جرم اتمی عناصر، amu (atomic mass unit) و ذرات زیراتمی

جرم اجسام گوناگون را بسته به **اندازه** و **نوع** آن‌ها با ترازوهای متفاوتی اندازه‌گیری می‌کنند. مثلاً جرم یک کامیون را با باسکول و یکای تن، جرم هندوانه را با ترازوی معمولی و یکای کیلوگرم و جرم طلا را با ترازوهای دقیق‌تر و یکای گرم می‌سنجند.

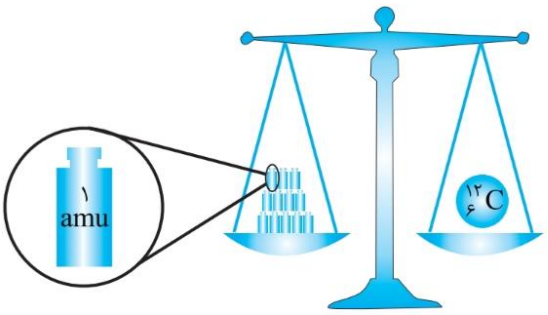
ترازوهایی که برای اندازه‌گیری جرم مواد گوناگون به‌کار می‌رود، دقت اندازه‌گیری متفاوتی دارند؛ برای نمونه، دقت باسکول‌های تنی تا **یک صدم** تن و دقت ترازوی زرگری تا **یک صدم گرم** است و با استفاده از باسکول چند تنی نمی‌توان جرم یک هندوانه را اندازه‌گیری کرد؛ زیرا جرم هندوانه از دقت اندازه‌گیری این ترازو $(0/1\text{ton} = 100\text{kg})$ کمتر است و باسکول عدد صفر را برای جرم هندوانه نشان می‌دهد.

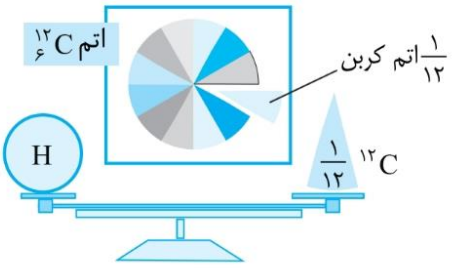
نکته **به کمک یک ترازوی مشخص، فقط می‌توان جرم اجسامی را اندازه‌گیری کرد که جرم آن‌ها برابر یا بیشتر از دقت ترازو و مضرب صحیحی از آن باشد.**

با توجه به این‌که اتم‌ها بی‌نهایت کوچک هستند، برای سنجش جرم اتم‌ها به جای گرم، باید واحد متناسب با جرم اتم‌ها انتخاب شود، از آن‌جا که نمی‌توان آن‌ها را به‌طور مستقیم مشاهده و جرم آن‌ها را اندازه‌گیری کرد؛ دانشمندان مقیاس جرم نسبی را برای تعیین جرم اتم‌ها به‌کار می‌برند. در این مقیاس جرم بخشی از یک اتم را به‌عنوان مبنا در نظر می‌گیرند و سپس جرم تمام اتم‌ها را نسبت به آن می‌سنجند. مطابق این مقیاس، جرم اتم‌ها را با وزنه‌ای می‌سنجند که جرم آن $\frac{1}{12}$ جرم ایزوتوپ کربن- ۱۲ است. به این وزنه، یکای جرم اتمی (amu) می‌گویند.

یکای جرم اتمی (amu): منظور از واحد یکای جرم اتمی، $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن- ۱۲ $({}^{12}_{6}C)$ است و آن را با نماد u نیز نشان می‌دهند.

اگر جرم یک اتم کربن- ۱۲ را برابر با عدد ۱۲ در نظر بگیریم، سپس این عدد را به ۱۲ بخش یکسان تقسیم کنیم، هر بخش را ۱amu می‌نامند؛ به این ترتیب مقیاسی به‌دست می‌آید که به کمک آن می‌توان جرم همهٔ اتم‌ها را اندازه‌گیری کرد.





الگویی دیگر برای نمایش amu

جرم اتمی: منظور از جرم اتمی، جرم اتم موردنظر برحسب واحد amu است؛ یعنی نسبت جرم آن اتم به $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن- ۱۲.

