

## 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.

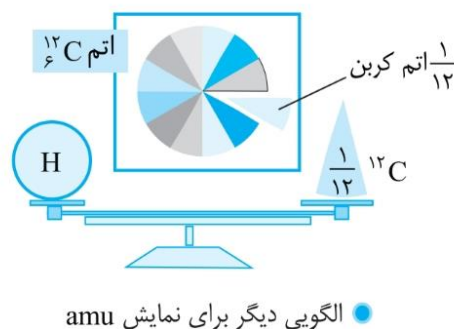
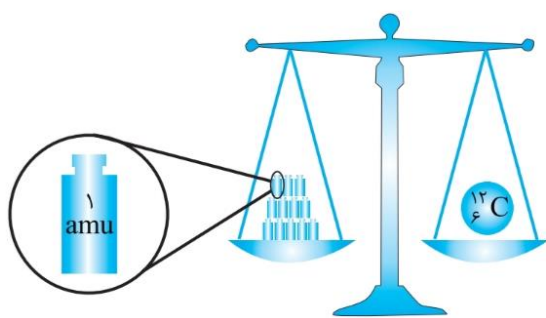
ترازوهایی که برای اندازه‌گیری جرم مواد گوناگون به کار می‌رود، دقت اندازه‌گیری متفاوتی دارند؛ برای نمونه، دقت باسکول‌های تنی تا یک صدم تن و دقت ترازوی زرگری تا یک صدم گرم است و با استفاده از باسکول چند تنی نمی‌توان جرم یک هندوانه را اندازه‌گیری کرد؛ زیرا جرم هندوانه از دقت اندازه‌گیری این ترازو ( $100 \text{ kg} = 1 \text{ ton}$ ) 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 این که 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 به کار 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 ( $^{12}_6\text{C}$ ) 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  $1 \text{ amu}$  می‌نامند؛ به این ترتیب مقیاسی به‌دست می‌آید که به کمک آن می‌توان جرم همه اتم‌ها را اندازه‌گیری کرد.



**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 ( $\text{Li}$ ) برابر ۷ است، به این معنی است که جرم هر اتم  $\text{Li}$  برابر جرم ۷ واحد  $amu$  است؛ یعنی  $(7 \times \frac{1}{12} \text{ } ^{12}_6\text{C})$

## نماد شیمیایی ذرات زیراتمی

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

نماد ذره  $\rightarrow X \leftarrow a$  جرم نسبی  
بار نسبی  $\leftarrow b$

نام ذره	نماد	بار الکتریکی نسبی	جرم	
			amu	گرم
الکترون	${}_{-1}^0\text{e}$	-۱	۰/۰۰۰۵	$9 \times 10^9 \times 10^{-28}$
پروتون	${}^1_1\text{P}$	+۱	۱/۰۰۷۳	$1/673 \times 10^{-24}$
نوترون	${}^1_0\text{n}$	۰	۱/۰۰۸۷	$1/675 \times 10^{-24}$

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

در مقیاس جرم اتمی، جرم یک پروتون یا یک نوترون تقریباً برابر ۱amu است. در حالی که جرم الکترون بسیار ناچیز و تقریباً یک دو هزارم (۰/۰۰۰۵ =  $\frac{1}{2000}$ ) این مقدار است.



هر amu به تقریب برابر با  $1/66 \times 10^{-24}$  گرم است.



$$1 \text{amu} = 1/66 \times 10^{-24} \text{g}$$

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

تعداد e ها = ۱

$${}^1_1\text{H} \Rightarrow \text{تعداد p ها} = 1 \Rightarrow \text{جرم دقیق تر یک اتم } {}^1_1\text{H} = 1 \left( \frac{1}{0.0073} \right) + 1 \left( \frac{0}{0.0005} \right) \approx 1.008 \text{amu}$$

تعداد n ها = ۰

جرم پروتون      جرم الکترون

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.



با این که 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 صرف نظر کرد. جرم P و N هم تقریباً با هم برابر و برابر جرم واحد کربنی (amu) است.

