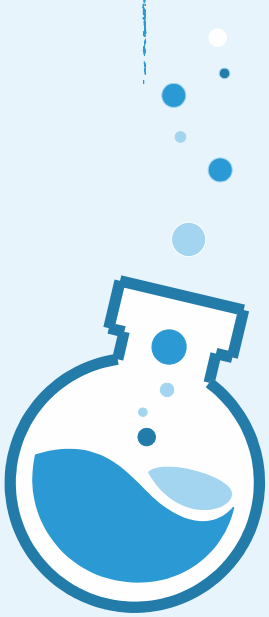
شیمی جامع دهم

امیرحسین ولی‌الله زاده



بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمه

دانش‌آموزان و دبیر گرامی

کتاب پیش رو، تلاشی برای توضیح و گسترش مفاهیم موجود در کتاب شیمی دهم می‌باشد. هر فصل این کتاب شامل سه بخش می‌باشد:

۱. درسنامه: در کتاب درسی، مفاهیم بسیاری بدون توضیح باقی مانده‌اند. به‌طور مثال در فصل اول، امواج الکترومغناطیس، زیرلایه‌ها فلز یا نافلز بودن عناصر و یا در فصل دوم مفهوم pH، اسید و باز، روابط گازها و یا در فصل سوم مفهوم قطبیت و نیروهای بین ذره‌ای بدون توضیح رها شده‌اند. شکل هندسی مولکول‌ها و یون‌ها در بخش‌های مختلف کتاب رسم شده‌اند بدون آنکه توضیحی داشته باشند. همین‌طور پروسهٔ مشخصی برای رسم ساختارهای لوویس در کتاب درسی وجود ندارد.

در این کتاب سعی شده است، تمامی مفاهیم موجود در کتاب درسی به‌طور کامل توضیح داده شوند به‌طوری که دانش‌آموز پاسخ تمامی سؤالات خود را بتواند پس از مطالعهٔ کتاب دریابد. مطالبی که فراتر از سرفصل‌های کتاب درسی هستند در قسمت‌های مشخصی به‌نام «فراتر از کتاب درسی» قرار داده شده‌اند.

در این کتاب، تمامی مفاهیم مربوط به پیوندهای شیمیایی که در فصل دوم و سوم کتاب درسی قرار دارند، به‌طور یکجا و متمرکز در فصل اول آموزش داده شده‌اند. پیشنهاد می‌شود این مفاهیم را به‌طور یکجا یاد بگیرید تا پیوستگی مطالب حفظ شود. این در حالی است که این پیوستگی در کتاب درسی دیده نمی‌شود؛ اما سؤالات مربوط به پیوندهای شیمیایی مطابق تقسیم‌بندی هر فصل کتاب ارائه شده است.

۲. خلاصهٔ کتاب درسی: نکات حفظی کتاب درسی به همراه نکات موجود در تمرین‌ها و آزمایش‌ها در این بخش ارائه شده‌اند. این بخش تنها برای مرور کتاب درسی مفید می‌باشد و نباید برای یادگیری از این بخش کتاب آغاز کرد.

۳. سؤالات و پاسخ تشریحی: برخلاف درسنامهٔ کتاب که بسیار جامع و بعضاً فراتر از کتاب درسی می‌باشد، این بخش کتاب کاملاً مطابق با کتاب درسی و مطالب آن می‌باشد و طوری طراحی شده‌اند که دانش‌آموزان برای شرکت در آزمون سراسری آماده شوند.

هر دانش‌آموزی، بسته به نیاز و کنجکاوی خود برای یادگیری کامل مفاهیم کتاب درسی می‌تواند از این کتاب استفاده کند. از آنجایی که سؤالات کنکور چند سال اخیر مفهومی هستند، آموزش کامل مفاهیم، محور اصلی درسنامهٔ این کتاب می‌باشد.

از دوست خوبم، کیان کریمی و همچنین آقای هادی عزیززاده که انگیزهٔ نوشتن این کتاب را به من دادند، نهایت سپاسگزاری را دارم.
از آقای سجاد حمزه‌پور که نسخه‌خوانی کتاب را برعهده داشتند نیز متشکرم. همچنین از خانم محبوبه شریفی، ساینا صلحجو (حروف‌چین و صفحه‌آرا) و معصومه لطفی مقدم و بهاره خدامی (گرافیست‌ها) متشکرم.

اساتید و دانش‌آموزان محترم نظرات و پیشنهادات خود را به آدرس amirvalio.gmail.com ارسال کنید.

امیرحسین ولی‌اله‌زاده

فهرست

فصل یکم:

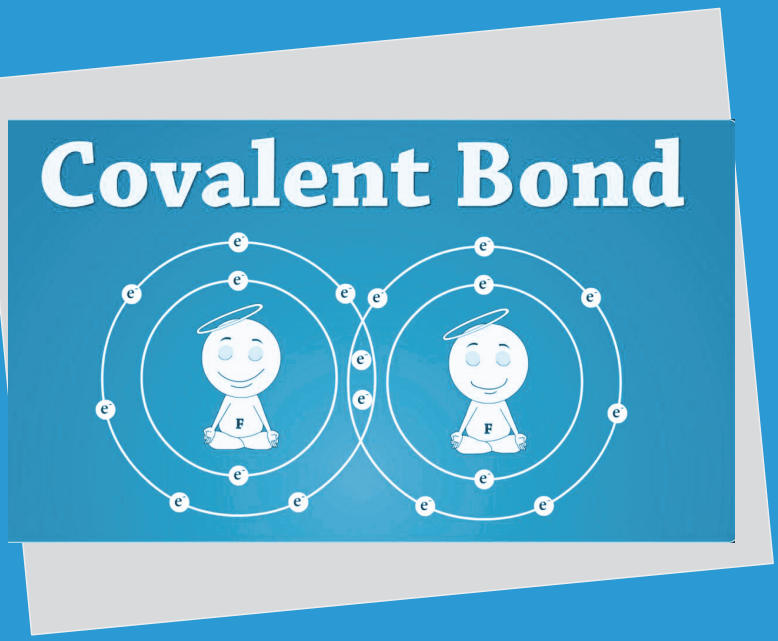
کیهان زادگاه الفبای هستی ۷
خلاصه فصل اول: نکات کتاب درسی ۷۶
پرسش‌های چهارگزینه‌ای ۸۱
پاسخ‌نامه ۹۷

فصل دوم:

ردپای گازها در زندگی ۱۱۱
خلاصه فصل دوم: نکات کتاب درسی ۱۳۶
پرسش‌های چهارگزینه‌ای ۱۴۸
پاسخ‌نامه ۱۶۵

فصل سوم:

آب، آهنگ زندگی ۱۷۷
خلاصه فصل سوم: نکات کتاب درسی ۲۱۶
پرسش‌های چهارگزینه‌ای ۲۳۰
پاسخ‌نامه ۲۵۴



فصل یکم:

کیهان زادگاه الفبای هستی

منطبق بر کتاب درسی

۱-۱ محاسبات شیمیایی	۱۸
۱-۲ اتم و ساختار آن I	۱-۱۹
۱-۳ اتم و ساختار آن II- الکترون‌ها	۱۹-۳۲
۱-٤ جدول تناوبی و روندهای تناوبی	۹-۱۳ و ۳٤-۳۳
۱-۵ مدل‌های پیوند شیمیایی	٤۱-۳٤ و ۶۵- ۶۳ و ۹۹-۹۸ و ۱۱۲-۱۱۱

درس‌نامه

۱ـ۱ محاسبات شیمیایی

پیش از وارد شدن به مباحث اصلی کتاب، لازم است روش جدیدی را برای حل مسائل شیمی معرفی نماییم. برای حل مسائل شیمی و انجام محاسبات می‌توان از ضریب تبدیل استفاده کرد. ضریب تبدیل کسری است که کمیتی را به کمیت دیگر یا واحدی را به واحد دیگر تبدیل می‌کند. ممکن است این واحدها یا کمیت‌ها برای شما آشنا باشد و ممکن است برای اولین بار آن را شنیده باشید، اما اگر استفاده از ضریب تبدیل را بدانید، می‌توانید به راحتی مسائل را حل کنید. به‌طور مثال اگر بخواهیم طول یک جسم را که برحسب cm اندازه‌گیری کرده‌ایم به واحد جدیدی به‌نام اینچ (in.) تبدیل کنیم چکار باید بکنیم؟ اگر $۱\,in. = ۲/۵۴\,cm$ باشد، از این تساوی می‌توان ۲ ضریب یا کسر نوشت. با تقسیم کردن دو طرف تساوی بر یکدیگر داریم:

$$\frac{۱\,in.}{۲/۵۴\,cm} = \frac{۲/۵۴\,cm}{۱\,in.} = ۱$$

ضرایب تبدیل، **کسرهایی برابر یک** می‌باشند. هر عددی را در یک ضرب کنیم مقدار آن تغییر نمی‌کند. پس با ضرب کردن اعداد در ضریب تبدیل می‌توان مسائل را حل کرد. حال اگر بخواهیم ببینیم ۱۰۰ cm چند in. می‌باشد می‌توان به طریق زیر عمل کرد:

$$۱۰۰\,\cancel{cm} \times \underbrace{\frac{۱\ \ in.}{۲/۵۴\ \ \cancel{cm}}}_{\text{برابر با یک}} = ۳۹/۳۷\,in.$$

