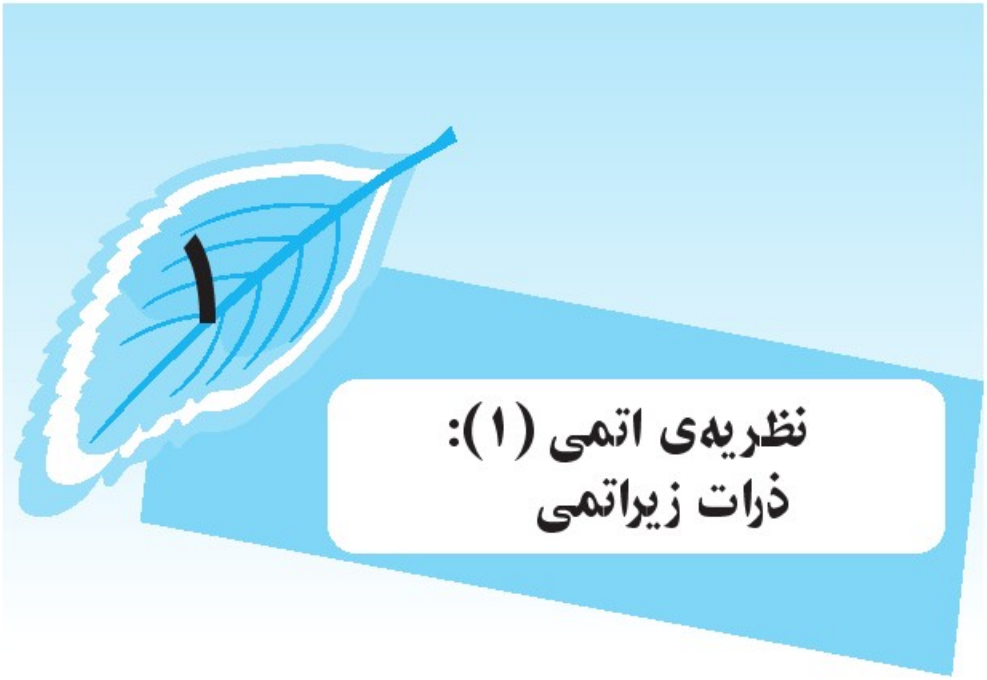


۱
نظریه‌ی اتمی (۱): ذرات زیراتمی

همانند بسیاری از علوم دیگر اولین بحث و نظرات پیرامون ساختار ماده و اجزای سازنده‌ی آن به یونان باستان نسبت داده می‌شود. البته بعید نیست که خاستگاه این نظریات به تمدن‌هایی قبل از یونان برگردد که اخبار آن‌ها در دست ما نیست. نظریه‌ی عناصر چهارگانه‌ی ارسطو فیلسوف مشهور یونانی، بیان می‌کند که جهان و تمامی مواد موجود در آن از چهار عنصر آب، خاک، باد و آتش شکل گرفته است و خود این عناصر از جزء دیگری تشکیل نشده‌اند. همچنین بر طبق نظر او فرآیند ریز و خرد کردن ماده بی‌پایان قابل انجام است. در مقابل فیلسوف دیگری به نام دموکریت همه‌ی مواد را متشکل از ذرات بسیار ریز و غیر قابل تقسیمی می‌دانست که بعدها «اتم» به معنای تجزیه‌ناپذیر نام گرفتند. وی خواص مواد مختلف را به شکل اتم‌های تشکیل دهنده‌ی آن مرتبط می‌دانست. البته اساس این نظریات کم‌تر مبنای تجربی داشت و غالباً عقلی و فلسفی بود.

نظریه‌ی عناصر چهارگانه‌ی ارسطو ـ مانند بسیاری از نظریات وی در علوم تجربی ـ تا قرن‌ها نظریه‌ی غالب بر جوامع علمی بود. می‌توان نخستین بار تشکیک ورد این نظر را در آثار دانشمندان تمدن اسلامی یافت. به طوری که کشف و جداسازی بسیاری از عناصر و ترکیبات توسط جابربن‌حیان و زکریای رازی، و دسته‌بندی مواد از منظر ایشان با مدل ارسطویی مطابقت نداشت. علاوه بر آن نظریه‌ی زکریای رازی در رابطه با ساختار ماده شباهت بسیاری با «نظریه‌ی اتمی» مطرح شده توسط جان دالتون انگلیسی در قرون بعدی داشت.

۱-۱ مدل اتم دالتون

رابت بویل و ایزاک نیوتون در کتاب‌های خود وجود اتم‌ها را پذیرفتند. اما امروزه نخستین نظریه‌ی اتمی مدون را به جان دالتون نسبت می‌دهند. او توانست در نظریه‌ی خود قوانین واکنش‌ها و تغییرات شیمیایی

را توضیح دهد. اصول نظریه‌ی دالتون را می‌توان در ۵ بند زیر خلاصه کرد:

۱. مواد از ذرات بسیار کوچکِ تجزیه‌ناپذیری به نام اتم تشکیل شده‌اند.

۲. اتم‌های یک عنصر با یکدیگر مشابه و با اتم‌های عناصر دیگر متفاوتند.

۳. از به هم پیوستن اتم‌ها، مولکول‌ها به وجود می‌آیند. یک واکنش شیمیایی، تغییر در شیوه‌ی اتصال اتم‌ها به یکدیگر است.

٤. در یک واکنش، نه اتمی به وجود می‌آید و نه از بین می‌رود و اتم هیچ عنصری به عنصر دیگر تبدیل نمی‌شود.

۵. یک ترکیب شیمیایی معین، از عناصری تشکیل یافته است که همواره نوع و میزان نسبی آن‌ها یکسان است. (قانون نسبت‌های معین)

مثال ۱-۱ با توجه به قانون نسبت‌های معین، اگر در ۱۰۰ گرم نمک طعام، ۳۹ گرم سدیم و ۶۱ گرم کلر موجود باشد. در ۵۸٫۵ گرم نمک، چه مقدار از هر یک از عناصر موجود است؟

پاسخ: با استفاده از قانون نسبت‌های معین، در نمک طعام همواره نسبت سدیم به کلر مقدار ثابتی است. بنابراین با یک تناسب ساده می‌توان مقادیر این عناصر به دست آورد. با فرض پارامترهای X و Y به ترتیب برای جرم سدیم و جرم کلر در $58/8\,g$ نمک داریم:

$$\frac{\text{جرم سدیم}}{\text{جرم نمک}} = \frac{39\,g}{100\,g} = \frac{x}{58/5\,g} \Rightarrow x = 22/8\,g$$

$$\Rightarrow y = 58/5 - 22/8 = 35/7\,g$$

بنابراین در ۵۸٫۵ گرم نمک، ۲۲٫۸ گرم سدیم و ۳۵٫۷ گرم کلر وجود دارد.

اگرچه امروزه هنوز چهارچوب کلی نظریه‌ی دالتون مورد قبول است، اما برخی از اصول آن رد شده و یا تغییر یافته است. مهم‌ترین این موارد به شرح زیر است:

ـ مشخص شده است اتم‌ها خود متشکل از ذرات کوچک‌تری هستند. در این فصل این ذرات زیراتمی را معرفی خواهیم کرد.

ـ کشف ایزوتوپ‌ها[1] نشان داد که اتم‌های یک عنصر لزوماً یکسان نیستند و می‌توانند دارای جرم‌های متفاوتی باشند.

ـ اصل شماره ۴ نظریه دالتون، برگرفته از قانون پایستگی جرم است. امروزه مشخص شده است که این قانون به طور مطلق صحیح نیست. از موارد نقض آن می‌توان به پرتوزایی برخی مواد و همچنین واکنش‌های هسته‌ای اشاره کرد. البته در واکنش‌های شیمیایی معمول، هنوز این قانون قابل استفاده است و موازنه‌ی یک واکنش شیمیایی مبتنی بر آن است[2].

