## ۱. مقدمه

شیمی‌دان‌ها با مطالعهٔ خواص و رفتار ماده، هم‌چنین برهم کنش نور با ماده، برای یافتن پاسخ این پرسش‌ها که «جهان هستی چگونه پدید آمده است؟ ذره‌های سازندهٔ جهان هستی طی چه فرآیندی و چگونه به وجود آمده‌اند؟» سهم بسزایی داشته‌اند.

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

دو فضاپیما مأموریت داشتند با گذر از کنار سیاره‌های مشتری، زحل، اورانوس و نپتون، شناسنامه‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها را تهیه کنند و بفرستند. این شناسنامه‌ها می‌تواند حاوی اطلاعاتی باشد، مانند:

۱. نوع عنصرهای سازنده

۲. ترکیب‌های شیمیایی در اتمسفر آن‌ها

۳. ترکیب درصد مواد (این ترکیب‌های شیمیایی)

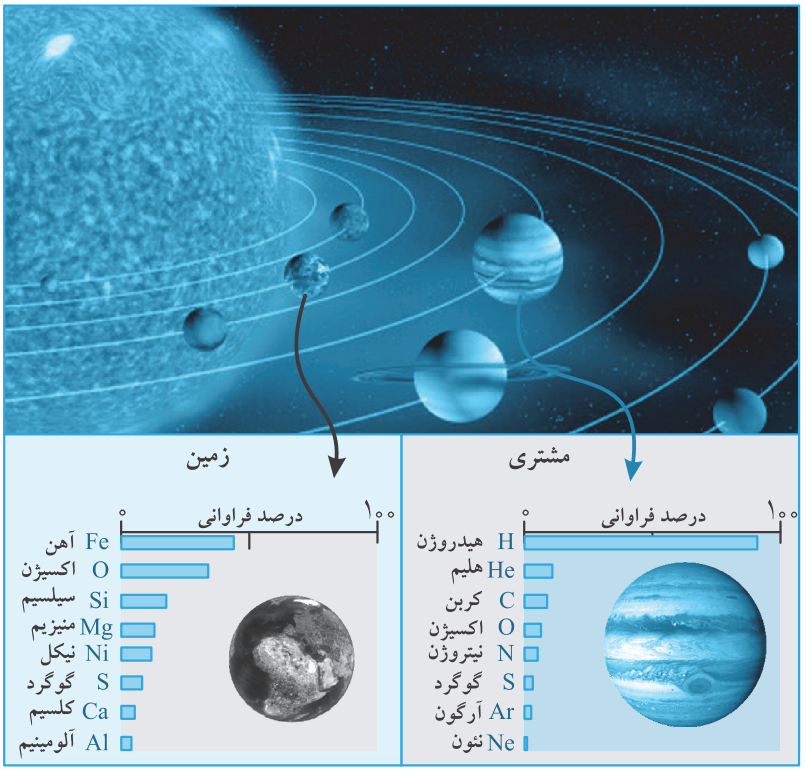
**تذکر**

**شواهد تاریخی که از سنگ نبشته‌ها 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.**

## ۲. عنصرها چگونه پدید آمدند؟

با بررسی نوع و مقدار عنصرهای سازندهٔ برخی سامانه‌های خورشیدی و مقایسهٔ آن با عنصرهای سازندهٔ خورشید می‌توان به درک بهتری از چگونگی تشکیل عنصرها دست یافت.

شکل روبه‌رو عنصرهای سازندهٔ دو سیارهٔ زمین و مشتری را نشان می‌دهد.




**حال به چند نکتهٔ زیر در مورد شکل بالا توجه بفرمائید:**

*۱. زمین از جنس سنگ بوده و مقایسهٔ عنصرهای سازنده آن به ترتیب درصد فراوانی، به صورت زیر است:*

*مقایسه درصد فراوانی عنصرهای سازنده زمین*

آلومینیم (Al) < کلسیم (Ca) < گوگرد (S) < نیکل (Ni) < منیزیم (Mg) < سیلسیم (Si) < اکسیژن (O) < آهن (Fe)

۲. فراوان‌ترین عنصر سازندهٔ زمین آهن (Fe) است و پس از آن عنصرهای اکسیژن (O)، سیلسیم (Si) و منیزیم (Mg) بیش‌ترین درصد فراوانی را دارند.
۳. مقایسه درصد فراوانی عنصرهای سازندهٔ سیاره مشتری به صورت زیر است:

مقایسه درصد فراوانی عنصرهای سازنده مشتری

نئون (Ne) > آرگون (Ar) > گوگرد (S) > نیتروژن (N) > اکسیژن (O) > کربن (C) > هلیم (He) > هیدروژن (H)

۴. بر این اساس، می‌توان پیش‌بینی کرد جنس سیاره مشتری بیش‌تر از جنس گاز است، زیرا فراوان‌ترین عنصر سازنده آن هیدروژن (H) و پس از آن گاز هلیم (He) است.
۵. عنصرهای اکسیژن (O) و گوگرد (S) در هر دو سیاره وجود دارند.
۶. نوع و میزان فراوانی عنصرها در دو سیارهٔ زمین و مشتری متفاوت است.

**مثال ۱** **کدام‌یک از عبارت‌های زیر درست هستند؟**

الف) فراوان‌ترین عنصر سازندهٔ سیاره مشتری گاز هلیم است.
ب) عنصرهای گوگرد و نیکل در هر دو سیارهٔ زمین و مشتری وجود دارد.
پ) درصد فراوانی عنصر کلسیم از عنصر منیزیم در سیاره زمین کم‌تر است.
ت) هر سه عنصر کربن، نیتروژن و گوگرد در سیاره مشتری وجود دارند.