با ضرب کردن ۱۰۰ cm در ضریب تبدیل که مقدار آن برابر یک است، واحد cm با واحد cm ساده می‌شود و درنهایت واحد in. باقی می‌ماند. دقت کنیدکه استفاده از ضریب تبدیل دیگری سودمند نیست:

$$۱۰۰\,cm \times \frac{۲/۵۴\ cm}{۱\ \ in.} = ۲۵۴\,\frac{cm^۲}{in.}$$ واحد نامطلوب

بنابراین برای استفاده از ضریب تبدیل طوری عمل می‌کنیم که واحد اولیه ساده و واحد نهایی باقی بماند:

$$\text{واحد یا کمیت اولیه} \times \frac{\text{واحد یا کمیت نهایی}}{\text{واحد یا کمیت اولیه}}$$

در حل مسائل شیمی، خواهید دید از ضریب تبدیل می‌توان برای تبدیل کمیت به کمیت دیگر نیز استفاده کرد و فقط محدود به تبدیل واحد نخواهد بود.

مثال تبدیل سرعت یک کامیون: اگر یک کامیون با سرعت $۸۰\,\frac{Km}{h}$ در حال حرکت باشد، سرعت آن برحسب m/s چند است؟

حل:

$$۸۰\,\frac{\cancel{km}}{\cancel{h}} \times \overset{۱}{\frac{۱۰۰۰\ m}{۱\ \ \cancel{km}}} \times \overset{۲}{\frac{۱\ \ \cancel{h}}{۳۶۰۰\ s}} = ۲۲/۲\,\frac{m}{S}$$

اگر دقت کرده باشید، Km در مخرج ضریب تبدیل اول قرار می‌گیرد تا با Km صورت ساده شود و برعکس h در صورت ضریب تبدیل دوم قرار می‌گیرد تا با h مخرج ساده شود و در نهایت m/s باقی بماند.

مثال آلیاژ سکه شامل ٪۷۵ جرمی مس (Cu) و ٪۲۵ جرمی نیکل (Ni) می‌باشد. در ۴۰۰ گرم سکه چه مقدار فلز مس موجود است؟

حل:

این مثال را می‌توان با ضریب تبدیل حل کرد. مثالی است که در آن تبدیل واحد صورت نمی‌گیرد. با توجه به ترکیب درصد می‌توان گفت در هر ۱۰۰ گرم سکه، ۷۵ گرم مس و ۲۵ گرم نیکل وجود دارد پس ۱۰۰ گرم سکه معادل ۷۵ گرم مس و ۲۵ گرم نیکل است. همچنین به ازای هر ۷۵ g مس، ۲۵ g نیکل در سکه موجود است. پس می‌توان ضریب تبدیل‌های زیر را نوشته و ضریب تبدیل مطلوب استفاده کرد:

$$\frac{\text{نیکل } 25\text{ g}}{\text{مس } 75\text{ g}} = \frac{\text{مس } 75\text{ g}}{\text{نیکل } 25\text{ g}} = \frac{\text{سکه } 100\text{ g}}{\text{نیکل } 25\text{ g}} = \frac{\text{نیکل } 25\text{ g}}{\text{سکه } 100\text{ g}} = \frac{\text{سکه } 100\text{ g}}{\text{مس } 75\text{ g}} = \frac{\text{مس } 75\text{ g}}{\text{سکه } 100\text{ g}} = 1$$

ضریب تبدیل مورد نیاز برای حل این سوال باید طوری باشد که g سکه در مخرج قرار گیرد و گرم مس در صورت باقی بماند:

$$400\text{ g سکه} \times \frac{\text{مس } 75\text{ g}}{100\text{ g سکه}} = 300\text{ g مس}$$

تمرین حل‌شده

۱. بیست هزار فرسنگ زیر دریا چند متر زیر دریا می‌باشد؟ یک فرسنگ برابر ۳/۴۵ مایل و هر مایل ۱۶۰۹ متر می‌باشد.

$$20000\text{ فرسنگ} \times \frac{3/45\text{ مایل}}{1\text{ فرسنگ}} \times \frac{1609\text{ m}}{1\text{ مایل}} = 1/1 \times 10^8\text{ m}$$

۲. هر گالن برابر ۲۳۱ اینچ مکعب و هر اینچ برابر ۲/۵۴ cm می‌باشد. یک گالن چند لیتر می‌باشد؟

$$1\text{ گالن} \times \frac{231\text{ in.}^3}{1\text{ گالن}} \times \frac{2/54^3\text{ cm}^3}{1\text{ in.}^3} \times \frac{1\text{ L}}{1000\text{ cm}^3} = 3/79\text{ L}$$

اگر به ضریب تبدیلی که به دور آن خط کشیده است دقت کنید، همان ضریب تبدیل $\frac{2/54\text{ cm}}{1\text{ in.}}$ است که به توان سوم رسیده است. در حل مسائل می‌توان ضرایب تبدیل را به توان عددی که برایمان مطلوب است برسانیم. ضریب تبدیل کسری برابر با یک می‌باشد پس با به توان رساندن آن، مقدار آن ضریب همچنان برابر با یک می‌باشد، و صورت و مخرج هر دو به آن توان دلخواه می‌رسند:

$$\left(\frac{2/54\text{ cm}}{1\text{ in}}\right)^3 = \frac{2/54^3\text{ cm}^3}{1\text{ in}^3.} = 1$$

۳. از واحدهای رایج داروسازی اسکراپل است. ۱ اسکراپل برابر ۲۰ گرین، ۱ اونس برابر ۴۸۰ گرین و یک گرم برابر ۰/۰۳۲۱۵ اونس است. ۱ اسکراپل چند گرم است؟

$$1\text{ اسکراپل} \times \frac{20\text{ گرین}}{1\text{ اسکراپل}} \times \frac{1\text{ اونس}}{480\text{ گرین}} \times \frac{1\text{ g}}{0/03215\text{ اونس}} = 1/3\text{ g}$$

۴. سرعت صوت در هوا و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد برابر ۳۴۶ m/s است. این سرعت را یک ماخ می‌نامند. (الف) عدد ماخ را برحسب کیلومتر بر ساعت و مایل بر ساعت محاسبه نمایید. (ب) سرعت یک ماشین سابقه‌ای ۲۸۰ کیلومتر بر ساعت است، این سرعت را برحسب عدد ماخ محاسبه نمایید.

$$\text{(الف)}\quad ۳۴۶\ \text{m/s} \times \frac{۱\ \text{Km}}{۱۰۰۰\ \text{m}} \times \frac{۳۶۰۰\ \text{s}}{۱\ \text{h}} = ۱۲۴۵/۶\ \text{Km/h}$$

$$۳۴۶\ \text{m/s} \times \frac{۱\ \text{مایل}}{۱۶۰۹\ \text{m}} \times \frac{۳۶۰۰\ \text{s}}{۱\ \text{h}} = ۷۷۴/۱\ \text{مایل/s}$$

$$\text{(ب)}\quad ۲۸۰\ \text{Km/h} \times \frac{۱\ \text{ماخ}}{۱۲۴۵/۶\ \text{Kh/h}} = ۰/۲۲\ \text{ماخ}$$

۵. چند گرم پلاتین باید به ۱۲۵ گرم طلا اضافه کنیم تا یک نوع طلای پلاتین‌دار شامل ۶۰٪ طلا و ۴۰٪ پلاتین تولید شود؟

در این سؤال می‌توان گفت، به ازای هر ۱۰۰ گرم طلای پلاتین‌دار، ۶۰ گرم طلا و ۴۰ گرم پلاتین لازم است یا به‌عبارت دیگر به‌ازای هر ۶۰ g طلا، ۴۰ گرم پلاتین لازم است.

$$۱۲۵\ \text{g طلا} \times \frac{۴۰\ \text{g پلاتین}}{۶۰\ \text{g طلا}} = ۸۳/۳\ \text{g پلاتین}$$

۶. دانسیته (چگالی) الماس $۳/۵۱\ \text{g/cm}^۳$ است. ۱۰ گرم الماس چه حجمی را اشغال می‌کند؟

$$۱۰\ \text{g الماس} \times \frac{۱\ \text{cm}^۳}{۳/۵۱\ \text{g الماس}} = ۲/۸۴\ \text{cm}^۳\ \text{الماس}$$

ضریب تبدیل در این سؤال به نحوی است که از چگالی (دانسیته) به‌عنوان تبدیل جرم به حجم و برعکس، می‌توان استفاده کرد. در این سؤال گرم به $\text{cm}^۳$ از طریق ضریب تبدیل دانسیته تبدیل شده است. (برای یادآوری، چگالی بیانگر مقدار جرم موجود در واحد حجم است. مثلاً در این سؤال گفته شده است که چگالی الماس $۳/۵\ \frac{\text{g}}{\text{cm}^۳}$ است، بدین معناست که در هر $\text{cm}^۳$ از الماس، ۳/۵۱ g الماس وجود دارد. به‌طور خلاصه چگالی رابط میان جرم و حجم هر ماده می‌باشد.)

