی است که در هسته **نوترون ندارد** و فقط دارای **یک پروتون** می‌باشد. هسته همه اتم‌های دیگر، هم پروتون و هم نوترون دارد.

$$^{۱}_{۱}H \begin{cases} Z = ۱ \\ e^- = ۱ \\ N = ۱ - ۱ = ۰ \end{cases} \quad \text{(پروتیم)}$$



دوتریم یا هیدروژن سنگین: از ایزوتوپ‌های هیدروژن است که شامل **یک پروتون** و **یک نوترون** می‌باشد.

$$^{۲}_{۱}D \text{ یا } ^{۲}_{۱}H \begin{cases} Z = ۱ \\ e^- = ۱ \\ N = ۲ - ۱ = ۱ \end{cases} \quad \text{(دوتریم)}$$

تریتیم یا هیدروژن پرتوزا: از ایزوتوپ‌های هیدروژن است که شامل **یک پروتون** و **دو نوترون** می‌باشد.

$$^{۳}_{۱}T \text{ یا } ^{۳}_{۱}H \begin{cases} Z = ۱ \\ e^- = ۱ \\ N = ۳ - ۱ = ۲ \end{cases} \quad \text{(تریتیم)}$$

ماهیت یا هویت یک عنصر: تعداد پروتون‌های موجود در هسته اتم یک عنصر یا عدد اتمی (Z)، ماهیت یا هویت آن عنصر را تعیین می‌کند. به بیان ساده‌تر، عدد اتمی هر عنصر شماره شناسنامه آن عنصر است.

برای نمونه، وقتی می‌گوییم عدد اتمی نئون ۱۰ است، به این معناست که هر اتم نئون خنثی ۱۰ پروتون و ۱۰ الکترون دارد. به‌عبارت دیگر، در جهان هر گونه‌ای که ۱۰ پروتون داشته باشد، نئون است. اما نمی‌توان گفت که در جهان هر گونه‌ای که ۱۰ الکترون داشته باشد، نئون است. زیرا یون‌های زیادی مانند $_{۷}N^{۳-}$، $_{۸}O^{۲-}$، $_{۹}F^{-}$، $_{۱۱}Na^{+}$، $_{۱۲}Mg^{۲+}$ یا $_{۱۳}Al^{۳+}$ نیز دارای ۱۰ الکترون هستند.

خاصیت شیمیایی یک عنصر: الکترون‌های لایه آخر موجود در اتم یک عنصر، به‌طور عمده خاصیت شیمیایی آن عنصر را تعیین می‌کند. برای نمونه، می‌توان گفت اغلب فلزها در آخرین لایه الکترونی خود دارای ۱، ۲ یا ۳ الکترون هستند و یا این‌که گازهای نجیب (به‌جز هلیم) در آخرین لایه الکترونی خود ۸ الکترون دارند.

پایداری ایزوتوپ‌ها: اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که فراوانی ایزوتوپ‌ها در طبیعت یکسان **نیست**. برخی فراوان‌تر و برخی کمیاب‌ترند. از میان ایزوتوپ‌های یک عنصر، ایزوتوپی که فراوانی بیش‌تری دارد، پایدارتر است. تاکنون بیش از ۲۳۰۰ ایزوتوپ مختلف (طبیعی و ساختگی) شناخته شده است. در این میان فقط ۲۷۹ ایزوتوپ پایدار وجود دارد. برخی عنصرها مانند فسفر (P)، فلوئور (F) و آلومینیوم (Al) تنها یک ایزوتوپ پایدار دارند. برخی عنصرها مانند کلر دارای دو ایزوتوپ و برخی دیگر مانند کربن، اکسیژن و هیدروژن دارای سه ایزوتوپ هستند. هم‌چنین قلع ده ایزوتوپ پایدار دارد.

عامل پایداری ایزوتوپ: پایداری ایزوتوپ به تعداد **پروتون‌ها و نوترون‌های** درون هسته بستگی دارد. برای نمونه تمامی هسته‌هایی که ۸۴ یا بیش از این تعداد، پروتون دارند، ناپایدارند. طبق یک قاعده کلی اگر برای هسته‌ای نسبت تعداد نوترون‌ها به پروتون‌ها ۱/۵ یا بیش از این باشد $\left(\frac{N}{P} \geq ۱/۵\right)$ هسته یادشده ناپایدار خواهد بود و بر اثر واکنش‌های تلاشی هسته‌ای به هسته‌های پایدار تبدیل می‌شود.

رادیوایزوتوپ ید ـ ۱۳۱: غده تیروئید در جلوی گردن قرار دارد و هورمون‌های تیروئیدی $T_۳$ و $T_۴$ را ترشح می‌کند. این غده برای ساختن این هورمون‌ها مقدار زیادی از ید موجود در مواد غذایی را در خود جمع می‌کند. رادیوایزوتوپ ید ـ ۱۳۱ برای تشخیص بیماری‌های غده تیروئید (پاراتیروئید) به کار می‌رود.