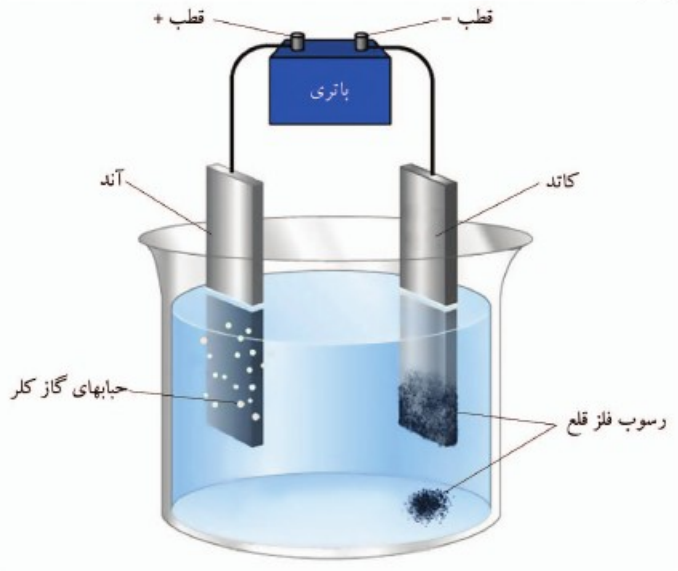
۱) بخش ۲ـ۲

۲) رجوع شود به مبحث «استوکیومتری»

۱-۲ الکتریسیته و کشف الکترون

در مدل اتمی دالتون، اتم یک ذره‌ی یکپارچه و بدون تغییر فرض شده است. اما آزمایشات مرتبط با الکتریسیته‌ی ساکن و بیش از آن آزمایشات بر روی الکتریسیته‌ی جاری نشان داد که این مدل، مدل کاملی برای تبیین ساختار اتم نیست. این آزمایشات نشان می‌داد اتم‌ها با جاذبه‌هایی که ماهیت الکتریکی دارند به هم متصل هستند و همچنین اتم‌ها قادر به جذب و یا تخلیه‌ی الکتریسیته می‌باشند.

آزمایشات مربوط به «برقکافت» در همین راستا بود. در این فرآیند با قرار دادن دو الکترود[۳] یکی مثبت (آند) و دیگری منفی (کاتد) درون محلی از یک ترکیب یونی فلزدار (نمک) و برقراری جریان برق مستقیم، نمک تجزیه شده و فلز موجود در ترکیب روی کاتد و کف ظرف ته‌نشین می‌شود. در شکل ۱ـ۱ـ مثالی از یک فرآیند برقکافت نشان داده شده است. از جمله کاربردهای فراوان برقکافت، آبکاری فلزات و ایجاد روکشی از فلز است.



شکل ۱-۱ برقکافت محلول غلیظ قلع (II)کلرید ($SnCl_2$)

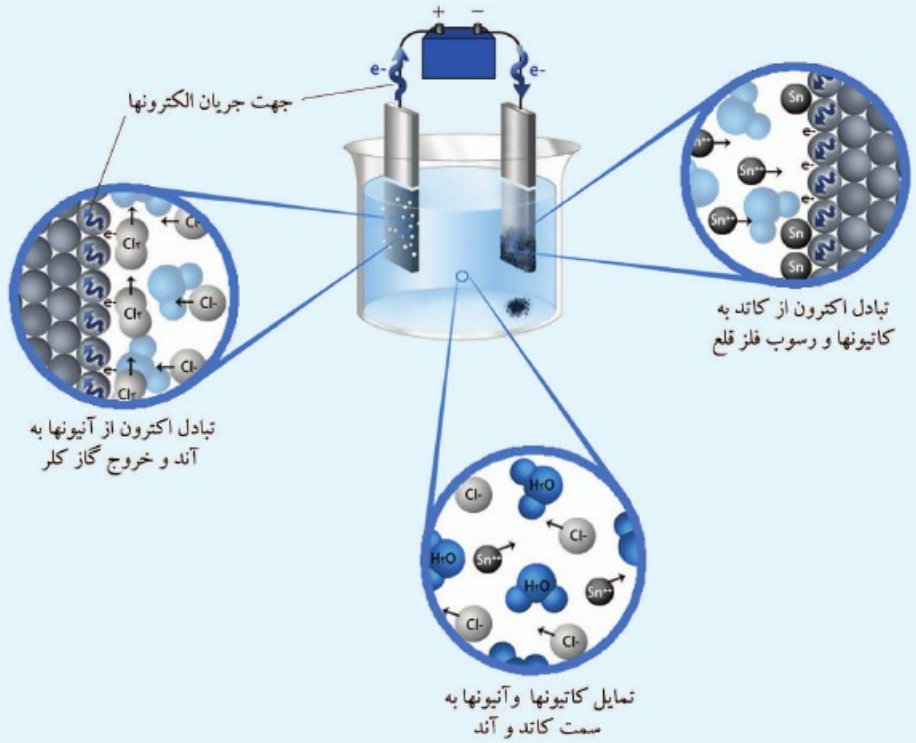
مایکل فارادی با برقکافت محلول ترکیب فلزهای مختلف مشاده کرد که در شرایط یکسان، میزان رسوب فلزهای مختلف با یکدیگر متفاوت است. این بدان معنا بود که اتم‌های فلزات مختلف هنگام رسوب کردن مقدار یکسانی الکتریسیته جذب نمی‌کنند. بنابراین الکتریسیته می‌بایست ماهیتی گسسته داشته باشد؛ یعنی از واحدهای باری تشکیل شده است که به آن «الکترون» می‌گوییم. نتیجه‌ی مهم دیگر این بود که الکترون‌ها قادر به ورود در اتم‌ها و خروج از آن‌ها هستند.

۳) تیغه‌ی رسانا

در فرآیند برقکافت چه رخ می‌دهد؟

همان‌طورکه می‌دانید محلول برخی ترکیبات از جمله نمک‌ها، اسیدها و بازها رسانای جریان الکتریسیته‌اند. این رسانایی به دلیل ایجاد یون‌های مثبت و منفی هنگام انحلال این مواد در آب است. هنگامی که دو الکترود مثبت و منفی در محلول قرار گیرد، کاتیون‌ها (یون‌های مثبت) به سمت کاتد منفی و آنیون‌ها (یون‌های منفی) به سمت آند مثبت جذب می‌شوند و با تبادل الکترون باعث انتقال جریان برق می‌شوند. اساس برقکافت یا الکترولیز همین تبادل الکترون‌ها و خنثی شدن کاتیون‌ها و آنیون‌ها در کاتد و آند است که سبب تجزیه‌ی ترکیب موجود در محلول می‌شود.

برای مثال شکل ۱ـ۲، برقکافت محلول غلیظ $SnCl_2$ را از دید مولکولی نشان می‌دهد. با برقراری جریان یون‌های مثبت قلع در اطراف کاتد یا جذب الکترون از آن، خنثی شده و فلز قلع رسوب می‌کند. در طرف دیگر یون‌های منفی کلر در اطراف آند با از دست دادن الکترون خنثی شده و به صورت حباب‌های گازی کلر از محلول خارج می‌شوند.

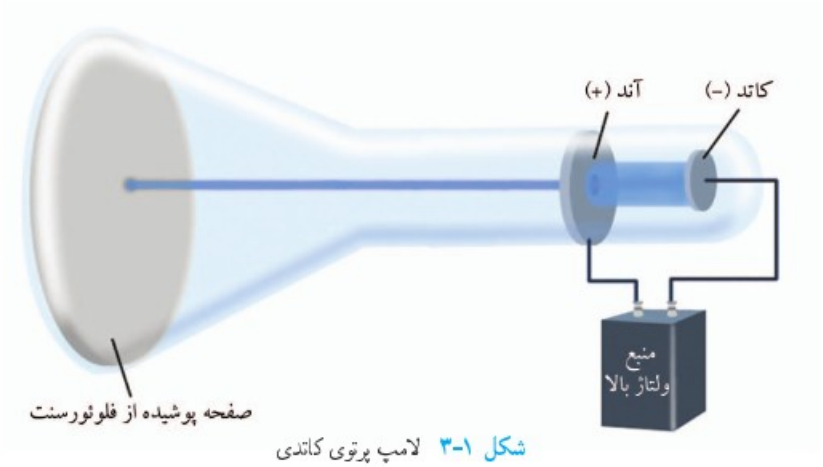


شکل ۱ـ۲ فرآیند برقکافت محلول غلیظ $SnCl_2$ از دید مولکولی

۳-۱ لامپ پرتوی کاتدی

پرتوهای کاتدی در پی کوشش برای عبور جریان برق در خلأ کشف شدند. به این صورت که دو الکترود در یک لوله‌ی شیشه‌ای قرار می‌دهند و هوا درون آن را تقریباً به‌طور کامل خارج می‌کنند. هنگامی که یک ولتاژ زیاد بین دو الکترود برقرار شود پرتوهایی از الکترود منفی (کاتد) به سمت الکترود مثبت (آند) جریان می‌یابد.