۱ـ۲ اتم و ساختار آن I

برای بهتر درک کردن دنیای علم شیمی و به‌دنبال آن، پدیده‌های شیمیایی دنیا، باید به‌دنبال اجزای سازندهٔ مواد و نحوهٔ اتصال آن‌ها و ترکیب آن‌ها رفت.

در ۴۰۰ سال قبل از میلاد، دموکریتوس فیلسوف یونانی کوچکترین جزء یک ماده را اتم به معنای تقسیم ناپذیر نامید. پس از او دالتون در سال ۱۸۰۸ میلادی نظریهٔ اتمی خود را براساس مشاهدات آن زمان در قالب زیر ارائه نمود. مدل اتمی دالتون، ساده‌ترین مدل اتمی علمی می‌باشد که مطالعهٔ آن کمک به یادگیری بسیاری از مفاهیم پایه‌ای علم شیمی است:

بند ۱ تمامی مواد از ذرات بسیار کوچکی به‌نام اتم تشکیل شده‌اند. اتم‌های یک عنصر تقسیم ناپذیرند و نه از بین می‌روند و نه به‌وجود می‌آیند.

بند ۲ تمامی اتم‌های یک عنصر مشابه یکدیگرند.

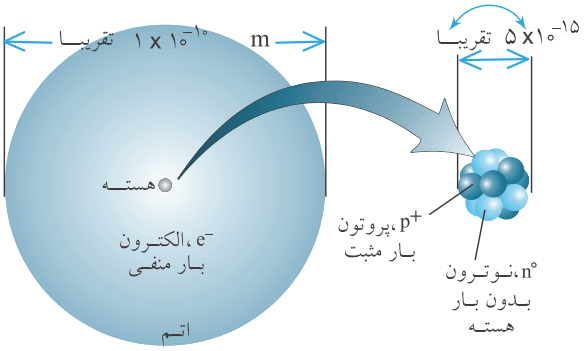
بند ۳ اتم‌های یک عنصر به اتم‌های عنصر دیگر نمی‌توانند تبدیل شوند.

بند ۴ مواد شیمیایی از ترکیب اتم‌های عناصر مختلف به‌وجود می‌آیند. در یک مادهٔ شیمیایی مشخص، نسبت اتم‌های سازندهٔ آن همواره ثابت است. طی یک واکنش شیمیایی اتم‌های از یکدیگر جدا و مجدداً به یکدیگر وصل می‌شوند.

مدل اتمی دالتون، براساس واکنش‌های شیمیایی و توجیه قانون پایستگی جرم قابل استفاده بود اما با گذشت زمان و انجام آزمایش‌های گوناگون مورد نقص قرار گرفت (بند اول، دوم و سوم). اجزای زیر اتمی، ایزوتوپ‌ها و واکنش‌های هسته‌ای به ترتیب موارد نقص بندهای مدل اتمی دالتون می‌باشد که مورد بحث قرار خواهند گرفت.

اجزای زیر اتمی و ساختار اتم

اولین آزمایشی که طی آن ذرات زیراتمی پی برده شد، آزمایش پرتو کاتودی بود که توسط دانشمندی به‌نام تامسون در سال ۱۸۹۷ صورت پذیرفت. طی این آزمایش باریکه‌هایی با بار الکتریکی منفی از اتم خارج گشت. این ذرات الکترون نام گرفتند و به‌عنوان اولین ذرهٔ زیر اتمی شناخته شدند. باتوجه به اینکه اتم در حالت عادی دارای بار الکتریکی نمی‌باشد، تامسون نتیجه‌گیری کرد که ذراتی با بار مثبت نیز باید در داخل اتم وجود داشته باشند. طی آزمایش دیگر رادرفورد ثابت کرد، ذرات با بار الکتریکی مثبت به‌طور متمرکز در داخل اتم قرار دارند و آن را هستهٔ اتم نامید. بعدها شاگرد رادرفورد، چادویک نتیجه‌گیری کرد که برای توازن جرم اتم‌ها در داخل هسته، ذره‌ای دیگر با بار الکتریکی خنثی باید وجود داشته باشد و آن‌ها را نوترون نامید.



شکل رسم شده، ساختار یک اتم را نشان می‌دهد. اندازهٔ یک اتم تقریباً برابر با $10^{-10}\,m$ می‌باشد و هسته با اندازهٔ تقریبی $10^{-14}\,m$ به‌صورت متمرکز در وسط آن قرار دارد. الکترون‌ها (e^-) با بار الکتریکی منفی در اطراف هسته حضور دارند. هسته بسیار متمرکز می‌باشد به‌طوری که ۹۹/۹۷٪ جرم اتم به‌علت جرم هسته می‌باشد. همان‌طور که گفته شد، پروتون‌ها (P^+) با بار الکتریکی مثبت و نوترون‌ها (n°) بدون بار الکتریکی در داخل هسته حضور دارند. خواص این ذرات اتمی نیز در جدول زیر آورده شده است:

موقعیت در اتم	جرم		بار الکتریکی		(نماد) نام
	(g) مطلق	(amu) نسبی	مطلق	نسبی	
هسته	$-1/67\times10^{-24}$	۱/۰۰۷۲۷	$+1/6\times10^{-19}\,C$	+۱	پروتون (p^+)
هسته	$-1/674\times10^{-24}$	۱/۰۰۸۶۶	۰	۰	نوترون (n°)
خارج از هسته	$-9/109\times10^{-28}$	۰/۰۰۰۵۵	$-1/6\times10^{-19}\,C$	−۱	الکترون (e^-)

عدد اتمی، عدد جرمی و نماد اتمی

عدد اتمی (Z) برابر تعداد پروتون‌های موجود در یک اتم می‌باشد. عدد جرمی (A) بیانگر مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های یک اتم می‌باشد. این عدد جرمی نام دارد به این دلیل که همان‌طور که در جدول (۱) نیز دیده می‌شود می‌توان گفت جرم یک اتم ناشی از پروتون‌ها و نوترون‌های آن می‌باشد. (جرم الکترون قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد).

$${}^{A}_{Z}E$$

اگر E نماد یک عنصر باشد، عدد اتمی آن را پایین سمت چپ و عدد جرمی آن را در بالا سمت چپ می‌نویسند. نماد یک عنصر را با یک حرف بزرگ و بعضی اوقات با دو حرف نشان می‌دهند. هنگامی که نماد عنصر دو حرفی می‌باشد، حرف اول را بزرگ و حرف دوم را کوچک نمایش می‌دهند. به طور مثال N نماد شیمیایی عنصر نیتروژن و Ar نماد شیمیایی عنصر آرگون می‌باشد.

توجه: دانستن عدد اتمی و نماد ۳۶ عنصر اول (z = ۳۶ تا z = ۱) از حداقل الزامات است!

مثال تعداد پروتون‌ها، الکترون‌ها و نوترون‌ها را در $^{14}_{7}N^{3-}$ مشخص نمایید.

حل:

همان‌طور که گفته شد، عدد پایین سمت چپ بیانگر عدد اتمی و تعداد پروتون‌هاست، عدد بالا سمت چپ مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌هاست (عدد جرمی) و **عدد موجود در سمت راست بالا، بیانگر بار الکتریکی کل می‌باشد**. برای اتم در حالت خنثی تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها برابر است. هنگامی که تعداد الکترون‌ها از تعداد پروتون‌ها بیش‌تر باشد، ذره‌ای با بار الکتریکی منفی به وجود می‌آید. به‌طور مشابه اگر تعداد الکترون‌ها از تعداد پروتون‌ها کم‌تر باشد، ذره‌ای با بار الکتریکی مثبت به وجود می‌آید. در این سؤال تعداد پروتون‌ها برابر عدد اتمی یعنی ۷ تا، تعداد الکترون‌ها سه تا بیش‌تر از تعداد پروتون‌ها یعنی ۱۰ تا و تعداد نوترون‌ها برابر $n = A - Z = 14 - 7 = 7$ است.