آب سنگین: اگر به‌جای پروتیم (H) در فرمول آب معمولی ($H_۲O$)، ایزوتوپ دیگر هیدروژن یعنی هیدروژن سنگین یا دوتریم (D) قرار بگیرد، آب سنگین به‌دست می‌آید ($D_۲O$).

۱۰۰g آب سنگین ($D_۲O$) حجم کم‌تری از ۱۰۰g آب معمولی ($H_۲O$) دارد. بنابراین چگالی $D_۲O$ از چگالی $H_۲O$ بیش‌تر است و یک قطعه یخ $D_۲O$ در آب معمولی **فرو می‌رود** (شناور می‌ماند).

تست: **چون اندازه‌گیری با دستگاه طیف‌سنج جرمی، نشان داده است که جرم همه اتم‌های یک عنصر، برابر ..... و در نتیجه، شمار .....های آن‌ها باید ..... باشد، از آن‌جا مفهوم اتم‌های ایزوتوپ مطرح شد که با مدل اتمی ....., در واقع، ..... دارد.** *(ریاضی خارج ۸۷)*

۱) است ـ پروتون ـ برابر ـ رادرفورد ـ مطابقت
۲) است ـ نوترون ـ برابر ـ تامسون ـ مطابقت
۳) نیست ـ پروتون ـ نابرابر ـ رادرفورد ـ مغایرت
۴) نیست ـ نوترون ـ نابرابر ـ دالتون ـ مغایرت

پاسخ: در مدل اتمی دالتون، همه اتم‌های یک عنصر مشابه درنظر گرفته می‌شوند. در حالی‌که ایزوتوپ‌ها، اتم‌های یک عنصر هستند که تعداد نوترون‌ها و در نتیجه جرم متفاوتی دارند.

گزینه ۴

جرم اتمی یا وزن اتمی (M) : جرم یک اتم به تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های آن بستگی دارد. (جرم الکترون قابل چشم‌پوشی است.) شیمی‌دان‌ها به‌دنبال عنصری استاندارد بودند تا جرم اتمی عنصرهای دیگر را نسبت به آن بسنجند. پس از دو بار تغییر در انتخاب عنصر استاندارد، سرانجام فراوان‌ترین ایزوتوپ کربن یعنی **کربن ۱۲** ($^{۱۲}_{۶}C$) برای این منظور انتخاب شد. این اتم کربن در هسته خود ۶ پروتون و ۶ نوترون دارد. دانشمندان جرم این اتم را دقیقاً برابر ۱۲/۰۰۰ در نظر گرفتند. جرم اتمی را نیز مانند عدد جرمی در گوشه سمت چپ و بالای نماد شیمیایی عنصر قرار می‌دهند و یا این‌که آن را همراه با یک علامت مساوی جلوی نماد شیمیایی عنصر نمایش می‌دهند.

amu : از آن‌جا که جرم‌های اتمی به‌صورت **نسبی** اندازه‌گیری می‌شوند، یکایی ندارند. اما به تجربه ثابت شده است که استفاده از یکای مناسب برای جرم اتم‌ها سودمند است. از این‌رو شیمی‌دان‌ها یکای amu که کوتاه‌شده عبارت atomic mass unit به‌معنای واحد جرم اتمی است را به‌عنوان یکای جرم اتمی معرفی کردند. یک amu برابر $\frac{۱}{۱۲}$ جرم اتمی کربن ۱۲ است. بنابراین در این مقیاس، جرم اتمی کربن ۱۲، برابر ۱۲/۰۰۰amu خواهد بود.

$$۱amu = \text{واحد جرم اتمی} = \frac{۱}{۱۲}(\text{جرم اتم کربن ۱۲}) = ۱/۶۶۱ \times ۱۰^{-۲۴} g$$

در این مقیاس، جرم پروتون و نوترون تقریباً ۱ amu است، در حالی که جرم الکترون تقریباً $\frac{۱}{۲۰۰۰}$ این مقدار می‌باشد. به جدول زیر توجه کنید.

نام ذره	جرم		
	g	amu	نسبی
الکترون	$۹/۱۰۹ \times ۱۰^{-۲۸}$	۰/۰۰۰۵	۰
پروتون	$۱/۶۷۳ \times ۱۰^{-۲۴}$	۱/۰۰۷۳	۱
نوترون	$۱/۶۷۵ \times ۱۰^{-۲۴}$	۱/۰۰۸۷	۱

از آن‌جا که جرم پروتون‌ها و نوترون‌ها با هم برابر و حدوداً برابر با ۱amu است، می‌توان از روی عدد جرمی یک اتم، جرم آن را تخمین زد.

جرم نوترون < جرم پروتون < ۱amu

بار الکتریکی نسبی: همواره مقدار بار الکتریکی **ذره‌های** سازنده اتم را نسبت به مقدار بار الکتریکی **الکترون** می‌سنجند. در این مقیاس نسبی، **بار الکترون برابر (۱-)** در نظر گرفته می‌شود.

