فصل ۱ کیهان زادگاه الفبای هستی

جهانی که در آن زندگی می‌کنیم، کمی کم‌تر از ۱۴ میلیارد سال سن دارد.

همواره یکی از پرسش‌های انسان این بود که جهانی که در آن زندگی می‌کنیم، چگونه پدید آمده و اساس پیدایش آن از کجاست؟ منشأ عناصری که با تعداد محدودشان مثل حروف الفبا در کنار هم قرار می‌گیرند و کلمات جهان‌هستی را پدید می‌آورند، کجاست؟

شنیده‌ایم که در خورشید واکنش‌هایی صورت می‌گیرد و عنصرهای هلیم و هیدروژن محور این واکنش‌های مهم هستند. چگونه است که در زمین هم دقیقاً همان عناصر هلیم و هیدروژن وجود دارد؟این‌همه فاصله (حدود ۱۵۰ میلیون کیلومتر!!) و این همه شباهت؟

ستاره‌شناسان اکنون براساس نظریهٔ «مهبانگ» یا انفجار بزرگ (Big Bang) معتقدند که جهان از یک ذرهٔ بی‌نهایت کوچک و داغ پدید آمده است. این ذرهٔ بسیار فشرده سرانجام در یک لحظه و به‌دلیل نیروی زیاد فشردگی، انبساط پیدا کرد و زمان، ماده و فضا آغاز شد. البته محور اصلی این نظریه مشاهده و تحقیقات «ادوین هابل» در ابتدای قرن بیستم بود. این مطالعات حقایق بزرگی را پیش‌روی انسان امروزی قرار دارد. طی مهبانگ، دمای بسیار بالا زمینهٔ پدیدآمدن عناصر مختلف را پدید آورد. فرایند همجوشی هسته‌ای شکل گرفت، ستارگان شکل گرفتند ...

این‌ها پاسخ سؤالاتی بود که در ذهن انسان پدید آمد و یکی‌یکی شروع به یافتن پاسخ آن‌ها کرد.

شاید شما در آینده پاسخ تعدادی از این سؤال‌ها را بیابید. توصیه می‌کنم کتاب‌های «پس از نخستین سه دقیقه» اثر شگفت‌انگیز تهانو پادمانابهان یا «جهان در پوست گردو» اثر استیون هاوکینگ» را حتماً مطالعه کنید.

«هوَ الَّذی خَلَقَ السَّمواتِ و الْاَرضَ فی سِتَّةِ أیّام» آیه۴، سوره حدید

او کسی است که آسمان‌ها و زمین را در شش روز آفرید.

شاید شما هم یکی از شیفتگان آسمان پرستارهٔ شبانگاهی باشید؛ سقفی زیبا و آکنده از اسرار و پرسش‌های بی‌شماری که از گذشته تاکنون ذهن کنجکاو انسان‌های هوشمند را مجذوب خویش ساخته است. در این فضای بی‌کران، ستارگان پرفروغ با نوری که می‌تابانند، پیوسته با ما سخن می‌گویند و پیام آگاه‌باش می‌فرستند؛ پیامی که از گذشته‌های دور، روایت می‌کند؛ از اینکه جهان هستی چگونه پدید آمده است؟ ذره‌های سازندهٔ جهان هستی طی چه فرایندی و چگونه به وجود آمده‌اند؟ پرسش‌هایی که یافتن پاسخ آنها بسیار دشوار است.

زمین در برابر عظمت آفرینش همانند آزمایشگاه بسیار کوچکی است که دانشمندان با آزمایش‌های گوناگون در آن، در تلاش برای یافتن پاسخ این پرسش‌ها هستند. شیمی‌دان‌ها با (۱) مطالعهٔ خواص و رفتار ماده، همچنین (۲) برهم‌کنش نور با ماده در این راستا سهم بسزایی داشته‌اند.

انسان همواره با پرسش‌هایی از این دست که «هستی چگونه پدید آمده است؟ جهان کنونی چگونه شکل گرفته است؟ پدیده‌های طبیعی چرا و چگونه رخ می‌دهند؟» روبه‌رو بوده و پیوسته تلاش کرده است برای این پرسش‌ها، پاسخ‌هایی قانع‌کننده بیابد. مسلماً پاسخ به اولین پرسش ـ که پرسشی بسیار بزرگ و بنیادی است ـ در قلمرو علم‌تجربی نمی‌گنجد و آدمی تنها با مراجعه به چارچوب اعتقادی و بینش خویش و در پرتو آموزه‌های وحیانی می‌تواند به پاسخی جامع دست یابد.

اما پس از عبور از این قلمرو، علم‌تجربی تلاشی گسترده را برای یافتن پاسخ پرسش‌های دوم و سوم انجام داده است. این تلاش‌ها سبب شد تا دانش ما دربارهٔ جهان مادی افزایش یابد. امروزه ما دربارهٔ کیهان و منشأ آن اطلاعاتی داریم که نیاکان‌مان حتی نمی‌توانستند آنها را تصور کنند؛ برای نمونه ما به فضا می‌رویم؛ با عنصرهای موجود در نقاط گوناگون کیهان آشنا شده‌ایم؛ در پی یافتن زندگی در دیگر سیاره‌ها هستیم و مسافرت به مریخ را طراحی می‌کنیم. آشکار است که با گذشت زمان، انسان به پیشرفت‌هایی دست خواهد یافت که امروزه در ذهن ما نمی‌گنجد.

تلاش دانشمندان برای شناخت کیهان همچنان ادامه دارد. نمونه‌ای از آن، سفر طولانی و تاریخی دو فضاپیما به نام **وویجر ۱ و ۲** در سال ۱۹۷۷ میلادی (۱۳۵۶ خورشیدی) برای شناخت بیشتر سامانهٔ خورشیدی است (شکل ۱).

شکل ۱ـ عکس کرهٔ زمین از فاصلهٔ تقریبی ۷ میلیارد کیلومتری؛ آخرین تصویری که وویجر ۱ پیش از خروج از سامانهٔ خورشیدی از زادگاه خود گرفت.

دو فضاپیما مأموریت داشتند با گذر از کنار سیاره‌های مشتری، زحل، اورانوس و نپتون، شناسنامهٔ فیزیکی و شیمیایی آنها را تهیه کنند و بفرستند. این شناسنامه‌ها می‌تواند حاوی اطلاعاتی مانند نوع عنصرهای سازنده، ترکیب‌های شیمیایی در اتمسفر آنها و ترکیب درصد این مواد باشد.

عنصرها چگونه پدید آمدند؟

یکی از پرسش‌های مهمی که شیمی‌دان‌ها در پی یافتن پاسخ آن هستند، چگونگی پیدایش عنصرهاست. جالب است بدانید که مطالعهٔ کیهان به ویژه سامانهٔ خورشیدی برای پاسخ به این پرسش، کمک شایانی می‌کند؛ برای نمونه با بررسی نوع و مقدار عنصرهای سازندهٔ برخی سیاره‌های سامانهٔ خورشیدی و مقایسهٔ آن با عنصرهای سازندهٔ خورشید می‌توان به درک بهتری از چگونگی تشکیل عنصرها دست یافت.

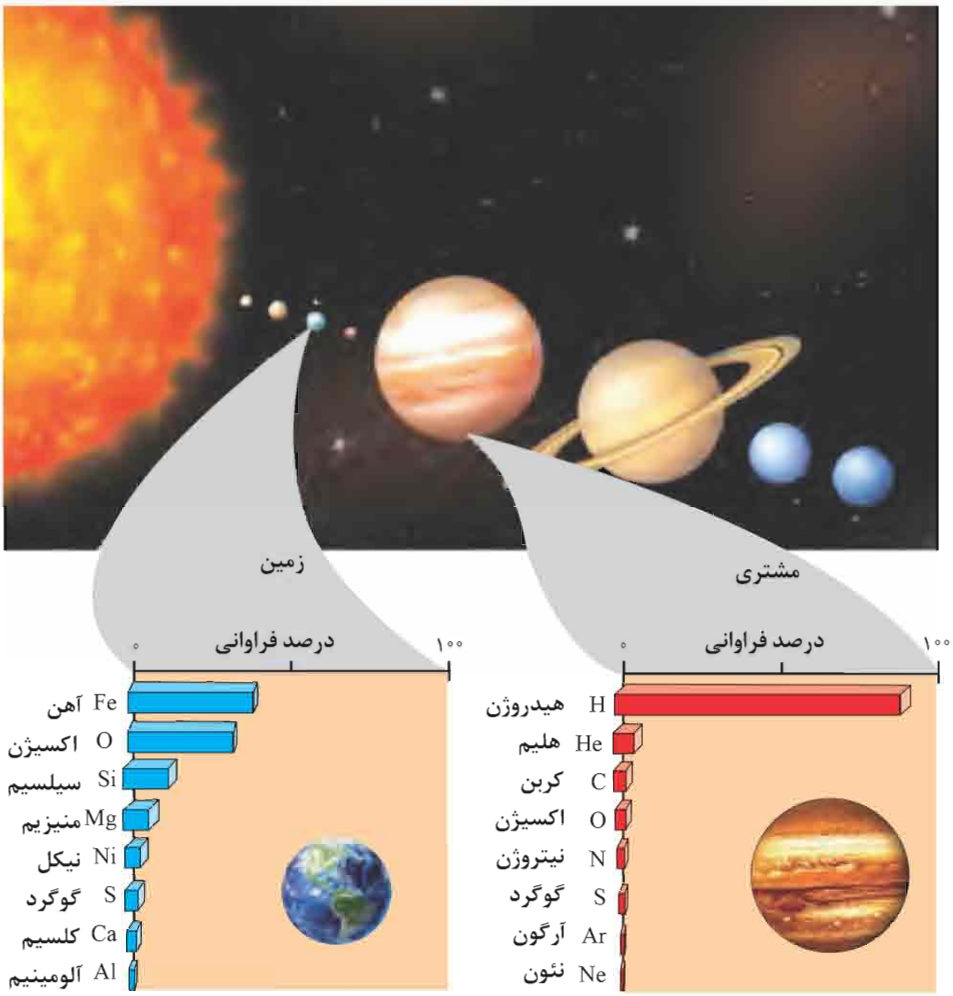
● شواهد تاریخی که از سنگ‌نبشته‌ها و نقاشی‌های دیوار غارها به‌دست آمده است نشان می‌دهد که انسان اولیه با نگاه به آسمان و مشاهدهٔ ستارگان در پی فهم نظام و قانونمندی در آسمان بوده است.