ایزوتوپ‌ها و جرم اتمی عناصر

برخلاف نظریهٔ اتمی دالتون، تمامی اتم‌های یک عنصر مشابه یکدیگر نمی‌باشند. ایزوتوپ‌ها، اتم‌هایی هستند که عدد اتمی آن‌ها یکسان، اما عدد جرمی آن‌ها متفاوت هستند. این بدین معناست که اتم‌ها می‌توانند تعداد پروتون‌هایی یکسان، اما تعداد نوترون‌های متفاوتی داشته باشند. به‌طور مثال $^{12}_{6}C$، $^{13}_{6}C$، $^{14}_{6}C$ ایزوتوپ‌های یکدیگرند. همگی آن‌ها دارای ۶ پروتون می‌باشند اما به‌ترتیب دارای ۶، ۷ و ۸ نوترون می‌باشند. تفاوت تعداد نوترون باعث تفاوت در جرم ایزوتوپ‌ها و خواص فیزیکی آن‌ها خواهد شد (خواص فیزیکی مربوط به جرم) در حالی که خواص شیمیایی آن‌ها یکسان می‌باشد. از آن‌جایی که جرم اتم‌ها برحسب گرم مقادیر بسیار کوچک می‌باشد و کار با آن‌ها راحت نیست، مبنایی جدید برای جرم اتم می‌توان تعریف کرد. این مبنا، واحدی نسبی می‌باشد بدین‌ترتیب که جرم یک اتم را می‌توان به‌عنوان مرجع گرفت و جرم مابقی اتم‌ها یا ذرات اتمی را برحسب آن بیان کرد.

بنابر قرارداد، جرم اتم کربن را به‌عنوان مبنا قرار می‌دهند. و واحد جرم اتمی (a.m.u) برابر با $\frac{1}{12}$ جرم اتم $^{12}_{6}C$ می‌باشد. درنتیجه جرم اتم کربن $^{12}_{6}C$ برابر ۱۲ amu یا به اختصار ۱۲ u می‌باشد.

نسبت جرم اتم‌ها را می‌توان با توجه به میزان انحراف آن‌ها در دستگاهی به نام **طیف‌سنج جرمی** پیدا کرد. به‌طور مثال اگر جرم اتم ^{28}Si، ۲٫۳۳ برابر جرم اتم $^{12}_{6}C$ باشد می‌توان نوشت:

$$\frac{\text{جرم } ^{28}Si}{\text{جرم } ^{12}_{6}C} = 2{,}33$$

در نتیجه می‌توان گفت جرم اتم ^{28}Si برابر $12 \times 2{,}33 = 27{,}96\ u$ است.

مثال اگر جرم اتم $^{12}_{6}C$ برابر $1{,}993 \times 10^{-23}\ g$ و جرم اتم $^{16}_{8}O$ برابر $2{,}656 \times 10^{-23}\ g$ باشد، جرم اتم $^{16}_{8}O$ برحسب u است چه‌قدر است؟

حل:

راه‌حل اول: مشابه مثالی که در بالا بیان شده است، می‌توان محاسبه کرد که جرم اتم $^{16}_{8}O$ چند برابر $^{12}_{6}C$ است و سپس جرم آن را برحسب u بیان کرد.

$$\frac{\text{جرم } ^{16}_{8}O}{\text{جرم } ^{12}_{6}C} = \frac{2{,}656 \times 10^{-23}}{1{,}993 \times 10^{-23}} = 1{,}333 \Rightarrow \text{جرم اتم } ^{16}_{8}O = 1{,}333 \times \underbrace{12\ u}_{\text{جرم اتم } ^{12}_{6}C} = 15{,}99\ u$$

با دانستن نسبت جرم اتم‌ها، می‌توان جرم هر یک را به‌دست آورد. در این مثال نیز جرم اتم اکسیژن را بدین طریق محاسبه شد.

راه‌حل دوم: با توجه به تعریف u می‌توان مقدار آن را برحسب گرم محاسبه نمود.

$$1\ u = \frac{1}{12} \times \text{جرم اتم } ^{12}_{6}C = \frac{1}{12} \times 1{,}993 \times 10^{-23} = 1{,}66 \times 10^{-24}\ g$$

حال گرم اتم $^{16}_{8}O$ را با استفاده از ضریب تبدیل به u تبدیل می‌کنیم:

$$\text{جرم اتم } ^{16}_{8}O = 2{,}656 \times 10^{-23}\ g \times \frac{1\ u}{1{,}66 \times 10^{-24}\ g} = 15{,}99\ u$$

همان‌طور که در ابتدای این بخش گفته شد، یک عنصر دارای ایزوتوپ‌های متفاوت است و هر یک از آن‌ها دارای جرمی متفاوت. برای گزارش جرم این عنصر و **اعلام یک مقدار به‌عنوان جرم اتمی** آن، باید بر روی مقادیر جرم اتمی هر یک از ایزوتوپ‌ها **میانگین‌گیری** کرد. در طبیعت میزان فراوانی (موجودی) هر یک از ایزوتوپ‌ها نیز متفاوت می‌باشد به‌طور مثال Si دارای سه ایزوتوپ ^{28}Si، ^{29}Si و ^{30}Si می‌باشد (جدول زیر)، اما در طبیعت ۹۲/۲۳٪ اتم‌ها Si، به‌صورت ^{28}Si، ۴/۶۷٪ اتم‌ها به‌صورت ^{29}Si و ۳/۱٪ اتم‌ها به‌صورت ^{30}Si می‌باشند.

ایزوتوپ	جرم (u)	فراوانی (٪)
^{28}Si	۲۷/۹۶	۹۲/۲۳
^{29}Si	۲۸/۹۸	۴/۶۷
^{30}Si	۲۹/۹۷	۳/۱

برای گزارش جرم اتم Si باید یک میانگین‌گیری بر روی این سه ایزوتوپ با توجه به درصد فراوانی هر یک، انجام داد. به این کار، میانگین‌گیری وزن‌دار نیز می‌گویند.

$$\text{جرم اتمی میانگین}: \overline{M} = \frac{f_1M_1 + f_2M_2 + f_3M_3 + \cdots}{f_1 + f_2 + f_3 + \ldots}$$

که در این رابطه f_i برابر فراوانی ایزوتوپ i و M_i برابر جرم اتمی ایزوتوپ i می‌باشد.

در نتیجه

$$\text{جرم اتمی میانگین Si} = \frac{\text{جرم اتمی ایزوتوپ (۳)}\times\text{فراوانی ایزوتوپ (۳)} + \text{جرم اتمی ایزوتوپ (۲)}\times\text{فراوانی ایزوتوپ (۲)} + \text{جرم اتمی ایزوتوپ (۱)}\times\text{فراوانی ایزوتوپ (۱)}}{\text{فراوانی ایزوتوپ (۳)} + \text{فراوانی ایزوتوپ (۲)} + \text{فراوانی ایزوتوپ (۱)}}$$

مقادیر فراوانی را هم می‌توان برحسب مقداری از ۱۰۰ یا مقداری از ۱، در رابطه جایگذاری کرد، با توجه به اینکه هم در صورت کسر و هم در مخرج کسر حضور دارند تفاوتی در اینکه به کدام صورت گذاشته شوند نیست. مثلاً فراوانی ایزوتوپ ^{28}Si هم می‌تواند به اندازهٔ ۹۲/۲۳ یا ۰/۹۲۲۳ در رابطه جایگذاری کرد.

با جایگذاری مقادیر جرم اتمی و فراوانی هر ایزوتوپ از جدول بالا داریم:

$$\text{جرم اتمی میانگین Si} = \frac{۰/۹۲۲۳\times۲۷/۹۶ + ۰/۰۴۶۷\times۲۸/۹۸ + ۰/۰۳۱\times۲۹/۹۷}{۰/۹۲۲۳ + ۰/۰۴۶۷ + ۰/۰۳۱ = ۱} = ۲۸/۰۹\,u$$

نکته

۱. **اگر فراوانی برحسب درصد بیان می‌شود، مجموع فراوانی‌ها برابر ۱۰۰ و اگر برحسب کسری از یک بیان شود مجموع آن‌ها برابر یک می‌باشد.**

۲. **در این رابطه ریاضی، با توجه به اینکه مقادیر جرم اتمی ایزوتوپ‌ها نزدیک به هم می‌باشد، درنتیجه جرم اتمی میانگین نزدیک به جرم اتمی ایزوتوپی می‌باشد که دارای بیشترین فراوانی می‌باشد. همچنین میانگین همیشه بین بزرگترین و کوچکترین مقدار جرم‌های اتمی می‌باشد.**

مثال نقره دارای دو ایزوتوپ ^{107}Ag و ^{109}Ag می‌باشد. اگر درصد فراوانی و جرم اتمی هر یک در جدول زیر آمده باشد، جرم اتمی میانگین نقره را محاسبه کنید

حل:

ایزوتوپ	جرم (u)	فراوانی (٪)
^{107}Ag	۱۰۶/۹۱	۵۱/۸۴
^{109}Ag	۱۰۸/۹	۴۸/۱۶

$$\text{جرم اتمی میانگین نقره} = \frac{f_1M_1 + f_2M_2}{f_1 + f_2} = \frac{۰/۵۱۸۴\times۱۰۶/۹۱ + ۰/۴۸۱۶\times۱۰۸/۹}{۱} = ۱۰۷/۸۷$$

مثال کلر دارای دو ایزوتوپ ^{35}Cl و ^{37}Cl می‌باشد. جرم اتمی هر یک از این ایزوتوپ‌ها به ترتیب ۳۴/۹۶۹ u و ۳۶/۹۶۶ u می‌باشد. جرم اتمی میانگین کلر ۳۵/۴۵۳ u می‌باشد، درصد فراوانی هر یک از ایزوتوپ‌ها را محاسبه نمایید.