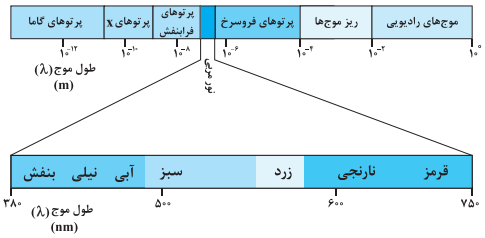
طیف‌سنج جرمی: برای **اندازه‌گیری دقیق** جرم اتم‌ها از دستگاهی به نام طیف‌سنج جرمی استفاده می‌شود. جرم اتمی (M) برخلاف عدد اتمی (Z) و عدد جرمی (A) که اعدادی صحیح هستند، معمولاً **عددی اعشاری** است.

جرم اتمی میانگین: با توجه به وجود ایزوتوپ‌ها و تفاوت در فراوانی آن‌ها، برای گزارش جرم نمونه‌های طبیعی از اتم عنصرهای مختلف، جرم اتمی میانگین به‌کار می‌رود. در واقع **بیش‌تر** (تمام) عنصرهایی که به‌طور طبیعی یافت می‌شوند، بیش از یک ایزوتوپ دارند. در نتیجه، وقتی جرم اتمی یک عنصر را اندازه می‌گیریم، جرم اتمی میانگین ایزوتوپ‌های طبیعی آن عنصر به‌دست می‌آید.

خط ویژه از اون‌جا که توی این کتاب قرار نیست مسایل شیمی‌رو بررسی کنیم، شیوه حل مسائل جرم اتمی میانگین عنصرها رو می‌تونین توی جلد دوم این کتاب بخونین.

باروت سیاه: آتش‌بازی و ایجاد صداهای بلند در جشن‌ها از جمله موارد استفاده باروت سیاه است. **باروت سیاه** مخلوطی از **پتاسیم نیترات، گرد زغال و گوگرد** ($KNO_3 + C + S$) می‌باشد. با افزودن براده‌های **آهن (Fe)** به باروت سیاه می‌توان جرقه‌های آتش به **رنگ نارنجی** تولید کرد. نمک‌های مس (Cu^{2+})، استرانسیم (Sr^{2+}) و باریم (Ba^{2+}) رنگ‌های زیبا و **گرد منیزیم (Mg)** (منگنز، Mn) و **آلومینیوم (Al) نور سفید** خیره‌کننده به جرقه‌های آتش می‌بخشند.

امواج الکترومغناطیس: همه (برخی) امواج الکترومغناطیس در خلأ **سرعت ثابتی** برابر سرعت **حرکت نور** دارند، ولی **طول موج** آن‌ها با هم **متفاوت** است. در شکل زیر، نواحی مختلف طیف امواج الکترومغناطیس براساس طول موج آن‌ها رسم شده است. به طیف به‌وجود آمده یک **طیف پیوسته** می‌گویند، زیرا به‌طور پیوسته شامل همه طول موج‌ها می‌شود. نور مریی تنها بخش کوچکی از این طیف است که چشم انسان به آن حساس است. نوری که ما را قادر به دیدن می‌کند، طول موجی بین **۳۸۰ تا ۷۵۰ نانومتر** دارد. *(تجربی خارج ۹۳)* ضمناً انرژی امواج به طول موج آن‌ها وابسته است. هرچه **طول موج کوتاه‌تر** باشد، **انرژی آن بیش‌تر** است.



طول موج: موج‌های رادیویی > ریزموج‌ها > فروسرخ > نور مریی > فرابنفش > x > گاما

انرژی: موج‌های رادیویی < ریزموج‌ها < فروسرخ < نور مریی < فرابنفش < x < گاما

هم‌چنین در محدوده طیف نور مریی می‌توان نوشت:

طول موج: قرمز > نارنجی > زرد > سبز > آبی > نیلی > بنفش

انرژی: قرمز < نارنجی < زرد < سبز < آبی < نیلی < بنفش

یکی از ویژگی‌های مهم این امواج آن است که به هنگام عبور از یک منشور شیشه‌ای مسیر آن‌ها تغییر می‌کند. میزان این تغییر جهت به طول موج آن‌ها وابسته است. هرچه **طول موج کم‌تر** باشد، **تغییر جهت بیش‌تری** اتفاق می‌افتد. از این خاصیت امواج برای جداسازی آن‌ها از یک‌دیگر استفاده می‌شود. برای مثال می‌توان گفت، نور سفید مخلوطی از امواج مختلف است که وقتی آن‌ها را از منشور عبور دهیم، از هم جدا می‌شوند.

طول موج: قرمز > نارنجی > زرد > سبز > آبی > نیلی > بنفش

تغییر جهت: قرمز < نارنجی < زرد < سبز < آبی < نیلی < بنفش

رابرت بونزن: **چراغ بونزن** و **دستگاه طیف‌بین** (طیف‌سنج) از نوآوری‌های به‌یادماندنی اوست.