آیا می‌دانید

دانشمندان مسلمان علاقه زیاد به آسمان شب و مطالعه ستاره‌ها داشتند. **عبدالرحمن صوفی** یکی از ستاره‌شناسان ایرانی است که برای اولین بار گزارشی درباره کهکشان «آندرومیا» ارائه داده است. این کهکشان نزدیک‌ترین همسایه به سامانه خورشیدی است. او همچنین درباره موقعیت ستاره‌ها، اندازه و رنگ آنها در صورت‌های فلکی اطلاعات معتبری ارائه داده است.

خود را بیازمایید

شکل زیر عنصرهای سازندهٔ دو سیارهٔ مشتری و زمین را نشان می‌دهد. با توجه به آن به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.



آ) فراوان‌ترین عنصر در هر سیاره، کدام است؟

ب) عنصرهای مشترک در دو سیاره را نام ببرید. O (اکسیژن)، S (گوگرد)

پ) در کدام سیاره، عنصر فلزی وجود ندارد؟ *به نکتهٔ ۲ مراجعه کنید.*

ت) پیش‌بینی کنید سیارهٔ مشتری بیشتر از جنس گاز است یا سنگ؟ چرا؟ *گاز — عناصر تشکیل دهندهٔ مشتری عناصر نافلزی هستند و عناصر نافلزی معمولاً گازی شکل هستند.*

ث) آیا به‌جز عنصرهای نشان داده شده در شکل، عنصرهای دیگری در زمین یافت می‌شود؟ چند نمونه نام ببرید. *نیکل (Ni) ، سدیم (Na) و ...*

● **اختر شیمی**، یکی از شاخه‌های جذاب شیمی است و به مطالعهٔ مولکول‌هایی می‌پردازد که در فضاهای بین ستاره‌ای یافت می‌شود. اختر شیمی‌دان‌ها توانسته‌اند وجود مولکول‌های گوناگونی را در مکان‌هایی بسیار دور ثابت کنند که تاکنون پای هیچ انسانی به آنجا نرسیده است.

نکات مهم:

مقایسهٔ درصد فراوانی عناصر مختلف در دو سیارهٔ زمین و مشتری:

۱ـ در هر دو سیاره، عنصر گوگرد (S) در جایگاه ششم از نظر فراوانی وجود دارد.

۲ـ در سیارهٔ مشتری، در بین هشت عنصر فراوان، عنصر فلزی وجود ندارد.

۳ـ در سیارهٔ زمین، در بین هشت عنصر فراوان، پنج عنصر فلزی وجود دارد.

۴ـ در سیارهٔ مشتری، ۳ عنصر فراوان (در بین هشت عنصر)، گاز نجیب هستند (هلیم، آرگون و نئون)

۵ـ در سیارهٔ زمین، آهن فراوان‌ترین فلز و اکسیژن فراوان‌ترین نافلز است.

۶ـ در سیارهٔ مشتری، هیدروژن (یک نافلز) فراوان‌ترین عنصر است.

آیا می‌دانید

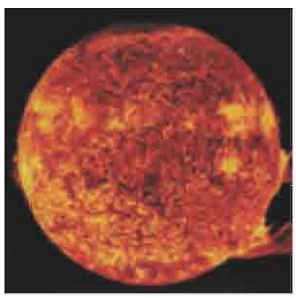
سحابی بومِ رنگ، سردترین مکان شناخته شده در جهان هستی با دمای $-272\ ^\circ C$ است که حدود ۵۰۰۰ سال نوری از زمین فاصله دارد و در صورت فلکی سنتا روس (قنطورس) واقع شده است.

● **سحابی عقاب** یکی از مکان‌های زایش ستاره‌هاست. این تصویر به وسیلهٔ تلسکوپ هابل گرفته شده است.

بین دمای ستاره و جرم اتم‌های سازنده‌اش در آن، رابطهٔ مستقیم وجود دارد.

آیا می‌دانید

خورشید نزدیک‌ترین ستاره به ما است که دمای سطح آن به حدود ۶۰۰۰°C و دمای درون آن به حدود ۱۰۰۰۰۰۰۰°C می‌رسد. انرژی گرمایی و نورانی خیره کنندهٔ آن، حاصل از واکنش‌های هسته‌ای است که در آن هیدروژن به هلیم تبدیل می‌شود به‌طوری که در هر ثانیه پنج میلیون تن از جرم خورشید کاسته می‌شود. بر این اساس برآورد می‌شود که خورشید تا پنج میلیارد سال دیگر می‌تواند نورافشانی کند.



دریافتید که نوع و میزان فراوانی عنصرها در دو سیارهٔ زمین و مشتری متفاوت است در حالی که عنصرهای مشترکی نیز در این دو سیاره هست. یافته‌هایی از این دست نشان می‌دهد که عنصرها به صورت ناهمگون در جهان هستی توزیع شده است. این یافته‌ها باعث شد تا دانشمندان بتوانند چگونگی پیدایش عنصرها را توضیح دهند به‌طوری که برخی از آنها بر این باورند که **سرآغاز کیهان** با انفجاری مهیب (**مهبانگ**) همراه بوده که طی آن انرژی عظیمی آزاد شده است. در آن شرایط پس از پدید آمدن ذره‌های زیراتمی مانند الکترون، نوترون و پروتون، عنصرهای هیدروژن و هلیم پا به عرصهٔ جهان گذاشتند. با گذشت زمان و کاهش دما، گازهای هیدروژن و هلیم تولید شده، متراکم شد و مجموعه‌های گازی به نام **سحابی** ایجاد کرد. بعدها این سحابی‌ها سبب پیدایش ستاره‌ها و کهکشان‌ها شد.

ستاره‌ها متولد می‌شوند؛ رشد می‌کنند و زمانی می‌میرند. مرگ ستاره با یک انفجار بزرگ همراه است که سبب می‌شود عنصرهای تشکیل شده در آن در فضا پراکنده شود.

درون ستاره‌ها همانند خورشید در دماهای بسیار بالا و ویژه، واکنش‌های هسته‌ای رخ می‌دهد؛ واکنش‌هایی که در آنها از عنصرهای سبک‌تر، عنصرهای سنگین‌تر پدید می‌آید. جالب است بدانید که دما و اندازهٔ هر ستاره تعیین می‌کند که چه عنصرهایی باید در آن ستاره ساخته شود. هرچه دمای ستاره بیشتر باشد، شرایط تشکیل عنصرهای سنگین‌تر فراهم می‌شود. چنین ستارگانی پس از چندین میلیون سال نورافشانی و گرمابخشی، پایداری خود را از دست داده، در انفجاری مهیب متلاشی شده‌اند و اتم‌های سنگین درون آنها در سرتاسر گیتی پراکنده شده است. به همین دلیل باید ستارگان را کارخانهٔ تولید عنصرها دانست (شکل ۲).

هیدروژن ⟵ هلیم ⟵ عنصرهای سبک مانند لیتیم، کربن و ... ⟵ عنصرهای سنگین‌تر مانند آهن، طلا و ...

شکل ۲ـ روند تشکیل عنصرها

پیوند با ریاضی

دریافتید که درون ستاره‌ها به دلیل انجام واکنش‌های هسته‌ای، انرژی بسیار زیادی آزاد می‌شود. **اینشتین** رابطهٔ زیر را برای محاسبهٔ انرژی تولید شده در این واکنش‌ها ارائه کرد:

$$E = mc^2$$

در این رابطه، m جرم ماده بر حسب کیلوگرم، c سرعت نور (۳×۱۰^۸ متر بر ثانیه) و E انرژی آزاد شده را بر حسب ژول نشان می‌دهد ($1J = 1kg\,m^2\,s^{-2}$).

آ) تجربه نشان داده است که در تبدیل هیدروژن به هلیم، ۰/۰۰۲۴ گرم ماده به انرژی

$$\begin{cases} m = ۰/۰۰۲۴g = ۲۴\times۱۰^{-۴}g \xrightarrow{1g=10^{-3}kg} m = ۲۴\times۱۰^{-۷}kg \\ c = ۳\times۱۰^۸\,m.s^{-۱} \end{cases}$$

$$E = mc^2 \Rightarrow (۲۴\times۱۰^{-۷})\times\underbrace{(۳\times۱۰^۸)^2}_{۹\times۱۰^{۱۶}} = ۲۱۶\times۱۰^۹\,J = ۲۱۶\times۱۰^۶\,kJ$$

ب) با یک تناسب ساده می‌توان گفت:

وقتی برای ذوب کردن یک گرم آهن به ۲۴۷ ژول انرژی (گرما) نیاز داریم، مقدار ۷۲۰ ژول گرما، چند گرم آهن را ذوب می‌کند؟ پس:

گرم آهن	J
۱	۲۴۷
x	۲۱۶×۱۰^۹

$$x = ۰/۸۷۴۵\times۱۰^۹ = ۸۷۴۵\times۱۰^۵\,g\,Fe = ۸۷۴۵۰۰\,kg\,Fe$$

تست

در اتم $^{56}_{26}Fe$ شمارهٔ نوترون‌ها و پروتون‌ها برابر است. (خارج از کشور - ریاضی ۹۰)

پاسخ: تعداد پروتون‌ها، همان عدد اتمی (Z) است که در عنصر آهن ۲۶ است. برای محاسبهٔ تعداد نوترون‌ها از رابطهٔ n=A-Z استفاده می‌کنیم که در این صورت تعداد نوترون‌های این اتم ۳۰(۲۶-۵۶) است. بنابراین عبارت مورد نظر نادرست است.

تبدیل می‌شود. حساب کنید در این واکنش هسته‌ای چند کیلوژول انرژی تولید می‌شود؟

ب) برای درک بزرگی میزان این انرژی، حساب کنید این مقدار انرژی چند گرم آهن را ذوب خواهد کرد؟ (برای ذوب شدن یک گرم آهن، ۲۴۷ ژول انرژی نیاز است.)