حل:

$$\begin{cases} \text{جرم اتمی میانگین کلر} = \dfrac{f_1M_1 + f_2M_2}{f_1 + f_2} = \dfrac{f_1 \times ۳۴/۹۶۹ + f_2 \times ۳۶/۹۶۶}{۱} & \text{معادلهٔ (۱)} \\ f_1 + f_2 = ۱ & \text{معادلهٔ (۲)} \end{cases}$$

از طرفی دیگر می‌دانیم:

با حل این دو معادله خواهیم داشت: $f_1 = ۰/۷۵۷۷$ یا ٪۷۵/۷۷

$f_2 = ۰/۲۴۲۳$ یا ٪۲۴/۲۳

مول، واحد اندازه‌گیری تعداد ذره

مول یکی از واحدهای سیستم اندازه‌گیری SI برای مشخص کردن تعداد ذرهٔ موجود در هر ماده‌ای می‌باشد. بنابر تعریف یک مول، تعداد ذرهٔ موجود در ۱۲ g از $^{12}_{6}C$ است. این مقدار به احترام به دانشمند ایتالیایی، عدد آووگادرو نامیده می‌شود. با توجه به اینکه جرم اتم کربن $^{12}_{6}C$ را می‌دانیم، می‌توان مقدار عدد آووگادرو را محاسبه نمود:

$$\text{عدد آووگادرو } N_A = \frac{۱۲\ g}{\text{جرم اتم } ^{12}_{6}C} = \frac{۱۲\ g}{۱/۹۹۳ \times ۱۰^{-۲۳}\ g} = ۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳} \quad \text{اتم } ^{12}_{6}C$$

یک مول از هر ماده‌ای به اندازهٔ N_A ذره تشکیل‌دهندهٔ آن را دارد. به‌طور مثال یک مول آهن، $۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$ اتم آهن دارد. یا یک مول گلوکز $C_6H_{12}O_6$، $۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$ مولکول گلوکز دارد. یک مول NaCl شامل $۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$ تا Na^+ و $۶/۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$ تا Cl^- می‌شود. (برای ترکیبات یونی و مولکولی جلوتر توضیحات کافی ارائه می‌شود.) بنابراین مول بیانگر تعداد ذرهٔ هر ماده می‌باشد.

با توجه به اینکه یک مول $^{12}_{6}C$ برابر ۱۲ g می‌باشد، جرم یک مول از هر عنصر دیگری نیز به اندازهٔ جرم اتمی آن برحسب گرم می‌باشد. به‌طور مثال جرم $^{16}_{8}O$ برابر ۱۵/۹۹ u می‌باشد. یعنی جرم یک اتم $^{16}_{8}O$، $\frac{۱۵/۹۹}{۱۲}$ برابر جرم یک اتم $^{12}_{6}C$ است. پس جرم یک مول $^{16}_{8}O$ نیز $\frac{۱۵/۹۹}{۱۲}$ برابر جرم یک مول $^{12}_{6}C$ می‌باشد. (جرم یک عدد اتم در عدد آووگادرو ضرب شود تا جرم یک مول آن می‌شود.) در نتیجه جرم یک مول $^{16}_{8}O$ برابر است با

$$\frac{۱۵/۹۹\ u}{۱۲\ u} \times ۱۲\ g = ۱۵/۹۹\ g$$

نسبت جرم $^{16}_{8}O$ به $^{12}_{6}C$ — جرم ۱ مول $^{12}_{6}C$ — جرم ۱ مول $^{16}_{8}O$

با توجه به این کار، و تعمیم آن به دیگر اتم‌ها، می‌توان گفت **جرم یک مول از هر عنصر به اندازهٔ جرم اتمی آن برحسب گرم می‌باشد.** به جرم یک مول از هر ماده، جرم مولی نیز گفته می‌شود. به طور مثال جرم مولی $^{12}_{6}C$ برابر $۱۲\ \frac{g}{mol}$ می‌باشد.

مثال یک مول آهن چند گرم جرم دارد؟

حل:

جرم اتمی آهن برابر ۵۵/۸۵ u می‌باشد پس جرم یک مول آن برابر ۵۵/۸۵ g است.

مطابق بند چهارم مدل اتمی دالتون، مواد مرکب از اتصال اتم‌ها به یکدیگر حاصل می‌شوند در نتیجه جرم مواد مرکب مجموع جرم اتم‌های سازندهٔ آن می‌باشد. و این قانون جرم مولی را می‌توان به مواد مرکب نیز تعمیم داد. به‌طور مثال جرم یک مولکول آب برابر است با مجموع جرم اتم‌های سازندهٔ آن:

مولکول آب: H_2O ⇐ جرم اتم O + جرم ۲ اتم H = جرم یک مولکول آب

$$= ۲ \times ۱ + ۱۶ = ۱۸\ u$$

درنتیجه جرم یک مول آب برابر ۱۸ g می‌باشد.

به‌طور خلاصه، جرم یک مول از هر ماده به اندازهٔ جرم فرمولی آن برحسب گرم جرم دارد که به آن جرم مولی می‌گویند.

مثال جرم یک مول C_2H_4 و NaCl برحسب گرم چقدر است؟

حل:

برای محاسبهٔ جرم یک مول از هر یک از این مواد، ابتدا باید جرم یک مولکول C_2H_4 و یک واحد فرمولی NaCl را محاسبه کنیم:

$$\text{جرم یک مولکول } C_2H_4 = 2\times12+4\times1 = 28\ u$$

در نتیجه یک مول C_2H_4 برابر ۲۸ گرم می‌باشد.

جرم یک واحد فرمولی NaCl برابر است با:

$$\text{جرم یک واحد فرمولی NaCl} = 23+35/5 = 58/5\ u$$

در نتیجه یک مول NaCl، ۵۸/۵ گرم می‌باشد.

توجه

C_2H_4 یک مادهٔ مولکولی است در حالی که NaCl یک مادهٔ یونی است. اطلاق واژهٔ جرم مولکولی برای ترکیبات یونی صحیح نیست زیرا آن‌ها مولکولی نیستند. در نتیجه از واژهٔ جرم فرمولی در حالت کلی می‌توان استفاده کرد.

بنابر تعریف مول و مقدار عدد آووگادرو می‌توان رابطهٔ تبدیل g به u را نیز به خاطر داشت:

$$\text{جرم اتم } {}^{12}_{6}C = 12\ u$$

با ضرب کردن دو طرف تساوی در عدد آووگادرو خواهیم داشت:

$$\text{جرم اتم } {}^{12}_{6}C \times N_A = 12\ u \times N_A$$

مقدار سمت چپ برابر جرم N_A تا اتم ${}^{12}_{6}C$ یا به عبارتی جرم یک مول از ${}^{12}_{6}C$ می‌باشد. که طبق تعریف برابر ۱۲ g می‌باشد.

$$12\ g = 12\ u \times N_A \Rightarrow \boxed{1u = \frac{1}{N_A}\ g}$$

دانستن این رابطه برای حل مسائل سودمند می‌باشد چون ضریب تبدیل u به g و برعکس می‌باشد.

$$1u = \frac{1}{N_A}g = \frac{1}{6/02\times10^{23}} = 1/66\times10^{-24}g$$

مثال جرم $12/04\times10^{24}$ مولکول گوگرد با فرمول S_8 چه قدر است؟ (جرم اتمی گوگرد برابر ۳۲ می‌باشد: $S = 32$)

حل:

برای یافتن جرم، باید مقدار مول آن را دانست. جرم یک مول مولکول S_8 برابر جرم مولکولی آن برحسب گرم است:

$$\text{جرم مولکولی } S_8 = 8\times32 = 256\ u$$

$$12/04\times10^{24}\ \text{مولکول } S_8 \times \frac{1\ mol\ S_8}{6/02\times10^{23}\ \text{مولکول } S_8} \times \frac{256\ g}{1\ mol\ S_8} = 5120\ g\ S_8$$

واکنش‌های هسته‌ای

بند دیگری که بعدها از مدل اتمی دالتون دچار نقض شد، بند سوم آن بود: «اتم‌های یک عنصر به اتم‌های عنصر دیگر تبدیل نمی‌شوند.» بعدها با درک مفهوم هسته و انجام واکنش هسته‌ای، هستهٔ یک عنصر را به هستهٔ عنصری دیگر تبدیل کرده‌اند. منظور از واکنش هسته‌ای نیز، فرایندی است که طی آن هستهٔ یک اتم دستخوش تغییر می‌شود. **معمولاً** برای اتمی که نسبت تعداد نوترون‌ها به پروتون‌های آن بیشتر از ۱/۵ باشد، هسته‌ای ناپایدار تصور

می‌شود. $(\frac{A-Z}{Z}=\frac{n}{P}>1/5)$ و هسته دستخوش فرایندهای هسته‌ای می‌شود.[1] این قاعده، تجربی بوده و اثباتی برای آن وجود ندارد. همچنین نسبت تعداد نوترون به پروتون می‌تواند کمتر از ۱/۵ باشد و آن هسته ناپایدار باشد. به‌طور مثال ${}^{14}_{6}C$ دارای نسبت نوترون به پروتون $\frac{n}{P}=\frac{8}{6}=1/33$ می‌باشد اما هسته‌ای ناپایدار دارد.