۱) (الف) و (ب) ۲) (الف) و (پ) و (ت) ۳) (ب) و (پ) و (ت) ۴) (پ) و (ت)

**حل:** گزینهٔ ۴ درست است.

**بررسی عبارت‌ها:**

الف) نادرست است، فراوان‌ترین عنصر سازندهٔ سیاره مشتری گاز هیدروژن (H) است و پس از آن فراوان‌ترین عنصر، گاز هلیم (He) است.
ب) نادرست است، عنصرهای گوگرد (S) و اکسیژن (O) در هر دو سیاره زمین و مشتری وجود دارند (نیکل در سیارهٔ مشتری وجود ندارد!).
پ) درست است، درصد فراوانی کلسیم (Ca) از منیزیم (Mg) در سیاره زمین کم‌تر است.
ت) درست است، هر سه عنصر کربن، نیتروژن و گوگرد در سیاره مشتری وجود دارند.

**نکته** تفاوت نوع و میزان فراوانی عنصرها در دو سیارهٔ زمین و مشتری نشان می‌دهد که عنصرها به‌صورت ناهمگون در جهان هستی توزیع شده‌اند.

**مهبانگ (Big bang):** برخی دانشمندان معتقدند که سرآغاز کیهان با انفجاری مهیب (مهبانگ) همراه بود 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 وجود گذاشتند.

مهبانگ ← ذره های زیراتمی ← هیدروژن ← هلیم

**سحابی:** 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.

**نکته** سحابی عقرب یکی از مکان‌های زایش ستاره‌هاست.

**ستاره‌ها:** 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. ستارگان را می‌توان کارخانهٔ تولید عنصرها دانست.

**نکته** 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 شده‌اند. به همین دلیل باید ستارگان را کارخانهٔ تولید عنصرها دانست.

به عبارت دیگر روند تشکیل عنصرها به صورت زیر است:

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

**نکته** *ستاره‌ها متولد می‌شوند، رشد می‌کنند و زمانی می‌میرند. مرگ ستاره با انفجاری بزرگ همراه است که سبب می‌شود عنصرهای تشکیل شده در آن در فضا پراکنده شود.*

**مثال ۲** **با گذشت زمان و ..... ، گازهای هیدروژن و هلیم تولید شده متراکم شد و مجموعه‌های گازی به نام ..... ایجاد کرد. باید ..... را کارخانهٔ تولید عنصرها دانست.**

۱) کاهش دما، ستاره‌ها، سحابی
۲) افزایش دما، ستاره‌ها، ستاره‌ها
۳) کاهش دما، سحابی، ستاره‌ها
۳) افزایش دما، سحابی، ستاره‌ها

**حل:** گزینهٔ ۳ درست است.

با گذشت زمان و کاهش دما، گازهای هیدروژن و هلیم تولید شده متراکم شد و مجموعه‌های گازی به نام سحابی را ایجاد کرد. باید ستاره‌ها (ستارگان) را کارخانهٔ تولید عنصرها دانست.

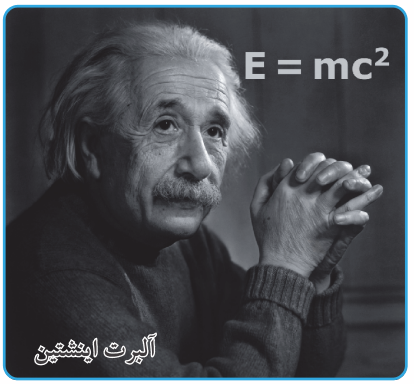
**مثال ۳** **کدام‌یک از عنصرهای زیر در یک ستاره کوچک و با دمای متوسط موجود است؟**

۱) طلا ۲) آهن ۳) اورانیم ۴) کربن

**حل:** گزینهٔ ۴ درست است.

دما و اندازهٔ هر ستاره تعیین می‌کند که چه عنصرهایی باید در آن ساخته شود. هرچه دمای ستاره بیش‌تر باشد، شرایط تشکیل عنصرهای سنگین‌تر (مثل طلا (Au)، آهن (Fe) و اورانیم (U)) فراهم می‌شود. در ستاره‌های کوچک و با دمای متوسط عنصرهای سبک مانند لیتیم، کربن و ... تولید می‌شود.

### رابطهٔ اینشتین




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

$$E = mc^2$$

که در رابطهٔ بالا داریم:

m: جرم ماده بر حسب کیلوگرم (kg)

c: سرعت نور ($\frac{m}{s}$) ($۳\times۱۰^۸$) برحسب متر بر ثانیه ($\frac{m}{s}$)

E: انرژی آزاد شده بر حسب ژول (J)

**نکته** $1J = 1\frac{kg\,m^2}{s^2}$ یا $1J = 1kgm^2s^{-2}$

**مثال ۴** **تجربه نشان داده است که در تبدیل هیدروژن به هلیم، ۰/۰۰۲۴ گرم ماده به انرژی تبدیل می‌شود.**

**الف) حساب کنید در این واکنش هسته‌ای چندکیلو ژول انرژی تولید می‌شود؟**

**ب) حساب کنید این مقدار انرژی چند گرم آهن را ذوب خواهد کرد؟ (برای ذوب شدن یک گرم آهن ۲۴۷ ژول انرژی لازم است.)** *(پیوند با ریاضی - کتاب درسی)*

**حل:** الف) برای محاسبهٔ مقدار انرژی تولید شده در واکنش‌های هسته‌ای از رابطهٔ اینشتین استفاده می‌کنیم: $E = mc^2$

ابتدا یکای جرم ماده را از گرم به کیلوگرم تبدیل می‌کنیم:

$$?kg = ۰/۰۰۲۴\,\cancel{g} \times \frac{1kg}{۱۰۰۰\,\cancel{g}} = ۲/۴\times۱۰^{-۶}kg$$