شکل زیر نمایی از لامپ پرتوی کاتدی را نشان می‌دهد. پرتوهای کاتدی نامرئی هستند. بنابراین معمولاً در وسط آند سوراخی ایجاد می‌کنند و انتهای لوله را با مواد فلوئورسنت می‌پوشانند. این مواد تابش‌های نامرئی را جذب و نور مرئی ساطع می‌کنند. به این ترتیب با عبور باریکه‌ای از پرتوها و برخورد با ماده‌ی فلوئورسنت محل برخورد مشخص می‌شود.



شکل ۱-۳ لامپ پرتوی کاتدی

آزمایشات و مطالعات گسترده‌ی جوزف تامسون، ویژگی‌های زیر را برای پرتوهای کاتدی نشان داده است:

۱. پرتوی کاتدی در خط راست سیر می‌کند.

۲. این پرتوها برخلاف امواج نور دارای جرم می‌باشند.

۳. جنس پرتوی کاتدی همواره یکسان است و به جنس کاتد بستگی ندارد.

۴. پرتوی کاتدی بسیار پرانرژی است و باعث یونش[۴] و التهاب[۵] گاز اندک درون لوله می‌شود.

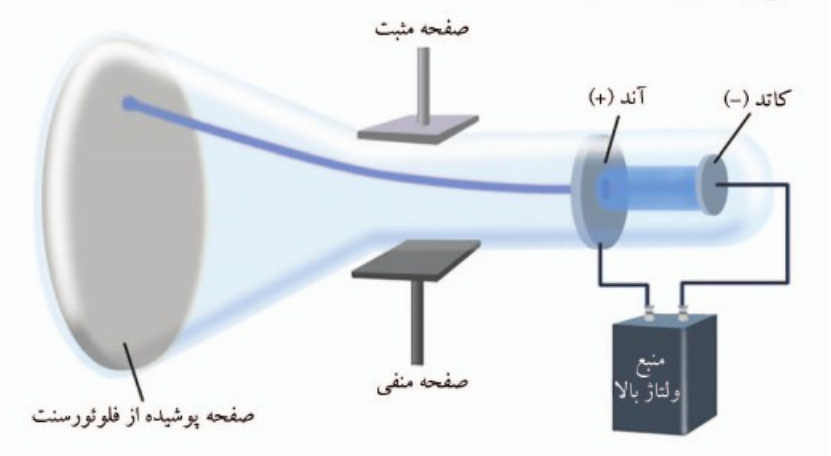
۵. پرتوهای کاتدی با عبور از میدان الکتریکی از مسیر مستقیم به سمت قطب مثبت منحرف می‌شوند، بنابراین ذرات آن یعنی همان الکترون‌ها دارای بار الکتریکی منفی می‌باشند.

میزان انحراف یک ذره‌ی متحرک باردار در میدان الکتریکی یا مغناطیسی، به دو عامل بستگی دارد:

الف) هرچه بار ذره بیش‌تر باشد، انحراف آن بیش‌تر خواهد بود. پس میزان انحراف ذره با بار آن (q) متناسب است.

۴) جدایش الکترون
۵) انتشار نور

ب) هرچه جرم ذره (m) بیش‌تر باشد، انحراف آن کم‌تر خواهد بود. پس میزان انحراف ذره با معکوس جرم $(1/m)$ متناسب است.



شکل ۱-۴ انحراف پرتوی کاتدی در میدان الکتریکی

بنابراین ترکیب این دو عامل یعنی نسبت بار به جرم (q/m) تعیین‌کننده‌ی میزان انحراف یک ذره‌ی متحرک در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی است. تامسون با انحراف پرتوی کاتدی در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی و اندازه‌گیری میزان انحراف آن، توانست نسبت بار به جرم الکترون را محاسبه کند. این مقدار برابر است با $-۱/۷۶ \times ۱۰^{۸}\ C/g$. به‌طوری‌که C (کولن) واحد اندازه‌گیری بار الکتریکی و g (گرم) واحد اندازه‌گیری جرم است.

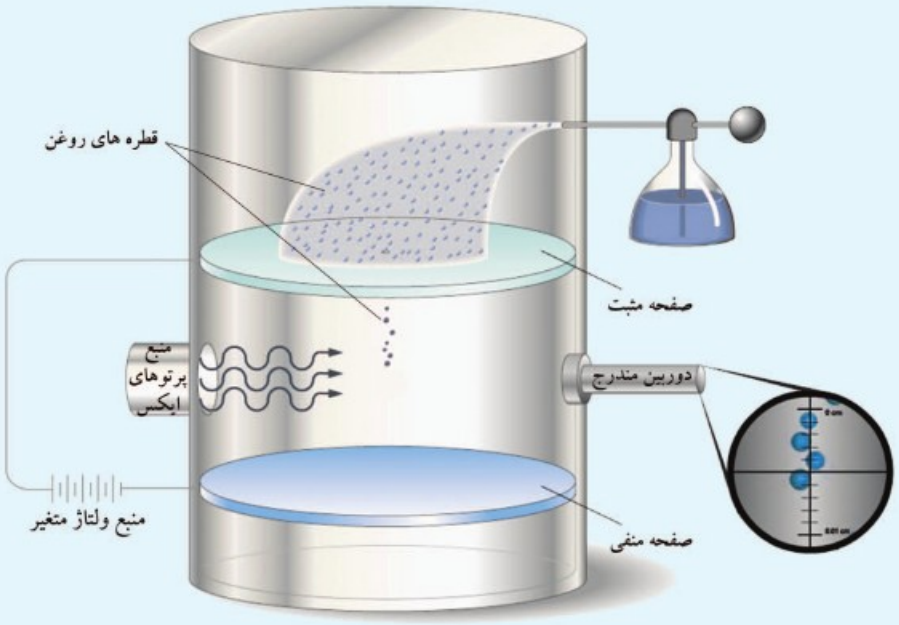
۱-٤ اندازه‌گیری بار و جرم الکترون

تامسون توانست با استفاده از پرتوهای کاتدی نسبت بار به جرم الکترون را به دست آورد. اما نخستین اندازه‌گیری بار الکترون به طور جداگانه توسط رابرت میلیکان با انجام آزمایش زیر صورت گرفت.

آزمایش قطرات روغن

در این آزمایش دو صفحه‌ی موازی به یک منبع با ولتاژ قابل تنظیم متصل هستند. به این صورت که با برقراری جریان صفحه‌ی بالایی دارای بار مثبت و صفحه‌ی پایینی دارای بار منفی می‌شود. هوای میان دو صفحه به وسیله‌ی پرتوهای پر انرژی ایکس یونیزه می‌شوند. به این معنا که برخی الکترون‌های مولکول‌های هوا از آن‌ها کنده می‌شوند. به وسیله‌ی یک روغن پاش قطرات بسیار ریز روغن روی صفحه‌ی بالایی که دارای یک سوراخ است، اسپری می‌شود. این قطرات از درون سوراخ سقوط می‌کنند و در هنگام عبور از فضای بین دو صفحه با جذب الکترون‌ها دارای بار منفی می‌شوند. حال جریان برقرار می‌شود و قطره‌های روغن از طرف صفحه‌ی بالا جذب و از طرف صفحه‌ی پایین دفع می‌شوند.

بنابراین با صرف‌نظر از اصطکاک دو نیرو به هر قطره‌ی روغن وارد می‌شود؛ نیروی وزن قطره که به سمت پایین است و نیروی الکتریکی که به سمت بالاست. با تغییر ولتاژ صفحات می‌توان طوری نیروی الکتریکی را طوری تنظیم کرد که با نیروی وزن قطره برابر شود و قطره در هوا معلق بماند. نیروی وزن قطره‌ی روغن به دو روش قابل محاسبه است. با اندازه‌گیری قُطر قَطره به وسیله‌ی دوربین مندرج و یا اندازه‌گیری زمان سقوط قطره. در نتیجه نیروی الکتریکیِ معادل با وزن به دست می‌آید. نیروی الکتریکی متناسب با بار قطره‌ی روغن است. قطرات مختلف می‌توانند تعداد متفاوتی الکترون جذب کنند و بار متفاوتی داشته باشند. میلیکان با تکرار این آزمایش روی چندین قطره، بارهای آن‌ها را محاسبه نمود. او فهمید که تمامی این بارها مضربی ساده از یک عدد معین هستند که همان بار الکترون خواهد بود.



شکل ۱-۵ نمایی از دستگاه آزمایش میلیکان

مثال ۱-۲ اگر در یک آزمایش قطره‌ی روغن میلیکان مقادیر زیر برای بارهای سه قطره‌ی روغن به‌دست آمده باشد، مقدار بار الکترون را محاسبه کنید.