اگر هسته‌ای دارای نسبتی بیش از ۱/۵ باشد و واپاشی کند معمولاً واکنش هسته‌ای همراه با پرتوزایی و آزاد شدن انرژی رخ می‌دهد.

طی واکنش هسته‌ای، مقدار انرژی زیادی نیز آزاد می‌شود. انشتین نشان داد که جرم و انرژی هم‌ارز هستند و انرژی حاصل از فرایندهای هسته‌ای از رابطهٔ هم‌ارزی زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$\Delta E = \Delta m c^2$$

که ΔE انرژی آزاد شده در یک واکنش هسته‌ای، Δm تغییر جرم (کاهش جرم) طی یک فرایند هسته‌ای و c سرعت نور در خلأ و مقدار آن ثابت و برابر با $3\times10^8\ m/s$ می‌باشد. در این رابطه با جایگذاری Δm برحسب Kg می‌توان ΔE را برحسب J محاسبه نمود.

اگر به جدول بخش اجزای ریزاتمی و ساختار اتم نگاه کنید جرم پروتون $1/0072\ u$ و جرم نوترون برابر $1/0087\ u$ می‌باشد و جرم الکترون در مقابل این دو قابل صرف‌نظر می‌باشد. می‌توان گفت جرم اتمی اگر مجموع جرم پروتون‌ها و نوترون‌ها باشد، باید تقریباً برابرد عدد جرمی باشد. (جرم پروتون و نوترون را $1\ u$ در نظر بگیریم). در حالی که همیشه مقدار جرم اتمی از عدد جرمی اندکی کمتر است. به‌طور مثال ${}^{107}Ag$ دارای جرم اتمی $106/91\ u$ می‌باشد در حالی که عدد جرمی آن ۱۰۷ می‌باشد. دلیل کمتر بودن این جرم، از عدد جرمی را می‌توان به انرژی اتصال هسته ربط داد. بدین معنی که هنگامی که پروتون‌ها و نوترون‌ها در کنار یکدیگر در هسته قرار می‌گیرند، اندکی از جرم هسته کاسته می‌شود و به انرژی تبدیل می‌شود. به این انرژی، انرژی اتصال هسته می‌گویند.

مثال اگر $1\ u$ ماده طی یک واکنش هسته‌ای تبدیل به انرژی شود، مقدار انرژی آزاد شده چه قدر است؟

حل:

ابتدا باید مقدار جرم $1\ u$ را برحسب kg محاسبه کنیم:

$$1\ u\times\frac{\frac{1}{6/02\times10^{23}}\ g}{1\ u}\times\frac{1\ kg}{10^3\ g}=1/66\times10^{-27}kg$$

$$\Delta E=\Delta mc^2=1/66\times10^{-27}\ kg\times(3\times10^8)^2\ m^2/s^2=1/5\times10^{-10}J$$

مقدار جرم برابر $1\ u$، جرم بسیار کمی می‌باشد؛ برای درک مقدار انرژی آزاد شده از یک فرایند هسته‌ای به مثال بعدی توجه کنید.

مثال مقدار انرژی آزاد شده در یک واکنش هسته ناشی از تغییر جرم $1g$ ماده چه‌قدر است؟ برای آزاد شدن این مقدار انرژی به چند kg مادهٔ منفجرهٔ TNT نیاز است؟ گرمای حاصل از انفجار TNT برابر $4184\ J$ به ازای انفجار یک گرم از این ماده می‌باشد.

حل:

$$\text{انرژی حاصل از واکنش هسته‌ای}=\Delta mc^2=1\times10^{-3}kg\times(3\times10^8)^2\ m^2/s^2=9\times10^{13}\ J$$

حال مقدار TNT لازم برای منفجر شدن برای ایجاد مقدار انرژی معادل برابر است با:

$$9\times10^{13}J\times\frac{1\ g\ TNT}{4184\ J}=2/15\times10^{10}\ g=2/15\times10^7\ kg\ TNT$$

همان‌طور که محاسبه شد، انرژی معادل از تبدیل از یک گرم به انرژی طی یک واکنش هسته‌ای معادل انرژی حاصل از انفجار $2/15\times10^7\ kg$ مادهٔ منفجرهٔ TNT می‌باشد.

---

۱. به‌طور کلی چهار نوع واکنش هسته‌ای وجود دارد: ۱- **تبدیل هسته‌ای:** فرایندی که در آن یک هسته از طریق بمباران شدن توسط ذرات دیگر به هسته‌ای دیگر تبدیل می‌شود. مثال: ${}^{14}_{7}N+{}^{4}_{2}He\rightarrow{}^{17}_{8}O+{}^{1}_{1}H$ در این مثال هستهٔ اتم نیتروژن توسط ذرهٔ α $({}^{4}_{2}He^{2+})$ بمباران می‌شود و هستهٔ اتم ${}^{17}_{8}O$ و ${}^{1}_{1}H$ را به‌وجود می‌آورند. ۲. **واپاشی پرتوزایی:** فرایندی که در آن یک هستهٔ ناپایدار با پرتوزایی تبدیل به هسته‌ای دیگر می‌شود. مثال: ${}^{210}_{84}Po\rightarrow{}^{206}_{82}Pb+{}^{4}_{2}He$ در این مثال هستهٔ اتم پولونیوم با واپاشی به اتم سرب تبدیل می‌شود و پرتو α را ساطع می‌کند. پرتو α همان باریکه‌ای از ذرات ${}^{4}_{2}He^{2+}$ است. ۳. **شکافت هسته‌ای:** فرایندی است که در آن یک هستهٔ سنگین به هسته‌های سبکتر شکافته می‌شود. مثال: ${}^{235}_{92}U\rightarrow{}^{95}_{42}Mo+{}^{138}_{56}Ba+2{}^{1}_{0}n+6{}^{0}_{-1}e$ در این مثال هستهٔ اورانیوم شکافته می‌شود و به دو هستهٔ Mo و Ba تبدیل می‌شود. دو نوترون و شش الکترون نیز از این واکنش حاصل می‌شوند. ۴. **همجوشی هسته‌ای:** فرایندی که در آن دو هستهٔ سبک از طریق همجوشی به یک هستهٔ سنگین‌تر تبدیل می‌شوند مثال: ${}^{2}_{1}H+{}^{3}_{1}H\rightarrow{}^{4}_{2}He+{}^{1}_{0}n$ این مثال واکنش همجوشی دو ایزوتوب هیدروژن است که در خورشید صورت می‌گیرد.
لازم به ذکر است در واکنش‌های هسته‌ای بار ذرات نوشته نمی‌شود و فقط هستهٔ آن‌ها مهم هستند. درنتیجه ذرهٔ α به‌صورت ${}^{4}_{2}He$ نمایش داده می‌شود.

قانون پایستگی جرم

بند چهارم مدل اتمی دالتون، تنها بندی از نظریهٔ اتمی دالتون است که بدون نقض باقی مانده است. این قانون بیانگر قانون پایستگی جرم طی واکنش‌های شیمیایی می‌باشد. به نحوی که **مجموع** جرم مواد در ابتدا و پایان یک فرایند شیمیایی بدون تغییر باقی می‌ماند. جرم نه به وجود و نه از بین می‌رود. کاربرد و توضیحات بیشتر درخصوص قانون بقای جرم در فصل دوم در مبحث واکنش‌های شیمیایی آمده است. همان‌طور که در بخش قبل گفته شد، جرم طی فرایندهای هسته‌ای می‌تواند پایسته نباشد.