حال در رابطهٔ $E = mc^2$ جای‌گذاری می‌کنیم:

$$E = mc^2 = (2/4\times10^{-6}(kg))\times(3\times10^8(\frac{m}{s}))^2 = 2/16\times10^{11}\frac{kgm^2}{s^2} = 2/16\times10^{11}J = 2/16\times10^8\ kJ$$

ب) برای محاسبهٔ مقدار آهن ذوب شده از تناسب استفاده می‌کنیم:

۲۴۷ ژول انرژی، یک گرم آهن را ذوب می‌کند $\longrightarrow 1g \sim 247J$

$2/16\times10^{11}$ ژول انرژی، چند گرم آهن را ذوب می‌کند $\longrightarrow xg \sim 216\times10^{11}J$

$$\begin{array}{c|c} 1g & 247J \\ \hline xg & 2/16\times10^{11}J \end{array} \Rightarrow x = \frac{(2/16\times10^{11})\times(1)}{247} = 8/7\times10^8 g \quad \text{آهن}$$

**مثال ۵** **در یک واکنش هسته‌ای ۰/۰۲ گرم ماده به انرژی تبدیل شده است. انرژی تولید شده چند ژول است؟ (سرعت انتشار نور در خلأ $3\times10^5\frac{km}{s}$ است.)**

۱) $1/8\times10^{12}$ ۲) $1/8\times10^{11}$ ۳) $1/8\times10^6$ ۴) $1/8\times10^5$

**حل:** گزینهٔ ۱ درست است.

طبق رابطهٔ اینشتین، مقدار انرژی تولید شده در واکنش‌های هسته‌ای را می‌توان به دست آورد: $E = mc^2$

ابتدا مقادیر داده شده را برحسب یکاهای قابل استفاده در رابطهٔ بالا، به دست می‌آوریم:

$$?kg = 0/02g\times\frac{1kg}{1000g} = 2\times10^{-5}kg$$

سرعت نور: $c = 3\times10^5\frac{km}{s}\times\frac{1000m}{1km} = 3\times10^8\frac{m}{s}$

حال، با جای‌گذاری در رابطه، خواهیم داشت: $E = mc^2 = (2\times10^{-5}kg)\times(3\times10^8\frac{m}{s})^2 = 18\times10^{11}J = 1/8\times10^{12}J$

**اخترشیمی:** 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.

## ۳. عدد جرمی و عدد اتمی

**نماد شیمیایی عنصر:** اتم یا یون هر عنصر را با نماد ویژه‌ای که یک یا دو حرفی است، نشان می‌دهند. در این نماد تعداد ذره‌های زیراتمی و بار الکتریکی اتم را نیز می‌توان مشخص کرد:

$^{A}_{Z}E^{m\pm}$

- A ← عدد جرمی
- Z ← عدد اتمی
- $m\pm$ ← نوع و تعداد بارهای الکتریکی
- E ← نماد شیمیایی همگانی اتم‌ها و یون‌ها

**تذکر**

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

**تذکر**

**برای نشان دادن تعداد الکترون‌های هرگونه (اتم یا یون) نیز از نماد E استفاده می‌کنیم.**

**عدد اتمی (Z):** عدد اتمی (Z) تعداد پروتون‌های موجود در هستهٔ هر اتم را مشخص می‌کند و با نماد Z نشان داده می‌شود.

**عدد جرمی (A):** به مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های موجود در هستهٔ اتم، عدد جرمی می‌گویند و آن را با نماد A نشان می‌دهند.

**تعداد نوترون‌ها + تعداد پروتون‌ها = عدد جرمی**

$A = Z + N$

**مثال ۶** **نماد شیمیایی عنصر کربن با ۶ پروتون و ۶ نوترون کدام است؟**

**حل:** عنصر کربن را با حرف C بزرگ نمایش می‌دهند. تعداد پروتون‌های اتم کربن برابر ۶ است یعنی عدد اتمی کربن برابر ۶ است ($Z=۶$). و از آن‌جا که عدد جرمی برابر مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌هاست، عدد جرمی کربن نیز برابر ۱۲ می‌باشد ($A=Z+N=۶+۶=۱۲$). درنتیجه نماد شیمیایی کربن را می‌توان به صورت زیر نوشت:

عدد جرمی: $A=Z+N$ = تعداد پروتون‌ها + تعداد نوترون‌ها $=۶+۶=۱۲$

عدد اتمی: $Z=$ تعداد پروتون‌ها $=۶$

$^{A}_{Z}C \Rightarrow {}^{۱۲}_{۶}C$

**نکته** *تعداد نوترون‌های هستهٔ یک اتم مساوی یا بیش‌تر از تعداد پروتون‌های آن عنصر است (به جز هیدروژن معمولی $(^{۱}_{۱}H)$ که نوترون ندارد).*

**در هستهٔ اتم‌ها:** $N \geq Z$ | **تعداد نوترون‌ها ≥ تعداد پروتون‌ها**

**مثال ۷** **عدد جرمی عنصر M برابر ۴۵ و تفاوت تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های آن برابر ۵ می‌باشد. عدد اتمی این عنصر کدام است؟**

۱) ۲۰ ۲) ۲۵ ۳) ۴۰ ۴) ۴۵

**حل:** گزینه ۱ درست است.

عدد جرمی این عنصر برابر ۴۵ می‌باشد، یعنی مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های آن برابر ۴۵ است: $A=Z+N \Rightarrow ۴۵=Z+N$

از طرفی، تفاوت تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های هستهٔ اتم این عنصر برابر ۵ است و طبق نکتهٔ بیان شده می‌دانیم که همواره تعداد نوترون‌ها بیش‌تر یا مساوی تعداد پروتون‌هاست، بنابراین نتیجه می‌گیریم در این عنصر تعداد نوترون‌ها ۵ تا بیش‌تر از تعداد پروتون‌هاست: $N-Z=۵$

حال با حل دو معادله دو مجهول زیر، $Z$ را به‌دست می‌آوریم: $\begin{cases} Z+N=۴۵ \\ N-Z=۵ \end{cases} \Rightarrow N=۲۵\ ,\ Z=۲۰$

بنابراین، عدد اتمی این عنصر برابر ۲۰ $(Z=۲۰)$ می‌باشد.