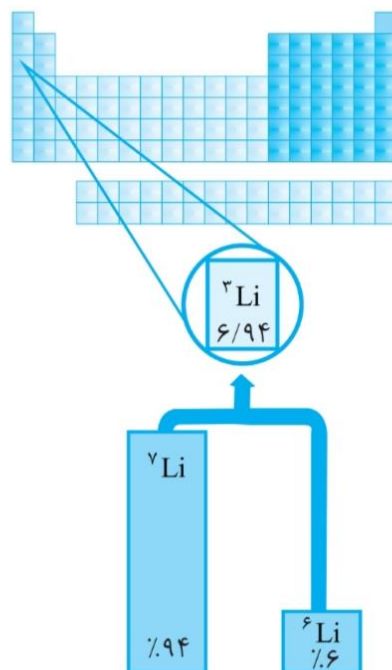


$${}^{16}_8\text{O} \Rightarrow \begin{cases} \text{تعداد پروتون ها} = 8 \\ \text{تعداد الکترون ها} = 8 \\ \text{تعداد نوترون ها} = 16 - 8 = 8 \end{cases}$$

$${}^{16}_8\text{O} \Rightarrow N + P = \text{عدد جرمی (A)} \Rightarrow 8 + 8 = 16$$

$${}^{16}_8\text{O} \Rightarrow \text{جرم اتمی اکسیژن} = 8 \text{amu} + 8 \text{amu} + 0 = 16 \text{amu}$$

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.

$$\text{جرم اتمی میانگین} = \frac{M_1 F_1 + M_2 F_2 + \dots + M_n F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}$$

$$\text{جرم اتمی هر یک از ایزوتوپ‌ها} = M_1, M_2, \dots, M_n$$

$$\text{فراوانی هر ایزوتوپ} = F_1, F_2, \dots, F_n$$

**تذکر:**

اگر فراوانی ایزوتوپ‌ها به صورت درصد گزارش شود، در مخرج کسر فوق به جای مجموع فراوانی‌ها ( $F_1 + F_2 + \dots + F_n$ ) عدد ۱۰۰ قرار می‌دهیم. روش تستی (با محاسبات ریاضی ساده‌تر):

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

**مثال:** در طبیعت به ازای هر اتم  ${}^{56}\text{Fe}$ ، چهار اتم  ${}^{55}\text{Fe}$  وجود دارد. جرم اتمی میانگین آهن را محاسبه کنید.

$$\text{جرم اتمی میانگین} = \frac{M_1 F_1 + M_2 F_2}{F_1 + F_2} = \frac{(59 \times 1) + (55 \times 4)}{1 + 4} = 55.8$$

**پاسخ:**

روش تستی:

$$\text{جرم اتمی میانگین} = \underbrace{55}_{\text{جرم ایزوتوپ سبک‌تر}} + \left[ \underbrace{(59 - 55)}_{\text{تفاوت جرم ایزوتوپ دیگر با ایزوتوپ سبک‌تر}} \times \underbrace{\frac{1}{5}}_{\text{فراوانی ایزوتوپ دیگر}} \right] = 55.8$$

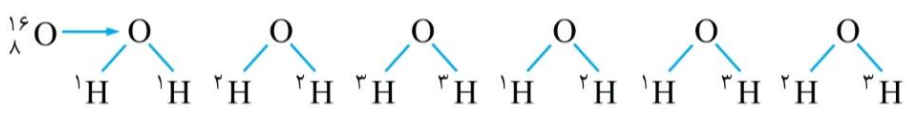
**ساختن مولکول‌ها با ایزوتوپ‌های مختلف عنصرها**