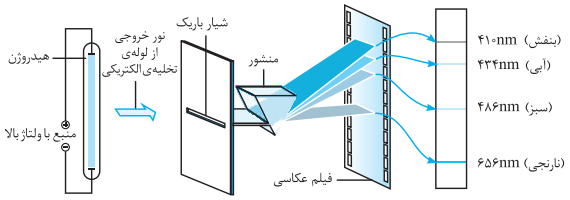
دستگاه طیف‌بین: از طرح‌های **رابرت بونزن** است که سهم بسیاری در پیشرفت علم شیمی داشت. هنگامی‌که بونزن مقداری از یک ترکیب مس‌دار مانند **کات‌کبود** ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) را در شعله مشعل این دستگاه قرار داد، مشاهده کرد که رنگ **آبی** شعله به **سبزی** می‌گراید. با عبور این نور سبزرنگ از منشوری که در دستگاه تعبیه شده بود، یک **طیف گسسته** (پیوسته) که شامل خطوط و نوارهای تاریک و روشن بود به‌دست آمد. بونزن (بور) این الگو را **طیف نشری خطی** نامید. *(تجربی داخل ۹۳)*

طیف پیوسته نور مریی: نخستین بار **نیوتون** اعلام کرد که نور به هنگام عبور از یک منشور شکافته می‌شود و طیفی **پیوسته** (گسسته) از رنگ‌هایی شبیه رنگین‌کمان به‌وجود می‌آورد. این طیف **همه** (بخشی از) طول موج‌های نور مریی را نشان می‌دهد.

طیف نشری خطی: طیف منتشرشده از عنصرهای مختلف در دستگاه طیف‌بین، برخلاف طیف نور سفید یک طیف پیوسته و تماماً روشن نیست. بلکه یک طیف **گسسته** است که شامل خطوط و نوارهای تاریک و روشن می‌باشد و به‌همین جهت طیف نشری خطی نامیده می‌شود. بررسی‌های بونزن و همکارانش ثابت کرد که هر **فلز** طیف نشری خطی خاص خود را داراست *(تجربی داخل ۹۳)* و مانند اثر انگشت می‌توان از این طیف برای شناسایی فلز موردنظر بهره گرفت. هم‌چون هیدروژن نافلزهای دیگر نیز طیف نشری خطی ویژه خود را دارند.

آزمون شعله: در این آزمایش، گرد یکی از نمک‌های هر عنصر روی شعله پاشیده می‌شود. هر عنصر، رنگی متفاوت با عنصرهای دیگر به شعله می‌دهد. به گونه‌ای که مشاهده هر یک از رنگ‌ها نشانه حضور یک عنصر ویژه است. در واقع هدف از این آزمایش یافتن رنگی است که محلول ترکیب‌های شیمیایی فلزدار به شعله چراغ بونزن می‌دهند. رنگ‌های زیر را که در آزمون شعله به‌دست می‌آید، به‌خاطر بسپارید: *(تجربی خارج ۹۳)*

نام نمونه	رنگ مشاهده‌شده
مس (Cu)	سبز
پتاسیم (K)	بنفش
لیتیم (Li)	قرمز
سدیم (Na)	زرد
کلسیم (Ca)	سرخ آجری
فلز آهن (Fe)	نارنجی
منیزیم (Mg) و آلومینیوم (Al)	سفید خیره‌کننده



طیف نشری خطی هیدروژن: هنگامی‌که 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 در می‌آید. *(تجربی خارج ۹۳)* با عبور دادن نور حاصل از یک منشور، طیف نشری خطی هیدروژن به‌دست می‌آید. انرژی زیاد ایجادشده به هنگام تخلیه الکتریکی، مولکول‌های دواتمی هیدروژن (H_2) را به اتم‌های هیدروژن جدا از هم (H) می‌شکند. این اتم‌ها در مقایسه با مولکول‌های هیدروژن، **انرژی جنبشی** بیش‌تری (کم‌تری) دارند.

همان‌طور که در شکل بالا نیز دیده می‌شود، طیف نشری خطی اتم هیدروژن، شامل چهار پرتوی مختلف با رنگ‌های بنفش (۴۱۰nm)، آبی (۴۳۴nm)، سبز (۴۸۶nm) و نارنجی (۶۵۶nm) است. با توجه به مطالب گفته‌شده، کم‌ترین طول موج و بیش‌ترین میزان تغییر جهت (میزان شکست) مربوط به پرتوی بنفش است. *(ریاضی داخل ۹۳)*

آنگستروم: نخستین بار آنگستروم (بور) چهار خط طیف نشری هیدروژن را یافت و موفق به اندازه‌گیری دقیق طول موج هر خط شد. *(ریاضی داخل ۹۳)*

مدل اتمی بور: نیلزبور با پذیرفتن وجود هسته اتم که توسط رادرفورد کشف شده بود، مدل تازه‌ای برای **اتم هیدروژن** پیشنهاد کرد. او این مدل را با فرض‌های زیر ارایه نمود:

۱ الکترون در اتم **هیدروژن** در مسیری **دایره‌ای شکل** به دور هسته گردش می‌کند.