**نکته** *اگر اتم عنصر M، n الکترون از دست دهد، بار آن برابر $+n$ (یون $M^{n+}$) می‌شود و اگر n الکترون بگیرد بار آن برابر $-n$ (یون $M^{n-}$) می‌شود و اگر اتمی دارای بار نباشد، خنثی است، به‌عبارت دیگر تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های آن برابر است. اما اگر گونه‌ای دارای بار منفی باشد به معنای آن است که تعداد الکترون‌های آن بیش‌تر از تعداد پروتون‌هاست و اگر دارای بار مثبت باشد به این معنی است که تعداد الکترون‌های آن کم‌تر از تعداد پروتون‌هاست زیرا بین اتم‌ها فقط الکترون جابه‌جا می‌شود.*

**مثال ۸** **تعداد الکترون‌ها، پروتون‌ها و نوترون‌های اتم‌های $^{۱۱۲}_{۴۸}Cd^{۲+}$، $^{۲۴}_{۱۲}Mg$ و $^{۳۲}_{۱۶}S^{۲-}$ را بنویسید.**

**حل:**

۱) $^{۱۱۲}_{۴۸}Cd^{۲+} \longrightarrow$ عدد جرمی: $A=Z+N=۱۱۲$ و عدد اتمی: $Z=۴۸$

بنابراین می‌توان نوشت: $۴۸+N=۱۱۲ \Rightarrow N=۶۴$

یعنی این اتم دارای ۴۸ پروتون و ۶۴ نوترون است. و چون بار الکتریکی این اتم (یون) برابر ۲ بار مثبت (+۲) است، نتیجه می‌گیریم تعداد الکترون‌های آن، ۲ تا کم‌تر از تعداد پروتون‌های هستهٔ آن اتم می‌باشد (۲ تا الکترون از دست داده است):

بار الکتریکی اتم $=Z-E=+۲ \Rightarrow ۴۸-E=+۲ \Rightarrow E=۴۶$ یعنی این اتم دارای ۴۶ الکترون است.

۲) $^{۲۴}_{۱۲}Mg \longrightarrow$ عدد جرمی: $A=Z+N=۲۴$ و عدد اتمی: $Z=۱۲ \Rightarrow ۲۴=۱۲+N \Rightarrow N=۱۲$

یعنی این اتم دارای ۱۲ پروتون $(Z=۱۲)$ و ۱۲ نوترون $(N=۱۲)$ می‌باشد. و چون اتم خنثی است (بار الکتریکی ندارد)، تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های آن برابر است: $E=Z=۱۲ \longrightarrow$ اتم خنثی است

بنابراین این اتم دارای ۱۲ الکترون است.

۳) $^{۳۲}_{۱۶}S^{۲-} \longrightarrow$ عدد جرمی: $A=Z+N=۳۲$ و عدد اتمی: $Z=۱۶ \Rightarrow ۳۲=۱۶+N \Rightarrow N=۱۶$

یعنی این اتم دارای ۱۶ پروتون $(Z=۱۶)$ و ۱۶ نوترون $(N=۱۶)$ است. و چون بار الکتریکی آن برابر ۲ بار منفی است (−۲)، نتیجه می‌گیریم که تعداد الکترون‌های آن ۲ تا بیش‌تر از تعداد پروتون‌های آن است: بار الکتریکی: $E-Z=-۲ \Rightarrow E-۱۶=-۲ \Rightarrow E=۱۸$

**جمع‌بندی** اگر $Z$ تعداد پروتون‌ها، $E$ تعداد الکترون‌ها و $N$ تعداد نوترون‌های اتم $M$ باشد، خواهیم داشت: $A = Z + N$ : عدد جرمی

$Z$ : عدد اتمی

$N \geq Z$ : در هسته همه اتم‌ها (به جز هیدروژن)

تعداد بار الکتریکی : $m = Z - E \longrightarrow$
- $E > Z \longrightarrow M^{m-}$ (گونه دارای بار منفی)
- $E = Z \longrightarrow M$ (گونه خنثی)
- $E < Z \longrightarrow M^{m+}$ (گونه دارای بار مثبت)

**مثال ۹** **اگر تفاوت تعداد الکترون‌ها با تعداد نوترون‌ها در یون تک اتمی $^{86}A^{4+}$ برابر ۱۴ باشد، عدد اتمی این عنصر کدام است؟**

۱) ۳۴ ۲) ۳۸ ۳) ۴۸ ۴) ۵۲

**حل:** گزینهٔ ۲ درست است.

باتوجه به این‌که عدد جرمی عنصر $^{86}A^{4+}$ برابر ۸۶ است، نتیجه می‌گیریم مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های آن برابر ۸۶ می‌باشد: عدد جرمی : $A = Z + N = 86$

و از طرفی چون بار الکتریکی یون $^{86}A^{4+}$ برابر $+4$ است، نتیجه می‌گیریم تعداد الکترون‌های آن ۴ عدد کم‌تر از تعداد پروتون‌هاست: بار الکتریکی : $Z - E = +4 \Rightarrow E = Z - 4$

هم‌چنین از آن‌جا که تفاوت تعداد الکترون‌ها با نوترون‌ها برابر ۱۴ می‌باشد، می‌توان نوشت:

$$N - E = 14 \Rightarrow N - (Z - 4) = 14 \Rightarrow N - Z = 10$$

(در نظر داشته باشید که همواره تعداد نوترون‌ها بیش‌تر و یا مساوی تعداد پروتون‌ها و الکترون‌هاست)

حال با حل دو معادله دو مجهول زیر $Z$ و $N$ را به‌دست می‌آوریم:

$$\begin{cases} N - Z = 10 \\ N + Z = 86 \end{cases} \Rightarrow N = 48 \, , \, Z = 38$$

بنابراین عدد اتمی این عنصر برابر با ۳۸ می‌باشد.