از اتصال برخی اتم‌ها، مولکول‌ها به وجود می‌آیند. مثلاً مولکول  $\text{H}_2\text{O}$  (آب) از اتصال ۲ اتم هیدروژن به یک اتم اکسیژن ( $\text{H}$  یا  $\text{H}$ ) به وجود می‌آید، از طرفی می‌دانیم اغلب اتم‌ها در طبیعت دارای چند ایزوتوپ مختلف هستند. (مثلاً هیدروژن در طبیعت دارای ۳ ایزوتوپ  ${}^1\text{H}$ ،  ${}^2\text{H}$ ،  ${}^3\text{H}$  است)، بنابراین نوع مولکول‌ها و در نتیجه جرم مولکول‌های به دست آمده از ترکیب این ایزوتوپ‌ها با هم یکسان نیست. حال در برخی مسائل، تعداد مولکول‌های به دست آمده را مورد پرسش قرار می‌دهند. برای حل این گونه مسائل بهتر است اتمی که کمترین تعداد را در فرمول شیمیایی ماده دارد، ثابت نگه داشته و بقیه اتم‌های اطراف آن را تغییر دهیم.

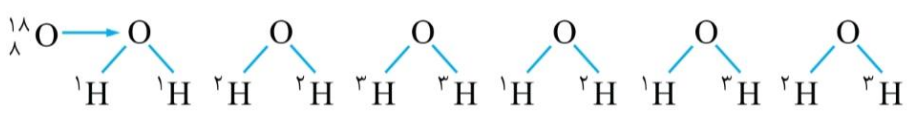
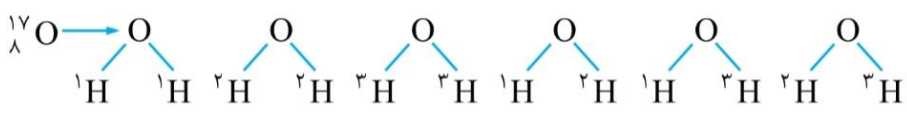
**مثال:** اگر فرض کنیم هیدروژن دارای سه ایزوتوپ ( ${}^1\text{H}$ ،  ${}^2\text{H}$ ،  ${}^3\text{H}$ ) و اکسیژن دارای سه ایزوتوپ ( ${}^{16}\text{O}$ ،  ${}^{17}\text{O}$ ،  ${}^{18}\text{O}$ ) باشد، چند نوع مولکول آب خواهیم داشت؟

- ۱) ۶      ۲) ۱۲      ۳) ۱۸      ۴) ۲۴

**پاسخ:** با توجه به فرمول  $\text{H}_2\text{O}$ ، ابتدا اتم اکسیژن را ثابت مثلاً  ${}^{16}\text{O}$  در نظر می‌گیریم و اتم‌های هیدروژن را تغییر می‌دهیم:



همین روند را برای اتم‌های  ${}^{17}\text{O}$  و  ${}^{18}\text{O}$  ادامه می‌دهیم:



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

## در میان تارنماها

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

۱- با استفاده از جدول دوره‌ای، موقعیت (دوره و گروه) عنصرهای آلومینیم ( $Al$ )، کلسیم ( $Ca$ )، منگنز ( $Mn$ ) و سلنیم ( $Se$ ) را تعیین کنید.

۲- هلیم ( $He$ )، عنصری است که تمایل به انجام واکنش شیمیایی ندارد. پیش‌بینی کنید کدام یک از عنصرهای زیر رفتاری مشابه با آن دارد؟ چرا؟

آ)  $Ar$  (ب)  $C$  (پ)  $S$

۳- اتم فلئور ( $F$ ) در ترکیب با فلزها به یون فلئورید ( $F^-$ ) تبدیل می‌شود. اتم کدام یک از عنصرهای زیر می‌تواند آنیونی با بار الکتریکی همانند یون فلئورید تشکیل دهد؟ چرا؟

آ)  $Rb$  (ب)  $Br$  (پ)  $P$

۴- از اتم آلومینیم ( $Al$ )، 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)  $K$  (ب)  $Ga$  (پ)  $N$