مثال: **هنگامی که گفته می‌شود جرم اتم لیتیم (Li) برابر ۷ است، به این معنی است که جرم هر اتم Li برابر جرم ۷ واحد amu است؛ یعنی** $(7\times\frac{1}{12}\,{}^{12}_{6}C)$

نماد شیمیایی ذرات زیراتمی

نماد شیمیایی ذرات زیراتمی (الکترون- پروتون- نوترون) را به‌صورت زیر نشان می‌دهند.

نماد ذره $\rightarrow {}^{a\leftarrow \text{جرم نسبی}}_{b\leftarrow \text{بار نسبی}}X$

نام ذره	نماد	بار الکتریکی نسبی	جرم	
			amu	گرم
الکترون	${}^{0}_{-1}e$	-۱	۰/۰۰۰۵	$9\times10^{-28}\times109$
پروتون	${}^{1}_{1}P$	+۱	۱/۰۰۷۳	$1/673\times10^{-24}$
نوترون	${}^{1}_{0}n$	۰	۱/۰۰۸۷	$1/675\times10^{-24}$

با توجه به جدول بالا، جرم نوترون اندکی بیشتر از جرم پروتون است.

نکته در مقیاس جرم اتمی، جرم یک پروتون یا یک نوترون تقریباً برابر ۱amu است. درحالی‌که جرم الکترون بسیار ناچیز و تقریباً یک دو هزارم $(\frac{۱}{۲۰۰۰} = ۰/۰۰۰۵)$ این مقدار است.

نکته هر amu به تقریب برابر با $۱/۶۶ \times ۱۰^{-۲۴}$ گرم است.

$$۱\text{amu} = ۱/۶۶ \times ۱۰^{-۲۴}\,\text{g}$$

اگر بخواهیم جرم هر اتم را به‌طور دقیق‌تر محاسبه کنیم، به عدد اعشاری می‌رسیم. مثلاً جرم دقیق‌تر هر اتم هیدروژن برابر با ۱/۰۰۸amu است.

$$^{۱}_{۱}\text{H} \Rightarrow \begin{matrix}\text{تعداد p ها} = ۱ \\ \text{تعداد e ها} = ۱ \\ \text{تعداد n ها} = ۰\end{matrix} \Rightarrow {}^{۱}_{۱}\text{H} \text{ جرم دقیق‌تر یک اتم} = \underbrace{۱(۱/۰۰۷۳)}_{\text{جرم پروتون}} + \underbrace{۱(۰/۰۰۰۵)}_{\text{جرم الکترون}} \simeq ۱/۰۰۸\text{amu}$$

ولی برای راحتی محاسبات، جرم نوترون و پروتون را برابر ۱amu و جرم الکترون را برابر صفر در نظر می‌گیریم، بنابراین جرم هر اتم هیدروژن با تقریب بسیار خوبی برابر با ۱amu می‌شود.

نکته **با این‌که عدد جرمی و جرم اتمی از نظر تعریف و مفهوم با یکدیگر تفاوت دارند، ولی جرم اتمی هر عنصر با عدد جرمی آن تقریباً برابر است. علت این است که جرم الکترون بسیار ناچیز است و می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. جرم P و N هم تقریباً با هم برابر و برابر جرم واحد کربنی (amu) است.**

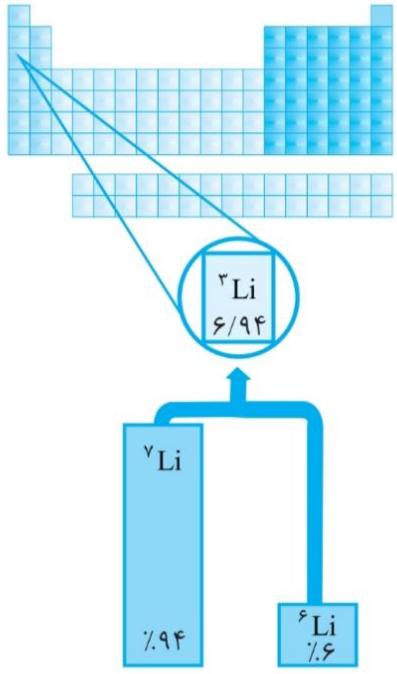
مثال:

$$^{۱۶}_{۸}\text{O} \Rightarrow \begin{cases}\text{تعداد پروتون‌ها} = ۸ \\ \text{تعداد الکترون‌ها} = ۸ \\ \text{تعداد نوترون‌ها} = ۱۶ - ۸ = ۸\end{cases}$$

$$^{۱۶}_{۸}\text{O} \Rightarrow \text{N} + \text{P} = \text{عدد جرمی}\,(\text{A}) \Rightarrow ۸ + ۸ = ۱۶$$

$$\text{جرم اتمی اکسیژن} = \text{جرم ۸ الکترون} + \text{جرم ۸ پروتون} + \text{جرم ۸ نوترون} = ۰ + ۸\text{amu} + ۸\text{amu} = ۱۶\text{amu}$$