**مثال ۱۰** **تفاوت تعداد الکترون‌ها و نوترون‌های کدام یون، دو برابر تفاوت تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها در اتم $^{52}_{24}Cr$ است؟**

۱) $^{27}_{13}Al^{3+}$ ۲) $^{112}_{51}Sb^{2-}$ ۳) $^{37}_{17}Cl^{-}$ ۴) $^{16}_{8}O^{2-}$

**حل:** گزینهٔ ۲ درست است.

ابتدا تفاوت تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های $^{52}_{24}Cr$ را به‌دست می‌آوریم:

$^{52}_{24}Cr \longrightarrow$ عدد جرمی : $A = Z + N = 52$ و عدد اتمی : $Z = 24 \Rightarrow N = 28$

بنابراین تفاوت تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های آن برابر $28 - 24 = 4$ می‌باشد.

حال تفاوت تعداد الکترون‌ها و نوترون‌های هرکدام از یون‌های داده شده را به دست می‌آوریم، این مقدار در هرکدام از گزینه‌ها برابر عدد ۸ بود، آن را انتخاب می‌کنیم:

$^{27}_{13}Al^{3+} \longrightarrow A = Z + N = 27 \, , \, Z = 13 \Rightarrow 13 + N = 27 \Rightarrow N = 14$

بار الکتریکی : $Z - E = +3 \Rightarrow 13 - E = +3 \Rightarrow E = 10$

بنابراین تفاوت تعداد الکترون‌ها و نوترون‌های آن برابر $N - E = 14 - 10 = 4$ می‌باشد.

$^{112}_{51}Sb^{2-} \longrightarrow A = Z + N = 112 \, , \, Z = 51 \Rightarrow 51 + N = 112 \Rightarrow N = 61$

بار الکتریکی : $Z - E = -2 \Rightarrow 51 - E = -2 \Rightarrow E = 53$

بنابراین تفاوت تعداد الکترون‌ها و نوترون‌های آن برابر $N - E = 61 - 53 = 8$ می‌باشد (گزینه ۲ درست است).

$^{37}_{17}Cl^{-} \longrightarrow A = Z + N = 37 \, , \, Z = 17 \Rightarrow 17 + N = 37 \Rightarrow N = 20$

بار الکتریکی : $Z - E = -1 \Rightarrow 17 - E = -1 \Rightarrow E = 18$

بنابراین تفاوت تعداد الکترون‌ها و نوترون‌های آن برابر $N - E = 20 - 18 = 2$ می‌باشد.

$^{16}_{8}O^{2-} \longrightarrow A = Z + N = 16 \;,\; Z = 8 \Rightarrow 8 + N = 16 \Rightarrow N = 8$

بار الکتریکی : $Z - E = -2 \Rightarrow 8 - E = -2 \Rightarrow E = 10$

بنابراین تفاوت تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های این اتم برابر $|N - E| = |8 - 10| = 2$ می‌باشد.

**مثال ۱۱** **عدد جرمی عنصر X برابر ۲۰۰ و تعداد نوترون‌های آن ۱/۵ برابر تعداد پروتون‌هاست. تعداد الکترون‌های X کدام است؟**

۱) ۷۸ ۲) ۷۹ ۳) ۸۰ ۴) ۸۱

**حل:** گزینهٔ ۳ درست است.

عدد جرمی عنصر X برابر ۲۰۰ است، یعنی مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های آن برابر ۲۰۰ است: $A = Z + N = 200$

از طرفی، تعداد نوترون‌های آن ۱/۵ برابر تعداد پروتون‌هاست، بنابراین می‌توان نوشت: $N = 1/5Z \quad \text{یا} \quad N = \frac{3}{2}Z$

حال با جای‌گذاری در معادلهٔ قبلی خواهیم داشت: $Z + N = 200 \Rightarrow Z + \frac{3}{2}Z = 200 \Rightarrow Z = 80$

و چون اتم دارای بار نیست (خنثی است) تعداد الکترون‌های آن با تعداد پروتون‌ها برابر است: $E = Z = 80$

**تذکر**

**الکترون‌ها و پروتون‌ها را ذره‌های زیراتمی باردار عنصر و نوترون‌ها را ذره‌های زیراتمی بدون بار عنصر می‌گویند.**

**نوکلئون:** به پروتون یا نوترون موجود در هستهٔ اتم، نوکلئون می‌گویند.

**هم‌الکترون (ایزوالکترون):** به عنصرها، یون‌ها و ترکیب‌های که دارای تعداد الکترون برابر هستند، گونه‌های هم‌الکترون گفته می‌شود. مثلاً یون‌های $O^{2-}$ و $F^-$ و $Mg^{2+}$ و $Na^+$ دارای ۱۰ الکترون هستند، بنابراین آن‌ها را هم‌الکترون می‌نامند.

**مثال ۱۲** **کدام‌یک از عبارت‌های زیر نادرست است؟**

الف) تفاوت تعداد الکترون‌ها و نوترون‌های $^{2x+2}_{x}M^{2+}$ برابر ۴ است.