قطره‌ی روغن	بار الکتریکی بر حسب (10^{-20} کولن)
الف	−۳۲
ب	−۴۸
ج	−۸۰

پاسخ: با توجه به توضیحات متن، بار الکترون برابر می‌شود با بزرگ‌ترین مقسوم‌علیه مشترک (ب.م.م) بارهای قطرات روغن. باکمی دقت مشخص می‌شود: $۲ \times ۱۶ = ۱۶ \times ۳،۳۲ = ۴۸$ و $۵ \times ۱۶ = ۸۰$ بنابراین ب.م.م این سه عدد برابر است با ۱۶ و بار الکترون برابر می‌شود با $-۱۶ \times ۱۰^{-۲۰}\ \mathrm{C}$.

بار تک الکترون به عنوان واحد بار الکتریکی، با نماد $-e$ نشان داده می‌شود:

$$q = -e = -۱٫۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}$$

با محاسبه‌ی بار الکترون و داشتن نسبت بار به جرم، جرم الکترون نیز قابل محاسبه است.

$$m = \frac{q}{q/m} = \frac{-۱٫۶۰ \times ۱۰^{۱۹}}{-۱٫۷۶ \times ۱۰^{۸}\ \mathrm{C/g}} = ۹٫۱ \times ۱۰^{-۲۸}\ \mathrm{g}$$

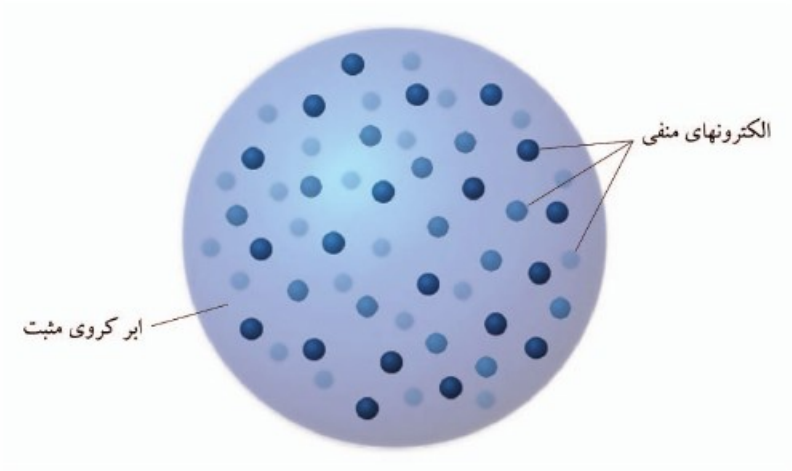
۱-۵ مدل اتمی تامسون

با کشف الکترون به عنوان اولین ذره‌ی زیر اتمی جوزف تامسون مدل اتمی جدیدی به شرح زیر ارائه نمود؛

۱. اتم متشکل از الکترون‌هایی با بار منفی است که در فضای ابرگونه‌ای با بار مثبت پراکنده‌اند.

۲. مجموع بار منفی الکترون‌ها برابر با بار مثبت ابرکروی است و در نتیجه اتم خنثی است.

۳. جرم اتم، ناشی از تعداد بسیار زیاد الکترون‌های آن است و ابر کروی جرمی ندارد.



شکل ۱-۶ مدل اتمی تامسون

این مدل اتمی به «مدل کیک کشمشی» یا «مدل هندوانه‌ای» شهرت دارد. مطالعات بعدی روی اتم ـ از جمله آزمایش رادرفورد ـ نشان داد که مدل تامسون نمی‌تواند تصویر درستی از ساختار اتم ارایه دهد.

۱-۶ پرتوزایی

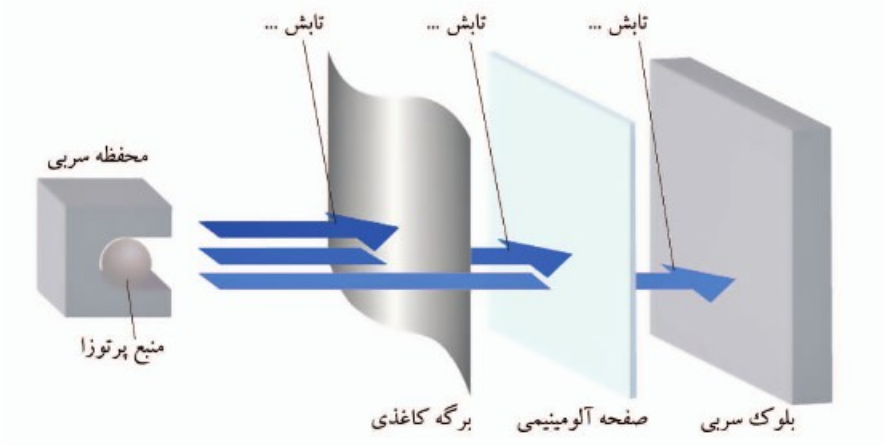
اتم‌های برخی از عناصر به علت ناپایداری، به اصطلاح پرتوزا هستند. این اتم‌ها با منتشر کردن پرتوهایی تغییر ماهیت داده و به اتم پایدار عنصری دیگر تبدیل می‌شوند. این خاصیت که تصادفاً توسط هانری بکرل کشف شده است «پرتوزایی» یا «رادیواکتیویته» نام دارد. ارنست رادرفورد متوجه شده به طور طبیعی سه نوع تابش می‌تواند از مواد پرتوزا ساطع شود؛

۱. **پرتوی آلفا** (α): این تابش از ذراتی با بار $+2$ تشکیل شده است که جرم نسبتاً سنگینی دارند. سرعت این تابش حدود $16000\ km/s$ (۵ درصد نور) و نفوذپذیری آن پایین است.

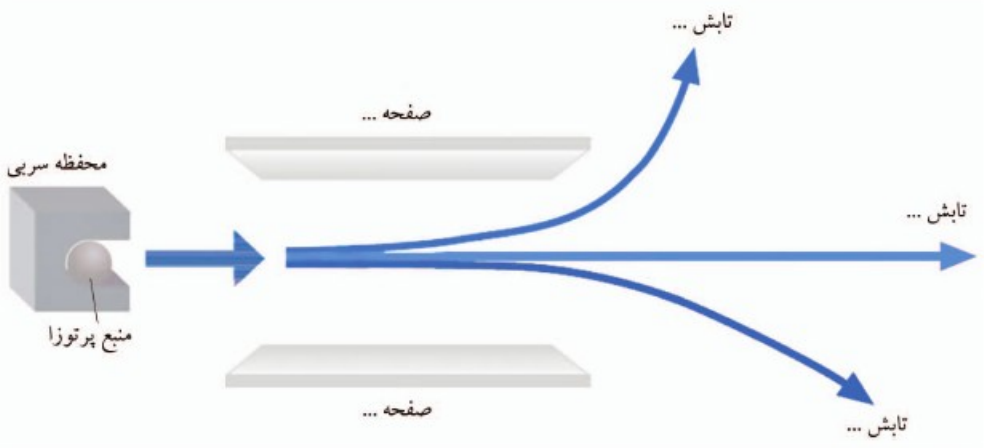
۲. **پرتوی بتا** (β): ذرات این تابش دارای بار -1 هستند. تابش بتا نسبت به آلفا بسیار سبک‌تر و دارای نفوذپذیری بیشتری می‌باشد. سرعت این تابش $130000\ km/s$ (۴۰ درصد سرعت نور) است.

۳. **پرتوی گاما** (γ): این تابش بدون بار و بدون جرم است. تابش γ پرانرژی‌ترین و نفوذپذیرترن پرتوی شناخته شده در طبیعت است. سرعت این تابش برابر با سرعت نور است.

مثال ۱-۳ سه تابش منتشر شده از مواد پرتوزا را با آزمایشات مختلفی می‌توان از یکدیگر تفکیک نمود. شکل‌های زیر به ترتیب دو آزمایش (الف) قابلیت عبور از مواد و (ب) میزان انحراف در میدان الکتریکی را روی این پرتوها نشان می‌دهد. در هر دو آزمایش تابش‌های α، β و γ را تعیین و همچنین در آزمایش دوم بار صفحات را نیز مشخص نمایید.