اگر به جدول‌های تناوبی عناصر مراجعه کنید، جرم اتمی عناصر مختلف در آن معمولاً زیر نماد شیمیایی آن گذاشته شده است و این عدد با عدد جرمی (A) هر یک از ایزوتوپ‌های عنصر مذکور متفاوت است. این تفاوت به علت وجود ایزوتوپ‌های مختلف با فراوانی‌های مختلف برای اغلب عناصر است و عدد آورده شده در جدول‌های تناوبی، در واقع میانگین عنصرهاست.



جرم اتمی میانگین: به میانگین جرم اتمی ایزوتوپ‌های مختلف یک عنصر با توجه به درصد فراوانی هر ایزوتوپ در طبیعت گفته می‌شود.

$$\text{جرم اتمی میانگین} = \frac{\text{M}_۱\text{F}_۱ + \text{M}_۲\text{F}_۲ + \cdots + \text{M}_\text{n}\text{F}_\text{n}}{\text{F}_۱ + \text{F}_۲ + \cdots + \text{F}_\text{n}}$$

$$\text{جرم اتمی هر یک از ایزوتوپ‌ها} = \text{M}_۱, \text{M}_۲, \ldots, \text{M}_\text{n}$$

$$\text{فراوانی هر ایزوتوپ} = \text{F}_۱, \text{F}_۲, \ldots, \text{F}_\text{n}$$

تذکر: اگر فراوانی ایزوتوپ‌ها به‌صورت درصد گزارش شود، در مخرج کسر فوق به جای مجموع فراوانی‌ها $(F_1 + F_2 + \cdots + F_n)$ عدد ۱۰۰ قرار می‌دهیم.

روش تستی (با محاسبات ریاضی ساده‌تر):

$$\text{جرم اتمی میانگین} = \text{جرم ایزوتوپ سبک‌تر} + \left[\begin{array}{c}\text{فراوانی}\\ \text{ایزوتوپ}\\ \text{دوم}\end{array} \times \begin{array}{c}\text{تفاوت جرم ایزوتوپ}\\ \text{دوم با ایزوتوپ}\\ \text{سبک‌تر}\end{array}\right] + \left[\begin{array}{c}\text{فراوانی}\\ \text{ایزوتوپ}\\ \text{سوم}\end{array} \times \begin{array}{c}\text{تفاوت جرم ایزوتوپ}\\ \text{سوم با ایزوتوپ}\\ \text{سبک‌تر}\end{array}\right] + \cdots$$

مثال: **در طبیعت به‌ازای هر اتم $^{59}_{26}Fe$، چهار اتم $^{55}_{26}Fe$ وجود دارد. جرم اتمی میانگین آهن را محاسبه کنید.**

پاسخ:

$$\text{جرم اتمی میانگین} = \frac{M_1F_1 + M_2F_2}{F_1 + F_2} = \frac{(59 \times 1) + (55 \times 4)}{1 + 4} = 55/8$$

روش تستی:

$$\text{جرم اتمی میانگین} = \underbrace{55}_{\substack{\text{جرم}\\ \text{ایزوتوپ}\\ \text{سبک‌تر}}} + [\underbrace{(59-55)}_{\substack{\text{تفاوت جرم ایزوتوپ}\\ \text{دیگر با ایزوتوپ}\\ \text{سبک‌تر}}} \times \underbrace{\frac{1}{5}}_{\substack{\text{فراوانی}\\ \text{ایزوتوپ}\\ \text{دیگر}}}] = 55/8$$

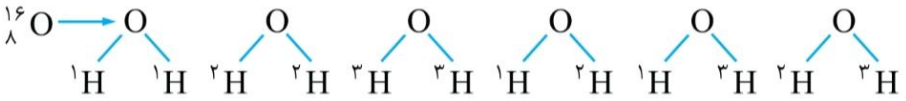
ساختن مولکول‌ها با ایزوتوپ‌های مختلف عنصرها