آیا همهٔ اتم‌های یک عنصر پایدارند؟

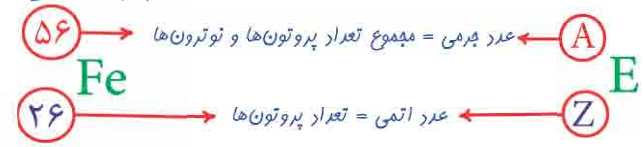
به کمک دستگاه طیف‌سنجی

بررسی‌ها نشان می‌دهد که اغلب در یک نمونهٔ طبیعی از عنصری معین، اتم‌های سازنده، جرم یکسانی ندارند. برای مثال بررسی یک نمونه منیزیم نشان می‌دهد که همهٔ اتم‌های منیزیم در این نمونه یکسان نیست، بلکه مخلوطی از سه هم‌مکان* (ایزوتوپ) هستند (شکل ۳).

خود را بیازمایید

به عبارت دیگر سه نوع اتم منیزیم وجود دارد که همگی به دلیل تعداد پروتون‌های یکسان (Z) منیزیم هستند ولی به دلیل تعداد نوترون‌های متفاوت، بدون تغییر متفاوتی دارند.

۱ـ در علوم سال هشتم آموختید که هر عنصر را با نماد ویژه‌ای نشان می‌دهند. در این نماد، تعدادذره‌های زیراتمی را نیز می‌توان مشخص کرد. هرگاه بدانید که اتمی از آهن ۲۶ پروتون و ۳۰ نوترون دارد، با توجه به شکل زیر مشخص کنید که Z و A هر کدام، چه کمیتی را نشان می‌دهد؟



نماد همگانی اتم‌ها

نماد شیمیایی اتم آهن

۲ـ با توجه به نماد ایزوتوپ‌های منیزیم (شکل ۳)، جدول زیر را کامل کنید.

ویژگی / نماد ایزوتوپ	A (p+n)	Z (p)	تعداد الکترون	تعداد نوترون (A − Z)
$^{24}_{12}Mg$	۲۴		۱۲	۲۴-۱۲=۱۲
$^{25}_{12}Mg$		۱۲		۱۳
$^{26}_{12}Mg$			۱۲	

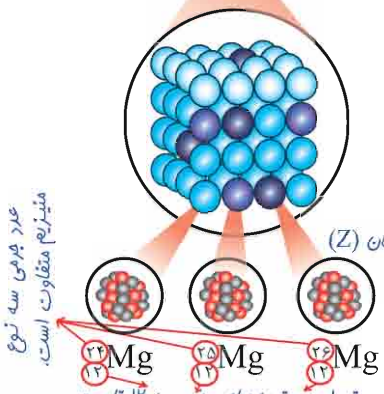
ایزوتوپ‌های یک عنصر دارای Z یکسان اما A متفاوت هستند. خواص شیمیایی اتم‌های هر عنصر به عدد اتمی (Z) آن وابسته است؛ از این‌رو اتم‌های منیزیم (سه ایزوتوپ) همگی خواص شیمیایی یکسانی دارند و در جدول دوره ای عنصرها تنها یک مکان (هر مکان مخصوص یک عدد اتمی) را اشغال می کنند؛ این در حالی است که همین ایزوتوپ‌ها در برخی خواص فیزیکی وابسته به جرم، مانند چگالی با یکدیگر تفاوت دارند.

* مصوب فرهنگستان

تست

شمار پروتون‌های اتم هر عنصر را عدد اتمی و شمار نوترون‌های اتم هر عنصر را عدد جرمی آن می‌گویند. (خارج از کشور - تجربی ۸۸)

پاسخ: با قسمت اول این عبارت موافقیم، ولی عدد جرمی مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های اتم است، بنابراین عبارت نادرست است.



شکل ۳ـ ایزوتوپ های منیزیم در یک نمونهٔ طبیعی از آن.

از شکل پیداست که فراوانی ایزوتوپ سنگین‌تر کم‌تر از دو ایزوتوپ دیگر است.

● نماد E، حرف نخست واژهٔ Element به معنای عنصر است.

نکته مهم:
A-Z= تعداد نوترون‌ها (n)

نکته مهم: در اتم خنثی، همواره تعداد الکترون‌ها با تعداد پروتون‌ها (Z) برابر است، یعنی: اتم خنثی : $p = e \rightarrow e = Z$

نکته مهم: ایزوتوپ‌های یک عنصر، عدد اتمی یکسان (Z یکسان) و عدد جرمی متفاوت (A متفاوت) دارند، بنابراین خواص شیمیایی که تابع تعداد پروتون‌ها (و البته الکترون‌هاست) در آن‌ها مشابه ولی خواص فیزیکی که غالباً وابسته به جرم هستند، در آن‌ها متفاوت است.

نکته: اگر در اتمی تعداد پروتون و نوترون‌ها برابر باشد آنگاه: A=2Z.

تست

با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جرمی می‌توان دریافت که همهٔ اتم‌های یک عنصر، جرم برابر ..... و چون شمار .....اتم‌های هر عنصر یکسان است،پس باید شمار ..... آن‌ها ..... باشد. (سراسری - ریاضی ۸۷، با اندکی تغییر)

۱) دارند - پروتون - نوترون - برابر ۲) دارند - نوترون - پروتون - برابر ۳) ندارند - نوترون - پروتون - نابرابر ۴) ندارند - پروتون - نوترون - نابرابر

پاسخ: گزینهٔ (۳)

آیا می دانید

ایزوتوپ کربن $^{14}_{6}C$ خاصیت پرتوزایی دارد و با استفاده از آن سن اشیای قدیمی و عتیقه‌ها را تخمین می‌زنند؛ برای نمونه پژوهشگران می‌پنداشتند که کشور مصر مهد صنعت فرشبافی بوده است؛ اما با پیدا شدن فرشی به نام پازیریک (Pazyryk) در کوه‌های سیبری و تعیین قدمت آن با استفاده از ^{14}C مشخص شد که این فرش به ۲۵۰۰ سال پیش تعلق دارد و مهد آن ایران بوده است.

با هم بیندیشیم

۱ـ 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)

آ) چه شباهت‌ها و چه تفاوت‌هایی میان این ایزوتوپ‌ها وجود دارد؟ (راهنمایی: به عدد اتمی و عدد جرمی اشاره کنید.)

ب) یک نمونهٔ طبیعی از عنصر هیدروژن، مخلوطی از چند ایزوتوپ است؟ ۳

پ) نیم‌عمر هر ایزوتوپ نشان می‌دهد که آن ایزوتوپ تا چه اندازه پایدار است. کدام ایزوتوپ هیدروژن از همه ناپایدارتر است؟ $^{7}_{1}H$، زیرا نیم‌عمر کوتاه‌تری نسبت به ششش ایزوتوپ دیگر دارد.

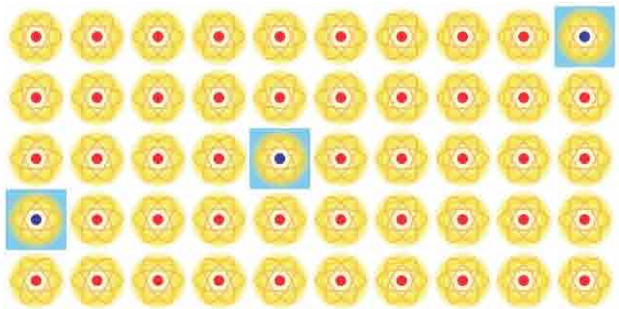
ت) هستهٔ ایزوتوپ‌های ناپایدار، ماندگار نیست و با گذشت زمان متلاشی می‌شود. این ایزوتوپ‌ها پرتوزا هستند و اغلب بر اثر تلاشی افزون بر ذره‌های پرانرژی، مقدار زیادی انرژی نیز آزاد می‌کنند. انتظار دارید چند ایزوتوپ هیدروژن پرتوزا باشد؟ ۵ ایزوتوپ، از $^{3}_{1}H$ تا $^{7}_{1}H$

ث) اغلب هسته‌هایی که نسبت شمار نوترون‌ها به پروتون‌های آنها برابر یا بیش از ۱/۵ باشد، ناپایدارند و با گذشت زمان متلاشی می‌شوند. چند ایزوتوپ هیدروژن دارای این ویژگی است؟

ج) اگر ایزوتوپ‌های پرتوزا و ناپایدار، **رادیوایزوتوپ** نامیده شود، چه تعداد از ایزوتوپ‌های هیدروژن، رادیوایزوتوپ به شمار می‌رود؟ ۵ ایزوتوپ

چ) **درصد فراوانی** هر ایزوتوپ در طبیعت نشان‌دهندهٔ چیست؟ توضیح دهید. (پایداری ایزوتوپ)

۲ـ شکل زیر شمار تقریبی اتم‌های لیتیم را در یک نمونه طبیعی از آن نشان می‌دهد. با توجه به آن، درصد فراوانی هر یک از ایزوتوپ‌های لیتیم را حساب کنید.



$^{7}_{3}Li$ $^{6}_{3}Li$

تعداد کل اتم‌های لیتیم در نمونه: ۵۰

درصد فراوانی $^{6}_{3}Li = \frac{۳}{۵۰}\times۱۰۰ = ۶٪$

درصد فراوانی $^{7}_{3}Li = \frac{۴۷}{۵۰}\times۱۰۰ = ۹۴٪$

شرط‌های ناپایدار بودن هسته (پرتوزایی):

۱) $\frac{n}{p} \geq ۱/۵$

۲) عدد اتمی بزرگتر از ۸۳ (عناصر سنگین)

مثلاً در مورد $^{2}_{1}H$ و $^{3}_{1}H$

$^{2}_{1}H \Rightarrow \frac{n}{p} = \frac{۱}{۱} = ۱ < ۱/۵$

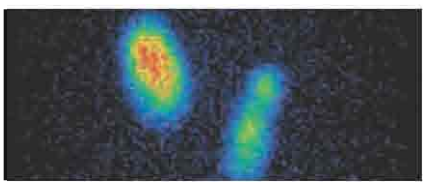
$^{3}_{1}H \Rightarrow \frac{n}{p} = \frac{۲}{۱} = ۲ > ۱/۵$

تکنسیم، نخستین عنصر ساخت بشر

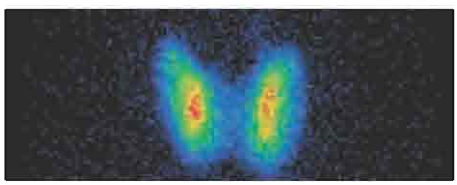
از ۱۱۸ عنصر شناخته شده، تنها ۹۲ عنصر در طبیعت یافت می‌شود؛ این بدان معنا است که ۲۶ عنصر دیگر ساختگی است. شیمی‌دان‌ها همواره با یافتن کاربردهای منحصر به فرد هر عنصر، انگیزهٔ کافی برای ساختن عنصرهای جدید را داشته‌اند. تکنسیم ($^{99}_{43}Tc$) نخستین عنصری بود که در **واکنشگاه*** (**راکتور**) هسته‌ای ساخته شد. این رادیوایزوتوپ در تصویربرداری پزشکی کاربرد ویژه‌ای دارد (شکل ۴).