ب) نسبت تعداد ذره‌های باردار $^{110}_{51}X^{3-}$ به ذره‌های بدون بار $^{106}_{46}Y^{+}$ برابر $\frac{7}{5}$ است.

پ) عدد جرمی برابر مجموع تعداد الکترون‌ها و پروتون‌هاست.

ت) یون‌های $OH^-$، $Ne$ و $O^{2-}$ هم‌الکترون هستند $(_1H \,،\, _8O \,،\, _{10}Ne)$.

۱) (الف) و (پ) ۲) (الف) و (ب) و (پ)

۳) (ب) و (پ) و (ت) ۴) (ب) و (پ)

**حل:** گزینهٔ ۴ درست است.

**بررسی عبارت‌ها:**

الف) درست است. $A = N + Z = 2x + 2 \;,\; Z = x \Rightarrow N + x = 2x + 2 \Rightarrow N = x + 2$

بار الکتریکی : $Z - E = +2 \Rightarrow x - E = 2 \Rightarrow E = x - 2 \longrightarrow N - E = x + 2 - (x - 2) = 4$

بنابراین اختلاف تعداد الکترون‌ها و نوترون‌های $^{2x+2}_{x}M^{2+}$ برابر $|N - E| = 4$ می‌باشد.

ب) نادرست است، وقتی می‌گوئیم ذره‌های باردار، منظور الکترون‌ها و پروتون‌های عنصر می‌باشند و وقتی می‌گوئیم ذره‌های بدون بار، منظور نوترون‌های عنصر هستند:

$$\frac{\text{تعداد ذره‌های باردار } ^{110}_{51}X^{3-}}{\text{تعداد ذره‌های بدون بار } ^{106}_{46}Y^{+}} = \frac{\text{مجموع تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها } ^{110}_{51}X^{3-}}{\text{تعداد نوترون‌های } ^{106}_{46}Y^{+}} = \frac{E_1 + Z_1}{N_2}$$

حال تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های $^{111}_{51}X^{3-}$ را به‌دست می‌آوریم:

تعداد پروتون‌ها $= Z_1 = 51$

بار الکتریکی $= Z_1 - E_1 = -3 \Rightarrow 51 - E_1 = -3 \Rightarrow E_1 = 54$

بنابراین مجموع تعداد الکترون‌ها و پرتون‌های این یون برابر $E_1 + Z_1 = 51 + 54 = 105$ می‌باشد.

از طرفی تعداد نوترون‌های $^{106}_{46}Y^{+}$ برابر $106 - 46 = 60$ است، پس نسبت داده شده برابر $\frac{E_1 + Z_1}{N_2} = \frac{105}{60} = \frac{7}{4}$ است.

پ) نادرست است، عدد جرمی برابر مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌هاست.

ت) درست است، زیرا همهٔ گونه‌های داده شده دارای ۱۰ الکترون هستند بنابراین هم‌الکترون محسوب می‌شوند.

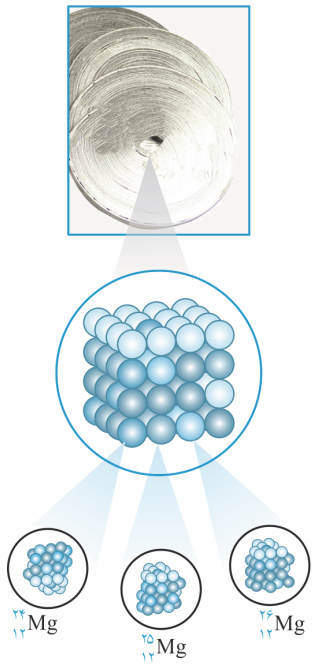
۱) $OH^-$: عدد اتمی $_8O$ برابر ۸ و عدد اتمی H برابر ۱ می‌باشد، بنابراین چون هر دو اتم خنثی هستند، ترکیب آن‌ها یعنی OH نیز دارای $9 = 8 + 1$ الکترون می‌باشد و از طرفی ترکیب $OH^-$ دارای یک بار منفی است پس ترکیب $OH^-$ دارای ۱۰ الکترون می‌باشد.

۲) $_{10}Ne$: عدد اتمی $_{10}Ne$ برابر ۱۰ است و چون اتم خنثی است، تعداد الکترون‌ها برابر تعداد پروتون‌ها و مساوی ۱۰ می‌باشد.

۳) $_8O^{2-}$: بار الکتریکی $Z = 8$ و $Z - E = -2 \Rightarrow 8 - E = -2 \Rightarrow E = 10$

بنابراین $_8O^{2-}$ دارای ۱۰ الکترون است.

## ۴. هم‌مکان (ایزوتوپ)




بررسی‌ها نشان می‌دهند که اغلب در یک نمونه طبیعی از عنصری معین، اتم‌های سازنده، جرم یکسانی ندارند.

**ایزوتوپ (هم مکان):** ایزوتوپ‌های یک عنصر دارای **Z** (عدد اتمی) یکسان اما **A** (عدد جرمی) متفاوت هستند. به عبارت دیگر، اتم‌های یک عنصر را که تعداد پروتون یکسان ولی تعداد نوترون متفاوتی دارند ایزوتوپ‌های آن عنصر می‌گویند. برای مثال بررسی یک نمونه منیزیم نشان می‌دهد که همهٔ اتم‌های منیزیم در این نمونه یکسان نیست، بلکه مخلوطی از سه هم‌مکان (ایزوتوپ) $^{24}_{12}Mg$، $^{25}_{12}Mg$ و $^{26}_{12}Mg$ است.

### شباهت‌ها و تفاوت‌های ایزوتوپ‌ها

شباهت ایزوتوپ‌ها:
۱. خواص شیمیایی یکسان دارند.
۲. در جدول دوره‌ای عنصرها در یک مکان قرار دارند.