از اتصال برخی اتم‌ها، مولکول‌ها به‌وجود می‌آیند. مثلاً مولکول H_2O (آب) از اتصال ۲ اتم هیدروژن به یک اتم اکسیژن (یا) به وجود می‌آید، از طرفی می‌دانیم اغلب اتم‌ها در طبیعت دارای چند ایزوتوپ مختلف هستند. (مثلاً هیدروژن در طبیعت دارای ۳ ایزوتوپ ^1_1H، ^2_1H، ^3_1H است)، بنابراین نوع مولکول‌ها و در نتیجه جرم مولکول‌های به‌دست آمده از ترکیب این ایزوتوپ‌ها با هم یکسان نیست. حال در برخی مسائل، تعداد مولکول‌های به‌دست آمده را مورد پرسش قرار می‌دهند. برای حل این‌گونه مسائل بهتر است اتمی که کمترین تعداد را در فرمول شیمیایی ماده دارد، ثابت نگه داشته و بقیهٔ اتم‌های اطراف آن را تغییر دهیم.

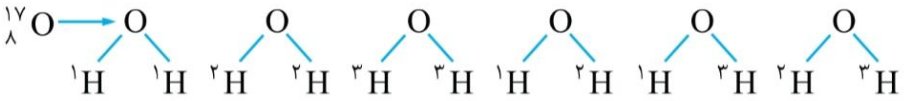
مثال: **اگر فرض کنیم هیدروژن دارای سه ایزوتوپ (^1_1H، ^2_1H، ^3_1H) و اکسیژن دارای سه ایزوتوپ ($^{16}_8O$، $^{17}_8O$، $^{18}_8O$) باشد، چند نوع مولکول آب خواهیم داشت؟**

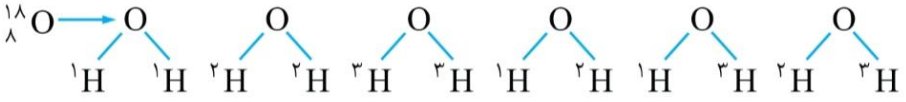
۱) ۶ ۲) ۱۲ ۳) ۱۸ ۴) ۲۴

پاسخ: با توجه به فرمول H_2O، ابتدا اتم اکسیژن را ثابت مثلاً $^{16}_8O$ در نظر می‌گیریم و اتم‌های هیدروژن را تغییر می‌دهیم:



همین روند را برای اتم‌های $^{17}_8O$ و $^{18}_8O$ ادامه می‌دهیم:





بنابراین در مجموع می‌توان $3 \times 6 = 18$ نوع مولکول آب مختلف، از ایزوتوپ‌های داده شده ساخت.

در میان تار نما ها

با مراجعه به منابع علمی معتبر مانند وبگاه «**انجمن شیمی ایران**» و وبگاه «**آیوپاک**» دربارهٔ دسته‌بندی عنصرها به روش‌های دیگر، اطلاعاتی جمع‌آوری و به کلاس گزارش کنید.

خود را بیازمایید

۱ـ با استفاده از جدول دوره‌ای، موقعیت (دوره و گروه) عنصرهای آلومینیم ($_{13}Al$)، کلسیم($_{20}Ca$)، منگنز ($_{25}Mn$) و سلنیم($_{34}Se$) را تعیین کنید.

۲ـ هلیم ($_{2}He$)، عنصری است که تمایل به انجام واکنش‌شیمیایی ندارد. پیش‌بینی کنید کدام یک از عنصرهای زیر رفتاری مشابه با آن دارد؟ چرا؟

آ) $_{18}Ar$ ب) $_{6}C$ پ) $_{16}S$

۳ـ اتم فلوئور($_{9}F$) در ترکیب با فلزها به یون فلوئورید (F^-) تبدیل می‌شود. اتم کدام یک از عنصرهای زیر می‌تواند آنیونی با بار الکتریکی همانند یون فلوئورید تشکیل دهد؟ چرا؟