● نمونه‌ای از یک مولد رادیوایزوتوپ مس

(آ)



(پ)



(ب)

شکل ۴ـ آ) غدهٔ پروانه‌ای‌شکل تیروئید در بدن انسان ب) تصویر غدهٔ تیروئید سالم
پ) تصویر غدهٔ تیروئید ناسالم

● از تکنسیم ($^{99}_{43}Tc$) برای تصویربرداری غدهٔ تیروئید استفاده می‌شود زیرا یون یدید با یونی که حاوی $^{99}_{43}Tc$ است، اندازهٔ مشابهی دارد و غدهٔ تیروئید هنگام جذب یدید، این یون را نیز جذب می‌کند. با افزایش مقدار این یون در غدهٔ تیروئید، امکان تصویربرداری فراهم می‌شود.

همهٔ ^{99}Tc موجود در جهان باید به‌طور مصنوعی و با استفاده از واکنش‌های هسته‌ای ساخته شود. از آنجا که زمان ماندگاری آن کم است و نمی‌توان مقادیر زیادی از این عنصر را تهیه و برای مدت طولانی نگهداری کرد، بسته به نیاز، آن را با یک مولد هسته‌ای تولید و سپس مصرف می‌کنند.

ما می‌توانیم

رادیوایزوتوپ‌ها اگرچه بسیار خطرناک هستند، اما پیشرفت دانش و فناوری، بشر را موفق به مهار و بهره‌گیری از آنها کرده است، به طوری که از آنها در پزشکی، کشاورزی و سوخت در نیروگاه‌های اتمی استفاده می‌شود. **اورانیم** شناخته‌شده‌ترین فلز پرتوزایی است که یکی از ایزوتوپ‌های آن، اغلب به عنوان سوخت در راکتورهای اتمی به‌کار می‌رود (شکل ۵).

* مصوب فرهنگستان

شکل ۵ـ یکی از کاربردهای مواد پرتوزا، استفاده از آنها در تولید انرژی الکتریکی است.

● کیمیاگری (تبدیل عنصرهای دیگر به طلا) آرزوی دیرینهٔ بشر بوده است. با پیشرفت علم شیمی و فیزیک، انسان می‌تواند طلا تولید کند اما هزینهٔ تولید آن به‌اندازه‌ای زیاد است که صرفهٔ اقتصادی ندارد.

این ایزوتوپ، ^{235}U بوده که فراوانی آن در مخلوط طبیعی از ۰/۷ درصد کمتر است. دانشمندان هسته‌ای ایران با تلاش بسیار موفق شدند مقدار آن را در مخلوط ایزوتوپ‌های این عنصر افزایش دهند. به این فرایند، **غنی‌سازی ایزوتوپی** گفته می‌شود. فرایندی که یکی از مراحل مهم چرخهٔ تولید سوخت هسته‌ای است. با این کامیابی ستودنی، نام ایران در فهرست ده‌گانهٔ کشورهای هسته‌ای جهان ثبت شد. با گسترش این صنعت می‌توان بخشی از انرژی الکتریکی مورد نیاز کشور را تأمین نمود (شکل ۶).

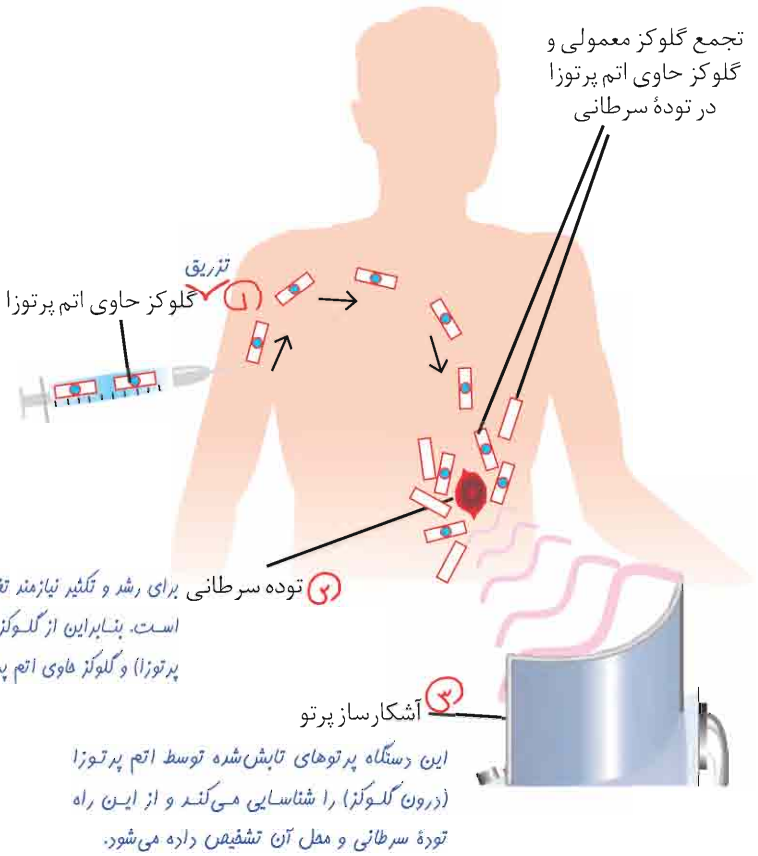
شکل ۶ـ برخی رادیوایزوتوپ‌های تولید شده در ایران ← *فسفر، تکنسیم، اورانیم و ...*

پسماند راکتورهای اتمی هنوز خاصیت پرتوزایی دارد و خطرناک است؛ از این رو دفع آنها از جمله چالش‌های صنایع هسته‌ای به شمار می‌آید.

● اتم ^{59}Fe یک رادیوایزوتوپ است که برای تصویربرداری از دستگاه گردش خون استفاده می‌شود زیرا یون‌های آن درساختار هموگلوبین وجود دارند.

با هم بیندیشیم

توده‌های سرطانی، یاخته‌هایی هستند که رشد غیرعادی و سریع دارند. شکل زیر اساس استفاده از رادیوایزوتوپ‌ها را برای تشخیص تودهٔ سرطانی نشان می‌دهد. با بررسی آن، فرایند تشخیص بیماری را توضیح دهید.



طبقه‌بندی عنصرها

طبقه‌بندی کردن یکی از مهارت‌های پایه در یادگیری مفاهیم علمی است که بررسی و تحلیل را آسان‌تر می‌کند. در واقع با استفاده از طبقه‌بندی، یافته‌ها و داده‌ها را به شیوهٔ مناسبی سازماندهی می‌کنند تا بتوان سریع‌تر و آسان‌تر به اطلاعات دسترسی یافت. در علوم سال نهم با اساس طبقه‌بندی عنصرها، مواد و جانداران آشنا شدید. شیمی‌دان‌ها نیز ۱۱۸ عنصر شناخته شده را براساس یک معیار و ملاک در جدولی با چیدمانی ویژه کنار هم قرار داده‌اند (شکل ۷). این جدول به آنها کمک می‌کند تا اطلاعات ارزشمندی از ویژگی‌های عنصرها را به دست آورند و براساس آن، رفتار عنصرهای گوناگون را پیش‌بینی کنند.

● به گلوکز حاوی اتم پرتوزا، گلوکز نشان‌دار می‌گویند.

● دود سیگار و قلیان، مقدار قابل توجهی مواد پرتوزا دارد. ازاین رو اغلب افرادی که به سرطان ریه دچار می‌شوند، سیگاری هستند.

آیا می دانید

پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مقادیر بسیار کمی از مواد پرتوزا در همه جا یافت می‌شود.

البته میزان پرتوهای تابش شده بسیار اندک است و به‌طور معمول بر سلامت ما اثری نمی‌گذارد.

یکی از فراوان‌ترین مواد پرتوزا که در زندگی ما یافت می‌شود، گاز **رادون** (Rn) است. رادون، گازی بی‌رنگ، بی‌بو، بی‌مزه و سنگین‌ترین گاز نجیب موجود در طبیعت است. این گاز پیوسته در لایه‌های زیرین زمین در واکنش‌های هسته‌ای تولید می‌شود و به دلیل دما و فشار زیاد در آن لایه‌ها به منافذ و ترک‌های موجود در سنگ‌های سازندهٔ پوستهٔ زمین نفوذ می‌کند.