شکل ۱-۷ قابلیت عبور پرتوهای رادیواکتیو



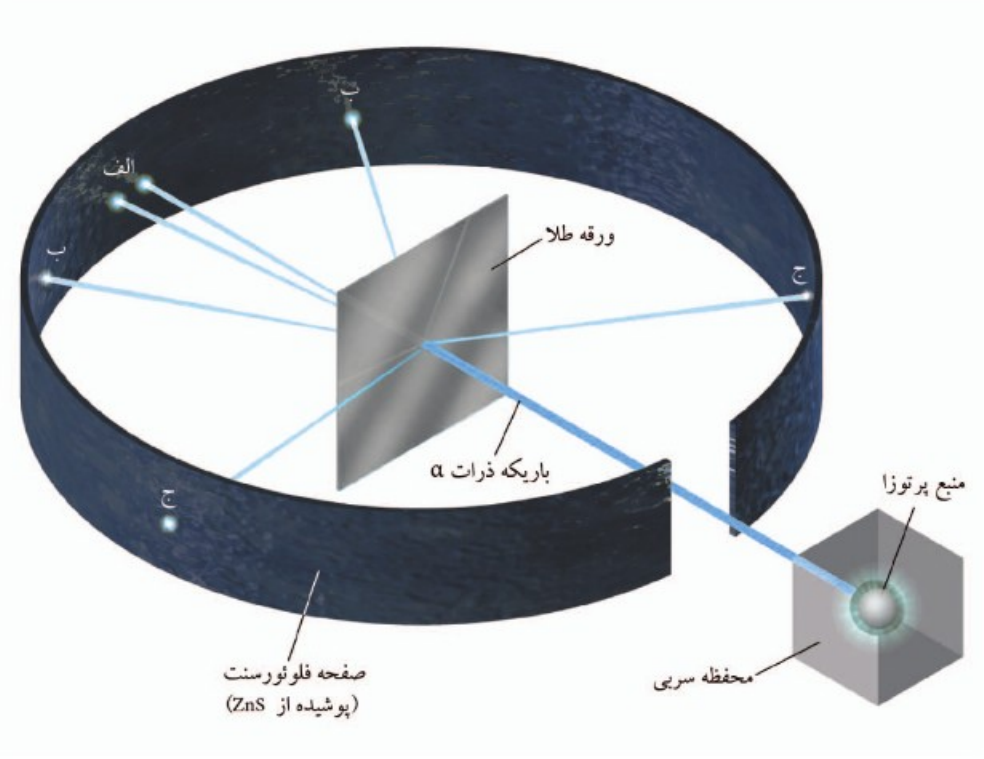
شکل ۱ـ۸ میزان انحراف پرتوهای رادیواکتیو در میدان الکتریکی

پاسخ: با توجه به متن، بیش‌ترین نفوذپذیری مربوط به تابش گاما و کم‌ترین مربوط به آلفاست. بنابراین در آزمایش اول (شکل ۱ـ۷)، پرتوی بالایی α، پرتوی وسط β و پرتوی پایینی γ خواهد بود. همچنین در بخش ۱ـ۴ بیان کردیم میزان انحراف یک ذره‌ی باردار در میدان الکترومغناطیس متناسب با نسبت بار به جرم (q/m) آن است. بر این اساس ذره‌ی آلفا با اینکه بار بیشتری به ذره‌ی بتا دارد اما به علت جرم بسیار بالا انحراف کم‌تری در میدان الکتریکی خواهد داشت. همچنین برای تابش گاما به سبب نداشتن بار هیچ‌گونه انحرافی رخ نمی‌دهد. پس در آزمایش دوم (شکل ۱ـ۸)، پرتوی بالایی β، پرتوی وسط γ و پرتوی پایینی α می‌باشد. همچنین صفحه‌ی بالایی می‌بایست منفی باشد تا تابش مثبت آلفا را جذب کند و صفحه‌ی پایینی مثبت است که تابش منفی بتا را جذب کرده است.

۱ـ۷ مدل اتمی هسته‌دار

رادرفورد در آزمایش خود، پرتوهای آلفا را برای مطالعه‌ی ساختار اتم به کار گرفت. آزمایش از این قرار بود که با استفاده از ماده‌ای پرتوزا، باریکه‌ای از ذرات آلفا به ورقه‌ای بسیار نازک از طلا با ضخامت تقریبی ۴ میکرون[۶] (حدود ۲۰۰۰ اتم) تابانده شد (شکل ۱ـ۹).

۶) هر میکرون (μm) برابر 10^{-6} است.



شکل ۱-۹ انحراف پرتوهای آلفا هنگام عبور از ورقه‌ی طلا

الف) بدون انحراف موثر، ب) انحراف با زاویه‌ی کم‌تر از ۹۰ درجه، ج) بازگشت با زاویه‌ی بیش از ۹۰ درجه

با در نظر گرفتن مدل تامسون انتظار این بود که تمامی ذرات سنگین آلفا بدون انحراف قابل توجهی از ورقه‌ی طلا عبور کنند. (چرا؟) اما برخلاف انتظار نتایجی از این آزمایش به دست آمد که بسیار شگفت‌آور بود. این نتایج به شرح زیر است؛

۱. اکثر ذرات آلفا، بدون انحراف موثری نسبت به مسیر اولیه از ورقه‌ی طلا عبور کردند.

۲. تعدادی از ذرات آلفا، با زاویه‌ی کم‌تر از ۹۰ درجه نسبت به مسیر اولیه منحرف شدند.

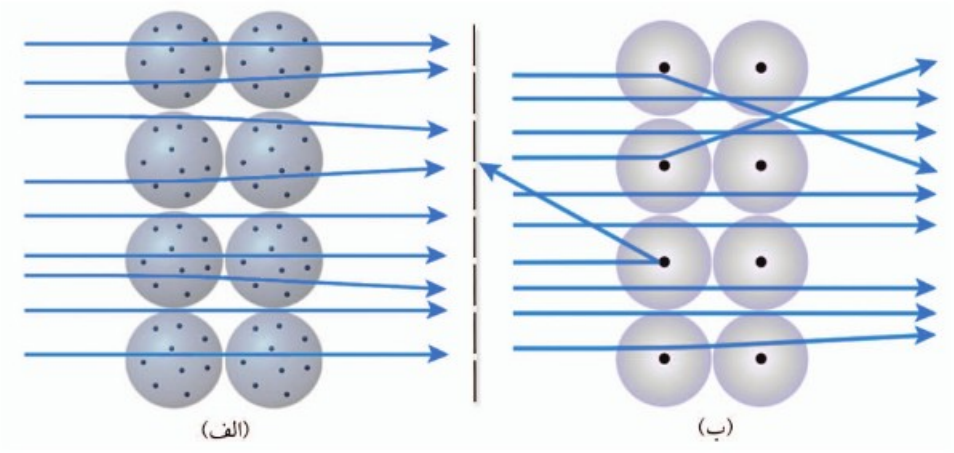
۳. تعداد بسیار معدودی از ذرات آلفا، با زاویه انحراف بیش از ۹۰ درجه بازگشتند.

رادرفورد آزمایش خود را ورقه های فلزات دیگری تکرار کرد و نتایج مشابهی به دست آورد. این نتایج باعث شد تا او مدل جدیدی برای اتم پیشنهاد دهد که «مدل اتم هسته‌دار» نامیده می‌شود.

براساس این مدل، اتم متشکل از یک هسته در مرکز و الکترون‌های اطراف آن است. تمامی بار مثبت اتم که برابر با مجموع بار منفی الکترون‌هاست و همچنین اکثر جرم اتم در هسته متمرکز است. به طوری که جرم الکترون‌ها در برابر جرم هسته قابل چشم‌پوشی است. از طرفی فضای اشغال شده توسط هسته

نسبت به حجم اتم بسیار ناچیز است. بنابراین اکثر حجم اتم فضای خالی است.

مثال ۱-٤ با توجه به شکل زیر که مقایسه‌ی آزمایش عبور پرتوهای آلفا را برای دو مدل اتمی تامسون و رادرفورد نشان میدهد، توضیح دهید؛ الف) با فرض مدل اتمی تامسون چرا ذرات آلفا می‌بایست بدون انحراف قابل توجهی از اتم‌ها عبور کنند؟ ب) هریک از سه بند نتایج آزمایش رادرفورد، با کدام قسمت از مدل اتم هسته‌دار قابل توجیه است؟



شکل ۱-۱۰ مقایسه‌ی عبور پرتوهای آلفا با فرض دو مدل اتمی؛

الف) مدل کیک کشمشی (تامسون)، ب) مدل اتم هسته‌دار (رادرفورد)

پاسخ:

الف) مدل تامسون تنها ذرات درون اتم را الکترون‌ها می‌داند که دارای جرم بسیار کم و همچنین بار منفی می‌باشند. بنابراین توانایی دفع و انحراف آلفا را نخواهند داشت.