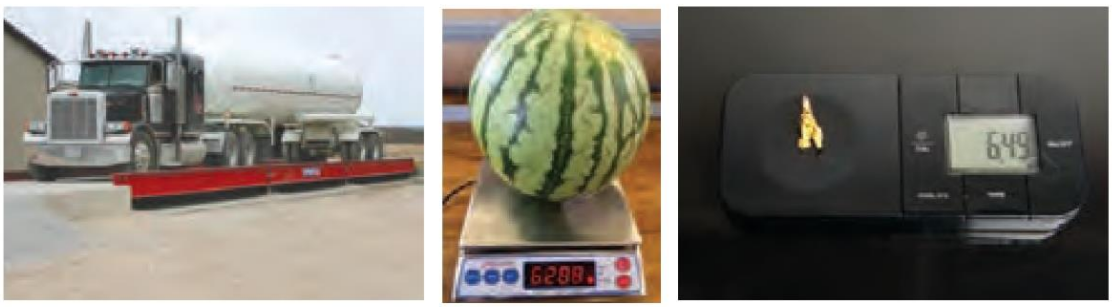
آ) $_{37}Rb$ ب) $_{35}Br$ پ) $_{15}P$

۴ـ از اتم آلومینیم($_{13}Al$)، یون پایدار Al^{3+} شناخته شده است. پیش‌بینی کنید اتم کدام یک از عنصرهای زیر می‌تواند به کاتیونی مشابه Al^{3+} در ترکیب‌ها تبدیل شود؟

آ) $_{19}K$ ب) $_{31}Ga$ پ) $_{7}N$

جرم اتمی عنصرها

می‌دانید که جرم اجسام گوناگون را بسته به اندازه و نوع آنها با ترازوهای متفاوتی اندازه‌گیری می‌کنند (شکل ۹).



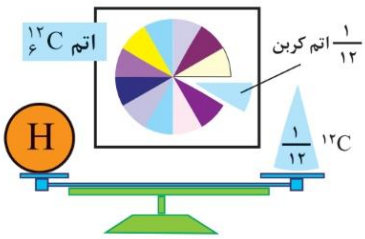
شکل ۹ـ جرم یک کامیون را با باسکول و یکای تن، جرم هندوانه را با ترازوی معمولی و یکای کیلوگرم و جرم طلا را با ترازوهای دقیق‌تر و یکای گرم می‌سنجند.

● آیا تاکنون به اطلاعات داده شده در بلیت قطار، هواپیما، اتوبوس یا تابلوی نمایش زمان حرکت آنها دقت کرده‌اید؟ در هر یک از آنها، برخی از نمادها، خلاصه‌نویسی‌ها، واژه‌های مخفف و مجموعه‌ای از شناسه‌ها به کار رفته است. اگر با این نشانه‌ها آشنا نباشید، برای یافتن اطلاعات مفید سردرگم خواهید شد.

آیا می‌دانید

آیوپاک (IUPAC)، اتحادیهٔ بین‌المللی شیمی محض و کاربردی است که یکاها، نمادها، قراردادها، قواعد فرمول‌نویسی و نام‌گذاری و... را ارائه می‌کند. جدول دوره‌ای عنصرها نیز به تأیید آیوپاک رسیده است.

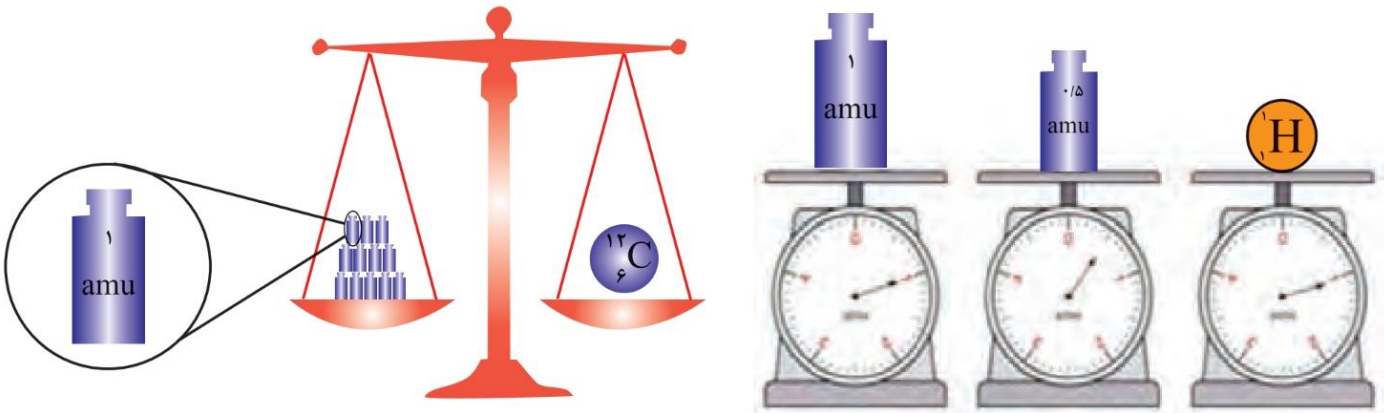
با این توصیف، ترازوهایی که برای اندازه‌گیری جرم مواد گوناگون به کار می‌رود، دقت اندازه‌گیری متفاوتی دارند؛ برای نمونه، دقت باسکول‌های تنی تا یک‌صدم تن و دقت ترازوی زرگری تا یک‌صدم گرم است. با استفاده از باسکول چند تنی نمی‌توان جرم یک هندوانه را اندازه‌گیری کرد؛ زیرا جرم هندوانه از دقت اندازه‌گیری این ترازو کمتر است. آیا می‌توان جرم یک دانهٔ برنج را با ترازوی معمولی اندازه‌گیری کرد؟