جدول دوره‌ای عنصرها

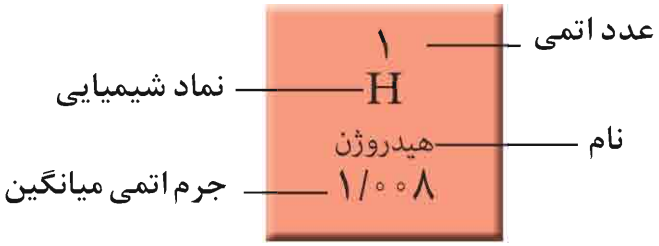
۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
								۲ He هلیم ۴٫۰۰۳
			۵ B بور ۱۰٫۸۰	۶ C کربن ۱۲٫۰۱	۷ N نیتروژن ۱۴٫۰۱	۸ O اکسیژن ۱۶٫۰۰	۹ F فلوئور ۱۹٫۰۰	۱۰ Ne نئون ۲۰٫۱۸
			۱۳ Al آلومینیم ۲۶٫۹۸	۱۴ Si سیلسیم ۲۸٫۰۹	۱۵ P فسفر ۳۰٫۹۷	۱۶ S گوگرد ۳۲٫۰۷	۱۷ Cl کلر ۳۵٫۴۵	۱۸ Ar آرگون ۳۹٫۹۵
۲۸ Ni نیکل ۵۸٫۶۹	۲۹ Cu مس ۶۳٫۵۵	۳۰ Zn روی ۶۵٫۳۹	۳۱ Ga گالیم ۶۹٫۷۲	۳۲ Ge ژرمانیم ۷۲٫۶۴	۳۳ As آرسینک ۷۴٫۹۲	۳۴ Se سلنیم ۷۸٫۹۶	۳۵ Br برم ۷۹٫۹۰	۳۶ Kr کریپتون ۸۳٫۸۰
۴۶ Pd پالادیم ۱۰۶٫۴۰	۴۷ Ag نقره ۱۰۷٫۹۰	۴۸ Cd کادمیم ۱۱۲٫۴۰	۴۹ In ایندیم ۱۱۴٫۸۰	۵۰ Sn قلع ۱۱۸٫۷۰	۵۱ Sb آنتیموان ۱۲۱٫۸۰	۵۲ Te تلوریم ۱۲۷٫۶۰	۵۳ I ید ۱۲۶٫۹۰	۵۴ Xe زنون ۱۳۱٫۳۰
۷۸ Pt پلاتین ۱۹۵٫۱	۷۹ Au طلا ۱۹۷٫۰۰	۸۰ Hg جیوه ۲۰۰٫۶۰	۸۱ Tl تالیم ۲۰۴٫۳۰	۸۲ Pb سرب ۲۰۷٫۲۰	۸۳ Bi بیسموت ۲۰۹٫۰۰	۸۴ Po پولونیم [۲۰۹]	۸۵ At استاتین [۲۱۰]	۸۶ Rn رادون [۲۲۲]
۱۱۰ Ds دارمشتاتیم [۲۸۱]	۱۱۱ Rg رونتگینم [۲۸۰]	۱۱۲ Cn کوپرنیم [۲۷۷]	۱۱۳ Nh نیهونیم [۲۸۴]	۱۱۴ Fl فلرویم [۲۸۹]	۱۱۵ Mc مسکوویم [۲۸۸]	۱۱۶ Lv لایوموریم [۲۹۳]	۱۱۷ Ts تنسینه [۲۹۶]	۱۱۸ Og اوگانسون [۲۹۴]

۶۳ Eu اوروپیم ۱۵۲٫۰۰	۶۴ Gd گادولینیم ۱۵۷٫۳۰	۶۵ Tb تربیم ۱۵۸٫۹۰	۶۶ Dy دیسپروزیم ۱۶۲٫۵۰	۶۷ Ho هولمیم ۱۶۴٫۹۰	۶۸ Er اربیم ۱۶۷٫۳۰	۶۹ Tm تولیم ۱۶۸٫۹۰	۷۰ Yb ایتربیم ۱۷۳٫۰۰
۹۵ Am امریسیم [۲۴۳]	۹۶ Cm کوریم [۲۴۷]	۹۷ Bk برکلیم [۲۴۷]	۹۸ Cf کالیفرنیم [۲۵۱]	۹۹ Es اینشتینم [۲۵۲]	۱۰۰ Fm فرمیم [۲۵۷]	۱۰۱ Md مندلیم [۲۵۸]	۱۰۲ No نوبلیم [۲۵۹]

مثل C (کربن) یا Mg (منیزیم)

شکل ۷ـ جدول دوره‌ای عنصرها. در این جدول هر عنصر با نماد یک یا دو حرفی نشان داده شده است. در هر نماد، حرف اول نام لاتین عنصر به صورت بزرگ نوشته می‌شود؛ برای نمونه نماد سه عنصر آلومینیم، آرگون و طلا به ترتیب Al، Ar و Au است که همگی با حرف A آغاز می‌شود.

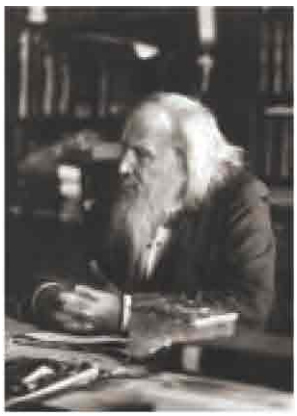
وقتی نام چند عنصر با یک حرف آغاز می‌شود (مثل منیزیم و منگنز) به‌ناچار برای این عناصر از دو حرف استفاده می‌کنند، مثل: Mg (منیزیم) و Mn (منگنز)



	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱	۱ H هیدروژن ۱٫۰۰۸								
۲	۳ Li لیتیم ۶٫۹۴	۴ Be بریلیم ۹٫۰۱							
۳	۱۱ Na سدیم ۲۲٫۹۹	۱۲ Mg منیزیم ۲۴٫۳۱							
۴	۱۹ K پتاسیم ۳۹٫۱۰	۲۰ Ca کلسیم ۴۰٫۰۸	۲۱ Sc اسکاندیم ۴۴٫۹۶	۲۲ Ti تیتانیم ۴۷٫۸۷	۲۳ V وانادیم ۵۰٫۹۴	۲۴ Cr کروم ۵۲٫۰۰	۲۵ Mn منگنز ۵۴٫۹۴	۲۶ Fe آهن ۵۵٫۸۵	۲۷ Co کبالت ۵۸٫۹۳
۵	۳۷ Rb روبیدیم ۸۵٫۴۷	۳۸ Sr استرانسیم ۸۷٫۶۲	۳۹ Y ایتریم ۸۸٫۹۱	۴۰ Zr زیرکونیم ۹۱٫۲۲	۴۱ Nb نیوبیم ۹۲٫۹۱	۴۲ Mo مولیبدن ۹۵٫۹۴	۴۳ Tc تکنسیم -	۴۴ Ru روتنیم ۱۰۱٫۱	۴۵ Rh رودیم ۱۰۲٫۹۰
۶	۵۵ Cs سزیم ۱۳۲٫۹	۵۶ Ba باریم ۱۳۷٫۳	۷۱ Lu لوتسیم ۱۷۵/۰۰	۷۲ Hf هافنیم ۱۷۸٫۵	۷۳ Ta تانتالیم ۱۸۰٫۹۰	۷۴ W تنگستن ۱۸۳٫۸۰	۷۵ Re رنیم ۱۸۶٫۲۰	۷۶ Os اسمیم ۱۹۰٫۲۰	۷۷ Ir ایریدیم ۱۹۲٫۲۰
۷	۸۷ Fr فرانسیم [۲۲۳]	۸۸ Ra رادیم [۲۲۶]	۱۰۳ Lr لاورانسیم [۲۶۲]	۱۰۴ Rf رادرفوردیم [۲۶۷]	۱۰۵ Db دابنیم [۲۶۸]	۱۰۶ Sg سیبورگیم [۲۷۱]	۱۰۷ Bh بوریم [۲۷۲]	۱۰۸ Hs هاسیم [۲۷۷]	۱۰۹ Mt ماینتریم [۲۷۶]

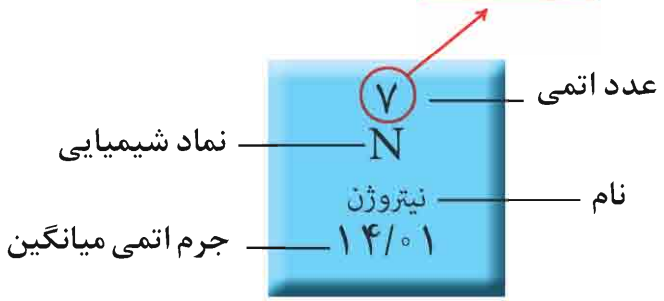
۵۷ La لانتانیم ۱۳۸٫۹۰	۵۸ Ce سریم ۱۴۰٫۱۰	۵۹ Pr پراسئودیمیم ۱۴۰٫۹۰	۶۰ Nd نئودیمیم ۱۴۴٫۲۰	۶۱ Pm پرومتیم [۱۴۵]	۶۲ Sm ساماریم ۱۵۰٫۴۰
۸۹ Ac اکتینیم [۲۲۷]	۹۰ Th توریم ۲۳۲٫۰۰	۹۱ Pa پروتاکتینیم ۲۳۱٫۰۰	۹۲ U اورانیم ۲۳۸٫۰۰	۹۳ Np نپتونیم [۲۳۷]	۹۴ Pu پلوتونیم [۲۴۴]

در جدول **دوره‌ای** (تناوبی) امروزی، عنصرها بر اساس افزایش **عدد اتمی** (Z) سازماندهی شده‌اند، به‌طوری که جدول دوره‌ای عنصرها از عنصر هیدروژن با عدد اتمی یک (Z=۱) آغاز و به عنصر شمارهٔ ۱۱۸ ختم می‌شود. این جدول، ۷ **دوره** (ردیف، تناوب) و ۱۸ **گروه** (ستون، خانواده) دارد. هر ردیف افقی جدول، که نشان دهندهٔ چیدمان عنصرها برحسب افزایش عدد اتمی است، دوره نام دارد؛ در حالی که هر ستون، شامل عنصرها با خواص شیمیایی مشابه است و گروه نامیده می‌شود. بدیهی است خواص شیمیایی عنصرهایی که در یک دوره از جدول جای دارند، متفاوت است.

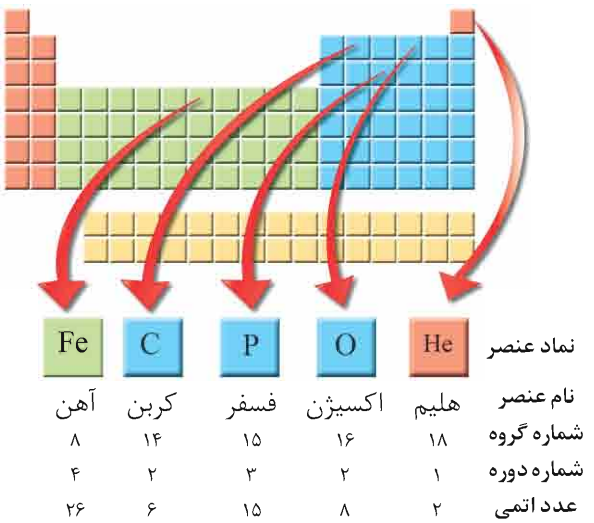


● بزرگ‌ترین پیشرفت در زمینهٔ دسته‌بندی عنصرها با کارهای مندلیف(۱۹۰۷-۱۸۳۴ میلادی) به دست آمد. **مندلیف** یک معلم شیمی اهل روسیه بود که به وجود روند تناوبی میان عنصرها مشابه با شیوه‌ای که امروز می‌شناسیم، پی‌برد.