۱ـ۳ اتم و ساختار آن II ـ الکترون‌ها

تا پیش از این، در خصوص هسته‌ای اتم که شامل پروتون‌ها و نوترون‌ها هستند صحبت شد. اما هیچ‌گونه مطلبی راجع به اینکه الکترون‌ها در چه فضایی از اتم وجود دارند آورده نشد. در این بخش، در خصوص انرژی الکترون‌ها و نحوهٔ قرارگیری آن‌ها در اتم‌های گوناگون صحبت خواهد شد. پیش از آن، نیاز به دانستن برخی مفاهیم فیزیکی لازم است که به مختصر در زیر آمده‌اند:

مفاهیم مورد نیاز از فیزیک

۱. *میدان الکتریکی: میدان الکتریکی فضایی است که اگر در آن ذره‌ای با بار الکتریکی قرار گیرد به آن نیروی الکتریکی وارد می‌شود. هر چه مقدار میدان الکتریکی (شدت) بیش‌تر باشد نیرویی که به ذرهٔ باردار وارد می‌شود بیش‌تر می‌باشد. میدان الکتریکی با حرف E نمایش داده می‌شود.*

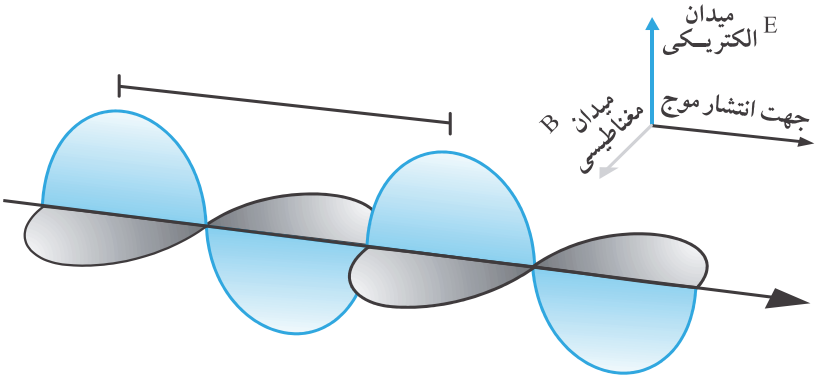
۲. *میدان مغناطیسی: میدان مغناطیسی فضایی است که اگر در آن ذره‌ای با بار الکتریکی حرکت کند به آن نیروی مغناطیسی وارد می‌شود. هر چه مقدار میدان الکتریکی (شدت) آن بیش‌تر باشد نیرویی که به ذره باردار وارد می‌شود بیش‌تر می‌باشد. میدان مغناطیسی با حرف B نمایش داده می‌شود.*

امواج الکترومغناطیس

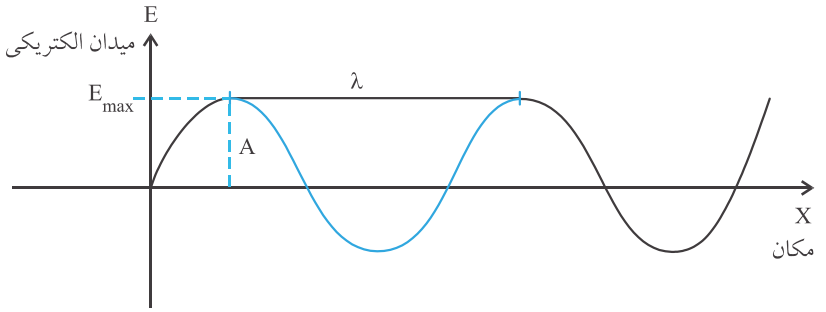
امواج الکترومغناطیس، پدیده‌ای موجی شکل است که در فضا انتشار می‌یابد. انتشار امواج الکترومغناطیس برخلاف امواج مادی مانند صورت نیازی به محیط مادی ندارند. سرعت انتشار امواج الکترومغناطیس در هر محیط ثابت و در خلأ برابر سرعت نور در خلأ می‌باشد.

اولین بار دانشمندی به نام ماکسول (در سال ۱۸۶۵) نتیجه گرفت که نور نیز باید نوعی از امواج الکترومغناطیس باشد. در نتیجه امواج الکترومغناطیس و نور دارای سرعت انتشار یکسانی هستند.

امواج الکترومغناطیس شامل میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی می‌باشند که این دو میدان عمود بر یکدیگر می‌باشند. امواج الکترومغناطیس همانند شکل زیر در راستایی عمود بر این دو میدان انتشار می‌یابند.



اگر مقدار میدان الکتریکی و یا میدان مغناطیسی را برحسب جابه‌جایی رسم کنیم شکل زیر را خواهیم داشت: (این شکل در واقع همان مقطعی از شکل بالا می‌باشد، این مقطع می‌تواند هم برای میدان مغناطیسی و هم برای میدان الکتریکی رسم شود.)



اگر به این شکل دقت کنید، با حرکت در راستای انتشار این موج، مقدار میدان الکتریکی از صفر شروع می‌شود، به یک مقدار max (بیشینه) می‌رسد سپس مقدار آن کاهش می‌یابد و مجدداً این مقدار به صورت متناوب تغییر می‌کند. تغییرات متناوب مقدار میدان الکتریکی و مغناطیسی برای امواج الکترومغناطیس مشابه آن‌چه در شکل رسم شده است، می‌باشد. با توجه به شکل، به یادآوری برخی مفاهیم موج می‌پردازیم:

طول موج λ: فاصلهٔ دو نقطهٔ مشابه از یک موج، طول موج نام دارد. این دو نقطهٔ مشابه می‌تواند، دو قله، دو دره یا هر دو نقطهٔ مشابهی باشد. همان‌طور که از نام این مفهوم مشخص است، واحد این مفهوم، واحدی برای اندازه‌گیری طول می‌باشد. معمولاً طول امواج الکترومغناطیس برحسب nm بیان می‌شود. ($1\ nm = 10^{-9}\ m$).

فرکانس ν **یا f**: کمیت بیان‌کنندهٔ تعداد تکرار یک رخدادی در 1s را فرکانس آن موج می‌گویند. به‌طور مثال، اگر رفت و برگشت یک آونگ را به‌عنوان یک رخداد تکرار شونده در نظر بگیریم، تعداد دفعات رفت و برگشت در یک ثانیه را فرکانس آن پدیده می‌گوییم. امواج نیز رخدادهایی هستند که تکرار می‌شوند. تعداد واحد تکراری یک موج که در یک ثانیه از یک نقطه عبور می‌کند، بیانگر فرکانس آن موج خواهد بود. واحد فرکانس $\frac{1}{s}$ خواهد بود. ($\frac{\text{تعداد}}{s}$ که تعداد دارای واحد نمی‌باشد، در نتیجه واحد آن $\frac{1}{s}$ خواهد بود) $\frac{1}{s}$ را با Hz (هرتز) نیز نمایش می‌دهند.
رابطهٔ حاکم بر امواج الکترومغناطیس عبارت است از

$$\lambda\nu = c$$
$$m \quad \frac{1}{s} \quad \frac{m}{s}$$

این رابطه بیانگر حاصل‌ضرب طول موج و فرکانس موج می‌باشد که برابر سرعت انتشار آن موج است. برای امواج الکترومغناطیس، سرعت انتشار آن‌ها برابر سرعت $c = 3\times10^{8}\ \frac{m}{s}$ می‌باشد.

دامنه A: به اندازهٔ قلهٔ یک موج، دامنهٔ موج می‌گویند.

مثال طول موج، موج رادیویی FM حدود $10^{9}\ nm$ می‌باشد. فرکانس آن چه قدر است؟

حل:

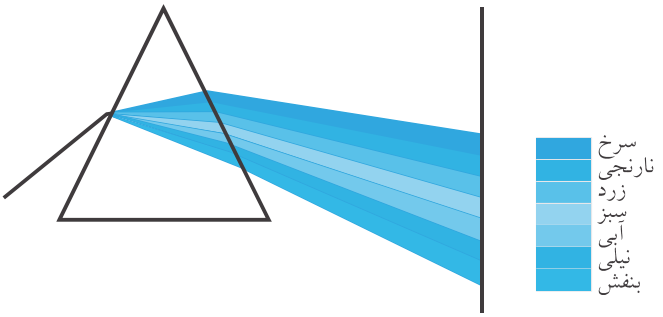
$$\lambda = 10^{9}\ nm \times \frac{1\ m}{10^{9}\ nm} = 1\ m$$

$$\lambda\nu = c \Rightarrow \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3\times10^{8}\ m/s}{1\ m} = 3\times10^{8}\ \frac{1}{s} \quad \text{یا} \quad Hz$$

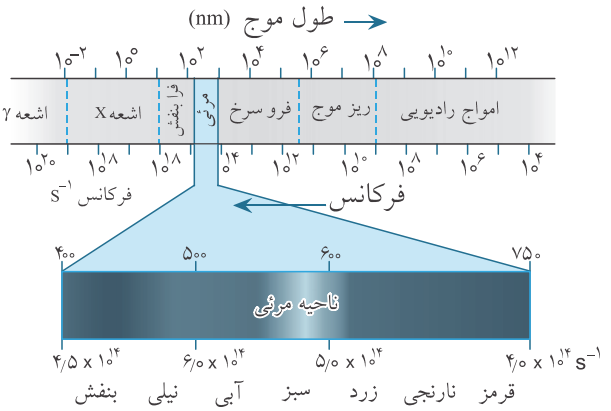
با توجه به اینکه حاصلضرب طول موج و فرکانس امواج الکترومغناطیس عددی ثابت می‌باشد ($\lambda\nu = c$)، **هر چه فرکانس این امواج بیشتر باشد طول موج آنها کمتر، و هر چه فرکانس کمتر باشد طول موج آنها بیشتر است.**

ماکسول معادلاتی در زمینهٔ میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ناشی از حرکت بارهای الکتریکی به دست آورد و همچنین نشان داد نور نیز هم دارای خاصیت الکتریکی و مغناطیسی می‌باشد و نتیجه‌گیری کرد که نور از جنس امواج الکترو مغناطیس می‌باشد. نور، مخلوطی از امواج الکترومغناطیس با طول موج‌های متفاوت است.