● الگویی دیگر برای نمایش amu

دانشمندان برای اینکه بتوانند خواص فیزیکی و شیمیایی هر ماده را در محیطی مانند بدن انسان، محیط‌زیست، محیط آزمایش و... بررسی و اثر آن را گزارش کنند، باید بدانند که چه جرمی از اتم‌ها یا مولکول‌های آن ماده وارد محیط شده است؛ از این‌رو آنها همواره درپی‌یافتن **سنجه‌ای مناسب** و در دسترس برای اندازه‌گیری جرم اتم‌ها بوده‌اند.

اتم‌ها بسیار ریزند به طوری که نمی‌توان آنها را به طور مستقیم مشاهده و جرم آنها را اندازه‌گیری کرد؛ به همین دلیل دانشمندان مقیاس جرم نسبی را برای تعیین جرم اتم‌ها به کار می‌برند. مطابق این مقیاس، جرم اتم‌ها را با وزنه‌ای می‌سنجند که جرم آن $\frac{1}{12}$ جرم ایزوتوپ کربن ـ۱۲ است (شکل ۱۰). به‌این وزنه، **یکای جرم اتمی**[1] (amu) می‌گویند.



شکل ۱۰ـ آ) اگر جرم یک ایزوتوپ کربن ـ۱۲ را برابر با عدد ۱۲ در نظر بگیریم، سپس این عدد را به ۱۲ بخش یکسان تقسیم کنیم، هر بخش را ۱ amu می‌نامند؛ به‌این ترتیب مقیاسی به‌دست می‌آید که به کمک آن می‌توان جرم همهٔ اتم‌ها را اندازه‌گیری کرد. ب) اگر در این ترازوی فرضی به جای ایزوتوپ کربن ـ۱۲، اتم هیدروژن قرار گیرد، جرم ۱/۰۰۸ amu به دست می‌آید.

● یکای جرم اتمی را با نماد u نیز نشان می‌دهند. برای نمونه جرم اتمی میانگین هیدروژن برابر با ۱/۰۰۸ amu یا ۱/۰۰۸ u است.

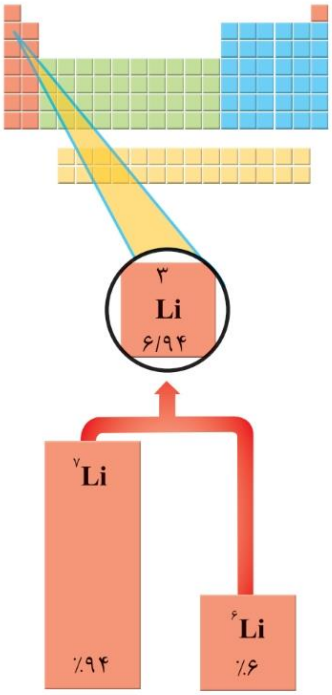
با تعریف amu، شیمی‌دان‌ها موفق شدند جرم اتمی دیگر عنصرها و همچنین جرم ذره‌های زیراتمی را اندازه‌گیری کنند. در این مقیاس جرم پروتون و نوترون در حدود ۱ amu بوده در حالی که جرم الکترون ناچیز و در حدود $\frac{1}{2000}$ amu است (جدول ۱).