۲ انرژی این الکترون با فاصله آن از هسته رابطه **مستقیم** دارد.

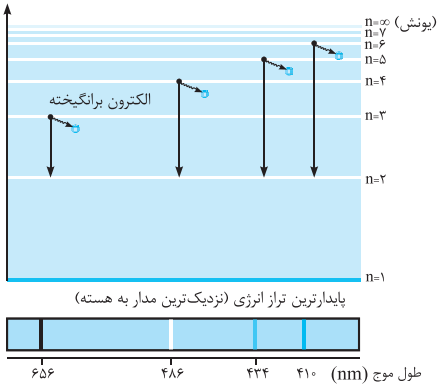
۳ این الکترون فقط می‌تواند در **فاصله‌های معین و ثابتی** پیرامون هسته گردش کند. در واقع الکترون تنها مجاز است که **مقادیر معینی انرژی** بپذیرد. به هر یک از این مسیرهای دایره‌ای یا مدارهای مجاز، **تراز انرژی** می‌گویند. تعداد این ترازهای انرژی در اتم **اندک** است. (با توجه به این بند، بور ترازهای انرژی الکترونی را کوانتیده در نظر گرفته است).

۴ الکترون معمولاً در **پایین‌ترین تراز انرژی** ممکن (نزدیک‌ترین مدار به هسته) قرار دارد. به این تراز انرژی **حالت پایه** می‌گویند.

۵ با دادن **مقدار معینی انرژی** به الکترون می‌توان آن را قادر ساخت که از حالت **پایه** (ترازی با انرژی کم‌تر) به حالت **برانگیخته** (ترازی با انرژی بالاتر) انتقال پیدا کند.

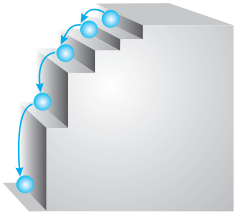
۶ الکترون در حالت **برانگیخته ناپایدار** است، از این‌رو همان مقدار انرژی را که پیش از این گرفته بود از دست می‌دهد و به حالت پایه باز می‌گردد.

از آن‌جا که برای الکترون **نشر نور** مناسب‌ترین شیوه برای از **دست دادن انرژی** است، از این رو الکترون برانگیخته به هنگام بازگشت به حالت پایه انرژی اضافی خود را که در واقع تفاوت انرژی میان دو تراز انرژی است، از طریق انتشار نوری با **طول موج معین** از دست می‌دهد.



بور به هریک از ترازهای انرژی کوانتومی، عدد خاصی را نسبت داد و آن را عدد کوانتومی اصلی نامید. *(تجربی داخل ۹۲ - ریاضی داخل ۹۳)* او این عدد را با n نمایش داد. $n = ۱$ پایدارترین تراز انرژی مجاز برای الکترون است. هم‌چنین بور با کوانتیده در نظر گرفتن ترازهای انرژی، توانست با موفقیت طیف نشری خطی **هیدروژن** (همه اتم‌ها) را توجیه کند. *(تجربی خارج ۹۳)* در واقع براساس مدل اتمی بور، الکترون در حالت برانگیخته ناپایدار است و با انتشار نور به ترازهای انرژی پایین‌تر برمی‌گردد. (به حالت پایه یا تراز $n = ۱$ برمی‌گردد) *(ریاضی خارج ۹۰)* طیف نشری خطی اتم‌ها نیز ناشی از همین امر است. در اتم هیدروژن بازگشت الکترون از ترازهای $n = ۳,۴,۵,۶$ به تراز $n = ۲$ سبب نشر **نور مرئی** می‌شود.

مدل پلکانی: شکل روبه‌رو برای ترازهای انرژی در اتم **هیدروژن** رسم شده است. اگر ترازهای انرژی را پله‌ها و الکترون را چون توپی درنظر بگیریم، این توپ هرگز نمی‌تواند جایی میان پله‌ها بایستد و حتماً باید روی یکی از پله‌ها قرار گیرد. با توجه به شکل روبه‌رو می‌توان فهمید که هرچه از هسته دورتر شویم، اختلاف انرژی میان دو تراز انرژی متوالی **کاهش** می‌یابد (به فاصله بین پله‌ها توجه کنید). هم‌چنین هرچه اختلاف انرژی میان دو تراز انرژی **بیش‌تر** شود، انرژی مبادله‌شده در انتقال الکترون بین دو تراز، **بیش‌تر** ولی طول موج منتشرشده **کوتاه‌تر** می‌شود. *(ریاضی داخل ۹۳)*



انرژی مبادله‌شده: $(n_۳ \to n_۱) > (n_۳ \to n_۲)$

اختلاف انرژی: $(n_۱, n_۲) > (n_۲, n_۳) > (n_۳, n_۴) > \cdots$

بور براساس مدل اتمی پیشنهادی خود **فقط** توانست طیف نشری خطی **هیدروژن** را توجیه کند.