خواص شیمیایی اتم‌های هر عنصر به عدد اتمی **(Z)** آن وابسته است؛ از این‌رو ایزوتوپ‌های یک عنصر (مثلاً اتم‌های منیزیم) همگی خواص شیمیایی یکسانی دارند و در جدول دوره‌ای تنها یک مکان را اشغال می‌کنند.

تفاوت ایزوتوپ‌ها:
۱. **عدد جرمی و جرم اتمی متفاوت** ← تعداد نوترونها و در نتیجه عدد جرمی و جرم اتمی متفاوتی دارند.
۲. **پایداری و زمان نیم‌عمر (ماندگاری) متفاوت** ← برخی پایدار و برخی ناپایدار (پرتوزا) هستند.
۳. **درصد فراوانی طبیعی متفاوت** ← بسته به میزان پایداری درصد فراوانی متفاوتی دارند.
۴. **خواص فیزیکی وابسته به جرم متفاوت** ← برخی خواص فیزیکی وابسته به جرم مثل چگالی نقطهٔ ذوب و نقطهٔ جوش متفاوتی دارند.

## ۵. پایداری ایزوتوپ‌ها

ایزوتوپ‌های یک عنصر را با توجه به میزان پایداری به دو گروه عمده می‌توان تقسیم کرد:
۱. ایزوتوپ‌های پایدار
۲. ایزوتوپ‌های ناپایدار و پرتوزا (رادیوایزوتوپ‌ها)

**ایزوتوپ‌های ناپایدار:** 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. ایزوتوپ‌های پرتوزا و ناپایدار، رادیو ایزوتوپ نامیده می‌شود.

**نکته** *اغلب هسته‌هایی که نسبت شمار نوترون‌ها به پروتون‌های آن‌ها برابر یا بیش‌تر از ۱/۵ باشد، پرتوزا و ناپایدارند و با گذشت زمان متلاشی می‌شوند. هم‌چنین اگر عدد اتمی عنصری بیش از ۸۴ باشد ($Z>84$) می‌توان آن عنصر را پرتوزا و ناپایدار دانست:*

$\frac{N}{Z} \geq 1/5$ یا $Z>84$ ← ایزوتوپ پرتوزا و ناپایدار است.

**تذکر**

**بدیهی است که اگر ایزوتوپی ناپایدار نباشد، پایدار است!!!**

**مثال ۱۳** کدام‌یک از اتم‌های مقابل پایدارند؟ ${}_{1}^{1}H, {}_{1}^{2}H, {}_{1}^{3}H, {}_{13}^{27}Al, {}_{89}Ac, {}_{77}^{196}Ir$

**حل:**

${}_{1}^{1}H \longrightarrow A=N+Z=1,\ Z=1 \Rightarrow 1+N=1 \Rightarrow N=0 \Rightarrow \frac{N}{Z}=\frac{0}{1}=0\leq 1/5 \Rightarrow$ پایدار

${}_{1}^{2}H \longrightarrow A=N+Z=2,\ Z=1 \Rightarrow 1+N=2 \Rightarrow N=1 \Rightarrow \frac{N}{Z}=\frac{1}{1}=1<1/5 \Rightarrow$ پایدار

${}_{1}^{3}H \longrightarrow A=N+Z=3,\ Z=1 \Rightarrow 1+N=3 \Rightarrow N=2 \Rightarrow \frac{N}{Z}=\frac{2}{1}>1/5 \Rightarrow$ ناپایدار و پرتوزا

${}_{13}^{27}Al \longrightarrow A=N+Z=27,\ Z=13 \Rightarrow 13+N=27 \Rightarrow N=14 \Rightarrow \frac{N}{Z}=\frac{14}{13}<1/5 \Rightarrow$ پایدار

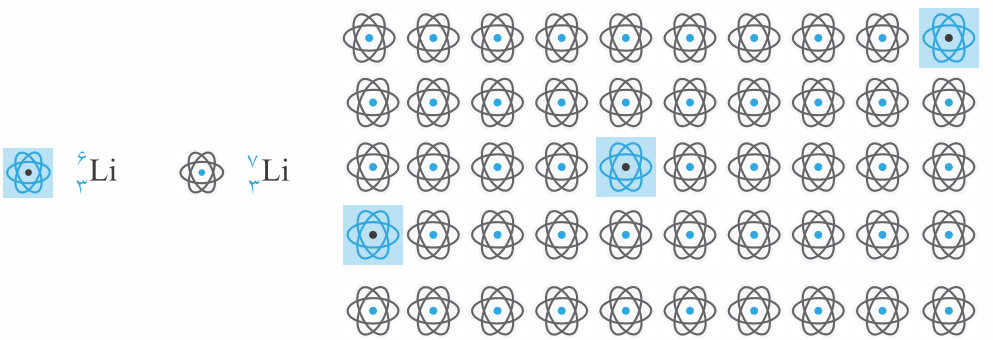
${}_{89}Ac \longrightarrow Z>84 \Rightarrow$ ناپایدار و پرتوزا

${}_{77}^{196}Ir \longrightarrow A=N+Z=196,\ Z=77 \Rightarrow N+77=196 \Rightarrow N=119 \Rightarrow \frac{N}{Z}=\frac{119}{77}=1/\overline{54}>1/5 \Rightarrow$ ناپایدار و پرتوزا

**درصد فراوانی:** به نسبت تعداد ایزوتوپ‌های معین از یک عنصر، به کل اتم‌های (ایزوتوپ‌های) مخلوط طبیعی آن عنصر، درصد فراوانی آن ایزوتوپ می‌گویند:

$$\text{درصد فراوانی ایزوتوپ } a_i = i = \frac{\text{تعداد ایزوتوپ‌های مورد نظر (i)}}{\text{کل ایزوتوپ‌ها}} \times 100$$