هر خانه از جدول به یک عنصر معین تعلق دارد و حاوی برخی اطلاعات شیمیایی آن عنصر است. برای نمونه خانهٔ شمارهٔ هفت به عنصر نیتروژن تعلق دارد که اطلاعات آن به صورت زیر است:



نمادها، داده‌های عددی و خلاصه‌نویسی‌ها در جدول دوره‌ای، اطلاعات مفیدی دربارهٔ عنصرها ارائه می‌کند. با استفاده از این نشانه‌ها و فراگیری مهارت استفاده از جدول می‌توان اطلاعاتی مانند شمارهٔ گروه، دوره، شمار ذره‌های زیراتمی و... را برای یک عنصر به‌دست آورد (شکل ۸).



شکل ۸ـ ارائهٔ اطلاعات برخی عنصرها با استفاده از جدول دوره‌ای و داده‌های آن

جهت اطلاع:

در جدول تدوین‌شده توسط مندلیف، عناصر براساس افزایش جرم اتمی مرتب شده بودند، درحالیکه در جدول امروزی عناصر بر اساس افزایش عدد اتمی کنار هم قرار گرفته‌اند.

توجه !! تکرار نه تغییر ...

● با پیمایش هر دوره از چپ به راست، خواص عنصرها به‌طور مشابه تکرار می‌شود؛ از این رو چنین جدولی را **جدول دوره‌ای (تناوبی) عنصرها** نامیده‌اند.

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 نتایج خود را به کلاس گزارش کنید.

نکته: عناصری که در جدول تناوبی در یک گروه (ستون) قرار می‌گیرند، خواص شیمیایی نسبتاً مشابهی از خود نشان می‌دهند. در ضمن یون‌هایی که تشکیل می‌دهند، مشابه است، مثلاً عناصر گروه اول همگی یون‌هایی با یک بار مثبت (مثل Li^+ ، K^+ و ...) تشکیل می‌دهند.

خود را بیازمایید

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

تناوب: ۳ گروه: ۱۳ تناوب: ۴ گروه: ۲ تناوب: ۴، گروه: ۷ تناوب: ۴، گروه: ۱۶

۲ـ هلیم ($_2He$)، عنصری است که تمایل به انجام واکنش شیمیایی ندارد. پیش‌بینی کنید کدام یک از عنصرهای زیر، رفتاری مشابه با آن دارد؟ چرا؟

اولین گاز نجیب — یعنی در یک گروه

آ) $_{18}Ar$ ب) $_6C$ پ) $_{16}S$

$_{18}Ar$، زیرا با توجه به جدول صفحهٔ ۱۰، در یک گروه قرار دارند. در جدول تناوبی عناصر موجود در یک گروه (ستون) خواص شیمیایی مشابهی دارند.

۳ـ اتم فلوئور ($_9F$) 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؟

یون یک بار منفی

آ) $_{37}Rb$ ب) $_{35}Br$ پ) $_{15}P$

$_{35}Br$، زیرا دو عنصر در یک گروه قرار دارند. عناصر گروه ۱۷ (هالوژن‌ها) با گرفتن یک الکترون و تشکیل آنیون با یک بار منفی (A^-) به آرایش گاز نجیب بعد از خود (گروه ۱۸) می‌رسند.

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؟

قطعاً $_{31}Ga$ که در یک گروه ($_{13}Al$) با قرار دارد.

آ) $_{19}K$ (تناوب: ۴، گروه: ۱) ب) $_{31}Ga$ (تناوب: ۴، گروه: ۱۳) پ) $_7N$ (تناوب: ۲، گروه: ۱۵)

● 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.

● موقعیت یا مکان هر عنصر در جدول دوره‌ای، شمارهٔ گروه و دورهٔ آن را نشان می‌دهد.

● **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.

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.

نکتهٔ مهم: عناصری که در یک گروه قرار دارند، دارای آرایش الکترونی لایهٔ ظرفیت کاملاً مشابه هستند (البته در گروه‌های ۱، ۲ و ۱۳ تا ۱۸). مثلاً در همهٔ فلزهای گروه ۱، آرایش الکترونی به ns^1 (n: شمارهٔ تناوب و بزرگترین ضریب زیرلایه‌ها) ختم می‌شود یا آرایش الکترونی عناصر گروه ۱۴ به ns^2np^2 ختم می‌شود.

اعداد اتمی گازهای نجیب و شمارهٔ دوره (تناوب) آن‌ها را به‌خاطر بسپارید. (ΔZ = اختلاف عدد اتمی)

۱) تناوب اول: هلیم ($_2He$) $\Leftarrow 1s^2$ — $\Delta Z = 8$

۲) تناوب دوم: نئون ($_{10}Ne$) $\Leftarrow 2p^6$ — $\Delta Z = 8$

۳) تناوب سوم: آرگون ($_{18}Ar$) $\Leftarrow 3p^6$ — $\Delta Z = 18$

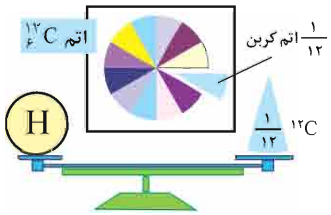
۴) تناوب چهارم: کریپتون ($_{36}Kr$) $\Leftarrow 4p^6$ — $\Delta Z = 18$

۵) تناوب پنجم: زنون ($_{54}Xe$) $\Leftarrow 5p^6$ — $\Delta Z = 32$

۶) تناوب ششم: رادون ($_{86}Rn$) $\Leftarrow 6p^6$

نکتهٔ کنکوری: عناصری در یک گروه قرار می‌گیرند که اختلاف عدد اتمی آن‌ها ۸، ۱۸ یا ۳۲ باشد (به همین سادگی!) توجه کنید که عناصر یک گروه رفتار شیمیایی مشابهی دارند.

با این توصیف، ترازوهایی که برای اندازه‌گیری جرم مواد گوناگون به کار می‌رود، دقت اندازه‌گیری متفاوتی دارد؛ برای نمونه، دقت باسکول‌های تنی تا یک‌دهم 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؟

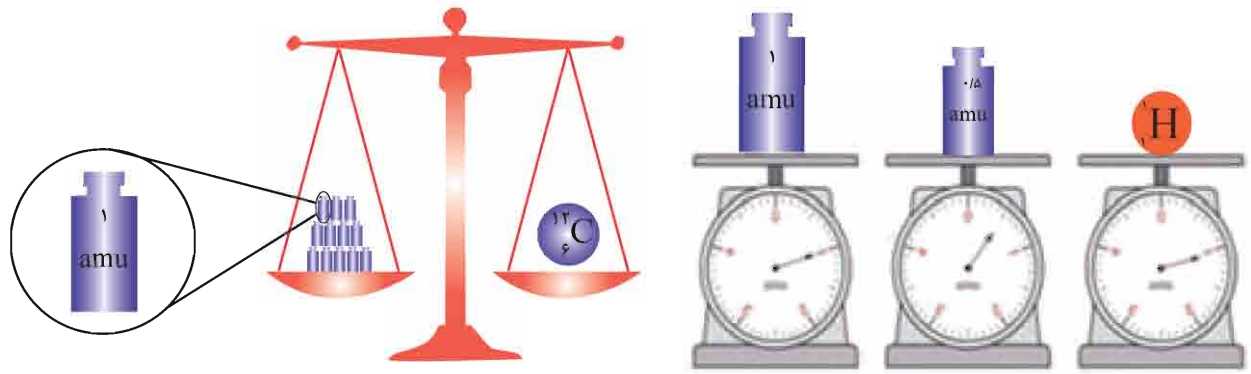


● الگویی دیگر برای نمایش amu

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 در پی‌یافتن **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** (amu) می‌گویند.

$1\,amu = \frac{1}{12}\ ^{12}_{6}C \rightarrow\ ^{12}_{6}C = 12\,amu$



(ب) (آ)

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، ایزوتوپ $^{1}_{1}H$ قرار گیرد، جرم ۱/۰۰۸ amu (کمی بیش از یک amu) به دست می‌آید.

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

جرم نوترون = جرم پروتون = ۱ amu

نکته: جرم پروتون و نوترون ۱۸۳۷ برابر جرم الکترون است. به‌عبارت‌دیگر جرم الکترون $\frac{1}{1837}$ جرم این دو ذره است. این مقدار را می‌توان $\frac{1}{2000}$ هم در نظر گرفت، بنابراین جرم الکترون در مقایسه با جرم پروتون و نوترون ناچیز است و بر جرم کل اتم تأثیری ندارد.

تست

اگر جرم الکترون با تقریب برابر $\frac{1}{2000}$ جرم هر یک از ذره‌های پروتون و نوترون فرض شود، نسبت جرم الکترون‌ها در اتم $^{2Z}_{Z}A$ به جرم این اتم به کدام کسر نزدیک‌تر است؟ (سراسری - تجربی ۸۹)

۱) $\frac{1}{4000}$ ۲) $\frac{1}{2000}$ ۳) $\frac{1}{1000}$ ۴) $\frac{1}{5000}$

پاسخ: جرم اتم $2Z$ است. تعداد الکترون‌ها در اتم خنثی برابر Z (عدد اتمی) است، پس جرم الکترون‌ها در این اتم برابر $Z\times\frac{1}{2000}$ است، بنابراین:

$$\frac{\text{جرم الکترون}}{\text{جرم اتمی}}=\frac{\frac{Z}{2000}}{2Z}=\frac{Z}{4000Z}=\frac{1}{4000}$$

جرم الکترون در مقایسه با جرم پروتون و نوترون ناچیز است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های ذره‌های زیراتمی

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

جرم نسبی، بار نسبی

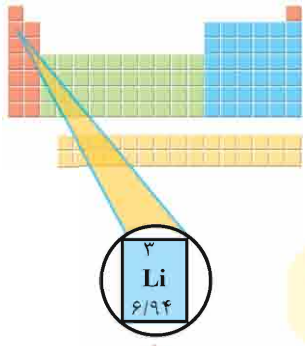
جرم نوترون به مقدار بسیار کمی بیش از جرم پروتون است.