ب)

	نتیجه آزمایش	تحلیل	توجیه (مدل اتم هسته‌دار)
۱	عبور اکثر پرتوهای آلفا بدون انحراف	نبودن مانعی در راه پرتوها	خالی بودن اکثر فضای اتم
۲	انحراف برخی ذرات آلفا	دفع ذرات آلفا توسط یک میدان الکتریکی قوی	تمرکز بار مثبت اتم در هسته
۳	بازگشت تعداد اندکی از پرتوها	برخورد با یک جرم سنگین	تمرکز جرم اتمی در هسته‌ای بسیار کوچک

۱-۸ دیگر ذرات زیراتمی (اجزای هسته)

مطالعات و آزمایشات بعدی روی اتم و به خصوص هسته نشان داد که هسته خود از ذراتی تشکیل شده است. هنری موزلی یکی از دانشجوهای رادرفورد با مطالعه روی فرکانس پرتوهای ایکس تولید شده از

فلزات مختلف به نتایج مهمی دست یافت که منجر به کشف ذره‌ی زیر اتمی دیگر شد[۷]. این ذره که «پروتون» نام دارد دارای بار مثبتی برابر با بار الکترون و جرمی حدود ۱۸۳۶ برابر الکترون است. چون اتم از نظر الکتریکی خنثی است، بنابراین لزوماً تعداد پروتون‌ها و الکترون‌ها در یک اتم برابر است. ولی جرم کل اتم‌ها با مجموع پروتون‌ها و الکترون‌ها تطابق ندارد. به همین دلیل رادرفورد وجود ذراتی بدون بار، علاوه بر پروتون‌ها را در هسته ضروری دانست. اما اثبات وجود این ذره یعنی «نوترون»، ۱۲ سال بعد توسط شاگرد دیگر وی، جیمز چادویک انجام گرفت. او توانست با استفاده از داده‌های به دست آمده از برخی واکنش‌های هسته‌ای مولد نوترون، جرم نوترون را محاسبه کند. نوترون ذره‌ای خنثی و دارای جرم کمی بیش‌تر از پروتون است. جدول زیر ویژگی‌های سه ذره‌ی زیراتمی سازنده‌ی اتم را فهرست کرده است؛

جدول ۱- ۱ ذرات سازنده‌ی اتم

ذره‌ی زیراتمی	نماد	مکان حضور	بار الکتریکی		جرم	
			واحد C	واحد e[۸]	واحد g	واحد amu[۹]
الکترون	e	فضای اطراف هسته	$-۱٫۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}$	-۱	$۹٫۱۱ \times ۱۰^{-۲۸}$	$\approx ۰٫۰۰۰۵$
پروتون	p	هسته	$۱٫۶۰ \times ۱۰^{۱۹}$	$+۱$	$۱٫۶۷۳ \times ۱۰^{-۲۴}$	≈ ۱
نوترون	n	هسته	صفر	صفر	$۱٫۶۷۵ \times ۱۰^{-۲۴}$	≈ ۱

مثال ۱-۵ مشخص شده است که منشأ پرتوهای رادیواکتیو هسته‌ی ناپایدار است. رادرفورد نشان داد که ذره‌ی تابش آلفا متشکل از دو پروتون و دو نوترون است. همچنین تابش بتا از جنس الکترون می‌باشد. محاسبه کنید:

الف) جرم یک ذره‌ی آلفا چند برابر یک ذره بتاست؟

ب) انرژی جنبشی یک ذره‌ی آلفا چند برابر انرژی یک ذره‌ی بتا است؟

$$\text{انرژی جنبشی } (K) = \frac{۱}{۲} \times \text{جرم} \times (\text{سرعت})^۲$$

پاسخ:

الف) با استفاده از جدول ۱ـ۱ داریم:

$$\begin{cases} \alpha \text{ جرم} = (۲ \times ۱٫۶۷۳ \times ۱۰^{-۲۴}) + (۲ \times ۱٫۶۷۵ \times ۱۰^{-۲۴}) = ۶٫۶۹۶ \times ۱۰^{-۲۴}\,g \\ \beta \text{ جرم} = ۹٫۱۱ \times ۱۰^{-۲۷}\,g \end{cases}$$

$$\Rightarrow \alpha \text{ جرم} / \beta \text{ جرم} = ۷۳۵۰$$

۷) رجوع شود به مبحث «خواص تناوبی عناصر»

۸) واحد بار الکتریکی معادل اندازه‌ی بار تک‌الکترون

۹) واحد جرم اتمی (بخش ۲ـ۳)

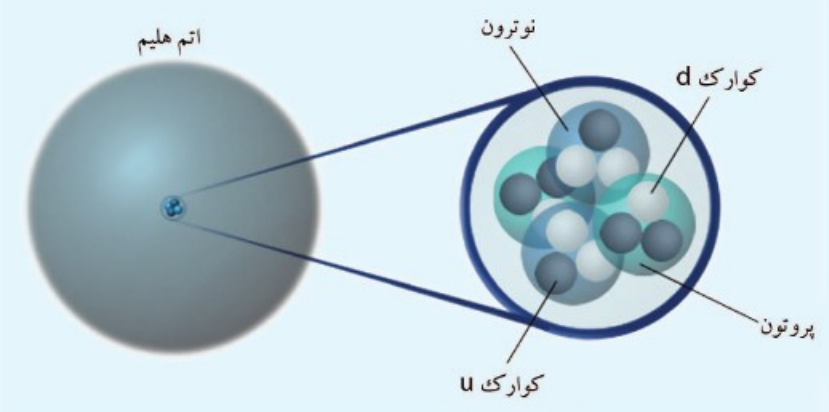
ب)

$$\begin{cases} K_\alpha = \frac{۱}{۲} \times ۶٫۶۹۶ \times ۱۰^{-۲۷} \times (۱٫۶ \times ۱۰^{۷})^۲ = ۸٫۵۷ \times ۱۰^{-۱۳}\,J \\ K_\beta = \frac{۱}{۲} \times ۹٫۱۱ \times ۱۰^{-۳۱} \times (۱٫۳ \times ۱۰^{۸})^۲ = ۷٫۷۰ \times ۱۰^{-۱۵}J \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{K_\alpha}{K_\beta} = ۱۱۱$$

ذرات بنیادی

امروزه ثابت شده است که پروتون و نوترون خود از ذرات کوچک‌تری به نام «کوارک» تشکیل یافته‌اند. به‌طوری‌که هر پروتون یا نوترون از سه کوارک تشکیل شده است. دو نوع کوارک u (بالا) و کوارک d (پایین) سازنده ذرات هسته هستند. دانشمندان کوارک را به همراه الکترون ذرات بنیادی می‌دانند. به این معنا که این ذرات خود از ذره‌ی دیگری تشکیل نشده‌اند. البته هنوز نمی‌توان کاملاً مطمئن بود که کوارک‌ها و الکترون نیز قابل تجزیه هستند یا خیر. برخی دانشمندان به دنبال ذره‌ای هستند که سازنده‌ی همه‌ی ذرات ماده باشد. اما علم نتوانسته است، وجود یا عدم آن را ثابت کند. حال شما فکر می‌کنید در رابطه با تجزیه‌ی ماده، در نهایت نظریه‌ی ارسطو صحیح است یا نظریه‌ی دموکریت؟!



شکل ۱-۱۱ کوارک‌ها، ذرات تشکیل‌دهنده‌ی پروتون و نوترون

مسائل نمونه

۱ کدام بخش از نظریه‌ی اتمی دالتون با دانش امروزی مطابقت کامل ندارد؟

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

۲) اتم‌های عنصرهای مختلف به هم متصل می‌شوند و مولکول‌ها را به وجود می‌آورند.

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

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

۲ با استفاده از قانون نسبت‌های معین در نظریه‌ی دالتون تعیین کنید؛ اگر ۹۰ گرم شکر حاوی ۳۶ گرم کربن، ۴۸ گرم اکسیژن و مابقی هیدروژن باشد. چند گرم شکر حاوی ۱۰ گرم هیدروژن است؟

۳ کدام مورد جزء نتایج به دست آمده از بررسی علمی تامسون نیست؟

۱) همه‌ی مواد دارای الکترون می‌باشند.

۲) پرتوهای کاتدی در مسیر مستقیم حرکت می‌کنند.

۳) پرتوهای کاتدی دارای بار الکتریکی منفی هستند.

۴) پدیده‌ی پرتوزایی، با کاهش جرم ماده‌ی پرتوزا همراه است.