اگر نور آن را از یک منشور عبور دهیم، با توجه به اینکه شکست پرتوهای نور در منشور به طول موج آنها بستگی دارد، نور منتشر شده به خطوطی تقسیم می‌شود. این خطوط را **طیف** می‌نماییم. شکل زیر طیف نور مرئی (قابل دیدن یا چشم) را نشان می‌دهد.



محدودهٔ امواج الکترومغناطیس، فراتر از ناحیهٔ مرئی می‌باشد. به‌طوری که حد بالا و پایینی برای طول موج آن وجود ندارد. در شکل زیر طیف امواج الکترومغناطیس (با توجه به فرکانس و طول موج) آمده است.



بر طبق نظریهٔ **کلاسیک الکترومغناطیس** (ماکسول) انرژی یک موج الکترومغناطیس به **شدت نور (مجذور دامنه موج: A^2)** ارتباط دارد. در حالی که با انجام آزمایش‌های زیر، نظریهٔ کلاسیک الکترومغناطیس در توجیه انرژی امواج الکترومغناطیس ناتوان می‌ماند:

۱. **تابش جسم سیاه:** هر گاه یک جسم جامد، مانند یک تکه آهن گرم شود، بر اثر گرم شدن، شروع به ساطع کردن نور می‌نماید. ابتدا به رنگ قرمز، سپس نارنجی و با افزایش دما نور سفید رنگ ساطع می‌شود. یعنی با افزایش دما فرکانس نور ساطع شده تغییر می‌کند به‌طوری که با گرم کردن جسم از دمای پایین تا دمای بالا نور منتشر شده از جسم از قرمز تا آبی تغییر می‌کند. منظور از جسم سیاه جسمی است که تمامی فرکانس‌ها را جذب می‌کند در نتیجه امکان خروج تابش از جسم به حداقل رسیده و می‌توان رابطه‌ای میان انرژی داده شده به جسم (به وسیلهٔ حرارت) و فرکانس نور ساطع شده را مشاهده نمود.

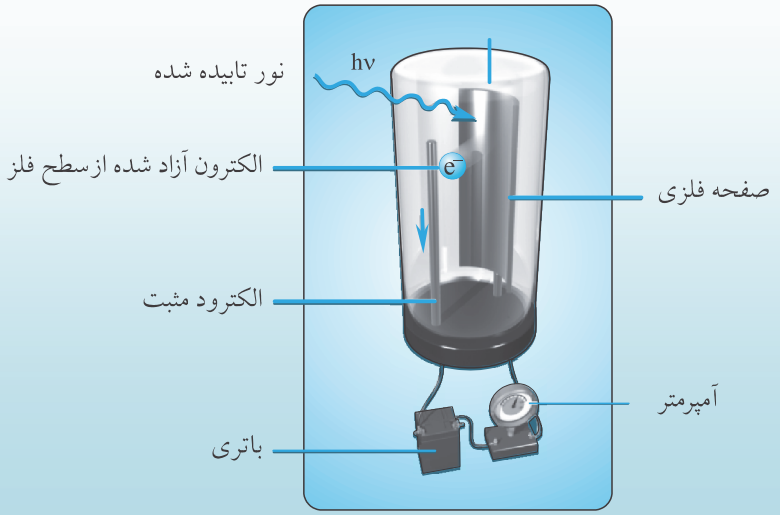
براساس فیزیک کلاسیک، انرژی موج ساطع شده با شدت آن (مجذور دامنه) رابطه دارد، در حالی که نتایج تجربی از آزمایش جسم سیاه نشان می‌دهد فرکانس نور آزاد شده و شدت آن رابطه‌ای مطابق با نظریهٔ کلاسیک **ندارد**. بنابراین، اولین ایده‌ها مبنی بر عدم تطابق روابط فیزیک کلاسیک بر امواج الکترومغناطیس نقش بست.

فراتر از کتاب درسی

۲. **آزمایش فوتوالکتریک:** هر گاه بر سطح یک فلز صیقلی و تمیز نور تابانده شود از سطح فلز الکترون (بار الکتریکی منفی) جدا می‌شود. الکترون جدا شده را می‌توان به داخل یک مدار الکتریکی ساده هدایت نمود و با اندازه‌گیری جریان یا ولتاژ مدار انرژی الکترون را محاسبه نمود.

برای هر فلز، نوری با حداقل فرکانس برای کندن الکترون‌ها از سطح آن لازم است و فرکانس کمتر از این فرکانس لازم توانایی کندن الکترون را ندارد. به‌طور مثال نور آبی توانایی کندن الکترون از سطح فلز سدیم را دارد در حالی که نور قرمز که فرکانس کمتری نسبت به نور آبی دارد، توانایی کندن الکترون را ندارد. وقتی نور به سطح فلز برخورد می‌کند انرژی خود را به الکترون‌ها منتقل می‌کند. الکترون‌ها از سطح فلز

کنده نمی‌شوند مگر اینکه حداقل انرژی لازم برای جدا کردن الکترون توسط نور تأمین شود. با افزایش شدت نور، الکترون‌ها در این آزمایش از سطح فلز جدا نمی‌شوند (در حالی که در مکانیک کلاسیک با افزایش شدت انرژی افزایش می‌یابد.) به‌طور مثال هر چه شدت نور قرمز را بیشتر کنیم، الکترون از سطح فلز سدیم جدا نمی‌شود، اما اگر فرکانس آن را افزایش دهیم (نور آبی) الکترون از سطح فلز جدا می‌شود.



نتیجه‌گیری این دو آزمایش این است که انرژی نور (امواج الکترومغناطیس) با فرکانس آن موج رابطهٔ مستقیم دارد و برخلاف فیزیک کلاسیک شدت موج در انرژی آن رابطه ندارد.

نظریهٔ پلانک (کوانتوم)

در سال ۱۹۰۰ ماکس پلانک با استفاده از نتایج آزمایش تابش جسم سیاه نظریهٔ خود را ارائه داد. پلانک تابش اجسام هنگام حرارت دادن آنها را به انرژی نوسانی اتم‌های آنها نسبت داد. پلانک، این دیدگاه که تغییرات انرژی اتم‌های نوسان‌کنندهٔ یک اتم پیوسته است (نظریهٔ فیزیک کلاسیک) را رد کرد و با بیان انقلابی، نظریهٔ خود را مطرح کرد. بدین‌ترتیب که یک اتم نوسان کننده نمی‌تواند هر انرژی را داشته باشد، بلکه دارای انرژی‌های معین و مجازی می‌باشد.

$$E = nh\nu \qquad n = ۱, ۲, ۳\cdots$$

در این رابطه n عددی طبیعی h ثابت پلانک و برابر $۶/۶۲۶\times۱۰^{-۳۴}\ J\cdot s$ و ν فرکانس موج می‌باشد، این رابطه بیانگر این موضوع است که انرژی موج یا اتم نوسانگر فقط وابسته به فرکانس آن می‌باشد. از طرفی تمامی مقادیر انرژی امکان‌پذیر نمی‌باشد، بلکه فقط ضرایب اعداد طبیعی از $h\nu$ برای انرژی سیستم (الکترون، اتم نوسان‌کننده و..) امکان‌پذیر می‌باشد. می‌توان گفت انرژی به‌صورت بسته بسته (کوانتیده) می‌باشد و انرژی هر یک از این بسته‌های برابر $h\nu$ است. تعداد بسته‌ها بیانگر انرژی کل می‌باشد. آزمایش فوتو الکتریکی که توسط انشتین در سال ۱۹۸۵ میلادی انجام گرفت تأییدی بر نظریهٔ پلانک می‌باشد. در این آزمایش انشتین نشان داد انرژی الکترون‌های آزاد شده که بیانگر انرژی نور تابیده شده است، تمامی مقادیر انرژی را دارا نمی‌باشد، بلکه مضاربی از $h\nu$ می‌باشد. یا به عبارتی بسته بسته‌های انرژی می‌باشد که هر یک دارای انرژی $h\nu$ است. انشتین هر یک از این بسته‌ها را **فوتون** نامید و بیان کرد که نور از بسته‌هایی حامل انرژی به نام فوتون تشکیل شده است.

طیف اتمی عناصر

هر گاه به بخار یک عنصر شیمیایی انرژی به‌صورت شعله (حرارت) یا اختلاف پتانسیل (برق) دهیم، از خود نور نشر خواهد نمود. اگر نور نشر داده شده را از یک منشور عبور دهیم، نور نشر داده شده به خطوطی تقسیم می‌شود که آن را طیف نشری می‌نامیم. به‌طور مثال نور ساطع شده از