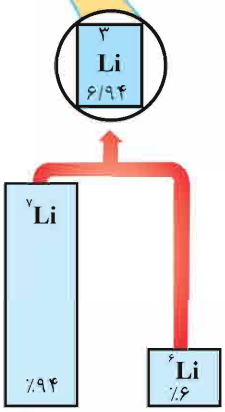
نوترون بار الکتریکی ندارد.

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

● الکترون، پروتون و نوترون را ذره‌های زیراتمی یا بنیادی می‌نامند.

با این توصیف جرم اتم $^{7}_{3}Li$ را می‌توان ۷amu در نظر گرفت. اکنون با مراجعه به جدول، جرم اتمی لیتیم ($^{6/94}$) را مشخص کنید. آیا تفاوتی مشاهده می‌کنید؟ به نظر شما علت این تفاوت چیست؟





لیتیم دارای دو ایزوتوپ ($^{6}_{3}Li$ و $^{7}_{3}Li$) است.

تست

جرم نوترون اندکی از جرم پروتون بیشتر است. (خارج از کشور - ریاضی ۹۰)

پاسخ: باتوجه‌به جدول فوق این عبارت درست است.

با هم بیندیشیم

۱- 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
$^{6}_{3}Li$	۶	۶	

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.

M_{av}

$$M_{av}=\frac{M_1F_1+M_2F_2+\ldots M_nF_n}{F_1+F_2+\ldots F_n}$$

M: جرم ایزوتوپ

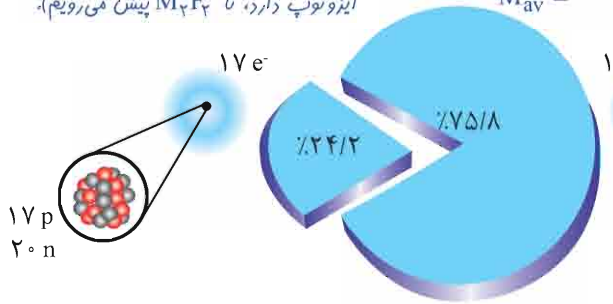
F: فراوانی ایزوتوپ (درصد)

n: تعداد ایزوتوپ (مثلاً در مورد لیتیم که دو ایزوتوپ دارد، تا M_2F_2 پیش می‌رویم).

۲- 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.



کلر ۲ ایزوتوپ دارد ($^{35}_{17}Cl$ و $^{37}_{17}Cl$) که فراوانی ایزوتوپ سبک‌تر ($^{35}_{17}Cl$) حدود ۳ برابر ایزوتوپ سنگین‌تر است.

تست

نقره دارای دو ایزوتوپ با جرم‌های اتمی ۱۰۶/۹ و ۱۰۸/۹ است. اگر فراوانی ایزوتوپ سبک‌تر آن برابر ۵۲ درصد باشد، جرم اتمی متوسط نقره کدام است؟ (سراسری - ریاضی ۸۴)

۱) ۱۰۷/۸۴ ۲) ۱۰۷/۸۶ ۳) ۱۰۷/۸۸ ۴) ۱۰۷/۸۹

پاسخ: جرم اتمی میانگین برای یک عنصر با دو ایزوتوپ، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$Mav=\frac{M_1F_1+M_2F_2}{F_1+F_2}\rightarrow F_1=52\rightarrow F_2=48 \qquad Mav=\frac{(106/9\times52)+(108/9\times48)}{52+48}=107/86$$

شمارش ذره‌ها از روی جرم آنها

اگر بخواهید تعداد دانه‌های خاکشیر یا برنج موجود در یک نمونهٔ کوچک از آنها را بشمارید، به نظر شما این تلاش چقدر وقت می‌گیرد؟ پس از شمارش دانه‌ها تا چه اندازه به نتیجهٔ شمارش خود اطمینان دارید؟ برای اینکه بتوانید تعداد دانه‌های برنج یا خاکشیر در یک کیسه از این مواد را بشمارید (شکل ۱۱) چه راهکاری پیشنهاد می‌کنید؟

شکل ۱۱ـ شمارش تک‌تک دانه‌های خاکشیر، برنج و موادی که اندازهٔ دانه‌های آنها بسیار ریز است، کاری دشوار، وقت‌گیر و اغلب انجام نشدنی است.

● اگر جرم هر مهره ۴/۲۹ گرم باشد، برآورد کنید در این ظرف چند مهره وجود دارد؟ (جرم ظرف برابر با ۴۵۰/۰۳ گرم است).

$$\text{جرم کل}\ 1895/76 - \text{جرم ظرف}\ 450/03 =$$

با هم بیندیشیم

آ) جدول زیر را کامل کنید.

ماده	جرم ۱۰۰۰ عدد (گرم)	جرم ۵۰ عدد (گرم)	جرم ۱ عدد (گرم)
کاغذ آ۴	۴۵۰۰	$\frac{4500}{1000}\times 50$	$\frac{4500}{1000}$
عدس	۵۶	$\frac{56}{1000}\times 50$	$\frac{56}{1000}$
برنج	۲۲	.....	.....
خاکشیر	۲	.....	.....

● برآورد کنید در یک کیسهٔ ۴۰ کیلویی برنج تقریباً چند دانهٔ برنج وجود دارد؟

ب) به نظر شما جرم یک عدد از کدام ماده را می‌توان با ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری کرد؟ چرا؟

پ) روشی برای اندازه‌گیری جرم یک دانه خاکشیر ارائه کنید.

ت) آیا جرم هر یک از دانه‌های برنج موجود در نمونه با جرم به دست آمده در ستون چهارم جدول برابر است؟ توضیح دهید. *به طور تقریبی (نه دقیق) برابر است. عدد موجود در ستون چهارم (جرم متوسط) با جرم یک دانه برنج ممکن است اندکی تفاوت داشته باشد. در یک نمونه برنج اندازه و جرم دانه‌ها متفاوت است.*

۱- اگر جرم پروتون ۱۸۴۰ برابر جرم الکترون، جرم نوترون ۱۸۵۰ برابر جرم الکترون و جرم الکترون برابر ۰/۰۰۰۵۴amu در نظر گرفته شود، جرم تقریبی یک اتم $({}^{3}_{1}H)$ برابر چند گرم خواهد بود؟ $(1amu = 1/66\times10^{-24}g)$ *(سراسری - ریاضی ۹۳)*

۱) $4/96\times10^{-24}$ ۲) $9/112\times10^{-24}$

۳) $4/34\times10^{-22}$ ۴) $9/815\times10^{-22}$

تحلیل سؤال برای پاسخ به این سؤال،من دو روش را به شما عزیزان پیشنهاد می‌کنم که البته پیشنهاد اولم همان راه دومی (راه کنکوری) است که در زیر برای شما ذکر کرده‌ام:

راه اول:

هر اتم تریتیم$({}^{3}_{1}H)$ شامل دو نوترون و یک پروتون و قاعدتاً یک الکترون (به دلیل خنثی بودن) است. ازسوی‌دیگر در متن سؤال آمده که:

$$1p=1840e \quad و \quad 1n=1850e$$

بنابراین:

$$\text{جرم یک اتم } {}^{3}_{1}T = 2n+1p+1e = (2\times1850e)+(1850e)+1e^- = 5541e^-$$

جرم هر الکترون برابر $54\times10^{-5}amu$ $(0/00054)$است، یعنی:

$$5541e^-\times\frac{54\times10^{-5}amu}{1e^-}\times\frac{1/66\times10^{-24}g}{1amu} \simeq 496695\times10^{-29}$$
$$\simeq 4/96\times10^{-24}g$$

طولانی بود، قبول دارم، پس به راه حل دوم خیلی توجه کنید:

راه دوم:

جرم الکترون بسیار ناچیز است، پس از آن صرف نظر می‌کنیم. همچنین جرم پروتون و نوترون را با هم برابر و 1amu در نظر می‌گیریم:

$$\text{جرم یک اتم } {}^{3}_{1}T = 2n+1p = 2amu+1amu = 3amu =$$
$$3\times1/66\times10^{-24} \simeq 4/98\times1^{-24}g$$

۱ گزینهٔ (۱)

۲- کلر در طبیعت دارای دو ایزوتوپ با جرم اتمی 35amu و 37amu و کربن دارای دو ایزوتوپ با جرم اتمی 12amu و 13amu است. تفاوت جرم مولکولی سبک‌ترین و سنگین‌ترین مولکول کربن تتراکلرید (CCl_4)، چند amu است؟ *(سراسری - ریاضی ۹۴)*

۱) ۶ ۲) ۷ ۳) ۸ ۴) ۹

تحلیل سؤال فرمول مولکولی کربن‌تتراکلرید، CCl_4 است. یعنی هر مولکول آن از یک اتم کربن و چهار اتم کلر تشکیل شده است. سبک‌ترین مولکول کربن‌تتراکلرید، مولکولی است که از سبک‌ترین اتم کربن $({}^{12}C)$ و چهار اتم کلر $({}^{35}Cl)$ تشکیل شود. جرم مولکولی این ترکیب برابر است با:

$$CCl_4 \text{(سبک)} : (1\times12)+(4\times35) = 152amu$$

به‌همین‌ترتیب جرم مولکولی سنگین‌ترین مولکول کربن تتراکلرید را به دست می‌آوریم:

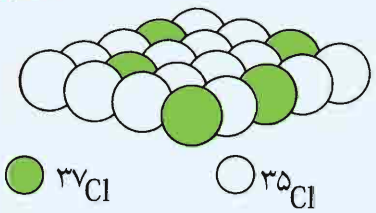
$$CCl_4 \text{(سنگین)} : (1\times13)+(4\times37) = 161amu$$

تفاوت جرم مولکولی این دو ماده برابر 9 amu است.

۲ گزینهٔ (۴)

۳- بر اساس شکل زیر که توزیع نسبی اتم‌های کلر را در کلر طبیعی نشان می‌دهد، می‌توان دریافت که تقریباً ..... درصد کلر طبیعی را ایزوتوپ ^{35}Cl تشکیل می‌دهد و جرم اتمی میانگین کلر برابر با ..... واحد جرم اتمی است.