**مثال ۱۴** **شکل زیرشمار تقریبی اتم‌های لیتیم را در یک نمونه طبیعی از آن نشان می‌دهد. با توجه به آن، درصد فراوانی هریک از ایزوتوپ‌های آن را حساب کنید.**



**حل:**

$$a_1 = {}^{7}_{3}Li \text{ درصد فراوانی ایزوتوپ} = \frac{\text{تعداد ایزوتوپ } {}^{7}_{3}Li}{\text{کل ایزوتوپ}} \times 100 = \frac{47}{50} \times 100 = 94\%$$

$$a_2 = {}^{6}_{3}Li \text{ درصد فراوانی ایزوتوپ} = \frac{\text{تعداد ایزوتوپ } {}^{6}_{3}Li}{\text{کل ایزوتوپ}} \times 100 = \frac{3}{50} \times 100 = 6\%$$

نیم‌عمر: نیم‌عمر هر ایزوتوپ نشان می‌دهد که آن ایزوتوپ تا چه اندازه پایدار است. به‌طوری که هرچه ایزوتوپ پایدارتر باشد، نیم‌عمر آن طولانی‌تر است.

**نکته** *درصد فراوانی هر ایزوتوپ با پایداری و نیم‌عمر آن ایزوتوپ نسبت مستقیم دارد. به‌طوری که هرچه ایزوتوپ پایدارتر باشد، نیم‌عمر و درصد فراوانی آن بیش‌تر خواهد بود.*

**نکته** *درصد فراوانی فقط برای ایزوتوپ‌های پایدار تعریف می‌شود، زیرا هستهٔ ایزوتوپ‌های ناپایدار و پرتوزا، ماندگار نیست و با گذشت زمان متلاشی می‌شود. به عبارت دیگر، یک نمونه طبیعی فقط مفلوطی از ایزوتوپ‌های پایدار است.*

**مثال ۱۵** **داده‌های جدول زیر را به دقت بررسی کنید؛ سپس به پرسش‌های مطرح شده پاسخ دهید.** *(با هم بیندیشیم ـ کتاب درسی)*

| 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 | $1/4\times10^{-22}$ ثانیه | $9/1\times10^{-22}$ ثانیه | $2/9\times10^{-22}$ ثانیه | $2/3\times10^{-23}$ ثانیه |
| درصد فراوانی در طبیعت | ۹۹/۹۸۸۵ | ۰/۰۱۱۴ | ناچیز | ۰ (ساختگی) | ۰ (ساختگی) | ۰ (ساختگی) | ۰ (ساختگی) |

آ ـ چه شباهت‌ها و تفاوت‌هایی میان این ایزوتوپ‌ها وجود دارد؟

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

پ ـ کدام ایزوتوپ هیدروژن از همه ناپایدارتر است؟

ت ـ چند ایزوتوپ هیدروژن پرتوزا است؟ توضیح دهید.

ث ـ چه تعداد از ایزوتوپ‌های هیدروژن، رادیو ایزوتوپ به شمار می‌رود؟

**حل:** آ ـ شباهت‌ها: عدد اتمی **(Z)** یکسان در نتیجه نوع عنصر (هیدروژن) و خواص شیمیایی آن‌ها یکسان است.

تفاوت‌ها: ۱ـ عدد جرمی ۲ـ نیم‌عمر و پایداری ۳ـ درصد فراوانی در طبیعت

ب ـ زمان نیم‌عمر ${}^{7}_{1}H$ از همه کم‌تر است، بنابراین از همه ناپایدارتر است.

پ ـ زمان نیم عمر ایزوتوپ ${}^{7}_{1}H$ از همه کوتاه‌تر است، بنابراین از همه ناپایدارتر است. هم‌چنین باتوجه به درصد فراوانی ایزوتوپ ${}^{1}_{1}H$، می‌توان گفت ${}^{1}_{1}H$ از همه ایزوتوپ‌ها پایدارتر است.

ت ـ نسبت تعداد نوترون‌ها به پروتون‌های همهٔ ایزوتوپ‌ها را به‌دست می‌آوریم، ایزوتوپ‌هایی که این نسبت برای آن‌ها از ۱/۵ بزرگ‌تر باشد، ناپایدار و پرتوزا هستند:

${}^{1}_{1}H \longrightarrow A = N + Z = 1,\ Z = 1 \Rightarrow N + 1 = 1 \Rightarrow N = 0 \Rightarrow \frac{N}{Z} = 0 < 1/5 \Rightarrow$ پایدار

${}^{2}_{1}H \longrightarrow A = N + Z = 2,\ Z = 1 \Rightarrow N + 1 = 2 \Rightarrow N = 1 \Rightarrow \frac{N}{Z} = \frac{1}{1} = 1 < 1/5 \Rightarrow$ پایدار

${}^{3}_{1}H \longrightarrow A = N + Z = 3,\ Z = 1 \Rightarrow N + 1 = 3 \Rightarrow N = 2 \Rightarrow \frac{N}{Z} = \frac{2}{1} = 2 > 1/5 \Rightarrow$ ناپایدار و پرتوزا

${}^{4}_{1}H \longrightarrow A = N + Z = 4,\ Z = 1 \Rightarrow N + 1 = 4 \Rightarrow N = 3 \Rightarrow \frac{N}{Z} = \frac{3}{1} = 3 > 1/5 \Rightarrow$ ناپایدار و پرتوزا

${}^{5}_{1}H \longrightarrow A = N + Z = 5,\ Z = 1 \Rightarrow N = 4 \Rightarrow \frac{N}{Z} = \frac{4}{1} = 4 > 1/5 \Rightarrow$ ناپایدار و پرتوزا