۴ هر یک از آزمایشات زیر روی لامپ پرتوی کاتدی و مشاهدات مربوط، چه نتیجه‌ای در مورد ویژگی این پرتو نشان می‌دهد؟

	آزمایش	مشاهده
الف)	ایجاد سوراخ در آند و پوشش انتهای لوله با مواد فلوئورسنت	تشکیل نقطه‌ای نورانی روی صفحه‌ی فلوئورنست
ب)	برقراری میدان مغناطیسی در مسیر پرتوها	جابجایی محل انتشار نور در انتهای لوله
ج)	تعویض کاتد آهنی با کاتد مسی	تغییری رخ نمی‌دهد
د)	قرار دادن پره‌ای بسیار سبک در مسیر پرتوها	حرکت پره
ه)	باقی گذاشتن مقدار بسیار اندکی گاز هیدروژن درون لوله	انتشار نوری صورتی رنگ هنگام عبور پرتوها

۵ چرا تامسون در مدل خود، اتم را شامل تعداد بسیار زیادی الکترون می‌دانست؟

۶ کدام دو نوع از پرتوهای منتشر شده از مواد پرتوزا به ترتیب، به وسیله‌ی یک ورق کاغذ و یک ورق آلومینیومی جذب می‌شوند و از آن نمی‌گذرند؟

۱) آلفا ـ بتا ۲) آلفا ـ گاما ۳) بتا ـ گاما ۴) بتا ـ آلفا

۷ فرآیند پرتوزایی کدام‌یک از اصول نظریه‌ی دالتون را نقض می‌کند؟

۸ آزمایش انحراف ارنست رادرفورد، وجود چه چیزی را ثابت کرد؟

۱) ذره‌ی الفا ۲) الکترون ۳) نوترون ۴) هسته

۹ رادرفورد طی آزمایش خود توانست قطر هسته و قطر اتم طلا را به ترتیب حدود در $۱٫۵ \times ۱۰^{-۱۳}$ cm و ۳×۱۰^{-۸} cm محاسبه نماید. با فرض کروی بودن اتم و هسته محاسبه کنید.

الف) اگر قطر هسته را ۱ cm می‌بود به همان نسبت قطر اتم چند Km خواهد بود؟

ب) چند درصد از حجم اتم توسط هسته اشغال شده است؟ (حجم کُره برابر است با: $\frac{۴}{۳} \times ۳٫۱۴ \times$ شعاع^۳)

۱۰ آزمایش رادرفورد روی ورقه‌های مختلفی علاوه بر طلا تکرار شد. میزان انحراف پرتوهای آلفا برای هر عنصر به اندازه‌ی اتم و اندازه‌ی هسته‌ی آن بستگی دارد. اگر قطر اتم کربن را $۱٫۵ \times ۱۰^{-۸}$ cm و قطر هسته‌ی آن ۶×۱۰^{-۱۴} cm باشد. با استفاده از داده‌های مساله‌ی قبل به سؤالات زیر در مقایسه‌ی آزمایش رادرفورد روی دو ورقه‌ی طلا و کربن (گرافیت) پاسخ دهید:

الف) اگر باریکه‌ی پرتوهای آلفا از ۱ mm^۲ مساحت ورقه عبور کند و ضخامت ورقه ۰٫۰۰۴ mm باشد. با صرف نظر از فضای خالی میان اتم‌ها، در هریک از ورقه‌ها چند اتم در معرض عبور پرتوهای آلفا قرار می‌گیرند؟ (حجم یک اتم با فرض کروی بودن برابراست با: $\frac{۴}{۳} \times ۳٫۱۴ \times$ شعاع^۳)

ب) میزان پرتوهای آلفای منحرف شده با زاویه‌ی باز، متناسب با مجموع مساحت هسته‌ی اتم‌های در معرض پرتوها می‌باشد. درکدام ورقه انحراف پرتوهای آلفا بیش‌تر خواهد بود، (مساحت یک هسته با فرض کروی بودن برابر است با: $۴ \times ۳٫۱۴ \times$ شعاع^۲)

پاسخ مسائل نمونه

۱ گزینه‌ی «۳» پاسخ صحیح است.

کشف ایزوتوپ‌ها نشان داد که اتم‌های یک عنصر لزوماً یکسان نیستند و می‌توانند دارای جرم‌های متفاوتی باشند.

۲ ابتدا جرم هیدروژن را در ۹۰ گرم شکر محاسبه می‌کنیم؛

$$\text{جرم شکر} = \text{جرم کربن} + \text{جرم اکسیژن} + \text{جرم هیدروژن}$$

$$X + ۴۸\,g + ۳۶\,g = ۹۰\,g \Rightarrow X = ۶\,g$$

با توجه به قانون نسبت‌های معین، همواره نسبت جرمی عناصر در یک ترکیب ثابت است. پس؛

$$\frac{\text{جرم هیدروژن}}{\text{جرم شکر}} = \frac{۶\,g}{۹۰\,g} = \frac{۱۰\,g}{y} \Rightarrow y = ۱۵۰\,g$$

۳ گزینه‌ی «۴» پاسخ صحیح است.

مطالعات تامسون روی پرتوهای کاتدی و خواص آن بوده است.

۴

الف) پرتوی کاتدی در خط راست جریان می‌یابد.

ب) ذرات پرتوی کاتدی دارای بار الکتریکی هستند.

ج) پرتوی کاتدی به جنس کاتدی بستگی ندارد.

د) ذرات پرتوی کاتدی دارای جرم می‌باشند.

ه) پرتوی کاتدی بسیار پرانرژی است.

۵ فرض مدل تامسون این بود که تمامی جرم اتم تنها ناشی از جرم الکترون‌ها است و چون جرم الکترون بسیار کوچک است (حدود $\frac{۱}{۲۰۰۰}$ جرم سبک‌ترین اتم). بنابراین می‌بایست هر اتم حاوی تعداد بی‌شماری الکترون باشد تا جرم اتمی را تامین کند.

۶ گزینه‌ی «۱» پاسخ صحیح است.

با مراجعه به مثال ۱ـ۳ و شکل ۱ـ۷، پرتوهای آلفا و بتا به ترتیب به وسیله‌ی برگه‌ی کاغذی و صفحه‌ی آلومینیومی قابل جذب هستند.

۷ در واکنش پرتوزایی، قسمتی از اتم به صورت پرتویی تجزیه و منتشر می‌شود و همچنین اتم عنصری به اتم عنصر دیگر تبدیل می‌شود. بنابراین پرتوزایی با اصل ۱ و ۳ نظریه‌ی دالتون در تناقض است.

۸ گزینه‌ی «۴» پاسخ صحیح است.

آزمایش انحراف پرتوهای آلفای رادرفورد وجود هسته‌ی اتم را نشان می‌داد.

۹

الف) $\frac{\text{قطر هسته}}{\text{قطر اتم}} = \frac{۱٫۵ \times ۱۰^{-۱۳}\,\text{cm}}{۳ \times ۱۰^{-۸}\,\text{cm}} = \frac{۱\,\text{cm}}{x} \Rightarrow x = ۲ \times ۱۰^{۵}\,\text{cm} = ۲\,\text{Km}$

ب)

$$\text{درصد فضای اشغالی} = \frac{\text{حجم هسته}}{\text{حجم اتم}} \times ۱۰۰$$

$$\text{حجم اتم طلا} = \frac{۴}{۳} \times ۳٫۱۴ \times \left(\frac{۳ \times ۱۰^{-۸}}{۲}\right)^{۳} = ۱٫۴۱۳ \times ۱۰^{-۲۳}\,\text{cm}^{۳}$$

$$\text{حجم هسته‌ی طلا} = \frac{۴}{۳} \times ۳٫۱۴\left(\frac{۱٫۵ \times ۱۰^{-۱۳}}{۲}\right)^{۳} = ۱٫۷۶۶ \times ۱۰^{-۳۹}\,\text{cm}^{۳}$$

$$\Rightarrow \text{درصد فضای اشغالی} = \frac{۱٫۷۶۶ \times ۱۰^{-۳۹}}{۱٫۴۱۳ \times ۱۰^{-۲۳}} \times ۱۰۰ = \%۱٫۲۵ \times ۱۰^{-۱۴}$$

$$= \%۰٫۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱۲۵$$

۱۰

الف)

$$\text{حجم ورقه} = ۱\,\text{mm}^{۲} \times ۰٫۰۰۴\,\text{mm} = ۰٫۰۰۴\,\text{mm}^{۳} = ۴ \times ۱۰^{-۶}\,\text{cm}^{۳}$$

$$\text{حجم اتم طلا} = \frac{۴}{۳} \times ۳٫۱۴ \times \left(\frac{۳ \times ۱۰^{-۸}}{۲}\right)^{۳} = ۱٫۴۱۳ \times ۱۰^{-۲۳}\,\text{cm}^{۳}$$