(سراسری - تجربی ۸۵)



۱) ۳۵/۵-۸۰ ۲) ۳۵/۵-۷۵

۳) ۳۵/۴۸۵-۲۰ ۴) ۳۵/۴۸۵-۲۵

تحلیل سؤال از شمارش گوی‌ها (اتم‌ها) واضح است که از تعداد کل (۲۰ اتم)، ۱۵ تا ^{35}Cl (ایزوتوپ سبک‌تر) است، پس ۷۵ درصد کلر را این ایزوتوپ تشکیل می‌دهد.

$$M_{av} = \frac{M_1F_1+M_2F_2}{F_1+F_2} \rightarrow$$

$$M_{av} = \frac{(35\times15)+(37\times5)}{20} = 35/5amu$$

۳ گزینهٔ (۲)

۴- عنصر $_{18}X$ با جرم اتمی میانگین $36/8g.mol^{-1}$ دارای سه ایزوتوپ طبیعی است که یکی از آن‌ها ۲۰ نوترون و فراوانی ۲۰٪ و دیگری ۱۸ نوترون و فراوانی ۷۰٪ دارد. شمار نوترون‌های ایزوتوپ دیگر کدام است؟ (جرم پروتون و نوترون را یکسان و برابر 1amu در نظر بگیرید.) *(خارج از کشور - تجربی ۹۰)*

۱) ۲۱ ۲) ۲۲ ۳) ۲۳ ۴) ۲۴

یادداشت‌های مهم

تحلیل سؤال عدد اتمی این عنصر ۱۸ است. این تعداد پروتون در تمام ایزوتوپ‌ها ثابت است، بنابراین عدد جرمی این دو ایزوتوپ (از سه ایزوتوپ) برابر ۳۸ و ۳۶ است. جرم میانگین این عنصر برابر است با:

$$M_{av} = \frac{M_1F_1 + M_2F_2 + M_3F_3}{F_1 + F_2 + F_3}$$

$$M_{av} = \frac{(38\times 20) + (36\times 70) + (M_3\times 10)}{100}$$

$$36/8 = \frac{3280 + 10M_3}{100}$$

$$M_3 = 40$$

عدد جرمی این عنصر ۴۰ است یعنی:

$$p + n = 40 \xrightarrow{p=18} \boxed{n = 22}$$

۴ گزینهٔ (۲)

۵- با توجه به داده‌های جدول زیر، جرم مولکولی ترکیب A_2X_3 چند amu است؟ (عدد جرمی را برابر جرم اتمی با یکای amu در نظر بگیرید) (خارج از کشور - ریاضی ۹۵)

ایزوتوپ	^{45}A	^{47}A	^{35}X	^{37}X
درصد فراوانی	۱۰	۹۰	۲۰	۸۰

۱) ۲۱۳/۶ ۲) ۲۰۳/۴ ۳) ۱۹۸/۵ ۴) ۱۸۸/۷

تحلیل سؤال ابتدا جرم میانگین هر یک از اتم‌های A و X را محاسبه می‌کنیم. توجه کنید که هر کدام از این اتم‌ها، دو ایزوتوپ دارند.

$$\text{جرم میانگین } X = \frac{M_1F_1 + M_2F_2}{F_1 + F_2} = \frac{(35\times 20) + (37\times 80)}{100} = 36/6$$

$$\text{جرم میانگین } A = \frac{M_1F_1 + M_2F_2}{F_1 + F_2} = \frac{(45\times 10) + (47\times 90)}{100} = 46/8$$

برای محاسبهٔ جرم A_2X_3 باید به تعداد هر یک از اتم‌های A و X در این ترکیب توجه کنیم. بنابراین:

$$\text{جرم } A_2X_3 = (2\times \text{جرم میانگین A}) + (3\times \text{جرم میانگین X}) \rightarrow$$

$$\text{جرم } A_2X_3 = (2\times 46/8) + (3\times 36/6) = 203/4\,\text{amu}$$

۵ گزینهٔ (۲)

اتم‌ها به طور باور نکردنی ریز هستند به‌طوری که نمی‌توان با هیچ دستگاهی و شمارش تک‌تک آنها، شمار آنها را به دست آورد؛ اما دریافتید که از روی جرم مواد می‌توان شمار ذره‌های سازنده را شمارش کرد. اینک حدس بزنید که چگونه می‌توان شمار اتم‌های موجود در یک نمونه عنصر را شمارش کرد؟

پیوند با ریاضی

۱ـ دانشمندان با استفاده از دستگاهی به نام **طیف‌سنج جرمی**، جرم اتم‌ها را با دقت زیاد اندازه‌گیری می‌کنند. اگر بدانید که جرم یک اتم هیدروژن برابر با $1\,amu = 1/66 \times 10^{-24}\,g$ است، حساب کنید در نمونهٔ یک گرمی از عنصر هیدروژن، چند اتم هیدروژن وجود دارد؟

۲ـ به عدد به دست آمده در پرسش ۱، **عدد آووگادرو** می‌گویند و آن را با N_A نشان می‌دهند. اکنون مشخص کنید اگر به تعداد N_A اتم هیدروژن در یک نمونه موجود باشد، جرم آن چند گرم است؟

$$\frac{\text{جرم (g)}}{1/66\times10^{-24}} \quad \frac{\text{تعداد اتم}}{1}$$

$$6/02\times10^{23} \qquad x \rightarrow \qquad x = 1\,g$$

در زندگی روزانه نیز برای بیان شمارش از یکاهای گوناگونی استفاده می‌شود (شکل ۱۲).

شکل ۱۲ـ استفاده از شانه، دست و قُراص به ترتیب برای شمارش تخم مرغ، قاشق و چنگال و مداد، محاسبه را آسان‌تر می‌کند.

نقش N_A در شیمی مانند نقش شانه در شمارش تعداد تخم‌مرغ‌هاست با این تفاوت چشمگیر که عدد آووگادرو، عدد بسیار بزرگی است. شیمی‌دان‌ها به $6/02 \times 10^{23}$ از هر

آیا می دانید

برخی فضاپیماها با خود طیف‌سنج جرمی حمل می‌کنند و از آن برای شناسایی عنصرها در نقاط گوناگون فضا بهره می‌گیرند.

$$\frac{\text{جرم (g)}}{1/66\times10^{-24}} \quad \frac{\text{تعداد اتم}}{1}$$

$$1 \qquad x \rightarrow x = 6/02\times10^{23} \qquad x \qquad 1$$

پرسش هوشمندانه

یکای عدد آووگادرو (N_A) چیست؟

آیا می دانید

هر قراص مداد، ۱۴۴ عدد مداد است.

آیا می دانید

هر کهکشان در جهان هستی در حدود ۴۰۰ میلیارد ستاره در خود دارد! همچنین تعداد کهکشان‌های جهان هستی حدود ۱۳۰ میلیارد برآورد می‌شود، در این صورت در جهان هستی حدود ۰/۰۸ مول ستاره وجود دارد (چرا؟).

$(g.mol^{-1})$

ذره، **یک مول** از آن ذره می‌گویند به طوری که جرم یک مول ذره بر حسب گرم، **جرم مولی** آن نامیده می‌شود (شکل ۱۳).

● گرم، رایج‌ترین یکای اندازه‌گیری جرم در آزمایشگاه شناخته می‌شود؛ این در حالی است که یکای جرم اتمی، یکای بسیار کوچکی برای جرم به شمار می‌آید و کار با آن در آزمایشگاه در عمل ناممکن است.

$= ۶/۰۲\times۱۰^{۲۳}$ atom Fe

$۱\,mol\,Fe = ۵۵/۸۵\,g\,Fe \simeq ۵۶\,g\,Fe$

$= ۶/۰۲\times۱۰^{۲۳}$ atom C

$۱\,mol\,C = ۱۲/۰۱\,g\,C$

شکل ۱۳ـ جرم و شمار اتم‌های یک مول آهن و کربن

● **آمدئو آووگادرو** (۱۸۵۶ـ۱۷۷۶ میلادی) شیمی‌دان پرآوازهٔ ایتالیایی که به افتخار او شمار ذره‌های موجود در یک مول ماده، عدد آووگادرو نام‌گذاری شده است.

با استفاده از هم‌ارزی میان کمیت‌ها می‌توان آنها را به یکدیگر تبدیل کرد به طوری که برای هر هم‌ارزی می‌توان دو **عامل (کسر) تبدیل** نوشت. در این عامل‌ها، صورت و مخرج هر یک شامل عددی همراه با یکاست؛ برای نمونه از هم‌ارزی $۱m = ۱۰۰\,cm$ می‌توان این دو عامل تبدیل را نوشت:

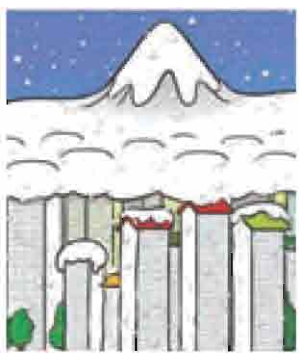
$$\frac{۱۰۰\,cm}{۱m} \quad \text{و} \quad \frac{۱m}{۱۰۰\,cm}$$

از این عامل‌ها می‌توان در تبدیل متر به سانتی‌متر و برعکس استفاده کرد؛ برای نمونه به تبدیل ۰/۱۵ متر به سانتی‌متر توجه کنید:

$$?cm = ۰/۱۵m \times \frac{۱۰۰\,cm}{۱m} = ۱۵\,cm$$

به همین ترتیب برای $۱\,mol\,C = ۱۲/۰۱\,g\,C$، می‌توان دو عامل تبدیل به صورت زیر نوشت:

$$\frac{۱۲/۰۱\,g\,C}{۱\,mol\,C} \quad \text{و} \quad \frac{۱\,mol\,C}{۱۲/۰۱\,g\,C}$$



● اگر $۶/۰۲\times۱۰^{۲۳}$ دانهٔ برف در سطح ایران ببارد، لایه‌ای از برف به ارتفاع قلهٔ دنا ($۴۵۰۰m \simeq$) همهٔ کشور را می‌پوشاند.

بنابراین برای تبدیل جرم ۰/۶ گرم کربن به مول‌های آن می‌توان نوشت:

$$?mol\,C = ۰/۶g\,C \times \frac{۱\,mol\,C}{۱۲/۰۱g\,C} \simeq ۰/۰۵\,mol\,C$$

تذکر: مخرج عامل (کسر) تبدیل، با ضریب قبل از کسر هم‌یکا است، تا این دو با هم ساده شوند.