انرژی کوانتومی یا پیمانه‌ای: ترازهای انرژی نزدیک به هسته اتم نسبت به ترازهایی که از هسته دورترند، انرژی کم‌تری دارند. *(تجربی خارج ۹۳)* الکترون برای جابه‌جا شدن از یک سطح انرژی پایین‌تر به سطح انرژی بالاتر، باید دقیقاً آن مقدار انرژی را که برابر اختلاف انرژی این دو تراز است، به‌دست آورد. مقدار انرژی لازم برای جهش الکترون بین این دو تراز **مقدار ثابت و مشخصی** است. به این گونه انرژی که به صورت یک **بسته انرژی** مبادله می‌شود، انرژی کوانتومی یا پیمانه‌ای می‌گویند. *(تجربی داخل ۹۲)*

گاز نئون: در ساخت بسیاری از تابلوهای تبلیغاتی از گاز نئون استفاده می‌شود. بر اثر برگشت الکترون‌های برانگیخته گاز نئون به حالت پایه، نوری به رنگ **نارنجی مایل به سرخ** منتشر می‌شود.

مدل کوانتومی: شرودینگر برمبنای **رفتار دوگانه الکترون** و با تأکید بر **رفتار موجی آن** مدلی برای اتم پیشنهاد داد. وی در این مدل به‌جای محدودکردن الکترون به کمک مدار دایره‌ای‌شکل، از حضور الکترون در فضایی سه‌بعدی به‌نام **اوربیتال** سخن به‌میان آورد.

اوربیتال: به فضایی در اطراف هسته اتم که بیش‌ترین احتمال حضور الکترون در آن وجود دارد، اوربیتال گفته می‌شود. هنگامی‌که از حضور الکترون در اوربیتال صحبت می‌شود، **چگونگی حرکت الکترون، فاصله الکترون تا هسته** و **مسیر حرکت آن** مشخص نمی‌شود (می‌شود). *(ریاضی خارج ۹۰)*

هرچند مدل کوانتومی با نام «اروین شرودینگر» گره خورده است اما **بور** نخستین بار مدل **کوانتومی** اتم که در آن ترازهای انرژی، کوانتیده در نظر گرفته شد را ارائه کرد. *(تجربی خارج ۹۰)*

تست: این بخش از مدل اتمی بور که می‌گوید ..... با دانسته‌های امروزی مطابقت ندارد. *(تجربی داخل ۸۶)*

۱) الکترون مجاز است تنها مقادیر معینی انرژی را بپذیرد،
۲) انرژی الکترون با فاصله آن از هسته رابطه مستقیم دارد،
۳) الکترون در مسیری دایره‌ای شکل به دور هسته گردش می‌کند،
۴) پایین‌ترین تراز انرژی ممکن در اتم را حالت پایه می‌گویند،

پاسخ: در مدل‌های اتمی امروزی، به جای محدود کردن الکترون به یک مدار دایره‌ای شکل، از حضور الکترون در فضایی سه بعدی به نام اوربیتال سخن به میان آمده است.

گزینه ۳

خط ویژه *توی همه کنکورهای سراسری ۹۰ به بعد داخل و خارج کشور، یه تست مستقل یا گزینه‌هایی از یه تست به اعداد کوانتومی مربوط بوده، پس اعداد کوانتومی رو با دل‌وجون یاد بگیرین.*

اعداد کوانتومی: اروین شرودینگر پس از انجام محاسبه‌های بسیار پیچیده ریاضی نتیجه گرفت همان‌گونه که برای مشخص کردن موقعیت یک جسم در فضا به سه عدد طول، عرض و ارتفاع نیاز است، برای مشخص کردن هر یک از اوربیتال‌های یک اتم نیز به چنین داده‌هایی نیاز داریم. **شرودینگر** به این منظور از سه **عدد n، l، m_l** (چهار عدد m_s, m_l, l, n) استفاده کرد که عددهای کوانتومی خوانده می‌شوند. *(تجربی داخل ۹۲)*

اگرچه برای مشخص کردن موقعیت اوربیتال، سه عدد کوانتومی n، l، m_l کفایت می‌نماید ولی در این نظریه برای مشخص کردن موقعیت الکترون‌ها، نیازمند عدد کوانتومی دیگری با نماد m_s می‌باشیم. در واقع در نظریه کوانتومی، هر الکترون در اتم یک شماره شناسنامه دارد. این شماره مجموعه‌ای از چهار عدد کوانتومی است، که عبارتند از:

۱ عدد کوانتومی اصلی (n)
۲ عدد کوانتومی فرعی یا اوربیتالی (l)
۳ عدد کوانتومی مغناطیسی (m_l)
۴ عدد کوانتومی مغناطیسی اسپین (m_s)

عدد کوانتومی اصلی (n) : همان عددی است که بور (شرودینگر) برای مشخص کردن ترازهای انرژی در مدل خود به‌کار برده بود. در مدل کوانتومی به‌جای ترازهای انرژی از واژه **لایه‌های الکترونی** استفاده می‌شود و n تراز انرژی این لایه‌های الکترونی را معین می‌کند. $n = ۱$ پایدارترین (پایین‌ترین سطح انرژی) لایه الکترونی را نشان می‌دهد و هرچه n بالاتر رود، **تراز انرژی** لایه الکترونی **افزایش** می‌یابد. پیرامون هسته اتم حداکثر **هفت** لایه الکترونی مشاهده شده است. مقادیر مجاز برای عدد کوانتومی اصلی **(n)** عددهای **صحیح مثبت** $(۱,۲,۳,\cdots)$ هستند.

یونش: هنگامی‌که الکترون با گرفتن مقدار زیادی انرژی به تراز انرژی بی‌نهایت $(n = \infty)$ انتقال یابد، از میدان جاذبه هسته خارج می‌شود. در این هنگام می‌گویند که اتم الکترون خود را از دست داده و به یون تبدیل شده است. به این فرآیند، **یونش** می‌گویند. *(ریاضی خارج ۹۰ - تجربی خارج ۹۳)*

عدد کوانتومی فرعی یا اوربیتالی (l) : الکترون‌های موجود در یک لایه الکترونی، گروه‌های کوچک‌تری نیز تشکیل می‌دهند. به هریک از این گروه‌ها **زیرلایه** می‌گویند. در واقع هر لایه اصلی الکترونی خود از زیرلایه‌های الکترونی مختلفی تشکیل یافته است. عدد کوانتومی فرعی یا اوربیتالی (l) عددی است که **نوع زیرلایه** یا **شکل و تعداد اوربیتال‌های** آن زیرلایه را مشخص می‌کند. از نظر عددی، l می‌تواند مقادیر درست ۰ تا $(n - ۱)$ را در هر لایه الکترونی در برگیرد. این مقادیر عددی را معمولاً با حروف $s(l = ۰)$، $p(l = ۱)$، $d(l = ۲)$ و $f(l = ۳)$ نشان می‌دهند.

نمودار اوربیتالی (آرایش نموداری): برای نمایش چگونگی توزیع الکترون‌ها در زیرلایه‌ها و همچنین نمایش جهت چرخش الکترون (جهت اسپین)، از نمودار اوربیتالی استفاده می‌کنیم. در نمودار اوربیتالی، هر اوربیتال با یک چهارگوش و الکترون نیز با پیکان نشان داده می‌شود. جهت چرخش الکترون (جهت اسپین) نیز به وسیله جهت پیکان مشخص می‌شود. در هر اوربیتال **حداکثر** دو الکترون جای می‌گیرد، پس نمودار اوربیتالی یک اوربیتال کاملاً پُر به‌صورت زیر خواهد بود:

یک اوربیتال کاملاً پُر : $\boxed{\uparrow\downarrow}$

مجموعه‌ای از چند اوربیتال هم‌جنس (با مقدار l برابر)، یک زیرلایه را ایجاد می‌کنند. *(تجربی خارج ۹۲)* هم‌چنین مجموعه‌ای از چند زیرلایه (با مقدار n برابر)، یک لایه الکترونی را تشکیل می‌دهند. بنابراین هر لایه الکترونی از یک یا چند زیرلایه و هر زیرلایه از یک یا چند اوربیتال تشکیل شده است.

زیرلایه s : وقتی $l = ۰$ باشد، اوربیتال اتمی از نوع s است. زیرلایه s شامل **یک اوربیتال** s بوده و اگر کاملاً پُر باشد **دو الکترون** در آن قرار دارد.

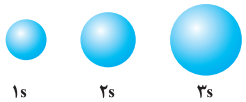
اوربیتال s

$\boxed{\uparrow\downarrow}$

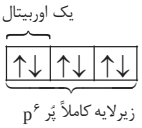
زیرلایه کاملاً پُر $s^۲$

در هر لایه الکترونی، اوربیتالی که دارای کم‌ترین انرژی است با حرف s مشخص می‌شود. که **کروی‌شکل** است. هر لایه الکترونی تنها یک اوربیتال s دارد.

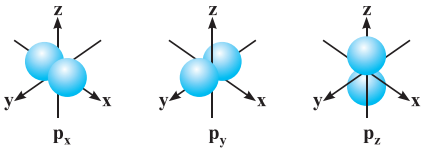
کروی بودن اوربیتال s به این معنا نیست (☺ است) که مسیر حرکت الکترون اطراف هسته داخل این اوربیتال کروی است. در واقع **شکل اوربیتال** به هیچوجه **مسیر حرکت الکترون** اطراف هسته را نشان **نمی‌دهد** و فقط بیان می‌کند که **احتمال حضور الکترون** داخل این فضای **کروی بیش‌تر** است.