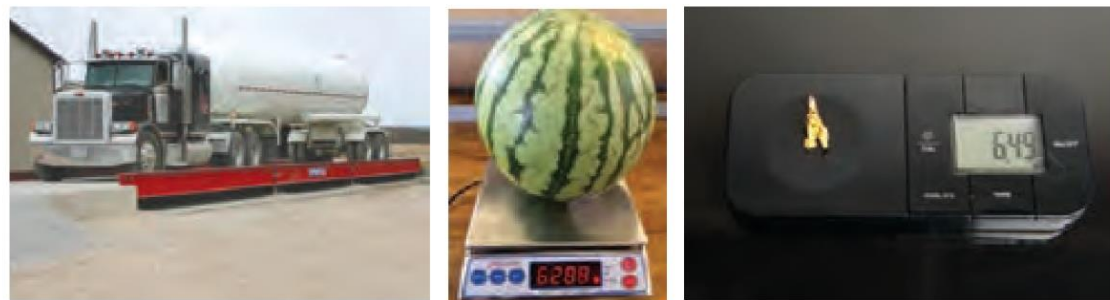
## آیا می‌دانید

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



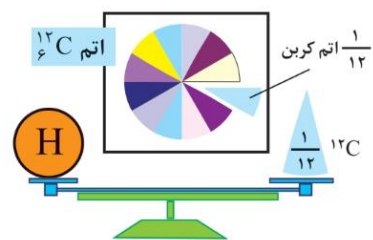
## جرم اتمی عنصرها

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



شکل ۹- 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.

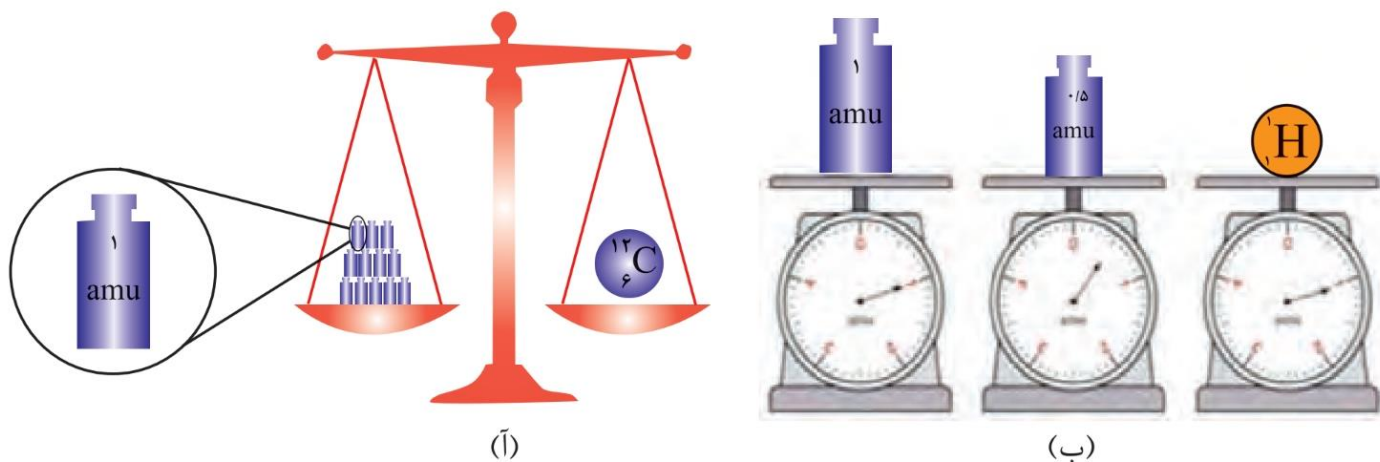
با این توصیف، ترازوهایی که برای اندازه‌گیری جرم مواد گوناگون به کار می‌رود، دقت اندازه‌گیری متفاوتی دارند؛ برای نمونه، دقت باسکول‌های تنی تا یک صدم تن و دقت ترازوی زرگری تا یک صدم گرم است. با استفاده از باسکول چند تنی نمی‌توان جرم یک هندوانه را اندازه‌گیری کرد؛ زیرا جرم هندوانه از دقت اندازه‌گیری این ترازو کمتر است. آیا می‌توان جرم یک دانه 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 در پی یافتن **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-۱۲ است (شکل ۱۰). به این وزنه، **یکای جرم اتمی**<sup>۱</sup> (amu) می‌گویند.