۱ـ Atomic Mass Unit

جدول ۱ـ برخی ویژگی‌های ذره‌های زیراتمی

نام ذره	نماد*	بار الکتریکی نسبی	جرم (amu)
الکترون	${}_{-1}^{0}e$	−۱	۰/۰۰۰۵
پروتون	${}_{+1}^{1}p$	+۱	۱/۰۰۷۳
نوترون	${}_{0}^{1}n$	۰	۱/۰۰۸۷

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



با این توصیف جرم اتم ${}_{3}^{7}Li$ را می‌توان ۷amu در نظر گرفت. اکنون با مراجعه به جدول، جرم اتمی لیتیم را مشخص کنید. آیا تفاوتی مشاهده می‌کنید؟ به نظر شما علت این تفاوت چیست؟

با هم بیندیشیم

۱ـ با توجه به شکل به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

آ) جدول زیر را کامل کنید.

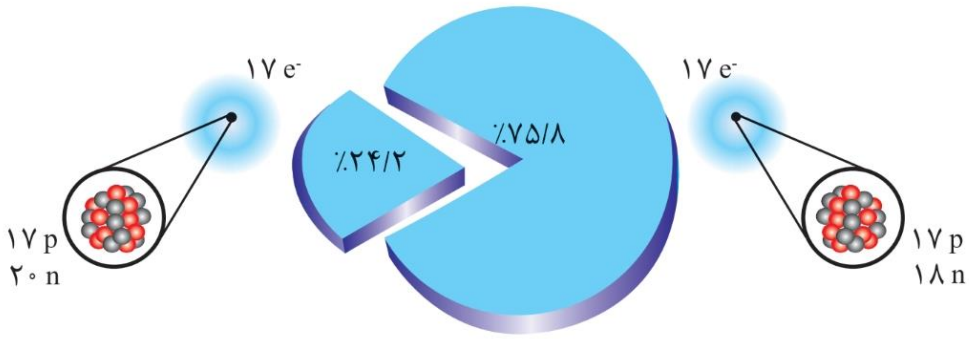
نماد ایزوتوپ	درصد فراوانی در طبیعت	عدد جرمی (A)	جرم اتمی میانگین

ب) جرم اتمی میانگین هر عنصر همان جرم نشان داده شده در جدول دوره‌ای عنصرهاست. رابطه‌ای بین **جرم اتمی میانگین**، درصد فراوانی و جرم اتمی ایزوتوپ‌ها بنویسید.

۲ـ شکل روبه‌رو ایزوتوپ‌های کلر را نشان می‌دهد.

آ) جرم اتمی میانگین کلر را حساب کنید.

ب) جرم اتمی میانگین به‌دست آمده را با جرم اتمی کلر در جدول دوره‌ای مقایسه کنید.



تمرین: داده‌های جدول زیر را به دقت بررسی کنید، سپس به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید:

نماد ایزوتوپ / ویژگی ایزوتوپ	$^{1}_{1}H$	$^{2}_{1}H$	$^{3}_{1}H$	$^{4}_{1}H$	$^{5}_{1}H$	$^{6}_{1}H$	$^{7}_{1}H$
نیم‌عمر	پایدار	پایدار	۱۲/۳۲ سال	$۱/۴\times۱۰^{-۲۲}$ ثانیه	$۹/۱\times۱۰^{-۲۲}$ ثانیه	$۲/۹\times۱۰^{-۲۲}$ ثانیه	$۲/۳\times۱۰^{-۲۳}$ ثانیه
درصد فراوانی در طبیعت	۹۹/۹۸۸۵	۰/۰۱۱۴	ناچیز	۰ (ساختگی)	۰ (ساختگی)	۰ (ساختگی)	۰ (ساختگی)

الف) چه شباهت‌ها و چه تفاوت‌هایی میان این ایزوتوپ‌ها وجود دارد؟

ب) یک نمونهٔ طبیعی از عنصر هیدروژن، مخلوطی از چند ایزوتوپ است؟

پ) کدام ایزوتوپ هیدروژن از همه ناپایدارتر و کدام پایدارتر است؟

ت) چه تعداد از ایزوتوپ‌های هیدروژن، رادیوایزوتوپ به شمار می‌رود؟

ث) ترتیب پایداری ایزوتوپ‌های هیدروژن به چه صورت است؟

ج) عنصر هیدروژن چند رادیوایزوتوپ دارد؟

چ) عنصر هیدروژن چند ایزوتوپ پرتوزای طبیعی دارد؟

ح) ترتیب نیم‌عمر ایزوتوپ‌های هیدروژن به چه صورت است؟

خ) پایدارترین رادیوایزوتوپ هیدروژن کدام است؟

د) پایدارترین رادیوایزوتوپ ساختگی هیدروژن کدام است؟