زیرلایه p : وقتی $l=1$ باشد، اوربیتال اتمی از نوع p است. زیرلایه p شامل **سه اوربیتال هم‌انرژی** p بوده و اگر کاملاً پُر باشد، **شش الکترون** در آن قرار دارد.



در هر لایه الکترونی (غیر از $n=1$ که تنها مجاز به داشتن اوربیتال s است.) سه اوربیتال p وجود دارد. هر اوربیتال p به شکل یک **دمبل (یا دو کره مماس بر هم)** است. سه اوربیتال دمبلی‌شکل p در راستای سه محور x و y و z که بر یک‌دیگر **عمودند**، قرار می‌گیرند. بنابراین زاویه میان اوربیتال‌های p برابر **۹۰°** است. در یک لایه الکترونی معین، همواره انرژی اوربیتال‌های p بیش‌تر از انرژی اوربیتال s است.



تعداد اوربیتال‌ها در یک زیرلایه: از رابطه زیر محاسبه می‌شود. در رابطه زیر، l عدد کوانتومی اوربیتالی است.

تعداد اوربیتال‌ها در هر زیرلایه $= 2l+1$

از آن‌جا که هر اوربیتال حداکثر دو الکترون را در خود جای می‌دهد:

حداکثر تعداد الکترون‌ها در هر زیرلایه $= 2(2l+1) = 4l+2$

تعداد اوربیتال‌ها در یک لایه الکترونی: از رابطه زیر محاسبه می‌شود. در رابطه زیر، n عدد کوانتومی اصلی است.

تعداد اوربیتال‌ها در هر لایه الکترونی $= n^2$

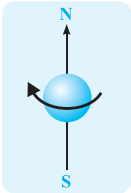
از آن‌جا که هر اوربیتال حداکثر دو الکترون را در خود جای می‌دهد:

حداکثر تعداد الکترون‌ها در هر لایه الکترونی $= 2n^2$

عدد کوانتومی مغناطیسی (m_l) : جهت‌گیری اوربیتال را در فضا معین می‌کند. *(تجربی خارج ۹۳)* m_l همه عددهای **صحیح** بین $-l$ تا $+l$ را در برمی‌گیرد. اگر $l=1$ باشد، m_l مقادیر $-1, 0, +1$ را می‌پذیرد. برای مثال، زیرلایه p از سه اوربیتال یکسان با جهت‌گیری فضایی متفاوت تشکیل شده است. جهت‌گیری فضایی هریک از این اوربیتال‌ها با m_l مشخص می‌شود. P_x، P_y و P_z نمادهایی هستند که برای نمایش این اوربیتال‌ها به‌کار می‌روند.

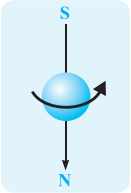
حرکت اسپینی: دانشمندان افزون بر حرکت **اوربیتالی** (حرکت الکترون به دور هسته اتم) یک حرکت **اسپینی** (حرکت به دور خود) برای الکترون در نظر گرفتند. الکترون با گردش حول محور خود به یک آهنربای ریز تبدیل می‌شود.

عدد کوانتومی مغناطیسی اسپین (m_s) : جهت گردش الکترون به دور خود یا همان جهت اسپین الکترون را نشان می‌دهد. این عدد تنها دو مقدار $+\frac{1}{2}$ برای چرخش در جهت حرکت عقربه‌های ساعت و $-\frac{1}{2}$ برای چرخش در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت خواهد داشت.



حرکت در جهت حرکت عقربه‌های ساعت

$m_s = +\frac{1}{2}$



حرکت در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت

$m_s = -\frac{1}{2}$

برای یک الکترون منفرد درون یک اوربیتال مانند الکترون اتم هیدروژن، در **غیاب میدان مغناطیسی** نظیر میدان مغناطیسی کره زمین، هر کدام از اسپین‌های $+\frac{1}{2}$ و $-\frac{1}{2}$ قابل قبول است.

تست: شرودینگر برای مشخص کردن محل الکترون در فضای پیرامون هسته اتم، از ..... عدد کوانتومی با نمادهای ..... استفاده کرد. *(تجربی خارج ۸۶)*

۱) دو ـ n و m_l
۲) دو ـ n و l
۳) سه ـ n، l و m_l
۴) چهار ـ n، l، m_l و m_s

پاسخ: شرودینگر برای مشخص کردن محل الکترون در فضای پیرامون هسته اتم (اوربیتال)، از سه عدد کوانتومی n، l و m_l استفاده کرد. توجه داشته باشید که برای مشخص کردن جهت گردش الکترون‌ها به دور خود، از عدد کوانتومی m_s استفاده می‌شود.