$$\text{تعداد اتم‌های طلا} = \text{حجم ورقه} \div \text{حجم اتم طلا}$$

$$= ۴ \times ۱۰^{-۶} \div ۱٫۴۱۳ \times ۱۰^{-۲۳} = ۲٫۸۳۱ \times ۱۰^{۱۷}$$

$$\text{حجم اتم کربن} = \frac{۴}{۳} \times ۳٫۱۴ \times \left(\frac{۱٫۵ \times ۱۰^{-۸}}{۲}\right)^{۳} = ۱٫۷۶۶ \times ۱۰^{-۲۴}\,\text{cm}^{۳}$$

$$\text{تعداد اتم‌های کربن} = \text{حجم ورقه} \div \text{حجم اتم کربن}$$

$$= ۴ \times ۱۰^{-۶} \div ۱٫۷۶۶ \times ۱۰^{-۲۴} = ۲٫۲۶۵ \times ۱۰^{۱۸}$$

ب)

$$\text{مساحت هسته‌ی طلا} = ۴ \times ۳٫۱۴ \times \left(\frac{۱٫۵ \times ۱۰^{-۱۳}}{۲}\right)^{۲} = ۷٫۰۶۴ \times ۱۰^{-۲۶}\,\text{cm}^{۲}$$

$$\text{مساحت مجموع هسته‌های طلا} = (۲٫۸۳۱ \times ۱۰^{۱۷}) \times (۷٫۰۶۴ \times ۱۰^{-۲۶}) = ۲ \times ۱۰^{-۸}$$

$$\text{مساحت هسته‌ی کربن} = ۴ \times ۳٫۱۴ \times \left(\frac{۶ \times ۱۰^{-۱۴}}{۲}\right)^{۲} = ۱۱٫۳۰۴ \times ۱۰^{-۲۷}\,\text{cm}^{۲}$$

$$\text{مساحت مجموع هسته‌های کربن} = (۲٫۲۶۵ \times ۱۰^{۱۸}) \times (۲٫۸۲۶ \times ۱۰^{-۲۷}) = ۲٫۵۶ \times ۱۰^{-۸}$$

بنابراین چون مساحت هسته‌های کربن بیش‌تر است میزان انحراف پرتوهای آلفا برای ورقه‌ی گرافیت بیش‌تر از ورقه‌ی طلا است.

سؤالات المپیادهای ایران

سؤالات مرحله اول

۱ نفوذپذیری کدام‌یک از پرتوهای زیر بیشتر است؟

۱) آلفا ۲) بتا ۳) گاما ۴) پرتوی کاتدی

«مرحله‌ی اول هجدهمین دوره و مرحله دوم هفدهمین دوره»

۲ وجود هسته اتم با کدام آزمایش به اثبات رسید؟

۱) آزمایش صفحه طلا (رادرفورد) ۲) آزمایش تامسون

۳) آزمایش میلیکان ۴) آزمایش اشعه‌ی کاتدی

«مرحله‌ی اول ششمین دوره»

۳ کدام‌یک از نتایج زیر مربوط به آزمایش رادرفورد است؟

۱) جرم زیاد اتم از وجود تعداد بسیار زیادی الکترون در آن ناشی می‌شود.

۲) بیشتر جرم اتم در هسته بسیار کوچکی متمرکز است.

۳) اتم فضای خالی ندارد.

۴) قطر اتم حدود 10^{13} cm است.

«مرحله‌ی اول پانزدهمین دوره»

۴ نوترون توسط کدام دانشمند کشف شد؟

۱) رادرفورد ۲) بوهر ۳) هانری بکرل ۴) چادویک

«مرحله‌ی اول هشتمین دوره»

۵ در یک اتم خنثی، تعداد الکترون‌ها با تعداد ..... برابر است.

۱) لایه‌های الکترونی اتم ۲) پروتون‌ها

۳) اوربیتال‌های اتم ۴) نوترون‌ها

«مرحله‌ی اول هشتمین دوره»

سؤالات مرحله دوم

۶ مقدار بار الکتریکی الکترون توسط کدام دانشمند اندازه‌گیری شد؟

۱) رابرت میلیکان ۲) جوزف تامسون ۳) ویلیهلم رونگتن ۴) ارنست رادرفورد

«**مرحله‌ی دوم پانزدهمین دوره**»

۷ رادرفورد به کمک کدام‌یک از مشاهدات خود توانست قطر اتم و قطر هسته‌ی اتم طلا را به طور تقریبی محاسبه کند؟

۱) عبور و انحراف ذره‌های آلفا (α) از ورق نازک طلا

۲) انحراف پرتو کاتدی در میدان مغناطیسی

۳) انحراف پرتو کاتدی در میدان الکتریکی

۴) التهاب گاز درون لوله پرتو کاتدی

«**مرحله‌ی اول نوزدهمین دوره**»

پاسخ سؤالات المپیادهای ایران

۱ گزینه‌ی «۳» پاسخ صحیح است.

در بین تابش‌های فرآیند پرتوزایی، γ نفوذپذیرترین تابش است. نفوذپذیری پرتوی کاتدی در حد تابش β است.

۲ گزینه‌ی «۱» پاسخ صحیح است.

رادرفورد با انجام آزمایش انحراف پرتوهای آلفا توانست وجود هسته‌ی اتم را اثبات کند.

۳ گزینه‌ی «۲» پاسخ صحیح است.

از نتایج آزمایش رادرفورد تمرکز جرم اتم در هسته بود. (بخش ۱ـ۷)

٤ گزینه‌ی «۴» پاسخ صحیح است.

وجود نوترون توسط چادویک به اثبات رسید. (بخش ۱ـ۸)

۵ گزینه‌ی «۲» پاسخ صحیح است.

برای خنثی بودن اتم می‌بایست تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها برابر باشد.

۶ گزینه‌ی «۱» پاسخ صحیح است.

آزمایش میلیکان با انجام آزمایش قطرات روغن بار الکترون را محاسبه نمود.

۷ گزینه‌ی «۱» پاسخ صحیح است.

رادرفورد با انجام آزمایش انحراف پرتوهای آلفا توانست قطر اتم و هسته‌ی طلا را محاسبه نماید.

تمارین

سؤالات تستی

۱ تئوری اتمی دالتون شامل کدام‌یک از موارد زیر نیست؟

۱) عناصر تشکیل شده از ذرات نامرئی به نام اتم می‌باشند.

۲) اتم‌های عنصرهای مختلف خواص متفاوتی دارند.

۳) اتم‌ها با نسبت ثابتی با یک‌دیگر ترکیب می‌شوند.

۴) اتم‌ها با جاذبه‌ی الکتریکی با هم پیوند دارند.

«آمریکا ۱۹۸۸ با تغییر»

۲ پرتوهای کاتدی عبارتند از:

۱) دسته‌ای از ذرات با بار مثبت ۲) هسته‌ی اتم هلیم

۳) نوترون‌های سریع ۴) جریانی از الکترون‌ها

«آمریکا ۱۹۸۸»

۳ کشف هسته‌ی اتم به چه کسی نسبت داده می‌شود؟

۱) نیلز بوهر ۲) لویی دوبروی ۳) رابرت میلیکان ۴) ارنست رادرفورد

«آمریکا ۲۰۱۳»

٤ کدام عبارت نادرست است؟

۱) بار الکتریکی، توسط رابرت میلیکان محاسبه شد.

۲) نسبت بار الکترون به جرم آن، توسط تامسون اندازه‌گیری شد.

۳) جیمز چادویک توانست مقدار بار هسته و عدد اتمی عنصرها را تعیین کند.

۴) ارنست رادرفورد، نشان داد که تابش‌های پرتوزا، خود شامل سه نوع تابش متمایزند.

۵ کدام مطلب درست است؟

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

۲) قدرت نفوذ سه جزء تشکیل‌دهنده‌ی تابش‌های پرتوزا، به ترتیب $\beta > \alpha > \gamma$ است.

۳) پرتوهای گاما، جریانی از الکترون‌های پر انرژی با قدرت نفوذ بسیار زیادند.

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

۶ در نشر خودبه‌خودی ذره‌ی بتا، عامل تولید الکترون‌های منتشر شده کدام است؟

۱) هسته

۲) لایه‌ی اول الکترونی

۳) بیرونی‌ترین لایه‌ی اشغال شده توسط الکترون

۴) هر لایه‌ی اتفاقی در اتم

«آمریکا ۱۹۸۹ با تغییر»