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

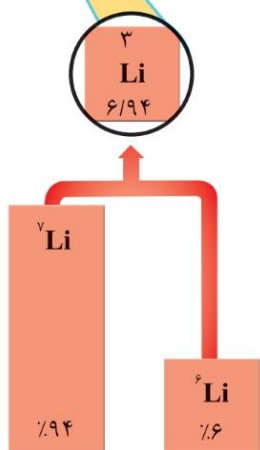
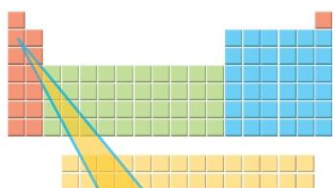
● یکای جرم اتمی را با نماد u نیز نشان می‌دهند. برای نمونه جرم اتمی میانگین هیدروژن برابر با ۱/۰۰۸ amu یا ۱/۰۰۸ u است.

با تعریف amu، شیمی‌دان‌ها موفق شدند جرم اتمی دیگر عناصرها 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).

جدول ۱- برخی ویژگی های ذره های زیراتمی

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

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



با این توصیف جرم اتم  ${}^7\text{Li}$  را می توان  $7\text{amu}$  در نظر گرفت. اکنون با مراجعه به جدول، جرم اتمی لیتیم را مشخص کنید. آیا تفاوتی مشاهده می کنید؟ به نظر شما علت این تفاوت چیست؟

### با هم ببیندیشیم

۱- با توجه به شکل به پرسش های 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 دوره ای عنصرهاست. رابطه ای بین جرم اتمی میانگین، درصد فراوانی و جرم اتمی ایزوتوپ ها بنویسید.

۲- شکل روبه رو ایزوتوپ های کلر را

نشان می دهد.

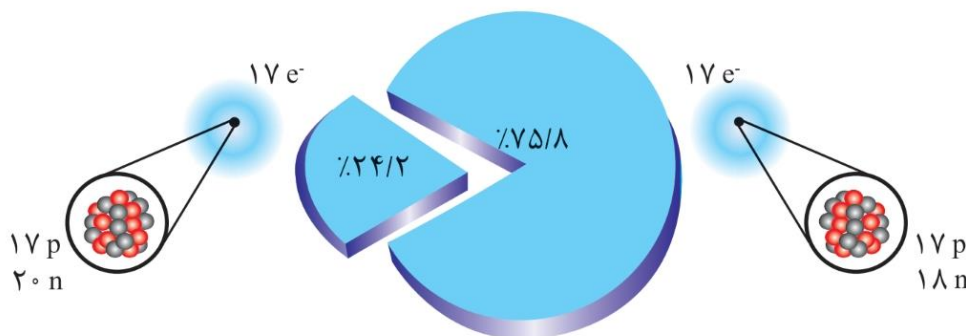
آ) جرم اتمی میانگین کلر را حساب

کنید.

ب) جرم اتمی میانگین به دست آمده

را با جرم اتمی کلر در جدول دوره ای

مقایسه کنید.



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

نماد ایزوتوپ	$^1_1\text{H}$	$^2_1\text{H}$	$^3_1\text{H}$	$^4_1\text{H}$	$^5_1\text{H}$	$^6_1\text{H}$	$^7_1\text{H}$
ویژگی ایزوتوپ							
نیم عمر	پایدار	پایدار	۱۲/۳۲ سال	$1.4 \times 10^{-22}$ ثانیه	$9.1 \times 10^{-22}$ ثانیه	$2.9 \times 10^{-22}$ ثانیه	$2.3 \times 10^{-23}$ 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 نمونه 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؟

تمرین: موقعیت عناصر زیر را به کمک گازهای نجیب تعیین کنید.

۳۳X :

۵۰X :

۷۴X :

۸۸X :